



Univerzitetna založba
Univerze v Mariboru

Vesna Mila MEDEN
Vesna RAUTER

Telesna aktivnost, antioksidanti in oksidativni stres







Univerza v Mariboru

Fakulteta za kmetijstvo
in biosistemske vede

Telesna aktivnost, antioksidanti in oksidativni stres

Avtorici

Vesna Mila Meden

Vesna Rauter

Avgust 2022

Naslov <i>Title</i>	Telesna aktivnost, antioksidanti in oksidativni stres <i>Physical Activity, Antioxidants and Oxidative Stress</i>
Avtorici <i>Authors</i>	Vesna Mila Meden (Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede) Vesna Rauter (Univerza v Mariboru, Medicinska fakulteta)
Recenzija <i>Review</i>	Anton Ivančič (Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede, upokojen) Mitja Kolar (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo) Marjan Skalicky (Univerza v Mariboru, Fakulteta za zdravstvene vede) Miha Marinšek (Univerza v Mariboru, Pedagoška fakulteta)
Lektoriranje <i>Language editing</i>	Tatjana Radonjič
Tehnični urednik <i>Technical editor</i>	Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba)
Oblikovanje ovitka <i>Cover designers</i>	Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba)
Grafika na ovitku <i>Cover graphics</i>	Saša Kos (model Aneja Radonjič Rauter) in Vesna Mila Meden (zelenjava), 2016
Grafične priloge <i>Graphics material</i>	Meden in Rauter, 2022 Fotografija prikazov telesnih vaj; Saša Kos; modeli za prikaz gibalnih vaj; Aneja Radonjič Rauter, Saša Premovič in Tadej Ratnik, 2022
Založnik <i>Published by</i>	Univerza v Mariboru Univerzitetna založba Slomškovo trg 15, 2000 Maribor, Slovenija https://press.um.si , zalozba@um.si
Izdajatelj <i>Issued by</i>	Univerza v Mariboru Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede Pivola 10, 2311 Hoče, Slovenija https://www.fkbv.um.si , fkbv@um.si
Izdaja <i>Edition</i>	Prva izdaja
Vrsta publikacija <i>Publication type</i>	E-knjiga
Dostopno na <i>Available at</i>	https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/658

Izdano Maribor, Slovenija, avgust 2022
Published



© **Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba**
/ *University of Maribor, University Press*

Besedilo / *Text* © Meden, Rauter, 2022

To delo je objavljeno pod licenco Creative Commons Priznanje avtorstva-Deljenje pod enakimi pogoji 4.0 Mednarodna. / *This work is licensed under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.*

Uporabnikom se dovoli reproduciranje, distribuiranje, dajanje v najem, javno priobčitev in predelavo avtorskega dela, če navedejo avtorja in širijo avtorsko delo/predelavo naprej pod istimi pogoji. Za nova dela, ki bodo nastala s predelavo, je tudi dovoljena komercialna uporaba.

Vsa gradiva tretjih oseb v tej knjigi so objavljena pod licenco Creative Commons, razen če to ni navedeno drugače. Če želite ponovno uporabiti gradivo tretjih oseb, ki ni zajeto v licenci Creative Commons, boste morali pridobiti dovoljenje neposredno od imetnika avtorskih pravic.

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Univerzitetna knjižnica Maribor

613.7:612.015(0.034.2)

MEDEN, Vesna Mila

Telesna aktivnost, antioksidanti in oksidativni stres [Elektronski vir] / avtorici Vesna Mila Meden, Vesna Rauter. - 1. izd. - E-knjiga. - Maribor : Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba, 2022

Način dostopa (URL) : <https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/658>

ISBN 978-961-286-633-4 (PDF)

doi: 10.18690/um.fkbv.7.2022

COBISS.SI-ID 118540803

ISBN 978-961-286-633-4 (pdf)

DOI <https://doi.org/10.18690/um.fkbv.7.2022>

Cena Brezplačni izvod
Price

Odgovorna oseba založnika prof. dr. Zdravko Kačič,
For publisher rektor Univerze v Mariboru

Citiranje Meden, V. M., Rauter, V. (2022). *Telesna aktivnost, antioksidanti in*
Attribution oksidativni stres. Maribor: Univerzitetna založba. doi:
10.18690/um.fkbv.7.2022



Kazalo

Predgovor	3
Problematika telesne aktivnosti, antioksidantov in oksidativnega stresa.....	5
TELESNA AKTIVNOST.....	11
Problematika telesne aktivnosti.....	13
Telesna aktivnost je osnova prehranske piramide	13
Zdravje	15
Prosti čas	16
Bistvene razsežnosti človeka	17
Telesna aktivnost, gibanje, šport.....	19
Osnove funkcionalne morfoloije človeka	23
Skeletne mišice	24
Vrste mišičnih vlaken in hipertrofija	25
Vpliv hormonov na delovanje mišic	26
Razlogi, zakaj biti telesno aktiven	28
Pravila, ki jih upoštevamo tako v športu kot tudi v vsakdanjem življenju	30
Koliko in kako biti telesno aktiven.....	31
Telesna aktivnost in cirkadiani ritem	32
Telesna vadba.....	32
Priporočila pred pričetkom vadbe	34
Ogrevanje ali uvodni del	34
Gimnastične vaje	35
Glavni del.....	35
Umirjanje in raztezanje	35
Vrste telesne vadbe	36
Vadba za vzdržljivost - aerobna vadba	37
Vadba za moč.....	38
Vadba za gibljivost	41
Vadba za ravnotežje.....	43
Vadba za koordinacijo	45
Vadba za preciznost.....	45
Vadba za hitrost.....	46
Pomen telesne aktivnosti na svežem zraku.....	46
Pomen telesne aktivnosti ob izpostavljenosti žarkom sonca.....	48
Pomen TA v neposrednem fizičnem stiku s površino tal.....	49
Vpliv TA na kislinsko-bazično ravnovesje telesa.....	50
Pomen telesne aktivnosti za študentsko populacijo	52
Sistemsko poučevanje in urjenje v športu	57
Nacionalni program športa 2014–2023	57

ANTIOKSIDANTI	61
Vloga antioksidantov	63
Antioksidativni obrambni sistem.....	67
Antioksidativni stres.....	71
Problematika vrednotenja antioksidantov.....	77
Metode vrednotenja vsebnosti antioksidantov	77
Metode vrednotenja celokupnega antioksidativnega potenciala	79
Primerjava med rezultati kromatografskih metod	82
Primerjava med vsebnostmi posameznih FA in CAP	84
Primerjava vsebnosti posameznih FA s CAP _{SF}	84
Ugotovitve glede primerjave metod določanja CAP.....	85
Prispevek posameznih antioksidantov k CAP	87
OKSIDATIVNI STRES	93
ROS kot dejavniki za razvoj bolezni.....	97
Oksidativni stres, ki ga povzroča telesna aktivnost	99
Biomarkerji za oceno prisotnosti oksidativnega stresa	103
Vloga kisika.....	106
Stalnost kemijske sestave telesnih tekočin - homeostaza	108
Dihanje in kompleksne motnje kislinsko-bazičnega ravnovesja	109
Telesna aktivnost in negativni stres.....	111
TELESNA AKTIVNOST, ANTIOKSIDANTI IN OKSIDATIVNI STRES	113
Antioksidativni učinek telesne aktivnosti	115
Vloga uživanja antioksidantov kot prehranskih dopolnil	119
Telesna aktivnost in oksidativni stres.....	125
Presnovni ekvivalent aktivnosti	125
Telesna aktivnost, oksidativni stres in hormeza.....	130
Hormeza in hormetični učinek	131
Vpliv telesne aktivnosti na redoks homeostazo.....	135
Vpliv telesne aktivnosti na imunski sistem	136
Vpliv telesne aktivnosti na sproščanje prostih radikalov.....	137
Staranje, telesna aktivnost in oksidativni stres.....	139
Pomen TA za ohranjanje/razvijanje gibalne in funkcionalne sposobnosti	141
Telesna aktivnost, oksidativni stres in avtofagija	143
ROS, oksidativni stres in epigenetika.....	145
Kemijske spremembe v krvi med telesno aktivnostjo	146
Problematika telesne aktivnosti rejnih živali.....	149
ZAKLJUČEK	153
Pomen izobraževanja o trajnostni telesni aktivnosti	155
LITERATURA	161
Stvarno kazalo	187
Izjava o prispevku avtorjev.....	191



POSVETILO

Znanstveno monografijo avtorici posvečava svojim najbližjim.



Predgovor

VESNA MILA MEDEN

Nova paradigma znanosti na široko odpira vrata zadostno in potrebno celostnemu pristopu k vsebinam, ki so bolj kot kadarkoli trajnostne, družbeno odgovorne, interdisciplinarno povezane in po meri posameznika. Slušatelj začuti povezanost s predstavljenimi vsebinami šele, ko se slednje zelo dotikajo njegove živosti. Kdaj bomo končno vstali in razgibali svoje telo med vsepreobsežnim sedečim delom, študijem, načinom življenja? Čas je, da vsebine predmetov povežemo s športnimi igrami, pohodi na svežem zraku, tehnikami sproščanja, dihalnimi vajami, telesno vadbo in tako med predavanji poskrbimo zase in slušatelje na način, ki se edini uveljavlja kot trajnosten in družbeno odgovoren.

V družbi, kjer prevladuje telesna aktivnost pred sedečim življenjskim slogom, je aktivna tudi kreativnost posameznikov. Kreativen posameznik vselej najde svojo nišo, se v njej zadovoljno udejanja, povezuje s kolegi in sodeluje v navezi z okolico trajnostno in družbeno odgovorno. Niti na misel mu ne pride, da bi sebi ali drugim povzročal stres s tekmovalnostjo, rivalstvom, zahrbtnimi intrigami, nepoštenim in neetičnim poslovanjem, nesposobnostjo, stokanjem, iskanjem slabosti, preziranjem, arogantnostjo, kričanjem in podobno neustvarjalno navlako. Kreativen posameznik je steber akademske družbe. Kreativen posameznik je življenja polno ustvarjalno bitje, ki na vseh ravneh deluje v dobro vseh živih bitij, kar lahko imenujemo živost.

Vizija akademske družbe naj bo vselej zgled delovanja, sicer človek zanika vrednost sebe, vrednost modrosti, izgradnje informacije, znanja, vsega. V hipu, ko zanikamo veličino posameznika, zanikamo tudi veličino človeka kot najvišje razvitega bitja. Vse probleme, napetosti, kričanja nosi posameznik v sebi in le od njega zavisi, kako se spoprijema z okoljem. Rešiti nalogo v sebi in se nato podati navzven, v razmerja, v odnose, v komunikacijo z drugimi bitji, se zdi prava pot. S telesno aktivnostjo je pot reševanja življenjske enačbe lahkotnejša. Predihan s svežim zrakom, osvetljen z žarki sonca človek z lahkoto rešuje življenjske naloge. A tudi v telesni aktivnosti velja prava mera. Telesna aktivnost naj bo namenjena sproščanju in obnovi, odmerjajmo jo redno in kontinuirno. Zmerna naj bo.

Dejstvo, da lahko zvišano raven oksidativnega stresa sproži tudi visoko intenzivna telesna aktivnost, se zdi ob splošnem prizadevanju za povišan obseg gibanja na prvi pogled protislovno, pa vendar to dejstvo jasno potrjujejo mnoge raziskave. Pri navedbi pojma visoko intenzivna telesna vadba gotovo najprej pomislimo na izjemno naporne treninge vrhunskih športnikov, sebe pa v takem načinu vadbe v tem hipu ne vidimo, zato tudi menimo, da običajno rekreativno aktivnih posameznikov oksidativni stres ne ogroža. A pozor, potrebno je upoštevati, da je telo vrhunskih športnikov sposobno uravnavati negativne posledice oksidativnega stresa, saj je nanje prilagojeno zaradi dolgotrajnih ponavljajočih se urjenj. Prav nasprotno pa velja za posameznike, ki so telesno aktivni ali neredno ali pretirano, zato njihovo telo ni prilagojeno na negativne posledice oksidativnega stresa. S svojim načinom življenja smo ljudje torej tudi iz sprostitvene tehnike, kot je telesna aktivnost, sposobni napraviti oksidativno stresno razdejanje. Vsebina predložene znanstvene monografije prepleta znanja za izgradnjo informacije o trajnostni priporočeni telesni aktivnosti.

Zakaj biti telesno aktiven? Kako je telesna aktivnost povezana s prehransko piramido? Koliko in kako biti telesno aktiven? Kakšni so učinki telesne aktivnosti na telo? Kakšen je pomen telesne aktivnosti na svežem zraku ob izpostavljenosti žarkom sonca? Vloga kisika? Kakšen je vpliv telesne aktivnosti na kislinsko-bazično ravnovesje telesa? Vloga antioksidantov? Kako je telesna aktivnost povezana s cirkadianim ritmom, hormezo in avtofagijo? Kaj je oksidativni stres in kako vzpostaviti homeostazo? Odgovori na ta vprašanja sledijo v nadaljevanju.

Problematika telesne aktivnosti, antioksidantov in oksidativnega stresa

Namen zbranega gradiva je razširiti okvir danes izoblikovanega gledišča o pojmihih priporočene in varne telesne aktivnosti in spodbuditi radovednost, ki je ključna za raziskovanje in oblikovanje zadostnega in potrebno celostnega pogleda na obravnavano tematiko.

Telesna aktivnost je za ohranjanje ravnovesja in dolgoživosti izjemnega pomena. Pomanjkanje telesne aktivnosti je na prvem mestu v vrsti dejavnikov, ki vodijo v ogrožanje splošnega zdravja. Gibalna neaktivnost je eden najpomembnejših dejavnikov tveganja obolevnosti in umrljivosti odraslih, predstavlja pomemben prispevek k epidemiji debelosti (Caballero, 2007) in je eden glavnih dejavnikov tveganja obolevnosti otrok in mladostnikov (Strong s sod., 2005). SZO (2017) je uvrstila telesno neaktivnost med pomembnejše ogrožajoče dejavnike za razvoj kroničnih nenalezljivih bolezni. Za te bolezni je značilno, da so za njihov nastanek, razvoj in trajanje odgovorni skupni dejavniki tveganja: povišan krvni tlak, povišan holesterol, povišan krvni sladkor, povečana telesna masa. Vsi navedeni dejavniki se pojavljajo zaradi nezdravega načina življenja, predvsem premalo gibanja in

nepravilne prehrane. Če so ob tem prisotne še razvade, kot so uživanje alkohola, drog in kajenje, se ogroženost še povečuje.

Somatsko razumevanje telesa (gr. *sôma*, telo nekega organizma, celotno telo, lahko tudi mrtvo telo) je celosten pristop k obravnavanju telesa. Telo posameznika je hkrati organizem ter tempelj doživljanja, zavedanja in spreminjanja. Vsebina predložene monografije se dotika tako vaj, namenjenih izboljšanju gibljivosti, koordinacije, ravnotežja in vzdržljivosti kot tudi delovanja posameznih somatskih tehnik in njihovega vpliva na telo in duha (fiziološki, psihološki, sociološki in duhovni vidik). Razložen je pomen dihanja, sproščanja in pojasnjena pot izboljšanja splošnega psihofizičnega počutja.

Dokazi, da telesna vadba povzroča oksidativno škodo v človeškem tkivu, so stari štiri desetletja. Davies in sodelavci (1982) v pionirski študiji navajajo, da že posamezna intenzivna vadba za vzdržljivost znatno poviša raven tvorbe reaktivnih zvrsti in oksidativnih poškodb tkiva skeletnih mišic. Vsakodnevna intenzivna vadba za vzdržljivost je vzrok povišane stopnje poškodb mitohondrijev, membranskih struktur, ki služijo celičnemu dihanju. Poškodbe membran mitohondrijev povzročajo prosti radikali, ki jih sproža telesna vadba; v primeru dolgotrajno ponavljajoče intenzivne vadbe za vzdržljivost so lahko spodbuda za biogenezo mitohondrijev.

Vpliv različnih načinov vadbe na spremembe redoks homeostaze je obsežno raziskan (Sen, 1995; Powers in Jackson, 2008). Homeostaza organizma je stabilnost notranjega okolja telesa, ki jo organizem vzdržuje kljub vplivu različnih dejavnikov. Fiziološko organizem tako ostane v optimalnem, stabilnem stanju za življenje (Slovenski medicinski slovar, 2016). Pregled znanstvene literature, ki povezuje vplive telesne aktivnosti na homeostazo je prikazan v tabeli 1.

Tvorba reaktivnih zvrsti v obsegu, ki preseže zmogljivost antioksidativne obrambe, izzove oksidativni stres. Slednji vodi v oksidativne poškodbe celic. V fizioloških razmerah je ravnovesje med tvorbo reaktivnih zvrsti in antioksidativno obrambo običajno nekoliko na strani oksidativnih procesov. Glede na obseg in trajanje je lahko oksidativni stres ali koristen ali škodljiv za organizem (Mravljak, 2015).

Tabela 1: Vpliv telesne aktivnosti (TA) na homeostazo

Homeostaza	Telesna aktivnost	Literatura
spremembe redoks homeostaze	zmerno in visoko intenzivna	Kruk s sod., 2019
motena prooksidativno-antioksidativna homeostaza pri visoko intenzivni TA	zmerno in visoko intenzivna	Ji, 1999
v preglednem članku ni opredelitve o motnjah homeostaze, govora le o ponekod povečanem oksidativnem stresu	visoko intenzivna - atletika	Urso in Clarkson, 2003
obnavljanje celične in srčno-žilne homeostaze	otroško gibanje, ne glede na vrsto	Paes s sod., 2015
spremembe redoks homeostaze	visoko intenzivna vadba za vzdržljivost	Davies s sod., 1982
izboljšana homeostaza glukoze pri telesno aktivnih posameznikih	primerjava med telesno aktivnimi (≥ 2 /teden) in neaktivnimi (≤ 2 /mes) dvojčki	Rottensteiner s sod., 2015
pozornost je namenjena motnjam v prehranjevanju; dobro bi bilo raziskati učinke na homeostazo	kompensacijska vadba	Davis s sod., 2016
opisani odzivi telesa na stres, povzročeni s stradanjem in TA	zmerno in visoko intenzivna	Naisbitt in Davies, 2017
vzdrževanje homeostaze mišičnih tkiv	aktivacija avtofagije med TA v mišičnih celicah	Nair in Klionsky, 2011
sprememba homeostaze kalcija	zmerno in visoko intenzivna	Maïmoun in Sultan, 2009
izboljšana homeostaza lipidov	zmerno intenzivna	Herzig s sod., 2014

Kisik je bistvenega pomena za življenje, a pri celičnem dihanju se tvorijo tudi reaktivne kisikove zvrsti (ang. *reactive oxygen species* - ROS), ki lahko poškodujejo celične membrane in druge sestavne dele celic in tkiv. ROS je splošen izraz, ki se ne nanaša samo na proste radikale, osredotočene na kisik, temveč vključuje tudi neradikalne, vendar reaktivne derivate kisika, zlasti vodikov peroksid (H_2O_2). Podobno se izraz reaktivne dušikove zvrsti (ang. *reactive nitrogen species* - RNS) nanaša na dušikove radikale in druge reaktivne molekule, pri katerih je reaktivno mesto dušik. Prosta radikala, ki se tvorita v celicah, sta superoksid ($O_2^{\cdot-}$) in dušikov (II) oksid (NO). V strokovni terminologiji je za imenovanje reaktivnih zvrsti mnogokrat v rabi kratica ROS, čeprav se besedilo ne nanaša zgolj na reaktivne kisikove zvrsti (Tauler Riera, 2012).

Intenzivna telesna vadba povzroča, zaradi povišane porabe kisika, motnje znotraj-celičnega ravnovesja - prooksidativno/antioksidativne homeostaze. Tvorijo se ROS, ki ogrožajo antioksidativni obrambni sistem celic (znižana zaloga vitaminskih antioksidantov kot so vitamin C, vitamin E, β -karoten) in povišajo dovzetnost tkiva

za oksidativne poškodbe. Intenzivnejša je telesna vadba, višja je raven proizvedenih ROS v skeletnih mišicah in drugih tkivih (Ji, 1999).

Kruk in sodelavci (2019) v preglednem znanstvenem članku navajajo, da redna zmerna telesna aktivnost uravnava oksidativni stres, ki krepi celične antioksidativne obrambne mehanizme, medtem ko lahko akutna vadba, ki ji ne sledi trening, spremeni celično redoks homeostazo v smeri povišane ravni oksidativnega stresa.

Redna telesna aktivnost lahko okrepi imunsko funkcijo in učinkovito prepreči citokinski odziv (nespecifičen odziv na stres, ki ga predstavlja izločanje citokinov) ter tako zniža obseg sistemskega vnetja in izboljša različne imunske markerje. Redna telesna vadba postopoma izboljša antioksidativno obrambo in zniža raven oksidativnega stresa v skeletnih mišicah in drugih tkivih, vključno z imunskimi celicami. Dimauro in sodelavci (2021) navajajo, da že 5 dni redne telesne vadbe učinkovito vpliva na izboljšanje redoks homeostaze v enojedrnih celicah periferne krvi ter sistemskega prosvetnega okolja pri zdravih odraslih.

Krajša zmerna do visoko intenzivna telesna vadba znatno okrepi endogeno antioksidativno obrambo in zdi se, da s tem prepreči sproščanje povišanih ravni ROS, ki jih TA sicer povzročata. Redna zmerna do visoko intenzivna telesna vadba lahko ščiti pred kroničnimi boleznimi, povezanimi z oksidativnim stresom, z aktivacijo in naknadno regulacijo endogenega antioksidativnega obrambnega sistema (Parker s sod., 2014).

Oksidativni stres odraža neravnovesje med tvorbo reaktivnih zvrsti in ustrezno antioksidativno obrambo. To neugodno stanje lahko povzroči celične in tkivne poškodbe komponent in je vključeno v različna fiziopatološka stanja, vključno s staranjem, telesno vadbo, vnetnimi, srčno-žilnimi in nevrodegenerativnimi boleznimi ter rakom. Razmerje med telesno vadbo in oksidativnim stresom je izjemno zapleteno, odvisno od načina, intenzivnosti in trajanja vadbe. Zdi se, da redna zmerna telesna vadba pomaga pri obvladovanju oksidativnega stresa in prispeva k zdravju. Nasprotno, akutna vadba vodi do povišane ravni oksidativnega stresa, čeprav je ta isti dražljaj nujen za omogočanje povišane ravni uravnavanja endogene antioksidativne obrambe (hormeza). Podpora endogeni obrambi z uživanjem prehranskih dopolnil v obliki sintetičnih antioksidantov se je dolgo časa smatrala kot primerno orodje za preprečevanje ali zniževanje ravni oksidativnega stresa med treningi. Rezultati novejših raziskav potrjujejo glasno dejstvo, da lahko

presežek eksogenih antioksidantov v obliki sintetičnih prehranskih dopolnil škodljivo vpliva na zdravje in telesno zmogljivost. Ključ do redoks homeostaze predstavlja uživanje polnovrednih živil; ta vsebujejo antioksidante v naravnih razmerjih in delujejo v sinergiji za optimizacijo antioksidativnega učinka. Ustrezen vnos antioksidantov z raznoliko in uravnoteženo prehrano je najboljši pristop k ohranjanju optimalnega redoks statusa (Pignitore s sod., 2015).

Zgodnje raziskave sproščanja prostih radikalov ob načrtovani telesni aktivnosti se osredotočajo na oksidativne procese v mišicah in njihov škodljivi učinek (na primer oksidacijo beljakovin), novejša raziskava pa na vpliv celičnega signaliziranja ROS.

Vrednotenje stanja oksidativnega stresa v organizmu je aktualen izziv v znanosti. Z izsledki lastnih raziskav na področju učinkovanja antioksidantov in z obširno primerjavo z dognanji raziskovalcev v svetovnem prostoru predstavljajo znanja v predloženi znanstveni monografiji velik prispevek k znanosti.



TELESNA AKTIVNOST



Problematika telesne aktivnosti

V zgodovini je bila telesna aktivnost ena najosnovnejših človekovih dejavnosti. Kot lovci, nabiralci in iskanci hrane so morali ljudje hoditi daleč, morali so hitro teči, da bi ubežali divjim zverem in napadom soljudi, nabirati in pripravljati so morali kurjavo, graditi bivališča,... Še nekaj desetletij nazaj je bil človek zgaran in uničen zaradi fizičnega dela na kmetijah, v tovarnah, rudnikih ter naporov, povezanih s preživetjem. V današnjem času so se našete telesne dejavnosti toliko oddaljile iz življenja posameznika, da so pustile vpliv na njegovo počutje. Vzporednice med uničenostjo lokomotornega aparata in premalo telesne aktivnosti ali preveč enostransko ponavljajoče se telesne aktivnosti so očitne.

Vogel (2016) razlaga, da je optimalna preskrba telesa s kisikom pomembna osnova za izgradnjo in ohranjanje stabilnega imunskega sistema. Preskrbo telesa s kisikom lahko izboljšamo z načinom življenja - z življenjskim slogom. Potrebno je ozavestiti svoje dihanje - zavzemimo se, ali smo sproščeni ali napeti, dihamo plitko ali globoko... Pojdimo na sprehod, vrtnarimo, tecimo, poskrbimo, da bomo dihali s polnimi pljuči. Pogoji za sprostitev in globoko dihanje je potreba po odpravi zamerami, strahovi, skrbmi. V slednji vrstici je zapisana osnova vzrokov vseh obolenj.

Telesna aktivnost je osnova prehranske piramide

Nacionalni inštitut za javno zdravje Republike Slovenije (NIJZ), Center za preprečevanje kroničnih bolezni CINDI (2017) je objavil dvanajst korakov do zdravega prehranjevanja, pomembnih za človekovo telesno ravnovesje. Dva od teh korakov se navezujeta na telesno aktivnost in hidracijo telesa:

- bodite telesno dejavni toliko, da bo vaša telesna masa normalna;
- zaužijte dovolj tekočine (CINDI, 2017).

CINDI (ang. *Countrywide Integrated Noncommunicable Disease Intervention*) je mednarodni program Svetovne zdravstvene organizacije namenjen ohranjanju in krepitevi zdravja, ter preprečevanju kroničnih nenalezljivih bolezni. Na spletnih straneh NIJZ (2017) je dostopen plakat, ki prikazuje prehransko piramido (slika 1).



Slika 1: Prehranska piramida

Vir: NIJZ, 2017

Po podatkih raziskave Nacionalnega inštituta za javno zdravje (NIJZ, 2012), imenovane »Z zdravjem povezan vedenjski slog«, ima 54,6 % odraslih Slovencev prekomerno telesno maso, 40,2 % je telesno premalo aktivnih, 25,7 % ima zvišan krvni tlak, 26 % jih pogosto ali vsak dan občuti stres, 22,6 % je kadilcev, 10,2 % pa jih prekomerno uživa alkohol. Da bi znižali vpliv dejavnikov tveganja za razvoj kroničnih nenalezljivih bolezni, je priporočljivo, da ne kadimo, ohranjamo normalno telesno maso, se zdravo prehranjujemo, omejimo pitje alkoholnih pijač, se izogibamo negativnemu stresu ter, da smo redno, dovolj intenzivno in dovolj dolgo (30 min/dan) telesno aktivni (NIJZ, 2012).

Zdravje

Zdravje je najbolj zaželjeno (in tudi optimalno) stanje telesa in duha ter za večino ljudi ena najvišjih vrednot v življenju. Vzrok za številna nenalezljiva kronična obolenja je pogosto v nezdravem življenjskem slogu. Dejavniki le tega so nezdrav način prehranjevanja, telesna neaktivnost, kajenje, uživanje drog, prekomerno pitje alkoholnih pijač in stresni način življenja (Suwa-Stanojević, 2010).

Svetovna zdravstvena organizacija (SZO, 2018a) definira zdravje kot celovit in dinamičen sistem, ki je sposoben prilagajanja vsem vplivom okolja ter omogoča posamezniku in skupnosti opravljati vse biološke, socialne in poklicne funkcije in preprečevati bolezni, onemoglost ter prezgodnjo smrt. Zdravje je splošna biološka vrednota in ključna osnova za produktivno in kakovostno življenje slehernega posameznika ter skupnosti kot celote. Je dinamično ravnovesje osebnih, telesnih, čustvenih, duševnih, duhovnih in socialnih prvin, ki se kažejo v zmožnosti neprestanega opravljanja z njimi povezanih funkcij in prilagajanja okolju. V tem smislu zdravje in skrb zanj ni le interes posameznika, medicinskih strok ali institucij zdravstvenega varstva, temveč je družbena odgovornost.

Resolucija o nacionalnem programu o prehrani in telesni aktivnosti za zdravje v obdobju 2015–2025 (2015) navaja: »Zdravo prehranjevanje in redna telesna aktivnost sta med ključnimi dejavniki varovanja in krepitve zdravja, prispevata k boljšemu zdravju, višji kakovosti življenja in k vzdržnosti zdravstvenih sistemov. Med odraščanjem zagotavljata optimalno rast in razvoj, izboljšujeta počutje in delovno storilnost pri odraslih, dolgoročno pa predvsem krepita zdravje, povečujeta kakovost življenja in prispevata k aktivnemu in zdravemu staranju.«

Prehrana in telesna aktivnost sta visoko na lestvici prednostnih tem Svetovne zdravstvene organizacije, kar dokazuje tudi sprejetje akcijskega načrta za preprečevanje in obvladovanje nenalezljivih bolezni. Zdrav življenjski slog je zato dobra in edina naložba v prihodnost človeka, ki zavestno skrbi za svoje zdravje. Gre za množico praks, dejavnosti in želja, po katerih naj bi sodoben človek deloval in se ravnal:

- redno ukvarjanje s telesno aktivnostjo,
- prehranjevanje v skladu s priporočili,

- vzdrževanje primerne krvnega tlaka, vzdrževanje vsebnosti maščob in nivoja sladkorja v krvi v optimalnem območju ter vzdrževanje primerne obsega pasu,
- zagotavljanje zadostne količine počitka in kakovostnega spanca,
- sposobnost pozitivnega razmišljanja, omogočanje sprostitev ter izogibanje razvadam.

Z uresničevanjem načel Zdravega življenjskega sloga, s skrbjo zase in za svoje zdravje se sodoben človek ukvarja predvsem v prostem času.

Prosti čas

Čeprav je prosti čas splošno znan pojem, se vprašajmo, kateri čas je to. Ena izmed razlag pravi, da je to čas, ki nam ostane, ko izpolnimo vse svoje obveznosti: delo, delovne obveznosti, nedelovne in prostovoljne obveznosti ter fiziološke potrebe. Ljudje v sodobni družbi pripisujemo prostemu času vedno večji pomen; z njim lahko vzdržimo hiter tempo življenja in zahtevani nivo storilnosti. Prosti čas naj bi zadovoljeval šest sklopov potreb sodobnega človeka, ki jih lahko osmislimo s pomočjo telesne aktivnosti (Derganc in Vrankar, 2004):

- **relaksacijske potrebe**, ki omogočajo oddih od napetosti, stresa, počitek in sprostitev (joga, pilates, sprehodi, tek, *taijiquan*, tek na smučeh, ...);
- **fiziološke potrebe**, ki prispevajo k boljšemu zdravju in počutju (vse vrste telesnih aktivnosti in vsi športi);
- **psihološke potrebe**, ki omogočajo občutek svobode, zbranosti, zabave (alpinizem, športne igre, golf, ples, smučarski skoki, ...);
- **izobraževalne potrebe**, ki predstavljajo intelektualni izziv, s katerim želimo doseči neka nova znanja (naučiti se se novega športa, ...);
- **socialne potrebe**, ki pomagajo vzdrževati socialne odnose in razreševati konfliktna situacije (pravilni odnosi do soigralcev v športu (ang. *fair play*), spoštovati nasprotnika, soigralca in sotekmovalca, ...);
- **estetske potrebe**, ki spodbujajo čut za lepoto, kulturo in umetniške aktivnosti (zumba, aerobika, umetnostno drsanje, oblikovanje telesa (ang. *body building*), ritmična gimnastika, skoki v vodo, ...) (Derganc in Vrankar, 2004).

K omenjenim sklopom je potrebno dodati še duhovne potrebe, ki presegajo realno stvarnost in nam poskušajo dati odgovor o smislu našega življenja, o smislu naših življenjskih aktivnosti, o smislu trpljenja, ...

Človekov imunski sistem krepijo naslednji povezani dejavniki: zdrava, uravnotežena prehrana, dovolj gibanja na svežem zraku in dovolj počitka. Na ta način ljudje sami upravljamo svoj imunski sistem.

Bistvene razsežnosti človeka

Vse bistvene razsežnosti človeka morajo delovati uravnoteženo in v sozvočju. Od takšnega pogleda na človeka je odvisna tudi njegova gibalna izraznost. Vse razsežnosti so med seboj tesno povezane in močno vplivajo ena na drugo. Pistotnik (2017) razlaga, da je človekova gibalna izraznost pod neposrednimi vplivi telesnih izmer, delovanjem organskih sistemov ter psihe, velja pa tudi obratno. Spreminjanje stanja gibalnih sposobnosti, kar je samo del gibalne izraznosti (z vadbo, urjenjem oz. treningom) vedno celostno vpliva na človeka in se kaže v spremembah vseh razsežnosti, ki ga sestavljajo. Uspeh telesne vadbe je zato povezan tudi z delovanjem preostalih razsežnosti, ki opredeljujejo človeka kot celoto:

- **morfološka razsežnost** človeka je opredeljena s telesnimi merami. Izmerimo lahko telesno višino, dolžino rok, nog, dolžino podlakti, nadlakti, stegen in goleni. Izmerimo lahko tudi obsege, ki jih opredeljujejo širine sklepov in njihovi premeri: širino ramen, bokov in medenice, širino komolca, zapestja, kolena in gležnja. Voluminoznost telesa zajema telesni obseg in maso telesa. Masa telesa je vsota mas maščobnega in nemaščobnega tkiva. Maščobno tkivo se nahaja v podkožju, nemaščobna pa so vsa ostala tkiva: mišice, kosti, notranji organi, živčevje in maščoba, ki je v celicah. Izmeriti je mogoče tudi kožno gubo hrbta, nadlakti, trebuha, stegna in goleni (Pistotnik, 2017);
- **funkcionalna razsežnost** človeka je opredeljena z zakonitostmi delovanja posameznih organov, povezanih v biološke sisteme (Pistotnik, 2017);
- **gibalno razsežnost** človeka opredeljujejo osnovne gibalne sposobnosti. Te so odgovorne za učinkovitost izvedbe gibov. Delimo jih v dve skupini: sposobnosti regulacije energije, saj omogočajo najboljši izkoristek energijskih zmogljivosti pri izvedbi gibanja (moč, hitrost, vzdržljivost) ter

sposobnosti regulacije gibanja, ki so povezane z oblikovanjem, uresničevanjem in nadziranjem izvedbe gibalnih nalog (gibljivost, koordinacija, preciznost, ravnotežje) (Pistotnik, 2017);

- **psihološko razsežnost** človeka opredeljuje kognitivni in konativni del. Kognitivni del pokaže, kako učinkovito uspemo predelati, analizirati in uporabiti informacije, ki jih dobimo iz okolja, prav tako hrani te informacije v našem spominu (inteligentnost). Konativni del, s katerim reagiramo - se odzivamo na okolje v določenih situacijah, pokaže splošni vzorec vedenja (obnašanje) posameznika (Pistotnik, 2017). Tudi čustvovanje je psihološka razsežnost;
- **duhovna razsežnost** človeka nadgrajuje materialistični pogled in daje človeku in njegovemu življenju nadčasovno dimenzijo in eksistenčni smisel. Človek je tudi transcendentno bitje, ki presega materialni svet. Frankl (2005 in 2015) opozarja, da je upoštevanje vseh omenjenih razsežnosti človeka nujno, kajti izključitev duhovne razsežnosti vodi v nevaren znanstveni redukcionizem.

Da človek lahko živi in preživi, potrebuje zrak, vodo, hrano in gibanje. Prve tri navedbe avtomatsko dobimo z dihanjem, pitjem in hranjenjem, na zadnjo, gibanje, mnogokrat pozabimo. Zdi se, da je gibanje postalo sodobnemu človeku nekakšno breme, ki se mu z lahkoto odreče.

V razviti družbi se je pojavila tudi preobilica hrane, ki je poceni in skoraj vsem lahko dostopna. To je pripeljalo do pojava debelosti, ki jo je že leta 1997 Svetovna zdravstvena organizacija uvrstila med kronične nenalezljive bolezni in to z vsemi značilnostmi epidemije. Glavni razlog za pojav debelosti je porušeno razmerje med vnosom hrane in njeno potrošnjo (Pistotnik, 2017).

Življenjski slog velike večine posameznikov je klavrn predvsem zaradi odtujenosti od narave, od dela in od svojega bivanja, kar pomeni, da večina ljudi ne doseže svoje identitete. Ni še dolgo tega, ko je večina prebivalcev Zemlje živela v naravi. V hišo so prišli le toliko, da so se najedli in naspali. S tekom in planinarjenjem danes le delno nadomeščamo nekdanje trajno bivanje v naravi. Kdor tega ne uresničuje, ne more biti normalen, saj je odtujen od svojega temeljnega bivanja - pristnega stika z naravo. Ta odtujenost usodno preplavlja tudi ostala področja njegove osebnosti. Velika večina ljudi je prisiljena opravljati heteronomno delo, ki je v bistvu prikrito tlačansko

oziroma suženjsko delo. Le redki posamezniki so uspeli priboriti privilegij, da opravljajo avtonomno, svobodno delo. Vsak, ki opravlja heteronomno delo, je trajno izpostavljen prefinjenemu družbenemu nasilju. Posameznik, ki je odtujen tako od narave kot od dela, je nujno odtujen tudi od svojega bistva, saj ga v nasilnih okoliščinah vsakdanjega življenja ne more ozavestiti. V stanovanjih ga usodno motijo televizija, telefon, histeroidni svoji in mnoge skrbi. V takih okoliščinah nujno pride do kopičenja stresne energije, ki povzroča različne psihosomatske težave. Nakopičeno stresno energijo je mogoče nevtralizirati le z intenzivno in dolgotrajno telesno vadbo, predvsem z vzdržljivostnim tekom in planinarjenjem, patološko pa seveda z alkoholnimi pijačami, raznimi pomirjevali in številnimi patološkimi odvisnostmi: z alkoholizmom, narkomanijo, požrešnostjo, zasvojenostjo s spolnostjo, z nakupovanjem ali katero drugo (Rugelj, 1997).

Zavedati se moramo, kako pomembna je redna telesna aktivnost v vseh življenjskih obdobjih. Pri tem velja izpostaviti pomen športa pri študentski populaciji, ki je zaradi stila življenja v tem obdobju (večinoma sedeč življenjski slog, mnogokrat povezan še s slabimi prehranskimi navadami, kajenjem, uživanjem alkoholnih pijač, ...) še posebej izpostavljena. Za to starostno obdobje je značilen tudi upad športnih aktivnosti, ki so jih bili v osnovnošolskem in srednješolskem obdobju vsi deležni.

Telesna aktivnost, gibanje, šport

Nič ne uničuje človeka bolj kot telesna neaktivnost.

Aristotel

Telesna aktivnost (TA) je človekova naravna potreba, tako kot je dihanje, prehranjevanje in izločanje. Svetovna zdravstvena organizacija (SZO, 2017) opredeljuje telesno aktivnost kot kakršnokoli telesno gibanje, ki ga ustvarijo skeletne mišice in katerega posledica je poraba energije nad ravnjo mirovanja.

Šport in telesna vadba sta posebni vrsti telesne aktivnosti. Šport je organizirana in vnaprej planirana vadba, ki vključuje tudi določeno obliko tekmovanja. Telesna vadba je namenjena izboljšanju telesne pripravljenosti in zdravja (Strel s sod., 2016).

Nacionalni inštitut za javno zdravje (NIJZ, 2018) opredeljuje redno telesno aktivnost kot enega najpomembnejših dejavnikov za ohranjanje zdravja in preprečevanja bolezni. Ugodni učinki redne telesne aktivnosti se kažejo na telesnem in tudi duševnem počutju: zniža se raven ogroženosti za pojav bolezni srca in ožilja, sladkorne bolezni in debelosti, povišanega krvnega tlaka in osteoporoze, zniža se tveganje za možgansko kap, uravnava se krvni tlak, prekomerna telesna masa in debelost, poviša se raven telesne pripravljenosti, vzdržuje mišična moč in gibljivost sklepov, zniža se raven negativnega stresa, tesnobe, depresije in osamljenosti, izboljša se kakovost življenja.

Beseda šport ima za različne ljudi različen pomen, vsi pa vemo, da gre za gibanje celotnega telesa, katerega rezultat je poraba energije. Ko opazujemo športnike, se zdi, da se jim telo giblje samo od sebe. Vendar temu ni tako. Vsak športnik, tako rekreativec, predvsem pa tekmovalec, je moral vložiti veliko energije, volje in prostega časa, da se je določenega športa oziroma telesne aktivnosti naučil, se izuril, natreniral.

Izkušnje kažejo, da se večina odraslih premalo giblje. Po podatkih Svetovne zdravstvene organizacije (SZO, 2018b) je bilo leta 2010 v svetovnem merilu telesno neaktivnih približno 23 % odraslih (20 % moških in 27 % žensk). V državah z visokimi dohodki je bilo telesno neaktivnih 26 % moških in 35 % žensk, v državah z nizkimi dohodki na prebivalca je obseg telesno neaktivnih nižji, zajema pa 12 % moških in 24 % žensk. Nizka raven telesne aktivnosti pogosto sovпада z visokim bruto domačim proizvodom (BDP). Nižja raven TA je deloma posledica neaktivnosti v prostem času in sedentarnega načina življenja tako na delovnem mestu kot doma. Tudi uporaba pasivnih načinov prevoza prispeva k nezadostni telesni aktivnosti.

Še posebej zaskrbljujoč je podatek SZO (2018b) o telesni neaktivnosti mladih. Leta 2010 je bilo v svetovnem merilu 81 % mladostnikov (84 % žensk in 78 % moških), starih od 11 do 17 let, nezadostno telesno aktivnih glede na priporočila SZO.

V telesu tako odraslega kot mladostnika in otroka, ki se ne giblje dovolj, vladajo izredne razmere - fiziološki procesi so upočasnjeni, gibalne sposobnosti se slabšajo, duhovne in duševne sposobnosti so v upadu. Redna telesna aktivnost, kot dejavnik za varovanje zdravja, prinaša številne koristi, saj vpliva pozitivno tako na telesno kot na duševno zdravje in kakovost življenja. Rezultati različnih epidemioloških raziskav

so pokazali, da telesna vadba varuje pred večino kroničnih nenalezljivih bolezni, krepi kosti in mišice, vzdržuje psihofizične in funkcionalne sposobnosti telesa, pripomore k znižanju ravni stresa in depresije ter pomaga pri zvišanju samozavesti. Za krepitev zdravja se priporoča zmerno intenzivna telesna aktivnost, ki zviša srčni utrip, povzroči občutek toplote (zviša telesno temperaturo) in zadihanost; izboljšuje tudi telesno presnovo, in sicer na tri do šestkratno raven od tiste v mirovanju (NIJZ, 2018).

Pojavnost debelosti je v svetovnem merilu vedno višja in eden od prevladujočih razlogov zanjo so izrazito znižane ravni telesne aktivnosti sodobnih ljudi v primerjavi s predniki iz paleolitika. Sodoben odrasel posameznik živi v naprednem okolju, a raven njegove telesne aktivnosti je zelo nizka, mnogo nižja od one, ki jo opazimo pri prostoživečih sesalcih ali zelo aktivnih ljudeh (Hayes s sod., 2005).

V sodobni družbi je dolgotrajno sedenje del življenjskega sloga. Sedeč življenjski slog je povezan z dejavniki tveganja za bolezni srca in ožilja, presnovnih bolezni, sladkorno boleznijo tipa 2 in prezgodnjo umrljivost. Vsekakor je pomembno poudariti izjemen pomen zmerne, srednje intenzivne telesne aktivnosti pri preprečevanju in obvladovanju kroničnih bolezni. V tem hipu niso znana priporočila, koliko časa dnevno naj posameznik presedi, niti kako pogosto naj posameznik prekine sedeče stanje, zato so vsekakor dobrodošle nadaljnje raziskave. Priporoča se, da tudi telesno aktivni posamezniki skrajšajo čas sedenja. Sporočilo spodbujanja se glasi: »Vstanite, manj sedite, več se gibajte, pogosteje« (Dunstan s sod., 2012).

Gibalna neaktivnost vse bolj ogroža človekovo zdravje in kakovost življenja. Pomanjkanje gibanja, prekomerna telesna masa, nizka raven gibalnih kompetenc, neracionalna telesna aktivnost, prekomerna poraba energije, hitra utrujenost, negativna telesna samopodoba, slaba gibalna samopodoba, slaba kakovost življenja, odtujevanje od družabnih aktivnosti so konkretni kazalniki življenjskega sloga vedno številčnejše neaktivne populacije otrok in mladostnikov. Omenjeni kazalniki si lahko sledijo v različnem zaporedju, vendar posameznika že v otroštvu nenehno odtujujejo od dejavnosti, ki je za njegov skladen razvoj nujno potrebna (Pišot in Šimunič, 2013).

Živimo sedeč življenjski slog, preveč je sedenja za pisalno mizo, pred računalnikom in televizijo, uporabljamo pasivni transport, premalo hodimo peš in premalo fizično delamo, saj se je sodobna družba zelo avtomatizirala.

Študijsko obdobje je za mlade poseben režim življenjskega sloga; obveznosti pri študiju nalagajo prisotnost na predavanjih, vajah in seminarjih, učenje za izpite, pisanje seminarskih nalog in diplome, vse to pa pomeni znatno količino sedenja. V tem obdobju je zato telesna aktivnost izjemnega pomena. Sedenje se zdi, kot da je novo kajenje (slika 3).

Poolhouse (2018) navaja stol z lobanjo, izdelan po zamisli francoskega oblikovalskega studia Pool; s svojo simbolično pojavnostjo sporoča, da se preobraža iz nečimrnosti. Imenovan je »Souviens toi que tu vas mourir«, kar v prevodu iz francoskega jezika pomeni »Ne pozabite, da boste umrli«. Ta memento mori je zgovoren motiv vsem, ki iščemo udobje stola in obredno povečujemo sedenje.

Telesna aktivnost omili presnovni sindrom (neodzivnost na inzulin) in izboljša lipidni profil (Petelin s sod., 2014). Ugoden vpliv kratkih intenzivnih vadbenih enot pred obroki, ki so pri pacientih s presnovnim sindromom izboljšali glukozni profil po obrokih in tekom dneva, dokazuje pomen gibanja pri uravnavanju presnove (Francois s sod., 2014). Gibanje vpliva tudi na izbiro vrste hrane. Oh in Taylor (2013) sta potrdila, da 15 min zmerno intenzivne telesne aktivnosti zniža potrebo poseganja po čokoladi.

Eden najpomembnejših izzivov sodobne družbe je v iskanju kriterijev zdravega staranja, ohranjanja funkcionalne in kognitivne sposobnosti, ki bodo posamezniku omogočili kakovostno življenje ter neodvisnost in samostojnost v pozno starost. Nujne so sistemske rešitve na področju zvišanja ravni vsakodnevne telesne aktivnosti, načrtovanega zvišanja ravni TA na delu, v izobraževanju ter v prostem času, predvsem pa osveščanje odgovornih in širše javnosti o pomenu in vlogi telesne aktivnosti za kakovost življenja (Pišot in Mohorko, 2014).

Strokovnjaki za javno zdravje se strinjajo, da epidemije debelosti ne morejo razložiti spremembe v genih, biologiji in psihologiji posameznika in domnevajo, da razlaga leži v širših okoljskih, političnih in družbenih spremembah. Potrošništvo spodbuja vedno večje obroke hrane, računalniške igrice, sladila z visoko vsebnostjo glukoze, nenehno oglaševanje hrane, naložbe v transport, ki podpirajo potovanja z

avtomobili, veliko in cenejšo ponudbo živil z visoko vsebnostjo maščob in sladkorja, nenehno razpoložljivost sladkanih brezalkoholnih pijač in hitre prehrane in podobno. Navedeni dejavniki so med glavnimi krivci za epidemijo debelosti v svetu (Hill in Peters, 1998; Koplan s sod., 2005; Kumanyika s sod., 2000; SZO, 2017).

Sodobni trendi na področju priporočene telesne aktivnosti prinašajo številne novosti. Priporočila Svetovne zdravstvene organizacije (2018b) so, da bi se odrasel človek moral vsaj 150 min tedensko ukvarjati z zmerno intenzivno telesno aktivnostjo ali pa vsaj 75 min tedensko s telesno aktivnostjo visoke intenzivnosti. Za dodatne koristi za zdravje naj bi odrasli zvišali obseg izvajanja zmerno intenzivne telesne aktivnosti na 300 min tedensko. Dejavnosti, ki krepijo moč mišic, je potrebno izvajati dva ali več dni na teden z vsemi večjimi skupinami mišic.

Vsebina predložene monografije poskuša osvetliti in zadostno ter potrebno celostno predstaviti pojem trajnostne priporočene telesne aktivnosti. Ugotovitve, ki kažejo na trend upadanja gibalnih sposobnosti pri otrocih in odraslih, so zaskrbljujoče. Vizija naše družbe naj postanejo gibalno sposobni otroci in gibalno osveščeni odrasli. Z načrtnim delom v vrtcih, šolah, na univerzah, v podjetjih in drugje je ta vizija zagotovo dosegljiva.

Osnove funkcionalne morfolojije človeka

Človeški organizem sestavlja množica različnih celic, tkiv, organov in organskih sistemov, ki so medsebojno izjemno dobro usklajeni in soodvisni. Pregovor, da je veriga tako močna kot njen najšibkejši člen, velja tudi za človeško telo. Slabo delovanje enega organa ali organskega sistema lahko škodljivo vpliva na ves organizem in človek zbolí.

Mišičje je aktivni del gibal, ki telesu omogoča premikanje, vzdrževanje telesnega položaja (drže), gradi dele organov, stabilizira sklepe in tvori toploto. Osnovna lastnost mišice je sposobnost krčenja (kontraksije), s čimer mišica razvije silo in omogoči premikanje (uda, organa, vsebine organa). Na molekularnem nivoju je kontrakcija mišice posledica približevanja in drsenja aktinskih in miozinskih nitk, za kar je potreben Ca in energija v obliki ATP. Pri porabi ATP se del iz te molekule sproščene energije porabi za kontrakcijo (kemijska energija se pretvori v mehansko), del pa se pretvori toploto (vzdrževanje primerne telesne temperature). Če nas zebe, pričnemo drgetati, skeletne mišice se hitro zaporedno krčijo, s čimer proizvedejo

toploto in preprečijo podhladitev. Kar 2/3 toplote nastaja v skeletnih mišicah, preostali del pa v notranjih organih, predvsem v jetrih. Razlikujemo tri tipe mišičnega tkiva: gladko mišično tkivo, srčno mišično tkivo in skeletno ali prečnoprogasto mišično tkivo (Klakočar s sod., 2019). Skeletne mišice so eno najbolj obilnih in presnovno aktivnih tkiv pri sesalcih zato se v nadaljevanju osredotočimo nanje.

Skeletne mišice

Skeletne mišice so zgrajene iz mišičnih vlaken in obdane z vezivom - mišično ovojnico. So eno najbolj obilnih in presnovno aktivnih tkiv pri sesalcih; predstavljajo 40–50 % celotne telesne mase in približno 30 % celotne porabe energije telesa v mirovanju. Modulacija skeletne mišične mase in delovanja ima neposreden vpliv na zdravje celotnega telesa. Zaradi atrofije skeletnih mišic v pogojih, kot so rakavost, sladkorna bolezen tipa 2 in staranje je stopnja obolevnosti in umrljivosti zvišana (McLeod s sod., 2016).

Ravnotežje med sintezo in razgradnjo beljakovin je glavni dejavnik, ki določa maso in funkcijo skeletne mišice. Medtem, ko aminokisliline, rastni hormoni in telesna vadba spodbujajo anabolne procese, pa neuporaba skeletnih mišic (zaradi poškodb, sedečega načina življenja), bolezni, podhranjenost in staranje spodbujajo katabolne procese in oslabelost skeletnih mišic. Poleg znižanja hitrosti sinteze beljakovin je za atrofijo skeletnih mišic značilna tudi močno zvišana stopnja proteolize strukturnih in kontraktilnih (mišičnih) beljakovin v skeletnih mišicah (Bodine, 2013).

Skeletne mišice so izredno plastično tkivo, ki je sposobno prilagajanja zelo različnim zahtevam telesa. Znižana aktivnost skeletnih mišic zelo hitro privede do upada telesnih sposobnosti, povišana aktivnost pa (tudi zelo hitro) izzove prilagoditve, ki imajo za posledico zvišano raven telesne zmogljivosti, kar je odvisno od vrste TA. Aerobna vadba, na primer, izzove prilagoditve, zaradi katerih mišica pridobi na vzdržljivosti, vadba za moč z utežmi pa izzove prilagoditve, zaradi katerih mišica pridobi na moči (Pérez-Schindler in Handschin, 2019).

Satelitske celice skeletnih mišic so enojedrne celice, ki se nahajajo med sarkolemo in bazalno membrano mišičnih vlaken. Pri odraslih so običajno v stanju mirovanja, služijo pa kot rezervna populacija celic, ki so aktivirane, kadar pride do poškodb ali katerekoli oblike travme, na primer zaradi preobremenitve mišičnih vlaken, kot posledice intenzivne TA. Takrat se te celice delijo, nastale hčerinske celice - mioblasti, ki se nadalje diferencirajo v postmitotične miotube, pa potujejo do mesta poškodbe, kjer se združijo s poškodovano mišično celico in na ta način prispevajo svoja celična jedra, kar pomaga pri obnovi in izgradnji novih citoskeletnih beljakovin (aktin, miozin) (Hawke in Garry, 2001).

V mišičnih vlaknih tipa I se nahaja največ satelitskih celic (5–6 krat več kot v vlaknih tipa II). Možen vzrok je dejstvo, da so vlakna tipa I uporabljena bistveno več časa (vsakodneвне aktivnosti) kot vlakna tipa II, zato utrpijo tudi več manjših poškodb, ki jih nato satelitske celice sanirajo. Omenjeni proces obnove in izgradnje novih beljakovin pa ne vpliva na povešano število mišičnih vlaken (hiperplazijo), temveč na velikost in raven citoskeletnih (kontarktilnih) elementov mišice (aktin in miozin) v obstoječih mišičnih vlaknih (Chen s sod., 2005).

Vrste mišičnih vlaken in hipertrofija

Mišična vlakna delimo, glede na hitrost krčenja, na počasna (tip I) in hitra (tip IIa in IIb). Glede na pot, po kateri vlakna prejmejo ATP za krčenje, delimo vlakna na rdeča (vsebnost mioglobina in večje število kapilar), katera prejmejo ATP predvsem pri oksidativnih procesih in so zato vzdržljivejša, ter bela, ki prejmejo ATP predvsem pri glikolitičnih procesih in so zato nevzdržljiva. Rdeča vlakna so glede na hitrost krčenja počasna (I), bela pa hitra (IIa, IIb). Pri nizko intenzivni telesni aktivnosti se najprej aktivirajo vlakna tipa I, z naraščanjem intenzivnosti pa se postopoma aktivirajo vlakna tipa IIa in nato še IIb (Robergs in Roberts, 1997).

Vlakna se med seboj razlikujejo po hitrosti krčenja, razviti maksimalni moči, ravni mioglobina in glikogena, številu kapilar, presnovi ter hipertrofičnem odzivu. Pri intenzivni TA (vadba z utežmi) se poveča prečni presek vseh vrst mišičnih vlaken, a raziskave kažejo, da je povečanje najizrazitejše pri vlaknih tipa II (IIa in IIb). Vzrok za to je verjetno povišana aktivacija teh vlaken pri višjih obremenitvah (Robergs in Roberts, 1997). Vlakna tipa IIb se lahko z vadbo za moč pretvorijo v vlakna tipa IIa. Zdi se, da vadba za moč zvišuje oksidativni potencial mišic. Ker imajo vlakna tipa IIa višjo raven oksidativnega potenciala kot vlakna tipa IIb, je omenjena pretvorba

pozitivna prilagoditev zahtevam vadbe (Kraemer s sod., 1996). Z neuporabo in atrofijo mišic se vlakna tipa IIa pretvorijo nazaj v vlakna tipa IIb (Hernandez in Kravitz, 2003).

Pri vsakodnevni TA so vlakna tipa I stalno aktivirana, vlakna tipa II pa le redko. Pri intenzivni TA, kot je na primer vadba z utežmi, so vlakna tipa I še vedno aktivirana, zaradi velikih obremenitev pa se aktivirajo tudi vlakna tipa II. Aktivacija in obremenjenost vlaken tipa II je torej pri intenzivni TA bistveno višja kot pri vsakodnevni TA, aktivacija in obremenjenost vlaken tipa I pa ne. Zdi se, da je bistveno višja relativna obremenjenost vlaken tipa II vzrok večjega hipertrofičnega odziva teh vlaken (Hernandez in Kravitz, 2003).

Možna prilagoditev, zaradi katere lahko mišica pridobi na moči, je mišična hipertrofija. Pojem mišična hipertrofija označuje povečanje prečnega preseka in mase mišice. Do hipertrofije pride zaradi zvišanja velikosti in števila kontraktilnih elementov mišice (aktin in miozin), zvišanja količine sarkoplazme (sarkoplazemska hipertrofija) ter zvišanja količine vezivnega tkiva v mišici. Do mišične hipertrofije pride vsakič, ko je raven razpadanja mišičnih beljakovin nižja od ravni izgradnje novih. Posamezna intenzivna vadba z utežmi lahko zviša raven nastajanja novih beljakovin v 48 urah po zaključku vadbe. Izgradnja novih beljakovin je odvisna tudi od tega, ali je na voljo dovolj hranilnih snovi (predvsem beljakovin) in razpoložljivih celičnih jeder, ki jih donirajo satelitske celice (če se poveča velikost mišične celice, se mora nujno povečati tudi število celičnih jeder, da se ohrani razmerje med celičnimi beljakovinami in DNK) (Pérez-Schindler in Handschin, 2019). Mišična hipertrofija je večdimenzionalen proces, v katerem sodelujejo številni dejavniki; vključuje zapleteno interakcijo satelitskih celic, imunskega sistema, rastnih dejavnikov in hormonov s posameznimi mišičnimi vlakni vsake mišice (Hernandez in Kravitz, 2003).

Vpliv hormonov na delovanje mišic

Testosteron, moški spolni hormon, proizveden v testisih, je pomemben spodbujevalec rasti in razvoja moških spolnih organov ter primarnih in sekundarnih spolnih značilnosti (reproduktivnih in nereproduktivnih), spermatogeneze, mišične in kostne mase, eritropoeze (procesa zorenja eritocitov - rdečih krvnih teles) in presnove (Bhasin in Jasuja, 2019). Testosteron vpliva na živčni sistem, skeletne mišice, kostni mozeg, kožo, lase in spolne organe. V skeletni mišici ima testosteron,

ki je v znatno višji meri proizvajan pri moških, anabolni učinek (izgradnja mišic). Slednje prispeva k razlikovanju med spoloma v telesni masi in sestavi. Testosteron viša raven sinteze proteinov, kar povzroča hipertrofijo skeletne mišice. Prosti testosteron se s krvjo prenese v celice ciljnih tkiv, kjer se nespremenjen ali veže na androgeni receptor (AR) ali se najprej pretvori v dihidrotestosteron (DHT) in šele zatem veže z receptorjem. T-AR ali DHT-AR kompleks se nato strukturno spremeni tako, da se lahko premakne v celično jedro kjer se veže z DNK in tako vpliva na izražanje androgenih učinkov, med drugim tudi na izgradnjo novih beljakovin. Poleg neposrednega učinka na hipertrofijo skeletnih mišic vpliva testosteron tudi na število satelitskih celic v mišicah ter na število androgenih receptorjev v satelitskih celicah in s tem na občutljivost teh celic na testosteron. Zvišanje števila teh receptorjev je odvisno od doze testosterona (Sinha-Hikim s sod., 2003).

Staranje pri moških spremlja pomembno zvišanje ravni maščobnega tkiva in LDL. Mnogi indeksi telesne sestave so pomembno povezani z ravno testosterona v plazmi. Očitno je, da je poleg ravni testosterona, dejavnik sprememb telesne sestave tudi s staranjem povezana somatopavza (postopno in napredujoče zniževanje ravni izločanja ravnega hormona, povezano z zvišanjem ravni maščobnega tkiva in LDL) (Vermeulen s sod., 1999).

Kortizol, steroidni hormon, nastaja v skorji nadledvične žleze. Spada med stresne hormone (izloča se v stresnih situacijah, tudi med intenzivno TA). Deluje tudi kot antagonist hormona inzulina. Sspodbuja glukoneogenezo - tvorbo glukoze iz glikogena, izgradnjo prostih maščobnih kislin in beljakovin. Kortizol je kataboličen hormon, ki zavira hipertrofijo; zvišanje ravni kortizola je povezano s povišano hitrostjo katabolizma beljakovin. Kortizol razgrajuje mišične beljakovine, kar zavira hipertrofijo skeletnih mišic (Izquierdo s sod., 2001).

Rastni hormon je peptidni hormon, sestavljen iz 191 aminokislin, ki ga izločajo somatotropne celice prednjega režnja hipofize. V kontekstu hipertrofije skeletnih mišic rastni hormon spodbuja nastajanje IGF-1 v jetrih in mišicah ter tako vpliva na proliferacijo in diferenciacijo satelitskih celic (Menetrey s sod., 2000).

Rastni dejavniki so specifične beljakovine, ki se vežejo na specifične receptorje na celični membrani in vplivajo na proliferacijo in diferenciacijo celic. V kontekstu hipertrofije so najpomembnejši inzulinu podobni rastni dejavniki (IGF), hepatocitni rastni dejavniki (HGF) in fibroblastni rastni dejavniki (FGF) (Adams in Haddad, 1996).

IGF so polipeptidni hormoni, ki so, kot že ime pove, po zgradbi zelo podobni hormonu inzulinu. Obstajata dve obliki - IGF-1 in IGF-2; obe nastajata v jetrih in skoraj vseh telesnih tkivih. Nastajanje IGF spodbuja rastni hormon in intenzivna TA. V okviru hipertrofije pri odraslih ima pomembnejšo vlogo IGF-1; slednji spodbuja tvorbo beljakovin, proliferacijo in diferenciacijo satelitskih celic in inhibira apoptozo (Fiatarone Singh s sod., 1999).

HGF je celična signalna molekula - citokin, ki uravnava celično rast, motiliteto in morfogenezo. V kontekstu hipertrofije HGF aktivira proliferacijo satelitskih celic in je verjetno odgovoren za migracijo teh celic do mesta poškodbe (npr. zaradi TA) na mišični celici (Hawke in Garry, 2001).

FGF so družina rastnih dejavnikov (22 sorodnih dejavnikov), ki sodelujejo pri celjenju ran, tvorbi krvnih žil in razvoju zarodka. Nekateri med njimi spodbujajo proliferacijo satelitskih celic in lahko vplivajo tudi na hipertrofijo skeletnih mišic. Količina izločenega FGF je sorazmerna obsegu nastalih poškodb (Yamada s sod., 1989).

Razlogi, zakaj biti telesno aktiven

Ne glede na to, kdaj bomo pričeli vaditi, vedno bodo sledile koristi, ki jih bomo zaradi ukvarjanja s športom pridobili. Nekdanji *homo erectus* (pokončni človek) se današnji dan spreminja v *homo sedens* (sedeči človek). Ko presežemo to stanje, se bodo kmalu pokazale spremembe na vseh področjih našega življenja - biološkem, psihološkem in socialnem.

- Telesna aktivnost podaljšuje življenjsko dobo in omogoča, da tudi v pozni starosti ostajamo samostojni in neodvisni (Starc, 2015).
- Mišice ljudi, ki se redno ukvarjajo s športom, so močnejše in bolj prekrvavljene; mišična masa se povečuje, maščobne obloge pa izginjajo.

- Ljudem se izboljša mišični tonus, zato je tudi verjetnost poškodb nižja. Močne mišice ščitijo sklepe in kosti pred napačnimi obremenitvami. Posledično se odpravljajo bolečine v hrbtenici in izboljšuje telesna drža (Horvat, 2015).
- Telesna aktivnost ščiti pred osteoporozo, saj pripomore pri optimizaciji mineralne gostote kosti. Pomembna je vadba z utežmi (Starc, 2015).
 - Aerobna vadba povzroča, da srce postane močnejše in bolj vzdržljivo, zato deluje učinkoviteje in varčnejše. Prekrvavitev se izboljša, kar pripomore k boljši oskrbi s kisikom in hranljivimi snovmi. V mirovanju se zniža frekvenca srčnega utripa in poveša utripni volumen (Starc, 2015).
 - TA znižuje raven zgodnjega pojavljanja koronarnih bolezní in upočasnjuje starostno togost elastičnih arterij. Odrasli, ki se ukvarjajo s športom, imajo nižji sistolični tlak in počasnejšo hitrost pulznega vala (Blinc, 2015).
 - Z redno telesno vadbo se povečuje prostornina pljuč, dihalne mišice se okrepijo. Frekvenca dihanja postane enakomernejša in dihanje globlje, od šest do deset vdihov na minuto (Blinc, 2015).
 - Redna telesna vadba ima pozitiven vpliv na celoten živčni sistem, tako na motorične sisteme somatskega živčevja kot na avtonomno (vegetativno) živčevje. Pri treniranih je več refleksnih sinkop zaradi boljše razvite mreže kapilar v mišicah nog. Še tako majhen gib zahteva odgovor celotnega živčnega sistema (Danieli, 2015).
 - Izboljša se tudi delovanje možganov. Poviša se raven zmogljivosti uma, govorne sposobnosti in zbranost, sposobnost učenja, izboljša se pozornost in pomnjenje, izboljšata se odzivni in reakcijski čas (Grad in Baruca, 2015). Dokazan je pozitiven vpliv telesne aktivnosti na kognitivne sposobnosti mladih (starih od 4 do 18 let) (Sibley in Etnier, 2003).
 - Telesna aktivnost sprošča in pomirja; z njo pridobimo boljše samopodobo, razpoloženje in psihično stabilnost. Splošno počutje posameznika se izboljša. Veliko raziskav potrjuje pozitiven vpliv telesne aktivnosti na anksioznost in depresivnost. Strokovnjaki ta vpliv TA enačijo s psihoterapijo in celo z zdravljenjem z antidepresivi (Danieli, 2015).
 - Z zmerno TA spodbujamo delovanje imunskih celic in krepimo celoten imunski sistem. Obrambna sposobnost telesa in energijski nivo se okrepi, s čemer se zaščitimo pred mnogimi boleznimi in okužbami (Rotovnik Kozjek, 2015a)

- Redna TA pozitivno vpliva na presnovo holesterola, saj znižuje slabega (LDL) in trigliceride in zvišuje dobrega (HDL). Ob primerni prehrani se prav tako znižuje tveganje za pojavnost sladkorne bolezni tipa 2. Hkrati se tudi izboljša odzivnost na inzulin in toleranca na glukozo. Izboljša se energijska bilanca med vnosom in porabo kalorij in s tem preprečuje prekomerna telesna teža (Knap, 2015).
- Znižuje se možnost, da zbolimo za določenimi vrstami raka. Najbolj sta raziskana rak debelega črevesa in rak dojke. Raziskave so pokazale, da telesno aktivni ljudje zbolevaro manj (Rotovnik Kozjek, 2015a).
- Telesna vadba je učinkovito orodje za pozitivno moduliranje upadanja kognitivnih dejavnikov, povezanih s starostjo, pri starejših odraslih (Pereira s sod., 2019).
- Ob telesni aktivnosti se utrudimo, zato se izboljša tudi spanec: zaspimo hitreje, kakovost spanca je boljša, spimo dlje (Berendijaš, 2011).

Knap in Horvat (2015) navajata, da telesno aktivni ljudje manj zbolevaro za kroničnimi nenalezljivimi boleznimi, so imunsko odpornejši in zato manj zbolevaro za sezonskimi nalezljivimi boleznimi, imajo manj bolečin v križu in hrbtenici, izboljša se drža in gibanje celega telesa, uspešneje rešujejo miselne situacije, so bolj razpoloženi in manj izpostavljeni depresiji in anksioznosti, imajo višjo samozavest in samospoštovanje, večje splošno dobro počutje ter dalj časa ostajajo samostojni in v domačem okolju.

Zakaj biti telesno aktiven? Zato, ker smo lahko zdravi in sposobni premagovati različne težave samo, če smo v taki telesni vzdržljivosti, ki ustreza človeku, upoštevajoč njegov stotisočletni razvoj. V 99 % časovnega obdobja zgodovine je moral biti človek kot lovec telesno močan okreten in vzdržljiv, sicer ni preživel. V moderni dobi pa se mestni človek malo giblje, a je še vedno izpostavljen številnim stresom. Najučinkovitejši, če ne edini neškodljivi način za umiritev stresa pa je dolgotrajno in pospešeno telesno naprežanje (Rugelj, 1997).

Pravila, ki jih upoštevamo tako v športu kot tudi v vsakdanjem življenju

- Bodimo potrpežljivi s svojim telesom in svojimi občutki.
- Ne primerjajmo se s preostalimi udeleženci ali neudeleženci TA. Smo unikat in pravico imamo, da reagiramo po svoje.

- Postavimo si realne cilje, ker bo napredek zato slajši.
- Ne bojmo se padcev, ker so del učenja. Poberimo se in nadaljujmo začrtano pot.
- Ne postavljajmo si časovnih rokov, saj imamo dovolj časa na voljo.
- Ne čakajmo na jutri in pričnimo sedaj, ker jutri si bomo želeli, da bi pričeli že včeraj.
- Izbrišimo besedo »ne zmorem« iz našega uma. Nič ni tako nemogoče, kot izgleda na prvi pogled.
- Vztrajajmo in nikakor ne odnehajmo. Napredovati se da tudi z malimi koraki.
- Razmišljajmo o sebi pozitivno, saj je vse, kar potrebujemo, že v nas.
- Bodimo delovni in vložimo trud v svoje delo, kmalu se bodo pokazali pozitivni rezultati.

Koliko in kako biti telesno aktiven

Priporočila, ki nas usmerjajo v šport in gibanje, ne govorijo več le o telesni aktivnosti na splošno, pač pa slednjo razdelijo na intenzivnost in trajanje. Intenzivnost delimo na dve skupini (Horvat, 2015):

- **zmerno (srednje) intenzivna TA:** hitra hoja, lahkoten tek, zmerno kolesarjenje, izletništvo, rekreativne športne igre (košarka, rokomet, odbojka, tenis, ...), rolanje, pohodništvo, nordijska hoja, pilates, obhodna vadba v fitnesu, zunanji fitnes, plavanje, smučanje in deskanje na snegu, veslanje,... Pri zmerno intenzivni TA je dihanje nekoliko pospešeno, a zmoremo se še pogovarjati, v telesu čutimo toploto in srčni utrip je že pospešen;
- **visoko intenzivna TA:** hitrejši in dolgotrajnejši tek, fartlek, aerobika, zumba, funkcionalno urjenje, badminton, pohodništvo po sredogorju, intenzivno plavanje, kolesarjenje po hribovitem terenu, tekmovalno igranje športnih iger, tek na smučeh... Pri visoko intenzivni TA je med vadbo dihanje pospešeno in glasno, ne zmoremo se pogovarjati, potimo se, srčni utrip je močnejše pospešen. Pospeši se presnova in sicer na raven, ki je več kot šestkrat višja od tiste v mirovanju.

Tudi trajanje TA ima svoje značilnosti. Da bo TA koristila zdravju, mora biti redna in trajati vsak dan vsaj 30 minut. Govorimo torej o vsaj 210 minutah vadbe na teden (NIJZ, 2009).

Za vsebino vseh sodobnih priporočil velja: bolje je vsaj nekaj TA kot nobene (četudi le 1 x tedensko); z naraščanjem intenzivnosti in trajanjem TA naraščajo tudi koristi za zdravje; zdravstvene koristi daleč presegajo morebitne rizike z ukvarjanjem s TA; TA je koristna v vseh življenjskih obdobjih (Horvat, 2015).

Telesna aktivnost in cirkadiani ritem

Cirkadiani ritem se veže na ciklične spremembe, ki se ponavljajo v 24 h. To so nihanje telesne temperature, ravni hormonov (kortizol, melatonin), ritma spanja in budnosti, hranjenja, krvnega tlaka, deljenja celic, kostnega metabolizma in imunosti. Cirkadiani ritmi optimirajo fiziologijo in zdravje s časovnim usklajevanjem celične in tkivne funkcije ter vedenja. Ti endogeni ritmi s starostjo slabijo in z njimi slabi tudi časovno usklajevanje (Manoogian in Panda, 2017).

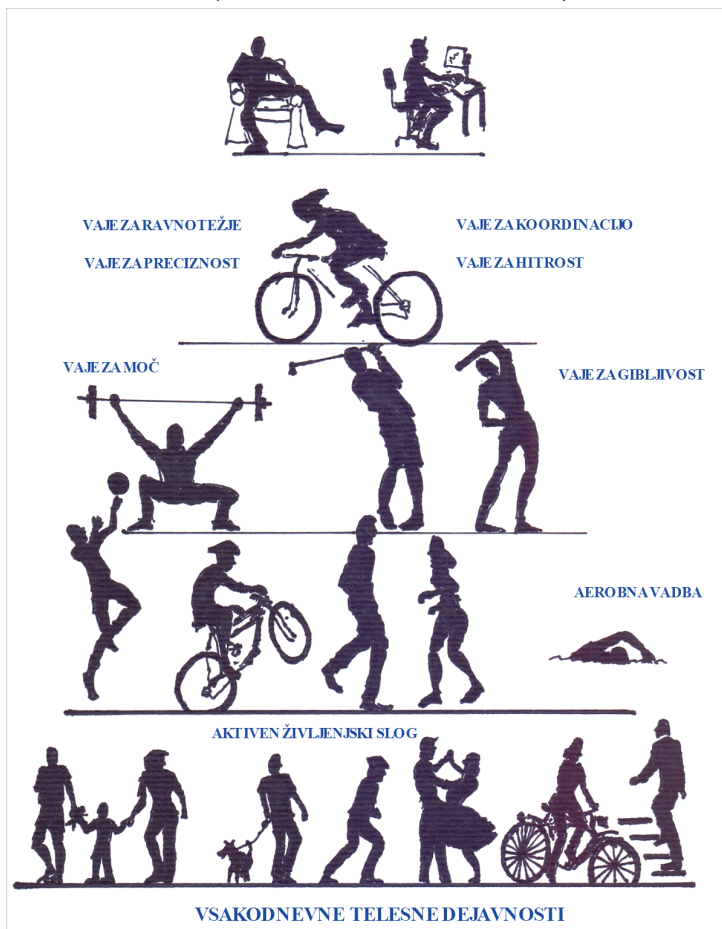
Za ohranjanje homeostaze z upoštevanjem cirkadianega ritma je potrebnih osem ur spanja, osem ur intenzivnega, zavzetega dela in osem ur sprostitve (formula cirkadianega ritma: $3 \cdot 8 = 24$). S poznavanjem vpliva cirkadianega ritma spimo ponoči, hodimo spat zmeraj ob enaki uri, prav tako se zbuja ob enaki uri, ne jejmo pred spanjem, glavne obroke hrane uživamo v urah, ko je svetloba sonca maksimalne intenzivnosti. Po delavniku se sproščajmo, gibajmo na svežem zraku in soncu, meditirajmo, berimo, ukvarjajmo se s konjički.

Cirkadiani ritmi dokazano vplivajo na razvoj bolezni ter na telesno in psihično sposobnost posameznikov, še zlasti športnikov in študentov (Španinger in Fink, 2007).

Telesna vadba

Telesna vadba je načrtovana, strukturirana in ponavljajoča se gibalna aktivnost, ob kateri si vadeči prizadeva za izboljšanje ali ohranjanje enega oziroma več komponent telesne pripravljenosti (SZO, 2017). Piramido telesnih aktivnosti prikazuje slika 2.

Pomembno je poudariti, da ločimo med telesno dejavnostjo in telesno vadbo. Telesno dejavni smo takrat, ko opravljamo vsakodnevna opravila, na primer pomivamo posodo, čistimo okna, obrezujemo živo mejo, peremo, obešamo in likamo perilo, čistimo stanovanje, hodimo po stopnicah. Omenjeno vsakodnevno gibanje je nekakšna skrita telovadba in je vsekakor koristno. Vsakodnevno gibanje delimo na transportne dejavnosti, pri katerih se premikamo po prostoru oziroma zunanjih površinah in na delovne dejavnosti, pri katerih smo bolj statični. Zagotovo pri obeh oblikah telesnih dejavnosti naredimo nekaj za svoje telo in zdravje, saj ob tem potrošimo določeno energijo. Nikakor pa teh telesnih dejavnosti ne smemo zamenjati za telesno vadbo (Kholodov in Kuznetsov, 2001).



Slika 2: Piramida telesnih aktivnosti.

Vir: NIJZ, 2017

Pomembno je poudariti, da ločimo med telesno dejavnostjo in telesno vadbo. Telesno dejavni smo takrat, ko opravljamo vsakodnevna opravila, na primer pomivamo posodo, čistimo okna, obrezujemo živo mejo, peremo, obešamo in likamo perilo, čistimo stanovanje, hodimo po stopnicah. Omenjeno vsakodnevno gibanje je nekakšna skrita telovadba in je vsekakor koristno. Vsakodnevno gibanje delimo na transportne dejavnosti, pri katerih se premikamo po prostoru oziroma zunanjih površinah in na delovne dejavnosti, pri katerih smo bolj statični. Zagotovo pri obeh oblikah telesnih dejavnosti naredimo nekaj za svoje telo in zdravje, saj ob tem potrošimo določeno energijo. Nikakor pa teh telesnih dejavnosti ne smemo zamenjati za telesno vadbo (Kholodov in Kuznetsov, 2001).

Osnovna značilnost telesne vadbe je prilagajanje organizma na napor; ključnega pomena so zato primeren počitek, odmor in obnovitvena vadba. Za celostno načrtovanje funkcionalne vadbe potrebujemo védenja o osnovah gibanja in vrstah telesne vadbe.

Priporočila pred pričetkom vadbe

Intenzivnost vadbe naj bo v začetku nizka, še zlasti, kadar nismo bili telesno aktivni dalj časa; trajanje vadbe naj ne bo predolgo, raje začnimo postopoma in sčasoma podaljšujemo; osnovna vadba naj vsebuje aerobno vadbo, prav tako vadbo za moč in gibljivost; z vadbo pričnimo 3-krat tedensko in sčasoma preidimo na 5-krat tedensko, dokler ne dosežemo spodnje meje priporočene vadbe - vsak dan pol ure za odrasle in eno uro za otroke in mladino. Pri ukvarjanju s športom je potrebno upoštevati osnovna pravila, da se izognemo morebitnim poškodbam in nesrečam. Vsaka vadbena enota ima svojo zgradbo in pozorni moramo biti na vse dele (Ušaj, 2012).

Ogrevanje ali uvodni del

Ne glede na to, s kakšnim športom se ukvarjamo, vedno se moramo pred vadbo ogreti. Za ogrevanje je najprimernejši lahkoten tek ali kakršnakoli ciklična aktivnost, ki se izvaja z nizko in zmerno intenzivnostjo (hitra hoja, nordijska hoja, kolesarjenje, veslanje, korakanje v fitnesu, preskakovanje kolebnice,...). V uvodnem delu se zvišata srčni utrip in telesna temperatura, poviša se prekrvavitev in aktivacija, s čimer telo pripravimo za nadaljnje delo (Ušaj, 2012).

Gimnastične vaje

Z njimi, kakor da naoljimo sklepe in mišice ter jih pripravimo na večji napor. Gimnastične vaje naj vsebujejo elemente, ki zajemajo velike skupine mišic v telesu: ramenski obroč in medenični obroč, hrbtenico, prav tako ne smemo pozabiti na roke in noge. Za te vaje je značilno, da dosežemo lokalne učinke, zato se pogosteje posvečamo tistim mišičnim skupinam, ki jih bomo pri naši aktivnosti bolj obremenjevali. Z vajami se poviša pretok krvi skozi mišice in sklepe, posledično se poviša temperatura in mišica se s tem dodatno ogreje (Pistotnik, 2017).

Glavni del

Ušaj (2012) razlaga, da je glavni del vadbene enote tisti del, v katerem skušamo doseči cilje, ki smo si jih z vadbo zadali: pridobivanje moči, izboljševanje koordinacije, povišanje gibljivosti, pridobivanje mišične mase, izboljšanje tehnike gibanja, ... Kontrolirati je potrebno maksimalno frekvenco utripa srca. Če je TA predvsem aerobna, moramo biti pozorni na to, da ne presežemo priporočil o aktivnosti v varnem območju za naše srce. Maksimalno frekvenco utripa srca izračunamo tako, da od števila 220 odštejemo starost posameznika.

Umirjanje in raztezanje

Priporočila o koncu telesne aktivnosti govorijo o aerobni TA nizke intenzivnosti (ponovno lahkoten tek), saj s tem zagotovimo organizmu hitrejšo regeneracijo - obnovo. Po koncu glavnega dela vadbene enote se je priporočljivo »izteči«, »izkolesariti«, »izrolati«, ... da se mlečna kislina čim prej odstrani iz mišic. Šele, ko je odstranjena, je smiselno mišice raztegniti. Z razteznimi vajami (slika 3) pomagamo mišicam, da se hitreje znebijo produktov razgradnje (Pistotnik, 2017).



Slika 3: Aktivnosti »Raztezanje in umirjanje« (po koncu vadbe)

Vir: lasten.

Če je telesna vadba vsebovala veliko vaj za moč, z razteznimi vajami onemogočimo razvoj delta mišičnega stanja. To je pojav, ko se mišica, ki je bila izpostavljena velikemu naporu, z raztezanjem vrne v prvotno stanje (da ne ostane zadebeljena in skrajšana).

Shariat in sodelavci (2018) so raziskali učinke razteznih vaj na mišično-skeletne težave pisarniških delavcev. Telesna vadba izboljšajo nelagodje, ki ga zaradi sedečega življenjskega sloga in uporabe računalniške miške občutijo pisarniški delavci. Slednji naj bi vsak dan vsaj 15 min namenili telesni vadbi, še zlasti so učinkovite raztezne vaje.

Vrste telesne vadbe

NIJZ (2018) navaja naslednje vrste redne telesne aktivnosti: aerobne gibalne aktivnosti, vaje za zdrave kosti, vaje za ohranjanje mišične mase, vaje za gibljivost in vaje za moč. Med aerobne gibalne aktivnosti uvrščamo na primer hitro hojo, tek, kolesarjenje, ples, planinarjenje, gornišstvo, smučanje, tek na smučeh, plavanje, aerobiko, košarko in nogomet. Ker aerobne gibalne aktivnosti ohranjajo in izboljšujejo splošno vzdržljivost, jih je priporočljivo izvajati čim večkrat na teden, najbolje vsak dan vsaj 45 min. Med vaje za zdrave kosti sodijo tiste vrste TA, ki kost mehansko obremenijo (na primer dvigovanje primernih uteži ali bremen, igre z žogo, igre z loparji, skakanje, nogomet, gimnastika, ples, aerobika). Vaje za zdrave kosti prispevajo k zvišanju ali ohranjanju mineralne kostne gostote in dolgoročno znižujejo raven tveganja za osteoporozo in zlom kolka. Med vaje za ohranjanje in

krepitev mišične moči sodi dvigovanje in nošenje bremen. Z omenjenimi vajami, pod domnevo načela primernosti, varujemo pred poškodbami tudi sklepe. Med vaje za gibljivost in vaje za moč, ki ohranjajo gibljivost in moč človekovega telesa, sodijo vaje, kot so predklon, dvigovanje rok nad glavo, počepi, pa tudi športne dejavnosti, kot sta joga (izvajanje asan) in balet. Za ohranjanje moči je priporočljivo izvajati vaje z bremenem oziroma utežmi in vaje v fitnessu. Za primerno vadbo je vsekakor potrebno slediti nekaterim vodilom za varno vadbo. Ozek izbor le-teh je opisan v nadaljevanju.

Vadba za vzdržljivost - aerobna vadba

Vzdržljivost je telesna sposobnost, da lahko opravljamo fizično aktivnost dalj časa. Pridobivamo in izboljšujemo si jo s ciklično vadbo aerobnega tipa, kjer so udeležene velike oziroma najboljše kar vse mišične skupine (tek, nordijska hoja, hitra hoja, veslanje, plavanje, rolanje, kolesarjenje, pohodništvo,...) (Everett in Kell, 2010).

Vzdržljivost je povezana s trajanjem TA in intenzivnostjo obremenitve oziroma napora. Osnovna aktivnost za pridobivanje aerobne vzdržljivosti je tek (slika 4).



Slika 4: Aktivnost »Tek na tekalni stezi«(aerobna vadba).

Vir. lasten.

Vadba za vzdržljivost izboljšuje mišično vzdržljivost in blagodejno vpliva na srčno-žilni sistem. Zaradi navedenega ta vadba omogoča dolgotrajnejše opravljanje telesnih dejavnosti in aktivnosti z manj znaki utrujenosti. Pomembna je tudi pri kontroli telesne mase in takrat, ko želimo shujšati. Tovrstna vadba je osnova vseh športnih aktivnosti in je pomembna predvsem kot preventiva pred poškodbami. Priporočeno je, da se s tovrstno vadbo ukvarjamo tri do štirikrat na teden, posamezna vadbena enota pa naj ne bo krajša od 10 minut (Bundy in Leaver, 2011).

Pri telesni vadbi imamo možnost uporabljati tri osnovne oblike:

- **kontinuirano metodo**, pri kateri izvajamo izbrano ciklično gibanje v enakomernem tempu, brez vmesnih prekinitev;
- **intervalno metodo**, pri kateri izvajamo vadbo v različnih intervalih - menjujeta se telesna aktivnost in počitek. Prisotni so intervali obremenitve in intervali počitka ali odmora. Interval odmora je lahko pasiven (počivamo) ali aktiven (znižamo obseg izvajanja aktivnosti);
- **fartlek** je metoda, pri kateri spreminjamo hitrost telesne aktivnosti. Podobna je intervalni metodi, vendar je manj strogo določena. Vadbo spreminjamo s hitrejšimi ali počasnejšimi vložki (Strojnik, 2012).

Aerobna vadba je učinkovita pri zdravljenju kognitivnih motenj, neurodegenerativnih bolezni - Parkinsonove in Alzheimerjeve bolezni (Silveira s sod., 2018), srčno-žilnih obolenj bolnikov s sladkorno boleznijo tipa 2 (Bellavere s sod., 2018), pljučnih vnetij in astme (Aquino-Junior s sod., 2018), znižuje tudi jetrno steatozo pri nealkoholno povzročeni zamaščenosti jeter (Hashida s sod., 2017).

Vadba za moč

Na moč lahko gledamo z vidika mehanike ali gibalnega obnašanja. Z vidika mehanike je moč delovanje sile pri določeni hitrosti in se izračuna kot produkt sile in hitrosti. Moč, kot gibalna sposobnost, je definirana kot sposobnost učinkovitega gibalnega delovanja proti zunanemu ali notranjemu uporju (oviri). Glede na to, kako z mišično močjo premagujemo zunanje ovire, poznamo tri osnovne mišične moči (Everett in Kell, 2010):

- **eksplozivna moč**, ki je pomembna za maksimalni začetni pospešek telesa in se vidi kot premikanje telesa po prostoru. Uporabljamo jo pri acikličnih gibanjih (skokih, metih, poskokih, udarcih, sprintih, preskokih),
- **repetitivna moč**, kjer gre za ponavljajoče se premagovanje zunanjih sil - ciklična gibanja (tek, kolesarjenje, plavanje, sklece....) (slika 5) ter
- **statična moč**, za katero je značilno, da se ne vidi kot premikanje telesa po prostoru, pač pa gre za zadrževanje telesa ali dela telesa pod obremenitvijo. Uporabljamo jo pri nošenju predmetov, stiskih, da ohranjamo pokončno držo telesa, ko se upiramo gravitaciji (Everett in Kell, 2010).



Slika 5: Vaja »Sklece« (za razvijanje repetitivne moči).

Vir: lasten

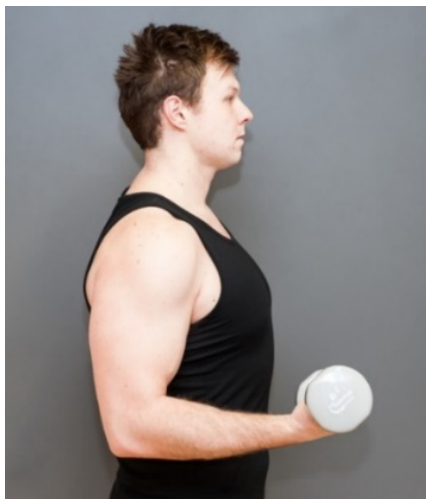
Vadba za moč je vadba, kjer mišice obremenimo z velikimi obremenitvami, število ponovitev pa je majhno. Moč naj bi trenirali vsaj dvakrat tedensko (Strojnik, 2012). Za vsakdanje in športno rekreativno življenje je pomembno, da izboljšujemo aktivacijo mišic in ohranjamo mišično maso.

Dolenc in sodelavci (2017) navajajo naslednje metode treniranja moči:

- metoda največjih napreznj mišic (namenjena močnejši aktivaciji izbranih mišic),
- reaktivna - zaporedna metoda (izboljšanje refleksne aktivacije mišic),
- mešana metoda (s hitrimi gibi, meti, poskoki),
- metoda submaksimalnega mišičnega napreznja (pridobivanje mišične mase),
- metoda vzdržljivosti v moči (preprečuje zakisanje mišic).

Za urjenje moči imamo na voljo dve osnovni obliki (Everett in Kell, 2010):

- vadba na postajah, s katero dosežemo rezultate na področju pridobivanja moči (običajno vključujemo trenažerje, ročke, uteži ali drog. Najprej izvedemo vse serije iste vaje, šele nato se lotimo naslednje vaje) (slika 6);



Slika 6: Vaja »Z ročkami«.

Vir: lasten.

- krožna vadba, s katero pridobljeno moč ohranjamo (izberemo osem do dvanajst vaj v takim zaporedju, da si enake mišične skupine ne sledijo zaporedoma. Obstajata dve različni izvedbi - število ponovitev v eni seriji ter minutni cikel) (Everett in Kell, 2010).

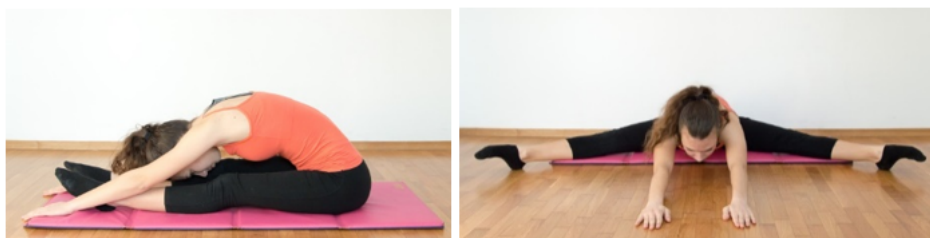
Vadba za moč je učinkovita pri zdravljenju nevrodegenerativnih bolezni (Broadhouse s sod., 2020), srčno-žilnih obolenj bolnikov s sladkorno boleznijo tipa 2 (Bellavere s sod., 2018), pri zdravljenju srčno-žilnih obolenj pacientov z normalno težo (Drenowatz s sod., 2015), jetrne steatoze pri nealkoholno povzročeni zamaščenosti jeter (Hashida s sod., 2017) ter učinkovit ukrep izboljšanja kakovosti spanja (Kovacevic s sod., 2017). Prav tako izboljša simptome, specifične za motnje povezane z anksioznostjo in depresijo (LeBouthillier in Asmundson, 2017).

Vadba za gibljivost

Gibljivost je gibalna sposobnost doseganja velikih amplitud gibanja in velikih razponov. Lahko je značilna za vse telo ali ima lokalni značaj. Priporočljivo je, da bi se vadba za gibljivost izvajala vsaj dvakrat tedensko. Strojnik (2012) navaja naslednje metode raztezanja mišic:

- dinamično raztezanje (kontrolirano izvajamo vaje in dosegamo maksimalne amplitude v sklepih),
- kratki raztegi (delujemo lokalno na točno določeno mišico ali sklep),
- statično raztezanje (posamezne dele telesa zadržujemo v položaju maksimalnih amplitud)

V uvodnem delu vadbene enote uporabljamo predvsem dinamično raztezanje, da pripravimo telo na obremenitve nadaljnega urjenja. Ko z vadbo zaključujemo, uporabimo statično raztezanje - za umirjanje in obnovo tkiv (slike 7 do 9).



Slika 7: Vaja »Kleščec« (za izboljšanje gibljivost).

Vir: lasten.



Slika 8: Vaja »Plug - prenos nog preko glave« (vaja za izboljšanje gibljivosti).

Vir: lasten.



Slika 9: Vaja »Špaga ob steno v paru«.

Vir: lasten.

Z dobrim raztezanjem dosežemo boljšo gibljivost v sklepkih, sproščenost mišic in elastičnost tkiv. Višji nivo gibljivosti znižuje možnost poškodb mišic in sklepov, zvišuje gibalno učinkovitost in sposobnost celotnega lokomotorne aparata ter pripomore k boljši regeneraciji mišic (Chaitow, 2003).

Vadba za ravnotežje

Ravnotežje je gibalna sposobnost telesa, da se vzdržuje ravnotežni položaj tako, da se nadzira center gravitacije telesa v bazi opore. Poiskati nam pomaga ravnovesje med vključevanjem in izključevanjem mišic. Ravnotežje vključuje čutne vhode gibalnega ravnotežja, ki se delijo na proprioreceptorje in eksteroreceptorje. Prvi so pomembni, ker se nahajajo v notranjosti telesa; mednje sodi tudi ravnotežni organ, ki je čutilo v notranjem ušesu in daje informacije o položaju glave. Drugi pa vključujejo organe s površine telesa. Eksteroreceptorji in proprioreceptorji se med seboj prepletajo in jih ni mogoče ločiti (Gregorc, 2014).

Ravnotežje je pomembno v vsakdanjem življenju, nezavedno in neprekinjeno ga ohranjamo skozi ves dan, razen med ležanjem. Dobro ravnotežje je izrednega pomena pri športnih aktivnostih, predvsem v alpinizmu, pri smučanju, jadraniu, kotalkanju, supanju, ... Z vadbo za ravnotežje lahko vplivamo na del telesa ali sklep, katerega želimo izboljšati (stabilizacija gležnja, kolena, ledvenega dela hrbtenice, ...) ali vadimo ravnotežje celotnega telesa (slika 10) (zanimivo za starostnike, ki začnejo ravnotežje izgubljati) (Calatayud s sod., 2015).



Slika 10: Vaja »Škarjice v opori« (za razvoj koordinacije in ravnotežja)

Vir: lasten.

Strojnik (2012) navaja naslednje metode za urjenje ravnotežja: statično ravnotežje, pol dinamično ravnotežje ter dinamično ravnotežje. Bistvo vadbe za ravnotežje je »loviti« ravnotežje in ne »imeti« ravnotežje (slika 11). Z dobrim ravnotežjem pridobimo večjo stabilnost tako v sklepih kot v celotnem telesu, bolje se zavedamo telesa in ga močnejše čutimo, gibanje izvajamo natančneje in z manj napora, nižja je tudi možnost poškodb.

Vadbo lahko izvajamo na eni ali več oseh hkrati. Pri urjenju uporabljamo tudi metodo, da vadimo z zaprtimi očmi, saj s tem poudarimo tudi vlogo proprio-receptorjev. Slabo razvito ravnotežje je lahko vzrok številnim težavam: bolečinam v hrbtenici, nestabilnosti telesa, slabši koordinaciji. Vadba ravnotežja je povezana z izboljšanjem koordinacije delovanja mišic in sklepov. Vadba za ravnotežje je učinkovita za dinamično ravnotežje obolelih s Parkinsonovo boleznijo (Atterbury in Welman, 2017; Elangovan s sod., 2020).



Slika 11: Vaja »Stoja na lopaticah«.

Vir: lasten.

Tudi vadba joge vključuje mnoge elemente vadbe za ravnotežje (na primer položaji gora, drevo, stol in bojevnik) (Elangovan s sod., 2020).

Vadba za koordinacijo

Koordinacija je gibalna sposobnost usklajenega delovanja, še posebej v nenaučenih in nepredvidljivih situacijah. Je usklajeno krčenje in/ali sproščanje mišičnih skupin in lahko poteka na obeh ravneh, zavestno in brez zavestnega nadzora (avtomatsko). Ker ima človek sposobnost prefinjenega delovanja in nadzorovanega gibanja, se prav po tej gibalni sposobnosti najbolj razlikuje od živali. Koordinacija je kompleksna sposobnost in jo imenujemo tudi telesno gibalna inteligentnost (Berendijaš, 2011). Za urjenje koordinacije imamo na voljo tri osnovne tipe: urjenje gibanja celotnega telesa, urjenje gibanja nog ter urjenje gibanja rok (Strojnik, 2012). Z doseženo visoko ravno koordinacije se med telesno aktivnostjo mnogo manj utrudimo, pri izvajanju zapletenih in kompleksnih gibanj pa se počutimo bolj gotovo.

Koordinacija je sposobnost učinkovitega oblikovanja in izvajanja kompleksnih gibalnih nalog. Kaže se v učinkoviti realizaciji časovnih, prostorskih in dinamičnih dejavnikov gibanja. Osnovne značilnosti koordiniranega gibanja so pravilnost, pravočasnost, racionalnost, izvirnost in stabilnost (Pistotnik, 2017).

Primeri vaj za koordinacijo so podobni vajam za ravnotežje, saj sta koordinacija in ravnotežje tesno povezana mehanizma. Povezujeta centralni živčni sistem (možgane in hrbtenjačo) s perifernim živčnim sistemom in skeletnimi mišicami. Skupna značilnost obeh mehanizmov je dober nadzor gibanja.

Johann in sodelavci (2016) navajajo pozitivne, a različne učinke vadbe za vzdržljivost in vadbe za koordinacijo na učne sposobnosti mladih, ki pri pouku večinoma sedijo. Vadba za koordinacijo je koristna zlasti za posameznike, ki iz kakršnegakoli razloga ne morejo vaditi za vzdržljivost. Liu in sodelavci (2018) navajajo, da je vadba za koordinacijo učinkovita pri izboljšanju kognitivnih sposobnosti, hkrati pa zvišuje telesno pripravljenost in znižuje raven pojavnosti debelosti.

Vadba za preciznost

Preciznost je gibalna sposobnost za natančno določitev smeri in sile pri usmeritvi celotnega telesa ali le dela telesa proti želenemu cilju. Pojavni obliki preciznosti sta dve:

- vodeni predmet se privede do cilja ter

– vrženi predmet zadane cilj (Morris, 1937).

Preciznost se da izboljšati in trenirati z razvijanjem fine motorike, kjer treniramo majhne mišice in mišične skupine rok, zapestja prstov, nog in tudi glave. Predvsem je vezana na koordinacijo oko - roka. Njen razvoj se začne že v zgodnjem otroštvu, pomena se pa zavemo v zrelih letih, ko preciznost začnemo izgubljati (Berendijaš, 2011).

Vadba za hitrost

Hitrost je gibalna sposobnost izvedbe določenega gibanja z najvišjo frekvenco v najkrajšem možnem času. Strojnik (2012) navaja tri osnovne pojavne oblike: hitrost reakcije ali hitro reagiranje, hitrost enega samega giba ter hitrost ponavljajočih se gibov ali sposobnost ponavljanja gibov z veliko frekvenco (sprint). Hitrost kot gibalna sposobnost v vsakdanjem življenju in v rekreativnem športu nima velikega pomena; pomemben del urjenja pa je pri tekmovalnih športih. Na visoko raven hitrosti vplivajo tudi druge gibalne sposobnosti - visoka raven gibljivosti, eksplozivne moči in koordinacije. Urjenje hitrosti poteka z metodami ponavljanja, z alternativno metodo, z metodo hendikepa ali metodo štafetnih iger (Berendijaš, 2011).

Pomen telesne aktivnosti na svežem zraku

Dejstvo je, da vse, kar je izpostavljeno zraku (kisiku), oksidira. Oksidacija je proces razpadanja, staranja. Ta proces je v naravi nujen. Človeškemu organizmu je kisik nujno potreben. Iz tega razloga je človeku nujno potrebno gibanje na svežem zraku, saj telo preskrbuje s kisikom. Hkrati se z vsakim vdihom staramo. Proces oksidacije lahko uravnavamo z reducenti - antioksidanti. Pomen antioksidantov je za gibalni cikel človeka zato ključen.

Andrade in Dominski (2018) v pregledni študiji primerjata kakovost zraka med notranjimi in zunanji prostori, ki so namenjeni izvajanju telesne vadbe. Primerjava kaže na višjo raven onesnaževal v zaprtih prostorih (na primer drsališča, športne dvorane, telovadnice in fitness centri). Največkrat raziskani onesnaževali v zaprtih prostorih sta CO in NO₂. Potrebne so nadaljnje raziskave vpliva onesnaževanja na zdravje.

Kombinirani učinek onesnaženega zraka in telesne aktivnosti je povezan z višjim tveganjem za zdravje (kardiopulmonalne in imunske funkcije) in uspešnosti vadbe. Nadaljnje raziskave naj bi preučile različne programe vadbe (intenzivnost, trajanje in način vadbe), različne izpostavljenosti onesnaženemu zraku (spojine in odmerek) ter njihov kombinirani učinek na zdravje (Qin s sod., 2019).

Moslehi in sodelavci (2019) navajajo, da je aerobna vadba na prostem učinkovitejša kot aerobna vadba na tekalni stezi v zaprtem prostoru; raziskan je vpliv na raven Orexin-A v serumu in učinkovitost hujšanja pri mladostnikih s prekomerno telesno maso.

Z metodo Wim Hof, ki združuje zavestno dihanje, meditacijo in izpostavitve telesa nizkim temperaturam, dokazano aktiviramo avtonomni živčni sistem. Bistvo dihalnih vaj metode Wim Hof je globoko dihanje v ritmu. Vaje se izvajajo na način, da naredimo štiri serije dihalnih vaj po 30 do 40 vdihov. Zadnji vdih zadržimo 5–15 s, izdihnemo in vztrajamo v tem sproščenem stanju brez ponovnega vdiha. Ko začutimo potrebo po vdihu, ponovno vdihnemo (Hof, 2019). Z dihalnimi vajami po metodi Wim Hof upade raven ogljikovega dioksida v telesu, raven kisika se zviša, posledično se zviša alkalnost krvi (Muzik s sod., 2018). Dihanje po metodi Wim Hof dokazano vpliva na aktivacijo imunskega sistema in na posameznikovo sposobnost aklimatizacije (Buijze in Hopman, 2014).

Sporočilo za medije Evropske komisije (2013) navaja, da zaradi slabe kakovosti zraka umre več državljanov EU kot v prometnih nesrečah. Slaba kakovost zraka je najpogostejši vzrok prezgodnjih smrti v EU. Poleg tega slaba kakovost zraka vpliva na kakovost življenja astmatikov in ljudi s težavami z dihali. Medtem ko je politika EU o kakovosti zraka prinesla občutno znižanje ravni škodljivih onesnaževalcev, kot so delci, žveplov dioksid (glavni povzročitelj kislega dežja), svinec, dušikov oksid, ogljikov monoksid ter benzen, pa glavni problemi ostajajo nerešeni. Koncentracije drobnih delcev in ozona še naprej predstavljajo pomembno zdravstveno tveganje, poleg tega pa so varne meje za zdravje redno presežene.

Pomen telesne aktivnosti ob izpostavljenosti žarkom sonca

Ob zadostni izpostavljenosti svetlobi sonca se v koži sintetizira vitamin D (kalciferol). Ta vitamin je bistven za absorpcijo - vsrkavanje kalcija. Pomanjkanje vitamina D povzroča motnjo homeostaze kalcija in presnove fosfatov. Hipovitaminoza vodi do rahitisa pri dojenčkih in otrocih; zaradi motnje pri mineralizaciji kosti so za rahitis značilne deformacije skeleta in izrastline na hrustancih. Drugi simptomi rahitisa so zakasnela rast in razvoj zob, nižja moč mišic, nižji mišični tonus in povišana občutljivost za infekcije (Hlastan Ribič, 2010).

Pomanjkanje vitamina D je povezano s povišanim tveganjem za srčno-žilna obolenja, sladkorno boleznijo tipa 2 ter z duševnimi obolenji (Giovannucci s sod., 2008; Mattila s sod., 2007; Menkes s sod., 2012). Z aktiviranjem makrofagov, dendritičnih celic in limfocitov ureja vitamin D tudi priložene in pridobljene imunske funkcije (Hewison, 2010). Hipovitaminoza D zvišuje tveganje okužbe dihal in sklepnih vsadkov (Ginde s sod., 2009; Maier s sod., 2014).

Maier in sodelavci (2017) navajajo, da vitamin D ni pomemben le za zdravje kosti, temveč ima pomembno vlogo tudi pri imunomodulaciji, uravnavanju vnetij in citokinov, celični poliferaciji in diferenciaciji, apoptozi, angiogenezi, mišični moči in krčenju mišic; ključen je za zdravje mišično-skeletnega sistema (spodbuja absorpcijo kalcija iz črevesja, omogoča mineralizacijo novo oblikovanega osteoidnega tkiva in kosti ter ima pomembno vlogo pri delovanju mišic).

Dejstvo, da je svetloba sonca ena najučinkovitejših poti za tvorbo naravnega vitamina D v telesu, je dobro znano, mnogo manj je znano dejstvo, da zmerno izpostavljanje svetlobi sonca znižuje raven pojavnosti rakavih obolenj (Egan s sod., 2005).

Asyary in Veruswati (2020) sta raziskala vpliv izpostavljenosti žarkom sonca med obolelimi za Covid-19 v Indoneziji. Navajata, da je izpostavljenost žarkom sonca bistveno povezana z okrevaljem po aktualni virozi. Poudarjata, da izpostavljenost žarkom sonca ni povezana z okužbami s koronavirusom (SARS-CoV-2) in posledično obolevnostjo za Covid-19. Izpostavljenost žarkom sonca predstavlja resničen potencial za pospešitev okrevanja po obolevnosti s Covid-19 še zlasti v državah, kjer je zaradi omenjene pandemije visoka raven smrtnosti.

Pomen TA v neposrednem fizičnem stiku s površino tal

Presenetljivo pozitiven in spregledan okoljski dejavnik na področju zdravja je neposreden fizični stik s površino tal. Sodoben življenjski slog ljudi ločuje od takega stika. Povezava z elektroni na površju tal dokazano spodbuja fiziološke spremembe in dobro počutje. Dnevni ritem stresnega hormona kortizola se z ozemljenostjo normalizira. Kortizol je povezan s stresnim odzivom telesa. Njegova vloga je v nadzorovanju ravni sladkorja v krvi, uravnavanju presnove, zniževanju obsega vnetnih procesov in formulaciji spomina. Prednosti ozemljitve, pa najsi bo to hoja, sedenje ali gibanje zunaj, ustvarjanje ali spanje v zaprtih prostorih, povezanih s prevodnimi sistemi, ki prenašajo elektrone Zemlje iz tal v telo, so izboljššan spanec in prenehanje bolečin. Koncept ozemljitve človeškega telesa je ključen element enačbe zdravja skupaj z žarki sonca, čistim zrakom in pitno vodo, uživanjem polnovredne hrane in telesno aktivnostjo (Chevalier s sod., 2012).

Osnovni razlog, da nosimo čevlje, je dejstvo, da jih nosijo vsi drugi. Mislimo, da so čevlji potrebni, ker nas ščitijo, grejejo, krasijo... Toda zakaj imamo obutev nenehno na nogah? In zakaj čevljece natikamo že dojenčku? Se zavedamo, da smo z izolacijo stopal v čevljih prikrajšani za nenehno refleksno masažo stopal? Na stopalih so refleksne točke, z masažo katerih aktiviramo zdravilno moč telesa, čistimo telo zastalih toksinov in spodbujamo nemoten pretok energije. Zdi se, da se posledic nenehne obutosti ne zavedamo (Petrovič, 2014).

Dejstvo je, da zdrav čevljev ne obstaja. Noben čevljev ni narejen po meri človekovega stopala. Vsakršna teža na stopalu popači naravno motoriko koraka, najnižja peta spremeni razmerje teže med sprednjim in zadnjim delom stopala in zamakne prav vse sklepe od stopala navzgor. Visoka peta močno deformira celoten skelet. Prišpičen ali zaobljen vrh čevlja gnete prste skupaj, povzroča atrofijo sklepov in uničuje osnovno anatomsko os stopala, ki bi morala teči naravnost od vrha palca do sredine pete. Potlačen palec ne more nuditi opore pri odzivu; s tem ohromimo naravno amortizacijsko sposobnost stopala. K temu pripomorejo tudi vložki za čevlje, ki podpirajo stopalni lok in mu onemogočajo naravno delovanje. Stopalni lok pravilno krepimo le z bosonogo hojo. Obuto stopalo pri odzivu nikoli ne doseže naravnega kota 55 stopinj glede na tla, ampak ostaja na približno 25 stopinjah. Zaradi vseh navedenih dejavnikov izgubimo velik del površine stika s tlemi (50–65 %); s tem izgubimo tudi stabilnost in čut za podlago. Podplati so pomemben organ dotika in kadar se obujemo, ne čutimo tal. Podplati od neprestanega nošenja čevljev otopijo

in izgubijo naravno odpornost, pa še nakopljemo si težave, kot so žulji, kurja očesa in glivična obolenja (Petrovič, 2014).

Štiri milijone let je bilo potrebnih, da se je razvilo edinstveno človeško stopalo in posledično znamenita človeška plantigradna hoja, toda v le nekaj tisoč letih in z zgolj enim malomarno oblikovanim pripomočkom, našimi čevlji, smo izkrivili čisto anatomsko formo človeške hoje, onemogočili njeno tehnično učinkovitost, jo prizadeli s pritiski in obremenitvami ter zanikali njeno naravno veličastje, ki se izraža v obliki in lahkotnosti giba od glave do stopal (Rossi, 2000).

Dokazani so pozitivni učinki električno prevodnega stika človeškega telesa s tlemi, tako imenovano ozemljitvijo, na fiziologijo in zdravje. Pozitivni učinki se vežejo na vnetja, imunski odziv, zdravljenje ran in preprečevanje ter zdravljenje kroničnih vnetnih in avtoimunskih bolezni. Ozemljitev organizma povzroča izmerljive razlike v koncentraciji belih krvnih celic, citokinov in drugih molekul, vključenih v vnetni odziv. Ozemljitev znižuje občutenje bolečine in spreminja število limfocitov ter vpliva tudi na različne kemijske dejavnike, povezane z vnetji (Oschman s sod., 2015).

Dames in sodelavci (2019) navajajo dobrobit bosonogosti v primernih obdobjih, situacijah in na primernih lokacijah za posameznike s prekomerno telesno težo. Brez kakršnekoli diete ali posebnih navodil lahko posamezniki, ki jih ogroža debelost, med hojo bosih nog spremenijo vzorec hoje na način, da se znižajo obremenitve kolenskega sklepa. Uskladi se tudi razpon gibanja spodnjih okončin.

Zdi se, da je ozemljitev eden najpreprostejših in hkrati zelo učinkovitih posegov za znižanje tveganja za pojavnostjo srčno-žilnih obolenj in zapletov povezanih z njimi (Chevalier s sod., 2013).

Vpliv TA na kislinsko-bazično ravnovesje telesa

Telesna aktivnost ima mnoge kratkoročne (akutne) in dolgoročne učinke. Glavni akutni učinki telesne aktivnosti so povišana poraba kisika, sproščanje CO₂, tvorba mlečne kisline (laktata) in H₃O⁺ (poenostavljeno H⁺), znižana pH vrednost in povišana telesna temperatura. Med telesno aktivnostjo se zviša tako srčni utrip, sistolični krvni tlak, kakor tudi srčni iztis (količina krvi prečrpana v enoti srčnega utripa); zviša se pretok krvi v srce, mišice in kožo; presnova je aktivnejša, raven

tvorbe CO_2 in H_3O^+ v mišicah je povišana; dihamo hitreje in globlje, da bi zagotovili dovolj kisika, potrebnega za pospešeno presnovo (Bassett-Gunter s sod., 2017).

Ob intenzivnejši telesni vadbi presnova telesa preseže dovajanje kisika ter prične uporabljati alternativne biokemijske procese, ki kisika ne potrebujejo. Ti procesi sproščajo mlečno kislino, ki vstopa v krvni obtok. Z urjenjem se zvišuje pljučna kapaciteta in srčni iztis tudi kadar počivamo, zato lahko telo urimo vedno intenzivneje in tudi dlje. Odvisno od režima vadbe se lahko sčasoma poveča mišična masa in porabi telesna maščoba, katere energija je potrebno gorivo za povišano presnovo telesa (Bassett-Gunter s sod., 2017).

Ponavljajoča se aktivacija skeletnih mišic izpodbija mehanizme, ki uravnavajo energijsko presnovo in ionsko homeostazo, pri čemer je pomemben del uravnavanje pH. Uravnavanje pH celic je lahko omejevalni dejavnik za telesno vadbo, zato ni presenetljivo, da se uravnavanje pH prilagaja vadbi in da je ta prilagoditev pomembna za uspešnost treninga (Juel, 2008).

V mirovanju sta kopičenje in transport H_3O^+ uravnotežena, med telesno vadbo pa se raven sproščanja kisline v celicah ter neto sproščanje H_3O^+ izrazito povišata. V aktivnih skeletnih mišicah se H_3O^+ in laktatni anioni kopičijo v skoraj ekvimolarnih razmerjih; obstaja linearna povezava med kopičenjem laktata ter pH mišic. Kopičenje laktata je odvisno od intenzivnosti telesne vadbe; doseže do 40 mmol/kg mišične mase (Ahlborg s sod., 1972). S telesno aktivnostjo se pH zniža; v utrujenih mišicah lahko doseže vrednost $\text{pH}=6,5$. Po telesni aktivnosti se nekaj laktata in H_3O^+ odstrani s presnovo ter sprost v intersticij in kri. V mirovanju sta pH krvi in pH v intersticijskem prostoru podobnih vrednosti, med intenzivno telesno vadbo pa je lahko intersticijski pH nižji od pH v krvi (Juel s sod., 1990).

Med aktivnostjo skeletnih mišic sta možni dve vrsti uravnavanja pH vrednosti; prva je od laktata odvisen, druga pa od laktata neodvisen transport H_3O^+ . Sproščanje H_3O^+ v kri je mogoče oceniti tudi iz sprememb pH vrednosti krvi. Ker pH vpliva na pufrno kapaciteto, spremembe pH niso vedno sorazmerne s količino sproščenih H_3O^+ . Kvantitativne spremembe ravni H_3O^+ v krvi lahko ocenimo iz dejanskega presežka baze, izračunanega iz pH krvi, ter ravni HCO_3^- in hemoglobina po metodi Siggaard-Andersen (1971).

Pri telesni vadbi nizke intenzivnosti je raven tvorbe laktata nizka in od laktata odvisno odstranjevanje H_3O^+ predstavlja majhen delež, tako da glavni del odstranjevanja H_3O^+ posredujejo od laktata neodvisni mehanizmi. Med telesno vadbo visoke intenzivnosti se razsežnost obeh sistemov poveča; obseg od laktata neodvisne odstranitve H_3O^+ se lahko le podvoji, medtem ko se lahko obseg od laktata odvisne odstranitve H_3O^+ poveča za vsaj petkrat. Zdi se, da je laktat/ H_3O^+ najpomembnejši sistem za odstranjevanje H_3O^+ med telesno vadbo visoke intenzivnosti. V mirovanju in pri telesni vadbi nizke intenzivnosti vzpostavlja ravnovesje izmenjava Na^+/ H_3O^+ ter $Na^+/bikarbonat$, transport H_3O^+ , povezan z laktatom, pa ima manjšo vlogo, saj je raven tvorbe laktata takrat nizka (Juel, 2008).

Omenili smo že, da z zavestnim izvajanjem dihalnih vaj po metodi Wim Hof upade raven ogljikovega dioksida v telesu; raven kisika in posledično tudi alkalnost krvi se posledično zviša (Muzik s sod., 2018).

Za uravnoteženo delovanje potrebuje človek počitek. Po telesni aktivnosti je počitek nujen. Tudi meditacija je počitek. Z izvajanjem meditacije dosežemo popolno pozornost (čuječnost), odsotnost misli in posledično globoko sprostitvev. Globok počitek zagotavlja spanje. Spanje predstavlja tudi čas namenjen obnovi. Za vzdrževanje ravnovesja, homeostazo, se zdi dobro upoštevati zakonitosti cirkadianega ritma: 8 ur spanja, 8 ur ustvarjanja v delovnem okolju, 8 ur sprostitve in ustvarjanja v domačem okolju in na svežem zraku.

Pomen telesne aktivnosti za študentsko populacijo

Približno tretjina mladih odraslih v razvitih državah je vključena v študijske programe univerz (Dragoescu, 2013). Predvideva se, da bo do leta 2040 na univerzo vpisanih 600 milijonov študentov po vsem svetu, kar je 200 % več od trenutnega števila (Calderon, 2018). Za univerzitetno življenje so značilni življenjski slog in vedenjske spremembe, na primer odhod od doma, kar ima za posledico višjo raven samostojnosti in nižjo raven nadzora, višji obseg družbenih dejavnosti (na primer obisk koncertov, barov, družabnih in športnih klubov), spremembo skupin vrstnikov, zahtevne akademske urnike in pogosto razvoj nezdravega vedenja, kot sta kajenje in opijanje (Wang in Biro, 2021; Taylor s sod., 2013).

Zaradi omenjenih sprememb življenjskega sloga in vedenja so študentke in študentje še zlasti dovzetni za neustrezne spalne navade (Wang in Biro, 2021). Zanje je značilno pomembno znižanje količine in kakovosti spanja (Becker s sod., 2018; Lund s sod., 2010; Dinis in Bragança, 2018). Peltzer in Pengpid (2016) v raziskavi, ki zajema 26 držav z nizkim in srednjim BDP, navajata, da kar 39,2 % študentk in študentov spi povprečno 6 ur. Lund in sodelavci (2010) navajajo, da 55–60 % študentov poroča o slabi kakovosti spanja. Becker in sodelavci (2018) navajajo, da pri 43 % študentov vsaj enkrat tedensko traja več kot 30 minut, predno lahko zaspijo. V izpitnem obdobju, ko sta ravni akademskih zahtev in negativnega stresa povišani, se kakovost in količina spanja še znižata (Zunhammer s sod., 2014; Wunsch s sod., 2017; Campbell s sod., 2018).

Raven telesne aktivnosti študentske populacije je, v primerjavi s splošno odraslo populacijo, nizka (Haase s sod., 2004; Irwin, 2004; Keating s sod., 2005; Pengpid s sod., 2015; Guthold s sod., 2018). Arias-Palencia in sodelavci (2015) ter Sigmundova in sodelavci (2013) navajajo, da več kot 70 % študentov ne dosega priporočenih 10.000 korakov/dan.

Dejavniki vpliva, ki prispevajo k znižani ravni telesne aktivnosti v času študija, so:

- osebni dejavniki (na primer samodisciplina, čas, udobje) (Hilger-Kolb s sod., 2020),
- socialna omrežja (na primer pomanjkanje starševskega nadzora, socialna podpora) (LaCaille s sod., 2011) ter
- fizično okolje (na primer dostopnost prostorov za vadbo, stroški) (Deliens s sod., 2015).

Drugi dejavniki vpliva na telesno aktivnost vključujejo še bivanje v času študija, opravljanje izpitov in ostale akademske dejavnike (Deliens s sod., 2015). Pomanjkanje telesne aktivnosti ima negativen vpliv na zdravje študentk in študentov. Hutchins in sodelavci (2010) v raziskavi, ki vključuje študentsko populacijo v ZDA, navajajo gibalno aktivnost mladih le v prvih treh letnikih študija. Poudarjajo, da je bilo v tem obdobju redno gibalno aktivnih le 66,1 % študentk in študentov, po tem obdobju pa je bila gibalna aktivnost še nižja.

Rehman in sodelavci (2010) poročajo o povezanosti indeksa telesne mase (ITM) s prehranskimi navadami in telesno aktivnostjo. Ugotovili so, da ima večina študentov z normalnim ITM zdrave prehranske navade in je redno telesno aktivna. V zelo majhnem obsegu so redno telesno aktivni študenti, ki imajo zvišan ITM. Študentje, ki spadajo v kategorijo debelih, imajo dokazano afiniteto do nezdrave hrane, telesno pa so neaktivni.

Pri študentih so ravni spanja in telesne aktivnosti, ki so pod priporočenimi, povezane s slabimi zdravstvenimi izidi (Lund s sod., 2010; Dinis in Bragança, 2018; Pengpid s sod., 2015; Ghrouz s sod., 2019; Pengpid in Peltzer, 2018), vendar obstajajo različni dokazi v zvezi z obojesmerno povezavo med spanjem in telesno aktivnostjo (mišljena je TA, ki vpliva na rezultate spanja, ali obratno) (Chennaoui s sod., 2015).

Glede na spremembe vedenja in življenjskega sloga, vezane na pričetek študija, je razumevanje povezave med TA in spanjem pri študentih ključnega pomena. Vzpostavitev kakovostnega spanja in vključevanje TA v mladosti ima vseživljenjski vpliv na spoštovanje zdravega življenjskega sloga (Morseth s sod., 2011).

Memon in sodelavci (2021) v sistematičnem pregledu in metaanalizi ocenjujejo razmerje med spanjem in telesno aktivnostjo pri študentih in študentkah (vključenih 141.035 oseb, 43 % študentov, 57 % študentk). Večina študij ne navaja povezave med spanjem in TA pri študentih, a zbrani seštevki v metaanalizi kažejo na povezavo med TA in izboljšano kakovostjo spanja. Rezultati raziskave kažejo tudi šibko povezavo med TA in krajšim trajanjem spanja. Vsekakor so potrebne nadaljnje raziskave razmerja med spanjem in TA.

Slaba kakovost spanja je ključno vprašanje javnega zdravja v 21. stoletju (Bo s sod., 2019). Raziskave kažejo, da lahko slaba kakovost spanja vodi do porušanja tako telesnega kakor tudi duševnega zdravja (Baglioni s sod., 2011; Cho s sod., 2019) in poslabša splošno kakovost življenja (Spira s sod., 2012). Kakovost spanja je opredeljena kot subjektivna percepcija posameznikovega spanca (Kline, 2013); izmerimo jo lahko z objektivnimi indeksi (polisomnografija, aktigrafija) (Krystal in Edinger, 2008) ter subjektivnimi metodami (dnevnik spanja) (Khade s sod., 2018). Slabša kakovost spanja vpliva na vse starostne skupine, še zlasti pa na študentsko populacijo.

Prehod iz srednje šole na univerzo, ki vključuje znižan nadzor odraslih, težavnejši študij in mnoge izvenštudijske dejavnosti, povzroča nepravilen načrt spanja in posledično višje tveganje za pomanjkanje spanja (Chokroverty, 2009; Taylor in Bramoweth, 2010). O slabi kakovosti spanja poroča kar 26 % študentov na Kitajskem (Li s sod., 2018). Kaneita in sodelavci (2009) v vzdolžni, dve leti trajajoči študiji, navajajo 33,3 % pojavnost motenj spanja pri japonskih srednješolcih. Dokazana je povezanost med motnjami spanja in stanjem duševnega zdravja (simptomi depresije).

Soyakin in sodelavci (2019) navajajo, da je med študenti medicine, še zlasti med študenti moškega spola iz tujine, visoko tveganje za razvoj težav s spanjem in psiho-vedenjskih motenj. Rezultati raziskave izpostavljajo pomen nadaljnega proaktivnega načrtovanja ukrepov za preprečevanje in obvladovanje stresa med študenti medicine.

Enkhtuya in sodelavci (2019) navajajo, da sta slaba kakovost spanca in prekomerna dnevna zaspanost pri študentih medicine zelo razširjena. Splošna prevalenca prekomerne dnevne zaspanosti je 11,3 %. Zvišano tveganje za prekomerno dnevno zaspanost je povezano s partnerskim odnosom, študijsko uspešnostjo in ITM. Marta in sodelavci (2020) navajajo zelo pogoste motnje spanja med študenti zdravstvene nege, nespečnost pa je v veliki meri povezana s slabšo študijsko uspešnostjo. Pogostost slabe kakovosti spanca, nespečnosti in dnevne zaspanosti je bila pri študentih 66 %, 46 % in 24 %, pri študentkah pa 72 %, 52 % oziroma 29 %. Nespečnost je bila edina spremenljivka med motnjami spanja, ki je znatno vplivala na tveganje za slabši študijski uspeh študentov in študentk. Za dvig študijske uspešnosti je potrebno prepoznavati motnje spanja med študenti in oblikovati učinkovite ukrepe. Namen vzdolžne študije Xu-ja in sodelavcev (2020) je bil raziskati povezavo med motnjami spanja in simptomi depresije med študentkami zdravstvene nege. V okviru vzdolžne študije so raziskovalci opazovali iste udeležence v več časovnih točkah devet mesecev in pol. Izkazalo se je, da sta čustvena izčrpanost in zaskrbljenost, povezana s spanjem, pozitivno povezani z motnjami spanja in simptomi depresije.

Telesna neaktivnost in motnje spanja so povezani s simptomi depresije. Raudsepp in Vink (2019) po opravljeni vzdolžni študiji navajata povezanost med TA, motnjami spanja in simptomi depresije pri mladostnicah. Izkazalo se je, da se izhodiščna visoka raven simptomov depresije po dveh letih vzdolžne študije povezuje z nižjo ravno TA in višjim obsegom motenj spanja pri mladostnicah.

Vancampfort in sodelavci (2019) so raziskali vpliv sedečega življenjskega sloga na motnje spanja zaradi anksioznosti pri mladostnikih. Poročajo o 8 % prevalenci motenj spanja. Prevalenca sedenja je bila naslednja: <1 h/dan 40 %, 1–2 h/dan 34 %, 3–4 h/dan 15 %, 5–8 h/dan 7 % ter > 8 h/dan 4 %. Možnosti za razvoj motenj spanja so bile 2,3 krat večje pri posameznikih, ki so dnevno presedeli 8 ali več ur, v primerjavi z onimi, ki so presedeli manj kot uro. Težave s spanjem so pri mladostnikih pogoste, pred njimi je običajno zaščitna prav telesna aktivnost.

Xiao in sodelavci (2020) navajajo, da trpinčenje v otroštvu zvišuje tveganje za motnje spanja v obdobju najstništva. Obstaja razmerje med odmerkom skupnega trpinčenja v otroštvu in odzivom izraženim kot motnja spanja. Izpostavljenost tako posameznim kot različnim vrstam trpinčenja v otroštvu napoveduje slabšo kakovost spanja zlasti pri najstnicah. Prevalenca motenj spanja najstnikov in najstnic je 22 %.

Zhai in sodelavci (2020) navajajo vpliv telesne aktivnosti in uporabe pametnih telefonov na zaznani stres in kakovost spanja študentov. Telesna neaktivnost zvišuje možnosti za zaznavo negativnega stresa. Pogosta uporaba pametnih telefonov je povezana z visoko ravno zaznanega stresa in s slabo kakovostjo spanja. Kombinacija obeh pa, možnosti za zaznavo visoke ravni negativnega stresa in slabo kakovost spanja, le še poviša. Ukrepi, namenjeni izboljšanju kakovosti spanja in znižanju ravni zaznanega stresa študentov, so jasni: zvišati stopnjo TA in omejiti uporabo pametnih telefonov.

Pri starostnikih so motnje spanja povezane s povišanim tveganjem za upad splošnih kognitivnih sposobnosti in spomina. Minimalna telesna aktivnost v obliki rednega sprehoda (≥ 600 MET) lahko zniža upad kognitivnih sposobnosti in prepreči demenco v predklinični fazi (Tsai s sod., 2017). Presnovni ekvivalent aktivnosti (ang. *metabolic equivalent of task* - MET) je kazalnik intenzivnosti TA. Več o presnovnem ekvivalentu aktivnosti v poglavju »Telesna aktivnost, antioksidanti in oksidativni stres: Telesna aktivnost in oksidativni stres«.

Telesna vadba pozitivno učinkuje na obvladovanje jeze in znižuje njeno raven. Ima sprožilen učinek na tvorbo neurotransmiterjev, zlasti serotonina, kar ima pomembno vlogo pri zaviranju jeze in agresije (González-Gross in Cañada, 2015). Vključevanje v športe, ki se izvajajo v agresivnem okolju (agresivni športniki, starši, trenerji in gledalci), se povezuje z agresivnim vedenjem (Oproiu, 2013). Z vadbo agresivnih

športov in vadbo v agresivnem okolju se urimo v agresiji in tako le stopnjujemo njeno raven.

Pozitivno okolje v športu lahko mlade utrjuje v vrednotah in jim pomaga v razvoju na čustveno varen način, kar znižuje raven nasilja. Velja spodbujati prakse, ki mlade učijo pozitivnih vrednot; tako bomo raven nasilja znižali (Passero, 2015).

Gržan (2019) navaja, da je ples ena izmed učinkovitih vadb usklajevanja, dopolnjevanja v raznolikem, a harmoniziranem gibanju (sobivanju), zato ga je v procesu izobraževanja pomembno ovrednotiti, ne le kot telesno gibalno spretnost temveč tudi kot odnosno veščino. Pomembna vadba sodelovanja, medsebojne podpore in varovanja za doseganje skupnih ciljev je tudi alpinizem; v navezi za doseganje vrhov (ciljev) se izničuje izključujoča tekmovalnost. Izobraževanje naj bo doživljajsko, omogoči naj čim več dejavnosti, v katerih se prepoznava in poseblja vrednost medsebojnega dopolnjevanja za doseganje ciljev skupne blaginje.

Sistemsko poučevanje in urjenje v športu

Zaradi dejstva, da so akademske ustanove zgled celostnega delovanja človeka, se zdi na mestu sistemsko poučevanje in urjenje v športu. Šport kot praktikum in obvezna vsebina vseh študijskih programov naj bo stalnica v akademskem prostoru.

Nacionalni program športa 2014–2023

V Nacionalnem programu športa v Republiki Sloveniji za obdobje 2014–2023 se uporablja pojem šport, tako kot v opredelitvi Sveta Evrope. Šport predstavlja vse, s strani športne stroke dogovorno opredeljene oblike gibalne dejavnosti, ki so z neorganiziranim ali organiziranim ukvarjanjem usmerjene k izražanju ali izboljševanju telesne pripravljenosti, k duševnemu blagostanju in k oblikovanju družbenih odnosov oziroma doseganju rezultatov na različnih ravneh tekmovanj. Šport razvija tudi različne odlike in oblike mišljenja ter osebnosti (NPS, 2014).

Z nacionalnim programom športa (NPS, 2014) država soustvarja pogoje za razvoj športa kot pomembnega dejavnika razvoja posameznika in družbe ter prispeva k zniževanju neenakosti na področju dostopnosti do športne vadbe. Nacionalni program športa opredeljuje javni interes, ki ga udeležujejo nosilci in izvajalci

slovenskega športa (družine, šole, društva, lokalne skupnosti, zasebniki, resorna ministrstva ipd.).

Udejanjanje javnega interesa bo doseženo na način, da se:

- vsakemu posamezniku zagotovi možnosti za dejavno sodelovanje v športu v varnem in zdravem okolju;
- vsem mladim zagotovi kakovostno zunajšolsko športno udejstvovanje, ki jim bo skupaj s kakovostnim poukom športne vzgoje omogočilo pridobiti gibalne in druge kompetentnosti na taki ravni, da bo šport postal del njihovega zdravega življenjskega sloga;
- vsakemu, ki ga to zanima in je za to sposoben, zagotovi možnost izboljšanja osebnega športnega dosežka z namenom uveljavitve v organiziranem mednarodnem športnem prostoru in možnost javnega priznanja njegove pomembnosti, s čimer bo posledično višji tudi ugled države v mednarodnem prostoru;
- varuje in spodbuja uveljavljanje moralnih in etičnih vrednot v športu, spoštuje človekovo dostojanstvo in varnost vseh, ki so povezani s športom;
- skladno z načeli trajnostnega razvoja ustvarja spodbudno okolje za razvoj različnih oblik športne dejavnosti za vse skupine prebivalstva, dejavnega transporta ljudi (pešačenje, kolesarjenje, rolanje ipd.), njihovega druženja in preživljanja prostega časa (igrišča, parki, naravne poti idr.);
- krepi vloga in pomen športnih društev, ki prebivalcem ponujajo kakovostne športne storitve, imajo značaj javne dobrine in so pomemben del civilne družbe, ki si s svojim pretežno prostovoljnim delovanjem prizadevajo za dobrobit celotne skupnosti (NPS, 2014).

Po podatkih Statističnega urada Republike Slovenije (SURS, 2015) je 51 % mladih med 16. in 25. letom ocenilo svoje zdravstveno stanje kot zelo dobro ter 41 % kot dobro. V starostni skupini med 46 in 55-letom le še 12 % Slovencev ocenjuje svoje zdravje kot zelo dobro, 48 % pa kot dobro, po 66-tem letu starosti ocenjuje svoje zdravje kot zelo dobro le še 3 % prebivalcev, le slaba tretjina (27 %) jih v tej starosti ocenjuje svoje zdravje kot dobro.

Za blaginjo prebivalcev Republike Slovenije je športna dejavnost izjemnega pomena. Zaradi vpliva na razvoj mladega človeka in s tem tesno povezanega oblikovanja zdravega življenjskega sloga ter pridobivanja socialnih kompetenc predstavlja športna dejavnost otrok in mladine prednostno vsebino nacionalnega programa športa, prav tako pa je izjemnega pomena redna športno rekreativna dejavnost odraslih, ki ne sme podlegati diskriminaciji na podlagi socialno-ekonomskega statusa (NPS, 2014).

Pregledno študijo vpliva telesne aktivnosti na širok spekter avtoimunskih obolenj so objavili Sharif in sodelavci (2018). V naslovu so uporabili moto, ki zgovorno govori o rezultatih študije: »Gibaj se in obvladuj bolezen.«

Zavedati se moramo, da se posledice pomanjkanja telesne aktivnosti ne pokažejo in ne vplivajo na zdravstveno stanje takoj. Večinoma traja leta, da človek čuti negativne znake takšnega sloga življenja in kar nekaj časa mora tudi preteči, da se ob spremembi življenjskega sloga ponovno pojavijo koristi za zdravje in telesno počutje.



ANTIOKSIDANTI



Vloga antioksidantov

Antioksidanti so snovi, ki zavrejo ali preprečijo oksidacijo. Te snovi lahko reagirajo s prostimi radikali ali znižajo hitrost njihovega sproščanja. Glede na način delovanja ločimo primarne antioksidante, sekundarne antioksidante in antioksidante sinergiste (Belitz s sod., 2009). V bioloških sistemih uporabljamo pojma antioksidant in prooksidant, namesto pojmov reducirajoče in oksidativno sredstvo (Nyska s sod., 2002). Reducirajoče sredstvo ali antioksidant je snov, ki prispeva elektrone, medtem ko je oksidant oziroma prooksidant sredstvo, ki elektrone sprejema.

Radikali so atomi, ioni ali nevtralne spojine, ki imajo vsaj en prosti elektron v zunanji orbitali. Število prostih elektronov v molekuli radikala je lahko liho ali sodo; pri slednjem je vsak prosti elektron v svoji molekularni orbitali (Hundovo pravilo - elektroni zasedejo energijsko enakovredne orbitale posamično). Molekula s takšno razporeditvijo elektronov je v tripletnem stanju (primer tripletni kisik $^3\text{O}_2$). Zaradi prisotnosti prostega elektrona ima matična struktura posebne kemijske in fizikalne lastnosti. Radikali so zaradi prostega elektrona paramagnetne snovi, ki običajno zelo burno reagirajo s snovmi v svoji okolici, saj težijo k stanju, kjer so vsi elektroni v parih (Pečar s sod., 2015).

Antioksidanti so lahko encimski ali neencimski, preventivni ali popravljalni (obnovitveni), endogeni ali eksogeni, primarni ali sekundarni, vodotopni ali maščobnotopni, naravni ali sintetični. Endogeni antioksidativni obrambni sistem (antioksidativni encimi, sečna kislina, bilirubin, beljakovine, ki vežejo kovine, kot so feritin, transferin, laktoferin, ceruloplazmin) se dopolnjuje s posredovanjem eksogenih antioksidantov, prisotnih v prehrani (askorbinska kislina, tokoferoli, karotenoidi, fenoli - flavonoidi in neflavonoidi). Primarni antioksidanti so neposredni lovilci prostih radikalov. Reagirajo s prostimi radikali, jih spremenijo v stabilnejše produkte in tako preprečijo nadaljnjo verižno reakcijo. Predstavljajo glavno znotrajcelično antioksidativno obrambo. Polifenoli, tokoferoli (vitamin E) in askorbinska kislina (vitamin C) so primeri primarnih antioksidantov. Antioksidanti delujejo v fazi iniciacije (začetek reakcije) ali v fazi propagacije (verižna reakcija). Sekundarni antioksidanti so zaviralci tvorbe singletnega kisika, razgrajevalci peroksida, kovinski kelatorji, zaviralci oksidativnih encimov ter absorberji UV sevanja (Pisoschi in Pop, 2015).

Kisik je nujno potreben za življenje vseh aerobnih organizmov, saj je končni prejemnik elektronov (je oksidant) in protonov v oksidacijskih procesih, s katerimi celica pridobiva energijo, hkrati pa je tudi vir težav, povezanih s prostimi radikali in drugimi reaktivnimi zvrstmi. Molekularni kisik v atmosferi je biogenega izvora. Neprestano nastaja iz vode v procesih fotosinteze, kjer rastline izkoriščajo energijo sončne svetlobe za redukcijo CO₂, elektrone in protone pa pridobijo iz vode (oksidacija). Kisik se nato porablja v procesih celičnega dihanja, ko se reducira nazaj v vodo. Reaktivnost kisika izvira iz elektronske konfiguracije molekule O₂. Ta ima v 2p orbitalah dva prosta elektrona z enako usmerjenima spinoma (biradikal). Molekula kisika s takšno razporeditvijo elektronov je v osnovnem tripletnem stanju in ima najnižjo energijo. ³O₂ je za večino neradikalških spojin slabo reaktivna molekula; zaradi enako usmerjenih spinov obeh prostih elektronov lahko manjkajoča elektrona sprejme le postopoma (ne more sprejeti elektronskega para). Hitro lahko reagira le z radikali ali ioni prehodnih elementov, ki lahko ponudijo en elektron. Če pa pride do obrata enega od spinov v molekuli O₂, nastane singletni kisik (¹O₂), ki ni radikal, a je bistveno bolj reaktiven. Iz tripletnega kisika lahko nastanejo vse ostale kisikove zvrsti, ki so lahko radikali (na primer superoksidni anion (O₂⁻), hidroperoksilni radikal (HOO•) in hidroksilni radikal (HO•)) ali pa neradikali (na primer vodikov peroksid (H₂O₂)). Reaktivne zvrsti se tvorijo tudi iz molekul dušika (RNS) kot je peroksinitrit (ONOO⁻). Kratica, ki združuje imenovanje obeh skupin reaktivnih zvrsti je RONS (ang. *reactive oxygen and nitrogen*

species). Poleg kisikovih in dušikovih se v organizmu pojavljajo še ogljikove, žveplove in halogene reaktivne zvrsti (Pečar s sod., 2015; Šput in Kamarič, 2001).

Antioksidanti se lahko dodajajo hrani za zaščito pred škodljivimi učinki oksidacije ali se uporabljajo kot prehranska dopolnila. Naravni antioksidanti so rastlinskega izvora (fenolne in polifenolne spojine, karotenoidi ter vitamini antioksidanti) (Shahidi, 2015). Antioksidanti niso učinkoviti pri odstranitvi produktov oksidacije, lahko pa preprečujejo njihov nastanek, zato jih je priporočljivo dodati v sistem (telo ali reakcijski sistem), kolikor je mogoče zgodaj (Rižner Hraš, 2000).

Reakcije in reaktivnost prostih radikalov vodijo do oksidativnega stresa. Pomembna je reakcija superoksida z dušikvim oksidom, ki vodi do nastanka peroksinitritnega aniona ONOO^- , znanega kot glavnega krivca za začetne poškodbe v molekuli DNK in celičnih membran (Halliwell, 1994). Drug pomemben radikal, ki povzroča poškodbe na enakih delih celic, je izredno reaktivni hidroksilni radikal HO^\bullet , ki nastane iz vodikovega peroksida in prehodne kovine v reducirani obliki, na primer Fe(II) (Fentonova reakcija) (Strlič s sod., 2002).

Zdrav organizem je sposoben učinkovito preprečiti oksidativne poškodbe. Nekateri antioksidanti reagirajo s prostimi radikali, jih nevtralizirajo ter na ta način preprečijo pojav oksidativnih poškodb. Kadar so oksidativne poškodbe že nastale se uveljavi encimsko delovanje antioksidantov; to vključuje prepoznavanje, odstranitev oksidiranih delov in obnovo molekul. Neustrezno učinkovanje antioksidantov vodi do povišane ravni oksidativnega stresa. Med vzroki za neustrezno razmerje antioksidanti/oksidativni stres so znižana raven absorpcije antioksidantov, nižja biološka učinkovitost, oslabitev antioksidantov encimskega sistema in povišana raven uživanja zdravil (Osredkar, 2012).

Različne spojine, vključno s fenolnimi antioksidanti, ki lahko delujejo kot kemijski antioksidanti *in vitro*, dejansko inducirajo encimske sisteme *in vivo*. Ti encimsko katalizirani procesi nato spremenijo raven ravnovesja ključnih regulatornih in/ali zaščitnih elementov. Kemijske lastnosti teh spojin namesto, da bi *in vivo* delovale kot kemijski antioksidanti, ustvarjajo signale za induciranje zaščitnih encimov. Zdi se, da sta kemijsko pomembni lastnosti antioksidantov *in vivo* prooksidativnost (tvorba reaktivnih zvrsti) in/ali elektrofilnost (tvorba aduktov v beljakovinah); takšne lastnosti so običajno povezane s strupenimi snovmi. Za večino teh spojin je

praktično nemogoče doseči raven, ki je dejansko strupena. Koncentracije, ki so na videz dosežene *in vivo*, zadostujejo za aktiviranje signalnih poti v celicah, ki so se razvile, da prepoznajo potencialne nevarnosti s subtoksičnimi koncentracijami elektrofilov. Omejena biološka uporabnost večine antioksidantov je vsekakor ustrezna lastnost in ne omejitev, ki bi jo bilo potrebno odpraviti, da bi zagotovili višjo raven antioksidativne zaščite. Fenolne spojine skupaj z izotiocianati in nekaterimi drugimi fitokemikalijami zvišujejo raven endogene antioksidativne zaščite. Sposobnost sprožanja antioksidativnih encimov in povišanja količine njihovih substratov ob pomoči pretvorbe signalnih poti (informacij) vodi do spremenjenega izražanja genov (še posebej to velja za pot NRF₂) (Forman s sod., 2014). Z eritroidom 2 povezan jedrski dejavnik (ang. *nuclear factor erythroid 2-related factor 2* NRF₂) uravnava odziv celic na oksidativni stres. Ima ključno vlogo pri orkestriranju celične antioksidativne obrambe in vzdrževanju redoks homeostaze (Tian, 2018).

Vnos antioksidantov naj bo pester; vnos višje ravni posameznega antioksidanta lahko privede do prooksidativnega učinka. Priporočene ravni vseh vnešenih antioksidantov naj bodo blizu priporočenih dnevni količin posameznih antioksidantov (Cornelli, 2009). V antioksidativnem sistemu se posamezni antioksidanti med seboj dopolnjujejo na način, da ohranjajo celokupen antioksidativni potencial biološkega sistema. V primeru pomanjkanja enega antioksidanta se raven drugega poviša do mere, da se celokupen antioksidativni potencial ne zniža (Alessio s sod., 1997).

Del obrambnih mehanizmov organizma deluje v zunajceličnem prostoru (na primer glutation, tioli, sečna kislina), del pa v znotrajceličnem prostoru. Zaradi dejstva, da se najvišja raven prostih radikalov tvori v lipidnih plasteh, predstavljajo antioksidanti, topni v maščobah (na primer tokoferoli oziroma vitamin E), prvo obrambno linijo; tej sledijo vodotopni antioksidanti (na primer askorbinska kislina oziroma vitamin C) (Forman s sod., 2014).

Antioksidativni obrambni sistem

Živi organizmi so nenehno izpostavljeni škodljivim kemijskim, fizikalnim in biološkim dražljajem, ki povzročajo neravnovesje celične, tkivne, organske in organizemske homeostaze. V skladu s konceptom »*milieu intérieur*« je bolezen trajna sprememba homeostaze (Bernard, 1865). Homeostaza notranjega okolja je predpogoj optimalnega delovanja vseh celic.

Vse oblike življenja vzdržujejo reducirajoče okolje znotraj celic. Mogoče je, da je vzdrževanje tega statusa doseženo z antioksidativnim obrambnim sistemom, ki je aktiven zaradi zaščite homeostaze celic pred škodljivimi učinki reaktivnih zvrsti, ki se sproščajo tako med normalno presnovo celic kakor tudi v patofizioloških stanjih. Sistem antioksidantov ohranjajo antioksidativne snovi, ki vzdržujejo reducirajoče stanje s konstantnim vnosom presnovne energije (Bhattacharya, 2015). Nekatere sestavine antioksidativnega obrambnega sistema, kot so antioksidativni encimi superoksid dismutaza SOD, katalaza CAT, glutation peroksidaza GPx, glutation reduktaza GR, glutation-S-transferaze GST in sečna kislina, proizvaja telo samo, druge moramo zaužiti s prehrano (na primer vitamin E, C in A, glutation, minerala Se in Zn) (Frei s sod., 1988).

Zdrav organizem je sposoben omejiti škodljive učinke reaktivnih zvrsti. Encimski in neencimski antioksidanti, povezani med seboj, predstavljajo naravni obrambni sistem, ki upočasni, prepreči ali obnovi oksidativne poškodbe bioloških molekul. V primeru oksidativnega stresa je potrebno prepoznati in odpraviti vzroke, ki so

privedli do neravnovesja. Dodaten vnos antioksidantov je uspešen le, če se selektivno okrepi imunski sistem, ne da bi pri tem porušili delovanje povezanih antioksidantov ali preprečili fiziološke funkcije reaktivnih zvrsti. Prekomerna tvorba reaktivnih zvrsti, ki presega zmožnost antioksidativne obrambe, izzove oksidativni stres, ki vodi v oksidativne poškodbe biomolekul v celicah. Ravnovesje med tvorbo reaktivnih zvrsti in antioksidativno obrambo je v fizioloških razmerah pomaknjeno rahlo na stran oksidativnih procesov (Mravljak, 2015).

Med krčenjem so skeletne mišice glavni vir ROS in ena glavnih tarč (Powers in Jackson, 2008). Telesna vadba zvišuje celokupni privzem kisika (ang. *volume of oxygen* VO_2) tudi do 20-krat nad vrednostmi VO_2 , ko telo počiva. V mitohondrijih mišičnih celic, vključenih v vadbo, pomeni to 200-krat višjo porabo kisika (Sen, 1995). VO_2 označuje prostornino kisika (v mL), ki ga telo porabi v 1 min. ROS imajo torej pomembno vlogo pri delovanju in presnovi skeletnih mišic. Redoks signalizacija v krčenju mišic velja za enega osnovnih elementov biologije telesne vadbe (Powers in Jackson, 2008).

Redna telesna vadba zmerne intenzivnosti ima ugoden vpliv na obvladovanje oksidativnega stresa, akutne epizode visoko intenzivne aerobne in anaerobne vadbe pa povzročajo prekomerno sproščanje ROS. Kljub temu, da telesna vadba vodi do povišane ravni oksidativnega stresa, se domneva, da je hkrati spodbujevalni dejavnik, potreben, da omogoči regulacijo endogene antioksidativne obrambe v skladu s teorijo hormeze. Hipoteza nakazuje, da vključuje reakcija organizma na večkratno povišano raven proizvodnje ROS med telesno vadbo prilagoditvene mehanizme. Hormeza izzove predvsem regulacijo antioksidantov, premik k bolj reducirajočemu okolju in zvišano raven odpornosti na stres; vse omenjeno vodi k dolgoživosti. Enaki prilagoditveni odzivi in razstrupljevalna funkcija antioksidativnih encimov (superoksid dismutaze SOD, katalaze CAT, glutation peroksidaze GPx, glutation reduktaze GR, glutation-S-transferaze GST) in neencimskih antioksidantov (kot so vitamini E, A in C, glutation GSH in sečna kislina) sodelujejo pri preprečevanju prekomernega oksidativnega stresa, povezanega z višanjem telesne zmogljivosti, zaviranjem staranja in patološkim tveganjem pri profesionalnih športnikih (Vassalle s sod., 2015).

Vrhunskim športnikom je izmerjen višji celokupni antioksidativni potencial; študija potrjuje, da imajo tekmovalci, ki redno plavajo v ledeno mrzli vodi, tudi učinkovitejši antioksidativni obrambni sistem (Pesic s sod., 2012). Navedeno potrjujejo tudi raziskave Lubkowske in sodelavcev (2013) ter Siemsa in sodelavcev (1999). O ugodnih učinkih plavanja v ledeno mrzli vodi in učinkih krioterapije (izpostavitvi telesa temperaturi $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$) poročajo Smolander in sodelavci (2004). Ponavljajoče kratkotrajne izpostavitve telesa nizkim T posamezniki, vključeni v raziskavo, sprejemajo kot prijetno navado. Krioterapija je terapija s hlajenjem telesa, ki se izvaja v krioterapevtskih komorah pri T do $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Je metoda zdravljenja (na primer multiple skleroze in revmatoidnega artritisa), uporablja se tudi v vrhunskem športu, saj vpliva na izboljšanje zmogljivosti in rehabilitacijo.

Muzik in sodelavci (2018) navajajo opis odziva osrednjega živčevja med vadbo tehnike Wim Hof, katera s kombinacijo prisilnega dihanja in čuječnosti izkušenemu izvajalcu omogoča, da prenese epizode izpostavljenosti mrazu. Ugotovitve avtorjev nedvoumno dokazujejo aktiviranje avtonomnih možganskih področij, ki so vpletena v stresno povzročeno analgezijo, pa tudi kognitivna kortikalna področja, ki so povezana s samorefleksijo. Opažena močna aktivacija periakveduktalne sivine (siva možganovina okoli možganskega akvedukta) kaže na sproščanje endogenih opiatov/kanabinoidov. Slednji so posredniki znižane občutljivosti na izpostavljenost mrazu in spodbujajo občutek evforije in dobrega počutja. Študija primera vadbe tehnike Wim Hof, omogoča izkušenemu izvajalcu uveljavljanje višje ravni nadzora nad ključnimi komponentami avtonomnega sistema možganov. Z zavestnim usmerjanjem dihanja lahko torej pomembno vplivamo na funkcionalne sposobnosti svojih celic, organov in organskih sistemov. Zavestno usmerjanje hitrosti in globine dihanja pomembno vpliva na aktivnost avtonomnega živčnega sistema, izboljša se sposobnost koncentracije in splošno psihično počutje.

Antioksidativni stres

Z izrazom antioksidativni stres označujemo negativne učinke antioksidantov. Do antioksidativnega stresa lahko prihaja zaradi prekomernega vnosa antioksidantov s prehranskimi dopolnili (Dundar in Aslan, 2000). Uživanje večjih količin prehranskih dopolnil z antioksidanti lahko namreč povzroči prooksidativne učinke; te imenujemo antioksidativni stres (Poljšak in Milisav, 2012).

Rezultati kliničnih testov antioksidantov sintetičnega izvora so pogosto problematični in nasprotujoči. Prekomerno zvišanje ravni enega antioksidanta pogosto povzroči znižanje ravni drugih antioksidantov s pomočjo nadomestnih mehanizmov tako, da ostane celokupni antioksidativni potencial (CAP) nespremenjen. Vnos višje ravni enega samega sintetičnega antioksidanta v telo lahko spremeni zapleten sistem telesu lastne antioksidativne zaščite celic. Visoki odmerki prehranskih dopolnil s sintetičnimi antioksidanti lahko zavrejo sintezo telesu lastnih antioksidantov do mere, da se CAP celice dejansko ne spremeni (Cutler in Mattson, 2003; Cutler, 2003).

Vprašanje antioksidantov, kot prehranskih dopolnil, je še vedno predmet razprav in šteje za kontroverzno, saj rezultati študij niso skladni. Dokončnih in jasnih zaključkov glede njihove učinkovitosti in varnosti zato ni enostavno sprejeti. Glede na znane sporne ali celo negativne učinke naj bi jih zdravi posamezniki jemali s previdnostjo (Satyanarayana s sod., 2014).

Pretirano dodajanje antioksidantov (vključno z antioksidativnimi encimi) lahko negativno uravnava učinkovanje vitalnih endogenih antioksidantov, povzroča delno imunsko depresijo, zvišuje mikrobiološko škodo ali okrepi celični zaščitni sistem pred poškodbami tkiva nad njegovo normalno vrednost (Gutteridge, 1999). Dualistično obnašanje eksogenih antioksidantov je odvisno predvsem od njihove količine - fiziološki odmerki lahko učinkujejo blagodejno, povišani odmerki pa škodljivo (Bouayed in Bohn, 2010). Dodajanje antioksidantov, kot prehranskih dopolnil, še zlasti pri dobro prehranjenih posameznikih, ni učinkovito v preventivi in lahko celo negativno vpliva na zdravje. V primeru zdravih posameznikov je optimalen vir antioksidantov vsekakor prehrana, ne pa uživanje tabletiranih prehranskih dopolnil, ki vsebujejo antioksidante (Sadowska-Bartosz in Bartosz, 2014; Bjelaković s sod., 2014).

Najpogosteje uporabljana prehranska dopolnila vsebujejo vitamin C, vitamin E, β -karoten, koencim Q10 in selen (Rotovnik Kozjek, 2015b). Učinki prehranskih dopolnil, ki vsebujejo antioksidante, na zdravje ljudi so obsežno raziskani (tabela 2).

Tabela 2: Učinki prehranskih dopolnil, ki vsebujejo antioksidante, na zdravje ljudi

Prehransko dopolnilo	Metoda, model	Učinek	Namen	Literatura
antioksidanti	pregled študij primerov in meta analiza	koristni učinki niso zabeleženi	preučiti učinke pri bolnikih z rakavimi obolenji prebavil	Bjelaković s sod., 2004
antioksidanti	pregled objav naključnih kliničnih preskušanj	zaradi možnosti zaščite tumorjev in znižane možnosti preživetja se uživanje dopolnil z antioksidanti odsvetuje	preučiti učinkovitost in varnost uporabe ob kemoterapiji ali drugi terapiji z obsevanjem	Lawenda s sod., 2008
antioksidanti	meta analiza in naključni kontrolni poskusi	ni kliničnih dokazov v preventivi rakavih obolenj; možni škodljivi vplivi za nekatere vrste raka	pregled vpliva za namen preprečitve rakavih obolenj	Myung s sod., 2010
antioksidanti	naključna, s placebom nadzorovana raziskava	povišano tveganje obolezlosti za kožnim rakom pri ženskah, ne pa pri moških	pregled vpliva za tveganje obolezlosti za kožnim rakom	Hercberg s sod., 2007
β -karoten, vitamin A in vitamin E	pregled študij primerov	pri dobro prehranjenih posameznikih dokazan negativni učinek na zdravje; povišano tveganje umrljivosti	preučiti učinke prehranskih dopolnil na tveganje umrljivosti	Bjelaković s sod., 2014

Prehransko dopolnilo	Metoda, model	Učinek	Namen	Literatura
β-karoten, vitamin A in vitamin E	pregled znanstvenih objav do leta 2011	vitamin E in beta-karoten zvišujeta tveganje umrljivosti, prav tako višji odmerki vitamina A	preučiti vpliv na širok spekter boleznih in stopnjo umrljivosti	Bjelaković s sod., 2012
β-karoten, vitamin E, selen	obsežen pregled elektronskih baz podatkov in meta analiza	dodatek β-karotena zvišuje pojavnost rakavih obolenj in smrtnost zaradi raka med kadilci; dopolnila z vitaminom E nimajo učinka; dopolnila s selenom lahko imajo antikancerogeni učinek	preučiti vpliv na pojavnost rakavih obolenj in umrljivosti	Bardia s sod., 2008
β-karoten (20 mg/dan), vitamin E (600 mg/dan), vitamin C (250 mg/dan) ali placebo	5-letna študija 20.536 oseb s koronarno ali drugo žilno b., rakavostjo ali sladkorno boleznijo	ni bistvenega znižanja tveganja umrljivosti ali znižanja obolevnosti za katerokoli vrsto žilnih bolezni, rakavosti ali drugih obolenj	preučiti ali povečan vnos zniža stopnjo pojavnost žilnih bolezni, rakavih in drugih obolenj	Collins s sod., 2002
Se, vitamin E, Se + vitamin E ali placebo	35.533 naključno izbranih razmeroma zdravih moških (ZDA, Kanada, Portoriko)	ni potrjenega učinka na znižano tveganje obolevnosti za rakom prostate	preučiti dolgoročni učinek na tveganje obolevnosti za rakom prostate	Klein s sod., 2011
visoke doze vitamina E	meta analiza	zvišano tveganje umrljivosti	preučiti vpliv na tveganje umrljivosti	Miller s sod., 2005
vitamini in minerali	meta analiza naključnih kontrolnih poskusov	ni potrjenega učinka na znižano tveganje umrljivosti	preučiti učinke na tveganje umrljivosti	Macpherson s sod., 2013
vitamini in minerali	38.772 starejših žensk (Iowa Women's Health Study)	nekateri, še zlasti Fe, povezani s povišanim tveganjem umrljivosti; Ca, v nasprotju s številnimi študijami, povezan z znižanim tveganjem	preučiti dolgoročen vpliv na zdravje	Mursu s sod., 2011

Iz tabele 2 je razvidno, da rezultati številnih kliničnih preskušanj, v katerih so posamezniki prejeli enega ali več sintetičnih antioksidantov, niso pokazali koristnih učinkov za zdravje. Prehranska dopolnila, ki vsebujejo antioksidante, kljub priporočilom farmacevtske industrije in priljubljenosti med mnogimi posamezniki, ne nudijo zadostne zaščite pred oksidativnim stresom, oksidativnimi poškodbami in

ne prispevajo k dolgoživosti. Mnoge študije navajajo, da terapija s prehranskimi dopolnili na osnovi antioksidantov nima učinka in lahko celo prispeva k povečanemu tveganju umrljivosti (Bjelaković s sod., 2004, 2012 in 2014; Miller s sod., 2005; Bardia s sod., 2008).

Uporaba prehranskih dopolnil torej še zdaleč ni brez stranskih učinkov za zdravje. Antioksidanti, kot so butilirani hidroksi anizol (BHA), butilirani hidroksi toluen (BHT), galati in kositrov klorid lahko povzročijo pomembne stranske učinke, zato jih velja uporabljati v najmanjši možni količini. Antioksidanti, kot so tokoferoli, askorbinska kislina in askorbati, citronska kislina in citrati, vinska kislina in tartarati, mlečna kislina in laktati, se zdi, da nimajo neželenih učinkov v količinah, navedenih v uredbi EU (Silva in Lidon, 2016; Uredba EC, 2011; Direktiva 95/2/ES).

Število raziskav, v katerih želen učinek antioksidantov v obliki prehranskih dopolnil ni dokazan, v zadnjem času zelo narašča. V mnogih raziskavah je potrjeno, da terapija s prehranskimi dopolnili, kot izvorom antioksidantov, nima učinka ali celo zviša stopnjo umrljivosti (Bjelaković s sod., 2007; Moyer, 2013).

Prekomerni vnos vitamina C (askorbinske kisline) lahko sproži Fentonovo reakcijo. Presežek nekaterih v maščobah topnih antioksidantov, kot so karotenoidi in tokoferoli, lahko povzroči tvorbo lipidnih radikalov kar še dodatno prispeva k oksidaciji (Pisoschi s sod., 2021).

Bjelaković in sodelavci (2012) navajajo, da ni dokazov, ki bi podpirali uporabo prehranskih dopolnil z antioksidanti v primarni ali sekundarni preventivi. Zdi se, da beta-karoten in vitamin E zvišujeta tveganje umrljivosti; slednje lahko zvišuje tudi uživanje višjih odmerkov vitamina A. Dopolnila z antioksidanti naj bi se obravnavala kot zdravila; pred trženjem bi jih bilo potrebno zadostno ovrednotiti. Macpherson in sodelavci (2013) navajajo, da multivitaminsko-multimineralno zdravljenje nima potrjenega učinka na znižano raven tveganja umrljivosti.

Antioksidanti podaljšujejo življenjsko dobo živil, ki jih konzumiramo. Caleja in sodelavci (2016) v primerjalni študiji naravnih in sintetičnih dodatkov antioksidantov k jogurtom navajajo, da rastlinski ekstrakti vsekakor nadomestijo sintetične antioksidativne prehranske dodatke, saj izboljšajo antioksidativne lastnosti končnega izdelka. Raziskana je učinkovitost naravnih in sintetičnih antioksidantov ter njihovih kombinacij za zaščito lipidov na osnovi riževih otrobov pred oksidacijo: karnozolna

kislina, ekstrakt rožmarina, terciarni butilhidrokinon (TBHQ - z oznako E 319), EDTA in α -tokoferol. Naravni antioksidanti so se izkazali kot učinkoviti za zvišanje stabilnosti lipidov pred oksidacijo. Zaradi možnih kancerogenih učinkov sintetičnih antioksidantov, kot je TBHQ, je povpraševanje potrošnikov po naravnih, zdravju koristnejših antioksidantih vedno večje (Jennings in Akoh, 2009).

Uporaba prehranskih dopolnil z antioksidanti ne sme in ne more biti nadomestilo za redno uživanje uravnotežene prehrane, bogate s sadjem in zelenjavo (Cornelli, 2009).

Problematika vrednotenja antioksidantov

Metode vrednotenja antioksidantov, opisane v literaturi, so različne; nekatere so v uporabi že leta, čeprav niso stehiometrične. Antioksidante vrednostimo glede na vsebnost posameznih spojin ali glede na celokupen antioksidativni potencial (CAP).

Metode vrednotenja vsebnosti antioksidantov

Vsebnost posameznih antioksidantov običajno vrednotimo z metodami visokotlačne tekočinske kromatografije (HPLC) z UV/VIS in MS/MS detekcijo (tabela 3).

Tabela 3: Metode visokotlačne tekočinske kromatografije za določanje vsebnosti posameznih fenolnih antioksidantov v živilih

Analit	Kolona RP18	Detekcija	Mobilna faza	Literatura
3,4-DHBK, galna, <i>p</i> -kumarna, kavna, klorogena, elagna, sinapna, ferulna, kaftarna in vanilina kislina, katehin, epikatehin, kvercetin, <i>trans</i> - ter <i>cis</i> -resveratrol	Synergi Phenomenex 250×2 mm 4 μm	UV/VIS MS/MS	MeOH/voda/fosforna kislina vzorci filtrirani 0,45 μm, injicirani direktno	Bukovac s sod., 2009

Analit	Kolona RP18	Detekcija	Mobilna faza	Literatura
katehin, epikatehin, galna, kaftarna, kavna in <i>p</i> -kumarna	Zorbax Agilent 12,6×4,6 mm 5 µm	UV/VIS, DAD	fosforna kislina/MeOH	Padilha s sod., 2017
<i>trans</i> -resv., galna, <i>p</i> -kumarna, kaftarna kislina, katehin, kvercetin, epikatehin	Gemini Phenomenex 150×4,6 mm 3 µm	DAD	fosforna kislina/ACN	Tuberoso s sod., 2017
katehin, <i>trans</i> - in <i>cis</i> -kutarna k., kvercetin, epikatehin, kaftarna kislina	Synergi Phenomenex 250×2 mm 4 µm	UV/VIS MS/MS ESI	MeOH/ocetna kislina/voda vzorci ekstrahirani na trdi fazi LiChrolut EN, Merck, filtrirani 0,45µm	Borbalan s sod., 2003
<i>trans</i> -kaftarna, <i>trans</i> -kutarna, <i>p</i> -kumarna, kavna kislina	Eclipse XDB Agilent 150×4,6mm 4 µm	UV/VIS DAD	ACN/voda/ocetna kislina vzorci filtrirani 0,45 µm, injicirani direktno	Mitić s sod., 2010
42 fenolnih antioksidantov	Zorbax SB Agilent 250×4.6 mm 3,5 µm	DAD	voda/ACN/ocetna kislina	Bueno-Herrera in Pérez-M., 2020
galna, vanilina, rožmarinska, kavna, <i>p</i> -kumarna, <i>trans</i> -ferulna, elagna, <i>trans</i> -cimetna in benzojska kislina, miricetin, katehin, hidrokinon, rutin, epikatehin, arbutin, kaempferol, vanilin, kvercetin,..	Acclaim Dionex 4,6×250mm 5 µm	DAD	ACN/ocetna kislina/MeOH vzorci filtrirani 0,2 µm injicirani direktno	Ahmed s sod., 2021
23 fenolnih antioksidantov	Kinetex PFP Phenomenex 100×2,1 mm 2,6 µm	MS/MS ESI dinamično spremljanje reakcij	voda/MeOH/mravljična kislina	Nzekoue s sod., 2020
87 fenolnih antioksidantov	UPLC HSS T3 Waters 100×2,1 mm, 1,8 µm	MS/MS ESI	amonijev format/mravljična kislina/ACN	De Freitas Laiber Pascoal s sod., 2022
galna, klorogena, vanilina, kavna, siringilna, ferulna, <i>p</i> -kumarna, elagna, sinapna in salicilna kislina, katehin, rutin, miricetin, kvercetin, kaempferol,..	Acclaim Thermo Fisher 250×4,6 mm 5 µm	DAD	MeOH/ocetna kislina vzorci filtrirani 0,45 µm injicirani direktno	Datta s sod., 2019

Analit	Kolona RP18	Detekcija	Mobilna faza	Literatura
36 fenolnih antioksidantov	Synergi Polar Phenomenex 250×4,6 mm, 4 µm	MS/MS ESI dinamično spremljanje reakcij	voda/MeOH/mravljčna kislina	Mustafa s sod., 2022

V nadaljevanju je opisan primer vrednotenja vsebnosti fenolnih antioksidantov (FA) v vzorcih vina. Kromatografsko ločevanje FA vina na reverzni fazi C₁₈ je opisano v mnogih virih. Rezultati teh študij se med seboj razlikujejo. Ločljivost med posameznimi kromatografskimi vrhovi in vrstni red eluiranja posameznih komponent sta odvisna od sestave mobilne faze kakor tudi od vrste uporabljene kromatografske kolone. Ločitev slabo hlapnih in tudi nestabilnih analitov na osnovi različnih kemijskih interakcij analita z mobilno in stacionarno fazo lahko dosežemo z uporabo visokotlačne tekočinske kromatografije z UV/VIS detekcijo (HPLC-UV/VIS). Do kvalitativne in kvantitativne informacije o posameznih antioksidantih lahko pridemo s kombinacijo ločbe in spektroskopske karakterizacije, ki jo omogoča sklopitev tekočinskega kromatografa z masnim spektrometrom. LC/MS/MS je danes analizna metoda izbora za določanje vsebnosti antioksidantov v živilih (Bukovac s sod., 2009).

Metode vrednotenja celokupnega antioksidativnega potenciala

V uporabi je več metod, s katerimi določamo celokupni antioksidativni potencial vzorca. S hitro karakterizacijo vsebnosti antioksidantov hkrati upoštevamo tako medsebojne sinergistične vplive kakor tudi vplive drugih komponent, kot so prehodne kovine, katerih učinek je lahko prooksidativen. Rezultat analize običajno podamo v obliki ekvivalenta galne kisline ali drugega modelnega FA.

Pregled literature, ki se vsebinsko osredotoča na primerjavo metod določanja CAP v živilih, prikazuje tabela 4. Kot je razvidno iz tabele 4, so danes v uporabi številne metode za določanje CAP. Najpogosteje je v rabi spektrofotometrična metoda oksidacije fenolnih spojin s Folin-Ciocalteuevim reagentom, sledi metoda z uporabo diamonijeve soli 2,2'-azino-bis(3-etil-benzotiazolin-6-sulfonske kisline) - ABTS, metoda z uporabo 2,2-difenil-1-picrilhidrazila - DPPH, metoda določanja trolox ekvivalentne antioksidativne kapacitete - TEAC, metoda določanja fero reduciranega antioksidativnega potenciala - FRAP, metoda ciklične voltametrije -

CV, metoda določanja antioksidativnega potenciala kisikovega radikala - ORAC ter metode kemiluminescence.

Bukovac (2010) primerja uporabo treh metod določanja CAP. Prva je metoda oksidacije fenolnih spojin s Folin-Ciocalteujevim reagentom, ki je zmes fosfovolframove ($H_3PW_{12}O_{40}$) in fosfomolibdenove kisline ($H_3PMO_{12}O_{40}$), katere absorbanco po pretečeni reakciji merimo pri 765 nm. Kot modelna spojina se uporablja galna kislina. CAP, določen s to metodo, je imenovan CAP_{SF} . Druga metoda je kemiluminometrična. Kemiluminescenca je pojav svetlobe, ki nastane kot posledica relaksacije zvrsti, ki se vzbudi med kemijsko reakcijo. V reakcijskem sistemu substrat-katalizator-oksidant lahko z antioksidanti inhibiramo nastanek kemiluminescence. Znižanje intenzitete kemiluminescence predstavlja osnovo za vrednotenje CAP vzorca. Z metodo kemiluminescence je določen CAP_{KL} .

Tabela 4: Metode določanja celokupnega antioksidativnega potenciala v vzorcih živil

Analit	Metoda	Vzorec	Literatura
CAP, SF in FA	HPLC UV/VIS, LC-MS/MS, FC, kemiluminometrija, potenciometrija	vino	Bukovac, 2010
CAP, SF in FA	DPPH, ABTS, FRAP	živila	Tuberoso s sod., 2013
CAP, SF in FA	HPLC-DAD, HPLC-DAD-ESI-MS, FC in DPPH, TEAC, FRAP	listi vrtnice	Ouerghemmi s sod., 2016
CAP, SF in FA	DPPH, ABTS, FRAP, ATR-IR, Ramanska spektroskopija, FC in HPLC	riževo vino	Wu s sod., 2016
CAP, SF in FA	DPV in FC, HPLC in ABTS, DPPH	vino	Šeruga s sod., 2011
CAP in SF	HPLC UV/VIS, FTIR in UV/VIS spektrometr.	čaj	Aboulwafa s sod., 2019
CAP in SF	FC in DPPH, FRAP, ORAC	stročnice	Padhi s sod., 2017
CAP in SF	DPPH in FC	živila	Condezo-H. s sod., 2015
CAP in SF	FC, TEAC, FRAP	vino	Baroni s sod., 2012
CAP in SF	ABTS, FC, CV, DPV	vino	Rebello s sod., 2013
CAP in SF	FC, ORAC	sadje	Heng s sod., 2017
CAP in SF	CV, spektrofotometrija, fotokemiluminometrija, ABTS in FC	začimbe	Przygodzka s sod., 2014
CAP in SF	ORAC, kemiluminom., DPPH, TEAC, FRAP, CUPRAC, CERAC, CHROMAC, CV in FC	živila	Shahidi in Zhong, 2015
CAP in SF	FC in spektrofotometrija	čaj	Nibir s sod., 2017
CAP in SF	DPPH, FRAP, elektrokemijski biosenzor na osnovi DNA, spektrofotometrija in FC	čaj	Barroso s sod., 2016
CAP in FA	CV in HPLC	kivi	Jiao s sod., 2018
CAP in FA	DPPH, TEAC, FRAP, ORAC, HRSCA, DPPH-HPLC, DPPH-HPLC-DAD-TOF/MS, TRAP, GSH,	živila	Oroian in Escriche, 2015

Analit	Metoda	Vzorec	Literatura
	SOD, GSH-Px, CAT, LP, CV, biosenzorji, kemiluminometrija, ESR in HPLC, TLC, HSCCC, HPLC-DAD-ESI-MS, HPLC-MS/MS, CE, NMR, NIRS		
CAP in FA	TEAC, ABTS, HPLC-DAD	paradižnik	Kotikova s sod., 2011
CAP	kemiluminometrija	vino	Fassoula s sod., 2011
CAP	DPPH, VCEAC, ESR, UV/VIS spektrometrija	sadje	Zang s sod., 2017
CAP	FC, FRAP, DPPH, PRAC	dren	Popović s sod., 2012
CAP	ABTS, DPPH	ječmen	Mareček s sod., 2017
CAP	ABTS, DPPH	koruza	Redaelli s sod., 2016
CAP	ABTS	mleko	Niero s sod., 2017
CAP	DPPH, CCD kamera z različnimi detektorji	murve	Huang s sod., 2017
CAP	elektrokemijske metode	živila	Hoyos-A. s sod., 2017
SF	FIA, FC	vino	Sanchez A. s sod., 2013

Legenda k tabeli 4: FC - Folin Ciocalteu, DPPH - 2,2-difenil-1-picrilhidrazil, CV - ciklična voltometrija, DPV - diferencialna pulzna voltometrija, TEAC - trolox ekvivalentna antioksidativna kapaciteta, FRAP - fero reduciran antioksidativni potencial, ABTS - diamonijeva sol 2,2'-azino-bis(3-etil-benzotiazolin-6-sulfonske kisline), HPLC - visokotlačna tekočinska kromatografija, PRAC - permanganatno reduciran antioksidativni potencial, ORAC - antioksidativni potencial kisikovega radikala, CE - kapilarna elektroforeza, NMR - nuklearna magnetna resonanca, NIRS - bližnja infrardeča refleksijska spektroskopija, HRSCA - antioksidativni potencial hidroksilnega radikala, TRAP - *total radical-trapping parameter* - parameter celokupnega potenciala lovilcev radikalov, GSH - določanje reduciranega glutationa, SOD - superoksidna dizmutaza, GSH-Px - glutation peroksidaza, CAT - katalaza, LP - lipidna peroksidacija, ESR - elektronska spinska resonanca, TLC - tankoplastna kromatografija, HSCCC - protitočna kromatografija visoke hitrosti, ATR-IR - infrardeča spektroskopija z oslabiljenim odbojem, FTIR - Fourerovo transformirana IR spektroskopija, CCD - *Charge Coupled Device* - kamera s svetlobno občutljivim detektorjem

S tretjo metodo, ki temelji na potenciometrični pretočni injekcijski analizi, lahko določimo celokupno vsebnost reducentov z jodidno ionoselektivno elektrodo, ki jo pripravimo z obdelavo srebrne površine cevke v raztopinah HgCl₂ in KI. V nosilnem toku, ki vsebuje jod, se v prisotnosti reducentov oziroma antioksidantov izloči jodid.

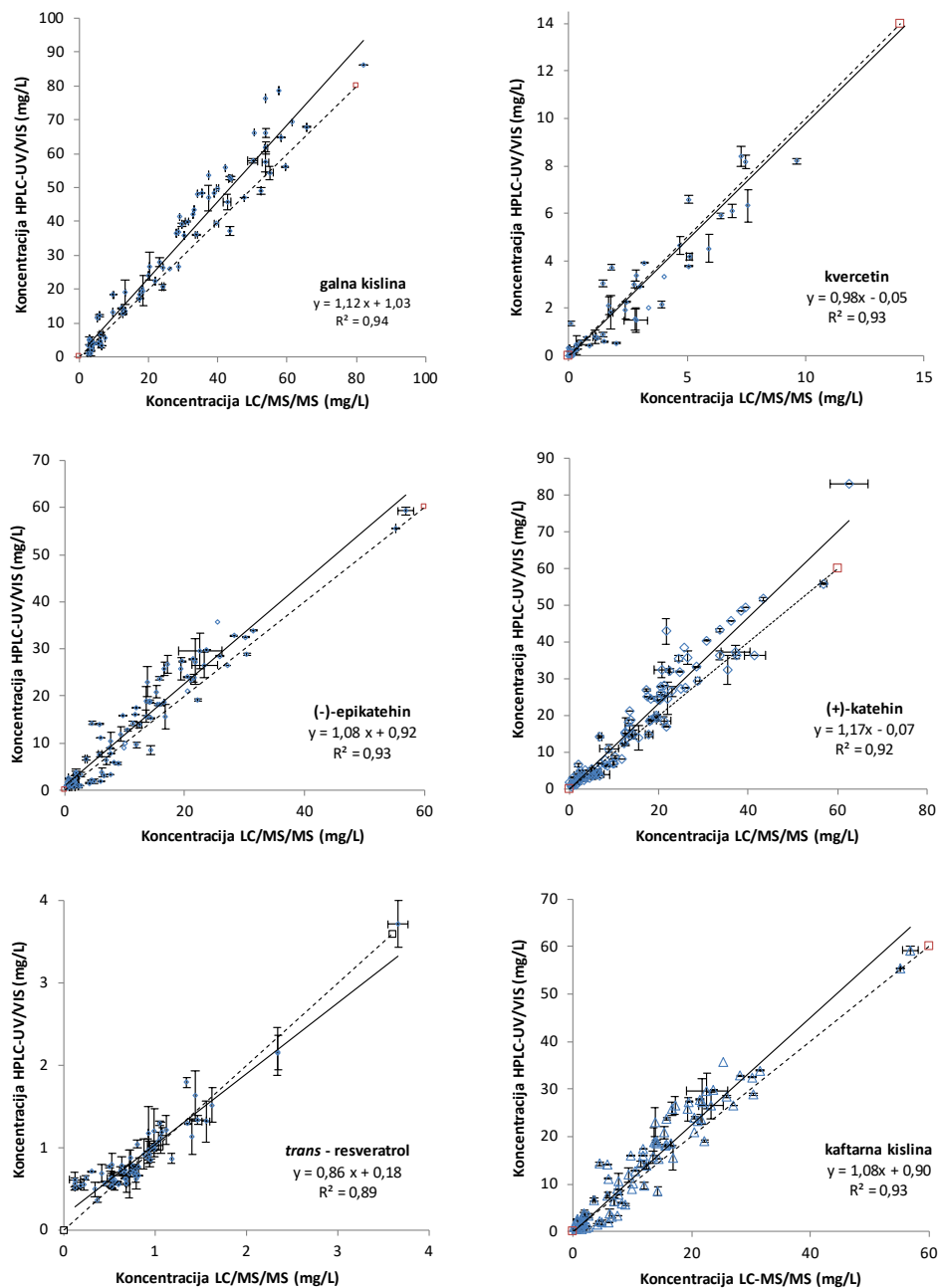
Ta povzroči spremembo potenciala na iono-selektivni elektrodi, kar je merilo množine antioksidanta. CAP, določen s potenciometrično metodo, označimo kot CAP_P (Bukovac, 2010).

Z namenom ovrednotiti prisotnost posameznih antioksidantov Bukovac (2010) navaja metodo določanja vsebnosti galne, vanilinske, 3,4-dihidroksibenzojske kisline (3,4-DHKBK), (+)-katehina, (-)-epikatehina, *trans*- in *cis*-resveratrola, klorogene, kavne, sinapne, ferulne, *p*-kumarne, kaftarne, elagne kisline ter kvercetina z uporabo HPLC z UV in masnospektrometrično detekcijo.

Za določitev CAP s kemiluminometrično metodo (CAP_{KL}) je v raziskavi uporabljen testni kit Abel® (vključuje luciferin Pholasin® iz školjk *Pholas dactylus*). S pretočno injekcijsko analizo (FIA) je potenciometrično določen CAP_P vzorcev vin. Skupne fenole (CAP_{SF}) v raziskavi določamo spektrofotometrično z oksidacijo fenolnih spojin s Folin-Ciocalteujevim reagentom. Rezultate spektro-fotometrične metode v nadaljevanju primerjamo z rezultati kromatografskih metod, potenciometrične ter kemiluminometrične metode (Bukovac, 2010).

Primerjava med rezultati kromatografskih metod

Primer primerjave med določitvami šestih FA z uporabo dveh metod: HPLC-UV/VIS in LC-MS/MS je prikazan na sliki 12. S slike 12 je razvidna zelo dobra korelacija med vsebnostmi posameznih FA v vinu, določenih z uporabo HPLC-UV/VIS in LC-MS/MS metode. Kvadrati korelacijskih koeficientov so med 0,89 in 0,94. Rezultati prejšnjih raziskav (Bukovac, 2010) potrjujejo dobro korelacijo med vsoto vsebnosti antioksidantov, določenih s HPLC-UV/VIS in vsoto vsebnosti enakih antioksidantov, določenih s HPLC z MS/MS detekcijo. Kvadrat korelacijskega koeficienta je 0,93. Možno je, da razlike med določitvami HPLC-UV/VIS in LC-MS/MS, ki se kažejo v naklonu korelacijske premice, ki je >1 , izvirajo iz koelucije sorodnih spojin. Vsota posameznih antioksidantov, določenih s HPLC-UV/VIS, je v veliki večini primerov višja od vsote enakih antioksidantov, določenih z LC-MS/MS. Izbrane fenolne spojine v raziskavi so najpomembnejši FA rdečih vin.



Slika 12: Primer primerjave med določitvami šestih fenolnih antioksidantov z uporabo metod HPLC-UV/VIS in LC-MS/MS. Črtna premica predstavlja idealno korelacijo

Vir: Bukovac, 2010

V raziskavi Bukovac (2010) je potrjeno, da lahko posamezne FA odlično določamo z uporabo HPLC-UV/VIS metode. Zelo dobra primerjava z rezultati vsebnosti FA v vinu, dobljenimi z uporabo LC-MS/MS metode, to potrjuje.

V nadaljevanju raziskave metode določanja dejanske vsebnosti fenolnih antioksidantov v vzorcih vin primerjamo z metodami določanja celokupnega antioksidativnega potenciala. Predpostavljamo, da lahko s preprosto spektrofotometrično metodo določanja celokupnega antioksidativnega potenciala dosežemo primerljive rezultate z uporabo kromatografskih metod. Izvedene so primerjave kromatografskih metod s spektrofotometrično, kemiluminometrično in potenciometrično metodo, tem pa sledijo še primerjave med posameznimi metodami določanja celokupnega antioksidativnega potenciala.

Raziskan je tudi prispevek posameznih fenolnih antioksidantov k celokupnemu antioksidativnemu potencialu. Glede na to, da je uporabljenih več metod določanja celokupnega antioksidativnega potenciala nas je zanimalo, ali se prispevek posameznih FA razlikuje glede na uporabljeno metodo določanja CAP.

Primerjava med vsebnostmi posameznih FA in CAP

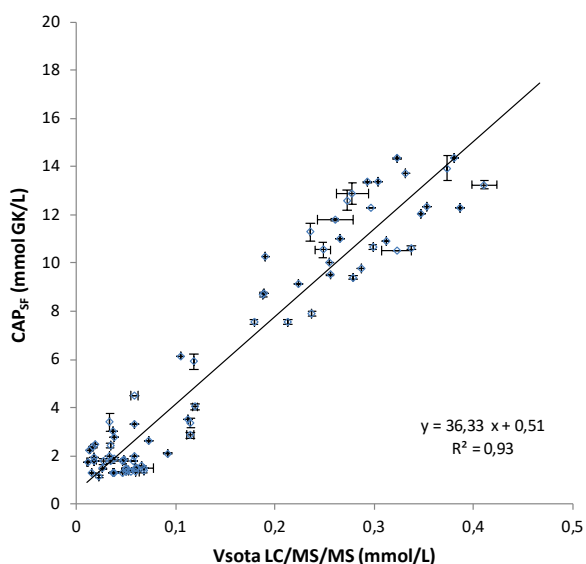
Celokupni antioksidativni potencial vzorcev vin, določen po treh različnih metodah, je v raziskavi Bukovac (2010) primerjan z dejansko vsebnostjo fenolnih antioksidantov. Naravni logaritem vsote glavnih FA v vinu, določenih z LC-MS/MS, zadovoljivo korelira s kemiluminometrično metodo, ovrednoteno kot CAP_{KL} in izraženo kot odstotek inhibicije kemiluminescence ($R^2 = 0,67$).

Primerjava vsebnosti posameznih FA s CAP_{SF}

Sorazmerno dobra primerjava med vsoto vsebnosti petih glavnih FA (galne kisline, (+)-katehina, (-)-epikatehina, *trans*-resveratrola in kvercetina) v vinu, določenih s HPLC-UV/VIS in spektrofotometričnimi določitvami CAP_{SF}, rezultira v kvadrat korelacijskega koeficienta 0,91. Ko CAP_{SF} primerjamo z vsoto istih petih FA določenih z metodo LC-MS/MS je korelacija še nekoliko boljša ($R^2 = 0,93$), slika 13.

S slike 13 je razvidno, da lahko CAP zelo dobro izrazimo z vsoto vsebnosti petih glavnih FA v analiziranem vzorcu vina ($r^2=0,93$). Preprosta spektrofotometrična določitev CAP_{SF} je torej zelo učinkovita analizna metoda za opis celokupnega antioksidativnega statusa (Bukovac, 2010).

Med izbranimi metodami je tekočinska kromatografija z masnospektrometrično detekcijo gotovo metoda z najmanj interferencami, zato je v raziskavi izbrana za referenčno metodo; različni vplivi matrice lahko pri drugih metodah vodijo do drugačnih rezultatov.

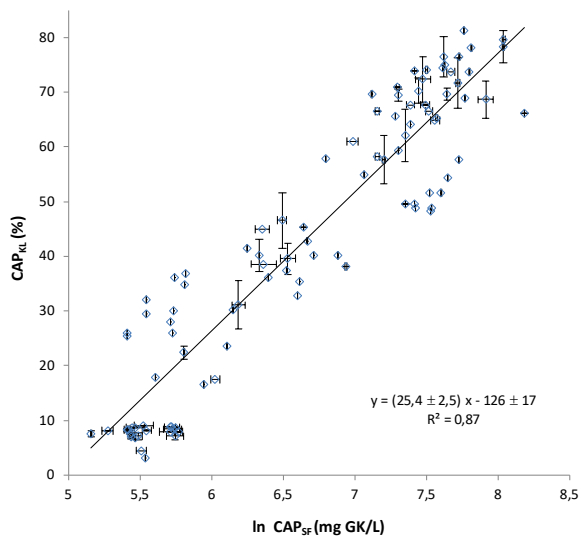


Slika 13: Primerjava med vsoto vsebnosti izbranih fenolnih antioksidantov ((+)-katehina, galne kisline, (-)-epikatehina, *trans*-resveratrola in kvercetina) določenih z LC-MS/MS in spektrofotometrično določitevjo CAP_{SF};

Vir: Bukovac, 2010

Ugotovitve glede primerjave metod določanja CAP

V raziskavi Bukovac (2010) je izvedena primerjava med določitvami celokupnega antioksidativnega potenciala s tremi različnimi analiznimi metodami: s kemiluminometrijo, spektrofotometrijo in potenciometrijo. Primerjava med kemiluminometrično in spektrofotometrično določitvijo skupnih fenolov (naravni logaritem vsebnosti CAP_{SF}) je prikazana na sliki 14.

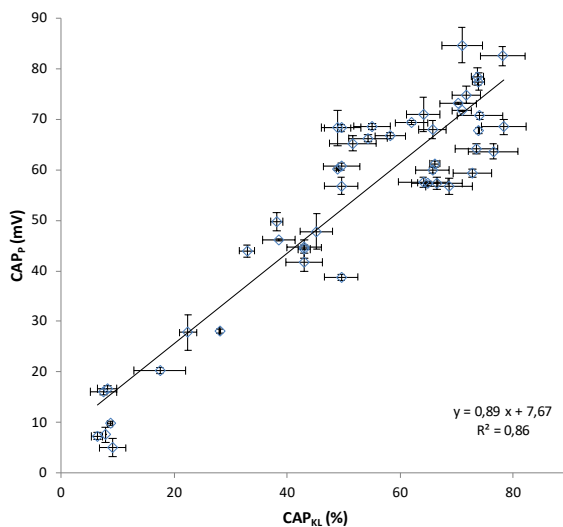


Slika 14: Primerjava spektrofotometrične določitve celokupnega antioksidativnega potenciala (CAP_{SF}) - logaritmirane vrednosti in kemiluminometričnih rezultatov (CAP_{KL});

Vir: Bukovac, 2010

Primerjava med CAP, določenem s kemiluminometrijo in spektrofotometrično določitvijo skupnih fenolov (naravni logaritem vsebnosti CAP_{SF}) rezultira v kvadrat korelacijskega koeficienta 0,87. Primerjava med kemiluminometrično - CAP_{KL} in potenciometrično določitvijo CAP_P je prikazana na sliki 15. Omenjena primerjava rezultira v razmeroma dobro korelacijo - kvadrat korelacijskega koeficienta je 0,86.

Raziskava je pokazala, da je uporabljena kemiluminometrična metoda primerna referenčna metoda za določanje CAP rdečih vin. V belih vinih ni mogoče zanesljivo določati CAP_P. Možen vzrok neučinkovitosti obeh metod določanja CAP belih vin je vpliv žveplanja. Žveplo se v postopku vinifikacije uporablja prav zaradi antioksidativnega učinka, to je zaščita vina pred oksidacijo.



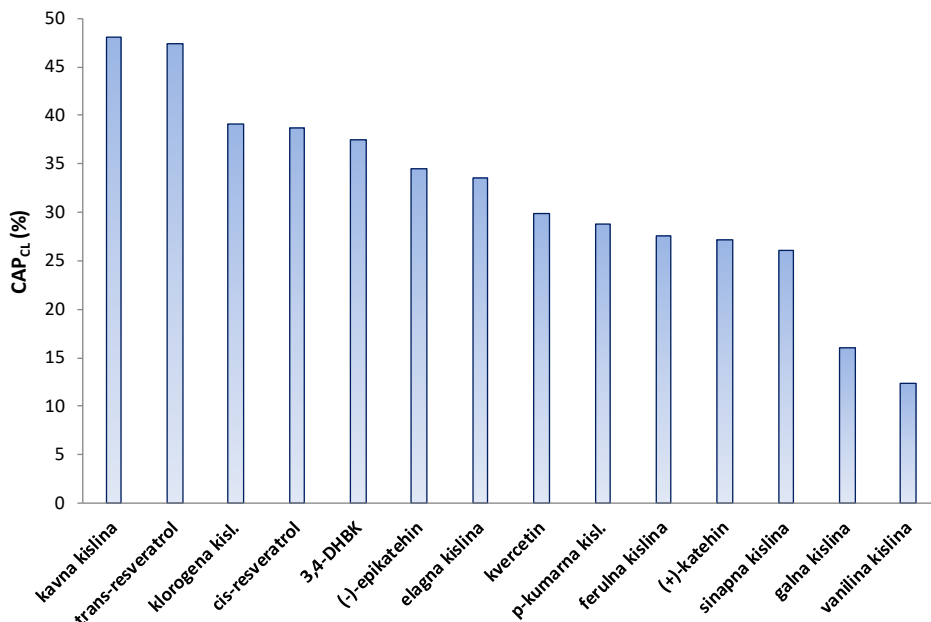
Slika 15: Primerjava med določitvami celokupnega antioksidativnega potenciala vina s kemiluminometrično (CAP_{KL}) in potenciometrično metodo (CAP_P);

Vir: Bukovac, 2010

Prispevek posameznih antioksidantov k CAP

Za razumevanje aktualnih rezultatov raziskave v naslednjem poglavju je ključnega pomena omeniti dejstvo, da je prispevek posameznih FA k CAP zelo različen, razlikuje pa se tudi glede na metodo določanja CAP.

Prispevek posameznih FA k CAP_{KL}: pripravili smo raztopine posameznih FA koncentracije 50 $\mu\text{mol/L}$. Raztopine posameznih FA smo pripravili z redčenjem založne raztopine standardov FA v metanolu koncentracije 500 mg/L. Raztopinam FA koncentracije 50 $\mu\text{mol/L}$ smo dolili toliko MeOH, da je bil prostorninski odstotek MeOH izenačen, nato pa vsebino dopolnili z deionizirano vodo. Prispevek posameznih FA k CAP_{KL} prikazuje slika 16.



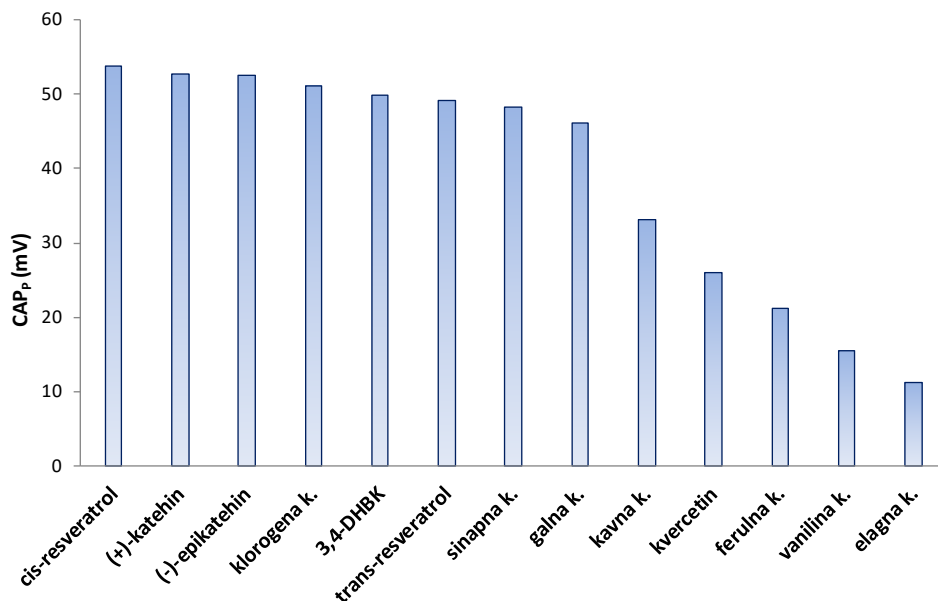
Slika 16: Prispevek posameznih FA k CAP_{KL} (c=50 µmol/L);

Vir: Bukovac, 2010

S slike 16 je razvidno, da imata kavna kislina in *trans*-resveratrol pri enaki koncentraciji najvišji CAP_{KL}, sledijo klorogena kislina, *cis*-resveratrol, 3,4-DHBK, (+)-epikatehin, elagna kislina in kvercetin. Zanimivo nizek prispevek k CAP_{KL} imata galna kislina in (+)-katehin.

Prispevek posameznih FA k CAP_P: je bil določen v čistem topilu (mešanica vode in metanola). Pripravljene so bile raztopine posameznih FA koncentracije 100 µmol/L. CAP posameznih FA določen s potenciometrično metodo (CAP_P) je prikazan na sliki 17.

S slike 17 je razvidno, da k CAP_P največ prispevajo *cis*- in *trans*-resveratrol, (+)-katehin, (-)-epikatehin, klorogena kislina, 3,4-DHBK, sinapna ter galna kislina, sledijo še kavna kislina, kvercetin ter ferulna kislina, raven prispevka vaniline in elagne kisline pa je nižja.

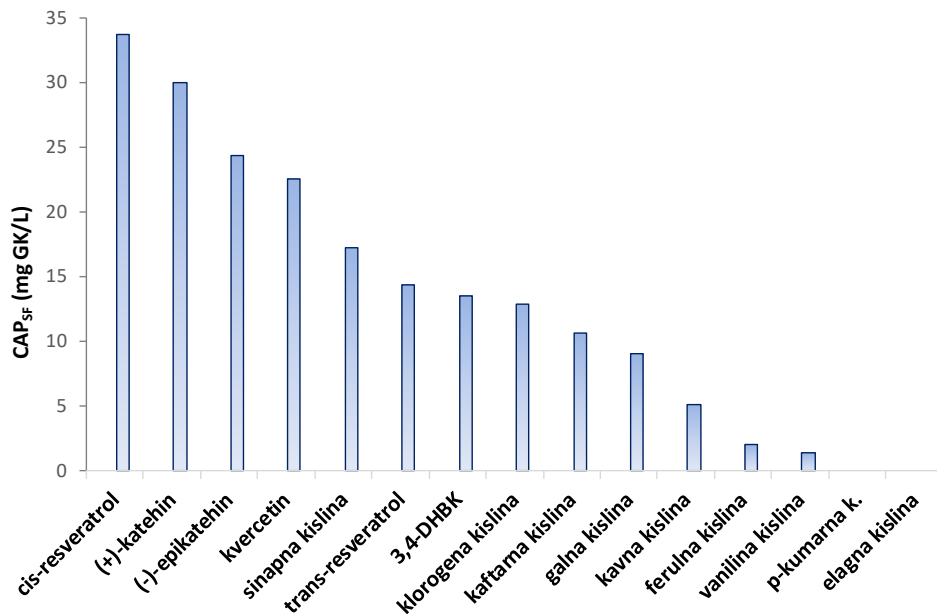
Slika 17: Prispevek posameznih FA ($c=100 \mu\text{mol/L}$) k CAP_p;

Vir: Bukovac, 2010

Prispevek posameznih FA k CAP_{SF}: raztopine posameznih FA koncentracije 50 $\mu\text{mol/L}$. Raztopine posameznih FA so pripravljene z redčenjem založne raztopine standardov FA koncentracije 500 mg/L v MeOH. Prostorninski odstotek MeOH smo izenačili. Prispevek posameznih FA k CAP_{SF} prikazuje slika 18.

K CAP_{SF} največ prispevata *cis*-resveratrol (33,7 mg GK/L) in (+)-katehin (30,0 mg GK/L), sledijo pa (-)-epikatehin (24,4 mg GK/L), kvercetin (22,6 mg GK/L) ter sinapna kislina (17,3 mg GK/L). Prispevki *trans*-resveratrola, 3,4-DHBK in klorogene kisline so približno enaki - med 14,4 in 12,9 mg GK/L. Kaftarna in galna kislina prispevata k CAP_{SF} tri-krat manj kakor *cis*-resveratrol in (+)-katehin. Prisotnost *p*-kumarne in elagne kisline ne prispeva k CAP_{SF}.

Kot je razvidno s slik 16–18, se prispevek posameznih FA k CAP zelo razlikuje tako za posamezno metodo, kakor tudi med posameznimi metodami določanja CAP. Med posameznimi fenolnimi antioksidanti k CAP največ prispeva *cis*-resveratrol.



Slika 18: Prispevek posameznih FA ($c=50 \mu\text{mol/L}$) k CAP_{SF};ž

Vir: Bukovac, 2010

Dejstvo, da *cis*-resveratrol največ prispeva k CAP, sovpada z izsledki raziskav v literaturi. Resveratrol je ena glavnih aktivnih komponent vina (Turan s sod., 2012). Poleg neposrednega antioksidativnega učinka je resveratrolu dokazan tudi zaščitni učinek preko aktivacije redoks-občutljivega signalnega sistema Keap1/NRF₂/ARE in uravnavanja avtofagije. Znan je mehanizem vpliva resveratrola na avtofagijo (Zenkov s sod., 2016). Aktivacija signalizacije NRF₂ igra bistveno vlogo pri preprečevanju poškodb celic in tkiv, ki jih povzroči oksidativni stres. Naravni inhibitor NRF₂, Kelchu podobna z ECH-povezana beljakovina 1 (Keap1), ujame NRF₂ v citoplazmo in spodbuja njegovo razgradnjo k proteasomom 26S, ki nadzorujejo proteolizo (Liu s sod., 2019). Vpliv resveratrola na razgradnjo odvečnih, poškodovanih in nepotrebnih beljakovin s proteolizo pojasni njegove ugodne učinke proti staranju (Li s sod., 2017) ter francoski paradoks (znižan obseg srčno-žilnih bolezni kljub prehrani z visoko vsebnostjo maščob) (Catalgol s sod., 2012).

Kim in sodelavci (2002) navajajo primerjavo CAP fenolnih antioksidantov in vitamina C (metoda ABTS in DPPH): galna kislina > kvercetin > epikatehin > katehin > vitamin C > rutin > klorogena kislina. Opazimo lahko popolnoma drugačno zaporedje prispevka posameznih FA k CAP kot v raziskavi Bukovac (2010).

Im in sodelavci (2014) navajajo primerjavo celokupnih antioksidativnih potencialov (titracija z ABTS) vitamina C in tokoferolov (α , β , δ , in γ). CAP tokoferolov je v naslednjem zaporedju: β -tokoferol < α -tokoferol < δ -tokoferol < γ -tokoferol. CAP binarnih kombinacij vitamina C in tokoferolov je skoraj enakovredna seštevku posameznih CAP; oba vitamina torej delujeta aditivno. CAP vitamina C je višji od CAP vitamina E. Več o vlogi vitamina C in E v poglavju »Telesna aktivnost, antioksidanti in oksidativni stres: Antioksidativni učinek TA: Vloga uživanja antioksidantov, kot prehranskih dopolnil«.

Maxwell in sodelavci (2006) navajajo formulo za napoved CAP_{KL} glede na vsebnost sečne kisline ter vitaminov A, C in E v krvnem serumu:

$$CAP_{KL} = -7,29 + 23,4 \cdot c(\text{vit A})_s + 0,81 \cdot c(\text{vit C})_s + 1,21 \cdot c(\text{vit E})_s + c(\text{sečna k.})_s$$

Z napovednim modelom Maxwella in sodelavcev (2006) je mogoče predvideti rezultate meritev CAP s 86 % zanesljivostjo. S primerjavo analiznih metod za vrednotenje vsebnosti posameznih antioksidantov in CAP se odstira pot do uporabe regresijskih enačb; v primeru, da bi te uporabili na obsežnih epidemioloških bazah podatkov, kot je na primer NHANES III, bi lahko zagotovili učinkovito orodje za raziskave povezav med serumskim CAP in različnimi boleznimi.

S primerjavo analiznih metod, s katerimi ovrednotimo ali CAP ali vsebnost posameznih antioksidantov, se odpira nov pogled na analitiko vzorcev, ki predstavlja aktualen doprinos k znanosti. Omenjena primerjava analiznih metod se bo v nadaljevanju izkazala kot ključna pri določanju biomarkerjev oksidativnega stresa (poglavje »Oksidativni stres: Biomarkerji za oceno prisotnosti oksidativnega stresa«).



OKSIDATIVNI STRES



Zdrav človeški organizem vzdržuje ravnovesje med oksidanti in reducenti. Ravnovesje med oksidanti (prooksidanti) in reducenti (antioksidanti) imenujemo oksidativno/reduktivno ravnovesje oziroma redoks status (Tauler Riera, 2012). Prekomerna tvorba ROS ali znižanje antioksidativnega potenciala povzročata motnje tega ravnovesja in spodbujata oksidacijo (Wozniak, 2003). Kadar so ravni ROS znatno zvišane vodi omenjena oksidacija v oksidativni stres (Alva s sod., 2013).

Pojem oksidativni stres je leta 1985 prvi uvedel Helmut Sies. Definiral ga je kot neravnovesje med oksidanti in antioksidanti v korist oksidantov, kar lahko privede do poškodb (Sies, 1991). Oksidativni stres je torej presežek reaktivnih zvrsti, kar je posledica neravnovesja med njihovo tvorbo in odstranjevanjem, za kar skrbi antioksidativna obramba. Ravnovesje lahko poruši povišana raven tvorbe reaktivnih zvrsti in/ali znižana fiziološka aktivnost antioksidativne obrambe. Oksidativni stres povzroča oksidativne poškodbe bioloških molekul (Halliwell in Gutteridge, 2007).

Vse oblike življenja vzdržujejo v celicah reducirajoče notranje okolje, ki ga vzdržujejo številni encimi ob neprestani porabi energije za presnovo. Zaradi motenj v tem normalnem redoks stanju lahko pride do prekomernega nastanka reaktivnih zvrsti, ki povzročijo toksične učinke. Znatno oksidativni stres vodi v smrt celice. Raven oksidativnega stresa, ki jo zazna celica, je odvisna od tvorbe reaktivnih zvrsti na eni strani in zmožnosti antioksidativnega obrambnega sistema, ki neprestano odstranjuje te reaktivne zvrsti, na drugi strani. V fizioloških razmerah je ravnovesje med prooksidanti in antioksidanti nagnjeno rahlo na stran prooksidantov, kar omogoča blag oksidativni stres (Poljšak s sod., 2013).

Pojem prooksidant se nanaša na katerikoli endobiotik ali ksenobiotik, ki sproža oksidativni stres ali s tvorbo ROS ali z zaviranjem učinkovanja antioksidativnih sistemov; vključuje vse reaktivne molekule, ki vsebujejo proste radikale v celicah ali tkivih. Endogeni prooksidanti so endogeni presnovki, celična presnova, presnovki zdravil, pretok ionov, anksioznost, patofiziologija in ishemija (oslabljena prekrvavitev srčne mišice). Eksogeni prooksidanti so patogeni (virusi, glive, paraziti), zdravila, strupene snovi, prehranske sestavine (maščobe, ogljikovi hidrati, visoko procesirana hrana, sintetični antioksidanti), onesnaževanje okolja (prehodne kovine, pesticidi, ostanki zdravil) ter podnebje (Rahal s sod., 2014).

Pisoschi in sodelavci (2021) se v preglednem znanstvenem članku osredotočajo na kemijo blaženja oksidativnega stresa z antioksidanti. Oksidativni stres pojasnjujejo kot pomanjkanje ravnovesja med prooksidanti in antioksidanti. ROS so, v omejenih količinah, potrebne za celično homeostazo in redoks signalizacijo. Oksidativni stres je prekomerna tvorba ROS/RNS, ki preprečuje delovanje obrambnih mehanizmov organizma. Trajno pustošenje endogenih in eksogenih reaktivnih zvrsti povzroči strukturne in oksidativne spremembe v ključnih biomolekulah. Kronični oksidativni stres je povezan z oksidativnimi spremembami, ki se pojavljajo v ključnih biomolekulah, na primer peroksidacija lipidov, karbonilacija beljakovin, tvorba adukta karbonil (aldehid/keton), nitriranje, sulfoksidacija ter poškodbe DNK. Oksidativni stres je tesno povezan z razvojem rakavih obolenj, sladkorne bolezni, nevrodegeneracije, bolezni srca in ožilja, revmatoidnega artritisa, bolezni ledvic ter očesnih bolezni. Posledice oksidativnega pustošenja postanejo viri oksidativnega stresa in del krogotoka, v katerem je oksidativna škoda vse večja. Izraz antioksidant se nanaša na spojino, ki lahko ovira ali preprečuje oksidacijo in deluje pri nižji koncentraciji v primerjavi s koncentracijo zaščitenega substrata. Antioksidativni učinek na peroksidacijo lipidov lahko vključuje različne mehanizme. Verižne antioksidante imenujemo primarne antioksidante, ki delujejo na način, da odstranjujejo radikalne zvrsti in jih pretvarjajo v stabilnejše radikale ali neradikalne zvrsti. Sekundarni antioksidanti preprečujejo tvorbo singletnega kisika, razgrajujejo perokside, omogočajo kelacijo prooksidativnih kovinskih ionov ter zavirajo delovanje oksidativnih encimov.

V fizioloških pogojih omogoča antioksidativni obrambni sistem primarnih antioksidantov (askorbinska kislina, glutathion GSH), sekundarnih antioksidantov (polifenoli) in antioksidantnih encimov (superoksid dismutaza SOD, katalaza CAT in glutathion peroksidaza GPx), odstranjevanje odvečnih ROS, vključno s superoksidnimi anioni ($O_2^{\bullet-}$), hidroksilnimi radikali (OH^{\bullet}), alkoksilnimi radikali (RO^{\bullet}) in peroksilnimi radikali (ROO^{\bullet}). V organizmu obstaja nenehno povpraševanje po eksogenih antioksidantih, da bi preprečili oksidativni stres, ki predstavlja neravnovesno redoks stanje v korist oksidacije. Visoki odmerki izoliranih spojin so lahko strupeni zaradi prooksidativnih učinkov ali njihovega potenciala za reakcijo s koristnimi ravnmi ROS, ki so običajno prisotne v fizioloških pogojih, potrebnih za optimalno delovanje celic (Bouayed in Bohn, 2010).

Oksidativni stres je škodljiv, ker oksidira beljakovine, lipide, kateholamine (adrenalin, noradrenalin, dopamin) in DNK. Z oksidacijo se izgubi njihova funkcija, kar vodi v nepravilno celično aktivnost in posledično smrt (Rogelj, 2017). Hkrati je oksidativni stres učinkovita strategija krepitev antioksidativne obrambe. Halliwell in Gutteridge (2007) navajata, da povišana raven reaktivnih zvrsti zvišuje učinkovitost obrambnih in obnovitvenih mehanizmov. Preko redoks signaliziranja se namreč zviša raven izražanja encimov antioksidantov in encimov za popravilo DNA.

Toro in Rodrigo (2009) navajata celovit pregled osnovnih biokemijskih in fizioloških mehanizmov, vključujoč nastanek in sproščanje ROS, kakor tudi njihov učinek na biološke molekule. Pojasnujeta obrambni odziv antioksidantov na povzročeno oksidativno škodo. Mnogi dejavniki, ki pripomorejo k zdravemu življenjskemu slogu, zmerno povišajo raven tvorbe reaktivnih zvrsti, vključno z redno telesno aktivnostjo in zmernim uživanjem nenasičenih maščobnih kislin. Obsežno dokumentirana paradigma za mnoga bolezenska stanja povezuje oksidativni stres s patološkimi spremembami, kot so ateroskleroza, zvišan krvni tlak, preeklampsija, sladkorna bolezen in druge.

Čprav antioksidanti odstranjujejo/preprečijo tvorbo reaktivnih zvrsti, lahko zaužitje večjih količin sintetičnih antioksidantov učinkuje prooksidativno in zviša raven oksidativnega stresa. Uživanje prehranskih dopolnil z antioksidanti lahko poruši fiziološko ravnovesje med tvorbo in odstranjevanjem reaktivnih zvrsti, pojavi se antioksidativni stres. Uravnotežena prehrana bogata z zelenjavo in sadjem vsekakor vsebuje varne količine antioksidantov (Poljšak s sod., 2013).

ROS kot dejavniki za razvoj bolezni

Prekomerna tvorba reaktivnih zvrsti, ki presega zmogljivost antioksidativne obrambe, izzove oksidativni stres, ki vodi v oksidativne poškodbe bioloških molekul v celicah. Posledice povišanega obsega oksidativnega stresa v človeškem organizmu lahko imajo izjemne razsežnosti; te so vidne šele ob izbruhu različnih bolezni, katerih vzrok ali posledice tičijo v sproščanju radikalov. Izkazalo se je, da so slednji vpleteni v patogenezo velikega števila različnih bolezni. Čprav je ponekod prisotnost ROS šele drugotnega pomena, to vsekakor ni zanemarljivo, saj, ko enkrat nastanejo, lahko povzročijo številne verižne reakcije, ki poškodujejo celice in tkiva. Natančno število bolezni, povezanih z oksidativnim stresom, je težko določljivo, mednje pa prav gotovo sodijo današnje civilizacijske bolezni, kot so srčno-žilne, presnovne in

nevrodegenerativne bolezni, rak in ne nazadnje tudi pospešeno staranje (Osredkar, 2012).

Oksidativni stres, ki je porušeno ravnovesje med sproščanjem prostih radikalov in endogenim antioksidativnim obrambnim sistemom, vodi predvsem v kopičenje oksidativnih poškodb, aktiviranje na stres občutljivih signalnih poti in razvoj patoloških stanj, kot so bolezni srca in ožilja ter sindrom neodzivnosti na inzulin - presnovni sindrom (Giustarini s sod., 2009; Otani, 2011).

V fizioloških pogojih tako encimatski kot tudi neencimatski sistemi ohranjajo razmerje oksidant/antioksidant, tako imenovani redoks status. Ti sistemi so med oksidativnim stresom (na primer zaradi neurejene prebave, pretirane tvorbe ROS ali znižanega potenciala antioksidativnega obrambnega sistema) preobremenjeni. Sklepamo lahko, da so bolezni rezultat nepravilnosti delovanja celic, kar lahko vodi v sistemske spremembe kot rezultat verižne reakcije. Okvaro celične funkcije lahko povzroči več dejavnikov, običajno več kot eden hkrati, ki vključuje enako patofiziološko pot. ROS prispevajo k patogenezi številnih navidezno nepovezanih motenj, vključno s sladkorno boleznijo tipa 2, rakavimi obolenji, boleznimi srca, preeklamsijo, visokim krvnim tlakom in aterosklerozo. Omenjene patologije so pomemben vzrok umrljivosti v 20. stoletju (Bhattacharya, 2015).

Oksidativni stres ima negativen vpliv na izid terapij s tehnikami asistiranje reprodukcije (ang. *assisted reproductive treatments* - ART) - umetne oploditve. Obstaja pozitivna korelacija med ravnmi 8-hidroksi-2'-deoksiguanozina (8-OHdG) in nosečniškega horijevega gonadotropnega hormona (ang. *Human Chorionic Gonadotrophin* - hCG) v serumu in folikularni tekočini. Oksidativni stres, ki ga povzroča telesna aktivnost, pomembno vpliva na reproduktivni potencial tehnik ART; telesna aktivnost pred terapijo umetne oploditve ima pozitiven vpliv na uspešnost zanositve (Prémusz s sod., 2020).

Z intenzivno telesno vadbo povišana raven sproščanja prostih radikalov lahko preseže zmogljivost antioksidativnih obrambnih sistemov v telesu in povzroči oksidativne razmere. V tolmačenju športne uspešnosti je zato potrebno upoštevati tako pozitivne kot negativne učinke sproščanja ROS. Kljub mnogim dokazom o pozitivnih učinkih različnih prehranskih dopolnil z vitamini in antioksidanti na izboljšanje porušenega ravnovesja med oksidativnimi reakcijami in antioksidativnim potencialom obstaja mnogo nasprotnih dokazov. Uživanje prehranskih dopolnil z

antioksidanti preprečuje ugodne učinke TA in je lahko škodljivo (upočasnjeno okrevanje mišic, blokada pozitivnih učinkov TA na izboljšano občutljivost za inzulin). Podatkov, ki bi podpirali učinkovitost prehranskih dopolnil z antioksidanti za namen preprečevanja možne škode, kot posledice TA višje intenzivnosti, ni dovolj. Najboljše priporočilo glede antioksidantov in TA je uravnotežena prehrana, bogata z naravnimi antioksidanti in fitokemikalijami. Redno uživanje raznovrstnega svežega sadja in zelenjave, polnozrnatih žit, stročnic in fižola, kalčkov in semen je učinkovit in varen način za izpolnjevanje vseh potreb po antioksidantih pri telesno aktivnih osebah in športnikih (Yavari s sod., 2015).

Oksidativni stres, ki ga povzroča telesna aktivnost

Splošno znano je, da se ROS tvorijo med telesno aktivnostjo s krčenjem skeletnih mišic; obseg tvorbe ROS je povezan z značilnostmi vadbe. Telesna vadba posega v obnovo funkcionalne sposobnosti mišic (Cartee s sod., 2016; Yoo s sod., 2018). Oksidativni stres igra pomembno vlogo pri poškodbah celic in je vpleten v različne mehanizme mnogih nepojasnjenih bolezni. Vlogo telesne aktivnosti pri razvoju oksidativnega stresa in možne posledice za zdravje prikazuje tabela 5.

Fraile-Bermúdez s sodelavci (2015) navajajo, da je zmerna do intenzivna telesna aktivnost pri starejših odraslih vzrok zvišanja aktivnosti antioksidativnih encimov in znižanja ravni peroksidacije lipidov, čeprav se pri ženskah povezuje z znižanjem ravni celokupnega antioksidativnega potenciala. Rezultati raziskave potrjujejo dejstvo, da ni pomembna le količina opravljene telesne aktivnosti, temveč tudi njena intenzivnost.

Diskusija na temo tipa, trajanja in intenzivnosti vadbe, ki lahko zavira staranje povzročeno z oksidativnim stresom, je zelo aktualna. Sale (1988) navaja, da so različne kombinacije vadbe, kot so aerobna vadba, vadba za moč in vadba za koordinacijo, najboljši način za izboljšanje funkcionalnih sposobnosti posameznika. Vadba za moč, na primer, izboljša koordinacijo nevronskih prilagoditev za povečanje mišične mase in moči (Sale, 1988). Vadba za moč vpliva tudi na sproščanje rastnih hormonov in hipertrofičnih dejavnikov, ki lahko zvišajo raven sinteze beljakovin za povečanje mišične mase in mišične funkcije (Fink s sod., 2018).

Tvorba maščobnega tkiva (adipogeneza) je kompleksen proces, ki ga uravnavajo številni endogeni (genetski, nevroendokrini) in eksogeni (okoljski) dejavniki. Na molekularni ravni uravnava proces adipogeneze niz transkripcijskih dejavnikov, ki prispevajo k tvorbi in diferenciaciji maščobnih celic (Rosen s sod., 2000). Pomembna regulatorja teh procesov sta hormonski receptor peroksisomni proliferator-aktivirani receptor gama (ang. *peroxisome proliferator-activated receptor gamma* - PPAR γ) in njegov gama koaktivator-1 alfa (ang. *peroxisome proliferator-activated receptor coactivator-1 alpha* - PGC-1 α). Ta beljakovina ni pomembna le v adipogenezi, temveč tudi v drugih fizioloških in patoloških procesih v telesu; beljakovine PPAR in ligandi, ki te beljakovine aktivirajo, so zato pomembne terapevtske tarče za zdravljenje mnogih bolezni (Milošević Berlič in Dovč, 2004).

Tabela 5: Vloga telesne aktivnosti pri razvoju oksidativnega stresa in možne posledice za zdravje

Izvor	Ekperimentalni model	Učinek	Bolezen/namen	Vir
aerobna in anaerobna telesna aktivnost	ljudje in živali	zvišana raven tvorbe RONS	srčno-žilne bolezni, sladkorna bolezen, debelost, KOPB, kajenje, prekinitvena klavdikacija (ateroskleroza)	Fisher-Wellman in Bloomer, 2009
telesna aktivnost	ekstrakt grozdnih pečk	inhibicija rakavih celic	rak mehurja	Raina s sod., 2013
telesna aktivnost atletov	intenzivnost, trajanje in pogostost	oksidativne poškodbe in hormeza	potreba po individualni obravnavi	Pingitore s sod., 2015
telesna aktivnost starejših odraslih	ljudje \geq 60 let (61 žensk in 34 moških)	zmerna do intenzivna TA zviša aktivnost encimskih antioksidantov in znižuje raven peroksidacije lipidov; pri ženskah znižuje raven CAP	preučiti razmerje med telesno aktivnostjo in markerji oksidativnega stresa	Fraile-Bermúdez s sod., 2015
prostovoljna, neprostovoljna in prisilna vadba	živali - podgane	izboljšane nekognitivne in kognitivne funkcije	Alzheimerjeva bolezen	Belviranlı in Okudan, 2019

RONS - reaktivne kisikove in dušikove vrstič; KOPB - kronična obstruktivna pljučna bolezen;

PGC-1 α je transkripcijski koaktivator, ki nadzoruje biogenezo mitohondrijev in je povezan z oksidativno fosforilacijo; ima osrednjo vlogo pri uravnavanju celične presnove energije. Mehanizem uravnavanja tvorbe maščobnega tkiva vključuje adaptivno termogenezo (izpostavljenost mrazu viša raven tvorbe maščobnega tkiva) in biosintezo mitohondrijev. PGC-1 α spodbuja biosintezo mitohondrijev, pospešuje preoblikovanje mišičnega tkiva ter sodeluje pri uravnavanju presnove ogljikovih hidratov in lipidov. Zelo verjetno je, da je PGC-1 α vpleten v motnje, kot so debelost, sladkorna bolezen in kardiomiopatija (bolezen srčne mišice). Zaradi regulativne vloge pri presnovi lipidov je PGC-1 α tarča za farmakološko posredovanje pri zdravljenju debelosti in sladkorne bolezni tipa 2 (Liang in Ward, 2006).

Kombinacija vadbe za moč in aerobne vadbe zvišuje raven delovanja srca in ožilja. Blagi oksidativni stres in telesna vadba lahko pozitivno spremenita delovanje mišic. Oksidativni stres lahko poruši celično signalizacijo staranja zaradi mišične atrofije. V normalnih fizioloških pogojih je za aktiviranje nekaterih pomembnih signalizacij, kot je inducirana aktivacija PGC-1 α , promotorja biogeneze mitohondrijev, potrebna minimalna raven ROS. Neuspeh v PGC-1 α signalizaciji vodi do mišične atrofije (Chan in Arany, 2014). Zvišana aktivacija PGC-1 α je vzrok zvišanja števila mitohondrijev in znižanega obsega vnetij (Handschin in Spiegelman, 2008; Thirupathi in de Souza, 2017). Vendar, povišana raven proizvodnje ROS moti glavno signalizacijo celičnega sistema, ki lahko pozitivno vpliva na proces staranja in na atrofijo mišic. Vadba za moč zvišuje aktivnost PGC-1 α v procesu staranja (Thirupathi s sod., 2019; Thirupathi in de Souza, 2017). Ker PGC-1 α ureja tako mitohondrije kot antioksidativni sistem, je raven sproščanja ROS pri nadzoru PGC-1 α ključnega pomena. ROS so lahko tudi modifikatorji signala drugih beljakovin in encimov, vključno z AMPK, ki je energetski senzor celične presnove (Cho s sod., 2006).

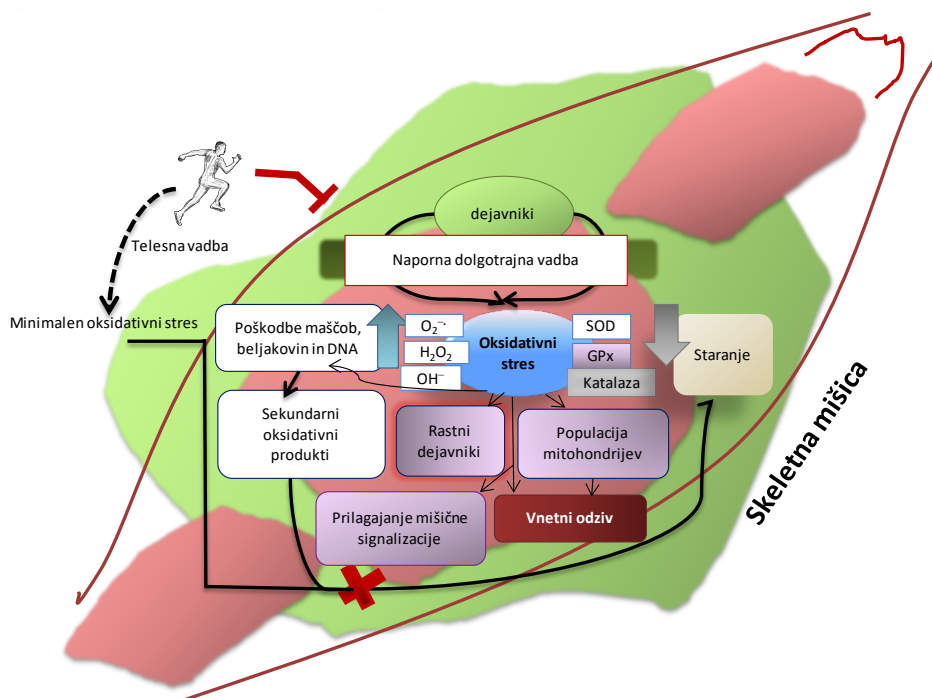
Telesna vadba je torej lahko kot senzor za vklop/izklop ROS pri uravnavanju celične signalizacije staranja. Ključni regulator prilagajanja fenotipa mišic, ki ga povzroča telesna vadba, je PGC-1 α (Lira s sod., 2010). Preveč izražen PGC-1 α viša raven biogeneze mitohondrijev in s tem hkrati sposobnost oksidativnih vlaken v mišicah. PGC-1 α uravnava številne transkripcijske dejavnike, vključno s transkripcijskim dejavnikom A v mitohondriju (ang. *transcription factor A, mitochondrial* - TFAM) in

jedrskima dejavnikoma NRF₁ in NRF₂ (Chin s sod., 1998; Puigserver in Spiegelman, 2003).

PGC-1 α je tudi neposredno mesto vezave za transkripcijske dejavnike mišičnih celic - miocitov (ang. *myocyte enhancer factor-2* - MEF₂), ki uravnava tip vlaken mišice, zlasti gladkih mišičnih vlaken, kar ima za posledico povečano vzdržljivost mišice (Potthoff s sod., 2007). Že posamezna (enkratna) vadba lahko zviša raven PGC-1 α , a se ta ponovno zniža, ko z vadbo prenehamo. Dolgotrajna telesna vadba spremeni plastičnost mišic v smislu oksidativnega tipa vlaken, kar ima za posledico zvišanje ravni PGC-1 α (Pilegaard s sod., 2003).

Za prehod vlaken na oksidativni tip je značilna zvišana tvorba mitohondrijev, gostota in oksidativni metabolizem (Lin s sod., 2002). Nasprotno pa je glikolitična vlaknina mišic znižala vzdržljivostno aktivnost (Handschin s sod., 2007). PGC-1 α je ključni posrednik večih celičnih procesov, potrebnih za razvoj vzdržljivosti mišic (Thirupathi in de Souza, 2017).

Thirupathi in sodelavci (2020) navajajo, da povzroča telesna vadba v skeletnih mišicah pozitiven oksidativni stres. Dejansko je telesna vadba eden izmed dejavnikov, ki odločajo o pozitivnih učinkih ROS na staranje skeletnih mišic v smislu vpliva na prilagajanje in obnovo mišic (slika 19). Posebni lastnosti skeletnih mišic, kot sta plastičnost in sposobnost prilagajanja na vadbo, običajno premagata negativni učinek ROS, povzročen s telesno vadbo. Sedeč življenjski slog vpliv teh posebnih lastnosti mišic zniža, kar kaže na pomen telesne vadbe, še posebej pri starostnikih. Pri slednjih je zato potrebno posebej določiti odziv, ki ga povzroča telesna vadba in stopnjo njene intenzivnosti, da bi preprečili s starostjo povezane zaplete in zavrli staranje skeletnih mišic.



Slika 19: Telesna vadba povzroča pozitiven oksidativni stres pri staranju skeletnih mišic.

Vir: prirejeno po Thirupathi s sod., 2020; ilustracija: A. Bukovac

Biomarkerji za oceno prisotnosti oksidativnega stresa

Za oceno prisotnosti oksidativnega stresa v celicah ali tkivih so v rabi štiri kategorije biomarkerjev: raven oksidantov in produktov oksidacije, raven antioksidantov ter ravnovesje prooksidanti/antioksidanti, torej redoks status.

Prva kategorija biomarkerjev oksidativnega stresa vključuje določanje oksidantov. Neposredno določanje ravni sproščanja radikalov v živih celicah je zahtevno, saj so radikali zelo reaktivni in imajo kratek razpolovni čas (Han s sod., 2000). Druga kategorija biomarkerjev vključuje določanje antioksidantov v tkivih. Teoretično naj bi med oksidativnimi poškodbami prišlo do znižanja ravni antioksidantov v celicah (recimo glutationa, askorbata (vitamin C) in α -tokoferola (vitamin E)) in povišanja redoks statusa v prid oksidirani obliki, zato se analiza znižanja ravni določenega antioksidanta in njegov redoks status (delež oksidirane oblike) uporablja kot biomarker oksidativnega stresa (Halliwell in Gutteridge, 2007).

Kljub temu, da je ocena ravni antioksidantov v tkivu pomembna kot biomarker oksidativnega stresa, ima ta pristop nekaj pomanjkljivosti. Na raven antioksidantov v celicah lahko namreč vplivajo tudi številni drugi dejavniki, na primer spremembe v celični presnovi in prehrani. Težava, povezana z analizo tkivnih antioksidantov, je možnost avtooksidacije med pripravo vzorcev, kar posledično niža raven antioksidantov v analitu (Halliwell in Gutteridge, 2007), zato je ključnega pomena pravilno vzorčenje (nemudno zamrzovanje na tekočem dušiku) in standardizacija vzorčenja med obravnavanji.

Kategorija biomarkerjev oksidativnega stresa je tudi spremljanje produktov oksidacije ter redoks statusa - ravnovesja med antioksidanti in prooksidanti v bioloških vzorcih (slika 22) (Powers s sod., 2011c).

Biomarkerji za oceno prisotnosti oksidativnega stresa v celicah in tkivih so:

- oksidanti (superoksidni anioni, hidroksilni radikal, vodikov peroksid, peroksinitrit in drugi radikali);
- antioksidanti (glutation, fenolni antioksidanti, askorbat, α -tokoferol, celokupni antioksidativni potencial);
- produkti oksidacije (beljakovinski karbonili, izoprostani, nitrotirozin, 8-OH-dG, 4-hidroksi-nonenal, melon-dialdehid) ter
- redoks status (GSH/GSSG razmerje, cistein redoks stanje, ASC/DHA razmerje, tiol/disulfid stanje in drugi) (Powers s sod., 2011c)."

Vrednotenje stanja oksidativnega stresa v organizmu je izjemno aktualno. Na mestu se zdi pristop z določanjem celokupnega antioksidativnega potenciala bioloških vzorcev. S hitro karakterizacijo CAP vključuje tako medsebojne sinergistične vplive posameznih antioksidantov kakor tudi vplive drugih komponent, katerih možen učinek je prooksidativen.

Kot je razvidno iz poglavja »Antioksidanti: Problematika vrednotenja antioksidantov: Ugotovitve glede primerjave metod določanja CAP«, se prispevek posameznih antioksidantov k CAP zelo razlikuje tako za posamezno metodo, kakor tudi med posameznimi metodami določanja CAP.

S primerjavo metod določanja CAP lahko iz niza metod izberemo najprimernejšo za določen biološki vzorec. Izkušnje nagovarjajo v načelo preprostosti tudi pri izboru analizne metode. Ker je organizem živ sistem, ki se prilagaja nenehnim spremembam, je vsaka določitev oksidativnega stresa le približna ocena trenutnega stanja.

Mravljak (2015) navaja, da lahko povišan obseg oksidativnega stresa izvira iz povišane ravni tvorbe reaktivnih snovi ali znižanega potenciala antioksidativne obrambe. Poškodbe biomolekul so lahko posledica povišane ravni tvorbe reaktivnih zvrsti, znižanega potenciala antioksidativne obrambe in/ali sprememb v popravilu poškodovanih bioloških molekul. Ker nobeden od kazalnikov (biomarkerjev) ne more napovedati razvoja bolezni kot posledice dolgotrajnega oksidativnega stresa, je potrebno uporabiti več metod za kvalitativno in kvantitativno določanje oksidativnega stresa, saj ima vsaka metoda svoje prednosti in slabosti. Z različnimi metodami lahko neposredno določamo posamezne reaktivne zvrsti ali pa posredno določamo raven različnih produktov oksidacije.

Za oceno redoks statusa (prooksidativnega potenciala) so v rabi različne analizne metode, najpogostejše so:

- elektronska paramagnetna resonanca (EPR) z uporabo spinskih pasti za lovljenje zelo reaktivnih in kratkoživih radikalov,
- določanje ravni malondialdehida in drugih reaktivnih elektrofilov kot sekundarnih produktov oksidacije lipidov (na primer z uporabo tiobarbiturne kisline),
- določanje ravni hidroperoksidov s pomočjo Fentonove reakcije in kromogena (d-ROM-ov test),
- določanje vsebnosti lipidnih peroksidov in izoprostanov (produktov lipidne peroksidacije),
- določanje ravni 8-hidroksideoksigvanozina (kazalnik oksidacije nukleinskih kislin v urinu in drugih telesnih tekočinah) ter
- kemiluminometrična metoda za spremljanje sproščanja radikalov iz celic (na primer iz nevtrofilcev) z uporabo luminola, luciferina ali luciferinskega analoga cypridina (morska kresnička *Cypridina bilgendorfi*) (Mravljak, 2015).

Uporaba kemiluminometrične metode je skupna določanju celokupnega antioksidativnega in prooksidativnega potenciala. Več zapisanega o uporabi te metode za vrednotenje CAP je v poglavju »Antioksidanti: Problematika vrednotenja antioksidantov: Metode vrednotenja CAP«. Za določitev CAP s kemiluminometrično metodo (CAP_{KL}) je v raziskavi uporabljen testni kit Abel[®], ki vključuje na beljakovine vezan luciferin Pholasin[®] (iz školjk *Pholas dactylus*). Slednji reagira z lastno luciferazo in molekularnim kisikom, da proizvede svetlobo. Kadar je v reakcijskem mehanizmu poleg Pholasina[®] še kakšen drug antioksidant, ki je sposoben prestreči del superoksidnega iona Pholasinu[®], takrat se tvori manj svetlobe. Merimo luminescenco izraženo v relativnih svetlobnih enotah v odvisnosti od časa. Rezultat je maksimalna vrednost luminescence. Vsebnost antioksidanta v vzorcu je izražena kot delež inhibicije med kontrolno raztopino in raztopino z vzorcem. Kontrolna raztopina ne vsebuje vzorca (Hipler in Knight, 2022).

Rezultati lastnih raziskav na področju antioksidantov potrjujejo smiselnost sistemskega pristopa k izzivu ocene obsega oksidativnega stresa s primerjavo analiznih metod. Tako se tudi pri določanju biomarkerjev oksidativnega stresa zdi ključna primerjava rezultatov, dobljenih z različnimi analiznimi metodami.

Camiletti-Moirón in sodelavci (2013) ter Bouzid in sodelavci (2015) navajajo, da je primerjava med metodami, ki prispevajo k zniževanju ravni oksidativnega stresa, otežena zaradi dejstva, da so študije, ki jih zasledimo v literaturi, izvedene z uporabo različnih eksperimentalnih zasnov (preučevanih vzorcev, posegov in rezultatov). Navedeno velja upoštevati pri zasnovi raziskav vrednotenja obsega oksidativnega stresa s primerjavo analiznih metod v prihodnje.

S primerjavo analiznih metod, s katerimi ovrednotimo oksidativni stres ali redoks status, se odpirajo možnosti za nov pristop k analitiki vzorcev. S primerjavo metod določanja redoks statusa lahko iz niza metod izberemo najprimernejšo za določen biološki vzorec. Ponovno, izkušnje nagovarjajo v načelo preprostosti pri izboru analizne metode.

Vloga kisika

Kisik je za življenje vseh aerobnih organizmov nujno potreben. Kot oksidant je končni prejemnik elektronov in protonov v oksidacijskih procesih, s katerimi celica pridobiva energijo, hkrati pa je tudi vir težav, povezanih z radikali in drugimi

reaktivnimi zvrstmi. Molekularni kisik v atmosferi je biogenega izvora. Neprestano nastaja iz vode pri fotosintezi, kjer rastline izkoriščajo energijo svetlobe sonca za redukcijo CO₂, elektrone in protone pa pridobijo z oksidacijo iz vode. Kisik se porablja v procesih celičnega dihanja, kjer se reducira ponovno v vodo. Ozon (O₃) je še ena pojavna oblika kisika, od njega je tudi reaktivnejši. Iz kisika nastanejo vse preostale reaktivne kisikove zvrsti, ki so lahko radikali (superoksidni anion O₂^{-•}, hidroperoksilni radikal HOO•, hidrosilni radikal HO•) ali pa neradikali (na primer vodikov peroksid H₂O₂, peroksnitrit ONOO⁻). Poleg ROS se v organizmu pojavljajo še dušikove (RNS), ogljikove, žveplove in halogene reaktivne zvrsti (Šuput in Kamarič, 2001).

Reaktivne zvrsti v organizmu ne povzročajo le škode, ampak so jih celice v procesu evolucijske preobrazbe vključile v biokemijske procese, kjer opravljajo številne nepogrešljive naloge, kot na primer redoks signaliziranje. Nekatere reaktivne zvrsti so pomembne signalne molekule (zlasti •NO, druge so to le v nizkih koncentracijah - H₂O₂), ki modulirajo razmnoževanje celic, apoptozo, in ekspresijo genov s pomočjo aktivacije prepisovalnih dejavnikov. ROS so lahko signalni intermedijati za nekatere citokine, beljakovine majhne molekulske mase, ki delujejo kot posredniki med elementi imunskega sistema. Reaktivne zvrsti so pomemben del obrambe imunskega sistema pred patogeni, ki so vdrl v telo (virusi, bakterije, glivice). Aktivirani fagociti tako namenoma tvorijo večje količine O₂^{-•}, HOCl in H₂O₂, oksidativni stres pa je neizogiben spremljevalec vnetnih procesov (Halliwell in Gutteridge, 2007).

V večini aerobnih celic je najpomembnejši vir O₂^{-•} *in vivo* veriga prenašanja elektronov. Vsaj 1 % elektronov (~3 mol/dan) uide iz dihalne verige. Elektroni se po verigi prenašajo preko beljakovinskih kompleksov in mobilnih prenašalcev (koencim Q ter citokrom c). Končni prejemnik je kisik. V verigo prenašanja elektronov lahko vstopa tudi NADH iz citosola; v skeletni mišici in možganih vstopa preko glicerol-3-fosfata, v srčni mišici in jetrih pa preko malat-aspartatnega transportnega sistema (Mravljak, 2010 in 2015).

Zmerne količine O₂^{-•} in H₂O₂, ki izhajajo iz mitohondrijev, imajo pomembno vlogo pri celi vrsti celičnih signalnih procesov (mitohondrijska hormeza). Lahko aktivirajo signalne poti, ki celici omogočijo preživetje in povišajo njeno odpornost v primeru bolezni, ali pa ob višjih koncentracijah sprožijo apoptozo celice (Pečar s sod., 2015).

ROS nastajajo pri aerobni presnovi kot stranski produkti; sproščajo se v procesu oksidativne fosforilacije oziroma v mitohondrijskem elektronskem transportu, pri vnetjih in presnovi ksenobiotikov. Nedavno so predvidevali, da se v mitohondriju v ROS pretvori 2–5 % sprejetega kisika. Danes ugotavljajo, da je dejanski delež kisika, ki se pretvori v ROS okoli 0,15 %, kar je bistveno manj (Rotovnik Kozjek, 2015b).

Vloga kisika v telesu je ključna. Obnova celic, presnova hranilnih snovi in izločanje odpadnih produktov procesa oksidacije so odvisni od kisika. Kisik je ključen za procesiranje informacij v možganskih celicah, za nastanek beljakovin in ogljikovih hidratov; prav tako je ključen pri procesih razmišljanja, gibanja, hranjenja, govorjenja, čustvovanja, presnavljanja,... Ob pomanjkanju kisika so omenjene funkcije ovirane ali oslABLJENE. Tudi pri ohranjanju imunske odpornosti telesa ima kisik pomembno vlogo. Optimalnejša kot je preskrba telesa s kisikom, boljša je imunska odpornost telesa. Pomanjkanje kisika v krvi, tkivih in celicah vodi do zakisanja telesa. Slednje je vzrok številnim boleznim sodobnega časa, tudi rakavim obolenjem. Učinkovite terapije rakavih obolenj celicam omogočajo ponovno sprejemanje kisika. Prooksidanti so na tem mestu ključnega pomena (Vogel, 2016). Navedeno razloži uspešnost terapije rakavih obolenj s prehransko čistim vodikovim peroksidom, močnim prooksidativnim sredstvom (Roguski, 2009).

Tehnološka doba, ki jo živimo, ima za posledico vse večjo onesnaženost zraka. Razmere s pomanjkanjem kisika v zraku v tem hipu še niso življenjsko ogrožajoče, a z neustreznim načinom življenja prevešamo tehtnico v smer, ko telesu onemogočamo optimalno porabo kisika iz vdihanega zraka. Zaradi izločanja stresnih hormonov zahteva telo, ki je v stresni situaciji, višjo porabo kisika. Kakšen se zdi način dihanja, kadar smo v stresnih situacijah, v strahu, skrbeh? Se zdi, da lahko v nenehni napetosti dihamo s polnimi pljuči ali plitko? Dejstvo je, da plitko dihanje ne preskrbi telesa z zadostno količino kisika. Omeniti velja še dehidracijo telesa, ki prav tako znižuje zmogljivost telesa, da prevzame kisik iz vdihanega zraka, saj zaradi pojava zgotovitve krvi eritrociti težje prenašajo kisik po telesu.

Stalnost kemijske sestave telesnih tekočin - homeostaza

Telo ima številne mehanizme za vzdrževanje homeostaze v krvi in zunajcelični tekočini. Najpomembnejši način za ohranitev konstantne pH vrednosti krvi je puforni sistem. Homeostatsko vlogo pufrov izboljšujejo posamezni organi. Naloga ledvic je odstranjevanje odpadnih snovi iz krvi ter odstranjevanje H_3O^+ in drugih

ionov iz telesa. Posledica odpovedi ledvic za izvajanje funkcije izločanja je presnovna acidoza. Izločanje ledvic je relativno počasen proces, za preprečitev akutne acidoze, ki je posledica nenadnega znižanja pH (na primer med telesno aktivnostjo), je ta proces prepočasen. Hitrejši nadzor pH krvi izvajajo pljuča. Pospešeno dihanje preprečuje zniževanje pH z odstranitvijo CO_2 , komponente glavnega pufru v krvi. Acidoza, ki nastane zaradi neuspeha pljuč, da bi CO_2 odstranile v istem hipu, kot se le-ta proizvede, je znana kot dihalna acidoza (Bresjanac, 2002).

pH puferne raztopine (krvi) zavisi le od razmerja količin CO_2 in HCO_3^- v krvi (pri določeni T, da ostane pK konstanten). To razmerje ostaja uravnoteženo (homeostaza $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$), kajti ravni obeh sestavin pufru (HCO_3^- in CO_2) sta zelo visoki v primerjavi z ravno H_3O^+ , ki se v krvi sprošča ob zmerni telesni aktivnosti in redni vadbi. Kadar se v krvi tvori H_3O^+ kot posledica prebavnih procesov, se raven HCO_3^- zniža (relativno glede na raven CO_2); sprememba ravni H_3O^+ je, v primerjavi s koncentracijo HCO_3^- , ki je prisotna v krvi, vsekakor zelo majhna. Takšno optimalno pufranje je mogoče, kadar je pH vrednost med 7,1 in 7,4 (blizu pK pufernega sistema). Običajna pH vrednost krvi je 7,4 - torej izven optimalnega območja delovanja pufru; iz navedenega sledi, da je lahko dodajanje protonov H_3O^+ v kri (kot posledica intenzivne telesne aktivnosti) prevelik zalogaj za sam pufer, da bi le-ta uspel učinkovito uravnati pH krvi. V taki situaciji je potrebna vključitev drugih telesnih organov, da pomagajo uravnati raven CO_2 in HCO_3^- v krvi. Prebitni CO_2 iz krvi odstranijo pljuča (pomagajo zvišati pH), prebitni HCO_3^- iz telesa pa odstraniti ledvici (pomagata znižati pH). Med telesno vadbo je aktivnost pljuč, da odstranijo CO_2 iz krvi nekako ovirana, kajti srčni utrip je zelo pospešen; kri se zelo hitro prečrpava skozi kapilare in s tem je v pljučih na voljo zelo kratek čas za zamenjavo CO_2 s kisikom (Casiday in Frey, 2007).

Dihanje in kompleksne motnje kislinsko-bazičnega ravnovesja

Motnje v nastanku ali izločanju kislin in baz vodijo k višku ali pomanjkanju kislin in baz ter povzročajo acidozo, alkalozo ali kombinacijo obeh. Kompleksne motnje pomenijo kombinacijo vsaj dveh primarnih motenj kislinsko-bazičnega ravnovesja. Možne so kombinacije: dihalna acidoza in presnovna alkalozna, presnovna acidoza in dihalna acidoza, presnovna acidoza in dihalna alkalozna, presnovna alkalozna in dihalna alkalozna, presnovna acidoza in presnovna alkalozna in dihalna acidoza ali alkalozna. Glede na razmerje med kationi in anioni lahko presnovno acidozo klinično delimo

na acidozo z normalno anionsko vrzeljo in na acidozo s povišano anionsko vrzeljo. H kationom prispeva predvsem Na^+ , k anionom pa prispevata HCO_3^- in Cl^- (Šifter, 2011).

Presnovna alkaloza je stanje povišane ravni HCO_3^- in zvišane pH vrednosti krvi. Vzroka sta ali dodatek nehlapnih baz (vnos HCO_3^-) ali izguba nehlapnih kislin (s pomočjo ledvic, prebavil). Uravnavanje je možno s pufranjem, dihalno kompenzacijo (hipoventilacija), pomembna je tudi vloga ledvic.

Dihalna acidoza se pojavi pri povišanem parcialnem (delnem) tlaku pCO_2 (nad 40mmHg) - hiperkapnija in posledično znižani pH vrednosti krvi. Osnovni razlog dihalne acidoze je hipo-ventilacija. Zvišanje pCO_2 pomakne ravnotežje reakcije 1:



v desno, zato oksonijevi ioni H_3O^+ , ki se niso vezali na nehlapne pufre, povzročijo znižanje pH vrednosti. Do znižane ravni izločanja CO_2 iz telesa lahko pride zaradi znižane izmenjave plinov s pomočjo alveolov, kot rezultat neustrezne ventilacije ali zaradi slabše difuzije plinov. Vzroki pojava dihalne acidoze so depresija dihalnega centra zaradi vzrokov v centralnem živčevju (na primer učinki zdravil, anestezije, nevrološke bolezni - možganska kap ali intrakranialni tumor, uživanje alkohola, poškodbe), abnormalnosti prsnega koša (kar vodi do oslabelosti respiratornih mišic zaradi prizadetosti nevro-muskularnih sinaps, nevronov,...), difuzne pljučne bolezni (na primer pljučni edem, kronični bronhitis, difuzna intersticijska fibroza), KOPB (emfizem, kronični bronhitis, astma), pneumotoraks, obstrukcija zgornjih dihalnih poti (predvsem v sapniku in grlu) ter hiperventilacija zaradi debelosti (Šifter, 2011).

Pri kompenzaciji akutne dihalne acidoze (zelo nizek pH, minimalno povišana raven HCO_3^-) sodelujejo predvsem znotrajcelični pufri. CO_2 difundira v celice (predvsem eritrocite), kjer reagira z vodo in tako nastaneta proton in HCO_3^- . H_3O^+ se veže na znotrajcelične pufre, HCO_3^- pa difundira iz celic v kri. Pri kronični dihalni acidozi (rahlo znižan pH in visoka koncentracija HCO_3^-) se zaradi povišanega PCO_2 in znižanega pH zviša raven izločanja H_3O^+ preko ledvic, reabsorbira HCO_3^- v nefronu in izločanje NH_3 . Ti mehanizmi pripomorejo k pridobivanju novo nastalega HCO_3^- (Guyton in Hall, 2000).

Dihalna alkaloza - zanjo je značilen znižan PCO_2 (< 40 mmHg) (hipokapnija) in povišan pH krvi ($> 7,4$). Do dihalne alkaloze pride zaradi hiperventilacije, do nje privedejo stanja, ki zvišujejo izhlapevanje CO_2 iz organizma. Vzrok je spodbujanje dihalnega sistema, kar vodi v povišano izločanje CO_2 v izdihanem zraku. Do povišane ravni ventilacije lahko pride v primerih hiperventilacije zaradi anksioznosti, povišane temperature, zastrupitve s salicilati, umetnega predihavanja, nosečnosti (progesteron spodbuja dihanje), možganskih bolezni (tumorji), kronične bolezni jeter, kronične hipoksije (pljučne bolezni, bolezni srca, prilagajanje na visoke višine). V akutni fazi dihalne alkaloze, ki nastane zaradi hiperventilacije in znižanja PCO_2 , je za kompenzacijo pomembno predvsem znotrajcelično pufranje. V ledvicah se motnje v kislinско-bazičnem ravnovesju kompenzirajo na način, da inhibirajo reabsorbcijo HCO_3^- v nefronu in znižajo raven izločanja NH_3 (Šifter, 2011).

Telesna aktivnost in negativni stres

Kljub velikemu napredku v športni medicini ostaja fiziološki mehanizem zmerne fizične sposobnosti, ki jo povzroča telesna aktivnost, le delno razumljen. S kombinacijo hormetične značilnosti telesne aktivnosti in lastnostmi alostaze lahko razložimo s hormezo sproženo izboljšanje alostatske puferske kapacitete kot fiziološki mehanizem, ki pojasnjuje z zmerno telesno aktivnostjo spodbujeno telesno vadbo. Telesna aktivnost, kot stresni dražljaj, lahko povzroči tako pozitiven kot negativen stres ter lahko ima tako pozitivne kakor tudi negativne učinke. Premalo ali preveč telesne aktivnosti povzroči prešibek pozitiven stres ali premočan negativen stres ter povzroči obremenitev alostaze z oslavitvijo alostatične puferske kapacitete ali celo poškodbami slednje. Redna, zmerna telesna aktivnost vedno znova sproža pozitiven stres in prispeva k hormezi, ki je povzročila alostatično povišanje zmogljivosti puferskega delovanja, kar koristi organizmu (Li in He, 2009).

Aschbacher in sodelavci (2013) poročajo, da se raven kortizola kot odziv na akutno stresen dogodek zviša ter ima potencial, da ali izboljša ali oslabi psihobiološko odpornost na oksidativno škodo, odvisno od predhodne izpostavljenosti kroničnemu psihološkemu stresu. Kronična izpostavljenost stresu spodbuja oksidativno škodo s pogostim in trajnim aktiviranjem osi hipotalamus-hipofiza-nadledvična žleza. Manj raziskani model učinkov pozitivnega stresa zagovarja dejstvo, da lahko obvladljive ravni življenjskega stresa izboljšujejo psihobiološko odpornost na oksidativno škodo.

Gucciardi s sodelavci (2020) navaja, da so spremembe v intenziteti telesne aktivnosti in ravneh občutenja negativnega stresa časovno povezane. Raven občutenja stresa v dani časovni točki napoveduje naknadno spremembo tako intenzitete TA kot ravni občutenja stresa. Raven telesne aktivnosti posameznika in raven njegovega občutenja negativnega stresa sta torej soodvisni. Zvišanje ravni občutenja negativnega stresa vpliva na znižanje ravni TA. Višja kot je raven občutenja negativnega stresa v preteklem obdobju, manj telesno aktiven bo posameznik v prihodnje.

Ukrepi, usmerjeni v telesno vadbo, so se v podjetjih pokazali podobno učinkoviti kakor tehnike sproščanja in ukrepi kognitivnega prestrukturiranja; slednji pripomorejo k temu, da znajo zaposleni težave in probleme videti kot izzive in možnosti za rast, torej kot obliko pozitivnega stresa in tako učinkovito uravnavajo negativni stres (Van Rhenen s sod., 2005).

Podjetja, ki izvajajo programe, s katerimi v dnevno ali tedensko delo zaposlenih vključujejo TA, vlagajo tako v dobrobit zaposlenih kakor tudi v dobrobit podjetja. Pomanjkanje TA zaposlenih ima zelo pomembne ekonomske posledice. Za spodbujanje TA je potreben konkreten, ciljno usmerjen sistemski pristop. Glede dojemanja stresa na delovnem mestu smo v Sloveniji v samem vrhu EU. 45,6 % vseh zaposlenih meni, da je zaradi dela ogroženo njihovo zdravje; v EU je tega mnenja poprečno 28,6 % zaposlenih. Kot najpogostejši razlog jih 37,7 % navaja stres, kar je drugi najvišji odstotek med vsemi državami EU, takoj za Grčijo (55%). Število primerov izgorelosti zaposlenih v slovenskih podjetjih še naprej narašča, zato se je dobro zavedati, da za razliko od zloma noge zadnja faza izgorelosti pomeni za prizadetega čustveni, telesni in mentalni zlom. Pričakovati je tudi, da bodo zaposleni, ki bodo na delovnem mestu izgoreli, začeli vlagati tožbe proti delodajalcem, saj je vodstvo soodgovorno za preprečevanje, da do zadnje faze izgorelosti ne pride (Šprah, 2012).



**TELESNA
AKTIVNOST,
ANTIOKSIDANTI IN
OKSIDATIVNI STRES**



Antioksidativni učinek telesne aktivnosti

Celice v okviru presnovnih procesov neprestano proizvajajo proste radikale. Te proste radikale obvladuje izdelan obrambni sistem antioksidantov, ki sestoji iz encimskih (katalaza, superoksid dismutaza, glutacion peroksidaza) in številnih neencimskih antioksidantov, vključno z vitamini A, E in K, glutationom, ubikinonom ter flavonoidi. Telesna aktivnost lahko povzroči neravnovesje med ROS in antioksidanti, kar imenujemo oksidativni stres. Preučeni so markerji, ki se uporabljajo za določanje oksidativnega stresa v vzorcih krvi in mišic, spremembe v oksidativnem stresu, povzročene s telesno aktivnostjo ter dani odgovori ali športniki potrebujejo antioksidante, kot prehranska dopolnila. Ne moremo z gotovostjo trditi, da telesna aktivnost povzroča negativni oksidativni stres, kakor tudi ne moremo trditi, da lahko antioksidanti znižajo raven oksidativnega stresa. Ni jasno, ali je povišanje ravni oksidativnega stresa, ki se pojavi pri telesni vadbi, potrebno za prilagajanje mišic ali pa je škodljivo, ker povzroča poškodbe mišic, ki ovirajo možnost izvajanja vadbe. Vse več dokazov je, da lahko prosti radikali služijo kot signali, ki spodbujajo prilagoditvene procese (Jackson, 2005).

Za zaščito pred oksidativnim stresom je zelo pomemben antioksidativni obrambni sistem; pomemben koncept, ki ga je potrebno razviti, je razlikovanje med inducibilnimi in neinducibilnimi antioksidanti. Prvi, vključno z encimskimi antioksidanti in glutationskim sistemom, kažejo vidne odzive na dolgotrajno TA v skeletnih mišicah pod pogojem, da se ohrani ustrezen prehranski status. Razumevanje značilnosti in mehanizmov učinkovanja različnih antioksidantov vodi v razvijanje ustreznih strategij za zvišanje celokupnega antioksidativnega potenciala celic (Ji, 1999).

ROS so pomembni presnovki v mišicah. Tvorijo se v mitohondrijih in oksidazah. Prekomerna proizvodnja ROS povzroči molekulska in celo celično škodo. ROS, ki nastanejo pri telesni vadbi, imajo fiziološko vlogo; so signali prilagoditve mišic vadbi. Najpomembnejša med prilagoditvami vadbi je sprememba hitrosti biogeneze mitohondrijev, ki je odvisna od aktivacije dejavnikov, kot sta PGC-1 α in mitohondrijski transkripcijski dejavnik A (mtTFA), ki ju sprožajo oksidanti. Nadalje, telesna vadba vključuje aktivacijo replikacije antioksidativnih genov za na primer GPx in manganovo superoksid dismutazo (MnSOD). Lahko bi rekli, da je telesna vadba antioksidant (Gomez-Cabrera s sod., 2015).

Primarni encimski antioksidanti v celicah vključujejo superoksid dismutazo, glutatión peroksidazo in katalazo. K zaščiti celic pred oksidacijo prispevajo tudi drugi encimski antioksidanti, kot so peroksiredoksini, glutaredoksini in tioredoksin reduktaze (Powers s sod., 2011c).

Pesic in sodelavci (2012) poročajo o povišanem celokupnem antioksidativnem potencialu v krvi vrhunskih športnikov. De Sousa in sodelavci (2017) po meta analizi navajajo, da se raven antioksidantov v proučevanih posameznikih zvišuje ne glede na intenzivnost, obseg in vrsto vadbe, raven prooksidantov pa se po telesni vadbi običajno zniža. Zdi se, da ima telesna vadba antioksidativni učinek. Priporoča se, da ljudje izvajajo telovadne vaje, da bi izboljšali redoks stanje v organizmu, ne glede na zdravstveno stanje in s tem izboljšali rezultate, povezane z zdravjem.

Skozi evolucijo smo pridobili učinkovito obrambno zaščito, ki jo sestavljajo različni antioksidanti z različnimi vlogami. Vključujejo se tudi proteini, ki nadzorujejo odzive na oksidativni stres, zlasti znotraj poti Keap1-Nrf2 in avtofagne-lizosomske poti (Giordano s sod., 2014).

Obstaja mnogo oksidantov in antioksidantov. Pri razlagi in razpravi o vlogi in učinkih oksidativnega stresa in antioksidantov je zato nujno izrecno navesti oksidant in antioksidant. Vitamin E je na primer učinkovit pri preprečevanju in zdravljenju bolezni, ki jih povzročajo prosti radikali, kadar jih prestrežemo pravočasno, vendar ni učinkovit proti oksidativni škodi, ki jo povzročijo neradikalni oksidanti (Niki, 2016).

Vloga uživanja antioksidantov kot prehranskih dopolnil

Prehranska dopolnila v obliki antioksidantov običajno uživajo športniki vadbe za vzdržljivost z namenom zniževanja ravni oksidativnega stresa, ki ga povzroča vadba, za izboljšanje okrevanja in zmogljivosti. Obstajajo številna komercialno dostopna prehranska dopolnila, ki naj bi imela antioksidativne lastnosti. Večina teh spojin je glede *in vivo* redoks aktivnosti in učinkovitosti slabo raziskana.

Pregled spojin, ki so v splošni rabi in za katere se domneva, da imajo antioksidativni učinek, kadar jih uživamo pred in/ali po telesni vadbi, navajajo Mason in sodelavci (2020). Uživanje N-acetil cisteina je v dneh pred vzdržljivostno vadbo lahko učinkovito. Kronični vnos kombinacije vitamina C in E (1000 mg) se v obdobjih visoko intenzivne telesne vadbe ne priporoča. Melatonin, vitamin E in α -lipoična kislina se zdijo učinkoviti pri zniževanju markerjev oksidativnega stresa, ki ga povzroča vadba, vendar dokazi o njihovih učinkih na zmogljivost po vadbi za vzdržljivost te navedbe ne podpirajo. Katehini, antocianini, koencim Q10 in vitamin C lahko izboljšajo delovanje žil, vendar so dokazi omejeni le na posebne podpopulacije in/ali ne pomenijo splošnega izboljšanja učinkovanja. Za dokaz potencialnih koristi kurkumina pri izboljšanju okrevanja mišic po visoko intenzivni telesni vadbi so potrebne nadaljnje raziskave. Slednje so potrebne tudi v primeru možnih ovirajočih učinkov astaksantina, seleno in vitamina A na prilagoditve

skeletnih mišic po vadbi za vzdržljivost. Vsekakor velja izpostaviti dejstvo, da gre za akutno pomanjkanje podpornih dokazov za koristno učinkovanje večine antioksidantov, zato jih v tem hipu športnikom ne velja priporočiti.

Prehranske antioksidante, kot sta vitamina C in E, danes uživajo mnogi, še zlasti vrhunski športniki z namenom, da bi v čim večji meri znižali obseg poškodb mišic in izboljšali njihovo delovanje. Vse več je dokazov, da sintetični antioksidanti z nižanjem fiziološke ravni ROS ovirajo koristne prilagoditve telesni vadbi. Obstajajo polemike, saj nekatere raziskovalne skupine podpirajo ugoden učinek uživanja antioksidantov kot prehranskih dopolnil, vendar večina znanstvenih dokazov temu nasprotuje. Športniki naj ne bi uživali antioksidantov v obliki prehranskih dopolnil.

Gomez-Cabrera in sodelavci (2015) predlagajo, da se prehranska dopolnila z antioksidanti uživajo v obdobju tekmovanj, kadar je verjetno, da pride do tvorbe ROS, povezanih z izčrpanostjo. Kadar želimo prilagoditve telesa vadbi, antioksidantov kot prehranskih dopolnil ne uživamo. Zaželeno prilagoditve telesa vadbi se morda ne bodo zgodile, če bodo fiziološke ravni ROS znižane zaradi uživanja prehranskih dopolnil z antioksidanti.

Kombinacija telesne vadbe in uživanja prehranskih dopolnil z antioksidanti lahko vpliva na okrevanje mišic pri starostnikih. Mišice starostnikov povezujemo z motnjami povišane ravni sproščanja oksidantov, z znižano funkcionalnostjo mišic in bolečinami v mišicah; navedeno lahko poslabša učinke telesne vadbe. Zaradi omenjenega se je v preteklosti spodbujalo uživanje velike količine antioksidantov kot prehranskih dopolnil, še zlasti vitaminov C in E (Abadi s sod., 2013).

Uživanje N-acetil cisteina (NAC), ki v telesu deluje tako, da zviša raven proizvodnje najmočnejšega telesnega antioksidanta, glutationa, je pokazalo znatno izboljšanje Duchennove mišične distrofije, živčno-mišične bolezni, za katero je značilna hitro napredujoča mišična šibkost in izguba mišične mase zaradi propadanja skeletnih in srčnih mišičnih vlaken (Pinniger s sod., 2017). Uživanje antioksidantov, kot je α -lipoična kislina, zviša raven vnosa vitamina E v skeletno mišico, kar lahko zviša celoten učinek antioksidantov (Abadi s sod., 2013). Vendar kombinirano uživanje α -lipoične kisline in vitamina E nima dodatnih koristi, kar kaže, da uživanje antioksidantov, kot prehranskih dopolnil, ne bo imelo nobenih koristi ali le neznamenat učinek v celicah. Le izjemoma lahko antioksidanti, kot je NAC, vplivaj na izboljšanje

telesne zmogljivosti. Zato je učinek vadbe v kombinaciji z antioksidanti pri zdravljenju mišičnih motenj odvisen od odmerka, trajanja in kombinacije antioksidantov, ki jih uživamo ter vrste in trajanja vadbe (Thirupathi s sod., 2020).

De Oliveira s sodelavci (2019) navaja učinke uživanja prehranskih dopolnil v obliki antioksidantov (500 mg/dan vitamina C in 400 UI/dan vitamina E) na oksidativni stres, kasnejšo bolečino v mišicah in uspešnost igre nogometašev v obdobju 15 dni okrevanja po protokolu oksidativnega stresa, kot ga povzroči visoko intenzivna telesna vadba. Čeprav uživanje prehranskih dopolnil z antioksidanti zavira oksidativni stres, pa ne znižuje obsega poškodb mišic (ravni kreatin kinaze v plazmi) niti bolečin v mišicah in ne vpliva na uspešnost mladih športnikov.

Resveratrol potencira koristne fiziološke učinke telesne vadbe. Hart in sodelavci (2013) navajajo, da uživanje prehranskega dopolnila z resveratrolo po treningu izboljšuje aerobno zmogljivost s hkratnim aktiviranjem različnih poti, povezanih z vlogo mitohondrijev. Menzies in sodelavci (2013) so to hipotezo potrdili na miših. Prehransko dopolnilo z resveratrolo in TA vsak zase stimulirata biogenezo mitohondrijev neodvisno od SIRT1, kombinacija uživanja prehranskega dopolnila z resveratrolo in TA pa ima sinergijski učinek, odvisen od SIRT1. Sirtuin SIRT1 je deacetilaza, odvisna od nikotinamid adenozin dinukleotida (NAD), ki odstranjuje acetilne skupine iz različnih beljakovin.

Učinek uživanja antioksidantov kot prehranskih dopolnil med telesno vadbo prikazuje tabela 6.

Tabela 6: Učinek uživanja prehranskih dopolnil antioksidantov med telesno vadbo

Antioksidant	Vadba - tip in trajanje	Učinek antioksidanta	Literatura
α -lipoična kislina, vitamina C in E	visoko intenzivna vadba, 7 tednov	aktivira AMPK v skeletni mišici, kar aktivira PGC1- α , viša raven biogeneze mitohondrijev in izboljša zmogljivost netreniranih	Abadi s sod., 2013
α -lipoična kislina, vitamina C in E	vadba sprinta, 30 s intervali	spodbuja izražanje beljakovine IL-15 po vadbi sprinta (še zlasti v primeru hipoksije, pomanjkanja preskrbe s kisikom v tkivih). α -lipoična k. zviša raven privzema E vit. v skeletno mišico, kar zviša splošen učinek antioksidantov	Perez-Lopez s sod., 2019

Antioksidant	Vadba - tip in trajanje	Učinek antioksidanta	Literatura
vitamin C (2×500 mg/dan) in vitamin E (400 IU/dan)	vadba za vzdržljivost, 4 tedne	preprečuje nekatere celične prilagoditve vadbi za vzdržljivost pri ljudeh	Morrison s sod., 2015
vitamina C in E	vadba za vzdržljivost, 11 tednov	visoka doza dopolnil znižuje raven prilagoditev na vadbo za vzdržljivost v skeletni mišici	Paulsen s sod., 2014
vitamin C	vadba za vzdržljivost	znižuje učinkovitost telesne vadbe; znižana raven biogeneze mitohondrijev in prilagoditev, ki jih povzroči telesna vadba	Gomez-Cabrera s sod., 2008
vitamin C	vadba za vzdržljivost, 4 tedne	znižana aktivnost SOD1, SOD2 in GPx (izražanje mRNA) v skeletni mišici. Inhibicija občutljivosti na inzulin v skeletni mišici	Ristow s sod., 2009
β-karoten	prisiljen tek na tekalnem kolesu	ni učinka na SOD1, SOD2, GPx in katalazo v skeletni mišici	Mankowski s sod., 2015
resveratrol	vadba z utežmi, 3x/dan, 4 tedne	učinkovito spodbuja mišično hipertrofijo, fiziološko prilagoditev, aerobno in anaerobno zmogljivost	Kan s sod., 2018
resveratrol in drugi polifenoli	ekscentrična vadba z utežmi 3–4x/dan, 4 tedne	lajšanje bolečin in vnetij po vadbi, izboljšanje obnove in zmogljivosti mišic	Jo s sod., 2019
koencim Q10	aerobna vadba poprečno 8±2h/teden vsaj 2 leti (tek, kolesarjenje in/ali plavanje)	zviša trajanje vadbe do izčrpanja pri zdravih izurjenih in neizurjenih posameznikih; uživanje Q10 niža raven oksidativnega stresa med vadbo in po njej	Cooke s sod., 2008

Predklinične in klinične študije kažejo nedosledne rezultate, enkrat pozitivne, drugič negativne učinke vadbe za vzdržljivost v kombinaciji z uživanjem različnih mešanic prehranskih dopolnil v obliki antioksidantov (večinoma vitaminov C in E ter α -lipoične kisline) na redoks status, biogenezo mitohondrijev in občutljivost na inzulin. Predklinična poročila o kombinaciji telesne vadbe in uživanja resveratrola sicer kažejo stalne pozitivne učinke na telesno zmogljivost, biogenezo mitohondrijev in občutljivost na inzulin, a rezultati kliničnih preskušanj kažejo mešane učinke. Število kliničnih študij je majhno, rezultati in metodologija pa neskladni (različne vrste spojin in njihovih kombinacij, čas uživanja prehranskih dopolnil). V prihodnje bo potrebno preučiti učinke posameznih antioksidantov, kot sta α -lipoična kislina in resveratrol, na učinke telesne vadbe pri ljudeh. Še posebej pomembna skupina preučevanih so starejši odrasli, pri katerih obstaja višje tveganje za povišano raven oksidativnega stresa povezanega s starostjo, oslabiljen imunski sistem in pridružene

bolezni, kot so visok krvni tlak, presnovni sindrom (neodzivnost celic na inzulin) in sladkorna bolezen (Mankowski s sod., 2015).

Uživanje prehranskih dopolnil z vitaminom C znižuje učinkovitost telesne vadbe, saj preprečuje nekatere celične prilagoditve vadbi (Gomez-Cabrera s sod., 2008). Želen učinek antioksidantov v obliki prehranskih dopolnil v mnogih raziskavah ni dokazan. V nekaterih je celo potrjeno, da terapija z antioksidanti kot prehranskimi dopolnili, nima učinka ali celo zvišuje tveganje umrljivosti (Bjelaković s sod., 2007; Moyer, 2013). Uporaba sintetičnih antioksidantov, kot so butilirani hidroksil toluen, butilirani hidroksil anizol in terciarni butil hidrokinon, se je sprva zdela učinkovita, a izkazalo se je, da je njihova redna uporaba povezana z rakavimi obolenji in drugimi negativnimi stranskimi učinki (Branen, 1975).

Rezultati raziskav antioksidativnega potenciala zdravnih rastlin in zelenjave potrjujejo zaščitne učinke rastlinskih sestavin pred oksidativnim stresom v bioloških sistemih (Cao s sod., 1996). Zanimanje za naravne vire antioksidantov je zato izjemno aktualno. Sekundarni presnovki rastlin, kot so fenolne kisline, tanini, alkaloidi, flavonoidi, terpenoidi, lignin, kinoni, kumarini, amini in drugi, so najučinkovitejši potencialni antioksidanti (Zheng in Wang, 2001; Cai s sod., 2003). Ni znano, na kateri ravni povišanega oksidativnega stresa bodo morebitne koristi odtehtale tveganja. Preudarno priporočilo za športnike je, da uživajo hrano, bogato z antioksidanti in ne posegajo po prehranskih dopolnilih (Urso in Clarkson, 2003).

Uporaba prehranskih dopolnil z antioksidanti ne sme in ne more biti nadomestilo za redno uživanje polnovredne hrane, bogate s sadjem in zelenjavo (Cornelli, 2009). Uživanje take hrane je najboljšo orodje za preprečevanje ali zniževanje ravni oksidativnega stresa (Pingitore s sod., 2015).

Telesna aktivnost in oksidativni stres

Med aerobno celično presnovo se tvorijo prosti radikali, ki imajo kot uravnavaajoči posredniki ključno vlogo v signalnih procesih. Neravnovesje med tvorbo ROS in odgovarjajočim odzivom antioksidantov zrcali oksidativni stres. Omenjeno neravnovesje lahko vodi do poškodb celic in tkiva in je vključeno v različna fiziopatološka stanja, vključno s staranjem, telesno aktivnostjo, vnetimi, nevrodegenerativnimi, srčno-žilnimi ter rakavimi obolenji. Telesna aktivnost torej lahko povzroči oksidativni stres (Urso in Clarkson, 2003).

Razmerje med TA in oksidativnim stresom je ekstremno kompleksno, odvisno od načina vadbe, intenzitete in trajanja. Redna, zmerno intenzivna telesna vadba se zdi koristna za obvladovanje oksidativnega stresa in zdravje. Nasprotno pa nezmerena vadba vodi do povišanega oksidativnega stresa, čeprav je enak stimulans nujen za uravnavanje endogene antioksidativne obrambe (hormeza) (Pingitore s sod., 2015).

Presnovni ekvivalent aktivnosti

Presnovni ekvivalent aktivnosti (ang. *metabolic equivalent of task* - MET) je kazalnik intenzivnosti telesne vadbe. MET je enota, ki podaja oceno porabe kisika med telesno aktivnostjo; opredeljen je kot poraba kalorij aktivnega posameznika glede na hitrost njegove bazalne presnove. Za odraslega človeka velja (Pingitore s sod., 2015):

1 MET = 1 kcal/kg telesne mase/uro ali 3,5 mL O₂/kg/min

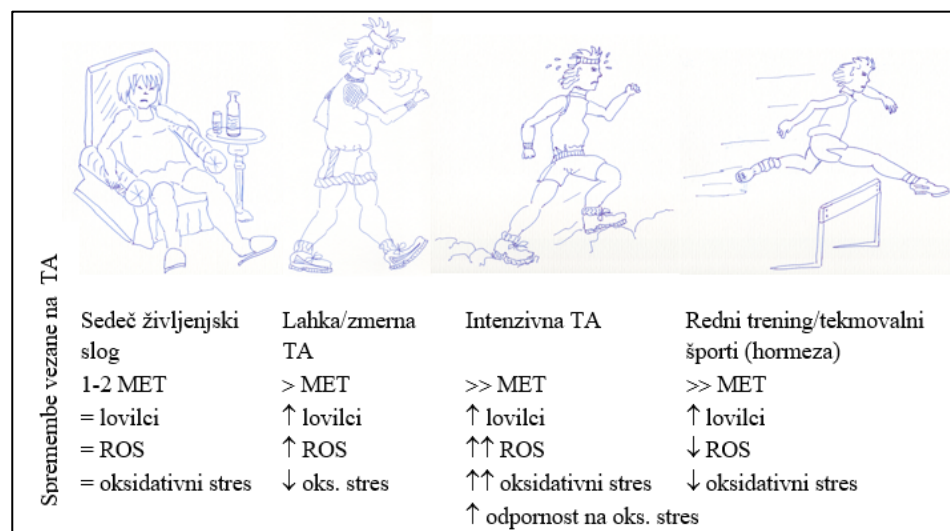
Intenziteta telesne aktivnosti, izražena z MET, je prikazana v tabeli 7.

Tabela 7: Intenziteta telesne aktivnosti izražena s presnovnim ekvivalentom aktivnosti (MET)
(Pingitore s sod., 2015)

Telesna aktivnost - TA	Intenziteta TA
nizko intenzivna TA - sprehod, počasna hoja, lažja gospodinjstva opravila	1,1 – 2,9 MET
zmerno (srednje) intenzivna TA - hitra hoja, ples, plavanje, vrtnarjenje, kolesarjenje po ravnini, igre z žogo	3 – 5,9 MET
visoko intenzivna TA - tek, kolesarjenje navkreber, hoja v hrib, hitro plavanje, hoja po stopnicah, težje fizično delo	> 6 MET

Mnoge raziskave tvorbe reaktivnih zvrsti med telesno vadbo se osredotočajo na škodljiv učinek oksidantov v mišicah (kot je na primer oksidacija beljakovin), v novejšem obdobju redoks biologije pa narašča obseg raziskav učinka celičnega signaliziranja prostih radikalov.

Vpliv telesne aktivnosti na status oksidativnega stresa je prikazan na sliki 20.



MET - presnovni ekvivalent aktivnosti; TA - telesna aktivnost; ROS - reaktivne kisikove zvrsti

Slika 20: Vpliv telesne aktivnosti na status oksidativnega stresa.

Vir: prirejeno po Pingitore s sod., 2015; ilustracija Bukovac A.

Razmerje med TA in oksidativnim stresom se je v preteklosti pogosto obravnavalo kot škodljiv pojav, ki ga je treba omejiti ali celo odpraviti, da bi izboljšali zmogljivost (učinkovitost vadbe) in/ali zdravje. Iz raziskav so bili razvidni nasprotujoči si rezultati po uživanju prehranskih dopolnil z antioksidanti. Čeprav lahko prekomerna reaktivnih zvrsti in oksidativni stres povzročita fiziološko škodo, ki morda vodi v razvoj bolezni, lahko optimalna raven tvorbe prooksidanta dejansko služi kot nujna spodbuda za uravnavanje antioksidativne obrambe, s čimer zagotavlja zaščito pred nadaljnjo tvorbo reaktivnih zvrsti in posledično razvojem bolezni. Novejše raziskave navajajo, da prooksidanti, proizvedeni med TA, niso škodljivi, temveč predstavljajo uporaben mehanizem, ki ga je mogoče obvladovati in uporabiti za doseg osnovnega cilja vseh urjenj, to je, da bi čim bolj zvišali obseg prilagoditev telesa, ki jih TA povzroča (Fisher-Wellman in Bloomer, 2009).

Raziskovalno področje TA in oksidativnega stresa je v zadnjih desetletjih zelo napredovalo, a mnogi problemi so ostali nerešeni; recimo nezmožnost izvedbe meritev redoks potenciala mišičnih celic in organel predstavlja raziskovalcem veliko omejitev. Učinek telesne aktivnosti na sprožanje oksidativnega stresa prikazuje tabela 8.

Tabela 8: Učinek telesne aktivnosti (TA) na sprožanje oksidativnega stresa

Vrsta TA	Metoda, model	Učinek	Namen	Literatura
različne vrste TA	pregled literature v obdobju 30 let (1978–2008), model: ljudje in živali	aerobna in anaerobna vadba povzročata povišano raven tvorbe RONS in posledično oks. stresa na zdravih posameznikih	raziskati učinke telesne aktivnosti, njene intenzivnosti, trajanja in telesne pripravljenosti posameznika	Fisher-Wellman in Bloomer, 2009
različne vrste TA	anketni vprašalniki in intervjuji, običajno izvedeni le enkratno, brez monitoringa	ni dokazov vpliva TA na fiziologijo, sestavo telesa, telesne funkcije, psihološke rezultate in kakovost življenja pri rakavih bolnikih	raziskati učinke TA na sprožanje oks. stresa pri rakavih bolnikih ter monitoring (npr. SWA - SenseWear Pro activity Monitor)	Filaire s sod., 2013
različne vrste TA	pregledni članek	dokazan ugoden vpliv TA na raka prostate, opis molekularne osnove antitumornih učinkov TA	ali so ROS, ki jih povzroča TA, ključni regulatorni dejavniki raka prostate?	Rebillard s sod., 2013
različne vrste TA	iskalnik PubMed:	TA znižuje oksidativni stres in pripomore, da	raziskati različne mehanizme vpliva	De Boer s sod., 2017

Vrsta TA	Metoda, model	Učinek	Namen	Literatura
	TA/vadba in rak na prsih	je telo odpornejše na izzive oksidacije	telesne aktivnosti na rakava obolenja na prsih	
aerobna vadba in druge vrste TA	pregledni članek	TA, še zlasti aerobna vadba je učinkovita metoda uravnavanja krvnega tlaka	vpliv TA na znižanje oks. stresa v primeru zviš. krvnega tlaka	Korsager Larsen in Matchkov, 2016
zmerna aerobna vadba	pregledni članek	povišana nevrogeza in nevroplastičnost, izboljšano stanje žil, znižan oks. stres in vnetja ter izboljšana občutlj. na inzulin	raziskati vpliv telesne aktivnosti na kognitivne sposobnosti starostnikov - Alzheimerjevo bolezen	Kennedy s sod., 2017
kronična poklicna TA	pregledni članek	visoko intenzivna telesna aktivnost vzrok neravnovesja med prooksidanti in antioksidanti, utrujenosti mišic, pretreniranosti, poškodb DNK	raziskati učinke telesne aktivnosti na oksidativni stres odvisno od obremenitve, specifičnosti in bazalne ravni TA	Finaud s sod., 2006
telesno neaktivni posamezniki vključeni v TA	klinična študija	redna TA znižuje oksidativni stres in arterijsko togost	raziskati vpliv TA in oks. stresa na arterijsko togost v primeru sedečega življenjskega sloga	Lessiani s sod., 2016

SWA - prenosni monitor telesne aktivnosti SenseWear Pro3 Armband (SWA, BodyMedia, Pittsburgh, ZDA).

Razvoj občutljivih tehnik za določanje redoks potenciala posameznih beljakovin je za znanost ključen, saj omogoča identifikacijo dejavnikov, ki so odgovorni za uravnavanje redoks procesov v mišičnih vlaknih. Omejitve na področju redoks biologije je pomanjkanje orodij za zanesljivo *in situ* določanje reaktivnih zvrsti, ki se tvorijo v živih celicah ali organelih. Kreiranje ciljnih antioksidantov ostaja ključno področje raziskovanja v redoks biologiji (Powers s sod., 2011a).

Visoko intenzivna telesna vadba viša raven porabe kisika in povzroča motnje znotrajceličnega ravnovesja prooksidant/antioksidant. Mitohondrijska transportna veriga elektronov, polimorfni sulfat in ksantin oksidaza so bili prepoznani kot glavni vir znotrajceličnega razvoja prostih radikalov med telesno vadbo. ROS ogrožajo celični antioksidativni obrambni sistem, ki ga predstavljata znižana raven rezerve vitaminov, antioksidantov in glutationa ter povišana občutljivost za oksidativno škodo. Vendar pa so encimski in neencimski antioksidanti dokazali veliko

prilagajanje občasni in redni telesni aktivnosti. Visoko intenzivna TA pospešuje tvorbo prostih radikalov v skeletnih mišicah in drugih tkivih (Ji, 1999).

Vzroki, zaradi katerih lahko sedeči življenjski slog privede do bolezni, so različni, običajno pa so povezani s presnovnimi in imunskimi motnjami (Mathis in Shoelson, 2011), do katerih lahko pride pred in/ali po degenerativnih procesih, kot sta oksidativni stres in kronično vnetje, ki lahko pospešita proces staranja (Hotamisligil, 2006). Oksidativni stres je neravnovesje med ROS, ki so stranski produkt aerobne presnove ter mehanizmi obrambe in obnove, ki jih imenujemo antioksidanti (Radak s sod., 2008b). Čeprav lahko ROS sprožijo osnovne signalne poti v skeletnih mišicah (Powers s sod., 2011b), pa lahko njihova znižana raven sproščanja privede do znotraj- in zunaj celičnih okvar ter kroničnih vnetnih stanj (Fischer in Maier, 2015; Siti s sod., 2015; Sarmiento s sod., 2015; Schepers s sod., 2009). Oksidativni stres povezujemo z razvojem različnih bolezni, vključno z aterosklerozo (Pratico s sod., 1997), srčno-žilnimi boleznimi (Yla-Herttuala s sod., 1989), sladkorno boleznijo tipa 2 (Maritim s sod., 2003), rakom (Totter, 1980; Wu s sod., 2009) in nevrološkimi boleznimi (Christen, 2000). Dokazano je, da lahko telesna vadba dolgoročno odpravi slabo počutje (Gjevestad s sod., 2015; Gleeson s sod., 2011; Dias s sod., 2015; Radom-Aizik s sod., 2014).

Znanstveni dokazi v zvezi s tem, kako aktiven življenjski slog oslabi oksidativni stres, so neizpodbitni. Znižana raven oksidativnega stresa je lahko eden od mehanizmov, odgovornih za izboljšanje številnih kliničnih stanj, kot so na primer zaviranje staranja celic (Puterman s sod., 2010), povišana občutljivost na inzulin in uravnavanje profila maščob (Gordon s sod., 2014) ter znižana endotelna disfunkcija (znižana sposobnost razširitve arterije med povišanim krvnim obtokom) (Roque s sod., 2013) po vadbi.

Kvantitativno se raven oksidativnega stresa običajno določa s parametri prooksidacije, kar lahko kaže na poškodbe DNK, peroksidacijo lipidov ali oksidacijo beljakovin. Zdi se, da so ti učinki ublaženi z delovanjem antioksidantov, ki so lahko encimski ali neencimski in prispevajo k celokupnemu antioksidativnemu potencialu (Halliwell in Whiteman, 2004).

Glede odziva oksidativnega stresa na telesno vadbo se zdi, da vadba močno zviša raven proizvodnje ROS, tej pa sledi kompenzacija antioksidantov (Fisher-Wellman in Bloomer, 2009). Vzdržljive študije kažejo, da se lahko učinek telesne vadbe na oksidativni stres razlikuje glede na način, obseg in intenzivnost vadbe ter glede na populacijo, zato je soglasje o učinkih vadbe na oksidativno ravnovesje težko doseči.

Vincent s sodelavci (2007) navaja, da je telesna vadba edina metoda, zmožna znižati raven oksidativnega stresa, neodvisno od telesne prizadetosti (na primer debelost, prekomerna telesna masa, sladkorna bolezen), če jo primerjamo z drugimi posegi, kot so omejitve kalorij, bariatrična operacija in farmakoterapija ali dodajanje antioksidantov.

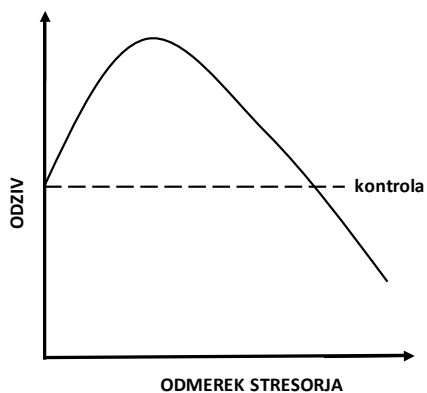
Primerjava med metodami, ki prispevajo k zniževanju ravni oksidativnega stresa, je otežena zaradi dejstva, da so študije, ki jih zasledimo v literaturi, izvedene z uporabo različnih eksperimentalnih zasnov upoštevajoč preučevane vzorce, posege in rezultate (Camiletti-Moirón s sod., 2013; Bouzid s sod., 2015).

Telesna aktivnost, oksidativni stres in hormeza

Telesna neaktivnost je vzrok pojavnosti različnih bolezni in jo lahko štejemo za eno od končnih točk hormetične krivulje, povezane z gibanjem. Redna, zmerno intenzivna vadba ima mnogo koristnih učinkov na telo; krepi na primer srčno-žilno funkcijo (obnova z N_2O), pojavnost Alzheimerjeve bolezni je nižja. Mehanska prilagoditev zaradi poškodb povzroča povečano mišično maso in povišano odpornost na stresorje. Telesna neaktivnost in visoko intenzivna telesna vadba zvišujeta tveganje za okužbe ter imunsko neodpornost telesa, zmerno intenzivna telesna vadba pa uravnava imunski sistem. Redna telesna vadba zmerne intenzivnosti znižuje raven oksidativnega stresa, medtem, ko ga akutna vadba visoke intenzivnosti in prekomerna telesna neaktivnost povzročata (Radak s sod., 2008a).

Hormeza in hormetični učinek

Hormeza je biološki pojav, katerega dobrodejni učinek (izboljšano zdravstveno stanje, toleranca na negativni stres, rast ali dolgoživost) je rezultat izpostavljanja nizkim ravnem snovi, ki je sicer strupena, če jo uživamo v višjih ravneh. Izraz hormoneza izhaja iz grške besede "*hormo*", kar pomeni, da vznemiri ali spodbuja. Hormeza pomeni, da ima strupena snov v nizkem odmerku na organizem spodbujevalen učinek. Krivulja odziva na odmerek je za hormetične spojine značilne, obrnjeni črki U podobne oblike (slika 21).



Slika 21: Hormetični učinek na odmerek stresorja.

Vir: prirejeno po Calabrese, 2015

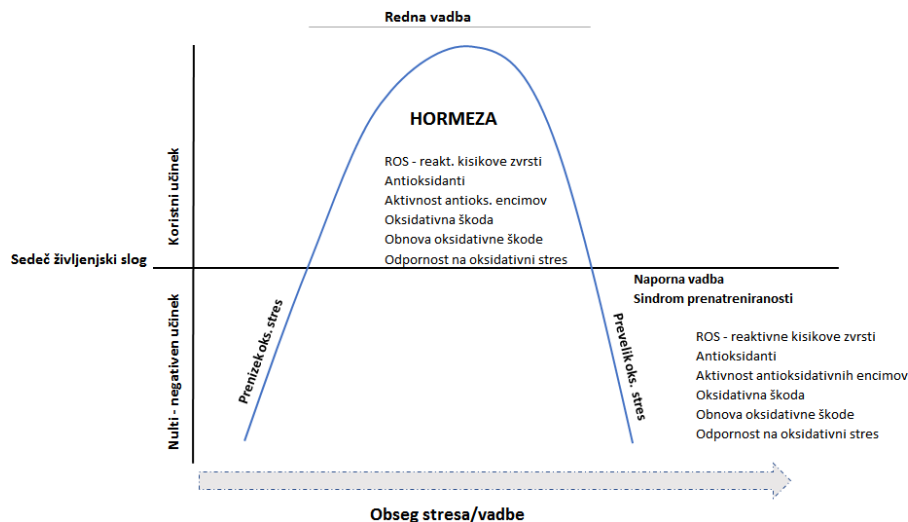
Konvencionalna toksikologija zagovarja linearen odziv na odmerke, tako imenovani LNT (ang. *linear no-threshold*) model. Raziskave so pokazale, da je hormeza večinoma boljši model kot LNT. S slike 24 je razvidno, da odgovor na strupeno snov ali zaviralno sredstvo v nizkem odmerku dejansko postane stimulativen - koristen za organizem. Samodejno se postavlja vprašanje - ali je lahko nekaj, kar je škodljivo pri visokih odmerkih, v nizkem odmerku za nas dobro? Presenetljivo, a mnoge znanstvene raziskave potrjujejo, da je odgovor pritrdilen. Ne le v nekaj izjemnih primerih, temveč v številnih primerih kemijskih spojin, energetskih virov in drugih sredstev, ki izzovejo stres (Bethell, 2005).

Lee in Jacobs (2015) razvrščata stresorje, ki sprožajo hormezo, v tri kategorije, glede na učinek za zdravje. Slednji je lahko neugoden (kemikalije, kot so POP (ang. *persistant organic pollutants*)) in sevanja, ki bi lahko škodovala ljudem zaradi povzročitve hormonskih motenj, učinkovanja mešanic kemikalij in izpostavitve občutljivih populacij), nevtralen (mraz, toplota in težnost) ali ugoden (redna telesna vadba zmerne intenzivnosti, vegetarijanska prehrana in omejen kalorični vnos).

Teorija hormeze se veže tudi na sproščanje prostih radikalov. Telesna aktivnost uravnava sproščanje prostih radikalov; hormetične učinke TA opisuje hormetična krivulja. Najpomembnejši učinek TA na telo je proces prilagajanja. Že posamezna telesna vadba predstavlja stresor, ki izzove hormetični učinek (Radak s sod., 2001c). Vpliv telesne aktivnosti na hormezo prikazuje slika 25.

S slike 25 je razvidno, da redna telesna aktivnost izzove hormezo, reducira oksidativni stres, varuje pred boleznimi, izboljša zmogljivost telesa in kakovost življenja. Akutna, visoko intenzivna TA in prenatreniranost zvišata raven oksidativnega stresa in tveganje za obolevnost. Prenizek antioksidativni status vodi do pomanjkanja prednosti, povezanih s hormezo in je lahko odločilen za zdravje (Pingitore s sod., 2015).

Radak in sodelavci (2008) poročajo, da je v primeru zmerno intenzivne telesne vadbe vrh hormetične krivulje znatno višje in/ali njeno optimalno območje znatno širše (slika 26). To pomeni, da lahko telo tolerira višje doze v primeru intenzivnejše telesne aktivnosti.

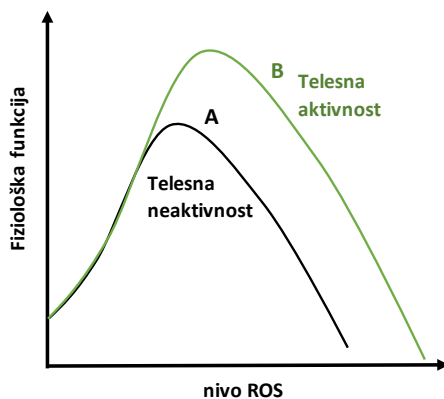


Slika 22: Hormeza in telesna aktivnost;

Vir: prirejeno po Pingitore s sod., 2015

Krivulja A, na sliki 22, je tipična hormetična krivulja razmerja odmerka/odziva za telesno aktivnost. Redna telesna vadba zmerne intenzivnosti zviša fiziološko funkcijo različnih organov, zviša stopnjo odpornosti na bolezni in izboljša kakovost življenja. Telesna neaktivnost, akutna telesna vadba visoke intenzivnosti in prenatreniranost pa zvišujejo riziko obolevnosti ter znižujejo fiziološko funkcijo. Krivulja B nakazuje, da lahko redna telesna vadba zviša raven ROS, povezanih z višjo intenziteto telesne aktivnosti. To pomeni, da lahko telesna vadba zviša toleranco na višje ravni ROS, zato je preventiva pred boleznimi, povezanimi z oksidativnim stresom (Radak s sod., 2008a).

Po definiciji stresa, kot jo navaja Selye (1956), je odziv telesa na kronični stresor najprej znižana odpornost (alarmna reakcija), tej sledi zvišana raven odpornosti telesa, za tem pa nastopi stopnja telesne izčrpanosti. Zaradi omenjenega so lahko kronični stresorji zelo nevarni; telesu kronično primanjkuje obdobje mirovanja, ki je obvezno za okrevanje in učinkovit odziv na stres. V primeru izjemno dolgotrajne telesne vadbe, recimo 18–24 h neprekinjenega teka ali plavanja, lahko doživi resno izčrpanost tudi telo vrhunsko usposobljenega posameznika; takšna vadba lahko ogroža zdravje. V normalnih pogojih, ko telesni vadbi sledi počitek, ima telo možnost obvladovanja stresorja in se posledično prilagaja (Radak s sod., 2001c).



Slika 23: Primerjava hormetičnih učinkov telesne neaktivnosti (krivulja A) in telesne aktivnosti (krivulja B);

Vir: prirejeno po Radak s sod., 2008a

Prilagoditveni učinki redne telesne vadbe so dejansko sistemski in so, odvisno od značilnosti vadbe, zelo specifični. V skeletnih mišicah, na primer, že posamezna daljša aerobna vadba zniža raven glikogena medtem, ko običajna prilagoditev na anaerobno vadbo raven glikogena zviša do mere, ki znatno presega raven glikogena v nerazgibani mišici. Visoko intenzivna anaerobna telesna vadba zvišuje tudi raven mlečne kisline v krvi (tudi do 20–25 mmol/L), vendar redna anaerobna vadba zvišuje sposobnost obvladovanja povišane ravni izločanja mlečne kisline. Pomen redne telesne vadbe je izključno v prilagoditvi telesa. Ena od končnih točk hormetične krivulje, povezane z vadbo, je telesna neaktivnost (sodobni življenjski slog). Telesna neaktivnost je povezana z zvišano pojavnostjo različnih bolezni in patoloških stanj, vključno s srčno-žilnimi boleznimi, sladkorno boleznijo tipa II, mišično atrofijo, Alzheimerjevo in Parkinsonovo boleznijo, prekomerno telesno težo in debelostjo (Booth in Lees, 2007).

Koristni učinki telesne aktivnosti so v genskem zapisu človeka; telesna aktivnost je pomemben in potreben del našega vsakdanjega življenja (Goto in Radak, 2005). Pohodi, tek in gibljivost so bili del vsakodnevnega življenja še pred približno 100 leti, sodobni življenjski slog pa je, vsaj v industrializiranih državah, v bistvu odpravil TA na delovnem mestu. Shariat in sodelavci (2018) navajajo, da naj bi pisarniški delavci vsak dan namenili telesni vadbi vsaj 15 min.

Sodobna tehnologija in načini prehranjevanja ustvarjajo pogoje za razvoj širokega spektra bolezni, povezanih z življenjskim slogom. Te bolezni zlahka preprečujemo in zdravimo z redno telesno aktivnostjo zmerne intenzivnosti (Goto in Radak, 2005; Radak s sod., 2004).

Prekomerna telesna vadba ali pretreniranost je druga skrajna točka hormetične krivulje; je huda, dolgotrajna utrujenost. Simptomi pretreniranosti so splošna telesna in psihična utrujenost, glavobol, diareja, izguba teže, nespečnost in jutranja utrujenost. Pretreniranost zvišuje tveganje za pojavnost bolezni in ogroža zdravje. Med prekomerno vadbo proces prilagajanja ni uspešen in to zlasti zaradi nepopolnega okrevanja; obnova organizma po vadbi naj bo zadostna (Ogonovszky s sod., 2005).

Hormeza razloži tudi nevtralne ali negativne učinke prekomernega uživanja prehranskih dopolnil v obliki antioksidantov, o katerih je bilo govora v poglavju »Antioksidativni stres«. Nizki odmerki oksidativnih stresorjev povzročijo endogeno proizvodnjo antioksidantov, katerih učinek se zdi zaščitni, a višji odmerki so neučinkoviti (Jenner, 2003; Mattson, 2008).

Živila, bogata z antioksidanti so na fizioloških ravneh dokazano koristna za zdravje, visoki odmerki prehranskih dopolnil z antioksidanti pa ne (Bjelakovic in Gluud, 2007; Moyer, 2013).

Vpliv telesne aktivnosti na redoks homeostazo

Sprva so bile reaktivne kisikove in dušikove zvrsti znane le kot škodljive, danes poznamo njihove pozitivne učinke. Proizvedene med zmerno intenzivno telesno aktivnostjo imajo pomembno vlogo uravnavajočih posrednikov v signalnih procesih, skupaj s številnimi drugimi dražljaji, vključno s presnovnimi motnjami, mehansko aktivacijo, povišano telesno temperaturo, hormonskim okoljem in vnetnimi stanji (Ji s sod., 2006; Morales-Alamo in Calbet, 2016). Številni odzivi, posredovani z ROS, ščitijo celice pred oksidativnim stresom in ponovno vzpostavijo redoks homeostazo (Radak s sod., 2013a).

Med telesno vadbo lahko v različnih tkivih nastajajo tako ROS kot RNS, a glede na zapleteno fiziološko povezavo med organi je težko ugotoviti njihov specifični prispevek. V večini študij velja domneva, da predstavljajo glavni vir tvorbe reaktivnih zvrsti med telesno vadbo skeletne mišice, kot hormetičen odziv na stres (Powers in Jackson, 2008; Jackson, 2011). Slednje povzroča specifično fiziološko prilagoditev skeletnih mišic na vadbo. Zmerne količine reaktivnih zvrsti, ki se tvorijo med rednim krčenjem mišic (redna telesna vadba) povzročajo posebne prilagoditve, kot so povišana aktivnost encimov za popravilo antioksidativnih in/ali oksidativnih poškodb, povišana odpornost na oksidativni stres, nižji obseg oksidativnih poškodb (Vina s sod., 2012) ter prilagoditve drugih bioloških sistemov (Radak s sod., 2016).

V preglednem znanstvenem članku Kruk in sodelavci (2019) navajajo, da redna zmerno intenzivna telesna aktivnost vsekakor prispeva k uravnavanju oksidativnega stresa s krepitvijo antioksidativnih obrambnih mehanizmov celic, medtem ko lahko akutna vadba, ki ji ne sledi trening, spremeni celično redoks homeostazo v smeri višje stopnje oksidativnega stresa.

Vpliv telesne aktivnosti na imunski sistem

Telesna aktivnost ima velik vpliv na delovanje imunskega sistema. Interakcija med oksidativnim stresom, povezanim s TA, in imunskim sistemom ponuja odlično priložnost za preučevanje hormeze (Chung s sod., 2005). Visoko intenzivna in/ali dolgotrajna vadba lahko povzroči zaviranje normalnega delovanja imunskega sistema in povišano dovzetnost za okužbe. Po visoko intenzivni telesni vadbi posamezniki pogosto poročajo o okužbah zgornjih dihalnih poti (Heath s sod., 1992). Takšna vadba je povezana s pomanjkanjem glutamata, kar je lahko vzrok spremembe učinkovitosti imunskega sistema (Lehmann s sod., 1995). Dolgotrajna vadba povzroči tudi višjo raven izločanja kortizola, kar lahko prav tako vodi do zaviranja normalnega delovanja imunskega sistema (Okutsu s sod., 2005; Smith in Myburgh, 2006).

Visoko intenzivna in/ali dolgotrajna vadba slabi imunski sistem; tveganje za pojav okužb in bolezni je višje. Vadbo zmerne intenzivnosti in trajanja, nasprotno, štejemo kot dobrodošlo za utrjevanje imunskega sistema, kar vodi k višji odpornosti proti okužbam in nižjemu tveganju za pojavnost bolezni, vključno z nekaterimi vrstami raka (Chung s sod., 2005; Radak s sod., 2005; Woods s sod., 2006; Kruk s sod., 2019).

Vpliv telesne aktivnosti na sproščanje prostih radikalov

Telesna aktivnost lahko zviša raven sproščanja ROS. Posledice zvišane ravni ROS, po določenih vrstah TA, so oksidativne poškodbe lipidov, beljakovin in DNK (Gomez-Cabrera s sod., 2006a; Russell s sod., 2005). S TA se sprožijo preobčutljivi transkripcijski dejavniki in signalne poti; te poti so nujne za prilagoditev odzivov telesa na vadbo.

Gomez-Cabrera s sodelavci (2005) navaja, da uporaba alopurinola, učinkovitega zaviralca encima ksantin oksidaze, preprečuje prilagajanje odziva, ki ga povzroči telesna vadba. Alopurinol se uporablja za zdravljenje protina; zavira razgradjo purinov do sečne kisline in posledično znižuje raven sečne kisline v telesu.

Obstaja veliko dokazov, da redna TA viša aktivnost encimskih antioksidantov. Poleg encimskih antioksidantov so za nižanje obsega škodljivih učinkov ROS pomembni tudi sistemi za odstranjevanje oksidativne škode (Crawford in Davies, 1994).

Redna TA zvišuje aktivnost kompleksa proteosomov v miokardu in znižuje raven beljakovinskih karbonilov, najbolj zastopanih produktov oksidacije beljakovin. Uživanje prehransko čistega vodikovega peroksida (H_2O_2) v obdobju 14 dni, vsak drugi dan, je vzrok višje aktivnosti proteosomov in višje ravni karbonilov (Radak s sod., 2000). Slednje velja tudi za DNK; podatki kažejo, da pretečena razdalja maratona poviša aktivnost 8-oksoguanin glikozilaze (OGG1), encima, ki prednostno obnavlja 8-hidroksideoksiguanozin (8OHdG) v skeletnih mišicah tekačev (Radak s sod., 2003). Povišana aktivnost encimov za obnavljanje DNK je lahko pomembno sredstvo, s katerim TA znižuje obseg poškodb DNK v jedrih (Radak s sod., 2007).

TA ima velik vpliv tudi na razpoložljivost in bioaktivnost dušikovega oksida (NO), ki se sprošča v endoteliju. Spodbuda za nastajanje NO v endoteliju je zvišan pretok skozi žile, kar ima za posledico strižno napetost (strižni stres) in povišano aktivacijo sinteze NO v endoteliju (McAllister in Laughlin, 2006). NO deluje torej kot vazodilatator (širi žile, povzroči relaksacijo gladkih mišičnih celic v steni žil, zviša pretok krvi skozi žile in zniža arterijski krvni tlak). Posledice TA so povišan krvni tlak, strižni stres ter višja bioaktivnost NO v žilah (McAllister in Laughlin, 2006). Raziskave kažejo, da je potrebnih vsaj 10 tednov vadbe za znatno izboljšanje endotelijske vazodilatacije pri zdravem mladem posamezniku (Clarkson s sod.,

1999), medtem ko so za bolnike z znižano bioaktivnostjo NO koristni že 4 tedni telesne vadbe zmerne intenzivnosti (Hamilton s sod., 2001).

Med NO in ROS obstaja, kar se tiče superoksida, intriganten odnos. V nizkih ravneh deluje NO kot antioksidant, medtem ko v visokih ravneh s superoksidnim ionom tvori peroksinitrit (ONOO^-); slednji je zelo reaktiven in izjemno citotoksičen (Pacher s sod., 2007). Čeprav so razpoložljive informacije o bioaktivnosti NO, v povezavi s stopnjo intenzivnosti telesne vadbe, še vedno redke, podatki kažejo, da nizko intenzivna vadba ne zadošča za izboljšanje delovanja ožilja. Zanimivo je dejstvo, da lahko tudi visoko intenzivna vadba slabo vpliva na delovanje ožilja (Goto s sod., 2003). Učinki telesne vadbe na tvorbo ROS, NO in delovanje ožilja zato nimajo oblike hormetične krivulje.

Učinki vadbe na sproščanje ROS so zelo pomembni, saj lahko ta postopek sproži prilagoditvene procese, kar povzroči nižje osnovne vrednosti ROS, višjo aktivnost antioksidantov in nižjo stopnjo oksidativne škode (Radak s sod., 2005). Omenjena prilagoditev, ki jo posredujejo ROS, bi lahko igrala pomembno vlogo pri razjasnitvi mehanizmov, pri katerih TA znižuje pojavnost z ROS-povezanih bolezni, vključno z boleznimi srca in ožilja, možgansko kapjo, Alzheimerjevo boleznijo in nekaterimi vrstami raka (Perry s sod., 2005; Radak s sod., 2005; Mattson in Magnus, 2006; Mattson in Wan, 2005; Yu in Chung, 2006).

Parker s sodelavci (2017) navaja zapleteno prostorsko-časovno interakcijo med telesno vadbo, oksidativnim stresom in nadzorom glikemije (ravni glukoze v krvi). Kot pomembne regulatorje homeostaze glukoze izpostavlja ROS, ki jih sprošča telesna vadba ter redoks občutljivo signalizacijo beljakovin. Telesna neaktivnost in presežek maščobnega tkiva se povezujeta z razvojem znižane občutljivosti celic na inzulin (presnovnega sindroma) in sladkorne bolezni tipa 2; slednja je dosegla razsežnosti epidemije (Fleming s sod., 2013).

Redna telesna vadba lahko pomaga pri preprečevanju in obvladovanju presnovnih bolezni (Liubaoerjijin s sod., 2016). Že posamezna epizoda telesne vadbe prispeva k izboljšanju urejenosti glikemije v času do 48 ur po vadbi (Levinger s sod., 2014; Parker s sod., 2016a). Izboljšan nadzor glikemije po akutni in redni telesni vadbi je možen zaradi izboljšanega učinkovanja inzulina in presnove substrata v skeletnih mišicah (Hawley in Lessard, 2008; Richter in Hargreaves, 2013). Mehanizem delovanja vključuje ROS in njihovo dvojno vlogo v patofiziologiji homeostaze

glukoze (Fisher-Wellman in Neuffer, 2012). Glede na to, da akutna in redna telesna vadba vodita do sprememb v redoks homeostazi (Gomez-Cabrera, 2006b; Fisher-Wellman in Bloomer, 2009), ni presenetljivo, da je redoks biologija možen modulator nadzora glikemije in prilagajanja skeletnih mišic na telesno vadbo (Parker s sod., 2016b). S telesno vadbo sproščene ROS in signalizacija beljakovin, občutljivih na redoks procese v skeletnih mišicah, pomembno uravnavajo homeostazo glukoze.

Znana je vloga ROS pri znižani občutljivosti na inzulin ter razvoju srčnih in presnovnih bolezni, vključno s sladkorno boleznijo tipa 2. Tudi hipoteza, da so ROS nujna komponenta za transport glukoznih celic in prilagajanje na fiziološki stres, vključno s telesno vadbo, je podprta z dokazi. McKeegan s sodelavci (2021) navajajo pregled objav, v katerih je raziskana terapija z antioksidanti in nadzor glikemije v smislu zdravja in bolezni (presnovni sindrom in sladkorna bolezen tipa 2). V raziskavo so vključeni dejavniki, ključni za učinkovitost terapije z antioksidanti, kot so beleženje prisotnosti oksidativnega stresa ali eustresa, prisotnost specifičnih endogenih pomanjkljivosti antioksidantov (redoks presejanje), specifičnost antioksidantov ter njihova biološka uporabnost in aktivnost. Predlagan je sodoben pristop k redoks presejalnim testom in nagovor k izvajanju posamezniku prilagojene terapije z antioksidanti.

Staranje, telesna aktivnost in oksidativni stres

Oksidativni stres je kritičen mehanizem v patogenezi staranja in bolezni. Povišane ravni oksidativnega stresa so lahko potencialno koristne za zdravje, a nenadzorovano kopičenje oksidativnega stresa vodi do patoloških sprememb. Oksidativni stres je spodbujevalec staranja mišic. Tarča oksidativnega stresa so satelitske celice. Zaščitna vloga prehranskih antioksidantov je odvisna od vrste TA ter tipa, količine in trajanja diete (Scicchitano s sod., 2018).

Poleg vrste telesne vadbe sta njeno trajanje in intenzivnost pomembni značilnosti, ki vplivata na redoks uravnavanje pri staranju skeletnih mišic. Že pri eni sami epizodi telesne vadbe, katere intenzivnost postopoma narašča, se zviša raven tvorbe reaktivnih zvrsti, kar vodi do oksidativnih poškodb bioloških molekul (Barrès s sod., 2012; He s sod., 2016). Glede na intenzivnost telesne vadbe (intenzivnost krčenja skeletnih mišic) se aktivirajo različni celični mehanizmi, ki povzročijo visoko raven sproščanja reaktivnih zvrsti (vključujoč mitohondrije in oksidaze, kot sta NADPH oksidaza in ksantin oksidaza (Steinbacher in Eckl, 2015). Po drugi strani pa redna

telesna vadba povzroči izrazite spremembe redoks potenciala v skeletnih mišicah (Vilela s sod., 2018). Povišana raven tvorbe reaktivnih zvrsti do mere, ki povzroči sprejemljivo škodo, je opažena po obdobju redne telesne vadbe; v skeletnih mišicah povzročča prilagodljiv odziv z uravnavanjem celičnih antioksidativnih sistemov in spodbujanjem sistemov za popravilo oksidativnih poškodb (Gomes s sod., 2017; Pinho s sod., 2019).

Zdi se, da dolgotrajna in/ali intenzivna vzdržljivostna vadba ustvarja mnogo višje ravni reaktivnih zvrsti, ki rušijo celično antioksidativno obrambo in povzročijo poškodbe tkiva (He s sod., 2016; Nocella s sod., 2019). V takih pogojih so lahko nastale reaktivne zvrsti vzrok za utrujenost mišic in kontraktilno disfunkcijo (nesposobnost krčenja) (Powers s sod., 2011c), zlasti pri starejših posameznikih. Postopna telesna vadba omogoča najvišjo raven vnosa kisika, a na aerobno zmogljivost, zlasti pri starejših, vpliva več dejavnikov, kot na primer sposobnost pljučne difuzije (difuzijska kapaciteta pljuč), maksimalni srčni iztis in značilnosti skeletnih mišic. Telesna vadba višje intenzivnosti zvišuje oksidativni stres, ta pa je lahko obvladljiv zaradi prilagodljivosti mišic. Skeletne mišice starejših posameznikov so ranljivejše za poškodbe po vadbi; imajo znižano raven sposobnosti prilagajanja na telesno vadbo (Distefano in Goodpaster, 2018).

Starostni upad gibalnih in kognitivnih sposobnosti povezujemo s povišanimi ravni oksidativnega stresa. Z redukcijo oksidativnih poškodb se zdi torej mogoče preprečiti ali vsaj znižati upad funkcionalnosti med staranjem. Ukrepi, v smislu zdravega staranja, so povečan vnos prehranskih antioksidantov in priporočeno redno gibanje zmerne intenzivnosti. Potrebne so predklinične študije, ki bodo vključevale dejavnike, kot so spol, starost, količina zaužitih antioksidantov in trajanje njihovega uživanja, intenzivnost in vrsta telesne vadbe ter genetsko ozadje (Mock s sod., 2016).

Upad hitrosti hoje s starostjo je značilno povezan z oslabljenim delovanjem mitohondrijev in njihovo znižano biogenezo (Joseph s sod., 2012; Coen s sod., 2012).

Layne in sodelavci (2017) navajajo alternativno strategijo izboljšanja terapevtske učinkovitosti telesne vadbe pri starejših odraslih, ki so gibalno omejeni. Predlagajo oceno učinkovitosti uživanja prehranskih dopolnil z resveratrolom v kombinaciji z vključitvijo multimodalnih vaj k telesni vadbi za izboljšanje gibalne funkcije pri starejših odraslih, ki jim grozi invalidnost.

Telesna vadba je eden od dejavnikov, ki odločajo o pozitivnih učinkih reaktivnih zvrsti pri staranju skeletnih mišic v smislu vpliva na prilagajanje in obnovo mišic. Čeprav posebne lastnosti skeletnih mišic, kot sta plastičnost in sposobnost prilagajanja kot odziv na vadbo, uravnavajo negativni učinek reaktivnih zvrsti, ki ga povzroča telesna vadba, lahko sedeči življenjski slog oslabi te posebne lastnosti mišic; slednje poudarja pomen telesne vadbe za kakovost življenja starostnikov. Redna telesna vadba je eden od dejavnikov, ki lahko omejijo raven tvorbe reaktivnih zvrsti in zvišajo raven z reaktivnimi zvrstmi sproženih ugodnih učinkov v celicah (s sprožanjem minimalnega oksidativnega stresa in zvišanjem ravni maksimalne sposobnosti prilagajanja proti poškodbam, ki jih povzroča oksidativni stres). Telesna vadba vsekakor pripomore k ustvarjanju minimalnega pozitivnega oksidativnega stresa pri preprečevanju staranja skeletnih mišic (Thirupathi s sod., 2020).

Pomen TA za ohranjanje/razvijanje gibalne in funkcionalne sposobnosti

Tudi povezava med telesno aktivnostjo in staranjem lahko sledi obliki hormetične krivulje. Na splošno se med staranjem sposobnost telesa za vzdrževanje homeostaze znižuje, redna TA pa sposobnost obvladovanja različnih stresorjev zvišuje. Staranje sicer povezujemo s pomembnim upadom TA. Staranje je zelo kompleksen proces, ki vpliva na vsak organ in celo na vsako celico drugače. Masa in funkcija skeletnih mišic se s staranjem znižujeta; redna TA to pomembno preprečuje (Roos s sod., 1997). TA ima zelo podoben koristen učinek tudi na delovanje možganov (Mattson, 2005; Radak s sod., 2001a). Obstajajo dokazi, da telesna neaktivnost zvišuje raven pojavnosti Alzheimerjeve bolezni, ene najbolj dokumentiranih motenj staranja (Radak s sod., 2008a; Booth in Lees, 2007).

Mišična aktivnost povzroči povišano kapilarnost in boljšo oskrbo s kisikom v možganih, hitrejšo presnovo ter povišano aktivnost nevronov, ki jo povzroči povišan vnos kisika. Povišan vnos kisika je povezan s povišano aktivnostjo encimskih antioksidantov, ki popravljajo nastalo oksidativno škodo (Fabel s sod., 2003; Radak s sod., 2006). Poleg tega TA povzroči višjo raven uravnavanja nevrofinov (beljakovin, ki spodbujajo preživetje, razvoj in delovanje nevronov), ki ne le okrepijo delovanje možganov, temveč imajo kritično vlogo pri preživetju celic; zvišujejo njihovo odpornost proti različnim stresorjem (Mattson in Wan, 2005). Izkazalo se je, da obstaja vzročno razmerje med kopičenjem karbonilnih skupin v aminokislinskih ostankih zaradi interakcije z ROS in specifičnimi možganskimi funkcijami (Radak s sod., 2001b). Radak s sodelavci (2008a) navaja, da lahko redna

TA zviša aktivnost proteazomskega kompleksa, ki je odgovoren za razgradnjo karboniliranih in drugih poškodovanih beljakovin. Sistemske učinke TA je opaziti tudi v jetrih, kjer posamezne epizode TA znatno zvišajo raven ROS in povzročijo oksidativne poškodbe lipidov (Radak s sod., 1996). Radak s sodelavci (2004a) navaja kombinirane učinke staranja in redne telesne vadbe na sproščanje ROS, peroksidacijo lipidov, raven glutationa in aktivnost jedrskega dejavnika *kap*B (ang. *nuclear factor kap*B - NF- κ B) v jetrih podgan. Redna TA znižuje raven ROS v jetrih in oksidativno škodo. Raven NF- κ B, beljakovinskega kompleksa, ki nadzoruje transkripcijo DNA in je eden najvplivnejših dejavnikov vnetne transkripcije, se spreminja tako s staranjem kot redno TA; ima pomlajevalni učinek. Redna TA preprečuje povišanje aktivnosti NF- κ B, povezane s starostjo ter znižuje raven sproščanja ROS. S tem povezana višja raven antioksidativnega potenciala pomeni višjo odpornost proti boleznim, povezanim z oksidativnim stresom. Redna, zmerno intenzivna TA zavira proces staranja in tveganje za pojavnostjo bolezni, povezanih s staranjem.

Odziv bioloških sistemov na stresorje opisuje hormetična krivulja. Tudi TA sproži hormetični odziv v organizmu. Skrajni točki hormetične krivulje sta telesna neaktivnost in pretreniranost, kar ima za posledico znižano fiziološko funkcijo. Normalno in pozitivno prilagoditveno delovanje organizma lahko dosežemo z redno, zmerno TA. Učinki TA na imunski sistem, sproščanje prostih radikalov, delovanje mišic in žilja ter staranje imajo obliko hormetične krivulje (Radak s sod., 2008a).

Znano je, da dolgotrajna sistemska hipoksija (pomanjkanje ravni kisika v tkivih), ki je lahko posledica izpostavljenosti organizma večji nadmorski višini (nižja razpoložljivost O₂), povzroči oksidativni stres in s tem spremembo redoks ravnovesja. Uravnavanje redoks ravnovesja je zelo odvisno od intenzivnosti telesne aktivnosti. Zmerno intenzivna TA med dolgotrajno izpostavljenostjo večji nadmorski višini lahko zniža raven oksidativnega stresa, ki ga hipoksija sicer povzroča (Goto s sod., 2003). Zmerno intenzivna telesna aktivnost je vsekakor učinkovita strategija za znižanje ravni oksidativnega stresa. Telesna vadba v hipoksičnih pogojih, na primer, pospeši kroženje sečne kisline, enega ključnih antioksidantov, vključenih v mehanizem odstranjevanja ROS (Peters s sod., 2016). Nasprotno pa lahko visoko intenzivna telesna vadba zviša raven oksidativnega stresa, povzročene s hipoksijo, kar ogroža sposobnost prilagajanja telesa na

oksidativni stres (Debevec s sod, 2017). Uživanje prehranskih dopolnil z antioksidanti za premagovanje oksidativnega stresa, ki ga povzroča z nadmorsko višino sprožena hipoksija, ni učinkovito. Potrebno je raziskati medsebojne učinke telesne vadbe in hipoksije na redoks homeostazo ter podrobneje razložiti mehanizme in odzive na odmere obeh (Thirupathi, 2020).

Telesna aktivnost, oksidativni stres in avtofagija

Avtofagijo (gr. *autos* - sam in *phagein* - jesti, požirati) je predstavil Nobelov nagradjenec De Duve (1963), da bi pojasnil katabolno pot razgradnje celici lastnih snovi. Celica lahko uniči svoje lastne dele, ko jih obda z membrano in na ta način oblikuje nekakšen mešiček, ki ga potem pošlje v obnovo v lizosom, kjer se razgradi. Avtofagija je kataboličen proces razgradnje celici lastnih sestavin s pomočjo lizosomov, katere lahko celica ponovno uporabi in s tem pridobi nujno potrebna hranila.

Avtofagija ima osrednjo vlogo v vzdrževanju celične homeostaze, pri čemer ohranja ravnotežje med sintezo, razgradnjo in kroženjem celičnih sestavin. Njena osnovna naloga je zaščitna, saj preprečuje kopičenje poškodovanih organelov in beljakovinskih skupkov v celici ter hkrati omogoča njeno preživetje v ekstremnih pogojih, kot sta stradanje ali oksidativni stres. Neizodostna avtofagna aktivnost je povezana s številnimi boleznimi, kot so na primer mišična obolenja in bolezni živčevja. Previsoka avtofagna aktivnost je za celico škodljiva in lahko vodi celo v celično smrt. Avtofagija predstavlja tudi obrambni mehanizem gostitelja pred okužbo z mikroorganizmi (Erman in Jezernik, 2010).

Avtofagijo razumemo kot pomemben dejavnik zaščite med oksidativnim stresom, saj se poškodovani mitohondriji in peroksisomi, ki so glavni vir ROS v celicah, z njihovo pomočjo odstranijo. Odstranijo se tudi skupki beljakovin in maščob, katerih tvorba je glavni pokazatelj citotoksičnosti karbonilnih komponent (Giordano s sod., 2014; Fedorova s sod., 2014). Signalni sistem Keap1/Nrf2/ARE aktivira sprožitev avtofagije in izboljša antioksidativno obrambo celice (Filomeni s sod., 2015; Rhee in Bae, 2015).

Redna telesna vadba je uveljavljena spodbuda za promocijo koristi za zdravje ter posledično izboljšanje počutja in telesne zmogljivosti. Da bi posredovala pri teh odzivih, mora vadba sprožiti širše vznemirjenje celične homeostaze in tako zadostiti potrebam po mišični energiji in kisiku. Avtofagija je prilagoditven odziv na vadbo za moč in vadbo za vzdržljivost, z razgradnjo makromolekul in podceličnih organelov, zlasti mitohondrijev, ter sproščanjem aminokislin, uporabnih v presnovnem procesu, kot je sinteza mišičnih beljakovin. Razjasniti velja molekularne mehanizme, ki posredujejo avtofagne signalne odzive v skeletnih mišicah po vadbi za moč in vadbi za vzdržljivost, ter prilagoditvene procese, ki jih ti odzivi uravnavajo s spremenjeno razpoložljivostjo hranil in spremenjenimi energijskimi potrebami (Camera in Smiles, 2018).

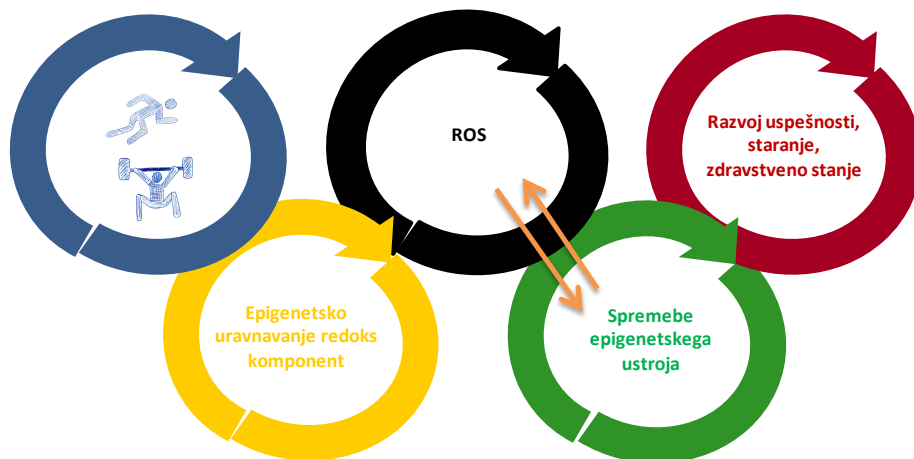
S staranjem se telo spremeni; zniža se funkcionalna masa (na primer mišična in kostna masa), zviša se maščobna masa. Navedene spremembe doprinejo k splošnemu funkcionalnemu opešanju in imajo vpliv na presnovo. Znižajo se potrebe po energiji ter občutljivost celic na inzulin, pojavi se anabolna rezistenca mišic (odpornost na izgradnjo beljakovin). Slednja je vzrok spremembe prehranskih potreb starostnikov, katerih prehranski vnos beljakovin naj bo zato višji. Že posamezna epizoda telesne vadbe visoke intenzivnosti uravnava z maščobami sproženo anabolno rezistenco ob zaužitju beljakovin pri posameznikih s prekomerno telesno težo. Zaradi anabolne rezistence je potrebno s staranjem zaužiti večjo količino beljakovin na obrok, da bi dosegli primerno raven sinteze beljakovin. Smiles in sodelavci (2019) navajajo, da je znižana anabolna rezistenca mišičnih beljakovin v prisotnosti prostih maščobnih kislin uravnana že z eno samo epizodo telesne vadbe.

Visoka raven prostih maščobnih kislin nadzoruje fosforilacijo evkariontskega iniciacijskega faktorja eIF2a pri serinu 51, modifikaciji, ki povzroči globalno zaviranje sinteze beljakovin in znižano postprandialno aminokislohemijo, pri čemer je najbolj znan učinek viden prav pri navezi telesna vadba/maščoba. Postprandialna aminokislohemija je stanje nenormalno zvišane ravni aminokislin v krvi, sproženo po zaužitju obroka hrane. Kljub zavirajočemu anabolnemu potencialu skeletnih mišic, rezultati raziskav nedvoumno kažejo na sposobnost združevanja naporene vadbe z uživanjem kakovostnih beljakovin. Te ugotovitve pomembno vplivajo na velik delež populacije, ki je telesno neaktivna, ima prekomerno telesno težo in je posledično vse bolj dovzetna za razvoj sarkopenične debelosti. Sarkopenija je postopna izguba mišične mase kot posledice staranja. Začetek in/ali resnost tega

procesa poslabšuje telesna neaktivnost in prehrana, bogata z maščobami živalskega izvora. Masa maščobnih zalog se posledično kopiči, relativna mišična masa pa upada. Proces, ko je v telesu ob povišani masi maščob znižana mišična masa, imenujemo sarkopenska debelost; slednja je ogrožajoča za zdravje (Parr s sod., 2013).

ROS, oksidativni stres in epigenetika

ROS in oksidativni stres so novi akterji epigenetike. K ravnovesju ROS, kot odgovor na spodbude iz okolja, prispevajo presnova mitohondrijev, različni encimi in signalne molekule ter antioksidativni potencial. ROS lahko vplivajo na epigenetiko z uravnavanjem sprememb DNK in histona, prepisi nekodirano izražene RNA (ncRNA) in preoblikovanjem kromatina s pomembnimi spremembami v izražanju genov, povezanih ali s fiziološko ali patološko prilagoditvijo (slika 24). Potrjena je povezava epigenetike in oksidativnega stresa, povezanega s staranjem, rakavimi in drugimi obolenji, kot na primer srčno-žilnimi, nevrološkimi in presnovnimi boleznimi (Dimauro s sod., 2020).



Slika 24: Vpliv telesne aktivnosti na epigenetiko.

Vir: prirejeno po Dimauro s sod., 2020; ilustracija: A. Bukovac

Epigenetiko lahko opredelimo kot preučevanje mitotsko in/ali meiotično dednih sprememb, povezanih z delovanjem genov, ki jih ni mogoče obrazložiti s spremembami v DNA sekvenci (Russo s sod., 1996). Opredelitev epigenoma se običajno navezuje na kemijske spremembe DNA in histonskih beljakovin (metilacija

in/ali acetiliranje) v celici. Analogno se tudi epigenetske spremembe najpogosteje opredeljujejo kot funkcionalne in dedne spremembe genoma, kjer imajo ključno vlogo DNA metilacija, histonska posttranslacijska modifikacija in ncRNA (Skvortsova s sod., 2018).

Epigenom je zelo dinamičen in ga je mogoče spremeniti ali kot odziv na biološke dejavnike, kot so razvojni procesi in procesi staranja (Gabbianelli in Malavolta, 2018), ali pod vplivom zunanjih dejavnikov, kot sta razpoložljivost hranil in telesna vadba (Meeran s sod., 2010; Grazioli s sod., 2017).

Razpoložljiva literatura na tematiko epigenetskih sprememb, sproženih s telesno vadbo, opozarja na biomarkerje, povezane z uravnavanjem energije, funkcijo in biosintezo mitohondrijev, pa tudi z regeneracijo - obnovo mišic, kalcijevimi signalnimi potmi in plastičnostjo (sposobnostjo spreminjanja) možganov; omenjeni procesi so skladni z redoks signalizacijo in/ali neravnovesjem ROS (Radak s sod., 2013b).

Telesna aktivnost predstavlja enega najmočnejših fizioloških dražljajev in lahko povzroči funkcionalne in strukturne spremembe v vseh bioloških sistemih. Poleg genetskih mehanizmov lahko TA modulira tudi izražanje genov z epigenetskimi spremembami, na primer metilacijo DNA, posttranslacijskim spreminjanjem histona in nekodiranjem RNA zapisov (Dimauro s sod., 2020). Epigenetska pokrajina je pojmovanje zapletenega sistema medsebojnih vplivov. Spremembe v genih in okolščine, ki vplivajo na medsebojne učinke posameznih genov, vplivajo na obliko epigenetske pokrajine in končnega fenotipa (Jablonka in Lamb, 2009).

Jablonka in Lamb (2009) navajata štiri razsežnosti evolucije, štiri sisteme dedovanja, ki so vpleteni v preobrazbo: genetskega, epigenetskega (prenos lastnosti na ravni celic, ki ni neposredno vezan na gene oziroma DNA), vedénjskega in simbolnega (prenos dednih lastnosti preko oblik simbolnega sporazumevanja, na primer besed).

Kemijske spremembe v krvi med telesno aktivnostjo

Pozornost namenimo še kemijskemu in fiziološkemu konceptu, ki razloži, kako se telo spopada z oksidativnim stresom, povzročenim s telesno aktivnostjo.

Med telesno aktivnostjo mišice porabljajo kisik, ko pretvarjajo kemijsko energijo v glukozo in v mehansko energijo. O_2 se dovaja iz hemoglobina v krvi. Med razgradnjo glukoze nastajata CO_2 in H_3O^+ . Proizvodnja in odstranjevanje CO_2 in H_3O^+ skupaj z uporabo in transportom O_2 povzročata kemijske spremembe v krvi. Te spremembe, razen če so uravnavane z drugimi fiziološkimi funkcijami, povzročijo znižanje pH krvi. Kadar se pH vrednost znatneje zniža ($< 7,35$), govorimo o acidozi (Bresjanac, 2002).

Najpomembnejši vir energije za intenzivno delo mišic predstavljajo ogljikovi hidrati, ki jih telo skladišči kot glukozo (glikogen) v jetrih in mišicah. Količina v jetrih skladiščenega glikogena odrasle osebe je približno 100 g, skupna količina glikogena, skladiščenega v mišicah (mišičnega glikogena) je pri pretežno sedeči odrasli osebi približno 300 g, pri športnikih pa 500 g ali več. Med telesno aktivnostjo se zviša raven odvzema glukoze iz krvi v delujoče mišice. Da raven glukoze v krvi ne pade pod fiziološko mejo, se v jetrih prične proces oskrbe krvi z glukozo. Tudi v procesu glukoneogeneze se v jetrih sintetizira nizka raven glukoze. Zaloge glukoze v jetrih se izčrpajo, če ne zaužijemo obroka hrane. Kadar nadaljujemo s TA, ne da bi zaužili obrok hrane, pade nivo glukoze v krvi pod minimalno raven - stanje hipoglikemije. Pretok glukoze iz krvi v mišice je ustavljen, mišice postanejo popolnoma odvisne od preostalega mišičnega glikogena. Telesna sposobnost je znižana, sledi ji izčrpanost. Stanje hipoglikemije predhodno povzroči tudi porabo maščob (mobilizacija maščob in izraba prostih maščobnih kislin) ter beljakovin (razgradnja beljakovin v aminokisliline). Hipoglikemijo preprečimo s primernim uživanjem ogljikovih hidratov (Brouns, 2003).

Med TA prihaja do številnih živčnih, hormonskih in drugih dražljajev, ki zvišajo stopnjo mobilizacije maščob; maščobne kisline v mitohondrijih mišičnih celic pospešeno oksidirajo. Raven prostih maščobnih kislin v mišici se zniža, s tem je omogočen povišan prenos prostih maščobnih kislin iz krvi v mišice. Proces uravnava hormona adrenalin in noradrenalin (epinefrin in norepinefrin), ki se pri TA sproščata. Pri uravnavanju tega procesa ima pomembno vlogo tudi znižanje ravni inzulina v krvi. Raven epinefrina in norepinefrina in s tem aktivnost encima lipaze ter posledično lipolize (razgradnje maščob) zvišuje uživanje kofeina. A uživanje kofeina povzroča tudi povišano raven razgradnje glikogena v jetrih in z njo povezano dodatno sproščanje laktata, ki pa je močan inhibitor lipolize. Učinek kofeina je torej nasprotujoč, predvideva se, da ima vpliv le na centralni živčni sistem (Brouns, 2003).

Oksidativni stres je izjemnega pomena tudi v patogenezi dihal. Zaradi velike površine dihalnega sistema je ta še posebej dovzeten za škodo, ki jo posreduje oksidativni stres zaradi ROS/RNS (Kruk s sod., 2019). Sunil in sodelavci (2017) navajajo povišane ravni oksidativnega stresa in znižano raven oksidantov pri bolnikih s kronično obstruktivno pljučno boleznijo (KOPB). KOPB je stanje pljuč, povezano z okrepljenim odzivom na kronično vnetje v dihalnih poteh in pljučih, kot posledice vdihavanja delcev ali plinov (na primer azbest, cigaretni dim). Sistemsko vnetje pljuč in oksidativni stres imata pomembno vlogo pri KOPB, saj spodbujata razvoj cerebralne vaskularne disfunkcije in hiperaktivnost trombocitov. Sistemsko vnetje dihal aktivira imunske celice v možganih, ki sprožijo povišan obseg tvorbe $O_2^{\bullet-}$. Markerji oksidativnega stresa so potrjeni v urinu, krvi, dihalnem kondenzatu, dihalnih poteh kadilcev bolnikov s KOPB; dokazana je znižana raven antioksidantov. Prepoznani so naslednji dejavniki tveganja za oksidativni stres: ozon, NO_2 , izpušni plini dizelskega goriva in cigaretni dim (kajenje) (Bortey-Sam s sod., 2017).

Pomen oksidativnega stresa za patogenezo dihal prihaja v ospredje še zlasti v aktualnih razmerah širjenja okužb z virusom COVID-19 in obolevnostjo za SARS-CoV-2.

Zaradi značilnosti in simptomov, povezanih s pandemijo COVID-19, je telesna aktivnost prepoznana kot dragocen dejavnik preprečevanja in zdravljenja. Telesna aktivnost izboljša telesno sestavo, presnovo in duševno zdravje bolnikov s COVID-19 ter zdravje srca in dihal. Telesna aktivnost zviša odziv protiteles pri cepljenju (Clemente-Suárez s sod., 2022).

Problematika telesne aktivnosti rejnih živali

Nizek obseg telesne aktivnosti rejnih živali je aktualna problematika v živinorejski panogi. Želja po povečanju produktivnosti rejnih živali je vzrok resne ogroženosti dobrega počutja vpletenih živali (D'Silva, 2006). Znižan obseg ali opustitev paše in s tem telesne aktivnosti živali je vzrok pogostih primerov zdravstvenih in reproduktivnih težav (Kolacz, 2006).

Dobro počutje in zdravje živali je moč oceniti tudi glede na uspešnost njihovega razmnoževanja; ta je eden najpomembnejših sestavnih delov strategije vzreje v sistemih proizvodnje rejnih živali (Fall, 2009). Wilkanowska in Kokoszyński (2015) navajata pomembne dokaze o posebnih učinkih telesne aktivnosti živali na zdravje in sposobnost razmnoževanja. Na telesno aktivnost živali vplivajo številni dejavniki, na primer prostor namenjen gibanju posamezne živali. Rezultati dosedanjih študij potrjujejo pozitivne učinke telesne aktivnosti domačih živali na njihovo zdravje in sposobnost razmnoževanja. Praktične izkušnje in pregled literature nadalje kažejo, da so najpomembnejši prehranski dejavniki (kakovost krme). Krma je ena najpomembnejših zunanjih etiologij oksidativnega stresa. Kakovost krme ima velik vpliv na fiziološko stanje in s tem na homeostazo organizma živali (Kock in sod., 1987; Sandner in sod., 1990). Osredotočanje na izboljšanje dejavnikov, ki vplivajo

na zdravje in plodnost domačih živali, je zelo obetavno za prihodnje strategije upravljanja z živino.

Pri rejnih živalih je telesna aktivnost živali opredeljena kot predpogoj za njihovo vedenje. Na telesno aktivnost živali vplivajo telesne sposobnosti (morfologija, okorelost, bolečina) in okoljske razmere (Γ , razpored osvetlitve in jakost svetlobe, velikost črede oziroma jate, razpoložljiv prostor na enoto živali). Eden od prepoznavnih vidikov rejskih sistemov, ki ga javnost razume kot znak za slabo počutje živali je prostor namenjen telesni aktivnosti živali. Obstajajo tako kvalitativne kot kvantitativne prostorske zahteve. Posebej pomemben je kvalitativni prostor, to je prostor, potreben za opravljanje običajnih aktivnosti, kot so prehranjevanje, raziskovanje, izvajanje družbenega vedenja ali umik od vizualnega stika z drugimi (Whittaker, 2012).

Z zagotovitvijo več prostora na žival lahko vplivamo na stopnjo gibalne aktivnosti in razvoja živali ter trdnost okostja, zlasti okončin. Tako na primer pri brojlerjih telesna aktivnost vpliva na morfološke parametre kosti in na ta način izboljšuje njihovo mineralizacijo (Vitorović, 1995). Pri kravah molznicah telesna aktivnost izboljša prekrvavitev, razvije mišični sistem in pozitivno učinkuje na zdravje (Gustafson, 1993; Davidson in Beede, 2009). Povečan obseg telesne aktivnosti - hoje znižuje raven tveganja za presnovne in prebavne motnje (Adewuyi s sod., 2006).

Nekateri raziskovalci domnevajo, da se lahko raven gibalne aktivnosti goveda poveča pri večji gostoti naselitve, saj zagovarjajo dejstvo, da naj bi povečana konkurenca govedo prisilila, da se ali premaknejo do virov ali pobegnejo tekmečem (Bøe in Færevik, 2003). Številne študije, vezane na tematiko posledic »gneče« navajajo, da je najpomembnejši izziv, povezan z visoko gostoto reje, agresija, ki se pojavi predvsem zaradi konkurence za dostop do omejenih virov ali za vzpostavitev socialnih odnosov med neznanimi živalmi. Agresija vsekakor negativno vpliva na telesno kondicijo živali. Rane, ki jih agresija povzroči, so večinoma praske ali ureznine na koži živali.

Mnoge raziskave dobrobiti telesne aktivnosti za ljudi so osnovane na poskusih na živalih. Nekaj primerov je navedenih v poglavju »Oksidativni stres, ROS kot dejavniki za razvoj bolezni (tabela 5: Vloga telesne aktivnosti pri razvoju oksidativnega stresa in možne posledice za zdravje)«. Dobrobit telesne aktivnosti rejnih živali za njihovo zdravje in dobro počutje je nesporna.

Dobrobit živali je prednostna naloga Evropske unije; zakonodaja EU o dobrobiti živali se je v zadnjih 40 letih razvila na podlagi trdnih znanstvenih spoznanj, pričakovanj državljanov in zahtev trga. Evropska komisija od leta 2006 financira pobude in delavnice za usposabljanje strokovnjakov, tako je bilo na področju dobrobiti živali iz programa Evropske komisije usposobljenih več kot 2000 veterinarjev. V letu 2017 je bila ustanovljena Platforma Evropske Unije za dobrobit živali, ki je mesto dialoga med različnimi deležniki, mesto izmenjave dobrih praks in prostovoljnih pobud. Hkrati deluje kot svetovalno telo Evropski Komisiji na področju dobrobiti živali (GOV, 2021).

Intenzivna živinoreja v smislu »tovarniškega« kmetovanja, pomori na kmetijah, uvoz krme in uporaba pesticidov napredujejo brez nadzora. Na tem mestu velja poziv politikom, da temeljito reorganizirajo proizvodnjo mesa ter izvajajo ciljno usmerjene strategije z vizijo razpoloviti njegovo porabo. Svetovna poraba mesa se je v zadnjih 20 letih več kot podvojila. Reja živali že predstavlja znaten delež svetovnih emisij toplogrednih plinov in prispeva k zniževanju vrstne pestrosti. Industrijska proizvodnja mesa ni odgovorna le za negotove delovne pogoje, temveč tudi za propad malih kmetij, krčenje gozdov, uporabo pesticidov in izgubo biotske raznovrstnosti; je eno glavnih gonil podnebne krize (Fleischatlas, 2021).

Politične akcije, katerih cilj je zvišati raven dobrega počutja živali in znižati obseg okolju neprijazne množične proizvodnje, so neizogibne. Živali je potrebno zaščititi tudi pred raziskavami. Brez političnega ukrepanja je malo verjetno, da se bodo razmere bistveno spremenile (Clark in sod., 2017). Zavedajmo se, da smo potrošniki gonilna sila pri spreminjanju obstoječih sistemov in praks v proizvodnji mesa. S premišljeno izbiro hrane lahko prispevamo k izboljšanju življenja živali, ki se brutalno izkoriščajo (Cornish in sod., 2016).



ZAKLJUČEK



Pomen izobraževanja o trajnostni telesni aktivnosti

Slog je človek.

Louis Buffier

Proces izobraževanja za trajnostni razvoj postavlja v središče sistemski pristop k interakciji med človekom, družbo in naravo. Izobraževanje za trajnostni razvoj je način oblikovanja nove zavesti in vedenja (Nasibulina, 2015). Izobraževanje za trajnostni razvoj vsekakor vključuje sistemsko poučevanje o pomenu TA in športa na univerzah. Izobraževanje o ključni vlogi TA pri ohranjanju homeostaze in posledično zdravja in dolgoživosti je izrazito aktualno in spada med obvezne vsebine na vseh študijskih programih in v vseh letnikih študija. Športne igre naj postanejo temelj za nabiranje izkustvenega znanja, z njimi velja povezati vse vsebine predmetov.

Malo nam v življenju koristijo silna znanja o pomembnih tematikah, če ignoriramo osnove, ki trajnostno določajo zdravje in dobro počutje slehernega posameznika. Izgradnja uspešne kariere naj vselej temelji na redni TA. Le podjetja, ki do zaposlenih pristopajo s celovitim načrtom krepitve zdravja, ki vključuje izvajanje TA med delovnim časom, lahko imenujemo trajnostna in družbeno odgovorna.

Telovadna društva, ki bi spodbujala narodno in kulturno zavest ter vzgajala k disciplini telesa in duha bi utegnila odigrati odločilno vlogo pri ohranitvi ogroženega slovenskega naroda. S svojim delovanjem in usmerjanjem mladih v zdravo življenje bi vplivala na zakrnelo zavest današnjih šolnikov, ki si premalo prizadevajo, da bi učence, dijake in študente usmerili v telovadbo, tek in planinarjenje. Prebujeni učitelji pa bi pozneje, skupaj s telovadnimi društvi, trasirali pot zdravega življenja za vse prebivalce Slovenije (Rugelj, 1997).

Med telesno aktivnostjo se sproščajo reaktivne zvrsti, obseg njihovega nastanka je povezan z značilnostmi telesne vadbe. Tvorba reaktivnih zvrsti, ki presega zmogljivost antioksidativne obrambe, izzove oksidativni stres. Ravnovesje med obsegom sproščanja reaktivnih zvrsti in antioksidativno obrambo je v fizioloških razmerah pomaknjeno rahlo na stran oksidativnih procesov. Omenjeno ravnovesje rušita dve skrajnosti telesne aktivnosti: akutna, visoko intenzivna TA in telesna neaktivnost.

Neravnovesje med tvorbo ROS, ki so stranski produkt aerobne presnove in antioksidanti (mehanizmi obrambe in obnove), vodi v oksidativni stres. Zdrav organizem je sposoben omejiti škodljive učinke reaktivnih zvrsti. Naravni obrambni sistem predstavljajo medsebojno povezani encimski in neencimski antioksidanti, ki upočasnjujejo, preprečujejo ali obnavljajo oksidativne poškodbe bioloških molekul. Da bi preprečili oksidativni stres je potrebno prepoznati in odpraviti vzroke, ki vodijo do neravnovesja (Mravljak, 2015).

Raziskave kažejo, da je količina sproščenih reaktivnih zvrsti odvisna predvsem od intenzivnosti telesne aktivnosti. Redna, zmerna telesna aktivnost je za obvladovanje oksidativnega stresa in zdravje ključnega pomena. Nasprotno pa neredna in nezmerena telesna aktivnost povzročata povišan oksidativni stres kljub temu, da je stimulans, esencialen za uravnavanje endogene antioksidativne obrambe enak. Telesna aktivnost sproži v telesu hormetični odziv; učinki telesne aktivnosti na imunski sistem, sproščanje prostih radikalov, delovanje mišic in žilja ter staranje imajo obliko hormetične krivulje. Skrajni točki hormetične krivulje sta telesna neaktivnost in pretreniranost (prekomerna telesna vadba); posledica je znižana fiziološka funkcija. Visoko intenzivna ali dolgotrajna vadba lahko povzročita zaviranje normalnega delovanja imunskega sistema in povišano dovzetnost za okužbe. Vadba zmerne intenzivnosti in trajanja utrjuje imunski sistem. Normalno in pozitivno prilagajanje organizma na telesno aktivnost dosežemo z redno vadbo zmerne intenzivnosti (Radak s sod., 2008a).

Prekomerna telesna vadba zvišuje tveganje za pojavnostjo bolezní in ogroža zdravje. Med prekomerno vadbo proces prilagajanja organizma vadbi ni uspešen in to predvsem zaradi nepopolnega okrevanja (Ogonovszky s sod., 2005). Po vsaki telesni aktivnosti je počitek nujen; tako ima telo možnost obvladovanja stresorja in se posledično prilagaja.

Telesna neaktivnost se povezuje z zvišanim obsegom pojavnosti bolezní in patoloških stanj, vključno s srčno-žilnimi boleznimi, sladkorno boleznijo tipa II, Alzheimerjevo in Parkinsonovo boleznijo, mišično atrofijo, prekomerno telesno težo in debelostjo (Booth in Lees, 2007).

Prilagoditveni učinki redne telesne vadbe so sistemski ter, odvisno od značilnosti vadbe, zelo specifični. Anaerobna telesna vadba visoke intenzivnosti zvišuje raven mlečne kisline v krvi, a kadar je redna, zvišuje tudi sposobnost obvladovanja izločene kisline. Pomen redne telesne vadbe je izključno v prilagoditvi telesa. Tudi povišana raven tvorbe reaktivnih zvrstí je nujni fiziološki stimulus, ki mišicam in drugim telesnim sistemom omogoča, da se prilagodijo na telesno aktivnost.

Visoko intenzivna in/ali dolgotrajna telesna vadba slabi imunski sistem; tveganje za pojav okužb in bolezní je višje. Vadbo zmerne intenzivnosti in trajanja, nasprotno, štejemo kot dobrodošlo za utrjevanje imunskega sistema, kar vodi k višji odpornosti proti okužbam in nižjemu tveganju za pojavnostjo bolezní, vključno z nekaterimi vrstami raka (Chung s sod., 2005; Radak s sod., 2005; Woods s sod., 2006; Kruk s sod., 2019).

Hormetični odziv je dinamično ravnovesje v mejah zdravja in bolezní. Boljše razumevanje hormetičnih odzivov bo zagotovilo uporabno terapevtsko orodje, katerega cilj je zvišati obseg sposobnosti prilagajanja organizma in preprečiti napredovanje bolezní.

Med raziskanimi fenolnimi antioksidanti k celokupnemu antioksidativnemu potencialu največ prispeva *cis*-resveratrol (Bukovac, 2010). Poleg neposrednega antioksidativnega učinka je resveratrolu dokazan tudi zaščitni učinek. Navedeno dokazuje pomen uživanja fenolnih antioksidantov, ki so obilno zastopani v hrani rastlinskega izvora, za okrepljen imunski sistem in posledično zdravje človeka.

Uživanje večjih količin prehranskih dopolnil v obliki antioksidantov lahko učinkuje prooksidativno in zviša raven oksidativnega stresa; poruši se fiziološko ravnovesje med tvorbo in odstranjevanjem reaktivnih zvrsti (antioksidativni stres). Uživanje živil, bogatih z antioksidanti je dokazano koristno za zdravje, uživanje visokih odmerkov prehranskih dopolnil z antioksidanti pa ne (Moyer, 2013).

Pomemben temelj izgradnje in ohranjanja stabilnega imunskega sistema je optimalna preskrba telesa s kisikom. Z načinom življenja (življenjskim slogom) lahko preskrbo telesa s kisikom izboljšamo.

Izjemno aktualen izziv je vrednotenje stanja oksidativnega stresa v organizmu. Rezultati lastnih raziskav na področju antioksidantov potrjujejo smiselnost sistemskega pristopa k temu izzivu s primerjavo analiznih metod. Primerjava analiznih metod, s katerimi ovrednotimo ali celokupen antioksidativni potencial ali vsebnost posameznih antioksidantov, odpira nov pogled na analitiko vzorcev in predstavlja aktualen doprinos k znanosti.

Mnoge raziskave dobrobiti telesne aktivnosti za ljudi so osnovane na poskusih na živalih, zato je dobrobit telesne aktivnosti rejnih živali za njihovo zdravje in dobro počutje nesporna. Znižan obseg ali opustitev paše in s tem telesne aktivnosti rejnih živali je vzrok reproduktivnih in drugih zdravstvenih težav, ki so pogoste v živinorejski panogi. Vizija naj bo zvišanje ravni dobrega počutja živali in znižanje obsega okolju neprijazne množične proizvodnje.

Na razvoj bolezni ter na fizično in psihično sposobnost posameznika dokazano vplivajo cirkadiani ritmi. Z upoštevanjem njihovih zakonitosti je potrebno dnevno osem ur spati, osem ur intenzivno ustvarjati, osem ur pa se sproščati, gibati na svežem zraku, meditirati ali ukvarjati s konjički. Priporočeno je, da se s telesno aktivnostjo ukvarjamo čez dan; takrat je vpliv energije sonca najvišji.

Zjutraj je čas za telesno vadbo; naoljiti je potrebno vse sklepe, ogreti vse mišice.

Korak za korakom, hoja.

Sledi naj hoja navkreber.

Dihanje naj bo globoko; kisik naj nasiti naše celice.

Čas je za igro. Športne igre povezujejo, vzpodbujajo ekipni duh, sproščajo, nasmejejo in nahranijo posameznikov ustvarjalni duh.

Zavedajmo se, da je za sprostitev in globoko dihanje potrebno opraviti z zamerami, strahovi in skrbmi. V sledji navedbi se skriva vzrok vseh obolenj. Telesna aktivnost naj vključuje sproščanje in počitek (obnovo). Odmerjajmo jo redno in kontinuirno. Zmerna naj bo. Takšno telesno aktivnost imenujemo trajnostna.



LITERATURA



- Abadi, A., Crane, J.D., Ogborn, D., Hettinga, B., Akhtar, M., Stokl, A., Macneil, L., Safdar, A., Tarnopolsky, M. 2013. Supplementation with alpha-lipoic acid, CoQ10, and vitamin E augments running performance and mitochondrial function in female mice. *PLoS One*, 8(4): 60722.
- Aboulwafa, M.M., Youssef, F.S., Gad, H.A., Sarker, S.D., Nahar, L., Al-Azizi, M.M., Ashour, M.L. 2019. Authentication and discrimination of green tea samples using UV-vis, FTIR and HPLC techniques coupled with chemometrics analysis. *J. Pharm. Biomed. Anal.*, 164: 653–8.
- Adams, G.R. in Haddad, F. 1996. The relationships among IGF-1, DNA content, and protein accumulation during skeletal muscle hypertrophy. *Journal of Applied Physiol.*, 81(6): 2509–16.
- Adewuyi, A.A., Roelofs, J.B., Gruys, E., Toussaint, M.J.M., van Eerdenburg, F.J.C.M. 2006. Relationship of plasma nonesterified fatty acids and walking activity in postpartum dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 89: 2977–9.
- Ahlborg, B., Bergström, J., Ekelund, L.G., Guarnieri, G., Harris, R.C., Hultman, E., Nordesjö, L.O. 1972. Muscle metabolism during isometric exercise performed at constant force. *J. Appl. Physiol.*, 33: 224–8.
- Ahmed, S., Jubair, A., Hossain, M.A., Hossain, M.M., Azam, M.S., Biswas, M. 2021. Free radical-scavenging capacity and HPLC-DAD screening of phenolic compounds from pulp and seed of *Syzygium claviflorum* fruit. *J. Agric. Food Res.*, 6: 100203.
- Alessio, H. M., Goldfarb, A.H., Cao, G. 1997. Exercise-induced oxidative stress before and after vitamin C supplementation. *Int. J. Sport Nutr.*, 7(1): 1–9.
- Alva, N., Palomeque, J., Carbonell, T. 2013. Oxidative stress and antioxidant activity in hypothermia and rewarming: Can RONS modulate the beneficial effects of therapeutic hypothermia? *Oxid Med. Cell. Longev.*, 957054: 1–10.
- Andrade, A. in Dominski, F.H. 2018. Indoor air quality of environments used for physical exercise and sports practice: Systematic review. *J. Environ. Manage.*, 206: 577–86.
- Aquino-Junior, J.C.J., MacKenzie, B., Almeida-Oliveira, A.R., Martins, A.C., Oliveira-Junior, M.C., Britto, A.A., Arantes-Costa, F.M., Damaceno-Rodrigues, N.R., Caldini, E.G., de Oliveira, A.P.L., Guadagnini, D., Leiria, L.O., Ricardo, D.R., Abdalla Saad, M.J., Vieira, R.P. 2018. Aerobic exercise inhibits obesity-induced respiratory phenotype. *Cytokine*, 104: 46–52.
- Arias-Palencia, N.M., Solera-Martinez, M., Gracia-Marco, L., Silva P., Martinez-Vizcaino, V., Canete-Garcia-Prieto, J., Sánchez-López, M. 2015. Levels and patterns of objectively assessed physical activity and compliance with different public health guidelines in university students. *PloS One*, 10(11): 0141977.
- Aschbacher, K., O'Donovan, A., Wolkowitz, O.M., Dhabhar, F.S., Su, Y., Epel, E. 2013. Good stress, bad stress and oxidative stress: insights from anticipatory cortisol reactivity. *Psychoneuroendocrinology*, 38(9): 1698–708.
- Asyary, A. in Veruswati, M. 2020. Sunlight exposure increased Covid-19 recovery rates: A study in the central pandemic area of Indonesia. *Sci. Total Environ.*, 729: 139016.
- Atterbury, E.A. in Welman, K.E. 2017. Balance training in individuals with Parkinson's disease: Therapist-supervised vs. home-based exercise programme. *Gait Posture*, 55: 138–44.
- Baglioni, C., Battagliese, G., Feige, B., Spiegelhalter, K., Nissen, C., Voderholzer, U., Lombardo, C., Riemann, D. 2011. Insomnia as a predictor of depression: A meta-analytic evaluation of longitudinal epidemiological studies. *J. Affect. Disord.*, 135(1–3): 10–9.
- Bardia, A., Tleyjeh, I.M., Cerhan, J.R., Sood, A.K., Limburg, P.J., Erwin, P.J., Montori, V.M. 2008. Efficacy of antioxidant supplementation in reducing primary cancer incidence and mortality: systematic review and meta-analysis. *Mayo Clin. Proc.*, 83(1): 23–34.
- Baroni, M.V., Di Paola Naranjo, R.D., Garcia-Ferreira, C., Otaiza, S. 2012. How good antioxidant is the red wine? Comparison of some in vitro and in vivo methods to assess the antioxidant capacity of Argentinian red wines. *LWT-Food Sci. Technol.*, 47: 1–7.
- Barrès, R., Yan, J., Egan, B., Treebak, J.T., Rasmussen, M., Fritz, T., Caidahl, K., Krook, A., O'Gorman, D.J., Zierath, J.R. 2012. Acute exercise remodels promoter methylation in human skeletal muscle. *Cell Metab.*, 15(3): 405–11.
- Barroso, M.F., Ramalhosa, M.J., Alves, R.C., Dias, A., Soares, C.M.D., Oliva-Teles, M.T., Delerue-Matos, C. 2016. Total antioxidant capacity of plant infusions: Assessment using

- electrochemical DNA-based biosensor and spectrophotometric methods. *Food Control*, 68: 153–61.
- Bassett-Gunter, R., McEwan, D., Kamarhie, A. 2017. Physical activity and body image among men and boys: A meta-analysis. *Body Image*, 22: 114–28.
- Becker, S.P., Jarrett, M.A., Luebke, A.M., Garner, A.A., Burns, G.L., Kofler, M.J. 2018. Sleep in a large, multi-university sample of college students: sleep problem prevalence, sex differences, and mental health correlates. *Sleep Health*, 4(2): 174–81.
- Belitz, H.D., Grosch, W., Schieberle, P. 2009. *Food Chemistry*, Springer Verlag, Berlin, Nemčija, 1070 str.
- Bellavere, F., Cacciatori, V., Bacchi, E., Gemma, M.L., Raimondo, D., Negri, C., Thomaseth, K., Muggeo, M., Bonora, E., Moghetti, P. 2018. Effects of aerobic or resistance exercise training on cardiovascular autonomic function of subjects with type 2 diabetes: A pilot study. *Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis.*, 28(3): 226–233.
- Belviranlı, M. in Okudan, N. 2019. Voluntary, Involuntary and Forced Exercises Almost Equally Reverse Behavioral Impairment by Regulating Hippocampal Neurotrophic Factors and Oxidative Stress in Experimental Alzheimer's Disease Model. *Behav. Brain Res.*, 364: 245–55.
- Berendijaš, T. 2011. Telesna aktivnost in zdravje. *Doba EPIS*, Maribor, 116 str.
- Bernard, C. 1865. Introduction à l'étude de la médecine expérimentale. *Medmrežje*: https://www.irphe.fr/~clanet/otherpaperfile/articles/Bernard/bernard_introduction_etude_medicine_experimentale.pdf (15.12.2020).
- Bethell, T. 2005. *Politically Incorrect Guide To Science*, Regnery Publishing, Washington, ZDA, 259 str.
- Bhasin, S. in Jasuja, R. 2019. Reproductive and Nonreproductive Actions of Testosterone. V: Huhtaniemi, I. (ur.), *Encyclopedia of Endocrine Diseases*. Reference Module in Biomedical Sciences, 2: 721–34.
- Bhattacharya, S. 2015. Reactive oxygen species and cellular defense system. V: Rani, V. in Yadav, U. (ur.), *Free radicals in human health and disease*, Springer, Indija, 17–29.
- Bjelaković, G., Nikolova, D., Glud, C. 2014. Antioxidant supplements and mortality. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care*, 17(1): 40–4.
- Bjelaković, G., Nikolova, D., Glud, L.L., Simonetti, R.G., Glud, C. 2012. Antioxidant supplements for prevention of mortality in healthy participants and patients with various diseases. *Cochrane Database Syst. Rev.*, 3: CD007176.
- Bjelakovic, G. in Glud, C. 2007. Surviving antioxidant supplements. *J. Natl. Cancer Inst.*, 99: 742–3.
- Bjelaković, G., Nikolova, D., Glud, L. 2007. Mortality in Randomized Trials of Antioxidant Supplements for Primary and Secondary Prevention: Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA*, 297: 842–57.
- Bjelaković, G., Nikolova, D., Simonetti, R.G., Glud, C. 2004. Antioxidant supplements for prevention of gastrointestinal cancers: a systematic review and meta-analysis. *Lancet*, 364 (9441): 1219–28.
- Blinč, A. 2015. Telesna vadba in žilje. V: Knap, B. in Horvat, M. (ur) *Gibanje je zdravje: zbornik prispevkov o pomenu telesnega gibanja za zdravje*, Zg. Kungota, 180 str.
- Bo, Y., Yeoh, E.K., Guo, C., Zhang, Z., Tam, T., Chan, T.C., Chang, L.Y., Lao, X.Q. 2019. Sleep and the risk of chronic kidney disease: A cohort study. *J. Clin. Sleep Med.*, 15(3): 393–400.
- Bodine, S.C. 2013. Disuse-induced muscle wasting. *Int. J. Biochem. Cell Biol.*, 45(10): 2200–8.
- Bøe, K.E. In Færevik, G. 2003. Grouping and social preferences in calves, heifers and cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 80: 175–90.
- Booth, F.W., Lees, S.J. 2007. Fundamental questions about genes, inactivity, and chronic diseases. *Physiol. Genom.*, 28: 146–57.
- Borbalan, A.M.A., Zorro, L., Guillen, D.A., Garcia Barroso, C. 2003. Study of the polyphenol content of red and white grape varieties by liquid chromatography-mass spectrometry and its relationship to antioxidant power. *J. Chromatogr. A*, 1012: 31–38.
- Bortey-Sam, N., Ikenaka, Y., Akoto, O., Nakayama, S.M.M., Asante, K.A., Baidoo, E., Obirikorang, C., Saengtienchai, A., Isoda, N., Nimako, C., Mizukawa, H., Ishizuka, M. 2017. Oxidative stress and respiratory symptoms due to human exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Kumasi, Ghana. *Environ. Pollut.*, 228: 311–20.

- Bouayed, J. in Bohn, T. 2010. Exogenous antioxidants - Double-edged swords in cellular redox state: Health beneficial effects at physiologic doses versus deleterious effects at high doses. *Oxid. Med. Cell. Longev.*, 3(4): 228–37.
- Bouزيد, M.A., Filaire, E., McCall, A., Fabre, C. 2015. Radical oxygen species, exercise and aging: an update. *Sports Med.*, 45(9): 1245–61.
- Branen, A.L. 1975. Toxicology and biochemistry of butylated hydroxyanisole and butylated hydroxytoluene. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 52: 59–63.
- Bresjanac, M. 2002. Fiziologija telesnega napora. V: Bresjanac M. in Rupnik M. (ur.) Patofiziologija s temelji fiziologije. 3. izd. Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta. Inštitut za patološko fiziologijo, Ljubljana, 167–70.
- Broadhouse, K.M., Singh, M.F., Suo, C., Gates, N., Wen, W., Brodaty, H., Jain, N., Wilson, G.C., Meiklejohn, J., Singh, N., Baune, B.T., Baker, M., Foroughi, N., Wang, Y., Kochan, N., Ashton, K., Brown, M., Li, Z., Mavros, Y., Sachdev, P.S., Valenzuela, M.J. 2020. Hippocampal plasticity underpins long-term cognitive gains from resistance exercise in MCI. *Neuroimage Clin.*, 25: 102182.
- Brouns, F. 2003. *Essentials of Sports Nutrition*, 2. izd., Wiley, Florida, ZDA, 242 str.
- Bueno-Herrera, M. in Pérez-Magariño, S. 2020. Validation of an extraction method for the quantification of soluble free and insoluble bound phenolic compounds in wheat by HPLC-DAD. *J. Cereal Sci.*, 93: 102984.
- Buijze, G.A. in Hopman, M.T. 2014. Controlled hyperventilation after training may accelerate altitude acclimatization. *Letters to the editor. Wilderness Environ Med*, 25: 484–94.
- Bukovac, V., Strlič, M., Kočar, D. 2009. Comparison of Methods for Determination of Polyphenols in Wine by HPLC-UV/VIS, LC/MS/MS and Spectrophotometry, *Acta Chim. Slov.*, 56(3): 698–703.
- Bukovac, V. 2010. Določanje fenolnih antoksidantov v vinu slovenskega porekla. Disertacija, Univerza v Ljubljani, FKKT, Ljubljana, 110 str.
- Bukovac, V., Shaban, N., Kadhum, I.M. 2015. Innovative practices compendium: sustainable development in higher education in Europe. 2. dop. izd., Buča, Ljubljana, 118 str.
- Bukovac, V. 2016. Razsežnosti primerno celostnega pristopa k izobraževanju za trajnostni razvoj. V: Mulej, M in Čagran, B. (ur.), *Nehajte sovražiti svoje otroke in vnuke. Uveljavljanje družbene odgovornosti v vzgoji in izobraževanju*, Zbirka Družbena odgovornost. Kulturni center: IRDO, Inštitut za razvoj družbene odgovornosti. 3: 73–103.
- Bundy, M. in Leaver, A. 2011. *A Guide to Sports and Injury Management*. Churchill Livingstone Elsevier, Edinburgh, Škotska, 160 str.
- Caballero, B. 2007. The global epidemic of obesity: an overview. *Epidemiol. Rev.*, 29(1): 1–5.
- Cai, Y.Z., Sun, M., Corke, H. 2003. Antioxidant activity of betalains from plants of the Amaranthaceae. *J. Agric. Food Chem.*, 51: 2288–94.
- Calabrese, E.J. 2015. Hormesis: principles and applications. *Homeopathy*, 104: 69–82.
- Calatayud, J., Borreani, S., Martin, J., Martin, F., Flandez, J., Colado, J.C. 2015. Core muscle activity in a series of balance exercises with different stability conditions. *Gait Posture*, 42(2): 186–92.
- Calderon, A. 2018. Massification of higher education revisited. RMIT University, Melbourne, Avstralija, 30 str.
- Caleja, C., Barros, L., Antonio, A.L., Carochi, M., Oliveira, M.B., Ferreira, I.C. 2016. Fortification of yogurts with different antioxidant preservatives: A comparative study between natural and synthetic additives. *Food Chem.*, 210: 262–8.
- Camera, D.M. in Smiles, W.J. 2018. Autophagy, Exercise, and Lifestyle Modification. V: Ren, J., Sowers, J.R., Zhang, Y., *Autophagy and Cardiometabolic Diseases*, 305–14.
- Camiletti-Moirón, D., Aparicio, V.A., Aranda, P., Radak, Z. 2013. Does exercise reduce brain oxidative stress? A systematic review. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 23(4): 202–12.
- Campbell, R., Soenens, B., Beyers, W., Vansteenkiste, M. 2018. University students' sleep during an exam period: the role of basic psychological needs and stress. *Motiv. Emot.*, 42(5): 671–81.
- Cao, G., Sofic, E.R., Prior, R.L. 1996. Antioxidant capacity of tea and common vegetables. *J. Agric. Food Chem.*, 44: 3426–31.

- Capra, F. 2002. *The Hidden Connections: Integrating the biological, cognitive and social dimensions of life into a science of sustainability*. Doubleday, New York, ZDA, 287 str.
- Cartee, G.D., Hepple, R.T., Bamman, M.M., Zierath, J.R. 2016. Exercise Promotes Healthy Aging of Skeletal Muscle. *Cell Metab.*, 23(6): 1034–47.
- Casiday, R. in Frey, R. 2007. Blood, Sweat, and Buffers: pH Regulation During Exercise. Acid-Base Equilibria Experiment. *Medmrežje*: <http://www.chemistry.wustl.edu/~edudev/LabTutorials/CourseTutorials/bb/Buffer/Buffers.pdf> (26.10.2017).
- Catalogol, B., Batirel, S., Taga, Y., Ozer, N.K. 2012. Resveratrol: French paradox revisited. *Front. Pharmacol.*, 17(3): 141.
- Chaitow, L. 2003. *Maintaining body balance, flexibility and stability. A Practical Guide to the Prevention and Treatment of Musculoskeletal Pain and Dysfunction*. Churchill Livingstone Elsevier, Edinburgh, Škotska, 216 str.
- Chan, M.C. in Arany, Z. 2014. The many roles of PGC-1 α in muscle - recent developments. *Metabolism*, 63: 441–51.
- Chen, Y., Zajac, J.D., MacLean, H.E. 2005. Androgen regulation of satellite cell function, *J. Endocrinol.*, 186: 21–31.
- Chennaoui, M., Arnal, P.J., Sauvet, F., Léger, D. 2015. Sleep and exercise: A reciprocal issue? *Sleep Med. Rev.*, 20: 59–72.
- Chevalier, G., Sinatra, S.T., Oschman, J.L., Sokal, K., Sokal, P. 2012. Earthing: Health Implications of Reconnecting the Human Body to the Earth's Surface Electrons. *Review. J. Environ. Public Health*, 1–8.
- Chevalier, G., Sinatra, S.T., Oschman, J.L., Delany, R.M. 2013. Earthing (grounding) the human body reduces blood viscosity-a major factor in cardiovascular disease. *J. Altern. Complement. Med.*, 19(2): 102–10.
- Chin, E.R., Olson, E.N., Richardson, J.A., Yang, Q., Humphries, C., Shelton, J.M., Wu, H., Zhu, W., Bassel-Duby, R., Williams, R.S. 1998. A calcineurin-dependent transcriptional pathway controls skeletal muscle fiber type. *Genes Dev.*, 12: 2499–509.
- Cho, J.G., Teoh, A., Roberts, M., Wheatley, J. 2019. The prevalence of poor sleep quality and its associated factors in patients with interstitial lung disease: A cross-sectional analysis. *ERJ Open Research*, 5(3): 00062.
- Cho, Y.M., Kwon, S., Pak, Y.K., Seol, H.W., Choi, Y.M., Park, D.J., Park, K.S., Lee, H.K. 2006. Dynamic changes in mitochondrial biogenesis and antioxidant enzymes during the spontaneous differentiation of human embryonic stem cells. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 348: 1472–8.
- Chokroverty, S. 2009. *Sleep Disorders Medicine. Basic Science, Technical Considerations, and Clinical Aspects*. 3. izd., Saunders, Elsevier, Philadelphia, ZDA, 661 str.
- Christen, Y. 2000. Oxidative stress and Alzheimer disease. *Am. J. Clin. Nutr.*, 71(2): 621–9.
- Chung, H.Y., Kim, H.J., Baek, Y.H., Song, S.H., Radak, Z. 2005. Exercise and inflammatory diseases: beneficial effects of exercise as a stimulus of hormesis. V: Radak, Z. (ur.), *Exercise and Diseases*. Meyer Meyer Sport, Oxford, Združeno Kraljestvo, 17–50.
- CINDI, 2017. *Medmrežje*: http://cindi-slovenija.net/index.php?option=com_content&task=view&id=128&Itemid=128 (30.10.2017).
- Clark, B., Stewart, G.B., Panzone, L.A., Kyriazakis, I., Frewer, L.J. 2017. Citizens, consumers and farm animal welfare: A meta-analysis of willingness-to-pay studies. *Food Policy*, 68: 112–27.
- Clarkson, P., Montgomery, H.E., Mullen, M.J., Donald, A.E., Powe, A.J., Bull, T., Jubb, M., World, M., Deanfield, J.E. 1999. Exercise training enhances endothelial function in young men. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 33: 1379–85.
- Clemente-Suárez, V.J., Beltrán-Velasco, A.I., Ramos-Campo, D.J., Mielgo-Ayuso, J., Nikolaidis, P.A., Belando, N., Tornero-Aguilera, J.F. 2022. Physical activity and COVID-19. The basis for an efficient intervention in times of COVID-19 pandemic. *Physiol. Behav.*, 244: 113667.
- Coen, P.M., Jubrias, S.A., Distefano, G., Amati, F., Mackey, D.C., Glynn, N.W., Manini, T.M., Wohlgenuth, S.E., Leeuwenburgh, C., Cummings, S.R., Newman, A.B., Ferrucci, L., Toledo,

- F.G., Shankland, E., Conley, K.E., Goodpaster, B.H. 2013. Skeletal muscle mitochondrial energetics are associated with maximal aerobic capacity and walking speed in older adults. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.*, 68(4): 447–55.
- Collins, R., Armitage, J., Parish, S., Sleight, P., Peto, R. 2002. MRC/BHF heart protection study of antioxidant vitamin supplementation in 20536 high-risk individuals: a randomised placebo-controlled trial. *Lancet*, 360(9326): 23–33.
- Condezo-Hoyos, I., Abderrahim, F., Arriba, S.M., Gonzalez, M.C. 2015. A novel, micro, rapid and direct assay to assess total antioxidant capacity of solid foods. *Talanta*, 138: 108–16.
- Cooke, M., Iosia, M., Buford, T., Shelmadine, B., Hudson, G., Kerksick, C., Rasmussen, C., Greenwood, M., Leutholtz, B., Willoughby, D., Kreider, R. 2008. Effects of acute and 14-day coenzyme Q10 supplementation on exercise performance in both trained and untrained individuals. *J. Int. Soc. Sports Nutr.*, 5: 8.
- Cornelli, U. 2009. Antioxidant use in nutraceuticals. *Clin. Dermatol.*, 27(2): 175–94.
- Cornish, A., Raubenheimer, D., McGreevy, P. 2016. What We Know about the Public's Level of Concern for Farm Animal Welfare in Food Production in Developed Countries. *Animals*, 6(11): 74.
- Crawford, D.R. in Davies, K.J. 1994. Adaptive response and oxidative stress. *Environ. Health Perspect.*, 102(10): 25–8.
- Cutler, R.G. 2003. Genetic stability, dysdifferentiation, and longevity determinant genes, V: Cutler, R.G. in Rodriguez, H. (ur.), *Critical Reviews of Oxidative Stress and Damage*, World Scientific, New Jersey, ZDA, 698 str.
- Cutler, R.G. in Mattson, M.P. 2003. Measuring oxidative stress and interpreting its relevance in humans, V: Cutler, R.G. in Rodriguez, H. (ur.), *Oxidative Stress and Aging*, World Scientific, New Jersey, ZDA, 1624 str.
- Dames, K.D., Heise, G.D., Hydock, D.S., Smith, J.D. 2019. Obese adults walk differently in shoes than while barefoot. *Gait Posture*, 70: 79–83.
- Danieli, A. 2015. Smo zaradi telesne aktivnosti bolj radoživi? V: Knap, B. in Horvat, M. (ur) *Gibanje je zdravje: zbornik prispevkov o pomenu telesnega gibanja za zdravje*, Zg. Kungota, 180 str.
- Datta, S., Sinha, B.K., Bhattacharjee, S., Seal, T. 2019. Nutritional composition, mineral content, antioxidant activity and quantitative estimation of water soluble vitamins and phenolics by RP-HPLC in some lesser used wild edible plants. *Heliyon*, 5(3): 01431.
- Davies, K.J., Quintanilha, A.T., Brooks, G.A., Packer, L. 1982. Free radicals and tissue damage produced by exercise. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 107(4): 1198–205.
- Davidson, J.A. in Beede, D.K. 2009. Exercise training of late-pregnant and nonpregnant dairy cows affects physical fitness and acid-base homeostasis. *J. Dairy Sci.*, 92: 548–62.
- Davis, H.A., Guller, L., Smith, G.T. 2016. Developmental trajectories of compensatory exercise and fasting behavior across the middle school years, *Appetite*, 107: 330–8.
- Debevec, T., Pialoux, V., Saugy, J., Schmitt, L., Ceuja, R., Mury, P., Ehrström, S., Faiss, R., Millet, G.P. 2015. Prooxidant/Antioxidant balance in hypoxia: a cross-over study on normobaric vs. Hypobaric “Live High-Train Low”. *PLoS ONE*, 10: 0137957.
- Debevec, T., Millet, G.P., Pialoux, V. 2017. Hypoxia-Induced Oxidative Stress Modulation with Physical Activity. *Front. Physiol.*, 8: 84.
- De Boer, M.C., Wörner, E.A., Verlaan, D., van Leeuwen, P.A.M. 2017. The Mechanisms and Effects of Physical Activity on Breast Cancer. *Clinical Breast Cancer*, 17(4) 272–8.
- De Duve, C. 1963. The lysosome, *Sci. Am.*, 208: 64–72.
- De Freitas Laiber Pascoal, G., de Almeida Sousa Cruz, M.A., Pimentel de Abreu, J., Santos, M.C.B., Bernardes Fanaro, G., Júnior, M.R.M., Freitas Silva, O., Alves Moreira, R.F., Cameron, L.C., Simões Larraz Ferreira, M., Teodoro, A.J. 2022. Evaluation of the antioxidant capacity, volatile composition and phenolic content of hybrid *Vitis vinifera* L. varieties sweet sapphire and sweet surprise. *Food Chem.*, 366: 130644.
- De Oliveira, D.C.X., Rosa, F.T., Simões-Ambrósio, L., Jordao, A.A., Deminice, R. 2019. Antioxidant vitamin supplementation prevents oxidative stress but does not enhance performance in young football athletes. *Nutrition*, 63–64: 29–35.

- De Sousa, C.V., Sales, M.M., Rosa, T.S., Lewis, J.E., de Andrade, R.V., Simões, H.G. 2017. The Antioxidant Effect of Exercise: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.*, 47(2): 277–93.
- Deliens, T., Deforche, B., De Bourdeaudhuij, I., Clarys, P. 2015. Determinants of physical activity and sedentary behaviour in university students: a qualitative study using focus group discussions. *BMC Publ. Health*, 15: 201.
- Derganc, S. in Vrankar, M. 2004. Prosti čas mladih. Salve, Ljubljana, 76 str.
- Dernovšek, M.Z., Gorenc, M., Jeriček, H. 2006. Ko te stresa stres: kako prepoznati in zdraviti stresne, anksiozne in depresivne motnje. Inštitut za varovanje zdravja Republike Slovenije, Ljubljana, 78 str.
- Dias, R.G., Silva, M.S., Duarte, N.E., Bolani, W., Alves, C.R., Junior, J.R., da Silva, J.L., de Oliveira, P.A., Alves, G.B., de Oliveira, E.M., Rocha, C.S., Marsiglia, J.D., Negrao, C.E., Krieger, E.M., Krieger, J.E., Pereira, A.C. 2015. PBMCs express a transcriptome signature predictor of oxygen uptake responsiveness to endurance exercise training in men. *Physiol. Genomics*, 47(2): 13–23.
- Dimauro, I., Paronetto, M.P., Caporossi, D. 2020. Exercise, redox homeostasis and the epigenetic landscape. *Redox Biol.*, 35: 101477.
- Dimauro, I., Grazioli, E., Lisi, V., Guidotti, F., Fantini, C., Antinozzi, C., Sgrò, P., Di Luigi, L., Capranica, L., Caporossi, D. 2021. Endurance exercise and immune function: role of redox homeostasis and inflammatory biomarkers in systemic adaptation. *Free Radic. Biol. Med.*, 165(1): 31.
- Dinis, J. in Bragança, M. 2018. Quality of sleep and depression in college students: a systematic review. *Sleep Sci.*, 11(4): 290–301.
- Direktiva 95/2/ES Evropskega parlamenta in Sveta št. 95/2/ES z dne 20. februarja 1995 o aditivih za živila razen barvil in sladil. Medmrežje: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8971be70-fba5-4436-861d-02b83f72bd98/language-sl> (15.5.2020).
- Distefano, G. in Goodpaster, B.H. 2018. Effects of Exercise and Aging on Skeletal Muscle. *Cold Spring Harb. Perspect. Med.*, 8: 029785.
- Dolenc, A., Štirn, I., Strojnik, V. 2017. Metode vadbe moči. *Sport: Revija za teoreticna in praktična vprašanja sporta*, 65(1/2), 159–64.
- Dragoescu, R.M. 2013. An overview of higher education at the European level. *Comput. Methods Soc. Sci.*, 1(2): 21–9.
- Drenowatz, C., Sui, X., Fritz, S., Lavie, C.J., Beattie, P.F., Church, T.S., Blair, S.N. 2015. The association between resistance exercise and cardiovascular disease risk in women. *J. Sci. Med. Sport*, 18(6): 632–6.
- D'Silva, J. 2006. Adverse impact of industrial animal agriculture on the health and welfare of farmed animals. *Integr. Zool.*, 1: 53–8.
- Dundar, Y. in Aslan, R. 2000. Antioxidative stress, *East J. Med.*, 5: 45–7.
- Dunstan, D.W., Howard, B., Healy, G.N., Owen, N. 2012. Too much sitting - A health hazard. *Diabetes Res. Clin. Pract.*, 97(3): 368–376.
- EC (European Commission). 2011. Uredba Komisije (EU) št. 1129/2011 o spremembi Priloge II k Uredbi (ES) št. 1333/2008 Evropskega parlamenta in Sveta z vzpostavitvijo seznama Unije aditivov za živila. Medmrežje: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:295:0001:0177:SL:PDF> (15.5.2020).
- Egan, K.M., Sosman, J.A., Blot, W.J. 2005. Sunlight and Reduced Risk of Cancer: Is The Real Story Vitamin D? *J. Natl. Cancer Inst.*, 97(3): 161–3.
- Elangovan, N., Cheung, C., Mahnan, A., Wyman, J. F., Tuite, P., Konczak, J. 2020. Hatha yoga training improves standing balance but not gait in Parkinson's disease. *Sports Medicine and Health Science*, 2(2): 80–8.
- Enkhtuya, S., Jambal, S., Davaadavga, N., Jamsranjav, A. 2019. Sleep disturbances among medical students. *J. Neurol. Sci.*, 405: 104224.
- Erman, A. in Jezernik, K. 2010. Avtofagija in njena vloga v zdravju in bolezni. *Med. Razgl.*, 49: 77–88.
- Everett, T. in Kell, C. 2010. *Human Movement*. 6.izd. Churchill Livingstone Elsevier, Edinburgh, Škotska, 288 str.

- Fabel, K., Fabel, K., Tam, B., Kaufer, D., Baiker, A., Simmons, N., Kuo, C.J., Palmer, T.D. 2003. VEGF is necessary for exercise-induced adult hippocampal neurogenesis. *Eur. J. Neurosci.*, 18: 2803–12.
- Fall, N. 2009. Health and reproduction and in organic and conventional Swedish dairy cows. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Švedska, 57 str.
- Fassoula, E., Economou, A., Calokerinos, A. 2011. Development and validation of a sequential-injection method with chemiluminescence detection for the high throughput assay of the total antioxidant capacity of wines. *Talanta*, 85: 1412–8.
- Fedorova, M., Bollineni, R.C., Hoffmann, R. 2014. Protein carbonylation as a major hallmark of oxidative damage: update of analytical strategies, *Mass Spectrom. Rev.*, 33: 79–97.
- Fiatarone Singh, M.A., Ding, W., Manfredi, T.J., Solares, G.S., O'Neill, E.F., Clements, K.M., Ryan, N.D., Kehayias, J.J., Fielding, R.A., Evans, W.J. 1999. Insulin-like growth factor I in skeletal muscle after weight-lifting exercise in frail elders. *Am. J. Physiol.*, 277(40): 135–43.
- Filaire, E., Dupuis, C., Galvaing, G., Aubreton, S., Filaire, M. 2013. Lung cancer: What are the links with oxidative stress, physical activity and nutrition. Review article. *Lung Cancer*, 82(3): 383–9.
- Filomeni, G., De Zio, D., Cecconi, F. 2015. Oxidative stress and autophagy: the clash between damage and metabolic needs, *Cell Death Differ.*, 22: 377–88.
- Finaud, J., Lac, G., Filaire, E. 2006. Oxidative stress: relationship with exercise and training. *Sports Med.*, 36: 327–58.
- Fink, J., Schoenfeld, B.J., Nakazato, K. 2018. The role of hormones in muscle hypertrophy. *Phys. Sportsmed.*, 46: 129–34.
- Fischer, R. in Maier, O. 2015. Interrelation of oxidative stress and inflammation in neurodegenerative disease: role of TNF. *Oxid. Med. Cell Longev.*, 15: 1–18.
- Fisher-Wellman, K. in Bloomer, R.J. 2009. Acute exercise and oxidative stress: a 30 year history. *Dyn. Med.*, 8(1): 1–32.
- Fisher-Wellman, K.H. in Neuffer, P.D. 2012. Linking mitochondrial bioenergetics to insulin resistance via redox biology. *Trends Endocrinol. Metab.*, 23: 142–53.
- Fleischatlas. 2021. Daten und Fakten über Tiere als Nahrungsmittel. Medmrežje: <http://www.db.zs-intern.de/uploads/1609936747-Fleischatlas2021.pdf> (2.11.2021).
- Forman, H.J., Davies, K.J.A., Ursini, F. 2014. How do nutritional antioxidants really work: Nucleophilic tone and para-hormesis versus free radical scavenging in vivo. *Free Radic. Biol. Med.*, 66: 24–35.
- Fraile-Bermúdez, A.B., Kortajarena, M., Zarrazquin, I., Maquibar, A., Yanguas, J.J., Sánchez-Fernández, C.E., Gil, J., Irazusta, A., Ruiz-Litago, F. 2015. Relationship between physical activity and markers of oxidative stress in independent community-living elderly individuals. *Exp. Gerontol.*, 70: 26–31.
- Francois, M.E., Baldi, J.C., Manning, P.J., Lucas, S.J., Hawley, J.A., Williams, M.J.A., Cotter, J.D. 2014. 'Exercise snacks' before meals: a novel strategy to improve glycaemic control in individuals with insulin resistance. *Diabetologia*. 57(7): 1437–45.
- Frei, B., Stocker, R., Ames, B.N. 1988. Antioxidant defenses and lipid peroxidation in human blood plasma. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 85: 9748–Fre52.
- Gabbianelli, R. in Malavolta, M. 2018. Epigenetics in ageing and development. *Mech. Ageing Dev.*, 174: 1–2.
- Gerber, M., Lindwall, M., Lindegård, A., Börjesson, M., Jonsdottir, I. 2013. Cardiorespiratory fitness protects against stress-related symptoms of burnout and depression. *Patient Educ. Couns.*, 9: 146–52.
- Ghrouz, A.K., Noohu, M.M., Manzar, M.D., Spence, D.W., BaHammam, A.S., Pandi-Perumal, S.R. 2019. Physical activity and sleep quality in relation to mental health among college students. *Sleep Breath.*, 23(2): 627–34.
- Giordano, S., Darley-USmar, V., Zhang, J. 2014. Autophagy as an essential cellular antioxidant pathway in neurodegenerative disease, *Redox Biol.*, 2: 82–90.
- Ginde, A.A., Mansbach, J.M., Camargo, C.A. Jr. 2009. Association between serum 25-hydroxyvitamin D level and upper respiratory tract infection in the Third National Health and Nutrition Examination Survey. *Arch. Intern. Med.*, 169(4): 384–90.

- Giustarini, D., Dalle-Donne, I., Tsikas, D., Rossi, R. 2009. Oxidative stress and human diseases: Origin, link, measurement, mechanisms, and biomarkers. *Crit. Rev. Clin. Lab. Sci.*, 46(5–6): 241–81.
- Gjevestad, G.O., Holven, K.B., Ulven, S.M. 2015. Effects of exercise on gene expression of inflammatory markers in human peripheral blood cells: a systematic review. *Curr. Cardiovasc. Risk Rep.*, 9(7): 34.
- Gleeson, M., Bishop, N.C., Stensel, D.J., Lindley, M.R., Mastana, S.S., Nimmo, M.A. 2011. The anti-inflammatory effects of exercise: mechanisms and implications for the prevention and treatment of disease. *Nat. Rev. Immunol.*, 11(9): 607–15.
- Gomes, M.J., Martinez, P.F., Pagan, L.U., Damatto, R.L., Cezar, M.D.M., Lima, A.R.R., Okoshi, K., Okoshi, M.P. 2017. Skeletal muscle aging: influence of oxidative stress and physical exercise. *Oncotarget*, 8(12): 20428–40.
- Gomez-Cabrera, M.C., Borrás, C., Pallardo, F.V., Sastre, J., Ji, L.L., Vina, J. 2005. Decreasing xanthine oxidase-mediated oxidative stress prevents useful cellular adaptations to exercise in rats. *J. Physiol.*, 567: 113–20.
- Gomez-Cabrera, M.C., Martinez, A., Santangelo, G., Pallardo, F.V., Sastre, J., Vina, J. 2006a. Oxidative stress in marathon runners: interest of antioxidant supplementation. *Br. J. Nutr.*, 96(1): 31–3.
- Gomez-Cabrera, M.C., Domenech, E., Ji, L.L., Vina, J. 2006b. Exercise as an antioxidant: it up-regulates important enzymes for cell adaptations to exercise. *Sci. Sports*, 21: 85–9.
- Gomez-Cabrera, M.C., Domenech, E., Romagnoli, M., Arduini, A., Borrás, C., Pallardo, F.V., Sastre, J., Viña, J. 2008. Oral administration of vitamin C decreases muscle mitochondrial biogenesis and hampers training-induced adaptations in endurance performance. *Am. J. Clin. Nutr.*, 87(1): 142–9.
- Gomez-Cabrera, M.C., Salvador-Pascual, A., Cabo, H., Ferrando, B., Viña, J. 2015. Redox modulation of mitochondriogenesis in exercise. Does antioxidant supplementation blunt the benefits of exercise training? *Free Radic. Biol. Med.*, 86: 37–46.
- González-Gross, M. in Cañada, D. 2015. Actividad física: Un pilar indispensable de un estilo de vida saludable. *Mediterráneo Económico*, 27: 199–221.
- Gordon, B., Chen, S., Durstine, J.L. 2014. The effects of exercise training on the traditional lipid profile and beyond. *Curr. Sports Med. Rep.*, 13(4): 253–9.
- Goto, S. in Radak, Z. 2005. Proteins and exercise. V: Mooren, F.C. in Volker, K. (ur.), *Molecular and Cellular Exercise Physiology, Human Kinetics*. Champaign, ZDA, 55–71.
- Goto, C., Higashi, Y., Kimura, M., Noma, K., Hara, K., Nakagawa, K., Kawamura, M., Chayama, K., Yoshizumi, M., Nara, I. 2003. Effect of different intensities of exercise on endothelium-dependent vasodilation in humans: role of endothelium-dependent nitric oxide and oxidative stress. *Circulation*, 108: 530–5.
- GOV. 2021. Medmrežje: <https://www.gov.si/teme/zascita-rejnih-zivali/> (29.10.2021)
- Grad, A. in Baruca, M. 2015. Telesna vadba in živčevje. V: Knap, B. in Horvat, M. (ur) *Gibanje je zdravje: zbornik prispevkov o pomenu telesnega gibanja za zdravje*, Zg. Kungota, 180 str.
- Grazioli, E., Dimauro, I., Mercatelli, N., Wang, G., Pitsiladis, Y., Di Luigi, L., Caporossi, D. 2017. Physical activity in the prevention of human diseases: role of epigenetic modifications. *BMC Genom.*, 18(8): 802.
- Gregorc, J. 2014. The influence of climbing skills program on physical efficiency during preschool period. Vpliv organiziranega tečaja plezanja na gibalno učinkovitost v predšolskem obdobju. V: Pišot, R. (ur.), s sod., *Kineziologija-pot zdravja: zbornik prispevkov*, Univerza na Primorskem, Univerzitetna založba Annales, 108–114.
- Gržan, K. 2019. 95 tez za izhod iz slepe ulice vzgoje in izobraževanja. Sanje, Ljubljana, 160 str.
- Gucciardi, D.F., Law, K.H., Guerrero, M.D., Quested, E., Thøgersen-Ntoumani, C., Ntoumanis, N., Jackson, B. 2020. Longitudinal relations between psychological distress and moderate-to-vigorous physical activity: A latent change score approach. *Psychol. Sport Exerc.*, 47: 101490.
- Gustafson, G.M. 1993. Effects of daily exercise on the health of tied dairy cows. *Prev. Vet. Med.*, 17: 209–23.
- Guthold, R., Stevens, G.A., Riley, L.M., Bull, F.C. 2018. Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016: a pooled analysis of 358 population-based surveys with 1.9 million participants. *Lancet Glob. Health*, 6(10): 1077–86.

- Gutteridge, J.M. 1999. Does redox regulation of cell function explain why antioxidants perform so poorly as therapeutic agents? *Redox Rep.*, 4(3): 129–31.
- Guyton, A.C. in Hall, J.E. 2000. Regulation of Acid-Base Balance. V: Hall, J.E., *Textbook of Medical Physiology*. 10. izd., Elsevier Health Sciences, London, Združeno Kraljestvo, 346–63.
- Haase, A., Steptoe, A., Sallis, J.F., Wardle, J. 2004. Leisure-time physical activity in university students from 23 countries: associations with health beliefs, risk awareness, and national economic development. *Prev. Med.*, 39(1): 182–90.
- Halliwell, B. 1994. Free radicals, antioxidants, and human disease: curiosity, cause, or consequence? *Lancet*, 344: 721–4.
- Halliwell, B. 2011. Free radicals and antioxidants - quo vadis? *Trends Pharmacol. Sci.*, 32: 125–30.
- Halliwell, B. in Gutteridge, J. 2007. *Free radicals in biology and medicine*. Oxford Press, Oxford, 936 str.
- Halliwell, B. in Whiteman, M. 2004. Measuring reactive species and oxidative damage in vivo and in cell culture: how should you do it and what do the results mean? *Br. J. Pharmacol.*, 142(2): 231–55.
- Hamilton, M.L., Van, R.H., Drake, J.A., Yang, H., Guo, Z.M., Kewitt, K., Walter, C.A., Richardson, A. 2001. Does oxidative damage to DNA increase with age? *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 98: 10469–74.
- Han, D., Loukianoff, S., McLaughlin, L. 2000. Oxidative stress indices: analytical aspects and significance. V: Sen, C.K., Packer, L., Hanninen, O. (ur.), *Handbook of oxidants and antioxidants in exercise*. Elsevier, Amsterdam, 433–83.
- Handschin, C. in Spiegelman, B.M. 2008. The role of exercise and PGC1 α in inflammation and chronic disease. *Nature*, 454: 463–9.
- Handschin, C., Chin, S., Li, P., Liu, F., Maratos-Flier, E., Lebrasseur, N.K., Yan, Z., Spiegelman, B.M. 2007. Skeletal muscle fiber-type switching, exercise intolerance, and myopathy in PGC-1 α musclespecific knock-out animals. *J. Biol. Chem.* 282: 30014–21.
- Hart, N., Sarga, L., Csende, Z., Koltai, E., Koch, L.G., Britton, S.L., Davies, K.J., Kouretas, D., Wessner, B., Radak, Z. 2013. Resveratrol enhances exercise training responses in rats selectively bred for high running performance. *Food Chem. Toxicol.*, 61: 5359.
- Hashida, R., Kawaguchi, T., Bekki, M., Omoto, M., Matsuse, H., Nago, T., Takano, Y., Ueno, T., Koga, H., George, J., Shiba, N., Torimura, T. 2017. Aerobic vs. resistance exercise in non-alcoholic fatty liver disease: A systematic review. *J. Hepatol.*, 66(1): 142–52.
- Hayes, M., Chustek, M., Heshka, S., Wang, Z., Pietrobelli, A., Heymsfield, S.B. 2005. Low physical activity levels of modern Homo sapiens among free-ranging mammals. *Int. J. Obes. (Lond.)*, 29(1): 151–6.
- Hawke, T.J. in Garry, D.J. 2001. Myogenic satellite cells: physiology to molecular biology. *J. Appl. Physiol.*, 91: 534–51.
- Hawley, J.A. in Lessard, S.J. 2008. Exercise training-induced improvements in insulin action. *Acta Physiol.*, 192: 127–35.
- Heath, G.W., Macera, C.A., Nieman, D.C. 1992. Exercise and upper respiratory tract infections. Is there a relationship? *Sport Med.*, 14: 353–65.
- He, F., Li, J., Liu, Z., Chuang, C.C., Yang, W., Zuo, L. 2016. Redox Mechanism of Reactive Oxygen Species in Exercise. *Front. Physiol.*, 7: 486.
- Heng, M.Y., Katayama, S., Mitani, T., Ong, E.S., Nakamura, S. 2017. Solventless extraction methods for immature fruits: Evaluation of their antioxidant and cytoprotective activities. *Food Chem.*, 221: 1388–93.
- Hercberg, S., Ezzedine, K., Guinot, C., Preziosi, P., Galan, P., Bertrais, S., Estaquio, C., Briancon, S., Favier, A., Latreille, J., Malvy, D. 2007. Antioxidant supplementation increases the risk of skin cancers in women but not in men. *J. Nutr.*, 137(9): 2098–105.
- Hernandez, R.J. in Kravitz, L. 2003. The mystery of skeletal muscle hypertrophy. *ACSMs Health Fit. J.*, 7(2): 18–22.
- Herzig, K.H., Ahola, R., Leppäluoto, J., Jokelainen, J., Jämsä, T., Keinänen-Kiukaanniemi, S. 2014. Light physical activity determined by a motion sensor decreases insulin resistance, improves

- lipid homeostasis and reduces visceral fat in high-risk subjects: PreDiabEx study RCT. *Int. J. Obes.*, 38(8): 1089–96.
- Hewison, M. 2010. Vitamin D and the immune system: new perspectives on an old theme. *Endocrinol. Metab. Clin. North. Am.*, 39(2): 365–79.
- Hilger-Kolb, J., Loerbroks, A., Diehl, K. 2020. 'When I have time pressure, sport is the first thing that is cancelled': a mixed-methods study on barriers to physical activity among university students in Germany. *J. Sports Sci.*, 38(21): 2479–88.
- Hipler, B. in Knight, J. 2022. Luminescent Abel® antioxidant test-kit with Pholasin® for vitamin C type antioxidants. Medmrežje: https://www.bmglabtech.com/fileadmin/06_Support/Download_Documents/App_Notes/AN108.pdf (21.1.2022).
- Hof, W. 2019. Wim Hof method. Medmrežje: <https://www.wimhofmethod.com/practice-the-method> (8.5.2019).
- Horvat, M. 2015. Telesna vadba in srce. V: Knap, B. in Horvat, M. (ur) Gibanje je zdravje: zbornik prispevkov o pomenu telesnega gibanja za zdravje, Zg. Kungota, 180 str.
- Hotamisligil, G.S. 2006. Inflammation and metabolic disorders. *Nature*, 444(7121): 860–7.
- Hoyos-Arbelaez, J., Vazquez, M., Contreras-Calderon, J. 2017. Electrochemical methods as a tool for determining the antioxidant capacity of food and beverages: A review. *Food Chem.*, 221: 1371–81.
- Huang, L., Zhou, L., Meng, L., Wu, D., He, Y. 2017. Comparison of different CCD detectors and chemometrics for predicting total anthocyanin content and antioxidant activity of mulberry fruit using visible and near infrared hyperspectral imaging technique. *Food Chem.*, 224: 1–10.
- Ihan, A. in Simonič Vidrih, M. 2005. Stres na delovnem mestu in spoprijemanje z njim: kaj lahko naredim, da živim v sožitju s stresom? *Arx*, Ljubljana, 99 str.
- Im, S., Nam, T.G., Lee, S.G., Kim, Y.J., Chun, O.K., Kim, D.O. 2014. Additive antioxidant capacity of vitamin C and tocopherols in combination. *Food Sci. Biotechnol.*, 23: 693–9.
- Irwin, J.D. 2004. Prevalence of university students' sufficient physical activity: a systematic review. *Percept. Mot. Skills*, 98(3): 927–43.
- Izquierdo, M., Häkkinen, K., Antón, A., Garrues, M., Ibañez, J., Ruesta, M., Gorostiaga, E.M. 2001. Maximal strength and power, endurance performance, and serum hormones in middle-aged and elderly men. *Med. Sci. Sport. Exer.*, 33(9): 1577–87.
- Jablonka, E. in Lamb, M.J. 2009. Štiri razsežnosti evolucije: genetska, epigenetska, vedenjska in simbolna raznolikost v zgodovini življenja. *Zavod RS za šolstvo*, Ljubljana, 443 str.
- Jackson, M.J. 2005. Reactive oxygen species and redox-regulation of skeletal muscle adaptations to exercise. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 360: 2285–91.
- Jackson, M.J. 2011. Control of reactive oxygen species production in contracting skeletal muscle. *Antioxidants Redox Signal.*, 15(9): 2477–86.
- Jenner, P. 2003. Oxidative stress in Parkinson's disease. *Ann. Neurol.*, 53(3): 26–36.
- Jennings, B.H. in Akoh, C.C. 2009. Effectiveness of natural versus synthetic antioxidants in a rice bran oil-based structured lipid. *Food Chem.*, 114(4): 1456–61.
- Jeriček, H. 2010. Ko učenca strese stres in kaj lahko pri tem stori učitelj: priročnik za učitelje in svetovalne delavce. *Inštitut za varovanje zdravja Republike Slovenije*, Ljubljana, 45 str.
- Ji, L.L. 1999. Antioxidants and Oxidative Stress in Exercise. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 283–92.
- Ji, L.L., Gomez-Cabrera, M.C., Vina, J. 2006. Exercise and hormesis: activation of cellular antioxidant signaling pathway. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1067: 425–35.
- Jiao, Y., Kilmartin, P.A., Fan, M., Quek, S.Y. 2018. Assessment of phenolic contributors to antioxidant activity of new kiwifruit cultivars using cyclic voltammetry combined with HPLC. *Food Chem.*, 268: 77–85.
- Jo, E., Bartosh, R., Auslander, A.T., Directo, D., Osmond, A., Wong, M.W.H. 2019. Post-Exercise Recovery Following 30-Day Supplementation of Trans-Resveratrol and Polyphenol-Enriched Extracts. *Sports (Basel)*, 7(10): 226.
- Joseph, A.M., Adhietty, P.J., Buford, T.W., Wohlgemuth, S.E., Lees, H.A., Nguyen, L.M., Aranda, J.M., Sandesara, B.D., Pahor, M., Manini, T.M., Marzetti, E., Leeuwenburgh, C. 2012. The

- impact of aging on mitochondrial function and biogenesis pathways in skeletal muscle of sedentary high- and low-functioning elderly individuals. *Aging Cell*, 11(5): 801–9.
- Juel, C. 2008. Regulation of pH in human skeletal muscle: adaptations to physical activity. *Acta Physiol.*, 193(1): 17–24.
- Juel, C., Bangsbo, J., Graham, T., Saltin, B. 1990. Lactate and potassium fluxes from human skeletal muscle during and after intense, dynamic, knee-extensor exercise. *Acta Physiol. Scand.*, 140: 147–59.
- Kan, N.W., Lee, M.C., Tung, Y.T., Chiu, C.C., Huang, C.C., Huang, W.C. 2018. The Synergistic Effects of Resveratrol combined with Resistant Training on Exercise Performance and Physiological Adaption. *Nutrients*, 10(10): 1360.
- Kaneita, Y., Yokoyama, E., Harano, S., Tamaki, T., Suzuki, H., Munezawa, T., Nakajima, H., Asai, T., Ohida, T. 2009. Associations between sleep disturbance and mental health status: A longitudinal study of Japanese junior high school students. *Sleep Med.*, 10(7): 780–6.
- Keating, X.D., Guan, J., Pinero, J.C., Bridges, D.M. 2005. A meta-analysis of college students' physical activity behaviors. *J. Am. Coll. Health*, 54(2): 116–26.
- Kennedy, G., Hardman, R.J., Macpherson, H., Scholey, A.B., Pipingas, A. 2017. How does exercise reduce the rate of age-associated cognitive Decline? A review of potential mechanisms. *J. Alzheimers Dis.*, 55: 1–18.
- Khade, Y., Behera, S., Korradi, S. 2018. Study of insomnia, day time sleepiness and sleep quality among south Indian nurses. *J. Clin. Diagnostic Res.*, 12(4): 9–12.
- Kholodov, Z.K. in Kuznetsov, V.S. 2001. Teoriya i metodika fizicheskogo vospitaniya i sporta. Theory and methods of physical education and sports. Akademiya publ., Moskva, Rusija, 480 str.
- Kim, D.O., Lee, K.W., Lee, H.J., Lee, C.Y. 2002. Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals. *J. Agr. Food Chem.*, 50: 3713–7.
- Klakočar, T., Zorman, T., Žvikart, M. 2019. Osnove gibanja in športne aktivnosti. Višja strokovna šola za gostinstvo in turizem Maribor, Maribor, 179 str.
- Klein, E.A., Thompson Jr., I.M., Tangen, C.M., Crowley, J.J., Lucia, M.S., Goodman, P.J., Minasian, L.M., Ford, L.G., Parnes, H.L., Gaziano, J.M., Karp, D.D., Lieber, M.M., Walther, P.J., Klotz, L., Parsons, J.K., Chin, J.L., Darke, A.K., Lippman, S.M., Goodman, G.E., Meyskens, F.L. Jr, Baker, L.H. 2011. Vitamin E and the risk of prostate cancer: the selenium and vitamin E cancer prevention trial (SELECT). *JAMA*, 306(14): 1549–56.
- Kline, C. 2013. Sleep quality. V: Gellman, M.D. in Turner, J.R. (ur.), *Encyclopedia of behavioral medicine*, Springer, New York, ZDA, 1811–13.
- Knap, B. 2015. Zakaj moramo teči? V: Knap, B. in Horvat, M. (ur.), *Gibanje je zdravje: zbornik prispevkov o pomenu telesnega gibanja za zdravje*, Zg. Kungota, 180 str.
- Knap, B. in Horvat, M. (ur.). 2015. *Gibanje je zdravje: zbornik prispevkov o pomenu telesnega gibanja za zdravje*, Zg. Kungota, 180 str.
- Kock, M.D., Clark, R.K., Franti, C.E., Jessup, D.A., Wehausen, J.D. 1987. Effects of capture on biological parameters in free-ranging bighorn sheep (*Ovis canadensis*): evaluation of normal, stressed and mortality outcomes and documentation of postcapture survival. *J. Wildl. Dis.*, 23(4): 652–62.
- Kolacz, R. 2006. Dobrostan zwierząt a postęp genetyczny (Animal welfare and the genetic progress). *Przegląd Hodowlany*, 9: 8–11.
- Koplan, J.P., Liverman, C.T., Kraak, V.I. 2005. Preventing Childhood Obesity: Health in the Balance. Institute of Medicine, Washington, ZDA, 414 str.
- Korsager Larsen, M. in Matchkov, V.V. 2016. Hypertension and physical exercise: The role of oxidative stress. *Medicina*, 52(1): 19–27.
- Kotikova, Z., Lachman, J., Hejtmanikova, A., Hejtmanikova, K. 2011. Determination of antioxidant activity and antioxidant content in tomato varieties and evaluation of mutual interactions between antioxidants. *LWT- Food Sci. Technol.*, 44: 1703–10.
- Kovacevic, A., Mavros, Y., Heisz, J.J., Fiatarone Singh, M.A. 2017. The effect of resistance exercise on sleep: A systematic review of randomized controlled trials. *Sleep Med. Rev.*, v natisu.

- Kovač, J., Kovač, P., Javornik Krečič, M. 2013. Supervizija, stres in poklicna izgorelost šolskih svetovalnih delavcev. Mednarodna založba Oddelka za slovanske jezike in književnosti, Univerza v Mariboru, Filozofska fakulteta, Maribor, 182 str.
- Kraemer, W.J., Fleck, S.J., Evans, W.J. 1996. Strength and power training: physiological mechanisms of adaptation. *Exerc. Sport Sci. Rev.*, 24: 363–97.
- Kruk, J., Aboul-Encin, H.Y., Kladna, A., Bowser, J.E. 2019. Oxidative stress in biological systems and its relation with pathophysiological functions: the effect of physical activity on cellular redox homeostasis. *Free Radic. Res.*, 53(5): 497–521.
- Krystal, A.D. in Edinger, J.D. 2008. Measuring sleep quality. *Sleep Med.*, 9(1): 10–7.
- LaCaille, L.J., Dauner, K.N., Krambeer, R.J., Pedersen, J. 2011. Psychosocial and environmental determinants of eating behaviors, physical activity, and weight change among college students: a qualitative analysis. *J. Am. Coll. Health*, 59(6): 531–8.
- Layne, A.S., Krehbiel, L.M., Mankowski, R.T., Anton, S.D., Leeuwenburgh, C., Pahor, M., Sandesara, B., Wu, S.S., Buford, T.W. 2017. Resveratrol and exercise to treat functional limitations in late life: Design of a randomized controlled trial. *Contemp. Clin. Trials Commun.*, 6: 58–63.
- Lawenda, B.D., Kelly, K.M., Ladas, E.J., Sagar, S.M., Vickers, A., Blumberg, J.B. 2008. Should supplemental antioxidant administration be avoided during chemotherapy and radiation therapy? *J. Natl. Cancer Inst.*, 100(11): 773–83.
- Lazarus, R.S. 1999. *Stress and Emotion: A New Synthesis*. Springer Publishing, New York, ZDA, 340 str.
- LeBouthillier, D.B. in Asmundson, G.J.G. 2017. The efficacy of aerobic exercise and resistance training as transdiagnostic interventions for anxiety-related disorders and constructs: A randomized controlled trial. *J. Anxiety Disord.*, 52: 43–52.
- Lee, D.H. in Jacobs, D.R. 2015. Hormesis and public health: can glutathione depletion and mitochondrial dysfunction due to very low-dose chronic exposure to persistent organic pollutants be mitigated? *J. Epidemiol. Community Health*, 69: 294–300.
- Lehmann, M., Huonker, M., Dimeo, F., Heinz, N., Gastmann, U., Treis, N., Steinacker, J.M., Keul, J., Kajewski, R., Haussinger, D. 1995. Serum amino acid concentrations in nine athletes before and after the 1993 Colmar ultra triathlon. *Int. J. Sport Med.*, 16: 155–9.
- Lessiani, G., Santilli, F., Boccatonda, A., Iodice, P., Liani, R., Tripaldi, R., Saggini, R., Dav, G. 2016. Arterial stiffness and sedentary lifestyle: Role of oxidative stress. *Vascul. Pharmacol.*, 79: 1–5.
- Levinger, I., Jerums, G., Stepto, N.K., Parker, L., Serpiello, F.R., Mcconell, G.K., Anderson, M., Hare, D.L., Byrnes, E., Ebeling, P.R., Seeman, E. 2014. The effect of acute exercise on undercarboxylated osteocalcin and insulin sensitivity in obese men. *J. Bone Miner. Res.*, 29: 2571–6.
- Li, G. in He, H. 2009. Hormesis, allostatic buffering capacity and physiological mechanism of physical activity: A new theoretic framework. *Med. Hypotheses*, 72(5): 527–32.
- Li, J., Zhang, C.-X., Liu, Y.-M., Chen, K.-L., Chen, G. 2017. A comparative study of anti-aging properties and mechanism: resveratrol and caloric restriction. *Oncotarget*, 8(39): 65717–29.
- Li, L., Wang, Y.Y., Wang, S.B., Zhang, L., Li, L., Xu, D.D., Ng, C.H., Ungvari, G.S., Cui, X., Liu, Z.M., De Li, S., Jia, F.J., Xiang, Y.T. 2018. Prevalence of sleep disturbances in Chinese university students: A comprehensive meta-analysis. *J. Sleep Res.*, 27(3): 12648.
- Liang, H. in Ward, W.F. 2006. PGC-1 α : a key regulator of energy metabolism. *Adv. Physiol. Educ.*, 30(4): 145–51.
- Lin, J., Wu, H., Tarr, P.T., Zhang, C.Y., Wu, Z., Boss, O., Michael, L.F., Puigserver, P., Isotani, E., Olson, E.N., Lowell, B.B., Bassel-Duby, R., Spiegelman, B.M. 2002. Transcriptional co-activator PGC-1 α drives the formation of slow-twitch muscle fibres. *Nature*, 418: 797–801.
- Lira, V.A., Brown, D.L., Lira, A.K., Kavazis, A.N., Soltow, Q.A., Zeanah, E.H., Criswell, D.S. 2010. Nitric oxide and AMPK cooperatively regulate PGC-1 in skeletal muscle cells. *J. Physiol.*, 15(588): 3551–66.
- Liu, J.H., Alderman, B.L., Song, T.F., Chen, F.T., Hung, T.M., Chang, Y.K. 2018. A randomized controlled trial of coordination exercise on cognitive function in obese adolescents. *Psychology of Sport and Exercise*, 34: 29–38.

- Liu, Q., Gao, Y., Ci, X. 2019. Role of Nrf2 and Its Activators in Respiratory Diseases. *Oxid. Med. Cell. Longev.*, 7090534.
- Liubaerjijin, Y., Terada, T., Fletcher, K., Boule, N.G. 2016. Effect of aerobic exercise intensity on glycemic control in type 2 diabetes: a meta-analysis of head-to-head randomized trials. *Acta Diabetol.* 53: 769–81.
- Lubkowska, A., Dolegowska, B., Szygula, Z., Bryczkowska, I., Stanczyk-Dunaj, M., Salata, D., Budkowska, M. 2013. Winter-swimming as a building-up body resistance factor inducing adaptive changes in the oxidant/antioxidant status, *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, 73: 315–25.
- Lunau, K. 2013. The downsides of human evolution, American Association for the Advancement of Science meeting, <http://www.macleans.ca/society/science/back-pain-fallen-arches-a-look-at-the-downsides-of-human-evolution/> (23.1.2018).
- Lund, H.G., Reider, B.D., Whiting, A.B., Prichard, J.R. 2010. Sleep patterns and predictors of disturbed sleep in a large population of college students. *J. Adolesc. Health*, 46(2): 124–32.
- Macpherson, H., Pipingas, A., Pase, M.P. 2013. Multivitamin-multimineral supplementation and mortality: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Am. J. Clin. Nutr.*, 97(2): 437–44.
- Maier, G.S., Horas, K., Seeger, J.B., Roth, K.E., Kurth, A.A., Maus, U. 2014. Is there an association between periprosthetic joint infection and low vitamin D levels? *Int. Orthop.*, 38(7): 1499–504.
- Maier, G.S., Kurth, A.A., Horas, K., Kolbow, K., Seeger, J.B., Roth, K.E., Lazovic, D., Maus, U. 2017. Vitamin D and the elderly orthopedic patient. V: Watson, R.R. (ur.) *Nutrition and functional foods for healthy aging*. Academic Press, London, Združeno kraljestvo, 367 str.
- Maïmoun, L. in Sultan, C. 2009. Effect of physical activity on calcium homeostasis and calciotropic hormones: a review. *Calcif. Tissue Int.*, 85(4): 277–86.
- Mankowski, R.T., Anton, S.D., Buford, T.W., Leeuwenburgh, C. 2015. Dietary Antioxidants as Modifiers of Physiologic Adaptations to Exercise, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 47(9): 1857–68.
- Manoogian, E.N.C. in Panda, S. 2017. Circadian rhythms, time-restricted feeding, and healthy aging. *Ageing Res. Rev.*, 39: 59–67.
- Mareček, V., Mikyška, A., Hampel, D., Čejka, P., Neuwirthova, J., Malachova, A., Cerkal, R. 2017. ABTS and DPPH methods as a tool for studying antioxidant capacity of spring barley and malt. *J. Cereal Sci.*, 73: 40–5.
- Maritim, A.C., Sanders, R.A., Watkins, J.B. 3rd. 2003. Diabetes, oxidative stress, and antioxidants: a review. *J. Biochem. Mol. Toxicol.*, 17(1): 24–38.
- Marta, O.F.D., Kuo, S.Y., Bloomfield, J., Lee, H.C., Ruhyandudin, F., Poynor, M.Y., Brahmadi, A., Pratiwi, I.D., Aini, N., Mashfufa, E.W., Hasan, F., Chiu, H.Y. 2020. Gender differences in the relationships between sleep disturbances and academic performance among nursing students: A cross-sectional study(Article). *Nurse Educ. Today*, 85: 104270.
- Maslach, C. in Leiter, M.P. 1997. The truth about burnout. Jossey Bass, San Francisco, Kalifornija, ZDA, 200 str.
- Mason, S.A., Trewin, A.J., Parker, L., Wadley, G.D. 2020. Antioxidant supplements and endurance exercise: Current evidence and mechanistic insights. *Redox Biol.*, 35: 101471.
- Mathis, D. in Shoelson, S.E. 2011. Immunometabolism: an emerging frontier. *Nat. Rev. Immunol.*, 11(2): 81–3.
- Matthews, G. 2016. *Distress. V: Stress: concepts, cognition, emotion and behavior*. Fink, G. ur. Academic Press, London, Združeno kraljestvo, 219–25.
- Mattson, M.P. 2005. Energy intake, meal frequency, and health: a neurobiological perspective. *Annu. Rev. Nutr.*, 25: 237–60.
- Mattson, M.P. in Magnus, T. 2006. Ageing and neuronal vulnerability. *Nat. Rev. Neurosci.*, 7: 278–94.
- Mattson, M.P. 2008. Hormesis defined. *Ageing Res. Rev.*, 7: 1–7.
- Mattson, M.P. in Wan, R. 2005. Beneficial effects of intermittent fasting and caloric restriction on the cardiovascular and cerebrovascular systems. *J. Nutr. Biochem.*, 16: 129–37.
- Maxwell, S.R., Dietrich, T., Chapple, L.L.C. 2006. Prediction of serum total antioxidant activity from the concentration of individual serum antioxidants. *Clin. Chim. Acta.* 372(1–2): 188–94.
- McAllister, R.M. in Laughlin, M.H. 2006. Vascular nitric oxide: effects of physical activity, importance for health. *Essays Biochem.*, 42: 119–31.

- McKeegan, K., Mason, S.A., Trewin, A.J., Keske, M.A., Wadley, G.D., Della Gatta, P.A., Nikolaidis, M.G., Parker, L. 2021. Reactive oxygen species in exercise and insulin resistance: Working towards personalized antioxidant treatment. *Redox Biol.*, 44: 102005.
- McLeod, M., Breen, L., Hamilton, D.L., Philp, A. 2016. Live strong and prosper: the importance of skeletal muscle strength for healthy ageing. *Biogerontology*, 17: 497–510.
- Meeran, S.M., Ahmed, A., Tollefsbol, T.O. 2010. Epigenetic targets of bioactive dietary components for cancer prevention and therapy. *Clin. Epigenet.*, 1(3–4): 101–16.
- Memon, A.R., Gupta, C.C., Crowther, M.E., Ferguson, S.A., Tuckwell, G.A., Vincent, G.E. 2021. Sleep and physical activity in university students: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Med. Rev.*, 58: 101482.
- Menetrey, J., Kasemkijwattana, C., Day, C.S., Bosch, P., Vogt, M., Fu, F.H., Moreland, M.S., Huard, J. 2000. Growth factors improve muscle healing in vivo. *J. Bone Joint Surg.*, 82: 131–7.
- Menzies, K.J., Singh, K., Saleem, A., Hood, D.A. 2013. Sirtuin 1-mediated effects of exercise and resveratrol on mitochondrial biogenesis. *J. Biol. Chem.*, 288(10): 6968–79.
- Miller, E.R., Pastor-Barriuso, R., Dalal, D., Riemersma, R.A., Appel, L.J., Guallar, E. 2005. Meta-analysis: high-dosage vitamin E supplementation may increase all-cause mortality. *Ann. Intern. Med.*, 142(1): 37–46.
- Milošević Berlič, T. in Dovč, P. 2004. Transkripcijsko uravnavanje adipogeneze in vloga koaktivatorja PGC-1 α . *Acta Agric. Slov.*, 84(2): 97107.
- Mitić, M.N., Obradović, M.V., Grahovac, Z.B., Pavlović, A.N. 2010. Antioxidant Capacities and Phenolic Levels of Different Varieties of Serbian White Wines, *Molecules*, 15: 2016–27.
- Morales-Alamo, D. in Calbet, J.A.L. 2016. AMPK signaling in skeletal muscle during exercise: role of reactive oxygen and nitrogen species. *Free Radic. Biol. Med.*, 98: 68–77.
- Morris, M. 1937. *Basic Physical Training*. William Heinemann, London, Združeno kraljestvo, 273 str.
- Morrison, D., Hughes, J., Della Gatta, P.A., Mason, S., Lamon, S., Russell, A.P., Wadley, G.D. 2015. Vitamin C and E supplementation prevents some of the cellular adaptations to endurance-training in humans. *Free Radic. Biol. Med.*, 89: 852–62.
- Morseth, B., Jørgensen, L., Emaus, N., Jacobsen, B.K., Wilsgaard, T. 2011. Tracking of leisure time physical activity during 28 yr in adults: the Tromsø study. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 43(7): 1229–34.
- Moslehi, E., Moslehi, Z., Khalvati, B. 2019. Playing in form of outdoor aerobic exercise is more effective than indoor treadmill exercise on serum Orexin-A and weight loss in obese adolescent boys. *Obes. Med.*, 15: 100104.
- Moyer, M.W. 2013. The myth of antioxidants. *Sci. Am.*, 308: 62–7.
- Mravljak, J. 2015. Radikali in oksidativni stres. *Farmaceutski vestnik*, 66(2): 127–32.
- Mravljak, J. 2010. Antioksidanti. *Medmrežje*: https://www.ffa.uni-lj.si/fileadmin/datoteka/FK/Gradiva_FK/2010/Predavanja/FK3/Antioksidanti_JM_23112010.pdf (21.1.2022).
- Mursu, J., Robien, K., Harnack, L.J., Park, K., Jacobs, D.R.Jr. 2011. Dietary supplements and mortality rate in older women: the Iowa women's health study. *Arch. Intern. Med.*, 171(18): 1625–33.
- Mustafa, A. M., Angeloni, S., Aboulenein, D., Acquaticci, L., Xiao, J., Sagratini, G., Maggi, F., Vittori, S., Caprioli, G. 2022. A new HPLC-MS/MS method for the simultaneous determination of 36 polyphenols in blueberry, strawberry and their commercial products and determination of antioxidant activity. *Food Chem.*, 367: 130743.
- Muzik, O., Reilly, K.T., Diwadkar, V.A. 2018. "Brain over body"-A study on the willful regulation of autonomic function during cold exposure. *Neuroimage*, 172: 632–41.
- Myung, S.K., Kim, Y., Ju, W., Choi, H.J., Bae, W.K. 2010. Effects of antioxidant supplements on cancer prevention: meta-analysis of randomized controlled trials. *Ann. Oncol.*, 21(1): 166–79.
- Nair, U. in Klionsky, D.J. 2011. Activation of autophagy is required for muscle homeostasis during physical exercise. *Autophagy*, 7(12): 1405–6.
- Naisbitt, C. in Davies, S. 2017. Starvation, exercise and the stress response. *Anaesthesia and intensive care medicine*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.mpaic.2017.06.020> (6.12.2017).

- Nelson, D.L. in Simmons, B. 2011. Savoring Eustress While Coping with Distress: A Holistic Model of Stress. V: Handbook of Occupational Health, Quick, J.C in Tetrick, L.E (ur.), American Psychological Association, Washington DC, ZDA, 55–74.
- Neseliler, S., Tannenbaum, B., Zacchia, M., Larcher, K., Coulter, K., Lamarche, M., Marliss, E.B., Pruessner, J., Dagher, A. 2017. Academic stress and personality interact to increase the neural response to high-calorie food cues. *Appetite*, 116: 306–14.
- Ng, M., Fleming, T., Robinson, M., Thomson, B., Graetz, N., Margono, C., in sod. 2014. Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980–2013: a systematic analysis for the global burden of disease study 2013. *Lancet*, 384: 766–81.
- Nibir, Y.M., Sumit, A.F., Akhand, A.A., Ahsan, N. 2017. Comparative assesment of total polyphenols, antioxidant and antimicrobial activity of different tea varieties of Bangladesh. *Asian Pac. J. Trop. Biomed.*, 1–6.
- Niero, G., Penasa, M., Curro, S., Masi, A., Trentin, A.R., Cassandro, M., De Marchi, M. 2017. Development and validation of a near infrared spectrophotometric method to determine total antioxidant activity of milk. *Food Chem.*, 220: 371–6.
- NIJZ. Nacionalni inštitut za javno zdravje. 2018. Medmrežje: <http://www.nijz.si/sl/podrocja-dela/moj-zivljenjski-slog/telesna-dejavnost> (13.2.2018).
- NIJZ. 2017. Prehranska piramida. Medmrežje: <https://www.zdravstvena.info/preventiva/o-vitaminih-in-mineralih-vitamin-in-minerali-kaj-so-vitamini-kaj-so-minerali.html/nova-prehranska-piramida> (13.2.2018).
- NIJZ. 2012. Medmrežje: http://www.cindi-slovenija.net/images/stories/cindi/trgovina/Trendi%20CINDI_2012.pdf (4.3.2018).
- NIJZ. Nacionalni inštitut za javno zdravje. 2009. Medmrežje: http://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/publikacije-datoteke/telesno_dejavni_vsak_dan.pdf (4.3.2018).
- Niki, E. 2016. Oxidative stress and antioxidants: Distress or eustress? *Arch. Biochem. Biophys.*, 595: 19–24.
- Nocella, C., Cammisotto, V., Pigozzi, F., Borriore, P., Fossati, C., D'Amico, A., Cangemi, R., Peruzzi, M., Gobbi, G., Ettorre, E., Frati, G., Cavarretta, E., Carnevale, R. 2019. Impairment between Oxidant and Antioxidant Systems: Short- and Long-term Implications for Athletes' Health. *Nutrients*, 11: 1353.
- NPS. 2014. Nacionalni program športa. Medmrežje: <file:///C:/Users/Vesna/Downloads/nacionalni-program-sporta-RS-2014-2023.pdf> (13.2.2017).
- Nyska, A. in Kohen, R. 2002. Oxidation of biological systems: oxidative stress phenomena, antioxidants, redox reactions, and methods for their quantification. *Toxicol. Pathol.*, 30: 620–50.
- Nzekoue, F.K., Angeloni, S., Navarini, L., Angeloni, C., Freschi, M., Hrelia, S., Vitali, L.A., Sagratini, G., Vittori, S., Caprioli, G. 2020. Coffee silverskin extracts: Quantification of 30 bioactive compounds by a new HPLC-MS/MS method and evaluation of their antioxidant and antibacterial activities. *Food Res. Int.*, 133: 109128.
- Ogonovszky, H., Sasvari, M., Dosek, A., Berkes, I., Kaneko, T., Tahara, S., Nakamoto, H., Goto, S., Radak, Z. 2005. The effects of moderate, strenuous, and overtraining on oxidative stress markers and DNA repair in rat liver. *Can. J. Appl. Physiol.*, 30: 186–95.
- Oh, H. in Taylor, A.H. 2013. A brisk walk, compared with being sedentary, reduces attentional bias and chocolate cravings among regular chocolate eaters with different body mass. *Appetite*, 71: 144–9.
- Okutsu, M., Ishii, K., Niu, K.J., Nagatomi, R. 2005. Cortisol-induced CXCR4 augmentation mobilizes T lymphocytes after acute physical stress. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 288: 591–9.
- Oproiu, I. 2013. A study on the relationship between sports and aggression. *Sport Sci. Rev.*, 22(1–2): 33–48.

- Oroian, M. in Escriche, I. 2015. Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis. *Food Res. Int.*, 74: 10–36.
- Oschman, J.L., Chevalier, G., Brown, R. 2015. The effects of grounding (earthing) on inflammation, the immune response, wound healing, and prevention and treatment of chronic inflammatory and autoimmune diseases. *J. Inflamm. Res.*, 8: 83–96.
- Osredkar, J. 2012. Oksidativni stres. *Zdrav. Vestn.*, 81(5): 393–406.
- Otani, H. 2011. Oxidative stress as pathogenesis of cardiovascular risk associated with metabolic syndrome. *Antioxid. Redox Signal.*, 15(7): 1911–26.
- Ouerghemmi, S., Sebei, H., Siracusa, L., Ruberto, G., Saija, A., Cimino, F., Cristani, M. 2016. Comparative study of phenolic composition and antioxidant activity of leaf extracts from three wild Rosa species grown in different Tunisia regions: *Rosa canina* L., *Rosa moschata* Herrm. and *Rosa sempervirens* L. *Ind. Crops Prod.*, 94: 167–77.
- Pacher, P., Beckman, J.S., Liaudet, L. 2007. Nitric oxide and peroxynitrite in health and disease. *Physiol. Rev.*, 87: 315–424.
- Padilha, C.V.d.S., Miskins, G.A., de Souza, M.E.A.O., Pereira, G.E., de Oliveira, D., Bordignon-Luiz, M.T., Lima, M.S. 2017. Rapid determination of flavonoids and phenolic acids in grape juices and wines by RP-HPLC/DAD: Method validation and characterization of commercial products of the new Brazilian varieties of grape. *Food Chem.*, 228: 106–15.
- Padhi, E.M.T., Liu, R., Hernandez, M., Tsao, R., Ramdath, D.D. 2017. Total polyphenol content, carotenoid, tocopherol and fatty acid composition of commonly consumed Canadian pulses and their contribution to antioxidant activity. *J. Funct. Foods* B, 38: 602–11.
- Paes, S.T., Marins, J.C., Andreazzi, A.E. 2015. Metabolic effects of exercise on childhood obesity: a current view. *Rev. Paul. Pediatr.*, 33(1): 122–9.
- Parker, L., McGuckin, T.A., Leicht, A.S. 2014. Influence of exercise intensity on systemic oxidative stress and antioxidant capacity. *Clin. Physiol. Funct. Imaging*, 34: 377–83.
- Parker, L., Shaw, C.S., Banting, L., Levinger, I., Hill, K.M., Mcainch, A.J., Stepto, N.K. 2016a. Acute low-volume high-intensity interval exercise and continuous moderate intensity exercise elicit a similar improvement in 24-h glycemic control in overweight and obese adults. *Front. Physiol.*, 7: 661.
- Parker, L., Stepto, N.K., Shaw, C.S., Serpiello, F.R., Anderson, M., Hare, D.L., Levinger, I. 2016b. Acute high-intensity interval exercise-induced redox signaling is associated with enhanced insulin sensitivity in obese middle-aged men. *Front. Physiol.*, 7: 411.
- Parker, L., Shaw, C.S., Stepto, N.K., Levinger, I. 2017. Exercise and glycemic control: Focus on redox homeostasis and redox-sensitive protein signaling. *Front. Endocrinol.*, 8(87): 1–22.
- Parr, E.B., Coffey, V.G., Hawley, J.A. 2013. 'Sarcobesity': a metabolic conundrum. *Maturitas*, 74: 109–13.
- Passero, N. 2015. Effects of Participation in Sports on Men's Aggressive and Violent Behaviors. Medmrežje: https://issuu.com/nyu_applied_psych_opus/docs/opus_fall15 (30.9.2021).
- Paulsen, G., Cumming, K.T., Holden, G., Hallén, J., Rønnestad, B.R., Sveen, O., Skaug, A., Paur, I., Bastani, N.E., Østgaard, H.N., Buer, C., Midttun, M., Freuchen, F., Wügg, H., Ulseth, E.T., Garthe, I., Blomhoff, R., Benestad, H.B., Raastad, T. 2014. Vitamin C and E supplementation hampers cellular adaptation to endurance training in humans: a double-blind, randomised, controlled trial. *J. Physiol.*, 592(8): 1887–901.
- Pečar, S., Mravljak, J., Anderluh, M., Gašperlin, M., Grubič, Z., Krbavčič, A., Plesničar, B., Štrukelj, B. 2015. Šumi življenja ali radikali in druge reaktivne snovi v telesu. Slovensko farmacevtsko društvo, Ljubljana, 319 str.
- Peltzer, K. in Pengpid, S. 2016. Sleep duration and health correlates among university students in 26 countries. *Psychol. Health Med.*, 21(2): 208–20.
- Pengpid, S., Peltzer, K., Kassean, H.K., Tsala, J.P.T., Sychareun, V., Müller-Riemenschneider, F. 2015. Physical inactivity and associated factors among university students in 23 low-, middle-and high-income countries. *Int. J. Publ. Health*, 60(5): 539–49.
- Pengpid, S. in Peltzer, K. 2018. Vigorous physical activity, perceived stress, sleep and mental health among university students from 23 low-and middle-income countries. *Int. J. Adolesc. Med. Health*, 32(2): 20170116.

- Pereira, T., Cipriano, I., Costa, T., Saraiva, M., Martins, A. 2019. Exercise, ageing and cognitive function - Effects of a personalized physical exercise program in the cognitive function of older adults. *Physiol. Behav.*, 202: 8–13.
- Pérez-López, A., Martín-Rincon, M., Santana, A., Perez-Suarez, I., Dorado, C., Calbet, J.A.L., Morales-Alamo, D. 2019. Antioxidants Facilitate High-intensity Exercise IL-15 Expression in Skeletal Muscle. *Int. J. Sports Med.*, 40(1): 16–22.
- Pérez-Schindler, J. in Handschin, C. 2019. Physiological Regulation of Skeletal Muscle Mass: Resistance Exercise-Mediated Muscle Hypertrophy. V: Walrand, S. (ur.), *Nutrition and Skeletal Muscle*, 139–50.
- Perry, G., Friedland, R.P., Petot, G.J., Nunomura, A., Castellani, R.J., Kubat, Z., Smith, M. 2005. Alzheimer as a disease of metabolic demand: benefits of physical and brain exercise. V: Radak, Z. (ur.), *Exercise and Diseases*. Meyer Meyer Sport, Oxford, Zdrušeno Kraljestvo, 7–16.
- Pesic, S., Jakovljevic, V., Djordjevic, D., Cubrilo, D., Zivkovic, V., Jorga, V., Mujovic, V., Djuric, D., Stojimirovic, R. 2012. Exercise-induced changes in redox status of elite karate athletes. *Chin. J. Physiol.*, 55: 8–15.
- Peters, B., Ballmann, C., McGinnis, G., Epstein, E., Hyatt, H., Slivka, D., Cuddy, J., Hailes, W., Dumke, C., Ruby, B., Quindry, J. 2016. Graded hypoxia and blood oxidative stress during exercise recovery. *J. Sports Sci.*, 34: 56–66.
- Petrovič, N. 2014. Človek: navodila za uporabo. Vse, kar je treba vedeti. Pika. Sanje, 232 str.
- Pilegaard, H., Saltin, B., Neufer, P.D. 2003. Exercise induces transient transcriptional activation of the PGC-1 α gene in human skeletal muscle. *J. Physiol.*, 546: 851–8.
- Pingitore, A., Pace Pereira Lima, G., Mastorci, F., Quinones, A., Iervasi, G., Vassalle, C. 2015. Exercise and oxidative stress: Potential effects of antioxidant dietary strategies in sports. *Nutrition*, 31: 916–22.
- Pinho, R.A., Aguiar, A.S.Jr, Radák, Z. 2019. Effects of Resistance Exercise on Cerebral Redox Regulation and Cognition: An Interplay Between Muscle and Brain. *Antioxidants (Basel)*, 8(11): 529.
- Pinniger, G., Terrill, J., Assan, E., Grounds, M., Arthur, P. 2017. Pre-clinical evaluation of N-acetylcysteine reveals side effects in the mdx mouse model of Duchenne muscular dystrophy. *J. Physiol.*, 595: 7093–107.
- Pisoschi, A.M., Pop, A., Iordache, F., Stanca, L., Predoi, G., Serban, A.I. 2021. Oxidative stress mitigation by antioxidants - An overview on their chemistry and influences on health status. *Eur. J. Med. Chem.*, 209: 112891.
- Pisoschi, A.M. in Pop, A. 2015. The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *Eur. J. Med. Chem.*, 97: 55–74.
- Pistotnik, B. 2017. Osnove gibanja v športu: osnove gibalne izobrazbe. Popravljen izd. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, Ljubljana, 180 str.
- Pišot, R. in Šimunič, B. 2013. Force of gravity : the basis of human motor competences. V: Madić, D. (ur.). *Exercise and quality of life : proceedings*. Novi Sad: Univ. of Novi Sad, Faculty of Sport and Physical Education, 49–62.
- Pišot, R. in Mohorko, N. 2014. Vloga gibanja pri vzpostavljanju energijskega ravnovesja: prenašanje kot oblika zavržene hrane. V: Raspor, P. (ur.) *Hrana in prehrana za zdravje: Koliko hrane zavržemo?* Založba Univerze na Primorskem, Izola, 203–12.
- Poljšak, B., Šuput, D., Milisav, I. 2013. Achieving the Balance between ROS and Antioxidants: When to Use the Synthetic Antioxidants. *Oxid. Med. Cell. Longev.*, 1–11.
- Poljšak, B. in Milisav, I. 2012. The neglected significance of 'Antioxidative Stress'. *Oxid. Med. Cell. Longev.*, 12: 480895.
- Poolhouse. 2018. Medmrežje: <http://poolhouse.eu/portfolio/stqtmv/> (5.2.2018).
- Popović, B.M., Štajner, D., Kevrešan, S., Bijelić, S. 2012. Antioxidant capacity of cornelian cherry (*Cornus mas L.*) - Comparison between permanganate reducing antioxidant capacity and other antioxidant methods. *Food Chem.*, 134: 734–41.
- Potthoff, M.J., Wu, H., Arnold, M.A., Shelton, J.M., Backs, J., McAnally, J., Richardson, J.A., Bassel-Duby, R., Olson, E.N. 2007. Histone deacetylase degradation and MEF2 activation promote the formation of slow-twitch myofibers. *J. Clin. Investig.*, 117: 2459–67.

- Powers, S.K. in Jackson, M.J. 2008. Exercise-induced oxidative stress: cellular mechanisms and impact on muscle force production. *Physiol. Rev.*, 88(4): 1243–76.
- Powers, S.K., Nelson, W.B., Hudson, M.B. 2011a. Exercise-induced oxidative stress in humans: Cause and consequences. *Free Radic. Biol. Med.*, 51: 942–50.
- Powers, S.K., Talbert, E.E., Adhietty, P.J. 2011b. Reactive oxygen and nitrogen species as intracellular signals in skeletal muscle. *J. Physiol.*, 589(9): 2129–38.
- Powers, S.K., Ji, L.L., Kavazis, A.N., Jackson, M.J. 2011c. Reactive oxygen species: impact on skeletal muscle. *Compr. Physiol.*, 1(2): 941–69.
- Powers, S.K., Ji, L.L., Kavazis, A.N., Jackson, M.J. 2011c. Reactive oxygen species: impact on skeletal muscle. *Compr. Physiol.*, 1(2): 941–69.
- Pratico, D., Iuliano, L., Mauriello, A., Spagnoli, L., Lawson, J.A., Rokach, J., Maclouf, J., Violi, F., FitzGerald, G.A. 1997. Localization of distinct F2-isoprostanes in human atherosclerotic lesions. *J. Clin. Invest.*, 100(8): 2028–34.
- Prémusz, V., Makai, A., Lendvai-Emmert, D., Amrein, K., Czeiter, E., Boncz, I., Sulyok, E., Várnagy, Á. 2020. Consequences of physical activity-induced oxidative stress measured with 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine as a biomarker on the outcome of assisted reproductive treatments. *Value Health*, 23(1): 322.
- Przygodzka, M., Zielinska, D., Ciesarova, Z., Kukurova, K. 2014. Comparison of methods for evaluation of the antioxidant capacity and phenolic compounds in common spices. *LWT - Food Sci. Technol.*, 58: 321–6.
- Puigserver, P. in Spiegelman, B.M. 2003. Peroxisome proliferator activated receptor-gamma coactivator 1 alpha (PGC-1 alpha): transcriptional coactivator and metabolic regulator. *Endocr. Rev.*, 24: 78–90.
- Puterman, E., Lin, J., Blackburn, E., O'Donovan, A., Adler, N., Epel, E. 2010. The power of exercise: buffering the effect of chronic stress on telomere length. *PLoS One*, 5(5): 10837.
- Qin, F., Yang, Y., Wang, S.T., Dong, Y.N., Xu, M.X., Wang, Z.W., Zhao, J.X. 2019. Exercise and air pollutants exposure: A systematic review and meta-analysis. *Life Sci.*, 218: 153–64.
- Quick, J.D. in Quick, M.D. 2004. Healthy, Happy, Productive Work: A Leadership Challenge. *Organizational Dynamics*, 33(4): 329–37.
- Radak, Z., Asano, K., Inoue, M., Kizaki, T., Oh-Ishi, S., Suzuki, K., Taniguchi, N., Ohno, H. 1996. Superoxide dismutase derivative prevents oxidative damage in liver and kidney of rats induced by exhausting exercise. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 72: 189–94.
- Radak, Z., Sasvari, M., Nyakas, C., Pucsok, J., Nakamoto, H., Goto, S. 2000. Exercise preconditioning against hydrogen peroxide induced oxidative damage in proteins of rat myocardium. *Arch. Biochem. Biophys.*, 376: 248–51.
- Radak, Z., Kaneko, T., Tahara, S., Nakamoto, H., Pucsok, J., Sasvari, M., Nyakas, C., Goto, S. 2001a. Regular exercise improves cognitive function and decreases oxidative damage in rat brain. *Neurochem. Int.*, 38: 17–23.
- Radak, Z., Sasvari, M., Nyakas, C., Kaneko, T., Tahara, S., Ohno, H., Goto, S. 2001b. Single bout of exercise eliminates the immobilization-induced oxidative stress in rat brain. *Neurochem. Int.*, 39: 33–8.
- Radak, Z., Taylor, A.W., Ohno, H., Goto, S. 2001c. Adaptation to exercise-induced oxidative stress: from muscle to brain. *Exerc. Immunol. Rev.*, 7: 90–107.
- Radak, Z., Apor, P., Pucsok, J., Berkes, I., Ogonovszky, H., Pavlik, G., Nakamoto, H., Goto, S. 2003. Marathon running alters the DNA base excision repair in human skeletal muscle. *Life Sci.*, 72: 1627–33.
- Radak, Z., Chung, H.Y., Naito, H., Takahashi, R., Jung, K.J., Kim, H.J., Goto, S. 2004a. Age-associated increase in oxidative stress and nuclear factor kappaB activation are attenuated in rat liver by regular exercise. *FASEB J.*, 18: 749–50.
- Radak, Z., Tolvaj, D., Ogonovszky, H., Toldy, A., Taylor, A.W. 2004b. Exercise and cancer. V: Radak, Z. (ur.), *Exercise and Diseases*. Meyer Meyer Sport, Oxford, Zdrúženo Kraljestvo, 168–90.
- Radak, Z., Chung, H.Y., Goto, S. 2005. Exercise and hormesis: oxidative stress-related adaptation for successful aging. *Biogerontology*, 6: 71–5.

- Radak, Z., Toldy, A., Szabo, Z., Siamilis, S., Nyakas, C., Silye, G., Jakus, J., Goto, S. 2006. The effects of training and detraining on memory, neurotrophins and oxidative stress markers in rat brain. *Neurochem. Int.*, 49: 387–92.
- Radak, Z., Kumagai, S., Nakamoto, H. 2007. 8-Oxoguanosine and uracil repair of nuclear and mitochondrial DNA in red and white skeletal muscle of exercise-trained old rats. *J. Appl. Physiol.*, 102: 1696–701.
- Radak, Z., Chung, H.Y., Koltai, E., Taylor, A.W., Goto, S. 2008a. Exercise, oxidative stress and hormesis. *Ageing Res. Rev.*, 7(1): 34–42.
- Radak, Z., Chung, H.Y., Goto, S. 2008b. Systemic adaptation to oxidative challenge induced by regular exercise. *Free Radic. Biol. Med.*, 44(2): 153–9.
- Radak, Z., Koltai, E., Taylor, A.W., Higuchi, M., Kumagai, S., Ohno, H., Goto, S., Boldogh, I. 2013a. Redox-regulating sirtuins in aging, caloric restriction, and exercise. *Free Radic. Biol. Med.*, 58: 87–97.
- Radak, Z., Zhao, Z., Koltai, E., Ohno, H., Atalay, M. 2013b. Oxygen consumption and usage during physical exercise: the balance between oxidative stress and ROS-dependent adaptive signaling. *Antioxidants Redox Signal.*, 18(10): 1208–46.
- Radak, Z., Suzuki, K., Higuchi, M., Balogh, L., Boldogh, I., Koltai, E. 2016. Physical exercise, reactive oxygen species and neuroprotection. *Free Radic. Biol. Med.*, 98: 187–96.
- Radom-Aizik, S., Zaldivar, F.P. Jr, Haddad, F., Cooper, D.M. 2014. Impact of brief exercise on circulating monocyte gene and microRNA expression: implications for atherosclerotic vascular disease. *Brain Behav. Immun.*, 39: 121–9.
- Rahal, A., Kumar, A., Singh, V., Yadav, B., Tiwari, R., Chakraborty, S., Dhama, K. 2014. Oxidative stress, prooxidants, and antioxidants: the interplay. *Biomed. Res. Int.*, 761264.
- Raina, K., Tyagi, A., Kumar, D., Agarwal, R., Agarwal, C. 2013. Role of oxidative stress in cytotoxicity of grape seed extract in human bladder cancer cells. *Food Chem. Toxicol.*, 61: 187–95.
- Raudsepp, L. in Vink, K. 2019. Brief report: Longitudinal associations between physical activity, sleep disturbance and depressive symptoms in adolescent girls. *J. Adolesc.*, 72: 37–41.
- Rebelo, M.J., Rego, R., Ferreira, M., Oliveira, M.C. 2013. Comparative study of the antioxidant capacity and polyphenol content of Douro wines chemical and electrochemical methods. *Food Chem.*, 141: 566–73.
- Redaelli, R., Alfieri, M., Cabassi, G. 2016. Development of a NIRS calibration for total antioxidant capacity in maize germplasm. *Talanta*, 154: 164–8.
- Rehman, R., Shaikh, S.U., Seyed, S., Shakeel, N. 2010. Relationship of lifestyle on body fat mass in young adults. *Journal of Ayub medical college*, 22(4): 146–9.
- Resolucija o nacionalnem programu o prehrani in telesni aktivnosti za zdravje v obdobju 2015–2025. 2015. Medmrežje: [http://www.mz.gov.si/si/delovna_podrocja_in_prioritete/javno_zdravje/resolucija/\(27.2.2018\)](http://www.mz.gov.si/si/delovna_podrocja_in_prioritete/javno_zdravje/resolucija/(27.2.2018)).
- Rhee, S.G. in Bae, S.H. 2015. The antioxidant function of sestrins is mediated by promotion of autophagic degradation of Keap1 and Nrf2 activation and by inhibition of mTORC1, *Free Radic. Biol. Med.*, 88: 205–11.
- Richter, E.A. in Hargreaves, M. 2013. Exercise, GLUT4, and skeletal muscle glucose uptake. *Physiol. Rev.*, 93: 993–1017.
- Ristow, M., Zarse, K., Oberbach, A., Klötting, N., Birringer, M., Kiehntopf, M., Stumvoll, M., Kahn, C.R., Blüher, M. 2009. Antioxidants prevent health-promoting effects of physical exercise in humans. *PNAS USA*, 106(21): 8665–70.
- Rižner Hraš, A., Hadolin Kolar, M., Knez, Ž., Bauman, D. 2000. Comparison of antioxidative and synergistic effects of rosemary extract with α -tocopherol, ascorbyl palmitate and citric acid in sunflower oil. *Food chem.*, 71: 229–33.
- Robergs, R.A. in Roberts, S.O. 1997. *Exercise Physiology: Exercise, Performance, and Clinical Applications*. WCB McGraw-Hill, Boston, ZDA, 840 str.
- Robins, C.J., Keng, S.L., Ekblad, A.G., Brantley, J.G. 2012. Effects of mindfulness-based stress reduction on emotional experience and expression: a randomized controlled trial. *J. Clin. Psychol.* 68: 117–31.

- Rodríguez-Delgado, M.A., Malovaná, S., Pérez, J.P., Borges, T., García Montelongo, F.J. 2001. Separation of phenolic compounds by high-performance liquid chromatography with absorbance and fluorimetric detection, *J. Chromatogr. A*, 912: 249–57.
- Rodríguez-Delgado, M.A., González-Hernández, G., Conde-González, J.E., Pérez-Trujillo, J.P. 2002. Principal component analysis of the polyphenol content in young red wines, *Food Chem.*, 78(4): 523–32.
- Rogelj, B. 2017. Nevrodegeneracija. Medmrežje: file:///C:/Users/Vesna/Downloads/ulj_fkt_bi2_mhg_sno_nevrodegeneracija_01.pdf (31.10.2017).
- Roguski, J.P. 2009. The truth about food grade hydrogen peroxide. Medmrežje: <https://educate-yourself.org/cn/The-Truth-about-Food-Grade-Hydrogen-Peroxide-2009-James-Paul-Roguski.pdf> (10.11.2021).
- Roos, M.R., Rice, C.L., Vandervoort, A.A. 1997. Age-related changes in motor unit function. *Muscle Nerve*, 20: 679–90.
- Roque, F.R., Hernanz, R., Salaiques, M., Briones, A.M. 2013. Exercise training and cardiometabolic diseases: focus on the vascular system. *Curr. Hypertens. Rep.*, 15(3): 204–14.
- Rosen, E.D., Walkey, C.J., Puigserver, P., Spiegelman, B.M. 2000. Transcriptional regulation of adipogenesis. *Genes Dev.*, 14: 1293–307.
- Rosen, C.C., Chang, C.H., Djurdjevic, E., Eatough, E. 2010. Occupational stressors and job performance: An updated review and recommendations. V: Perrewé, P.L. in Ganster, D.C. (ur.), *Research in occupational stress and well being: New developments in theoretical and conceptual approaches to job stress*, Emerald Group Publishing, Bingley, Združeno kraljestvo, 8: 1–60.
- Rossi, W.A. 2000. *The Complete Footwear Dictionary*, 2. izd., Kreiger Publishing Co., Malabar, Florida, ZDA, 217 str.
- Rotovnik Kozjek, N. 2015a. Kaj je pomembnejše za zdravje: telesna vadba ali zdrava prehrana? V: Knap, B. in Horvat, M. (ur.) *Gibanje je zdravje: zbornik prispevkov o pomenu telesnega gibanja za zdravje*, Zg. Kungota, 180 str.
- Rotovnik Kozjek, N. 2015b. Praktična uporaba antioksidantov pri telesni aktivnosti. *Farmaceutski vestnik*, 66: 133–8.
- Rottensteiner, M., Leskinen, T., Niskanen, E., Aaltonen, S., Mutikainen, S., Wikgren, J., Heikkilä, K., Kovanen, V., Kainulainen, H., Kaprio, J., Tarkka, I. 2015. Physical activity, fitness, glucose homeostasis, and brain morphology in twins. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 47(3): 509–18.
- Rugelj, J. 1997. Vloga in pomen telovadbe, planinarjenja in vzdržljivostnega teka za telesno in duševno zdravje človeka v današnji civilizaciji. *Anthropos*, 29: 4/6, 139–48.
- Russell, A.P., Hesselink, M.K., Lo, S.K., Schrauwen, P. 2005. Regulation of metabolic transcriptional co-activators and transcription factors with acute exercise. *FASEB J.*, 19: 986–8.
- Russo, V.E.A., Martienssen, R.A., Riggs, A.D. 1996. *Epigenetic Mechanisms of Gene Regulation*. Cold Spring Harbor Laboratory Press, New York, ZDA, 693 str.
- Sadowska-Bartosz, I. in Bartosz, G. 2014. Effect of antioxidants supplementation on aging and longevity. *Biomed Res. Int.*, 17: 404680.
- Sale, D.G. 1988. Neural adaptation to resistance training, *Med. Sci. Sport Exer.*, 20: 135–45.
- Sanchez Arribas, A., Martinez-Fernandez, M., Moreno, M., Bermejo, E., Zapardiel, A., Chicharro, M. 2013. Analysis of total polyphenols in wines by FIA with highly stable amperometric detection using carbon nanotube-modified electrodes. *Food Chem.*, 136: 1183–92.
- Sandner, N., Stangassinger, M., Giesecke, D. 1990. The effect of glucocorticoid on the glucose metabolism of pigmy goats. *Zentralbl. Veterinarmed. A.*, 37(1): 35–44.
- Sarmiento, D., Montorfano, I., Cerda, O., et al. 2015. Increases in reactive oxygen species enhance vascular endothelial cell migration through a mechanism dependent on the transient receptor potential melastatin 4 ion channel. *Microvasc. Res.*, 98: 187–96.
- Satyanarayana, U., Kumar, A.N., Naidu, J.N., Viswa Prasad, D.K. 2014. Antioxidant supplementation for health—a boon or a bane? *J.N.T.R. Univ. Health. Sci.*, 3: 221–30.

- Schepers, E., Glorieux, G., Dhondt, A., et al. 2009. Role of symmetric dimethylarginine in vascular damage by increasing ROS via store-operated calcium influx in monocytes. *Nephrol. Dial. Transplant.*, 24(5): 1429–35.
- Scicchitano, B.M., Pelosi, L., Sica, G., Musarò, A. 2018. The physiopathologic role of oxidative stress in skeletal muscle. *Mech. Ageing Dev.*, 170: 37–44.
- Selye, H. 1956. *The stress of life*. McGraw-Hill, New York, ZDA, 515 str.
- Sen, C.K. 1995. Oxidants and antioxidants in exercise. *J. Appl. Physiol.*, 79(3): 675–86.
- Shahidi, F. 2015. *Handbook of Antioxidants for Food Preservation*. Woodhead Publishing, Cambridge, Združeno Kraljestvo, 514 str.
- Shahidi, F. in Zhong, Y. 2015. Measurement of antioxidant activity. *J. Funct. Food*, 18: 757–81.
- Shariat, A., Cleland, J.A., Danaee, M., Kargarfar, M., Sangelaji, B., Tamrin, S.B.M. 2018. Effects of stretching exercise training and ergonomic modifications on musculoskeletal discomforts of office workers: a randomized controlled trial. *Braz. J. Phys. Ther.*, 22(2): 144–53.
- Sharif, K., Watad, A., Bragazzi, N.L., Lichtbroun, M., Amital, H., Shoenfeld, Y. 2018. Physical activity and autoimmune diseases: Get moving and manage the disease. *Review. Autoimmun. Rev.*, 17(1): 53–72.
- Sibley, B. in Etnier, J. 2003. The Relationship between Physical Activity and Cognition in Children: A Meta-Analysis. *Pediatric Exercise Science*, 15: 243–56.
- Siems, W.G., Brenke, R., Sommerburg, O., Grune, T. 1999. Improved antioxidative protection in winter swimmers. *Q.J.M.*, 92: 193–8.
- Sies, H. 1991. *Oxidative Stress, II. Oxidants and Antioxidants*. Academic Press, London, Združeno kraljestvo, 15–22.
- Siggaard-Andersen, O. 1971. *The Acid-Base Status of the Blood*. Munksgaard, Copenhagen, Danska, 134 str.
- Sigmundova, D., Chmelik, F., Sigmund, E., Feltlova, D., Frömel, K. 2013. Physical activity in the lifestyle of Czech university students: meeting health recommendations. *Eur. J. Sport Sci.*, 13(6): 744–50.
- Silva, M. in Linton, F.C. 2016. An Overview on Applications and Side Effects of Antioxidant Food Additives. *Emir. J. Food Agric.*, 28(12): 823–32.
- Silveira, C.R.A., Roy, E.A., Intzandt, B.N., Almeida, Q.J. 2018. Aerobic exercise is more effective than goal-based exercise for the treatment of cognition in Parkinson's disease. *Brain Cogn.*, 122: 1–8.
- Singh, S.B., Singh, S.T., Singh, S.K. 2015a. *The Master: A Spiritual Preceptor*. Edition Naam, ZDA, 109 str.
- Sinha-Hikim, I., Roth, S.M., Lee, M.I., Bhasin, S. 2003. Testosterone-induced muscle hypertrophy is associated with an increase in satellite cell number in healthy, young men. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 285: 197–205.
- Siti, H.N., Kamisah, Y., Kamsiah, J. 2015. The role of oxidative stress, antioxidants and vascular inflammation in cardiovascular disease (a review). *Vascul Pharmacol.*, 71: 40–56.
- Skvortsova, K., Iovino, N., Bogdanović, O. 2018. Functions and mechanisms of epigenetic inheritance in animals. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.*, 19(12): 774–90.
- Smiles, W.J., Churchward-Venne, T.A., van Loon, L.J.C., Hawley, J.A., Camera, D.M. 2019. A single bout of strenuous exercise overcomes lipid-induced anabolic resistance to protein ingestion in overweight, middle-aged men. *FASEB J.*, 33(6): 7009–17.
- Smith, C. in Myburgh, K.H. 2006. Are the relationships between early activation of lymphocytes and cortisol or testosterone influenced by intensified cycling training in men? *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 31: 226–34.
- Smolander, J., Mikkelsen, M., Oksa, J., Westerlund, T., Leppäluoto, J., Huttunen, P. 2004. Thermal sensation and comfort in women exposed repeatedly to whole-body cryotherapy and winter swimming in ice-cold water. *Physiol. Behav.*, 82(4): 691–5.
- Soyakin, B., Maharaj, N., Jojua, N., Sakhelashvili, I. 2019. Sleep disturbances and stress among the foreign medical students of European university, Georgia. *Sleep Med.*, 64(1): 331–2.

- Spira, A.P., Covinsky, K., Rebok, K.W., Punjabi, N.M., Stone, K.L., Hillier, T.A., Ensrud, K.E., Yaffe, K. 2012. Poor sleep quality and functional decline in older women. *J. Am. Geriatr. Soc.*, 60(6): 1092–8.
- Starč, V. 2015. Upadanje telesnih funkcij s starostjo in telesna aktivnost. V: Knap, B. in Horvat, M. (ur) Gibanje je zdravje: zbornik prispevkov o pomenu telesnega gibanja za zdravje, Zg. Kungota, 180 str.
- Steinbacher, P. in Eckl, P. 2015. Impact of oxidative stress on exercising skeletal muscle, *Biomolecules* 5(2) (2015) 356–77.
- Strlič, M., Radovič, T., Kolar, J., Pihlar, B. 2002. Anti- and prooxidative properties of gallic acid in Fenton-type systems, *J. Agric. Food Chem.*, 50: 6313–7.
- Strel, J., Mišič, G., Strel, J., Glažar, T. 2016. Telesna zmogljivost za boljše zdravje in počutje: vloga osnovnega zdravstva in lokalne skupnosti pri zagotavljanju ustrezne telesne zmogljivosti po vrhniškem modelu. *Zavod FitLab, Ljubljana*, 446 str.
- Strojnik, V. 2012. Vadba za moč pri starejših osebah. V: Djomba, J.K. (ur.), Dolenc, M. (ur.). *Javnozdravstveni vidiki telesne dejavnosti: zbornik prispevkov. Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Ljubljana*, 80–84.
- Strong, W.B., Malina, R.M., Blimkie, C.J.R., Daniels, S.R., Dishman, R.K., Gutin, B., Hergenroeder, A.C., Must, A., Nixon, P.A., Pivarnik, J.M., Rowland, T., Trost, S., Trudeau, F. 2005. Evidence Based Physical Activity for School-age Youth. *J. Pediatr.*, 146(6): 732–7.
- Sunil, V.R., Vayas, K.N., Fang, M., Zarbl, H., Massa, C., Gow, A.J., Cervelli, J.A., Kipen, H., Laumbach, R.J., Liyo, P.J., Laskin, J.D., Laskin, D.L. 2017. World Trade Center (WTC) dust exposure in mice is associated with inflammation, oxidative stress and epigenetic changes in the lung. *Exp. Mol. Pathol.*, 102(1): 50–8.
- SURS (Statistični urad Republike Slovenije). 2015. Splošno zdravstveno stanje oseb, glede na starost, Slovenija. Medmrežje:
http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=0868510S&ti=&path=../Database/Dem_soc/08_zivljenjska_raven/17_silc_zdravje/05_08685_splosno_zdravst_stanje/&lang=2
(26.6.2017).
- SZO (Svetovna zdravstvena organizacija). 2017. Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health. Medmrežje: <http://www.who.int/dietphysicalactivity/en/> (13.5.2017).
- SZO (Svetovna zdravstvena organizacija). 2018a. Medmrežje:
<http://www.who.int/hia/evidence/doh/en/> (27.2.2018).
- SZO (Svetovna zdravstvena organizacija). 2018b. Medmrežje:
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs385/en/> (27.2.2018).
- Šeruga, M., Novak, I., Jakobek, L. 2011. Determination of polyphenols content and antioxidant activity of some red wines by differential pulse voltametry, HPLC and spectrophotometric methods. *Food Chem.*, 124: 1208–16.
- Šifter, F. 2011. Motnje dihanja in kislinsko baznega ravnovesja. V: Šifter F. in Fležar, M. (ur.), *Preiskava pljučne funkcije. Plinska analiza arterijske krvi. Zbornik. Združenje pnevmologov Slovenije, Ljubljana*, Slovenija, 1–16.
- Šprah, L. in Sedlar, N. 2012. Instrument za ekspertno napoved dejavnikov tveganj na delovnem mestu, povezanih s poklicnim stresom (IDTS). V: Šprah, L. in Bertonecel, F. (ur.), *Obvladajmo poklicni stres, preden on obvlada nas. Družbeno medicinski inštitut ZRC SAZU, Ljubljana*, 74–91.
- Špuput, D. in Kamarič, L. 2001. Izvor in reakcije radikalov. V: Ribarič, S. (ur.), *Izbrana poglavja iz patološke fiziologije. 9.izd. Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Inštitut za patološko fiziologijo, Ljubljana*, 15–24.
- Tauler Riera P. 2012. Redox Status. V: Mooren, F.C. (ur.) *Encyclopedia of Exercise Medicine in Health and Disease. Springer, Berlin, Nemčija*, 67–83.
- Taylor, D.J. in Bramoweth, A.D. 2010. Patterns and consequences of inadequate sleep in college students: Substance use and motor vehicle accidents. *J. Adolesc. Health*, 46(6): 610–2.
- Taylor, D.J., Bramoweth, A.D., Grieser, E.A., Tatum, J.I., Roane, B.M. 2013. Epidemiology of insomnia in college students: relationship with mental health, quality of life, and substance use difficulties. *Behav. Ther.*, 44(3): 339–48.

- Thirupathi, A. in de Souza, C.T. 2017. Multi-regulatory network of ROS: the interconnection of ROS, PGC-1 alpha, and AMPK-SIRT1 during exercise. *J. Physiol. Biochem.*, 73: 487–94.
- Thirupathi, A., da Silva Pieri, B.L., Queiroz, J.A.M.P., Rodrigues, M.S., de Bem Silveira, G., de Souza, D.R., Luciano, T.F., Silveira, P.C.L., De Souza, C.T. 2019. Strength training and aerobic exercise alter mitochondrial parameters in brown adipose tissue and equally reduce body adiposity in aged rats. *J. Physiol. Biochem.*, 75: 101–8.
- Thirupathi, A., Pinho, R.A., Chang, Y.Z. 2020. Physical exercise: An inducer of positive oxidative stress in skeletal muscle aging. *Life Sci.*, 252: 117630.
- Torker, S. in Biron, M. 2012. Job burnout and depression: unraveling their temporal relationship and considering the role of physical activity. *J. Appl. Psychol.*, 97: 699–710.
- Toro, J. in Rodrigo, R. 2009. Oxidative Stress: Basic Overview. V: Rodrigo, R. (ur.), *Oxidative Stress and Antioxidants: Their Role in Human Disease*. Nova Biomedical Books, New York, ZDA, 1–24.
- Totter, J.R. 1980. Spontaneous cancer and its possible relationship to oxygen metabolism. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 77(4): 1763–7.
- Tsai, M.K., Chen, J.H., Chiou, J.M., Chen, T.F., Chen, Y.F., Tang, S.C., Yeh, S.J., Chiu, M.J., Chen, Y.C. 2017. Self-reported sleep disturbances and cognitive decline in the elderly: attenuating the risk by physical activity. *Alzheimers Dement.*, 13(7): 863–4.
- Tuberoso, C.I.G., Boban, M., Bifulco, E., Budimir, D. 2013. Antioxidant capacity and vasodilatory properties of Mediterranean food: The case of Cannonau wine, myrtle berries liqueur and strawberry-tree honey. *Food Chem.*, 140: 686–91.
- Tuberoso, C.I.G., Serrelli, G., Congiu, F., Montoro, P., Fenu, M.A. 2017. Characterization, phenolic profile, nitrogen compounds and antioxidant activity of Carignano wines. *J. Food Compos. Anal.*, 2–33.
- Tušak, M. in Blatnik, P. 2017. *Živeti s stresom. Tehnike samopomoči*. Poslovna založba MB, Maribor, 327 str.
- Urso, M.L., Clarkson, P.M. 2003. Oxidative stress, exercise, and antioxidant supplementation. *Toxicology*, 189(1–2): 41–54.
- Ušaj, A. 2012. *Temelji športne vadbe*. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport. Ljubljana, 176 str.
- Vancampfort, D., Van Damme, T., Stubbs, B., Smith, L., Firth, J., Hallgren, M., Mugisha, J., Koyanagi, A. 2019. Sedentary behavior and anxiety-induced sleep disturbance among 181,093 adolescents from 67 countries: a global perspective. *Sleep Med.*, 58: 19–26.
- Van Rhenen, W., Blonk, R.W.B., Van der Klink, J.J.L., Van Dijk, F.J.H., Scheufeli, W.B. 2005. The effect of cognitive and stress reducing-programme on psychological complaints. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, 78: 139–48.
- Vassalle, C., Pingitore, A., De Giuseppe, R., Vigna, L., Bamonti, F. 2015. Biomarkers to estimate bioefficacy of dietary/supplemental antioxidants in sports. V: Lamprecht, M. (ur.) *Antioxidants in sport nutrition*, Taylor & Francis, Florida, ZDA, 255–72.
- Vermeulen, A., Goemaere, S., Kaufman, J.M. 1999. Testosterone, body composition and aging. *J. Endocrin. Invest.*, 22: 110–6.
- Vilela, T.C., Effting, P.S., Dos Santos Pedroso, G., Farias, H., Paganini, L., Rebelo Sorato, H., Nesi, R.T., de Andrade, V.M., de Pinho, R.A. 2018. Aerobic and strength training induce changes in oxidative stress parameters and elicit modifications of various cellular components in skeletal muscle of aged rats. *Exp. Gerontol.*, 106: 21–7.
- Vina, J., Sanchis-Gomar, F., Martinez-Bello, V., Gomez-Cabrera, M.C. 2012. Exercise acts as a drug; the pharmacological benefits of exercise. *Br. J. Pharmacol.*, 167(1): 1–12.
- Vincent, H.K., Innes, K.E., Vincent, K.R. 2007. Oxidative stress and potential interventions to reduce oxidative stress in overweight and obesity. *Diabetes Obes. Metab.*, 9(6): 813–39.
- Vitorović, D., Popov Raljić, J., Mitrović, S. 1995. The effect of age and rearing system on bone strength of broiler chicks. *Biotehnologija u stocarstvu*, 11(1–2), 21–6.
- Vogel, A. 2016. *Der kleine Doktor*. Kindle Edition. Verlag A. Vogel AG, Nemčija, 1013 str.
- Xiao, D., Wang, T., Huang, Y., Wang, W., Zhao, M., Zhang, W.-H., Guo, L., Lu, C. 2020. Gender differences in the associations between types of childhood maltreatment and sleep disturbance among Chinese adolescents. *J. Affect. Disord.*, 265: 595–602.

- Xu, S., Ouyang, X., Shi, X., Li, Y., Chen, D., Lai, Y., Fan, F. 2020. Emotional exhaustion and sleep-related worry as serial mediators between sleep disturbance and depressive symptoms in student nurses: A longitudinal analysis. *J. Psychosom. Res.*, 129: 109870.
- Yamada, S., Buffinger, N., DiMario, J., Strohman, R.C. 1989. Fibroblast Growth Factor is stored in fiber extracellular matrix and plays a role in regulating muscle hypertrophy. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 21(5): 173–80.
- Yavari, A., Javadi, M., Mirmiran, P., Bahadoran, Z. 2015. Exercise-induced oxidative stress and dietary antioxidants. *Asian J. Sports Med.*, 6(1): 24898.
- Yla-Herttuala, S., Palinski, W., Rosenfeld, M.E., Parthasarathy, S., Carew, T.E., Butler, S., Witztum, J.L., Steinberg, D. 1989. Evidence for the presence of oxidatively modified low density lipoprotein in atherosclerotic lesions of rabbit and man. *J. Clin. Invest.*, 84(4): 1086–95.
- Yoo, S.Z., No, M.H., Heo, J.W., Park, D.H., Kang, J.H., Kim, S.H., Kwak, H.B. 2018. Role of exercise in age-related sarcopenia. *J. Exerc. Rehabil.*, 14(4): 551–8.
- Yu, B.P. in Chung, H.Y. 2006. Adaptive mechanisms to oxidative stress during aging. *Mech. Ageing Dev.*, 127: 436–43.
- Wang, F. in Biro, E. 2021. Determinants of sleep quality in college students: a literature review. *Explore*, 17(2): 170–7.
- Whittaker, A.L. 2012. Space requirements to optimize welfare and performance in group housed pigs - a review. *Am. J. Anim. Vet. Sci.*, 7(2): 48–54.
- Wilkanowska, A. in Kokoszyński, D. 2015. Effect of Diet and Physical Activity of Farm Animals on their Health and Reproductive Performance. Poglavlje 14. V: Watson, R.R. (ur.). *Handbook of Fertility. Nutrition, Diet, Lifestyle and Reproductive Health*. Academic Press, London, Združeno Kraljestvo, 159–71.
- Woods, J.A., Vieira, V.J., Keylock, K.T. 2006. Exercise, inflammation, and innate immunity. *Neurol. Clin.*, 24: 585–99.
- Wosiski-Kuhn, M. in Stranahan, A.M. 2012. Opposing effects of positive and negative stress on hippocampal plasticity over the lifespan. *Ageing Res. Rev.*, 11: 399–403.
- Wozniak, A. 2003. Signs of oxidative stress after exercise. *Biol. Sport*, 20: 93–112.
- Wu, J.D., Lin, D.W., Page, S.T., Lundgren, A.D., True, L.D., Plymate, S.R. 2009. Oxidative DNA damage in the prostate may predispose men to a higher risk of prostate cancer. *Transl. Oncol.*, 2(1): 39–45.
- Wu, Z., Xu, E., Long, J., Pan, X., Xu, X., Jin, Z., Jiao, A. 2016. Comparison between ATR-IR, Raman, concatenated ATR-IR and Raman spectroscopy for the determination of total antioxidant capacity and total phenolic content of Chinese rice wine. *Food Chem.*, 194: 671–9.
- Wunsch, K., Kasten, N., Fuchs, R. 2017. The effect of physical activity on sleep quality, wellbeing, and affect in academic stress periods. *Nat. Sci. Sleep*, 9: 117–26.
- Zang, S., Tian, S., Jiang, J., Han, D., Yu, X., Wang, K., Li, D., Lu, D., Yu, A., Zhang, Z. 2017. Determination of antioxidant capacity of diverse fruits by electron spin resonance (ESR) and UV-VIS spectrometries. *Food Chem.*, 221: 1221–5.
- Zhai, X., Ye, M., Wang, C., Gu, Q., Huang, T., Wang, K., Chen, Z., Fan, X. 2020. Associations among physical activity and smartphone use with perceived stress and sleep quality of Chinese college students. *Ment. Health Phys. Act.*, 18: 100323.
- Zheng, W. in Wang, S.Y. 2001. Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs. *J. Agric. Food Chem.*, 49(11): 5165–70.
- Zunhammer, M., Eichhammer, P., Busch, V. 2014. Sleep quality during exam stress: the role of alcohol, caffeine and nicotine. *PloS One*, 9(10): 109490.

Stvarno kazalo

- Acidoza, 109
Aerobna vadba, 29
Aktiven življenjski slog, 129
Alopurinol, 137
Alzheimerjeva bolezen, 38, 128, 130
Aminokisidemia, 144
Anabolna rezistenca, 144
Anksioznost, 29, 30, 111
Antioksidanti, 63, 74
Antioksidativni obrambni sistem, 67, 128
Antioksidativni stres, 71
Ateroskleroza, 100
Avtofagija, 143
Beljakovine, 24, 107, 137, 144
Biomarkerji, 103
Blaginja, 59
Bolezen, 5, 13, 14, 15, 18, 20, 21, 29, 32, 50, 99, 127, 130, 139, 158
Bolezni srca in ožilja, 20
Bolezni živčevja, 143
Celokupen antioksidativni potencial, 80
Celokupni antioksidativni potencial, 79
Cirkadiani ritem, 32, 52
Covid-19, 48
COVID-19, 148
Debelost, 5, 18, 20, 22, 23
Depresija, 20, 21, 30, 41, 55, 110
Dihalna acidoza, 109, 110
Dihalna alkalozna, 109, 111
Dihanje, 13, 19, 31, 108, 109, 111
DNA, 80
DNK, 26, 27, 65, 96, 97, 128, 129, 137, 145
Družbena odgovornost, 15
Encimi, 67, 95, 116, 145
Encimski antioksidanti, 67, 116, 137
Epigenetika, 145
Epigenetska pokrajina, 146
Fenolni antioksidanti, 157
Fentonova reakcija, 65
Fizična aktivnost, 52, 157
Folin-Ciocalteujev reagent, 79, 80, 82
Gibanje, 22, 115, 125, 164, 167, 170, 172
Gibljivost, 41
Gimnastične vaje, 35
Glikogen, 147
Glukoza, 147
Hipovitaminoza, 48
Holesterol, 5, 30
Homeostaza, 6, 32, 48, 67, 108, 128, 135, 143
Hormetska krivulja, 132, 141
Hormetski učinek, 132
Hormeza, 131
HPLC-UV/VIS, 79, 84
IGF, 28
Imunski sistem, 17, 29, 68, 130, 136
Informacija, 18, 43, 79, 108
Intenzivnost vadbe, 34
Izobraževanje za trajnostni razvoj, 155

- Joga, 16, 37
 Kajenje, 15, 22, 100, 148
 Kakovost, 46
 Kakovost spanca, 30
 Kakovost spanja, 54
 Kakovost zraka, 47
 Kalcij, 48
 Kemiluminometrična metoda, 80, 81, 82, 84, 86
 Kisik, 50, 106, 107, 108, 125, 128, 147
 Kislinsko-bazično ravnovesje, 50
 Kitajska študija, 73
 Koencim Q10, 122
 Kofein, 147
 Koordinacija, 45
 Kortizol, 27, 49, 111
 Krioterapija, 69
 Krvni tlak, 5, 14, 20, 50, 97, 123, 137
 LC/MS/MS, 79
 LC-MS/MS, 80, 84
 Ledvice, 108, 111
 Maščobe, 147
 Maščobne kisline, 147
 Meditacija, 52
 Melatonin, 32
 Metabolni ekvivalent, 56, 125
 Metode za določanje CAP, 79
 Mišice, 28
 Mišična hipertrofija, 26
 Mišična vlakna, 25
 Mitohondriji, 144
 Mlečna kislina, 35, 50, 51, 74, 134
 Motnje spanja, 56
 Možgani, 29
 Nacionalni program športa, 57
 Nalezljive bolezni, 30
 Negativni stres, 111
 Nespečnost, 55
 NRF₂, 66
 Obvladovanje stresa, 172
 Ogljikovi hidrati, 147
 Ogrevanje, 34
 Oksidacija, 46
 Oksidant, 103
 Oksidativna škoda, 111, 128
 Oksidativne poškodbe, 137
 Oksidativni stres, 68, 95, 99, 107, 115, 116, 125, 127, 128, 130, 132, 139, 143
 Osteoporoza, 20, 36
 Ozemljitev, 50, *Bosonogast*
 Ozon, 47, 107
 Parkinsonova bolezen, 44
 PGC-1 α , 101
 pH, 109
 Piramida telesnih aktivnosti, 32
 Plavanje v ledeno mrzli vodi, 69
 Počitek, 16, 38, 52, 133
 Polifenoli, 122
 Potenciometrična metoda, 81
 Potrošništvo, 22
 Pozitiven stres, 111
 Pozornost, 29, 52
 Prehranska dopolnila, 74, 75, 119
 Prehranska piramida, 13
 Prehranski antioksidanti, 139
 prekomerna dnevna zaspanost, 55
 Preskrba telesa s kisikom, 13
 Presnovna alkalozna, 110
 Presnovni ekvivalent. *Glej*te Metabolni ekvivalent
 Prilagoditveni procesi, 138
 Priporočena hrana, 34
 Prooksidanti, 95, 127, 128
 Proste maščobne kisline, 144
 Prosti čas, 16
 Prosti radikali, 64, 128, 129
 Psihična stabilnost, 29
 Rakava obolenja, 48, 108, 143
 Rastni dejavniki, 28
 Rastni hormon, 27
 Ravnovesje antioksidanti/prooksidanti, 103
 Razsežnosti človeka, 17, 18
 Raztezne vaje, 35
 Redna telesna aktivnost, 142
 Redna telesna vadba, 68
 Redna vadba, 29
 Redoks status, 9, 95, 98, 103, 105, 106, 122
 Resveratrol, 90, 122, 157
 Ritem, 32, 49
 ROS, 67, 99, 108, Reaktivne kisikove zvrsti
 Samopodoba, 29
 Sarkopenija, 144
 Sedeč življenjski slog, 19, 22, 129
 Sistemsko vnetje dihal, 148
 Skeletne mišice, 24, 144
 Sladkorna bolezen, 20, 38, 41, 98
 Sokol, 156
 Spanje, 52, 56
 Spektrofotometrična metoda, 79, 80
 Spol, 140
 Sporočilo, 47
 Sprostitev, 13, 16, 52
 Staranje, 22, 27, 46, 139, 140, 141
 Stres, 7, 14, 20, 132, 172
 Negativni stres, 111, 131
 Pozitiven stres, 111
 Šport, 19, 20, 57, 58
 Športne igre, 155, 159

- Študenti, 54
- Telesna aktivnost, 15, 19, 20, 21, 22, 28, 30, 31, 35, 38, 50, 100, 111, 115, 126, 128, 129, 132
 - Visoko intenzivna TA, 31
 - Zmerno intenzivna TA, 31
- Telesna neaktivnost, 5, 15, 21
- Telesna vadba, 19, 32, 172
 - Vadba za gibljivost, 41
 - Vadba za hitrost, 46
 - Vadba za koordinacijo, 45
 - Vadba za moč, 39
 - Vadba za preciznost, 45
 - Vadba za ravnotežje, 43
 - Vadba za vzdržljivost, 37
- Telovadna društva, 156
- Tesnoba, 20
- Testosteron, 26
- Toksikologija, 132
- Trajnostna priporočena telesna aktivnost, 4
- trajnostni razvoj, 165
- Uravnoteženo delovanje, 52
- Utujenost, 21
- Vegetarijanska prehrana, 132
- Vitamin C, 74
- Vitamin D, 48
- Vnetja, 49, 50, 128
- Vodikov peroksid, 137
- Vrednotenje antioksidantov, 77
- Wim Hof, 47
- Zdrav življenjski slog, 16
- Zdravje, 15
 - Zdravje študentov, 53
- Živila, 80, 81

Izjava o prispevku avtorjev

Vesna Mila Meden zasnova znanstvene monografije, pisanje - priprava izvirnega osnutka, pregled in urejanje, metodologija, zadosten in potreben celosten pristop k obravnavanju problematike, prelom, urejanje dokumentacije za objavo.

Vesna Rauter rokopis vsebin »Prosti čas« in »Telesna aktivnost, gibanje, šport« v poglavju »Problematika telesne aktivnosti«, »Vrste telesne vadbe«, »Razlogi zakaj biti telesno aktiven«, »Pravila, ki jih upoštevamo tako v športu kot tudi v vsakdanjem življenju«, »Koliko in kako biti telesno aktiven« ter »Priporočila pred pričetkom vadbe« v poglavju »Telesna vadba«.

TELESNA AKTIVNOST, ANTIOKSIDANTI IN OKSIDATIVNI STRES

VESNA MILA MEDEN,¹ VESNA RAUTER²

¹ Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede, Hoče, Slovenija
vesna.bukovac@um.si

² Univerza v Mariboru, Medicinska fakulteta, Maribor, Slovenija
vesna.rauter@um.si

Povzetek Med telesno aktivnostjo se sproščajo reaktivne zvrsti; obseg njihovega nastanka je povezan z značilnostmi telesne vadbe. Sproščanje reaktivnih zvrsti, ki presega zmožnost antioksidativne obrambe, izzove oksidativni stres. Ravnovesje med obsegom sproščanja reaktivnih zvrsti in antioksidativno obrambo je v fizioloških razmerah pomaknjeno nekoliko na stran oksidativnih procesov. Dve skrajnosti telesne aktivnosti omenjeno ravnovesje rušita: akutna, visoko intenzivna telesna aktivnost in telesna neaktivnost. Izziv vrednotenja stanja oksidativnega stresa v organizmu je izjemno aktualen. Izsledki lastnih raziskav na področju antioksidantov usmerjajo k nujnosti interdisciplinarnega pristopa k tovrstnim raziskavam. Rezultati raziskave so primerjani z dognanji raziskovalcev v svetovnem prostoru, zato so predstavljena znanja izrazito aktualna. Z namenom, da se spodbudi radovednost in navdušenje do raziskovanja, vsebina še posebej nagovarja populacijo mladih, predvsem študentov. Izobraževanje o ključni vlogi telesne aktivnosti pri ohranjanju homeostaze in posledično zdravja in dolgoživosti spada med obvezne vsebine predmetov na vseh študijskih programih univerz in visokošolskih institucij. Športne igre naj postanejo temeljni povezovalni dejavnik v izobraževalnem procesu, izkustveno izobraževanje naj povezuje telesno aktivnost s sleherno vsebino predmetov. Malo nam v življenju koristijo obširna znanja, če ignoriramo osnove, ki trajnostno določajo zdravje in dobro počutje slehernega posameznika. Izgradnja uspešne kariere naj vselej temelji na redni telesni aktivnosti zmerne intenzivnosti.

Ključne besede:

trajnostna
priporočena
telesna aktivnost,
antioksidanti,
oksidativni stres,
antioksidativni
stres,
redoks status,
hormeza,
avtofagija,
cirkadiani ritem

PHYSICAL ACTIVITY, ANTIOXIDANTS AND OXIDATIVE STRESS

VESNA MILA MEDEN,¹ VESNA RAUTER²

¹ University of Maribor, University of Maribor, Faculty of Agriculture and Life Sciences,
Hoče, Slovenia
vesna.bukovac@um.si

² University of Maribor, Faculty of Medicine, Maribor, Slovenia
vesna.rauter@um.si

Abstract Reactive species are released during physical activity; the extent of their occurrence is related to the characteristics of physical exercise. The release of reactive species that exceeds the ability of antioxidant defense causes oxidative stress. Under physiological conditions, the balance between the release rate of reactive species and antioxidant defense is shifted slightly to the side of oxidative processes. This balance is disrupted by two extremes of physical activity: acute, high-intensity physical activity and physical inactivity. The challenge of evaluating the state of oxidative stress in the body is extremely relevant. The results of our own research in the field of antioxidants point to the need for an interdisciplinary approach to such research. The results of the research are compared with the findings of researchers in the world, so the presented knowledge is extremely current. In order to stimulate curiosity and enthusiasm for research, the content especially addresses the population of young people, especially students. Education on the key role of physical activity in maintaining homeostasis and consequently health and longevity should be part of the content of basic subjects in all study programs of universities and higher education institutions.

Keywords:

sustainable
recommended
physical activity,
antioxidants,
oxidative stress,
antioxidant stress,
redox status,
hormesis,
autophagy,
circadian rhythm





Univerza v Mariboru

Fakulteta za kmetijstvo
in biosistemske vede

Monografija nedvomno prispeva k širjenju in poglobljanju znanja na področju zdravega načina življenja in ima poleg znanstvene, pomembno izobraževalno vrednost. Dodana vrednost so izsledki lastnih raziskav in primerjava z obstoječimi dognanji v mednarodnem prostoru. Kljub temu, da vsebina posebej nagovarja študentsko populacijo, jo priporočam tudi oblikovalcem športne politike, učiteljem, strokovnjakom za prehrano, kineziologom in širši javnosti, ki jo zanimajo učinki telesne aktivnosti na zdravje človeka.

dr. Miha Marinšek

Menim, da je zato pričujoča knjižna monografija zapolnila praznino na marsikateri knjižni polici s strokovno literaturo.

dr. Marjan Šhalický

Vsi predstavljeni rezultati so izrazito aktualni in primerljivi z dognanji raziskovalcev v svetovnem prostoru, kot navajata avtorici sami. To potrjuje tudi veliko število citiranih virov.

dr. Mitja Kolar

Človek, ki živi z naravo, se veliko giblje, fizično dela in se telesno utruja. Utrujenost zaradi napomega fizičnega dela ima lahko mnoge zelo pozitivne učinke, saj človek dobi občutek, da telesno in duševno bolje funkcionira in da je koristen. Današnji ljudje so fizično dosti manj obremenjeni, stresne situacije pa so vse pogostejše. Za reševanje takšnih situacij in njihovih posledic je telesna aktivnost vsekakor izredno pomembna. Da bi jo globlje dojeli, je potrebno poznati ključne genetske, fiziološko-anatomske, razvojne in biokemijske probleme, ki so z njo tesno povezani. Avtorici sta v svoji publikaciji to tematiko večplastno in zelo pregledno obdelali.

dr. Anton Ivančič

