

ence 60, 1827–1833.

Nemanič J., Ž. Berić (1995): Peradarstvo. Nakladni zavod Globus. Zagreb

Tor, M., J. Estany, D. Villalba, E. Molina, D. Cubilo (2002.): Comparison of carcass composition by parts and tissues between cocks and capons. *Animal Research* 51, 421-431.

Večerek, V., P. Suhy, E. Strakova, F. Vitula (2004): Chemical composition of breast and thigh muscles in fattened pheasants poult. *Proceeding of the 11th International Conference Krmiva*, 1-4 July. Opatija, Croatia. pp. 7-14.

Yamashita, C., Y., Ishimoto, T. Yamada, H. Mekada, S. Ebisawa (1975.): Studies on the meat quality of broilers. *Japan Polutry Science* 12, 78-82.

Welter, J. F. (1976.): The effects of Surgical Caponization on Production Efficiency and Carcass Yield of Roosters. *Polutry Science* 55, 1372-1375.

*Prikazani rezultati proizašli su iz znanstvenog projekta (Veterinarsko javno zdravstvo u proizvodnji zdrave hrane 053-0531854-1851) provedenog uz potporu Ministarstva, obrazovanja i športa Republike Hrvatske. ■

POLINEZASIĆENE MASNE KISELINE U PREHRANI I ZDRAVLJU LJUDI

Karolyi¹ D.

SAŽETAK

Novije medicinske spoznaje pokazuju da u razvoju krvožilnih i drugih kroničnih bolesti kod ljudi značajnu ulogu ima međusobni odnos dviju skupina polinezasićenih masnih kiselina u prehrani: omega-6 kiselina čiji je osnovni predstavnik linolna kiselina (C18:2 n-6) i omega-3 kiselina, čiji je osnovni predstavnik alfa linolenske kiselina (C18:3 n-3). U organizmu, procesima elongacije i desaturacije iz LA nastaju ostale n-6 kiseline, poput arahidonske kiseline (AA, C20:4 n-6), dok iz ALA nastaju dugolančane n-3 kiseline, kao što su eikosapentaenoična (EPA, C20:5 n-3) i dokosaheksaenoična kiselina (DHA, C22:6 n-3). Polinezasićenih masnih kiselina sa 20 C atoma predkursori su eikosanoida, koji kao tkivni hormoni (prostaglandini, tromboksani i leukotrieni) s lokalnim nastajanjem i djelovanjem u tkivima reguliraju različite fiziološke procese, poput grušanja krvi i upalne reakcije. Eikosanodi koji nastaju iz kiselina različitih n-skupina imaju različitu strukturu i biološke učinke u tkivima. Tako tromboksan A2, koji nastaje iz AA (C20:4 n-6) izaziva nakupljanje trombocita i grušanje krvi a u patološkim okolnostima trombozu, dok iz EPA (C20:5 n-3) nastaje trombogeno neaktivni tromboksan A3. Slično tome, leukotrieni koji nastaju iz AA imaju snažnije pro-upalno djelovanje od onih koji nastaju iz EPA. Razine navedenih eikosanoida ovise o količinama AA (C20:4 n-6) i EPA (C20:5 n-3) u fosfolipidima tkivnih stanica, a njihove količine ovisi o relativnim količinama LA (C18:2 n-6) i ALA

(C18:3 n-3) u prehrani. Količina LA u suvremenoj prehrani ljudi jako se povećala uporabom jestivih biljnih ulja koja sadrže visok udio LA, te mesa, jaja i ribe s povećanim sadržajem LA uslijed intenzivne hranidbe životinja žitaricama, također bogatom izvoru LA. Smatra se da je razvoj ljudskog roda tekao uz odnos n-6/n-3 u prehrani oko 1 do 2 dok je u prehrani današnjih ljudi taj odnos je značajno promijenjen i iznosi 10 do 20 i više. Gubitak ravnoteže n-6 i n-3 polinezasićenih masnih kiselina u prehrani povezuje se uz uzroke pojave i stalnog porasta bolesti moderne civilizacije. Istraživanja su pokazala da povećani unos n-3 masnih kiselina u hrani u odnosu na unos omega-6 masnih kiselina, može smanjiti rizik od razvoja krvožilnih, autoimunih i drugih kroničnih bolesti. Sukladno tome, zdravstvene organizacije savjetuju smanjenje omjera n-6/n-3 u svakodnevnoj prehrani.

Ključne riječi: lipidi, polinezasićene masne kiseline, omega-6, omega-3 kiseline

UVOD

Najznačajnija novija otkrića na području nutritivne vrijednosti lipida vezana su uz značenje i ulogu polinezasićenih masnih kiselina u prehrani ljudi (Sardesai, 1992a i 1992b). Interes za ulogu polinezasićenih masnih kiselina potakla su istraživanja iz 70-tih godina prošlog stoljeća, koja su otkrila vrlo niski pobol od

¹ Dr.sc. Danijel Karolyi, viši asistent, Zavod za opće stočarstvo, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska cesta 25, 10 000, Zagreb, Hrvatska

krvožilnih bolesti u populaciji Grenlandskih Eskima, unatoč njihove mastima bogate prehrane temeljene na morskim sisavcima i ribi čiji prehrambeni lanac počiva na planktonu i algama bogatim omega-3 polinezasićenim masnim kiselinama (Bang i Dyeberg 1972, citirano po Simopoulos, 1991; Bartsch i sur., 1999). Slična opažanja kasnije su potvrđena epidemiološkim studijama na drugim populacijama sa sličnom prehranom, primjerice u obalnim područjima Japana. Kako se kod emigranata koji su promijenili način prehrane učestalost pojave bolesti tijekom godina nije značajnije razlikovala od visoke stope pobola u okruženju, niska stopa pojave bolesti u domicilnoj populaciji povezana je s prehranom bogatom omega-3 polinezasićenim masnim kiselinama iz ribe i ribljeg ulja (Simopoulos, 1991).

STRUKTURA I METABOLIZAM POLINEZASIĆENIH MASNIH KISELINA

Općenito, masne kiseline u prirodnim mastima i uljima kemijski su građene iz ugljikovog lanca s terminalnom metilnom (CH_3 -) grupom na jednom i karboksilnom ($-\text{COOH}$) grupom na drugom kraju lanca. U molekuli zasićenih masnih kiselina (eng. saturated fatty acid ili SFA) svi atomi ugljika međusobno su povezani jednostrukim vezama, a na svakom ugljikovom atomu nalazi se maksimalno mogući broj vodikovih atoma. Takva je struktura stabilna i manje podložna kemijskim reakcijama. Masnim kiselinama može nedostajati jedan par vodikovih atoma u lancu i u tom slučaju masna kiselina sadrži jednu dvostruku ($\text{C}=\text{C}$) vezu te je jednostruko ili mononezasićena (eng. monounsaturated fatty acid ili MUFA). Višestruko nezasićene ili polinezasićene masne kiseline (eng. polyunsaturated fatty acid ili PUFA) u ugljikovom lancu sadrže više od jedne nezasićene ili dvostruke veze. Zbog mogućnosti pucanja dvostrukih veza, nezasićene masne kiseline su nestabilnije, a reaktivnost im raste s porastom broja dvostrukih veza. Klasifikacija PUFA vrši se temeljem dužine ugljikovog lanca, broja dvostrukih veza i lokacije prve dvostruke veze u ugljikovom lancu. Omega (ω) ili n-broj u nomenklaturi polinezasićenih masnih kiselina uveden je radi njihove identifikacije (Holman, 1964), a označava položaj prve dvostruke veze u ugljikovom lancu brojeno od CH_3 skupine (Slika 1). Osno-

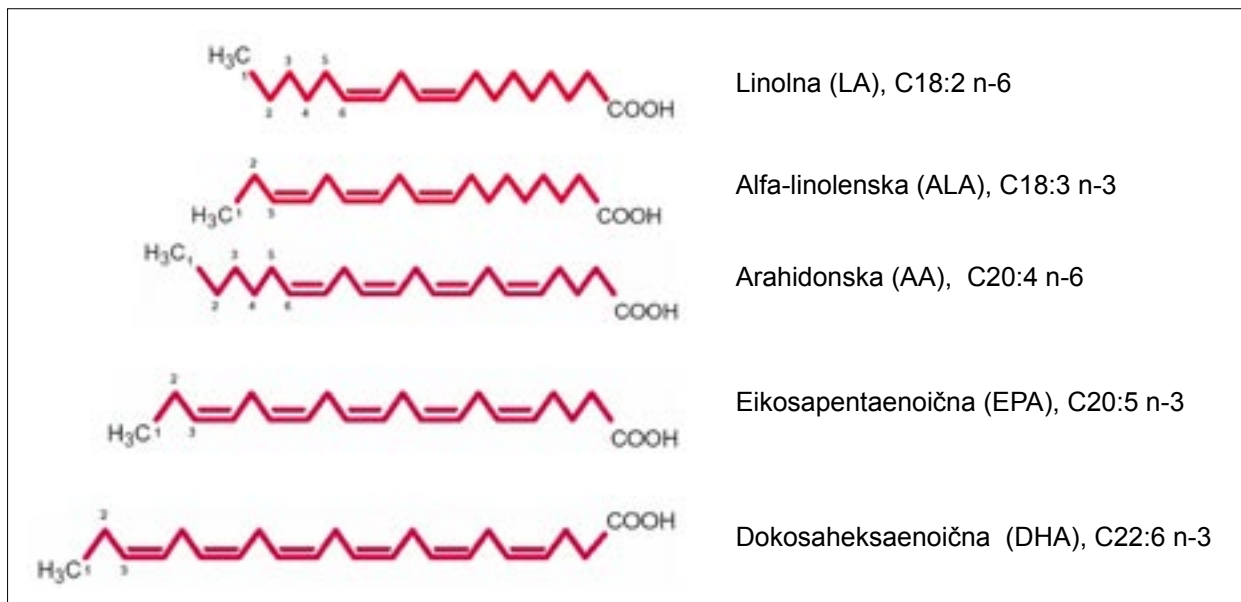
vni predstavnik skupine omega-6 PUFA je linolna kiselina (LA, $\text{C}_{18:2}$ n-6), a skupine omega-3 PUFA α -linolenska kiselina (ALA, $\text{C}_{18:3}$ n-3). Kod ljudi, sve metaboličke pretvorbe polinezasićenih masnih kiselina poput desaturacije i elongacije, odvijaju se iza devetog ugljikovog atoma od metilnog kraja. Zbog nepostojanja potrebnih enzima, čovjek i drugi sisavci ne mogu sintetizirati LA i ALA već ih moraju unositi u organizam putem hrane, što i uvjetuje njihovu esencijalnost (Simopoulos, 1991). U organizmu LA i ALA mogu se metabolizirati u više polinezasićene masne kiseline djelovanjem desaturacijskih i elongacijskih enzima (Pereira i sur., 2002). Desaturacijski enzimi uvode novu dvostruku vezu u ugljikov lanac dok elongacijski enzimi dodaju dva nova C atoma. U organizmu, poglavito u jetri, procesima elongacije i desaturacije iz LA nastaju ostale polinezasićene masne kiseline n-6 serije, poput arahidonske kiseline (AA, $20:4$ n-6), dok iz ALA u organizmu nastaju polinezasićene masne kiseline n-3 serije, kao što su eikosapentaenoična (EPA, $20:5$, n-3) i dokosaheksaenoična (DHA, $22:6$, n-3) kiselina (Slika 2). Metabolički put n-6 i n-3 PUFA sastoji se iz niza naizmjeničnih desaturacija i elongacija, pri čemu između n-6 i n-3 kiselina postoji konkurencija za desaturacijskim enzimima (Simopoulos, 1991). Prvi korak u sintezi AA iz LA i EPA iz ALA je $\Delta 6$ -desaturacija i nastavak sinteze ovisi o aktivnosti $\Delta 6$ -desaturaze, koja pokazuje veći afinitet prema n-3 masnim kiselinama (Simopoulos, 1991; Dommels i sur., 2002).

IZVORI POLINEZASIĆENIH MASNIH KISELINA U HRANI

Bogat izvor LA (n-6) u hrani jesu biljne klice i ulja kao što su suncokretovo, kukuruzno ili sojino. Linolna kiselina iz hrane smatra se glavnim izvorom arahidonske kiseline u organizmu. Meso žitaricama tovljenih životinja, kao i žumanjak jajeta također su izravan izvor LA i AA u prehrani ljudi. U svinjskom mesu sadržaji LA i AA općenito su viši u odnosu na meso goveda i drugih preživača koji se hrane pretežno pašom. Primjerice, u analizi mesa iz maloprodajnih trgovačkih lanaca (Enser i sur., 1996), sadržaji LA i AA u konzumnom svinjskom mesu iznosili su u prosjeku 14,2 i 2,21 % ukupnih masnih kiselina intramuskularne masti, dok je u govedskom mesu sadržaj LA, odnosno AA bio niži, 2,5 odnosno 0,6 % ukupnih masnih kiselina.

▼ **Slika 1.** Kemijska struktura polinezasićenih masnih kiselina: linolna (LA), alfa-linolenska (ALA), arahidonska (AA), eikosapentaenoična (EPA) i dokosaheksaenoična (DHA) kiselina.

▼ **Figure 1.** Chemical structure of polyunsaturated fatty acids: linoleic (LA), alpha-linolenic (ALA), arachidonic (AA), eicosapentaenoic (EPA) i docosaheksaenoic (DHA).



Osnovna n-3 polinezasićena masna kiselina, alfa-linolenska, u prirodi se nalazi u kloroplastu lisnatog zelenog povrća, te u većoj mjeri također u pojedinim biljnim uljima, kao što su laneno ili repičino ulje. Mesa također sadrže određene količine ALA. U spomenutoj analizi (Enser i sur., 1996), sadržaj ALA u svinjskom mesu iznosio je 0,95 %, a u mesu goveda 0,70 % ukupnih masnih kiselina. Vrste masnih morskih riba, kao što su skuša, srdela, tuna, losos i harinoga posebno su bogat izvor dugolančanih n-3 EPA i DHA (>18mg/g EPA+DHA; Givens i Gibbs, 2006). U malim količinama dugolančane omega-3 kiseline EPA i DHA prisutne su i u mesu. Primjerice, sadržaj EPA u svinjetini iznosio je 0,31 % ukupnih masnih kiselina, a sadržaj DHA 0,39 %, dok su u govedini udjeli EPA i DHA iznosili 0,28 i 0,05 % (Enser i sur., 1996). Meso peradi u pravilu sadrži više EPA i DHA u odnosu na svinjsko i goveđe meso (Givens i Gibbs, 2006).

Dugolančane PUFA, kao što su AA (n-6), odnosno EPA (n-6) i DHA (n-3) u tjelesnim tkivima mogu potjecati izravno iz konzumirane hrane ili se metaboliziraju iz svojih prekursora u hrani LA, odnosno ALA. Međutim, efikasnost endogene pretvorbe ALA iz hrane u EPA i DHA u organizmu odraslog čovje-

ka nije velika (Burdge i sur., 2003; Holub, 2006) te se dugolančane n-3 PUFA iz hrane danas također smatraju esencijalnim masnim kiselinama (Givens i sur., 2006).

ULOGA POLINEZASIĆENIH MASNIH KISELINA U ORGANIZMU I UTJECAJ NA ZDRAVLJE

U organizmu, PUFA obje n-skupine (LA, ALA, AA, EPA, DHA) dolaze u sastavu fosfolipida svih staničnih membrana gdje imaju značajnu ulogu u održavanju elastičnosti membrana. Strukturni lipidi mozga, moždana opna, retina oka, tkivo testisa i sperma, također sadrže PUFA, posebice DHA (Simopoulos, 1991 i 1999). U nedostatku PUFA, u membrane se ugrađuje više zasićenih masnih kiselina čime se smanjuje fluidnost i stabilnost membrana. To može rezultirati povećanom propusnošću tkiva uz gubitak vode i hranjivih tvari i promjene u aktivnosti enzima, prijenosu hormonskih signala i drugim funkcijama staničnih membrana (Wan i sur., 1988).

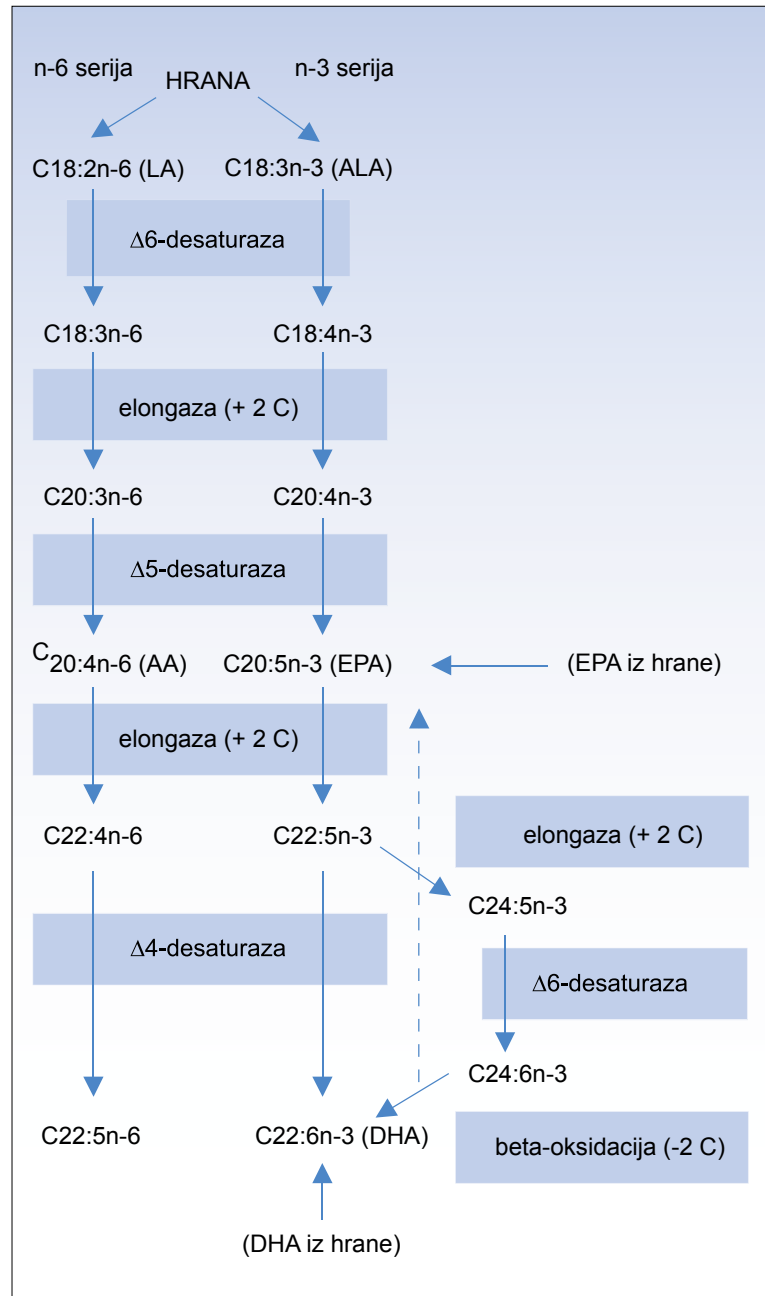
Za otkrivanje ostalih bioloških uloga polinezasićenih masnih kiselina u ljudskom organizmu bilo je važno otkriće da PUFA s 20 C atoma: dihomo- γ -linolenska (DGLA, C20:3 n-6), arahidonska (AA, C20:4 n-6) i eikosapentaenoična (EPA, C20:5 n-3)

imaju važnu funkciju u sintezi eikosanoida. Eikosanoidi su tkivni hormoni s lokalnim nastajanjem i djelovanjem, koji u različitim tkivima reguliraju brojne fiziološke procese, primjerice upalne procese i imunološki odgovor, sinaptički prijenos i protok iona. Eikosanoidi koji nastaju u krvožilnom sustavu: tromboksani u membranama krvnih pločica (trombocita) i prostaglandini koje proizvodi endotel stjenki krvnih žila, uključeni su u regulaciju protoka krvi i procesa grušanja krvi (Simopoulos, 1991).

Za razumijevanje uloge n-6 i n-3 PUFA, značajno je bilo otkriće da eikosanoidi koji nastaju iz različitih PUFA imaju različitu strukturu i biološke učinke (Needelman i sur., 1979). Iz AA (n-6), nastaju prostaglandini i tromboksani serije-2 i leukotrieni serije-4, dok iz EPA (n-3) nastaju prostaglandini i tromboksani serije-3 i leukotrieni serije-5 (Slika 3). Pri tome, između PUFA različitih n-skupina postoji međusobna konkurencija za enzime koji su potrebni za sintezu eikosanoida (Simopoulos, 1991). Spoznaje o ulozi polinezasićenih masnih kiselina u razvoju kardiovaskularnih bolesti i upalnim procesima, proizlaze iz razlika u djelovanju eikosanoida iz različitih PUFA na potencijal nakupljanja trombocita i stvaranja ugrušaka (tromba) u krvnim žilama te iz razlika u djelovanju na intenzitet upalnog procesa (Simopoulos, 1991 i 1999; Howell, 2000; Dommels i sur., 2002; Holub, 2002). Ukratko, iz AA (n-6) nastaje tromboksan A₂, koji je snažan vazokonstriktor te izaziva nakupljanje trombocita i hemostazu, što fiziološki izaziva grušanje krvi, a u patološkim okolnostima trombozu. Suprotno tome iz EPA (n-3) nastaje trombogeno neaktivni tromboksan A₃. Uz to, iz AA nastaje prostaglandin PGI₂, a iz EPA prostaglandin PGI₃, koji oba djeluju vazodilatacijski i iskazuju antiagregatni učinak na krvne pločice. Također, iz AA u neutrofilima nastaje leukotrien B₄ koji ima snažno djelovanje u izazivanju upalne reakcije,

▼ **Slika 2.** Metabolički put desaturacije, elongacije i moguće retrokonverzije n-3 i n-6 polinezasićenih masnih kiselina u organizmu (Holub, 2002).

▼ **Figure 2.** Metabolic path of desaturation, elongation and possible retroconversion of n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acids (Holub, 2002).



dok iz EPA nastaje leukotrien B₅ čije je pro-upalno djelovanje slabo. Prehrana bogata s EPA snižava sadržaj AA u membranama svih tjelesnih stanica, te posljedično tome umanjuje sintezu tromboksana A₃ i prostaglandina PGI₂ u krvnim pločicama i stjenkama krvnih žila, a u neutrofilima sintezu leukotriena

B₄, istovremeno povećavajući sintezu tromboksana A₃, prostaglandina PGI₃ i leukotriena B₅. U takvim okolnostima u krvnim žilama prevladava djelovanje prostaglandina PGI₃ koji ne potiče nastanak krvnih ugruška te djeluje preventivno na razvitak patoloških promjena na krvnim žilama (Simopoulos, 1991, 1999, 2002; Holub, 2002; Howell, 2000; Dommels i sur., 2002). Suprotno tome prehrana bogata s LA, koja je u organizmu glavni prekursor AA, pogoduje sintezi i nakupljanju njenih metaboličkih produkata u količinama koje su znatno iznad bioloških potreba. Dugoročno povišene razine tromboksana A₃, prostaglandina PGI₂ i leukotriena B₄ mijenjaju fiziološko stanje organizma u pravcu patoloških promjena, nastanka tromba i ateroma, alergijskih i upalnih reakcija i stanične proliferacije. Uloga PUFA u razvoju kardiovaskularnih i drugih kroničnih bolesti, upalnim i autoimunim procesima kao i intrauterinom razvoju mozga i retine, kod ljudi i životinja danas je široko priznata i opisana (Simopoulos, 1991, 1999 i 2002; Okuyama i Ikemoto, 1999; Rose i Connolly, 1999; Bartsch i sur., 1999; Enser i sur., 2000; Enser, 2001; Stanner, 2000; Howell, 2000; Newton, 2001; Kralik i Margeta, 2002; Červek., 2002; Holub, 2002; Dommels i sur., 2002; Higgs, 2002; Wood i sur., 2003; Raes i sur., 2004; Biesalski, 2005; i drugi).

ODNOS OMEGA-6 I OMEGA-3 KISELINA U PREHRANI

Razine spomenutih eikosanoida u organizmu suštinski ovise o relativnim količinama omega-6 (LA, AA) i omega-3 (ALA, EPA, DHA) kiselina u prehrani. Kao rezultat negativne zdravstvene predodžbe životinjskih masti u široj javnosti i naglog razvoja industrije prerade biljnih ulja, unazad pedesetak godina na globalnoj razini došlo je do promjena u strukturi masti u prehrani ljudi. Uporaba nezasićenih masti iz biljnih jestivih ulja značajno je povećana dok je uporaba zasićenih masti životinjskog podrijetla smanjena (Higgs, 2002). Globalna zamjena zasićenih životinjskih masti u prehrani sa nezasićenim biljnim uljima u proteklih nekoliko desetljeća, odvijala se poglavito kroz povećanje unosa LA - osnovne esencijalne PUFA n-6 skupine, koja se u velikim količinama nalazi u uljima suncokreta, kukuruza, soje i drugim jestivim uljima (Simopoulos, 1991; Higgs, 2002; Newton, 2001). Pored toga, modernizacija i razvoj poljoprivrede u proteklom stoljeću i povećava-

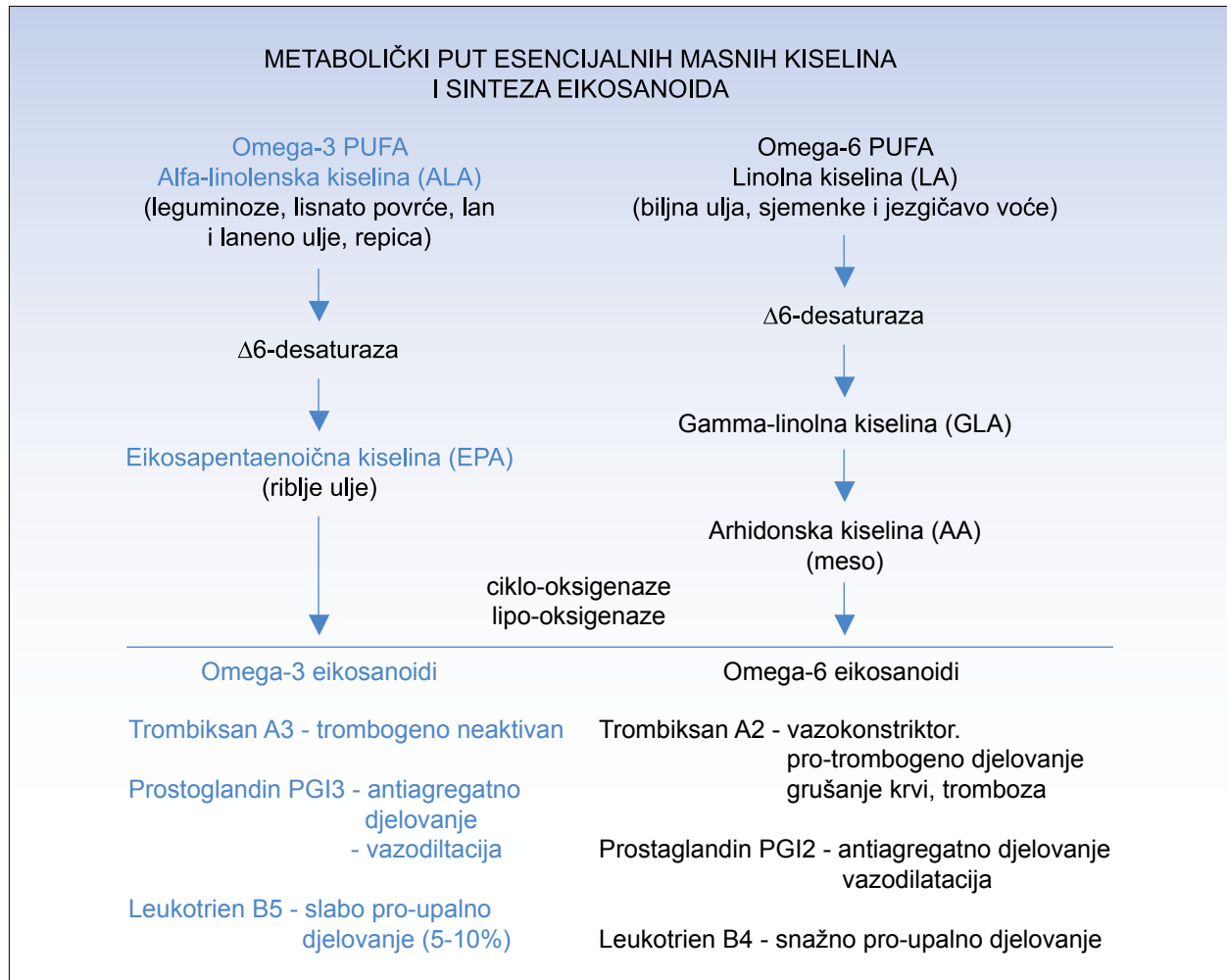
nje produktivnosti proizvodnje mesa, temeljeno na intenzivnom tovu žitaricama, koje su također bogat izvor LA, doveli su do proizvodnje mesa bogatog n-6 polinezasićenim masnim kiselinama, uz istovremeno smanjenje sadržaja polinezasićenih masnih kiselina n-3 skupine u mesima tovnih životinja. Slične promjene desile su se i u sastavu polinezasićenih masnih kiselina konzumnih jaja i ribe iz intenzivnog uzgoja (Simopoulos, 1991 i 1999; van Vilet i Katan, 1990; Lacey, 1992). Ove promjene, u relativno kratkom vremenskom razdoblju dovele su do toga da se je unos omega-6 polinezasićenih masnih kiselina u prehrani stanovništva, posebice u razvijenim zemljama jako povećao u odnosu na unos esencijalnih omega-3 polinezasićenih masnih kiselina. Procjenjuje se da je prethistorijski razvoj roda Homo i kasniji razvoj modernog čovjek kao vrste tekao uz prehranu koja je sadržavala podjednaku količinu esencijalnih omega-6 i omega-3 masnih kiselina (n-6/n-3 odnos 1-2 : 1), dok je u prehrani današnjih ljudi taj odnos znatno promijenjen u korist omega-6 kiselina i iznosi 10 do 20 i više : 1 (Simopoulos, 1991, 1999 i 2002; Newton, 2001; Finley i Shahidi, 2001). Gubitak ravnoteže omega-6 i omega-3 polinezasićenih masnih kiselina u prehrani ljudi u posljednjih 100-150 godina može dijelom objašnjavati uzroke pojave i stalnog porasta tipičnih bolesti moderne civilizacije, kao što su krvožilno-srčane bolesti, alergije i različita maligna oboljenja (Newton, 2001), te predstavlja potpuno novu pojavu u dugoj ljudskoj evoluciji (Simopoulos, 1991).

ZDRAVSTVENE PREPORUKE

Metaboličko djelovanje omega-6 i omega-3 polinezasićenih masnih kiselina u organizmu je antagonističko i kompetitivno. Povećani unos omega-3 PUFA u hrani u odnosu na unos omega-6 PUFA umanjuje desaturaciju LA a time i sintezu AA i ostalih n-6 PUFA u organizmu (Simopoulos, 1991; Dommels i sur., 2002; Rose i Connolly, 1999) što, kako pokazuju brojna istraživanja, može imati preventivni učinak na krvožilno-srčane i druge bolesti (Simopoulos 1991, 1999, 2002; Higgs, 2002; Givens i sur., 2006; MacRae i sur., 2005; Holub, 2002). Povećani unos ALA putem hrane dugoročno povećava sintezu EPA i DHA u organizmu, istodobno umanjujući sintezu dugolančanih n-6 metabolita u organizmu,

▼ **Slika 3.** Pojednostavljena shema metabolizma polinezasićenih masnih kiselina u sintezi eikosanoida (prema Simopoulos, 1991)

▼ **Figure 3.** Simplified scheme of role of polyunsaturated fatty acids in the synthesis of eicosanoids (after Simopoulos, 1991)



što djeluje preventivno na bolesti srca i krvnih žila (Zhao i sur., 2004; Simopoulos, 2002; Givens i sur., 2006). Dugolančane omega-3 polinezasićene masne kiseline iz hrane (EPA i DHA) brže se ugrađuju u stanične membrane te je njihov biološki učinak brži u odnosu na biološko djelovanje ALA, koja se u organizmu metabolizira u EPA (Simopoulos, 2002; Givens i sur., 2006). Za postizanje preventivnog učinka omega-3 masnih kiselina, liječnici danas savjetuju individualni unos dugolančanih n-3 PUFA u količini od 200 mg/dnevno (Department of Health, 1994). Buduće preporuke dnevnog unosa EPA + DHA u prehrani vjerojatno će biti i veće (450 mg/dnevno, Givens i sur., 2006). Povećanje unosa dugolančanih n-3 masnih kiselina u ljudskoj prehrani

može se ostvariti putem uzimanja dijetetskih dodataka, npr. u vidu kapsula ribljeg ulja, putem povećanja konzumacije plave morske ribe ili posredno, obogaćivanjem animalnih namirnica (mesa, mlijeka i jaja) s dugolančanim n-3 PUFA putem hranidbe životinja krmivima bogatima na n-3 PUFA (Raes i sur., 2004). Zdravstveno preporučeni omjer n-6/n-3 PUFA u prehrani iznosi 4 i manje (Department of Health, 1994). Izračunava se kao suma svih n-6 / suma svih n-3 masnih kiselina (Raes i sur., 2004; De Smet i sur., 2004). Prema novim preporukama Svjetska zdravstvena organizacija, udio ukupnih n-6 PUFA u ukupnom unosu energije u prehrani trebao bi se kretati od 5 do 8 %, a udio ukupnih n-3 PUFA od 1 do 2 % (WHO, 2003).

SUMMARY**POLYUNSATURATED FATTY ACIDS IN DIET AND HUMAN HEALTH**

Recent medical researches indicated the significance of the role of nutritional levels of omega-6 (n-6) and omega-3 (n-3) polyunsaturated fatty acids in the development of cardiovascular and other chronic diseases in humans. Principal n-6 fatty acid is linoleic (LA, 18:2 n-6) and principal n-3 fatty acid is alpha-linolenic acid (ALA, 18:3 n-3). In organism, these fatty acids can be elongated and desaturated into their longer-chain derivatives such as arachidonic acid (AA, 20:4, n-6), derived from LA, or eicosapentaenoic acid (EPA, 20:5 n-3) and docosahexaenoic acid (DHA, 22:6 n-3), derived from ALA. Polyunsaturated fatty acids with 20 carbons in the chain act as precursors for eicosanoids include prostaglandins, leukotrienes and thromboxanes. These have an important role as regulators of many physiological processes in tissues, such as blood clotting or inflammatory response. Eicosanoids derived from polyunsaturated fatty acids of different n-series have a different structure and biological effects. Thus, thromboxane A2 produced from AA (20:4 n-6) is a powerful pro-aggregatory agent in hemostasis whereas thromboxane A3 produced from EPA (20:5 n-3) is much less active. Similarly, leukotrienes derived from AA (20:4 n-6) stimulate the inflammatory response more than those derived from EPA (20:5 n-3). The levels of these eicosanoids depend on the quantities of AA and EPA in the phospholipids of tissue cells, and these amounts, in turn, depend upon the relative amounts of their precursors, LA (18:2 n-6) and ALA (18:3 n-6) in the diet. The amount of LA (18:2 n-6) in modern diet has been increased considerably by the use of vegetable oils that contain high proportion of LA. Meat, eggs and fish from industrial production, also contain high amount of LA because concentrate grain-based feeds are rich source of LA. It is believed that humans evolved with nutritional ratio of n-6/n-3 of 1-2 whereas in current diet this ratio has been significantly increased and ranges from 10 to 20 or more. Loss of balance of n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acids in the diet has been linked with causes of permanent growth of modern civilization diseases. Researches showed that increased intake of n-3 polyunsaturated fatty acids in relation to intake of n-6 polyunsaturated fatty acids, may have beneficial effects in the prevention of cardiovascular, autoimmune and other chronic diseases. In agreement with that, medical organizations recommended lowering n-6/n-3 ratio in daily nutrition.

Key words: lipids, polyunsaturated fatty acids, omega-6 fatty acids, omega-3 fatty acids

LITERATURA

Bang, H. O., Dyeberg, J. (1972): Plasma lipids and lipoproteins in Greenlandic west-coast Eskimos. *Acta Medica Scandinavica*, 192, 85-94.

Bartsch, H., Nair, J., Owen, R. W. (1999): Dietary polyunsaturated fatty acids and cancers of the breast and colorectum: emerging evidence for the role as risk modifiers. *Carcinogenesis*, 20, 2209-2218.

Biesalski, H.-K. (2005): Meat as a component of a healthy diet – are there any risks or benefits if meat is avoided in the diet? *Meat Science*, 70, 509-524.

Burdge, G. C., Finnegan, Y. E., Minihane, A. M., Williams, C. M., Wooton, S. A. (2003): Effect of altered dietary n-3 fatty acid intake upon plasma lipid fatty acid composition, conversion of [¹³C] α-linolenic acid to longer-chain fatty acids and partitioning towards β-oxidation in older man. *British Journal of Nutrition*, 90, 311-321.

Červek, M. (2002): Pre-in postnatalen prenos nekaterih n-3 maščobnih kislin iz krme bregih in doječih svinj v tkiva njihovih pujskov. Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za Zootehniko, Ljubljana.

De Smet, S., Raes, K., Demeyer, D. (2004): Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: a review. *Animal Research*, 53, 81-98.

Department of Health (1994): Nutritional aspects of cardiovascular disease. Report on Health and Social Subjects, HMSO, London.

Dommels, Y. E. M., Alink, G. M., van Bladeren, P.J., van Ommen, B. (2002): Dietary n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acids and colorectal carcinogenesis: results from cultured colon cells, animal models and human studies. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 12, 233-244.

Enser, M. (2001): Muscle lipids and meat quality. Dostupno na: <http://www.bsas.org.uk/meetings/annlproc/Pdf2001/243.pdf>.

Enser, M., Hallett, K., Hewett, B., Furse, G.A.J., Wood, J.D. (1996): Fatty acid content and composition of English beef, lamb and pork at retail. *Meat Science*, 44, 443-458.

Enser, M., Richardson, R. I., Wood, J. D., Gill, B. P., Sheard, P. R. (2000): Feeding linseed to increase the n - 3 PUFA of pork: Fatty acid composition of muscle, adipose tissue, liver and sausages. *Meat Science*, 55, 201 - 212.

Finley, J. W., Shahidi, F. (2001): The chemistry, processing, and health benefits of highly unsaturated fatty acids: an overview. In: *Omega-3 Fatty Acids: Chemistry, Nutrition and Health Effects*. Edited by: F. Shahidi and J. W. Finley, ACS Symposium Series 788, American Chemical Society, Washington, DC, 2-11.

Givens, D. I., Gibbs, R. A. (2006): Very long chain n-3 polyunsaturated fatty acids in the food chain in the UK and the potential of animal-derived foods to increase intake. *Nutrition Bulletin*, 31, 104-110.

Givens, D. I., Kliem, K. E., Gibbs, R. A. (2006): The role of meat as a source of n-3 polyunsaturated fatty acids in the human diet. *Meat Science*, 74, 209-218.

Higgs, J. (2002): The nutritional quality of meat. In: *Meat processing – Improving quality*. Edited by Joseph Kerry, John Kerry and David Ledward, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, 64-92.

Holman, R.T. (1964): Nutritional and metabolic interrelationships between fatty acids. *Federation Proceedings*, 23, 1062-1067.

Holub, B. J. (2002): Clinical nutrition: 4. Omega – 3 fatty acids

in cardiovascular care. *Journal of Ayub Medical College Abbottabad*, 166, (5), 608-615.

Holub, B. J. (2006): Conversion efficiency of ALA to DHA in humans. DHA-EPA Omega-3 Institute, dostupno na: <http://dha-omega3.org/>.

Howell, W. H. (2000): Food Cholesterol and its Plasma Lipid and Lipoprotein Response: Is Food Cholesterol Still a Problem or Overstated? In: *Egg Nutrition and Biotechnology*. Eds J.S. Sim, S. Nakai and W Gunter. CAB International, 15 - 24.

Kralik, G., Margeta, V. (2002): Utjecaj sastava obroka na sadržaj masnih kiselina u mišićnom i masnom tkivu svinja. IX Međunarodno savjetovanje Krmiva 2002. Opatija - Hrvatska, 29. - 31. svibnja 2002. Zbornik radova, 162 - 168.

Lacey, R. W. (1992): Disease Transfer. In: *Farm Animals and the Environment*. Edited by Clive Phillips and David Piggins. CAB International. Wallingford, UK, 359-383.

MacRae, J., O'Reilly, L., Morgan, P. (2005): Desirable characteristics of animal products from human health perspective. *Livestock Production Science*, 94, 95-103.

Needelman, P., Raz, A., Minkes, M. S., Ferrendelli, J. A., Sprecher, H. (1979): Triene prostaglandins: Prostacyclin and thromboxane biosynthesis and unique biological properties. *Proceedings of the National Academy of Science*, 76, 944-948.

Newton, I. S. (2001): Long-chain fatty acids in health and nutrition. In: *Omega -3 Fatty Acids: Chemistry, Nutrition and Health Effects*. Edited by: F. Shahidi and J. W. Finley, ACS Symposium Series 788, American Chemical Society, Washington, DC, 14-27.

Okuyama, H. Ikemoto, A. (1999): Needs to modify the fatty acid composition of meats for human health. *Proceedings of 45 ICoMST, Yokohama, Japan*, 638-640.

Pereira, S. L., Leonard, A. E., Mukerji, P. (2002): Recent advances in the study of fatty acid desaturases from animals and lower eukaryotes. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 68, 97-106.

Raes, K., De Smet, S., Demeyer, D. (2004): Effect of dietary fatty acids on incorporation of long chain polyunsaturated fatty acids and conjugated linoleic acid in lamb, beef and pork meat: a

review. *Animal Feed Science and Technology*, 113, 199-221.

Rose, D. P., Connolly, J. M. (1999): Omega-3 fatty acids as cancer chemopreventive agents. *Pharmacology & Therapeutics*, 83, 217-244.

Sardesai, V. M. (1992b): Biochemical and nutritional aspects of eicosanoids. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 3, 562-479.

Sardesai, V. M. (1992a): Nutritional role of polyunsaturated fatty acids. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 3, 154-166.

Simopoulos, A. P. (1991): Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development. *American Journal of Clinical Nutrition*, 54, 438-463.

Simopoulos, A. P. (1999): Essential fatty acids in health and chronic disease. *American Journal of Clinical Nutrition*, 70, 560-569.

Simopoulos, A. P. (2002): Omega-3 fatty acids in wild plants, nuts and seeds. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 11, 163-173.

Van Vilet, T., Katan, M. B. (1990): Lower ratio of n-3 to n-6 fatty acids in cultured than in wild fish. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 51, 1-2.

Wan, J. M. F., Haw, M. P., Blackburn, G. L. (1988): Nutrition, immune function, and inflammation: an overview. *Proceedings of the Nutrition Society*, 48, 315-335.

WHO/FAO (2003): Diet, nutrition and prevention of chronic diseases (p. 148). Report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation. Geneva, World Health Organization.

Wood, J.D., Richardson, R.I., Nute, G.R., Fisher, A.V., Campo, M.M., Kasapidou, E., Sheard, P.R., Enser, M. (2003): Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science*, 66, 21-32.

Zhao, G., Etherton, T. D., Martin, K. R., West, S. G., Giles, P. J., Kris-Etherton, P. M. (2004): Dietary alpha-linolenic acid reduces inflammatory and lipid cardiovascular risk factors in hypercholesterolemic man and women. *Journal of Nutrition*, 137, 2991-2997.

Prispjelo / Received: 15.3.2007.

Prihvaćeno / Accepted: 3.5.2007. ■

AKTIVNOST PROTEOLITIČKIH I LIPOLITIČKIH ENZIMA TIJEKOM PROIZVODNJE PRŠUTA

Krvavica¹, M., A. Lukić¹, M. Vrdoljak²

SAŽETAK

Biokemijske promjene u tkivima buta tijekom prerade pršuta rezultat su brojnih i složenih biokemijskih reakcija

čiji tijek i obim ovise uglavnom o aktivnosti endogenog enzimskog sustava. Najznačajnije biokemijske promjene tkiva buta u proizvodnji pršuta uglavnom se odnose se

¹ Mr.sc. Marina Krvavica; Andrijana Lukić; Veleučilište „Marko Marulić“ Knin, Petra Krešimira IV 30, 22300 Knin, Hrvatska; E-mail: mkravica@net.hr ili mkravica@veleknin.hr

² Marija Vrdoljak, Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodnoga gospodarstva, Av. Vukovar 78, 10000 Zagreb