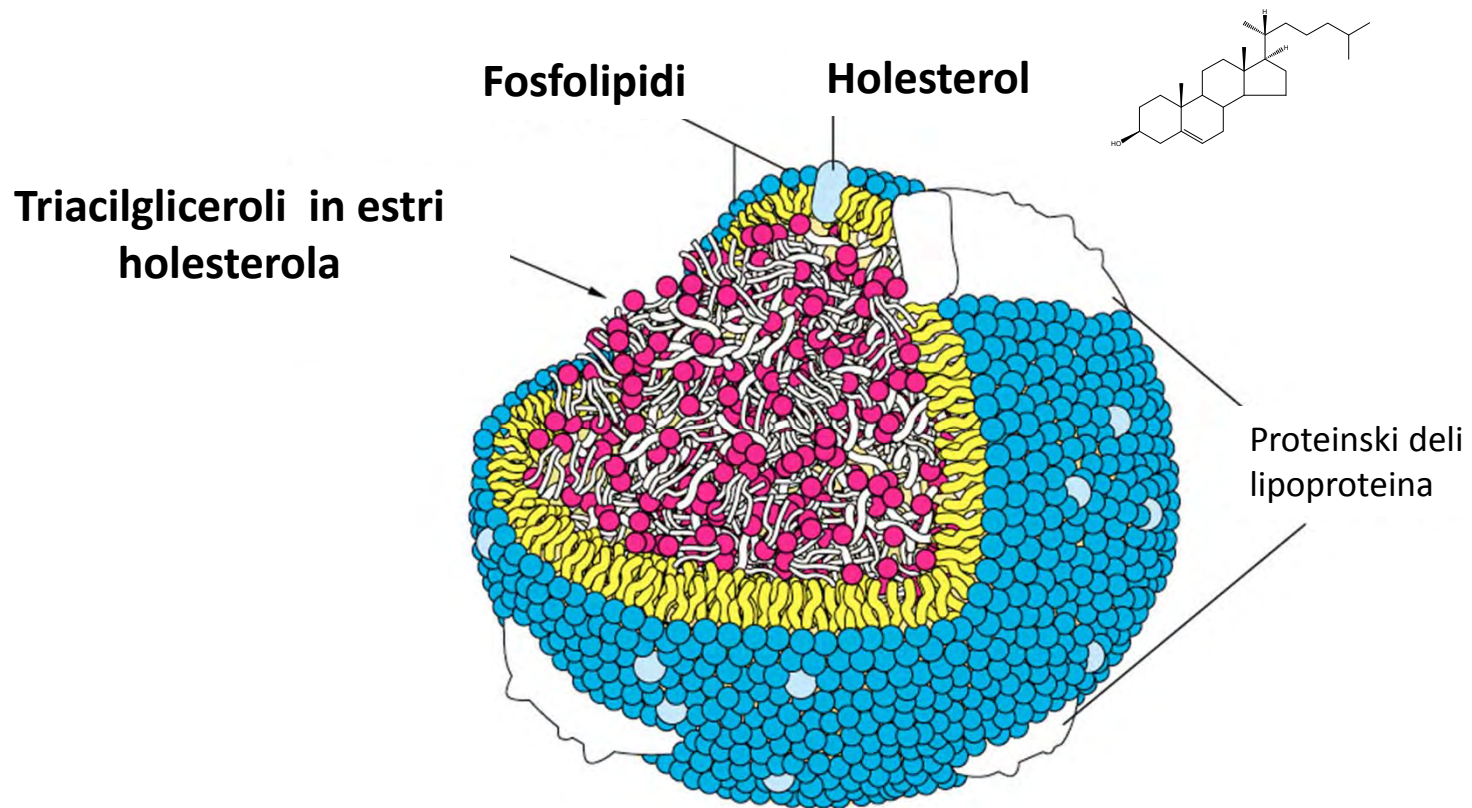
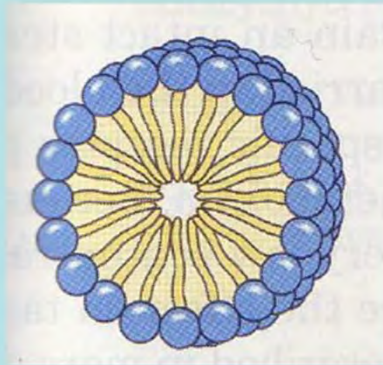


# LIPIDI

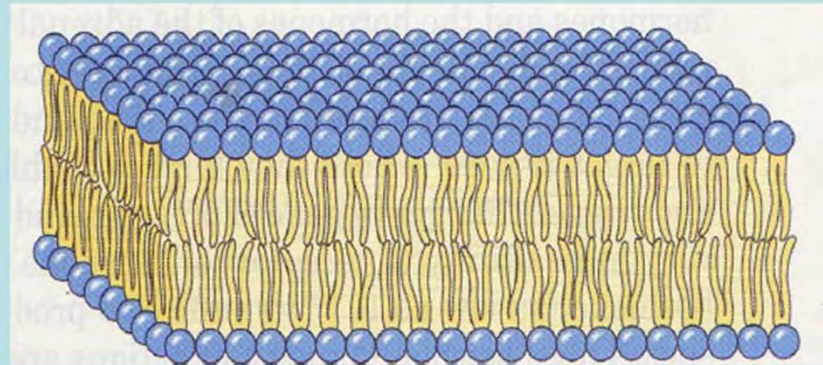




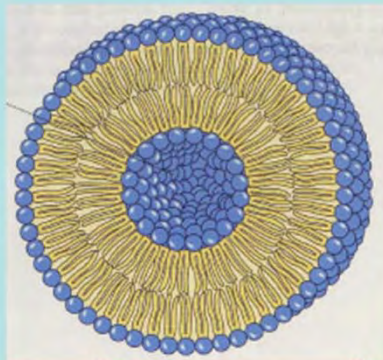
# LIPIDNE MOLEKULE V VODNEM OKOLJU TVORIJO RAZLIČNE STRUKTURE



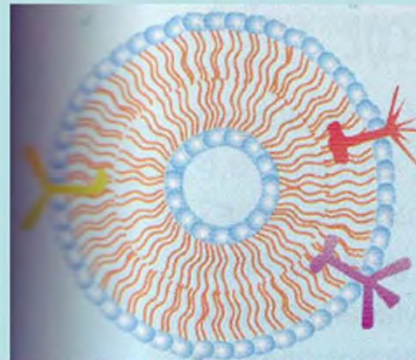
Micel



Lipidni dvosloj



Liposom

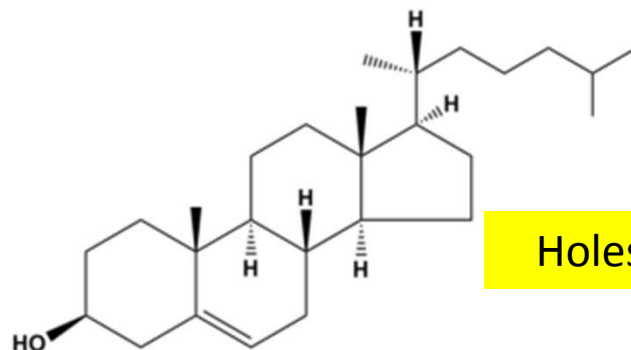


Liposom z vgrajenimi glikoproteini in protitelesi

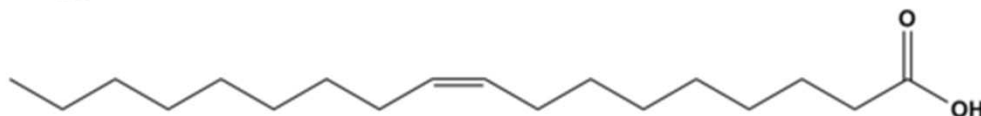


Možen "zgodovinski nastanek" liposomov

# LIPIDI SO ENOSTAVNI IN SESTAVLJENI

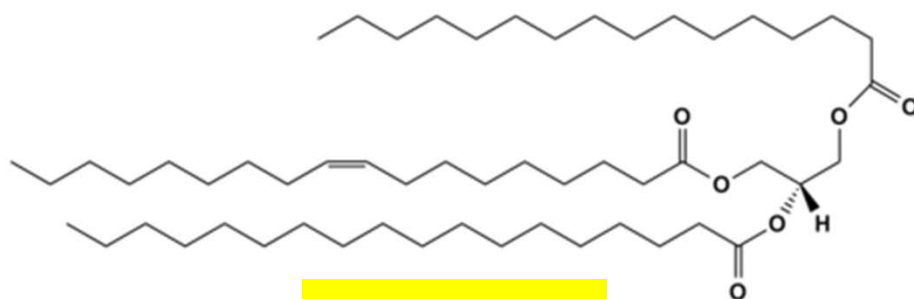


Holesterol



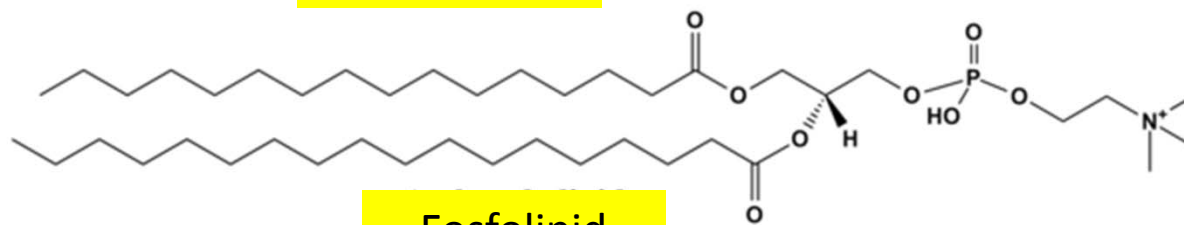
Prosta maščobna kislina

Primeri enostavnih lipidov



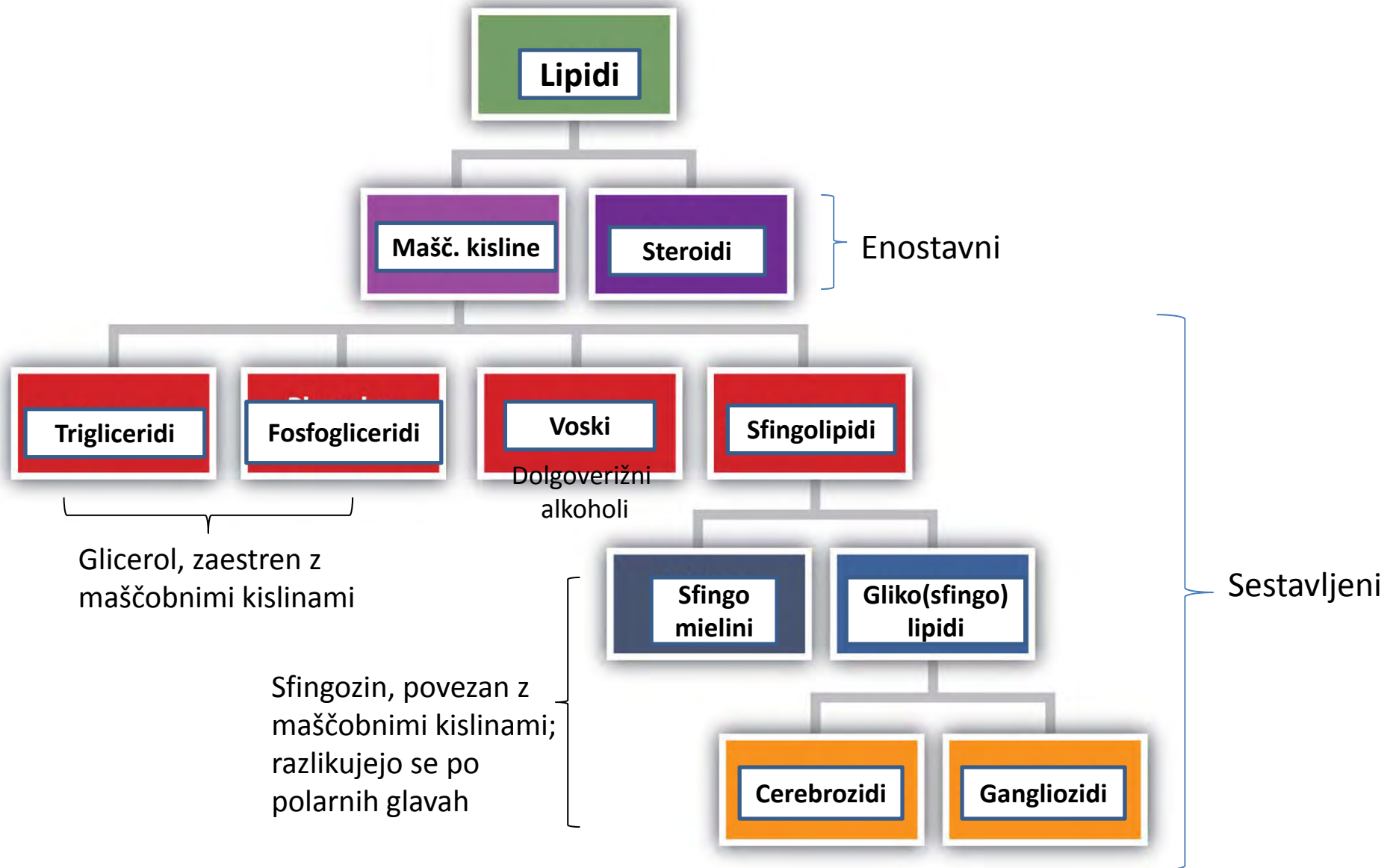
Triglicerid

Primeri sestavljenih lipidov

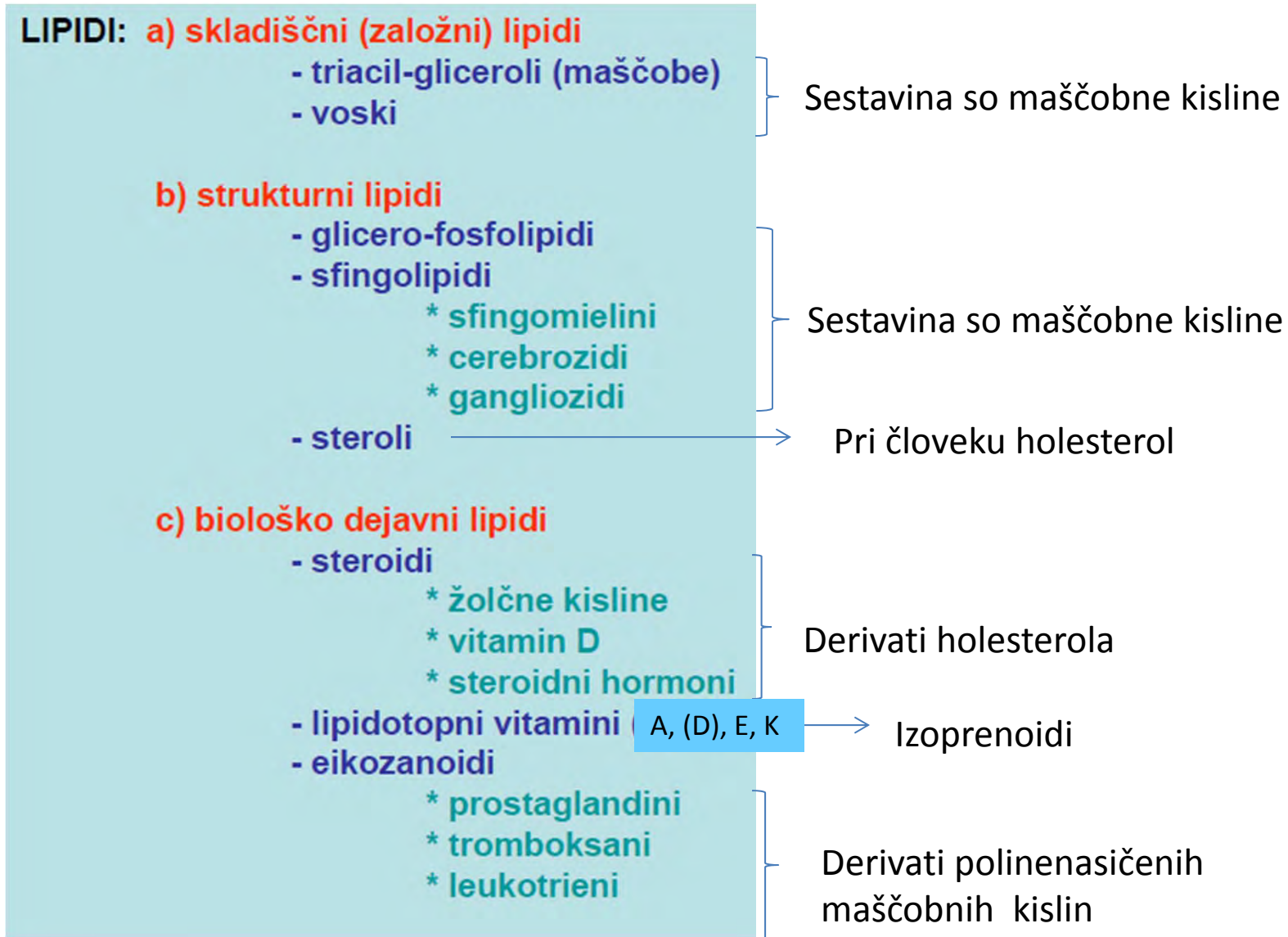


Fosfolipid

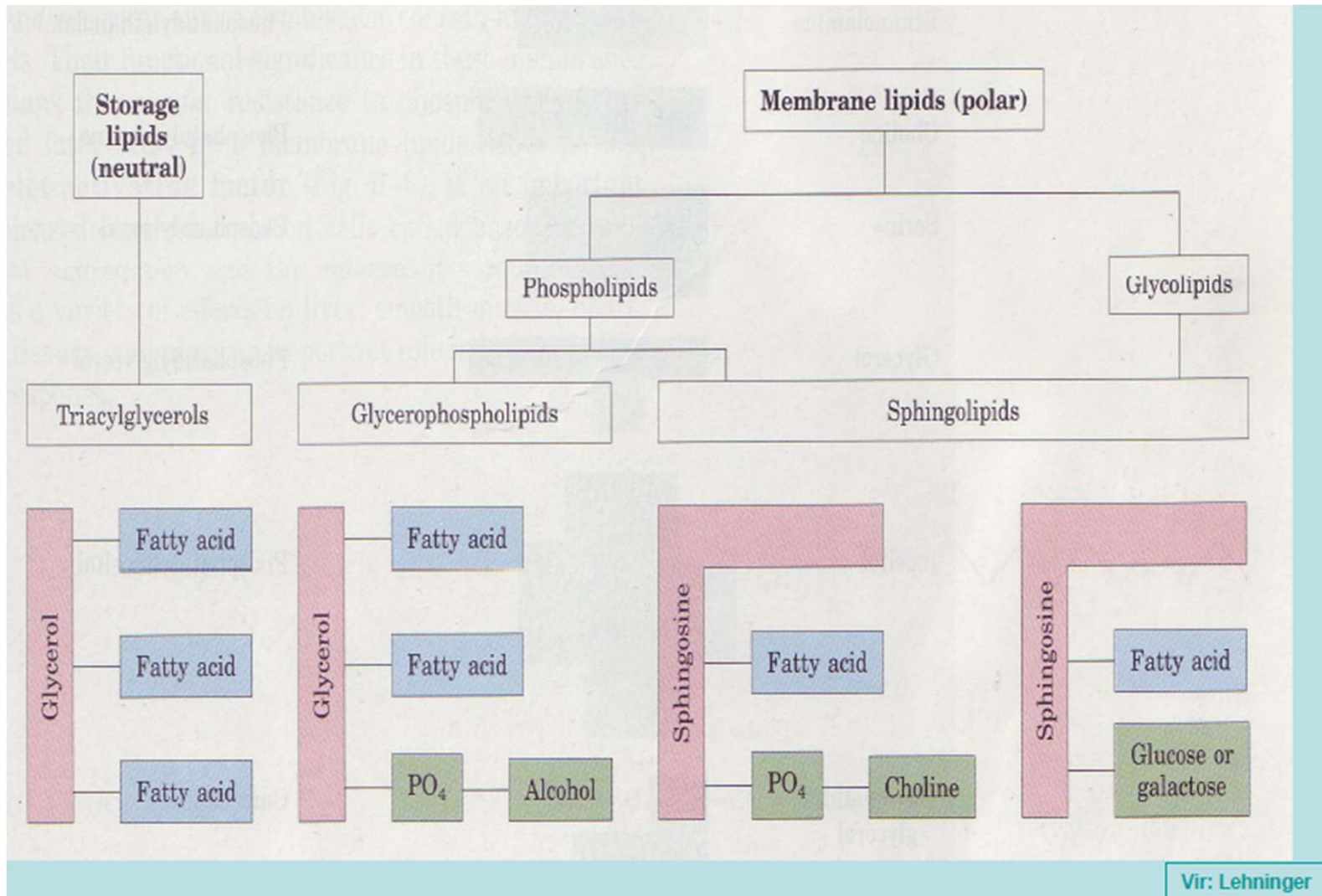
# RAZDELITEV LIPIDOV GLEDE NA SESTAVO



# RAZDELITEV LIPIDOV GLEDE NA **BIOLOŠKO VLOGO** (Lehninger)



# SKLADIŠČNI IN STRUKTURNI (MEMBRANSKI) LIPIDI



# MAŠČOBNE KISLINE SO DERIVATI OGLJIKOVODIKOV

4 – 36 C atomov, nasičene (le enojne vezi) ali nenasičene (tudi dvojne vezi)

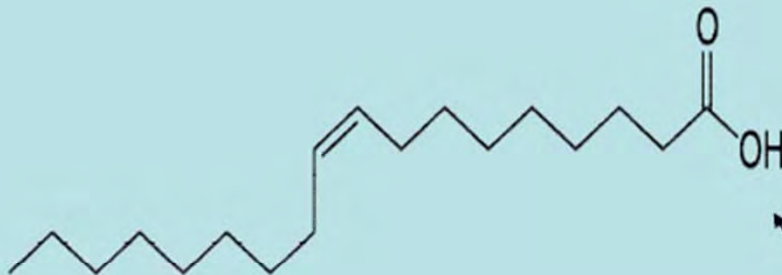
## Maščobne kisline:

- večja nasičenost = višje tališče (voskasta oblika pri sobni temp.)
- nenasičenost = nižje tališče (oljna oblika pri sobni temperaturi)

\* daljša veriga = višje tališče (masti ...)

\* krajša veriga = nižje tališče (maslo ...)

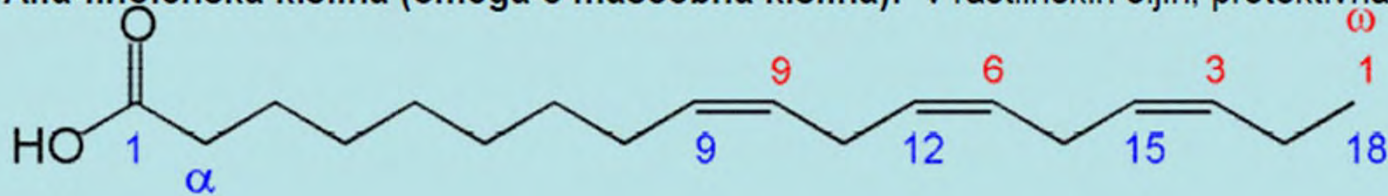
To velja tudi pri nasičenih m.k.



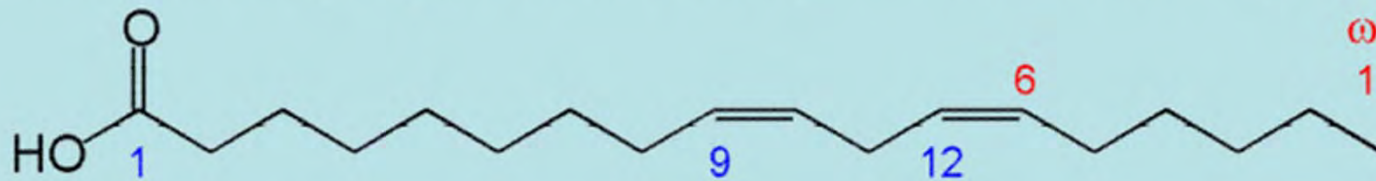
Karboksilna skupina je polarna (ionizirana pri nevtralnem pH) in zagotavlja rahlo topnost kratkoverižnih m.k. v vodi, sicer pa veljajo kot netopne molekule.

**Esencialne maščobne kisline:** organizem jih nujno potrebuje za pravilno delovanje, vendar jih ne more sam sintetizirati. Dobimo jih s prehrano.

**Alfa-linolenska kislina (omega-3 maščobna kislina):** v rastlinskih oljih; protektivna vloga



**Linolenska kislina (omega-6 maščobna kislina)** → → arahidonska k. → prostaglandini



Omega-3 maščobne kisline ( $\omega$ -3 maščobne kisline, n-3 maščobne kisline) najdemo v morskih organizmih in rastlinskih oljih.

Gre za polinenasičene m. kisline, pri katerih se prva dvojna vez (C=C) pojavi za tretjim C-atomom, če začnemo šteti s CH<sub>3</sub>-konca ( $\omega$ -konca, n-konca).

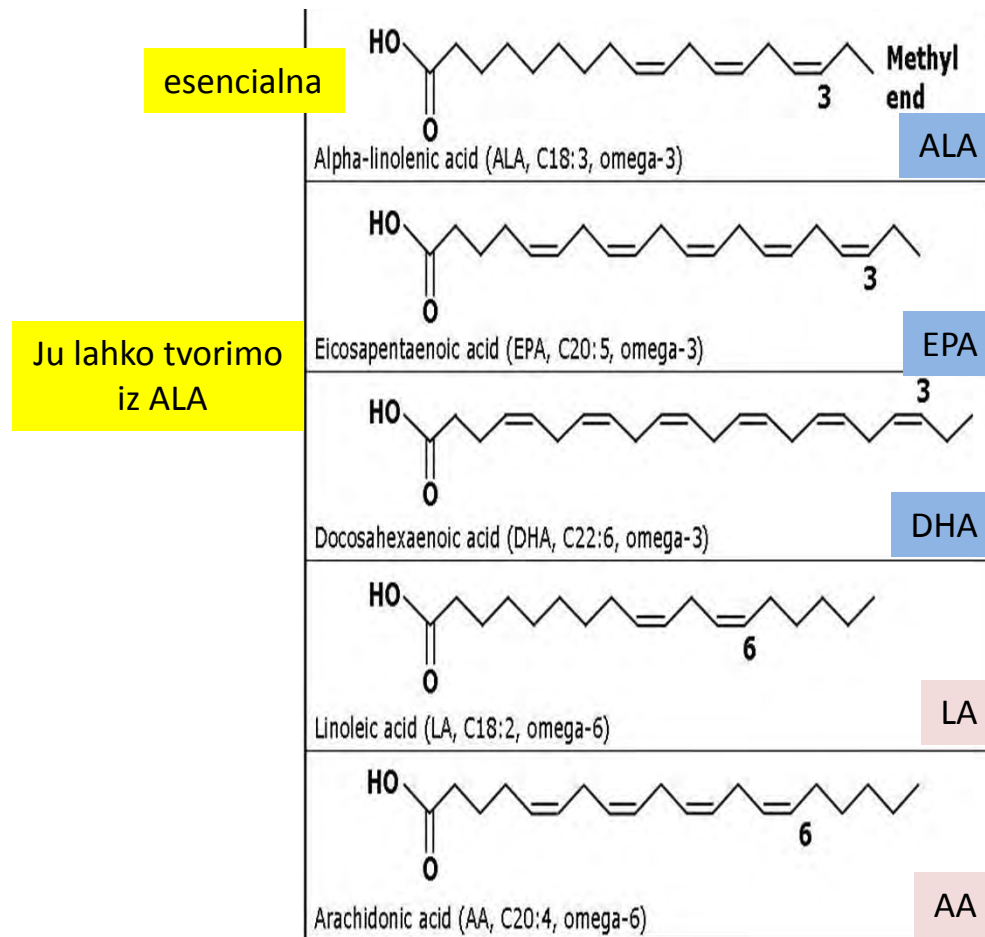
Omega-6 maščobne kisline ( $\omega$ -6 maščobne kisline, n-6 maščobne kisline) najdemo predvsem v rastlinskih oljih, orehih, avokadu, jajcih...

Gre za polinenasičene m. kisline, pri katerih se prva dvojna vez (C=C) pojavi za šestim C-atomom, če začnemo šteti s CH<sub>3</sub>-konca ( $\omega$ -konca, n-konca).

# POIMENOVANJE MAŠČOBNIH KISLIN

Poenostavljen način poimenovanja nerazvejanih maščobnih kislin je glede na dolžino verige (št. C atomov) in število dvojnih vezi.

## Primer: Omega-3 in omega-6 maščobne kisline



Omega-3 in omega-6 m.k. spadajo med polinenasičene m.k. - PUFA.

Alfa linolenska kislina ALA je esencialna in jo moramo dobiti s prehrano.

Neravnovesje med omega-6 in omega-3 m.k. v prehrani vodi do kardiovaskularnih obolenj. Idelano razmerje v prehrani je 1:1 do 4 : 1. Hitra prehrana ima razmerje do 30 : 1!

Meditranska prehrana (sveža zelenjava in ribe) vsebuje veliko EPA in DHA

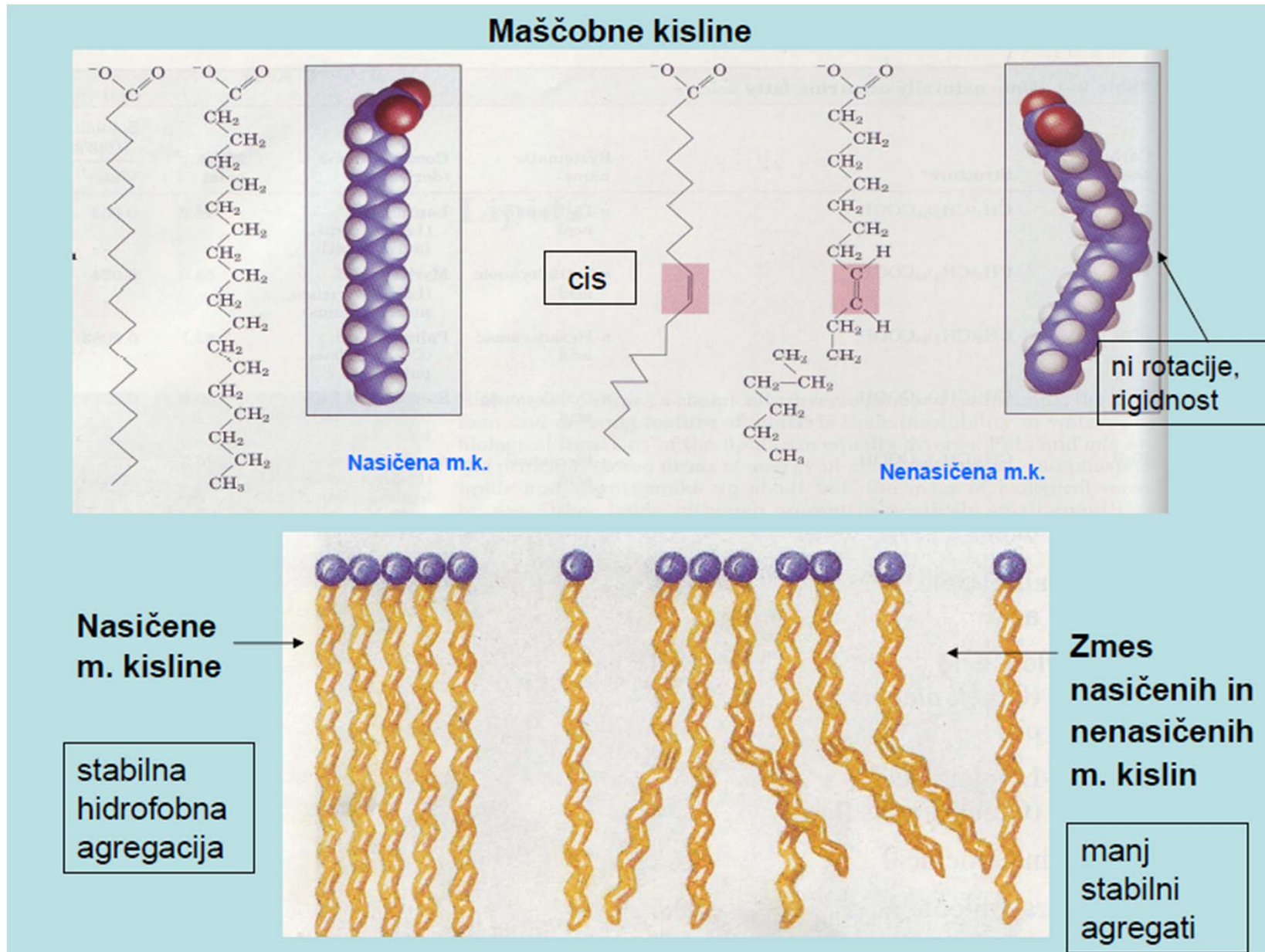
# NARAVNO PRISOTNE MAŠČOBNE KISLINE: STRUKTURA, LASTNOSTI IN POIMENOVANJE

**Maščobne kisline:**

Št. C	Št. =	Structure*	Systematic name†	Common name (derivation)	Melting point (°C)	Solubility at 30 °C (mg/g solvent)	
						Water	Benzene
<b>nasičene</b>							
12	0	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>10</sub> COOH	<i>n</i> -Dodecanoic acid	Lauric acid (Latin <i>laurus</i> , laurel plant)	44.2	0.063	2,600
14	0	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>12</sub> COOH	<i>n</i> -Tetradecanoic acid	Myristic acid (Latin <i>Myristica</i> , nutmeg genus)	53.9	0.024	874
16	0	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>14</sub> COOH	<i>n</i> -Hexadecanoic acid	Palmitic acid (Greek <i>palma</i> , palm tree)	63.1	0.0083	348
18	0	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> COOH	<i>n</i> -Octadecanoic acid	Stearic acid (Greek <i>stear</i> , hard fat)	69.6	0.0034	124
20	0	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>18</sub> COOH	<i>n</i> -Eicosanoic acid	Arachidic acid (Latin <i>Arachis</i> , legume genus)	76.5		
24	0	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>22</sub> COOH	<i>n</i> -Tetracosanoic acid	Lignoceric acid (Latin <i>lignum</i> , wood + <i>cera</i> , wax)	86.0		
<b>nenasičene</b>							
16	1	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH	Δ <sup>9</sup>	Palmitoleic acid	-0.5		
18	1	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH	Δ <sup>9</sup>	Oleic acid (Greek <i>oleum</i> , oil)	13.4		
18	2	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH	Δ <sup>9,12</sup>	α-Linoleic acid (Greek <i>linon</i> , flax)	-5		
18	3	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH		Linolenic acid	-11		
20	4	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> COOH	Δ <sup>5, 8, 11, 14</sup>	Arachidonic acid	-49.5		

Število in položaji dvojnih vezi.  
Δ<sup>9,12,15</sup>

# RAZLIČNI NAČINI PREDSTAVITVE MAŠČOBNIH KISLIN



# MAŠČOBNE KISLINE SE PRENAŠAJO PO KRVI, NEKOVALENTNO VEZANE NA TRANSPORTNI PROTEIN ALBUMIN

**Proste m. k.** so proizvod metabolizma triacilglicerolov (maščob).

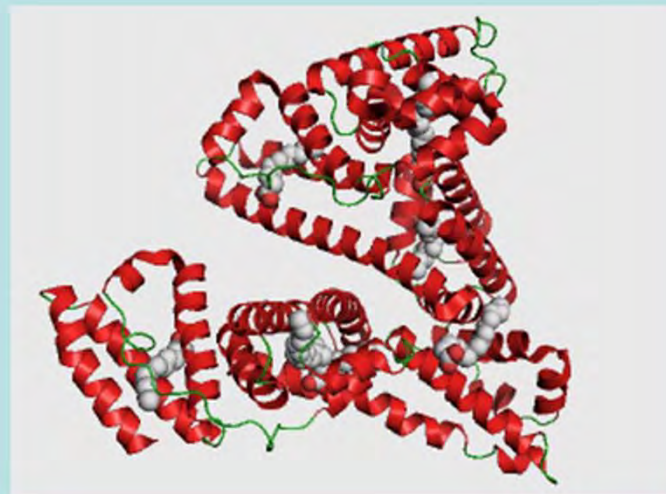
Njihov prenos po krvi poteka tako, da so vezane na **albumin**. Serumski albumin je najbolj zastopani plazemski protein.

Potreben je za vzdrževanje osmotskega tlaka, ki skrbi za pravilno razporeditev telesnih tekočin med ožiljem in tkivi.

Je tudi prenašalec nekaterih hidrofobnih steroidnih hormonov in železovega porfirina (hemina).

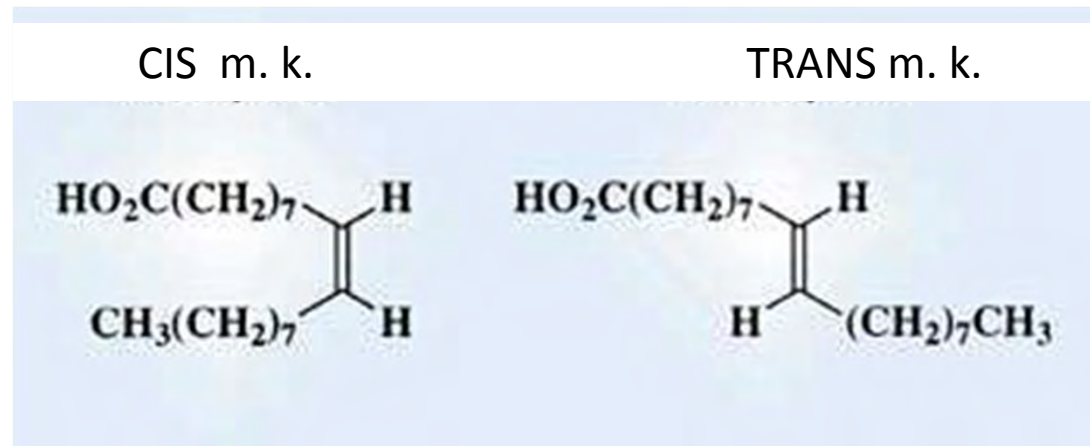
Prevelike količine serumskega albumina so lahko škodljive.

V krvi maščobne kisline večinoma niso “proste”, ampak imajo karboksilno skupino povezano v estre ali amide.

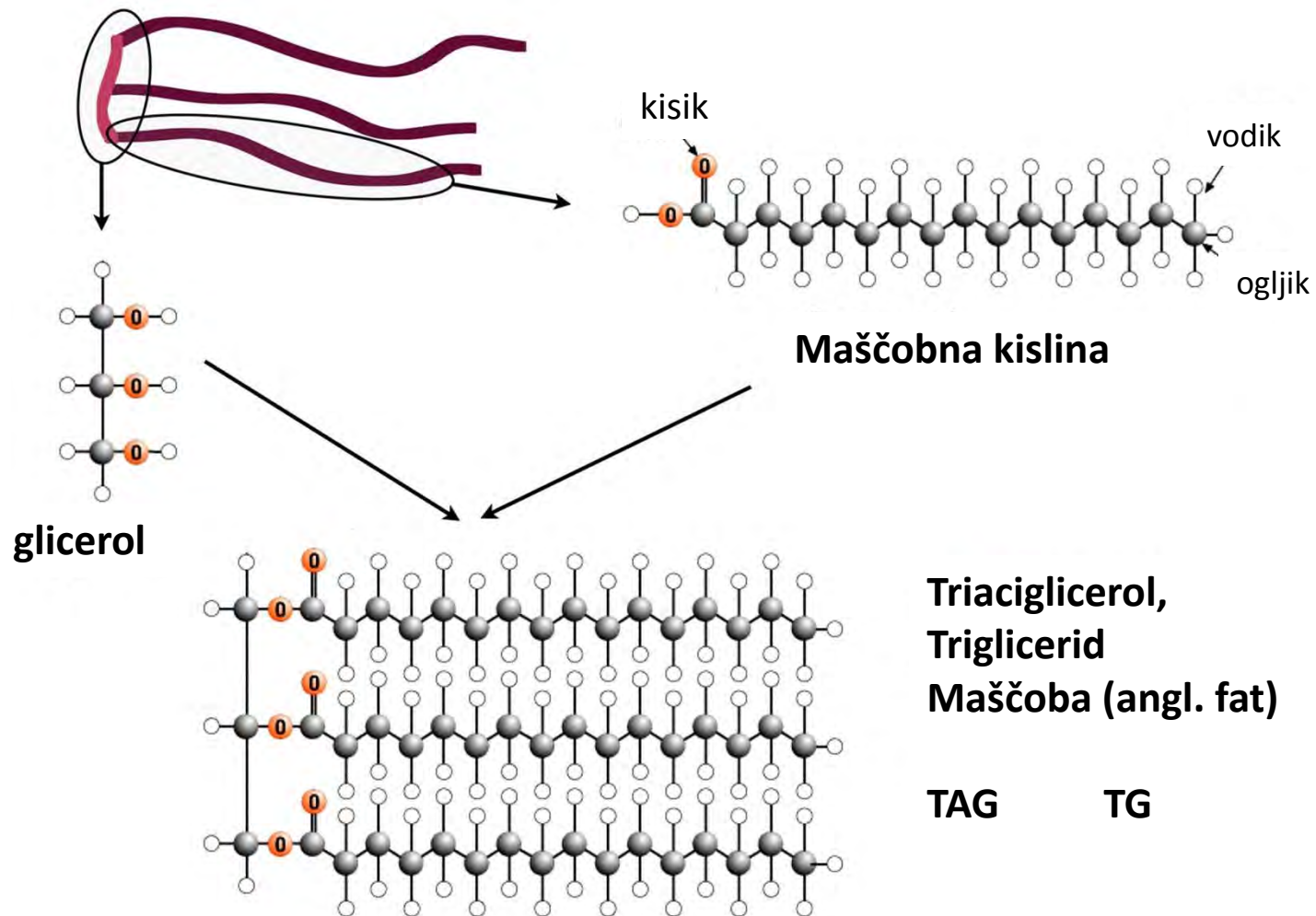


# TRANS MAŠČOBNE KISLINE SO ŠKODLJIVE ZDRAVJU

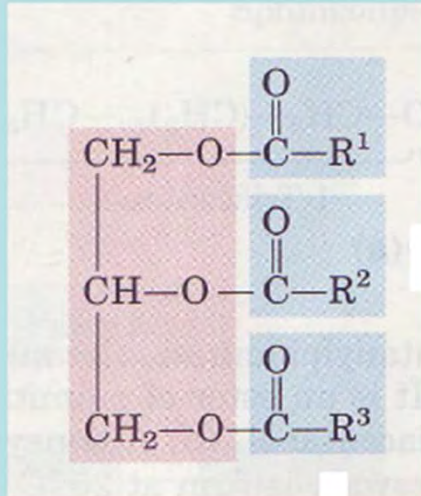
Komericalna rastlinska olja so za večjo stabilnost temperaturno obdelana in hidrogenirana. Ta proces žal povzroči tudi spremembo naravne CIS konfiguracije maščobnih kislin v TRANS. Raziskave kažejo, da uživanje trans-maščob povzroči večjo dovzetnost za kardiovaskularne bolezni. Trans-maščobe v prehrani povečajo količino TAG v krvi, prav tako povečajo količino LDL holesterola.



# TRIACILGLICEROLI SO ESTRI GLICEROLA IN MAŠČOBNIH KISLIN

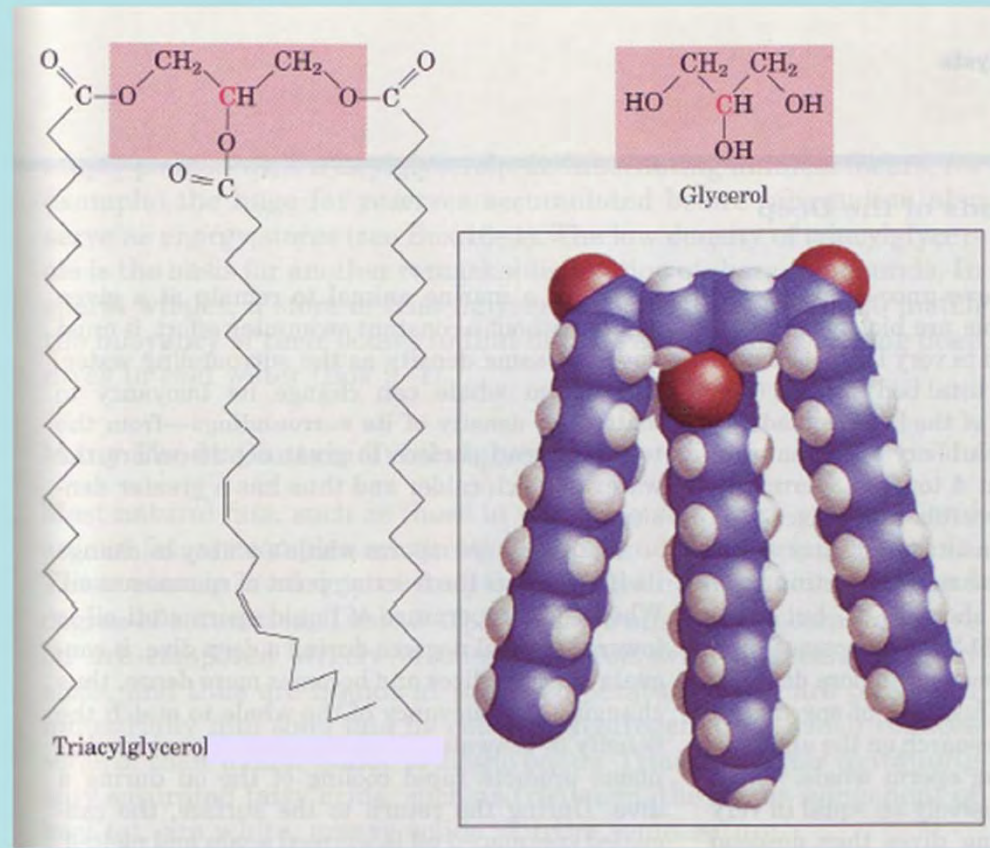


# TRIACILGLICEROLI SO MAŠČOBE IN OLJA



Triacil-glicerol = maščoba

Tekoče agregatno stanje, če je več nenasičenih maščobnih kislin.  
Olje – oleinska kislina.

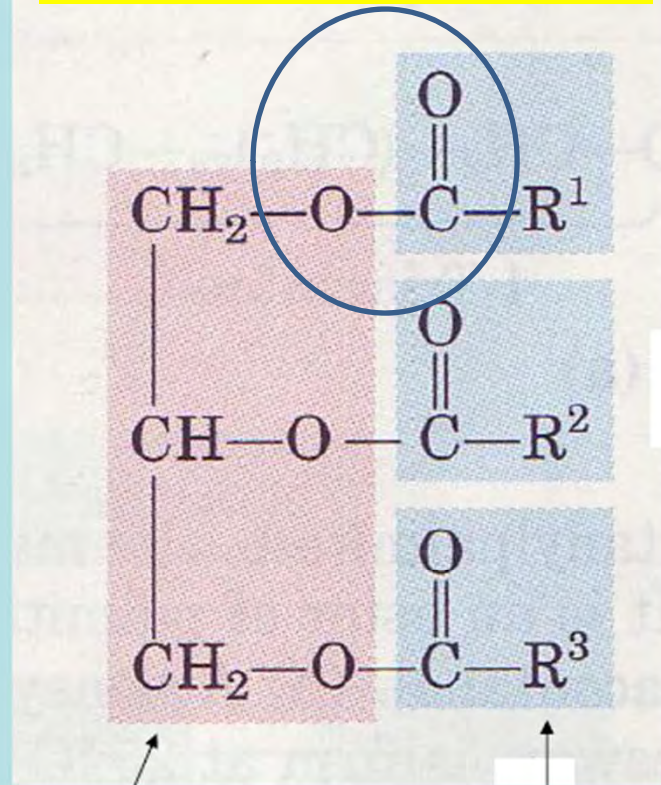


# STRUKTURA IN FUNKCIJA TRIACILGLICEROLOV

shranjena  
kem. energija

Estrska vez med OH skupino glicerola  
in COOH skupino maščobne kisline

toplotna izolacija  
organizmov



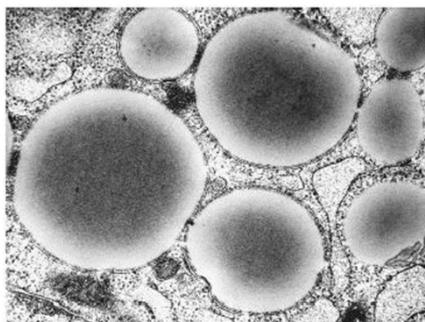
glicerol

R1, R2, R3 = različne maščobne kisline

# TRIACILGLICEROLI

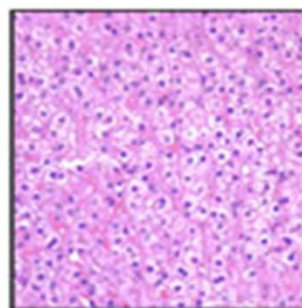
SO ZALOGA ENERGIJE IN  
TOPLOTNA IZOLACIJA

Lipidi v maščobnih  
celicah (adipocitih)

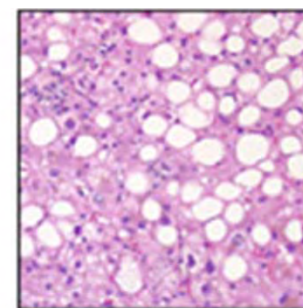


SE NALAGAJO V CELICAH PRI NEKATERIH BOLEZNIH –  
nealkoholna zamaščenost jeter (NAFLD)

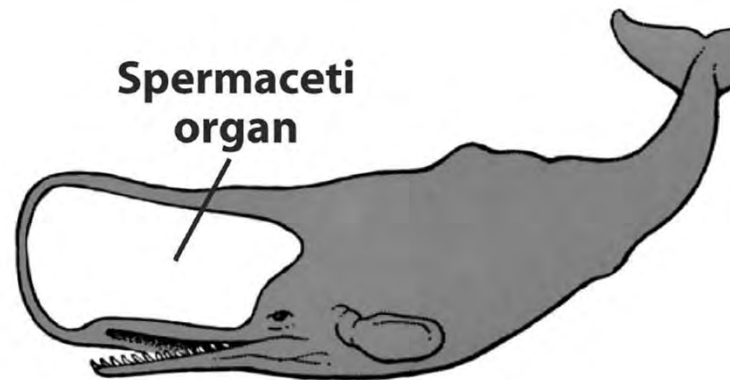
Normalna  
jetra



Zamaščena  
jetra



# POMEN TAG V ŽIVALSKEM SVETU – TEMPERATURNI IZOLACIJA IN ADAPTACIJA NA GOSTOTO VODE



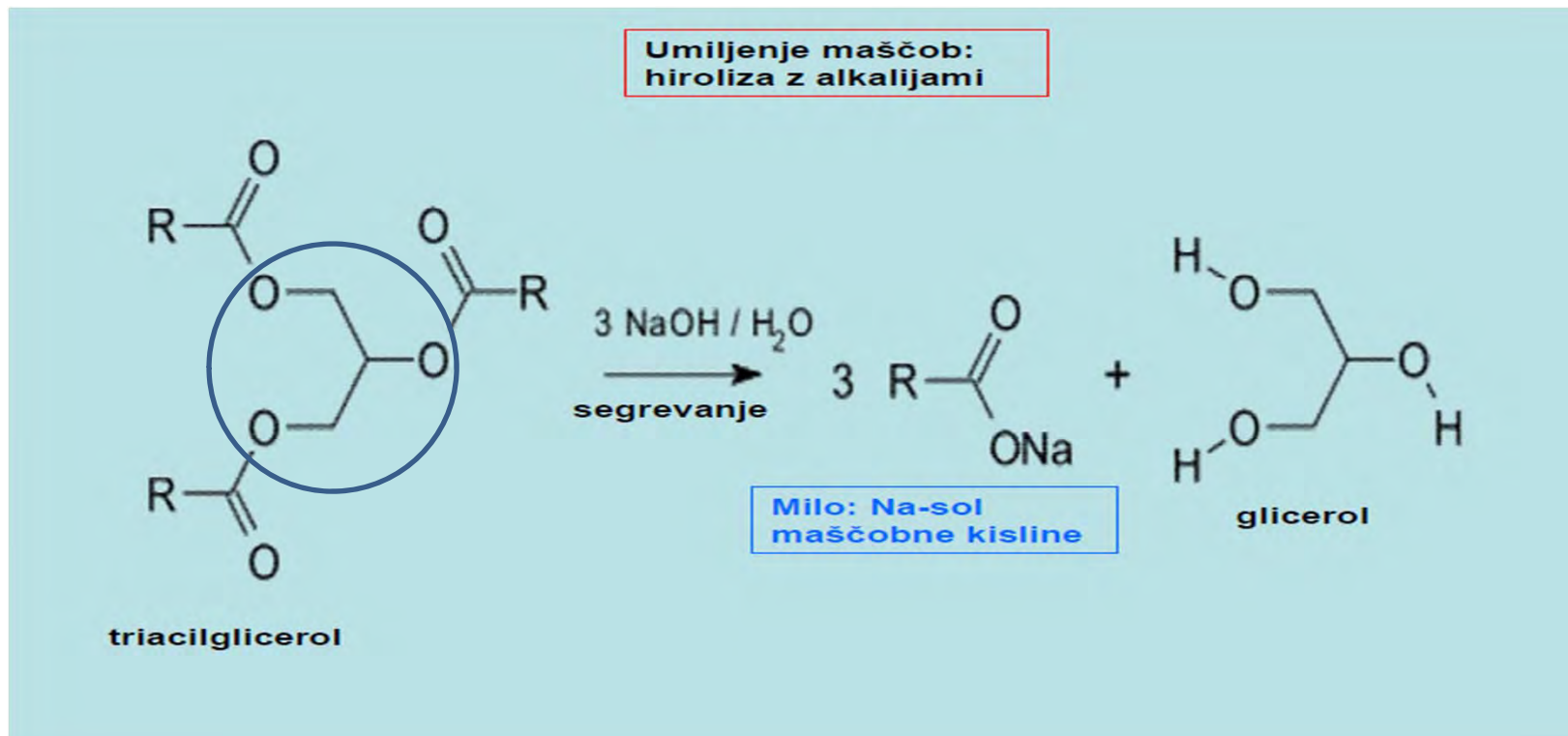
90% mase glave je olje, mešanca TAG in voskov. Tekočina pri 37C, prične kristalizirati pri 31C.

Biološka vloga – prehranjevanje s hobotnicami na globinah do -3000m.



© Don Getty

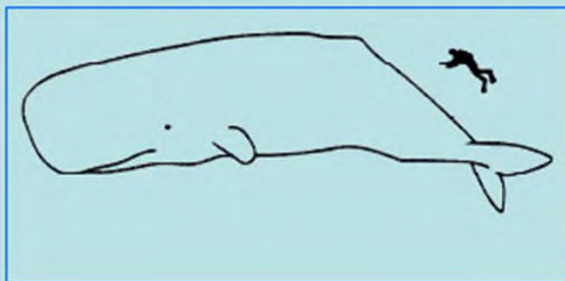
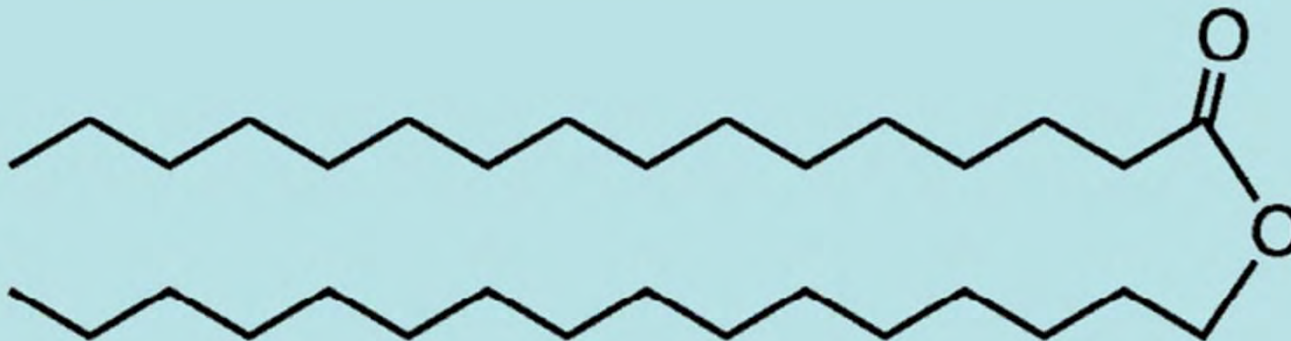
# UMILJENJE MAŠČOB – HIDROLIZA Z ALKALIJAMI



# VOSKI

Voski so tudi shranjevalci energije, pomembni pa so tudi za nepropustnost telesnih površin za vodo.

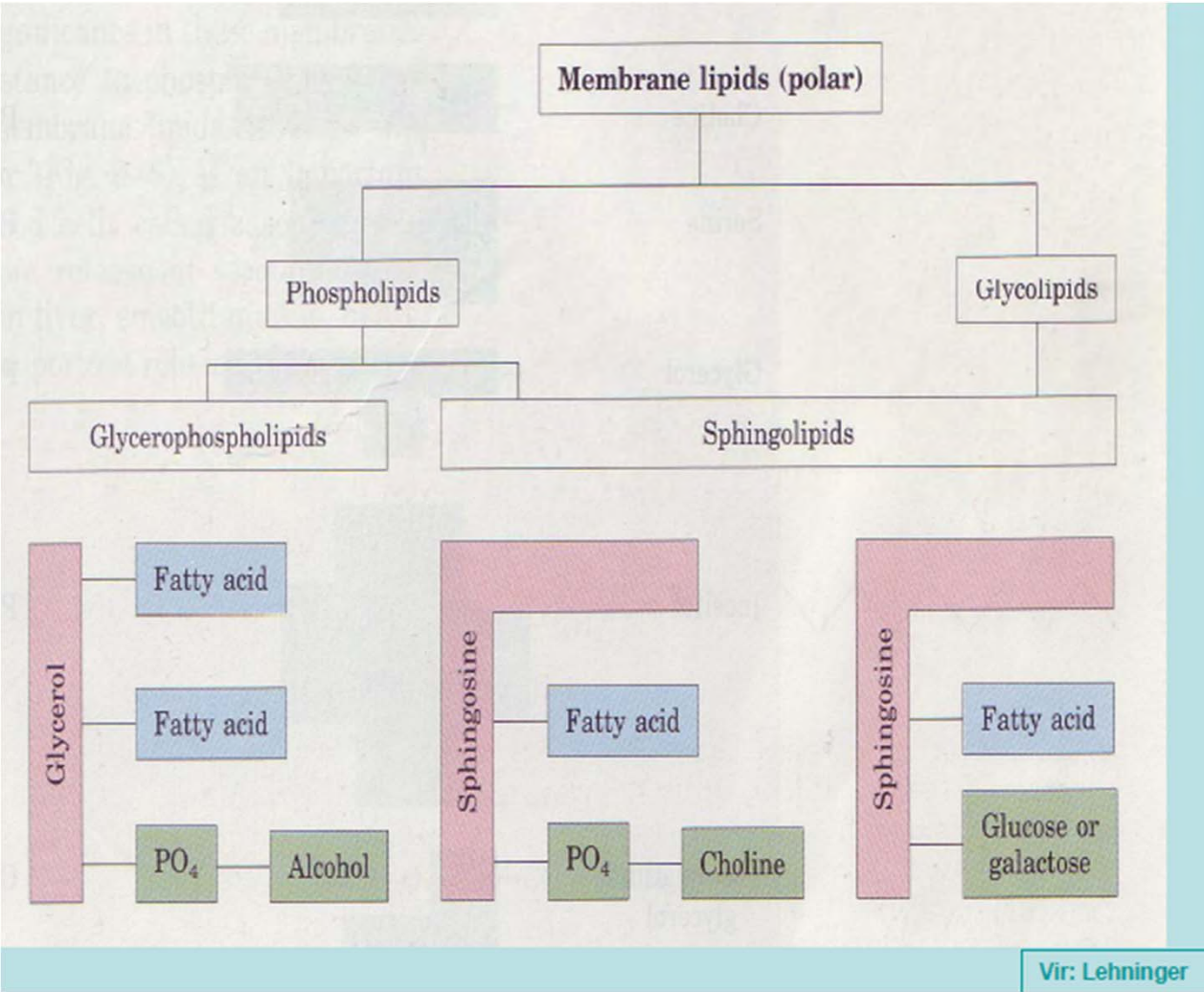
So estri dolgoveržnih m. k. (nasičenih in nenasičenih; 14-36 C-atomov) z dolgoveržnimi alkoholi (16-30 C-atomov).



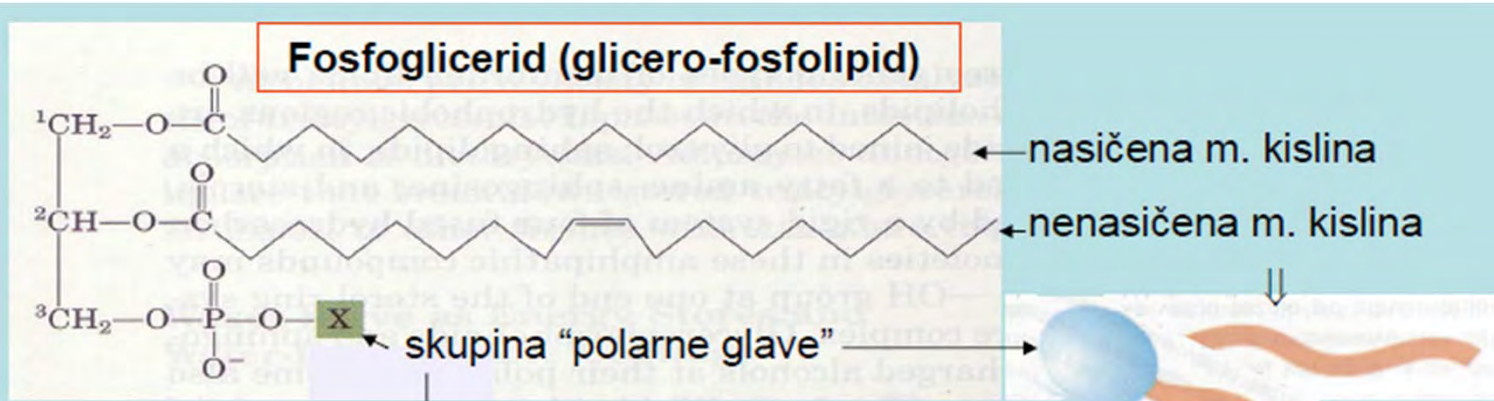
## SKLADIŠČNI LIPIDI - POVZETEK

- Lipidi so v vodi netopne celične sestavine raznolikih struktur.
- Skorajda vse naravne maščobne kisline imajo liho število C atomov (najpogosteje 12 – 24). So lahko nasičene ali nenasičene, s CIS dvojnimi vezmi.
- TAG imajo tri enake ali različne maščobne kisline estersko vezane na eno molekulo glicerola. Glavna naloga TAG je skladiščenje energije in toplotna izolacija. So pogosta sestavina prehrane.
- Delna hidrogenacija rastlinskih olj v prehrambeni industriji pretvori nekatere CIS dvojne vezi v TRANS. Tovrstne “umetne” maščobne kisline v prehrani predstavljajo faktor tveganja pri razvoju kardiovaskularnih obolenj.

# STRUKTURNI (MEMBRANSKI) LIPIDI



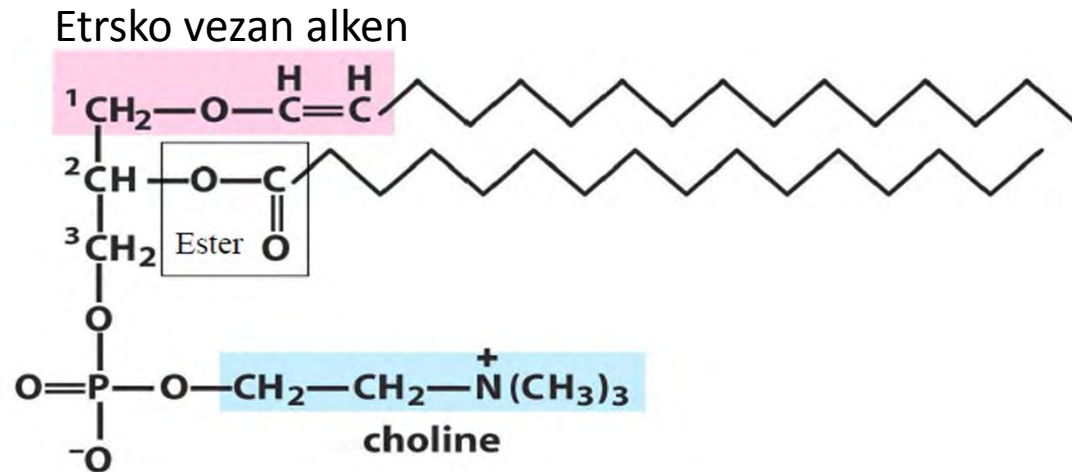
# FOSFOGLICERIDI (GLICEROFOSFOLIPIDI) VSEBUJEJO GLICEROL, ESTRSKO POVEZANI 2 M.K., FOSFAT IN DODATNO MOLEKULO V POLARNI GLAVI



Name of X	Formula of X	Name of glycerophospholipid	Net charge (at pH 7)
—	— H	Phosphatidic acid	-1
Ethanolamine	— CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —N <sup>+</sup> H <sub>3</sub>	Phosphatidylethanolamine	0
Choline	— CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —N <sup>+</sup> (CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	Phosphatidylcholine	0
Serine	— CH <sub>2</sub> —CH—N <sup>+</sup> H <sub>3</sub>   COO <sup>-</sup>	Phosphatidylserine	-1
Glycerol	— CH <sub>2</sub> —CH—CH <sub>2</sub> —OH   OH	Phosphatidylglycerol	-1
Inositol		Phosphatidylinositol	-1
Phosphatidyl glycerol	$\begin{array}{c} \text{—CH}_2 \\   \\ \text{CHOH} \\   \\ \text{CH}_2\text{—O—P—O—CH}_2 \\   \\ \text{O}^- \\   \\ \text{CH—O—C—R}^1 \\   \\ \text{O} \\   \\ \text{CH}_2\text{—O—C—R}^2 \end{array}$	Cardiolipin	-2

**Fosfogliceridi so pomembni membranski lipidi (zgradba bioloških membran).**

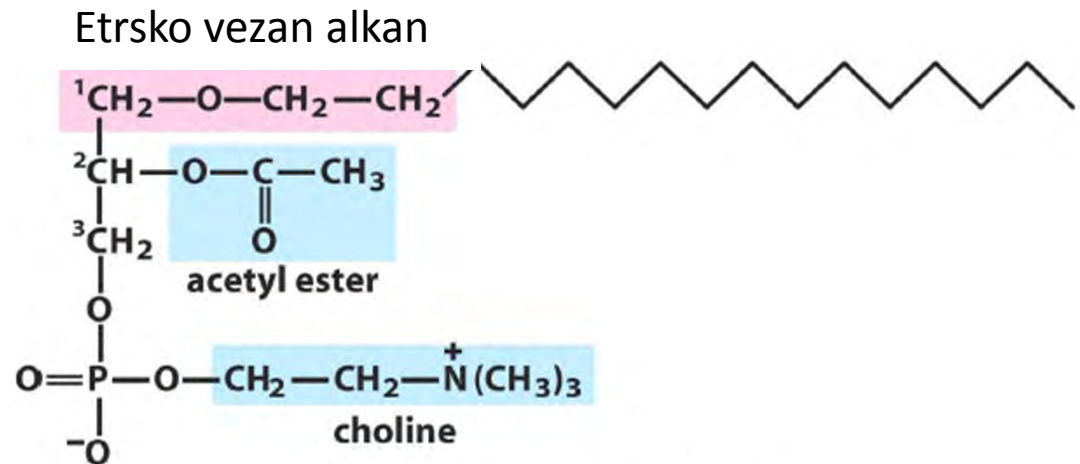
## NEKATERI FIZIOLOŠKO POMEMBNI GLICEROFOSFOLIPIDI IMAJO ETRSKO POVEZANE DERIVATE MAŠČOBNIH KISLIN



Srce pri vretenčarjih –  
 plasmalogen predstavlja 50%  
 fosfolipidov  
 Halofilne bakterije  
 Protisti z migetalkami, itd.

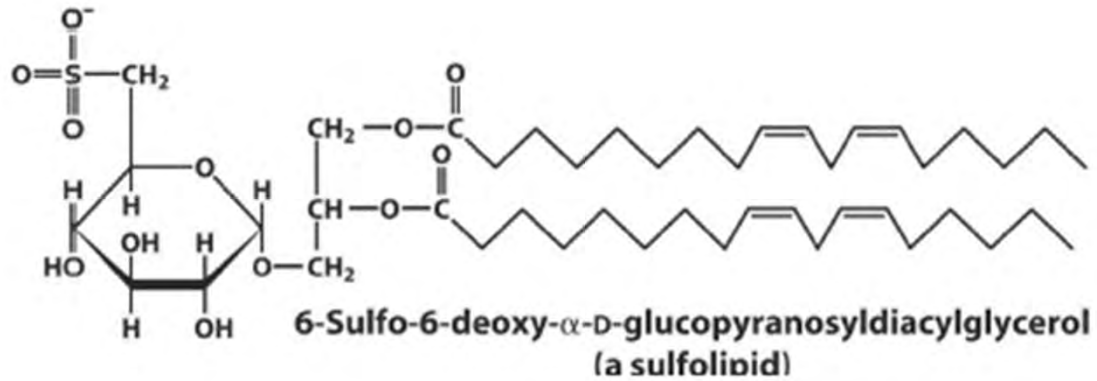
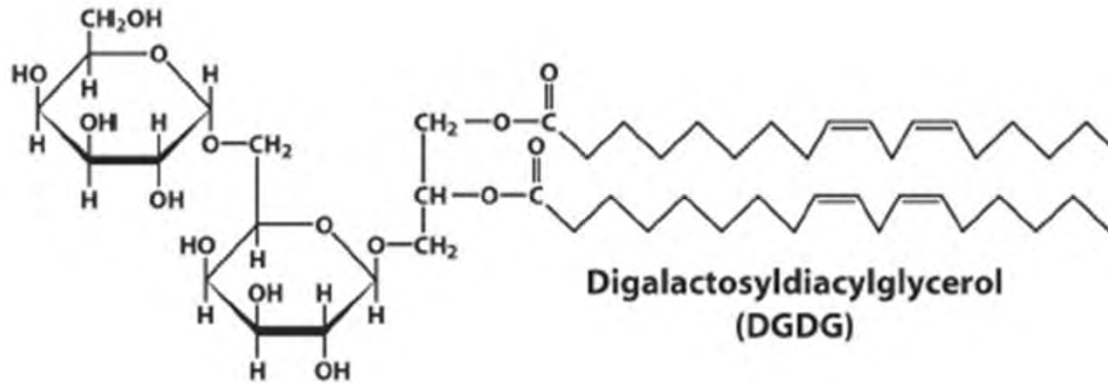
**Plazmalogen**

Je signalna molekula. Sprosti se iz levkocitov (bazofilcev) in spodbudi združevanje trombocitov in sproščanje serotonina iz trombocitov (serotonin krči žile).



**Aktivator trombocitov PAF**

## NEKATERE RASTLINE (KOLROPLASTI) VSEBUJEJO GALAKTOLIPIDE IN SULFOLIPIDE



# SFINGOLIPIDI VSEBUJEJO SFINGOZIN, Z AMIDNO VEZJO POVEZANO 1 M.K. IN DODATNO MOLEKULO V POLARNI GLAVI

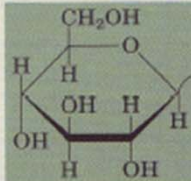
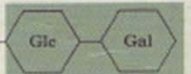
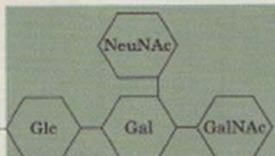
**Sfingozin** (amino-alkohol z dolgim alifatskim "repom")

$$\text{HO}-^3\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_{12}-\text{CH}_3$$

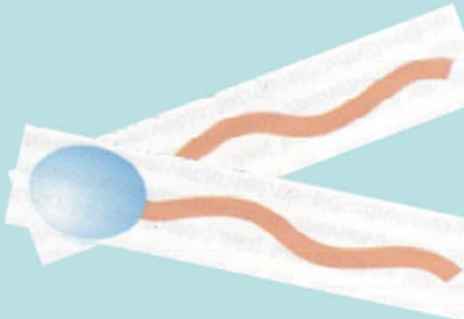
maščobna kislina

$$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ ^2\text{CH}-\text{N}-\text{C} \\ | \quad | \\ \text{H} \quad \text{H} \\ ^1\text{CH}_2-\text{O}-\text{X} \end{array}$$

**sfingolipid**

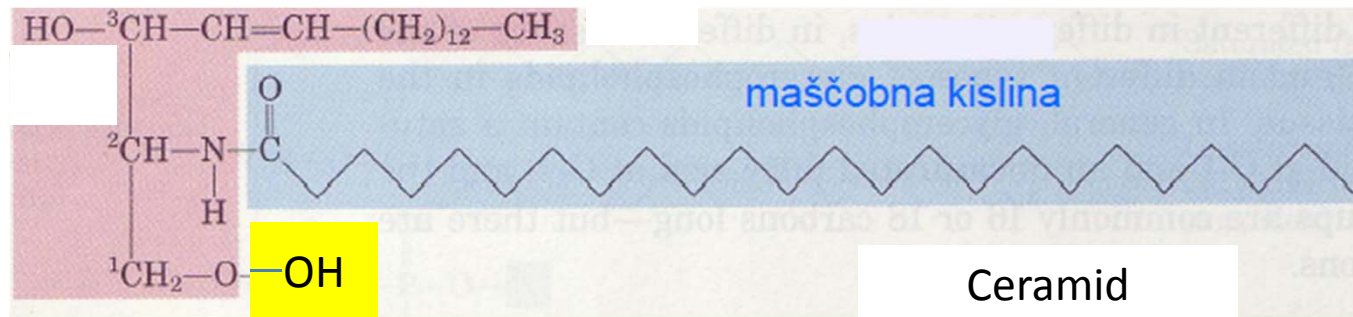
Name of X	Formula of X	Name of sphingolipid
—	—H	Ceramide
Phosphocholine	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{P}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{N}^+(\text{CH}_3)_3 \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$	• Sphingomyelin
Glucose		• Glucosylceramide
Di-, tri-, or tetrasaccharide		Lactosylceramide
Complex oligosaccharide		• Ganglioside G <sub>M2</sub>

Neutral glycolipids



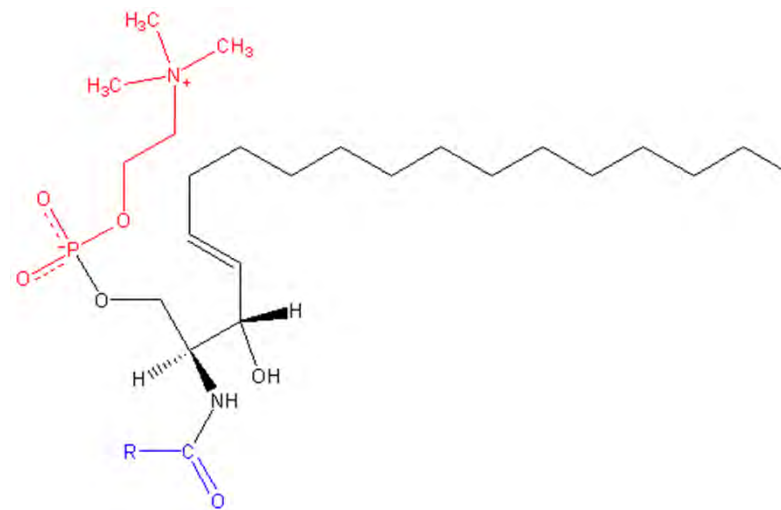
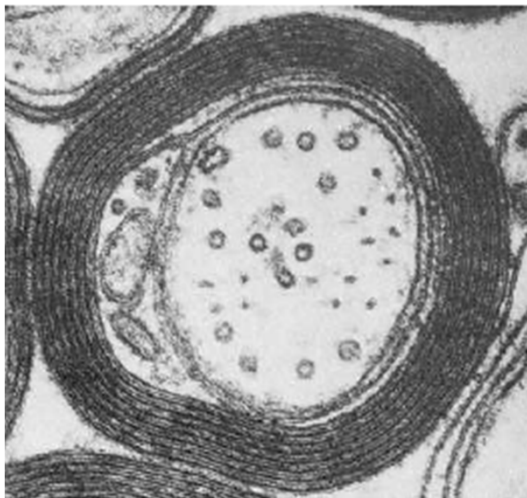
**Sfingolipidi so tudi pomembni membranski lipidi (zgradba bioloških membran) in obenem sporočilni lipidi (razpoznavne posebnosti celičnih površin – antigenske determinante, receptorska mesta ....).**

## CERAMID PREDSTAVLJA OSNOVNO STRUKTURNO ENOTO SFINGOLIPIDOV

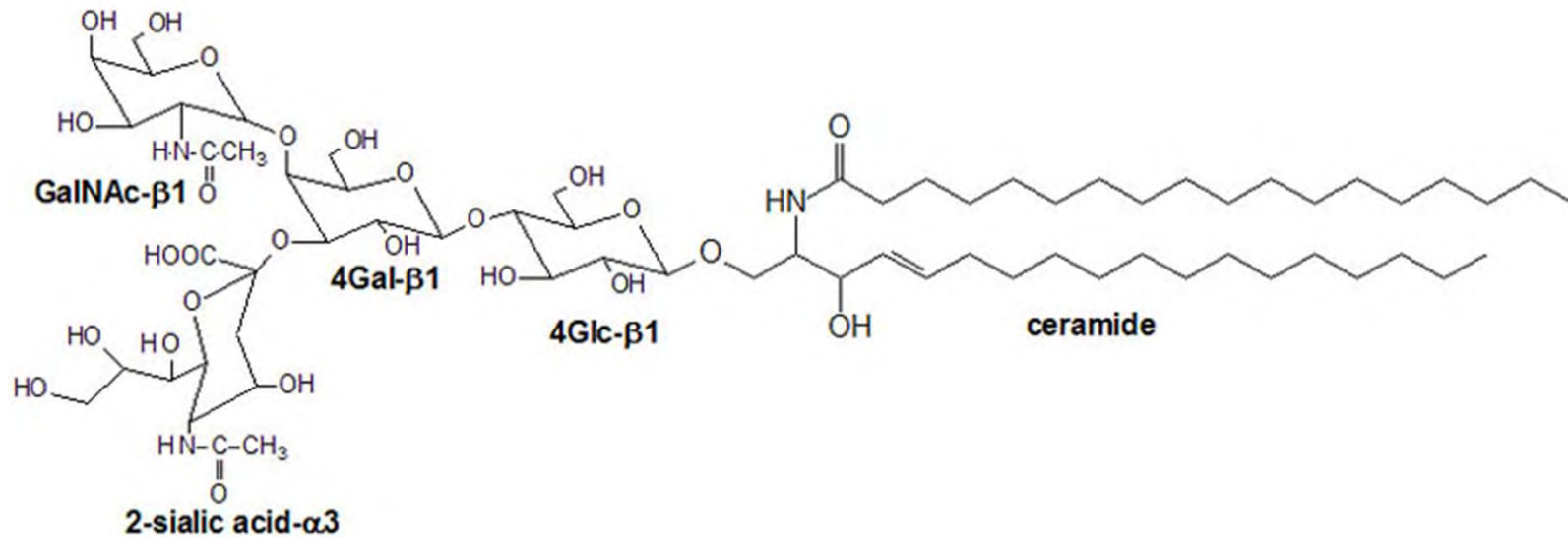


## SFINGOMIELINI SO POMEMBNA SESTAVINA MIELINSKE OVOJNICE MOŽGAN

Sfingomielin ima v polarni glavi fosfoholin ali etanolamin

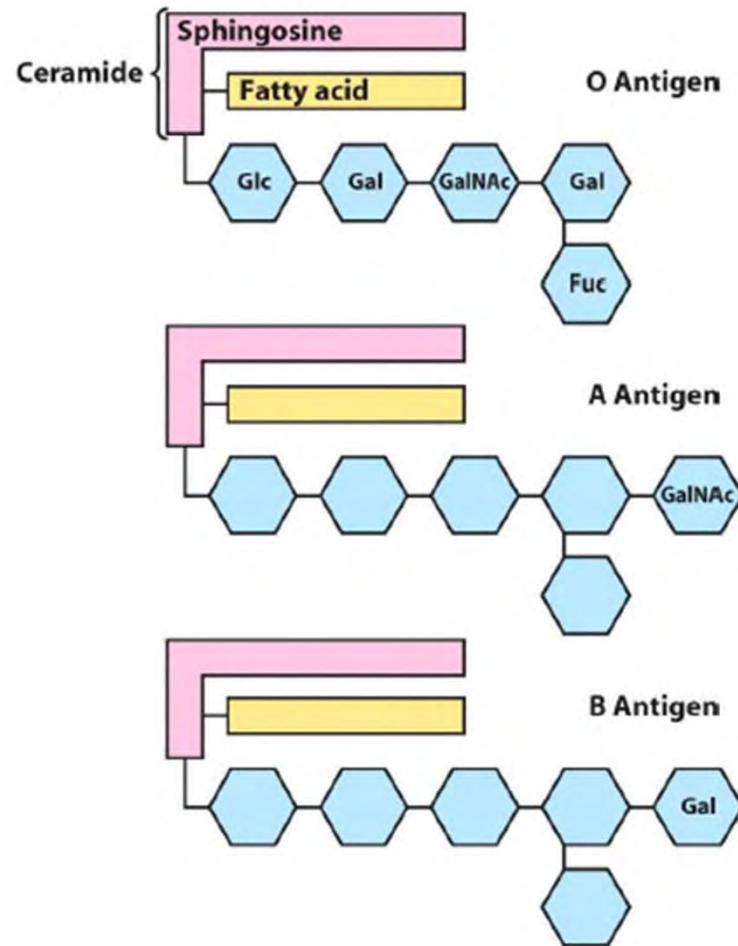


**KISLI SFINGOLIPIDI SO GANGLIOZIDI- V POLARNI GLAVI IMAJO OLIGOSAHARIDE s karboksilnimi skupinami (sialična kislina)**



Primer ganglioziida

# SFINGOLIPIDI NA CELIČNI POVRŠINI SO MESTA BIOLOŠKEGA PREPOZNAVANJA



Glikosfingolipidi kot determinante krvnih skupin (podrobneje pri sladkorjih)

## NENORMALNO SKLADIŠČENJE MEMBRANSKIH LIPIDOV IN BOLEZNI (SFINGOLIPIDOZE)

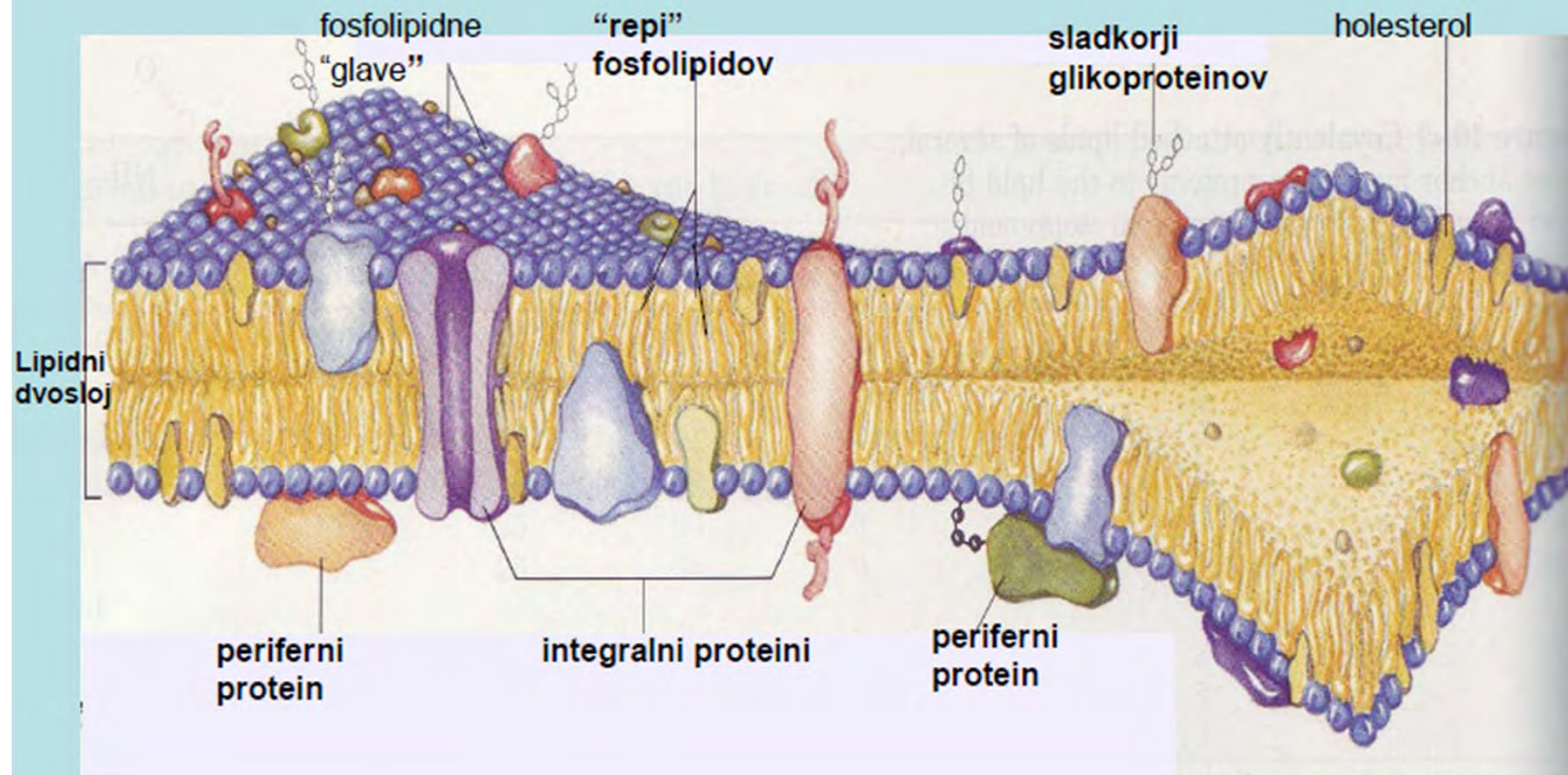
To so dedne bolezni, okvarjeni so encimi, ki razgrajujejo lipide

Disease	Enzyme Deficiency	Lipid Accumulating <sup>1</sup>	Clinical Symptoms
Tay-Sachs disease	Hexosaminidase A	Cer—Glc—Gal(NeuAc)—GalNAc G <sub>M2</sub> Ganglioside	Mental retardation, blindness, muscular weakness.
Fabry's disease	α-Galactosidase	Cer—Glc—Gal—Gal Globotriaosylceramide	Skin rash, kidney failure (full symptoms only in males; X-linked recessive).
Metachromatic leukodystrophy	Arylsulfatase A	Cer—Gal—OSO <sub>3</sub> 3-Sulfogalactosylceramide	Mental retardation and psychologic disturbances in adults; demyelination.
Krabbe's disease	β-Galactosidase	Cer—Gal Galactosylceramide	Mental retardation; myelin almost absent.
Gaucher's disease	β-Glucosidase	Cer—Glc Glucosylceramide	Enlarged liver and spleen, erosion of long bones, mental retardation in infants.
Niemann-Pick disease	Sphingomyelinase	Cer—P—choline Sphingomyelin	Enlarged liver and spleen, mental retardation; fatal in early life.
Farber's disease	Ceramidase	Acyl—Sphingosine Ceramide	Hoarseness, dermatitis, skeletal deformation, mental retardation; fatal in early life.

<sup>1</sup>NeuAc, *N*-acetylneuraminic acid; Cer, ceramide; Glc, glucose; Gal, galactose. —, site of deficient enzyme reaction.

## BIOLOŠKA MEMBRANA

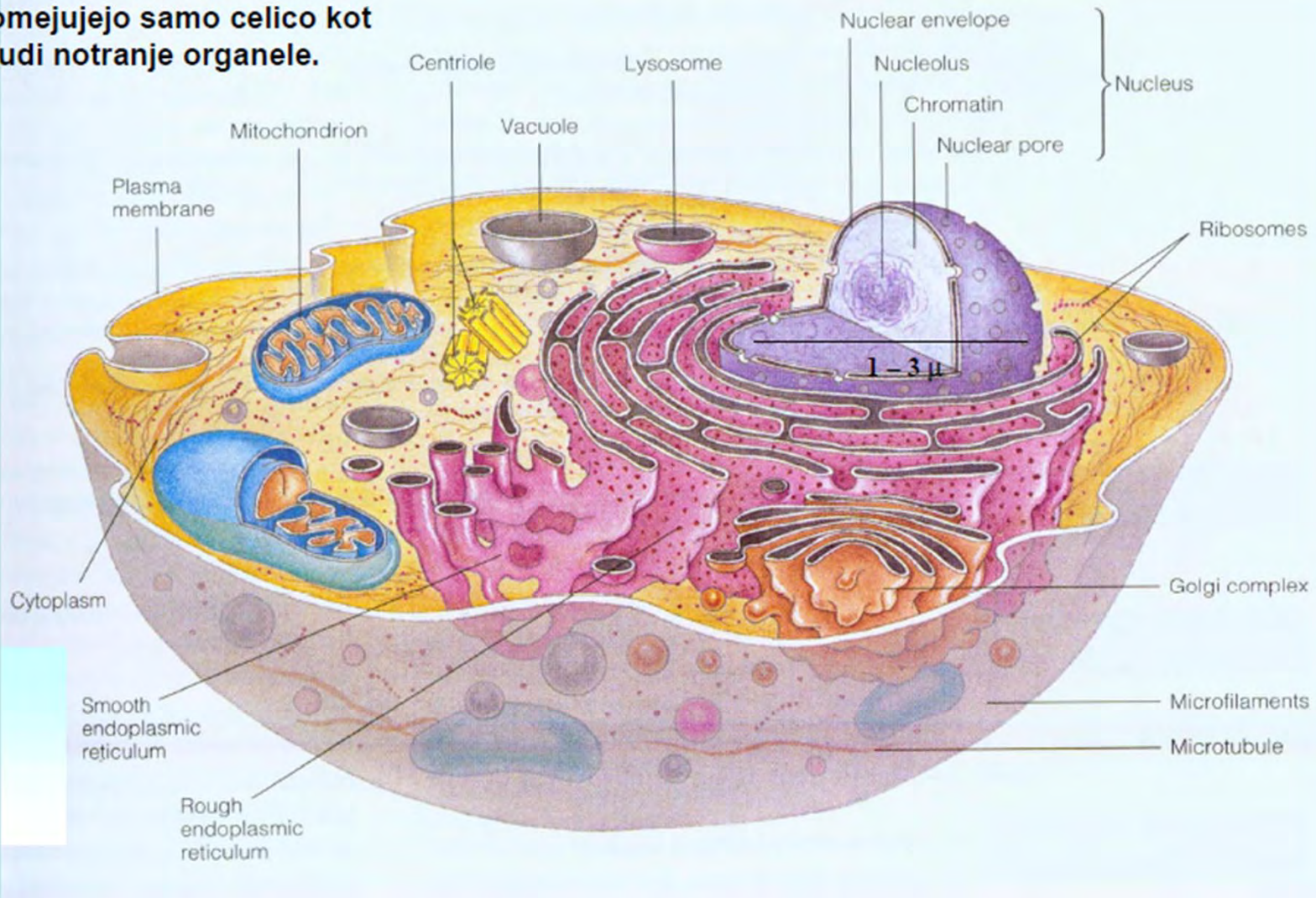
zunanja stran



notranja stran

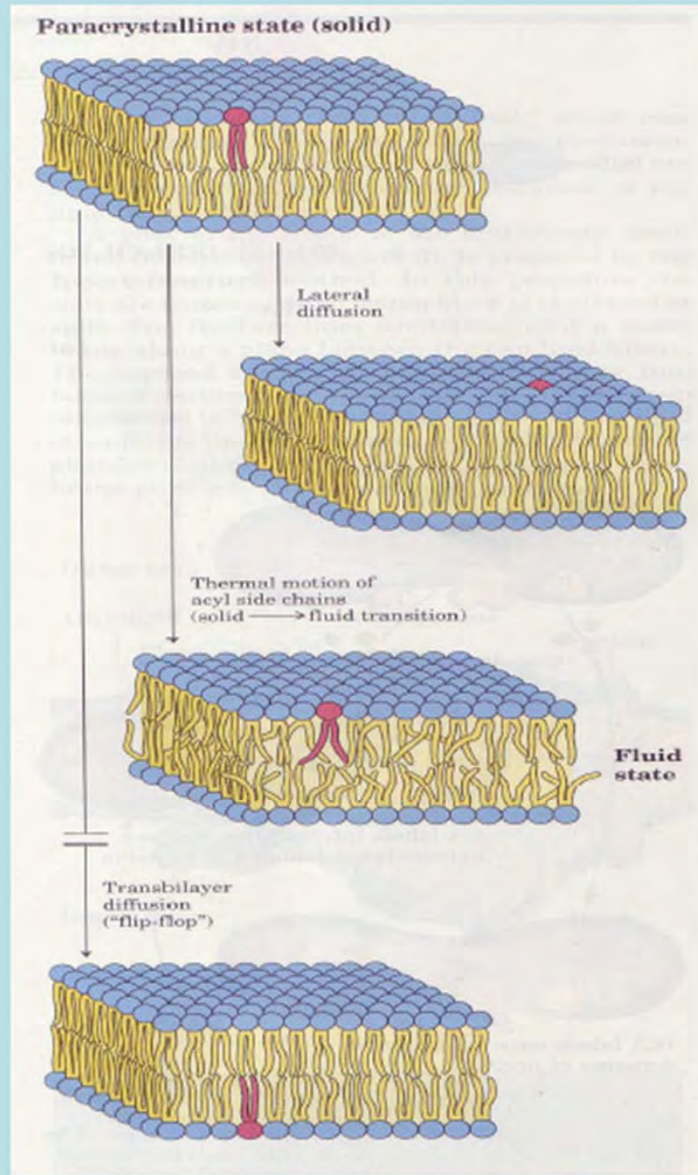
Različna lipidna sestava zunanje in notranje plasti, kot tudi različna zastopanost specifičnih proteinov – asimetričnost membrane.

**Biološke membrane omejujejo samo celico kot tudi notranje organele.**



$10 - 30 \mu$

**Mobilnost lipidov  
v lipidnem dvosloju**



Bočno  
(horizontalno)



Vertikalno z  
obratom  
("flip-flop")



## STRUKTURNI LIPIDI - POVZETEK

- Lipidi s polarno glavo in nepolarnimi repki so glavne sestavine membran. Najpogostejši so glicerofosfolipidi.
- Glicerofosfolipidi se razlikujejo po strukturi polarnih glav. Glavna predstavnik sta fosfatidiletanolamin in fosfatidilholin.
- Sfingolipidi vsebujejo dolgoverižni aminoalkohol sfingozi in NE vsebujejo glicerola. Pomembni predstavniki so sfingomielini. Ostali predstavniki so cerebrozidi, (globozidi) in gangliozi.

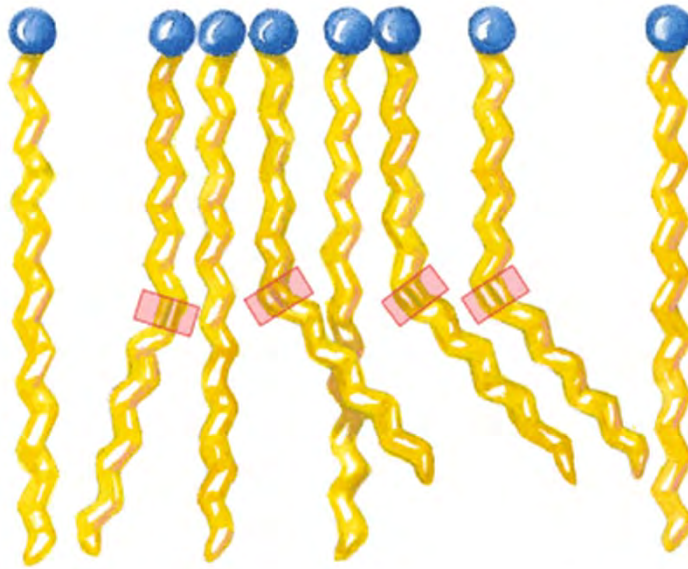






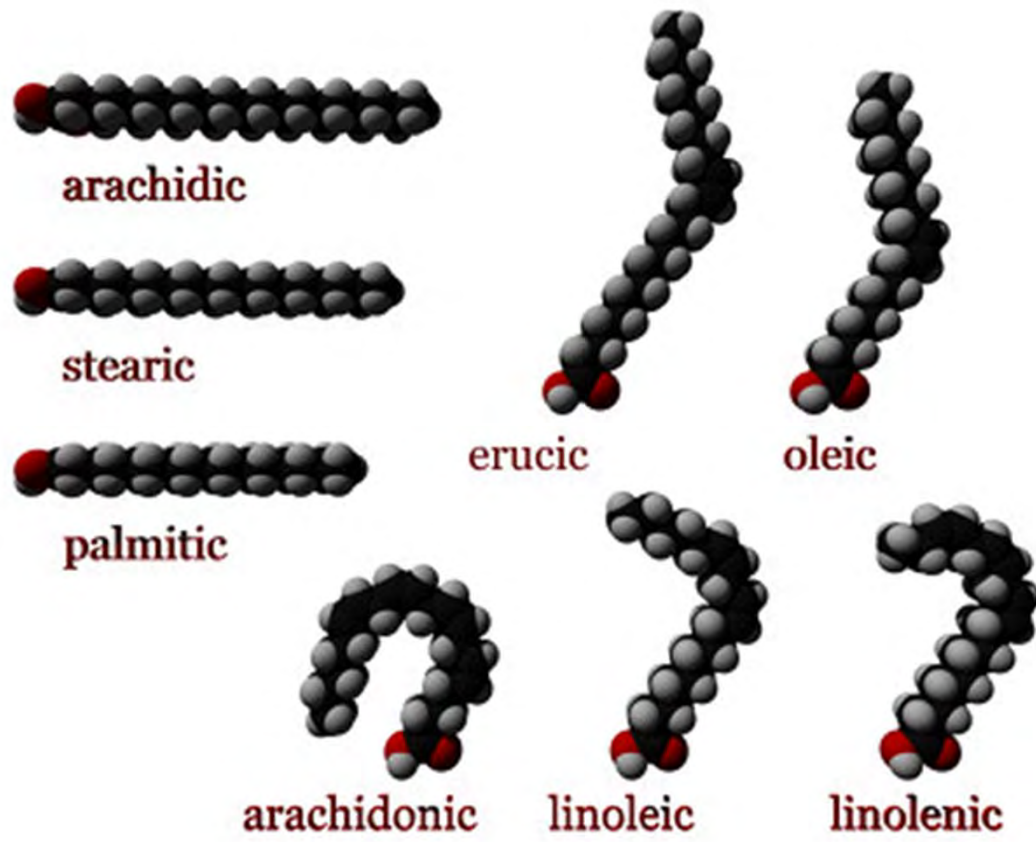
Saturated  
fatty acids

(c)



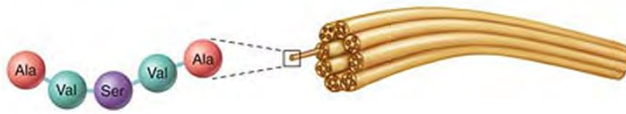
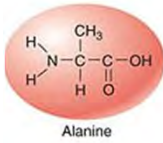
Mixture of saturated and  
unsaturated fatty acids

(d)



**TABLE 4.1** MACROMOLECULES

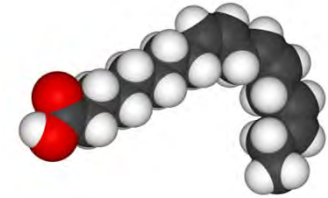
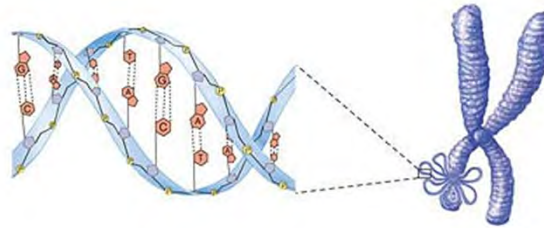
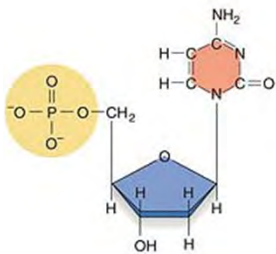
Monomer	Polymer	Cellular structure
Amino Acid	Polypeptide	Intermediate filament



Nucleotide

DNA strand

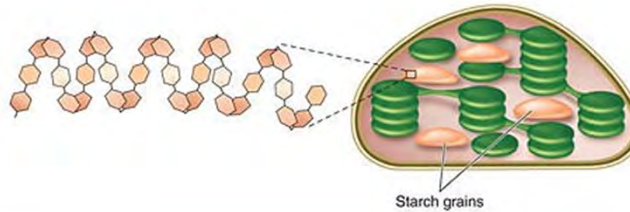
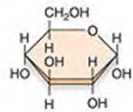
Chromosome



Monosaccharide

Starch

Starch grains in a chloroplast



Fatty acid

Fat molecule

Adipose cells with fat droplets

