

فصل ۱۰. سنتز اسیدهای چرب

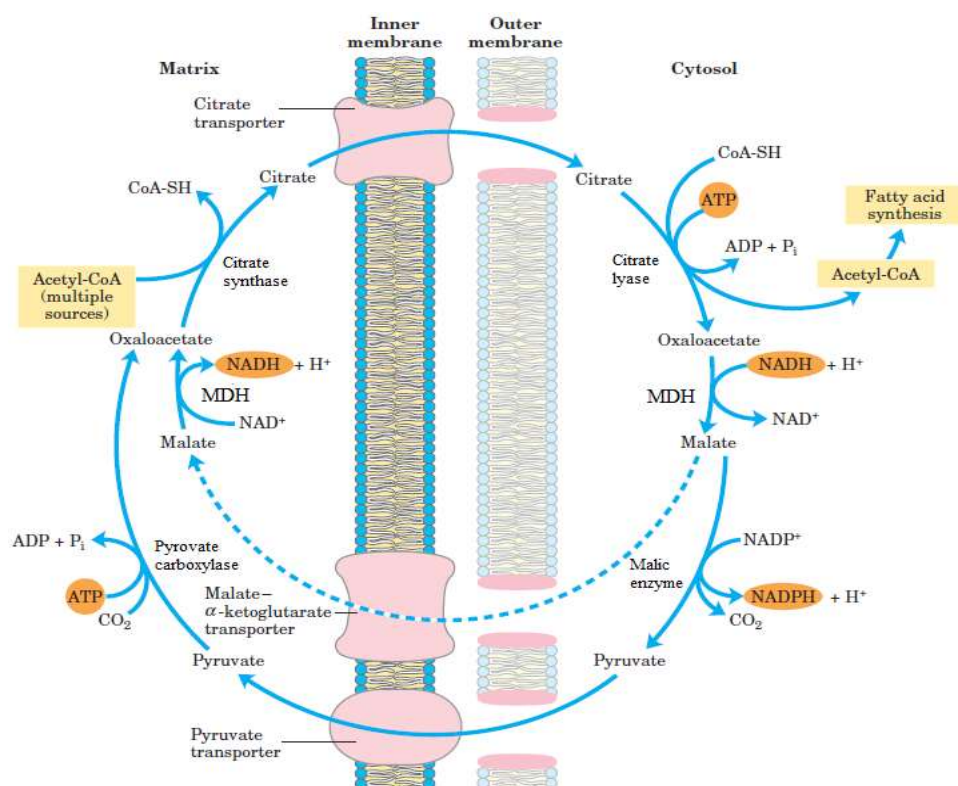
این فرآیند در بسیاری از بافت ها خصوصا کبد و با استفاده از کربوهیدرات های رژیم غذایی که بیش از نیاز برای تولید انرژی و سنتز گلیکوژن هستند صورت می پذیرد. البته اسیدهای آمینه نیز پس از تبدیل اسکلت کربنی اشان به استیل کوآ قابلیت سنتز اسیدهای چرب را دارند. پالمیتات معمول ترین اسید چربی است که در بدن تولید می شود. البته سنتز اسیدهای چرب با تعداد کربن کمتر یا بیشتر و همچنین مشتقات آن ها در برخی شرایط اهمیت دارد.

بیوسنتز پالمیتات

این سنتز با ترکیب ۸ مولکول استیل کوآ و در سه مرحله صورت می پذیرد:

مرحله اول: انتقال مولکول های استیل کوآ از میتوکندری به سیتوزول (تصویر

۱۰-۱)



تصویر ۱۰-۱. انتقال استیل کوآ از میتوکندری به سیتوزول

- (۱) سنتز سیتрат توسط سیترات سنتاز در اولین واکنش چرخه کربس
 - (۲) انتقال سیترات به سیتوزول با کمک ناقل تری کربوکسیلات موجود در غشاء میتوکندری (یک واکنش کاتالیزور تیک)
 - (۳) تجزیه سیترات به استیل کوآ و اگزالواستات توسط ATP- سیترات لیاز
 - (۴) احیاء اگزالواستات به مالات توسط مالات دهیدروژناز (MDH) سیتوزولی و مصرف NADH
 - (۵) اکسیداسیون و دکربوکسیلاسیون مالات به پیرووات توسط مالیک آنزیم همراه با تولید NADPH
 - (۶) انتقال پیرووات به میتوکندری با کمک انتقال دهنده مونوکربوکسیلات
- ❖ مالات با روشی که کمتر مورد استفاده قرار می گیرد با کمک انتقال دهنده مالات / α -کتوگلوترات نیز به سیتوزول منتقل می شود.

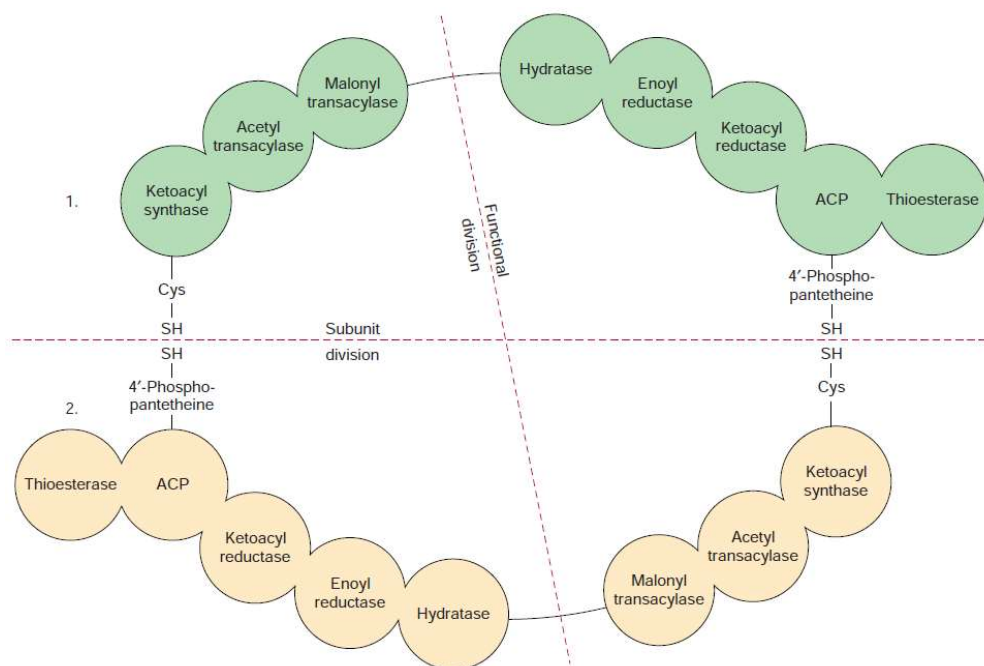
مرحله دوم: فعال سازی مولکول های استیل کوآ

اتصال عامل متیل از یک استیل کوآ (دهنده) به عامل کربونیل استیل کوآ دیگر (گیرنده) در تشکیل زنجیر اسید چرب دخیل است. اما استیل کوآ دهنده تنها زمانی می تواند به گیرنده متصل شود که فعال گردد. برای این امر استیل کوآ در یک فرآیند غیر قابل برگشت توسط استیل کوآ کربوکسیلاز به مالونیل کوآ کربوکسیله و فعال می گردد. این آنزیم پلی پپتیدی است که از سه بخش عملکردی متفاوت تشکیل شده است. شامل:

- پروتئین حامل بیوتین. گروه پروستتیک بیوتین به E- آمینو لیزین این پروتئین به صورت کووالان متصل می گردد.
- بیوتین کربوکسیلاز با صرف ۱ مولکول ATP گروه کربوکسیل مشتق از بیکربنات را به بیوتین منتقل می سازد.
- ترانس کربوکسیلاز با انتقال CO_2 از بیوتین به استیل کوآ سبب تولید مالونیل کوآ می شود. اولین مولکول استیل کوآ، انتهای متیلی پالمیتات را می سازد. ۷ مولکول دیگر باید فعال و به شکل مالونیل کوآ وارد واکنش شوند. این فعال سازی نیاز به ۷ مولکول ATP دارد.

مرحله سوم: ساخت زنجیره اسید چرب

این مرحله با همکاری آنزیم چند عملکردی اسید چرب سنتاز صورت می پذیرد. در یوکاریوت ها این کمپلکس به صورت هومودیمر عمل می کند که هر مونومر آن حاوی ۷ آنزیم و یک ACP می باشد (تصویر ۲-۱۰).



تصویر ۲-۱۰. کمپلکس چند آنزیمی اسید چرب سنتاز

نکات:

(۱) گاهی اوقات کمپلکس را براساس عملکرد تقسیم می کنند (**Functional division**) که بر مبنای همکاری زیر واحدهاست، چرا که همکاری MT، AT و KS از یک زیر واحد با ACP، KR، DH، ER و TE زیر واحد دیگر سبب سنتز یک مولکول اسید چرب می گردد.

(۲) جهت ایجاد همکاری بین دو زیر واحد قرار گیری گروه SH جزء ACP یک مونومر در مقابل SH جز KS مونومر دیگر ضروری است.

(۳) در پروکاریوت ها برخلاف یوکاریوت ها اجزاء اسید چرب سنتاز مجزا هستند.

عملکرد آنزیم وابسته به همکاری زیر واحدهاست به نحویکه یک زیر واحد به تنهایی کار نکرده و به طور همزمان دو اسید چرب در یک کمپلکس ساخته می شود (تصویر ۳-۱۰).

(۱) استیل کوآ با کمک استیل ترانس آسیلاز (AT) به گروه SH ۴' - فسفوپانتتین ACP و سپس به SH سیستئین β - کتو سنتاز (KS) متصل می شود.

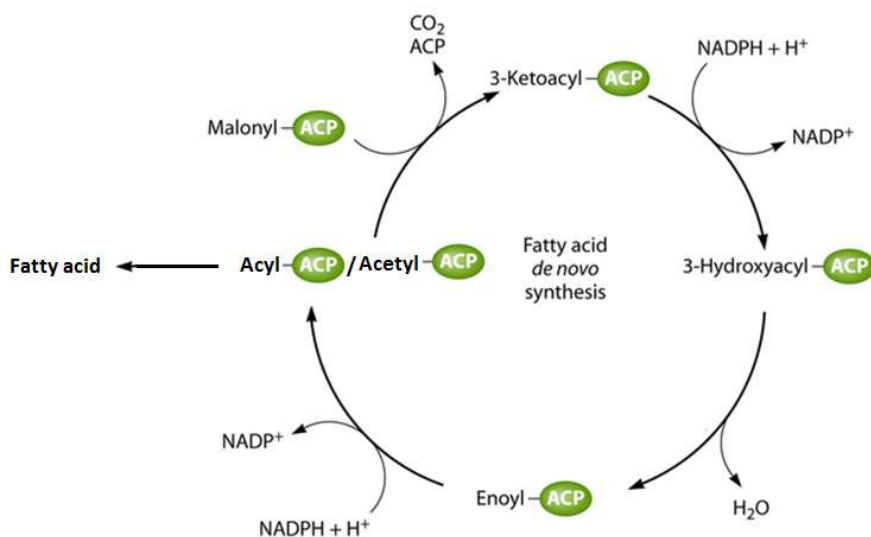
(۲) مالونیل کوآ با کمک مالونیل ترانس آسیلاز (MT) به گروه SH ۴' - فسفوپانتتین ACP متصل می شود.

۳) β -کتو سنتاز مالونیل را دکربوکسیله و استیل آن را به کربن کربونیل گیرنده متصل می سازد (تولید استواسیتیل ACP).

❖ دی اکسید کربنی که طی فرآیند فعال سازی به استیل کوآ اضافه شده بود، آزاد و انرژی حاصله برای اتصال صرف می شود.

۴) احیاء گروه β -کتو به β -هیدروکسی توسط β -کتو آسیل ردوکتاز (KR) با مصرف NADPH.
 ۵) برداشت یک مولکول آب توسط β -هیدروکسی آسیل دهیدراتاز (DH) و تولید آسیل غیر اشباع (انویل).

۶) احیاء پیوند دوگانه توسط انویل ردوکتاز (ER) با مصرف NADPH و تولید آسیل اشباع. برای طویل شدن، آسیل حاصله مجدداً پذیرای گروه استیل از مالونیل کوآ خواهد بود. بدین ترتیب در هر مرحله ۲ کربن به طول زنجیره افزوده خواهد شد. بعد از تولید پالمیتات، آنزیم تیواستراز (TE) با هیدرولیز پیوند تیواستری، پالمیتات را از ACP آزاد می کند.



تصویر ۳-۱۰. بیوسنتز اسیدهای چرب توسط اسید چرب سنتاز

استوکیومتری بیوسنتز پالمیتات

برای سنتز پالمیتات به ۸ مولکول استیل کوآ، ۱۵ مولکول ATP (۸ مولکول مصرف سیترات لیز / ۷ مولکول برای مرحله فعال سازی) و ۱۴ مولکول NADPH مورد نیاز است. به ازاء انتقال ۸ مولکول استیل کوآ به سیتوزول، ۸ مولکول اگزوالواستات به میتوکندری منتقل می شود که طی این فرآیند ۸ مولکول NADPH تولید می گردد. ۶ مولکول دیگر نیز با کمک مسیر پنتوز فسفات که طی فرآیند سنتز اسید چرب فعال است تامین می گردد.

تنظیم بیوسنتز پالمیتات

بیوسنتز اسیدهای چرب از طریق تاثیر بر آنزیم های استیل کوآ کربوکسیلاز و اسید چرب سنتاز تنظیم می گردد. این تاثیرات ممکن است به تنظیمات کوتاه یا بلند مدت منجر شود (جدول ۱- ۱۰). از بین دو آنزیم ذکر شده، استیل کوآ کربوکسیلاز نقش تنظیمی اصلی را دارد.

جدول ۱- ۱۰. تنظیم سنتز پالمیتات

آنزیم	نوع تنظیم	عامل تنظیمی	اثر
استیل کوآ کربوکسیلاز (ACC)	کوتاه مدت	سیتрат، ایزوسیترات	فعال کننده آلوستریکی
		آسیل کوآ ۱۶ و ۱۸ کربنه	• مهار کننده آلوستریکی • مهار ناقل تری کربوکسیلات
		AMP	مهار از طریق فسفریلاسیون ACC بواسطه AMPK
		گلوکاگون و اپی نفرین	مهار از طریق فسفریلاسیون ACC بواسطه PKA
		انسولین	فعال سازی از طریق دفسفریلاسیون ACC
اسید چرب سنتاز (FAS)	بلند مدت	هورمون تیروئید، انسولین رژیم غذایی با کربوهیدرات بالا	افزایش بیان ژن و در نتیجه سنتز آنزیم
		ناشتایی چربی بالای غذایی	کاهش بیان ژن از طریق پایین آوردن میزان انسولین و بالا بردن گلوکاگون
		قندهای فسفات	فعال کننده آلوستریکی
اسید چرب سنتاز (FAS)	بلند مدت	رژیم غذایی با کربوهیدرات بالا	افزایش بیان ژن بواسطه انسولین
		ناشتایی چربی بالای غذایی	کاهش بیان ژن از طریق پایین آوردن میزان انسولین و بالا بردن گلوکاگون

❖ رژیم پر کربوهیدرات و تجویز انسولین بیان ژن های مالیک آنزیم، گلوکز ۶- فسفات دهیدروژناز و سیترات لیاز را نیز می افزایند. رژیم پرچربی، گرسنگی و دیابت اثر عکس دارند.

تولید سایر مولکول‌های اسید چرب

سنتز اسیدهای چرب زنجیر کوتاه

به سبب اهمیت اسیدهای چرب ۸ تا ۱۰ کربنه برای تغذیه نوزادان تیواسترازهای غدد شیرساز زودتر وارد عمل شده تا موجبات تولید این اسیدهای چرب را فراهم سازند.

سنتز اسیدهای چرب با زنجیر بلندتر

این سنتز برای بافت عصبی واجد اهمیت می باشد. **اسید چرب الانگاز** شبکه اندوپلاسمی (میکروزوم) یا میتوکندریایی در طویل شدن اسیدهای چرب دخیل اند. در جدول ۲- ۱۰ سنتز اسیدهای چرب در سیتوزول، میکروزوم و میتوکندری مورد مقایسه قرار گرفته اند.

جدول ۲- ۱۰. مقایسه سنتز اسیدهای چرب در سیتوزول، میکروزوم و میتوکندری

ویژگی	سیتوزولی	میکروزومی	میتوکندریایی
سوبسترای اولیه	استیل کوآ	مولکول‌های آسیل کوآ اشباع یا غیر اشباع با طول های متفاوت (سوبسترای ارجح پالمیتوئیل کوآ است)	مولکول‌های آسیل کوآ با زنجیر کوتاه
دهنده واحدهای دو کربنه	مالونیل کوآ	مالونیل کوآ	استیل کوآ
اکسی‌والان‌های احیاء کننده	NADPH	NADPH	NADPH یا NADPH
حامل زنجیر در حال رشد	ACP	CoA	CoA
وضعیت آنزیم‌ها	به شکل کمپلکس	به شکل آزاد	به شکل آزاد
محصول	اسید چرب ۱۶ کربنه	اسید چرب ۱۸ تا ۲۴ کربنه	اسید چرب معمولاً تا ۱۶ کربن
اهمیت	سنتز پالمیتات	سنتز اسیدهای چرب با طول بیش از پالمیتات	افزایش طول اسیدهای چرب با زنجیر کوتاه

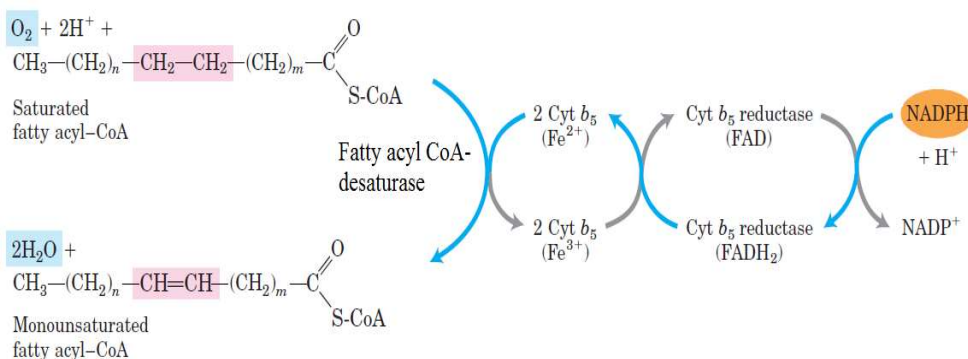
در اثر طولیل شدن گاما لینولنیک اسید (γ -linolenic acid) با ساختار $C_{18}\Delta^{6,9,12}$ ، کدام ترکیب حاصل می گردد؟

الف) $C_{20}\Delta^{4,7,9}$ ب) $C_{20}\Delta^{5,8,11}$ ج) $C_{20}\Delta^{6,9,12}$ د) $C_{20}\Delta^{8,11,14}$

گزینه د صحیح است. طولیل شدن در هر مرحله با افزوده شدن ۲ کربن به انتهای کربوکسیلی صورت می پذیرد. لذا ترکیب حاصله ۲۰ کربنه شده و پیوندهای دو گانه هر کدام معادل دو کربن جلو رانده می شود.

سنتز اسیدهای چرب غیر اشباع (تصویر ۴-۱۰)

سیستم اسید چرب دسچوراز میکروزمی مسئول ساخت اسیدهای چرب غیر اشباع از اسیدهای چرب اشباع است. این سیستم مونواکسیژناز دارای حداقل سه جزء دسچوراز، سیتوکروم b_5 و سیتوکروم b_5 ردوکتاز می باشد.



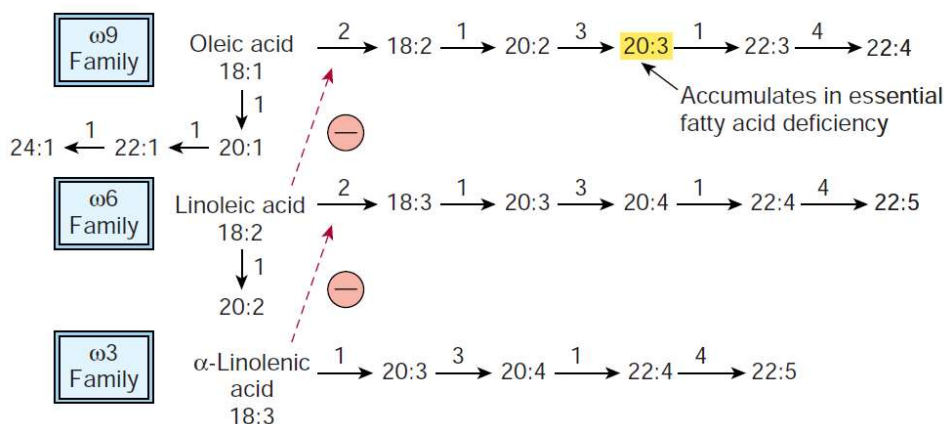
تصویر ۴-۱۰. غیر اشباع سازی اسیدهای چرب

آنزیم Fatty acyl CoA- desaturase، دو اتم هیدروژن از آسیل کوآ اشباع برمی دارد. دو الکترون را برای تولید مولکول های آب مصرف کرده و پروتون آن را به Cyt b_5 می دهد. آنزیم Cyt b_5 ردوکتاز مسئول احیاء مجدد Cyt b_5 است. این آنزیم بواسطه NADPH مجدداً احیاء می گردد. برای تشکیل هر پیوند دو گانه دسچوراز اختصاصی وجود دارد. دسچورازهای پستانداران قابلیت ایجاد پیوند دو گانه در موقعیت Δ^4 ، Δ^5 ، Δ^6 و Δ^9 را دارند. معمولاً اولین پیوند دو گانه در موقعیت Δ^9 ایجاد می شود. پیوندهای دوگانه از نوع سیس بوده و فاصله آنها سه کربن می باشد. پیوندهای دو گانه بین آخرین پیوند دو گانه و انتهای کربوکسیل اضافه می شوند.

❖ انسولین، هورمون های تیروئیدی، هیدروکورتیزون و کلسترول محرک سنتز و اپی نفرین، گلوکاگون و اسیدهای چرب غیراشباع (PUFAs) مهارکننده سنتز دسچوراز هستند.

نکات:

- (۱) به دلیل ناتوانی در ایجاد پیوند دوگانه Δ^{12} و Δ^{15} ، اسید لینولئیک و اسید لینولئیک ها (α و γ) در بدن قابل سنتز نمی باشند. این اسیدهای چرب باید از طریق رژیم غذایی گیاهی تامین شوند. لذا به آنها اسیدهای چرب ضروری از لحاظ غذایی گفته می شود.
- (۲) اسید آراشیدونیک از اسید لینولئیک تولید می گردد (تصویر ۵- ۱۰). اگر لینولات به مقدار کافی در رژیم غذایی نباشد، وجود آراشیدونات در رژیم غذایی ضروری است.
- (۳) در کمبود اسیدهای چرب ضروری، اسیدهای پلی انوئیک غیر ضروری خانواده ω_9 ، جایگزین اسیدهای چرب ضروری در فسفولیپیدها می شوند. در این حالت میزان تری آن ها زیاد می شود. از اندازه گیری نسبت تری آن ها به تترا آن ها در لیپیدهای پلاسمایی برای تشخیص شدت کمبود اسیدهای چرب ضروری استفاده می شود.



تصویر ۵- ۱۰. تولید خانواده های ω_9 ، ω_6 و ω_3 از اسیدهای چرب دارای چند پیوند غیر اشباع

اسید چرب $C_{22}\Delta^{4,7,10,13,16,19}$ در جانوران از کدام اسید چرب می تواند سنتز شود؟

الف) پالمیتولات (ب) اولئات (ج) لینولات (د) لینولات

گزینه د صحیح است. لینولاتی که به این ترکیب تبدیل می شود نوع α است.

- α - لینولئیک اسید ($C_{18}\Delta^{9,12,15}$) توسط Δ^6 دسچوراز به $C_{18}\Delta^{6,9,12,15}$ تبدیل می شود.

- ترکیب حاصله توسط الانگاز به $C_{20}\Delta^{8,11,14,17}$ تبدیل می شود.

- اسید چرب بدست آمده بواسطه Δ^5 دسچوراز و به دنبال آن الانگاز به $C_{22}\Delta^{7,10,13,16,19}$ تبدیل می شود.

- ساختار $C_{22}\Delta^{7,10,13,16,19}$ توسط Δ^4 دسچوراز به ترکیب مدنظر مبدل می گردد.

تشکیل اسیدهای چرب هیدروکسیله

در پستاندارن دو فرآیند مختلف اسیدهای چرب α - هیدروکسی تولید می کنند.

- یکی در میتوکندری بسیاری از بافت ها که روی اسیدهای چرب با زنجیر کوتاه اثر می کند.
- دومی فقط در سیستم عصبی و برروی اسیدهای چرب بلند زنجیر (ترجیحا ۲۲ و ۲۴ کربنه) به اثبات رسیده است. آنزیم مسئول این امر یک **مونواکسیژناز** است و مثال بارز آن α - هیدروکسیلاسیون اسید لیگنوسریک به اسید سربرونیک برای سنتز میلین می باشد. این فرآیند به شدت با سنتز اسفنگولیپیدهای حاوی هیدروکسیل هماهنگ است.

بیوسنتز سایر مولکول های اسید چرب

- ۱- تولید اسیدهای چرب فرد کربنه در صورت استفاده از **پروپیونیل کوآ** به عنوان گیرنده، مثلا در کمبود ویتامین B₁₂.
- ۲- تولید اسیدهای چرب شاخه دار در صورت استفاده از **متیل مالونیل کوآ** به عنوان دهنده، مثلا در کمبود ویتامین B₁₂.
- ۳- تولید الکل چرب با احیاء گروه هیدروکسیل به الکل نوع اول در شبکه اندوپلاسمی با مصرف NADPH که برای سنتز فسفولیپیدهای واجد پیوند اتری نیاز می باشد.

سوالات

- ۱- کدام آنزیم تنظیم چرخه اسید چرب سنتتاز را به عهده دارد؟
 الف) β -کتوآسیل سنتتاز (ب) استیل کوآ کربوکسیلاز
 ج) پالمیتیل دآسیلاز (د) اسید چرب تیوکیناز
- ۲- سنتز اسیدهای چرب به کلیه مولکول های زیر نیاز دارد، بجز:
 الف) FAD (ب) مالونیل کوآ (ج) NADH (د) استیل کوآ
- ۳- اگر به محیط بیوسنتز اسید چرب، بیکربنات رادیواکتیو اضافه کنیم، کدام کربن اسید چرب سنتز شده رادیواکتیو خواهد بود؟
 الف) تمام کربن ها (ب) هیچ کدام از کربن ها
 ج) فقط کربن انتهایی (د) کربن ها به صورت یک در میان
- ۴- فعالیت کدام آنزیم زیر در تولید NADPH لازم جهت سنتز اسیدهای چرب نقش دارد؟
 الف) مالات (ب) گلوکز ۶- فسفات دهیدروژناز
 ج) پیرووات دهیدروژناز (د) سیتрат لیاز
- ۵- آنزیم کنترل کننده و ماده تنظیم کننده بیوسنتز اسیدهای چرب کدام مورد زیر است؟
 الف) سیترات لیاز- سیترات (ب) استیل کوآ کربوکسیلاز- مالونیل کوآ
 ج) فتی اسید سنتتاز- استیل کوآ (د) استیل کوآ کربوکسیلاز- سیترات
- ۶- در بیوسنتز اسیدهای چرب، گروه SH مربوط به ۴- فسفوپانتوتئین آنزیم اسید چرب سنتتاز را کدام ترکیب زیر پر می کند؟
 الف) بنیان آسیل از استیل کوآ (ب) بنیان آسیل از مالونیل کوآ
 ج) بنیان آسیل از آسیل کوآ (د) بنیان آسیل از بوتیریل کوآ
- ۷- پیش ساز اسید اولئیک کدام است؟
 الف) اسید آراشیدونیک (ب) اسید پالمیتیک (ج) اسید استئاریک (د) اسید لینولئیک
- ۸- ترکیبی که استیل کوآ را از میتوکندری وارد سیتوپلاسم کرده و سبب فعال شدن آنزیم مالونیل کوآ کربوکسیلاز می شود، کدام است؟
 الف) کارنی تین- سیترات (ب) آسپارات- L- مالات
 ج) سیترات- سیترات (د) سیترات- L- مالات
- ۹- برای تطویل (Elongation) زنجیر اسید چرب در میتوکندری:
 الف) دو $\text{NADPH} + \text{H}^+$ ضروری است.
 ب) یک $\text{NADH} + \text{H}^+$ و یک $\text{NADPH} + \text{H}^+$ ضروری است.
 ج) دو $\text{NADH} + \text{H}^+$ ضروری است.

(د) دو $\text{NADPH} + \text{H}^+$ ضروری است.

۱۰- اگر غلظت متیل مالونیک اسید افزایش یابد تجویز کدام ویتامین باعث کاهش غلظت آن می گردد؟

الف) B_1 ب) B_6 ج) B_{12} د) C

۱۱- کدام مسیر متابولیسمی زیر منبع احیاء برای بیوسنتز اسیدهای چرب در کبد می باشد؟

الف) گلیکولیز ب) پنتوز فسفات ج) گلوکونئوز د) سیکل کربس

۱۲- در شرایط فراوانی ذخایر کربوهیدرات در کبد، اسکلت کربنی این مواد به تری گلیسرید تبدیل می گردد. کدام یک از عبارات زیر در مورد چگونگی این تبدیل صحیح است؟

الف) استیل کوآ کربوکسیلاز توسط سیتрат مهار می گردد.

ب) فعالیت سیترات لیاژ تحت تاثیر انسولین افزایش می یابد.

ج) فعالیت کارنی تین آسیل ترانسفراز توسط مالونیل کوآ افزایش می یابد.

د) پیرووات دهیدروژناز توسط گلوکاگون مهار می شود.

۱۳- کدام پروتئین در کمپلکس اسید چرب سنتاز *E. coli* تولید پیوند تیواستر می نماید؟

الف) استیل ترانسفراز ب) انویل ACP ردوکتاز

ج) پروتئین حامل آسیل (ACP) د) آسیل کوآ سنتتاز

۱۴- در سنتز اسیدهای چرب ترتیب کدام یک از آنزیم های زیر صحیح است؟

الف) ۱- استیل ترانس آسیلاز، ۲- مالونیل ترانس آسیلاز، ۳- آنزیم متراکم کننده آسیل- مالونیل ACP، ۴- استیل کوآ کربوکسیلاز

ب) ۱- استیل ترانس آسیلاز، ۲- استیل کوآ کربوکسیلاز، ۳- آنزیم متراکم کننده آسیل- مالونیل ACP، ۴- مالونیل ترانس آسیلاز

ج) ۱- استیل کوآ کربوکسیلاز، ۲- استیل ترانس آسیلاز، ۳- مالونیل ترانس آسیلاز، ۴- آنزیم متراکم کننده آسیل- مالونیل

د) ۱- استیل ترانس آسیلاز، ۲- استیل کوآ کربوکسیلاز، ۳- مالونیل ترانس آسیلاز، ۴- آنزیم متراکم کننده آسیل- مالونیل ACP

۱۵- در اثر طویل شدن γ -linolenic acid با ساختار $\text{C}_{18}\Delta^{6,9,12}$ کدام ترکیب حاصل می گردد؟

الف) $\text{C}_{20}\Delta^{4,7,9}$ ب) $\text{C}_{20}\Delta^{5,8,11}$

ج) $\text{C}_{20}\Delta^{6,9,12}$ د) $\text{C}_{20}\Delta^{8,11,14}$

۱۶- کدام ترکیب فعال کننده (positive activator) موثرتری برای واکنش زیر می باشد؟



الف) استیل کوآ ب) سیترات

- (ج) ملات (د) مالونیل کوآ
- ۱۷- افزایش کدام مورد زیر سبب افزایش سنتز اسیدهای چرب شاخه دار توسط کمپلکس اسید چرب سنتاز می گردد؟
- (الف) اسید متیل مالونیک (ب) اسیدهای چرب اشباع غذایی
(ج) بیان تیواسترازها (د) انسولین
- ۱۸- کدام یک از گزینه های زیر در ارتباط با تنظیم متابولیسم لیپیدها در حالت سیری صحیح است؟
- (الف) استیل کوآ کربوکسیلاز توسط سیتрат فعال می شود.
(ب) استیل کوآ کربوکسیلاز توسط اسید چرب بلند زنجیر فعال می شود.
(ج) کارنی تین پالیتوئیل ترانسفراز I فعال می شود.
(د) استیل کوآ کربوکسیلاز فسفریله می شود.
- ۱۹- آنزیم مالیک در ارتباط با کدام مسیر متابولیکی زیر است؟
- (الف) لیپوژنز (ب) β -اکسیداسیون (ج) لیپولیز (د) کتوژنز
- ۲۰- استیل کوآنزیم A محرک آلوستریک کدام آنزیم است؟
- (الف) کمپلکس پیرووات دهیدروژناز (ب) پیرووات کربوکسیلاز
(ج) فسفوفروکتوکیناز (د) پیرووات کیناز
- ۲۱- در فردی با کمبود بیوتین، سنتز کدامیک از ترکیبات زیر مختل می شود؟
- (الف) اسید چرب (ب) گلیکوژن (ج) کلسترول (د) اجسام کتونی
- ۲۲- کدام یک از عوامل زیر محرک آنزیم استیل کوآ کربوکسیلاز است؟
- (الف) گلوکاگون (ب) اپی نفرین
(ج) پالمیتوئیل کوآنزیم A (د) سیترات