

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Preddiplomski studij Nutricionizam

Mateja Skupnjak

6519/N

VAŽNOST ŽELJEZA ZA SPORTSKU IZVEDBU SPORTAŠICA
ZAVRŠNI RAD

Modul: *Prehrana sportaša i vojaka*

Mentor: *Doc.dr.sc. Zvonimir Šatalić*

Zagreb, 2015.

DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Preddiplomski studij Nutricionizam

Zavod za poznavanje i kontrolu sirovina i prehrambenih proizvoda

Laboratorij za znanost o prehrani

VAŽNOST ŽELJEZA ZA SPORTSKU IZVEDBU SPORTAŠICA

Mateja Skupnjak, 6519/N

Sažetak: U anemičnih osoba, nedostatak željeza često narušava ne samo sportsku izvedbu, već i imunološki sustav i dovodi do brojnih fizioloških disfunkcija. Kod sportaša, a posebno sportašica, neadekvatan nutritivni status željeza i prije pojave anemije može negativno utjecati na izvedbu. Cilj ovog rada bio je provjeriti hipotezu da je vjerojatnost nedostatnog unosa željeza veća u sportskoj populaciji, osobito u mlađih sportašica. U istraživanju je sudjelovalo 10 sportašica kuglačkog kluba Zagreb-Zabokya dobi 16-25 godina. Na temelju jednodnevnih dnevnika prehrane uz vaganje procijenjen je unos željeza te komponenti hrane koje djeluju kao inhibitori (fitati) i pojačivači apsorpcije (vitamin C). Prosječan dnevni unos željeza bio je 13,4 mg (u rasponu 4-16 mg). Za usporedbu, slična istraživanja navode unos od $10,7 \pm 2,7$ mg. Na temelju sličnih, a i ovog istraživanja, može se zaključiti da je uobičajena potrošnja hrane siromašne željezom glavni čimbenik u etiologiji nedostatka željeza među sportašicama.

Ključne riječi: nedostatak željeza, anemija, sportašice, sportska izvedba, izdržljivost

Rad sadrži: 35 stranica, 6 tablica, 107 literaturnih navoda, 2 priloga

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u: Knjižnici

Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta, Kačićeva 23, Zagreb

Mentor: Doc.dr.sc. Zvonimir Šatalić

Rad predan: rujan 2015.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Final work

University of Zagreb
Faculty of Food Technology and Biotechnology
Undergraduate studies Nutrition
Department of Food Quality Control
Laboratory for Nutrition Science

IMPORTANCE OF IRON FOR ATHLETIC PERFORMANCE AMONG FEMALE ATHLETE

Mateja Skupnjak, 6519/N

Abstract: In anaemic individuals, iron deficiency anaemia not only impairs athletic performance but also immune function and causes many other physiological dysfunctions. For athletes, especially female athletes, inadequate nutritional status of iron and before the onset of anaemia may adversely affect performance. The aim of this work was to test that the prevalence of insufficient iron intake is likely to be higher in athletic populations, especially in younger female athletes. The study included 10 female athletes bowling club in Zagreb Zaboky aged 16-25 years. Based on a food record with weighing, intake of iron and food components which are inhibitors (phytates) and absorption (vitamin C) was estimated. The mean iron intake was 13.4 mg (range was 4 to 16 mg). For comparison, previous studies reported intake among female athletes of 10.7 ± 2.7 mg. According to this and other researches this suggests that the habitual consumption of iron-poor diets is a major factor in the etiology of iron deficiency among athletes'.

Keywords: iron deficiency, anemia, female athletes, athletic performance, endurance

Thesis contains: 35 pages, 6 tables, 107 references, 2 supplements

Original in: Croatian

Final work in printed and electronic (pdf format) version is deposited in: Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, Kačićeva 23, Zagreb

Mentor: Zvonimir Šatalić, PhD, Assistant Professor

Thesis delivered: September 2015

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	3
2.1. Metabolizam željeza.....	3
2.1.1. Apsorpcija željeza	4
2.1.1.1. Prehrambeni čimbenici koji utječu na apsorpciju željeza	5
2.1.2. Važnost statusa željeza u sportašica.....	7
2.1.2.1. Biomarkeri nutritivnog statusa željeza	7
2.1.2.2. Mehanizmi koji objašnjavaju povećan rizik od nedostatka željeza	9
2.2. ŽELJEZO I IZDRŽLJIVOST SPORTAŠICA	10
2.2.1. Maksimalni aerobni kapacitet	11
2.2.2. Submaksimalni aerobni kapacitet.....	12
2.3. ANEMIJE.....	13
2.3.1. Sportska anemija	14
2.4. Terapija i prehrana sportašica s anemijom	15
2.4.1. Prehrambeni standardi.....	16
2.4.2. Konzumiranje hrane bogate željezom i izdržljivost sportašica	17
2.4.3. Suplementacija željezom.....	18
2.4.4. Svinjetina ili dodaci prehrani i nutritivni status	19
2.4.5. Preopterećenje željezom.....	20
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	21
3.1. Ispitanici	21
3.2. Metode.....	21
3.3. Rezultati	24
3.4. Rasprava	24
5. ZAKLJUČAK	27
6. LITERATURA.....	28

1. UVOD

Tjelesna aktivnost i bavljenje sportom predstavljaju preduvjet za kvalitetan i zdrav život, no profesionalno natjecanje zahtjeva mnoga odricanja i često velike napore u pomicanju granica ljudskih mogućnosti, a isto tako je potrebno razlikovati je li cilj vježbanja unaprjeđenje zdravlja i prevencija kroničnih bolesti ili unaprjeđenje rezultata u profesionalnom sportu. Uz brojne prednosti koje vježbanje pruža, pozornost se mora usmjeriti i na potencijalne kritične točke, a kad pričamo o prehrani onda je to nekoliko hranjivih tvari među kojima se kao "najkritičnije" izdvaja željezo, posebno među sportašicama, sportašima vegetarijancima, dobrovoljnim davaocima krvi i atletičarima. Učestalost anemije se procjenjuje na 3 do 5% u aktivnih žena i u < 1% aktivnih muškaraca, a nedostatak željeza bez anemije je češći, utječe na 12 do 16 % odraslih žena u premenopauzi i 2% odraslih muškaraca (Sinclair i sur., 2005), dok su ove brojke za opću populaciju ne-sportaša od 9 do 11% s nedostatkom željeza bez anemije i 2 do 5 % s anemijom (Zimmermann i Hurrell, 2007). Sportaši su izuzetno osjetljivi na posljedice koje nastaju uslijed nedostatka željeza jer su brojni fiziološki parametri, ne samo prijenos kisika do mišića, koji direktno utječu na izvedbu i rezultate, usko povezani sa statusom željeza. Maksimalna potrošnja kisika, koja ovisi o prijenosu kisika te smanjen oksidativni kapacitet mišića koji je povezan s mitohondrijskom oksidativnom fosforilacijom, su dodatni parametri koji utječu na sportsku izvedbu (Buratti i sur., 2015). Hemoglobin i mioglobin su odgovorni za transport kisika do mišićnog tkiva i bez adekvatnog statusa željeza ne mogu pravilno funkcionirati. Kod sportaša manjak hemoglobina, nastao kao posljedica nedostatka željeza, rezultira gubitkom mišićne snage i izdržljivosti. Smanjenje tjelesnih rezervi željeza ugrožava normalno odvijanje aerobnog metabolizma, nastaje mišićni umor i javljaju se grčevi. Sve to rezultira lošijim sportskim rezultatima. Upravo zbog toga sportašima se savjetuje rutinsko provjeravanje laboratorijskih parametara važnih za dijagnosticiranje anemije kao i adekvatna edukacija o prehrani bogatoj iskoristivim željezom.

Sportaši su kako bi postizali bolje rezultate oduvijek koristili dodatke prehrani koji bi im mogli poboljšati izvedbu, te u kombinaciji s pravilnom prehranom osigurali dovoljno energije za treninge i natjecanja. Trening i prehrana su usko povezani, jer intenzivniji trening povećava metaboličku, fizičku i psihičku aktivnost pa su energetske potrebe profesionalnih sportaša veće nego potrebe prosječne osobe. Tijekom kreiranja prehrane za sportaše potrebno je

obratiti pozornost na potrebe svakog sportaša, a pod potrebama smatramo povećanje njihove snage i izdržljivosti, brzinu i eksplozivnost, regeneraciju i oporavak što ovisi o sportu, spolu, dobi te prehranbenim navikama pojedinca, posebno o željezu koji je od izuzetne važnosti za stvaranje hemoglobina i mioglobina koji vežu kisik te za stvaranje enzima koji sudjeluju u metabolizmu energije.

Cilj ovog rada bio je opisati povezanost željeza i izdržljivosti u sportašica koje čine rizičnu skupinu za pojavu manjka ovog nutrijenta, opisati prehranu i eventualnu suplementaciju kako bi se osigurao optimalan nutritivni status željeza za postizanje što boljih rezultata te procijeniti pomoću dijetetičkih metoda prosječan dnevni unos željeza među sportašicama prvoligaškog ženskog kuglačkog kluba Zagreb-Zabokya.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Metabolizam željeza

Željezo je srebrno-bijeli, mekani metal, poznat tisućama godina, neophodan za brojne funkcije organizma. U zemljinoj ga kori ima oko 4,7% tako da je to jedan od najzastupljenijih minerala u prirodi. Rijetko ga nalazimo u čistom stanju. Najčešće se pojavljuje u oksidnim rudama (magnetit, hematit, limonit), sulfidnim rudama (pirit) i karbonatnim rudama (siderit) (Lovrić, 2004). U organskom obliku sudjeluje u procesima rasta i sazrijevanja stanica, staničnog disanja, enzimskih procesa, promjene transkripcije gena, sinteze proteina (hemoglobin i mioglobin) i medijatora apoptoze. S druge strane, željezo sudjeluje u nizu uvjetno destruktivnih reakcija, stvaranja toksičnih radikala, lomova DNK, odgovora akutne faze, no one su ipak finalno usmjerene na dobrobit organizma. U odraslog čovjeka nalazi ga se oko 4,5 do 6 g, no bitno je naglasiti spolne razlike u distribuciji. Žene imaju manje zalihe pohranjenog željeza u organizmu, uz nezavisan čimbenik većeg fiziološkog gubitka čime im se grupno povećava rizik za stanja deficita ovog oligoelementa (Getaldić, 2007). Dvije trećine željeza (60-75%) zastupljeno je u eritrocitima, odnosno unutar hemoglobina gdje sudjeluje u prijenosu kisika do svih stanica u tijelu. Ostalih 10% nalazi se unutar mioglobina, građivnog dijela mišića koji također osigurava zalihe kisika za aerobni metabolizam. Oko 5% je prisutno kroz razne hemoproteine, željezo-sulfatne proteine te ne-hem i ne-željezo-sulfatne spojeve. Ostatak se nalazi u drugim oblicima u jetri i koštanoj srži, enzimima prijeko potrebnim za život. Tako su citokromi prijenosnici elektrona koji sadrže željezo, a nalaze se u mitohondrijima stanica i neophodni su za unutarstaničnu oksidaciju i stvaranje energije za tijelo. Citokrom P450 u jetri i crijevima smanjuje količinu endogenih spojeva i toksina. Katalaze i peroksidaze štite tijelo od nakupljanja vodikovog peroksida tako da ga pretvaraju u vodu i kisik. Ribonukleotid reduktaza je potrebna u sintezi DNK, tako da je ovaj enzim, a s njime i željezo, neophodan za rast i razvoj tijela. Bez njega život bi prestao u roku nekoliko sekundi. Tjelesni transport željeza odvija se pomoću proteina transferina, a oko 80% ukupne izmjene odvija se na relaciji eritrocit-makrofag. Nakon prosječno 120 dana života eritrocita hemoglobin se reciklira u makrofagima (slezena i jetra) uz premještanje željeza na transferin. Iz svakog ciklusa manji dio željeza izgubi se ugradnjom u feritin koji se dalje pretvara u hemosiderin. Reciklirana sirovina se koristi uglavnom za stvaranje novih eritrocita, mali dio (oko 10%) propadne unutar koštane srži, u nedjelotvornoj eritropoezi.

2.1.1. Apsorpcija željeza

Metabolizam željeza se razlikuje od metabolizma drugih metala po tome što ne postoji fiziološki mehanizam za izlučivanje i oko 90% dnevnih potreba za željezom su dobivene iz endogenog izvora, odnosno razgradnjom cirkulirajućih eritrocita (Hurrell i Egli, 2007). Stoga je apsorpcija proporcionalna s porastom eritropoeze i ponajviše odgovara potrebi. Željezo se apsorbira u duodenumu te nešto manje u proksimalnom jejunumu. S gledišta kinetike bitna su tri koraka: apsorpcija na apikalnom polu, unutarstanična pohrana i dinamika te otpuštanje željeza na bazolateralnom polu gdje se u izvanstaničnom odjeljku veže za transferin. Iako se ovdje bavimo apsorpcijom, druga dva elementa bitna su za povratnu regulaciju apsorpcije te ukupnog stanja željeza u organizmu, a potvrda za to su pretjerano ili premaleno nakupljanje željeza u stanjima poput hemokromatoze. Čimbenici poput prehrambene dostupnosti, sastava hrane, kiselosti, te motiliteta djeluju na ukupan iznos, no ne reguliraju promjene apsorpcije koje se zbivaju na razini sluznice crijeva, već su apsorpcija i metabolizam željeza regulirani malim peptidnim hormonom hepcidinom, koji se proizvodi u jetri, a jedna od posljedica visokih razina cirkulirajućeg hepcidina je inhibicija apsorpcije željeza. Nasuprot tome, njegov inhibitorni učinak na apsorpciju željeza se smanjuje kada se smanjuje njegova razina i kada je više prehrambenog željeza apsorbirano, koje je prisutno u dva oblika: hem (Fe^{2+}) i ne-hem (Fe^{3+}) željezo. Hem željezo (fero) je vezano za proteinski kompleks-hemoglobin i mioglobin i nalazimo ga u životinjskim izvorima hrane kao što su meso, iznutrice, ribe, proizvodi ribarstva i perad, a ne-hem željezo se nalazi u obliku željeznih soli u ferri obliku u biljnoj hrani, hrani obogaćenoj željezom (kao što su žitarice za doručak) i dodacima prehrani sa željezom. Za hem željezo se procjenjuje doprinos od 10-15% od ukupnog unosa željeza u populaciji mesojeda, no zbog veće i ravnomjernije apsorpcije moglo bi doprinijeti i više od 40% od ukupnog apsorbiranog željeza (Carpenter i Mahoney, 1992). Ne-hem željezo se obično mnogo slabije apsorbira i treba se pretvoriti u topivi oblik kako bi se apsorbirao. Pojedinci s odgovarajućim tjelesnim zalihama željeza će apsorbirati manje, oko 5-15% (Hallberg i Hulthen, 2000). U ljudi s praznim zalihama željeza ili s povećanim fiziološkim potrebama (npr. pri rastu, trudnoći, dojenju ili pak kod žena generativne dobi zbog menstruacijskog gubitka) apsorpcija željeza se povećava na oko 14 do 16% (Hallberg i Hulthen, 1996).

2.1.1.1. Prehrambeni čimbenici koji utječu na apsorpciju željeza

Veliki udio prehrambenog željeza je nedostupno za apsorpciju i izlučuje se fecesom. Vitamini A i C povećavaju apsorpciju željeza, što se najviše tumači kroz redukciju feri-oblika u topljiviji fero-oblik. Nešto slabiji stimulatori apsorpcije ne-hemskog željeza su organske kiseline malat, citrat, tartarat, laktat. Važno je spomenuti da meso u prehrani, odnosno proteini iz mesa, ribe i peradi povećavaju apsorpciju i ne-hemskog željeza. Istraživanja pokazuju da je mineral bakar potreban za ugradnju željeza u crvene krvne stanice i nedostatak ovog minerala može biti uzrokom mikrocitne hipokromne anemije koja nastaje uslijed deficita željeza čak i kada u organizam unosimo dovoljno željeza.

Polifenoli, uključujući fenolne kiseline i flavonoide (npr. tanine), uglavnom ne utječu na inhibiciju apsorpcije hem željeza. Najviše ih ima u crnom čaju, kavi, kakau, crnom vinu i u mnogo povrća i nekoliko bilja i začina. Konzumiranjem čaja apsorpcija je smanjena za 60% (Rossander, 1979), a kave 35% (Hallberg i Rossander, 1982). Inhibicija apsorpcije je također povezana s dozom i inhibirana je za 30% pri niskim koncentracijama tanina od 5 mg. Čaj ima izraženiji inhibični učinak od kave, ali negativan učinak kave je dugotrajniji. Bijelo vino sadrži male količine tanina pa ima mali utjecaj na apsorpciju ne-hemskog željeza. Pijenje kave ili čaja s glavnim jelima je važan čimbenik u visokoj prevalenciji nedostatka željeza u zemljama u razvoju.

Kalcij inhibira apsorpciju i hem i ne-hemskog željeza, što ga razlikuje od drugih inhibitora koji utječu samo na apsorpciju ne-hemskog željeza, iako inhibični učinci koji se pojavljuju su slabiji nego fitata i polifenola, ali ovaj učinak je prvenstveno zbog većih unosa kod korištenja dodatka prehrani. O dozi ovisni efekti inhibicije su prikazani u dozama od 75-3000 mg kada se kalcij doda u kruh i od 165 mg kalcija iz mliječnih proizvoda. Slab sveukupni učinak kalcija na apsorpciju željeza iz cjelokupnog unosa ne opravdava izbjegavanje mlijeka i mliječnih proizvoda s hranom bogatom željezom u svakom obroku.

Peptidi iz djelomično probavljenih proteina mogu bilo inhibirati ili pojačati apsorpciju hem željeza, ovisno o njihovom izvoru. Oni izvedeni iz proteina mahunarki su inhibitori i vežu željezo u crijevu, a peptidi iz životinjskih proteina čini se pojačavaju apsorpciju, uz iznimku kalcija iz mliječnih proizvoda.

Mnoge tvari u biljnoj hrani poput fitata i polifenola koje nalazimo u nekom voću i povrću te čaju, vinu, leći, drugim mahunarkama, začinskom bilju znatno smanjuju apsorpciju. Tako 5 do 10 g fitatne kiseline može smanjiti apsorpciju željeza iz povrća za čak 50%. Također ga umanjuju žitarice, prehrambena vlakna, orašasto voće, proteini soje koji smanjuju apsorpciju

željeza neovisno od djelovanja fitata koji se u soji nalaze. Zbog toga se preparate željeza preporučuje konzumirati odvojeno od fitata i sojinih proteina. Željezo se također preporuča koristiti odvojeno od minerala kalcija i fosfata jer smanjuju njegovu apsorpciju, vjerovatno zbog stvaranja manje topljivih makromolekula (Anand i Seshadri, 1995). U pretežno biljnoj prehrani, fitati mogu spriječiti apsorpciju željeza od 50 do 80%. Iako vlakna sama ne inhibiraju apsorpciju željeza (Brune i sur., 1992), hrana bogata vlaknima bogata je i fitatima. Žitarice s puno mekinja mogu imati više od 3000 mg fitata na 100 g žitarica u odnosu na kukuruzne pahuljice, koji imaju oko 70 mg fitata na 100 g žitarica (Harland i Oberleas, 1987). Povrće i voće su siromašni fitatima, ali čak i male koncentracije od 2 do 10 mg po obroku imaju negativan učinak na apsorpciju (Hallberg i sur., 1989; Hurrell i sur., 1992). Prerada hrane i metode pripreme, koje uključuju mljevenje, toplinsku obradu i fermentaciju degradiraju fitate, a dodatak egzogene fitaze uz obrok ili tijekom prerade hrane značajno povećava biodostupnost preostalog željeza.

U tablici 1 prikazan je dnevni unos fitata među vegetarijancima.

Tablica 1. Unos fitata među hrvatskim vegetarijancima (Hađži-Boškov, 2012)

Izvor fitata	Unos fitata (mg)
Žitarice	657,9 ± 476,4
Mahunarke	602,3 ± 647,9
<i>-od toga soja i sojini proizvodi</i>	299,9 ± 388,7
Orašasto voće	487,1 ± 882,0
Sjemenke	132,3 ± 285,9
Ukupno	1879,6 ± 1255,5

Dostatna količina pojačivača apsorpcije kao što su vitamini A i C, neka kisela hrana, alkohol, peptidi u mesu, mora biti prisutna za poboljšanje učinka. Količine od 500 mg askorbinske kiseline su potrebne kako bi poništile inhibicijski učinak hrane s visokim sadržajem fitata i polifenola, a količina od 50g mesa može povećati apsorpciju ne-hemskog željeza iz obroka s puno fitata (200 mg) i niskom razinom askorbinske kiseline (Baech i sur., 2003).

2.1.2. Važnost statusa željeza u sportašica

Željezo je ključno za optimalnu sportsku izvedbu zbog njegove uloge u metabolizmu energije, transportu kisika i acidobazne ravnoteže. Ono ima snažnu funkcionalnu ulogu u oslobađanju energije potrebne za podršku aerobne izdržljivosti. Dakle, povećane potrebe za kisikom kao pri napornom vježbanju imaju utjecaj na sportsku izvedbu. Mnogi organi pokazuju morfološke, fiziološke i biokemijske promjene s nedostatkom željeza na način koji se odnosi na promet esencijalnih proteina koji sadržavaju željezo. Ponekad se to dogodi čak i prije nego što nastane značajan pad u koncentraciji hemoglobina (Dallman, 1986). Jasne posljedice nedostatka željeza su smanjen kapacitet prijenosa kisika i duže vrijeme za uklanjanje ugljikovog dioksida zbog smanjene koncentracije hemoglobina, smanjen broj crvenih krvnih stanica što rezultira povećanim opterećenjem za srce, smanjen broj enzima koji sadrže energiju i koji su uključeni u proizvodnju energije te povećana razina mliječne kiseline. Sve to dovodi do smanjene sposobnosti sportske izvedbe tijekom vježbi visokog intenziteta smanjenjem maksimalne potrošnje kisika (VO_2max). Status željeza može utjecati i na zdravstveno stanje neovisno o njegovoj ulozi u proizvodnji energije jer je potrebno i za metabolizam hormona štitnjače (Bothwell i sur., 1979), za funkcije živčanog sustava (Beard & Connor, 2003) te za održavanje imunološkog sustava (Beard, 2001), a ima i učinak na umor, koncentraciju i povećan rizik od ozljeda. Kao i pri manjku, i višak željeza može dovesti do oštećenja tkiva i oslabljenog imunološkog sustava (Reddy i Clarke, 2004; Gleeson i sur. 2001) jer djeluje kao katalizator za stvaranje slobodnih radikala kisika koji napadaju stanične membrane, proteine i DNK.

2.1.2.1. Biomarkeri nutritivnog statusa željeza

Feritin u serumu je mjera ispražnjenih rezervi željeza budući da je njegova koncentracija u krvi proporcionalna koncentraciji feritina pohranjenom u jetri (Cook i Finch, 1979). Receptori serumskog transferina (sTfR) su mjera funkcionalnog manjka (Punnonen i sur., 1997), a koncentracija hemoglobina se koristi za otkrivanje anemije (Skikne i sur., 1990) zajedno s procjenom volumena i izgleda eritrocita. Otkriće malog peptidnog hormona hepcidina, regulatora metabolizma željeza, njegovo mjerenje u plazmi i urinu, može biti korisno u diferencijalnoj dijagnostici statusa željeza u sportaša (Ganz, 2005). Dominantan je

regulator crijevne apsorpcije željeza te modulira apsorpciju kako bi se zadovoljile potrebe, a spriječila akumulacija željeza do toksičnih koncentracija (Knutson, 2010). Željezo se pohranjuje kao molekularni kompleks nazvan feritin i hemosiderin, djelomično degradirani oblik feritina. Feritin cirkulira u krvi u malim koncentracijama od 15 do 30 $\mu\text{g/L}$ u odraslih (Worwood, 1991). Kako se povećava pohrana željeza povećava se i razina feritina zbog čega je on najbolji pokazatelj statusa željeza u odraslih i sportaša (Handelman i Levin, 2008). Ispražnjenja zalihe željeza se dijagnosticira kada je koncentracija serumskog feritina $< 12 \text{ ng/ml}$ i hemoglobina $\geq 12 \text{ g/dl}$, anemija s nedostatkom željeza kada je razina serumskog feritina $< 12 \text{ ng/ml}$ i hemoglobina $< 12 \text{ g/dl}$ (Cook i Finch, 1979; Cook i Skikne, 1989). Latentni nedostatak željeza je stanje smanjenih zaliha željeza bez anemije. Kod pojedinaca, napredak tog stanja se pokazao kroz dvije dobro definirane faze: u ranoj fazi nedostatka željeza u kojem se smanjila razina feritina što je samo biokemijska manifestacija te u kasnoj fazi nedostatka željeza, u kojoj je, uz nisku razinu feritina u serumu povišena razina transferin receptora (Suominen i sur., 1998). Kada se željezo unosi u maloj količini, postoji kompenzacijski rast u izrazu transferin receptora na eritroidnim stanicama. Kako se on djelomično otpušta u krv, raste njegova koncentracija u serumu i označava početak anemične eritropoeze koja je kasnija faza latentnog nedostatka željeza (Beutler i sur., 2003).

Hematološki čimbenici uključeni u prijenos željeza u krvotoku su transferin, serumsko željezo i haptoglobin. Kombinacija zasićenja transferinom i sTfR te indeks sTfR/log SF mogu biti korisniji kako bi se utvrdio nedostatak željeza u ranoj fazi nego koncentracija željeza u serumu i serumskog transferina (Cook i sur., 2003). Omjer veći od 1,8 je pokazatelj iscrpljenih zaliha željeza, a omjer veći od 2,2 sugerira eritropoezu s nedostatkom željeza. Zbog velikih varijabilnosti iz dana u dan u omjeru za populaciju sportaša značajne su samo promjene veće od 0,4. Fiziološka funkcija transferinskog receptora, transmembranskog dimernog glikoproteina, je unos željeza u stanicu mehanizmom endocitoze posredovane receptorom. Svaka podjedinica može vezati jednu molekulu transferina, a jedna molekula transferina može vezati dva atoma trovalentnog željeza, tako da transferinski receptor tijekom jednog endocitoznog ciklusa može unijeti u stanicu četiri atoma željeza. Najveći izražaj transferinskog receptora je na membranama stanica koje brzo proliferiraju i imaju velike potrebe za željezom, kao što su razvojni oblici stanica eritropoeze kojima je željezo, osim za metaboličke potrebe, potrebno za sintezu hema. Topljivi serumski transferinski receptor (sTfR) nastaje proteolitičkim cijepanjem citoplazmatskog i transmembranskog dijela intaktnog transferinskog receptora.

Krvni testovi su osjetljivi na promjene fizioloških i patoloških stanja koja mogu dovesti do krivog tumačenja, posebno kod hipohidracije koja može uzrokovati povećanje volumena krvi što je nemoguće kontrolirati. Međutim, uporaba nekoliko biomarkera statusa željeza umanjuje potencijalno nerazumijevanje učinka promjena u volumenu plazme na status željeza. Također, tijekom dužeg aerobnog treninga može doći do pada razina hematoloških parametara, osim SF i hepcidina (Schumacher i sur., 2002), stoga je potreban oprez pri interpretaciji laboratorijskih mjera statusa željeza posebno jer mjere statusa željeza ispod referentnog raspona mogu predstavljati adekvatan status, osobito u adolescenata, a usko je povezan i s razdobljem sazrijevanja, indeksom tjelesne mase, genetskim čimbenicima i tjelesnom aktivnosti (Rossander-Hulten i Hallberg, 1996).

2.1.2.2. Mehanizmi koji objašnjavaju povećan rizik od nedostatka željeza

Sportaši, osobito žene i mladi, imaju povećan rizik od nedostatka željeza obično zbog neadekvatnog unosa željeza ili slabe apsorpcije iz prehrane. Povećane potrebe za željezom povezane su s tjelesnim naporima što povećava gubitke znojenjem, urinom (hematurija tj. pojava krvi u urinu zbog oštećenja bubrega zbog npr. manjka kisika, povećanog tlaka u bubrezima, povećane tjelesne temperature, dehidracije), gastrointestinalnim traktom (zbog npr. mehaničke traume uzrokovane tjelesnom aktivnosti) (Hinton, 2014). Također, uzroci gubitaka željeza kod sportaša mogu biti propadanje eritrocita, ozljede povezane s gubitkom krvi te hemoliza koja se uočava u trkača, a uzrokuje ju i trčanje i skakanje zbog mehaničkog oštećenja kapilara u tabanima (Miller i sur., 1988). Gubitci znojenjem su zabilježeni u većoj mjeri u ženskih trkačica nego u trkača (Lamanca i sur., 1988). Prag od 20 µg/L za apsolutni nedostatak željeza je prihvaćen u prethodnim istraživanjima na sportašima (Di Santolo i sur., 2008; Malczewska i sur., 2000; Deruisseau i sur., 2004).

Zatim, sportašice imaju veće potrebe zbog gubitaka krvi tijekom menstrualnih ciklusa, tijekom trudnoće ili dojenja. Djeca i adolescenti sportaši, osobito tijekom razdoblja brzog rasta, imaju povećane potrebe zbog povećanja volumena krvi koje je pod utjecajem tjelesne aktivnosti.

Neadekvatan unos željeza kod sportaša je povezan s niskim energetske unosom kako bi kontrolirali tjelesnu masu ili održali nemasnu masu (Clement i sur., 1984), slijedenjem

vegetarijanske prehrane (Snyder i sur. 1989), konzumiranjem neprerađene, neobrađene i organske prirodne hrane najčešće biljnog podrijetla koja osigurava manje iskoristivo ne-hem željezo.

Istraživanja pokazuju na to da kronično povišene razine hepcidina uočene u sportaša kod kojih je važna izdržljivosti, mogu dovesti do nedostatka željeza (Roecker i suradnici, 2005). Zbog nekoliko fizioloških aktivatora ekspresije hepcidina kao što su upale, hipoksija, kronične infekcije, intenzivna tjelesna aktivnost, vrlo je vjerovatno da će se hepcidin lučiti i u postupcima izvan akutne faze (Nemeth i sur., 2004). Njegova visoka razina inhibira apsorpciju željeza, a stvaranje hepcidina je smanjeno kod povećanih potreba za željezom. Održavanje funkcionalnih zaliha i statusa željeza (odnosno proteina koji sadržavaju željezo) određeno je ravnotežom između crijevne apsorpcije željeza iz hrane, gubitcima željeza i reciklažom željeza puštenog iz eritrocita što omogućuje njegovo čuvanje u organizmu.

2.2. ŽELJEZO I IZDRŽLJIVOST SPORTAŠICA

Visoka prevalencija nedostatka željeza kod sportaša kojima je bitna izdržljivost može se pripisati čimbenicima u koje spadaju neadekvatan unos prehrambenog željeza, tjelesna aktivnost koja je povezana s povećanim gubitcima željeza, upalom i otpuštanjem hepcidina (koji ima ključnu ulogu u nastanku anemije kronične bolesti jer doprinosi usporenom transportu željeza iz makrofaga u transferin, slabi odgovor eritroblasta na eritropoetin i skraćuje životni vijek eritrocita u cirkulaciji) te smanjeno recikliranje. Željezo je važno za izdržljivost sportaša, ne samo zbog metaboličkih puteva ovisnih o željezu koji imaju utjecaj na sportsku izvedbu, već i zbog spomenute učestalosti nedostatka željeza s ili bez anemije među sportašima, a posebno sportašicama (Clement i sur., 1987; Rowland i sur., 1987; Nachtigall i sur., 1996; Constantini i sur., 2000; Malczewska i sur., 2001; Spodaryk, 2002; Dubnov i Constatini, 2004; Sinclair i Hinton, 2005; Fallon, 2008; Woolf i sur., 2009; DellaValle i Haas, 2011). Nekoliko poznatih posljedica nedostatka željeza koje se javljaju nakon iscrpljivanja zaliha željeza su pad koncentracije hemoglobina i mioglobina, smanjenje veličine i volumena crvenih krvnih stanica te smanjena količina željezo-sumpornih i hem citokroma koji sadrže željezo unutar stanica. Brojna istraživanja provedena na ženskoj populaciji sportašica u odnosu na neaktivne žene pokazuju smanjenje koncentracije

serumskog feritina (Tobin i Beard, 1996). Međutim, ono što ta istraživanja ne pokazuju je klinički subnormalna ili smanjena koncentracija serumskog feritina istodobno s dokazanim funkcionalnim posljedicama u odsutnosti anemije što bi značilo da pad u koncentraciji feritina nije štetan za sportsku izvedbu i može se spriječiti jednostavnim promjenama u prehrani. Hemoglobin i mioglobin vežu kisik pomoću porfirinskog prstena hema. Hemoglobin u crvenim krvnim stanicama prenosi kisik iz pluća u skeletne mišiće, a mioglobin prenosi kisik iz eritrocita u mišićne stanice. Lanac prijenosa elektrona, što je posljednji korak u sintezi ATP-a, ovisi o citokromima koji sadrže hem (a, a₃, b, b₅, c, c₁) i ne-hem željezo-sumpornih enzima (NADH dehidrogenaza, sukcinat dehidrogenaza i ubikinon-citokrom c reduktaza) (Beard i Tobin, 2000). Ono što je zanimljivo, međutim, je da, iako ne-hem željezo povezano sa enzimskim sustavom čini samo 1% ukupnog željeza u tijelu, veliki nedostatak ovih enzima može imati štetne učinke na sportsku izvedbu. Dakle, nedostatak željeza narušava sintezu ATP-a, pridonosi padu mišićnog aerobnog kapaciteta (Dallman, 1986; Dallman, 1982) te povećava oslanjanje na anaerobni metabolizam glukoze za proizvodnju ATP-a, smanjujući izdržljivost sportaša.

2.2.1. Maksimalni aerobni kapacitet

Najčešće korištena mjera aerobnog fitnesa je maksimalni primitak kisika (VO₂max). VO₂max je mjera mogućnosti mišića da troše kisik odnosno mogućnosti kardiovaskularnog i respiratornog sustava da isporuče kisik mitohondrijima u mišićima. Istraživanja pokazuju da se maksimalni primitak kisika određuje prvenstveno prema kapacitetu prijenosa kisika u krvi i time je u korelaciji sa stupnjem anemije. Utjecaj statusa željeza je pokazan usporedbom anemičnih životinja i ljudi s onima koji imaju normalan status željeza. Kod životinja s eksperimentalno izazvanim nedostatkom željeza je dokazan smanjen maksimalni primitak kisika (Davies i sur., 1982), a one s najtežom anemijom, odnosno najnižom koncentracijom hemoglobina imale su najniži VO₂max (Perkkio i sur., 1985). Ljudi s eksperimentalno izazvanom anemijom također pokazuju smanjenje VO₂max, što je proporcionalno s koncentracijom hemoglobina (Woodson i sur., 1978; Celsing i sur., 1986). Dodatni dokaz da status željeza utječe na maksimalni aerobni kapacitet dolazi iz istraživanja u kojima su korišteni suplementi željeza u anemičnih pojedinaca te mjeren aerobni kapacitet prije i nakon uzimanja suplemenata, gdje se željezo vratilo u normalno stanje. Piruvat i malat oksidaze su

zmanjene za 35% od normalne koncentracije u anemičnih osoba, a nakon 10 dana korištenja suplemenata koncentracije su poboljšane za 85% od normalne. Važno je napomenuti da suplementacija željezom kod ispitanika s nedostatkom željeza bez anemije (tj. normalnom koncentracijom hemoglobina) ne poboljšava VO_{2max} (Rowland i sur., 1988; Newhouse i sur., 1989; Klingshirn i sur., 1992; Zhu i Haas, 1998). Kao primarna odrednica VO_{2max} je adekvatna opskrba kisikom.

2.2.2. Submaksimalni aerobni kapacitet

Submaksimalni aerobni kapacitet je definiran kao sposobnost da se održi submaksimalna aktivnost do iscrpljenosti, a njegovo smanjenje se zapravo prevodi kao smanjenje izdržljivosti. Kako bi se pokazao utjecaj statusa željeza u aerobnom metabolizmu tijekom submaksimalne aktivnosti, životinjama s eksperimentalno izazvanom anemijom su davani eritrociti kako bi se normalizirala koncentracija hemoglobina, dok su se koncentracije proteina koji sadrže željezo i dalje smanjivale. Normalizacija hemoglobina vraća VO_{2max} u normalno stanje (80-90 ml/kg/min za utrenirane sportaše izdržljivosti), ali izdržljivost tijekom submaksimalne aerobne aktivnosti ostaje umanjena (Finch i sur., 1976). Rezultati u istraživanjima sa suplementima željeza kod žena čije su zalihe iscrpljene, ali nisu anemične, također ukazuju da željezo utječe na aerobni metabolizam tijekom submaksimalnog vježbanja (Rowland i sur., 1988). Točno mjerenje izdržljivosti kod ljudi je teško jer sudionici moraju vježbati dulje vrijeme kako bi se postigla iscrpljenost i izvedba u velikoj mjeri ovisi o motivaciji sudionika. Istraživanja pokazuju kako suplementi željeza mogu smanjiti potrošnju energije i djelomičnog korištenja maksimalnog primitka kisika u žena s nedostatkom željeza, ali bez anemije (Zhu i Hass, 1998). Isto tako, unos suplemenata željeza tijekom četiri tjedna aerobnog vježbanja rezultirao je poboljšanjima u izdržljivosti u usporedbi s placebo skupinom žena s nedostatkom željeza, ali bez anemije (Hinton i sur., 2000). Učinak suplementacije željezom bio je veći u ispitanica s najvećim potencijalom odgovora, odnosno povećanim potrebama tkiva za željezom (serumski transferin, sTfR > 8.0 mg/L) (Brownlie i sur., 2004). Istraživanja u kojima je korišten protokol progresivnog zamora mišića za procjenu submaksimalne aerobne sposobnosti otkriveno je da se suplementacijom željezom upotpunila oslabljena pojava umora u žena s nedostatkom željeza, ali bez anemije (Brutsaert i sur., 2003).

2.3. ANEMIJE

Anemija ili slabokrvnost (doslovno značenje beskrvnost) je smanjen broj eritrocita i/ili hemoglobina (<120g/L) u volumnoj jedinici krvi ispitanika uz vrijednost hematokrita HTC manju od 0,37. Prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji (WHO), kriterij anemija u ljudi koji žive u razini mora je za muškarce starije od 14 godina $Hb < 130\text{g/L}$, a za žene $Hb < 120\text{g/L}$. Anemiju uzrokuju tri osnovna patogenetska mehanizma: hipoproliferacija u koštanoj srži – smanjeno stvaranje eritrocita u eritronu, poremećaji sazrijevanja – maturacije eritrocita (jezgre i/ili citoplazme), skraćanja životnog vijeka eritrocita u cirkulaciji zbog preranog raspada stanice ili krvarenja – sekvestracije iz krvotoka. Na osnovi patogenetskih mehanizama stvorena je klinički najčešće korištena klasifikacija na hipoproliferacijske anemije, u koje se ubrajaju urođena i stečena oštećenja koštane srži, anemije uzrokovane poremećajem sazrijevanja (manjak željeza, folata, vitamina B₁₂, talasemija, sideropenična anemija), te anemije uzrokovane skraćenim životom eritrocita (zbog hemolize i krvarenja). Prema drugoj klasifikaciji anemije se po eritrocitnim indeksima dijele na makrocitne, normocitne i mikrocitne, a prema sadržaju hemoglobina MCH i MCHC na hiperkromne, normokromne i hipokromne. Kod hipokromne mikrocitičke anemije tijelo pokušava nadoknaditi smanjen kapacitet prenošenja kisika proizvodnjom novih eritrocita velikom brzinom. Pod mikroskopom oni se pojavljuju kao mali (jer su nezreli) i vrlo blijedi (zbog nedostatka hemoglobina). Anemija uzrokovana nedostatkom željeza može se razlikovati od ostalih prehrambenih anemija upravo na temelju izgleda eritrocita.

Anemije su najčešći poremećaji krvi, a u svijetu je najčešća sideropenična anemija. Smanjenje rezervi željeza naprije uzrokuje latentnu sideropeniju (smanjenje željeza u siderofagima u koštanoj srži, uredna koncentracija željeza u perifernoj krvi), potom manifestnu sideropeniju (prazne rezerve i nisko serumsko željezo, nizak feritin gdje se javlja i sideropenična anemija). Uzroci manjka krvi su manifestan ili okultan gubitak krvi, povećane potrebe za željezom tijekom trudnoće, dojenja i rasta ili smanjena apsorpcija (parcijalna gastrektomija, malapsorpcija). Najčešći razlog gubitka krvi u žena generativne dobi je hipermenoreja, a u oba spola ozljede probavnog sustava.

Hemolitičke anemije nastaju lizom, tj. raspadom eritrocita i skraćenjem njihova životnog vijeka zbog manjka energije što uzrokuje pukotine u mreži spektrina i aktina, smanjenu fleksibilnost te rupturu eritrocita u sinusoidama slezene.

Trening izdržljivosti može uzrokovati povećanje volumena plazme koje bi moglo biti veće od povećanja broja eritrocita, što može dovesti do naizgled niske koncentracije hemoglobina i to ne odražava stvarni gubitak krvi (Friedmann i sur., 2001; Weight i sur., 1991). Taj fenomen se naziva sportska anemija.

2.3.1. Sportska anemija

Sportska anemija se kod sportaša ne smatra pravim nedostatkom željeza. Ona je prolazno smanjenje vrijednosti serumskog feritina i hemoglobina te se javlja u početnim fazama treninga zbog njihovog razrjeđenja zbog povećanja volumena krvi i nema negativan utjecaj na izvedbu već predstavlja korisnu adaptaciju na aerobni trening. Mehanizam nije u potpunosti razumljiv, ali se smatra da se sastoji od niza pridonosećih čimbenika kao što su diluciona pseudoanemija (tzv. lažna anemija), gubitak željeza i intravaskularna mehanička hemoliza (Chatard i sur., 1999; Radomski i sur., 1980; Shaskey i Gren, 2000).

Anemija s nedostatkom željeza razlikuje se od sportske anemije po tome što nema dovoljno željeza u koštanoj srži za održavanje neprekidne proizvodnje hemoglobina. Također, za razliku od sportske anemije, stanje anemije s nedostatkom željeza se poboljšava povećanjem unosa željeza prehranom i suplementacijom što znači da se uzimanjem dodataka prehrani s željezom ne popravljaju hematološki parametri (Hegenauer i sur., 1983; Magnusson i sur., 1984). Prethodna istraživanja su pokazala da se unosom dodataka može povećati koncentracija serumskog feritina, ali bez povećanja koncentracije hemoglobina (Garza i sur., 1997). Treba napomenuti da intenzivna tjelesna aktivnost obično dovodi do razvoja sportske anemije. Nasuprot tome, redovita i umjerena tjelesna aktivnost može biti obećavajuća, sigurna i ekonomična metoda za poboljšanje tjelesnog statusa željeza.

Patogeneza sportske anemije koja je usko povezana s poremećajima metabolizma željeza koji dovodi do smanjenja apsorpcije željeza u tankom crijevu i pohrane željeza u jetri je nepoznata, a veće sveobuhvatno razumijevanje mehanizma metabolizma željeza tijekom tjelesne aktivnosti može proširiti načine liječenja i prevencije sportske anemije.

2.4. Terapija i prehrana sportašica s anemijom

Kako bi se utvrdilo mogu li prehrambeni nedostatci objasniti suboptimalno stanje željeza široko prisutno u sportaša kojima je bitna izdržljivost, u jednom istraživanju, analiziran je unos hrane kod trčaka s manjkom željeza i kod trkača sa normalnim statusom željeza te kod kontrolne skupine oba spola koji se ne bave tjelesnom aktivnošću (Lindsay i sur., 1992). Muški ispitanici su imali unos željeza veći od RDA > 10 mg / dan, ali su za razliku od ženskih ispitanika konzumirali manje hem željeza. Ženski ispitanici nisu zadovoljili RDA vrijednosti za željezo (< 15 mg / dan) i folat (< 200 μ g / dan) što pokazuje da je uobičajena potrošnja hrane siromašne željezom glavni čimbenik u etiologiji nedostatka željeza. Stoga bi se primarna prevencija nedostatka željeza kod sportaša kojima je važna izdržljivost trebala usredotočiti na prehrambene strategije povećanjem potrošnje hrane bogate željezom i namirnicama koje povećavaju apsorpciju željeza. Zbog količine željeza u prehrani od samo 6 mg na 1000 kcal, postizanje preporučenog unosa željeza (18 mg / dan) samo kroz prehranu je teško za većinu žena koje bi trebale unositi 3000 kcal kako bi osigurale 18 mg željeza, a takav unos energije prelazi njihove potrebe i/ili stvarni unos mnogih sportašica. Dakle, ostvarivanje preporučene nutritivne gustoće željeza u prehrani je izazovno. Iako se apsorpcija željeza povećava u osoba s nedostatkom željeza, količina apsorbiranog željeza nije dovoljna kako bi se omogućio brz oporavak osobito u sportaša s povećanim potrebama i gubitcima. U takvim situacijama, posebno kod sportašica s dijagnozom anemije i serumskog feritina < 20 ng/mL te sportaša vegetarijanaca, potpuni oporavak bi mogao potrajati 2 do 3 godine samo uz prehranu, pa su potrebni dodaci prehrani koji sadrže željezo (Pitsis i sur., 2004) uz stalno praćenje koncentracija serumskog feritina i hemoglobina. Anemija koja ne reagira na liječenje dodacima željeza može biti posljedica nedostatka vitamina B skupine, odnosno nedostatka folata pa i na to treba obratiti pozornost.

Dakle, praćenje unosa prehrambenog željeza, procjena drugih prehrambenih i životnih navika koje utječu na unos hrane i apsorpciju željeza, konzumacija preporučene količine dodataka prehrani s željezom i edukacija o tome kako povećati prehrambeni unos željeza, trebali bi biti prva linija djelovanja u prevenciji nedostatka željeza.

2.4.1. Prehrambeni standardi

Prehrambene preporuke za željezo se temelje na održavanju ravnoteže između bazalnih i menstrualnih gubitaka željeza i promjenjivih potreba za željezo tijekom normalnog životnog ciklusa koje su povezane s razdobljima rasta i razvoja tijekom trudnoće, djetinjstva i adolescencije. Preporučena dnevna količina (RDA) željeza za sve dobne skupine muškaraca i žena u postmenopauzi je 8 mg / dan; RDA za žene u premenopauzi je 18 mg / dan zbog menstrualnih gubitaka. Nasuprot tome, vegetarijanstvo povećava potrebe za željezo. Pretpostavlja se da je apsorpcija željeza oko 10%, a ne 18% kako bi se zadovoljio RDA (Institute of Medicine, 2001). Umjeren prehrambeni unos željeza je oko 16-18 mg / dan za muškarce i 12 mg / dan za žene. Gornja granica unosa (UL) za odrasle je 45 mg / dan željeza i temelji se na gastrointestinalnim smetnjama kao nepovoljnim učinkom. U istraživanjima brojnih znanstvenih radova prikazan je neadekvatan dnevni unos željeza među populacijom sportaša (Clarkson i Haymes, 1995; Raunikaar i Sabio, 1992; Weaver i Rajaram, 1992). Dnevni gubici željeza kod sportaša su procijenjeni na 1,5-1,7 mg željeza / dan za muškarce i 2,2-2,3 mg željeza / dan za žene (Haymes i Lamanca, 1989). Bazalni gubici se procjenjuju na 0,9-1,0 mg / dan za muškarce i 0,7-0,8 mg / dan za žene (Bothwell, 1996). Unos od 17,5 mg / dan željeza za muškarce i 23 mg / dan za žene, je preporučen kako bi se zadovoljio unos u odnosu na navedene gubitke.

Procijenjene prosječne potrebe (EAR) se smatraju najboljima za procjenu individualnih potreba pojedinca za željezo, a na njih utječu korištenje kontracepcije, vegetarijanstvo i intenzivna tjelesna aktivnost. U kombinaciji s preporučenim dnevnim unosom (DRI) EAR su mjerilo adekvatnog ili neadekvatnog unosa pojedinog sportaša (Food & Nutrition Board, 2000b; Murphy i Poos, 2002). Food and Nutrition Board ujedno predlaže da je EAR za željezo 1,3-1,7 puta veći od normalne EAR vrijednosti za sportaše i 1,8 puta veći za sportaše vegetarijance zbog niske bioraspoloživosti željeza.

2.4.2. Konzumiranje hrane bogate željezom i izdržljivost sportašica

Adekvatan status željeza među rizičnim skupinama, a posebno među ženama, prvenstveno se preporuča postići cjelovitom hranom koja je superioran izvor željeza, kao što je npr. meso, u količinama koje su u skladu s preporukama za pravilnu prehranu (Lyle i sur., 1992) te se preporuča uvrstiti ga u glavna jela 3 do 4 puta tjedno kao i u obroke s visokim udjelom ugljikohidrata (npr. s tjesteninom ili rižom). Crveno meso, uključujući govedinu, teletinu, janjetinu, ima veći sadržaj željeza nego piletina i proizvodi ribarstva. Boja mesa određuje u velikoj mjeri sadržaj željeza jer što je meso crvenije znači da ima više mioglobina, a time i više željeza.

Zatim, konzumiranje žitarica obogaćenih željezom i žitarica za doručak, sjemenki, mahunarki, orašastog voća, soje, prevladavajućih namirnica vegetarijanske prehrane, posebno je važno. Zbog visokog sadržaja ugljikohidrata koje navedene namirnice sadrže, pa tako i visokog sadržaja inhibitora apsorpcije, tj. fitata, korisne su kombinacije hrane koje će poboljšati iskoristivost željeza. Korisna je i zamjena kruha s kruhom obogaćenim željezom, što se i pokazalo istraživanjem s trkačicama, koja je rezultirala poboljšanoj opskrbi tkiva željezom (Alaunyte i sur., 2014). Čaša soka od naranče koja sadrži 100 mg vitamina C (Hallberg i Rossander, 1982a) ili oko 50 g mesa (Beach i sur., 2003) povećavaju apsorpciju ne-hem željeza za 85%. Doza vitamina C > 500 mg je potrebna da bi se poništio inhibitorski učinak fitata i polifenola (Hallberg i sur., 1986, 1989), a izvrsni izvori su citrusi, voćni sokovi, kivi, jagode, brokula, cvjetača, kupus, peršin i drugi. Povoljan učinak vitamina C na apsorpciju je izraženiji kod pojedinačnog obroka nego za cjelokupnu prehranu (Cook i Reddy, 2001) pa se preporuča 50 mg vitamina C u sklopu glavnih dnevnih obroka. Sportašice s nedostatkom željeza bi trebale ograničiti unos mekinja i pšeničnih klica te čaj, kavu, čokoladu i crno vino konzumirati zasebno, a ne kao dio obroka. Sušeno voće, kukuruz, zeleno lisnato povrće (brokula, blitva, špinat) su također izvrstan izvor željeza s niskim sadržajem fitata i time visokom bioraspoloživosti. Neke energetske pločice obogaćene željezom mogu imati značajan doprinos ukupnom unosu željeza.

2.4.3. Suplementacija željezom

Kod sportaša čije su zalihe željeza iscrpljene, hrana bogata željezom nije dovoljna za brzo vraćanje razine željeza u normalno stanje. Dodaci prehrani koji sadrže elementarno željezo u dozama od 80-100 mg / dan kroz tri mjeseca su neophodni za potpuni oporavak sportaša kojima je dijagnosticirana anemija s nedostatkom željeza ($\text{Hgb} < 12 \text{ g} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$, $\text{sFer} < 12 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$). Nisku bioraspoloživost imaju i dodaci pa se preporučuje konzumiranje hrane bogate vitaminom C ili dodaci prehrani koji ga sadrže zajedno s dodacima željeza kako bi se apsorpcija poboljšala. Svaka vrsta dodatka varira ovisno o iznosu elementarnog željeza (ono koje je dostupno za apsorpciju) pa tako npr. željezo-sulfat (FeSO_4) sadrži 20% elementarnog željeza što je blizu RDA vrijednosti od 18 mg. Željezo-fumerat sadrži 33%, a glukonat 12% elementarnog željeza. Fero oblik željeza u obliku dodataka ima bolju bioraspoloživost od feri oblika i često se dobro podnosi. Ako se dodaci uzimaju na prazan želudac, mogu se pojaviti gastrointestinalne smetnje, zatvor, nelagoda u trbuhu, mučnina i povećan rizik od infekcija. U istraživanju koje je provedeno od strane Australian Sports Commission i u kojem je sudjelovalo 658 sportaša koji se bave timskim sportovima, dokumentirano je redovito korištenje dodataka prehrani sa željezom u 70% ispitanika u različitim sportovima (Australian Sports Commission, 1983). U drugom istraživanju, kod 30% vrhunskih plivača (Baylis i sur., 2001) i 89% profesionalnih biciklista (Deugnier i sur., 2002) također je dokumentiran unos dodataka željeza. Pojedinci s normalnim statusom željeza ($\text{Hgb} > 12$ do $13 \text{ g} \cdot \text{dL}^{-1}$, $\text{sFer} > 30 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) vjerovatno neće imati koristi do dodataka. No, u velikom broju istraživanja kod sportašica (veslačica, odbojkašica) i vojnkinja s anemijom i nedostatkom željeza bez anemije dokazan je povoljan učinak na status željeza, sportsku izvedbu i kognitivne sposobnosti konzumiranjem oralnog dodatka prehrani sa željezom u dozama od $100 \text{ mg FeSO}_4 \cdot \text{d}^{-1}$ (DellaValle, 2013; DellaValle i Haas, 2014; Hinton i Sinclair, 2007; McClung i sur, 2009; Mielgo-Ayuso i sur., 2015; Pasricha i sur., 2014). Važno je napomenuti i da se dodaci ne bi smjeli koristiti bez liječničkog nadzora zbog mogućnosti izazivanja nedostatka drugih minerala u tragovima, kao što su bakar i cink, visok unos može uzrokovati preopterećenje u nekih ljudi. Iz tog razloga dodatke treba uzimati kratkoročno te prekinuti s uzimanjem kada pokazatelji statusa željeza budu u uobičajenim ili referentnim vrijednostima.

2.4.4. Svinjetina ili dodaci prehrani i nutritivni status

U istraživanju provedenom na mladim ženama koje su bile podijeljene na kontrolnu skupinu, skupinu koja je konzumirala svinjsko meso i onu koja je koristila dodatke prehrani sa željezom, prikazan je utjecaj konzumacije svinjskog mesa i dodataka prehrani na nutritivni status tijekom 12 tjedana (McArthur i sur., 2012). Skupina koja je konzumirala svinjsko meso trebala ga je uključiti u 3 obroka tjedno, a odresci svinjskog mesa od 100 g sadržavali su 0,4-1 mg željeza, 1,5-2,7 mg cinka, 0,1-0,7 mg vitamina B₆ i B₁₂. Treća skupina je konzumirala dodatke prehrani koji sadrže 37,4 mg elementarnog željeza u obliku 300 mg željezo glukonata i 200 mg askorbinske kiseline. Koncentracija feritina se značajno povećala kod ispitanica koje su uzimale dodatke prehrani u usporedbi s ostalim grupama, što je procijenjeno ponavljanim mjerenjima odstupanja. U usporedbi sa kontrolnom skupinom i onom koja je konzumirala meso, kod skupine koja je uzimala dodatke došlo je do prolaznog povećanja koncentracije željeza u serumu i zasićenosti transferinom. Do povećanja je došlo u 8. tjednu, a u 12. tjednu se koncentracija vratila na početnu ili nižu vrijednost. Koncentracija cinka u plazmi bila je slična kod žena u kontrolnoj skupini i skupini koja je konzumirala svinjsko meso, a nešto niža kod žena koje su uzimale dodatke prehrani upravo zbog toga što oni u kombinaciji s folnom kiselinom ometaju apsorpciju cinka. Razina folata u eritrocitima plazme i vitamina B₆ i B₁₂ u serumu nije se značajno mijenjala tijekom istraživanja, samo je koncentracija vitamina B₆ i B₁₂ bila malo povećana kod žena koje su konzumirale svinjsko meso jer ono osim tih vitamina sadrži i ostale hranjive nutrijente, uključujući željezo i cink. Najnovije analize pokazuju da je svinjsko meso i izvor folata (Greenfield i sur., 2009). U 12. tjednu koncentracije hemoglobina bile su značajno više kod žena koje su konzumirale svinjsko meso i onih koje su uzimale dodatke prehrani u odnosu na kontrolnu grupu što bi značilo da konzumacija svinjskog mesa i malih količina dodataka prehrani koji sadrže željezo održava razinu hemoglobina na istoj razini i poboljšava zdravstveno stanje, posebno percepciju tjelesne boli. Mehanizmi kojima konzumacija svinjskog mesa održava koncentraciju hemoglobina kao kod onih koji uzimaju dodatak prehrani koji sadrži željezo, nisu poznati, no moguće je da kombinacija mikronutrijenata iz svinjskog mesa, kao što su cink, selen, vitamini B₆ i B₁₂ te folat, osim željeza može pojačati sintezu hemoglobina u istom opsegu kao kod osoba koje uzimaju dodatke prehrani.

2.4.5. Preopterećenje željezom

Željezo je metabolički važno u malim dozama, a u većim koncentracijama u krvi može biti otrovno. Posljedice toksičnosti željeza mogu biti teške i najčešće se očituju kod ljudi s genetskim poremećajima povezanim s metabolizmom željeza. Hemokromatoza (HFE nasljedna hemokromatoza) je autosomno recesivna bolest koja rezultira povećanom crijevnom apsorpcijom prehrambenog željeza i njegovim prekomjernim taloženjem u tkivima što može dovesti do ciroze ili tkivne nekroze i drugih ozbiljnih komplikacija. Važno je napomenuti da muškarci imaju veći rizik od žena zbog povećanog pospremanja željeza. Genetski poremećaji, kao što su bolesti srpastih stanica i talasemije mogu dovesti do povećanja tjelesnih opterećenja željezom kao rezultat česte potrebe za transfuzijom krvi kao dio kliničke skrbi tih poremećaja. Takve visoke koncentracije mogu biti toksične jer željezo djeluje kao prooksidans, ubrzava proizvodnju slobodnih radikala, koji su u reakciji s lipidima stanične membrane i to rezultira oštećenjem organa i smrti stanice (Ganz, 2005). Višak željeza u krvi povezan je s patogenezom kardiovaskularnih bolesti i raka, promjenama u imunološkom sustavu, a višak neapsorbiranog željeza u debelom crijevu sa oštećenjem sluznice, pa čak i s povećanim rizikom od raka debelog crijeva (Reddy i Clarke, 2004). Predoziranje željezom s akutnom toksičnošću je moguće kod korištenja dodataka prehrani sa željezom, koji su povezani s povraćanjem, dijarejom, vrtoglavicom, stanjem zbunjenosti, i, u teškim slučajevima, smrti. U zemljama s obaveznim obogaćivanjem hrane željezom i istovremene visoke učestalosti talasemije, povremeno praćenje statusa željeza može biti korisno za ranu identifikaciju potencijalnih preopterećenja željezom.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Ispitanice

U istraživanju su sudjelovale sportašice prvoligaškog ženskog kuglačkog kluba Zagreb-Zabokya, koje su kontaktirane preko predstavnice igračica. Od ukupno kontaktiranih 14 kuglašica, na dobrovoljno sudjelovanje u istraživanju je pristalo njih 11, a konačni uzorak zbog isključivanja jedne ispitanice broji 10 sportašica. U tablici 2 je prikazana dob i antropometrija ispitanica. Ispitanice su mlade djevojke od 16 do 25 godina. Indeks tjelesne mase je izračunat na temelju izmjerene tjelesne mase i tjelesne visine na prethodnom redovitom sportskom pregledu. Više od polovice kuglašica trenira od djetinjstva, dok se ostatak sportašica počeo baviti kuglanjem nešto kasnije. Profesionalizam, koji je važan u prvoligaškom natjecanju, se postiže radom i kontinuiranim naporima kako preko ljetnih mjeseci kada se provode kondicijske pripreme, tako i tijekom natjecateljske sezone kada kuglašice imaju treninge tri puta tjedno uz natjecanja vikendom. Treninzi se sastoje od vježbanja zaleta, izbačaja i održavanja ravnoteže nakon izbačaja kugle i traju oko 2h. Koncentracija igra važnu ulogu, obavezna je prije svakog izbačaja i svakog hica te su ponekad uključene posebne vježbe kako bi ju kuglašice što više unaprijedile.

Tablica 2. Karakteristike ispitanica (prosje \pm SD) (n=10)

Parametri	Dob (godine)	Tjelesna masa (kg)	Tjelesna visina (cm)	Indeks tjelesne mase (kg/m ²)
Kuglašice	21,5 \pm 3,1	64,1 \pm 7,4	170,1 \pm 4,9	22,1 \pm 2,3

3.2. Metode

Dijetetička metoda primijenjena u ovom istraživanju je dnevnik prehrane uz vaganje. Elektronskim putem ispitanicama su dostavljene upute i obrazac za vođenje dnevnika prehrane za jedan dan (prilozi 1 i 2). Ispitanice su dnevnik vodile jedan dan tijekom mjeseca ožujka 2015. godine pri završetku natjecateljske sezone na način da su zapisivale količinu i vrstu unesene hrane i pića prilikom svake konzumacije tog dana. Količinu konzumirane hrane i pića kvantificirali su vaganjem uz pomoć kuhinjske vage ili opisom veličine porcije pomoću

kuhinjskog pribora (čaša, šalica, žličica, žlica) ako nisu bili u prilici izvagati svoj unos, bilo to zbog toga što su jeli izvan kuće ili nisu imali kuhinjsku vagu. U tom slučaju, iz opisa je bio procijenjen unos. Iako je dnevnik uz vaganje točniji način procjene količine hrane, sportašima je često nepraktičan i opterećuje ih (npr. ako jedu izvan kuće), pa se češće primjenjuje procjena unosa opisom porcija. Što se tiče vremenskog perioda kojeg je potrebno obuhvatiti, jedan dan nije dovoljan za procjenu individualnog prosječnog dnevnog unosa željeza, ali je dovoljan ako se promatra skupina sportaša kao i u ovom slučaju. Prednost dnevnika prehrane je što se ne oslanja na pamćenje, a nedostatak je što su moguće promjene u prehranbenom ponašanju zbog veće usredotočenosti na unos hrane i zbog same procedure ove metode jer zahtjeva veći angažman ispitanika (Šatalić i Alebić, 2008). Za izračun kemijskog sastava hrane, količine željeza i vitamina C u pojedinim namirnicama korištene su tablice Američkog ministarstva poljoprivrede (USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 26.).

Količina fitata se računala na osnovi podataka o njegovom udjelu u namirnicama koje pripadaju skupini žitarica, mahunarki, orašastog voća i sjemenki (Tablica 1.) budući da su to jedine namirnice u kojima se nalazi značajnija količina fitata i za koje su podaci o njihovoj količini dobro poznati. Iz izračuna je bila izbačena hrana s malim količinama bijelog brašna ili proizvoda od bijelog brašna jer je neznačajan, u malim količinama zanemariv izvor fitata, dodatno i zbog toga što se dio fitata razgrađuje tijekom termičke obrade. Fitata ima i u nekom voću i povrću, ali radi se o malim količinama koje su u usporedbi s onima u žitaricama, mahunarkama, orašastom voću i sjemenkama, zanemarive, tako da su i oni izbačeni (Hadži-Boškov, 2012).

Tablica 3. Sadržaj fitata u hrani (Lott i sur., 2002; Reddy, 2002; Greiner i Konietzny, 2006; Hallberg i Hulthen, 2000; Schlemmer i sur., 2009; Harland i sur., 2004).

Hrana	Udio fitata (% s.t.)	Hrana	Udio fitata (% s.t.)
<i>Žitarice</i>		<i>Mahunarke</i>	
Amarant	1,06-1,51	Bob	0,51-1,77
Brašno, bijelo	0,09	Grah, razne vrste	0,61-2,38
Brašno, kukuruzno	0,27-1,03	Grašak	0,22-1,22
Heljda	0,92-1,62	Leća	0,27-1,51
Ječam	0,38-1,16	Mahune, zelene	0,54
Kruh, bijeli	0,02-0,04	Slanutak	0,28-1,60
Kruh, integralni pšenični	0,32-0,73	Soja, zrno	1,00-2,22
Kruh, kukuruzni	0,43-0,82	Sojin sir (tofu)	0,10-2,90
Kruh, miješani raženi	0,04-0,11	Sojine pahuljice	1,52-1,84
Kruh, raženi	0,00-0,04	Sojino brašno	1,52-2,25
Kukuruz, svježe zrno	0,35	<i>Orašasto voće</i>	
Kukuruz, zrelo zrno	0,72-2,22	Bademi	0,35-9,42
Kukuruzne pahuljice	0,04-0,15	Indijski oraščići	0,19-4,98
Proso	0,18-1,67	Kikiriki	0,17-4,47
Pšenica, zrno	0,39-1,35	Lješnjaci	0,23-0,92
Pšenica, klice	1,14-3,91	Orasi	0,20-6,69
Pšenične posije	2,10-7,30	Pistacije	0,29-2,83
Raž	0,54-1,46	<i>Sjemenke</i>	
Riža, polirana, kuhana	0,12-0,37	Buća	4,08
Riža, smeđa	0,06-1,08	Lan	2,15-3,69
Tjestenina	0,02-0,28	Mak	0,08
Zob, zrno	0,42-1,16	Sezam	1,44-5,36
Zobene pahuljice	0,84-1,12	Suncokret	3,90-4,30

3.3. Rezultati

Tablica 4. Dnevni unos željeza (prosjeak ± SD) (n=10)

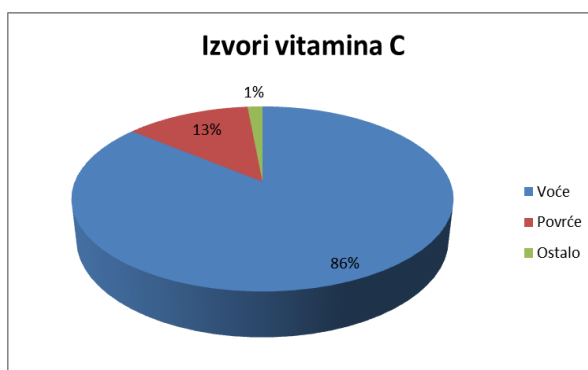
Unos željeza	Iz hrane biljnog podrijetla	Iz hrane životinjskog podrijetla	Ukupno
Unos željeza (mg)	11,8 ± 6,4	1,6 ± 0,6	13,4 ± 7,0
Nutritivna gustoća (mg /1000 kcal)	1,3 ± 0,9	7,7 ± 5,3	8,9 ± 6,2



Slika 1. Unos željeza ovisno o izvoru: hrana biljnog i životinjskog podrijetla (%) (n=10)

Tablica 5. Dnevni unos vitamina C (prosjeak ± SD) (n=10)

Unos vitamina C (mg)	140,7 ± 135,1
Unos vitamina C (mg /1000 kcal)	89,5 ± 77,2



Slika 2. Unos vitamina C ovisno o izvoru: voće, povrće, ostalo (%) (n=10)

Tablica 6. Dnevni unos fitata među kuglačicama (prosjek \pm SD)

Izvor fitata	Unos fitata (mg)
	Kuglačice
Žitarice	108,3 \pm 162,0
Mahunarke	39,4 \pm 33,3
<i>-od toga soja i sojini proizvodi</i>	/
Orašasto voće	/
Sjemenke	68 \pm 0
Ukupno	72 \pm 65,0

3.4. Rasprava

Ispitanice koje su sudjelovale u ovom istraživanju i kojima je praćen dnevni unos željeza, vitamina C i fitata, nisu se značajno razlikovale po dobi, spolu, tjelesnoj masi, tj. indeksu tjelesne mase (ITM) u odnosu na skupinu vegetarijanaca (22 kg/m²) koji su bili ispitanici u jednom ranijem istraživanju među kojima su se pratile razlike u unosu fitata u odnosu na ne-vegetarijance (Hadži-Boškov, 2012). Dakle, ovdje je moguće napraviti usporedbu u određenim parametrima, prvenstveno s obzirom na unos fitata. Sličnosti u ITM između sportašica i vegetarijanaca nisu uobičajene jer se smanjena konzumacija proizvoda životinjskog podrijetla povezuje s nižim vrijednostima kod vegetarijanaca.

Rezultati pokazuju relativno nizak unos željeza (13,4 mg /dan) u odnosu na preporuke od 18 mg / dan za sportašice, zbog menstrualnih gubitaka i gubitaka željeza putem znoja i urina tijekom intenzivne tjelesne aktivnosti. Većina željeza potječe iz biljnih izvora, odnosno ne-hemskog željeza koje se slabije apsorbira od hemskom željeza životinjskog podrijetla. No, zahvaljujući visokom unosu askorbinske kiseline (140,7 mg / dan), pojačivaću apsorpcije željeza, velika je vjerojatnost da će svo željezo iz biljnih izvora biti apsorbirano. Valja napomenuti da su ispitanice konzumirale askorbinsku kiselinu u sklopu pojedinačnih obroka, što je još jedan pozitivan čimbenik apsorpcije željeza. Najčešći izvori vitamina C, s obzirom na mjesec ožujak, bili su, kiwi, naranče, mandarine i banane od voća, a od povrća kupus, zelena salata, cvjetača i brokula.

Nizak unos željeza životinjskog podrijetla je zabrinjavajući, ali premda je dnevnik prehrane obuhvatio samo jedan dan, ne možemo sa sigurnošću procijeniti tjedni unos crvenog mesa. Također, ispitanice prije odabiru meso peradi nego crveno meso, a kod sportaša, a posebno sportašica, naglasak se stavlja upravo na konzumaciju crvenog mesa barem 3 puta tjedno.

Fitati, inhibitori apsorpcije željeza, čak 6 puta više su zastupljeniji u prehrani vegetarijanaca, nego u skupini ispitanica ovog eksperimentalnog rada. Kako je većina željeza kod ispitanica potjecala upravo iz hrane biljnog podrijetla, možemo zaključiti da s njom unose i fitate, no ne u toliko zabrinjavajućoj količini kao vegetarijanci. Moramo ovdje ponovno uzeti u obzir i unos askorbinske kiseline, koja će, unesena u velikim količinama, prikriti inhibicijski učinak fitata. Većina fitata potječe iz žitarica u obje skupine. Zatim sljedeći po redu izvor fitata kod vegetarijanaca su mahunarke, dok su kod ispitanica sljedeći izvor sjemenke. U odnosu na vegetarijance, u prehrani ispitanica nije zastupljena soja i sojini proizvodi kao ni orašasto voće koje je kod vegetarijanaca treći po redu izvor fitata.

Rezultati ovog rada primjenjivi su, zbog karakteristika ispitanica, samo na mlade sportašice do 25 godina s područja Zagreba. Nedostatak je što se nije mogao obuhvatiti veći broj ispitanica kako bi se pouzdanije procijenio unos željeza i fitata. Također, prilikom izračuna fitata nije uzet u obzir njihov gubitak tijekom obrade zbog premalo podataka o količini fitata u obrađenoj hrani, iako, taj gubitak nije velik.

5. ZAKLJUČAK

Unatoč svim najnovijim dostignućima u modernoj medicini, poboljšanoj prehrani i lakoj dostupnosti dodataka prehrani koji sadrže željezo još uvijek nema objašnjenja široke prisutnosti nedostatka željeza koje je doista važno pitanje jer ima utjecaj ne samo na smanjenje maksimalnog primitka kisika i aerobnog kapaciteta već i na sportsku izvedbu i zdravlje sportašica.

Rezultati ovog rada pokazuju nizak unos željeza kod mladih sportašica što je jedan od uzroka pojavljivanja nedostatka željeza (ID) i anemije uzrokovane nedostatkom željeza (IDA). Ona se također može objasniti povećanom tjelesnom aktivnošću, slabom bioraspoloživosti i povećanim gubicima. Velik broj istraživanja dokazuju značajnu prevalenciju nedostatka željeza među sportašima u odnosu na opću populaciju.

Apsorpcija se može uvelike razlikovati između pojedinaca pa je važan individualni pristup svakom pojedincu pri terapiji i liječenju ovog najčešćeg nutritivnog nedostatka kod sportaša. Uz edukaciju, redovito praćenje statusa željeza i odgovarajuće prehrane intervencije, nedostatak željeza u sportašica može se prilično lako spriječiti i/ili liječiti. Rano otkrivanje, promjene u prehrani na način da se u prehranu uvrsti crveno meso barem 3-4 puta tjedno, hrana bogata vitaminom C u sklopu svakog dnevnog obroka te kombinacije hrane koje će poboljšati iskoristivost željeza kao i hrane obogaćene željezom, umjesto korištenja dodataka prehrani koji sadrže željezo. Korištenje dodataka je preporučena strategija samo kad je dokazana prisutnost anemije. Navedene smjernice su poželjne strategije dovoljnog unosa među sportašicama zbog visoke doze željeza unutar dodataka koja ima potencijal da bude otrovna. Dakle, korištenje dodataka s željezom kako bi se ispravio nedostatak je opravdano samo pri dijagnozi nedostatka željeza i anemije s nedostatkom željeza uz nadzor od strane liječnika radi praćenja učinkovitosti i sigurnosti.

Oporavak od osiromašenih ili iscrpljenih zaliha željeza je spor pa je važna predanost i upornost pri liječenju, baš kao i u sportu, za postizanje što boljih rezultata.

6. LITERATURA

- Alaunyte, I., Stojceska, V., Plunkett, A., Derbyshire, E. (2014) Dietary iron intervention using a staple food product for improvement of iron status in female runners. *Int. J. Sports Nutr.* **11**:50.
- Anand, A.N., Seshadri, S. (1995) A quantitative model for prediction of iron bioavailability from Indian meals: an experimental study. *Int. J. Food Sci. Nutr.* **46**(4):335-342.
- Australian Sports Commission (1983) Survey of drug use in Australian sport. Canberra: Australian Sports Medicine Federation.
- Baech S.B., Hansen, M., Bukhave, K. (2003) Nonheme-iron absorption from a phytate-rich meal is increased by the addition of small amounts of pork meal. *Am. J. Clin. Nutr.* **77**:173-179.
- Baylis, A., Cameron-Smith, D., Burke, L.M. (2001) Inadvertent doping through supplement use by athletes: assessment and management of the risk in Australia. *Int. J. Sport Nutr. & Exerc. Metab.* **10**: 365-383.
- Beard J.L. (2001) Iron biology in immune function, muscle metabolism and neural functioning. *J. Nutr.* **131** (Suppl):6568S-6580S.
- Beard, J.L., Tobin, B. (2000) Iron status and exercise. *Am. J. Clin. Nutr.* **72**(2 Suppl):594S-597S.
- Beard, J.L., Connor, J.R. (2003) Iron status and neural functioning. *Annu. Rev. Nutr.* **23**:41-58.
- Beutler, E., Hoffbrand, V., Cook, J.D. (2003) Iron deficiency and overload. In: Broudy, C.V., Prchal, T.J., Tricot, J.G., editors. Hematology 2003. American Society of Hematology Education Program Book; Washington DC: American Society of Hematology, p. 40-61.
- Bothwell, T.H. (1996) Iron balance and the capacity of regulatory systems to prevent the development of iron deficiency and overload. In: Hallberg, L., Asp, N.G., eds. Iron nutrition in health and disease. London: John Libbey, 1996:3-16.
- Bothwell, T.H., Charlton, R.W., Cook, J.D., Finch, C.A. (1979) Iron metabolism in man. London, Oxford: Blackwell Scientific Publications, 88-104.
- Brownlie, T., Utermohlen, V., Hinton, P.S., Hass, J.D. (2004) Tissue iron deficiency without anemia impairs adaptation in endurance capacity after aerobic training in previously untrained women. *Am. J. Clin. Nutr.* **79**(3):437-443.

- Brune, M., Rossander-Hulten, L., Hallberg, L. (1992) Iron absorption from bread in humans: inhibiting effects of cereal fiber, phytate and inositol phosphates with different numbers of phosphate groups. *J. Nutr.* **122**:442-449.
- Brutsaert, T.D., Hernandez-Cordero, S., Rivera, J., Viola, T., Hughes, G., Haas, J.D. (2003) Iron supplementation improves progressive fatigue resistance during dynamic knee extensor exercise in iron-depleted, nonanemic women. *Am. J. Clin. Nutr.* **77**(2): 441-448.
- Buratti, P., Gammella, E., Rybinska, I., Cairo, G., Recalcati, S. (2015) Recent Advances in Iron Metabolism: Relevance for Health, Exercise, and Performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* **47**: 1596-1604.
- Carpenter, C.E., Mahoney, A.W. (1992) Contributions of heme and nonheme iron to human nutrition. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **31**:333-367.
- Celsing, F., Blomstrand, E., Werner, B., Pihlstedt, P., Ekblom, B. (1986) Effects of iron deficiency on endurance and muscle enzymes activity in man. *Med. Sci. Sports Exerc.* **18**(2): 156-161.
- Chatard, J.C., Mujika, I., Guy, C., Lacour, J.R. (1999) Anaemia and iron deficiency in athletes. Practical recommendations for treatment. *Sports Med.* **27**: 229-240.
- Clarkson, P.M., Haymes, E.M. (1995) Exercise and mineral status of athletes: Calcium, magnesium, phosphorous, and iron. *Med. Sci. Sports Exerc.* **27**:831-843.
- Clement, D.B., Lloyd-Smith, D.R., Macintyre, J.G., Matheson, G.O., Brock, R., Dupont, M. (1987) Iron status in Winter Olympic sports. *J. Sports Sci.* **5**(3): 261-271.
- Clement, D.B., Tauton, J., McKenzie, L., Lyster, D., Wiley, J., Sawchuk, L.L. (1984) Iron absorption in deficient, endurance trained females. *Med. Sci. Sports Exerc.* **16**: 164-168.
- Constantini, N.W., Eliakim, A., Zigel, L., Yaaron, M., Falk, B. (2000) Iron status of highly active adolescents: evidence of depleted iron stores in gymnasts. *Int. J. Sports Nutr. Exerc. Metab.* **10**(1):62-70.
- Cook, J.D., Finch, C.A. (1979) Assessing iron status of a population. *Am. J. Clin. Nutr.* **32**(10): 2115-2119.
- Cook, J.D., Flowers, C.H., Skikne, B.S. (2003) The quantitative assessment of body iron. *Blood*, **101**: 3359-3364.
- Cook, J.D., Skikne, B. (1989) Iron deficiency: definition and diagnosis. *J. Intern. Med.* **226**:349-355.
- Dallman, P.R. (1982) Manifestations of iron deficiency. *Semin. Hematol.* **19**:19-30.
- Dallman, P.R. (1986) Biochemical basis for the manifestations of iron deficiency. *Annu. Rev. Nutr.* **6**:13-40.

- Davies, K.J., Maguire, J.J., Brooks, G.A., Dallman, P.R., Packer, L. (1982) Muscle mitochondrial bioenergetics, oxygen supply, and work capacity during dietary iron deficiency and repletion. *Am. J. Physiol.* **242**(6): E418-E427.
- DellaValle, D. M., Haas, J.D. (2014) Iron Supplementation Improves Energetic Efficiency in Iron-Depleted Female Rowers. *Med. Sci. Sports Exerc.* **6**: 1204-1215.
- DellaValle, D.M. (2013) Iron Supplementation for Female Athletes: Effects on Iron Status and Performance Outcomes. *Am. College Sport. Med.* **4**: 234-239.
- DellaValle, D.M., Haas, J.D. (2011) Impact of iron depletion without anemia on performance in trained endurance athletes at the beginning of a training season: a study of female collegiate rowers. *Int. J. Sports Nutr. Exerc. Metab.* **21**(6): 501-506.
- Deruisseau, K.C., Roberts, L.M., Kushnick, M.R., Evans, A.M., Austin, K. (2004) Iron status of young males and females performing weight-training exercise. *Met. Sci. Sports Exerc.* **36**: 241-248.
- Deugnier, Y., Loreal, O., Carre, F. (2002) Increased body stores in elite road cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc.* **34**:878-880.
- Di Santolo, M., Stel, G., Banfi, G., Gonano, F., Causi, S. (2008) Anemia and iron status in young fertile non-professional female athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* **102**: 703-709.
- Dubnov, G., Constantini, N.W. (2004) Prevalence of iron depletion and anemia in top-level basketball players. *Int. J. Sports Nutr. Exerc. Metab.* **14**(1): 30-37.
- Fallon, K.E. (2008) Screening for haematological and iron-related abnormalities in elite athletes-analysis of 576 cases. *J. Sci. Med. Sport* **11**(3):329-336.
- Finch, C.A., Miller, L.R., Inamdar, A.R., Person, R., Seller, K., Mackler, B. (1976) Iron deficiency in the rat. Physiological and biochemical studies of muscle dysfunction. *J. Clin. Invest.* **58**(2):447-453.
- Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. Dietary reference intakes. Applications in dietary assessment. A report of the Subcommittee on Interpretation and Uses of Dietary Reference Intakes and the Standing Committee on the Scientific Evaluation of Dietary Reference Intakes, Washington DC: National Academy Press, 2000b.
- Friedmann, B., Weller, E., Mairbaurl, H., Bartsch, P. (2001) Effect of iron repletion on blood volume and performance capacity in young athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* **33**:741-746.
- Ganz, T. (2005) Heparin- a regulator of intestinal iron absorption and iron recycling by macrophages. *Best Pract. Research Clin. Haem.* **18**:171-182.
- Ganz, T. (2011) Heparin and iron regulation, 10 years later. *Blood*, **117**:4425-4433.

- Garza, D., Shrier, I., Kohl, H.R., Ford, P., Brown, M., Matheson, G.O. (1997) The clinical value of serum ferritin tests in endurance athletes. *Clin. J. Sport Med.* **7**:46-53.
- Getaldić, B. (2007) Anemije- trajan izazov dijagnostici i terapiji. U: Ferokinetika, novije spoznaje o regulacijskom mehanizmu apsorpcije željeza, (Boban, M., ured.), Medicinska naklada, str.53-54.
- Gleeson, M., Lancaster, G., Bishop, N. (2001) Nutritional strategies to minimise exercise-induced immunosuppression in athletes. *Can. J. Appl. Physiol.* **26** (Suppl): 23S-35S.
- Greenfield, H., Arcot, J., Barnes, J.A., Cunningham, J., Adorno, P., Stobaust, T., Tumer, R.K., Beilken, S.L., Muller, W.J. (2009) Nutrient composition of Australian retail pork cuts 2005/2006. *Food Chem.* **117**:721-730.
- Hadži-Boškov, J. (2012) Razlike u unosu fitata vegetarijanskom i ne-vegetarijanskom prehranom. Završni rad. Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- Hallberg, L., Brune, M., Rossander, L. (1986) Effect of ascorbic acid on iron absorption from different types of meals: studies with ascorbate rich foods and synthetic ascorbic acid given in different amounts with different meals. *Hum. Nutr. Appl. Nutr.* **40**: 97-103.
- Hallberg, L., Brune, M., Rossander, L. (1989) Iron absorption in man: ascorbic acid and dose-dependent inhibition by phytate. *Am. J. Clin. Nutr.* **49**:140-144.
- Hallberg, L., Hulthen, L. (1996) Iron requirements, iron balance and iron deficiency in menstruating and pregnant women. In Hallberg, L., Asp. NG, eds. Iron nutrition in health and disease. London: John Libbery, 165-181.
- Hallberg, L., Hulthen, L. (2000) Prediction of dietary iron absorption: an algorithm for calculating absorption and bioavailability of dietary iron. *J.Am.Diet.Assoc.* **71**:1147-1160.
- Hallberg, L., Rossander, L. (1982a) Effect of different drinks on the absorption of non-haem iron from composite meals. *Hum. Nutr. Appl. Nutr.* **36**:116-123.
- Handelman, G.J., Levin, N.W. (2008) Iron and anemia in human biology: A review of mechanisms. *Heart Fail Rev.* **13**:393-404.
- Harland, B.F., Oberleas, D. (1987) Phytate in food. *Wld. Rev. Nutr. Diet.* **52**:235-259.
- Haymes, E.M., Lamanca, J.F. (1989) Iron loss in runners during exercise: implications and recommendations. *Sports Med.* **7**: 277-285.
- Hegenauer, J., Strause, L., Saltman, P., Dann, D., White, J., Green, R. (1983) Transitory hematologic effects of moderate exercise are not influenced by iron supplements. *Eur. J. Appl. Physiol.* **52**: 57-61.
- Hinton, P.S. (2014) Iron and the endurance athlete. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **39**: 1012-1018.

- Hinton, P.S., Giordano, C., Brownlie, T., Haas, J.D. (2000) Iron supplementation improves endurance after training in iron-depleted, nonanemic women. *J. Appl. Physiol.* **88**(3):1103-1111.
- Hinton, P.S., Sinclair, L.M. (2007) Iron supplementation maintains ventilatory threshold and improves energetic efficiency in iron-deficient nonanemic athletes. *Eur. J. Clin. Nutr.* **61**:30-39.
- Hurrell, R., Egli, I. (2010) Iron bioavailability and dietary reference values. *J. Am. Diet. Assoc.* **91**(suppl):1461S–1467S.
- Hurrell, R.F., Juillerat, M.A., Reddy, M.B., Lynch, S.R., Dassenko, S.A., Cook, J.D. (1992) Soy protein, phytate, and iron-absorption in humans. *Am. J. Clin. Nutr.* **56**:573–578.
- Institute of Medicine. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. Food and Nutrition Board. Washington, DC: National Academy Press, 2001.
- Klingshirn, L.A., Pate, R.R., Bourque, S.P., Davis, J.M., Sargent, R.G. (1992) Effect of iron supplementation on endurance capacity in iron-depleted female runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* **24**(7):819-824.
- Knutson, M.D. (2010) Iron-sensing proteins that regulate hepcidin and enteric iron absorption. *Annu. Rev. Nutr.* **30**: 149-171.
- Lamanca, J.J., Haymes, E.M., Daly, J.A., Moffatt, R.J., Waller, M.F. (1988) Sweat iron loss of male and female runners during exercise. *Int. J. Sport. Nutr. Exerc. Metab.* **9**:52-55.
- Lindsay, B.Y., Weight, M., Jacobs, P., Noakes, T.D. (1992) Dietary iron deficiency and sports anaemia. *Brit. J. Nutr.* **68**: 253-260.
- Lovrić, M. (2004) Minerali, aminokiseline i ostali sastojci prehrane. M.Lovrić, vlast.nakl., Zagreb.
- Lyle, R.M., Weaver, C.M., Sedlock, D.A., Rajaram, S., Martin, B., Melby, C.L. (1992) Iron status in exercising women: the effect of oral iron therapy vs increased consumption of muscle foods. *Am. J. Clin. Nutr.* **56**: 1049-1055.
- Magnusson, B., Hallberg, L., Rossander, L., Swolin, B. (1984) Iron metabolism and sports anaemia: II, a hematological comparison of elite runners and control subjects. *Acta. Medicus Scandinavia* **216**, 157-164.
- Malczewska, J., Szczepanska, B., Stupnicki, R., Sendeki, W. (2001) The assessment of frequency of iron deficiency in athletes from the transferrin receptor-ferritin index. *Int. J. Sport. Nutr. Exerc. Metab.* **11**(1): 42-52.

- Malczewska, K.C., Raczynaki, G., Stupnicki, R. (2000) Iron status in female endurance athletes and in non-athletes. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **10**: 260-276.
- McArthur, J.O., Petocz, P., Caterson, I.D., Samman, S. (2012) A Randomized Controlled Trial in Young Women of the Effects of Consuming Pork Meat or Iron Supplements on Nutritional Status and Feeling of Well-being. *Am. J. Nutr.* **3**:175-184.
- McClung, J.P., Karl, J.P., Cable, S.J., Williams, K.W., Nindl, B.C., Young, A.J., Lieberman, H.R. (2009) Randomized, double-blind, placebo-controlled trial of iron supplementation in female soldiers during military training: effects on iron status, physical performance, and mood. *Am. J. Clin. Nutr.* **90**:124-31.
- Mielgo-Ayuso, J., Zourdos, M.C., Calleja-Gonzalez, J., Urdampilleta, A., Ostojic, S. (2015) Iron supplementation prevents a decline in iron stores and enhances strength performance in elite female volleyball players during the competitive season. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **40**:1-8.
- Miller, B.J., Pate, R.R., Burgess, W. (1988) Foot impact force and intravascular hemolysis during distance running. *Int. J. Sport. Nutr. Exerc. Metab.* **9**: 56-60.
- Murphy, S., Poos, M. (2002) Dietary reference intakes: summary of applications in dietary assessment. *Pub. Health Nutr.* **5**: 843-49.
- Nachtigall, D., Nielsen, P., Fischer, R., Engelhardt, R., Gabbe, E.E. (1996) Iron deficiency in distance runners. A reinvestigation using Fe-labelling and non-invasive liver iron quantification. *Int. J. Sports Med.* **17**(7): 473-479.
- Nemeth, E., Rivera, S., Gabayan, V., Keller, G., Taudorf, S. et al. (2004) IL-6 mediates hypoferrremia of inflammation by inducing the synthesis of the iron regulatory hormone hepcidin. *J. Clin. Invest.* **113**: 1271-1276.
- Newhouse, I.J., Clement, D.B., Taunton, J.E., McKenzie, D.C. (1989) The effects of prevalent/latent iron deficiency on physical work capacity. *Med. Sci. Sports Exerc.* **21**(3) 263-268.
- Pasricha, S.R., Low, M., Thompson, J., Farrell, A., De-Regil, L.M. (2014) Iron Supplementation Benefits Physical Performance in Women of Reproductive Age: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Nutr.* **113**:906-914.
- Perkkio, M.V., Jansson, L.T., Brooks, G.A., Refino, C.J., Dallman, P.R. (1985) Work performance in iron deficiency of increasing severity. *J. Appl. Physiol.* **58**(5): 1477-1480.
- Pitsis, G.C., Fallon, K.E., Fallon, S.K., Fazakerley, R. (2004) Response of soluble transferrin receptor and iron-related parameters to iron supplementation in elite, iron-depleted, nonanemic female athletes. *Clin. J. Sport. Med.* **14**(5): 300-304.

- Punnonen, K., Irjala, K., Rajamaki, A. (1997) Serum transferrin receptor and its ratio to serum ferritin in the diagnosis of iron deficiency. *Blood*, **89**(3) 1052-1057.
- Radomski, M.W., Sabiston, B.H., Isoard, P. (1980) Development of sports anaemia in physically fit men after daily sustained submaximal exercise. *Aviat. Space Environ. Med.* **51**:41-5.
- Raunikaar, R.A., Sabio, H. (1992) Anemia in the adolescent athlete. *Am. J. Dis. Child.* **146**:1201-1205.
- Reddy, M., Clarke, L. (2004) Iron, oxidative stress and disease risk. *Nutr. Rev.* **62**:120-124.
- Roecker, L., Meir-Buttermilch, R., Brechter, L. et al. (2005) Iron-regulatory protein hepcidin is increased in female athletes after marathon. *Eur. J. Appl. Physiol.* **95**:569-571.
- Rossander, L., Hallberg, L., Bjorn-Rasmussen, E. (1979) Absorption of iron from breakfast meals. *Am. J. Clin. Nutr.* **31**:106-110.
- Rossander-Hulten, L., Hallberg, L. (1996) Prevalence of iron deficiency in adolescents. In: Hallberg, L., Asp, N.G., eds. Iron nutrition in health and disease. London: John Libbey, 149-194.
- Rowland, T.W., Black, S.A., Kelleher, J.F. (1987) Iron deficiency in adolescent endurance athletes. *J. Adolesc. Health Care* **8**(4): 322-326.
- Rowland, T.W., Deisroth, M.B., Green, G.M., Kelleher, J.F. (1988) The effect of iron therapy on the exercise capacity of nonanemic iron-deficient adolescent runners. *Am. J. Dis. Child.* **142**(2): 165-169.
- Schumacher, Y.O., Schmid, A., König, S., Berg, A. (2002) Effects of exercise on soluble transferrin receptor and other variables of the iron status. *Brit. J. Sports Med.* **36**:195-199.
- Shaskey, D.J., Gren, G.A. (2000) Sports hematology. *Sports Med.* **29**: 27-38.
- Sinclair, L.M., Hinton, P.S. (2005) Prevalence of Iron Deficiency with and without Anemia in Recreationally Active Men and Women. *J.Am.Diet.Assoc.* **105**,975-978.
- Skikne, B., Flowers, C.H., Cook, J.D. (1990) Serum transferrin receptor: a quantitative measure of tissue iron deficiency. *Blood*, **9**:1870-1876.
- Snyder, A.C., Dvorak, L.L., Roepke, J.B. (1989) Influence of dietary iron source in measures of iron status among female runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* **21**:7-10.
- Spodaryk, K. (2002) Iron metabolism in boys involved in intensive physical training. *Physiol. Behav.* **75**(1-2): 201-206.
- Suominen, P., Punnonen, K., Rajamaki, A., Irjala, K. (1998) Serum transferrin receptor and transferrin receptor-ferritin index identify healthy subjects with subclinical iron deficits. *Blood* **92**:2934-2939.

- Štalić, Z., Alebić, I.J. (2008) Dijetetičke metode i planiranje prehrane. *Medicus* **17**, 27-36.
- Tobin, B., Beard, J.L. (1996) Iron and exercise. In: Wolinsky, I., Driskell, J.A., eds. CRC handbook of sports nutrition: vitamins and trace minerals. Boca Raton, FL: CRC Press, 137-156.
- Weaver, C.M., Rajaram, S. (1992) Exercise and iron status. *J. Nutr.* **122**:782–787.
- Weight, L.M., Darge, B.L., Jacobs, P. (1991) Athletes' pseudoanemia. *Eur. J. Appl. Physiol.* **62**: 358-362.
- Woodson, R.D., Wills, R.E., Lenfant, C. (1978) Effect of acute and established anemia on O₂ transport at rest, submaximal and maximal work. *J. Appl. Physiol.* **44**(1): 36-43.
- Wolf, K., St Thomas, M.M., Hahn, N., Vaughan, L.A., Carlson, A.G., Hinton, P. (2009) Iron status in highly active and sedentary young women. *Int. J. Sport. Nutr. Exerc. Metab.* **19**(5): 519-535.
- Worwood, M. (1991) State of the art-ferritin. *Blood Rev.* **4**:259-269.
- Zhu, Y.I., Haas, J.D. (1998a) Altered metabolic response of iron-depleted nonanemic women during a 15-km time trial. *J. Appl. Physiol.* **84**(5): 1768-1775.
- Zhu, Y.I., Hass, J.D. (1998b) Response of serum transferrin receptor to iron supplementation in iron-depleted, nonanemic women. *Am. J. Clin. Nutr.* **67**(2): 271-275.
- Zimmermann, M.B., Hurrell, R.F. (2007) Nutritional iron deficiency. *Lancet* **370**: 511-520.

Prilozi

PRILOG 1- Upute za vođenje dnevnika prehrane

PRILOG 2 - Obrazac za dnevnik prehrane



Upute za vođenje dnevnika uz **vaganje** (dovoljno je koristiti kuhinjsku vagu):

1. Zabilježite konzumiranje odmah nakon obroka. Navedite svu konzumiranu hranu.
2. U svakom retku navedite samo po jednu namirnicu ili po jedno jelo.
3. Detaljno opišite svaku namirnicu, također i način termičke obrade, a za jela navedite recept.
4. Navedite naziv proizvođača, ako je moguće.
5. Navedite samo količinu koja je pojedena, npr. kod povrća s puno nejestivog dijela.
6. Bilježite količinu pomoću kuhinjskog posuđa - žlica, čajna žličica, šalica, komadi, kriške, npr. 1 šalica *light* mlijeka, 2 kriške kruha, jedna jabuka.
7. Navedite način termičke obrade: svježe, smrznuto, sirovo, pečeno (u pećnici), prženo (u tavi), kuhano (lešo), pirjano, pohano, konzervirano.
8. Za konzervirane namirnice navedite tekućinu u kojoj se nalaze, npr. marelice (kompot) u soku, tuna u ulju.
9. Tijekom vođenja dnevnika nemojte mijenjati prehranbene navike.
10. Navedite dodane masti (ulje, maslac, margarin i sl.) korištene kao začini ili pri kuhanju.
11. Navedite sve napitke (i vodu) i dodatke prehrani.

Vrijeme	Namirnica i način pripreme	Količina
07:00	jabuka, svježa, s korom	1 srednja
12:00	varivo od poriluka	250 g
12:00	kruh, polubijeli	2 kriške
15:00	kukuruzne pahuljice	2 šalice
	s kakao prahom	2 žlice
	s mlijekom (2,8 % m.m.)	$\frac{1}{2}$ šalice
19:00	zapečena cvjetača	180 g
19:00	zelena salata	2 šalice
19:00	jaja, pržena na maslacu	2 jaja
19:00	tunjevina u salamuri	150 g

