

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chemie



**Význam *cis/trans*-nenasycených mastných kyselin ve
výživě člověka**

Bakalářská práce

Autor práce: Lucie Figallová

Obor studia: Výživa a potraviny

Vedoucí práce: Ing. Zora Kotíková, Ph.D.

© 2019 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Význam *cis/trans*-nenasycených mastných kyselin ve výživě člověka" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 16. 4. 2019

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Zoře Kotíkové, Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce, vstřícnost při konzultacích a za cenné rady a připomínky, které mi po celou dobu poskytovala.

Význam *cis/trans*-nenasycených mastných kyselin ve výživě člověka

Souhrn

Bakalářská práce je zaměřena na význam *cis/trans*-nenasycených mastných kyselin ve výživě člověka. Lipidy přijímané v potravě se nejčastěji vyskytují ve formě triacylglycerolů, které jsou složeny z glycerolu a mastných kyselin.

První část práce se zabývá obecným popisem a rozdělením lipidů, které jsou přijímány v potravě, klasifikací a stručnou charakteristikou jednotlivých skupin jako jsou nasycené mastné kyseliny a nenasyčené mastné kyseliny. Ty se následně dělí podle počtu dvojných vazeb na monoenoové mastné kyseliny (MUFA) a polyenoové mastné kyseliny (PUFA). Podle orientace funkčních skupin nebo atomů kolem osy dvojně vazby se rozlišují geometrické izomery *cis* a *trans*.

Další část bakalářské práce je zaměřena na trávení, vstřebávání, odbourávání a biosyntézu mastných kyselin v těle člověka. Odbourávání nasycených mastných kyselin probíhá procesem zvaným β -oxidace, obdobně probíhá i odbourávání nenasycených mastných kyselin, rozdíl nastává, pokud mechanismus narazí na dvojnou vazbu. Některé nenasyčené mastné kyseliny, jako je linolová nebo α -linolenová kyselina, jsou pro člověka esenciální, a proto je potřeba je přijímat potravou.

Zdroje *cis*- a *trans*-nenasycených mastných kyselin v potravě jsou popsány v následující kapitole. Významným zdrojem *cis*-nenasycených mastných kyselin jsou rostlinné oleje, jako je řepkový, slunečnicový, olivový nebo sezamový, olejnatá semena, ořechy a především ryby. *Trans*-nenasyčené mastné kyseliny vznikají v rumenu přežvýkavců nebo během zpracování rostlinných olejů.

Závěrečné kapitoly shrnují vliv *cis/trans*-nenasycených mastných kyselin na zdraví a následná výživová doporučení. Omega-3, omega-6 nenasyčené mastné kyseliny a konjugovaná kyselina linolová mají převážně pozitivní účinky na kardiovaskulární onemocnění, aterosklerózu, obezitu a rakovinu, naopak *trans*-nenasyčené mastné kyseliny mají spíše negativní účinky. V poslední době se však ukázalo, že je třeba odlišovat rumenovou a vakcenovou kyselinu, u kterých byly prokázány i pozitivní účinky na zdraví člověka.

Klíčová slova: *cis/trans*-nenasyčené mastné kyseliny, metabolismus, zdroje v potravě, LDL cholesterol, HDL cholesterol, výživová doporučení

The importance of *cis/trans*-unsaturated fatty acids in human nutrition

Summary

The bachelor thesis is focused on the importance of *cis/trans*-unsaturated fatty acids in human nutrition. The dietary lipids are most commonly in the form of triglycerides that are composed of glycerol and fatty acids.

The first part of the thesis deals with the general description and sorting of lipids that are taken up in food and subsequently with the classification and brief characteristics of individual groups such as saturated fatty acids and unsaturated fatty acids. These are subdivided by the number of double bonds to monounsaturated (MUFA) or polyunsaturated fatty acids (PUFA). Depending on the orientation of the functional groups or atoms around the double bonds, it is divided into geometric isomers *cis* and *trans*.

Another part of this bachelor thesis is focused on digestion, absorption, degradation and biosynthesis of fatty acids in human body. The degradation of saturated fatty acids takes place through a process called β -oxidation, the degradation of unsaturated fatty acids is similar, but the difference occurs when the mechanism encounters a double bond. Some unsaturated fatty acids, such as linoleic or α -linolenic acid, are essential to humans and therefore need to be eaten.

Sources of *cis*- and *trans*-unsaturated fatty acids in the diet are described in the following chapter. An important source of *cis*-unsaturated fatty acids are vegetable oils, such as rapeseed, sunflower, olive or sesame oil, oilseeds, nuts and especially fish. *Trans*-unsaturated fatty acids are formed in rumen of ruminant or during processing of vegetable oils.

The final chapters summarize the effect of *cis/trans*-unsaturated fatty acids on health and subsequent nutritional recommendations. Omega-3, omega-6 unsaturated fatty acids and CLA have predominantly positive effects on cardiovascular disease, atherosclerosis, obesity and cancer, while *trans*-unsaturated fatty acids have rather negative effects. However, it has turned out to be necessary to distinguish rumenic and vaccenic acid.

Keywords: *cis/trans*-unsaturated fatty acids, metabolism, dietary sources, LDL cholesterol, HDL cholesterol, dietary recommendation

Obsah

1 Úvod	1
2 Cíl práce.....	2
3 Literární řešerše.....	3
3.1 Lipidy	3
3.1.1 Homolipidy	3
3.1.2 Heterolipidy	3
3.1.3 Komplexní lipidy	3
3.2 Mastné kyseliny	3
3.2.1 Struktura a názvosloví	4
3.2.2 Rozdělení mastných kyselin	4
3.2.2.1 Nasycené mastné kyseliny	5
3.2.2.2 Nenasycené mastné kyseliny	5
3.3 Metabolismus mastných kyselin	7
3.3.1 Trávení a vstřebávání.....	7
3.3.2 Odbourávání mastných kyselin.....	8
3.3.2.1 Odbourávání nenasycených mastných kyselin.....	8
3.3.3 Biosyntéza mastných kyselin.....	9
3.3.3.1 Biosyntéza nenasycených mastných kyselin.....	10
3.4 Zdroje <i>cis</i>-nenasycených mastných kyselin	11
3.4.1 Rostlinné oleje	11
3.4.1.1 Řepkový olej	11
3.4.1.2 Slunečnicový olej.....	12
3.4.1.3 Olivový olej.....	13
3.4.1.4 Sezamový olej	14
3.4.2 Olejnatá semena	14
3.4.2.1 Mák setý	14
3.4.2.2 Len setý	15
3.4.2.3 Šalvěj hispánská	15
3.4.3 Ořechy.....	15
3.4.4 Ryby.....	16
3.5 Zdroje <i>trans</i>-nenasycených mastných kyselin	17
3.5.1 Mléčný tuk	17
3.5.1.1 Lipolýza.....	17
3.5.1.2 Biohydrogenace.....	17
3.5.2 Rafinované oleje	19
3.5.2.1 Dezodorace.....	19

3.5.3	Ztužené tuky	19
3.5.3.1	Parciální katalytická hydrogenace.....	19
3.5.3.2	Interesterifikace.....	20
3.5.4	Smažené jídlo.....	20
3.6	Vliv <i>cis</i>-nenasycených mastných kyselin na zdraví.....	21
3.6.1	Vliv omega-3 nenasycených mastných kyselin	21
3.6.1.1	Kardiovaskulární onemocnění.....	22
3.6.1.2	Hypertenze	22
3.6.1.3	Ateroskleróza	23
3.6.1.4	Náhlá srdeční smrt.....	24
3.6.1.5	Obezita	24
3.6.1.6	Rakovina	25
3.6.2	Vliv omega-6 nenasycených mastných kyselin	25
3.6.2.1	Kardiovaskulární onemocnění.....	26
3.6.2.2	Obezita	26
3.7	Vliv <i>trans</i>-nenasycených mastných kyselin.....	27
3.7.1	Vliv konjugované kyseliny linolové (CLA)	27
3.7.1.1	Hypertenze	28
3.7.1.2	Ateroskleróza	28
3.7.1.3	Obezita	28
3.7.1.4	Rakovina	29
3.7.1.5	Diabetes.....	29
3.7.2	Vliv vakcenové a elaidové kyseliny	30
3.7.2.1	Kardiovaskulární onemocnění.....	30
3.7.2.2	Ateroskleróza	30
3.7.2.3	Obezita	31
3.7.2.4	Rakovina	31
3.7.2.5	Těhotenství a vliv na plod	31
3.8	Výživová doporučení.....	32
3.8.1	Příjem omega-3 a omega-6 nenasycených mastných kyselin.....	32
3.8.2	Příjem konjugované kyseliny linolové (CLA).....	32
3.8.3	Příjem <i>trans</i> -nenasycených mastných kyselin.....	33
4	Závěr	34
5	Seznam literatury	35

1 Úvod

Lipidy jsou nejen důležitým zdrojem energie pro lidský organismus, ale také důležitou součástí buněčných membrán, bez kterých by buňky nemohly fungovat. V potravě jsou přijímány nejčastěji ve formě triacylglycerolů, které jsou složeny z glycerolu a mastných kyselin. Ačkoliv jsou tuky ve výživě nezbytné, je třeba dbát na složení a volit vhodný výběr potravin.

Cis- a *trans*-nenasyčené mastné kyseliny se liší jednak výskytem v potravinách, také ale svými účinky na lidský organismus. Kardiovaskulární onemocnění je v dnešní době nejčastější příčina úmrtí na světě. Správná dieta a v ní vhodné složení mastných kyselin je jedním z důležitých faktorů, který napomáhá předcházet kardiovaskulárním onemocněním a jeho rizikovým faktorům jako je ateroskleróza, hypertenze, obezita nebo *diabetes*. Dále jsou stále více zkoumány jejich účinky na výskyt různých druhů rakovin.

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je zpracovat literární přehled zaměřený na *cis/trans*-nenasycené mastné kyseliny a jejich účinek na lidské zdraví. Na základě zpracovaných informací poté navrhnout doporučení týkající se příjmu mastných kyselin z potravy.

3 Literární rešerše

3.1 Lipidy

Lipidy jsou jednou z nezbytných součástí potravy a důležitý zdroj energie pro růst a zdraví organismu (Velíšek, 1999). Mají vysokou energetickou hodnotu. Jsou nositelem esenciálních mastných kyselin a vitamínů rozpustných v tucích (Murray et al., 2002).

Z hlediska chemické struktury jsou lipidy velice rozmanitou skupinou látek. Z tohoto důvodu neexistuje jejich univerzální definice. Jako lipidy jsou označovány sloučeniny hydrofobní, což znamená, že nejsou rozpustné ve vodě, ale jsou rozpustné v organických rozpouštědlech, jako je chloroform, benzen nebo methanol (Spiller, 1996). Podle chemické struktury se lipidy dělí na homolipidy, heterolipidy a komplexní sloučeniny (Velíšek, 1999).

3.1.1 Homolipidy

Homolipidy jsou také označovány jako jednoduché lipidy. Jedná se o estery mastných kyselin a alkoholů. Podle struktury vázaného alkoholu se homolipidy dělí na tuky a vosky. Zatímco tuky jsou estery mastných kyselin a trojsytného alkoholu glycerolu, vosky jsou estery mastných kyselin a vyšších jednosytných alkoholů (Murray et al., 2002).

3.1.2 Heterolipidy

Heterolipidy jsou také označovány jako složené lipidy (Murray et al., 2002). Jedná se o sloučeniny mastných kyselin, alkoholu a dalších látek, které jsou vázány na alkohol kovalentní vazbou. Takto může být vázána například kyselina fosforečná, potom se hovoří o skupině fosfolipidů nebo D-galaktóza u některých glykolipidů (Velíšek, 1999).

3.1.3 Komplexní lipidy

Komplexní lipidy jsou složeny z homolipidů, heterolipidů a dalších složek, které jsou kromě kovalentních vazeb vázány vodíkovými interakcemi, hydrofobními interakcemi a dalšími různými nekovalentními vazbami (Murray et al., 2002).

3.2 Mastné kyseliny

Mastné kyseliny patří mezi nejdůležitější a nejvýznamnější složku lipidů z hlediska výživy (Velíšek, 1999). Splňují řadu klíčových rolí v organismu. Mimo jiné slouží jako hlavní

skladovací forma energie, či tvoří základní konstrukční součásti membrán (Vance et Vance, 2008). Jako mastné kyseliny se označují monokarboxylové kyseliny s alifatickým uhlovodíkovým řetězcem a nejčastěji sudým počtem uhlíků (Velíšek, 1999). Důvodem je jejich syntéza z dvouuhlíkatých jednotek. Vyskytují se především jako estery v přírodních tucích a olejích, také ale mohou být obsaženy v neesterifikované podobě jako volné mastné kyseliny (Murray et al., 2002).

3.2.1 Struktura a názvosloví

Mastné kyseliny jsou nejčastěji nazývány systematickým názvoslovím, podle uhlovodíků se stejným počtem atomů uhlíku. Jedná se o připojení koncovky –ová k názvu uhlovodíku a přidání podstatného jména kyselina (Murray et al., 2002). Další názvosloví, které je používáno, je názvosloví triviální, které v praxi převládá zvláště u obvyklých mastných kyselin. Pro zjednodušení se v odborné literatuře používají schématické zkratky mastných kyselin ve tvaru C N : M. V tomto tvaru N znamená počet atomů uhlíku a M odpovídá počtu dvojných vazeb. K uvedení polohy dvojných vazeb je používán symbol $\Delta^{a,b}$, kde písmena symbolizují polohu dvojných vazeb, tedy na kterém uhlíku je umístěna dvojná vazba (Velíšek, 1999). Řetězec mastných kyselin se čísluje od karboxylového uhlíku až po koncový methyl, který obsahuje uhlík nazývaný n-uhlík (Murray et al., 2002).

3.2.2 Rozdělení mastných kyselin

Mastné kyseliny se mohou dělit podle počtu uhlíků v řetězci na krátké mastné kyseliny (short chain fatty acids – SCFA), které obsahují 2-4 uhlíky v řetězci, mastné kyseliny se středním řetězcem (medium chain fatty acids – MCFA) s obsahem 6-12 uhlíků v řetězci a mastné kyseliny s dlouhým řetězcem (long chain fatty acids – LCFA), jejichž řetězec má délku 14-26 uhlíků (Zadák, 2008).

Mastné kyseliny s dlouhým řetězcem mohou obsahovat jednu nebo více dvojných vazeb (Zadák, 2008). Podle stupně nasycenosti vazeb se mastné kyseliny dělí do dvou skupin. Pokud vzniklý řetězec obsahuje pouze jednoduché vazby, potom se hovoří o mastných kyselinách nasycených, nebo obsahuje jednu (monoenové) či více (polyenové) dvojných vazeb a hovoří se o mastných kyselinách nenasycených (Murray et al., 2002).

3.2.2.1 Nasycené mastné kyseliny

Nasycené mastné kyseliny (saturated fatty acids – SFA) jsou takové, které obsahují ve svém řetězci pouze jednoduché vazby (Velíšek, 1999). Za základní organickou kyselinu je považována octová kyselina, od které jsou všechny mastné kyseliny odvozeny zařazením methylenové skupiny (-CH₂-) mezi koncový methyl a karboxylovou skupinu (Murray et al., 2002). Tyto mastné kyseliny se běžně vyskytují v přírodních lipidech a lipidech potravin, kde je nejvíce zastoupená kyselina palmitová a stearová (Velíšek, 1999).

3.2.2.2 Nenasycené mastné kyseliny

Nenasycené mastné kyseliny obsahují jednu nebo více dvojných vazeb. Rozlišují se podle počtu dvojných vazeb na monoenoové a polyenoové. Nenasycené mastné kyseliny obsahující pouze jednu dvojnou vazbu se označují jako monoenoové (MUFA – monounsaturated fatty acids). Pokud mastné kyseliny obsahují více jak jednu dvojnou vazbu, potom se označují jako polyenoové (PUFA – polyunsaturated fatty acids) (Velíšek, 1999).

3.2.2.2.1 Monoenoové mastné kyseliny (MUFA)

MUFA mají ve svém řetězci jednu dvojnou vazbu a často se nazývají triviálními názvy. Navzájem se od sebe liší počtem atomů uhlíku, polohou dvojných vazeb a prostorovou konfigurací této vazby (Velíšek, 1999). Kvantitativně nejdůležitější zástupce ve stravě a v tkáňových lipidech je olejová kyselina (18:1) s dvojnou vazbou v poloze n-9. Stejně jako ostatní mastné kyseliny se MUFA téměř zcela vstřebávají v tenkém střevě a jsou oxidovány, převedeny na jiné mastné kyseliny nebo jsou začleněny do tkáňových lipidů. Člověk je schopný syntetizovat MUFA, proto není jejich obsah v potravě nezbytný (EFSA, 2010).

3.2.2.2.2 Polyenoové mastné kyseliny (PUFA)

PUFA obsahují ve svém řetězci nejčastěji 2-6 dvojných vazeb (EFSA, 2010). Rozlišují se podle prostorové a polohové struktury a podle polohy první dvojných vazeb od methylové skupiny na n-6 a n-3 (Velíšek, 1999). PUFA označené jako n-6 (ω -6) mají první dvojnou vazbu umístěnou na 6. uhlíku od konce řetězce, kdežto označení n-3 (ω -3) udává, že první dvojná vazba se nachází na 3. uhlíku od konce řetězce (Yakubenko et Byzova, 2017). Člověk postrádá enzymy, které by dokázaly vytvořit dvojných vazeb v pozicích n-3 a n-6, proto jsou tyto mastné kyseliny označovány jako esenciální a je potřeba dodat je potravou. Nejvýznamnějšími zástupci

těchto skupin jsou linolová kyselina (18:2, n-6) a α -linolenová kyselina (18:3, n-3). Tyto polyenové mastné kyseliny jsou také nejčastěji zastoupeny v potravě člověka (EFSA, 2010).

3.2.2.2.3 *Cis/trans*-nenasycené mastné kyseliny

Dvojně vazby nenasyčených mastných kyselin se vyskytují buď v konfiguraci *cis*, nebo v konfiguraci *trans*. Jedná se o typ geometrické izomerie, která závisí na orientaci skupin a atomů kolem osy dvojně vazby. Pokud se atomy vodíku nacházejí na stejné straně roviny, potom se jedná o konfiguraci *cis*. Naopak pokud se atomy vodíku nacházejí na opačné straně roviny, jedná se o konfiguraci *trans* (Ledoux et al., 2007). *Trans*-nenasycené mastné kyseliny mohou obsahovat i dvojně vazby v konfiguraci *cis*, rozhodující je přítomnost alespoň jedné vazby v konfiguraci *trans* (EFSA, 2010).

Dvojně vazby mohou být umístěny libovolně v uhlíkatém řetězci mastné kyseliny a odděleny od sebe jednou nebo více methylenovými skupinami. Pokud jsou od sebe dvojně vazby odděleny více methylenovými skupinami, nazývají se izolované. Pokud jsou od sebe odděleny pouze jednou vazbou uhlík-uhlík, nazývají se jako konjugované. Mezi mastné kyseliny s konjugovanými vazbami patří především konjugovaná linolová kyselina (CLA) (Ledoux et al., 2007). Izolované a konjugované mastné kyseliny se od sebe odlišují reaktivností a také svými fyziologickými účinky (Velíšek, 1999). Většina nenasyčených mastných kyselin, které se vyskytují v přírodě a v potravě má konfiguraci *cis*, ale v menší míře se vyskytují i *trans* izomery (Murray et al., 2002). Přehled vybraných nenasyčených mastných kyselin vyskytujících se v přírodních lipidech je uveden v tabulce 1.

Tabulka 1: Přehled vybraných nenasyčených mastných kyselin (Velíšek, 1999).

Systematický název	Počet atomů C	Poloha dvojně vazby	Izomer	Triviální název
hexadecenová	16	9	<i>Cis</i>	palmitolejová
oktadecenová	18	9	<i>Cis</i>	olejová
oktadecenová	18	9	<i>Trans</i>	elaidová
oktadecenová	18	11	<i>Trans</i>	vakcenová
dokosenová	22	13	<i>Cis</i>	eruková
oktadekadienová	18	9, 12	<i>cis, cis</i>	linolová
oktadekatrienová	18	6, 9, 12	<i>all-cis</i>	γ -linolenová

Systematický název	Počet atomů C	Poloha dvojné vazby	Izomer	Triviální název
oktadekatrienová	18	9, 12, 15	all- <i>cis</i>	α -linolenová
eikosatetraenová	20	5, 8, 11, 14	all- <i>cis</i>	arachidonová
eikosapentaenová	20	5, 8, 11, 14, 17	all- <i>cis</i>	EPA
dokosahexaenová	22	4, 7, 10, 13, 16, 19	all- <i>cis</i>	DHA

3.3 Metabolismus mastných kyselin

3.3.1 Trávení a vstřebávání

Hlavní složkou lipidů v lidské stravě jsou triacylglyceroly, které jsou nositeli mastných kyselin, a to jak nasycených, tak nenasycených. Molekula triacylglycerolu (TAG) se skládá z glycerolového řetězce, na který jsou acylovány tři mastné kyseliny. Právě ty jsou nositeli energie. Trávení je proces, během kterého jsou TAG hydrolyzovány v různých částech trávicího traktu pomocí enzymů (Mu, 2004).

Nejprve je potrava žvýkáním v ústech rozmělněna, čímž se zvětší její povrch a dále se přesouvá do žaludku. V žaludku dochází k částečné hydrolyze TAG na diacylglyceroly (DAG) a volné mastné kyseliny díky lingvální lipáze, která se dostává do žaludku společně s potravou z úst, a žaludeční lipáze (Mu, 2004). Již zde se mohou vstřebávat mastné kyseliny přímo do krevního oběhu. Jedná se především o mastné kyseliny s délkou řetězce do 8-10 atomů uhlíku (Nelson et Ackman, 1988). Následně je potrava přesouvána do dvanáctníku. Vstupem potravy se spouští sekrece pankreatické lipázy, uvolňování žluči a cholecystokininu. Ideálně zde dochází k degradaci TAG na monoacylglycerol (MAG) a volné mastné kyseliny. Přeskupením MAG může docházet k úplné degradaci na mastné kyseliny a glycerol (Mu, 2004). Mastné kyseliny a MAG jsou emulgovány solemi žlučových kyselin, čímž se vytvoří jemné tukové micely, které jsou vstřebávány sliznicí tenkého střeva. Po průchodu střevní sliznicí jsou mastné kyseliny a MAG syntetizovány zpět na TAG a společně s dalšími látkami tvoří chylomikrony. Chylomikrony se dostávají do lymfatického oběhu a následně přecházejí do krevního oběhu.

Vstřebávání mastných kyselin je kvůli jejich lipofilní povaze komplikovaným procesem v porovnání se vstřebáváním hydrofilních živin (Pánek, 2002).

3.3.2 Odbourávání mastných kyselin

Mastné kyseliny jsou v lidském organismu odbourávány několika mechanismy. Nejběžnější mechanismus se nazývá β -oxidace (Velíšek, 1999). Mastné kyseliny nejprve vstupují do buňky, kde jsou pomocí acyl-CoA-syntetázy převedeny na acyl-CoA. Vlastní β -oxidace probíhá v mitochondriích buňky. Skládá se ze čtyř opakujících se dějů, během kterých se tvoří z mastné kyseliny acetyl-CoA a je uvolňováno značné množství molekul ATP (Holeček, 2006). První krok β -oxidace zahrnuje dehydrogenaci acyl-CoA mezi druhým a třetím atomem uhlíku, čímž vzniká nenasycený Δ^2 -enoyl-CoA, který obsahuje dvojnou vazbu v pozici *trans*. Druhým krokem je hydratace neboli navázání molekuly vody na dvojnou vazbu Δ^2 -enoyl-CoA a vznik β -hydroxyacyl-CoA. Následuje oxidace hydroxylové skupiny na třetím uhlíku na karbonylovou skupinu a tím vznik β -ketoacyl-CoA. V posledním kroku je vzniklý β -ketoacyl-CoA rozštěpen na acetyl-CoA a acyl-CoA, který je kratší o 2 uhlíky. Tento proces je opakován tak dlouho, dokud nedojde k úplnému odbourání mastné kyseliny na acetyl-CoA (Koolman et Röhm, 2012).

Další mechanismus odbourávání mastných kyselin je méně běžný a nazývá se α -oxidace. Tímto způsobem se odštěpuje karboxylová skupina a řetězec je zkracován o jeden atom uhlíku. Zjištěna byla také ω -oxidace, během které se oxiduje jako první methylová skupina na konci řetězce a výsledkem jsou dikarboxylové kyseliny (Velíšek, 1999).

3.3.2.1 Odbourávání nenasycených mastných kyselin

Degradace nenasycených mastných kyselin probíhá obdobným mechanismem jako odbourávání nasycených mastných kyselin, tedy postupným zkracováním řetězce o acetyl-CoA dokud nedojde k degradaci celého uhlíkatého řetězce (Kunau et Dommès, 1978). Rozdíl nastává, pokud mechanismus v řetězci narazí na dvojnou vazbu v konfiguraci *cis*, která není běžná během β -oxidace nasycených mastných kyselin. Většina nenasycených mastných kyselin vyskytujících se v přírodě se vyskytuje právě v konfiguraci *cis* a dvojně vazby jsou odděleny methylenovou skupinou. Pro další kroky degradace je rozhodující poloha dvojně vazby, zda se nachází na sudém nebo lichém atomu uhlíku.

Pokud se dvojná vazba v konfiguraci *cis* nachází na lichém atomu uhlíku, vzniká sloučenina *cis*-3-enoyl-CoA, která je pomocí Δ^3 - Δ^2 -enoyl-CoA-izomerázy konvertovaná na *trans*-2-enoyl-CoA (Hiltunen et Qin, 2000). Následně je sloučenina hydratována a oxidována stejně jako během β -oxidace nasycených mastných kyselin (Murray et al., 2002).

Pokud se dvojná vazba v konfiguraci *cis* nachází na sudém atomu uhlíku, vzniká sloučenina *cis*-4-enoyl-CoA. Ta je přeměněna na *trans*-2-*cis*-4-dienoyl-CoA a následně redukována enzymem Δ^2 -*trans*- Δ^4 -*cis*-dienoyl-CoA-reduktázou na *trans*-3-enoyl-CoA. Vzniklý *trans*-3-enoyl-CoA je dále upravován izomerázou na *trans*-2-enoyl-CoA, což umožňuje pokračování β -oxidace obvyklým způsobem (Osmundsen et Hovik, 1988).

3.3.3 Biosyntéza mastných kyselin

Původně byl proces biosyntézy mastných kyselin považován za obrácený proces oxidace, který probíhá uvnitř mitochondrií. Později však bylo zjištěno, že hlavní dráha syntézy mastných kyselin se odehrává v cytosolu buněk, a to konkrétně v extramitochondriálním systému tkání jater, ledvin, mozku, mléčných žláz a tukové tkáně (Murray et al., 2002). Vstupními sloučeninami pro biosyntézu mastných kyselin (lipogenezi) jsou acetyl-CoA, malonyl-CoA a NADPH, konečným produktem je volný palmitát (Wakil, 1989). Přeměnou palmitátu vznikají další mastné kyseliny (Koolman et Röhm, 2012).

Prvním krokem syntézy mastných kyselin je tvorba malonyl-CoA z acetyl-CoA. Pro průběh této reakce je zapotřebí HCO_3^- , který za účasti ATP a acetyl-CoA-karboxylázy (ACC) slouží jako zdroj uhlíku pro karboxylaci acetyl-CoA na malonyl-CoA (Murray et al., 2002). Enzym ACC se skládá z velkého množství multifunkčních polypeptidů zahrnujících biotinkarboxylázu, transkarboxylázu a protein přenášející biotin. Jedná se o dvoustupňovou reakci, která zahrnuje karboxylaci biotinu za využití ATP a přenos karboxylu na acetyl-CoA, čímž vznikne malonyl-CoA (Vance et Vance, 2008).

Na enzym ACC navazuje multifunkční enzym syntáza mastných kyselin, který katalyzuje vznik palmitátu ze 7 molekul malonyl-CoA a 1 molekuly acetyl-CoA (Murray et al., 2002). Syntáza mastných kyselin je enzymatický systém, na kterém probíhají reakce syntézy mastných kyselin v sedmi po sobě navazujících cyklech. Jedná se o dimer složený ze dvou identických peptidových řetězců, které spolu spolupracují, a proto je tento enzym funkční pouze jako dimer. Každý z řetězců může vázat acylové zbytky na periferním cysteinovém zbytku (Cys-SH) a centrální 4-fosfopantetheinové skupině (Pan-SH). Právě Pan-SH je kovalentně navázána na bílkovinu a označuje se jako acyl-carrier protein (ACP), který slouží k předávání substrátu z jednoho reakčního místa do druhého. Samotná syntéza mastných kyselin začíná současným přenosem acetylového zbytku pomocí enzymu [ACP]-S-acetyltransferázy na Cys-SH a malonylového zbytku z malonyl-CoA pomocí enzymu [ACP]-S-malonyltransferázy na Pan-SH. Následně dochází díky enzymu 3-oxoacyl-[ACP]-syntáze ke kondenzaci acetylového

zbytku a malonylové skupiny za současné dekarboxylace, čímž se řetězec prodlouží o 2 uhlíky. Dalším krokem je redukce oxoskupiny 3-oxoacyl-[ACP]-reduktázou za využití NADPH, které je dodáno díky reakcím pentózového cyklu. Následuje odštěpení vody a potřebná redukce vzniklé dvojné vazby enoyl-[ACP]-reduktázou, také za využití NADPH. Posledním krokem cyklu je přenos vzniklého acylového zbytku zpět na periferní cysteinový zbytek (Cys-SH) [ACP]-S-acetyltransferázou a celý cyklus se opakuje připojením dalšího malonylového zbytku na centrální skupinu Pan-SH. Takto se cyklus ještě šestkrát zopakuje. Poté vznikne 16uhlíkový acylový radikál (palmitát), který je následně hydrolyticky uvolněn enzymem acyl-[ACP]-hydrolázou, což je poslední enzymová aktivita komplexu syntázy mastných kyselin. Vzniklý palmitát se může zúčastnit dalších metabolických drah (elongace, dehydrogenace), pouze pokud je aktivován na formu acyl-CoA za využití ATP. K elongaci palmitoyl-CoA dochází v endoplazmatickém retikulu, kde se může prodloužit pomocí malonyl-CoA vždy o 2 uhlíky (Koolman et Röhm, 2012). V savčích játrech a mléčné žláze může být acetyl-CoA jako vstupní sloučenina pro syntézu palmitátu nahrazen butyryl-CoA. U přežvýkavců může dojít k syntéze za použití propinoyl-CoA, který vzniká činností mikroorganismů v bachoru a tím vnikají mastné kyseliny s lichým počtem uhlíků (Murray et al., 2002).

3.3.3.1 Biosyntéza nenasycených mastných kyselin

Biosyntéza nenasycených mastných kyselin probíhá dehydrogenací nasycených mastných kyselin. Lidský organismus je schopný zavést dvojné vazby v poloze Δ^4 , Δ^5 , Δ^6 , Δ^9 pomocí Δ^4 , Δ^5 , Δ^6 , Δ^9 - desaturáz. Pro průběh této reakce je zapotřebí molekulární kyslík, NADPH a cytochrom b_5 (Koolman et Röhm, 2012).

Na rozdíl od rostlin postrádá lidský organismus Δ^{12} , Δ^{15} - desaturázy, které dávají vzniknout dvojným vazbám v pozici n-6 a n-3. Tyto mastné kyseliny jsou pro člověka esenciální (EFSA, 2010). Jedná se především o α -linolenovou kyselinu a linolovou kyselinu, které jsou v organismu dále metabolizovány na další polyenové mastné kyseliny pomocí desaturáz a elongáz. Omega-6 mastná kyselina linolová je metabolizována na arachidonovou kyselinu. Omega-3 mastná kyselina α -linolenová je konvertována na eikosapentaenovou kyselinu (EPA) a dále na dokosaheptaenovou kyselinu (DHA). EPA a DHA nejsou označovány za esenciální mastné kyseliny, protože mohou být v těle syntetizovány, ale tato přeměna je pomalá a neefektivní. Proto je doporučováno přijímat EPA a DHA v potravě (Goel et al., 2018).

3.4 Zdroje *cis*-nenasycených mastných kyselin

3.4.1 Rostlinné oleje

Rostlinné oleje jsou jedním z nejvýznamnějších zdrojů *cis*-nenasycených mastných kyselin v potravě člověka. Jedná se především o řepkový, slunečnicový a olivový olej (EFSA, 2010). Většina rostlinných olejů je získávána ze semen, pomocí extrakce rozpouštědlem či lisováním anebo vytlačováním z bobů (Gunstone, 2002).

3.4.1.1 Řepkový olej

V posledních dvou desetiletích se řepka olejka (*Brassica napus* L.) stala druhým nejčastějším zdrojem rostlinného oleje (Gunstone, 2002). Tento olej je získáván ze semen, která obsahují průměrně 40-48 % oleje (Balalic et al., 2017). Díky významnému zlepšení v modifikaci se podařilo vyšlechtit z původních odrůd s vysokým obsahem erukové kyseliny (HEAR) odrůdy se sníženým obsahem erukové kyseliny (LEAR). Tyto nově vyšlechtěné odrůdy dostaly společný název „Kanola“. Eruková kyselina má negativní účinky na lidské zdraví, způsobuje kardiální lipidózu nebo retardaci růstu. Takto vyšlechtěné odrůdy obsahují ve svém oleji maximálně 2 % erukové kyseliny. Řepkový olej je díky svému složení považován za nutričně nejlepší rostlinný olej. Jedlé oleje a tuky jsou primárně obsaženy ve formě triacylglycerolů, které zde tvoří 94,4-99,1 % ze všech lipidů (Gunstone, 2002). Řepkový olej obsahuje 11,7 % nasycených mastných kyselin, 59,3 % monoenoových mastných kyselin a 29,0 % polyenoových mastných kyselin (Yajima et al., 2018). Z nasycených mastných kyselin obsahuje řepkový olej především palmitovou a stearovou kyselinu (Sakhno, 2010).

Nejvýznamnější a nejvíce zastoupenou mastnou kyselinou, která je obsažena v řepkovém oleji, je monoenoová kyselina olejová. Díky olejové kyselině vykazuje řepkový olej vyšší stabilitu při fritování a smažení oproti jiným rostlinným olejům (Gunstone, 2002). V současné době je možné díky genetické modifikaci vyšlechtit odrůdy, jejichž oleje obsahují místo 60 % až 85-90 % olejové kyseliny.

Další významné *cis*-nenasycené mastné kyseliny, které jsou obsaženy v řepkovém oleji, jsou polyenové kyseliny linolová a α -linolenová (Sakhno, 2010). Porovnání průměrného obsahu mastných kyselin v rostlinných olejích z odrůd HEAR a LEAR je uveden v tabulce 2.

Tabulka 2: Průměrný obsah jednotlivých mastných kyselin v oleji z odrůd HEAR a LEAR v % (Sakhno, 2010).

Mastná kyselina	HEAR	LEAR
palmitová a stearová kyselina	19	7
olejová kyselina	22	61
eruková kyselina	40	stopové množství
linolová kyselina	12	21
α -linolenová kyselina	7	11

3.4.1.2 Slunečnicový olej

Slunečnicový olej je získáván ze semen rostliny *Helianthus annuus* L. (Velíšek, 1999). Slunečnice je čtvrtým největším zdrojem rostlinného oleje, původem pochází z Ameriky a do Evropy, konkrétně do Španělska se dostala ve 14. století (Gunstone, 2002).

Semena slunečnice obsahují 44-51 % oleje, který je ve vhodném složení nasycených a nenasycených mastných kyselin pro lidské zdraví (Gunstone, 2002; Sharma et al., 2016). Slunečnicový olej obsahuje nízký obsah nasycených mastných kyselin (12 %), jedná se především o palmitovou a stearovou kyselinu. Monoenové mastné kyseliny jsou obsaženy z 16 % a polyenové mastné kyseliny ze 72 % (Sakho, 2010). Tradiční slunečnicový olej obsahuje především kyselinu linolovou a to až 90 % ze všech mastných kyselin v oleji. Obsah této kyseliny se liší podle místa, kde byla rostlina vypěstována. S rostoucí teplotou roste obsah linolové kyseliny, naopak s klesající teplotou roste obsah olejové kyseliny (De Carvalho et al., 2018). V dnešní době se rozlišují tři typy slunečnicového oleje podle obsahu mastných kyselin. Jedná se o tradiční slunečnicový olej, slunečnicový olej s vysokým obsahem olejové kyseliny a slunečnicový olej se středním obsahem olejové kyseliny (Gunstone, 2002). Zastoupení jednotlivých mastných kyselin v procentech v různých typech slunečnicového oleje je uvedeno v tabulce 3.

Tabulka 3: Zastoupení jednotlivých mastných kyselin v různých typech slunečnicového oleje v % (Gunstone, 2002).

Mastná kyselina	Tradiční slunečnicový olej	Slunečnicový olej s vysokým obsahem olejové kyseliny	Slunečnicový olej se středním obsahem olejové kyseliny
nasyčené	11-13	9-10	do 10
olejová	20-30	80-90	55-75
linolová	60-70	5-9	15-35
linolenová	do 1	do 1	do 1

3.4.1.3 Olivový olej

Olivový olej je získáván z plodů stromu *Olea europea* L. mechanicky nebo jinými fyzikálními prostředky, které nezpůsobují žádné změny v oleji (Gunstone, 2002). Plody se nazývají olivy a obsahují 6-25 % oleje (Mele et al., 2018). Olivový olej je hlavní součástí diety lidí žijících v zemích kolem Středoziemního moře (Gunstone, 2002). Spotřeba olivového oleje ve světě vzrostla od roku 1990/91 do roku 2015/16 o 79 %. Největší nárůst spotřeby v tomto období je zaznamenán především v Japonsku, dále pak ve Velké Británii a v Německu (Soyyigit et Yavuzaslan, 2018).

Olivový olej se skládá z 95-98 % triacylglycerolů (Sharma et al., 2016). Složení mastných kyselin v olivovém oleji se může lišit vzorek od vzorku v závislosti na místě produkce, zeměpisné šířce, klimatu, odrůdě a stádiu zralosti plodu. Olivy vypěstované v Řecku, Itálii a Španělsku mají nízký obsah linolové a palmitové kyseliny a vysoký obsah olejové kyseliny, naopak olivy vypěstované v Tunisku obsahují velké množství linolové a palmitové kyseliny a malé množství olejové kyseliny (Gunstone, 2002). Průměrně se udává obsah nasyčených mastných kyselin 12-14 %, monoenoových mastných kyselin 75 % a polyenoových mastných kyselin 8 % (Sharma et al., 2016). Průměrný obsah jednotlivých mastných kyselin v olivovém oleji je uveden v tabulce 4.

Tabulka 4: Zastoupení jednotlivých mastných kyselin v olivovém oleji v % (Gunstone, 2002).

Mastná kyselina	Obsah v %
palmitová	7,5-20
stearová	0,5-5
palmitolejová	0,3-3,5
olejová	55-85
linolová	7,5-20
linolenová	0,0-1,5

3.4.1.4 Sezamový olej

Sezamový olej je získáván extrakcí ze semen rostliny *Sesamum indicum* L. Jedná se o jednu z nejstarších olejnatých plodin (Gunstone, 2002). Sezam je pěstován v mnoha částech světa, především v tropických a subtropických oblastech. Byl používán především jako zdroj potravy a později pěstován jako důležitý zdroj jedlého oleje a mouky. Sezam je široce využíván hlavně díky stabilnímu obsahu oleje a obsahu výživných bílkovin (Hama, 2016). Jedná se o jeden z mála rostlinných olejů, který lze používat bez rafinace (Olasunkanmi et al., 2017).

Semena sezamu se skládají ze 44-58 % oleje, 18-25 % bílkovin a 11-13,5 % sacharidů. Díky obsahu antioxidantů sezamový olej odolává lépe oxidaci, oproti ostatním jedlým olejům (Hama, 2016). Významný je především díky vysokému obsahu nenasycených mastných kyselin, asi 83 %. Nenasycené mastné kyseliny jsou tvořeny ze 44 % monoenoovými a 39 % polyenoovými mastnými kyselinami. Nejvíce jsou zastoupeny mastné kyseliny olejová a linolová, následuje palmitová, palmitolejová a stearová kyselina, v malém množství je obsažena i linolenová kyselina (Olasunkanmi et al., 2017).

3.4.2 Olejnatá semena

3.4.2.1 Mák setý

Mák setý (*Papaver somniferum* L.) je celosvětově pěstovaná rostlina pro výrobu farmaceuticky významných omamných látek a produkci semen. V roce 2012 byla Česká republika předním producentem máku na světě (Lančaričová et al., 2016). Obsah oleje v semenech se výrazně mění v závislosti na původu a barvě semene, pohybuje se v rozpětí 41-57 % (Azcan et al., 2004). Nejvíce zastoupena je linolová kyselina a to z 56,4-69,2 %, dále

olejová kyselina z 16,1-19,4 % a palmitová kyselina z 10,6-16,4 %. Menší množství představuje stearová a α -linolenová kyselina (Havrlentová et al., 2012).

3.4.2.2 Len setý

Len (*Linum usitatissimum* L.) byl pěstovaný především jako zdroj vlákna pro textilní průmysl, později pro produkci semen (Gunstone, 2002). Rostlina je pěstována především v chladnějších oblastech světa (Nitrayová et al., 2014). Lněná semena obsahují 40-44 % oleje (Gunstone, 2002). Významná pro lidskou výživu jsou především vysokým obsahem α -linolenové kyseliny, která je zastoupena až z 52 % (Oomah, 2001). Dalšími významnými *cis*-nenasycenými mastnými kyselinami, jsou olejová kyselina (20 %) a linolová kyselina (15 %) (Nitrayová et al., 2014).

3.4.2.3 Šalvěj hispánská

Šalvěj hispánská (*Salvia hispanica* L.) je rostlina, která produkuje známá chia semena. Původně se pěstovala v Mexiku, kde je považována za základní potravinu a je přidávána do potravin a nápojů. Šalvěj hispánská je v dnešní době konzumována nejen ve formě semen, ale také jako olej (Parker et al., 2018). Chia semena obsahují ještě větší podíl α -linolenové kyseliny než lněná semena a to 64 %. Obsah linolové kyseliny se pohybuje okolo 19 %. Olejová kyselina je naopak oproti lněným semenům zastoupena v menší míře (7 %). Chia semena jsou používána také pro krmení zvířat, kvůli obohacení vajec a masa o omega-3 mastné kyseliny (Nitrayová et al., 2014).

3.4.3 Ořechy

Ořechy jsou bohatým zdrojem tuků, zejména nenasycených mastných kyselin, vlákniny, vitamínů, minerálů, fytoosterolů a polyfenolů (Hamasaki et Hamasaki, 2017). Jsou běžně konzumovány ve středomořské stravě a jejich konzumace je doporučena všem lidem na světě (Machado de Souza et al., 2017). Významné jsou především vysokým obsahem monoenových a polyenových mastných kyselin (Hamasaki et Hamasaki, 2017). Olejová kyselina je nejvíce zastoupena v mandlích. Esenciální linolová a α -linolenová kyselina jsou nejvíce obsaženy ve vlašských ořeších (Li et Hu, 2011). Obsah jednotlivých mastných kyselin ve vybraných ořeších je uveden v tabulce 5.

Tabulka 5: Zastoupení jednotlivých mastných kyselin ve vybraných ořeších v % (Li et Hu, 2011).

Druh ořechů	Nasyčené mastné kyseliny	16:1	18:1	18:2	18:3
Vlašské ořechy	8,8	0,2	19,3	60,3	11,4
Pistáciové ořechy	12,0	0,8	53,4	33,1	0,7
Piniové ořechy	8,2	0,2	29,6	61,6	0,5
Mandle	8,6	1,1	63,2	26,9	0,2
Makadamové ořechy	14,7	25,5	57,1	2,5	0,3
Para ořechy	26,2	0,3	29,1	42,8	0,2
Pekanové ořechy	6,3	0,1	40,6	50,3	0,7
Kešu ořechy	20,2	0,4	57,2	20,8	0,2
Arašídý	22,1	-	43,7	33,3	-

16:1 – palmitolejová kyselina; 18:1 – olejová kyselina; 18:2 – linolová kyselina; 18:3 – α -linolenová kyselina

3.4.4 Ryby

Ryby, mořské i sladkovodní, jsou významným zdrojem nenasycených mastných kyselin v potravě člověka (Łuczyńska et al., 2014). Spotřeba ryb v České republice je menší, než je evropský průměr, také kvůli vysoké ceně. Maso obsahuje 50-83 % vody, 15-20 % bílkovin a 1-35 % tuků. Podle obsahu tuku se ryby rozdělují do tří skupin. První skupina zahrnuje druhy s obsahem tuku do 2 %. Jedná se o ryby s nízkým obsahem tuku a do této skupiny se řadí candát, štika, okoun, humr nebo krab. Druhou skupinou jsou středně tučné ryby, s obsahem 2-10 % tuku, jako je pstruh, kapr nebo sumec. Třetí skupina je označována jako tučné ryby, s obsahem tuku nad 10 %. Do této skupiny jsou řazeny ryby jako úhoř, tuňák, sled' losos, makrela (Kavka, 2017).

Ryby jsou bohatým zdrojem n-3 polyenových mastných kyselin. Obsahují především α -linolenovou kyselinu, eikosapentaenovou kyselinu (EPA) a dokosaheptaenovou kyselinu (DHA). Důležitý je také obsah n-6 polyenových mastných kyselin. V rybách je zastoupena především linolová a arachidonová kyselina (Łuczyńska et al., 2014).

Mořské a sladkovodní ryby se od sebe liší obsahem těchto dvou skupin mastných kyselin. Mořské ryby ztratily schopnost konvertovat α -linolenovou kyselinu na EPA a následně na DHA, a proto je musí přijímat ve formě zooplanktonu, který je bohatý na n-3 mastné kyseliny, díky fytoplanktonu, kterým se živí. Proto jsou mořské ryby bohatší na n-3 mastné

kyseliny než sladkovodní ryby (Sargent, 1997). Obsah jednotlivých mastných kyselin je ovlivněn především potravou ryb. Rybí, lněný nebo řepkový olej v potravě ryb zvyšují obsah n-3 mastných kyselin v rybím mase (Zajíc et al., 2012).

3.5 Zdroje *trans*-nenasycených mastných kyselin

Člověk se ve své výživě setkává s *trans*-nenasycenými mastnými kyselinami nejčastěji v mléčném tuku, rafinovaných olejích a ve ztužených tucích (Dlouhý et al., 2011).

3.5.1 Mléčný tuk

Trans-nenasycené mastné kyseliny (TFA) se vyskytují v mase a mléce, respektive mléčných výrobcích (sýr, máslo) přežvýkavců jako je skot nebo ovce. Tento zdroj je často přehlížen kvůli množství literatury zaměřující se na *trans*-mastné kyseliny v průmyslově vyráběných tucích, avšak 2-9 % z celkového příjmu TFA jsou právě tohoto původu (Ganguly et Pierce, 2015). Mléčné výrobky přežvýkavců obsahují 67 % nasycených mastných kyselin, 3 % polyenových mastných kyselin a 4 % *trans*-nenasycených mastných kyselin. Složení mastných kyselin v mléčných výrobcích může být změněno nutričními faktory, hlavně změnou povahy píce a doplněním potravy o olejnatá semena.

Krmivo přijaté přežvýkavcem putuje do bachoru, který je prvním zažívacím prostorem přežvýkavců. Bachor představuje 50-60 % objemu trávicího traktu. Lipidy z diety jsou zde pozměněny v důsledku dvou hlavních procesů – lipolýzy a biohydrogenace (Ferlay et al., 2017).

3.5.1.1 Lipolýza

Lipolýza v bachoru je způsobena zejména působením mikrobiálních lipáz. Z bachoru byly izolovány lipolytické bakterie, včetně různých kmenů *Anaerovibrio lipolytica* a dalších bakterií patřících do rodu *Butyrivibrio*, *Clostridium* a *Propionibacterium*. *Anaerovibrio lipolytica* díky svým enzymům hydrolyzuje triacylglyceroly a rod *Butyrivibrio* je schopný hydrolyzovat fosfolipidy. Výsledkem lipolýzy u přežvýkavců jsou volné mastné kyseliny a glycerol (Ferlay et al., 2017).

3.5.1.2 Biohydrogenace

Bachorová biohydrogenace je výsledkem působení bakteriálních enzymů v bachoru přežvýkavců, které konvertují polyenové mastné kyseliny z potravy na nenasyčené a nasycené mastné kyseliny (Ledoux et al., 2007). Tato reakce se děje díky izomeraci nenasyčených

mastných kyselin na meziprodukty, kterými jsou *trans*-nenasycené mastné kyseliny a následné hydrogenaci dvojně vazby a vznik nasycených mastných kyselin. K bachorové biohydrogenaci pravděpodobně dochází ve snaze bakterií chránit se před toxicitou nenasyčených mastných kyselin (Ferlay et al., 2017).

Bakterie přítomné v bachoru se rozdělují do dvou skupin. První skupina zahrnuje bakterie skupiny *Butyrivibrio fibrisolvens*, rody *Butyrivibrio* a *Pseudobutyrvibrio*, a druh *Butyrivibrio proteoclasticus*. Tyto bakterie hydrogenují linolovou kyselinu a α -linolenovou kyselinu na vakcenovou kyselinu (*trans*-11 18:1) přes odlišné meziprodukty. Druhá skupina zahrnuje kmeny blízké *Butyrivibrio proteoclasticus* a tato skupina hydrogenuje vzniklou vakcenovou kyselinu na nasycenou stearovou kyselinu (Ferlay et al., 2017). Tento krok je pomalý a omezuje rychlost celé biohydrogenace (Ledoux et al., 2007).

Existuje několik drah zahrnujících izomeraci a hydrogenaci (Ferlay et al., 2017). Jedna z hlavních drah biohydrogenace α -linolenové kyseliny spočívá v izomeraci na konjugovanou kyselinu linolenovou (CLnA) *cis*-9, *trans*-11, *cis*-15 18:3, následné hydrogenaci na *trans*-11, *cis*-15 18:2, dále na vakcenovou kyselinu (*trans*-11 18:1) a na konečný produkt stearovou kyselinu (18:0).

Hlavní dráha pro biohydrogenaci γ -linolenové kyseliny zahrnuje izomeraci na *cis*-6, *cis*-9, *trans*-11 18:3 (CLnA), následnou hydrogenaci na *cis*-6, *trans*-11 18:2, dále na vakcenovou kyselinu (*trans*-11 18:1) a na konečný produkt stearovou kyselinu.

Linolová kyselina je nejčastěji izomerována na rumenovou kyselinu (*cis*-9, *trans*-11 18:2), následně hydrogenována na vakcenovou kyselinu a na konečný produkt stearovou kyselinu (Ledoux et al., 2007).

Všechny meziprodukty, vzniklé během biohydrogenace, jsou absorbovány a distribuovány v tkáních, včetně mléčné žlázy. Tam jsou díky jiným enzymatickým reakcím modifikovány, zejména díky Δ^9 -desaturáze. Dále může docházet k jejich elongaci nebo naopak zkracování řetězce (Aldai et al., 2013).

Hlavní *trans*-nenasycenou mastnou kyselinou zastoupenou v tuku přežvýkavců je vakcenová kyselina, která je obsažena z 50-80 %. Další významně zastoupenou je konjugovaná kyselina linolová (CLA), známá také pod názvem rumenová kyselina (Ganguly et Pierce, 2015).

3.5.2 Rafinované oleje

Rostlinné oleje vzniklé lisováním semen nebo plodů mohou obsahovat množství látek, které přispívají ke změnám barvy, chuti a aroma oleje, nebo mohou snižovat jeho trvanlivost. Mezi tyto látky patří volné mastné kyseliny, fosfolipidy, sacharidy, bílkoviny a jejich produkty vzniklé při degradaci. Proto jsou tyto látky odstraňovány procesem zvaným rafinace. Rafinace zahrnuje odslizení surového oleje, neutralizaci, bělení a dezodoraci (Martin et al., 2007). Právě poslední krok výroby, je zodpovědný za tvorbu *trans*-nenasycených mastných kyselin v rafinovaných rostlinných olejích (EFSA, 2010).

3.5.2.1 Dezodorace

Dezodorace je obvykle poledním krokem rafinace rostlinného oleje. Tento proces byl objeven na konci 19. století a sloužil ke zdokonalování chuti a vůně oleje. V dnešní době proces dezodorace neslouží pouze k odstranění nevhodných pachů, ale také k odstranění těkavých složek jako jsou volné mastné kyseliny a k tepelné destrukci pigmentů, tzv. tepelnému bělení (De Greyt, 2012).

Dezodorace je proces vakuové destilace, při kterém dochází ke stripování oleje horkou parou (Kreps et al., 2017). Během tohoto procesu jsou oleje obvykle zahřáty na 180-270 °C, což vede k formaci *trans*-nenasycených mastných kyselin (Bhardwaj et al., 2011). V současné době je obsah *trans*-nenasycených mastných kyselin v rafinovaných rostlinných olejích kolem 1 % (Dlouhý et al., 2011).

3.5.3 Ztužené tuky

Ztužené tuky se začaly vyrábět v Evropě v polovině 19. století, jako náhražka másla. Pravděpodobně se jednalo o reakci na vysokou cenu másla (Martin et al., 2007). Tyto tuky jsou dnes vyráběny metodou parciální katalytické hydrogenace nebo metodou interesterifikace a jsou největším zdrojem *trans*-nenasycených mastných kyselin v potravě člověka (Dlouhý et al., 2011).

3.5.3.1 Parciální katalytická hydrogenace

Parciální katalytická hydrogenace je průmyslový proces, který snižuje nenasycenost mastných kyselin v olejích, čímž zlepšuje jejich oxidační stabilitu a zvyšuje jejich tuhost (Ledoux et al., 2007). Tento proces spočívá v zahřátí oleje na vysokou teplotu a následné

vhánění vodíku do oleje za přítomnosti niklového katalyzátoru při vysoké teplotě a tlaku. Během tohoto procesu dochází k vysycování dvojných vazeb především polyenových mastných kyselin a vzniku monoenových mastných kyselin, které následně izomerují. Dvojná vazba v konfiguraci *cis* je méně stabilní, a proto konvertuje do pozice *trans*. V menší míře vznikají také nasycené mastné kyseliny (Dlouhý et al., 2011).

Celkový obsah *trans* izomerů závisí na několika parametrech jako je složení polyenových mastných kyselin ztužovaného oleje, typ a koncentrace katalyzátoru, teplota, tlak a intenzita míchání během hydrogenace (Ledoux et al., 2007). Obsah nasycených mastných kyselin a *trans* izomerů nenasycených mastných kyselin určuje výslednou konzistenci tuku. Proces ztužování je ukončen, když je dosaženo požadované konzistence tuku. Takto vyrobené ztužené tuky mohou obsahovat 30-50 % *trans*-nenasycených mastných kyselin. Nejvíce zastoupena je *trans*-monoenová mastná kyselina s délkou řetězce 18 uhlíků, přičemž dvojná vazba se nachází nejčastěji v pozici *trans*-9, *trans*-10, *trans*-11 nebo *trans*-12. V menším množství jsou obsaženy i *trans*-dienové mastné kyseliny.

Ztužený tuk se následně používá na výrobu směsných roztíratelných tuků nebo je přidáván jako přísada při výrobě trvanlivého pečiva a plev. V České republice na počátku 90. let byl obsah *trans*-nenasycených mastných kyselin v roztíratelném tuku 20-30 %. V dnešní době je snaha o snížení obsahu těchto mastných kyselin, což se daří v důsledku používání nových technologií jako je interesterifikace (Dlouhý et al., 2011).

3.5.3.2 Interesterifikace

Interesterifikace je jedna z možných alternativních metod pro výrobu produktů se zlepšenými fyzikálními vlastnostmi tuků a olejů (Fauzi et al., 2013). Tato metoda umožňuje výrobu produktů s nulovým nebo velice nízkým obsahem *trans*-nenasycených mastných kyselin (Yu et al., 2018).

Během procesu interesterifikace se mění fyzikální vlastnosti olejů vlivem změny uspořádání mastných kyselin na řetězci glycerolu, nedochází však ke změně chemického složení jednotlivých mastných kyselin (Fauzi et al., 2013). Obsah *trans*-mastných kyselin v olejích upravených tímto procesem je max 1 % (Kadlec et al., 2012).

3.5.4 Smažené jídlo

Smažení je jednou z nejstarších metod přípravy jídla. V tomto procesu se teplo přenáší z oleje na potraviny s následným odpařováním vody z potravy a absorpcí oleje (Martin et al.,

2007). V oleji dochází k několika fyzikálním a chemickým změnám v důsledku oxidace, hydrolýzy a izomeračních reakcí. Mimo jiné vznikají také *trans*-nenasycené mastné kyseliny (Bhardwaj et al., 2011).

Tvorba *trans*-nenasycených mastných kyselin je úzce spojena s dobou, jakou je potravina oleji vystavena, teplotou při smažení, složením mastných kyselin v oleji a přítomností antioxidantů (Baltacıoğlu, 2017). Při použití částečně hydrogenovaných tuků je tvorba TFA nižší (Martin et al., 2007).

Izomery s dvojnou vazbou v poloze *trans* vznikají při reakcích, kde je dostatečná aktivační energie. Izomerace může být potlačena přidáním různých antioxidantů. Při vyšších teplotách smažení (nad 200 °C) může být dvojná vazba posunuta do sousední polohy a tím vznikají konjugované mastné kyseliny (Brühl, 2014).

Bylo zjištěno, že během smažení při teplotě 180 °C, po dobu 30 minut a deseti opakováních se obsah CLA nijak významně nezměnil. Naopak během smažení při teplotě 220 °C obsah CLA v rafinovaném slunečnicovém oleji vzrostl z 0,1 g/100 g na 1,3 g/100 g. Hlavními izomery konjugované kyseliny linolové byly *trans*-9, *trans*-11, *trans*-10 a *trans*-12 (Juanéda et al., 2003).

3.6 Vliv *cis*-nenasycených mastných kyselin na zdraví

Nenasycené mastné kyseliny přijímané v potravě jsou stále více uznávány jako hlavní biologické regulátory, které souvisejí se zdravím a onemocněním člověka a mají řadu důležitých rolí v buněčných funkcích (Dunbar et al., 2014).

3.6.1 Vliv omega-3 nenasycených mastných kyselin

Omega-3 nenasycené mastné kyseliny, jako je EPA a DHA mají odlišné biologické účinky ve srovnání s jinými mastnými kyselinami. Jejich působení se z části připisuje větší délce řetězce a vysokému počtu dvojných vazeb. Tyto skutečnosti přinášejí jedinečné fyzikální a biochemické vlastnosti (Deckelbaum et al., 2006).

Existují 4 obecné mechanismy účinku, kterými omega-3 mastné kyseliny ovlivňují chování buněk a tkání a tím vyvolávají jejich fyziologické účinky. Prvním možným mechanismem je schopnost omega-3 ovlivňovat koncentrace hormonů, které následně ovlivňují chování buněk a tkání. Další schopností omega-3 je ovlivňovat jiné faktory, jako je oxidace LDL nebo oxidační stres. Dále mohou omega-3 působit přímo na chování buněk prostřednictvím povrchových nebo intracelulárních receptorů. Posledním mechanismem je

působení na buněčné chování zprostředkované změnami ve složení buněčných membrán fosfolipidů (Calder, 2012).

Účinky omega-3 mastných kyselin v lidském těle byly rozsáhle studovány především z hlediska jejich hypolipidemických, antiateromatózních, protizánětlivých a antitrombotických účinků (Simopoulos, 1991).

3.6.1.1 Kardiovaskulární onemocnění

Kardiovaskulární onemocnění (CVD) je termín definující onemocnění, které postihují srdce a cévy v srdci. Jedná se především o nedostatečnou funkci pumpy a snížení krevního zásobení okolních orgánů. Toto onemocnění se stává narůstajícím problémem po celém světě (Ganguly et Pierce, 2015). Podle World Health Organization (2017) je kardiovaskulární onemocnění nejčastější příčinou úmrtí na světě. Přibližně 17,9 milionů lidí zemřelo v roce 2016 vlivem CVD, což je 31 % ze všech úmrtí na světě, z toho 85 % bylo vlivem mrtvice nebo infarktu.

Rizikové faktory vzniku kardiovaskulárního onemocnění lze rozdělit do dvou skupin: nemodifikovatelné a modifikovatelné. Mezi nemodifikovatelné rizikové faktory se řadí genetická predispozice pro vznik CVD, pohlaví, věk, rasa. Modifikovatelné faktory souvisejí především se životním stylem a patří mezi ně kouření, vysoký cholesterol v krvi, hypertenze, obezita, cukrovka, fyzická nečinnost a stres. Modifikovatelné rizikové faktory lze ovlivnit výživou (Ganguly et Pierce, 2015).

Jednou z příčin vzniku kardiovaskulárního onemocnění jsou tromby, které ucpávají cévy a znemožňují tak průtok krve. Omega-3 mastné kyseliny mají antitrombotický účinek. Velké dávky těchto mastných kyselin zvyšují dobu krvácení, snižují viskozitu krve a zvyšují fluiditu membrán erytrocytů (Cartwright et al., 1985).

3.6.1.2 Hypertenze

Arteriální hypertenze je jedním z nejvýznamnějších rizikových faktorů vzniku kardiovaskulárního onemocnění. Provedené studie ukazují, že udržování normální hladiny krevního tlaku u pacientů s hypertenzí je spojeno s významným snížením výskytu kardiovaskulárních příhod (McInnes, 2005).

Meta-analýzy 36 randomizovaných studií, které se zabývaly doplňováním stravy rybím olejem, prokázaly malý, ale významný pokles krevního tlaku, a to systolického o 2 mm Hg i

diastolického o 1,5 mm Hg. Během studií bylo podáváno 3,7 g rybího tuku za den (Geleijnse et al., 2002).

Adekvátní příjem omega-3 mastných kyselin také mírně snižuje systolický i diastolický krevní tlak a zabraňuje zvýšení krevního tlaku u diabetiků, starších osob a osob trpících vysokým krevním tlakem (Cicero et al., 2009). Bylo prokázáno, že krevní tlak klesá více po konzumaci EPA než po konzumaci DHA (Morris et al., 1993). Děje se tak díky pozitivnímu efektu na endoteliální funkci, vazomotoriku a produkci prostanooidů (Mori et al., 1999).

Endotel lemuje vnitřní povrch krevních cév a má rozhodující úlohu při produkci různých vasodilatátorů, jako je oxid dusnatý (NO), prostaglandiny a další (Limbu et al., 2018). Omega-3 mastné kyseliny zlepšují endoteliální funkci a vaskulární reaktivitu u zdravých jedinců i pacientů trpících kardiovaskulárními poruchami. Jednou z možností působení omega-3 mastných kyselin je, že zlepšují biologickou dostupnost oxidu dusnatého (Tagawa et al., 1999). Vasodilatační mechanismy se liší v závislosti na druhu studované omega-3 mastné kyseliny a typu arterie (Shimokawa et Godo, 2016; Edwards et al., 2010).

3.6.1.3 Ateroskleróza

Ateroskleróza je chronická zánětlivá porucha endotelu středních a velkých cév, spojená s akumulací lipidů a vláknitých prvků. Jedná se o jednu z hlavních příčin kardiovaskulárního onemocnění (Ramji, 2018). Vznik aterosklerózy není dosud zcela objasněn. Za možné příčiny se považují LDL částice (low density lipoproteins) a produkty cigaretového kouře (Ganguly et Pierce, 2015). LDL částice se akumulují v endotelu cév, kde jsou následně modifikovány vlivem oxidace. Tyto změny způsobují aktivaci monocytů (Ramji, 2018). Monocyty pohlcují LDL cholesterol a mění se v makrofágy. Tyto makrofágy se hromadí a vytvářejí tukové proužky, ze kterých se dále vyvíjí aterosklerotické pláty (ateromy). Ateromy mohou časem ztvrdnout nebo zkalifikovat. Pokud dojde k jejich uvolnění, mohou se pohybovat v cévách po celém těle a blokovat tak průtok krve (Ganguly et Pierce, 2015). Ústředním prvkem rozvoje aterosklerózy je metabolismus cholesterolu. Reverzní transport cholesterolu je proces, kterým je přebytečný cholesterol transportován ve formě HDL (high density lipoproteins) z periferních tkání do jater, odkud je odstraňován z těla. Léčebné strategie pro zvýšení reverzního transportu by tak mohly vést k regresi aterosklerózy (Den Hartigh, 2019).

Bylo zjištěno, že vlivem konzumace většího množství omega-3 mastných kyselin u Eskymáků dochází ke snižování hladiny triacylglycerolů a cholesterolu v plazmě a dále ke

snižování LDL a VLDL (very low density lipoproteins) (Dyerberg et al., 1975; Dyerberg et al., 1978).

Harris (1989) naopak zjistil, že omega-3 mastné kyseliny neovlivňují koncentraci LDL cholesterolu, ale lehce zvyšují koncentraci HDL cholesterolu v krvi, asi o 3 % a snižují koncentraci triacylglycerolů v krvi o 25 %. Tousoulis et al. (2014) ve své studii uvádí, že konzumace omega-3 mastných kyselin snižuje koncentraci triacylglycerolů v krvi až o 27 %.

Omega-3 mastné kyseliny chrání před vznikem aterosklerotických plátů také díky jejich schopnosti redukce zánětů (Calder, 2012). Zánět je bezprostřední odpověď organismu na infekci nebo zranění. Omega-3 mastné kyseliny částečně nahrazují kyselinu arachidonovou v buněčných membránách fosfolipidů, díky čemuž následně dochází ke snížení tvorby eikosanoidů odvozených od kyseliny arachidonové, které často mají zánětlivé účinky. Naopak dochází ke zvýšení tvorby eikosanoidů odvozených od EPA, které mají méně zánětlivé účinky. Zvýšením obsahu EPA a DHA v buněčných membránách fosfolipidů dochází také ke zvýšení tvorby resolvinů, které mají protizánětlivé účinky (Calder, 2006).

3.6.1.4 Náhlá srdeční smrt

Náhlá srdeční smrt je nejčastější příčinou úmrtí pacientů, kteří prodělali infarkt myokardu. Většina úmrtí je zapříčiněna srdečními arytmiemi, jako je fibrilace komor (Reiffel et McDonald, 2006).

V největší klinické studii sekundární prevence rybím olejem bylo zjištěno, že při podávání 1 g rybího oleje farmaceutické kvality/den pacientům po infarktu myokardu, byla úmrtnost způsobená náhlou srdeční smrtí snížena o 45 %. Celkem bylo do studie zapojeno 11 323 pacientů (Marchioli et al., 2002). Vzhledem k tomu, že náhlá srdeční smrt je nejčastěji zapříčiněna arytmiemi srdce, lze tento účinek omega-3 mastných kyselin považovat jako antiarytmický (Rix et al., 2013). Možné mechanismy působení omega-3 mastných kyselin byly prokázány ve studiích na zvířatech *in vivo* a *in vitro* (Richardson et al., 2011).

3.6.1.5 Obezita

Obezita je uznána Americkou lékařskou asociací jako nemoc a je považována za hlavní zdravotní problém. Celosvětově trpí nadváhou přibližně 39 % dospělé populace a více než 13 % je obézních. Obezita zvyšuje riziko kardiovaskulárního onemocnění, *diabetu mellitu* 2. typu a některých typů rakoviny (Albracht-Schulte et al., 2018).

He et al. (2002) ve své studii naznačují, že muži s vyšší mírou konzumace ryb, mají nižší nadváhu. Naopak studie provedená Iso et al. (2001) zjistila, že ženy, které konzumují 2 a více rybích jídel za měsíc, mají vyšší riziko nadváhy. Omega-3 mastné kyseliny nepůsobí přímo na úbytek váhy, ale zmírňují další váhový přírůstek (Albracht-Schulte et al., 2018). Děje se tak především díky schopnosti regulace metabolismu mastných kyselin tím, že dokáží snížit syntézu a skladování triacylglycerolů (Calder, 2012).

3.6.1.6 Rakovina

Rakovina je v určitých zemích řazena na druhé místo nejčastějších příčin úmrtí pacientů, po kardiovaskulárním onemocnění (D'Eliseo et Velotti, 2016). Navzdory pokroku v léčbě rakoviny, kterého bylo v posledních letech dosaženo, mají tradiční cytotoxické terapie, jako je chemoterapie nebo radioterapie mnohá omezení (Basile et Aplin, 2012).

V posledních letech byly provedeny rozsáhlé studie, které zvažovaly možné terapeutické účinky omega-3 mastných kyselin v léčbě rakoviny. Bylo navrženo několik biologických účinků, například účinky na proliferaci nebo apoptózu nádorových buněk (D'Eliseo et Velotti, 2016).

Indukce apoptózy nádorových buněk hraje důležitou roli v léčbě rakoviny a představuje významný cíl mnoha léčebných strategií. Několik studií prokázalo, že EPA a DHA mají inhibiční účinky na růst nádoru, díky indukci smrti nádorových buněk apoptózou, a to buď samostatně nebo v kombinaci s protirakovinnými terapiemi (Biondo et al., 2008; Serini et al., 2009; Wang et al., 2011; Weylandt et al., 2015). Cytotoxická aktivita vyvolaná omega-3 mastnými kyselinami má potenciál zvýšit citlivost nádorových buněk na chemoterapii nebo radioterapii, což může zlepšit účinnost těchto terapií (Hajjaji et Bougnoux, 2013; Siddiqui et al., 2011). Další výhodou je, že způsobují cytotoxicitu proti rakovinným buňkám a pouze malou nebo žádnou proti zdravým buňkám (Wang et al., 2011). Aby bylo terapeutické činidlo účinné, mělo by být toxické pouze pro rakovinné buňky bez poškození zdravých buněk. Konvenční chemoterapeutika zabíjí rakovinné, ale také zdravé buňky, což zapříčiňuje nepříznivé účinky léčby (D'Eliseo et Velotti, 2016).

3.6.2 Vliv omega-6 nenasycených mastných kyselin

Nejvýznamnější a v potravě nejvíce zastoupenou omega-6 mastnou kyselinou je linolová kyselina. Tato omega-6 mastná kyselina je esenciální a po konzumaci může být desaturována a elongována za vzniku dalších omega-6 PUFA jako je γ -linolenová, dihomogamma-

linolenová kyselina, ta je následně převedena na metabolicky významnou arachidonovou kyselinu, která je substrátem pro širokou škálu reaktivních metabolitů (Harris et al., 2009).

3.6.2.1 Kardiovaskulární onemocnění

Jak již bylo řečeno, kardiovaskulární onemocnění je způsobeno několika faktory, které spolu navzájem souvisí: vysoký krevní tlak, hyperlipidémie, zvýšená hladina cholesterolu v krvi a další (Simopoulos, 1991).

Bylo zjištěno, že příjem omega-6 mastné kyseliny linolové snižuje obsah cholesterolu v krevním séru (Hegsted, 1986). Mensink et Katan (1992), kteří se zabývali účinky dietních tuků na koncentrace HDL a LDL cholesterolu a triacylglycerolů v krevním séru, tyto teorie rozšířili. Bylo prokázáno, že linolová kyselina snižuje koncentraci LDL cholesterolu, čímž se snižuje riziko výskytu kardiovaskulárního onemocnění (Grundy et Ahrens, 1970; Mensink et al., 2003).

Ačkoliv účinky snižující hladinu LDL cholesterolu v krvi nebyly nikdy zpochybněny, některé studie naznačují, že příjem linolové kyseliny v potravě má nepříznivé účinky na kardiovaskulární onemocnění, protože vede k vyšším koncentracím arachidonové kyseliny v krvi a tkáních (Poli et Visioli, 2015). Tato mastná kyselina je obvykle hlavní PUFA v membránách buněk, které jsou zapojeny do zánětlivé reakce. Arachidonová kyselina je prekurzorem řady prozánětlivých mediátorů, proto se předpokládá, že zvýšení příjmu omega-6 mastných kyselin a to jak arachidonové kyseliny, tak jejího prekurzoru linolové kyseliny ve stravě, zvyšuje zánětlivé reakce (Innes et Calder, 2018). Adam et al. (2003) ve své studii uvedli, že dieta s nízkým obsahem kyseliny arachidonové zlepšuje klinické příznaky zánětu a stimuluje protizánětlivý účinek omega-3 mastných kyselin u pacientů trpících revmatoidní artritidou. Naopak studie na zdravých dospělých lidech zjistily, že zvýšený příjem arachidonové nebo linolové kyseliny nijak neovlivňuje koncentraci zánětlivých markerů (Pischon et al., 2003). Epidemiologické studie dokonce naznačují, že příjem těchto dvou omega-6 mastných kyselin může být spojen se snížením zánětlivých markerů (Ferrucci et al., 2006).

Interakce mezi omega-3 a omega-6 mastnými kyselinami a jejich deriváty v souvislosti se zánětlivými reakcemi je složitá a stále není dokonale vysvětlena (Innes et Calder, 2018).

3.6.2.2 Obezita

V etiologii obezity se podílejí jak genetické, tak environmentální faktory. Není pochyb o tom, že genetika hraje roli v predispozici určitých jedinců k obezitě. Avšak je

nepravděpodobné, že by v relativně krátkém čase došlo k podstatné změně v genovém poli lidí. Proto je obezita ovlivněna spíše faktory životního prostředí, než genetickými (Muhlhausler et Ailhaud, 2013). Bylo identifikováno několik kritických období vývoje, během kterých je vystavení neoptimálnímu nutričnímu prostředí obzvláště škodlivé, protože může mít trvalé účinky, jako je například sklon k obezitě později v životě. U člověka se jedná především o období před narozením a prvních dvou let života, u hlodavců především období plodu a kojení (McMillen et al., 2008).

Provedené *in vitro* studie prokázaly schopnost linolové a arachidonové kyseliny podporovat diferenciaci preadipocytů, což naznačuje, že zvýšená konzumace omega-6 mastných kyselin v období vývoje vede k trvalému zvýšení počtu tukových buněk u plodu, a i ke sklonu těchto buněk hromadit tuky (Azain, 2004; Gaillard et al., 1989). Tato teorie je podpořena experimentálními studiemi na zvířatech, při kterých byla krysám podávána dieta s vyšším množstvím linolové kyseliny. Takto krmené krysy vykazovaly zvýšenou expresi lipogenních genů, zvýšenou hmotnost tuku, větší velikost a počet adipocytů oproti krysám, které byly krmeny dietou s nižším obsahem linolové kyseliny (Alvheim et al., 2012; Javadi et al., 2004; Muhlhausler et al., 2010).

3.7 Vliv *trans*-nenasycených mastných kyselin

3.7.1 Vliv konjugované kyseliny linolové (CLA)

Termín konjugovaná kyselina linolová (CLA) popisuje poziční a geometrické izomery linolové kyseliny (18:2), kde systém dvojných vazeb je konjugovaný a každá z dvojných vazeb se může nacházet v konfiguraci *cis* nebo *trans*. Z toho vyplývá, že CLA může mít až 28 možných izomerů. Nejběžnější a se zdravím spojeny jsou izomery *cis*-9, *trans*-11-CLA, známý také jako rumenová kyselina a *trans*-10, *cis*-12-CLA (Banni, 2002).

Mechanismus fungování CLA není zcela objasněn, ale byly navrženy dvě hlavní teorie mechanismu. První teorie naznačuje, že CLA snižuje množství arachidonátu, což vede ke snížení produkce eikosanoidů, které modulují produkci cytokinů zapojených do zánětlivé reakce a rakoviny (Belury, 2002). Ústředním bodem této dráhy je potlačení biosyntetické dráhy kyseliny linolové na kyselinu arachidonovou pomocí CLA (Martinasso et al., 2010). Druhá teorie mechanismu fungování CLA navrhuje, že působí jako ligand s vysokou afinitou pro určitou skupinu jaderných receptorů, a tak reguluje expresi genů, o kterých je známo, že kontrolují buněčný cyklus, stejně tak oxidaci lipidů, diferenciaci adipocytů, energetickou bilanci a aterogenezi (Yang et al., 2015).

3.7.1.1 Hypertenze

Konjugovaná kyselina linolová vykazuje antihypertenzní účinky. Tyto vlastnosti CLA byly potvrzeny jak v testech na zvířatech, tak v klinické studii (Nagao et al., 2003; Inoue et al., 2004). Zhao et al. (2009) ve své studii pozorovali pacienty s hypertenzí v 1. stádiu, kterým podávali 4,5 g CLA (50 % *cis*-9, *trans*-11-CLA a 50 % *trans*-10, *cis*-12-CLA) po dobu 8 týdnů. Bylo zjištěno, že systolický i diastolický tlak byl významně snížen (Zhao et al., 2009). Větší antihypertenzní účinky vykazuje izomer *trans*-10, *cis*-12-CLA (Nagao et al., 2003).

3.7.1.2 Ateroskleróza

Konjugovaná kyselina linolová zlepšuje profily plazmatických lipidů u obézních a diabetických pacientů, díky snižování koncentrace VLDL a LDL cholesterolu v krvi, jejichž vysoké koncentrace jsou rizikovým faktorem vzniku aterosklerózy (Chen et al., 2011; Moloney et al., 2004). Zároveň bylo dokázáno, že CLA u myši zvyšuje hladinu HDL cholesterolu, který je zodpovědný za reverzní transport (Nestel et al., 2006).

CLA vykazuje také protizánětlivé účinky vlivem snižování produkce prozánětlivých cytokinů a zvyšováním produkce ochranných imunoglobulinů (Yang et al., 2015). Penedo et al. (2013) ve svém výzkumu zjistili, že izomer *cis*-9, *trans*-11-CLA v másle, ovlivňuje produkci prozánětlivých biomarkerů spojených s nadváhou a obezitou, a to tak, že redukuje jejich produkci.

3.7.1.3 Obezita

Studie provedené na zvířatech prokázaly, že CLA má hypolipidemický účinek a působí proti obezitě (Fernández-Fígares et al., 2012; Park et al., 1997). Významným izomerem je *trans*-10, *cis*-12-CLA, při jehož konzumaci dochází k redukcii tělesného tuku, naopak izomer *cis*-9, *trans*-11-CLA neprokázal žádný pozitivní účinek na snižování tělesné hmotnosti (Yang et al., 2015).

Účinky působení CLA jsou vysvětlovány několika možnými teoriemi. Jednou z teorií je, že CLA zvyšuje lipolýzu a β -oxidaci mastných kyselin v adipocytech (Pariza et al., 2000). Rahman et al. (2001) naznačují, že CLA zvyšuje β -oxidaci mastných kyselin, a navíc inhibuje transkripci enzymů, které jsou zapojeny do syntézy mastných kyselin v játrech.

3.7.1.4 Rakovina

Úloha CLA v prevenci rakoviny je velice dobře prostudována. Konjugovaná kyselina linolová je účinným inhibitorem všech stádií karcinogeneze: iniciace, propagace a metastázy (Belury, 2002). Antikancerogenní účinky CLA jsou mnohem silnější než účinky omega-3 mastných kyselin (Koba et Yanagita, 2013).

Účinek je závislý nejen na dávce, ale také na izomeru CLA (Koba et Yanagita, 2013). Izomer *trans*-10, *cis*-12-CLA indukuje apoptózu v nádorových buňkách a zároveň snižuje rychlost buněčné proliferace (Yang et al., 2015). Naopak izomer *cis*-9, *trans*-11-CLA nevykazuje proapoptickou aktivitu v myších nádorových buňkách mléčné žlázy (Kim et al., 2005). Antiproliferační aktivita byla také dokázána u minoritních izomerů *trans*-9, *trans*-11-CLA a *trans*-10, *trans*-12-CLA u karcinomu tlustého střeva a prsu (Yang et al., 2015).

3.7.1.5 Diabetes

Obezita a nadváha jsou spojeny se zvýšeným rizikem *diabetu*. Hormon inzulín, produkováný slinivkou břišní, je zodpovědný za regulaci koncentrace glukózy v krvi. Inzulín umožňuje glukóze, která je obsažená v krvi vstupovat do buněk, kde dochází k jejímu štěpení a tím uvolňování energie. Při onemocnění *diabetes mellitus* 2. typu dochází k tzv. inzulínové rezistenci. Jedná se o stav, kdy buňky nereagují správně na inzulín (i když je v krvi dostupný) a dochází k hyperinzulinémii (Benjamin et al., 2015).

Studie provedené na zvířatech prokázaly, že suplementace CLA zvyšuje citlivost na inzulín, ale mechanismus účinku je nejasný (Henriksen et al., 2003; Ryder et al., 2001). Většina klinických studií provedených u lidí, spíše neprokazuje antidiabetické účinky CLA. Příklad 3 g CLA/den u 24 žen po dobu 64 dní nevykazoval významné změny hladiny glukózy nebo inzulínu (Medina et al., 2000). U obézních mužů suplementace CLA dokonce indukovala pokles citlivosti na inzulín (Riserus et al., 2002). Naproti tomu podávání 4 g smíšených izomerů CLA/den zlepšilo citlivost na inzulín u mladých lidí. Do této studie bylo ale zapojeno pouze 16 jedinců, což je příliš málo subjektů na to, aby studie nabídla generalizovaný efekt (Benjamin et al., 2015; Eyjolfson et al., 2004).

3.7.2 Vliv vakcenové a elaidové kyseliny

3.7.2.1 Kardiovaskulární onemocnění

Příjem *trans*-nenasycených mastných (TFA) kyselin v potravě zvyšuje riziko kardiovaskulárních onemocnění, protože negativně ovlivňuje jeho rizikové faktory (Gashaw et Getasetegn, 2018).

TFA ovlivňují zejména proces autofagie. Autofagie je katabolický proces, který způsobuje degradaci buněk tvorbou lysozomů (Lin et al., 2013). Tento proces je velice důležitý, zejména pokud jsou v buňce přítomny nefunkční organely. Regulovaná autofagie podporuje bezpečnou degradaci nebo recyklaci těchto organel (Patel et al., 2012). Přímé zapojení TFA do těchto procesů bylo prokázáno v několika studiích (Ganguly et Pierce, 2015). Ghavami et al. (2012) zkoumali účinky TFA, a to jak z průmyslových tuků, tak z tuků přežvýkavců na mechanismy buněčné smrti. Jejich studie potvrdila, že vakcenová i elaidová kyselina zvyšují markery, které jsou typické pro vznik apoptózy a autofagie, což naznačuje účinek TFA během ischemického poškození srdce (Ghavami et al., 2012).

Novější studie ukazují, že pokud jsou dospělé kardiomyocyty vystaveny TFA dlouhodobě elaidová kyselina sice také indukuje markery apoptózy, ale kyselina vakcenová nikoliv. Podobný účinek byl pozorován i u autofagických biomarkerů (Ganguly et Pierce, 2015). Některé studie dokonce naznačují, že TFA vzniklé biohydrogenací v rumenu přežvýkavců mají odlišnou biologickou aktivitu a příznivě ovlivňují kardiovaskulární zdraví (Wang et Proctor, 2013).

3.7.2.2 Ateroskleróza

V epidemiologických studiích bylo dokázáno, že příjem TFA zvyšuje hladinu LDL cholesterolu v krevním oběhu (Ganguly et Pierce, 2015). Tento účinek byl potvrzen v metaanalýze, kde byly TFA nahrazeny PUFA, MUFA nebo SFA, čímž došlo k významnému poklesu LDL cholesterolu (Ganguly et al., 2013).

Mastné kyseliny jsou začleněny do fosfolipidů ve všech buněčných membránách, a jejich složení může silně ovlivňovat její biofyzikální vlastnosti, jako je její permeabilita, enzymová aktivita a receptory na ni vázané (Roach et al., 2004). Fosfolipidy, které obsahují TFA, vykazují významně větší membránovou afinitu pro cholesterol ve srovnání s vhodnými *cis*-nenasycenými mastnými kyselinami. Tyto mechanismy mohou vysvětlovat zvýšení hladiny LDL cholesterolu (Niu et al., 2005).

Doplnění stravy o průmyslové TFA, jako je elaidová kyselina, vede k přímé stimulaci aterosklerózy u myši (Bassett et al., 2009). Naopak vakcenová kyselina vykazuje antiaterogenní účinky. Bassett et al. (2010) ve své studii uvádí významný pokles aterosklerotických plátů u myši, jejichž aorty jimi byly pokryty. V některých případech vakcenová kyselina může dokonce snížit hladiny cirkulujících lipidů (Wang et al., 2009). Tyto účinky jsou vysvětlovány protizánětlivou aktivitou vakcenové kyseliny. Naopak elaidová kyselina má prozánětlivé účinky (Ganguly et Pierce, 2015).

3.7.2.3 Obezita

Epidemiologické studie poskytují důkazy na podporu slabého spojení mezi spotřebou TFA a malým zvýšením přírůstku hmotnosti (Gashaw et Getasetegn, 2018). Kavanagh et al. (2007) provedli dlouhodobou intervenční studii, při které byli primáti krmeni potravou obsahující 35 % tuku po dobu šesti let. Jedna dieta obsahovala 8 % TFA a druhá dieta obsahovala maximálně 1 % TFA, zbytek byl tvořen *cis*-monoenoovými mastnými kyselinami. Zvířata, která dostávala dietu s větším obsahem TFA měli větší tělesnou hmotnost, více tuku bylo uloženo v abdominální oblasti a také koncentrace inzulínu v krvi byla více než trojnásobně vyšší oproti primátům krmeným spíše *cis*-MUFA dietou (Kavanagh et al., 2007).

3.7.2.4 Rakovina

Několik studií se zabývalo vztahem mezi příjmem a hladinou TFA v tukové tkáni a jejich účinky na výskyt rakoviny. Bylo zjištěno, že existuje korelace mezi příjmem TFA a incidencí některých typů rakoviny, jako je rakovina prsu, prostaty a tlustého střeva (Gashaw et Getasetegn, 2018).

3.7.2.5 Těhotenství a vliv na plod

Přítomnost TFA inhibuje syntézu polyenových mastných kyselin, což je jeden z faktorů, který určuje porodní hmotnost, délku těhotenství a vývoj nervového systému během nitroděložního života a po porodu. Těhotné ženy, které konzumují značné množství TFA jsou ohroženy hypertenzí vyvolanou těhotenstvím, preeklampsií a vyskytuje se také vyšší riziko rezistence na inzulín (Gashaw et Getasetegn, 2018).

Vysoká expozice TFA je také spojena s nižšími hladinami DHA, která je velice důležitá pro normální vývoj a funkci nervů plodu. TFA jsou transportovány přes placentu nebo se vylučují do mateřského mléka. Bylo dokázáno, že pokud těhotné nebo kojící ženy konzumují

nadměrné množství TFA, existuje větší riziko oxidačního poškození mozkových buněk dětí (Innis, 2006). Pokud jsou TFA konzumovány těhotnými ženami denně, jsou začleněny do mozkových buněk plodu, což následně může měnit chování dítěte a emocionální reakce. Dále může docházet k hyperaktivitě, poruchám paměti nebo manickému chování (Pase et al., 2013; Trevizol et al., 2015).

3.8 Výživová doporučení

Tuk je důležitým zdrojem energie a usnadňuje absorpci dietních složek rozpustných v tucích, jako jsou například vitamíny. Energetická hodnota tuků je 38 kJ/g, což je zhruba dvakrát více než energetická hodnota sacharidů nebo bílkovin.

Na základě epidemiologických a intervenčních studií na lidech, které naznačují, že při konzumaci vyvážené stravy s maximálním obsahem tuku 30 % dochází ke snížení rizika kardiovaskulárních onemocnění a obezity, je-li tato strava spojena s dostatečným pohybem, byla stanovena referenční hodnota pro příjem tuků 30 % energetického příjmu. Během těhotenství a kojení může být příjem zvýšen až na 35 %.

Nasyčené mastné kyseliny by měly tvořit maximálně 10 % energetického příjmu, aby se zabránilo vzestupu koncentrace cholesterolu v krvi. Monoenové mastné kyseliny by měly být zastoupeny z 10 %, ale mohou i více v závislosti na příjmu polyenových mastných kyselin. Ty by měly tvořit 7 % příjmu energie, pokud ale nasyčené mastné kyseliny překračují hranici 10 %, potom mohou polyenové mastné kyseliny tvořit také až 10 %, čímž lze zabránit zvýšení koncentrace cholesterolu v krvi (Referenční hodnoty pro příjem živin, 2011).

3.8.1 Příjem omega-3 a omega-6 nenasycených mastných kyselin

Omega-3 a omega-6 nenasycené mastné kyseliny by měly tvořit 7-10 % celkového příjmu energie. Velice důležitý je však jejich poměr, kvůli rozdílným biologickým účinkům. Poměr linolové kyseliny (omega-6) k α -linolenové kyselině (omega-3) by měl odpovídat 5:1. Doporučený příjem omega-3 mastných kyselin pro prevenci ischemické choroby srdeční je 250 mg za den, maximálně 1 g/den. Maximální hranice denního příjmu pro EPA a DHA je 3 g/den. Polyenové mastné kyseliny mají sklon k oxidaci, a proto by strava měla obsahovat 0,4 mg tokoferolu na 1 g přijatých PUFA (Referenční hodnoty pro příjem živin, 2011).

3.8.2 Příjem konjugované kyseliny linolové (CLA)

Klinické studie zabývající se účinky konjugované kyseliny linolové nemají jednotný výběr subjektů, co se týče pohlaví, věku nebo zdravotního stavu. Dalším důležitým faktorem

je, že většina studií byla provedena v Evropě nebo v Americe, a tudíž nebere v úvahu kontinentální a rasové rozdíly (Benjamin et al., 2015). Vzhledem k tomu je zapotřebí provést více studií po celém světě, aby se zcela potvrdila její účinnost. Právě kvůli tomu Evropský úřad pro bezpečnost potravin nestanovuje žádné referenční hodnoty pro CLA (EFSA, 2010).

3.8.3 Příjem *trans*-nenasycených mastných kyselin

Provedené epidemiologické studie doporučují snížit spotřebu TFA, zejména rostlinných tuků, protože mají silný vztah s rizikem kardiovaskulárních onemocnění (Gashaw et Getasetegn, 2018). Výsledky naznačují, že 2% zvýšení příjmu energie prostřednictvím TFA zvyšuje výskyt kardiovaskulárního onemocnění o 23 % (Mozaffarian et al., 2006). Doporučení pro příjem *trans*-nenasycených mastných kyselin se v různých zemích liší, pohybuje se v rozmezí maximálně do 1-2 % energetického příjmu (EFSA, 2018). Evropský úřad pro bezpečnost potravin doporučuje příjem TFA tak nízký, jak to jenom jde (EFSA, 2004).

4 Závěr

Kardiovaskulární onemocnění a rakovina jsou v současné době nejčastějšími příčinami úmrtí lidí na světě. Tyto onemocnění mohou být zapříčiněny mnoha faktory, některé z nich však můžeme ovlivnit my sami svou stravou. Provedené studie ukazují, že přijímané mastné kyseliny mají významný vliv na tyto onemocnění.

Omega-3 a omega-6 mastné kyseliny jsou *cis*-nenasycené mastné kyseliny, které mají převážně pozitivní účinky. Důležité je však ve stravě dodržovat správný poměr a to 5:1 (omega-6:omega-3). Jejich konzumace, zejména konzumace omega-3 mastných kyselin by se měla navýšit.

Stejně tak konjugovaná kyselina linolová, ačkoliv její izomery obsahují polohu *trans*, má také převážně pozitivní účinky na lidské zdraví, ale její fungování není zcela probádáno. Z tohoto důvodu je třeba provést více studií, které by odhalily její mechanismus fungování a potvrdily její účinky.

Naopak příjem *trans*-nenasycených mastných kyselin by se měl snížit na co nejnižší hladinu, kvůli jejich negativním vlivům na aterosklerózu, obezitu a pravděpodobně rakovinu. V současné době se však ukazuje, že rumenová a vakcenová kyselina mají rozdílné biologické účinky.

Ačkoliv je příjem tuků v potravě nezbytný, je třeba dbát na správné zastoupení jednotlivých mastných kyselin v nich.

5 Seznam literatury

- Adam, O., Beringer, C., Kless, T., Lemmen, C., Adam, A., Wiseman, M., Adam, P., Klimmek, R., Forth, W. 2003. Anti-inflammatory effects of a low arachidonic acid diet and fish oil in patients with rheumatoid arthritis. *Rheumatology International*. 23 (1). 27-36.
- Albracht-Schulte, K., Kalupahana, N. S., Ramalingam, L., Wang, S., Rahman, S. M., Robert-McComb, J., Moustaid-Moussa, N. 2018. Omega-3 fatty acids in obesity and metabolic syndrome: a mechanistic update. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 58. 1-16.
- Aldai, N., de Renobales, M., Barron, L. J. R., Kramer, J. K. G. 2013. What are the *trans* fatty acids issues in foods after discontinuation of industrially produced *trans* fats? Ruminant products, vegetable oils, and synthetic supplements. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 115 (12). 1378-1401.
- Alvheim, A. R., Malde, M. K., Osei-Hyiaman, D., Hong Lin, Y., Pawlosky, R. J., Madsen, L., Kristiansen, K., Frøyland, L., Hibbeln, J. R. 2012. Dietary Linoleic Acid Elevates Endogenous 2-AG and Anandamide and Induces Obesity. *Obesity*. 20 (10). 1984-1994.
- Azain, M. J. 2004. Role of fatty acids in adipocyte growth and development 1,2. *Journal of Animal Science*. 82 (3). 916-924.
- Azcan, N., Kalender, B. O., Kara, M. 2004. Investigation of Turkish Poppy Seeds and Seed Oils. *Chemistry of Natural Compounds*. 40 (4). 370-372.
- Balalic, I., Marjanovic-Jeromela, A., Crnobarac, J., Terzic, S., Radic, V., Miklic, V., Jovicic, D. 2017. Variability of oil and protein content in rapeseed cultivars affected by seeding date. *Emirates Journal of Food and Agriculture*.
- Baltacıoğlu, C. 2017. Effect of Different Frying Methods on the Total *trans* Fatty Acid Content and Oxidative Stability of Oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 94 (7). 923-934.
- Banni, S. 2002. Conjugated linoleic acid metabolism. *Current Opinion in Lipidology* 13 (3). 261-266.

- Basile, K. J., Aplin, A. E. 2012. Resistance to Chemotherapy. Current Challenges in Personalized Cancer Medicine. Elsevier. 315-334. Advances in Pharmacology. ISBN: 9780123979278.
- Bassett, C. M. C., Edel, A. L., Patenaude, A. F., McCullough, R. S., Blackwood, D. P., Chouinard, P. Y., Paquin, P., Lamarche, B., Pierce, G. N. 2010. Dietary Vaccenic Acid Has Antiatherogenic Effects in LDLr^{-/-} Mice. The Journal of Nutrition. 140 (1). 18-24.
- Bassett, C. M. C., McCullough, R. S., Edel, A. L., Maddaford, T. G., Dibrov, E., Blackwood, D. P., Austria, J. A., Pierce, G. N. 2009. *Trans*-Fatty acids in the diet stimulate atherosclerosis. Metabolism. 58 (12). 1802-1808.
- Belury, M. A. 2002. Inhibition of Carcinogenesis by Conjugated Linoleic Acid: Potential Mechanisms of Action. The Journal of Nutrition. 132 (10). 2995-2998.
- Benjamin, S., Prakasan, P., Sreedharan, S., Wright, A.-D. G., Spener, F. 2015. Pros and cons of CLA consumption: an insight from clinical evidences. Nutrition & Metabolism. 12 (1).
- Bhardwaj, S., Passi, S. J., Misra, A. 2011. Overview of *trans* fatty acids: Biochemistry and health effects. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*. 5 (3). 161-164.
- Biondo, P. D., Brindley, D. N., Sawyer, M. B., Field, C. J. 2008. The potential for treatment with dietary long-chain polyunsaturated n-3 fatty acids during chemotherapy. The Journal of Nutritional Biochemistry. 19 (12). 787-796.
- Brühl, L. 2014. Fatty acid alterations in oils and fats during heating and frying*. European Journal of Lipid Science and Technology. 116 (6). 707-715.
- Calder, P. C. 2006. N-3 Polyunsaturated fatty acids, inflammation, and inflammatory diseases. The American Journal of Clinical Nutrition. 83 (6). 1505-1519.
- Calder, P. C. 2012. Mechanisms of Action of (n-3) Fatty Acids. The Journal of Nutrition. 142 (3). 592-599.
- Cartwright, I. J., Pockley, A. G., Galloway, J. H., Greaves, M., Preston, F. E. 1985. The effects of dietary ω -3 polyunsaturated fatty acids on erythrocyte membrane phospholipids, erythrocyte deformability and blood viscosity in healthy volunteers. Atherosclerosis. 55 (3). 267-281.

- Cicero, A., Ertek, S., Borghi, C. 2009. Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids: Their Potential Role in Blood Pressure Prevention and Management. *Current Vascular Pharmacology*. 7 (3). 330-337.
- D'Eliseo, D., Velotti, F. 2016. Omega-3 Fatty Acids and Cancer Cell Cytotoxicity: Implications for Multi-Targeted Cancer Therapy. *Journal of Clinical Medicine*. 5 (2).
- de Carvalho, C. G. P., da Silva, M. F., Mandarino, J. M. G., Grunvald, A. K., Ramos, N. P., Ribeiro, J. L., de Paulo Campos Godinho, V. 2018. Fatty Acid Profiles in Sunflower Grains During Storage in Different Environments. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 95 (1). 61-67.
- de Greyt, W. F. J. 2012. Current and future technologies for the sustainable and cost-efficient production of high quality food oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 114 (10). 1126-1139.
- Deckelbaum, R. J., Worgall, T. S., Seo, T. 2006. N-3 Fatty acids and gene expression. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 83 (6). 1520-1525.
- den Hartigh, L. J. 2019. Conjugated Linoleic Acid Effects on Cancer, Obesity, and Atherosclerosis: A Review of Pre-Clinical and Human Trials with Current Perspectives. *Nutrients*. 11 (2).
- Dlouhý, P., Dostálová, J., Anděl, M. 2011. Trans izomery mastných kyselin ve výživě jako rizikový faktor aterosklerózy. *Pacient v ordinaci praktického lékaře*. 2 (1). 30-37.
- Dunbar, B. S., Bosire, R. V., Deckelbaum, R. J. 2014. Omega 3 and omega 6 fatty acids in human and animal health: An African perspective. *Molecular and Cellular Endocrinology*. 398 (1-2). 69-77.
- Dyerberg, J., Bang, H. O., Hjorne, N. 1975. Fatty acid composition of the plasma lipids in Greenland Eskimos. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 28 (9). 958-966.
- Dyerberg, J., Bang, H. O., Stoffersen, E., Moncada, S., Vane, J. R. 1978. Eicosapentaenoic acid and prevention of thrombosis and atherosclerosis. *The Lancet*. 312 (8081). 117-119.

- Edwards, G., Félétou, M., Weston, A. H. 2010. Endothelium-derived hyperpolarising factors and associated pathways: a synopsis. *Pflügers Archiv - European Journal of Physiology*. 459 (6). 863-879.
- EFSA. 2004. Opinion of the Scientific Panel on Dietetic products, nutrition and allergies [NDA] related to the presence of *trans* fatty acids in foods and the effect on human health of the consumption of *trans* fatty acids. *EFSA Journal*. 2 (8).
- EFSA. 2010. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, *trans* fatty acids, and cholesterol. *EFSA Journal*. 8 (3).
- EFSA. 2018. Scientific and technical assistance on trans fatty acids. *EFSA Supporting Publications*. 15 (6).
- Eyjolfson, V., Spriet, L. L., Dyck, D. J. 2004. Conjugated Linoleic Acid Improves Insulin Sensitivity in Young, Sedentary Humans. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 36 (5). 814-820.
- Fauzi, S. H. M., Rashid, N. A., Omar, Z. 2013. Effects of chemical interesterification on the physicochemical, microstructural and thermal properties of palm stearin, palm kernel oil and soybean oil blends. *Food Chemistry*. 137. 8-17.
- Ferlay, A., Bernard, L., Meynadier, A., Malpuech-brugère, C. 2017. Review: Production of *trans* and conjugated fatty acids in dairy ruminants and their putative effects on human health. *Biochimie*. 141. 107-120.
- Fernández-Fígares, I., Lachica, M., Martín, A., Nieto, R., González-Valero, L., Rodríguez-López, J. M., Aguilera, J. F. 2012. Impact of dietary betaine and conjugated linoleic acid on insulin sensitivity, protein and fat metabolism of obese pigs. *Animal*. 6 (07). 1058-1067.
- Ferrucci, L., Cherubini, A., Bandinelli, S., Bartali, B., Corsi, A., Lauretani, F., Martin, A., Andres-Lacueva, C., Senin, U., Guralnik, J. M. 2006. Relationship of Plasma Polyunsaturated Fatty Acids to Circulating Inflammatory Markers. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 91 (2). 439-446.

- Gaillard, D., Négrel, R., Lagarde, M., Ailhaud, G. 1989. Requirement and role of arachidonic acid in the differentiation of pre-adipose cells. *Biochemical Journal*. 257 (2). 389-397.
- Ganguly, R., Lytwyn, M., Pierce, G. 2013. Differential Effects of *Trans* and Polyunsaturated Fatty Acids on Ischemia/ Reperfusion Injury and its Associated Cardiovascular Disease States. *Current Pharmaceutical Design*. 19 (39). 6858-6863.
- Ganguly, R., Pierce, G. N. 2015. The toxicity of dietary *trans* fats. *Food and Chemical Toxicology*. 78. 170-176.
- Gashaw, A., Getasetegn, M. 2018. Chemistry and health impacts of *trans* fatty acids. *Journal of Chemical Technology*. 53 (2). 159-169.
- Geleijnse, J. M., Giltay, E. J., Grobbee, D. E., Donders, A. R. T., Kok, F. J. 2002. Blood pressure response to fish oil supplementation: metaregression analysis of randomized trials. *Journal of Hypertension*. 20 (8). 1493-1499.
- Ghavami, S., Cunnington, R. H., Yeganeh, B., Davies, J. J. L., Rattan, S. G., Bathe, K., Kavosh, M., Los, M. J., Freed, D. H., Klonisch, T., Pierce, G. N., Halayko, A. J., Dixon, I. M. C. 2012. Autophagy regulates *trans* fatty acid-mediated apoptosis in primary cardiac myofibroblasts. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Cell Research*. 1823 (12). 2274-2286.
- Goel, A., Pothineni, N. venkata, Singhal, M., Paydak, H., Saldeen, T., Mehta, J. I. 2018. Fish, Fish Oils and Cardioprotection: Promise or Fish Tale? *International journal of molecular sciences*. 19 (12). 3703.
- Grundy, S. M., Ahrens, E. H. 1970. The effects of unsaturated dietary fats on absorption, excretion, synthesis, and distribution of cholesterol in man. *Journal of Clinical Investigation*. 49 (6). 1135-1152.
- Gunstone, F. D. 2002. *Vegetable oils in food technology: composition, properties, and uses*. CRC Press. Boca Raton. 337 p. ISBN: 1841273317.
- Hajjaji, N., Bounoux, P. 2013. Selective sensitization of tumors to chemotherapy by marine-derived lipids: A review. *Cancer Treatment Reviews*. 39 (5). 473-488.

- Hama, J. R. 2016. Comparison of fatty acid profile changes between unroasted and roasted brown sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds oil. *International Journal of Food Properties*. 20 (5). 957-967.
- Hamasaki, H., Hamasaki, Y. 2017. Nuts for Physical Health and Fitness: A Review. *AIMS Medical Science*. 4 (4). 441-455.
- Harris, W. S. 1989. Fish oils and plasma lipid and lipoprotein metabolism in humans: a critical review. *Journal of lipid research (USA)*. 30 (6). 785-807.
- Harris, W. S., Mozaffarian, D., Rimm, E., Kris-Etherton, P., Rudel, L. L., Appel, L. J., Engler, M. M., Engler, M. B., Sacks, F. 2009. Omega-6 Fatty Acids and Risk for Cardiovascular Disease. *Circulation*. 119 (6). 902-907.
- Havrlentová, M., Šupová, J., Hlinková, A., Bednářová, A. 2012. Poppy seed (*Papaver somniferum* L.): effect of genotype and year of cultivation on variability in its lipid composition. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, Vol 1, Iss Special issue, 908-922 (2012). 1 (Special issue). 908-922.
- He, K., Rimm, E. B., Merchant, A. M., Rosner, B. A., Stampfer, M. J., Willett, W. C., Ascherio, A. 2002. Fish Consumption and Risk of Stroke in Men. *JAMA*. 288 (24). DOI: 10.1001/jama.288.24.3130. ISSN: 0098-7484.
- Hegsted, D. M. 1986. Serum-cholesterol response to dietary cholesterol: a re-evaluation. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 44 (2). 299-305.
- Henriksen, E. J., Teachey, M. K., Taylor, Z. C., Jacob, S., Ptock, A., Krämer, K., Hasselwander, O. 2003. Isomer-specific actions of conjugated linoleic acid on muscle glucose transport in the obese Zucker rat. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. 285 (1). 98-105.
- Hiltunen, J. K., Qin, Y. -M. 2000. B-Oxidation – strategies for the metabolism of a wide variety of acyl-CoA esters. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids*. 1484 (2-3). 117-128.
- Holeček, M. 2006. *Regulace metabolismu cukrů, tuků, bílkovin a aminokyselin*. Grada. Praha. 288 s. ISBN: 80-247-1562-7.

- Chen, Z. -Y., Ma, K. Y., Liang, Y., Peng, C., Zuo, Y. 2011. Role and classification of cholesterol-lowering functional foods. *Journal of Functional Foods*. 3 (2). 61-69.
- Innes, J. K., Calder, P. C. 2018. Omega-6 fatty acids and inflammation. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*. 132. 41-48.
- Innis, S. M. 2006. *Trans* fatty intakes during pregnancy, infancy and early childhood. *Atherosclerosis Supplements*. 7 (2). 17-20.
- Inoue, N., Nagao, K., Hirata, J., Wang, Y. -M., Yanagita, T. 2004. Conjugated linoleic acid prevents the development of essential hypertension in spontaneously hypertensive rats. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 323 (2). 679-684.
- Iso, H., Rexrode, K. M., Stampfer, M. J., Manson, J. E., Colditz, G. A., Speizer, F. E., Hennekens, C. H., Willett, W. C. 2001. Intake of Fish and Omega-3 Fatty Acids and Risk of Stroke in Women. *JAMA*. 285 (3).
- Javadi, M., Everts, H., Hovenier, R., Kocsis, S., Lankhorst, Æ., Lemmens, A. G., Schonewille, J. T., Terpstra, A. H. M., Beynen, A. C. 2004. The effect of six different C18 fatty acids on body fat and energy metabolism in mice. *British Journal of Nutrition*. 92 (03).
- Juanéda, P., de la Périère, S. B., Sébédio, J. -L., Grégoire, S. 2003. Influence of heat and refining on formation of CLA isomers in sunflower oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 80 (9). 937-940.
- Kadlec, P., Melzoch, K., Voldřich, M. 2012. Přehled tradičních potravinářských výrob: technologie potravin. Key Publishing. Ostrava. Monografie (Key Publishing). 588 s. ISBN: 978-80-7418-145-0.
- Kavanagh, K., Jones, K. L., Sawyer, J., Kelley, K., Carr, J. J., Wagner, J. D., Rudel, L. L. 2007. *Trans* Fat Diet Induces Abdominal Obesity and Changes in Insulin Sensitivity in Monkeys*. *Obesity*. 15 (7). 1675-1684.
- Kavka, M. 2017. Ryby, ostatní vodní živočichové a výrobky z nich. 2. přepracované vydání. Sdružení českých spotřebitelů, z.ú. Praha. Jak poznáme kvalitu? 25 s. ISBN: 978-80-87719-52-7.

- Kim, J. -H., Hubbard, N. E., Ziboh, V., Erickson, K. L. 2005. Conjugated linoleic acid reduction of murine mammary tumor cell growth through 5-hydroxyeicosatetraenoic acid. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids*. 1687 (1-3). 103-109.
- Koba, K., Yanagita, T. 2013. Health benefits of conjugated linoleic acid (CLA). *Obesity Research & Clinical Practice*. 8 (6). 525-532.
- Koolman, J., Röhm, K. -H. 2012. *Barevný atlas biochemie*. Grada. Praha. 498 s. ISBN: 978-80-247-2977-0.
- Kreps, F., Kyselka, J., Burčová, Z., Schmidt, Š., Rajchl, A., Filip, V., Ház, A., Jablonský, M., Sládková, A., Šurina, I. 2017. Influence of deodorization temperature on formation of tocopherol esters and fatty acids polymers in vegetable oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 119 (3).
- Kunau, W. -H., Dommes, P. 1978. Degradation of Unsaturated Fatty Acids. *European Journal of Biochemistry*. 91 (2). 533-544.
- Lančaričová, A., Havrlentová, M., Muchová, D., Bednářová, A. 2016. Oil content and fatty acids composition of poppy seeds cultivated in two localities of Slovakia. *Agriculture (Polnohospodárstvo)*. 62 (1). 19-27.
- Ledoux, M., Juanéda, P., Sébédio, J. -L. 2007. *Trans* fatty acids: Definition and occurrence in foods. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 109 (9). 891-900.
- Ledoux, M., Juanéda, P., Sébédio, J. -L. 2007. *Trans* fatty acids: Definition and occurrence in foods. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 109 (9). 891-900.
- Li, D., Hu, X. 2011. *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention*. Elsevier. 35-42.
- Limbu, R., Cottrell, G. S., McNeish, A. J., Gadeau, A. -P. 2018. Characterisation of the vasodilation effects of DHA and EPA, n-3 PUFAs (fish oils), in rat aorta and mesenteric resistance arteries. *PLOS ONE*. 13 (2).
- Lin, N. -Y., Beyer, C., Gießl, A., Kireva, T., Scholtysek, C., Uderhardt, S., Munoz, L. E., Dees, C., Distler, A., Wirtz, S., Krönke, G., Spencer, B., Distler, O., Schett, G., Distler, J. H. W. 2013. Autophagy regulates TNF α -mediated joint destruction in experimental arthritis. *Annals of the Rheumatic Diseases*. 72 (5). 761-768.

- Łuczyńska, J., Paszczyk, B., Łuczyński, M. J. 2014. Fatty acid profiles in marine and freshwater fish from fish markets in northeastern Poland. *Archives of Polish Fisheries*. 22 (3). 181-188.
- Machado de Souza, R. G., Machado Schincaglia, R., Duarte Pimentel, G., Mota, J. F. 2017. Nuts and Human Health Outcomes: A Systematic Review. *Nutrients*. 9 (12). 1311-1333.
- Marchioli, R., Barzi, F., Bomba, E., Chieffo, C., Di Gregorio, D., Di Mascio, R., Franzosi, M. G., Geraci, E., Levantesi, G., Maggioni, A. P., Mantini, L., Marfisi, R. M., Mastrogiuseppe, G., Mininni, N., Nicolosi, G. L., Santini, M., Schweiger, C., Tavazzi, L., Tognoni, G., Tucci, C., Valagussa, F. 2002. Early Protection Against Sudden Death by n-3 Polyunsaturated Fatty Acids After Myocardial Infarction. *Circulation*. 105 (16). 1897-1903.
- Martin, C. A., Milinsk, M. C., Visentainer, J. V., Matsushita, M., De-souza, N. E. 2007. *Trans* fatty acid-forming processes in foods: a review. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 79 (2). 343-350.
- Martinasso, G., Saracino, S., Maggiora, M., Oraldi, M., Canuto, R. A., Muzio, G. 2010. Conjugated linoleic acid prevents cell growth and cytokine production induced by TPA in human keratinocytes NCTC 2544. *Cancer Letters*. 287 (1). 62-66.
- McInnes, G. T. 2005. Lowering blood pressure for cardiovascular risk reduction. *Journal of Hypertension*. 23. 3-8.
- McMillen, I. C., MacLaughlin, S. M., Muhlhausler, B. S., Gentili, S., Duffield, J. L., Morrison, J. L. 2008. Developmental Origins of Adult Health and Disease: The Role of Periconceptual and Foetal Nutrition. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*. 102 (2). 82-89.
- Medina, E. A., Horn, W. F., Keim, N. L., Havel, P. J., Benito, P., Kelley, D. S., Nelson, G. J., Erickson, K. L. 2000. Conjugated linoleic acid supplementation in humans: Effects on circulating leptin concentrations and appetite. *Lipids*. 35 (7). 783-788.
- Mele, M. A., Islam, M. Z., Kang, H. -M., Giuffre, A. M. 2018. Pre-and post-harvest factors and their impact on oil composition and quality of olive fruit. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 30 (7). 592-603.

- Mensink, R. P., Katan, M. B. 1992. Effect of dietary fatty acids on serum lipids and lipoproteins. A meta-analysis of 27 trials. *Arteriosclerosis and Thrombosis: A Journal of Vascular Biology*. 12 (8). 911-919.
- Mensink, R. P., Zock, P. L., Kester, A. D. M., Katan, M. B. 2003. Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins: a meta-analysis of 60 controlled trials. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 77 (5). 1146-1155.
- Moloney, F., Yeow, T. -P., Mullen, A., Nolan, J. J., Roche, H. M. 2004. Conjugated linoleic acid supplementation, insulin sensitivity, and lipoprotein metabolism in patients with type 2 *diabetes mellitus*. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 80 (4). 887-895.
- Mori, T. A., Bao, D. Q., Burke, V., Puddey, I. B., Beilin, L. J. 1999. Docosahexaenoic Acid but Not Eicosapentaenoic Acid Lowers Ambulatory Blood Pressure and Heart Rate in Humans. *Hypertension*. 34 (2). 253-260.
- Morris, M. C., Sacks, F., Rosner, B. 1993. Does fish oil lower blood pressure? A meta-analysis of controlled trials. *Circulation*. 88 (2). 523-533.
- Mozaffarian, D., Katan, M. B., Ascherio, A., Stampfer, M. J., Willett, W. C. 2006. *Trans* Fatty Acids and Cardiovascular Disease. *New England Journal of Medicine*. 354 (15). 1601-1613.
- Mu, H. 2004. The digestion of dietary triacylglycerols. *Progress in Lipid Research*. 43 (2). 105-133.
- Muhlhausler, B. S., Ailhaud, G. P. 2013. Omega-6 polyunsaturated fatty acids and the early origins of obesity. *Current Opinion in Endocrinology & Diabetes and Obesity*. 20 (1). 56-61.
- Muhlhausler, B. S., Cook-Johnson, R., James, M., Miljkovic, D., Duthoit, E., Gibson, R. 2010. Opposing Effects of Omega-3 and Omega-6 Long Chain Polyunsaturated Fatty Acids on the Expression of Lipogenic Genes in Omental and Retroperitoneal Adipose Depots in the Rat. *Journal of Nutrition and Metabolism*. 2010. 1-9.
- Murray, R. K., Granner, D. K., Mayes, P. A., Rodwell, V. W. 2002. *Harperova Biochemie*. 23. vyd., (4. české vyd.). H & H. Jinočany. Lange medical book. 873 s. ISBN: 80-7319-013-3.

- Nagao, K., Inoue, N., Wang, Y. -M., Hirata, J., Shimada, Y., Nagao, T., Matsui, T., Yanagita, T. 2003. The 10*trans*,12*cis* isomer of conjugated linoleic acid suppresses the development of hypertension in Otsuka Long–Evans Tokushima fatty rats. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 306 (1). 134-138.
- Nagao, K., Inoue, N., Wang, Y. -M., Yanagita, T. 2003. Conjugated linoleic acid enhances plasma adiponectin level and alleviates hyperinsulinemia and hypertension in Zucker diabetic fatty (fa/fa) rats. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 310 (2). 562-566.
- Nelson, G. J., Ackman, R. G. 1988. Absorption and transport of fat in mammals with emphasis on n–3 polyunsaturated fatty acids. *Lipids*. 23 (11). 1005-1014.
- Nestel, P., Fujii, A., Allen, T. 2006. The *cis*-9,*trans*-11 isomer of conjugated linoleic acid (CLA) lowers plasma triglyceride and raises HDL cholesterol concentrations but does not suppress aortic atherosclerosis in diabetic apoE-deficient mice. *Atherosclerosis*. 189 (2). 282-287.
- Nitrayová, S., Brestenský, M., Heger, J., Patráš, P., Rafay, J., Sirotkin, A. 2014. Amino acids and fatty acids profile of chia (*Salvia hispanica* L.) and flax (*Linum usitatissimum* L.) seed. *Potravinárstvo*. 8 (1). 72-76.
- Niu, S. -L., Mitchell, D. C., Litman, B. J. 2005. *Trans* Fatty Acid Derived Phospholipids Show Increased Membrane Cholesterol and Reduced Receptor Activation as Compared to Their *Cis* Analogs. *Biochemistry*. 44 (11). 4458-4465.
- Olasunkanmi, G. S., Omolayo, F. T., Olusegun, O. T. 2017. Fatty acid profile, physico-chemical and functional properties of oil and protein isolate simultaneously extracted from sesame (*Sesamum indicum*) seed. *Annals: Food Science*. 18 (1). 1-10.
- Oomah, B. D. 2001. Flaxseed as a functional food source. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 81 (9). 889-894.
- Osmundsen, H., Hovik, R. 1988. B-Oxidation of polyunsaturated fatty acids. *Biochemical Society Transactions*. 16 (3). 420-422.

- Pariza, M. W., Park, Y., Cook, M. E. 2000. Mechanisms of Action of Conjugated Linoleic Acid: Evidence and Speculation. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*. 223 (1). 8-13.
- Park, Y., Albright, K. J., Liu, W., Storkson, J. M., Cook, M. E., Pariza, M. W. 1997. Effect of conjugated linoleic acid on body composition in mice. *Lipids*. 32 (8). 853-858.
- Parker, J., Schellenberger, A., Roe, A., Oketch-Rabah, H., Calderón, A. 2018. Therapeutic Perspectives on Chia Seed and Its Oil: A Review. *Planta Medica*. 84 (09/10). 606-612.
- Pase, C. S., Roversi, K., Trevizol, F., Roversi, K., Kuhn, F. T., Schuster, A. J., Vey, L. T., Dias, V. T., Barcelos, R. C. S., Piccolo, J., Emanuelli, T., Bürger, M. E. 2013. Influence of perinatal *trans* fat on behavioral responses and brain oxidative status of adolescent rats acutely exposed to stress. *Neuroscience*. 247. 242-252.
- Patel, A. S., Lin, L., Geyer, A., Haspel, J. A., An, C. H., Cao, J., Rosas, I. O., Morse, D., Eickelberg, O. 2012. Autophagy in Idiopathic Pulmonary Fibrosis. *PLoS ONE*. 7 (7).
- Penedo, L. A., Nunes, J. C., Gama, M. A. S., Leite, P. E. C., Quirico-Santos, T. F., Torres, A. G. 2013. Intake of butter naturally enriched with *cis*9, *trans*11 conjugated linoleic acid reduces systemic inflammatory mediators in healthy young adults. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 24 (12). 2144-2151.
- Pischon, T., Hankinson, S. E., Hotamisligil, G. S., Rifai, N., Willett, W. C., Rimm, E. B. 2003. Habitual Dietary Intake of n-3 and n-6 Fatty Acids in Relation to Inflammatory Markers Among US Men and Women. *Circulation*. 108 (2). 155-160.
- Poli, A., Visioli, F. 2015. Recent evidence on omega 6 fatty acids and cardiovascular risk. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 117 (11). 1847-1852.
- Rahman, S. M., Wang, Y. -M., Yotsumoto, H., Cha, J. -Y., Han, S. -Y., Inoue, S., Yanagita, T. 2001. Effects of conjugated linoleic acid on serum leptin concentration, body-fat accumulation, and β -oxidation of fatty acid in OLETF rats. *Nutrition*. 17 (5). 385-390.
- Ramji, D. P. 2018. Polyunsaturated Fatty Acids and Atherosclerosis: Insights from Pre-Clinical Studies. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 121 (1).

Referenční hodnoty pro příjem živin. 2011. V ČR 1. vyd. Společnost pro výživu. Praha. 192 s. ISBN: 978-80-254-6987-3.

Reiffel, J. A., McDonald, A. 2006. Antiarrhythmic Effects of Omega-3 Fatty Acids. *The American Journal of Cardiology*. 98 (4). 50-60.

Richardson, E. S., Iaizzo, P. A., Xiao, Y. -F. 2011. Electrophysiological Mechanisms of the Anti-arrhythmic Effects of Omega-3 Fatty Acids. *Journal of Cardiovascular Translational Research*. 4 (1). 42-52.

Riserus, U., Arner, P., Brismar, K., Vessby, B. 2002. Treatment With Dietary *trans10cis12* Conjugated Linoleic Acid Causes Isomer-Specific Insulin Resistance in Obese Men With the Metabolic Syndrome. *Diabetes Care*. 25 (9). 1516-1521.

Rix, T. A., Christensen, J. H., Schmidt, E. B. 2013. Omega-3 fatty acids and cardiac arrhythmias. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*. 16 (2). 168-173.

Ryder, J. W., Portocarrero, C. P., Song, X. M., Cui, L., Yu, M., Combatsiaris, T., Galuska, D., Bauman, D. E., Barbano, D. M., Charron, M. J., Zierath, J. R., Houseknecht, K. L. 2001. Isomer-Specific Antidiabetic Properties of Conjugated Linoleic Acid: Improved Glucose Tolerance, Skeletal Muscle Insulin Action, and UCP-2 Gene Expression. *Diabetes*. 50 (5). 1149-1157.

Sakhno, L. O. 2010. Variability in the fatty acid composition of rapeseed oil: Classical breeding and biotechnology. *Cytology and Genetics*. 44 (6). 389-397.

Sargent, J. R. 1997. Fish oils and human diet. *British Journal of Nutrition*. United Kingdom. 78 (Supplement). 5-13.

Serini, S., Piccioni, E., Merendino, N., Calviello, G. 2009. Dietary polyunsaturated fatty acids as inducers of apoptosis: implications for cancer. *Apoptosis*. 14 (2). 135-152.

Sharma, M., Khurana, S. m. paul, Kansal, R. 2016. Choosing quality oil for good health and long life. *Indian Journal of Health*. 7 (2). 254-258.

Shimokawa, H., Godo, S. 2016. Diverse Functions of Endothelial NO Synthases System. *Journal of Cardiovascular Pharmacology*. 67 (5). 361-366.

- Siddiqui, R. A., Harvey, K. A., Xu, Z., Bammerlin, E. M., Walker, C., Altenburg, J. D. 2011. Docosahexaenoic acid: A natural powerful adjuvant that improves efficacy for anticancer treatment with no adverse effects. *BioFactors*. 37 (6). 399-412.
- Simopoulos, A. P. 1991. Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 54 (3). 438-463.
- Soyyigit, S., Yavuzaslan, K. 2018. Complex Network Analysis of International Olive Oil Market. *Turkish Journal of Agricultural Economics*. 24 (2). 117-129.
- Spiller, G. A. 1996. *Handbook of lipids in human nutrition*. CRC Press. Boca Raton. ISBN: 0849342481.
- Tagawa, H., Shimokawa, H., Tagawa, T., Kuroiwa-Matsumoto, M., Hirooka, Y., Takeshita, A. 1999. Long-Term Treatment with Eicosapentaenoic Acid Augments Both Nitric Oxide-Mediated and Non-Nitric Oxide-Mediated Endothelium-Dependent Forearm Vasodilatation in Patients with Coronary Artery Disease. *Journal of Cardiovascular Pharmacology*. 33 (4). 633-640.
- Tousoulis, D., Plastiras, A., Siasos, G., Oikonomou, E., Verveniotis, A., Kokkou, E., Maniatis, K., Gouliopoulos, N., Miliou, A., Paraskevopoulos, T., Stefanadis, C. 2014. Omega-3 PUFAs improved endothelial function and arterial stiffness with a parallel antiinflammatory effect in adults with metabolic syndrome. *Atherosclerosis*. 232 (1). 10-16.
- Trevizol, F., Roversi, K., Dias, V. T., Roversi, K., Barcelos, R. C. S., Kuhn, F. T., Pase, C. S., Golombieski, R., Veit, J. C., Piccolo, J., Pochmann, D., Porciúncula, L. O., Emanuelli, T., Rocha, J. B. T., Bürger, M. E. 2015. Cross-generational *trans* fat intake facilitates mania-like behavior: Oxidative and molecular markers in brain cortex. *Neuroscience*. 286. 353-363.
- Vance, D. E., Vance, J. E. 2008. *Biochemistry of lipids, lipoproteins and membranes*. 5th ed. Elsevier. Boston. 631 p. ISBN: 9780444532190.
- Velišek, J. 1999. *Chemie potravin I. OSSIS. Tábor*. 352 s. ISBN: 80-902391-3-7.
- Wang, J., Luo, T., Li, S., Zhao, J. 2011. The powerful applications of polyunsaturated fatty acids in improving the therapeutic efficacy of anticancer drugs. *Expert Opinion on Drug Delivery*. 9 (1). 1-7.

- Wang, Y., Jacome-Sosa, M. M., Ruth, M. R., Goruk, S. D., Reaney, M. J., Glimm, D. R., Wright, D. C., Vine, D. F., Field, C. J., Proctor, S. D. 2009. *Trans*-11 Vaccenic Acid Reduces Hepatic Lipogenesis and Chylomicron Secretion in JCR: LA-cp Rats. *The Journal of Nutrition*. 139 (11). 2049-2054.
- Wang, Y., Proctor, S. D. 2013. Current issues surrounding the definition of *trans*-fatty acids: implications for health, industry and food labels. *British Journal of Nutrition*. 110 (08). 1369-1383.
- Weylandt, K. H., Serini, S., Chen, Y. Q., Su, H. -M., Lim, K., Cittadini, A., Calviello, G. 2015. Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids: The Way Forward in Times of Mixed Evidence. *BioMed Research International*. 2015. 1-24.
- World Health Organization. 2017. Cardiovascular diseases (CVDs) [online]. World Health Organization . 27th May 2017. [cit. 2019-02-21]. Dostupné z <[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))>.
- Yajima, K., Iwayama, K., Ogata, H., Park, I., Tokuyama, K. 2018. Meal rich in rapeseed oil increases 24-h fat oxidation more than meal rich in palm oil. *PLoS ONE*. 13 (6). 1-12.
- Yakubenko, V. P., Byzova, T. V. 2017. Biological and pathophysiological roles of end-products of DHA oxidation. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids*. 1862 (4). 407-415.
- Yang, B., Chen, H., Stanton, C., Ross, R. P., Zhang, H., Chen, Y. Q., Chen, W. 2015. Review of the roles of conjugated linoleic acid in health and disease. *Journal of Functional Foods*. 15. 314-325.
- Yu, D., Qi, X., Jiang, Y., Zou, D., Wang, L., Jiang, L., Qin, L. 2018. Preparation of Margarine Stock Rich in Naturally Bioactive Components by Enzymatic Interesterification. *Journal of Oleo Science*. 67 (1). 29-37.
- Zadák, Z. 2008. *Výživa v intenzivní péči*. 2., rozš. a aktualiz. vyd. Grada. Praha. 552 s. ISBN: 978-80-247-2844-5.

Zajíc, T., Mráz, J., Kozák, P., Adámková, V., Picková, J. 2012. Maso kapra obecného (*Cyprinus carpio* L.) se zvýšeným obsahem omega 3 mastných kyselin jako nástroj prevence a rehabilitace kardiovaskulárních onemocnění. *Interní medicína pro praxi*. 14 (11). 437-440.

Zhao, W. -S., Zhai, J. -J., Wang, Y. -H., Xie, P. -S., Yin, X. -J., Li, L. -X., Cheng, K. -L. 2009. Conjugated Linoleic Acid Supplementation Enhances Antihypertensive Effect of Ramipril in Chinese Patients With Obesity-Related Hypertension. *American Journal of Hypertension*. 22 (6). 680-686.