به نام خدا

بیوشیمی و متابولیسم فعالیت ورزشی و تمرین

فصل پنجم

بیوشیمی ومتابولیسم چربی ها در فعالیت ورزشی

آرزو فرزانه

دکترای تخصصی بیوشیمی و متابولیسم ورزشی

چربی ها

لیپیدها یا چربیها:

گروهی از ترکیبات عمدتا هیدروکربنی نامحلول در آب همان عناصر ساختاری کربوهیدراتها از قبیل کربن، هیدروژن و اکسیژن را دارا هستند، با این تفاوت که نسبت هیدروژن به اکسیژن در چربیها خیلی بیشتر از کربوهیدراتهاست.

انرژی زایی چربی ها ← ۲ برابر قندها و پروتئین ها است.

در شرایط طبیعی تغذیه ← ۲۵– ۲۰ ٪ کالری مورد نیاز روزانه از مصرف چربی ها تامین می شود.

یک جیره متعادل غذایی روزانه ← ۹۰–۶۵ گرم چربی دارد.

چربی ها

اهمیت لیپیدها

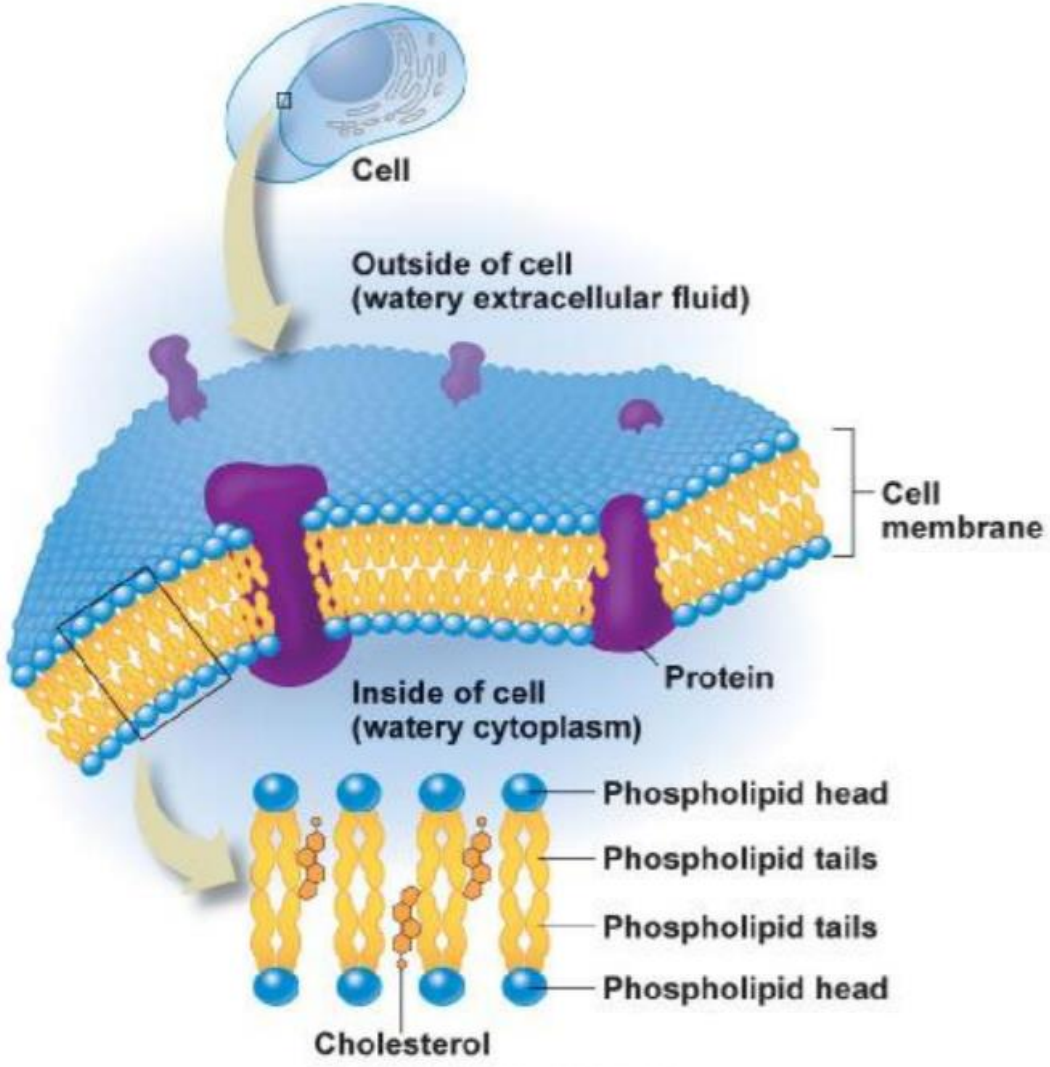
۱ –اهمیت تغذیه

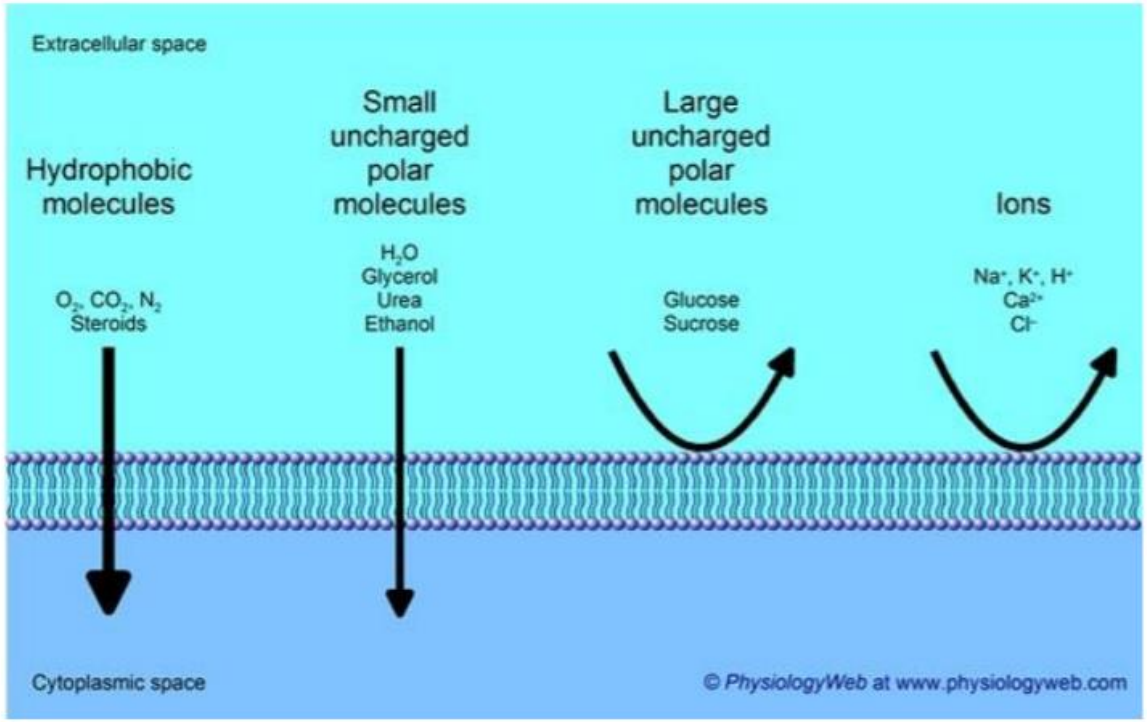
- ◄ذخیره انرژی (تری آسیل گلیسرول)
- ◄طعم غذا
- ◄جذب ویتامین های محلول در چربی

۲ –عایق حرارتی بدن و محافظ فیزیکی اندام ها

متابولیسم چربی ها

۳ –نقش ساختاری

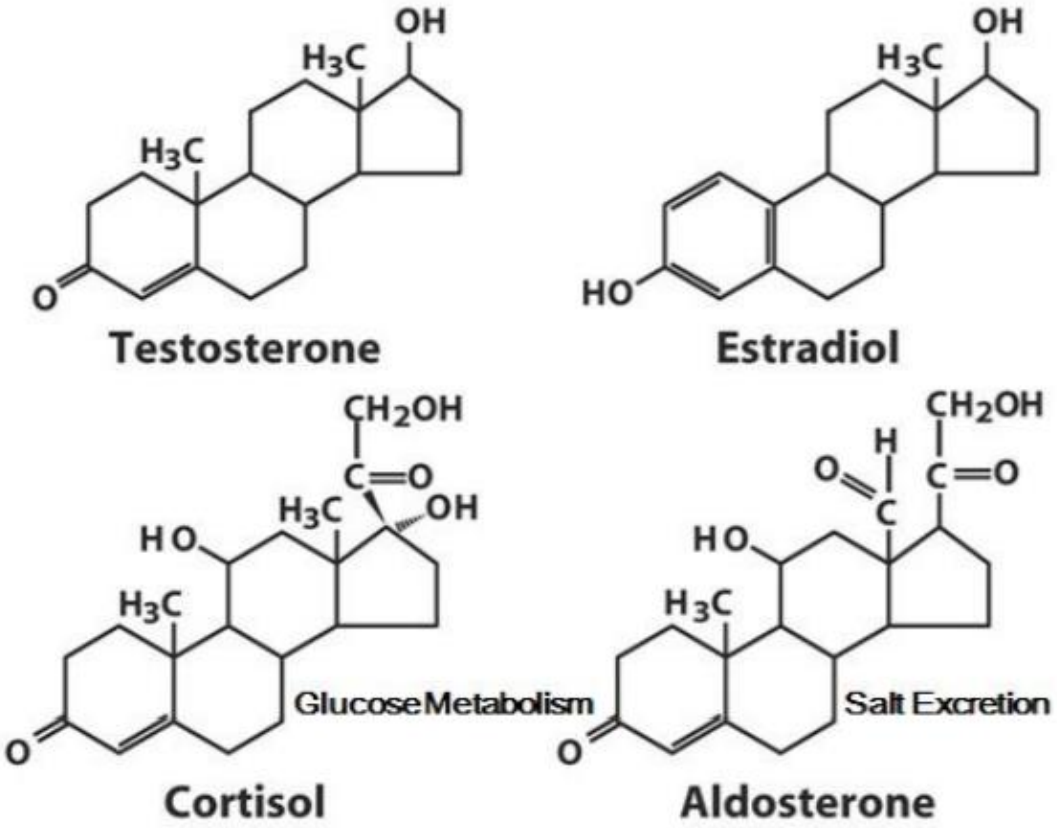




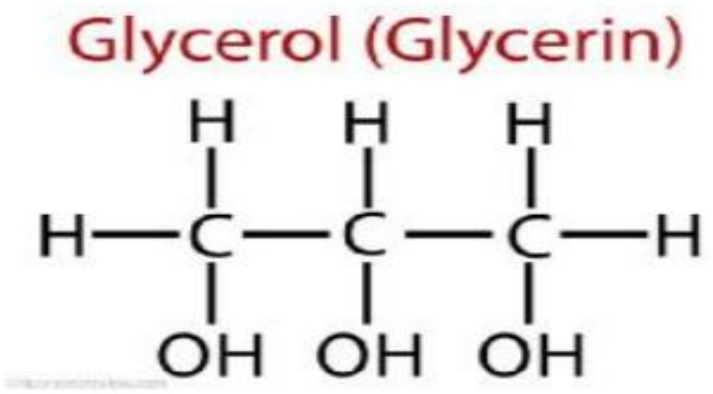
متابولیسم چربی ها

۴ –نقش متابولیکی:

هورمون استروئیدی (استروژن، تستوسترون، کورتیزول) و پروستاگلاندین ها



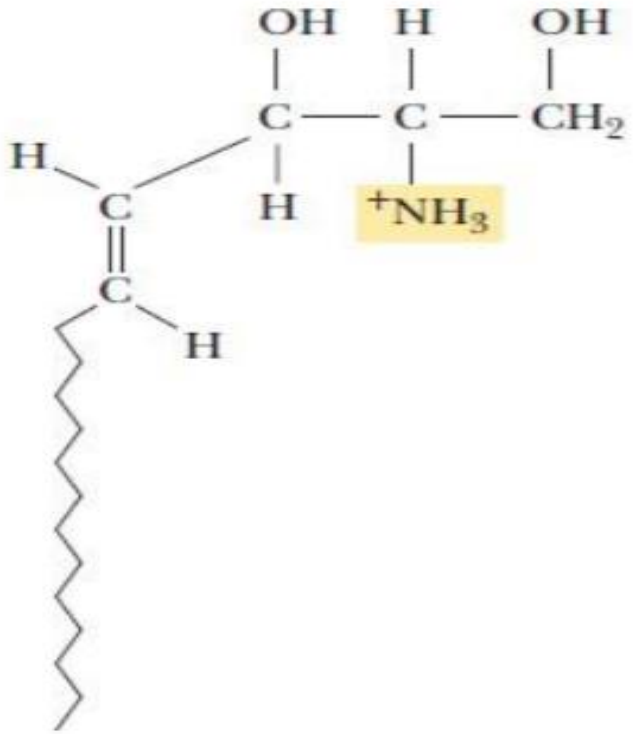
چربی ها



الکل:

گلیسرول

اسفنگوزین



چربی ها

اسیدهای چرب

اجزای اصلی سازنده لیپیدها را مونوکربوکسیلیک اسیدها با تعداد کربن زیاد (۴ تا ۳۰ کربن) در یک زنجیره دراز تشکیل می‌دهند.

اسیدهای چرب حاصل از منابع جانوری ، ساختار ساده‌ای دارند و تعداد کربن آنها بین ۱۴ تا ۲۰ متغیر است. *در حالی که اسیدهای چرب گیاهی بسیار پیچیده‌تر* می‌باشند.

اسیدهای چرب به علت سمی بودن به صورت آزاد بسیار کم دیده می‌شوند و اکثرا با ایجاد ترکیب استرهای اکسیژن در ساختار لیپیدها شرکت می‌کنند.

تولید اسیدهای چرب ازسه طریق:

۱– مصرف و جذب غذاهای حاوی لیپید

۲–تولید در کبد

۳– از گلوکز در بافت چرب

چربی ها

اسیدهای چرب

اسید چرب شامل یک گروه کربوکسیل ((COOH-) در یک انتهاست که به آن زنجیره خطی درازی از هیدروکربنهای غیر قطبی متصل می‌شود.

اگر همه اتمهای کربن موجود در زنجیره هیدروکربنی با پیوند یگانه به یکدیگر متصل شده باشند، اسید چرب را اشباع گویند.

و اگر یک یا چند پیوند دو گانه در زنجیره وجود داشته باشد، آن را غیراشباع می‌نامند.

هنگامی که اسیدهای چرب در آب قرار می‌گیرند، انتهای قطبی آنها با مولکولهای آب پیوند هیدروژنی تشکیل می‌دهد و دم غیر قطبی آنها را از آب دور می‌ماند. در سلولها اسیدهای چرب به صورت آزاد به مقدار کم یافت می‌شوند، ولی به عنوان واحدهای ساختاری لیپیدهای دیگر فراوانند.

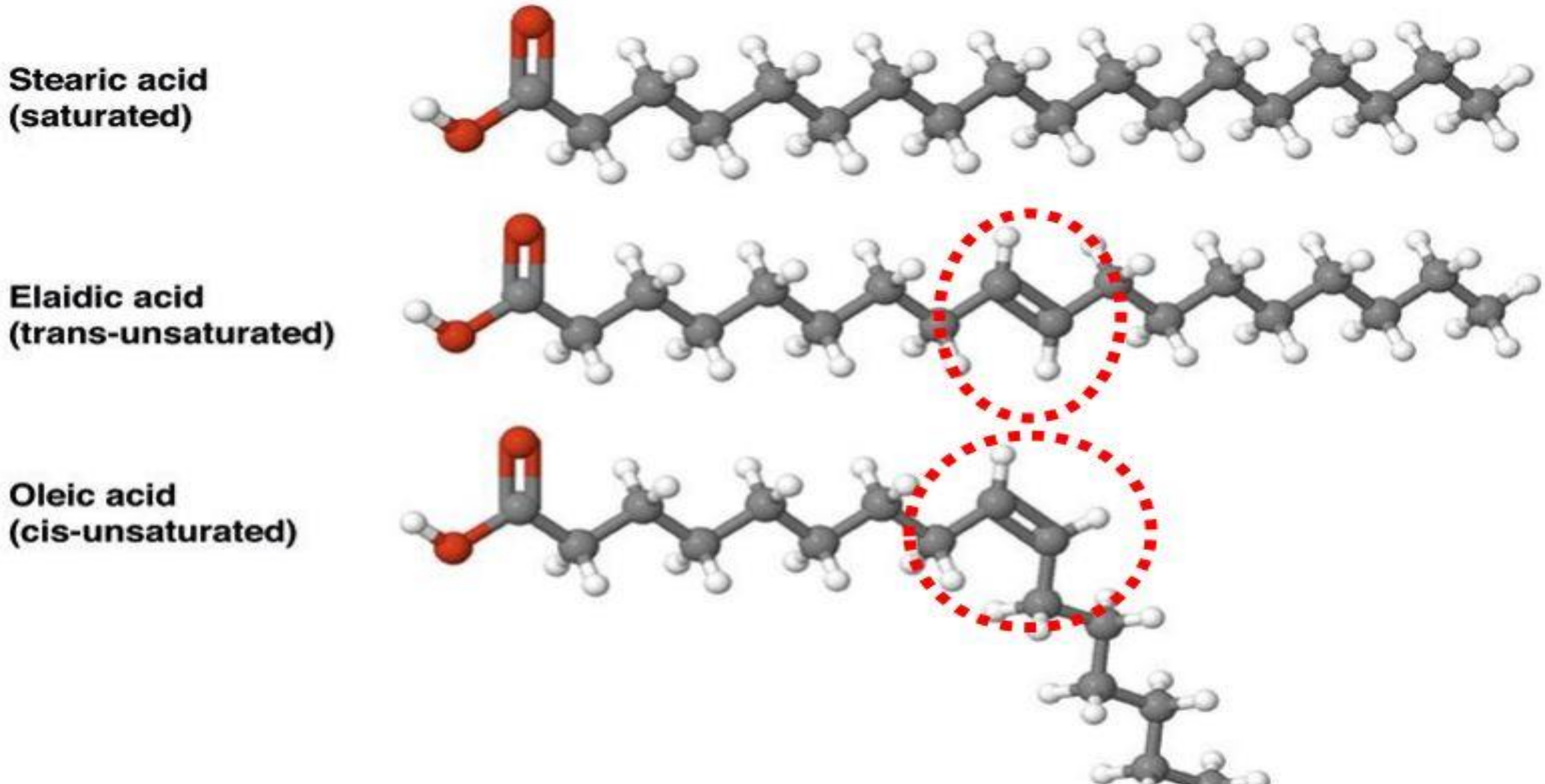
چربی ها

اسیدهای چرب اشباع و غیر اشباع

- ✓ چربی‌های اشباع نشده، مانند روغن زیتون (حاوی درصد بالایی از اسیدهای چرب اشباع نشده است) دارای نقاط ذوب کمتری نسبت به چربی‌های اشباع شده هستند. خمیدگی‌های ایجاد شده توسط پیوندهای دوگانه در اسیدهای چرب اشباع نشده از قرارگیری آن‌ها در کنار هم در قالب یک ساختمان پیوسته و محکم جلوگیری می‌کند.

- ✓ این خمیدگی‌ها همچنین نیروهای بین مولکولی را بین زنجیره‌ها کاهش می‌دهند و باعث می شوند اسیدهای چرب اشباع نشده به طور معمول در دمای اتاق مایع هستند. چربی‌های اشباع نشده حاوی پیوندهای کربن–هیدروژن کمتری نسبت به چربی‌های اشباع شده با همان تعداد اتم کربن هستند، به همین دلیل چربی‌های اشباع نشده در طی متابولیسم، انرژی کمتری نسبت به چربی‌های اشباع شده (با همان تعداد اتم‌های کربن) آزاد می‌کنند.

متابولیسم چربی ها



متابولیسم چربی ها

اسیدهای چرب اشباع شده: به شکل خطی هستند در نتیجه واکنش آبگریزی بیشتری دارند

۱– در دمای اتاق جامدند ۲–ازمنابع حیوانی مانند اسید استئاریک

اسید های چرب اشباع نشده :به شکل خمیده هستند

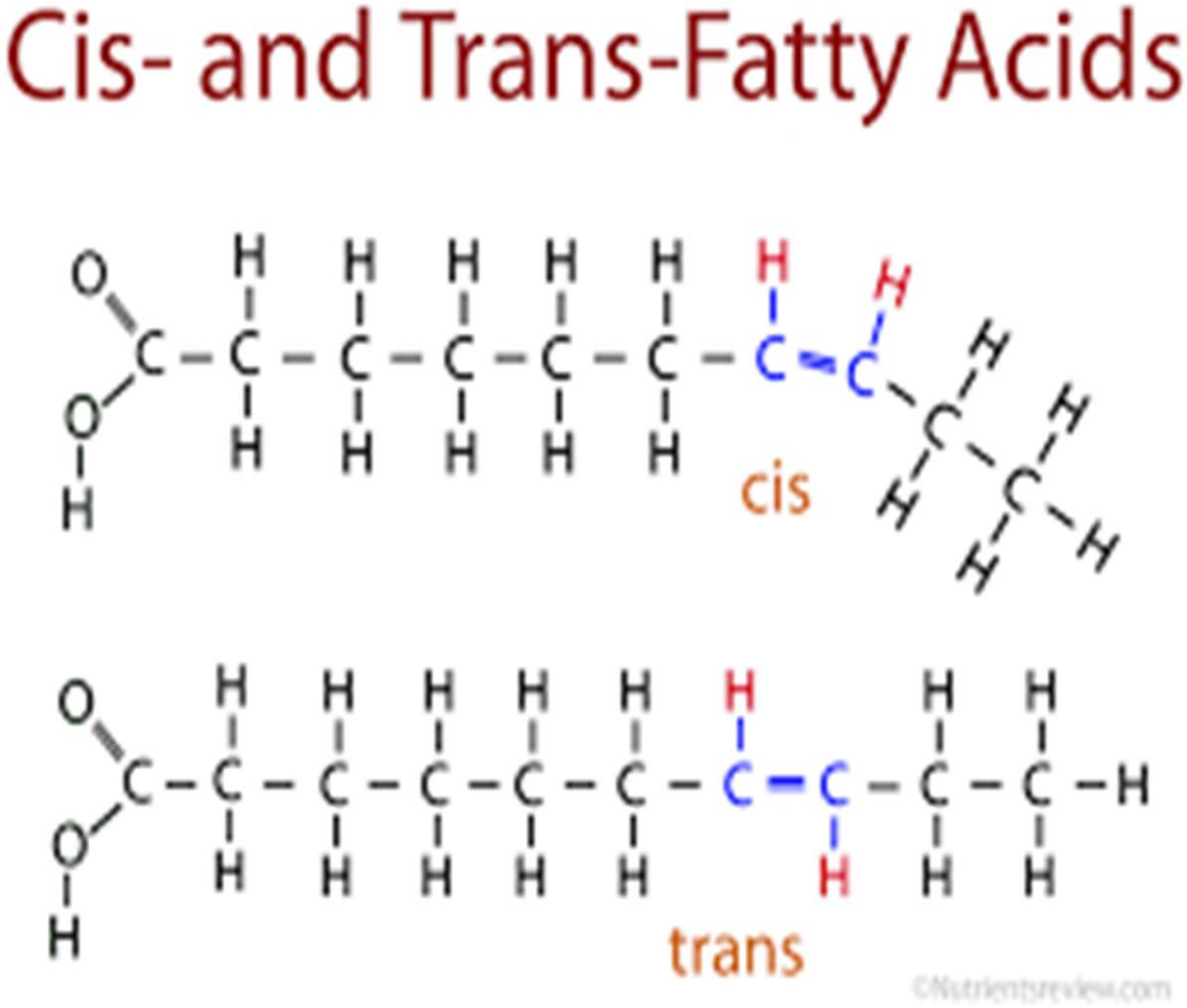
۱) مایع ۲) زودتر هضم می شوند ۳) از منابع گیاه ۴) حاوی ویتامین های محلول در چربی

اسید لینولئیک ←۲ اتصال دوگانه اسید لینولنیک ← ۳ اتصال دوگانه

متابولیسم چربی ها

اسیدهای چرب:

ایزومرهای سیس:



در این نوع از آرایش مولکولی، اتم‌های هیدروژنی که در همسایگی پیوند دوگانه قرار دارند، در یک طرف زنجیر کربنی قرار می‌گیرند. استحکام پیوند دوگانه در ایزومرهای سیس سبب می‌شود تا مولکول ، شکلی خمیده به خود بگیردکه انعطاف دارد با افزایش تعداد این پیوندها، شکل مولکول به طور کامل خمیده می‌شود

متابولیسم چربی ها

اسیدهای چرب:

ایزومرهای ترانس:

درست برخلاف ساختار سیس، در ساختار ترانس، مولکول‌های هیدروژن، مقابل یکدیگر در زنجیر کربنی قرار دارند. در نتیجه، این نوع از ساختار سبب خمیدگی مولکول نمی‌شود و حاصل، شکل خطی مانند اسیدهای چرب اشباع خواهد بود.

بیشتر اسیدهای چرب ترانس، در طبیعت یافت نمی‌شوند و توسط انسان در فرآیندهایی همچون هیدروژنه کردن تولید می‌شوند.

متابولیسم چربی ها

تقسیم بندی لیپیدها

لیپیدهای ساده ◄تری گلیسریدها و موم

لیپیدهای مرکب ◄فسفولیپید و گلیکولیپیدها

مشتقات ایزوپرنی ◄استرول ها و ایزوپرنوئیدها

متابولیسم چربی ها

طبقه بندی لیپیدها:

۱–لیپیدهای ساده: الف)اسیدچرب+گلیسرول

ب)واکس ها که از ترکیب اسیدچرب با الکل های سنگین ایجادمیشوند

۲–لیپیدهای مرکب: این لیپیدها علاوه بر اسیدچرب و الکل یک ریشه شیمیایی اضافی نیز دارند

الف) فسفولیپیدها: اسیدچرب +الکل +ر یشه فسفات (گلیسرو فسفولیپید : که الکل آن گلیسرول است. اسفنگو فسفولیپید : که الکل آن اسفنگوزین است)

ب) گلیگولیپیدها (گلیگو اسفنگولیپیدها): اسیدچرب +الکل (اسفنگوزین) +کربوهیدرات

ج) لیپیدهایی که حاوی ساختارهایی مانند سولفات (سولفولیپید) یا گروه آمینو (آمینو لیپید) یا پروتئین (لیپوپروتئین) در ساختارشان هستند.

۳–لیپیدهای مشتق ← موادی که از چربی های ساده یا مرکب به دست می آیند

شامل ← استروئیدها که عبارت اند از:اسیدهای صفراوی، هورمونهای جنسی، ویتامین D، کلسترول

کلسترول ← منشأ حیوانی داردو در تخم مرغ زیاد یافت می شود.

متابولیسم چربی ها

تقسیم بندی لیپیدها

لیپیدهای ساده ◄تری گلیسریدها:

یک مولکول تری گلیسیرید از سه اسید چرب متصل به یک مولکول گلیسرول تشکیل می‌شود که آن‌ها را براساس طول زنجیره‌های کربنی طبقه‌بندی می‌کنند:

- اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه: کمتر از ۶ کربن
- اسیدهای چرب با زنجیره متوسط: ۶–۱۲ کربن
- اسیدهای چرب با زنجیره بلند: ۱۳–۲۱ کربن
- اسیدهای چرب زنجیره‌ای بسیار طولانی: ۲۲ یا بیشتر کربن

متابولیسم چربی ها

تقسیم بندی لیپیدها

لیپیدهای ساده ◄تری گلیسریدها:

بیشتر چربی‌هایی که در غذاها مصرف می‌کنیم، اسیدهای چرب با زنجیره طولانی هستند.
اگرچه چربی شیر نیز حاوی مقادیر کمی اسید چرب با زنجیره کوتاه است.
چربی‌های زنجیره‌ای بلند و بسیار طولانی در جریان خون جذب می‌شوند و در صورت لزوم به سلول‌های بدن انتقال می‌یابند. از سویی دیگر، چربی‌های زنجیره کوتاه و متوسط به طور مستقیم توسط کبد گرفته می‌شوند تا از آن‌ها به عنوان منبع انرژی استفاده کند.

متابولیسم چربی ها

تقسیم بندی لیپیدها

لیپیدهای ساده ◄ خصوصیات تری گلیسریدها:

تری گلیسیریدها در درجه اول به عنوان ذخیره انرژی کارآمد در حیوانات شناخته می‌شوند. این ترکیبات می‌توانند برای تأمین نیازهای انرژی ارگانیسم به شکل ذخایر انرژی تثبیت شوند.

به طور کلی، تری گلیسیریدها نقش‌های بیولوژیکی متنوعی را ایفا می‌کنند:

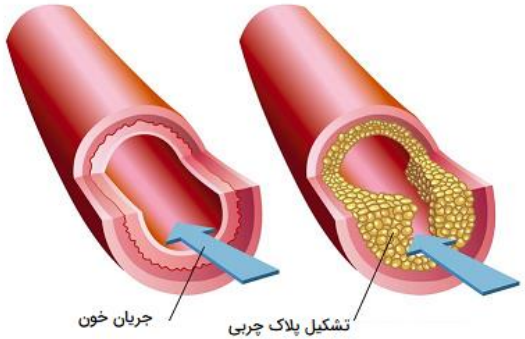
- ✓ **رسوبات چربی متراکم در بافت‌های چربی، اندام‌های بدن را در برابر شوک‌های محیطی و آسیب‌های فیزیکی محافظت کرده و به حفظ دمای پایدار بدن کمک می‌کنند.**
- ✓ **ویتامین‌های محلول در چربی در فعالیت‌هایی از جمله لخته شدن خون و تشکیل استخوان دخیل هستند و تنها در هنگام اتصال به تری گلیسیریدها قابل هضم و انتقال هستند.**

چربی ها

تقسیم بندی لیپیدها

لیپیدهای ساده ◄تری گلیسریدها:

مصرف چربی‌ها در رژیم غذایی نیاز به مدیریت و دقت دارد، زیرا تری گلیسیریدهای مختلف تنوع زیادی دارند که هر یک بر سلامت بدن تاثیر متفاوتی دارند. در حالی که تری گلیسیریدها بخش مهمی از رژیم غذایی بیشتر افراد هستند، سطح بالای انواع خاصی از تری گلیسیریدها در جریان خون با آترواسکلروز () (Atherosclerosisتشکیل پلاک در شریان‌ها) مرتبط بوده و گسترش خطر بیماری قلبی و سکته مغزی را در پی دارد. با این حال، احتمال خطر ابتلا به مشکلات قلبی و عروقی به ترکیب شیمیایی چربی‌های مصرفی در رژیم غذایی بستگی دارد.



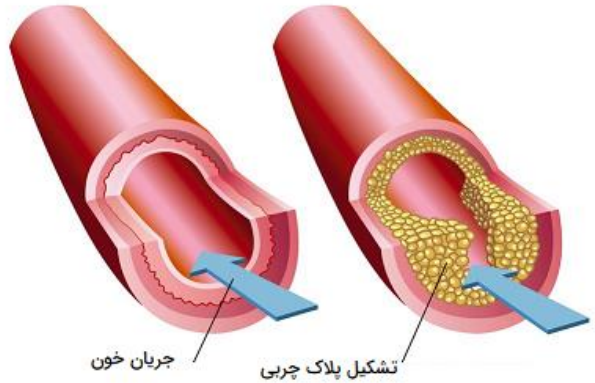
چربی ها

تقسیم بندی لیپیدها

لیپیدهای ساده ◄تری گلیسریدها:

مقادیر بالای چربی‌های اشباع و چربی‌های ترانس باعث افزایش مقدار لیپوپروتئین با چگالی کم (LDL) در خون می‌شوند. کلسترول LDLیک مولکول اختصاصی است که وظیفه حمل و نقل چربی و کلسترول را از کبد به خون و سایر بخش‌های بدن بر عهده دارد.

از سویی دیگر، مقادیر بالای چربی‌های اشباع و چربی‌های ترانس موجب کاهش مقدار لیپوپروتئین با چگالی بالا HDLدر خون می‌شوند که کلسترول را از سراسر بدن جمع آوری کرده و به کبد ارسال می‌کنند.



چربی ها

تقسیم بندی لیپیدها

لیپیدهای ساده ◄ مومها:

موم ها به صورت پوششی محافظت کننده بر روی میوه جات و برگ گیاهان و نیز روی مو و پوست جانوران ایفای نقش می کنند. موم ها، استر های اسید چرب اشباع و یا غیر اشباع بلند زنجیر با الکل های نوع اول بلند زنجیر می باشند. ریشه اسید های چرب شرکت کننده در ساختمان موم ها می تواند بین ۱۷ تا ۳۰ اتم کربن داشته باشد.

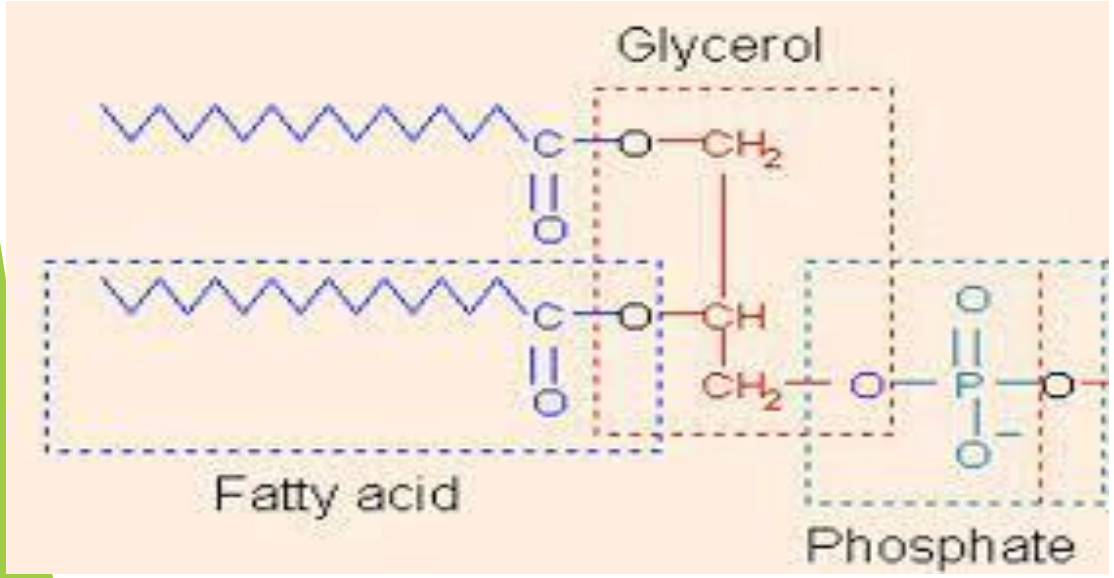
چربی ها

تقسیم بندی لیپیدها

لیپیدهای مرکب : این لیپیدها علاوه بر اسیدچرب و الکل یک ریشه شیمیایی اضافی نیز دارند

لیپیدهای مرکب ◄ فسفولیپیدها

الف) فسفولیپیدها: اسیدچرب +الکل +ر یشه فسفات (گلیسرو فسفولیپید : که الکل آن گلیسرول است.



اسفنگو فسفولیپید : که الکل آن اسفنگوزین است)

چربی ها

تقسیم بندی لیپیدها

لیپیدهای مرکب ◄ خصوصیات فسفولیپیدها

فسفولیپیدها اجزای اصلی سازنده غشای سلولی هستند. برخلاف تری گلیسریدها که چربیهای خنثی و ذخیره‌ای هستند، فسفولیپیدها ترکیبات باردار و ساختاری هستند.

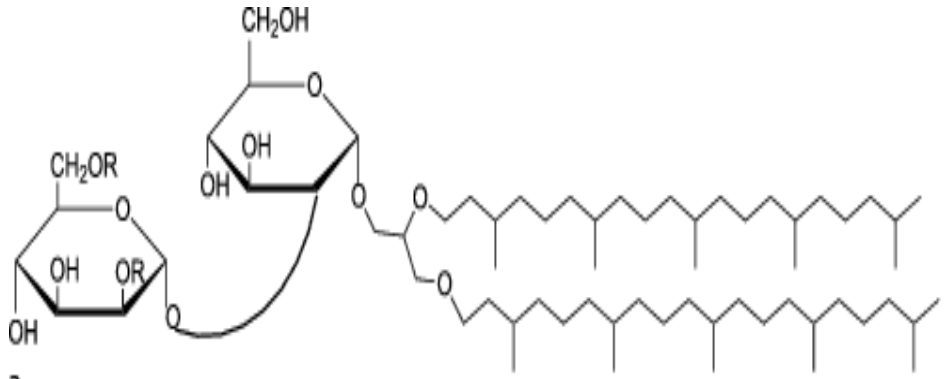
- ✓ غشای پلاسمایی، غشای اندامکهای یاخته‌ای و کلیه سیستمهای غشایی که در یاخته دیده می‌شوند، اساسا از فسفولیپید ساخته شده‌اند.
- ✓ به عبارت دیگر، فسفولیپیدها هرگز به صورت ذخیره‌ای دیده نمی‌شوند
- ✓ ساختمان شیمیایی این ترکیبات عبارت است از یک مولکول گلیسرول که ۲ اسید چرب در موقعیت ۱ و ۲ آن استریفیه شده و به موقعیت ۳ آن نیز یک گروه فسفات متصل شده و یک الکل قطبی مثل کولین یا اتانول آمین نیز به گروه فسفات متصل شده است.

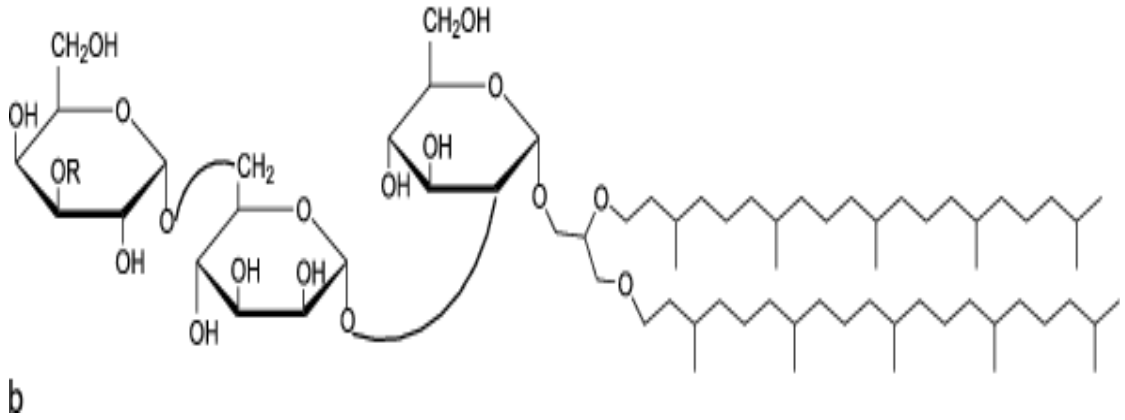
چربی ها

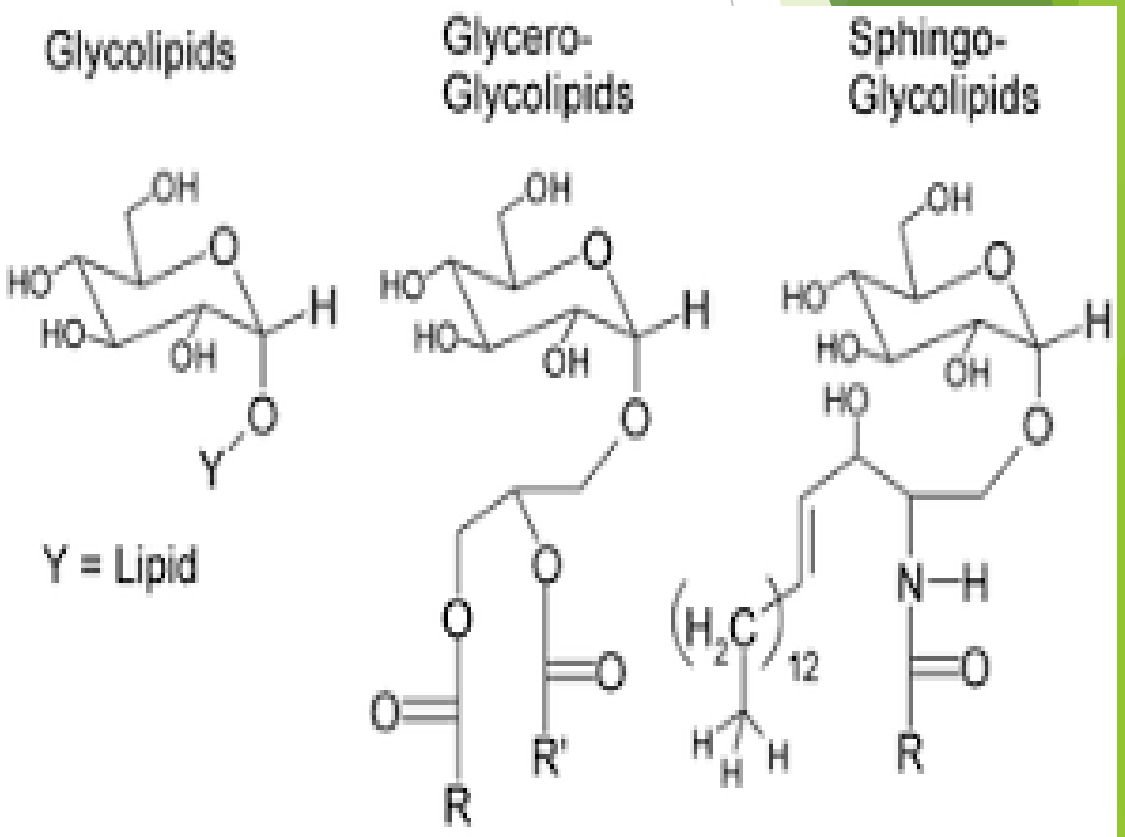
تقسیم بندی لیپیدها

لیپیدهای مرکب ◄ گلیگولیپیدها (گلیگو اسفنگولیپیدها):

اسیدچرب +الکل (اسفنگوزین) +کربوهیدرات







چربی ها

تقسیم بندی لیپیدها

لیپیدهای مرکب ◄ گلیگولیپیدها (گلیگو اسفنگولیپیدها):

- ✓ گلیکولیپیدها از ترکیبات کربوهیدراتی به همراه لیپیدها ساخته می‌شوند، در واقع در این مولکول‌ها، لیپیدها از طریق پیوندهای کووالانسی به کربوهیدرات‌ها اتصال می‌یابند.
- ✓ این ترکیبات بیشتر در سطح بیرونی غشای سلولی قرار دارند و نقش ساختاری در حفظ پایداری غشا بر عهده دارند.
- ✓ گلیکولیپیدها در تسهیل ارتباطات سلولی به عنوان گیرنده عمل کرده و پروتئین‌ها را به دام می‌اندازند.

علاوه بر گلیکولیپیدها، ترکیباتی از جنس کربوهیدرات و پروتئین به نام گلیکوپروتئین‌ها نیز در لایه خارجی غشای سلولی وجود دارند که نقشی مشابه با گلیکولیپیدها را ایفا می‌کنند. تمام این مولکول‌ها به عنوان گیرنده بر روی غشا عمل می‌کنند و به هورمون‌ها یا نوروترانسمیترها متصل شده و در پاسخ به آن‌ها واکنش‌های شیمیایی مختلفی را درون سلول به راه می‌اندازند.

چربی ها

تقسیم بندی لیپیدها

لیپیدهای مرکب ◄ –لیپیدهای مشتق

موادی که از چربی های ساده یا مرکب به دست می آیند

شامل ← استروئیدها که عبارت اند از:اسیدهای صفراوی، هورمونهای جنسی، ویتامین D، کلسترول

کلسترول ← منشأ حیوانی داردو در تخم مرغ زیاد یافت می شود.

چربی ها

تقسیم بندی لیپیدها

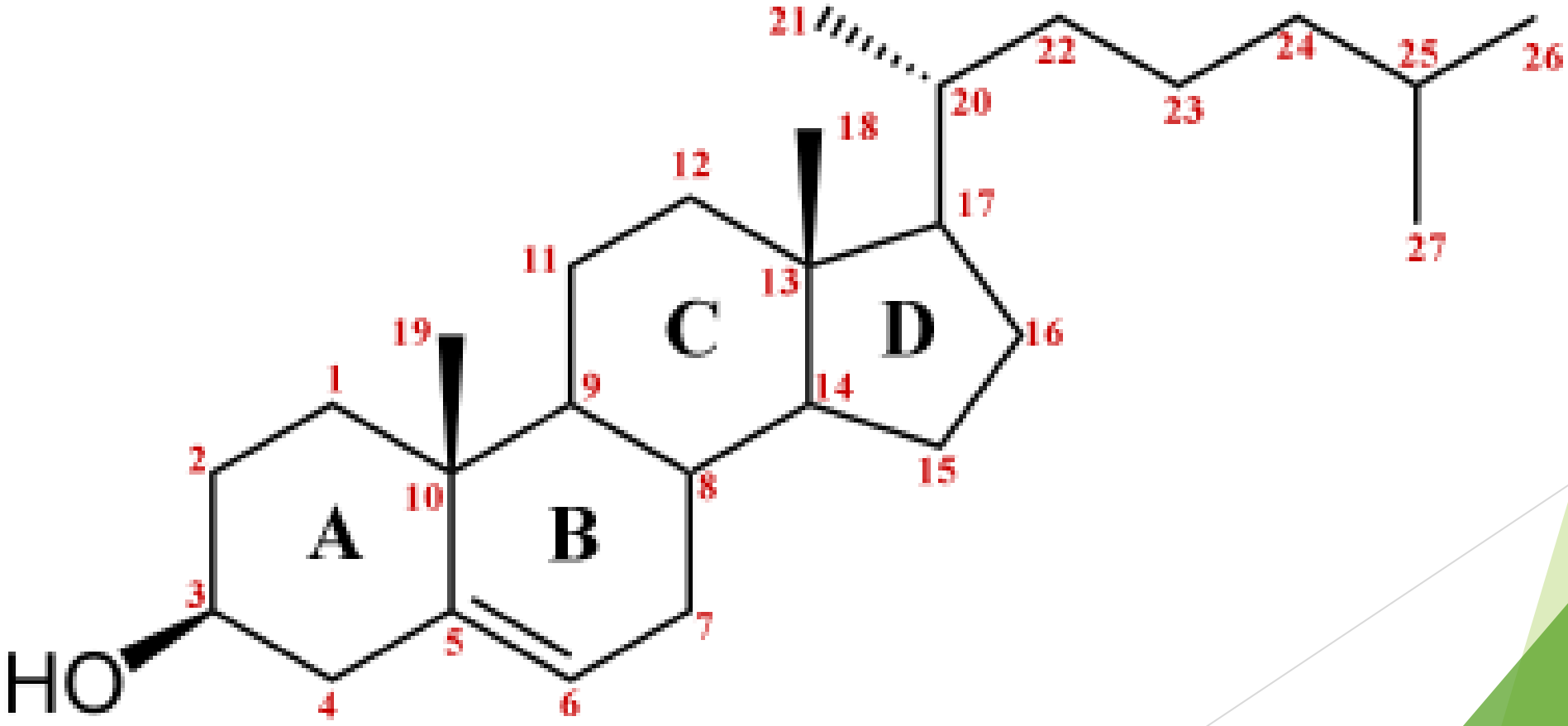
لیپیدهای مرکب ◄ –لیپیدهای مشتق ◄ کلسترول

کلسترول یک ترکیب ۴ حلقه‌ای با ۲۷ اتم کربن است. این ترکیب یک لیپید است که از چهار حلقه هیدروکربنی برای تشکیل یک ساختار استروئیدی استفاده می‌کند. در یک انتهای ساختمان کلسترول دم هیدروکربنی وجود دارد و در انتهای دیگر آن یک گروه هیدروکسیل قرار گرفته‌اند. گروه هیدروکسیلی می‌تواند برای اتصال به اکسیژنِ کربونیل فسفولیپیدها و اسفنگولیپیدها، پیوند هیدروژنی تشکیل دهد. کلسترول به دلیل این که از دو بخش استروئید و الکل ساخته شده است، در گروه استرول‌ها جای می‌گیرد.

چربی ها

تقسیم بندی لیپیدها

لیپیدهای مرکب ◄ –لیپیدهای مشتق ◄ کلسترول



چربی ها

تقسیم بندی لیپیدها

لیپیدهای مرکب ◄ –لیپیدهای مشتق ◄خصوصیات کلسترول

- ✓ **کلسترول در ترمیم بافت‌ها، تقویت غشاهای سلولی و تأثیر بر سیالیت آن‌ها و تولید نمک‌های صفراوی نقش دارد**
- ✓ **به عنوان پیش‌ساز هورمون‌های استروئیدی (شامل استروژن، تستوسترون، کورتیزون) و ماده اولیه تولید ویتامین Dدر بدن مورد استفاده قرار می‌گیرد.**
- ✓ **در حالی که کلسترول در بسیاری از فرآیندهای بیوشیمیایی نقش اصلی را ایفا می‌کند، اما این مولکول بیشتر به دلیل ارتباط بیماری‌های قلبی و عروقی با الگوهای مختلف انتقال کلسترول (به وسیله لیپوپروتئین‌ها) و سطح بالای کلسترول در خون شناخته می‌شود.**

چربی ها

تقسیم بندی لیپیدها

لیپیدهای مرکب ◄ –لیپیدهای مشتق ◄خصوصیات کلسترول

- ✓ کلسترول در خون نامحلول است، اما در سیستم گردش خون به یکی از انواع لیپوپروتئین متصل شده و به قسمت‌های مختلف بدن منتقل می‌شود. لیپوپروتئین‌ها ذرات کروی هستند که در قسمت بیرونی ساختمان خود از پروتئین‌های محلول در آب تشکیل شده‌اند و بخش درونی آن‌ها را ترکیبات لیپیدی و کلسترول‌ها تشکیل می‌دهند.

- ✓ میزان کلسترول در خون می‌تواند بر رشد پلاک‌ها در رگ‌ها و ابتلا به بیماری «آترواسکلروز» (Atherosclerosis) تاثیرگذار باشد. رسوب این پلاک‌ها بر روی دیواره رگ‌ها باعث کاهش سرعت جریان خون، انسداد رگ‌ها و سکته می‌شود.

چربی ها

تقسیم بندی لیپیدها

لیپیدهای مرکب ◄ –لیپیدهای مشتق ◄انواع کلسترول

همان طور که اشاره شد، کلسترول‌ها به صورت آزاد در جریان خون حرکت نمی‌کنند. کلسترول‌ها به همراه لیپوپروتئین‌ها در خون حمل می‌شوند. سه نوع لیپوپروتئین وجود دارد که براساس میزان پروتئین‌های سطحی در گروه‌های متفاوتی، دسته‌بندی می‌شوند:

•لیپوپروتئین با چگالی کم (LDL): این نوع لیپوپروتئین دارای میزان بالایی از کلسترول است. میزان بالای LDLدر خون به دلیل ایجاد پلاک‌های کلسترولی در رگ‌های خونی، موجب افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی و عروقی و سکته می‌شود. LDL، کلسترول‌ها را از کبد و سایر بافت‌های بدن به رگ‌های خونی می‌آورد.

چربی ها

تقسیم بندی لیپیدها

لیپیدهای مرکب ◄ –لیپیدهای مشتق ◄انواع کلسترول

•**لیپوپروتئین با چگالی زیاد** (HDL)

•**این لیپوپروتئین از مقادیر بالایی از پروتئین در سطح خود تشکیل شده و کلسترول‌های کمی را با خود حمل می‌کند. نسبت بالای** HDL**به** LDL**در خون در حفظ سلامت قلب و عروق و جلوگیری از سکته بسیار موثر است.** HDL**وظیفه جمع‌آوری کلسترول‌ها از رگ‌ها و بخش‌ها مختلف بدن را بر عهده دارد و آن‌ها را به کبد منتقل می‌کند.**

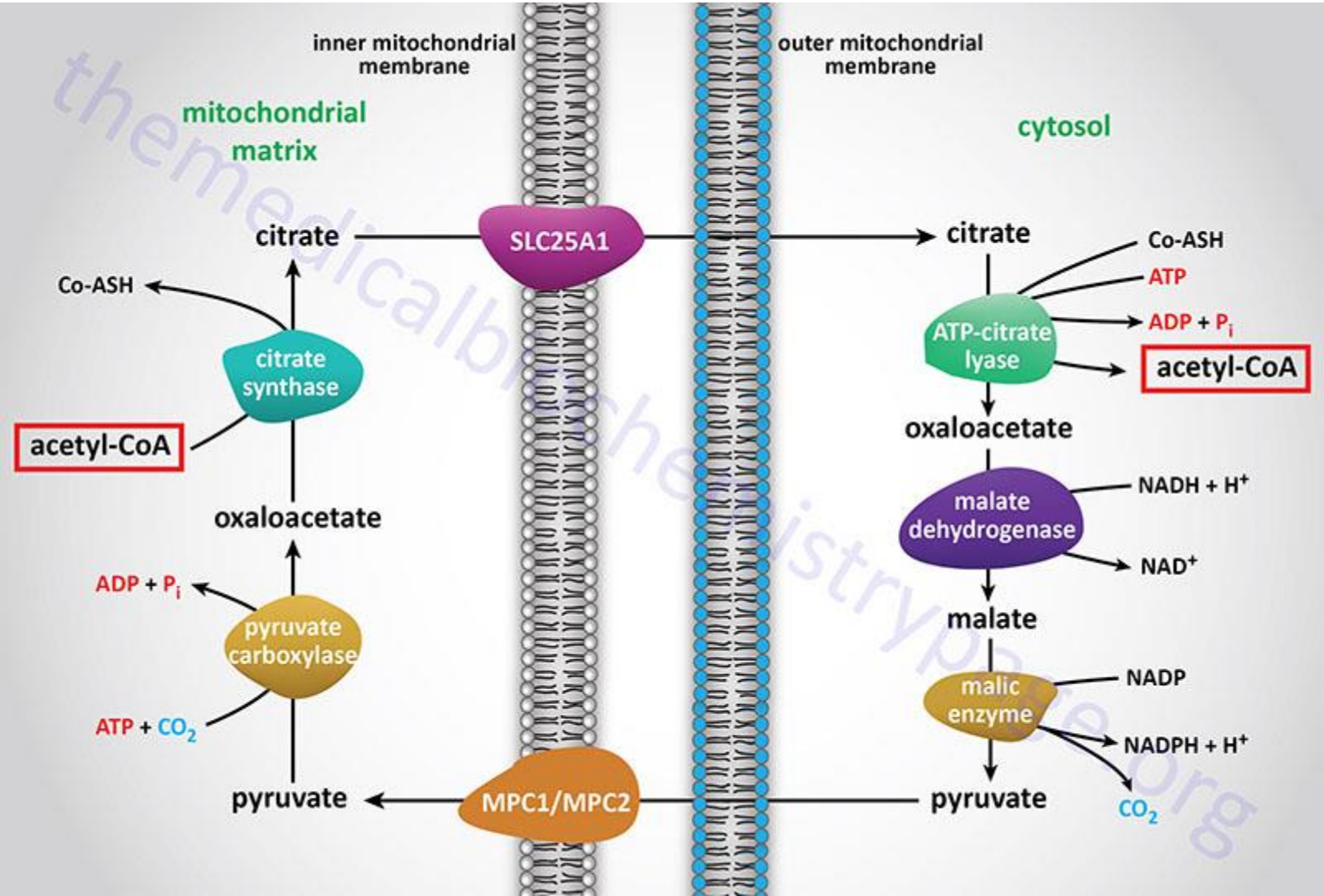
•**لیپوپروتئین با چگالی بسیار کم (** VLDL**):**

•**این نوع از لیپوپروتئین‌ها نسبت به سایر لیپوپروتئین‌ها، دارای میزان بسیار کمی از پروتئین‌های سطحی هستند.** VLDL**ها به عنوان پیش‌ساز** LDL**ها شناخته می‌شوند و مانند** LDL**ها در ایجاد رسوب و تشکیل پلاک در رگ‌ها دخیل هستند.**

متابولیسم چربی ها

مراحل سنتز اسیدهای چرب:

تولید استیل CoA در سیتوزول



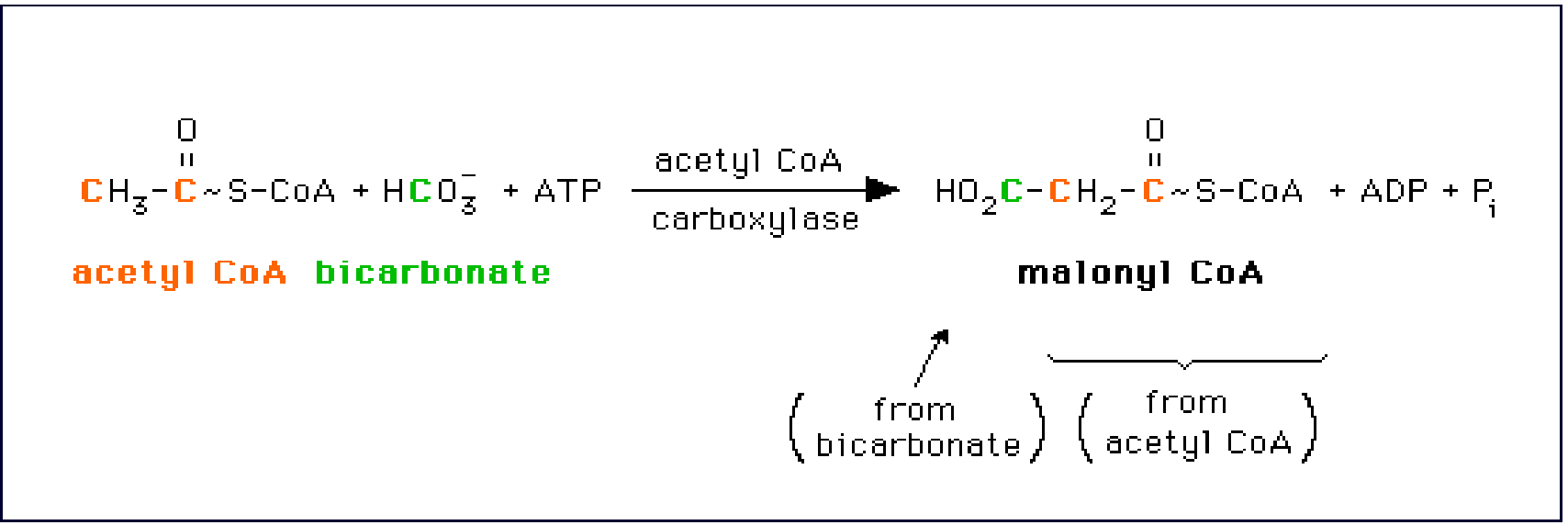
متابولیسم چربی ها

سنتز چربیها:

سنتز اسیدهای چرب:

اسید چرب در سیتوزول کبد و ادیپوز سنتز می شود.

تولید اسیدهای چرب در سیتوزول از استیل CoA و مالونیل CoA توسط مجموعه انزیمی اسید چرب سنتاز رخ می دهد

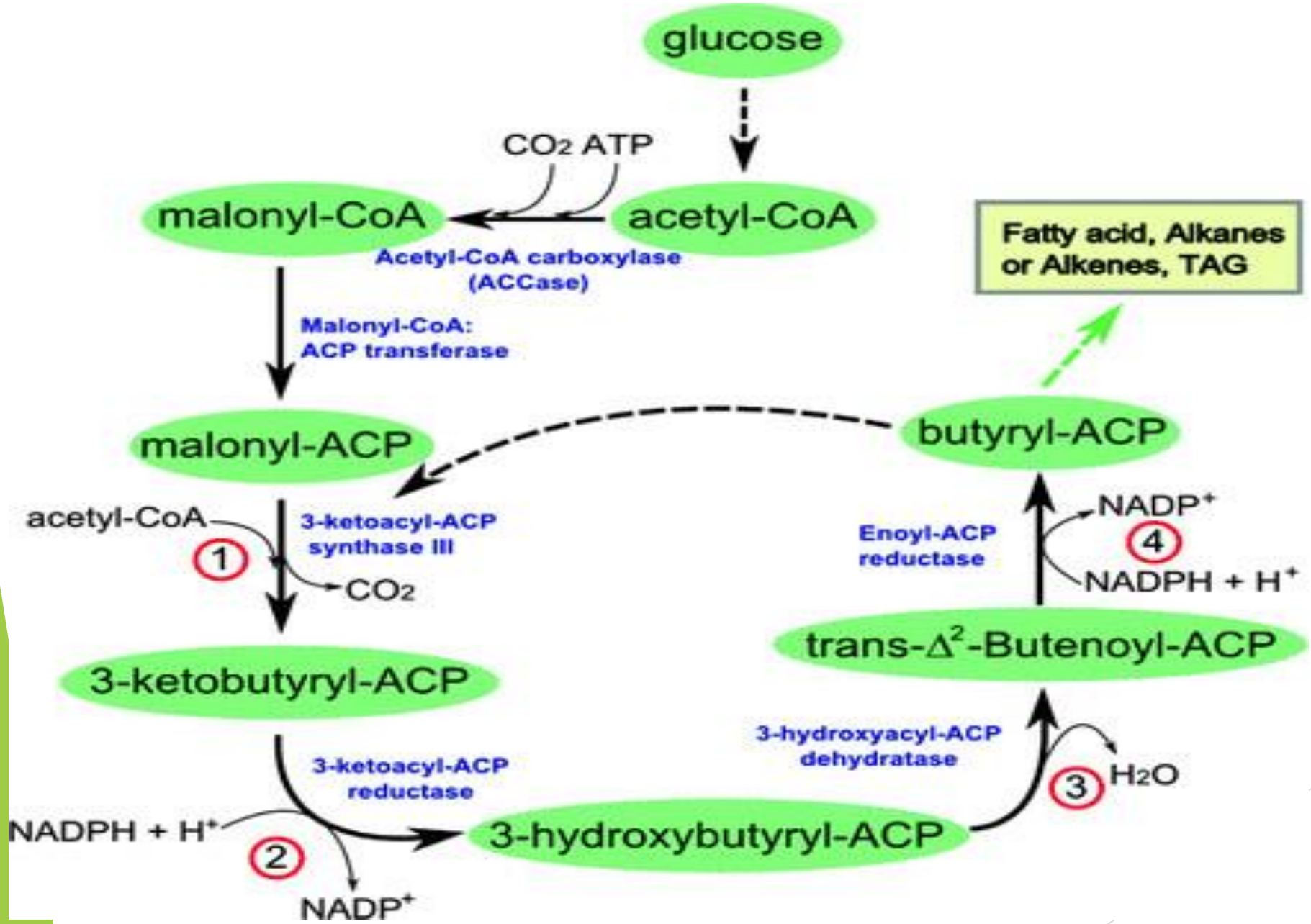


Overall reaction of palmitate synthesis from acetyl CoA and malonyl CoA

$$\text{Acetyl CoA} + 7\ \text{Malonyl CoA} + 14\ \text{NADPH} + 14\ \text{H}^+ \rightarrow \text{Palmitate} + 7\ CO_2 + 14\ \text{NADP}^+ + 8\ \text{HS-CoA} + 6\ H_2O$$

متابولیسم چربی ها

سنتز اسیدهای چرب



متابولیسم چربی ها

سنتز چربیها:

سنتز اسیدهای چرب:

۱– آنزیم استیل CoA کربوکسیلاز:

کربوکسیلاسیون استیل CoA و تولید مالونیل CoA مصرف یک مولکول

۲– مجموعه انزیمی اسید چرب سنتاز

متابولیسم چربی ها

سنتز چربیها:

سنتز اسیدهای چرب:

برای بیوسنتزپالمیتات ۱۶ کربنه نیاز به ۲۳ مولکول ATPو ۱۴ مولکول NADPHمی باشد که از نظر میزان ATPو نحوه تأمین NADPHدر حالتی که مالات در سیتوزول به پیروات تبدیل می شود.

۱– ۱۵مولکول(ATP 8مولکول آن برای انتقال ۸ مولکول استیل کوا به سیتوزول و ۷ مولکول دیگر برای سنتز مالونیل کوا)

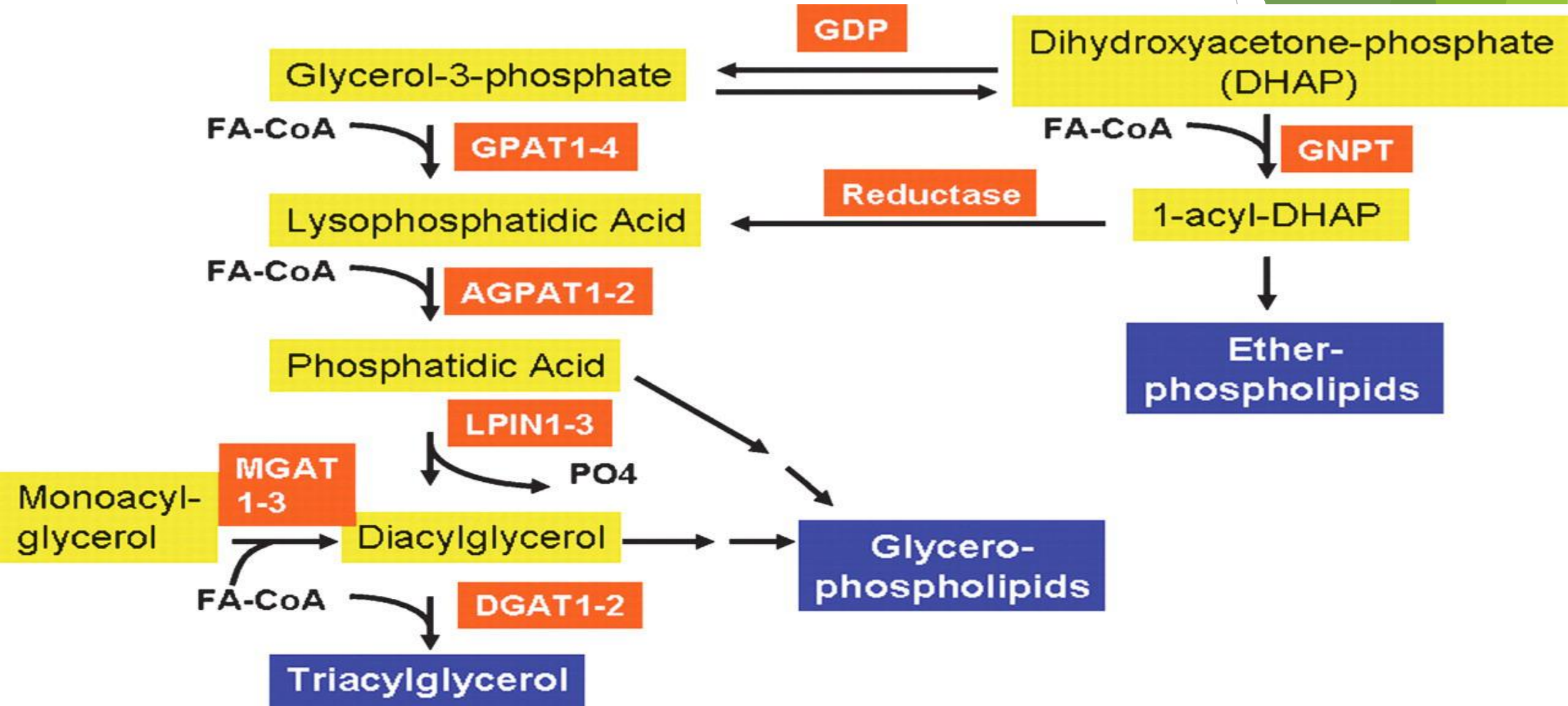
۲– ۸ مولکول مالات حاصل از احیاء ۸ مولکول اگزالواستات توسط آنزیم مالیک به پیروات تبدیل شده و ۸ مولکول NADPHتولید می کند (نیاز به ۱۴ مولکول NADPHاست) ۶ مولکول دیگر NADPHاز مسیر پنتوز فسفات تأمین می شود.

۳–تبدیل مجدد مولکول پیروات به ۸ مولکول اگزالواستات نیاز به ۸ مولکول ATPدارد.

8Acetyl CoA + 14 NADPH + 14 H+ + 23 ATP ➡ palmitate + 14 NADP+ + 8 CoA + 23 ADP + 23 Pi + 6 H2O

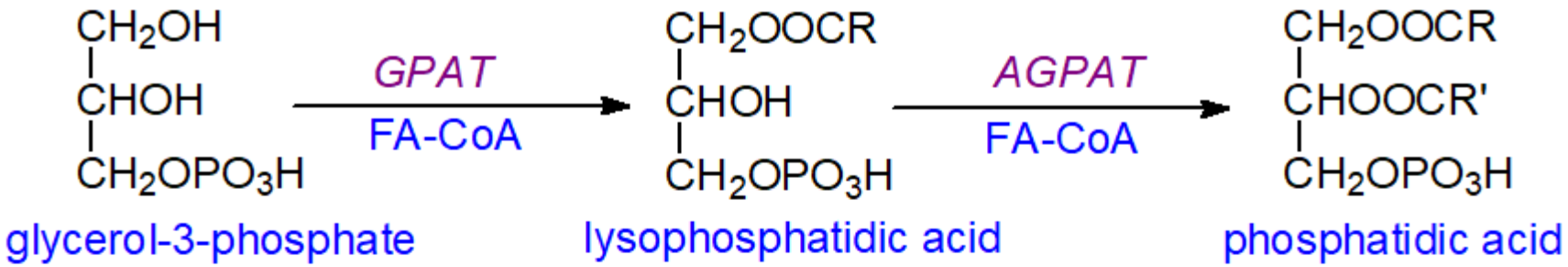
متابولیسم چربی ها

سنتز تری گلیسیریدها:

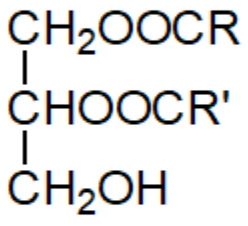


متابولیسم چربی ها

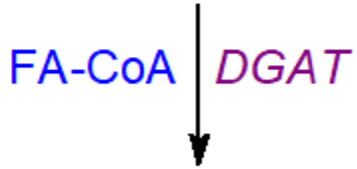
سنتز تری گلیسیریدها:

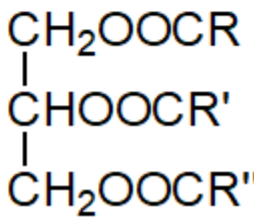


glycerol-3-phosphate — lysophosphatidic acid — phosphatidic acid



diacylglycerol





where *GPAT* = glycerol-3-phosphate acyltransferase

AGPAT = acylglycerophosphate acyltransferase

PAP = phosphatidic acid phosphohydrolase

DGAT = diacylglycerol acyltransferase

FA-CoA = fatty acid coenzyme A ester

Biosynthesis of triacylglycerols
by the Kennedy pathway

متابولیسم چربی ها

سنتز تری گلیسیریدها:

سنتز تری گلیسریدها از گلوکز و اسیدهای چرب صورت می گیرد

ابتدا گلیسرول ۳–فسفات از مسیر گلیکولیز و از حد واسط دی هیدروکسی استون فسفات توسط آنزیم گلیسرول فسفات دهیدروژناز سنتز می شود

آنزیم گلیسرول کیناز فقط در کبد وجود دارد و گلیسرول را به گلیسرول ۳–فسفات تبدیل می کند

آنزیم کلیدی این مسیر GPAT یا گلیسرول ۳– فسفات آسیل ترانسفراز است که در شبکه اندوپلاسمی صاف قرار دارد

متابولیسم چربی ها

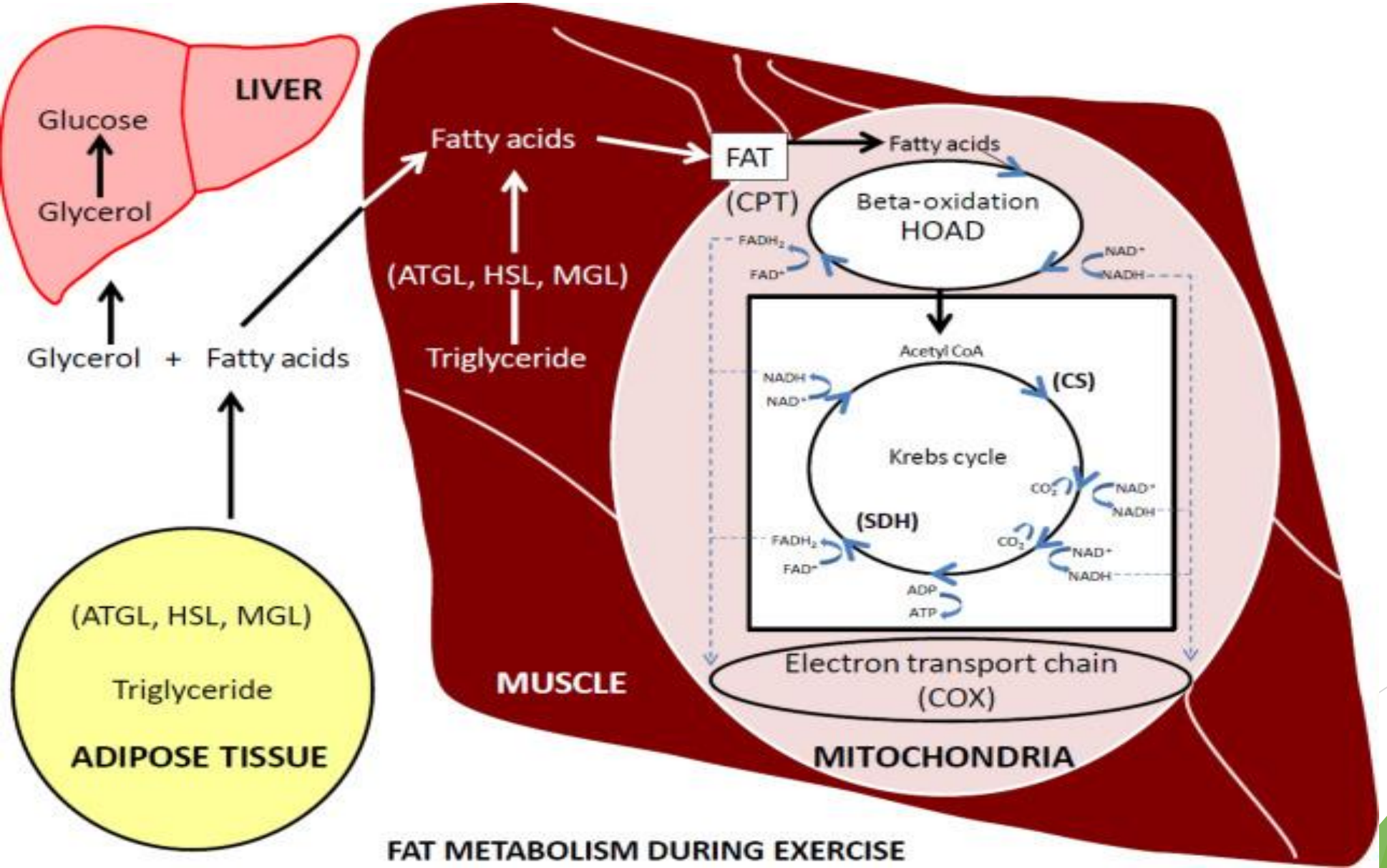
منابع اسید چرب مورد نیاز عضلات در حین ورزش:

- ✓ **تری گلیسیرید سنتز شده در ادیپوز به شکل قطرات** Anhydrous **در سیتوپلاسم ذخیره می شوند و به هنگام فعالیت ورزشی تجزیه شده و** FFA **وارد جریان خون می شود.**
- ✓ **تری گلیسیرید سنتز شده در کبد با اتصال به لیپوپروتئینها مثل** VLDL **و** LDL **وارد جریان خون می شود و در خون تحت تاثیر لیپوپروتئین لیپاز موجود دراندوتلیوم مویرگها به اسید چرب و گلیسرول تبدیل شده، اسید چرب جهت بتا اکسیداسیون وارد سلول عضله می شود.**
- ✓ **تری گلیسیرید اگزوژن در روده باریک به شیلومیکرونها متصل شده وارد جریان خون می شوددر خون تحت تاثیر لیپوپروتئین لیپاز موجود دراندوتلیوم مویرگها به اسید چرب و گلیسرول تبدیل شده، اسید چرب جهت بتا اکسیداسیون وارد سلول عضله می شود.**
- ✓ **تری گلیسرید عضلانی**

نکته: بیشترین اسید چرب مورد نیاز عضلات در ورزش توسط تری گلیسیرید ذخیره در عضلات و آدیپوز تامین می شود زیرا فعالیت آنزیم LPL **با** FFA **مورد نیاز عضلات برابری نمی کند و تری گلیسیریدهای پلاسما در مرحله بازسازی پس از ورزش در بافت چربی و عضلات استفاده می شود**

متابولیسم چربی ها

منابع اسید چرب مورد نیاز عضلات در حین ورزش:



FAT METABOLISM DURING EXERCISE

متابولیسم چربی ها

لیپولیز:

تجزیه تری گلیسیریدها به اسید چرب و گلیسرول را لیپولیز می نامند

آنزیمهای لیپولیز:

تری گلیسیرید لیپاز ATGL: جدایی اولین اسیدچرب

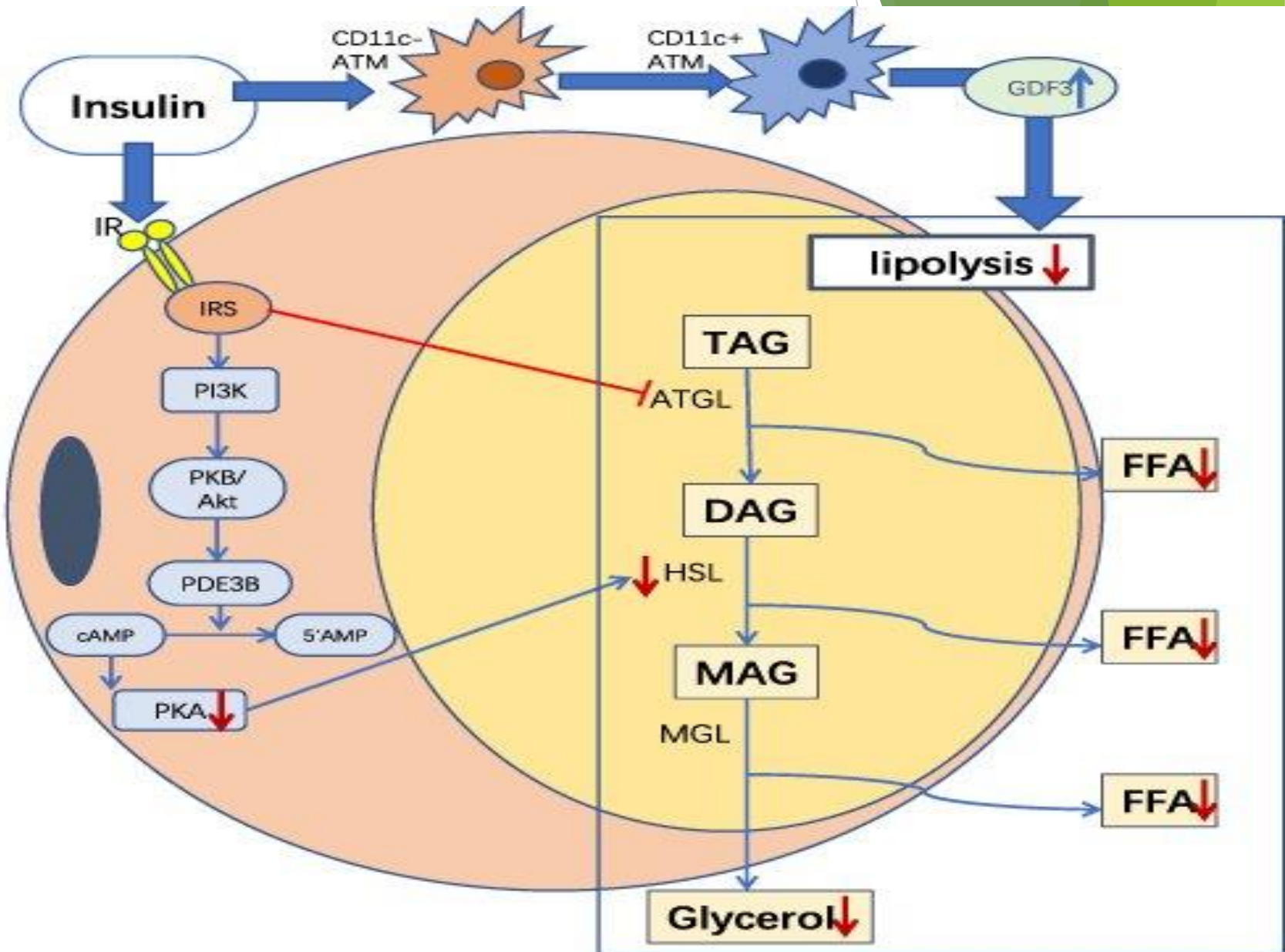
لیپاز حساس به هورمون HSL (انزیم کلیدی) جدایی دومین اسیدچرب

منوگلیسیرید لیپاز MGL: جدایی آخرین اسید چرب

اسیدهای چرب رها شده در خون به مولکول پروتئینی آلبومین متصل شده و در خون حمل می شوند به عضلات منتقل شده ، از آلبومین جدا شده و توسط ناقلین اسید چرب موجود در غشا پلاسمایی عضله وارد سیتوزول می شود.

متابولیسم چربی ها

Anti-lipolytic Action of Insulin



متابولیسم چربی ها

تاثیر فعالیت ورزشی بر متابولیسم لیپیدها:

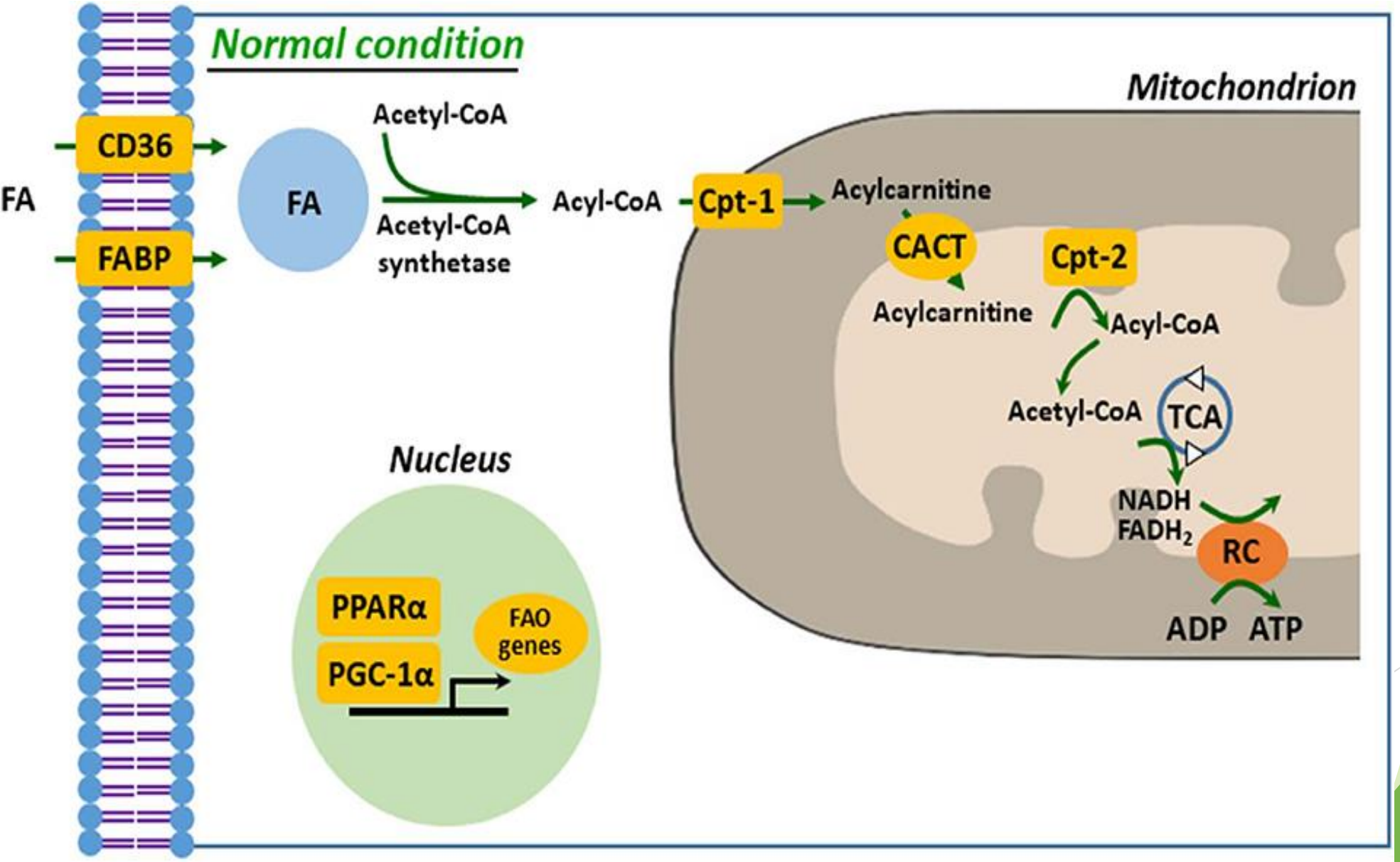
۱– با شروع فعالیت ورزشی انسولین کاهش می یابد. این هورمون با عث کاهش لیپولیز و افزایش لیپوژنز می شود

۲– در فعالیت ورزشی ادرنالین و گلوکاگون افزایش می یابن این دو هورمون با فعال کردن پروتئین کیناز با عث فعال شدن شده و لیپولیز را افزایش می دهند

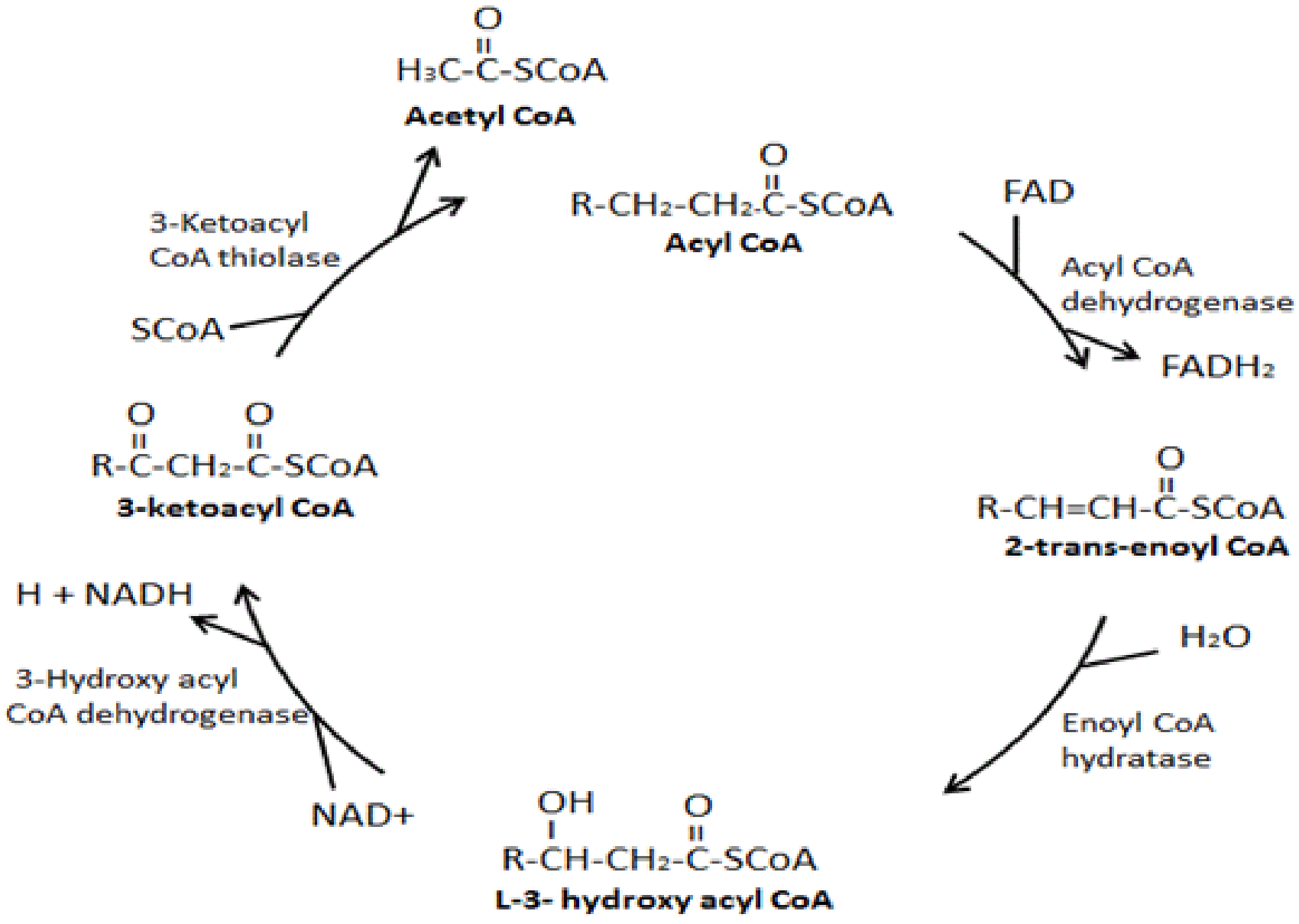
۳– با توقف ورزش انسولین افزایش یافته و با فعال کردن مسیر فسفودر استراز باعث کاهش فعالیت شده لیپولیز کاهش می یابد و از طرفی با افزایش پلاسما تجزیه تری گلیسیریدها را افزایش داده و باعث ورود .. به سلولهای آدیپوز و عضله و افزایش لیپوزنز می شود

متابولیسم چربی ها

بتااکسیداسیون:



متابولیسم چربی ها



بتااکسیداسیون:

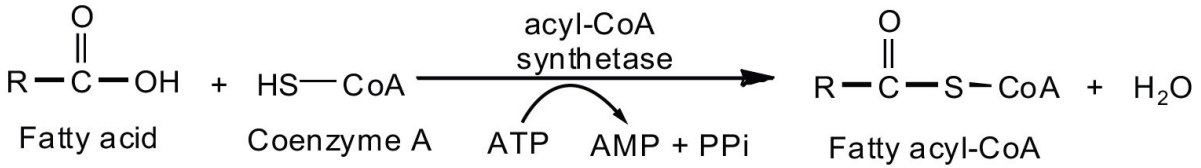
انزیم کلیدی این مسیر هیدروکسی آسیل کوآنزیم آ دهیدروژناز است که افزایش این انزیم نشانه بتا اکسیداسیون است

متابولیسم چربی ها

بتااکسیداسیون:

۱– ورود اسید چرب به سیتوزول توسط ناقلین اسید چرب موجود در غشاشامل:
CD36,FATP,FABP

۲–تشکیل آسیل CoAاز اسید چرب و استیل CoA, ATP و تولید AMP و آسیل CoA



۳– مرحله مهم اتصال آسیل CoA به کارنیتین و تشکیل آسیل کارنیتین است که با کمک حامل
کارنیتین پالمیتوئیل ترانسفراز ۱ وارد ماتریکس میتوکندری می شود

۴– جداشدن آسیل CoA از کارنیتین توسط کارنبتین پالمیتوئیل ترانسفراز ۲ د رماتریکس

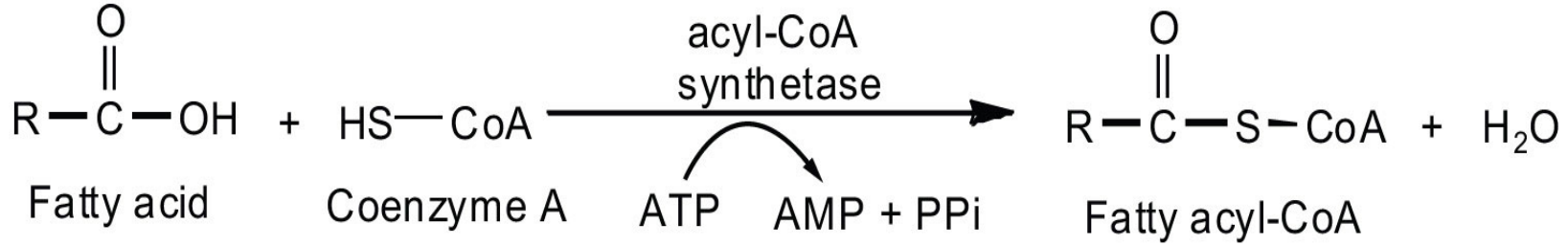
۵– ورود آسیل CoA به واکنش بتا اکسیداسیون

متابولیسم چربی ها

محاسبه انرژی تولید شده دربتااکسیداسیون:

به ازای ۱ مولکول استیل CoA **تولید شده در این واکنش ، یک مولکول** NADH **و یک مولکول** FADH2 **تولید می شودکه معادل** 5ATP **است**

در مرحله اول تولید آسیل CoA **نیز یک** AMP **تولید شده که معادل مصرف** 2ATP **است.**



محاسبه انرژی حاصل از اسید چرب ۱۶ کربنه:

(7*2)+(7*3)+(8*12)=131

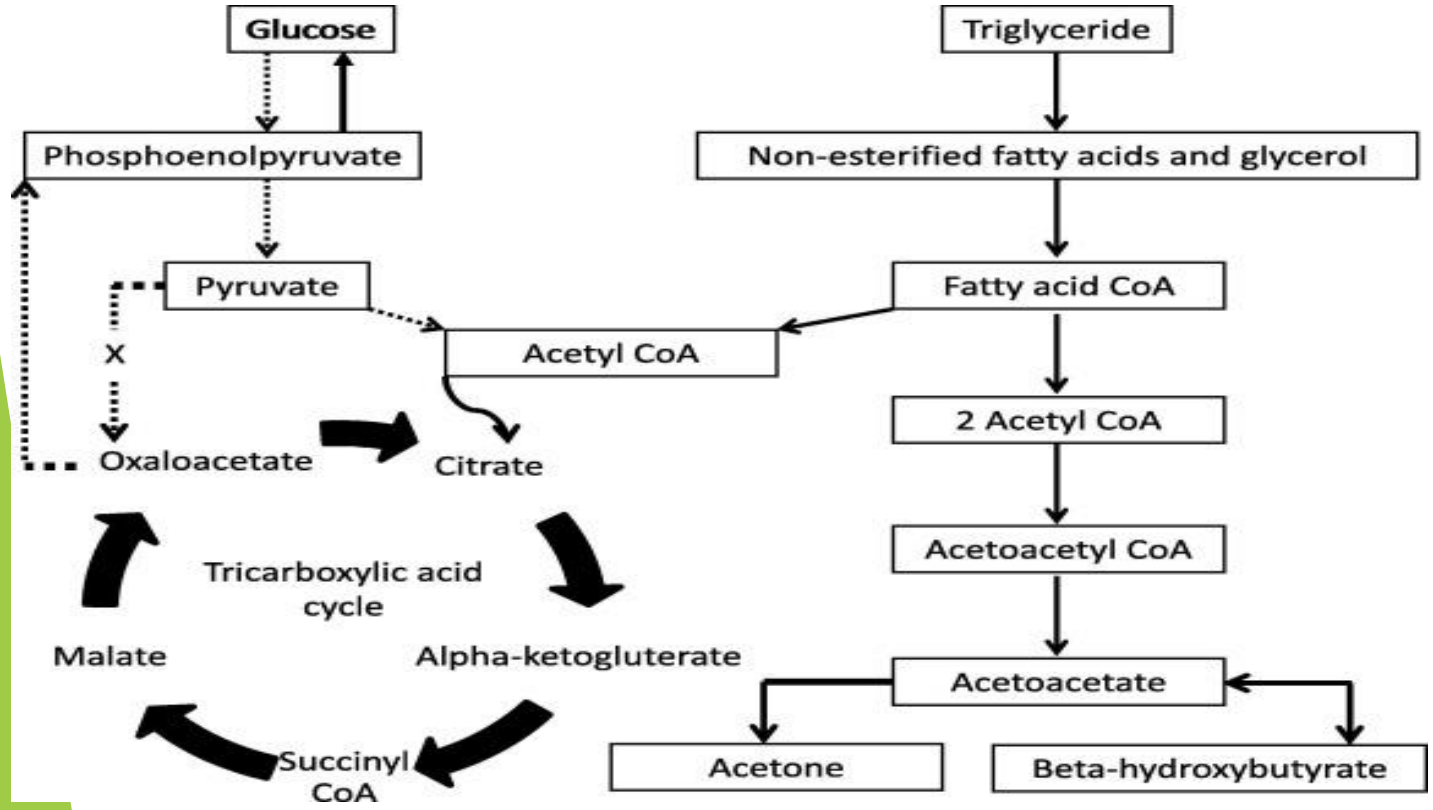
131-2=129

چرخه کربس

متابولیسم چربی ها

تشکیل اجسام کتونی:

زمانیکه استیلCoA حاصل از متابولیسم چربیها افزایش یافته ولی اگزالواستات کافی برای ترکیب با ان و تولید سیترات در سلول موجود نباشد استیل CoA در کبد به سمت تشکیل اجسام کتونی می رود.



این پدیده در روزه داری، تمرینهای طولانی مدت و در افراد دیابتی دیده می شود.

محصولات:

استون، استواستات و بتا هیدروکسی بوتیرات است.

متابولیسم چربی ها

مصرف لیپیدها در فعالیت ورزشی:

در ورزشهای با شدت بالا:

۱–میزان FFA موجودر جریان خون به دلیل کاهش جریان خون در آدیپوز کاهش می یابد پس منبع اصلی لیپید ، تری گلیسیرید درون عضلانی است.و همین موضوع از عوامل کاهش بتا اکسیداسیون در این نوع تمرینات است

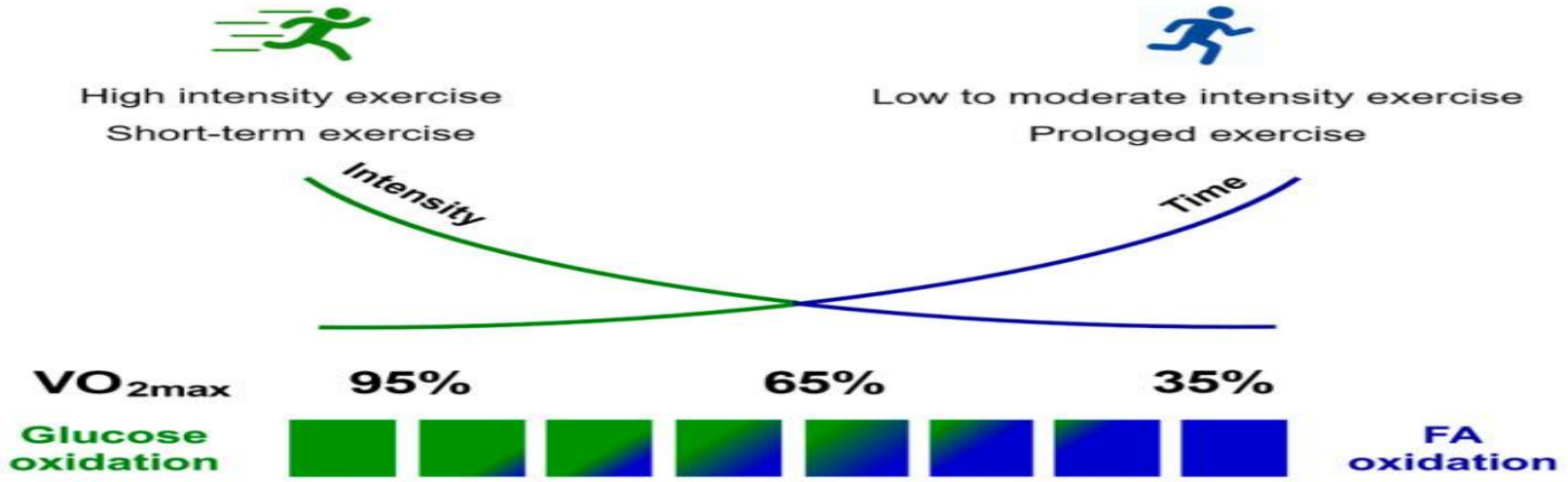
۲– میزان کارنیتین آزاد سیتوپلاسمی در تمرینات شدید کاهش می یابد زیرا به دلیل افزایش گلیکولیز استیلCoA در سیتوزول افزایش یافته و باعث تشکیل استیل کارنیتین می شود.

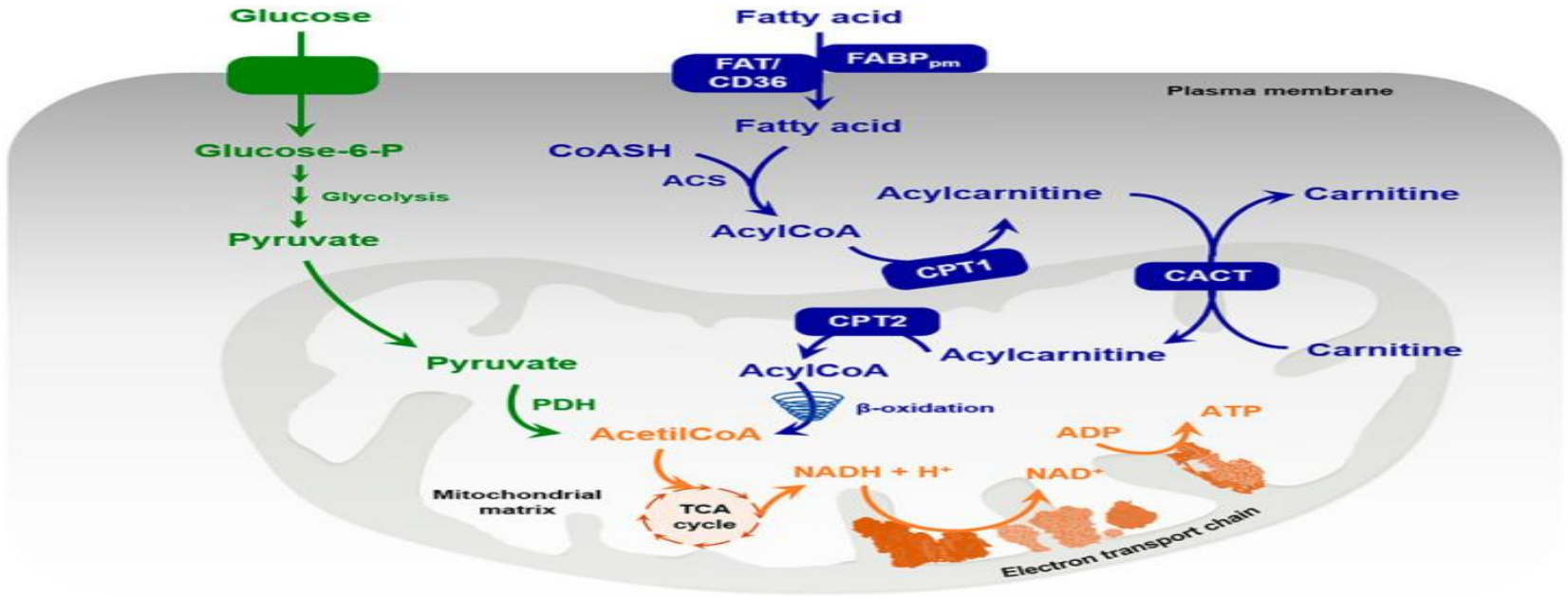
این دو عامل محدود کننده بتا اکسیداسیون در تمرینات شدید هستند

در ورزشهای استقامتی:

در این تمرینات شدت در حد متوسط بوده و منبع لیپید، هم اسید چرب پلاسما و هم تری گلیسیرید عضلانی است و اسید چرب پلاسما نقش بارزتری در تولید انرژی داشته و تکیه به تری گلیسیرید عضلانی کاهش می یابد.

مصرف سوخت در ورزش





سوالات

۱– در هنگام فعالیت ورزشی چه تغییرات هورمونی سبب افزایش لیپولیز در بافت چربی میشوند؟
۲– محاسبه کنید از یک اسید چرب ۱۸ کربنه چند مولکول ATP تولید می شود؟
۳–عوامل محدود کننده مصرف چربیها در ورزشهای با شدت بالا را توضیح دهید؟
۴–منابع لیپید در ورزشهای استقامتی را نام ببرید؟
۵– هورمون انسولین از چه مسیری بر لیپولیز تاثیر می گذارد؟
۶–استیل CoA مورد نیاز برای سنتز لیپیدها چگونه از میتوکندری به سیتوزول منتقل می شود؟