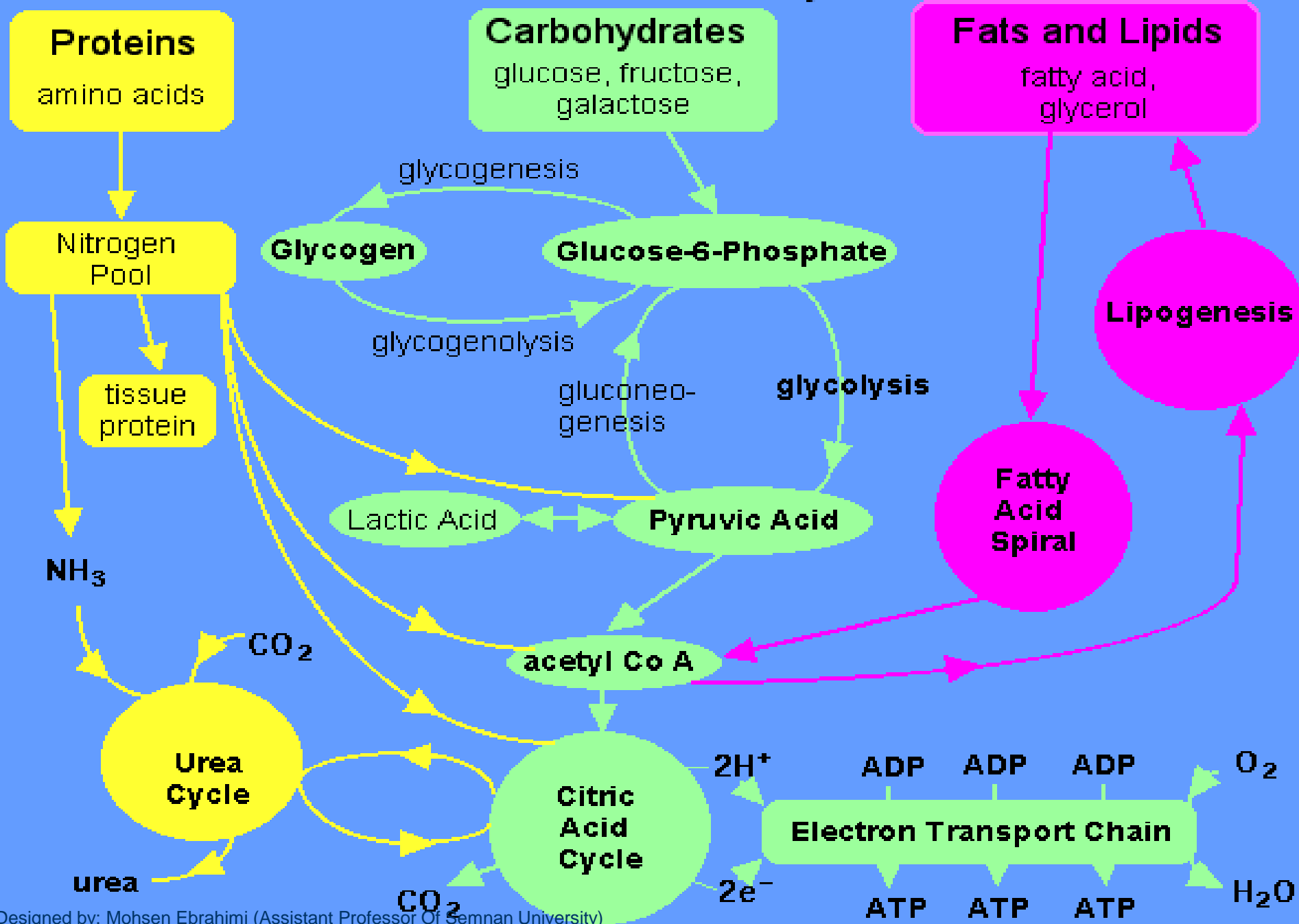


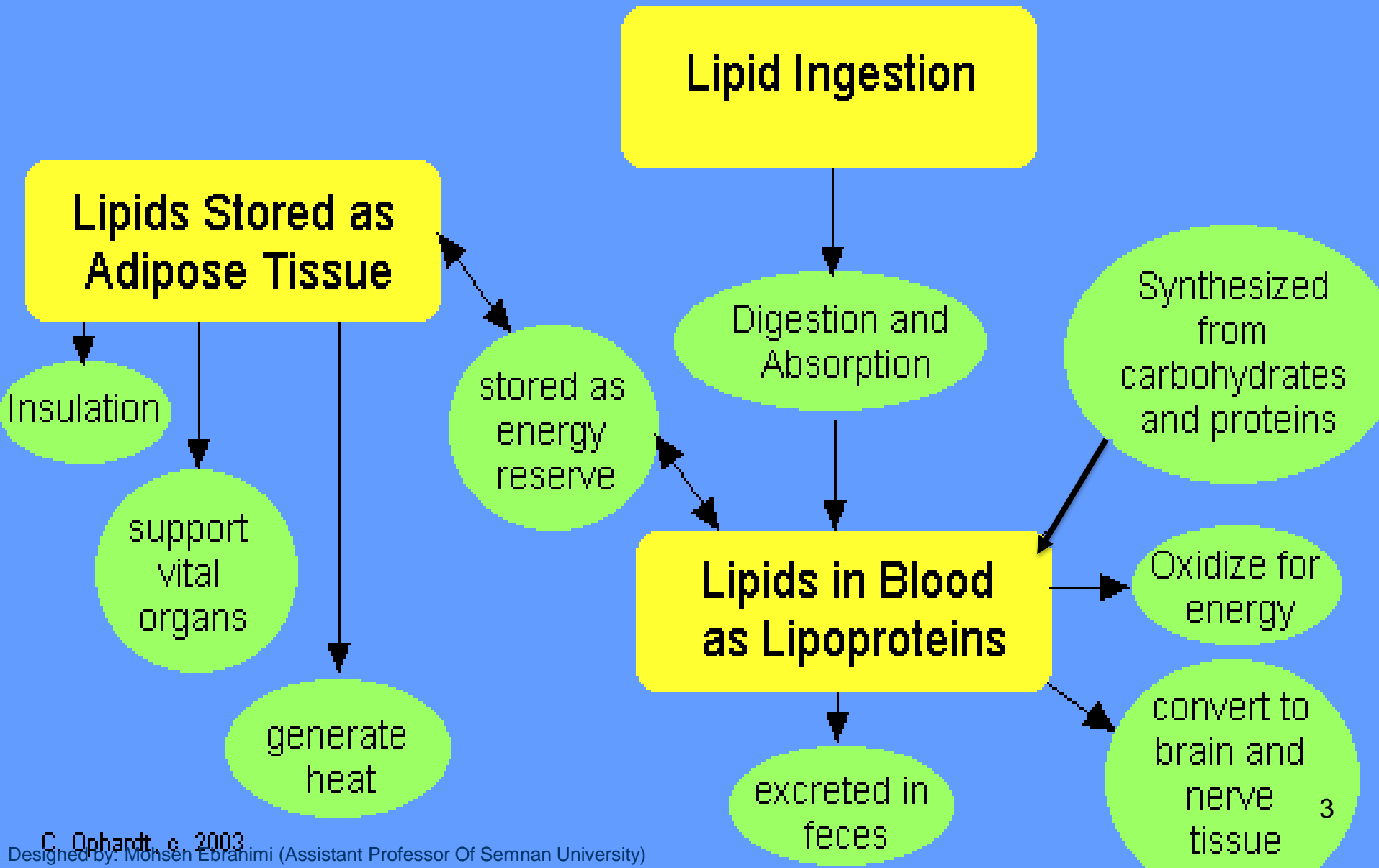
Fatty Acid Metabolism



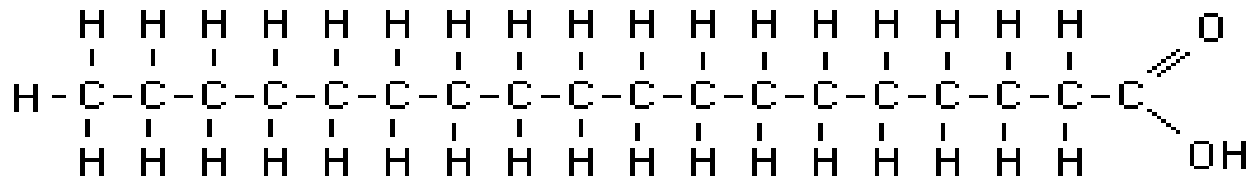
Metabolism Summary



Lipid Function and Metabolism Summary



فرمول کلی اسیدهای چرب



long hydrocarbon chain

carboxylic
acid group

Essential features of a fatty acid

بیشتر از ۷۰ نوع اسید چرب در طبیعت یافت می شود.

هفت اسید چرب به طور عمده در بدن وجود دارند.

تقریباً تعداد کربن های همه اسید های چرب در بدن زوج است و تعداد اتم های آن ها نیز بین ۱۴ تا ۲۲ اتم است. فراوان ترین نوع آنها نیز ۱۶ یا ۱۸ کربن دارند.

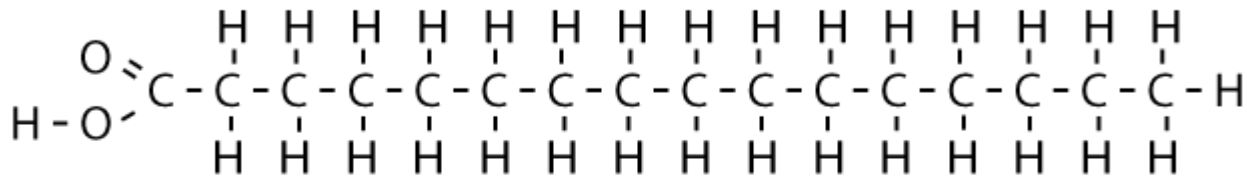
معروفترین اسیدهای چرب ← (۱) اسید استئاریک C₁₈

(۲) اسید اولئیک C₁₈ ← یک پیوند ۲ گانه

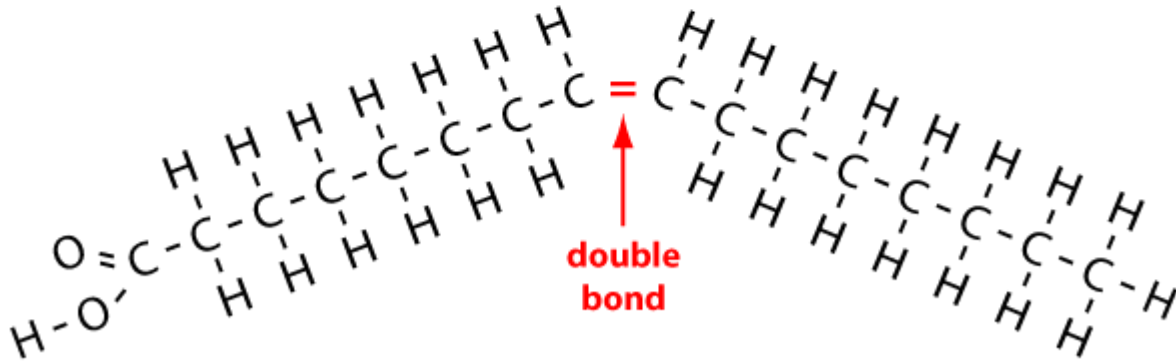
(۳) اسید پالمیتیک C₁₆

انواع اسید چرب

saturated fatty acid



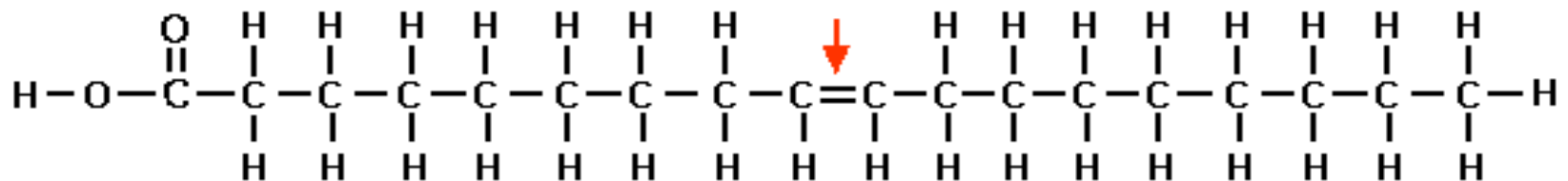
unsaturated fatty acid



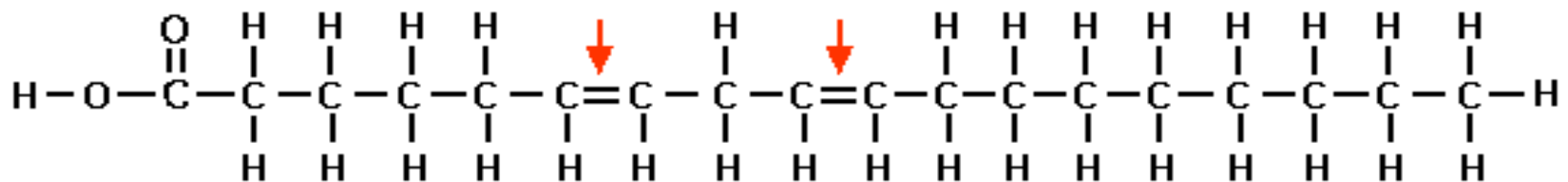
اسیدهای چرب غیر اشباع

■ یگانه

■ چندگانه



Oleic Acid- Monounsaturated Fatty Acid



Linoleic Acid- Polyunsaturated Fatty Acid

سیس و ترانس

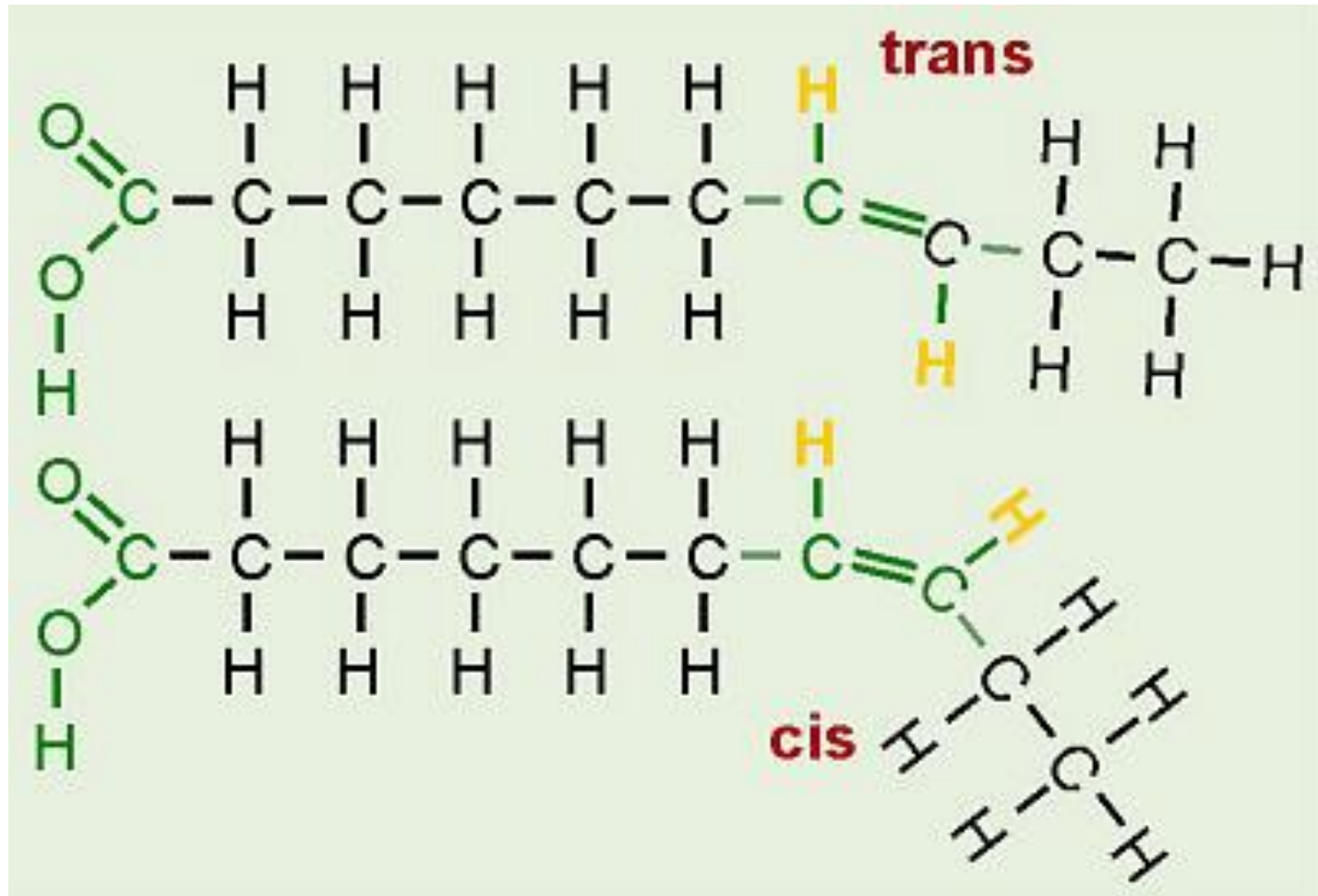
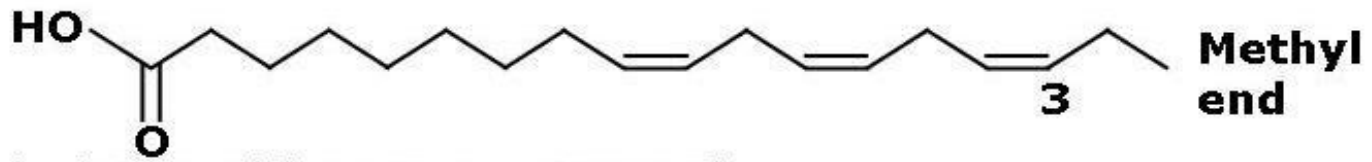
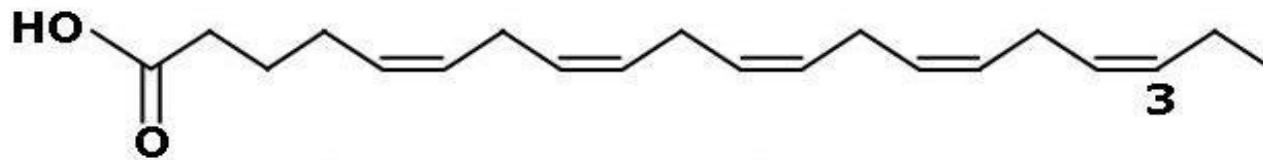


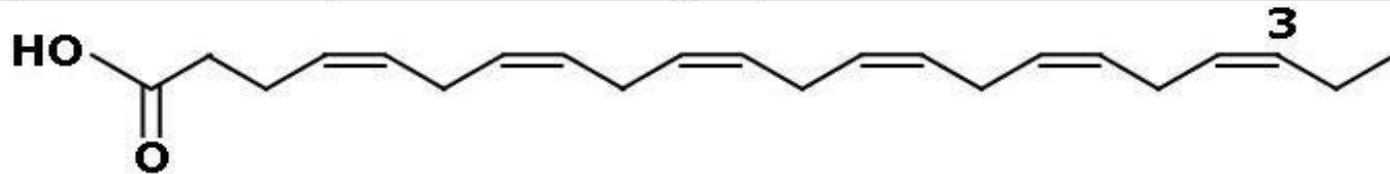
FIG. 1 OMEGA-3 AND OMEGA-6 FATTY ACIDS



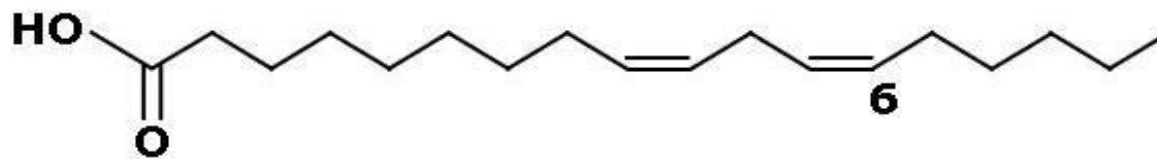
Alpha-linolenic acid (ALA, C18:3, omega-3)



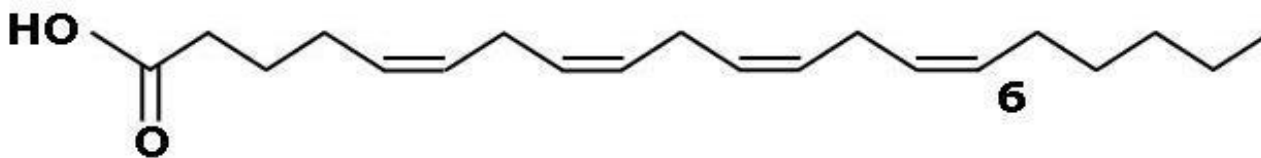
Eicosapentaenoic acid (EPA, C20:5, omega-3)



Docosahexaenoic acid (DHA, C22:6, omega-3)



Linoleic acid (LA, C18:2, omega-6)

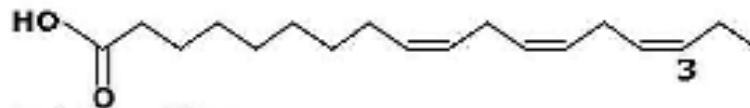


Arachidonic acid (AA, C20:4, omega-6)

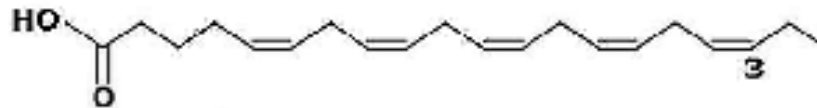
همه آنها جزو

polyunsaturated fatty acid

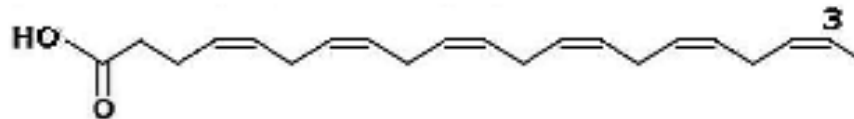
Omega-3 fatty acids



Alpha-linolenic acid ALA

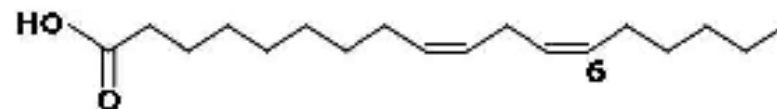


Eicosapentaenoic acid EPA

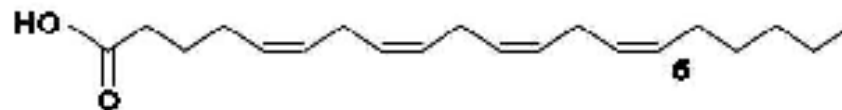


Docosahexaenoic acid DHA

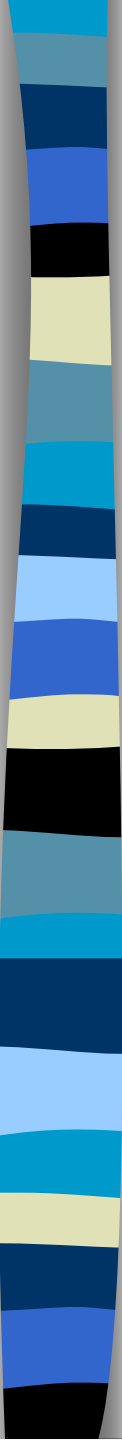
Omega-6 fatty acids



Linoleic acid LA



Arachidonic acid AA



روغن کبد ماهی کاد

روغن دانه کتان

روغن گاوزبان

روغن کلزا (کانولا)

	O-6/O-3 ratio	omega-6	omega-3
cod	0.03	0.01	0.22
tuna	0.05	0.01	0.27
shrimp	0.05	0.03	0.63
tuna canned in water	0.07	0.02	0.32
oil, cod liver	0.09	1.87	20.67
anchovy	0.10	0.15	1.49
halibut	0.10	0.09	0.85
Salmon	0.11	0.26	2.29
salmon oil	0.12	4.34	35.98
chinook	0.14	0.25	1.83
Spinach	0.19	0.02	0.12
herring	0.19	0.34	1.79
sardine oil	0.19	5.04	25.85
herring	0.22	0.44	1.98
Salmon, farmed	0.24	0.74	3.16
flax seed oil	0.24	14.00	59.14
flax seed	0.24	4.32	18.12
papayas	0.24	0.01	0.03
bluefish	0.27	0.23	0.83
broccoli	0.29	0.04	0.13
Mangos	0.38	0.01	0.04
Lettuce	0.41	0.03	0.08
kidney beans	0.63	0.02	0.03
green beans	0.64	0.02	0.04
collards	0.75	0.08	0.11
parmesan	0.92	0.32	0.35
mustard	0.97	0.28	0.29
mozzarella	1.06	0.39	0.37
white beans	1.19	0.20	0.17
kelp	1.20	0.02	0.02
Blueberries	1.48	0.10	0.07
borage oil	1.50	37.50	25.00
Butter	1.55	1.83	1.18
Milk, 3.7% milkfat	1.57	0.08	0.05
Bananas, raw	1.70	0.06	0.03
Beef, top sirloin	1.81	0.38	0.21
Beef, heart	1.97	0.61	0.31
Blackberries, raw	1.97	0.15	0.08
beans, lima, raw	2.08	0.28	0.14
oil, canola	2.18	20.30	9.30
Yogurt, plain	2.41	0.07	0.03

مارگارین
ذرت
آفتابگردان
کافشه
کلزا
زیتون
کره
هسته خرما
نارگیل

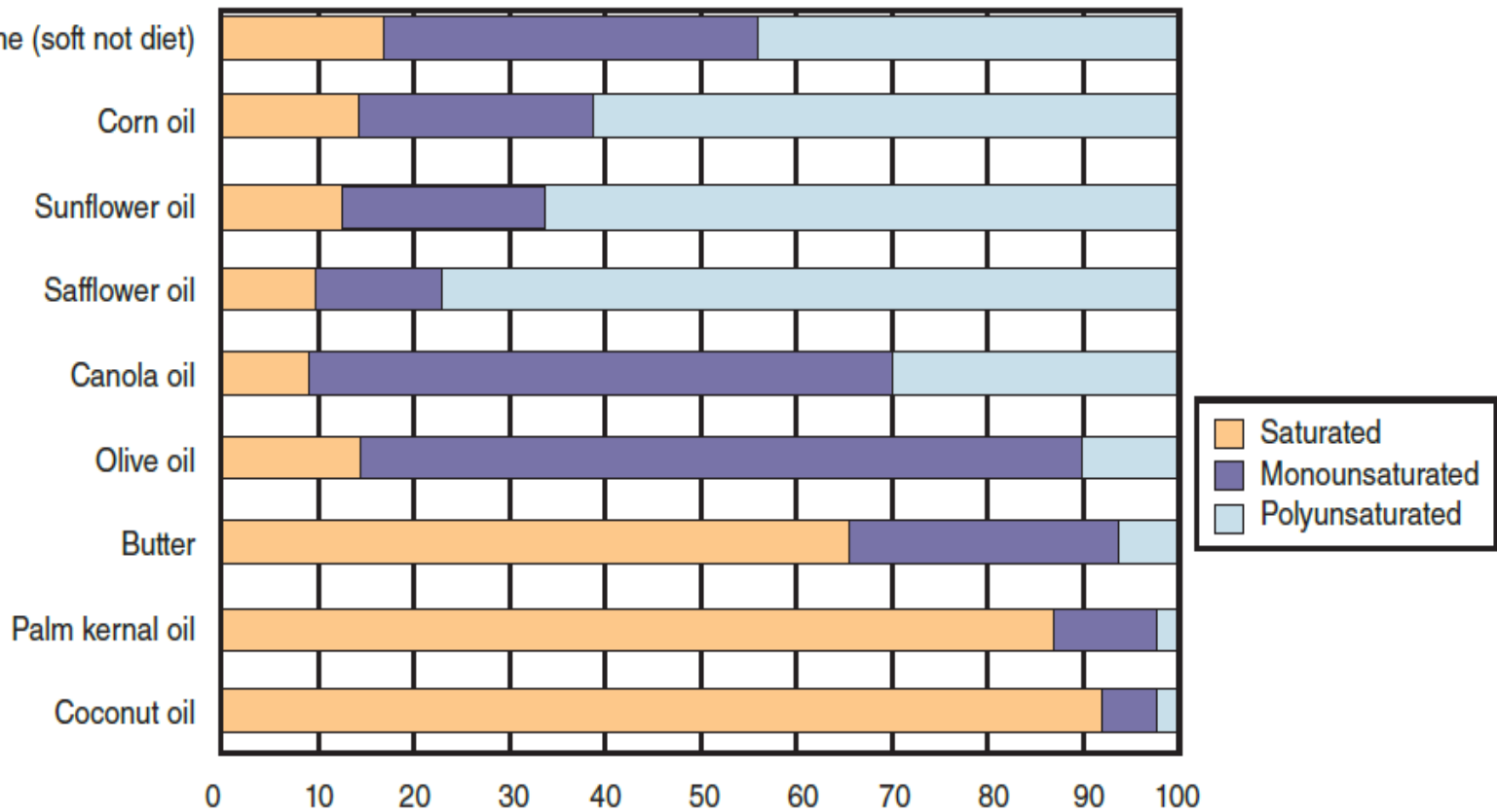
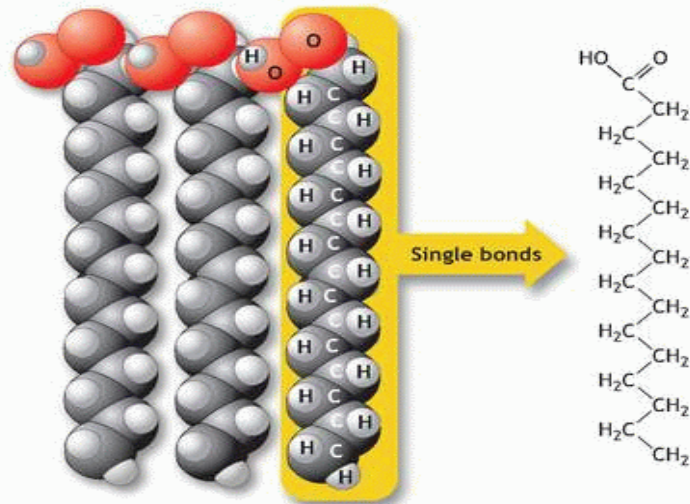


FIGURE 2.1 Saturated, monounsaturated, and polyunsaturated fatty acids in food.

Reprinted, by permission, from M. Dunford, 2001, *Exercise nutrition* (Champaign, IL: Human Kinetics), 14.

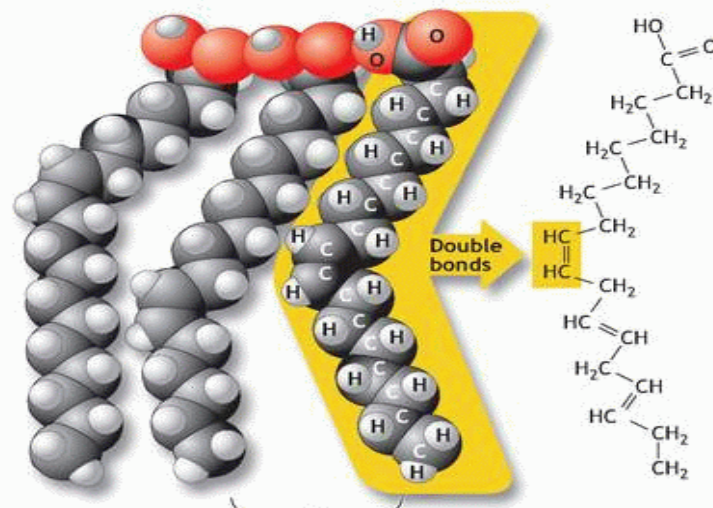
Saturated Fatty Acid



Carbon atoms linked by single bonds enable close packing of these fatty acid chains

A No double bonds; fatty acid chains fit close together

Unsaturated Fatty Acid



Carbon atoms linked by double bonds increases distance between fatty acid chains

B Double bonds present; fatty acid chains do not fit close together

منشأ چربی ها

(۱) منشأ خارجی ← خوردن مواد غذایی

(۲) منشأ داخلی ← سنتز اسیدهای چرب در بافت چربی، روده و کبد

تقسیم بندی:

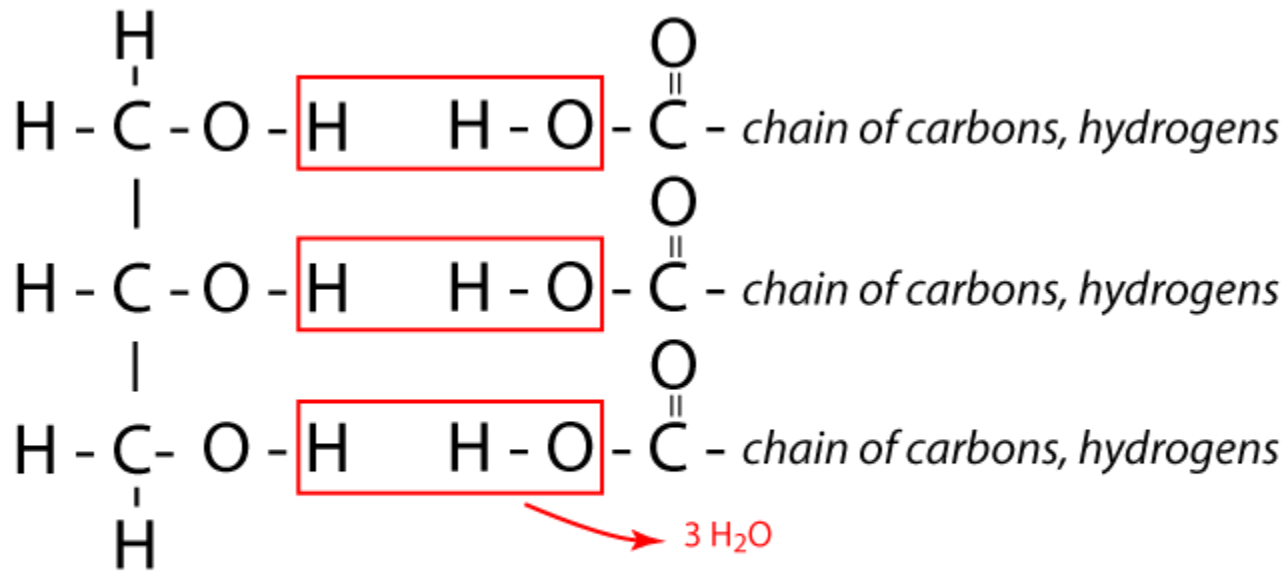
■ اسید های چرب ضروری (اسید لینولنیک، لینولئیک و آرشیدونیک)

■ اسیدهای چرب غیر ضروری

طبقه بندی چربی ها

1. ساده (اسید چرب، گلیسریدها و ...)
2. مرکب (فسفولیپید، لیپوپروتئین و ...)
3. مشتق (کلسترول، استروئیدها و ...)

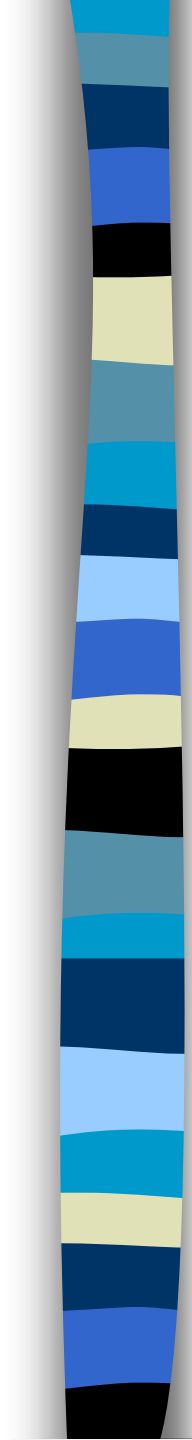
تری گلیسرید (تری آسید گلیسرول)



glycerol

3 fatty acids

بیش از ۹۵ درصد از چربی بدن به صورت تری گلیسرید است.

- 
- هفت اسید چرب به طور عمده در بدن وجود دارند اما از آنجائیکه سه اسید چرب برای تشکیل یک تری گلیسرید لازم است، 3×7 (۷ × ۷ × ترکیب مختلف از تری گلیسرید امکان پذیر است).
 - برخی از اسید های چرب متداول در بدن عبارتند از: اسید اولئیک، اسید پالمیتیک، اسید استئاریک، اسید لینولئیک، و اسید پالمیتولئیک.

منابع چربی در بدن

- به صورت تری گلیسرید در بافت چربی (ادیپوسیت)
- به صورت تری گلیسرید در عضله (IMTG). چهارصد گرم در کل عضله یا دوازده گرم در هر کیلوگرم عضله
- به صورت تری گلیسرید در کبد (۵۰ گرم)
- اسیدهای چرب متصل به آلبومین در گردش خون (غلظت آلبومین در خون ۴۵ گرم در لیتر است)
- لیپوپروتئین های خون

چربی های مرکب

از اجتماع چربی با مواد دیگر

فسفولیپید ← اسید چرب + اسید فسفریک

گلیکولیپید ← اسید چرب + قند

گلیسیریدها

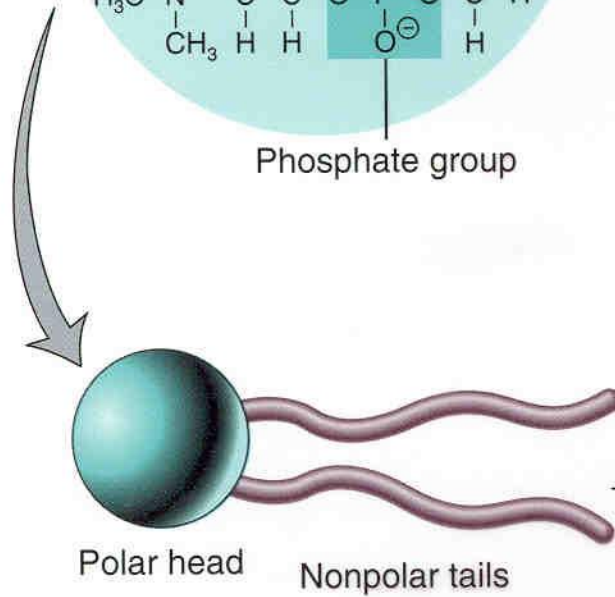
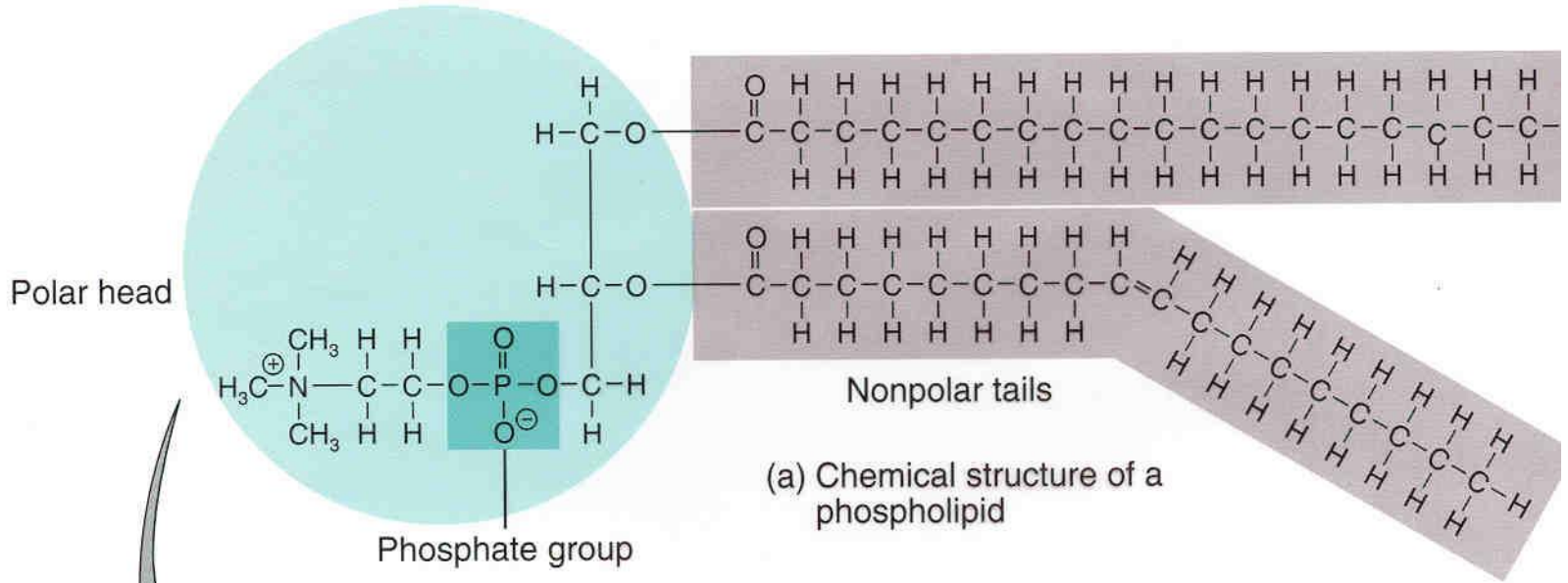
فسفولیپیدها

پروتئین

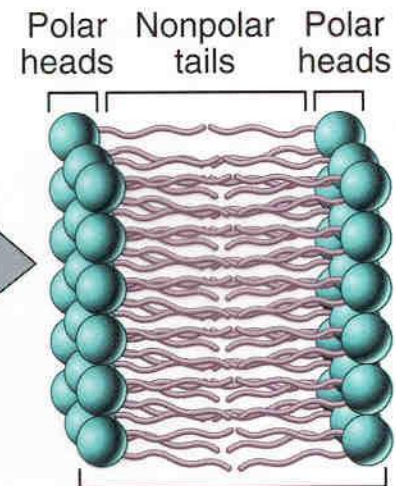
کلسترول

لیپوپروتئین ←

فسفولیپید

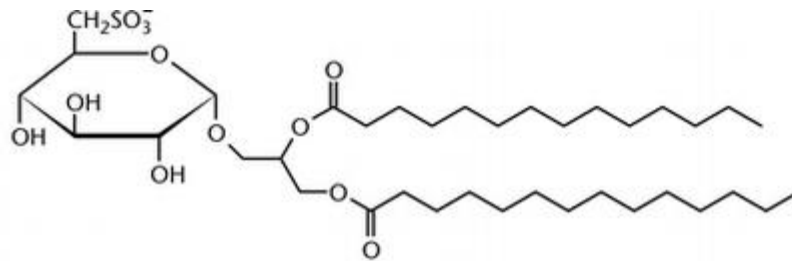


(b) Simplified way to draw a phospholipid

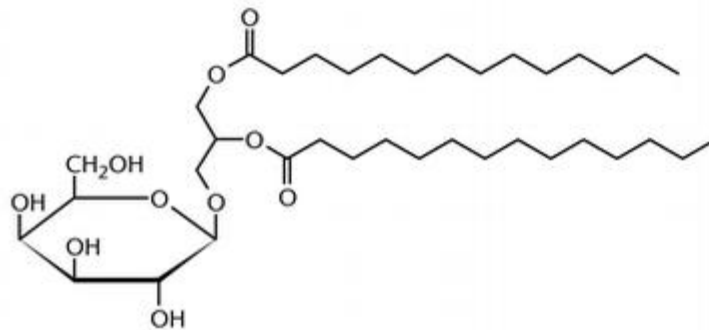


Cell membrane

گلیکولیپید

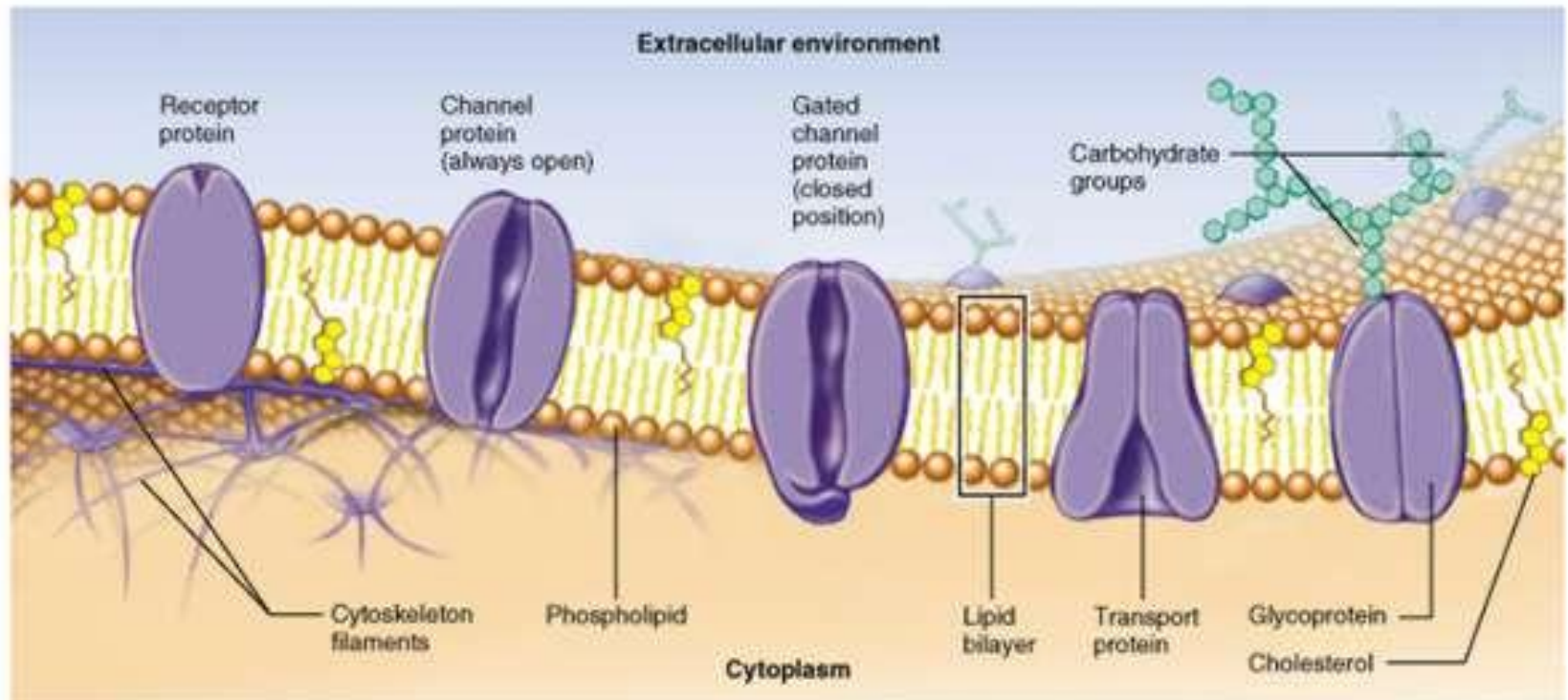


(a)

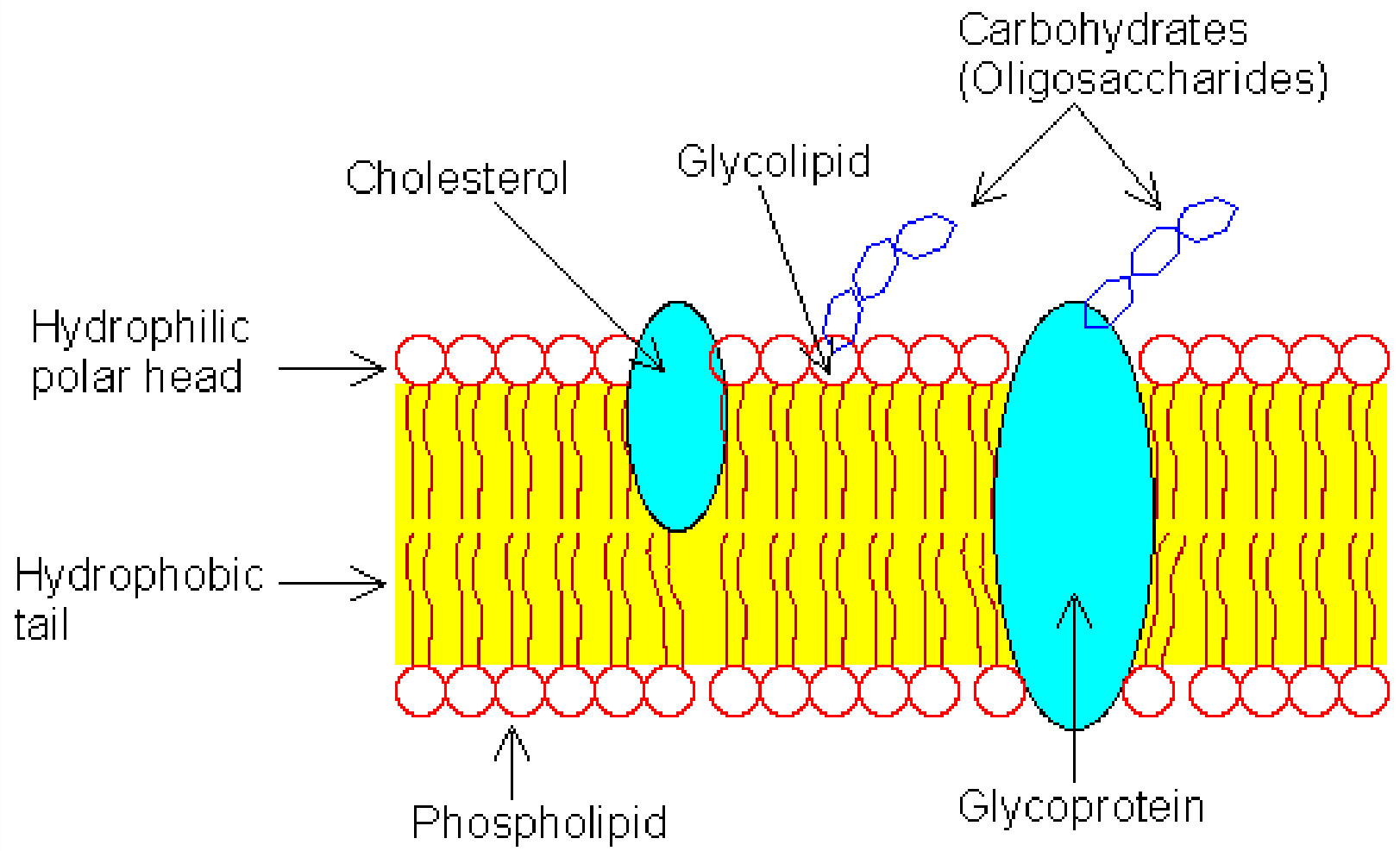


(b)

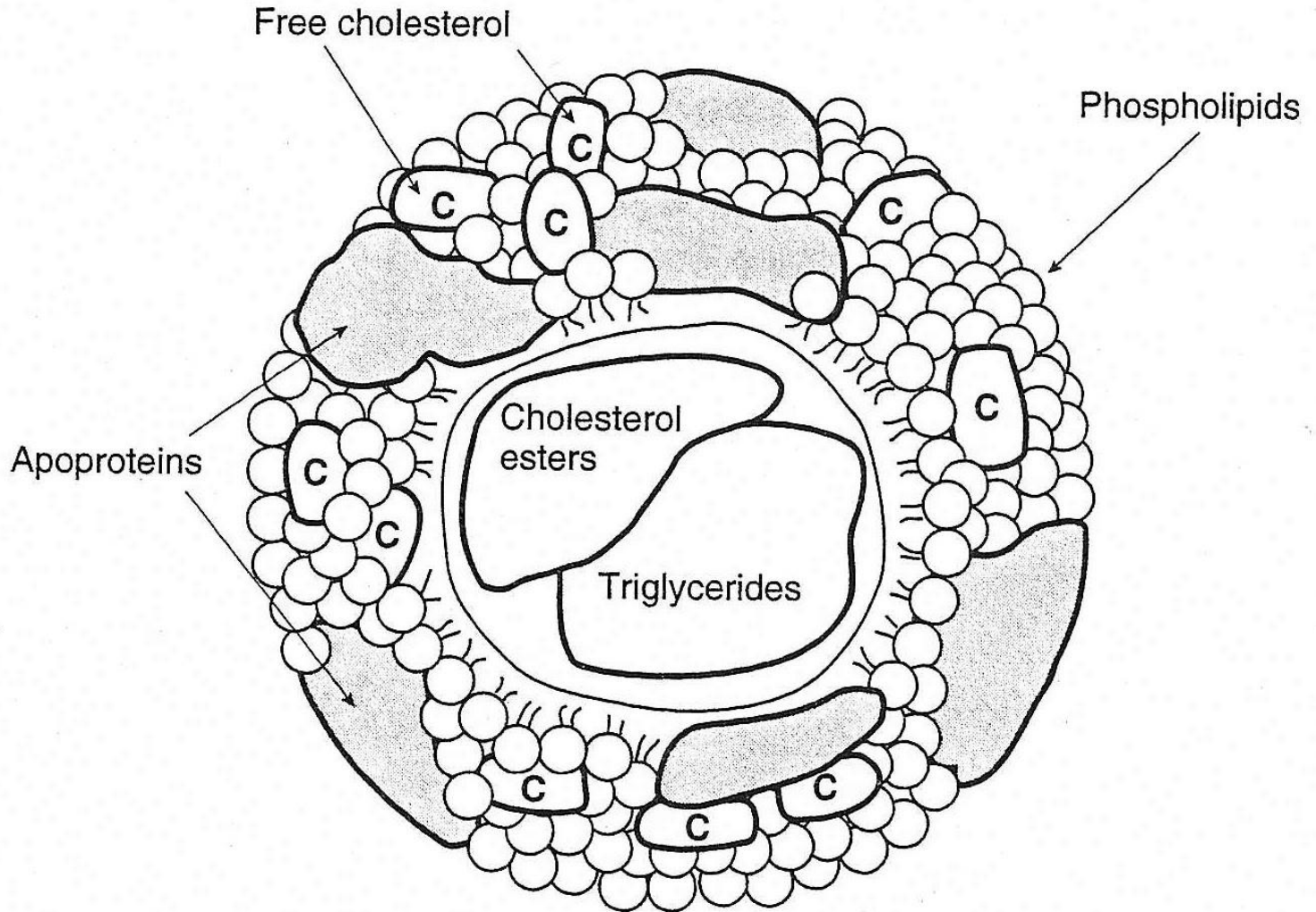
غشاء سلول

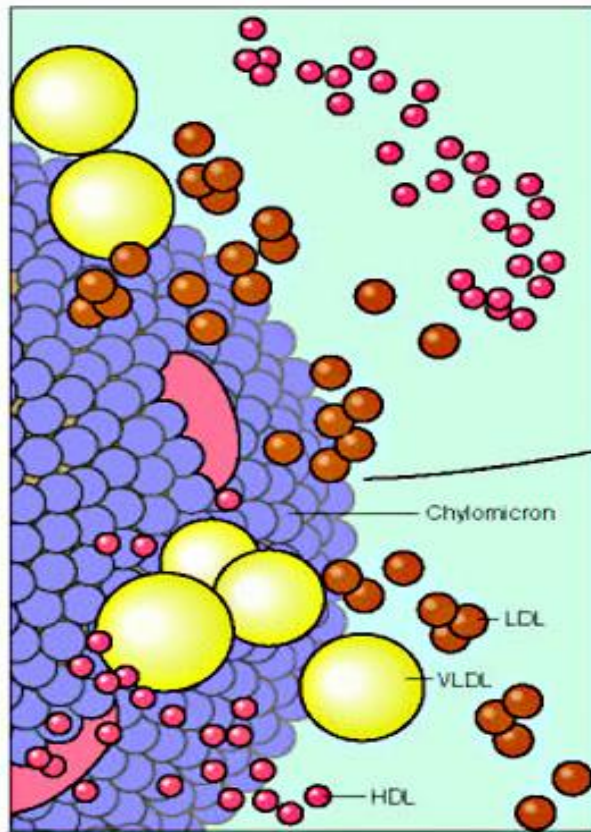


Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

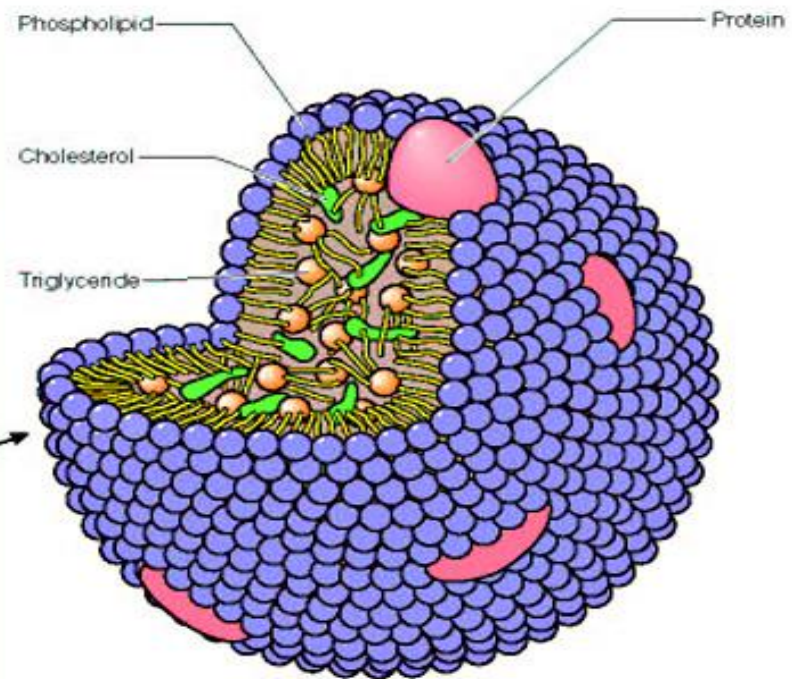


لیپوپروتئین





This solar system of lipoproteins shows their relative sizes. Notice how large the fat-filled chylomicron is compared with the others and how the others get progressively smaller as their proportion of fat declines and protein increases.



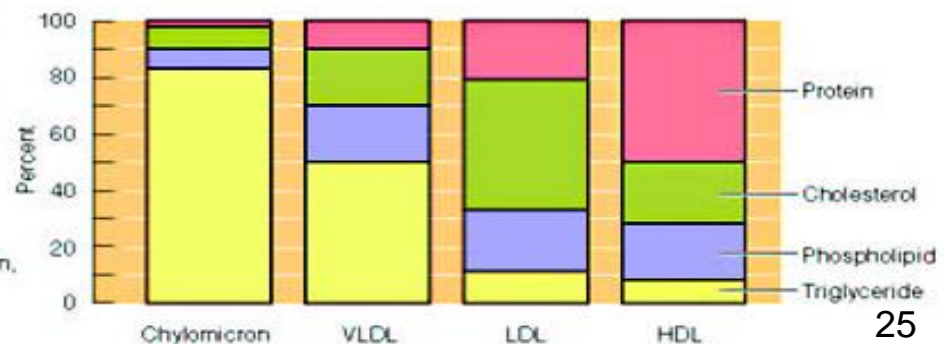
A typical lipoprotein contains an interior of triglycerides and cholesterol surrounded by phospholipids. The phospholipids' fatty acid "tails" point toward the interior, where the lipids are. Proteins near the outer ends of the phospholipids cover the structure. This arrangement of hydrophobic molecules on the inside and hydrophilic molecules on the outside allows lipids to travel through the watery fluids of the blood.

Chylomicrons contain so little protein and so much triglyceride that they are the lowest in density.

Very-low-density lipoproteins (VLDL) are half triglycerides, accounting for their low density.

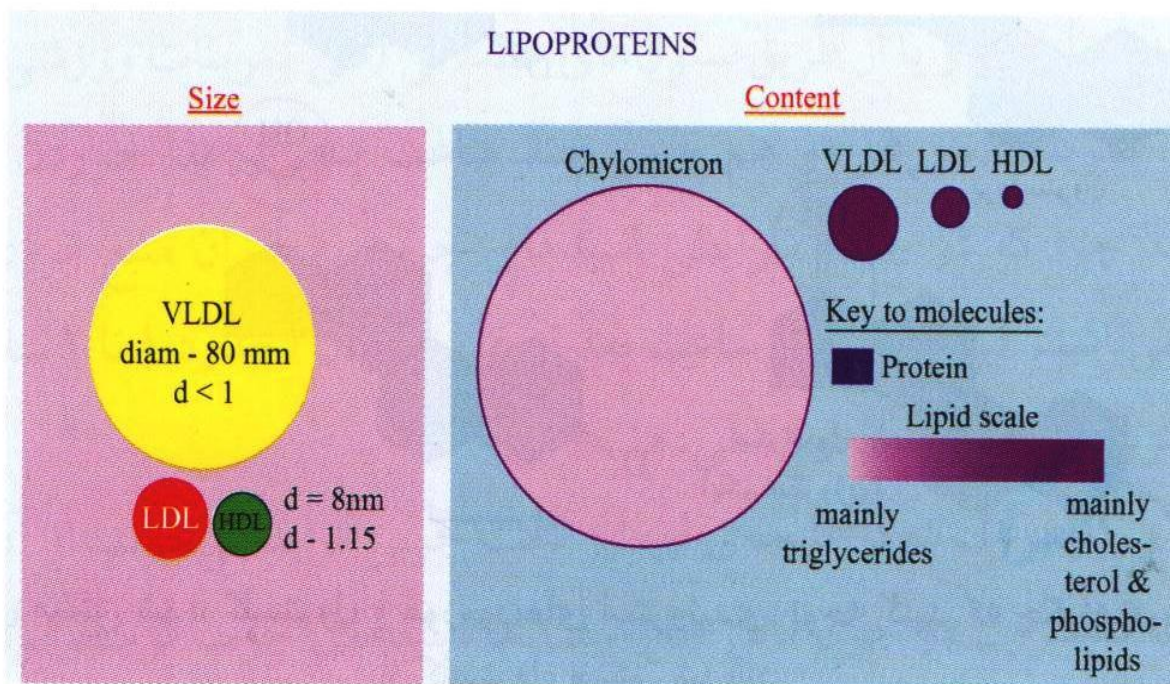
Low-density lipoproteins (LDL) are half cholesterol, accounting for their implication in heart disease.

High-density lipoproteins (HDL) are half protein, accounting for their high density.



جدول ۶-۱ ترکیب لیپوپروتئین‌ها

	چگالی بیشتر، پروتئین بیشتر	درصد ترکیب					لیپوپروتئین	
		MWt ($\times 10^{-6}$)	فسفو لیپید	کلسترول استر	کلسترول	تری آسید گلیسرول		پروتئین
↑ بیشتر لیپید	↓	>400	۸-۶	۳-۲	۳-۲	۹۰-۸۵	۲-۱	شیلو میکرون‌ها
		۱۰-۵	۲۰-۱۶	۱۶-۱۴	۸-۶	۵۵-۵۰	۱۰-۸	VLDL
		۵-۲	۲۵-۲۰	۴۵-۳۵	۱۲-۸	۱-۶	۲۲-۱۸	LDL
		۰/۴-۰/۲	۳۰-۲۵	۱۸-۱۲	۴-۲	۶-۳	۵۲-۴۷	HDL

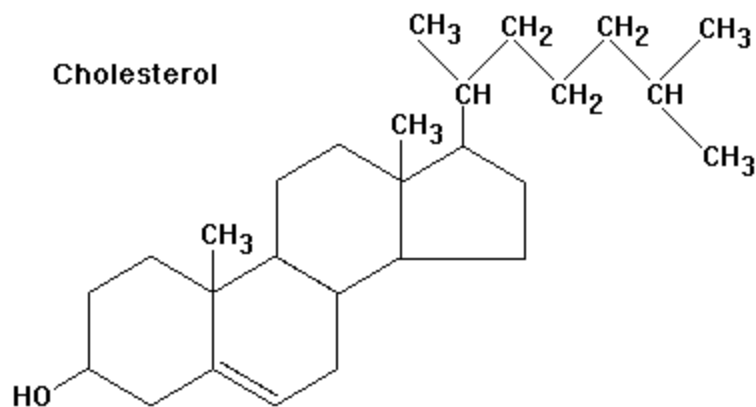


شکل ۶-۱۱ برخی ویژگی‌های لیپوپروتئین‌ها

درباره لیپوپروتئین ها

- لیپوپروتئین ها با احاطه کردن تری گلیسرید ها و کلسترول آنها را در جریان خون حمل می کنند.
- شیلومیکرون در جداره روده ساخته می شود و چربی های مواد غذایی را به کبد انتقال می دهد.
- لیپوپروتئین های دیگر در کبد ساخته می شوند.
- آنزیم لیپوپروتئین لیپاز (LPL) در جداره عروق مسئول تجزیه تری گلیسرید های لیپوپروتئین ها می باشد.
- HDL چربی ها را از عروق به کبد حمل کرده تا تبدیل به صفرا شوند و از طریق کیسه صفرا وارد دستگاه گوارش شده از آنجا دفع شوند.

چربی های مشتق



کلسترول در بدن از ۲ ماده ساخته می شود:

■ اسید سیتریک

■ استیل کوآنزیم A

دارای ۲۷ اتم کربن و ۴ حلقه است.

اعمال کلسترول:

(۱) جلوگیری از سرطان

(۲) تبدیل به اسیدهای صفراوی و هورمونهای جنسی و استروئیدهای مترشحه از غده فوق کلیوی

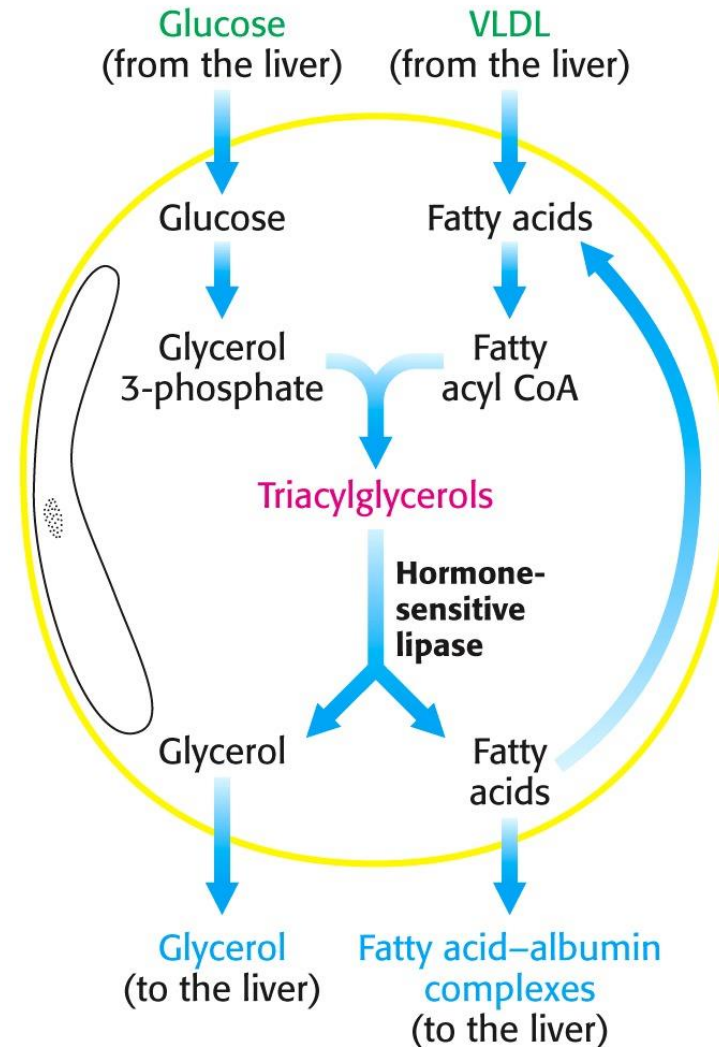
(۳) رسوب در دیواره عروق

Metabolic Profile of Adipose tissue

Triacylglycerols are stored in tissue -> enormous reservoir of metabolic fuel

-> needs glucose to synthesis TAG;

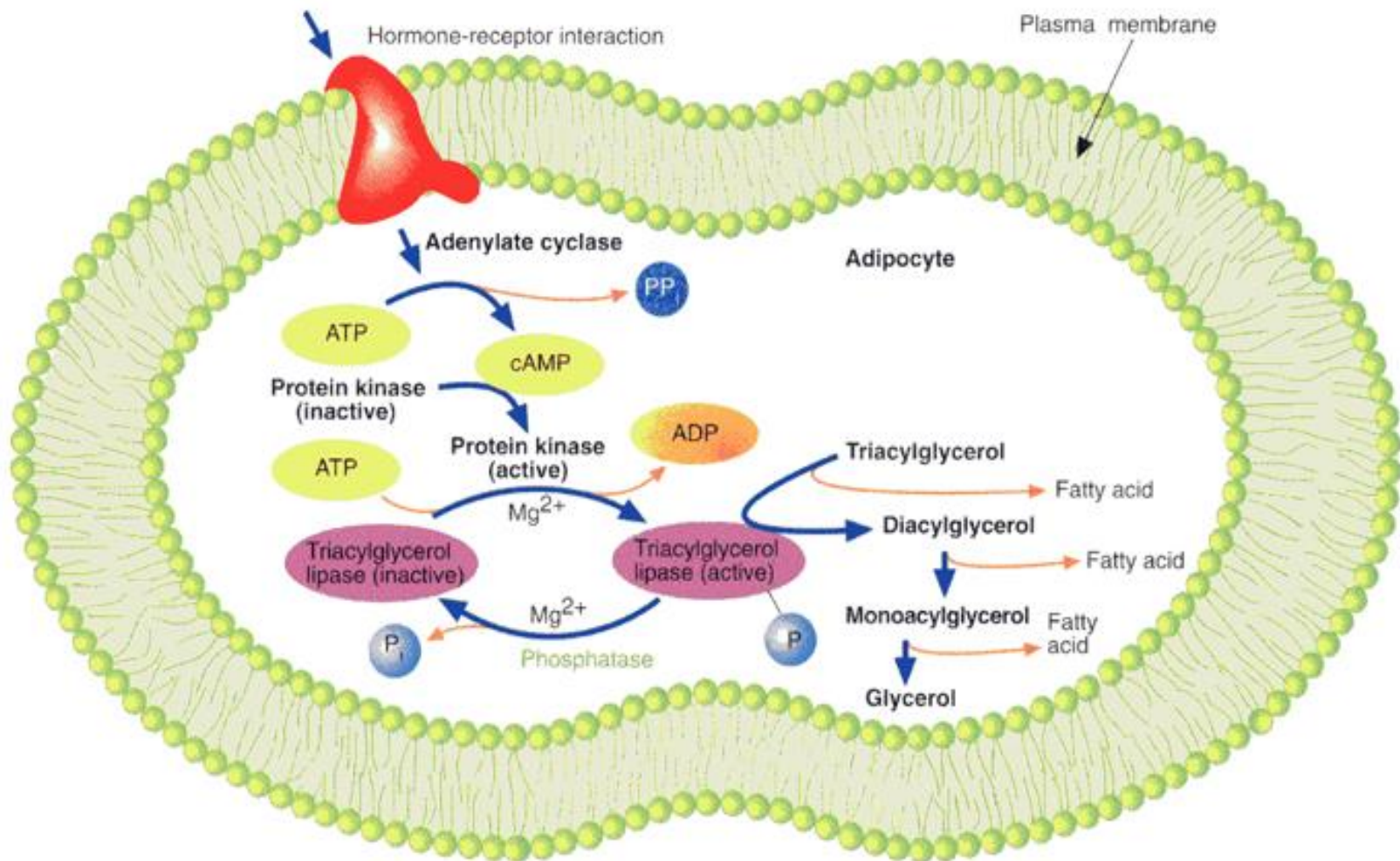
-> glycerol level determines if fatty acids are released into blood



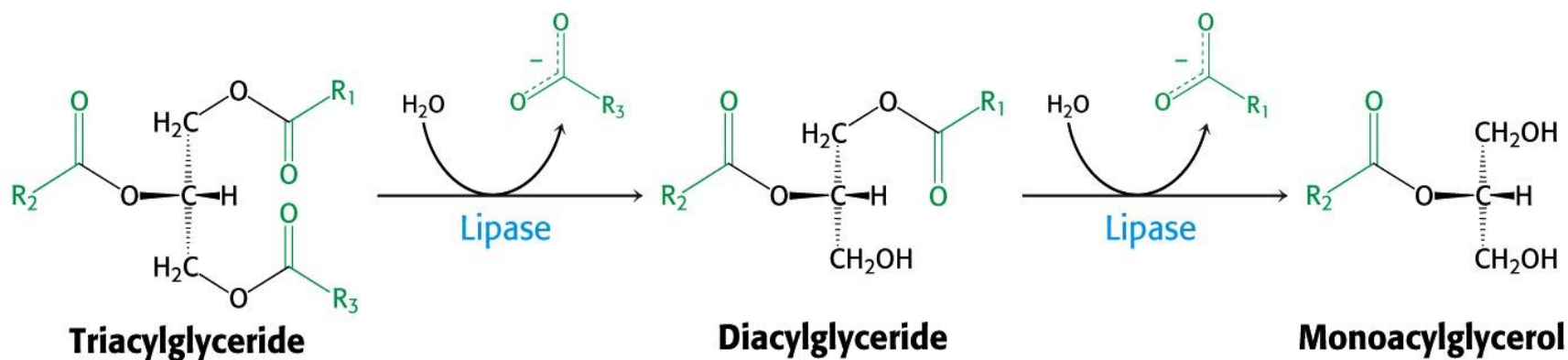
مراحل سوخت چربی موجود در بافت چرب

- لیپولیز و آزاد سازی از سلول های چربی
- حمل در خون
- انتقال از غشای سلول
- انتقال از غشای میتوکندری
- بتا اکسیداسیون
- چرخه کربس
- زنجیره انتقال الکترون

آزاد سازی



تجزیه تری گلیسرید (لیپولیز)



Triacylglyceride

Diacylglyceride

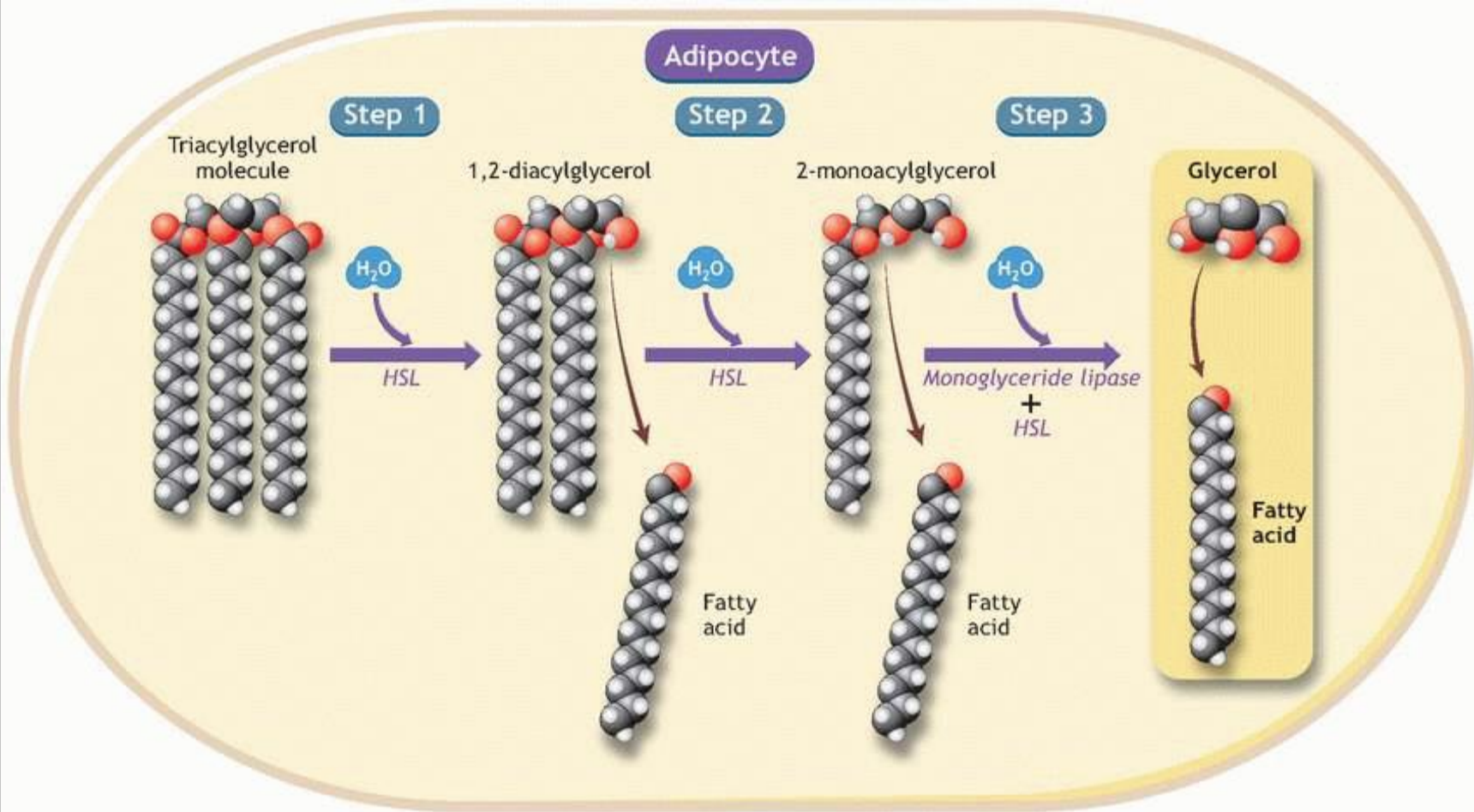
Monoacylglycerol

آدیپوز تری گلیسرید لیپاز
(ATGL)

لیپاز حساس به هورمون
(HSL)

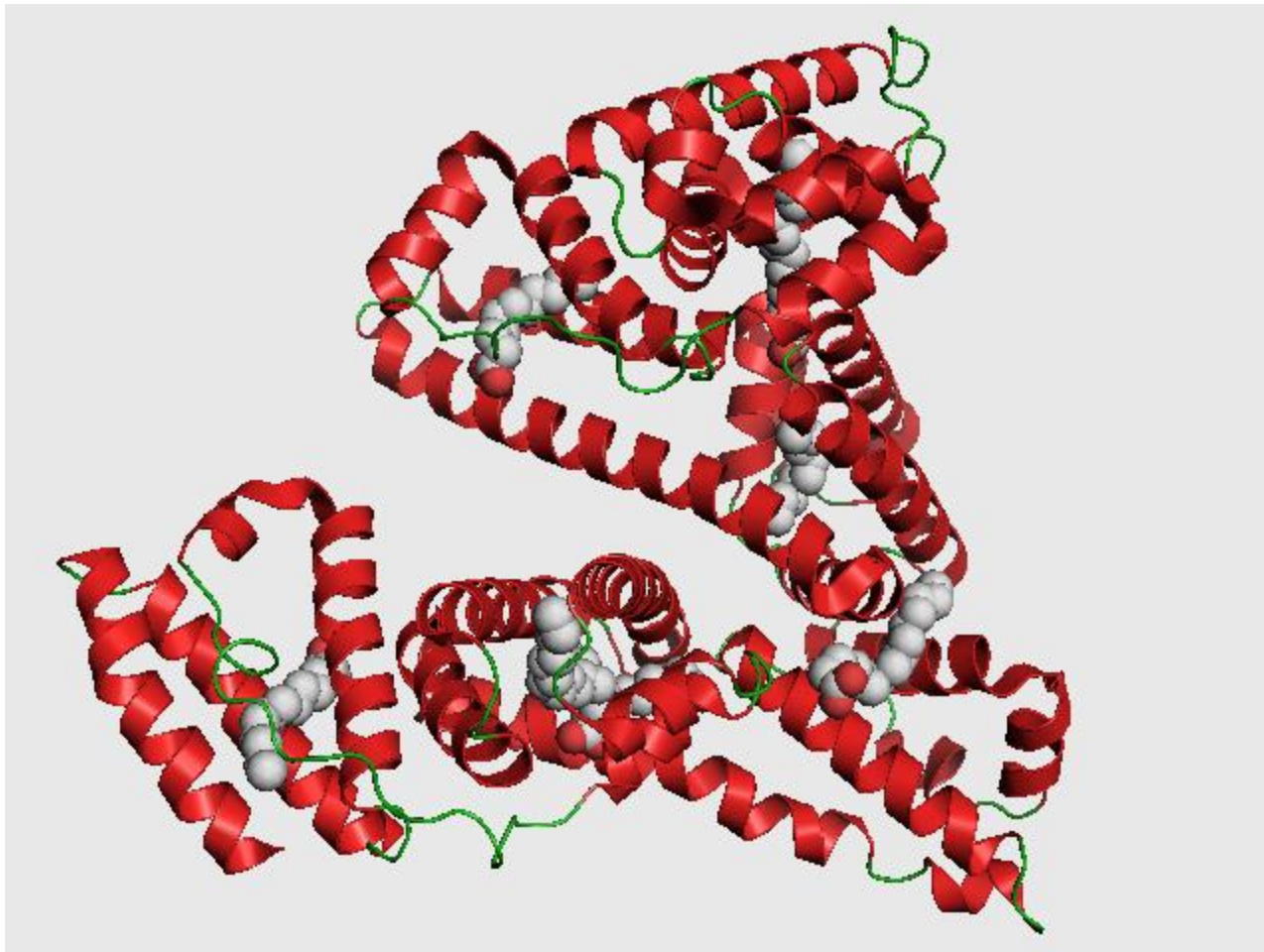
منو گلیسرول لیپاز
(MGL)

تری آسیل گلیسرول → دی آسیل گلیسرول → منو آسیل گلیسرول → گلیسرول

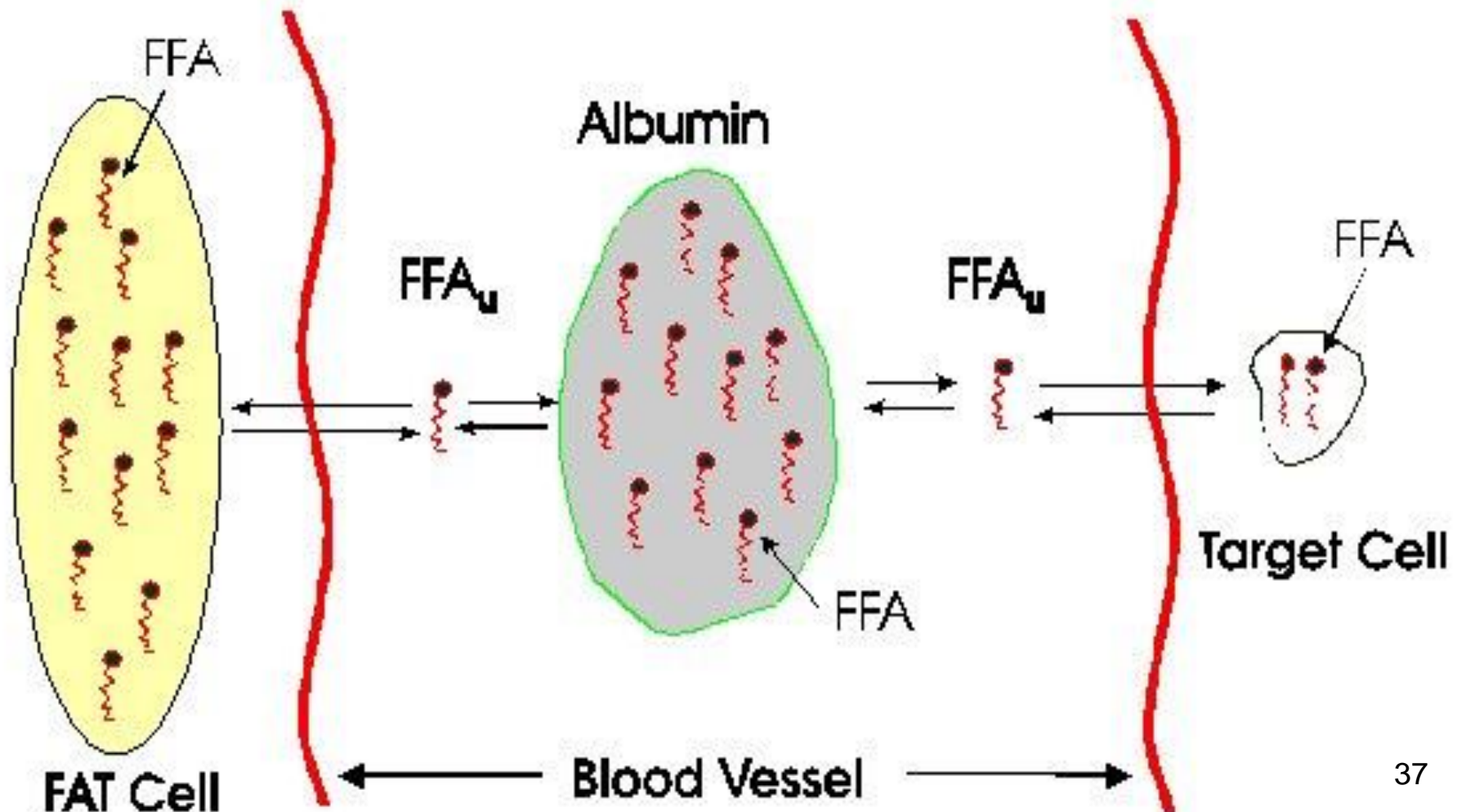


حمل در خون

■ آلبومین

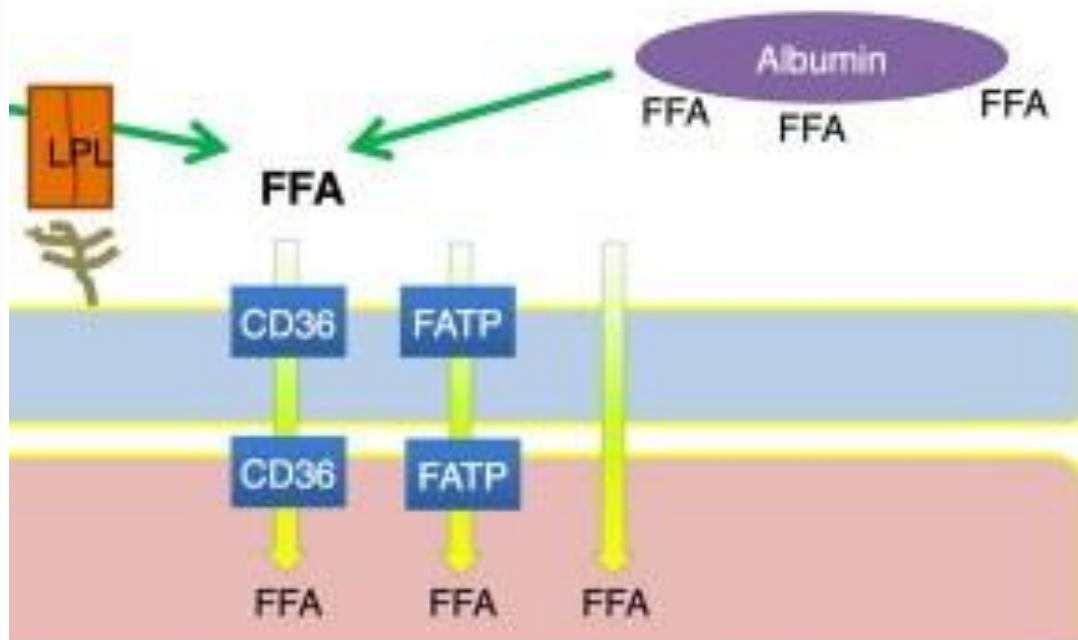


FFA_u and FA/albumin Buffering

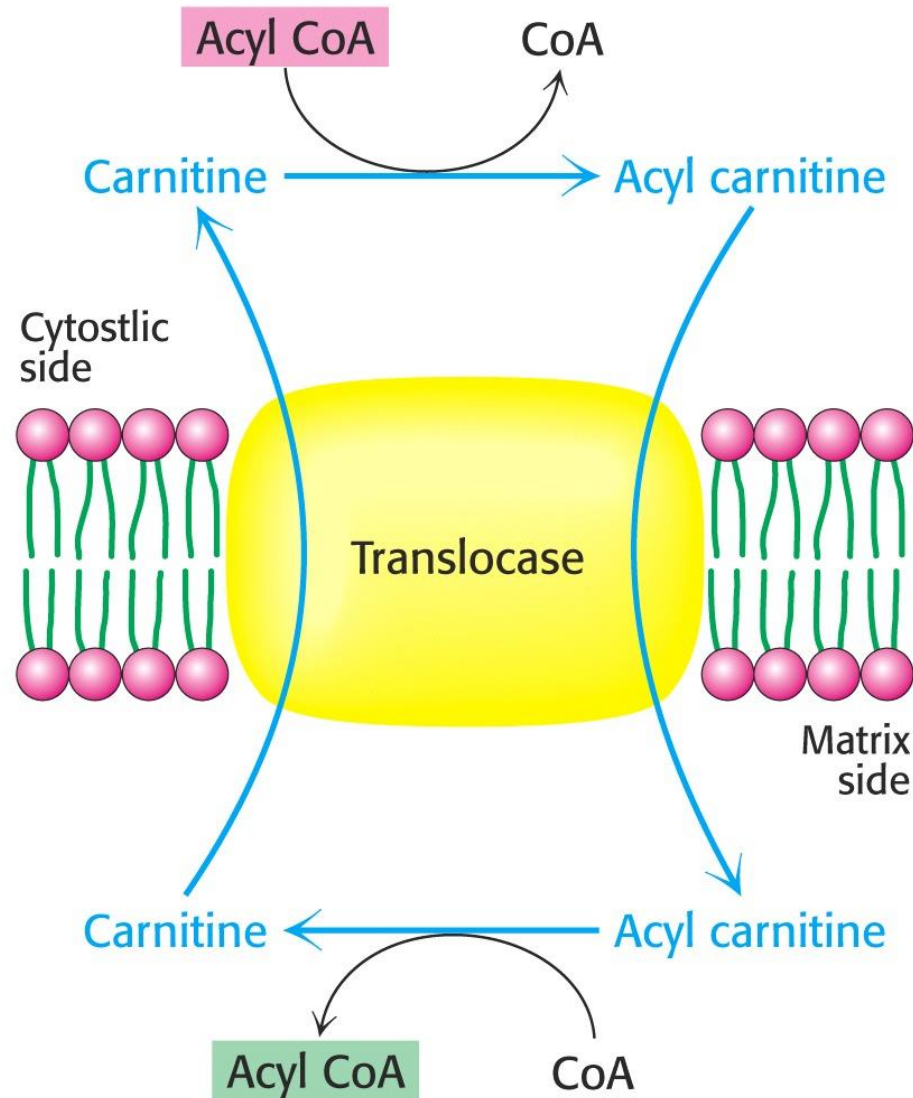


انتقال اسید چرب زنجیره بلند به سلول

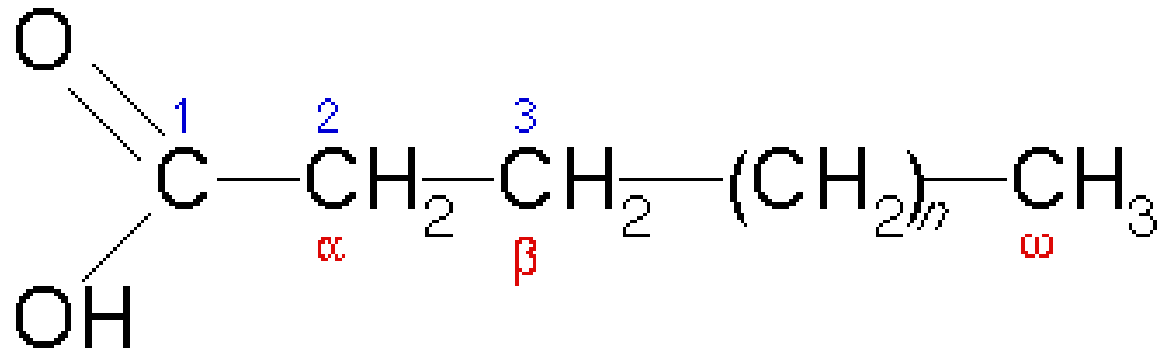
- پروتئین انتقال دهنده اسید چرب (FATP)
- ترانس لوکاز اسید چرب (FAT) یا CD36
- پروتئین متصل شونده به اسید چرب (FABP)



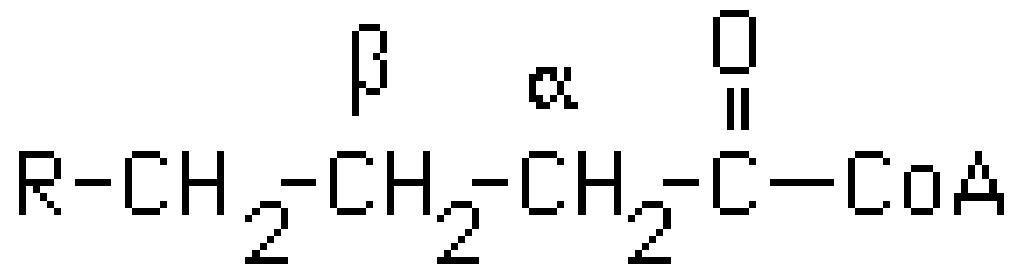
انتقال اسید چرب زنجیره بلند به میتوکندری

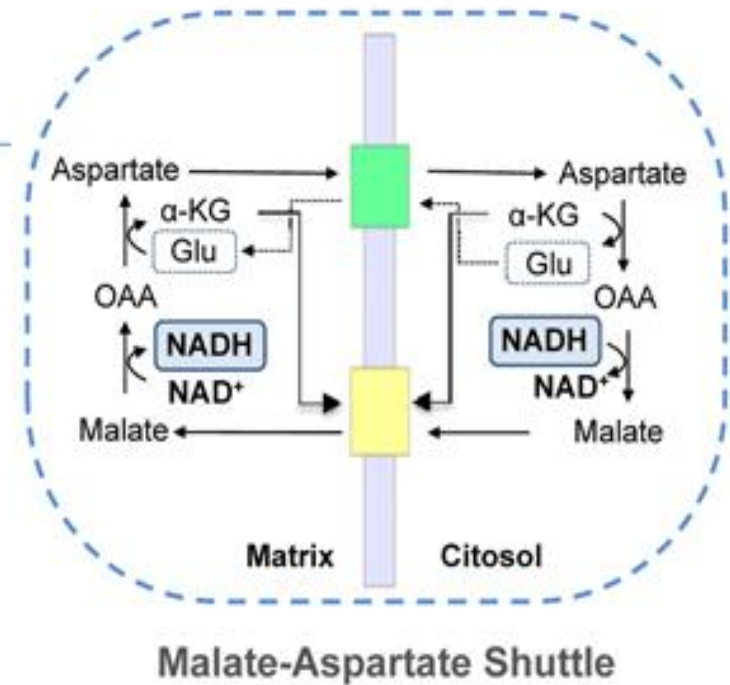
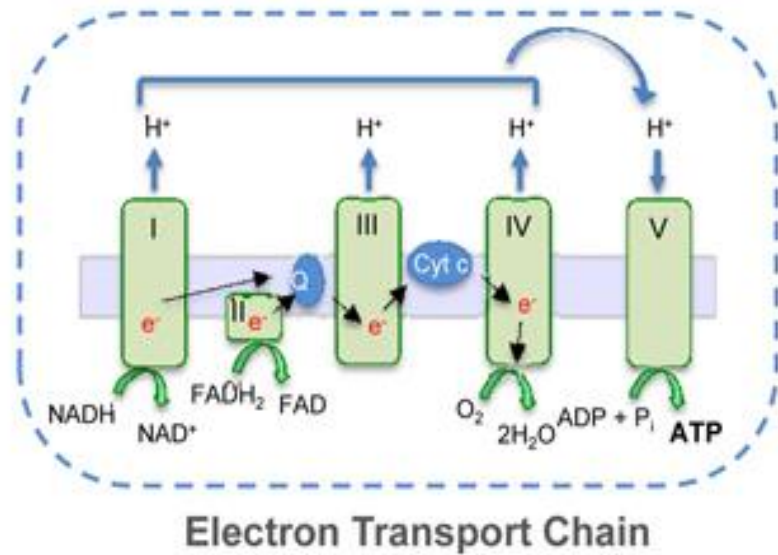
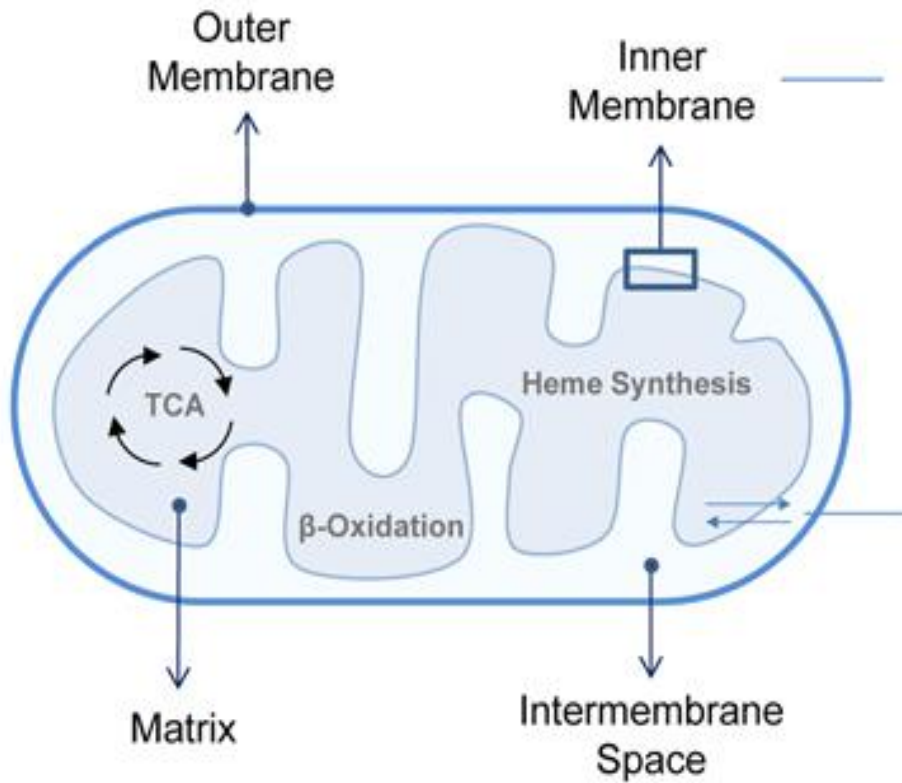


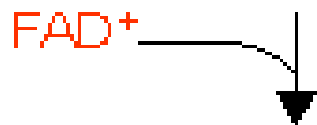
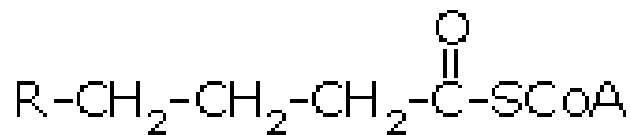
β -Oxidation of Acyl-CoA



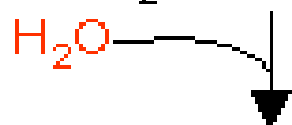
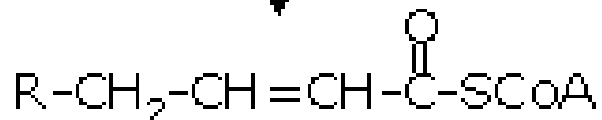
Fatty acid numbering system



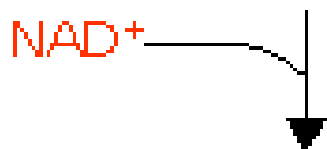
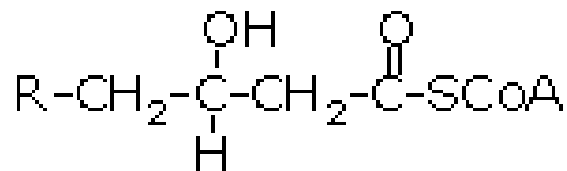




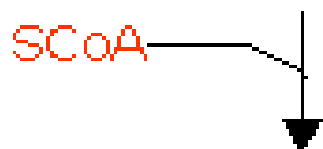
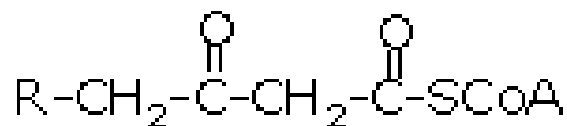
Dehydrogenation



Hydration

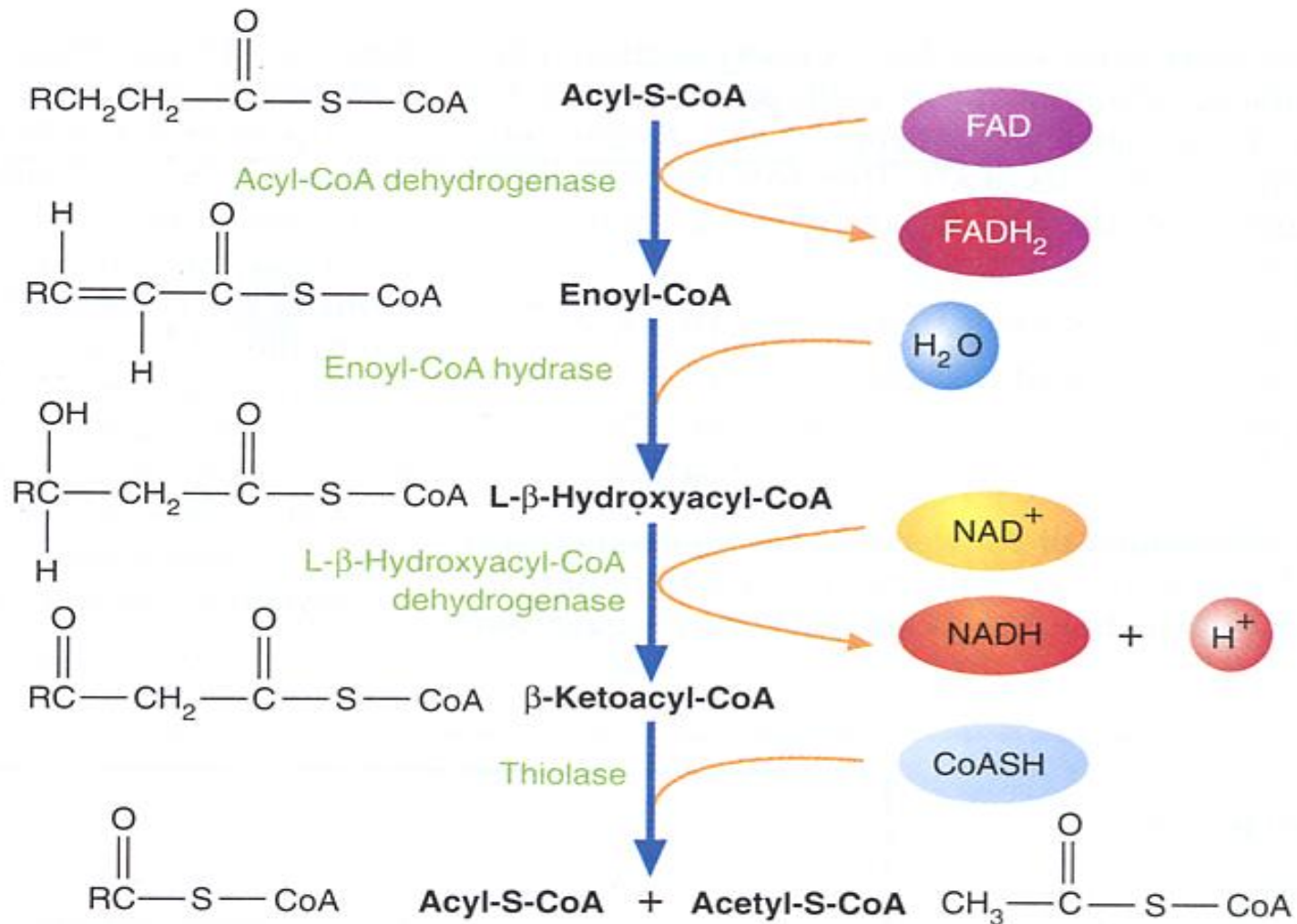


Oxidation



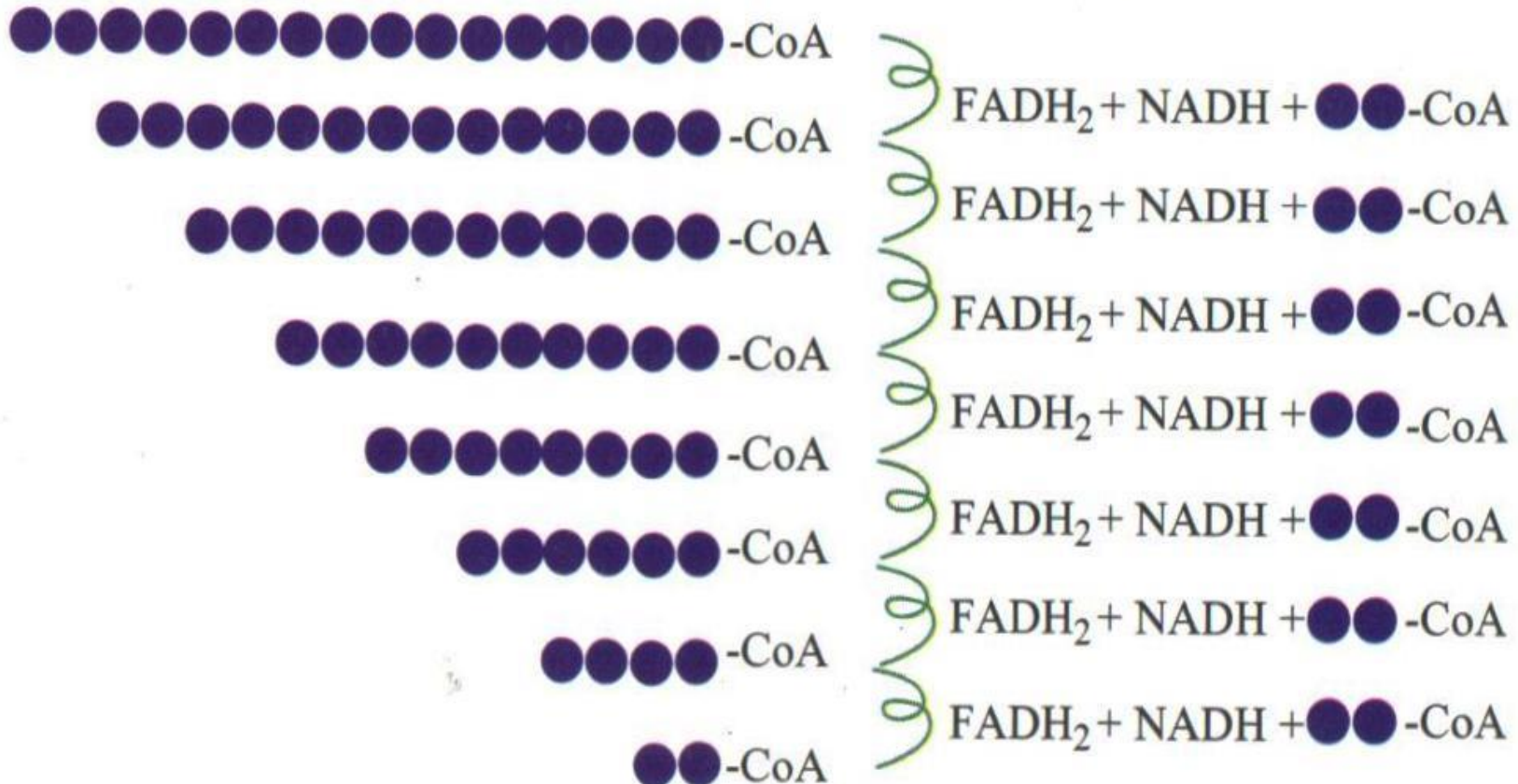
Thiolysis





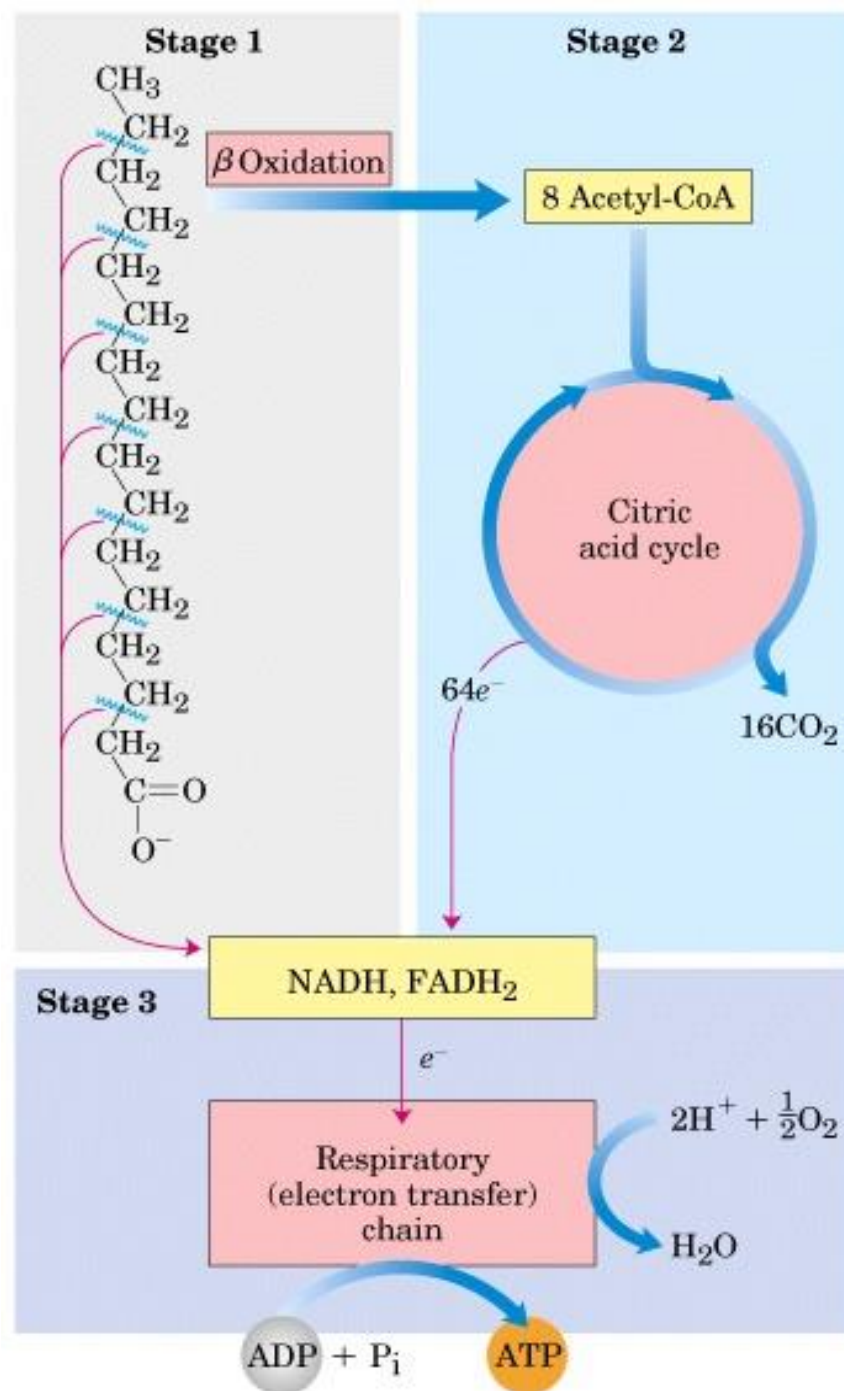
Beta Oxidation

Energy Production from β -oxidation of palmitoyl-CoA



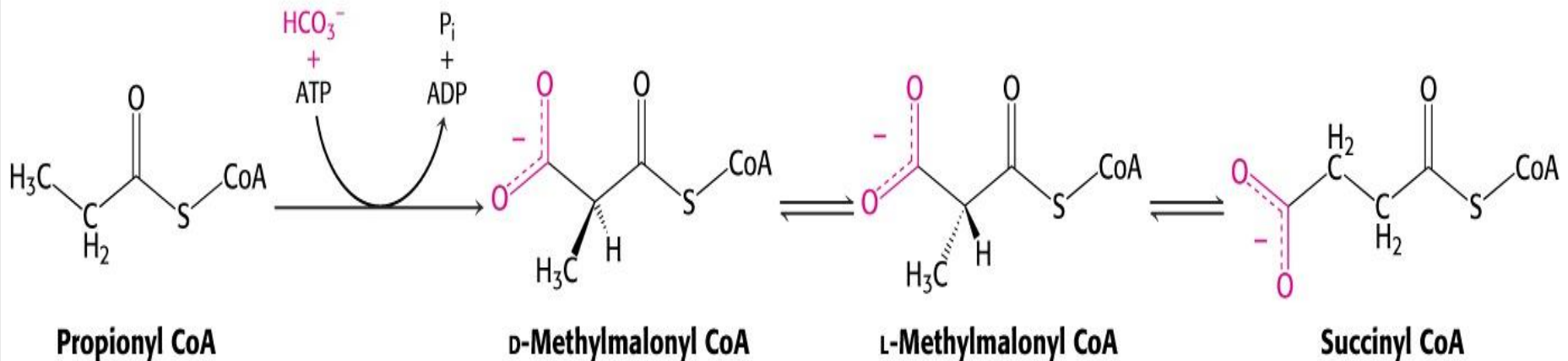
Total: palmitoyl-CoA \rightarrow 7 FADH_2 + 7 NADH + 8 AcCoA

In ATP terms: $(7 \times 2) + (7 \times 3) + (8 \times 12) = 131$



اسیدهای چرب فرد کربن

- How is the oxidation of odd-chain fatty acids different from even-chain ones?
 - in final round of degradation products are acetyl CoA and propionyl CoA
 - propionyl CoA is converted to succinyl CoA



آلفا-اکسیداسیون

■ اسید چرب هایی مثل فیتانیک اسید و پریستانیک اسید که از طریق خوردن لبنیات، گوشت و ماهی وارد بدن می شوند بر روی کربن بتا دارای گروه متیل هستند و به همین دلیل بتا-اکسیداسیون بر روی آنها امکان پذیر نیست. این اسید های چرب در پراکسیزوم از طریق آلفا-اکسیداسیون هر بار یک کربن از آنها کنده می شود و انرژی هم تولید نمی شود.

■ این مسیر در گیاهان دارای اهمیت است.

■ عدم انجام آلفا اکسیداسیون به دلیل کم بودن پراکسیزوم و یا نقص در آنزیم های آن موجب بیماری رفزوم و زلوگر می شود.

امگا- اکسیداسیون

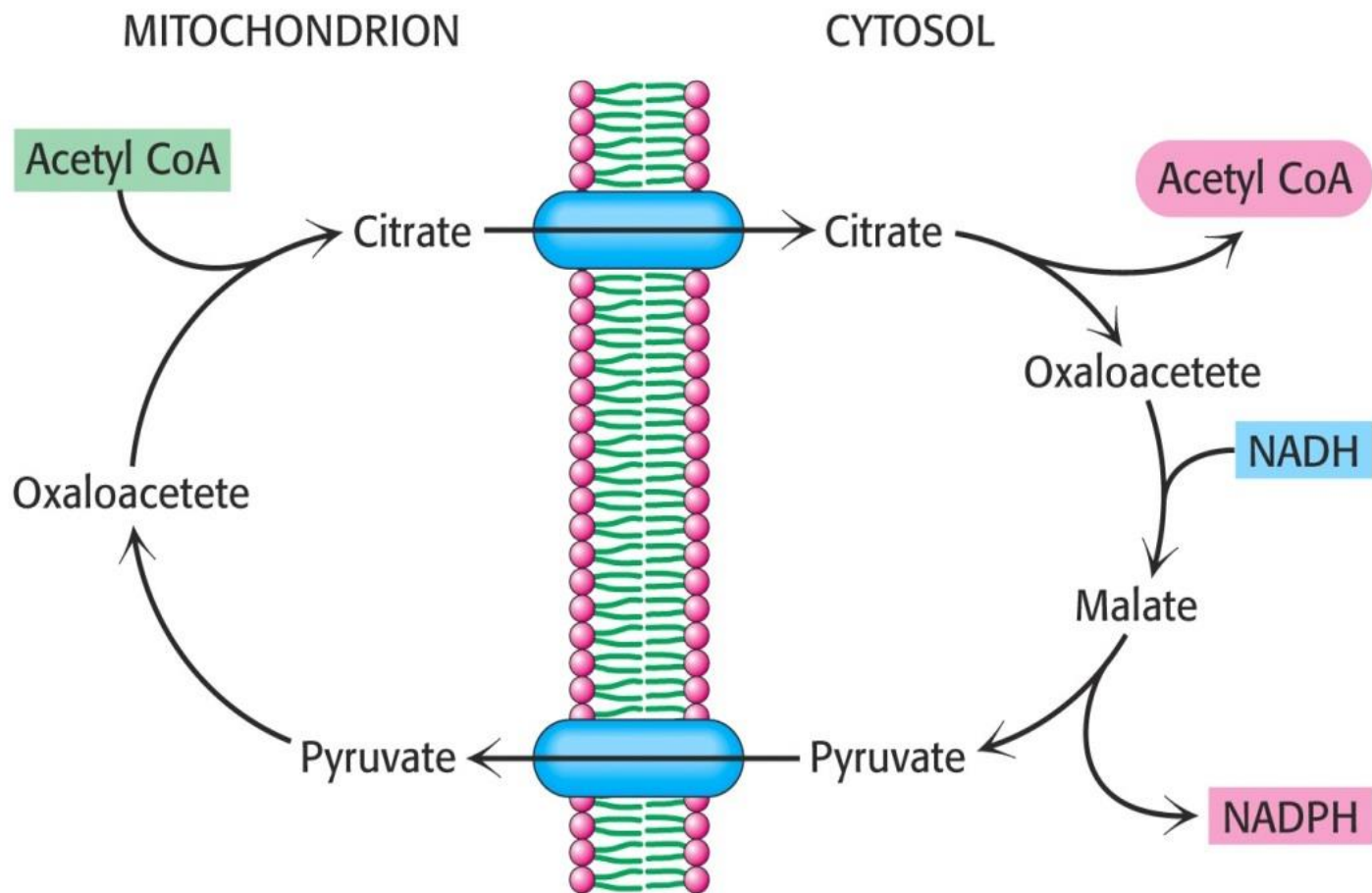
■ بندرت اتفاق می افتد. ابتدا کربن امگا دچار هیدروکسیلاسیون و سپس اکسیده می شود. این اکسیداسیون در کبد و کلیه انجام می شود و یا در شبکه آندوپلاسمی اتفاق می افتد.

■ معمولاً بر روی اسیدهای چرب متوسط زنجیره صورت میگیرد (۱۰-۱۲ کربنه) این نوع اکسیداسیون راه دیگر کاتابولیسم در مهره داران می باشد که در مواقع عادی به طور فرعی و جزئی اتفاق می افتد ولی در صورتیکه اشکالی در اکسیداسیون اسیدهای چرب اتفاق بیفتد اهمیت زیادی خواهد یافت.

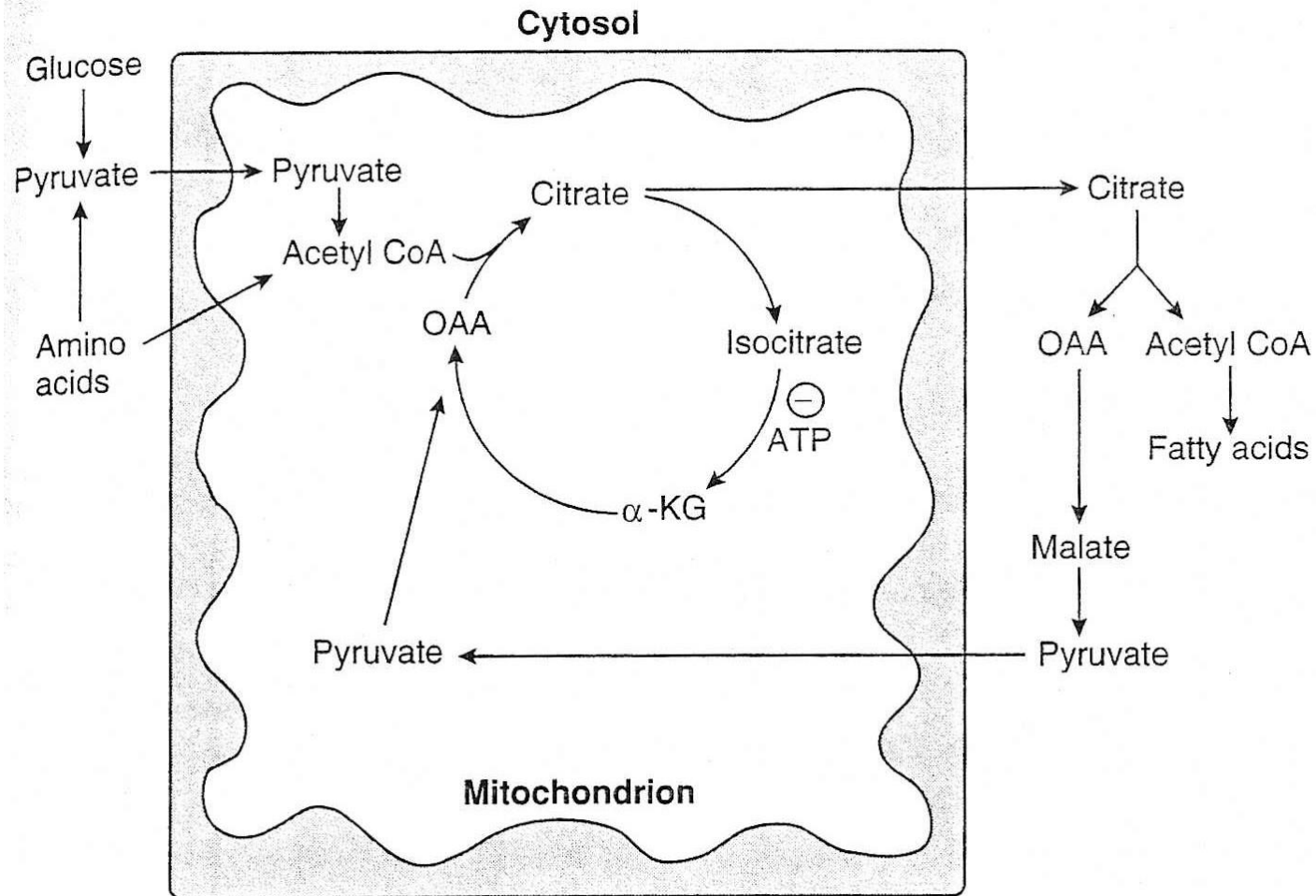
سنتز اسید چرب

شاكل سيترات

از آنجائیکه سنتز اسید چرب در سیتوزول روی می دهد، استیل کو آ ها باید از میتوکندری به بیرون انتقال یابند.

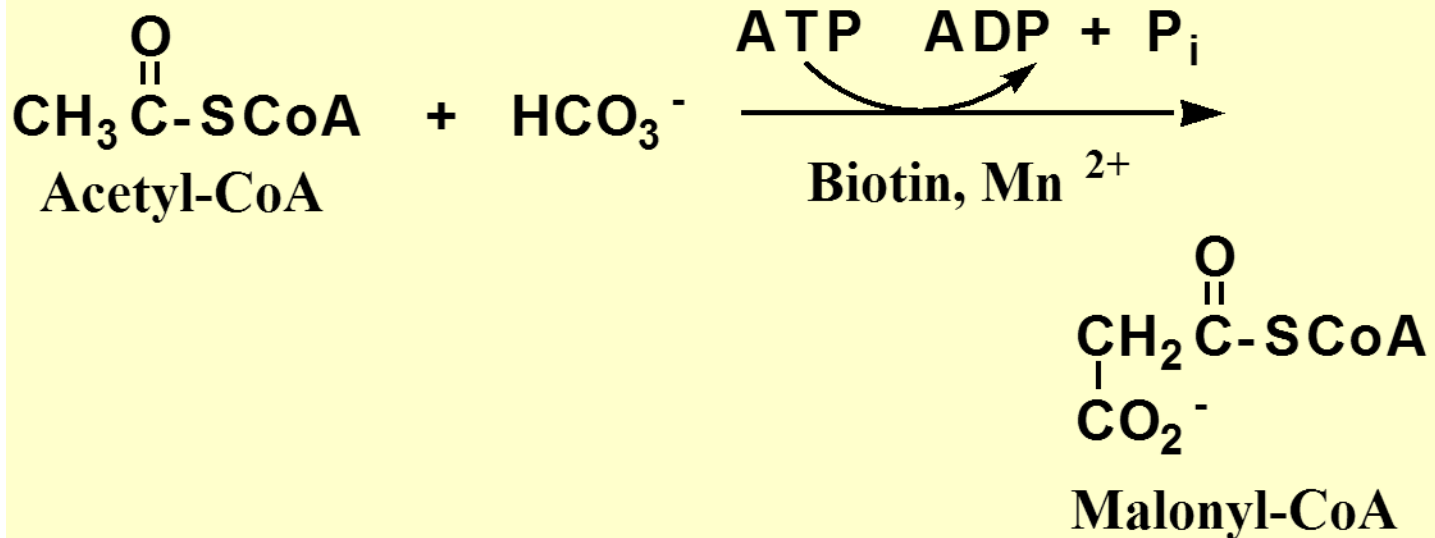


ساخت چربی از طریق کربوهیدرات و پروتئین نیز امکان پذیر است

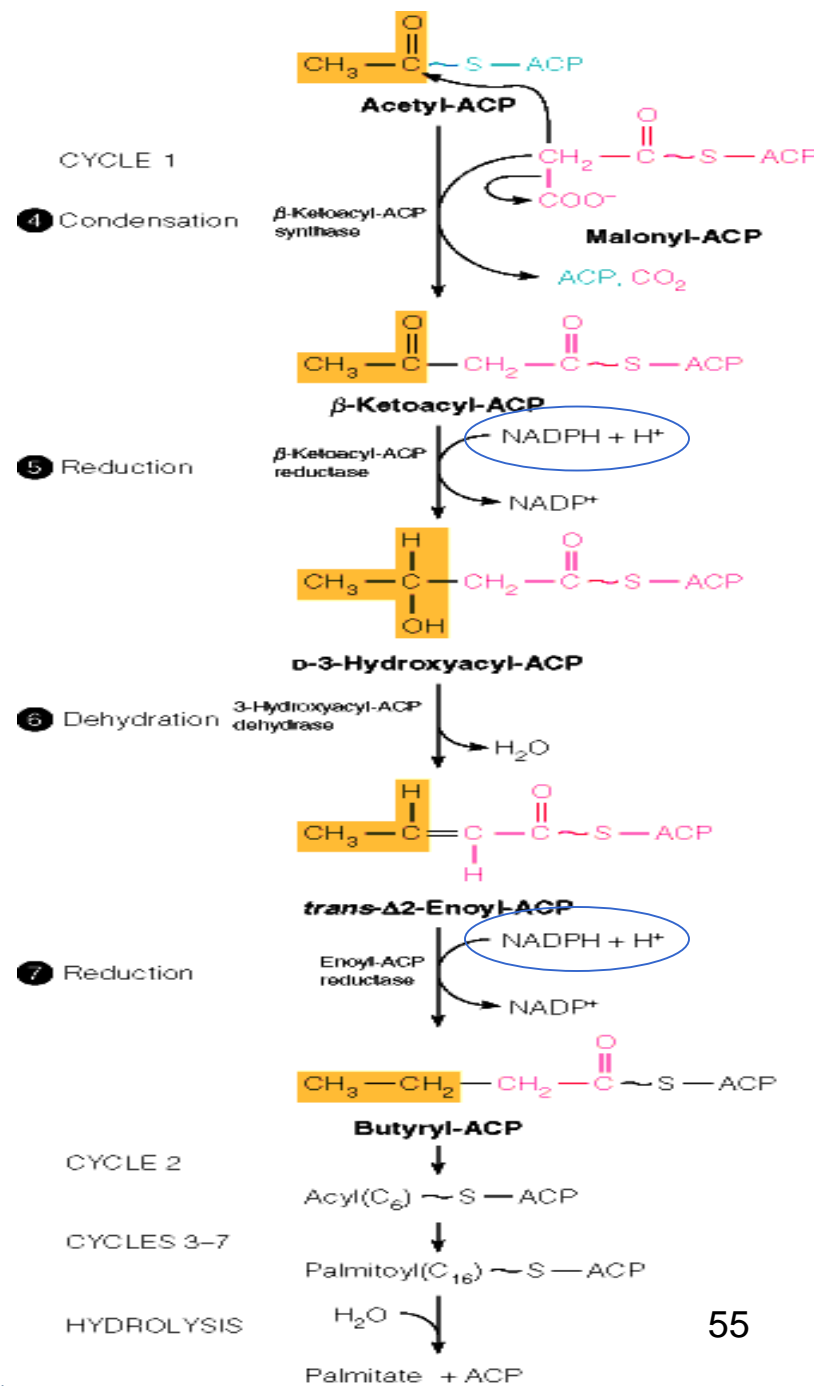


ساخت مالونیل کوآ

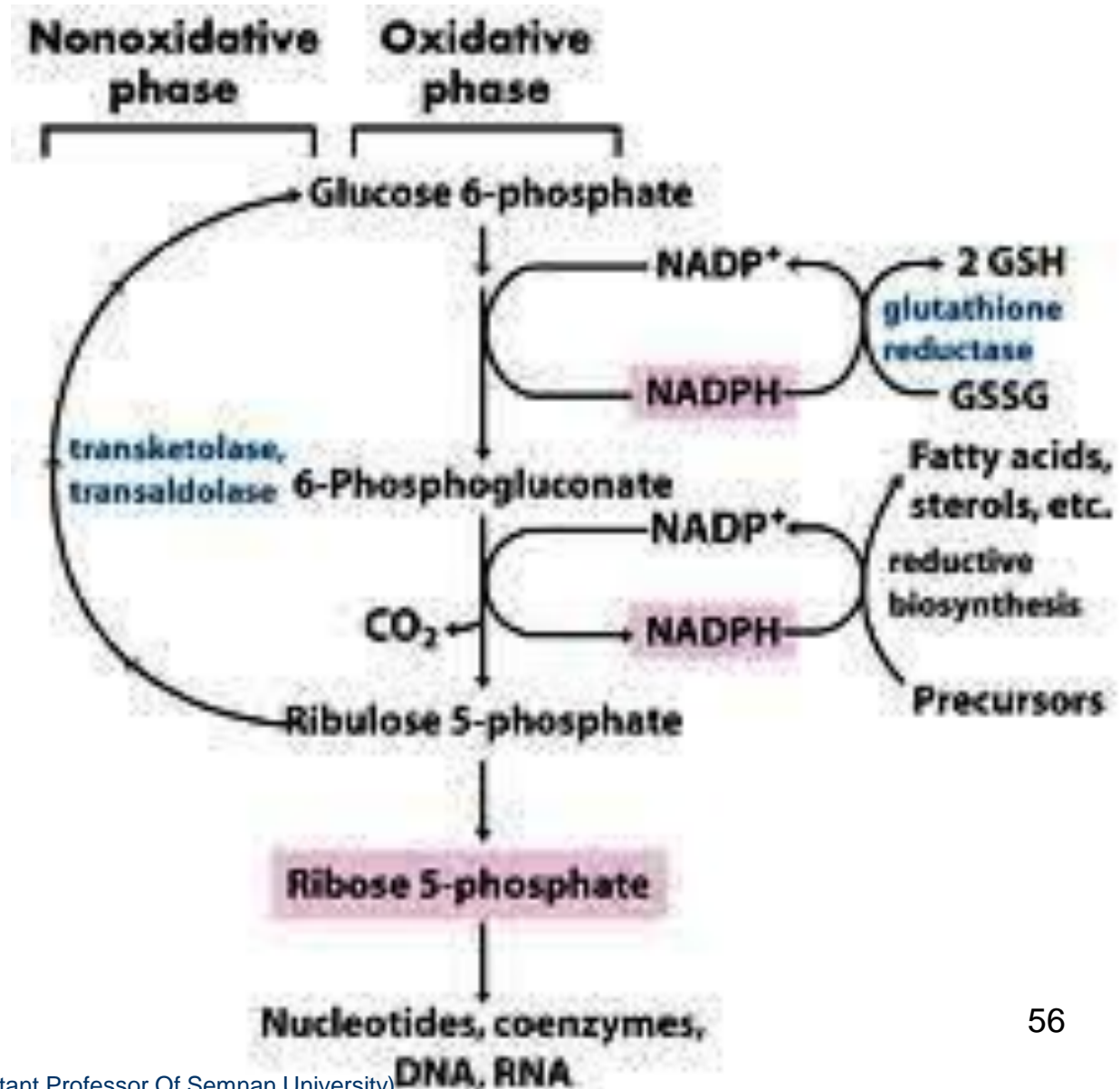
توسط آنزیم استیل کوآ کربوکسیلاز (ACC)



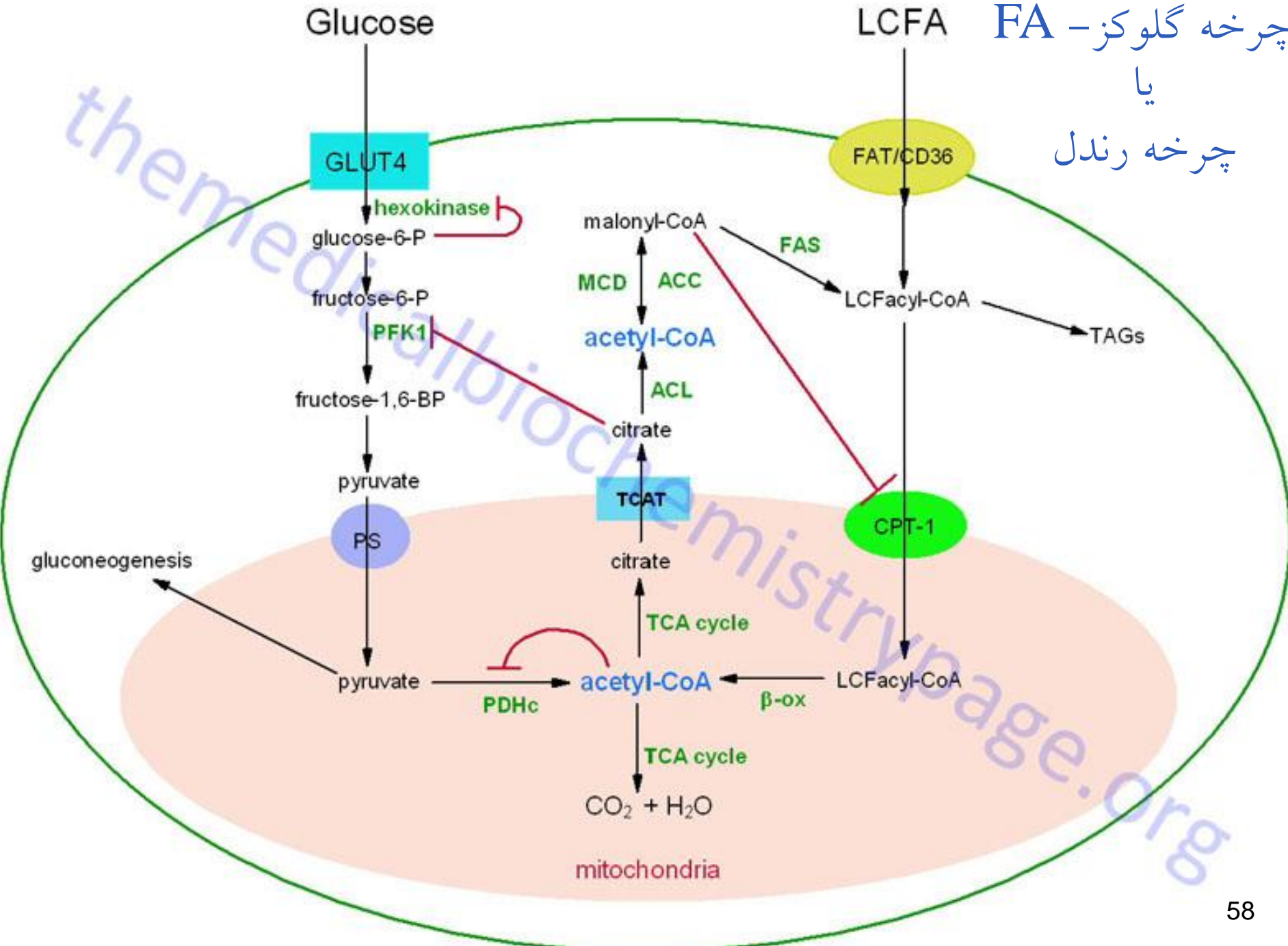
ساخت اسید چرب



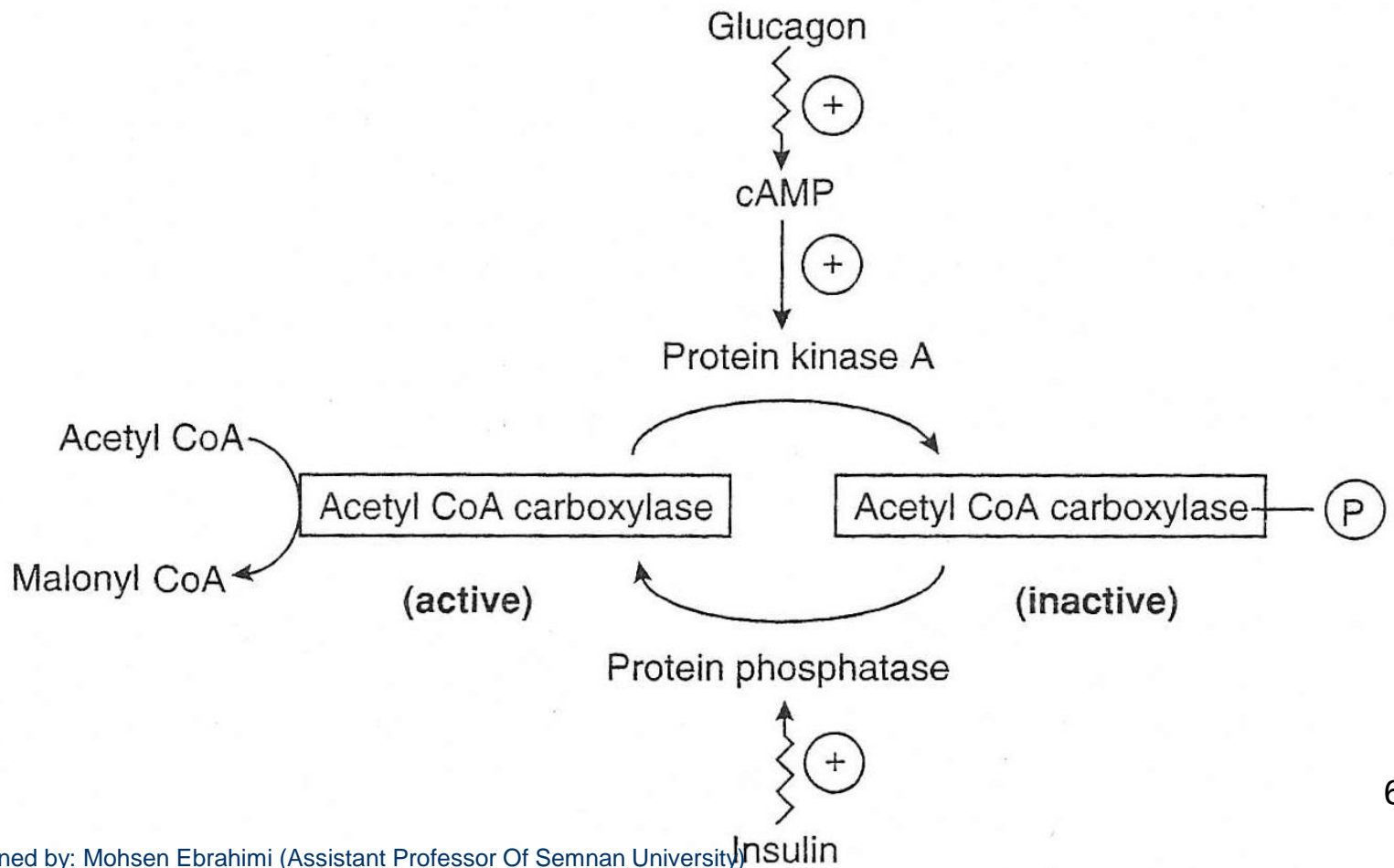
مسیر پنتوز فسفات



چرخه گلوکز - FA
یا
چرخه رندل



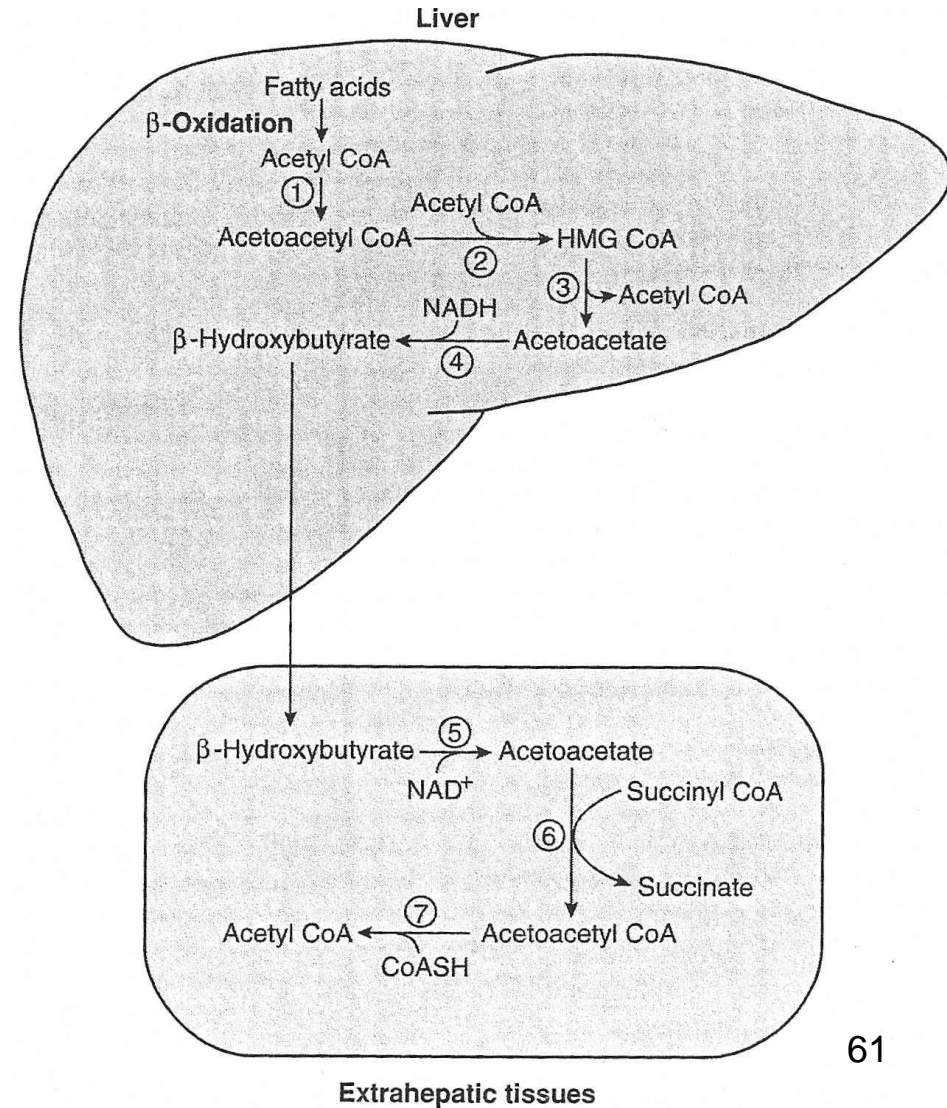
Regulation of FA synthesis: Acetyl CoA Carboxylase



Hepatic Ketone Body Synthesis

- Occurs during starvation or prolonged exercise

- result of elevated FFA
 - high HSL activity
- High FFA exceeds liver energy needs
- KB are partially oxidized FA
 - 7 kcal/g



عوامل ایجاد کننده کتوز

- ورزش طولانی مدت
- گرسنگی
- دیابت ملیتوس

Acetyl CoA

Metabolic Fates of Acetyl Co A

