

Metabolismus a biochemie trávení lipidů

doc. MUDr. Lucie Muchová, Ph.D.

Ústav lékařské biochemie a laboratorní diagnostiky

Cíl kapitoly:

Seznámit se s fyziologicky významnými lipidy

Pochopit vztah mezi strukturou a vlastnostmi lipidů

Porozumět významu jednotlivých tříd lipidů v patofyziologických procesech organismu

Klíčová slova: mastné kyseliny, triacylglyceroly, cholesterol, žlučové kyseliny, cholesterol

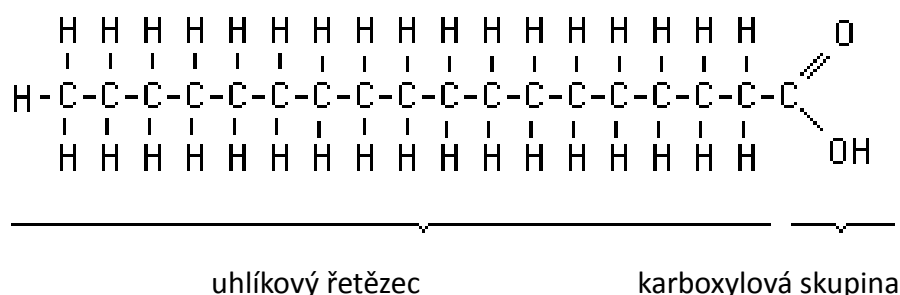
Čas na prostudování: 90 minut

Lipidy jsou heterogenní skupina sloučenin, které jsou relativně nerozpustné ve vodě a dobře rozpustné v nepolárních rozpouštědlech. Lipidy dělíme na 1. jednoduché (acylglyceroly a vosky), 2. složené, mezi které patří například fosfolipidy, glykolipidy, gangliosidy nebo lipoproteiny a 3. prekurzory odvozené lipidy, kam počítáme například mastné kyseliny, glycerol, steroidy a v tucích rozpustné vitamíny a hormony.

Lipidy jsou důležitou složkou potravy jak pro svou vysokou energetickou hodnotu, tak i obsah esenciálních mastných kyselin a vitamínů rozpustných v tucích. V těle slouží lipidy jako zdroj energie. Tuková tkáň představuje 1/5 tělesné váhy, tj. 570000kJ (zásoba na 3 měsíce kompletního hladovění). Z lipidů se rovněž syntetizují fyziologicky důležité látky, jako jsou signální molekuly (steroidy, hormony, vit. D, prostaglandiny, kofaktory enzymů), komponenty plazmatické membrány nebo žlučové kyseliny. Lipidy jsou rovněž nezbytné k absorpci vitamínů rozpustných v tucích (A, D, E, K) a mají funkci ochrannou (před mechanickým poškozením (ledviny), izolace (tepelná- kůže, myelinové pouzdro- nervy), zábrana ztráty vody).

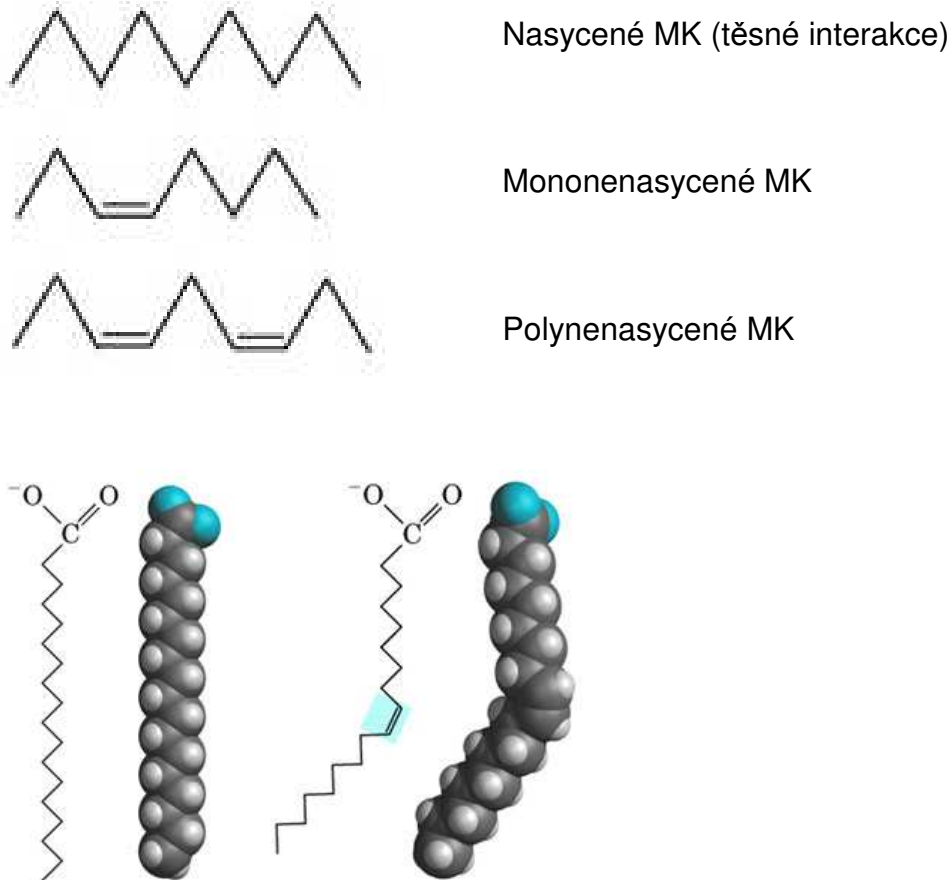
Mastné kyseliny (MK) jsou alifatické karboxylové kyseliny. Vyskytují se především jako estery v přírodních tucích a olejích, ale mohou být přítomny i v neesterifikované podobě jako tzv. **volné mastné kyseliny**. Mastné kyseliny v přírodních tucích obsahují zpravidla sudý počet uhlíků, protože jsou syntetizovány z dvouuhlíkových podjednotek. Mají **amfipatickou povahu** (obsahují jak hydrofilní část (karboxylová skupina), tak část hydrofobní (uhlíkatý řetězec)). Působí jako **tenzidy**, látky snižující povrchové napětí. Jejich rozpustnost ve vodě klesá s délkou uhlíkového řetězce. Volné mastné kyseliny ve vodném prostředí **disociují**, snadněji disociují MK s kratším uhlíkovým řetězcem. Jsou relativně dobře rozpustné v nepolárních rozpouštědlech.

Obr. 1. Obecný vzorec mastné kyseliny



nasycených mastných kyselinach, nebo obsahuje jednu (mononenasycené) nebo více dvojných vazeb (polynenasycené mastné kyseliny).

Obr.2. Rozdělení mastných kyselin podle nasycenosti



Číslování uhlíků začíná od uhlíku nesoucího karboxylovou skupinu – tj. C1. **α uhlík** se nachází v těsném sousedství karboxylové skupiny – tj. C2. **ω uhlík** je poslední uhlík mastné kyseliny – například u kyseliny palmitové tj. C16. ω 3 značí třetí uhlík od konce.

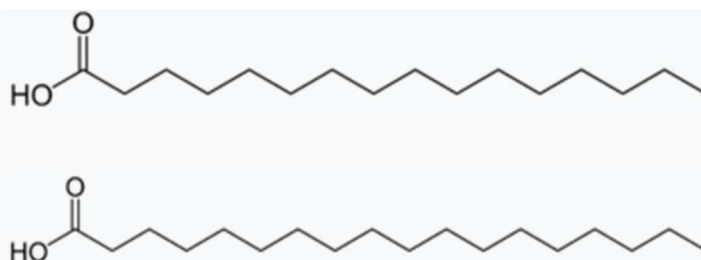
Nasyčené mastné kyseliny:

Neobsahují žádnou dvojnou vazbu, mají vyšší bod tání než nenasycené. Body tání mastných kyselin se zvyšují s délkou řetězce a klesají s přibývajícím počtem dvojných vazeb. Tuky obsahující především nasyčené mastné kyseliny zaujímají za pokojové teploty pevné skupenství. Mezi potraviny s vysokým obsahem nasyčených mastných kyselin patří především maso a masné produkty (salámy, paštiky, sádlo), mléko a mléčné produkty (smetana, sýry), zpracovávané potraviny (koláče, sladké pečivo, brambůrky), kokosový a palmový olej.

Tabulka 1. Nasyčené mastné kyseliny

Počet uhlíků	Triviální název	Systematický název
C4	Máselná	Butanová
C6	Kapronová	Hexanová
C8	Kaprylová	Oktanová
C10	Kaprinová	Dekanová
C12	Laurová	Dodekanová
C14	Myristová	Tetradekanová
C16	Palmitová	Hexadekanová
C18	Stearová	Oktadekanová
C20	Arachová	Eikosanová
C22	Behenová	Dokosanová
C24	Lignocerová	Tetrakosanová
C26	Cerotová	Hexakosanová

Kyselina palmitová



Nadměrná konzumace nasycených mastných kyselin vede k onemocnění srdce a cév a zvýšení sérových koncentrací cholesterolu.

(Nahrazení 5% E z nasycených tuků sacharidy= snížení kardiovaskulárního rizika o 17%;
Nahrazení 5% E z nasycených tuků nenasycenými= snížení kardiovaskulárního rizika o 40%;
ČR- o 5% tuků z celkového kalorického příjmu víc, než je doporučených 20-35%)

Mononenasycené mastné kyseliny:

Mononenasycené MK obsahují ve své molekule právě jednu dvojnou vazbu. Jsou většinou tekuté, po vychlazení tuhnou.

Mezi mononenasycené MK patří kyseliny palmitoolejová (C16), olejová (C18) (*proti přepalování tuků*), elaidová (C12), eruková (C22) (*toxická, bezerukové odrůdy řepky, max. 5%*).

Nejvyšší obsah mononenasycených MK mají olivový, řepkový, sezamový, ořechový olej. Mohou mít pozitivní účinky na kardiovaskulární systém, pokud jsou konzumovány střídavě a nahradí nasycené a trans mastné kyseliny.

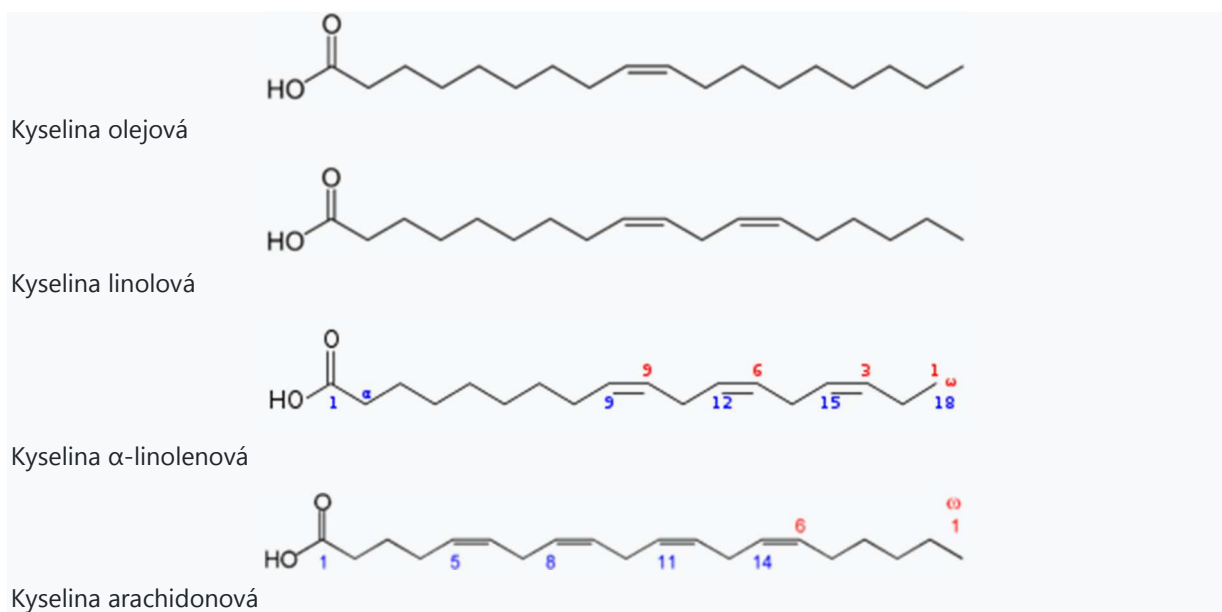
Polynenasycené mastné kyseliny (PUFA):

Polynenasycené mastné kyseliny, známé též pod zkratkou PUFA (z anglického polyunsaturated fatty acids) obsahují více než 1 dvojnou vazbu. Jsou typicky tekuté při pokojové teplotě, nejvíce jich obsahuje slunečnicový, světlicový, kukuřičný, sojový olej, rybí tuk (losos, makrela, pstruh...), vlašské ořechy, tofu.

Snižují hladiny cholesterolu v krvi, snižují riziko onemocnění srdce, snižují riziko mrtvice.

Tabulka 2: Nenasycené mastné kyseliny:

Počet uhlíků a dvojných vazeb	Triviální název	Omega série	Poloha dvojných vazeb (všechny cis, s 1 výjimkou)
C16:1	Palmitolejová	$\omega 7$	Δ^9
C18:1	Olejová	$\omega 9$	Δ^9
C18:1	Elaidová	$\omega 9$	Δ^9 (trans)
C24:1	Nervonová	$\omega 9$	Δ^{15}
C18:2	Linolová	$\omega 6$	$\Delta^{9, 12}$
C18:3	α-linolenová	$\omega 3$	$\Delta^{9, 12, 15}$
C18:3	γ -linolenová	$\omega 6$	$\Delta^{6, 9, 12}$
C20:4	Arachidonová	$\omega 6$	$\Delta^{5, 8, 11, 14}$



Esenciální mastné kyseliny jsou MK, které je nezbytné přijímat s potravou, protože lidské tělo není schopné je vytvořit. Patří sem MK s několika dvojnými vazbami (např. kyselina linolová, linolenová a arachidonová). Za C9 není možné v lidském těle vnést dvojnou vazbu a proto nejsme schopni syntetizovat **$\omega 3$ a $\omega 6$ nenasycené MK**. Kyselina arachidonová není však nezbytnou součástí potravy, protože ji naše tělo dokáže syntetizovat z jiných esenciálních MK (kyselina linolová a linolenová).

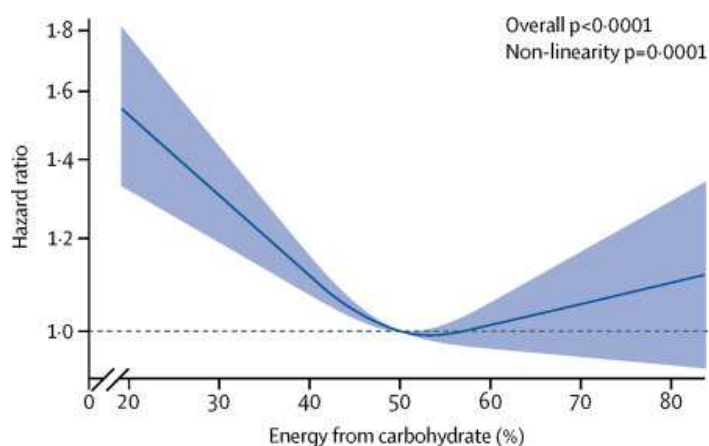
Mezi potraviny bohaté na esenciální MK patří především ryby, rostlinné oleje, ořechy (hlavně vlašské), lněné semínko (lněný olej), listová zelenina, některé živočišné tuky (zvířata živící se trávou...).

Esenciální MK jsou považovány za zdraví prospěšné fyziologicky významné molekuly. Jsou součástí membrán, buněčné signalizace, srážení krve, zodpovídají za kontrakci a relaxaci cév, zánět a účastní se regulace funkce genů. Jejich konzumace je spojována s prevencí onemocnění srdce, mrtvice, některých kožních a zánětlivých chorob a byly popsány i protirakovinné účinky.

Studie PURE: Podle studie PURE (Associations of fats and carbohydrate intake with cardiovascular disease and mortality in 18 countries from five continents (PURE): a prospective cohort study (JAMA 2017)), které se zúčastnilo 135335 lidí z 18-ti zemí byl vysoký příjem sacharidů i asociován s vyšší úmrtností, zatímco příjem tuků (i nasycených) byl spojen s nižší úmrtností.

Jiná studie z r.2018 (Dietary carbohydrate intake and mortality: a prospective cohort study and meta-analysis (JAMA 2018)) s účastí 15 428 probandů především z USA zvyšoval jak nízký, tak i vysoký přísun sacharidů úmrtnost. Pokud byla energie u nízkého příjmu sacharidů nahrazena živočišnými tuky, úmrtnost se zvyšovala, pokud rostlinnými, tak se snižovala.

Obr. 3. Vztah mezi příjmem sacharidů a úmrtností (studie *Dietary carbohydrate intake and mortality: a prospective cohort study and meta-analysis (JAMA 2018)*)



Trans nenasycené mastné kyseliny: U nenasycených MK existuje cis/trans izomerie, a to díky přítomnosti dvojných vazeb, kolem kterých nemůže docházet k volné otáčivosti atomů. Tato izomerie závisí na orientaci atomů kolem osy procházející dvojnou vazbou.

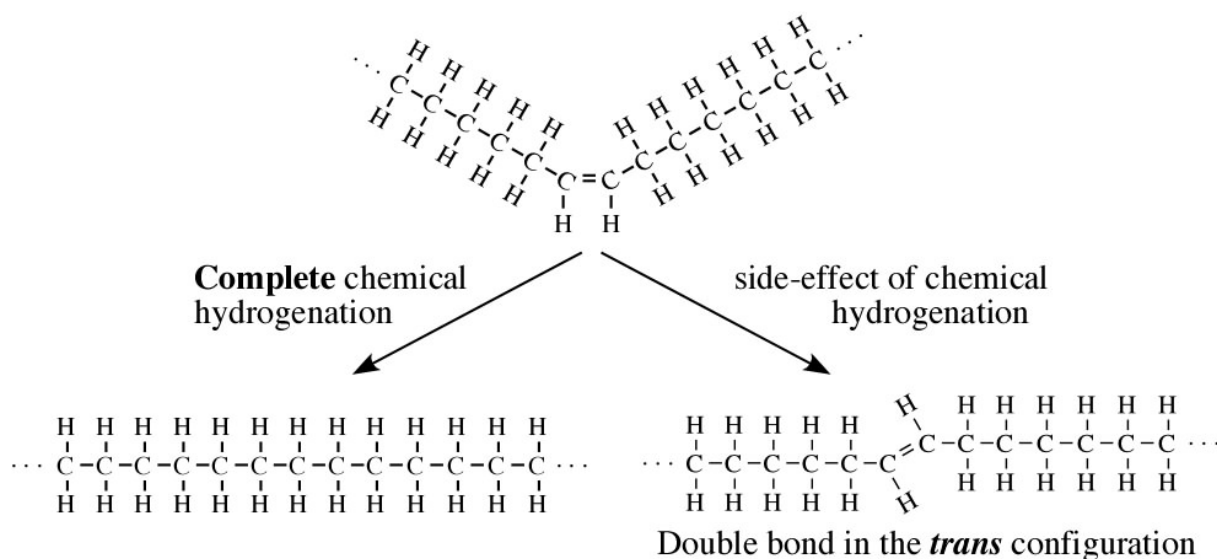
Trans: každý zbytek MK se nachází na opačné straně dvojných vazeb, např. kyselina elaidová.

Cis: oba zbytky MK se nacházejí na stejné straně dvojné vazby, např. kyselina olejová.

Většina nenasycených MK má dvojnou vazbu v cis-konfiguraci. Cis-konfigurace je významná pro prostorové uspořádání molekul lipidů v buněčných membránách, neboť MK s dvojnými vazbami v cis-konfiguraci zaujímají více prostoru a to činí membrány fluidnější.

MK s dvojnými vazbami v trans-konfiguraci se přirozeně vyskytují v malém množství v mase a mléce, především však vznikají uměle během procesu ztužování tuků (ztužené a částečně ztužené tuky) a během přepalování tuků při smažení. Se ztuženými tuky se dobře manipuluje, jsou levné, dlouho vydrží a dobře chutnají.

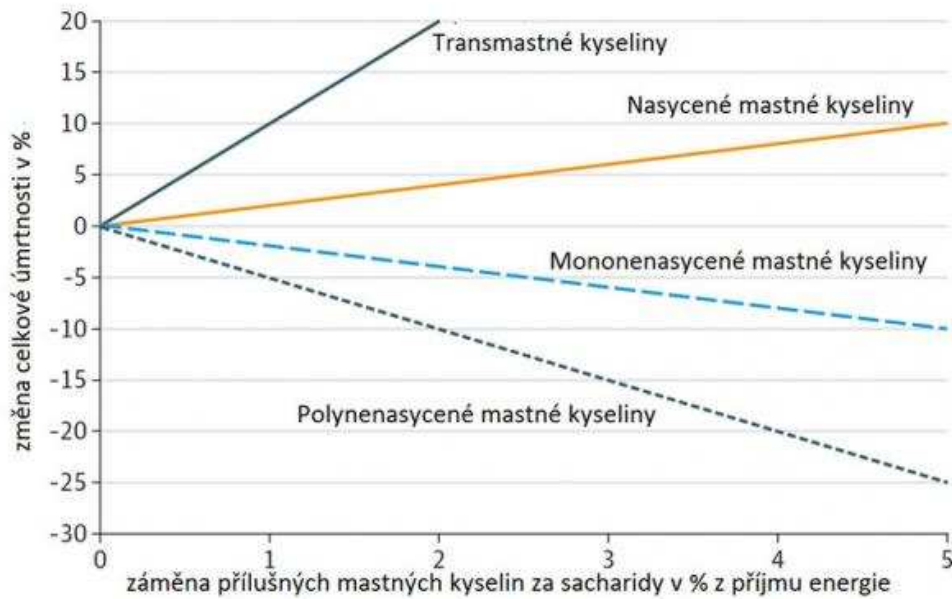
Obr. 4 Proces ztužování tuků a vznik trans- nenasycených MK



(Zdroj: <http://www.indiana.edu/~oso/Fat/trans.html>)

Trans- nenasycené MK jsou škodlivější než nasycené tuky, zvyšují riziko rozvoje chorob srdce a cév a cukrovky, v některých zemích je již zákonem omezeno jejich používání. Denní příjem by měl být do 2,0g (v ČR neexistují limity, jen doporučení), běžný spotřebitel nezná účinky trans mastných kyselin na zdraví. Dle nařízení EU č. 1169/2011 o poskytování informací spotřebitelům je zakázáno uvádět obsah trans MK v potravinách. Hlavním zdrojem trans-nenasycených MK jsou **částečně ztužené tuky** (v ČR hlavně jemné a trvanlivé pečivo, polevy, cukrovinky, sójové nápoje). V r. 1992 obsahovaly margaríny až 23% trans-nenasycených MK, v r. 2002 díky nové technologii ztužování tuků již jen 0,17%.

Obr. 5. Vztah mezi příjmem mastných kyselin a mortalitou

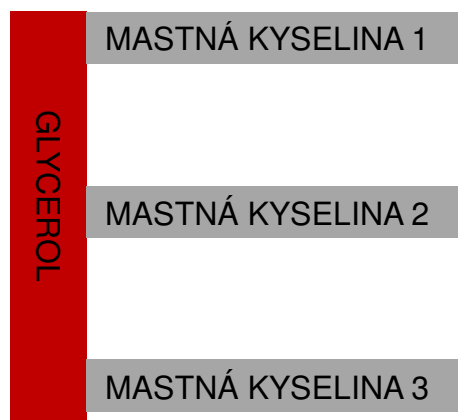


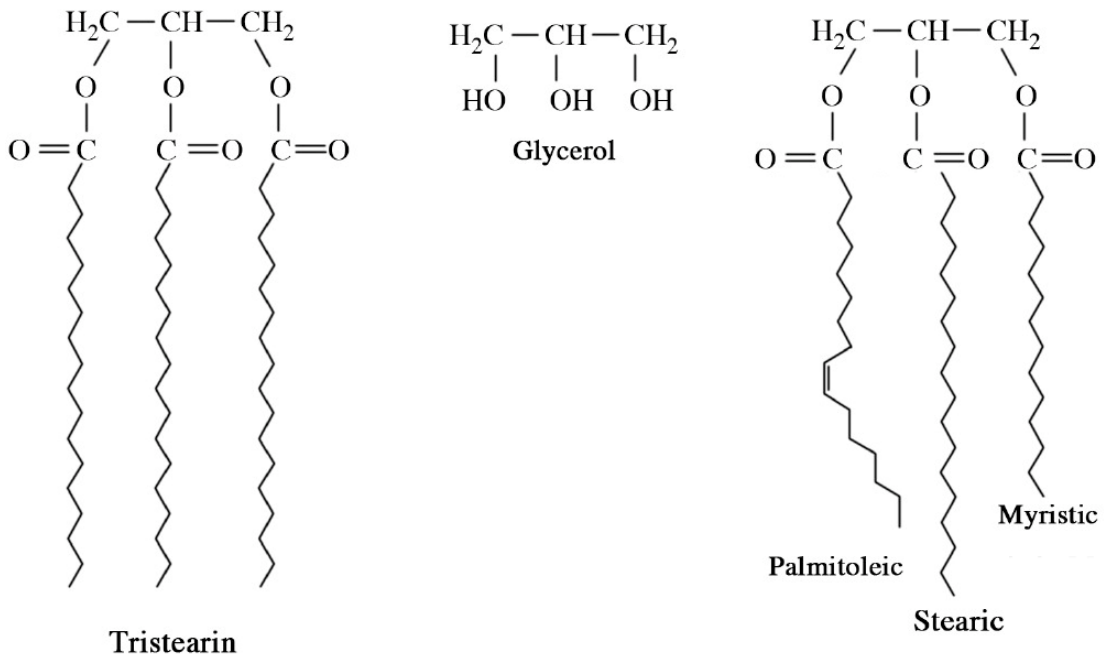
Zdroj: Wang DD et al. Association of Specific Dietary Fats with Total and Cause-Specific Mortality. JAMA Int Med 2016

Doporučení AHA (American Heart Association): Většina tuků v potravě by měla být mono- a polynenasycených, max. 5-6% kalorií by mělo pocházet z nasycených tuků (↓ cholesterol). Snažte se nahradit trans a nasycené tuky mono- a polynenasycenými!

Triacylglyceroly (triglyceridy, TAG, TG) jsou hlavní zásobní formou mastných kyselin. Jedná se o estery glycerolu s mastnými kyselinami.

Obr. 6. Schéma struktury glycerolu



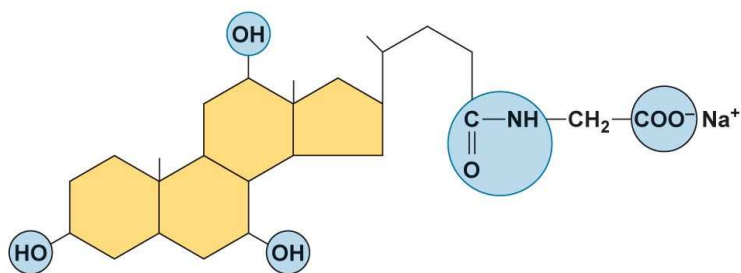


Trávení lipidů

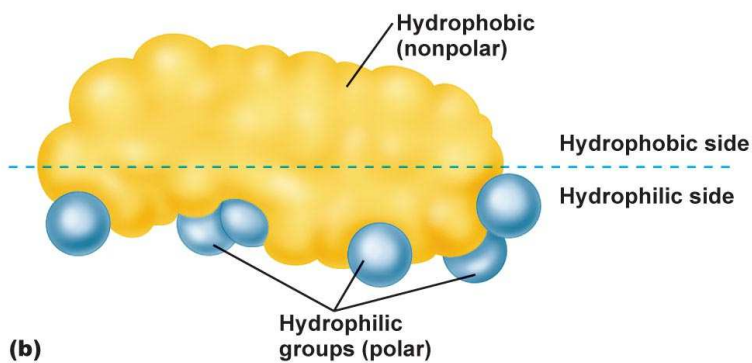
Problémem trávení lipidů je, že nejsou mísitelné s vodou a jsou příliš velké pro přímou absorpci. Proto musí během procesu trávení prodělat **emulgaci** a **lipolýzu**.

Emulgace probíhá v tenkém střevě za účasti amfifilních molekul, **žlučových kyselin**, které obsahují jak hydrofobní, tak hydrofilní část.

Obr. 7. Amfifilní charakter žlučových kyselin (žlutě hydrofobní, modře hydrofilní část)



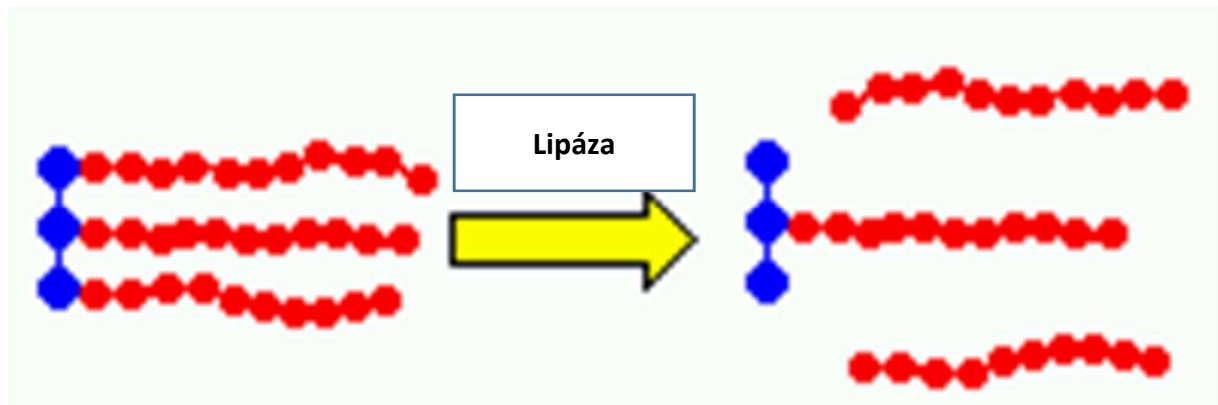
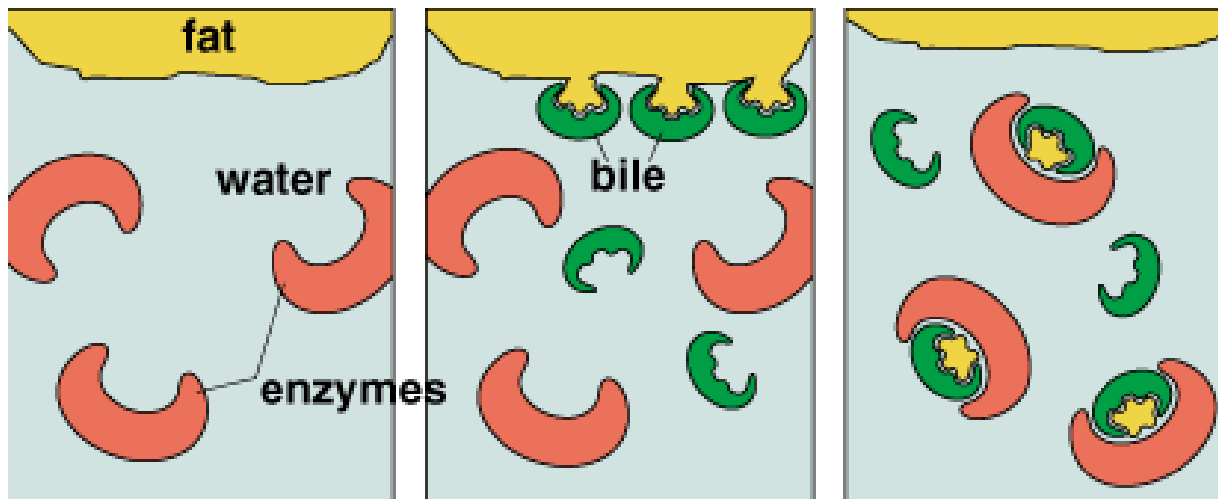
(a)



(b)

Emulgace je nezbytná i během procesu **lipolýzy**, kdy prostřednictvím pankreatické lipázy dochází ke štěpení esterové vazby na 1. a 3. uhlíku triacylglycerolu. K absorpci pak dochází rovněž v tenkém střevě. Uvnitř enterocytu se znovu rekonstruuje TAG, ty jsou dále do krevního oběhu transportovány pomocí lipoproteinových částic, **chylomiker**.

Obr. 8. Lipolýza



Lipoproteiny

(zdroj: [www. Wikiskripta.eu](http://www.Wikiskripta.eu))

Lipoproteiny jsou částice sférického tvaru tvořené jádrem a obalem.

V *jádře* lipoproteinové částice jsou soustředěny hydrofobní triacylglyceroly a estery cholesterolu.

Obal je tvořen z molekul polárnějších fosfolipidů a neesterifikovaného cholesterolu a jedné nebo více molekul specifických bílkovin označovaných apolipoproteiny, zkráceně apoproteiny. Vazba lipidů na proteiny je nekovalentní, takže může snadno docházet k výměně apoproteinů a lipidů mezi jednotlivými částicemi. Apoproteiny označujeme velkými písmeny a pro další členění jsou vyhrazeny římské a arabské číslovky, např. apo A I, apo A II, apo B 100, apo B 48.

Lipoproteinové částice v krvi se liší obsahem lipidové složky a druhem apoproteinu.

K dělení lipoproteinů lze využít buď rozdílného obsahu lipidové složky nebo rozdílné velikosti náboje bílkoviny.

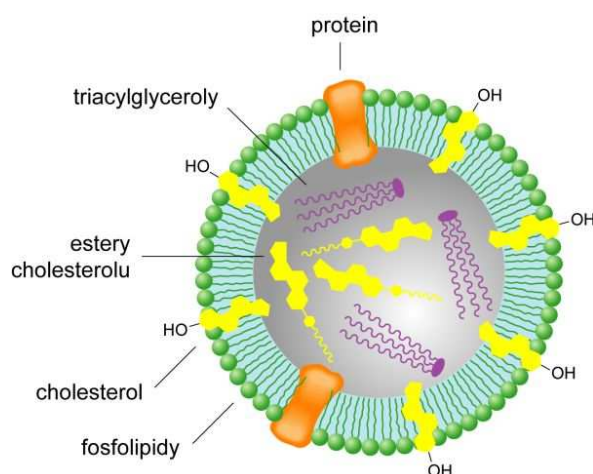
V prvním případě se lipoproteiny dělí ultracentrifugací na základě rozdílné hustoty závislé na poměru mezi lipidovou a bílkovinnou složkou. Pomocí ultracentrifugace, která je dostupná spíše na výzkumných pracovištích, rozlišujeme tyto základní typy lipoproteinů:

- chylomikrony;
- lipoproteiny o velmi nízké hustotě (very low density lipoprotein – VLDL);
- lipoproteiny o střední hustotě (intermediate density lipoprotein – IDL);
- lipoproteiny o nízké hustotě (low density lipoprotein – LDL);
- lipoproteiny o vysoké hustotě (high density lipoprotein – HDL).

V praxi se však více využívá k dělení lipoproteinových částic elektroforézy, která je umožněna rozdílnou velikostí náboje bílkovin lipoproteinů. Podle elektroforetické pohyblivosti dělíme lipoproteiny na tyto třídy:

- chylomikrony;
- α -lipoproteiny (odpovídají HDL);
- pre- β -lipoproteiny (odpovídají VLDL);
- β -lipoproteiny (odpovídají LDL).

Obr. 9 Struktura lipoproteinové částice



Zdroj: https://vydavatelstvi-old.vscht.cz/knihy/uid_es-002_v1/hesla/lipoproteiny_krevni.html

Chylomikrony jsou největší lipoproteinové částice s nejnižší hustotou. Při elektroforéze zůstávají na startu a při ultracentrifugaci flotují („plavou“ na povrchu). TG představují téměř 90 % z celkové lipidové složky chylomikronů; zbytek tvoří fosfolipidy, cholesterol a jeho estery s vyššími mastnými kyselinami. Na bílkoviny připadá kolem 1–2 %. Chylomikrony jsou produktem enterocytů a slouží k transportu triacylglycerolů potravy ze střeva přes lymfatické cesty do krevního řečiště. Působením lipoproteinové lipasy v endotelu kapilár se z TG chylomikronů uvolňují mastné kyseliny, které jsou dodávány svalům a tukovým buňkám. Součástí chylomikronů je i exogenní cholesterol, který se touto cestou dostává do organismu. Za normálních okolností nejsou po 12 hodinovém lačnění v séru prokazatelné. Jejich přítomnost v krvi se projeví makroskopicky mléčným zkalením séra, které označujeme jako chylózní. Pokud necháme sérum přes noc v lednici, chylomikrony vystoupí na povrch a vytvoří mléčně zkalenou vrstvu na povrchu séra chylomikronový test.

VLDL (very low density lipoproteins) vznikají především v játrech. Mají o něco vyšší hustotu než chylomikrony. Na lipidovou složku připadá okolo 90 % a na proteiny 10 %. Jádro VLDL je bohaté na triacylglyceroly, které jsou syntetizované v hladkém endoplazmatickém retikulu hepatocytů. V menší míře je do nově vzniklých VLDL zabudován i cholesterol, další molekuly esterů cholesterolu potom získávají od HDL částic v cirkulaci. Úkolem VLDL je poskytovat mastné kyseliny uvolněné z triacylglycerolů působením lipoproteinové lipasy svalům a tukovým buňkám. Po hydrolýze triacylglycerolů lipoproteinovou lipasou se VLDL mění na IDL a poté na LDL. Přítomnost VLDL v séru se projeví opalescencí.

LDL (low density lipoproteins) vznikají z IDL částic po hydrolýze zbývajících triacylglycerolů jaterní lipasou, ale některé jsou uvolňovány do cirkulace játry. Jediným apoproteinem na povrchu je apoprotein B-100. Lipidová složka v nich tvoří téměř 80 % s převažujícím obsahem esterů cholesterolu. Bílkoviny jsou zastoupeny 20%. Proto stoupá i hustota LDL. Jejich hlavní funkcí je transport cholesterolu k buňkám. Odstranění LDL z plazmy se uskutečňuje pomocí LDL receptorů, které jsou lokalizovány na všech buňkách, nejvíce na povrchu hepatocytů. U zdravých osob jsou v LDL částicích obsaženy asi 2/3 celkového cholesterolu. Tato frakce se činí zodpovědnou za usazování cholesterolu v subendoteliálním prostoru cév a tím za rozvoj aterosklerotických změn (LDL; "zlé"; "špatné" částice). Cholesterol v LDL částicích (LDL-cholesterol) se významně uplatňuje při vzniku aterosklerózy. V důsledku zvýšené hladiny LDL v krvi dochází k jejich zvýšenému průniku cévním endotelem do intimy arteriální stěny, kde je různým způsobem modifikována jejich struktura. Modifikované LDL jsou pohlcovány makrofágy, které se přeměňují na tzv. pěnové buňky. Tento děj je první fází aterosklerotického procesu. Nejvyšší aterogenitou se vyznačují malé denzní LDL, které jsou menší a hustší s průměrem pod 25,5 nm a snadno pronikají endotelem, mají sníženou afinitu k LDL receptorům a snadno podléhají různým přeměnám. Výskyt malých denzních LDL je spojen se zvýšenou koncentrací triacylglycerolů. Stanovení LDL-cholesterolu je zvláště doporučováno pro vyhodnocení rizika aterosklerózy při zvýšených hladinách celkového cholesterolu a je základem pro rozhodnutí o způsobu a monitorování léčby.

HDL (high density lipoproteins) zajišťují odsun nadbytečného cholesterolu do jater. Jsou produkovány játry, v menší míře i střevem jako tzv. "nascentní" HDL diskovitěho tvaru, tvořené pouze fosfolipidovou dvojrůstvou a apoproteiny. Diskovité HDL částice odnímají cholesterol periferním buňkám a přeměňují se na HDL sférického typu bohatého na

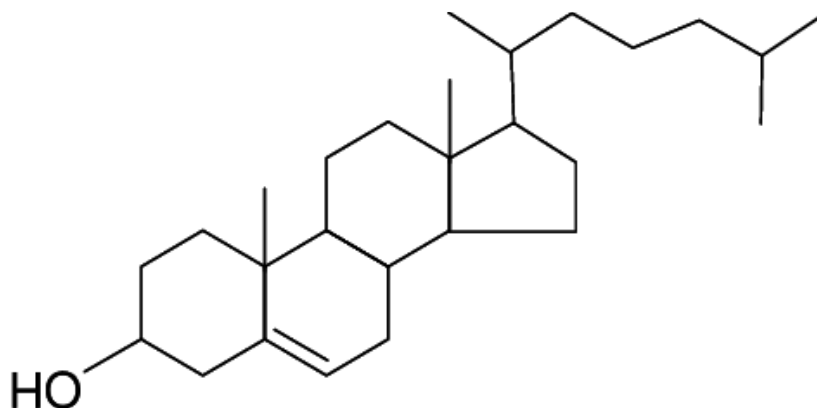
cholesterol, který je transportován do jater. HDL jsou jako jediné schopny z membrán buněk v subendotelu vyvazovat volný cholesterol a transportovat ho zpátky do jater. Enzym **lecitincholesterolacyltransferasa (LCAT)** esterifikuje cholesterol na estery cholesterolu, které se pak dostávají do jádra lipoproteinové částice. Tímto způsobem jsou HDL částice zapojeny do zpětného (reverzního) transportu cholesterolu z periférie do jater, odkud je jako takový vylučován do střeva (HDL cholesterol není využíván pro syntetické či stavební účely). Z toho vyplývá antiaterogenní působení HDL částic (HDL; "hodné"; "dobré" částice). Zvýšená koncentrace HDL-cholesterolu snižuje riziko aterosklerotických změn artérií a naopak snížená koncentrace pod 1,0 mmol/l představuje zvýšené riziko pro rozvoj aterosklerózy. Zvýšení populačního průměru o 10 % sníží výskyt ischemické choroby srdeční o 30–40 %.

Lipoprotein (a) je lipoprotein, jehož koncentrace v krvi je dána geneticky. Podobá se částicím LDL, ale na rozdíl od nich je k apoproteinu B100 disulfidovou vazbou připojen ještě zvláštní apoprotein (a), který je částečně homologní s plazminogenem. Zpomaluje a brání aktivaci plasminogenu na plasmin a tím blokuje odbourávání fibrinu. Proto má zvýšené koncentrace Lp(a) proaterogenní účinek a koncentrace nad 0,3 g/l jsou pokládány za nezávislý faktor zvyšující riziko aterosklerózy.

Cholesterol

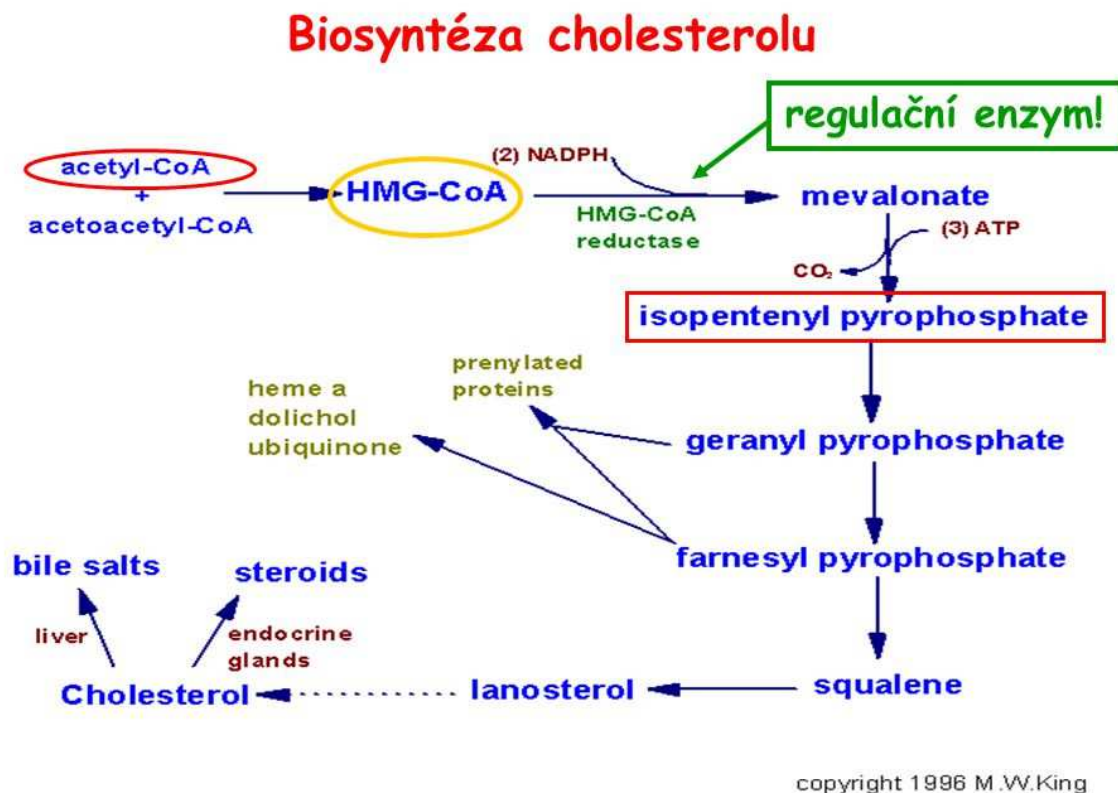
Cholesterol patří mezi nejznámější steroidy. Je prekurzorem dalších steroidních molekul jako například žlučových kyselin, nadledvinových a pohlavních hormonů, vitamínů D, srdečních glykosidů, sitosterolů a některých alkaloidů. Jeho nadbytek je spojen s rozvojem aterosklerózy.

Obr. 10. Struktura cholesterolu



Cholesterol je přítomen ve všech tělesných buňkách, především v nervové tkáni. Je významnou složkou plazmatické membrány a lipoproteinů krevní plazmy. Často se vyskytuje ve spojení s mastnými kyselinami jako cholesterylester.

Obr. 11. Biosyntéza cholesterolu



Obrázek převzat z <http://web.indstate.edu/thcme/mwking/cholesterol.html> (leden 2007)

Souhrn

1. Společnou vlastností lipidů je jejich relativní nerozpustnost ve vodě a dobrá rozpustnost v nepolárních rozpouštědlech.
2. Mezi fyziologicky nejvýznamnější lipidy patří mastné kyseliny, jejich estery a cholesterol.
3. Mastné kyseliny jsou buď nasycené nebo obsahují jednu nebo více dvojných vazeb. Jejich bod tání se zvyšuje s délkou řetězce a snižuje se stupněm nenasycenosti.
4. V potravě bychom se měli snažit redukovat trans- nenasycené a nasycené mastné kyseliny a nahrazovat je mono- a polynenasycenými tuky.
5. Lipoproteinové částice slouží k transportu lipidů krevním řečištěm.
6. Biologicky nejvýznamnějším steroidem je cholesterol.

Použitá literatura:

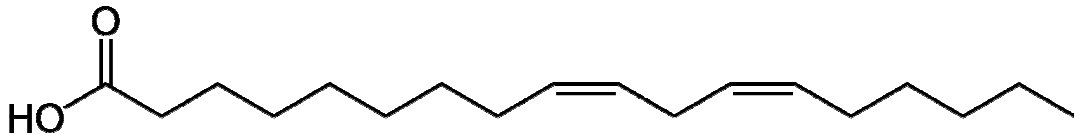
- MATOUŠ, Bohuslav, et al. *Základy lékařské chemie a biochemie*. 2010. vydání. Praha : Galen, 2010. [ISBN 978-80-7262-702-8](#).
- MURRAY, Robert K. (Robert Kincaid). *Harper's illustrated biochemistry*. 28. vydání. New York : McGraw-Hill, Medical, 2009. [ISBN 978-0-07-162591-3](#).
- KOOLMAN, Jan a Klaus-Heinrich RÖHM. *Barevný atlas biochemie*. 1. vydání. Praha : Grada, 2012. 512 s. [ISBN 978-80-247-2977-0](#).
- BAYNES, John W a Marek H DOMINICZAK. *Medical biochemistry*. 3. vydání. Philadelphia : Elsevier Mosby, 2009. [ISBN 978-0-323-05371-6](#).
- www.wikiskripta.eu

Kontrolní otázky:

1) Zakroužkujte správné/á tvrzení o lipoproteinech:

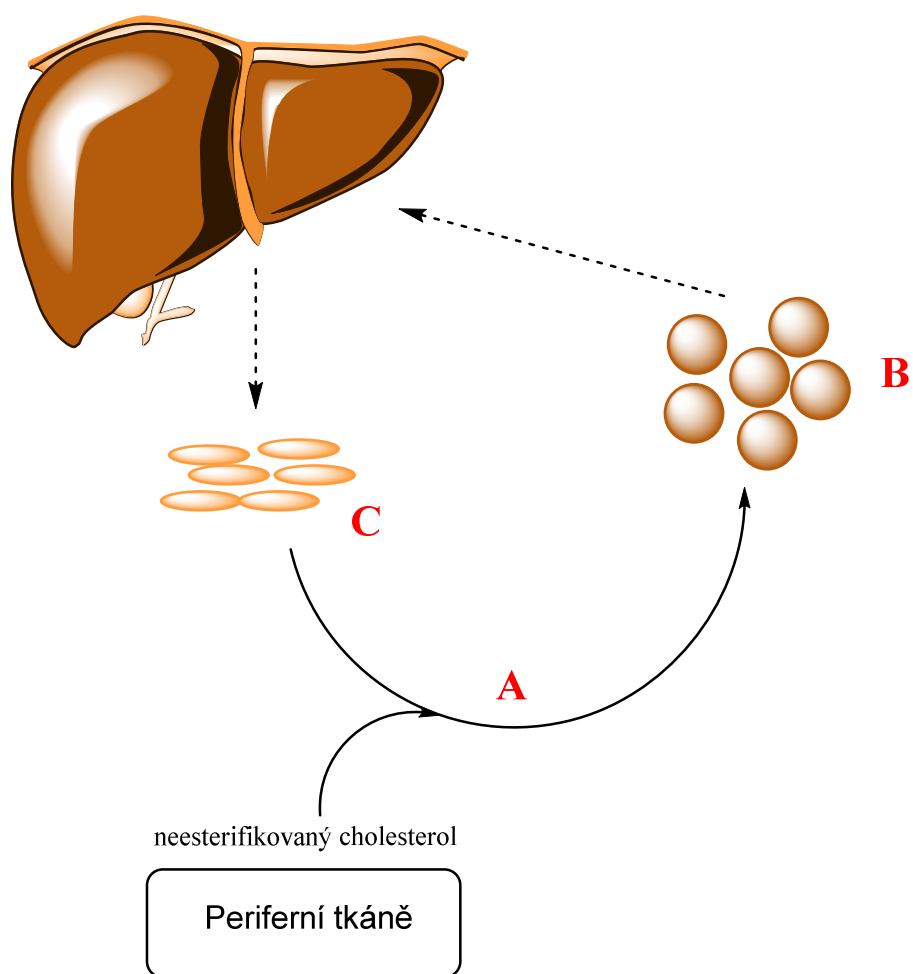
- a) jejich jádro obsahuje proteiny
- b) defekt LDLreceptorů vede ke zvýšeným sérovým koncentracím LDL cholesterolu
- c) jejich jádro obsahuje fosfolipidy
- d) hlavní složkou chylomiker jsou triacylglyceroly
- e) HDL částice transportují cholesterol ze tkání do jater

2) Doplňte chybějící informace o struktuře níže nebo zakroužkujte správnou možnost (vyznačeno tučně):



Tato látka se nazývá..... Podle nasycenosti se jedná o **nasycenou - mononenasycenou - polynenasycenou** mastnou kyselinu. Patří mezi **ω -3 - ω -6 - ω -9** mastné kyseliny. Nasycení jedné dvojně vazby vede k **snížení – zvýšení - nemá vliv na** bod(u) tání molekuly.

3)



(A) Uveďte název enzymu:

(B) Doplněte název lipoproteinové částice:

(C) Která třída lipidů převažuje v těchto částicích?

Klíč k řešení:

1. b, d, e
2. kyselina linolová, ω -6, **zvýšení**
3. a) LCAT, b) HDL c) fosfolipidy