

Lipidy

- tvoří jednu z hlavních živin

deriváty mastných kyselin
(MK) o více než třech
atomech uhlíku

volné MK

- **homolipidy** - estery glycerolu

- heterolipidy - fosfolipidy
- glykolipidy

- komplexní lipidy

glycerofosfolipidy

přírozeně se vyskytující
průmyslově vyrobené

v technologické a potravinářské praxi
(triacylglyceroly, podle skupenství)

tuky
oleje

neutrální lipidy

polární lipidy

funkce

- ◆ **hlavní živiny**
 - zdroj energie
 - zdroj esenciálních mastných kyselin

- ◆ **rozpuštědlo významných látek (vitaminů aj.)**

obsah v potravinách

potravina	% v materiálu	% v sušině
maso a masné výrobky		
maso V libové	18	51
maso V tučné	41	75
maso H	2-36	9-63
maso kuřecí	1-35	5-50
mléko a mléčné výrobky		
mléko plnotučné	3,8	30
máslo	81	99
vejce		
vejce žloutek	33	66
vejce bílek	0,02	0,15
cereálie a c. výrobky		
mouka pšeničná hladká	1-1,4	1,1-1,6
chléb bílý	0,8-1,1	1,3-1,7
ovoce, zelenina, okopaniny		
ovoce	0,2-0,7	1-2,8
fazole	1,6	1,8
brambory	0,2	0,8

zdroj tuků v potravě

poživatina	%
máslo, margarín	16, 9
mléko, smetana	15
sýry	4
sádlo, oleje	10
chléb, pečivo	8
maso, vejce	20, 3

získávání surových tuků a olejů

rostlinné lisování extrakce

živočišné vytavování extrakce

rostlinné tuky a oleje

rafinace

- ◆ **odslizování (hydratace)** $\xrightarrow{\text{H}_2\text{O}}$ **lecithin**
(rostlinné slizy, bílkoviny, jejich komplexy)
- ◆ **odkyselování (neutralizace)** $\xrightarrow{\text{NaOH/Na}_2\text{CO}_3}$ **Na-soli**
- ◆ **bělení** $\xrightarrow{\text{hlinky}}$ **karotenoidy, chlorofyl**
- ◆ **deodorace** $\xrightarrow{\text{pára}}$ **tokoferoly, steroly**

zdroj	olej	% tuku
palma kokosová	kokosový	60-67
palma olejná	palmový	55
	palmojádrový	60
podzemnice	arašídový	55
slunečnice	slunečnicový	36
světlice	světlicový	25
řepka	řepkový	47
sója	sójový	25
oliva	olivový	70
	olivkový	45



Kokosovník ořechoplodý
(*Cocos nucifera*)



Palma olejná (*Elaeis guineensis*)



Brukev řepka (*Brassica napus*)

klasifikace

podle konzistence

◆ oleje (kapalné)

vysychavé

polovysychavé

nevysychavé

lněný

slunečnicový/sójový

olivový

◆ tuky (plastické, kašovitě)

sádlo

◆ vosky (tvrdé, nemastící)

včelí vosk

podle struktury

1. **mastné kyseliny** a jejich mýdla $R-[CH_2]_n-COOH$

2. **homolipidy** (estery mastných kyselin s alkoholy)

2.1 **jednosytné alkoholy (vosky)**

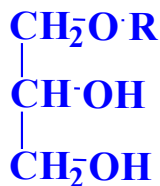
alifatické (ceridy)

$CH_3-[CH_2]_{25}-OH$ cerylalkohol (včelí vosk, jablka)

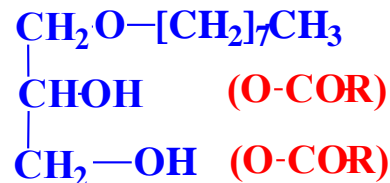
$CH_3-[CH_2]_{15}-OH$ hexadekan-1-ol, cetylalkohol

alicyklické (steridy) **estery sterolů, triterpenových alkoholů**

2.2 **dvojsytné alkoholy (glykoly), alkoxylipidy**



1-alkoxypropan-2,3-dioly
(ethery glycerolu)



chimylalkohol
(tuk žraloků)

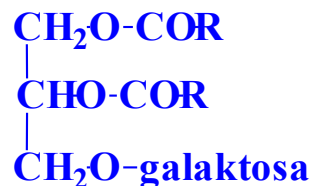
2.3 trojsytné (glycerol)



2.4 vícesytné alkoholy

cukry - glykolipidy

galaktosa (nejčastěji)



diacylglycerogalaktosid (diacylgalaktosylglycerol)



v lipidech
membrán
chloroplastů
vyšších rostlin

sacharosa

1-3 MK emulgátory

6-8 MK nízkoenergetické tuky (OLESTRA)

sorbitol (alkoholické cukry)

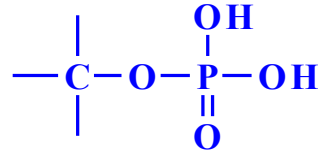
emulgátory spany a tweeny (adit. E432-E436)

3. heterolipidy

0,5-2%

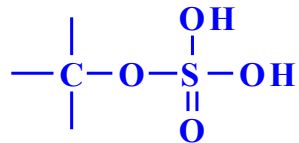
glycerol, MK, další složka

fosfolipidy



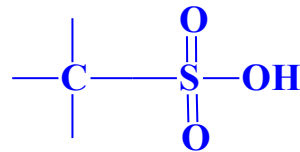
estery MK

sulfáty lipidů



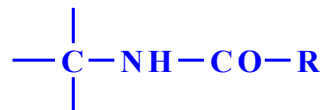
vázaná kys. sírová

sulfolipidy

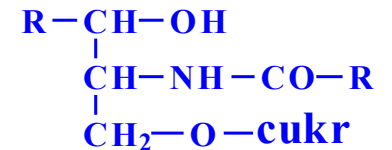


vázaná kys. sulfonová

lipamidy



amidy MK



např. cerebrosidy (glykosidy ceramidů)

ceramidy=amidy sfingosinu s mastnými kys.

4. komplexní lipidy

makromolekulární l.

proteolipidy (lipoproteiny)

krevního séra dle hustoty

chylomikra a VLDL (very low density lipoproteins) vyšší obsah lipidů

slabší bílkovinný obal – lipidy se snadno vylučují a usazují

např. i ve styku se stěnami cév

LDL, MDL, HDL, VHDL

glykolipidy (cerebrosidy)

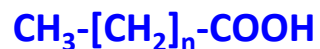
mukolipidy (sialoglykosfingolipidy = gangliosidy)

v nervových tkáních (v mozku až 6 %)

vázána sialová kys.

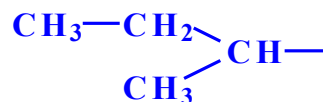
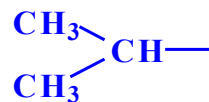
MASTNÉ KYSELINY

nasycené



s přímým řetězcem

větvené



iso-

anteiso-

sudý počet atomů C

lichý počet atomů C

tuky, oleje



wosky



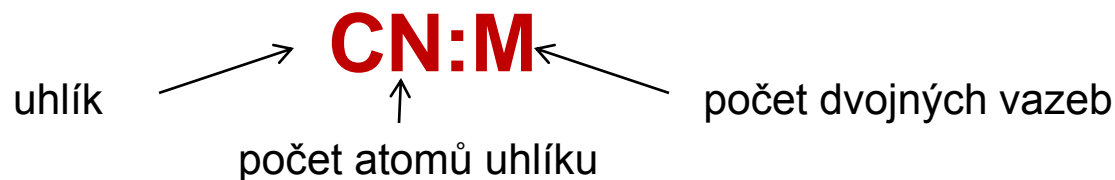
klasifikace

■ podle délky řetězce:

- **krátký** (short-chain fatty acid - **SCFA**) C4 - C6
- **středně dlouhý** (medium-chain fatty acid – **MCFA**) C8 - C12
- **dlouhý** (long-chain fatty acid - **LCFA**) C14 - C18
- **velmi dlouhý** (very long-chain fatty acid - **VLCFA**) C20 - C26
- **ultra dlouhý** (ultra long-chain fatty acid - **ULCFA**) C28 - C38

- podle stupně nasycení:
 - nasycené (saturated fatty acid - **SFA**)
 - nenasycené (unsaturated fatty acid - **UFA**)
 - s jednou dvojnou vazbou (monounsaturated - **MUFA**)
 - **s více dvojnými vazbami (polyunsaturated - PUFA)**
 - **vysoce nenasycené mastné kyseliny** s dvaceti a více uhlíkovými atomy v řetězci a se čtyřmi a více dvojnými vazbami (highly unsaturated – **HUFA**)
 - polohové isomery*
 - geometrické isomery*
- alkynové, rozvětvené a cyklické kyseliny
- kyseliny s další kyslíkatou funkční skupinou
- další MK (s vázanou sírou, dusíkem nebo chlorem)

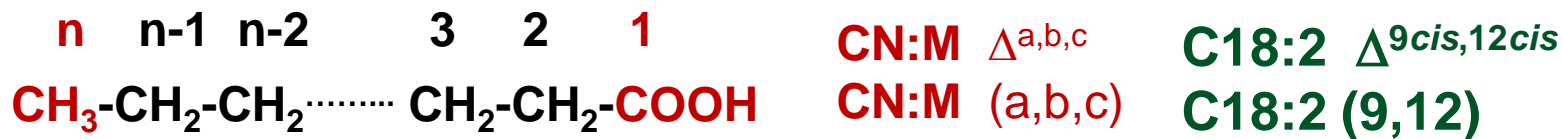
Zkrácený zápis



C18:2

Udání polohy dvojně vazby:

-číslování uhlíků od karboxylového konce - karboxylový uhlík má číslo 1



-číslování uhlíků od methylového konce - methylový uhlík je označen n nebo ω



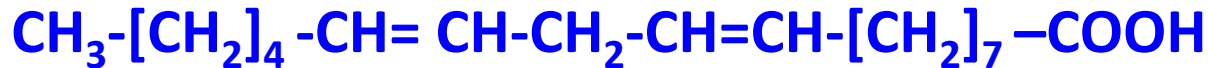
- 4:0** máselná (butanová)
- 6:0** kapronová (hexanová)
- 8:0** kaprylová (oktanová)
- 10:0** kaprinová (dekanová)
- 12:0** laurová (dodekanová)
- 14:0** myristová (tetradekanová)
- 16:0** palmitová (hexadekanová)
- 18:0** stearová (oktadekanová)
- 20:0** arachová (ikosanová)
- 22:0** behenová (dokosanová)

nenasyčené (monoénové)



cis-9-oktadecenová olejová 18:1 Δ 9 *cis* ω -9

dienové (polyénové)



cis, cis-9,12-oktadekadienová linolová 18:2 Δ 9,12 all-*cis* ω -6

trienové



cis, cis, cis-9,12,15-oktadekatrienová linolenová (α) 18:3 Δ 9,12,15 all-*cis* ω -3

polyenové MK

izolované dvojné vazby *cis* isomery

MK řady n-6

linolová kyselina (LA)

γ -linolenová kyselina (GLA)

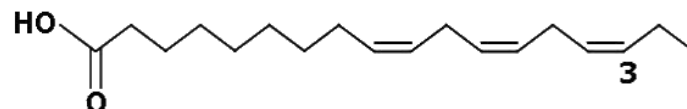
arachidonová kyselina (AA)

MK řady n-3

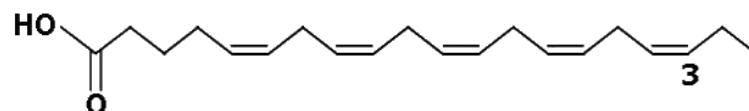
α -linolenová kyselina (ALA)

eikosapentaenová kyselina (EPA)

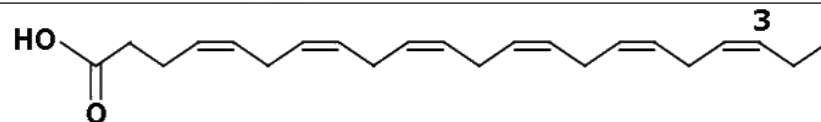
dokosaheptaenová kyselina (DHA)



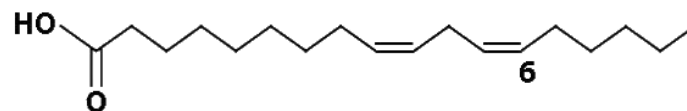
Alfa - linolenová kyselina (ALA, C18:3, omega-3)



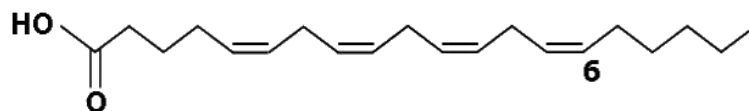
Eikosapentaenová kyselina (EPA, C20:5, omega-3)



Dokosaheptaenová kyselina (DHA, C22:6, omega-3)



Linolová kyselina (LA, C18:2, omega-6)



Arachidinová kyselina (AA, C20:4, omega-6)

další mastné kyseliny

nenasycené v neobvyklých polohách

petroselinová $18:1 \Delta 11$ *cis*

eruková (řepkový olej) $22:1 \Delta 13$ *cis*

trans

elaidová $18:1 \Delta 9$ *trans*

alkinové

cyklické

s O-funkční skupinou: hydroxy, oxo, epoxy, furanové

výskyt

nasyčené C4-C10

nasyčené C12, C14

nasyčené C16, C18

rozvětvené C19, C20

máslo (mléčný tuk)

kokosový, palmojadrový tuk

palmový tuk, živočišné tuky

máslo

C18:1 (olejová)

olej olivový, řepkový, podzemnicový, máslo, sádlo, lůj

C22:1 (eruková)

olej řepkový

C 18:2 (linolová)

olej sójový, slunečnicový

C18:3 (α -linolenová)

olej lněný

polynenasycené ω -3

rybí tuky

C18:3 (γ -linolenová)

olej pupalkový, brutnákový

C20:4 (arachidonová) aj. ω -6

maso, játra, sádlo, vejce

***trans*-isomery**

živočišné tuky, ztužené tuky

MK	hovězí lůj	vepřové sádlo	mléčný tuk	tresčí jaterní olej	olivový olej	kakaové máslo
4:0			9			
6:0			5			
8:0			2			
10:0			4			
12:0			3			
14:0	4	2	10	4		
14:1	1		2			
15:0	2		1	1		
16:0	28	26	23	13	11	29
16:1	5	4	2	18	1	
17:0	1		1	2		
18:0	20	15	12	4	3	35
18:1	34	44	23	26	79	32
18:2	3	9	2	2	5	3
18:3	2		1	1	1	
18:4				3		
20:0						
20:1				9		
20:4				1		
20:5				6		
22:1				5		
22:5				1		
22:6				14		

Zdroje MK řady n-6 a n-3 rostlinné

Oleje s převahou olejové kyseliny

	olej						
	olivový	mandlový	lískový	avokádový	slunečnicový	podzemnicový	světlicový
olejová kys.	55-83	43-60	71,9-84,0	56-74	70-87	76	74-82
LA	3,5-21	20-34	5,7-22,2	10-17	3-20	4	7-18
ALA	0-1,5	0	0,0-0,2	0-2	0	0	< 0,2
n-6/n-3	9,5	>100	>100	13,5	>100	>100	>100

vyšlechtěné odrůdy

transgenní rostliny

Oleje s převahou linolové kyseliny

	olej						
	podzemnicový	sezamový	kukuřičný klíčkový	slunečnicový	světlicový	bavlníkový	makový
olejová kys.	36,4-67,1	35-50	24,6-42,2	13-40	8,4-21,3	14,7-21,7	16-30
LA	14,0-43,0	35-50	39,4-60,4	40-74	67,8-83,2	46,7-58,2	62-73
ALA	0,0-0,1	0,-0,4	0,7-1,3	<0,3	0,0-0,1	0,0-0,4	-
n-6/n-3	>100	>100	50	>100	>100	>100	>100

Oleje obsahující linolenovou kyselinu

	řepkový (bezerukový)	hořčičný	Olej sójový	pšeničný (klíčkový)	lněný
olejová kys.	52,0-66,9	8-23	17,7-25,1	14-23	12-34
LA	16,1-24,8	10-24	49,8-57,1	50-56	7-27
ALA	6,4-14,1	6-18	5,5-9,5	3,5-7,0	35-65
n-6/n-3	2,1	1,4	7	10	0,27

Tuky palmových semen a oplodí

palmový	10 % LA
palmojádrový	2,5 % LA
kokosový	2,0 % LA



živočišné zdroje

	hovězí lůj	vepřové sádlo	kuřecí sádlo	mléčný tuk
olejová kys.	26-50	35-62	37	19-33
LA	0,5-5	3-16	20	0,9-3,7
ALA	<2,5	<1,5	1	0,1-1,4
AA	-	-	-	0,8-3
n-6/n-3	2	6	20	5

	sladkovodní ryby		mořské ryby	
	kapr	pstruh	makrela	tuňák
olejová kys.	36	26	17	16
LA	7,3	19	2,0	1,4
ALA	2,7	6,7	1,4	0,6
AA	1	0,5	1,0	3,0
EPA	2,4	4,0	7,0	3,3
DHA	1,4	6,5	14	14
n-6/n-3	1,2	1,0	0,1	0,3



Fytoplankton
kolonie kyanobakterií
Nostoc pruniforme



Zooplankton
Světélkovec atlantský
(*Meganyctiphanes norvegica*) krill

Funkční potraviny

výživová
hodnota

+

složka s příznivými účinky na zdraví
a/nebo snižující riziko onemocnění

Vejce se zvýšeným obsahem MK řady n-3

- nutričně plnohodnotná potravina
- vaječný žloutek: 33 % lipidů - acylglyceroly (2/3)
- fosfolipidy (1/3)
- nenasycené mastné kyseliny UFA **64-71 %**
- n-6/n-3 **6-14 : 1**



Složení mastných kyselin

běžná vejce

Kyselina	Maločov	Velkočov Hisex hnědý	Velkočov Shaver
Palmitová	24,7	21,8	20,8
Stearová	7,6	5,4	5,5
SFA celkem	33,2	28,1	27,0
Palmitolejová	4,0	3,7	3,3
Olejová	49,0	50,6	51,9
MUFA celkem	55,8	57,5	58,6
Linolová	6,3	10,2	10,5
Arachidonová	0,4	0,4	0,4
Linolenová	0,7	0,6	0,5
EPA	0,05	0,03	0,02
DHA	0,2	0,3	0,3
PUFA celkem	11	14,4	14,4
<i>n-6/n-3</i>	<i>6,1</i>	<i>10,5</i>	<i>13,6</i>

“Omega vejce”

Kyselina	Omega bílá vejce	Omega hnědá vejce	Omega Columbus Belgie
Palmitová	24,1	22,8	19,3
Stearová	8,6	7,5	9,2
SFA celkem	33,6	31,3	28,5
Palmitolejová	3,5	3,8	3,2
Olejová	36,0	35,5	37,7
MUFA celkem	43,8	45,0	40,9
Linolová	12,7	13,2	13,6
Arachidonová	0,7	0,8	0,8
Linolenová	3,8	4,1	11,7
EPA	0,4	0,4	0,3
DHA	3,1	3,2	1,9
PUFA celkem	22,6	23,7	28,7
<i>n-6/n-3</i>	<i>1,8</i>	<i>1,7</i>	<i>1,0</i>

Biosyntéza MK

z acetyl-CoA

- zastavení po dosažení C16 až C18

↳ SFA (C16:0 a C18:0)

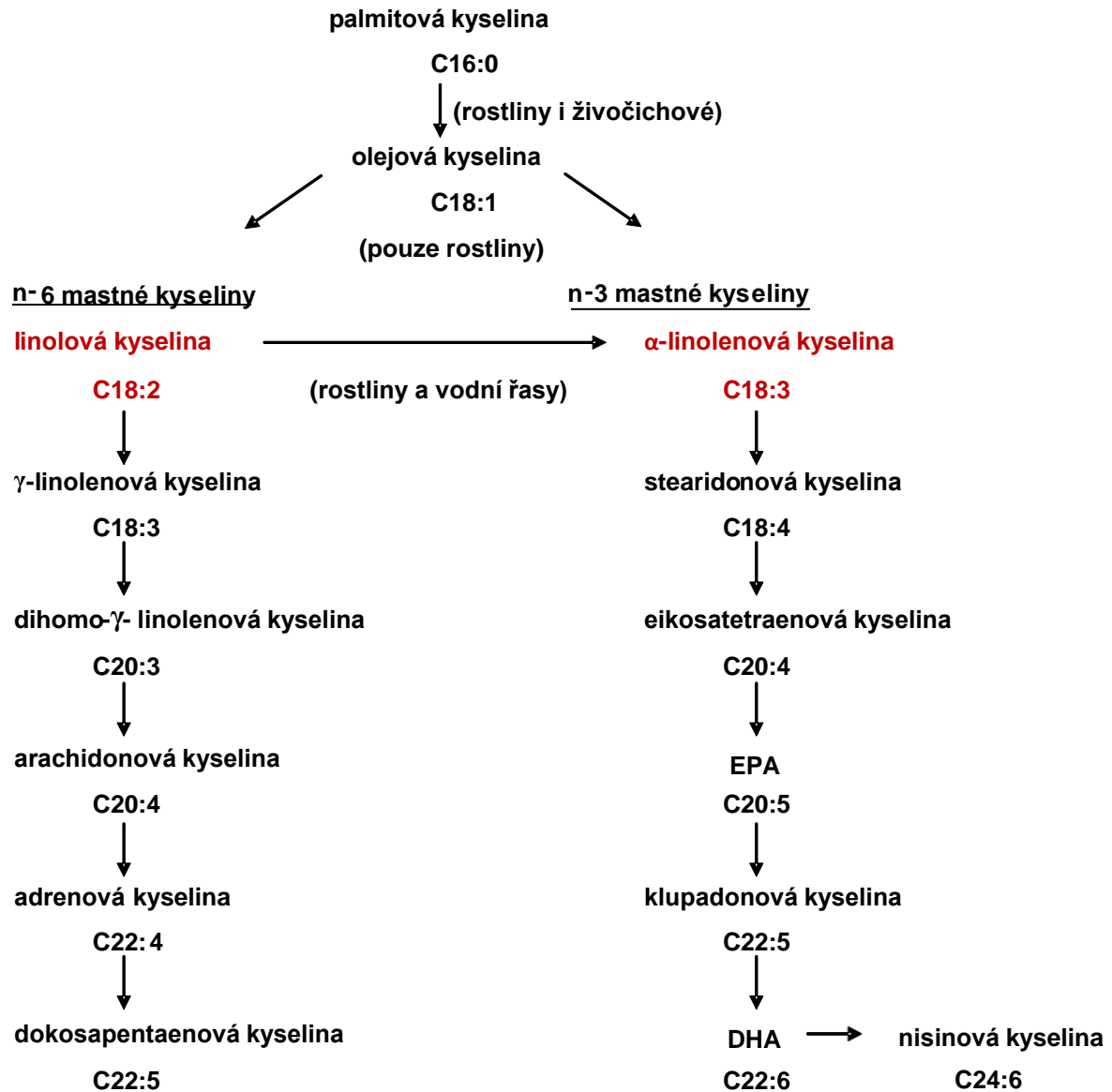
↳ MUFA (C16:1, C18:1)

- člověk není schopen:

- syntetizovat PUFA řady n-6 (LA)	}	↳ esenciální
řady n-3 (ALA)		

 - přeměnit MK řady n-6 na MK řady n-3 (chybí potřebná desaturasa)

Obě řady mají odlišný metabolický mechanismus a často i protichůdnou fyziologickou funkci

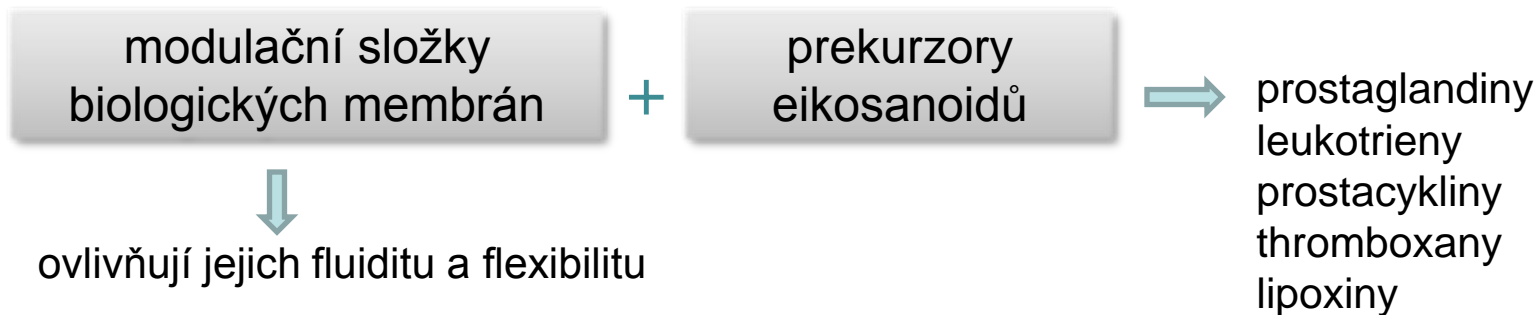


syntéza HUFA:

- **elongace**
- **desaturace**
- **retrokonverze**
pouze při deficitu některé esenciální MK a jejího prekurzoru

Význam ve výživě

- MK jsou zdrojem buněčné energie
- polyenové MK



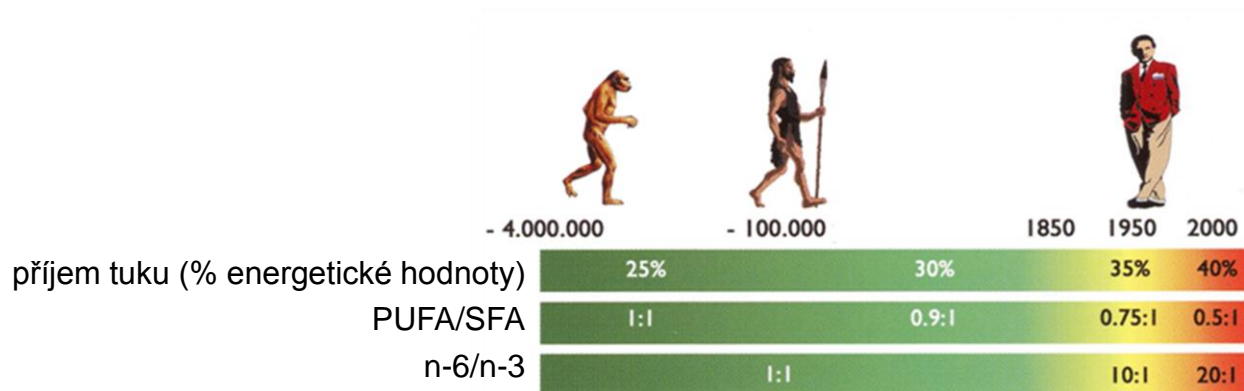
esenciální

nízká koncentrace PUFA může zapříčinit závažné fyziologické změny

Fyziologické účinky Poměr mastných kyselin n-6 / n-3



- velká změna v hodnotě poměru během posledních 150 let
- živočichové ve volné přírodě a pravděpodobně i lidé dříve přijímali esenciální MK s poměrem rovným 1



- poměr MK n-6 a n-3 v západní dietě je odhadován na rozmezí **15-20/1**
- vysoká hodnota n-6 / n-3 podporuje riziko vzniku mnohých onemocnění
(autoimunitní poruchy, zánětlivá onemocnění)

Zdravotní prospěch mastných kyselin n-3

- 1958 – sledování vlivu středomořského typu stravy na nižší incidenci koronárních onemocnění - souvislost s konzumací ryb

1999 – Lyon Heart Study - o 70 % nižší riziko 2. infarktu při středomořské dietě

- současnost
 - nižší incidence kardiovaskulárních onemocnění
 - nižší incidence poruch autoimunity (astma)
 - nižší incidence zánětlivých onemocnění (rheumatická artritida)
 - lepší paměťová a rozpoznávací schopnost
 - pozitivní vliv na vývoj plodu a novorozenců

Výživová doporučení pro obyvatelstvo ČR

Společnost pro výživu, Praha, 2004

(v souladu s výživovými cíli pro Evropu, které stanovil Regionální úřad pro Evropu WHO)

- příjem tuku max. 30 % energetické hodnoty (u lehce pracujících dospělých cca 70 g na den), u vyššího energetického výdeje 35 %
 - nasycené MK max. 10 %
 - monoenové MK 14 %
 - **polyenové min. 6 %**
 - *trans*-nenasycené MK max. 2 %
 - **poměr MK řady n-6 / n-3 max. 5 : 1**

dosažení těchto cílů:

- snížení příjmu živočišných tuků + zvýšení podílu rostlinných olejů (olivového a řepkového)
- výrazné zvýšení spotřeby ryb a rybích výrobků (mořských)



Vědecký názor na výživové hodnoty tuků

EFSA, 2010

(Scientific Opinion on Dietary Reference Values for fats, EFSA Journal 2010; 8(3):1461)

- příjem tuku 20 - 35 % energetické hodnoty
 - nasycené MK - co nejméně
 - *trans*-nenasycené MK - co nejméně
 - *cis*-monoenoové MK - nenastavovat
 - *cis*-polyenové - nenastavovat
 - poměr MK řady n-6 / n-3 - nenastavovat
 - linolová kyselina – 4 % energetické hodnoty
 - α -linolenová kyselina – 0,5 % energetické hodnoty

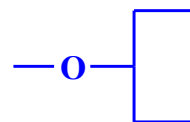
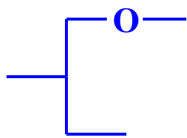
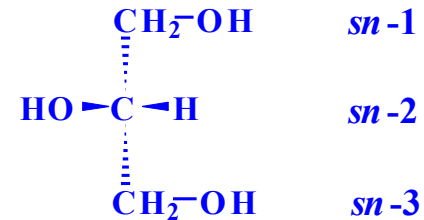
Adekvátní příjem EPA+DHA

EFSA, 2010

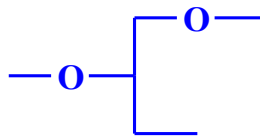
- **250 mg EPA+DHA/den** pro dospělé je dostatečný příjem u zdravých jedinců pro primární prevenci kardiovaskulárních onemocnění
- **100 až 200 mg DHA navíc** v dietě matky v průběhu těhotenství a kojení
 - DHA součástí lipidů buněčných membrán, zejména fosfolipidů v nervové tkáni a oční sítnici. Vyvíjející se mozek plodu/dítěte hromadí velké množství DHA jak pre-tak postnatálně, zejména během prvních dvou let života, kdy ji převážně získává od matky přes placentární přenos a z mateřského mléka
- při příjmu **1 g EPA+DHA/den** intervenční studie prokázaly příznivý vliv na uznávané rizikové faktory kardiovaskulárních onemocnění jako je
 - snížení koncentrace triacylglycerolů v plazmě
 - agregaci krevních destiček
 - krevní tlak
- **100 mg DHA/den** u starších kojenců (> 6 měsíců) a dětí do 24 měsíců
- pro děti od 2 do 18 let současné poznatky neumožňují stanovit konkrétní kvantitativní odhad odpovídajícího příjmu EPA a DHA v potravě, ale měly by být v souladu s doporučeními pro dospěléou populaci (tj. 1 až 2 jídla tučných ryb týdně, nebo 250 mg EPA a DHA za den)

estery glycerolu

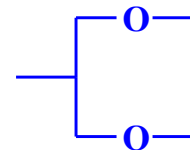
5 druhů esterů
monoacylglyceroly (monoglyceridy)



1-monoacyl-*sn*-glycerol 2-monoacyl-*sn*-glycerol
diacylglyceroly (diglyceridy)



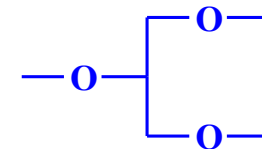
1,2-diacyl-



1,3-diacyl-

triacylglyceroly (triglyceridy)

1,2,3-triacyl-



smíšené, jednoduché, optická aktivita
přesně definované (sádlo: U=vnější poloha, jinak vnitřní)

složení lipidů rafinovaných olejů

estery	obsah v % v oleji	
	řepkovém	slunečnicovém
1-monoacylglyceroly	0,6	0,2
2-monoacylglyceroly	0,1	0,1
1,3-diacylglyceroly	1,9	0,9
1,2-diacylglyceroly	0,2	0,1
triacylglyceroly	96,5	97,8

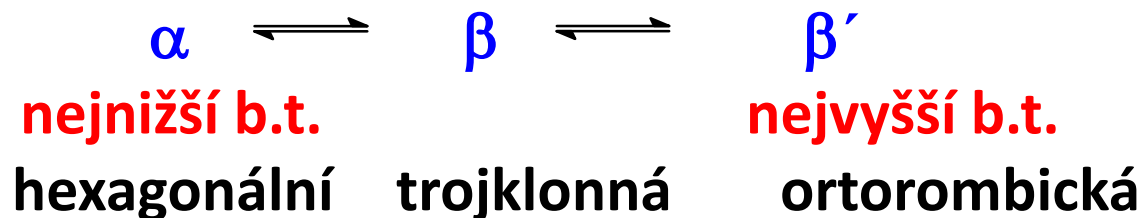
fyzikálně-chemické vlastnosti

bod tání a bod tuhnutí (v určitém rozmezí teplot)

- struktura MK, TAG (počet atomů C, násobných vazeb)
uspořádání krystalové mřížky

	MK	b.t. [°C]		MK	b.t. [°C]
C4	máselná	-7,9	C18:1c	olejová	10,5
C6	kapronová	-3,4	C18:1t	elaidová	43,7
C8	kaprylová	16,3			
C10	kaprinová	31,6	C18:2	linolová	-5,0
C12	laurová	44,2	C18:3	linolenová	-11,0
C14	myristová	54,1			
C16	palmitová	62,7	C20:4	arachidonová	-49,5
C18	stearová	69,6			

polymorfie základní krystalové modifikace



	b.t. [°C]			MK
	α	β	β'	b.t. [°C]
triacylglycerol				
tripalmitin	44	56	66	63
tristearin	54	64	73	70
triolein	-32	-13	4	11

β : **sádlo, olivový olej, kakaové máslo** (symetrická struktura, velké krystaly; zrnitá struktura)

β' : **lůj, máslo, řepkový olej** (nesymetrická struktura, malé krystaly; plastická konzistence)

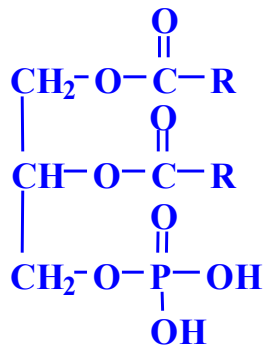
kakaové máslo 6 polymorfních stavů o b.t. 17,3-36,4 °C

b.t. čokolády 32-36 °C

fosfolipidy

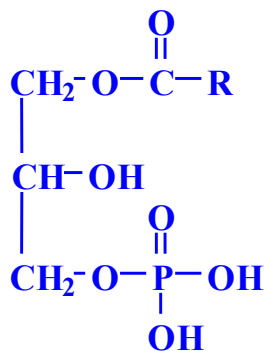
fosfatidy a fosfolipamidy schopnost stabilizace emulzí

fosfatidy (deriváty fosfatidylu, lyso ~ , plasmalogeny)



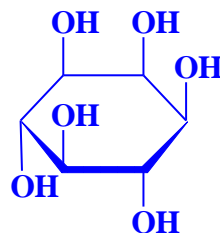
fosfatidová kyselina

fosfatidylcholin



lysofosfatidová kyselina

lysofosfatidylcholin



$(\text{CH}_3)_3\text{N}^+\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$

cholin (lecithin)

$\text{H}_2\text{N-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$

ethanolamin (kefalin)

serin

inositol (*myo*-inositol)

význam

- ◆ složky biomembrán (asi 1 % sušiny i v netučných potravinách)
- ◆ stabilizátory emulzí - olej ve vodě (mléko, majonéza)
 - voda v oleji (máslo, margarín)

využití

- ◆ v pekárenství (látka zlepšující vlastnosti těsta)
- ◆ ke snížení viskozity čokoládové hmoty
- ◆ pro instantizaci práškových nápojů (např. mléčných)

žloutek

33% tuk, 16% protein

(67% TAG, 28% fosfolipidy, 5% cholesterol)

matrice protein/H₂O, v ní suspenze částic lipid/protein

mléko

globule tuku (membrána z lipoproteinů a fosfolipidů)

→ shlukování \varnothing 4-10 μm → \varnothing 800 μm

(vazby s makroglubulinem), stabilní v zahř. a homog. mléce

máslo

smetana (30-35% tuku), porušení globulí mechanicky

mícháním → koalescence na emulzi (~ 20% H₂O)

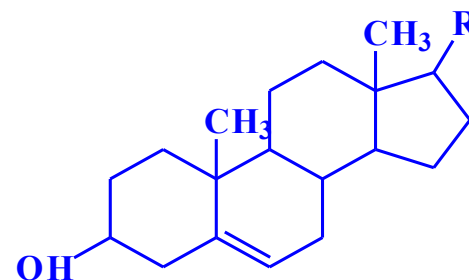
margaríny

přídavek emulgátorů (nejsou v oleji)

doprovodné látky lipidů

lipidy, nezmýdelnitelný podíl

steroly **zoosteroly** (cholesterol)
 fytoosteroly (sitosterol)
 mykosteroly (ergosterol)



uhlovodíky



vitaminy A, D, E, K

barviva