

# LIPIDY

**Lipidy jsou chemicky nesooudá skupina látek, které mají podobné vlastnosti:**

- V živých organismech jsou odvozeny od acetyl-koenzymu A (acetyl CoA), aktivní formy kyseliny octové.
- Skládají se většinou z uhlovodíků a jsou tvořeny velkými molekulami, které vznikají z menších molekul při dehydratačních reakcích.
- Jsou hydrofobní (nerozpustné ve vodě).
- Jsou rozpustné v organických rozpouštědlech (ether, chloroform, ethanol).

**Podle chemického složení se lipidy dělí na:**

- Lipidy jednoduché - nepolární (tuky, vosky, izoprenoidy, kam patří steroidy)
- Lipidy složené - polární (fosfolipidy, lipoproteiny, glykolipidy - sfingolipidy)

**Hlavní stavební složky lipidů:**

- Mastné kyseliny
- Alkoholy a aminoalkoholy (glycerol, sfingosin)
- Dusíkaté báze
- Esterově vázaná kyselina fosforečná (fosfátová skupina  $-PO_4^{3-}$ )
- Sacharidy (ve sfingolipidech)

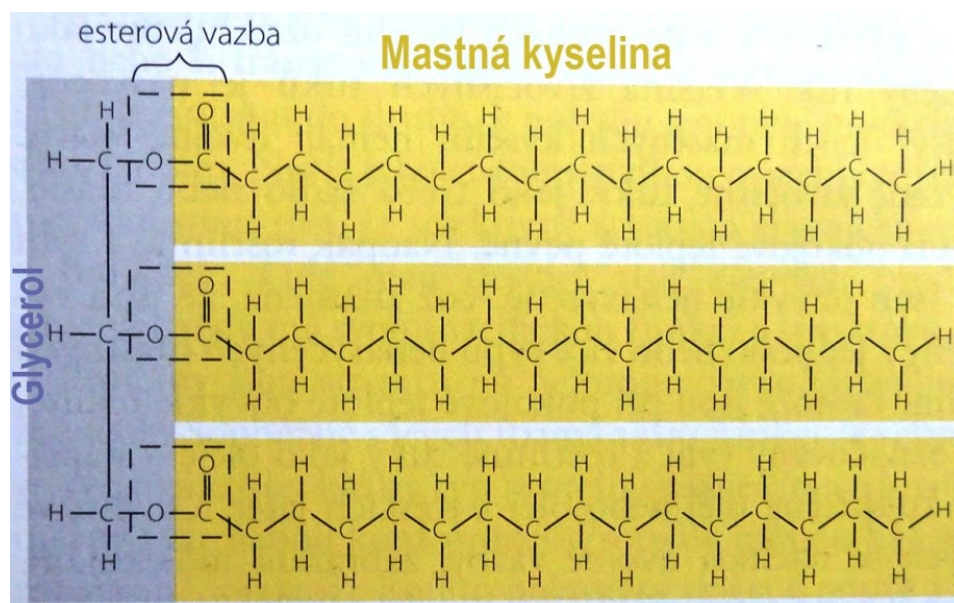
**Funkce lipidů v organismu:**

- Zdroj energie a zásobní funkce (triglyceridy).
- Stavební funkce (fosfolipidy, sfingolipidy, cholesterol).
- Ochranná funkce a tepelná izolace (podkožní tuk a vnitřní/viscerální tuk).
- Speciální funkce v organismu (hlavně hormony a transportní lipidy).

**Vzhledem k různorodé chemické struktuře lze lipidy rozdělit do řady různých skupin.**

- 1) Tuky (= triglyceridy = triacylglyceroly)
- 2) Vosky
- 3) Fosfolipidy (polární lipidy)
- 4) Sfingolipidy
- 5) Izoprenoidy
- 6) Steroidy
- 7) Lipoproteiny

## 1) Tuky (= triglyceridy = triacylglyceroly)



Molekula triglyceridu (triacylglycerolu) složená z glycerolu a tří řetězců mastných kyselin.

- **Tuky mají vysokou energetickou hodnotu, a proto jsou živými organismy využívány jako nejefektivnější zásobní forma energie.** Na rozdíl od glykogenu navíc není skladování tukových zásob v těle výrazně omezeno. Energetická hodnota tuků stoupá s délkou uhlíkového řetězce: U tuků s krátkým řetězcem (3-6 uhlíků) je relativně nejnižší (30 kJ/g), zatímco tuky se středně dlouhým uhlíkovým řetězcem (8-12 uhlíků) mají energetickou hodnotu cca 35 kJ/g (8.4 kcal) a tuky s dlouhým řetězcem (>12 uhlíků) cca 38.5 kJ/g (9.2 kcal). Konvenčně se jako průměrná energetická hodnota u tuků používá **37.7 kJ (9 kcal)**.
- Většina mastných kyselin má **sudý počet uhlíků**. Výjimkou jsou mastné kyseliny produkované bakteriemi v zažívacím traktu býložravců, které mohou mít lichý počet uhlíků.
- Mastné kyseliny se konvenčně se dělí do několika skupin podle délky uhlíkového řetězce: s **krátkým řetězcem, středně dlouhým řetězcem, dlouhým řetězcem a velmi dlouhým řetězcem**. Tato klasifikace podle počtu uhlíků však v literatuře není plně ustálená. Kupříkladu definice mastných kyselin se středně dlouhým řetězcem může zahrnovat rozpětí od 6-8 do 10-14 uhlíků (nejčastěji 6-12 uhlíků) a mastné kyseliny s velmi dlouhým řetězcem mají podle různých zdrojů  $\geq 19-23$  uhlíků.
- Běžné tuky jsou **nerozpustné ve vodě** (mají **hydrofobní vlastnosti**). Na rozdíl od polárních molekul vody, které se navzájem přitahují díky kladnému náboji vodíku (H) na jedné molekule a zápornému náboji kyslíku (O) na druhé molekule, jsou totiž uhlíkaté řetězce mastných kyselin nepolární (s neutrálním elektrickým nábojem) a nemohou se s molekulami vody spojit. (Proto se pro tuky používá odborný pojem „neutrální lipidy“.) Ačkoli glycerol je ve vodě rozpustný a méně běžné mastné kyseliny s krátkými uhlíkovými řetězci (propionová, máselná a valerová) jsou tudíž rovněž do určité míry ve vodě rozpustné, rozpustnost progresivně klesá s rostoucí délkou nepolárního uhlíkového řetězce. Z toho důvodu se mastné kyseliny s delšími řetězci v těle složitěji metabolizují a transportují.

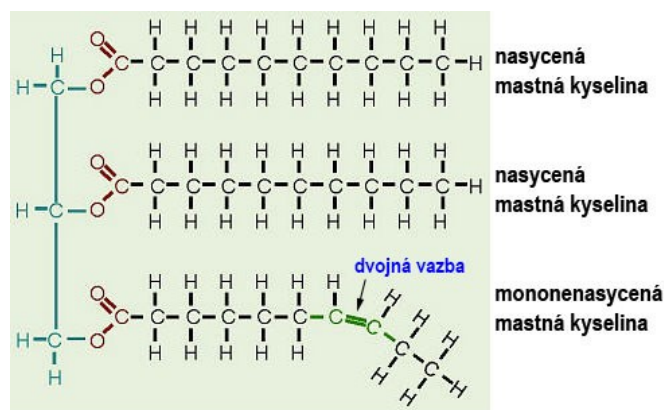
## Nasycenost vs. nenasyčenost uhlíkových vazeb mastných kyselin

Řetězce mastných kyselin se od sebe liší délkou a počtem dvojných vazeb.

- 1) **Nasyčené mastné kyseliny (*saturated fatty acids, SFA*)** mají na uhlíkové kostře navázáno maximální množství vodíkových atomů a nemají žádné dvojně vazby.
- 2) **Nenasycené mastné kyseliny (*unsaturated fatty acids*)** mají jednu nebo více dvojných vazeb, které vznikají odstraněním atomů vodíku. Dvojná vazba vyvolává ohyb uhlíkového řetězce, což způsobuje, že nenasyčené mastné kyseliny se k sobě při pokojové teplotě nejsou schopny dostatečně přiblížit. Mají tudíž nižší bod tání a zůstávají tekuté (ve formě olejů).

**2a) Mononenasyčené mastné kyseliny (*monounsaturated fatty acids, MUFA*)** mají jednu dvojitou vazbu.

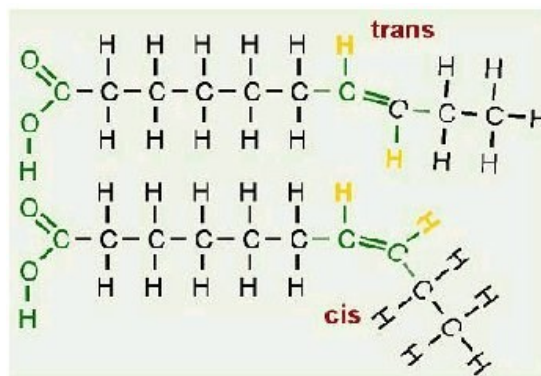
**2b) Polynenasycené mastné kyseliny (*polyunsaturated fatty acids, PUFA*)** mají dvě a více dvojných vazeb.



Molekula triglyceridu s dvěma nasyčenými a jednou mononenasyčenou mastnou kyselinou

## Cis vs. trans konfigurace dvojných vazeb v nenasyčených mastných kyselinách

Běžnou přírodní konfigurací dvojných vazeb v nenasyčených mastných kyselinách je tzv. konfigurace **cis**. Kromě toho však existuje i tzv. konfigurace **trans** s převrácenou pozicí vodíkových atomů ve dvojitých vazbách a přímějším uhlíkovým řetězcem. Přírodní mastné kyseliny s **trans**-konfigurací (např. kyselina vakcenová) najdeme jen v malém množství v mase a mléce přežvýkavců, v jejichž trávicím traktu jsou produkovány bakteriální fermentací. Typickým reprezentantem uměle produkováných **trans**-mastných kyselin je kyselina elaidová, **trans**-izomer v přírodě hojně rozšířené kyseliny olejové.



### Názvosloví mastných kyselin

Pro popis chemické struktury mastných kyselin se používá vzorec složený z několika čísel. Např. u kyseliny linolové (18:2; 9,12) značí první číslo počet uhlíků (C) v řetězci, druhé číslo udává počet dvojných vazeb a třetí číslo udává číslo uhlíku, na kterém se tato dvojná vazba nachází (počítáno od 1. karboxylového uhlíku C-1). Setkáme se ale i s alternativním zápisem 18:2, *n*-6 nebo 18:2 *ω*-6 (*omega*-6), v němž *n*-6 a *ω*-6 označují pozici dvojných vazeb podle čísla uhlíku od konce uhlíkového řetězce.

*Cis*-konfigurace a *trans*-konfigurace se rozlišují přidáním *c/cis* nebo *t/trans* do vzorce, nicméně v odborné literatuře existuje poměrně velká variabilita v zápisu: Kyselina olejová může být zapsána např. jako 18:1 *cis*-9 (pozice od karboxylového uhlíku), 18:1*c n*-9, 18:1*c* nebo *cis*-18:1 *n*-9, zatímco její *trans*-izomer kyselina elaidová jako 18:1 *trans*-9 (pozice od karboxylového uhlíku), 18:1*t n*-9, 18:1*t* nebo *trans*-18:1, *n*-9.

**Klasifikace nevětvených karboxylových kyselin.** Mastné kyseliny mají 3 a více uhlíků. Dělení mastných kyselin podle délky řetězce se může lišit podle různých zdrojů. Molekuly MUFA a PUFA jsou znázorněny schématicky, tj. bez ohybu uhlíkového řetězce.

název kyseliny	počet C : počet dvojných vazeb	poloha dvojných vazeb	chemická struktura	klasifikace
mravenčí	1 : 0		<chem>HOOC</chem>	nejsou obsaženy v lipidech
octová	2 : 0		<chem>HOOC-CH2-CH3</chem>	
propionová	3 : 0		<chem>HOOC-CH2-CH2-CH3</chem>	s krátkým řetězcem
máselná	4 : 0		<chem>HOOC-CH2-CH2-CH2-CH3</chem>	
valerová	5 : 0		<chem>HOOC-CH2-CH2-CH2-CH2-CH3</chem>	
kapronová	6 : 0		<chem>HOOC-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH3</chem>	
kaprylová	8 : 0		<chem>HOOC-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH3</chem>	se středním řetězcem
kaprinová	10 : 0		<chem>HOOC-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH3</chem>	
laurová	12 : 0		<chem>HOOC-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH3</chem>	
myristová	14 : 0		<chem>HOOC-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH3</chem>	
palmitová	16 : 0		<chem>HOOC-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH3</chem>	s dlouhým řetězcem
stearová	18 : 0		<chem>HOOC-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH3</chem>	
olejová	18 : 1; 9		<chem>HOOC-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH=CH-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH3</chem>	
linolová	18 : 2; 9,12		<chem>HOOC-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH=CH-CH2-CH=CH-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH3</chem>	
linolenová	18 : 3; 9,12,15		<chem>HOOC-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH=CH-CH2-CH=CH-CH2-CH=CH-CH2-CH2-CH2-CH2-CH3</chem>	
arachidová	20 : 0		<chem>HOOC-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH3</chem>	
arachidonová	20 : 4; 5, 8,11,14		<chem>HOOC-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH=CH-CH2-CH=CH-CH2-CH=CH-CH2-CH=CH-CH2-CH2-CH2-CH2-CH3</chem>	
behenová	22 : 0		<chem>HOOC-CH2-CH3</chem>	s velmi dlouhým řetězcem
eruková	22 : 1; 13		<chem>HOOC-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH=CH-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH3</chem>	
lignocerová	24 : 0		<chem>HOOC-CH2-CH3</chem>	
nervonová	24 : 1; 15		<chem>HOOC-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH=CH-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH3</chem>	

### 1) Nasycené mastné kyseliny (*saturated fatty acids, SFA*)

Ačkoli jejich bohatým zdrojem jsou i některé rostliny (kokosové ořechy, kakaové boby, palma olejná), naprostou většinu SFA přijímáme ze živočišné potravy, a to především z mléčných výrobků (tvorí ~60% celkového obsahu tuku), masa (~30-40%) a vajec (~30%).

Název mastné kyseliny	Popis	Bod tání
<b>Kyselina máselná (C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub>)</b> (též kyselina butanová) <i>Butyric acid</i> 4:0	Olejovitá bezbarvá kapalina, která je na rozdíl od mastných kyselin s delším řetězcem rozpustná ve vodě. Vyskytuje se v malém množství v mléčných produktech (mléko 2.3%, máslo 4.0%). Způsobuje nepříjemný zápach při žluknutí másla (odtud název). Je obsažena také v potu. Používá se při výrobě dochucovadel. V tlustém střevě je produkována bakteriemi z vlákniny, slouží jako energetický zdroj pro buňky střevního epitelu a hraje důležitou roli jako stimulátor lidské imunity.	-5°C
<b>Kyselina laurová (C<sub>12</sub>H<sub>24</sub>O<sub>2</sub>)</b> <i>Lauric acid</i>	Při pokojové teplotě bílá látka práškové konzistence. V běžných potravinách je obsažena vzácně (~3% v mléčném tuku), ale tvoří	44°C

12:0	~45% veškerých mastných kyselin v kokosovém tuku. Reakcí s hydroxidem sodným tvoří mýdlo. Má pronikavý vliv na zvýšení krevních hladin celkového cholesterolu, HDL cholesterolu i LDL cholesterolu, a výrazně snižuje poměr celkový cholesterol:HDL cholesterol.	
<b>Kyselina myristová (C<sub>14</sub>H<sub>28</sub>O<sub>2</sub>)</b> <i>Myristic acid</i> 14:0	Při pokojové teplotě bílá krystalická látka. Nejbohatším běžným zdrojem je mléčný tuk (~9-10%). Zvyšuje celkový cholesterol, HDL cholesterol i LDL cholesterol, a nemá významný vliv na poměr celkový cholesterol:HDL cholesterol.	54°C
<b>Kyselina palmitová (C<sub>16</sub>H<sub>32</sub>O<sub>2</sub>)</b> <i>Palmitic acid</i> 16:0	Při pokojové teplotě bílá krystalická látka. Nejvíce je obsažena v palmovém oleji (~44%), ale bohatým zdrojem je i mléčný tuk (~24-30%), kakaové máslo (~25%) a masný tuk (~21-24%). Je používána k výrobě mýdel, svíček, kosmetiky, uvolňovacích činidel a jako přísada v potravinách. V minulosti se uplatnila při výrobě zápalné látky napalmu. Zvyšuje celkový cholesterol, HDL cholesterol i LDL cholesterol, a nemá významný vliv na poměr celkový cholesterol:HDL cholesterol.	63°C
<b>Kyselina stearová (C<sub>18</sub>H<sub>36</sub>O<sub>2</sub>)</b> <i>Stearic acid</i> 18:0	Při pokojové teplotě bílá pevná látka voskové konzistence. Je hojně obsažena v kakaovém másle (~33%), a v menším množství v mléčném tuku (~11-12%) a v masném tuku (~10%). Je používána jako přísada do potravin a při výrobě mýdel, pracích prostředků, svíček, uvolňovacích činidel a kosmetiky. Nemá významný vliv na hladiny celkového cholesterolu, HDL cholesterolu a LDL cholesterolu, a mírně snižuje poměr celkový cholesterol:HDL cholesterol.	69°C

## 2a) Mononenasycené mastné kyseliny (*monounsaturated fatty acids*, MUFA)

Tato skupina mastných kyselin je reprezentována v podstatě jen jedním významným zástupcem v přírodní *cis*-formě – kyselinou olejovou, která je vůbec nejvíce rozšířenou mastnou kyselinou v potravinách. Průmyslově vyráběné ztužené tuky však obsahují vysoký podíl jejího *trans*-izomeru - kyseliny elaidové, která má silně negativní vliv na kardiovaskulární zdraví.

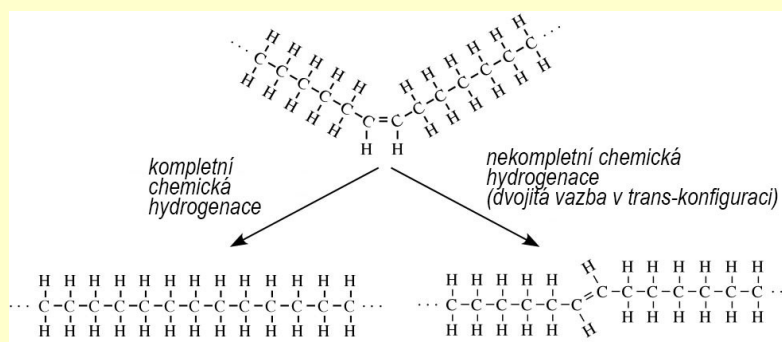
V porovnání se sacharidy neovlivňují MUFA celkový cholesterol a nemají příliš silný vliv na zvýšení HDL cholesterolu, ale současným mírným snížením LDL cholesterolu markantně snižují poměr celkový cholesterol:HDL cholesterol. Snižují krevní triglyceridy podobně jako SFA a PUFA.

Název mastné kyseliny	Popis	Bod tání
<b>Kyselina olejová (C<sub>18</sub>H<sub>34</sub>O<sub>2</sub>)</b> <i>Oleic acid</i> 18:1; 9 18:1c, n-9 18:1 cis-9	Při pokojové teplotě bezbarvý olej, který se vlivem nečistot při extrakci zabarvuje do žluta. Vyskytuje se hojně v široké škále potravin, od ~25-45% v živočišných tucích (je to vůbec nejběžnější mastná kyselina v masném tuku, ~30-40%) až po ~71% v olivovém oleji a ~75% v lískových ořeších.	13-14°C
<b>Kyselina elaidová (C<sub>18</sub>H<sub>34</sub>O<sub>2</sub>)</b> <i>Elaidic acid</i> 18:1 trans-9 18:1t, n-9	<i>Trans</i> -izomer kyseliny olejové. Má výrazně vyšší bod tání a tudíž je při pokojové teplotě v pevném skupenství. V živočišných tucích je přítomna pouze v zanedbatelném množství. Velký podíl však tvoří jako vedlejší produkt hydrogenace v částečně hydrogenovaných rostlinných olejích. Zvyšuje celkový cholesterol prostřednictvím výrazného zvýšení LDL cholesterolu a má silně negativní vliv na kardiovaskulární zdraví.	45°C
<b>Kyselina vakcenová (C<sub>18</sub>H<sub>34</sub>O<sub>2</sub>)</b> <i>Vaccenic acid</i> 18:1 trans-11 18:1t, n-7	Přírodní <i>trans</i> -konfigurace, která vzniká činností mikroorganismů v bacheru přežvýkavců a vyskytuje se v menším množství v jejich mase a mléčném tuku (3.7% v másle, 3.8-3.9% v kravském mléce). Na rozdíl od průmyslově produkováných <i>trans</i> -tuků zatím	44°C

nebyl prokázán její negativní vliv na lidské zdraví a není vyloučeno, že by mohla mít i určité zdravotní přínosy.

2b)

V důsledku nutričních doporučení, která od konce 70. let začala demonizovat nasycené tuky v živočišných potravinách, se přírodní rostlinné oleje chemicky upravovaly **částečnou hydrogenací (ztužováním)** – přidáním atomů vodíku, které „narovnávaly“ uhlíkový řetězec. To umožňovalo udržet oleje za pokojové teploty v pevném stavu a distribuovat na trh v podobě margarínů. Během částečné hydrogenace olejů však vzniká určité procento *trans*-mastných kyselin - nekompletně hydrogenovaných uhlíkových řetězců s *trans*-konfigurací. Typickým reprezentantem *trans*-mastných kyselin byla kyselina elaidová.



Margaríny obsahující ztužené *trans*-mastné kyseliny byly vydávány za zdravější náhradu sádla a másla, nicméně v 90. letech se ukázalo, že *trans*-mastné kyseliny jsou jedněmi z největších zabijáků srdce a cév vůbec. Od této praxe se tudíž upustilo a soudobé rostlinné margaríny využívají směsi různých neztužených rostlinných olejů s emulgátory.

### Polynenasycené mastné kyseliny (*polyunsaturated fatty acids*, PUFA)

Polynenasycené mastné kyseliny se v mase a vejcích nacházejí jen v poměrně omezeném množství, a mléčné produkty jich obsahují velmi málo. Jejich nejbohatším zdrojem je rybí tuk a rostlinné oleje.

Mezi PUFA patří dva druhy **esenciálních** (fyziologicky nezbytných) mastných kyselin, které je nutno přijímat v potravě, protože lidské tělo je nedokáže syntetizovat: **omega-3** (n-3) a **omega-6** (n-6). Z těchto PUFA se v těle tvoří **eikosanoidy** (signální látky podobné hormonům).

V porovnání se SFA zvyšují PUFA jen mírně HDL cholesterol, avšak výrazně snižují LDL cholesterol a celkový cholesterol, a mají výrazný vliv na snížení poměru celkový cholesterol:HDL cholesterol. Potraviny obsahující vysoký podíl PUFA jsou tudíž považovány za výjimečně přínosné pro snížení kardiovaskulárního rizika. Stejně jako v případě SFA však existují i mezi individuálními PUFA signifikantní rozdíly.

Název mastné kyseliny	Popis	Bod tání
<b>Kyselina linolová (LA)</b> <b>(C<sub>18</sub>H<sub>32</sub>O<sub>2</sub>)</b> <b>Linoleic acid</b> <b>18:2; 9,12</b> <b>18:2, n-6</b>	Bezbarvá kapalná látka, která je nejhojněji obsažena v rostlinných zdrojích, především v oleji z makových semen (~68%) a vlašských ořechů (~58%). V živočišném tuku je zastoupena podstatně méně (10%≥). Je to <b>esenciální</b> (fyziologicky nezbytná) mastná kyselina (omega-6), která slouží jako substrát pro syntézu řady fyziologicky důležitých látek (především eikosanoidů). Často se uplatňuje v kosmetických produktech.	-7°C?
<b>Kyselina alfa-linolenová (ALA)</b> <b>(C<sub>18</sub>H<sub>30</sub>O<sub>2</sub>)</b> <b>Alpha-linolenic acid</b> <b>18:3; 9,12,15.</b> <b>18:3, n-3</b>	V běžných potravinách se vyskytuje v malém množství, nejvíce v oleji vlašských ořechů (~14%). Ještě více je zastoupena např. v semenech chia nebo lnu. Je to <b>esenciální</b> mastná kyselina (omega-3), která slouží k syntéze eikosanoidů, je nezbytná pro správnou činnost mozku a jsou jí připisovány mnohostranné zdravotní přínosy.	

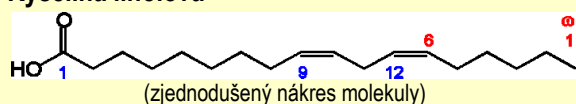
<b>Kyselina rumenová (C<sub>18</sub>H<sub>32</sub>O<sub>2</sub>)</b> <i>Rumenic acid</i> <b>18:2, cis-9, trans-11</b> <b>18:2t, n-7</b>	Izomer linolové kyseliny (tzv. konjugovaná kyselina linolová), v níž jsou dvě dvojně vazby na pozicích 9. a 11. odděleny jednoduchou nasycenou vazbou. Je to přírodní <i>trans</i> -konfigurace, která se vyskytuje v mase a mléce přežvýkavců. Připisují se jí pozitivní zdravotní účinky, zejména protinádorové.	
<b>Kyselina arachidonová (ARA)</b> <b>(C<sub>20</sub>H<sub>32</sub>O<sub>2</sub>)</b> <i>Arachidonic acid</i> <b>20:4; 5,8,11,14</b> <b>20:4, n-6</b>	Vyskytuje se v malém množství v masném a rybím tuku (3%≥). Je to <b>podmíněně esenciální</b> mastná kyselina (omega-6), která může být syntetizována z kyseliny linolové. Má řadu důležitých tělesných funkcí: Je mj. přítomna ve fosfolipidech, podílí se na vývoji mozku a slouží jako substrát pro syntézu eikosanoidů.	-49°C
<b>Kys. eikosapentaenová (EPA)</b> <b>(C<sub>20</sub>H<sub>30</sub>O<sub>2</sub>)</b> <i>Eicosapentaenoic acid</i> <b>20:4; 5,8,11,14,17</b> <b>20:5, n-3</b>	Jejím jediným běžným zdrojem je rybí tuk (~2-8%). Ryby získávají EPA pojidáním řas. Je to <b>podmíněně esenciální</b> mastná kyselina (omega-3), která může být v těle syntetizována z kyseliny alfa-linolenové. Slouží k syntéze eikosanoidů a má klíčovou funkci v mozku.	
<b>Kys. dokosahexaenová (DHA)</b> <b>(C<sub>22</sub>H<sub>32</sub>O<sub>2</sub>)</b> <i>Docosahexaenoic acid</i> <b>22:6; 4,7,10,13,16,19</b> <b>22:6, n-3</b>	V běžných potravinách se vyskytuje pouze v rybím tuku (tuňák ~18%, makrela ~10%). Stejně jako EPA je to <b>podmíněně esenciální</b> mastná kyselina (omega-3), která může být v těle syntetizována z kyseliny alfa-linolenové. Má důležitou funkci v mozku a oční sítnici, slouží k syntéze eikosanoidů a je považována za mnohostranně zdravotně přínosnou.	-44°C

Přestože ARA, EPA a DHA teoreticky nemusíme přijímat z potravy, pokud je v ní dostatek kyseliny linolové a alfa-linolenové, **tato chemická konverze je velmi neefektivní** (u žen o něco lepší než u mužů) a obě skupiny mastných kyselin (tj. omega-3 i omega-6) při ní navíc **soupeří o stejné enzymy**. Jedinci s nedostatečným příjmem ARA, EPA a DHA (tj. hlavně vegetariáni a vegani) tudíž mohou trpět jejich deficitem, který musejí nahrazovat suplementy.

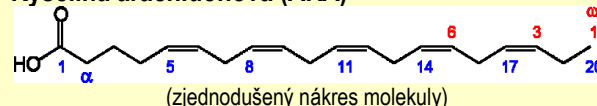
#### Esenciální mastné kyseliny

#### Podmíněně esenciální mastné kyseliny

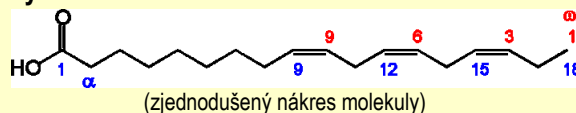
##### Kyselina linolová →



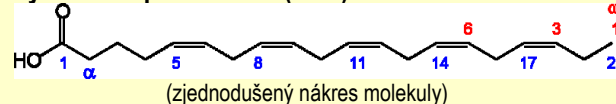
##### Kyselina arachidonová (ARA)



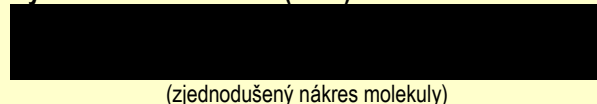
##### Kyselina alfa-linolenová →



##### Kys. eikosapentaenová (EPA)



##### Kys. dokosahexaenová (DHA)





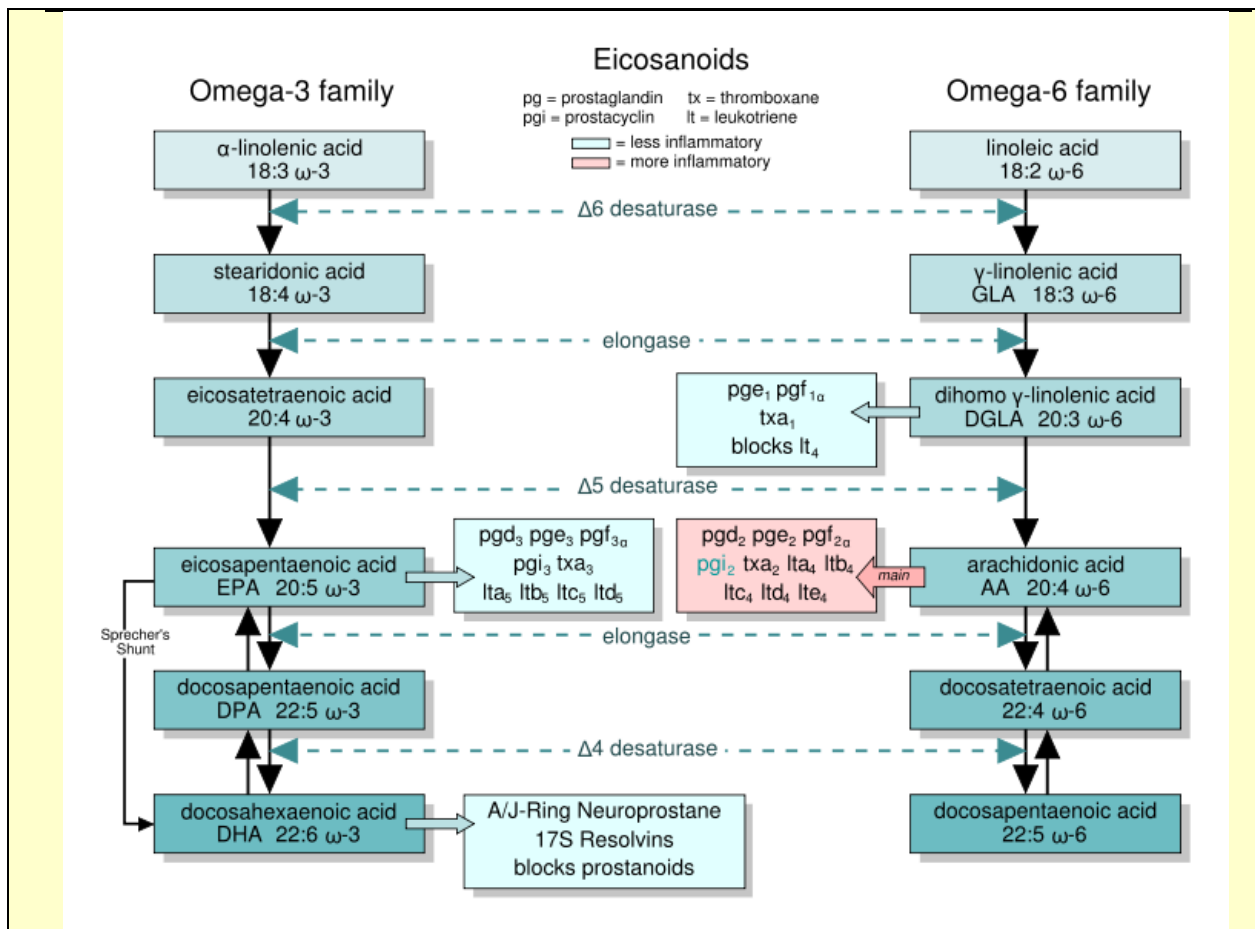


Schéma syntézy eikosanoidů s vyznačením klíčových enzymů. Eikosanoidy produkované z omega-6 mastných kyselin jsou považovány za více prozánětlivé, zatímco eikosanoidy tvořené z omega-3 jsou protizánětlivé. Vysoký poměr mezi omega-6/omega-3 v potravě se tudíž nedoporučuje a může spolupůsobit i jako faktor vzniku kardiovaskulárních chorob.

### Složení tuku v různých potravinách (% mastných kyselin)

	Nasycené mastné kyseliny (SFA)					MUFA			PUFA						
	12:0				14:0	16:0	18:0	18:1		18:1t	18:2	18:3	20:4	20:5	22:6
	Laurová	Myristová	Palmitová	Stearová	Olejoá*	Elaioá nebo vakuenaá	Linoloá*	Alfa-linolená /AI/ A1*	Arachidoná (ARA)*	EPA	DHA				
<b>MLÉČNÉ PRODUKTY &amp; VEJCE</b>															
Másló	62,25	3,19	9,17	26,75	12,33	28,89	20,93	3,68	3,71	2,67	0,39	0,00	0,00	0,00	
Sýr, Mozzarella (22,4% tuku)	58,84	3,09	9,79	23,85	10,93	29,41	25,27 <sup>1</sup>		3,42	1,76 <sup>2</sup>	1,66 <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,00	
Sýr, čedar (20,4% tuku)	61,75	3,14	10,05	28,22	10,58	25,99	20,46	2,52	4,38	2,43	0,30	0,17	0,03	0,00	
Kozí mléko (4,1% tuku)	64,42	3,00	7,85	22,01	10,65	26,79	23,60 <sup>1</sup>		3,60	2,63 <sup>2</sup>	0,97 <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,00	
Nízkoúčné mléko (1,0% tuku)	65,26	2,99	9,38	29,59	12,99	28,56	21,96	3,81	3,61	2,78	0,41	0,00	0,00	0,00	
Plnotučné mléko (3,3% tuku)	57,03	2,35	9,08	25,35	11,16	24,83	24,83 <sup>1</sup>		5,96	3,67 <sup>2</sup>	2,29 <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,00	
Vejce, natvrdo uvařená	30,79	0,03	0,33	22,14	7,80	38,43	35,11 <sup>1</sup>		13,33	11,20 <sup>2</sup>	0,33 <sup>3</sup>	1,40	0,05	0,36	
<b>MASO</b>															
Hovězí hrud', vařená	37,53	0,07	3,26	23,11	10,94	46,81	42,03 <sup>1</sup>		2,61	2,17 <sup>2</sup>	0,22 <sup>3</sup>	0,22			
Vařená kuřecí prsa	31,29	0,16	0,60	22,21	7,44	38,23	32,52	0,28	24,10	18,27	0,76	2,68	0,13	0,22	
Sádlo	39,20	0,20	1,30	23,80	13,50	45,10	41,20 <sup>1</sup>		11,20	10,20 <sup>2</sup>	1,00 <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,00	
Skopový lůj	47,30	0,00	3,80	21,50	19,50	40,60	37,60 <sup>1</sup>		7,80 <sup>2</sup>	5,50 <sup>3</sup>	2,30 <sup>4</sup>	0,00	0,00	0,00	
Vepřová slanina, pečená	32,79	0,00	1,27	20,86	10,19	44,06	40,30 <sup>1</sup>		11,23	9,45	0,49	0,35	0,00	0,00	
<b>RYBY</b>															
Kapř	19,34	0,00	2,04	11,73	3,30	41,57	20,54 <sup>1</sup>		25,55	9,23 <sup>2</sup>	4,82 <sup>3</sup>	2,71	4,25	2,04	
Atlantický sled'	22,57	0,13	6,13	14,97	1,21	41,33	16,77 <sup>1</sup>		23,60	1,44 <sup>2</sup>	1,14 <sup>3</sup>	0,66	7,84	9,54	
Atlantický losos, farmářský	22,73	0,00	4,14	13,99	3,69	28,09	20,23 <sup>1</sup>		28,96	6,71 <sup>2</sup>	1,10	0,69	6,42	8,23	
Atlantické sardinky v rostl. oleji	13,35	0,00	1,68	8,67	3,00	33,79	18,73 <sup>1</sup>		44,96	30,94 <sup>2</sup>	4,35 <sup>3</sup>	0,00	4,13	4,45	

Pacifické sardinky v rajč. šťávě	25,34	0,00	6,72	16,63	2,33	46,10	17,70 <sup>1</sup>		20,20	1,18 <sup>2</sup>	2,25 <sup>3</sup>	2,84	5,09	8,27
Atlantická makrela, vařená	23,45	0,12	4,85	15,30	3,05	39,28	16,44		24,12	1,58 <sup>2</sup>	1,14 <sup>3</sup>	1,32	6,46	10,09
Tuňák žlutoploutvý	35,10	0,20	1,84	21,63	9,18	23,67	16,33	0,61	30,00	1,22	0,41	3,06	2,45	17,96
<b>ROSTLINNÁ SEMENA &amp; OLEJE</b>														
Mandle	7,62	0,00	0,01	6,18	1,41	63,20	62,68	0,00	24,69	24,68	0,01	0,00	0,00	0,00
Oil z kakaového másla	59,70	0,00	0,10	25,40	33,20	32,90	32,60 <sup>1</sup>		3,00	2,80 <sup>2</sup>	0,10 <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,00
Kokosový olej	86,50	44,60	16,80	8,20	2,80	5,80	5,80 <sup>1</sup>		1,80	1,80 <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00
Kukuřičný olej, univerzální	12,95	0,00	0,02	10,58	1,85	27,58	27,33	0,00	54,68	53,23	1,16	0,00	0,00	0,00
Lískové ořechy	7,35	0,00	0,00	5,10	2,08	75,14	74,74 <sup>1</sup>	0,00	13,04	12,89 <sup>1</sup>	0,14 <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,00
Margarín (kukuř. & sójový olej)	18,82	0,00	0,06	10,45	7,65	48,17	30,34	17,58	30,11	26,67	2,42	0,00	0,00	0,00
Hořčičný olej	11,58		1,39	3,75	1,12	59,19	11,61 <sup>1</sup>		21,23	15,33 <sup>2</sup>	5,90 <sup>3</sup>			
Olivový olej (salát nebo vaření)	13,81	0,00	0,00	11,29	1,95	72,96	71,27 <sup>1</sup>		10,52	9,76 <sup>2</sup>	0,76 <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,00
Palmový olej	49,30	0,10	1,00	43,50	4,30	37,00	36,60 <sup>1</sup>		9,30	9,10	0,20 <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,00
Mák	10,87	0,00	0,19	8,62	1,88	14,39	14,11	0,00	68,74	68,08 <sup>2</sup>	0,66	0,00	0,00	0,00
Řepkový olej	7,37	0,00	0,00	4,30	2,09	63,28	61,71	0,03	28,14	18,64	9,14	0,00	0,00	0,00
Sójový olej	15,65	0,00	0,00	10,46	4,44	22,78	22,55	0,00	57,74	50,42	6,79	0,00	0,00	0,00
Slunečnicový olej, vysokolejový	9,86	0,00	0,06	3,68	4,32	83,69	82,63 <sup>1</sup>		3,80	3,61 <sup>2</sup>	0,19 <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,00
Slunečnicový olej, linolový	10,30	0,00	0,00	5,90	4,50	19,50	19,50 <sup>1</sup>		65,70	65,70 <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00
Vlašské ořechy	9,39	0,00	0,00	6,75	2,54	13,70	13,49 <sup>1</sup>		72,34	58,42 <sup>2</sup>	13,92 <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,00

Poznámky: EPA = kyselina eikosapentaenová, DHA = kyselina dokosaheksaenová.

\*Zahrnuje tuto mastnou kyselinu, pokud není uvedeno jinak.

\*\*Bez rozlišení 20:4. Odpovídá kyselině arachidonové (ARA) (20:4, n-6) v živočišném tuku.

<sup>1</sup>Nerozlišená 18:1. Může zahrnovat kyselinu vakcenovou (18:1t, n-7) obsaženou v živočišném tuku nebo kyselinu elaidovou (18:1, n-9) obsaženou v částečně hydrogenovaných rostlinných olejích (margarínech).

<sup>2</sup>Nerozlišená 18:2. Může obsahovat kyselinu rumenovou (18:2t, n-7), která se nachází v živočišném tuku.

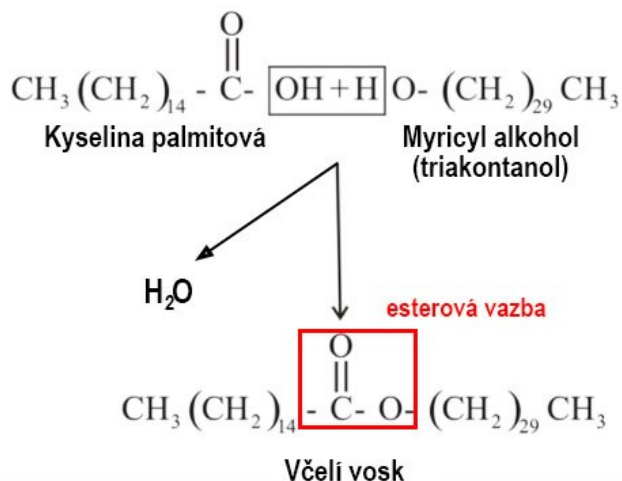
<sup>3</sup>Nerozlišená 18:3. Může zahrnovat kyselinu y-linolovou (18:3, n-6) a některé konjugované mastné kyseliny 18:3.

Zdroj: USDA.gov database.

## 2) Vosky

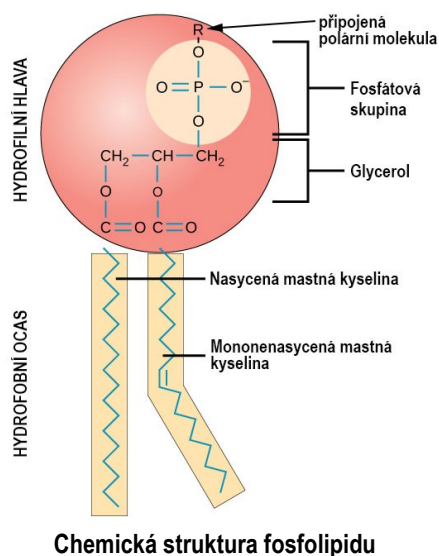
Vosky jsou sloučeniny mastných kyselin a dlouhořetězových jednosytných alkoholů (tj. alkoholů s jedinou funkční hydroxylovou skupinou –OH), které jsou spojené esterovou vazbou. Stejně jako tuky patří mezi neutrální lipidy a ve vodě jsou nerozpustné. Za běžných teplot mají pevnou konzistenci. V přírodě slouží některým živočichům a rostlinám jako odpuzovače vody (např. na listech rostlin nebo na křídlech vodních ptáků) a zásobní forma energie (u vodního planktonu, ryb a velryb).

Nejnámějším voskem je **včelí vosk**, který je produkován speciálními žlázami včel a jehož hlavním komponentem je ester kyseliny palmitové a myricyl alkoholu. Včelí vosk je jedlý, nicméně nestravitelný lipid. Šestihránná struktura voskových včelích pláství je využívána pro vývoj larev a uchování medu.

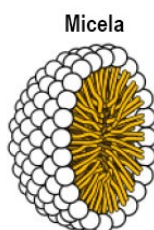


### 3) Fosfolipidy (polární lipidy)

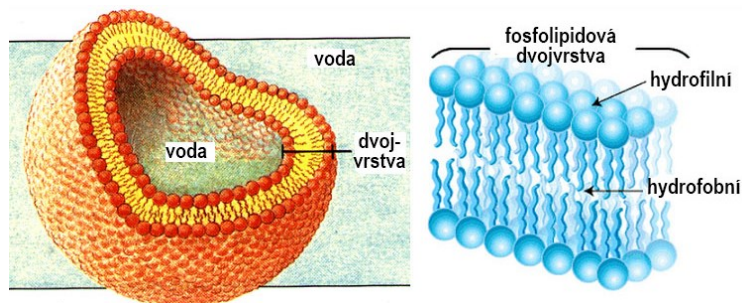
Látky podobné tukům, které patří strukturálně mezi **diglyceridy (diacylglyceroly)**: Na „hlavu“ glycerolu jsou připojeny pouze dva řetězce mastných kyselin (zpravidla jeden nasycený a jeden nenasycený) a místo třetího řetězce se vyskytuje fosfátová skupina ( $-\text{PO}_4^{3-}$ ) se záporným elektrickým nábojem (a zpravidla další malou polární molekulou, nejčastěji aminoalkoholem jako je např. cholin).



Výsledkem je, že fosfolipidy mají polární, **amfipatický charakter** (jsou současně hydrofobní i hydrofilní): Řetězce mastných kyselin nereagují s vodou, zatímco elektricky nabitá fosfátová skupina se s molekulami vody přitahuje. Proto fosfolipidy vytvářejí ve vodě spontánně shluky s hydrofilními částmi orientovanými ven a hydrofobními „ocasy“ orientovanými dovnitř. Charakteristickým shlukem tohoto typu je **micela**.



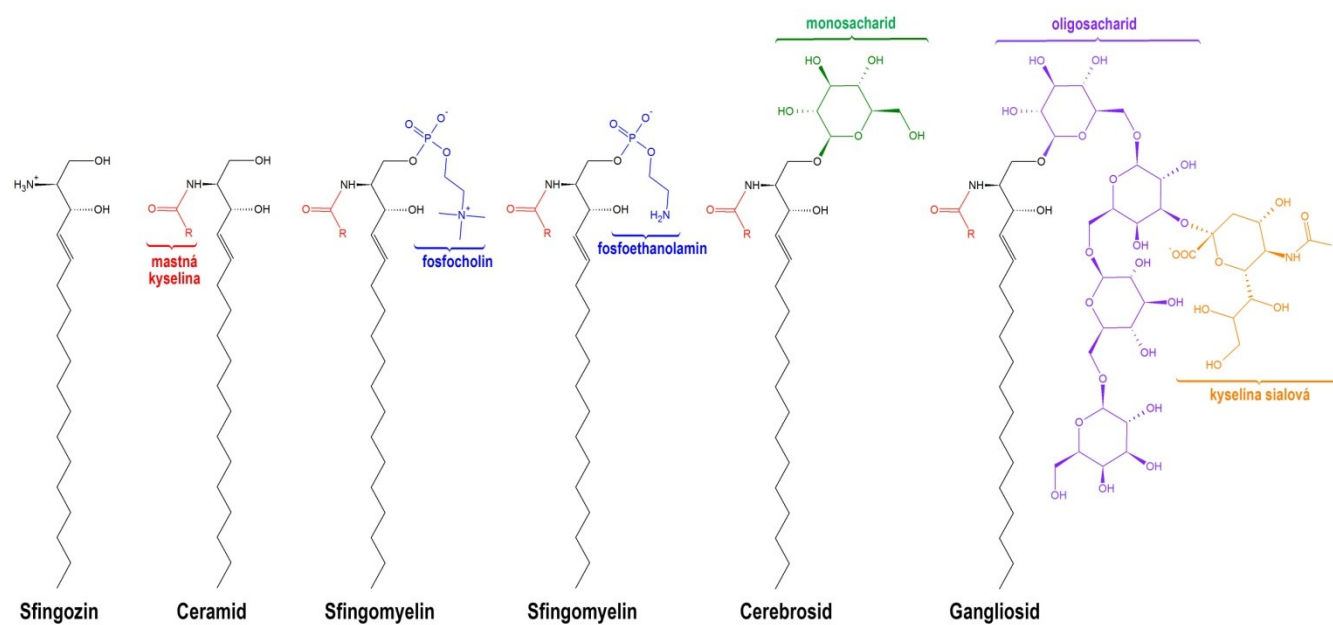
Jinou podobnou strukturou jsou **lipidové dvojvrstvy**, které jsou základní stavební částí buněčných membrán. Jejich kostru tvoří dvě vrstvy fosfolipidů a s nimi provázané glykolipidy, steroly, glykoproteiny, proteiny a cholesterol. Jsou polopropustné a na rozdíl od micel obsahují vodné jádro. Hlavním fosfolipidem buněčných membrán je **lecitin** (fosfatidylcholin).



Lipidové dvojvrstvy na povrchu buňky

#### 4) Sfingolipidy

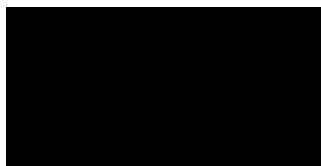
Podobně jako fosfolipidy jsou součástí buněčných membrán, a to hlavně v nervových buňkách a nervové tkáni. Jejich základní stavební součástí je **sfingozin**, nenasycený 18-uhlíkový aminoalkohol. Sfingolipidy vznikají tím, že je na molekulu sfingozinu navázána mastná kyselina, čímž vznikne tzv. ceramid. Na ceramid jsou potom připojeny další molekuly: Fosfátová skupina a jiný aminoalkohol v případě sfingomyelinu, sacharidy v případě cerebrosidů a gangliosidů.



Chemická struktura sfingozinu a ceramidu, a různé odvozené sfingolipidy

## 5) Izoprenoidy

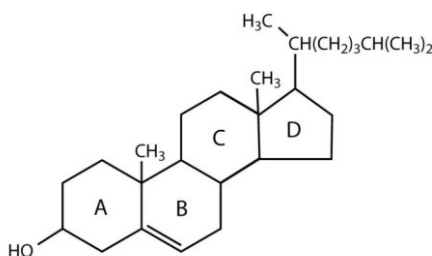
**Izoprenoidy (terpenoidy)** jsou větvené lipidy obsahující dvě až několik tisíc molekul pětiuhlíkatého uhlovodíku izoprenu.



Molekula izoprenu ( $C_5H_8$ )

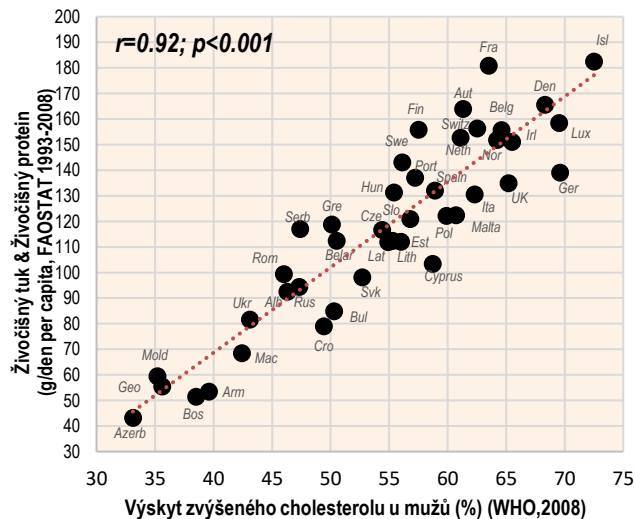
Podle toho, jak jsou molekuly izoprenu kombinovány, rozlišujeme **acyklické izoprenoidy** s otevřeným řetězcem (např. kaučuk tvořený řetězcem 700-5000 izoprenů) a **cyklické izoprenoidy**.

Biologicky nejvýznamnější skupinou cyklických izoprenoidů jsou **steroly**. (Vzhledem k přítomnosti hydroxylové skupiny  $-OH$  mohou být také řazeny mezi alkoholy a díky struktuře molekuly je lze označit i za podskupinu steroidů.) Rostlinné steroly se označují jako **fytosteroly**. Terapeuticky se užívají na snížení celkového cholesterolu a LDL cholesterolu. Nejdůležitějším živočišným steroidem je **cholesterol**, který je má v těle řadu důležitých funkcí – je součástí buněčných membrán a slouží jako substrát (prekurzor) pro syntézu **steroidů** a **žlučových kyselin** (kyselina cholová, aj.).



Molekula cholesterolu ( $C_{27}H_{46}O$ )

**Krevní koncentrace cholesterolu jsou jen částečně závislé na jeho příjmu v potravě**, protože cholesterol z potravy je špatně vstřebáván. Značná část je syntetizována v těle (především v játrech a ve střevě) z mastných kyselin přes acetyl-koenzym A (acetyl-CoA). Krevní koncentrace cholesterolu jsou nejvíce stimulovány příjmem nasycených mastných kyselin, což vysvětluje velmi lineární korelaci mezi příjmem živočišných potravin a krevním cholesterolem.

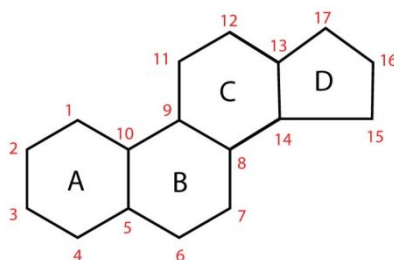


Mezi další cyklické izoprenoidy patří:

- **mentol** („osvěžovač dechu“ v bonbónech)
- **ergosterol** (prekurzor, z něž vzniká v kůži vitamín D působením slunečního záření)
- **v tucích rozpustné vitamíny: A (retinol, karotenoidy, aj.), D (kalcitriol), E (tokoferol) a K (fylochinon)**
- **saponiny** (hořké sloučeniny, které slouží rostlinám k odrazování rostlinožravých živočichů, a mají lékařské využití)
- **steroidní alkaloidy** v rostlinách (např. toxický solanin v bramborách)

## 6) Steroidy

**Steroidy** jsou lipidy odvozené ze sterolů. Ačkoli mezi steroidy lze zařadit i steroly, obvykle jsou pod tímto pojmem chápány **steroidní hormony**, které tvoří chemická struktura zvaná **steran** - čtyři spojené uhlíkové cykly. Jedná se o **androgeny** (mužské pohlavní hormony), **estrogeny** (ženské pohlavní hormony), **progestiny** nebo též **progestageny** (ženské pohlavní hormony) a **kortikoidy** (glukokortikoidy, mineralokortikoidy).

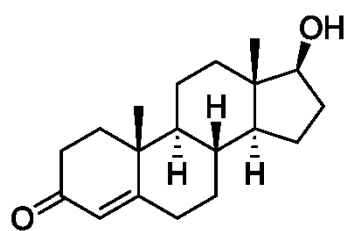


Základní struktura molekuly steroidů (steran) s číslováním jednotlivých uhlíkových atomů

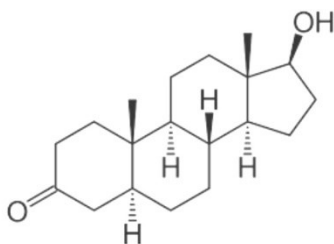
- **Androgeny** jsou odvozeny od základního mužského pohlavního hormonu **testosteronu**, který je zodpovědný za sexuální potenci a rozvoj mužských pohlavních znaků – od vývinu svaloviny, kostí a pohlavních orgánů, zhrubnutí hlasu během puberty až po tělesné ochlupení. Testosteron je syntetizován v Leydigových buňkách varlat. Působením enzymu **5-alfa reduktázy** se v tkáních mění na **dihydrotestosteron (DHT)**, který vykazuje mnohem větší působnost na vývoj pohlavních orgánů a tělesné

ochlupení, a je mj. zodpovědný za androgenní alopecii (mužskou ztrátu vlasů) a rakovinu prostaty. Část testosteronu je enzymem aromatázou přeměněna na estradiol, který hraje roli při dozrávání spermií.

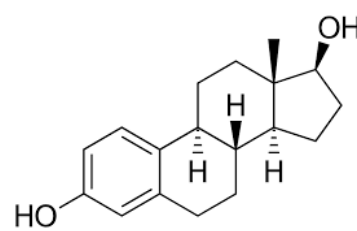
- **Estrogeny** jsou reprezentovány především **estradiolem**. Jsou syntetizovány ve vaječnících a podporují rozvoj ženského reprodukčního systému a sekundárních pohlavních znaků. Od jiných steroidů liší tím, že jejich uhlíkový kruh A je aromatizován (obsahuje střídavě jednoduché a dvojné vazby).
- **Progestiny** reprezentuje v ženském těle **progesteron**, který je zodpovědný za řízení menstruačního cyklu, těhotenství a vývoj embrya. Je syntetizován ve vaječnících. Protože inhibuje ovulaci (uvolnění vajíčka z vaječníků) a tím napodobuje stav během těhotenství, je užíván jako hormonální antikoncepce.



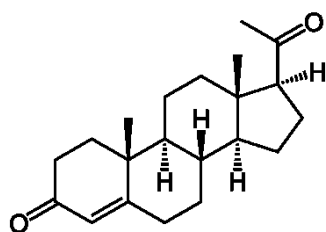
Testosteron (androgen)



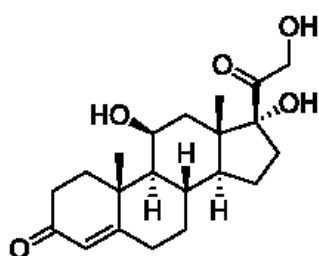
Dihydrotestosteron (androgen)



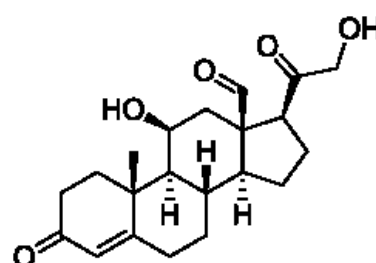
Estradiol (estrogen)



Progesteron (progestin)



Kortizol (glukokortikoid)



Aldosteron (mineralokortikoid)

- **Glukokortikoidy** jsou produkovány v kůře nadledvin. Nejdůležitějším zástupcem této skupiny hormonů je **kortizol**. Je to **antagonist inzulínu** a typický „stresový hormon“ s katabolickými účinky, který je aktivován hlavně v období hladovění. Stimuluje uvolňování mastných kyselin z podkožního tuku, štěpení svalových bílkovin na aminokyseliny a jejich následnou přeměnu na glukózu v játrech (glukoneogeneze).
- **Mineralokortikoidy** se rovněž tvoří v kůře nadledvin. Klíčovým zástupcem je **aldosteron**, který je zodpovědný za hospodaření se sodíkem ( $\text{Na}^+$ ) a draslíkem ( $\text{K}^+$ ), čímž ovlivňuje zadržování (retenci) vody a krevní tlak. Abnormální hladiny aldosteronu mají patologické účinky, protože nepřiměřeně zvyšují hladiny sodíku ( $\text{Na}^+$ ), čímž zadržují vodu, zvyšují krevní tlak a přispívají k rozvoji nemocí ledvin.

### Anabolické steroidy

Testosteron má důležitou roli v lékařství, protože jeho schopnost stimulovat tvorbu svalové hmoty lze využít při katabolických (kachektických) stavech, jakož i na podporu celkové kvality života při jeho celkovém úbytku u starších mužů. Nadměrné koncentrace testosteronu však vedle stimulace svalové hmoty vedou i k nežádoucím vedlejším účinkům: excesivní krevní dihydrotestosteron způsobuje akné a mužskou ztrátu vlasů, a konverze na estrogen (aromatizace) vyvolává gynekomastii (zvětšení prsních žláz). Dochází i k zadržování vody v těle a následně i ke zvýšení krevního tlaku. Z toho důvodu byly v 50. letech minulého století uvedeny na trh syntetické anabolické steroidy, které tyto vedlejší účinky potlačují.

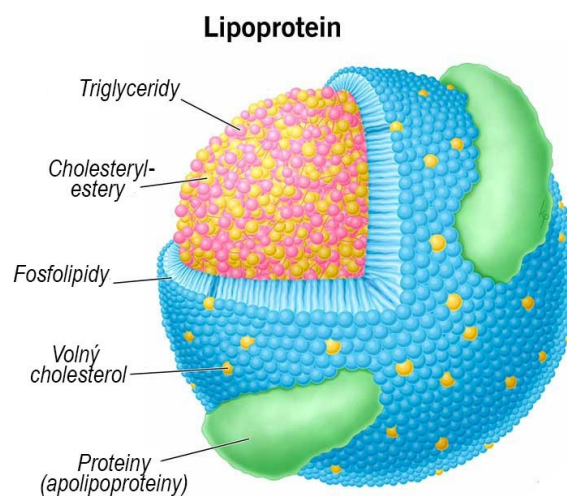
Jejich základem jsou tři hlavní molekuly androgenů:

- **Testosteron.** Steroidy odvozené z testosteronu jsou velmi účinné, avšak náchylné k aromatizaci a zpravidla i k významným androgenním vedlejším účinkům. Patří mezi ně i vůbec nejznámější anabolický steroid *methandienon* (*methandrostenolon*), známý pod obchodním názvem Dianabol. Dalším známými steroidy z této skupiny jsou veterinární *boldenon* (Equipoise) a *chlorodehydromethyltestosteron* neboli Turinabol (steroid speciálně vyvinutý v bývalé NDR).
- **Dihydrotestosteron.** Tyto steroidy se nemohou měnit na estrogen a většinou nezpůsobují významnou retenci vody, takže jsou používány k získání esteticky vyrýsovaného vzhledu. Nejznámějšími reprezentanty této skupiny jsou *oxandrolon* (šetrný a účinný steroid, který je užíván i u dětí), *stanozolol* a *oxymetholon*.
- **Nortestosteron.** Typickým reprezentantem je *nandrolon* (*19-nortestosteron*), který je působením 5-alfa reduktázy přeměněn na steroid s velmi nízkými androgenními účinky. Příbuznou látkou je i podstatně agresivnější *trenbolon* a jeho orální derivát *methyltrienolon* (*metribolon*), který byl kdysi užíván řeckými sportovci. Američtí atleti v nedávné době hromadně zneužívali mimořádně účinný *tetrahydrogestrinon* (*THG*), derivát nortestosteronu vyvinutý chemikem Patrickem Arnoldem.

Anabolické steroidy lze podle způsobu podávání rozdělit na orální a injekční. Orální steroidy (*methandienon*, *oxandrolon*, *stanozolol*, aj.) bývají tzv. 17-alkylovány, což znamená, že na 17. uhlíku je přidána alkylová skupina  $\text{CH}_3$ , která zabraňuje předčasnému rozkladu steroidu v játrech. To však vede k velkému zatížení jater. Užívání orálních steroidů je rovněž spojeno s výrazně negativními změnami hladin cholesterolu (pokles HDL cholesterolu, vzestup LDL cholesterolu). Injekční steroidy jsou z tohoto pohledu více šetrné, ale mohou mít další specifické vedlejší účinky (např. *nandrolon* a *trenbolon* jsou spojovány s poškozením ledvin).

## 7) Lipoproteiny

Lipoproteiny jsou sloučeniny lipidů a proteinů, které slouží jako transportní médium lipidů v organismu. Jejich struktura s fosfolipidovým obalem, proteiny, volným cholesterolem a triglyceridy & cholesterylestery (sloučeninami cholesterolu a mastných kyselin) uvnitř připomíná micelu.

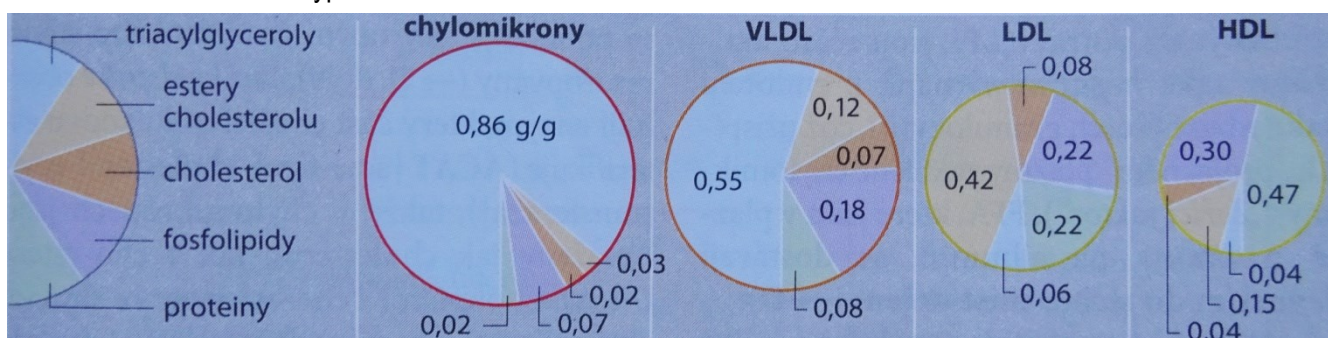


Lipoproteiny se dělí na několik typů, které se navzájem liší hustotou. Hustota lipoproteinů je determinována vzájemným poměrem lipidů a proteinů (přičemž hustota lipidů je menší než u proteinů).



- **Chylomikrony** jsou největší lipoproteiny s nejnižší hustotou. Jsou syntetizovány ve střevě, odkud přenášejí triglyceridy, cholesteryl estery a volný cholesterol do lymfatického systému a poté do krve, která je následně distribuuje do srdce, svalů, podkožního tuku a prsních žláz. Chylomikrony zbavené lipidů poté putují do jater, kde jsou použity k syntéze VLDL a IDL.
- **VLDL: lipoproteiny s velmi nízkou hustotou.** Jsou syntetizovány v játrech z chylomikronů a slouží primárně k přepravě endogenně syntetizovaných lipidů. Když jsou zbaveny triglyceridů, vznikají z nich IDL.
- **IDL: lipoproteiny se střední hustotou.** Vznikají z VLDL, když jsou zbaveny triglyceridů, a vracejí se do jater, kde je jich část použita k opětovné syntéze VLDL a část k syntéze LDL.
- **LDL: lipoproteiny s nízkou hustotou.** Vznikají v játrech z IDL a obsahují velké množství cholesterolu a cholesteryl esterů, které dopravují do tkání. Dělí se do dvou podtypů: Větší typ A s nízkou hustotou a drobnější typ B s vysokou hustotou. Protože menší částice typu B snadněji pronikají do epitelu cévních stěn, jsou spojeny s vysokým kardiovaskulárním rizikem a korelují také s vyššími hladinami krevních triglyceridů. Podtypy A a B se však v běžných biomedicínských testech nerozlišují, protože jejich laboratorní odlišení je drahé.
- **HDL: lipoproteiny s vysokou hustotou.** Jsou to nejmenší lipoproteiny, s největším podílem proteinů. Vznikají v játrech a ve střevě. Hrají klíčovou roli v odstraňování nadbytečného cholesterolu z buněk. Ten je potom buď eliminován v játrech nebo transportován do žláz produkujících steroidní hormony.

Proteinové složky lipoproteinů se označují jako **apolipoproteiny**. Jsou syntetizovány ve střevě a hlavně v játrech. Dělí se na devět hlavních typů.



**Poměr transportovaných lipidů v různých typech lipoproteinů.**  
Pozn.: Tabulka níže pochází z jiného zdroje a některá čísla se mírně liší.

Plazmové lipoproteiny					
	chylomikron	VLDL	IDL	LDL	HDL
Hustota (g/ml)	<0.95	0.950–1.006	1.006–1.019	1.019–1.063	1.063–1.210
Složky (% suché hmotnosti)					
Protein	2	7	15	20	40–55
Triglyceridy	83	50	31	10	8
Volný cholesterol	2	7	7	8	4
Cholesteryl estery	3	12	23	42	12–20
Fosfolipidy	7	20	22	22	22
Typy obsažených apolipoproteinů	Apo A-I Apo A-II Apo B-48	Apo B-100 Apo C-I Apo C-II	Apo B-100 Apo C-I Apo C-II	Apo B-100	Apo A-I Apo A-II Apo C-I

**Apo C-I**  
**Apo C-II**  
**Apo C-III**

**Apo C-III**  
**Apo E**

**Apo C-III**  
**Apo E**

**Apo C-II**  
**Apo C-III**  
**Apo D Apo E**

---

*Zdroj:* Britannica. Podle Christopher K. Mathews, K.E. van Holde, and Kevin G. Ahern, *Biochemistry*, 3rd ed. (2000), Table 18.1.