

Prirodne i industrijske *trans* masne kiseline – pojavnost i utjecaj na ljudsko zdravlje

Tina Lešić¹, Nada Vahčić², Greta Krešić³, Jelka Pleadin^{1*}

Sažetak

Trans masne kiseline (engl. *trans fatty acids*, TFA) nastaju u manjoj količini prirodno biološkom hidrogenacijom u rumenu životinja preživača, ali mogu nastati i tijekom industrijskog procesa, djelomičnom hidrogenacijom biljnih i ribljih ulja. Podjela na industrijske i prirodne TFA je kompleksna, budući da se ove masti uglavnom sastoje od istih izomera te je količina i distribucija ono što ih razlikuje. Većina TFA koje se mogu naći u prehrambenim proizvodima su izomeri oleinske i *trans* - oktadecenske kiseline (*trans*- 18:1). Prema rezultatima većine istraživanja, sve *trans* masne kiseline imaju nepovoljan učinak na lipoproteine u plazmi, dok su ostali mehanizmi učinka u organizmu nedovoljno istraženi. Povećani unos industrijskih *trans* masnih kiselina se povezuje se povećanim rizikom od nastanka kardiovaskularnih bolesti te se izbjegavanjem unosa *trans* masti smanjuje i rizik od vjerojatnosti njihova nastanka. Rizik povezan s prirodnim *trans* masnim kiselinama i dalje je nejasan, ali učinak, ako postoji, vjerojatno je malen s obzirom na njihovu nisku razinu unosa. Europska komisija je definirala ograničenje razine industrijskih *trans* masti u hrani do 2 g/100 g masti čime su poduzete mjere za smanjenje njihovog unosa. Kao prikladna zamjena ovih masti u prehrambenim proizvodima, u budućnosti se trebaju pronaći optimalna zdravija rješenja.

Ključne riječi: *trans* masti, rumenska kiselina, hidrogenirana biljna ulja, zdravstveni učinak, CLA

Uvod

Termin *trans* masne kiseline (engl. *trans fatty acids*, TFA) odnosi se na masne kiseline koje u svom lancu imaju barem jednu dvostruku vezu u tzv. *trans*- položaju, u odnosu na suprotan te puno zastupljeniji *cis*- položaj. Izomeri TFA variraju s obzirom na broj i položaj *trans* dvostrukih veza u acilnom lancu (Lichtenstein, 2016.). Ove masne kiseline se ne sintetiziraju prirodno u ljudskom organizmu te iako mogu nastati od omega-3 i omega-6 masnih

kiselina, ne služe vitalnoj funkciji i njihov unos prehranom se ne smatra potrebnim (Brouwer i sur., 2013.). Prirodne *trans* masne kiseline se pojavljuju u mastima podrijetlom od životinja preživača (goveda, ovca, koza), gdje nastaju uslijed anaerobne mikrobne fermentacije odnosno biohidrogenacijom u rumenu. Ove se masne kiseline potom apsorbiraju u crijevima te raspodjeljuju u organizmu i skladište. Stoga u prirodne prehrambene izvo-

¹ Tina Lešić, mag. ing. mol. biotechn.; izv. prof. dr. sc. Jelka Pleadin, znanstveni savjetnik, Hrvatski veterinarski institut, Laboratorij za analitičku kemiju, Savska cesta 143, Zagreb;

² Prof. dr. sc. Nada Vahčić, redoviti profesor, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Pierottijeva 6, Zagreb;

³ Prof. dr. sc. Greta Krešić, redoviti profesor, Fakultet za menadžment u turizmu i ugostiteljstvu Opatija, Sveučilište u Rijeci, Primorska 42, Opatija
*Autor za korespondenciju: pleadin@veinst.hr

re TFA spadaju meso i mlijeko preživača (Lichtenstein, 2016.).

Trans masne kiseline mogu nastati i tijekom industrijskih procesa, kao primjerice djelomičnom hidrogenacijom biljnih ulja, ali i ribljih ulja te se nazivaju industrijske (Destailats i sur., 2014.). Djelomično hidrogenirana biljna ulja su ujedno i njihov glavni izvor kroz različite komercijalne proizvode, najviše tzv. „brzu hranu“ (Stender i sur., 2012.). Proces djelomične hidrogenacije ulja u Europi je izumljen krajem 19. stoljeća, a do 1950. godine, količina tzv. industrijskih TFA u prehrambenom lancu je bila značajna (Sebastjan i sur., 2010.). Ovaj je proces nastao kao rezultat nastojanja pronalaska jeftinije zamjene za maslac, ali se počeo široko upotrebljavati u proizvodnji hrane smatrajući se u to vrijeme poželjnim trendom zamjene namirnica bogatih zasićenim masnim kiselinama sa onima koje obiluju nezasićenim. Biljna ulja se u svom prirodnom stanju sastoje samo od *cis* masnih kiselina, ali su se počela djelomično hidrogenirati za potrebe prehrambene industrije kako bi se povećala njihova viskoznost te kako bi prešle iz tekućeg u polučvrsto ili čvrsto stanje, a ujedno kako bi se produžio njihov vijek trajanja i stabilnost (Lichtenstein, 2016.).

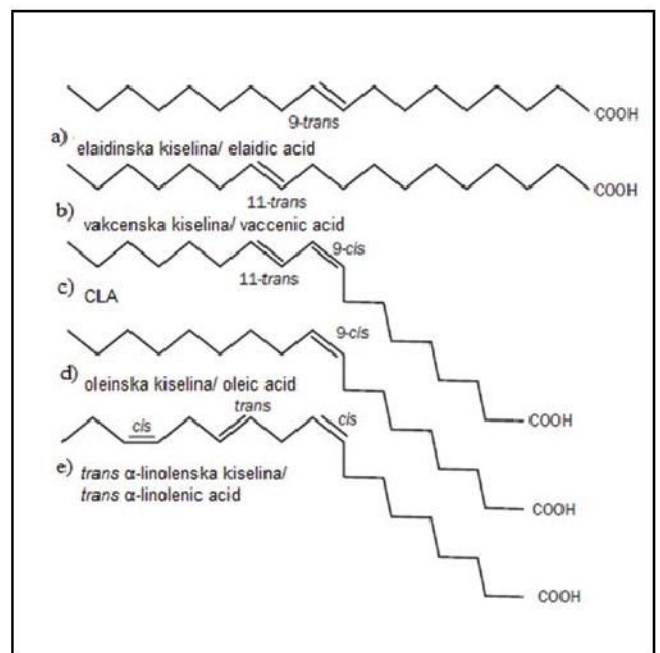
Unos TFA se značajno smanjio posljednjih desetljeća kao posljedica saznanja o njihovim štetnim zdravstvenim učincima te donesenim preporukama i uredbama koje se odnose na unos i razine u hrani, a u skladu s tim i smanjenja *trans* masti u hrani od strane prehrambenih industrija (Lichtenstein, 2016; EK, 2015). Postavlja se pitanje postoji li razlika u nutritivnoj vrijednosti i utjecaju na ljudsko zdravlje prirodno te industrijski nastalih TFA. Neke indikacije o njihovom različitom zdravstvenom učinku postoje (Destailats i sur., 2014.). U ovom radu dan je pregled svojstava i pojavnosti TFA, njihov utjecaj na razinu kolesterola u krvi, razvoj kardiovaskularnih bolesti, tumora te drugih potencijalnih učinaka u organizmu s obzirom na različitost izvora – prirodnog i industrijskog podrijetla.

Struktura prirodnih i industrijskih *trans* masnih kiselina

Podjela na industrijske i prirodne TFA je kompleksna budući da se ove masti uglavnom sastoje od istih izomera, a razlikuje ih količina i distribucija. Samo nekoliko TFA, geometrijskih izomera linolne (*cis*-9, *cis*-12- oktadekadienska kiselina) i α -linolenske (*cis*-9, *cis*-12, *cis*-15-oktadekatrienska kiselina) kiseline se mogu klasificirati

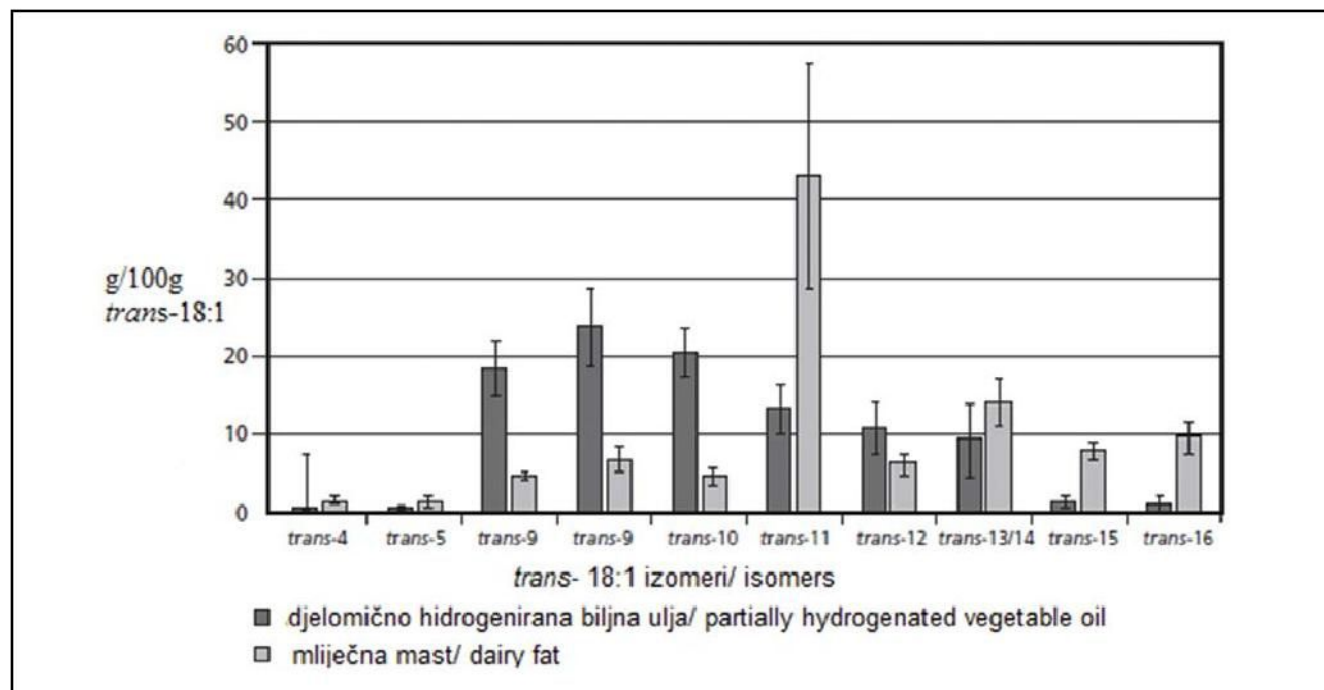
kao isključivo industrijske, dok je isključivo prirodna TFA rumenska kiselina (*cis*-9, *trans*-11-oktadekadienska kiselina), izomer konjugirane linolne kiseline (engl. conjugated linoleic acid, CLA) koji nastaje djelomičnom biohidrogenacijom u rumenu preživača iz prekursora vakkenske kiseline (*trans*-11 C18:1, n-7) (Slika 1) (Destailats i sur., 2014.). Vakkensku kiselinu u rumensku kiselinu mogu metabolizirati životinje, ali i ljudi (Adlof i sur., 2000.). Konjugirana linolna kiselina ima nekoliko izomera, uz rumensku još jedan od glavnih izomera je *trans*-10, *cis*-12. Konjugirana linolna kiselina prvo je pronađena u mlijeku, a sada se proizvodi i industrijski u obliku kapsula u kojima sadrži oba izomera. U masti preživača CLA je prisutna u vrlo malim količinama, dok su industrijski suplementi njen puno značajniji izvor. Dvije dvostruke veze kod CLA su konjugirane, što znači da CLA ima samo jedan ugljikov atom između dvije dvostruke veze u odnosu na uobičajena dva (Brouwer i sur., 2013.).

Većina TFA koje se mogu naći u prehrambenim proizvodima su izomeri mononezasićene oleinske kiseline i *trans*-oktadecenske kiseline (*trans*-C18:1). *Trans*-C18:1 izomeri doprinose 54-82 % ukupnom unosu TFA (EFSA, 2004). Distribucija tih izomera kao i njihova ukupna količina razlikuje se kod masti preživača u odnosu na djelomično hidrogenirana biljna ulja (Slika 2).



Slika 1. Strukture odabranih *cis* i *trans* masnih kiselina (prema Brouwer i Wanders, 2014)

Figure 1 Structures of selected *cis* and *trans* fatty acids (adapted from Brouwer and Wanders, 2014)



Slika 2. Raspodjela izomera *trans*- 18:1 u mliječnoj masti i djelomično hidrogeniranim biljnim uljima (prema Destailats i sur., 2014)

Figure 2 Isomeric distribution of *trans*- C18:1 in dairy fat and partially hydrogenated vegetable oils (adapted from Destailats et al., 2014)

Biološki procesi u rumenu uglavnom završavaju nastajanjem stearinske (C18:0) i vakkenske kiseline, dok djelomičnom hidrogenacijom biljnih ulja najvećim dijelom nastaju elaidinska kiselina (*trans*-9 C18:1, n-9), *trans*-10 C18:1 te u nekim slučajevima izomer *trans*- 6/8 C18:1 (Destailats i sur., 2014.). *Trans*-vakkenska kiselina čini oko 30 do 50 % ukupnih *trans*-C18:1 izomera u mliječnoj masti. U hrani koja sadrži djelomično hidrogenirana biljna ulja, elaidinska kiselina čini oko 20-30% ukupnih *trans*-C18:1 izomera (EFSA, 2004). Profil izomera industrijskih TFA, kao i njihova količina, ovise o početnoj sirovini, uvjetima procesa hidrogenacije, kao što su temperatura, vrijeme trajanja i vrsta katalizatora te o fizikalnim svojstvima koja se žele dobiti. Time količina može varirati u rasponu od 1 do 60 % ukupnih masnih kiselina. Profil i količina TFA iz rumena ovisi o pH rumena te kvaliteti i kvantiteti lipida koje su životinje unijele hranidbom. Količina *trans*- C18:1 koja nastaje biohidrogenacijom kreće se u rasponu od 2 do 5 % (Destailats i sur., 2014.; Brouwer i Wanders, 2014.).

Analitičke metode za određivanje TFA

Metode koje se koriste za određivanje TFA su plinska kromatografija (engl. gas chromatography, GC), Furierova transformacija infracrvenog

spektra (FTIR), *silver ion* kromatografija (SIC) i reverzno fazna tekućinska kromatografija visoke djelotvornosti (engl. reversed phase-high performance liquid chromatography, RP- HPLC). Tekućinska kromatografija visoke djelotvornosti se rijetko koristi u analizi TFA, najčešće kao preparativna metoda koja prethodi GC analizi (Albuquerque i sur., 2011). Furierovom *transformacijom* infracrvenog spektra se može odrediti samo ukupni udio masnih kiselina, ali ne zahtjeva proces derivatizacije (Mossoba i sur., 2007). *Silver ion* kromatografija podrazumijeva HPLC ili tankoslojnu kromatografiju (engl. thin layer chromatography, TIC) pri kojoj dvostruke veze masnih kiselina mogu doći u interakciju sa srebrnim ionima stvarajući reverzibilne polarne komplekse (Buchgraber i Ulberth, 2001). Plinska kromatografija je najšire korištena metoda za određivanje sastava masnih kiselina općenito, ali i TFA. Koristiti se mogu plameno ionizacijski detektor (engl. flame ionization detector, FID) i maseni detektor (MS) koji omogućava nedvojbenu potvrdu analita. Uzorci se mogu analizirati nakon ekstrakcije masti organskim otapalima. Kada se radi o GC analizi, masne kiseline se konvertiraju u hlapive derivate, metilne estere masnih kiselina (engl. fatty acids methyl esters, FAME). Metilacija se može odvijati u kiselim ili bazičnim uvjetima, a najčešće se provodi metanolnom

otopinom natrij ili kalij hidroksida (Albuquerque i sur., 2011.; Petrović i sur., 2010.). Razdvajanje *cis*- i *trans*- izomera najbolje rezultate daje koristeći duže, 100 metarske kolone, koje smanjuju rizik od preklapanja izomera i to fleksibilne silika kapilarne kolone presvučene visoko polarnom cianopolisiloksan stacionarnom fazom, budući da omogućavaju razdvajanje geometrijskih i pozicijskih izomera TFA (Saunders i sur., 2008.; Albuquerque i sur., 2011.).

Udio *trans* masnih kiselina u hrani

Trans masne kiseline u mesu i mesnim proizvodima

Masti mesa životinja preživača sadrže TFA i CLA izomere koji su nastali u rumenu kao metabolički intermedijeri. Glavna skupina TFA kod svih preživača su C18:1, od kojih je glavni izomer *trans*-11 oktadecenska kiselina, ali također nastaju i

trans-9 te *trans*-10-oktadecenske kiseline. *Trans* masti su također prisutne i u mesu životinja nepreživača (primjerice, svinje i perad), ali uglavnom se nalaze u niskim koncentracijama i to kao posljedica hranidbe hranom koja sadrži *trans* masti (Yilmaz i Gecgel, 2009.). Meso i mesni proizvodi dobiveni od životinja nepreživača sadrže puno manji udio TFA u odnosu na meso životinja preživača. Utvrđeno je kako govedina sadrži 2,8 - 9,5 % TFA, janjeće meso 4,3 - 9,2 %, dok svinjetina i piletina sadrže puno manje količine, 0,2 - 2,2 %, odnosno 0,2 - 1,7 % (Aro i sur., 1998). Udio TFA u mesu životinja ovisi o brojnim faktorima, kao što je sastav lipida koje životinje unesu hranidbom, dob životinje, godišnje doba i sl. (Aro i sur., 1998.). Udio TFA u mesnim proizvodima dobivenim od goveđeg mesa te mesa životinja nepreživača, pilećoj šunki i tradicionalnim mesnim proizvodima od svinjskog mesa prikazani su u Tablici 1.

Tablica 1. Ukupni udio TFA u mesnim proizvodima (% ukupnih masnih kiselina)

Table 1 Total TFA content in meat products (% total fatty acids)

Vrsta mesa/ Type of meat	Mesni proizvodi/ Meat products	Ukupni udio TFA (%) / Total TFA content (%)	Literatura/ References
Govede/ Beef	Kobasice/ Sausages	1,92-3,64	Yilmaz i Gecgel, 2009; Karabulut, 2007
	Sudžuk/ Sudjuk	2,16-4,52	Yilmaz i Gecgel, 2009; Karabulut, 2007
	Šunka/ Ham	1,75	Karabulut, 2007
Pileće/ Chicken	Šunka/ Ham	0,42	Karabulut, 2007
Svinjsko/ Pork	Trajne kobasice/ Dry-fermented sausages	0,7 - 1,7	Muguerza i sur., 2004; neobjavljeni podaci/ unpublished data*
	Pršut/ Prosciutto	0,44-0,63	neobjavljeni podaci/ unpublished data*
	Šlanina/ Bacon	0,60	neobjavljeni podaci/ unpublished data*

*vlastiti neobjavljeni podaci iz dosadašnjih istraživanja/*unpublished data from our previous research

Trans masne kiseline u ostalim namirnicama

Istraživanje o udjelu TFA provedeno u Njemačkoj na uzorcima margarina, uzorkovanim tijekom dugogodišnjeg razdoblja, pokazalo je kako su se razine TFA značajno smanjile. Godine 1994. udio TFA u margarinima iznosio je 21,77 %, a 1999. godine 5,37 % (Precht i Molquentin, 2000.). Istraživanje margarina s hrvatskog tržišta, provedeno 2018. godine pokazalo je da se udio TFA kreće u rasponu od 0,39 do 3,39 % g/100 g masti. Istraživanje udjela TFA u prehrambenim proizvodima iz različitih kategorija provedeno 2015. godine u Španjol-

skoj pokazalo je kako su prosječni udjeli TFA izraženi kao postotak masti u svim skupinama proizvoda bili manji od 2 % masti, izuzev jogurta i skupine mliječnih proizvoda (2,30 %), maslaca (2,45 %) te sira za mazanje (2,52 %). Udio TFA u jogurtu i skupini mliječnih proizvoda iznosio je svega 0,073 % proizvoda, a ovim proizvodima prisutne TFA mogu biti i prirodnog podrijetla. Također je potvrđeno značajno smanjenje udjela TFA u mliječnim proizvodima u odnosu na 2010. godinu (Perez-Farinos i sur., 2016.).

Istraživanja udjela TFA u prehrambenim proizvodima iz Europskih zemalja pokazala su da

većina prehrambenih proizvoda sadrži manje od 2 g TFA/ 100 g masti, dok je 77 % istraženih proizvoda sadržavalo i manje od 0,5 g TFA/ 100 g masti. Ipak, podaci su pokazali da na europskom tržištu hrane postoje i proizvodi s vrlo visokim udjelom TFA, poput keksa, kokica te brze hrane sa udjelom i do 50 g TFA/ 100 g masti (Mouratidou i sur., 2014.; Stender i sur., 2012.). Istraživanje provedeno u Hrvatskoj na 104 uzorka različitih kategorija hrane iste godine pokazalo je kako je udio TFA u proizvodima bio manji u odnosu na graničnu vrijednost od 2 % masti, pri čemu su najveće količine TFA određene u pekarskim i konditorskim proizvodima (HAH, 2018.).

Biomarkeri unosa *trans* masnih kiselina

Kako bi se utvrdilo da li su TFA prisutne u hrani prirodnog ili industrijskog podrijetla, potrebno ih je moći razlikovati u prehrambenim proizvodima. Metode za kvantitativnu karakterizaciju TFA postoje te su kemijski sastav i količina TFA u prehrambenim proizvodima relativno istraženi pa je ujedno moguća i procjena unosa TFA. Međutim, metabolizam različitih TFA unesenih putem različitih vrsta prehrambenih proizvoda u ljudskom organizmu je kompleksniji (Destailats i sur., 2014.). Da bi se utvrdio potencijalno različit učinak na ljudski organizam TFA iz dva različita izvora, potrebno je razlikovati i biomarkere unosa.

Za procjenu unosa TFA iz oba izvora mjere se koncentracije ukupnih *trans* masnih kiselina u plazmi i serumu, fosfolipida TFA u plazmi te TFA na membranama eritrocita (Lichtenstein, 2016). Maslačna kiselina koja je prisutna samo u prirodnim mastima, može se koristiti kao biomarker prirodnog izvora, kao i *trans*-9 C16:1, koja nastaje bio *transformacijom* vakkenske kiseline, te se često koristi kao biomarker u istraživanjima povezanosti prirodnih TFA sa razvojem kardiovaskularnih bolesti (Stender i sur., 2008.; Adlof i sur., 2000.; Weggemans i sur., 2004.). Ukupne *trans*- C18:1, *trans*- C18:2 i *trans*-7 C16:1 služe kao markeri unosa industrijskih TFA (Micha i sur., 2010.). Za procjenu unosa TFA iz djelomično hidrogeniranih ulja dodatna opcija je mjerenje koncentracije dihidrofilokinona, hidrogeniranog oblika vitamina K koji nije prirodno prisutan u uljima. Odnedavno, u svrhu razlikovanja učinka prirodnih i industrijskih masti, razmatra se analiza plazmatskog proteoma temeljem identifikacije potencijalnih proteinskih biomarkera specifičnih za pojedinu *trans* masnu kiselinu. Pristup

se temelji na zapaženim promjenama u regulaciji ekspresije proteina pod utjecajem dodatka elaidinske kiseline HepG2 stanicama (Lichtenstein, 2016.).

Utjecaj *trans* masnih kiselina na ljudsko zdravlje

Specifični zdravstveni učinak različitih vrsta TFA je nedovoljno istražen. Neki literaturni podaci upućuju na to da prehrambene TFA dobivene iz djelomično hidrogeniranih biljnih ulja predstavljaju veći rizik za nastanak kardiovaskularnih bolesti u odnosu na one dobivene iz masti preživača (Stender i sur., 2008.; Bendsen i sur., 2011.) dok drugi autori navode da TFA iz oba izvora imaju iste biološke učinke (Weggemans i sur., 2004.; Brouwer i sur., 2013.). Podaci o utjecaju prirodnih *trans* masti na razvoj kardiovaskularnih bolesti i lipoproteine u plazmi su ograničeni te ujedno nedosljedni i nejasni (Brouwer i sur., 2010.; 2013.; Chardigny i sur., 2008.; Weggemans i sur., 2004.; Stender i sur., 2008.). Razlog tome je vjerojatno i teža izolacija prirodnih TFA od ostalih masnih kiselina, a do unazad nekoliko desetaka godina bilo je teško proizvesti prirodne *trans* masti u dovoljnoj količini za usporedbu sa industrijskim, budući da se one u prehrani nalaze u manjim količinama (Chardigny i sur., 2008.). Neka istraživanja govore da specifični učinak prirodnih TFA na ljudsko zdravlje nije značajan, budući da je njihov unos prehranom mali i prosječno iznosi oko 0,5 % dnevnog energetskeg unosa (Brouwer i sur., 2013.).

Utjecaj na koncentraciju kolesterola

Poznato je da su visoke koncentracije LDL kolesterola (engl. *low density lipoprotein*, lipoproteini niske gustoće), a niske koncentracije HDL kolesterola (engl. *high density lipoprotein*, lipoproteini visoke gustoće) povezane sa povećanim rizikom od nastanka kardiovaskularnih bolesti. Istraživanja dosljedno pokazuju da industrijske TFA imaju štetan učinak na razinu kolesterola u krvi, budući da povećavaju razinu LDL te snižavaju razinu HDL kolesterola, dok su o utjecaju prirodnih TFA podaci vrlo ograničeni (Brouwer i sur., 2010.; Brouwer i sur., 2013.). Meta analiza istraživanja o utjecaju industrijskih i prirodnih TFA na koncentraciju kolesterola u krvi pokazuje da obje vrste TFA povećavaju omjer LDL/HDL te time posljedično i rizik od nastanka kardiovaskularnih bolesti. Prirodne TFA imale su manje izražen negativni učinak u odnosu na industrijske, iako razlika nije bila statistički značajna. Ograničenje je mali broj istraživanja o prirodnim TFA (6 istraživanja) u odnosu na 29 istraživanja provedenih s industrijskim *trans* mastima.

Zamjenom 1 % energije podrijetlom iz masti, a koja je služila kao kontrola u istraživanjima (*cis*-mononezasićena mast) s industrijskim TFA dovelo je do povećanja omjera LDL/HDL u plazmi od 0,055. LDL se povećao za 0,045 mmol/L, a HDL smanjio za 0,01 mmol/L. Zamjenom 1 % energije podrijetlom iz masti koja je služila kao kontrola u istraživanjima (*cis*-mononezasićena mast ili zasićena mast) sa prirodnim TFA iz mlijeka dovelo je do povećanja omjera LDL/HDL za 0,034 što je manje u odnosu na industrijske masti, iako razlika nije statistički značajna. LDL se povećao za 0,042 mmol/L, bez promjene u HDL (0,00 mmol/L) (Brouwer i sur., 2010.). Meta analiza dodatnih 9 istraživanja o prirodnim *trans* mastima koje su proveli Brouwer i suradnici (2013.) potvrdila je da i prirodne i industrijske TFA, te industrijska CLA, imaju jednak učinak na lipoproteine u plazmi, povećavaju LDL te ukupni omjer LDL/HDL. Iz navedenog proizlazi pretpostavka da masne kiseline sa dvostrukim vezama u *trans* konfiguraciji imaju nepovoljne učinke na lipide i lipoproteine u krvnoj plazmi bez obzira na podrijetlo.

Istraživanje Chardigny i sur. (2008) pokazalo je kako industrijske TFA u usporedbi sa prirodnim značajno snižavaju HDL kolesterol kod žena, ali ne i kod muškaraca, indicirajući mehanizme vezane uz specifičnost spola te izomera. Na temelju istraživanja o varijacijama veličine i sastava LDL i HDL čestica u plazmi, pretpostavlja se kako su male LDL čestice sklonije oksidativnoj degradaciji u odnosu na veće LDL čestice, te u skladu s time imaju izražene ateroskleroze djelovanje, dok je povećanje koncentracije većih HDL čestica uglavnom odgovorno za zaštitno djelovanje HDL kolesterola. Rezultati pokazuju da prirodne TFA u usporedbi sa industrijskim nisu imale značajan utjecaj na ukupnu koncentraciju LDL čestica, ali su povećale prosječnu veličinu LDL. Za industrijske TFA se pokazalo da povećavaju LDL čestice male gustoće, a značajno smanjuju koncentraciju velikih HDL čestica. Kod pretilih žena pri razinama unosa od oko 5 g/dan, nije utvrđena razlika u učinku prirodnih i industrijskih TFA na lipide u krvi (Tardy i sur., 2009.).

Utjecaj na kardiovaskularne bolesti

U zapadnim zemljama otprilike svaka treća osoba umire od kardiovaskularnih bolesti i to često prije 65. godine života (Roger i sur., 2012.). Istraživanja su utvrdila kako je povećani unos TFA povezan s većim rizikom od razvoja kardiovaskularnih

bolesti. Meta istraživanjem je utvrđeno kako unos TFA koji odgovara 2 % ukupnog dnevnog energetskeg unosa (oko 5 g/dan) rezultira 23 %-tnim povećanjem rizika od razvoja kardiovaskularnih bolesti (Mozaffarian i sur., 2006.). Međutim, nisu dovoljno istraženi mehanizmi koji dovode do nastanka kardiovaskularnih bolesti, izuzev onih povezanih sa lipoproteinima. Pretpostavlja se da ostali mehanizmi koje dovode od nastanka kardiovaskularnih, ali i ostalih bolesti uslijed povećanog unosa TFA, uključuju sistemsku upalu, oksidativni stres, disfunkciju endotela, rezistenciju na inzulin i dijabetes. Postoje podaci o nepovoljnim učincima industrijskih TFA na sistemske upale budući da je pod njihovim djelovanjem zabilježeno povećanje upalnih markera, primjerice, C reaktivnog proteina (CRP) i interleukina-6 (IL-6) u plazmi. Ipak, pojedina istraživanja nisu pokazala statistički značajne promjene ovih komponenti u krvnoj plazmi (Wallace i Mozaffarian, 2009.).

Literaturni podaci dosljedno pokazuju da unos industrijskih *trans* masti ima štetan učinak na kardiovaskularni sustav, dok za prirodne u većini istraživanja nije dokazana značajna povezanost (Brouwer i sur., 2013.; Stender i sur., 2008.; Bendsen i sur., 2011.). Bendsen i suradnici (2011.) su proveli meta analizu o povezanosti unosa TFA podrijetlom iz različitih izvora sa rizikom od razvoja kardiovaskularnih bolesti. Relativni rizik istraživanja, odnosno omjer rizika izloženih skupina i rizika neizloženih skupina za industrijske TFA (tri istraživanja), iznosio je 1,21, dok za prirodne TFA (četiri istraživanja) nije uočena povezanost unosa sa rizikom nastanka kardiovaskularnih bolesti, uz vrijednost relativnog rizika od 0,93. Razlog tome može biti u činjenici da se prirodne *trans* masti uglavnom u organizam unose putem mliječnih proizvoda koji sadrže i druge nutrijente koji mogu djelovati povoljno na srce i krvožilni sustav ili da je njihov unos premalen, budući da su konzumirane u manjim količinama u odnosu na industrijske. Istraživanje Ascheria i sur. (1994.) pokazalo je da su industrijske TFA bile u pozitivnoj korelaciji sa povećanim rizikom obolijevanja od kardiovaskularnih bolesti, ali tek kod unosa od 3,3 g/dan, dok za prirodne TFA nije određena poveznica sa rizikom od razvoja kardiovaskularnih bolesti, ali su ispitane pri razini unosa samo do 1,8 g/dan. Analiza Weggemansa i sur. (2004.) je pokazala kako nema razlike u riziku od razvoja kardiovaskularnih bolesti između ukupnih, prirodnih te industrijskih *trans* masti za

unose do 2,5 g/dan. Pri većim unosima, iznad 3 g/dan ukupne i industrijske *trans* masti se povezuju s povećanim rizikom od razvoja kardiovaskularnih bolesti, dok pri ovim razinama unosa podaci za prirodne *trans* masti nisu dostupni. Oomen i sur. (2001.) su pak odredili podjednaku pozitivnu povezanost, iako ne statistički značajnu, između prirodnih i industrijskih TFA i navedenog rizika.

Utjecaj na nastanak tumora

Rezultati istraživanja o povezanosti unosa TFA i nastanka tumora su nedosljedni, iako pojedine studije ipak upućuju na postojanje povezanosti (Brouwer i Wanders, 2014.). Norveško istraživanje o povezanosti unosa TFA iz različitih izvora i rizika od razvoja tumora pokazalo je kako je rizik od nastanka tumora veći za unos TFA iz djelomično hidrogeniranih ribljih ulja te prirodnih *trans* masti u usporedbi sa jačinom povezanosti nastanka tumora i unosa djelomično hidrogeniranih biljnih ulja. Međutim, izvor prirodnih TFA također je važan izvor zasićenih masti, tako da je pozitivna povezanost unosa prirodnih TFA sa rizikom od razvoja tumora moguća zbog istodobnog unosa zasićenih masti čiji učinak nije moguće međusobno razlikovati. Kada se uspoređuju najveće i najmanje kategorije unosa, utvrđeno je značajno povećanje rizika od nastanka rektalnog tumora (1,43) i multiplog mijeloma (2,02) za djelomično hidrogenirana riblja ulja, od nastanka svih vrsta tumora (1,09) za prirodne *trans* masti, dok su značajno manje vrijednosti utvrđene za nastanak tumora prostate (0,82) u poveznici s hidrogeniranim ribljim uljima te tumora gušterače u muškaraca (0,52) i *non Hodkgin* limfoma (0,70) u slučaju djelomično hidrogeniranih biljnih ulja (Laake i sur., 2013.). Nekoliko je studija također pokazalo povezanost između unosa ukupnih TFA te rizika od nastanka kolorektalnog tumora (Kato i sur., 2010; Theodoratou i sur., 2007.). Istraživanja o povezanosti elaidinske kiseline i razvoja tumora dojke ili prostate, pokazala su pozitivan trend za rizik nastanka tumora prostate, ali ne i tumora dojke (Chavarro i sur., 2008.; Saadatian-Elahi i sur., 2002.; Laake i sur., 2013.). Također je pronađena pozitivna korelacija vakcenske kiseline i tumora prostate, dok je za povezanost s tumorom dojke određeno značajno povećanje, ali i smanjenje, rizika od tumora dojke u postmenopauzi (King i sur., 2005.; Rissanen i sur., 2003.; Aro i sur., 2000.). Različiti i oprečni rezultati su također dobiveni i za povezanost CLA sa karcinomom dojke (Rissanen i sur., 2003.; Aro i sur., 2000.; Voorrips i sur., 2002.).

Mehanizmi karcinogenih učinaka TFA su nejasni, a mogući put učinka je poticanje slabijih ali kroničnih upala koje predstavljaju rizik za razvoj određenih vrsta tumora ili imunomodulacijski učinak na stanice imunološkog sustava (Wallace i Mozaffarian, 2009.). Moguća poveznica između masnih kiselina, upala i imunuteta su eikozanoidi koji nastaju od polinezasićenih masnih kiselina s 20 C atoma i uključeni su u inflamatorne i imunološke odgovore (Sijben i Calder, 2007.). Ujedno, to bi mogao biti razlog zašto je za hidrogenirana riblja ulja, koja sadrže dugolančane masne kiseline, utvrđena pozitivna korelacija s rizikom od nastanka karcinoma u odnosu na djelomično hidrogenirana biljna ulja (Laake i sur., 2013.).

Utjecaj na dijabetes

Dijabetes tipa 2 karakteriziran je povećanom razinom glukoze u krvi uslijed smanjene osjetljivosti perifernih tkiva na inzulin te smanjenog izlučivanja inzulina pomoću β -stanica gušterače (Tardy i sur., 2011.). Rezultati istraživanja pokazuju da zamjena 2 % energetskog unosa podrijetlom iz TFA s jednakom vrijednošću energetskog unosa podrijetlom iz PUFA rezultira 40 %-tnim smanjenjem rizika od razvoja dijabetesa tipa 2. Takav učinak je prije svega uočen na pretilim ženama kao više rizičnoj skupini (Salmeron i sur., 2001.). Istraživanje na majmunima koji su šest godina hranjeni visokim udjelom industrijskih TFA, u odnosu na kontrolnu skupinu hranjenu visokim udjelom oleinske kiseline, pokazalo je kako su industrijske TFA uzrokovale abdominalnu pohranu masti i povećale razinu inzulina u plazmi (Kavanagh i sur., 2007.). In vitro istraživanje o izlučivanju inzulina stimuliranog glukozom nije rezultiralo promjenama kod stanica kultiviranih sa vakcenskom i oleinskom kiselinom, nego samo u slučaju elaidinske kiseline (Alstrup i sur., 2004.). Prema dostupnim podacima, industrijske i prirodne TFA ne umanjuju toleranciju na glukozu pri fiziološkim dozama i tijekom kratkog vremenskog razdoblja (Tardy i sur., 2011.). Na temelju postojećih podataka, kojih je malo i nisu jednoznačni, može se zaključiti da postoje ograničeni dokazi o slaboj povezanosti pojavnosti dijabetesa pri visokim razinama unosa TFA, a vrlo je malo uvjerljivih dokaza da uobičajeni prehrambeni unos značajno utječe na rizik od razvoja dijabetesa. Neka istraživanja pokazuju i povezanost povećanja tjelesne mase i unosa TFA (Thompson i sur., 2011.a; 2011.b).

Zakonska regulativa i preporuke

Udio TFA u hrani varira ovisno o vrsti, načinu i području proizvodnje, ali općenito govoreći, kontinuirano se smanjuje u odnosu na rastući trend zamjetan tijekom 60-tih godina prošlog stoljeća. Trend smanjenja udjela TFA posljedica je: donošenja preporuka o ograničenom unosu TFA, definiranja zakonskih okvira koji reguliraju njihovu prisutnosti u hrani, obaveze navođenja djelomično hidrogeniziranog ulja kao izvora TFA na popis sastojaka te preporuke o označavanju TFA na deklaracijama (u SAD je navođenje obavezno od 2006. godine). Posljedično, prehrambena industrija ulaže značajne napore u stavljanje na tržište proizvoda sa reduciranim udjelom TFA, dok istovremeno jača svijest potrošača o važnosti izbora hrane adekvatne nutritivne vrijednosti (Albuquerque i sur., 2011.; Lichtenstein, 2016.; EFSA 2018.).

Uredbom Europske komisije EU 2019/649 iz travnja 2019. godine (EK, 2019.) propisano je da udio *trans* masnih kiselina, osim *trans* masnih kiselina koje se prirodno pojavljuju u mastima životinjskog podrijetla, u hrani namijenjenoj krajnjem potrošaču i maloprodaji ne smije biti veći od 2 g /100 g masti. Prirodne TFA je teško ukloniti iz prirodnih izvora, a smatra se da je rizik od dostizanja visokog dnevnog unosa prirodnih TFA kroz uobičajenu prehranu niski obzirom na količine koje su prisutne u prirodnim izvorima (Bendsen i sur., 2011.; HAH, 2018.).

Zdravstvene su organizacije preporučile da unos TFA bude što je manji moguć (EFSA, 2010.), odnosno prema WHO/FAO iz 2003. godine cilj je da unos bude ispod 1% dnevnog energetskeg unosa. Donedavno je unos TFA u zapadnim zemljama bio prosječno oko 2% dnevnog energetskeg unosa, a trenutno je prosječni unos u Europskim zemljama smanjen na oko 1% dnevnog energetskeg unosa (EFSA, 2018.). Raspodjela unosa prirodnih TFA pokazuje da veći dio prirodnih TFA dolazi iz mliječnih proizvoda (85 %), a tek manji dio iz mesa preživaca (15 %). Količina unosa prirodnih TFA pokazala se uglavnom konstantnom tijekom godina (Stender i sur., 2008.).

Potencijalna rješenja zamjene TFA

Danas su već dostupne ili su u fazi razvoja, različite mogućnosti zamjene *trans* masti, međutim, odluka koju alternativno rješenje koristiti je nešto kompleksnija i uključuje zdravstvene učinke, dostupnost, kvalitetu i okus hrane, prihvatljivost među potrošačima, proces modifikacije, cijene

u i sl. (Sebastjan i sur., 2010.). Zamjena *trans* masti može predstavljati jednostavan postupak zamjene jedne vrsta ulja drugim ili složeniji postupak kao što je interesterifikacija masti proizvedene od potpuno hidrogenirane masti i prirodnih ulja. Mogu se koristiti ulja bogata oleinskom kiselinom i zasićenim mastima, tekuća ulja sa antioksidansima ili emulgatorima, tropska ulja (palmino i kokosovo) i njihove frakcije, potpuno hidrogenizirane masti kao izvor zasićenih masti te interesterificirana mast. Zamjena *trans* masti zasićenim mastima je jednostavno, ali ne i zdravstveno najprihvatljivije rješenje. Idealno rješenje bilo bi dizajniranje i proizvodnja masti funkcionalne u čvrstom stanju s povoljnim nutritivnim svojstvima, što zahtjeva dobro poznavanje poveznica između stukture, svojstava i funkcionalnosti ulja i masti te dostupnu tehnologiju i sirovinu. Jedan od primjera je interesterifikacija ulja vrlo bogatog oleinskom kiselinom sa potpuno hidrogeniranim uljem repice (Kodali, 2014.). U Europi se u slučaju ulja za prženje kao zamjena koriste ulja bogata oleinskom kiselinom koja pokazuju dobru stabilnost, a u slučaju margarina, za zamjenu se koriste tropska ulja i njihove frakcije u kombinaciji sa potpuno hidrogeniranim uljima (Wesdorp i sur., 2014.).

Zaključak

Trans masne kiseline imaju nepovoljan učinak na lipoproteine u plazmi, dok su ostali mehanizmi učinka u organizmu nedovoljno istraženi. Povećani unos industrijskih TFA povezuje se s povećanim rizikom od nastanka kardiovaskularnih bolesti te se smanjenjem unosa *trans* masti umanjuje i rizik od nastanka tih bolesti. Rizik povezan sa prirodnim TFA i dalje je nejasan, ali učinak, ako postoji, vjerojatno je mali odnosno zanemariv s obzirom na njihovu nisku razinu unosa. Uklanjanje prirodnih *trans* masti iz mesa i mlijeka je tehnički teško izvedivo, ali konzumiranjem mliječnih proizvoda sa manje masnoće, te smanjenjem unosa zasićenih masti, smanjuje se i unos prirodnih *trans* masnih kiselina, budući da su njihovi izvori najčešće zajednički. Potrebne mjere za smanjeni unos *trans* masnih kiselina su poduzete, putem osvješćivanja potrošača, uvođenjem zakonodavstva o ograničenoj prisutnosti *trans* masnih kiselina u hrani, preporukom za označavanje na deklaracijama i ograničenom unosu, čime je postignuto da je njihov unos,

u odnosu na 60-80-te godine prošlog stoljeća, sve manji. Daljnja istraživanja trebaju biti usmjerena na optimalna alternativna zdravija rješenja zamjene ovih masti u industrijskoj proizvodnji.

Zahvala

Ovaj rad je financirala Hrvatska zaklada za znanost projektom „Mikotoksini u hrvatskim tradicionalnim mesnim proizvodima: molekularna identifikacija plijesni producenata i procjena izloženosti potrošača“ (IP-2018-01-9017).

References

- [1] Adlof, R.O., S. Duval, E.A. Emken (2000): Biosynthesis of Conjugated Linoleic Acid in Humans. *Lipids* 35, 131–135.
- [2] Albuquerque, T.G., H. S. Costa, M. C. Castilho, A. Sanches-Silva (2011): Trends in the analytical methods for the determination of trans fatty acids content in food. *Trends in Food Science and Technology* 22, 543-560.
- [3] Alstrup, K.K., B. Brock, K. Hermansen (2004): Long-term exposure of INS-1 cells to cis and trans fatty acids influences insulin release and fatty acid oxidation differentially. *Metabolism* 53, 1158–1165.
- [4] Aro, A., J.M. Antoine, L. Pizzoferrato, O. Reykdal, G. Van Poppel (1998): Trans fatty acids in dairy and meat products from 14 European countries: The transfair study. *Journal of Food Composition and Analysis* 11, 150-160.
- [5] Aro, A., S. Mannisto, I. Salminen (2000): Inverse association between dietary and serum conjugated linoleic acid and risk of breast cancer in postmenopausal women. *Nutrition and Cancer* 38, 151–157.
- [6] Ascherio, A., C. H. Hennekens, J. E. Buring, C. Master, M. J Stampfer, W.C. Willett, W.C. (1994): Trans-fatty-acids intake and risk of myocardial infarction. *Circulation* 89, 94–101.
- [7] Bendtsen, N. T., R. Christensen, E. M. Bartels, A. Astrup (2011): Consumption of Industrial and Ruminant Trans Fatty Acids and Risk of Coronary Heart Disease: A Systematic Review and Meta-analysis of Cohort Studies. *European Journal of Clinical Nutrition* 65 (7), 773–783.
- [8] Brouwer, I. A., A. J. Wanders, M. J., Katan (2010): Effect of Animal and Industrial Trans Fatty Acids on HDL and LDL Cholesterol Levels in Humans—A Quantitative Review. *PLoS One* 5 (3), 9434.
- [9] Brouwer, I. A., A. J. Wanders, M. J., Katan (2013): Trans Fatty Acids and Cardiovascular Health: Research Completed? *European Journal of Clinical Nutrition* 67 (5), 541–547.
- [10] Brouwer, I.A., A. J. Wanders (2014): Nutritional aspects of Trans fatty acids. U: *Trans fat replacement solution*, Kodali, R.D. (ur.). Illinois; AoCS Press, 2014.
- [11] Buchgraber, M., F. Ulberth (2001): Determination of trans octadecenoic acids by silver-ion chromatography- gas liquid chromatography: an intercomparison of methods. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists* 84, 1490-1498.
- [12] Chardigny, J. M., F. Destailhats, C. Malpuech-Brugère, J. Moulin, D. Bauman, A. L. Lock, D.M. Barbano, R.P. Mensink, J.B. Bezelgues, P. Chaumont, N. Combe, I. Cristiani, F. Joffre, B. German, F. Dionisi, Yves Boirie, J. V. Sébédio (2008): Do trans fatty acids from industrially produced sources and from natural sources have the same effect on cardiovascular disease risk factors in healthy subjects? Results of the trans Fatty Acids Collaboration (TRANSFACT) study. *The American Journal of Clinical Nutrition* 87 (3), 558–566.
- [13] Chavarro, J.E., M.J. Stampfer, H. Campos (2008): A prospective study of trans-fatty acid levels in blood and risk of prostate cancer. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 17, 95–101.
- [14] Destailhats, F. (2014): Natural versus Industrial Trans fatty Acids. U: *Trans fat replacement solution*, Kodali, R.D. (ur.). Illinois; AoCS Press, 2014.
- [15] European Food Safety Authority, EFSA (2004): Opinion of the Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request from the Commission related to the presence of trans fatty acids in foods and the effect on human health of the consumption of trans fatty acids. *The EFSA Journal* 81, 1–49.
- [16] European Food Safety Authority, EFSA (2010): Znanstveno mišljenje o referentnim prehrambenim vrijednostima za unos masti, uključujući zasićene masne kiseline, višestruko nezasićene masne kiseline, jednostruko nezasićene masne kiseline, trans masne kiseline i kolesterol. *The EFSA Journal* 8, 1461.
- [17] European Food Safety Authority, EFSA (2018): Znanstvena i tehnička pomoć u pogledu trans masnih kiselina. EFSA supporting publication 2018:EN-1433, 16.
- [18] Europska komisija (EK) (2015): Izvješće komisije Europskom parlamentu i vijeću o trans masnim kiselinama u hrani i prehrani stanovništva Unije općenito. Bruxelles COM (2015) 619.
- [19] Europska komisija (EK) (2019): Uredba EU 2019/649 od 24. travnja 2019. o izmjeni Priloga III. Uredbi (EZ) br. 1925/2006 Europskog parlamenta i Vijeća u pogledu transmasnih kiselina, osim transmasnih kiselina koje se prirodno pojavljuju u mastima životinjskog podrijetla.
- [20] Hrvatska agencija za hranu, HAH (2018): Znanstveno mišljenje o riziku od trans masnih kiselina. HAH-Z-2018-4.
- [21] Kato, I., A. P. Majumdar, S.J. Land (2010): Dietary fatty acids, luminal modifiers, and risk of colorectal cancer. *International Journal of Cancer* 127, 942–51.

- [22] Karabulut, I. (2007): Fatty acid composition of frequently consumed foods in Turkey with special emphasis on trans fatty acids. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 58, 619-628.
- [23] Kavanagh, K., K.L. Jones, J. Sawyer, K. Kelley, J.J. Carr, J.D. Wagner (2007): Trans fat diet induces abdominal obesity and changes in insulin sensitivity in monkeys. *Obesity* 15, 1675-84.
- [24] King, I.B., A. R. Kristal, S. Schaffer (2005): Serum trans-fatty acids are associated with risk of prostate cancer in beta-carotene and retinol efficacy trial. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 14, 988-992.
- [25] Kodali, D.R. (2014): Trans fats: Health, chemistry, functionality. And potential replacement solutions U: Trans fat replacement solution, Kodali, R.D. (ur.). Illionis; AoCS Press, 2014.
- [26] Laake I., M. H. Carlsen, J. I. Pedersen, E. Weiderpass, R. Selmer, B. Kirkhus, I. Thune, M.B. Veierød (2013): Intake of Trans Fatty Acids From Partially Hydrogenated Vegetable and Fish Oils and Ruminant Fat in Relation to Cancer Risk. *International Journal of Cancer* 132 (6), 1389-1403.
- [27] Lichtenstein, A.H. (2016): Fatty acids: Trans Fatty acids. U: *The Encyclopedia of Food and Health*, Caballero, B., Finglas, P., Toldrá, F. (ur.). Oxford; Academic Press, 2016.
- [28] Micha, R., I.B. King, R. N. Lemaitre, E. B. Rimm, F. Sacks, X. Song, S. Siscovick D. Mozaffarian (2010): Food Sources of Individual Plasma Phospholipid Trans Fatty Acid Isomers: The Cardiovascular Health Study. *The American Journal of Clinical Nutrition* 91, 883-893.
- [29] Mossoba, M.M., V. Milosevic, M. Milosevic, J.K. Kramer, H. Azizian (2007): Determination of total trans fat and oils by infrared spectroscopy for regulatory compliance. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 389, 89-92.
- [30] Mouratidou, T., A. Livaniou, C.M. Saborido, J. Wollgast, S. Caldeira (2014): Trans fatty acids in Europe: where do we stand? A synthesis of the evidence: 2003-2013. Joint Research Centre Report. Publication Office of the European Union: Luxembourg.
- [31] Mozaffarian, D., M.B. Katan, A. Ascherio, M.J. Stampfer, W.C. Willett (2006): Trans Fatty Acids and Cardiovascular Disease. *The New England Journal of Medicine* 354 (15), 1601-1613.
- [32] Muguerza, M., D. Ansorena, I. Astiasaran (2004): Functional dry fermented sausages manufactured with high levels of n-3 fatty acids: nutritional benefits and evaluation of oxidation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84, 1061-1068.
- [33] Oomen, C.M., M.C. Ocke, E.J. Feskens, M.A. van Erp Baart, F. Kok, D. Kromhout (2001): Association between trans fatty acid intake and 10-year risk of coronary heart disease in the Zutphen Elderly Study: a prospective population-based study. *Lancet* 357, 746-751.
- [34] Perez-Farinos, N., M.A. Dal Re Saavedra, C.V. Villalba, T.R. de Dios (2016): Trans fatty acid content of food products in Spain in 2015. *Gac Sanit* 30 (5), 379-382.
- [35] Petrović, M., N. Kezić, V. Bolanča (2010): Optimization of the GC method for routine analysis of the fatty acid profile in several food samples. *Food Chemistry* 122, 285-291.
- [36] Precht, D., J. Molkentin (2000): Recent trends in the fatty acid composition of German sunflower margarines, shortenings and cooking fats with emphasis on individual C16:1, C18:1, C18:2, C18:3 and C20:1 trans isomers. *Nahrung* 44, 222-228.
- [37] Rissanen, H., P. Knekt, R. Jarvinen (2003): Serum fatty acids and breast cancer incidence. *Nutrition and Cancer* 45, 168-175.
- [38] Roger, V.L., A.S. Go, D. M. Lloyd-Jones, E.J. Benjamin, J.D. Berry, W.B. Borden (2012): Heart disease and stroke statistics—2012 update: a report from the American Heart Association. *Circulation* 125, 220-222.
- [39] Saadatian-Elahi M, P. Toniolo, P. Ferrari (2002): Serum fatty acids and risk of breast cancer in anested case-control study of the New York University Women's Health Study. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 11,1353-60.
- [40] Salmeron, J., F.B. Hu, J.E. Manson (2001): Dietary fat intake and risk of type 2 diabetes in women. *The American Journal of Clinical Nutrition* 73, 1019-1026.
- [41] Saunders, D., S. Jones, G.J. Devane, P. Scholes, R.J. Lake, S.M. Paulin (2008): Trans fatty acids in the New Zealand food supply. *Journal of Food Composition and Analysis* 21, 320-325.
- [42] Sebastjan, F., R. Fink, J. Hribar, J. Vidrih (2010): Trans fatty acids in Food and their influence on human health. *Food Technology and Biotechnology* 48 (2), 135-142.
- [43] Sijben, J.W.C., P.C. Calder (2007): Differential immunomodulation with long-chain n-3 PUFA in health and chronic disease. *Proceedings of Nutrition Society* 66, 237-259.
- [44] Stender, S., A. Astrup, J. Dyerberg (2008): Ruminant and industrially produced trans fatty acids: health aspects. *Food and Nutrition Research* 52 (1), 1651
- [45] Stender, S, A. Astrup, J. Dyerberg (2012): A trans European Union difference in the decline in trans fatty acids in popular foods: a market basket investigation. *BMJ open* 4.
- [46] Tardy, A.L., S. Lambert-Porcheron, C. Malpuech-Brugere, C. Giraudet, J.P. Rigaudiere, B. Laillet (2009): Dairy and industrial sources of trans fat do not impair peripheral insulin sensitivity in overweight women. *The American Journal of Clinical Nutrition* 90, 88-94.
- [47] Tardy, A.L., B. Morio, J.M. Chardigny, C. Malpuech-Brugere (2011): Ruminant and industrial sources of trans- fat and cardiovascular and diabetic diseases. *Nutrition Research Reviews* 24, 111-117.
- [48] Theodoratou, E., G. McNeill, R. Cetnarskyj (2007): Dietary fatty acids and colorectal cancer: a case-control study. *American Journal of Epidemiology* 166, 181-195.
- [49] Thompson, A. K., A.M. Minihane, C.M. Williams (2011a): Trans Fatty Acids and Weight Gain. *International Journal of Obesity* 35 (3), 315-324.
- [50] Thompson, A. K., A.M. Minihane, C.M. Williams (2011b): Trans Fatty Acids, Insulin Resistance and Diabetes. *European Journal of Clinical Nutrition* 65 (5), 553-564.
- [51] Voorrips, L.E., H.A.M. Brants, A.F.M. Kardinaal (2002): Intake of conjugated linoleic acid, fat, and other fatty acids in relation to postmenopausal breastcancer: the Netherlands cohort study on diet and cancer. *The American Journal of Clinical Nutrition* 76, 873-882.
- [52] Yilmaz, I, U. Gecgel (2009): Determination of Fatty acid composition and total trans fatty acids in meat products. *Food Science and Biotechnology* 18, 350-355.

- [53] Wallace, S.K., D. Mozaffarian (2009): Trans-fatty acids and nonlipid risk factors. *Current Atherosclerosis Reports*, 423–433.
- [54] Weggemans, R.V., M. Rudrum, E.A. Trautwein (2004): Intake of ruminant versus industrial trans fatty acids and risk of coronary heart disease – what is the evidence? *European Journal of Lipid Science and Technology* 106, 390-397.
- [55] Wesdorp, L.H., S.M. Melnikov, E.A. Gaudier (2014): Trans fat replacement solutions in Europe. U: Trans fat replacement solution, Kodali, R.D. (ur.). Illionis; AoCS Press, 2014.
- [56] World Health Organization/Food and Agriculture Organization, WHO/FAO (2003): Expert Report: Diet, nutrition and prevention of chronic diseases. Report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation. WHO Technical Report Series 916

Dostavljeno: 28.01.2020.

Prihvaćeno: 07.02.2020.

Natural and industrial *trans* fatty acids – incidence and impact on human health

Abstract

Trans fatty acids (TFA) are produced naturally by the biological hydrogenation in the rumen of ruminant animals, but also during the industrial process, by the partial hydrogenation of vegetable and fish oils. The division into industrial and natural TFAs is complex since these fats are mainly composed of the same isomers and the amount and distribution are what differentiate them. Most of the TFA found in food products are oleic and *trans*-octadecenoic acid isomers (*trans*-18:1). According to the results of most studies, all TFA have an adverse effect on plasma lipoproteins, while other mechanisms of effect in the human body have been poorly understood. Increased intake of industrial *trans* fatty acids is associated with an increased risk of cardiovascular disease, and avoiding the intake of *trans* fat also reduces the risk of such diseases. The risk associated with natural *trans* fatty acids is still unclear, but the effect, if any, is probably small considering their low intake levels. According to the European Commission, legislation has been adopted on the restricted level of industrial *trans* fats in food up to 2 g/100 g fat, so that measures to reduce TFA intake have been taken and their levels in food reduced. To replace these fats in food products, optimal healthier solutions need to be found.

Key words: *trans* fat, rumenic acid, hydrogenated oils, health effect, CLA

Natürliche und industrielle Transfettsäuren – Häufigkeit und Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit

Zusammenfassung

Transfettsäuren (engl. TFA) entstehen in geringer Menge auf natürliche Weise durch die biologische Hydrierung im Pansen von Wiederkäuern, aber auch während des industriellen Prozesses, durch die partielle Hydrierung von Pflanzen- und Fischölen. Die Einteilung in industrielle und natürliche TFAs ist komplex, da diese Fette hauptsächlich aus den gleichen Isomeren bestehen und sich durch die Menge und Verteilung unterscheiden. Die meisten *Transfettsäuren*, die in Lebensmitteln vorkommen, sind Isomere der Olein- und *Trans*-Octadecensäure (*trans*-18: 1). Nach den Ergebnissen der meisten Studien haben alle *Transfettsäuren* eine nachteilige Wirkung auf die Plasma-Lipoproteine, während andere Wirkungsmechanismen im menschlichen Körper unzureichend untersucht wurden. Eine erhöhte Aufnahme von industriellen *Transfettsäuren* ist mit einem erhöhten Risiko von Herz-Kreislauf-Erkrankungen verbunden; die Vermeidung der Aufnahme von Transfettsäuren reduziert auch das Risiko solcher Erkrankungen. Das mit natürlichen *Transfettsäuren* verbundene Risiko ist immer noch unklar, aber die Wirkung, wenn überhaupt, ist angesichts der Menge, in der sie in natürlichen Quellen vorhanden sind, wahrscheinlich gering. Die Eu-

ropäische Kommission hat in ihren Rechtsvorschriften den Gehalt an industriellen *Transfettsäuren* in Lebensmitteln bis zu 2 g/100 g Fett eingeschränkt, wodurch Maßnahmen zur Verringerung der TFA-Aufnahme ergriffen wurden. Um diese Fette in Nahrungsmitteln zu ersetzen, müssen in Zukunft optimale, gesündere Lösungen gefunden werden.

Schlüsselwörter: *Transfettsäuren*, Pansensäure, hydrierte Pflanzenöle, gesundheitliche Auswirkungen, CLA

Ácidos grasos trans naturales e industriales: la incidencia y el impacto sobre la salud humana

Resumen

Los ácidos grasos *trans* (inglés *trans fatty acids*, TFA) están producidos en una pequeña cantidad de forma natural por la hidrogenación biológica en el rumen de los animales rumiantes, pero también durante el proceso industrial, por la hidrogenación parcial de los aceites vegetales y del pescado. La división de los TFA en industriales y naturales es compleja ya que estas grasas están compuestas principalmente de los mismos isómeros, y se diferencian por la cantidad y la distribución. La mayoría de los TFA encontrados en los productos alimenticios son isómeros de ácido oleico y *trans*-octadecenoico (*trans*- 18:1). Según los resultados de la mayoría de los estudios, todos los TFA tienen un efecto adverso sobre las lipoproteínas plasmáticas, mientras que otros mecanismos de efecto en el cuerpo humano están insuficientemente investigados. El aumento de la ingesta de ácidos grasos *trans* industriales se asocia con un mayor riesgo de las enfermedades cardiovasculares, y se reduce el riesgo de tales enfermedades evitando la ingesta de las grasas *trans*. El riesgo asociado con los ácidos grasos *trans* naturales todavía no está claro, pero el efecto, si existe, probablemente es pequeño dada la cantidad baja de la ingesta. La Comisión Europea ha aprobado el nivel de grasas *trans* industriales en los alimentos de hasta 2 g / 100 g de grasa, tomando de esta manera las medidas para reducir la ingesta de los TFA. Para reemplazar estas grasas en los productos alimenticios, es necesario encontrar soluciones óptimas y más saludables.

Palabras claves: grasas *trans*, ácido ruménico, aceites hidrogenados, efecto sobre la salud, CLA

Acidi grassi *trans* naturali e industriali – presenza e impatto sanitario

Riassunto

Gli acidi grassi *trans* (*trans fatty acids*, TFA) derivano in minor misura dal processo naturale dell'idrogenazione biologica nel rumine degli animali ruminanti, ma possono venire prodotti anche nel corso del processo industriale dalla parziale idrogenazione degli oli vegetali ed animali. La suddivisione tra TFA industriali e naturali è complessa, giacché si tratta di grassi composti prevalentemente dagli stessi isomeri. Ciò che li distingue è la quantità e la distribuzione. La maggior parte di TFA presenti nei prodotti alimentari sono isomeri dell'acido oleico e *trans*-ottadecenoico (*trans*- 18:1). Secondo i risultati della maggior parte delle ricerche svolte in materia, tutti gli acidi grassi *trans* hanno un impatto negativo sulle lipoproteine nel plasma, mentre gli effetti sugli altri meccanismi dell'organismo umano non sono stati sufficientemente studiati. L'elevata assunzione di acidi grassi *trans* industriali viene ricollegata al maggior rischio di malattie cardiovascolari. Evitarne l'assunzione riduce la probabilità di riscontrare queste malattie. Il rischio legato agli acidi grassi *trans* naturali non è ancora stato sufficientemente studiato; in ogni caso il loro impatto, se esiste, è probabilmente minimo considerato il loro basso livello di assunzione nell'organismo umano. La Commissione europea ha stabilito il contenuto massimo ammissibile di acidi grassi *trans* industriali nei prodotti alimentari in 2 g/100 g di tenore totale di grassi, adottando così misure che riducano la loro assunzione. In futuro è necessario trovare soluzioni ottimali ed innocue per la salute umana che siano in grado di sostituire efficacemente questi grassi nei prodotti alimentari.

Parole chiave: grassi *trans*, acido rumenico, oli vegetali idrogenati, impatto sanitario, CLA