الدهون

تعريف الدهون

الدهون من مركبات الكيمياء الحياتية التي تمتاز بعدم ذوبانها في الماء أو المذيبات القطبية Polar solvents وتذوب في المذيبات اللاقطبية Non-polar العضوية مثل الأيثر والبنزين والكلوروفورم والأسيتون. وتتكون من عناصر الكاربون والهيدروجين والأوكسجين وتحتوي بعضها على الفسفور والنيتروجين.

وظائف الدهون

1- تخزن الدهون في الأنسجة كخزين للطاقة إذ يتم استخدامها بعد نفاذ الكاربوهيدرات المخزونة على شكل كلايكوجين في الجسم. وتعطي الدهون طاقة عالية بعد أكسدتها داخل الجسم.

2- تعد الدهون أحدى المكونات الواقية للجدران الخلوية في العديد من البكتريا وأوراق النباتات والهيكل الخارجي للحشرات.

3- الدهون مكونات أساسية تركيبية لأغشية الخلية كالنواة والمايكروسوم والمايتوكوندريا.

4- تتحد الدهون مع البروتينات لتكوين البروتينات الدهنية Lipoproteins التي تشترك أصنافها في نقل الدهون في الدم.

5- تعد بعض أنواع الدهون منشطات لبعض الإنزيمات لكي تبدي نشاطها التام فمثلاً إنزيم كلوكوز 6- فوسفاتيز Glucose 6-phosphatase ومونو أوكسيجنيز Monooxygenase وغيرها تحتاج إلى فوسفوتايديل كولين Phosphatidylcholine (أحد الدهون الفوسفورية) لتنشيطها.

6- تعمل الدهون بوصفها عازلاً حرارياً في الحيوان والإنسان من خلال تكوين طبقة عازلة تحت الجلد فتحافظ على درجة حرارة الجسم من التغيير السريع.

7- تدخل الدهون في تركيب الأنسجة العصبية بنسبة عالية وتعمل الدهون بوصفها عازلاً كهربائياً يسمح لنقل الإيعاز العصبي عبر الأعصاب.

8- تدخل الدهون بوصفها مركبات أولية Precursors لبعض الفيتامينات والهورمونات وأحماض الصفراء.

9- تحيط أعضاء الجسم الداخلي مثل الكليتين والقلب طبقة دهنية تعد وسادة تقي هذه الأعضاء من الصدمات الخارجية.

10- تزود الجسم بالأحماض الدهنية الأساسية Essential fatty acids إذ لهذه الأحماض أهمية كبيرة لحيوية الجسم مثل حامض اللينوليك الذي عند توفره يمكن منه بناء حامض الأراكيدونك الذي يطيل من فترة تخثر الدم ويزيد من تحلل الفايبرين Fibrin وبهذا يسبب في تقليل فرص الإصابة بالجلطات Thrombus فتقل فرص الإصابة بأمراض تصلب الشرايين.

11- تواجد الدهون في الغذاء يزيد من استساغته وكذلك يعطي الشعور بالشبع وذلك بسبب بطء الدهون في الهضم والامتصاص من خلال الجهاز الهضمي.

12- يعد فوسفاتيديل إينوسيتول ثلاثي الفوسفات المفتاح لتوليد إينوسيتول ثلاثي الفوسفات وثنائي أسيل الكلسيرول وهما رسولان ثانيان Second messengers أسوة بالرسل الثانية الأخرى مثل AMP الحلقي و GMP الحلقي والكالسيوم.

13- هناك أحماض دهنية غير مشبعة لها أهمية كبيرة على سبيل المثال الحامض الدهني أوميكا Omega fatty acid الذي يعمل على زيادة HDL (الكوليستيرول المفيد) وعندها يقلل من الإصابة بأمراض القلب.

تصنيف الدهون Classification of lipids

تصنف الدهون بشكل عام الى :

I- الدهون البسيطة Simple lipids

II- الدهون المركبة (المقترنة) Conjugated lipids

III- الدهون المشتقة Derived lipids

I- الدهون البسيطة وتشمل:

أ- الدهون المتعادلة Neutral lipids

ب- الشمعيات Waxes

II- الدهون المركبة (المقترنة) وتشمل:

أ- الدهون المفسفرة Phospholipids

1- حامض الفوسفاتيديك Phosphatidic acid.

2- اللسيثينات Lecithins أو تطلق عليها فوسفوتايديل كولين Phosphatidyl choline .

3- السيفالينات Cephalins (تابع الى مركبات فوسفاتيديل إيثانول أمين Phosphatidyl ethanolamine وفوسفاتيديل سيرين Phosphatidyl serine)

4- فوسفاتيديل إنوسيتول Phosphatidyl inositol.

5- الدهون الاسفنجية (السفنكولييدات) Sphingolipids (مثل السفنكومايلين Sphingomyelin).

6- بلازمالوجين Plasmalogen.

7- كارديولبينات Cardiolipinins.

8- الفوسفاتيديل كلسيرول Phosphatidyl glycerol.

ب- الدهون السكرية Glycolipids

1- السيروبروسايد Cerebrosides.

2- الكانكليوسايد Gangliosides.

جـ- الدهون الكبريتية Sulfolipids.

د- البروتينات الدهنية Lipoproteins .

تصنف البروتينات الدهنية أستناداً إلى الكثافة إلى:

1- الكيلومايكرونات Chylomicrones.
2- البروتينات الدهنية واطئة الكثافة جداً Very low density lipoproteins VLDL
3- البروتينات الدهنية متوسطة الكثافة Intermediate density lipoproteins (IDL)
4- البروتينات الدهنية واطئة الكثافة Low density lipoproteins (LDL)
5- البروتينات الدهنية عالية الكثافة High density lipoproteins (HDL)

III- الدهون المشتقة Derived lipids

1- أحماض دهنية (مشبعة وغير مشبعة).
2- ستيرويدات Steroid.
3- سيترولات Sterols.
4- ألديهايدات دهنية Fatty aldehyde.
5- أجسام كيتون Keton bodies.
6- التربينات Terpens.

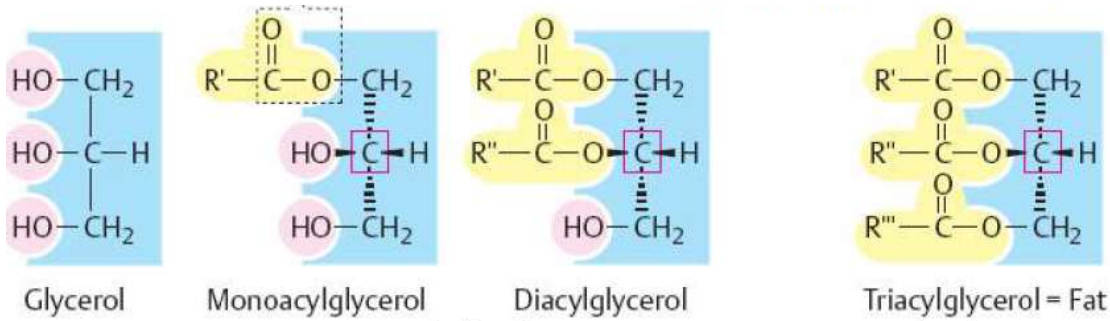
وفي ما يأتي شرح مبسط عن كل صنف من أصناف الدهون:

I- الدهون البسيطة

وهي إسترات Esters لأحماض دهنية مع الكحول التي بدورها تنقسم إلى:

أ- الدهون المتعادلة Neutral lipids
ب- الشمعيات Waxes.

أ- الدهون المتعادلة : وتتكون من إسترات للأحماض الدهنية مع كحول ثلاثي هو الكلسيرول Glycerol اذ ينتج ما يسمى بالكلسيريدات Glycerides. وتنقسم هذه الكلسيريدات استناداً الى عدد الأحماض الدهنية المتصلة بالكلسيرول إلى كلسيريدات أحادية Monoglycerides (او تسمى **كلسيرول أحادية الأسيل Monoacyl glycerol**) وكلسيريدات ثنائية Diglycerides (او تسمى **كلسيرول ثنائية الأسيل Diacyl glycerol**) وكلسيريدات ثلاثية Triglycerides (**او تسمى كلسيرول ثلاثية الأسيل Triacyl glycerol**) (**الشكل1-7**).



الشكل(1-7): الكلسيرول Glycerol وكلسيرول أحادية الأسيل Monoacyl glycerol وكلسيرول ثنائية الأسيل Diacyl glycerol وكلسيرول ثلاثية الأسيل Triacyl glycerol (الشحوم Fat).

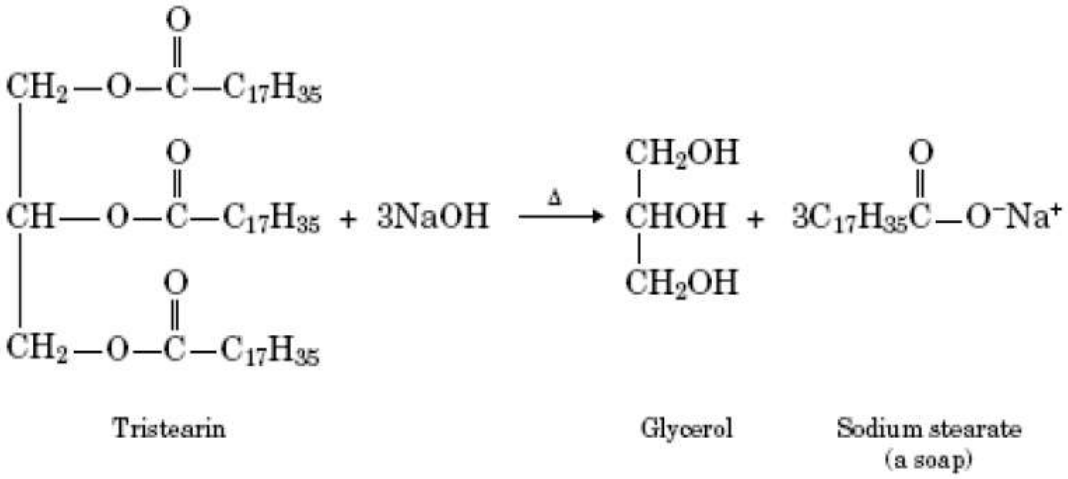
وقد تكون هذه الكلسيريدات متجانسة إذا ارتبطت ثلاث جزئيات من نفس الحامض الدهني بالكلسيرول اذ يطلق عليها بالكلسيريدات البسيطة Simple glycerides ومثال عليها عندما ترتبط ثلاث جزئيات من

حامض الستياريك Stearic acid بالكلسيرول فينتج مايسمى ثلاثي الستيارين Tristearin، أما إذا ارتبط الكلسيرول بأكثر من نوع واحد من الأحماض الدهنية فيسمى بالكلسيريدات المختلفة Mixed glycerides ومثال على ذلك عندما ترتبط جزيئة من حامض البالمتيك Palmitic acid وجزيئتان من حامض الستياريك لتكوين كلسيريد ثلاثي الذي يسمى بالميتدوثنائي ستيارين Palmitodistearin او يسمى بيتا- بالمتيك ألفا- ألفا ثنائي الستياريك β- Palmityl α- α - distearin والكلسيريدات الثلاثية الموجودة في الطبيعة هي من النوع المختلط ولا تحتوي على نوع واحد ولكن من أنواع مختلفة. والكلسيريدات الثلاثية منتشرة في دهن جسم الإنسان ولاسيما الأنسجة الدهنية Adipose tissues وتحت الجلد Subcutaneous وحول الأعضاء مثل القلب والكليتين.

إن جزئية الكلسيريدات الثلاثية ليس لها شحنة كهربائية ولذا سميت بالدهون المتعادلة والتي تكون أما مادة صلبة أو سائلة في درجة حرارة الغرفة، وأن صلابة وسيولة الدهون تتوقف على طبيعة الأحماض الدهنية المكونة للدهن.

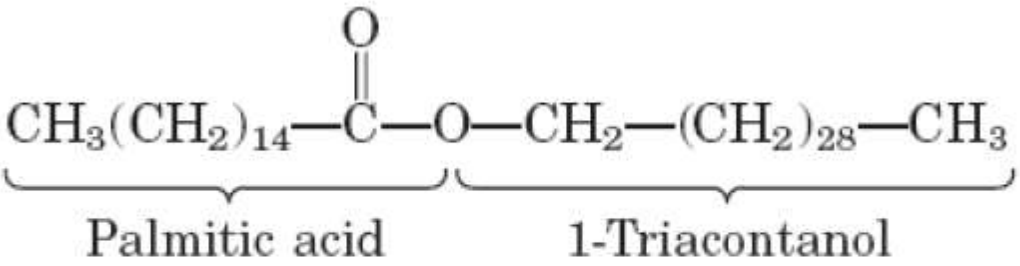
إن معظم الزيوت النباتية تحوي أحماضاً دهنية غير مشبعة مثل حامض الأوليك Oleic acid وبهذا تكون هذه الزيوت سائلة في درجة حرارة الغرفة (25 درجة مئوية) أما الكلسيريدات الثلاثية التي تحتوي على أحماض دهنية مشبعة مثل حامض البالمتيك فتكون صلبة أو شبه صلبة في درجة حرارة الغرفة.

تتحلل الكلسيريدات الثلاثية إنزيمياً بوساطة إنزيم اللايبيز Lipase وينجم عنها مزيج من ثلاث جزئيات أحماض دهنية وكلسيرول. وكذلك تتحلل قاعدياً فينجم عنها صوابين الحامض الدهني وكلسيرول وتدعى العملية بالصوبنة Saponification **كما يلاحظ في التفاعل أدناه :**



ب ــ الشموع Waxes

الشموع عبارة عن أسترات أحماض دهنية مع كحولات ذات أوزان جزئية عالية وهي مكونات الطبقة المغلفة لجسم الحيوانات كالجلد والفرو والريش وتغطي أوراق النباتات الشمعية والثمار وكذلك شمع النحل الذي يتكون من إسترات حامض البالمتيك مع كحول طويل السلسلة الهيدروكاربونية على سبيل المثال تركيب ثلاثي أكونتانول بالماتيت Triacontanoyl palmitate (وهو المكون الرئيس لشمع النحل) **(الشكل 2-7)**.



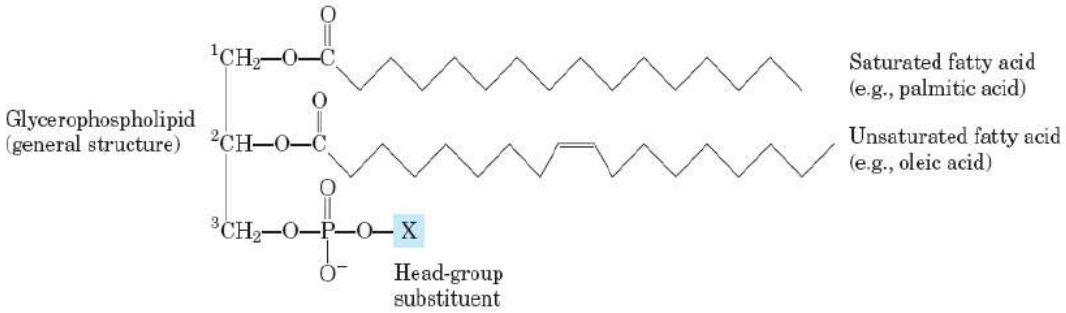
الشكل(2-7): شمع إستر بالماتيك.

II ــ الدهون المعقدة (المقترنة) Complex (Conjugated) lipids

وتتكون هذه الدهون من إسترات أحماض دهنية مع كحولات ومواد أخرى غير دهنية وتشمل:

أ- الدهون المفسفرة Phospholipids

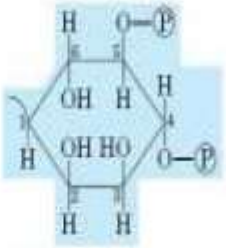
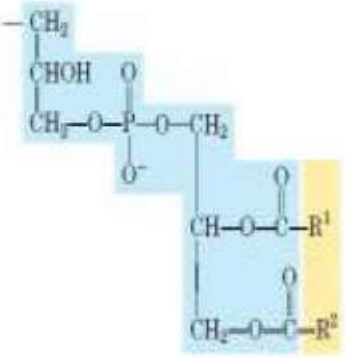
تتكون من إسترات يرتبط فيها حامض الفوسفوريك محل جزيئة من الأحماض الدهنية ثم ارتباط قاعدة نيتروجينية غالباً والتي تدخل في تراكيب الأغشية وتركيب البروتين الدهني **(الشكل 3-7)**.



الشكل(3-7): الشكل العام للدهون المفسفرة.

ان **الشكل (3-7)** يعد شكلاً عاماً يمكن ان يبنى من خلاله أنواع الدهون المفسفرة وكما يلاحظ في الجدول أدناه :

جدول (1-7): أنواع الدهون المفسفرة المشتقة من كلسيرول فوسفوليبيد.

Name of glycerophospholipid	Name of X	Formula of X	Net charge (at pH 7)
Phosphatidic acid	—	$-H$	−1
Phosphatidylethanolamine	Ethanolamine	$-CH_2-CH_2-\overset{+}{N}H_3$	0
Phosphatidylcholine	Choline	$-CH_2-CH_2-\overset{+}{N}(CH_3)_3$	0
Phosphatidylserine	Serine	$-CH_2-CH(\overset{+}{N}H_3)-COO^-$	−1
Phosphatidylglycerol	Glycerol	$-CH_2-CH(OH)-CH_2-OH$	−1
Phosphatidylinositol 4,5-bisphosphate	*myo*-Inositol 4,5-bisphosphate		−4
Cardiolipin	Phosphatidyl-glycerol		−2

وفي ما يأتي وصف لبعض الدهون المفسفرة :

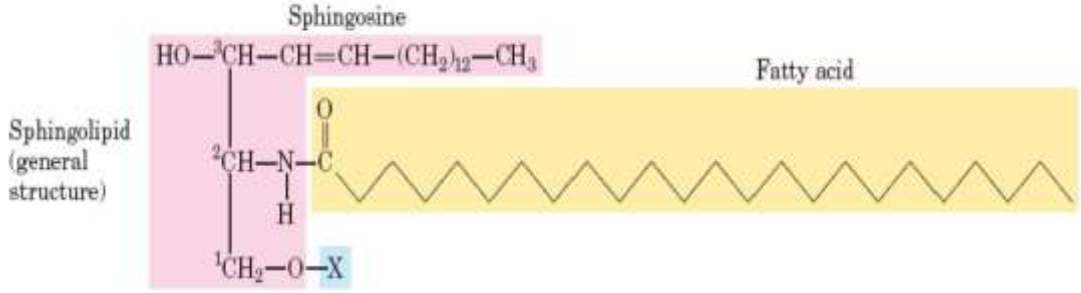
1- **حامض الفوسفاتيديك Phosphatidic acid** : يتكون هذا الحامض من كلسيرول وحامض فوسفوريك وجزيئتين من الاحماض الدهنية وعادة ما يكون احدهما مشبعاً والآخر غير مشبع.

2- **اللسيثينات Lecithins** : أو يطلق عليها فوسفاتيديل كولين Phosphatidyl choline وهو من أكثر الدهون المفسفرة توفراً في أنسجة الحيوان ويتكون من كلسيرول وحامض الفوسفوريك وأحماض دهنية وقاعدة نيتروجينية هي الكولين Choline ولهذا النوع من الدهون المفسفرة دور مهم في أيض الدهون في الكبد ودوره في تركيب الجسم وهو أحد مركبات الجهاز العصبي ويوجد في صفار البيض بنسبة عالية.

3- **السيفالينات Cephalins** : وهي مجموعة مركبات تابعة إلى مركبات فوسفاتيديل إيثانول أمين Phosphatidyl ethanolamine وفوسفاتيديل سيرين Phosphatidyl serine وتختلف عن اللسيثينات في عدم قابليتها للذوبان في الكحول إلا أنها تذوب في الأيثر والكلوروفورم. تتكون هذه المركبات من كلسيرول وحامض الفوسفوريك وأحماض دهنية وإيثانول أمين أو سيرين وهي مركبات موجودة في الدماغ أو الجهاز العصبي والكبد.

4- **فوسفاتيديل إنوسيتول Phosphatidyl inositol** : توجد هذه الأنواع من الدهون في معظم الأنسجة الحيوانية ويكون أكثر توفراً في الأنسجة الدماغية والعصبية. إن التحلل الإنزيمي أو الحامضي لهذا الدهن ينتج عنه كلسيرول وحامض الفوسفوريك وأحماضاً دهنية والكحول الحلقي إينوسيتول.

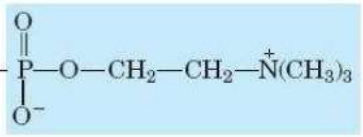
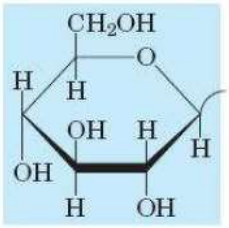
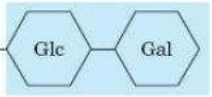
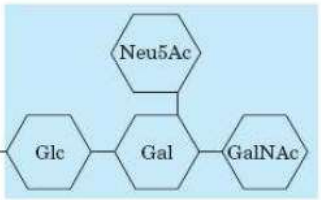
5- **الدهون الأسفنجية (السفنكولبيدات) Sphingolipids** : ومن الأمثلة على هذه المركبات هي السفنكومايلين Sphingomyelin اذ تتكون من قاعدة نيتروجينية هي السفينكوسين Sphingosine (وهي عبارة عن كحول أميني ذي سلسلة هيدروكاربونية غير مشبعة وحامض دهني واحد فضلاً عن حامض الفوسفوريك) والأحماض الدهنية المشبعة التي يمكن أن ترتبط هي حامض البالمتيك أو الستياريك **(الشكل 4-7)** أما الأحماض الدهنية غير المشبعة فيمكن أن ترتبط أيضاً بحامض الأوليك.



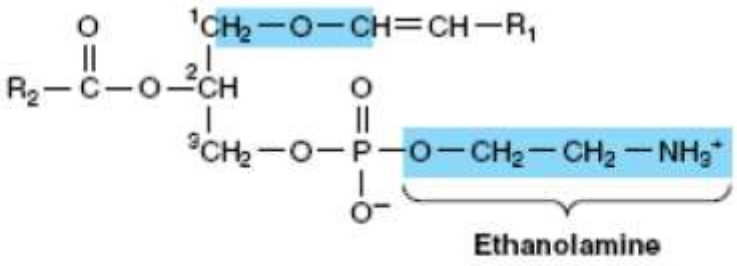
الشكل(4-7): الشكل العام للدهون الأسفنجية.

إذ أن الرمز X في الشكل(4-7) يمكن التعويض عنه بعدة مركبات لاشتقاق مركبات أخرى وكما في **الجدول (2-7)**.

جدول(2-7): المركبات المشتقة من التركيب العام للدهون المفسرة الشكل(4-7).

Name of sphingolipid	Name of X	Formula of X
Ceramide	—	—H
Sphingomyelin	Phosphocholine	
Neutral glycolipids Glucosylcerebroside	Glucose	
Lactosylceramide (a globoside)	Di-, tri-, or tetrasaccharide	
Ganglioside GM2	Complex oligosaccharide	

6- بلازمالوجين Plasmalogen : يتكون هذا المركب من كلسيرول وحامض الفوسفوريك ويستبدل الحامض الدهني في الموقع رقم -1 بمجموعة إيثر غير مشبع طويل السلسلة فضلاً عن القاعدة النتروجينية الكولين أو الإيثانول أمين(**الشكل 5-7**). ويوجد هذا النوع من الدهون المفسفرة في المخ والعضلات والقلب.



الشكل(5-7): البلازمالوجين.

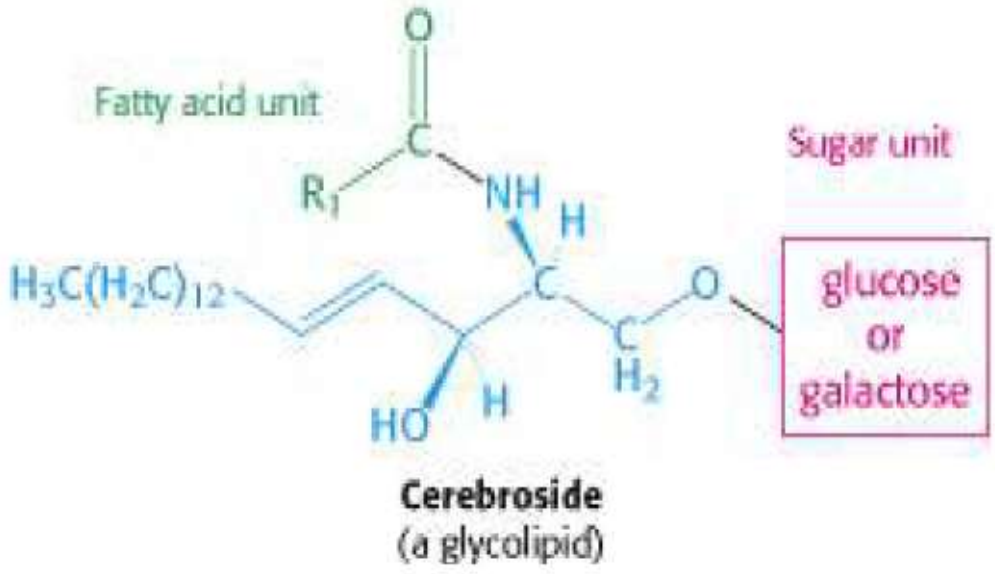
7- كارديوليبينات Cardiolipinins (كلسيرول ثنائي فوسفاتيديل Diphosphatidy glycerol) وهو من الدهون المفسفرة ناتج من جزيئتين من الكلسيرول فوسفوليبيد **(الجدول 1-7)**، وعرفت بالدهون القلبية Cardiolipins لكونها عزلت من عضلة القلب أولاً.

8- ومن الأصناف الثانوية Subgroups الأخرى للدهون المفسفرة هي الفوسفاتيديل كلسيرول Phosphatidylglycerol **(الجدول 1-7)** والذي يعد من الفوسفوكلسيريدات المهمة بايولوجياً ويتكون من جزيئة واحدة من حامض الفوسفاتيديك وجزيئة من الكلسيرول ويتواجد في المملكة النباتية.

ب- الدهون السكرية Glycolipids

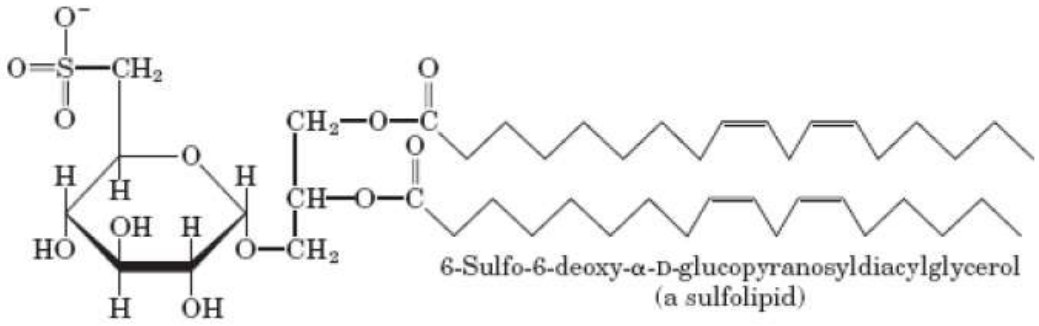
وهي مركبات تحتوي على كاربوهيدرات وأحماض دهنية ولا تحتوي على حامض الفوسفوريك **ومن الأمثلة عليها:**

1- السيروبروسايد Cerebrosides : وهي دهون تحتوي على كاربوهيدرات عادة تكون الكالاكتوز أو الكلوكوز وأحماض دهنية ذات وزن جزيئي عالي وسفنكوسين ومعظم الأحماض الدهنية المكونة لها هي حامض اللكنوسيرك Lignoceric acid أو حامض البهينيك Behenic acid او حامض البالمتيك **(الشكل 6-7)** وتوجد هذه المركبات في الجهاز العصبي في الدماغ والكبد والكليتين والطحال.



الشكل(6-7): السيروبروسايد.

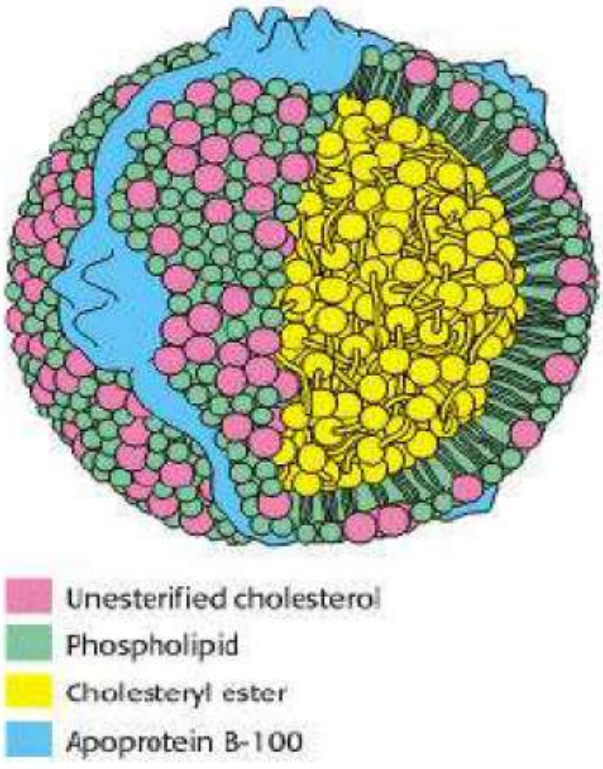
جـ- الدهون الكبريتية Sulfolipids : وهي مركبات شبيه بالسيروبروسايد ماعدا وجود حامض الكبريتيك وتحتوي أيضاً على السفنكوسين والكالاكتوز وحامض السيروبرونيك Cerebronic acid **(الشكل 7-7)**.



الشكل(7-7): الدهون الكبريتية Sulfolipid.

د- البروتينات الدهنية Lipoproteins

يتم نقل الدهون في الدم على شكل معقدات بارتباطها مع بروتينات ناقلة وتدعى هذه المعقدات بالبروتينات الدهنية والتي تكون على شكل مذيلات كاذبة Pseudo micelles (راجع الفصل الثالث)، وتكون المجاميع المستقطبة لهذه البروتينات هي الدهون المفسفرة والكوليستيرول الحر، وتترتب هذه المجاميع بشكل يسمح للجزء المستقطب (Polar) بالتواجد على السطح، في حين تحتوي هذه البروتينات الدهنية في داخلها على ثلاثي الكلسيرايد وإسترات الكوليستيرول غير القابلة للذوبان في الماء(**الشكل 9-7**) كما وتحتوي البروتينات الدهنية على جزء بروتيني يدعى الأبوبروتين (البروتين المنزوع) Apoprotein.



الشكل(9-7): البروتين الدهني واطئ الكثافة(LDL).

تم تصنيف البروتينات الدهنية إلى أصناف مختلفة باستخدام تقنيات مختلفة كاستخدام تقنية الهجرة الكهربائية Electrophoresis أو استخدام جهاز الطرد المركزي فائق السرعة Ultracentrifuge لتصنيفها استناداً الى كثافتها ومحتواها من البروتينات والدهون(**الشكل 10-7**) **وهذه الأصناف هي :**

1- **الكيلومايكرونات Chylomicrones**: وهي اكبر الجزيئات (قطرها يتراوح بين 180-500 نانوميتر) الحاوية على ثلاثي الكلسيرايد (80-99%) والتي مصدرها خارج الجسم Exogenous بعد عملية الهضم وتمتلك أقل كثافة (أقل من 0.94 غم/سم^3) وبذلك فهي تحتوي على نسبة قليلة جداً من البروتين. تعمل على نقل الكلسيريدات الثلاثية والكوليستيرول من الأمعاء إلى الأنسجة.

2- **البروتينات الدهنية واطئة الكثافة جداً Very low density lipoproteins (VLDL)**: وهي جزيئات متوسطة الحجم وتحتوي على كلسيريدات ثلاثية بشكل أساسي إذ تنقل كميات كبيرة من الكلسيريدات الثلاثية نحو 60-80% ومصدرها داخلي Endogenous وتتكون في الكبد من الدهون الداخلية وتنقل الدهون إلى الخلايا والأنسجة الدهنية والتي يمكن حساب كميتها في المصل من خلال استخدام المعادلة الآتية:

$$\text{VLDL-Cholesterol} = \frac{\text{Triglyceride}}{5} \quad \text{mg / dl}$$

3- **البروتينات الدهنية متوسطة الكثافة Intermediate density lipoproteins (IDL)**: تتكون هذه المركبات أثناء تحول جزيئات البروتين الدهني واطئ الكثافة جداً (VLDL) إلى البروتين الدهني واطئة الكثافة (LDL) وتحتوي على نحو 30% كوليستيرول، اذ تختفي بسرعة من جهاز الدوران في الأشخاص الطبيعيين ولهذا فان هناك كميات قليلة جداً في أجسامهم.

4- **البروتينات الدهنية واطئة الكثافة Low density lipoproteins :(LDL)** :هي بروتينات غنية بالكوليستيرول اذ تحتوي تقريباً 45-50% منه وبهذا فإنها تكوّن تقريباً ثلثي الكوليستيرول الموجود في الدم، وتنتج من البروتينات الدهنية متوسطة الكثافة وذلك بإزالة المزيد من ثلاثي الكلسيريدات والأيبوبروتين. وتتكون في الكبد وتنقل الكوليستيرول من الكبد إلى الخلايا والأنسجة ولهذا فان لها دوراً في تكوين وتطور أمراض تصلب الشرايين Atherosclerosis أي إنها تزيد من فرص الإصابة فيه. ويمكن حساب قيمة LDL في المصل من خلال استخدام **المعادلة الآتية:**

LDL-Cholesterol = Total Cholesterol – (HDL-Cholesterol + VLDL- Cholesterol)

اذ قيمة الكوليستيرول الكلي في المصل هو حاصل جمع:

Total Cholesterol = LDL-Cholesterol + HDL-Cholesterol + VLDL-Cholesterol

ان الدهون البروتينية IDL ، VLDL، LDL جميعها تشارك في عملية نقل الكلسيريدات الثلاثية والكوليستيرول المتكونة داخل الجسم في الكبد الى الأنسجة المختلفة.

5- البروتينات الدهنية عالية الكثافة High density lipoproteins (HDL) :هي أصغر جزيئات البروتينات الدهنية والأكثر كثافة باحتوائها على نسبة عالية من البروتين وتحتوي على كميات متكافئة من الدهون المفسفرة والكوليستيرول ولكن محتواها من ثلاثي الكلسيريدات قليل جداً. وتتكون في الكبد وتنقل الكوليسيترول والدهون من الخلايا والأنسجة إلى الكبد اذ يتم تقويضها وبالتالي فهي من البروتينات الدهنية المفيدة من ناحية تقليل فرص الإصابة بأمراض تصلب الشرايين.

هناك علاقة طردية بين تركيز LDL بالدم وأمراض القلب وعلاقة عكسية بين تركيز HDL وأمراض القلب. وان النسبة بين LDL الى HDL تسمى بعامل الخطورة Atherogenic index:

$$\text{Atherogenic index} = \frac{\text{LDL}}{\text{HDL}}$$

إن هذه النسبة تعطي مؤشراً لحدوث أو عدم حدوث الأمراض القلبية. فإذا زادت النسبة عن 5 فهذا مؤشر لحدوث المرض (أي زيادة LDL) والحالة غير طبيعية أما إذا قلت النسبة عن 3 (أي زيادة HDL) فمعنى ذلك مؤشر على عدم حدوث المرض وتعّد الحالة طبيعية.

III- الدهون المشتقة Derives lipids

الدهون المشتقة عبارة عن مركبات مشتقة من المجاميع السابقة الذكر بعملية التحلل المائي Hydrolysis وتشمل أحماضاً دهنية مشبعة وغير مشبعة وكوليستيرول وستيرويدات Steroids والكحولات فضلاً عن الكلسيرول والستيرولات Sterols، وكذلك ألديهايدات دهنية Fatty aldehydes وأجسام كيتونية Ketone bodies والكاروتينويدات Carotenoids.

1- الأحماض الدهنية Fatty acids

الأحماض الدهنية مركبات عضوية مكونة من سلسلة هيدروكاربونية مختلفة الطول تنتهي بمجموعة كاربوكسيلية (-COOH) وعادة تتكون من عدد زوجي من ذرات الكاربون تتراوح بين 12-30 ذرة كاربون والتي تكون صلبة في درجة حرارة الغرفة وذات ملمس دهني وغير ذائبة في الماء. **توجد الأحماض الدهنية في جميع الكائنات الحية وبأشكال مختلفة وهي:**

أ- **مشبعة** Saturated مثل حامض البالمتيك $CH_3(CH_2)_{14}COOH$.

ب- **غير مشبعة** Unsaturated مثل حامض الأوليك $CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$.

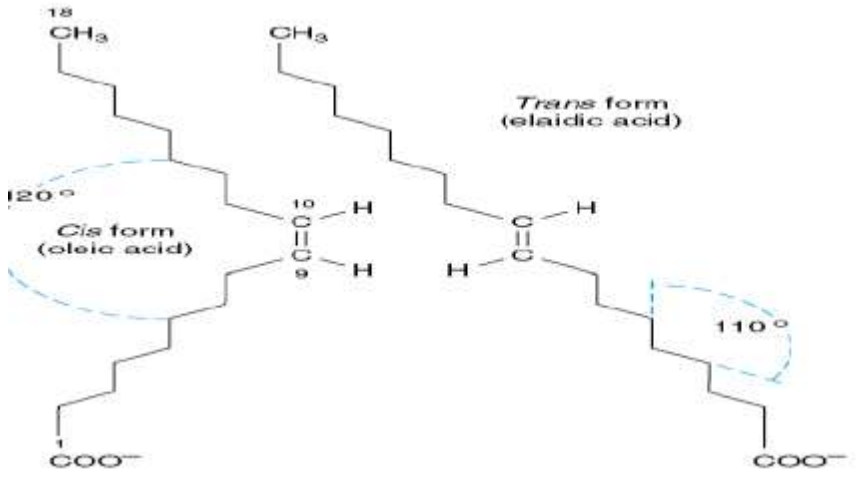
إن الأحماض الدهنية غير المشبعة يمكن تقسيمها إلى ثلاث أقسام اعتماداً على عدد الأواصر المزدوجة وهي:

1- أحادية الآصرة المزدوجة Monounsaturated (تسمى أيضاً مونو إينويك Monoenoic).

2- متعددة الآصرة المزدوجة Polyunsaturated التي تحتوي على أثنين أو أكثر من الأواصر المزدوجة (تسمى أيضاً بوليينويك Polyenoic).

إن السلسلة الطويلة للأحماض الدهنية المشبعة تكون على شكل متعرج (زكزاك) Zig Zag عند درجة حرارة الغرفة ولكن عند ارتفاع الدرجة الحرارية فبعض الأواصر تستدير Rotate مسببة تكوين سلسلة قصيرة وهذه الحالة توضح لماذا الأغشية تصبح رقيقة مع زيادة درجة الحرارة.

تعطي اغلب الأحماض الدهنية غير المشبعة بالاعتماد على استدارة المجاميع أو الذرات حول محور الآصرة المزدوجة أيزومر من نوع سيز cis مثل حامض الأوليك (**الشكل 12-7**).



الشكل(12-7) : الأحماض الدهنية الأوليك Olic acid والايلاديك Eliadic acid (كل منهما يحتويان على 18 ذرة كاربون ولهما أصرة مزدوجة في موقع 9 (Δ^9 C18:1) ولكن يختلفان في التوزيع الفراغي (أيزومرات).

يدخل عاملان مهمان لتحديد درجة صلابة الدهن أو الزيت في ذلك، وهذان العاملان هما طول السلسلة الهيدروكاربونية المكونة منها الحامض الدهني وعدد الأواصر المزدوجة التي يحويها الحامض الدهني (درجة التشبع Degree of Saturation). فكلما زاد طول السلسلة الهيدروكاربونية (خاصة أكثر من أثنا عشر ذرة كاربون) ازدادت صلابة الدهن في درجة حرارة الغرفة. وعند ازدياد عدد الأواصر المزدوجة في السلسلة الهيدروكاربونية في الأحماض الدهنية يجعل من الدهن سائلاً وبالتالي يعرف بالزيت Oil وهو سائل في درجة حرارة الغرفة و**الجدول 3-7** يبين فيه الأحماض الدهنية الشائعة الأكثر تواجداً في الدهون والزيوت الحيوانية والنباتية.

الجدول(3-7): بعض الأحماض الدهنية المشبعة وغير المشبعة ودرجات انصهارها.

Carbon skeleton	*Structure**	*Systematic name†*	*Common name (derivation)*	*Melting point (°C)*
12:0	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	*n*-Dodecanoic acid	Lauric acid (Latin *laurus*, "laurel plant")	44.2
14:0	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	*n*-Tetradecanoic acid	Myristic acid (Latin *Myristica*, nutmeg genus)	53.9
16:0	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	*n*-Hexadecanoic acid	Palmitic acid (Latin *palma*, "palm tree")	63.1
18:0	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	*n*-Octadecanoic acid	Stearic acid (Greek *stear*, "hard fat")	69.6
20:0	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$	*n*-Eicosanoic acid	Arachidic acid (Latin *Arachis*, legume genus)	76.5
24:0	$CH_3(CH_2)_{22}COOH$	*n*-Tetracosanoic acid	Lignoceric acid (Latin *lignum*, "wood" + *cera*, "wax")	86.0
16:1(Δ^9)	$CH_3(CH_2)_5CH{=}CH(CH_2)_7COOH$	*cis*-9-Hexadecenoic acid	Palmitoleic acid	1-0.5
18:1(Δ^9)	$CH_3(CH_2)_7CH{=}CH(CH_2)_7COOH$	*cis*-9-Octadecenoic acid	Oleic acid (Latin *oleum*, "oil")	13.4
18:2($\Delta^{9,12}$)	$CH_3(CH_2)_4CH{=}CHCH_2CH{=}CH(CH_2)_7COOH$	*cis*-,*cis*-9,12-Octadecadienoic acid	Linoleic acid (Greek *linon*, "flax")	1-5
18:3($\Delta^{9,12,15}$)	$CH_3CH_2CH{=}CHCH_2CH{=}CHCH_2CH{=}CH(CH_2)_7COOH$	*cis*-,*cis*-,*cis*-9,12,15-Octadecatrienoic acid	α-Linolenic acid	−11
20:4($\Delta^{5,8,11,14}$)	$CH_3(CH_2)_4CH{=}CHCH_2CH{=}CHCH_2CH{=}CHCH_2CH{=}CH(CH_2)_3COOH$	*cis*-,*cis*-,*cis*-,*cis*-5,8,11,14-Icosatetraenoic acid	Arachidonic acid	−49.5

تسمية الأحماض الدهنية

تسمى الأحماض الدهنية استناداً الى عدد ذرات الكاربون في السلسلة الهيدروكاربونية مع إضافة أينويك (anoic) للأحماض الدهنية المشبعة على سبيل المثال حامض اوكتانويك Octanoic acid، أو إضافة أينويك (enoic-) في نهاية الكلمة كالأحماض الدهنية غير المشبعة (الحاوية على أواصر مزدوجة) على سبيل المثال أوكتاديكينويك Octadecenoic acid (Oleic acid).

$$CH_3(CH_2)_7\ CH = CH\ (CH_2)_7\ COOH$$

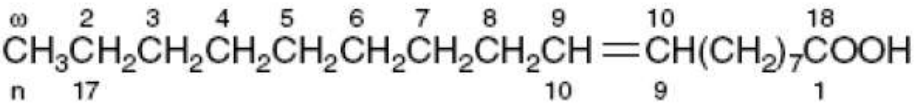
إن حامض الأوليك يكتب مختصراً على شكل: cis Δ^9 C18:1

وكذلك حامض اللينوليك cis, cis $\Delta^{9,12}$ C18:2

وحامض اللينولنيك cis, cis, cis $\Delta^{9,12,15}$ C18:3

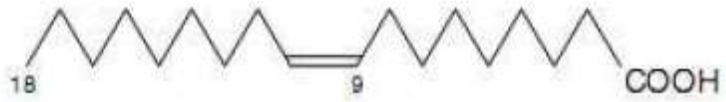
إن القاعدة العامة لتسمية الأحماض الدهنية هي كتابة عدد ذرات الكاربون ثم عدد الأواصر المزدوجة وأخيراً بيان موقع (Δ) الأواصر المزدوجة ونوعها ابتداءً من ذرة الكاربون الحاملة للكاربوكسيل. وعليه فحامض البالمتيك يمكن كتابته بشكل C16:0 كونه يحتوي على 16 ذرة كاربون مشبعة بدون أواصر مزدوجة. ويكتب حامض الأوليك الحاوي على 18 ذرة كاربون وآصرة مزدوجة في الموقع 9 بـ C18:1(9) ويكتب حامض الأراكيدونيك Arachidonic بـ C20:4(5,8,11,14) (**الجدول 3-7**).

في بعض الأحيان يستخدم الرمز Δ للدلالة على مواقع الأواصر المزدوجة على سبيل المثال Δ^9 تدل على كون الآصرة المزدوجة بين ذرة الكاربون 9 و 10 للحامض الدهني (**الشكل 12 -7**) ويمكن إضافة cis أو trans قبل الرمز Δ لتحديد نوعية الآصرة المزدوجة، كذلك في بعض الأحيان يمكن استخدام الرمز أوميكا ω للدلالة على موقع الآصرة المزدوجة من النهاية للسلسلة الهيدروكاربونية في الأحماض الدهنية فعلى سبيل المثال ان 9 ω للدلالة على ان الآصرة المزدوجة واقعة بين ذرتي كاربون 9 و 10 والذي يمكن الترميز له ω9,C18:1 وكذلك n-9,18:1 (اذ يدل الرمز n على موقع الآصرة المزدوجة والذي يكافئ ω9 أيضاً) والموضح كالأتي:

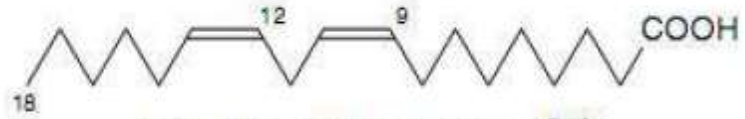


وفيما يأتي (**الشكل 13 -7**) يوضح بعض الأحماض الدهنية غير المشبعة وتسميتها باستخدام الأوميكا:

Palmitoleic acid (ω7, 16:1, Δ^9)

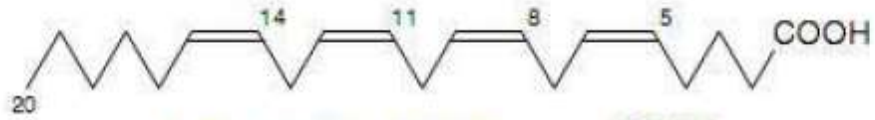


Oleic acid (ω9, 18:1, Δ^9)

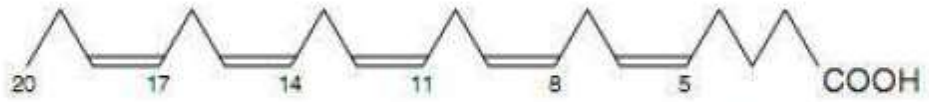


*Linoleic acid (ω6, 18:2, $\Delta^{9,12}$)

*α-Linolenic acid (ω3, 18:3, $\Delta^{9,12,15}$)



*Arachidonic acid (ω6, 20:4, $\Delta^{5,8,11,14}$)



Eicosapentaenoic acid (ω3, 20:5, $\Delta^{5,8,11,14,17}$)

الشكل (13 –7): تراكيب بعض الأحماض الدهنية غير المشبعة وتسميتها بالاعتماد على النهاية المثيليـــة للسلسلة الهيدروكاربونية للحامض الدهني

تزنخ أو أكسدة الدهون Rancidity or oxidation of lipids

إن الزيوت والدهون النقية مواد عديمة اللون والطعم والرائحة أما غير النقية فهي ذات روائح ولون وطعم اذ تتغير الصفات الفيزيائية والكيميائية نتيجة تعرض الدهون لمؤشرات مختلفة يصحبها ظهور طعم ورائحة مميزة نتيجة لتكوين مركبات ألديهايدية وكذلك كيتونية بسبب حدوث أنواع من التزنخ، فالأول يسمى بتزنخ التحليل المائي الذي يحدث بوساطة الإنزيمات والثاني يطلق عليه بالتزنخ الكيتوني بسبب وجود بعض الفطريات المسببة للأكسدة من نوع بيتا، وتزنخ الأكسدة يعود إلى أوكسجين الهواء يصاحبها زيادة كثافة ولزوجة الزيت أو الدهن فضلاً عن حدوث نكهة غير مرغوب فيها وتغير الطعم.

إن المصدر الرئيس للتزنخ في الأغذية هو الأكسدة الذاتية للدهون Auto-oxidation عند وجود الأوكسجين.

هدرجة الزيوت والدهون

تتحول الزيوت والدهون إلى مركبات مشبعة وذلك باستعمال الهيدروجين وبوجود عامل مساعد مثل النيكل اوالبلاتين اوالبالاديوم وفي درجة حرارة 150-190 درجة مئوية الذي يحول الزيت من الحالة السائلة إلى مواد صلبة مثل حامض اللينوليك واللينولينك وإستنادا الى المعادلة الآتية :

حامض لينوليك ⟸ (هدرجة، نيكل او بلاتين) حامض أوليك ⟸ (هدرجة، نيكل او بلاتين) حامض ستريك

الأحماض الدهنية الأساسية Essential fatty acids

الأحماض الدهنية الأساسية تعني عدم استطاعة البائن بضمنها جسم الإنسان لبنائها من أحماض دهنية أخرى أو أي مادة أخرى داخل الجسم وبهذا يجب توفرها عن طريق الغذاء لتلبية احتياجات الجسم منها. ومن هذه الأحماض الدهنية غير المشبعة مثل حامض اللينوليك Linoleic acid وحامض اللينولينك Linolenic acid وحامض الاراكيدونيك Arachidonic acid.

لقد أثبتت العديد من البحوث قابلية بناء كل من حامض اللينولينك وحامض الاراكيدونك في الجسم من حامض اللينوليك إذا كانت كمياته كافية لاحتياجات الجسم وبهذا يعّد حامض اللينوليك الحامض الأساسي والضروري في هذه المجموعة (والذي سابقاً كان يعرف بفيتامين F) والذي يتواجد بكميات كبيرة في زيت الذرة وزيت فول الصويا. أما الأحماض الدهنية اللينولينك والأراكيدونك تعد في هذه الحالة شبه أساسية Semi essential لأنه عند توفر حامض اللينوليك يمكن استخدامه لبنائهم.

2- الستيرويدات Steroids

الستيرويدات هي مركبات مشتقة من النواة الأساسية المسماة بيرهيدرو سايكلوبنتانو فينانثرين Perhydro cyclopentano phenanthrene التي هي عبارة عن مجموعة حلقات هيدروكاربونية **(الشكل 15-7)**. والتي توجد بشكل حر أو متحد بالأحماض الدهنية على شكل إسترات وتشمل مركبات مختلفة **(الشكل 16-7) يمكن تصنيفها إلى:**

أ- الإستيرولات Sterols (مثل الكوليستيرول والاركوستيرول).

ب- أحماض الصفراء (مثل أحماض الكلايكوكوليك Glycocholic).

جـ- الهورمونات الجنسية الذكرية (مثل التوستوستيرون).

د- الهورمونات الجنسية الأنثوية (مثل البروجوستيرون).

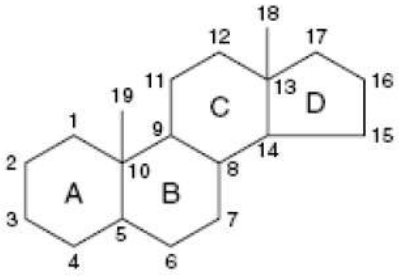
هـ- فيتامين D.

و- سابونين Saponin.

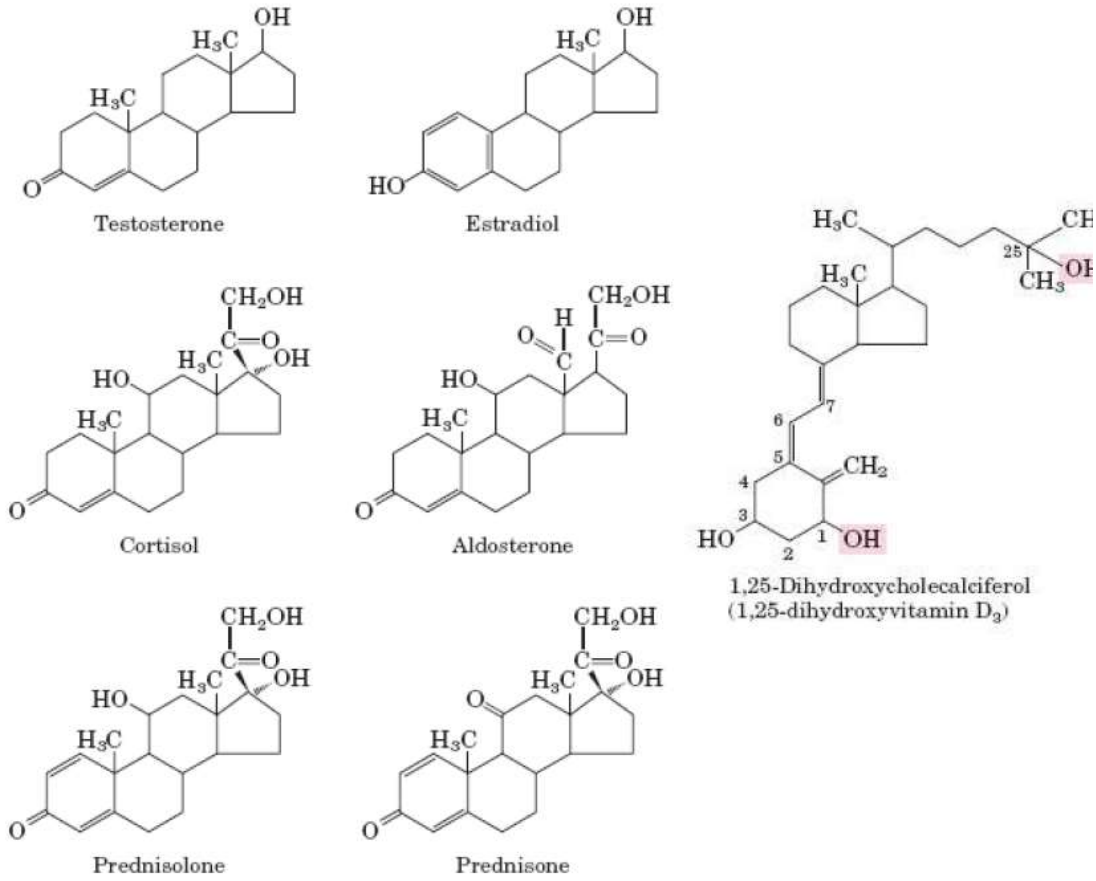
ز- الكلايكوسيدات القلبية (مثل دواء دايجيتاوكسجينين Digitoxgenin المستخدم في تنشيط الأنسجة القلبية).

ز- هورمونات الغدة الادرينالية (مثل هورمونات الالدوستيرون والكورتيزون)

س- بعض الألكالويدات Alkaloids.



الشكل(15-7): بيرهيدرو سايكلوبنتانو فينانثرين Perhydro cyclopentano phenanthrene.

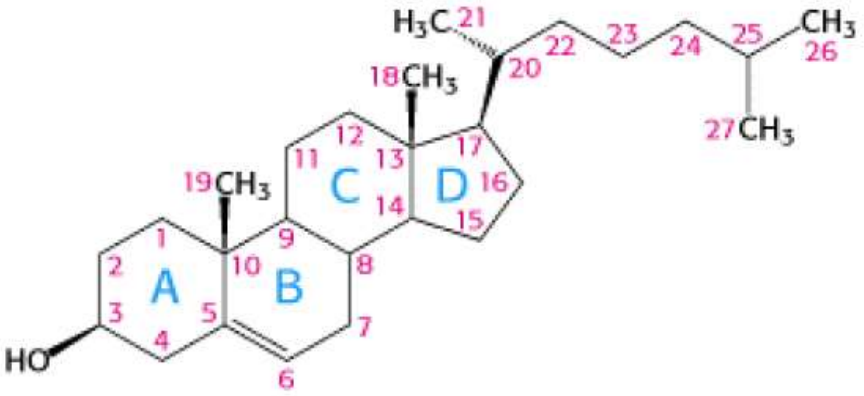


الشكل(16-7): بعض مشتقات الستيرويدات.

الستيرولات Sterol

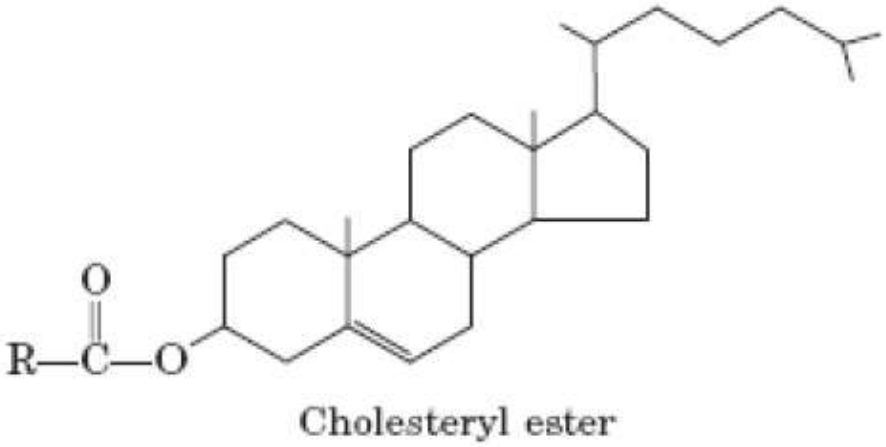
ان مركبات الستيرولات عبارة عن ستيرويدات كحولية Steroids alcohol تحتوي على مجاميع هيدروكسيلية ولا تحتوي على مجموعة كاربونيلة. ومن أهمها الكوليستيرول الذي يتواجد في الحيوانات ولا وجود له في النباتات ولكن الإستيرولات النباتية تتواجد على شكل الإركوستيرول Ergosterol.

يتكون الكوليستيرول من نواة مشبعة تسمى فينانثرين Phenanthrene مع آصرة مزدوجة بين ذرتي الكاربون 5 و 6 وحلقة خماسية مشبعة مرتبطة معها مجموعة جانبية متصلة بذرة الكاربون رقم 17 ومجموعتي مثيل متصلتين في الموقع 10 و 13 فضلاً عن مجموعة الهيدروكسيل في الموقع رقم 3 (**الشكل 17-7**). ولكون الستيرويد غير متناظر الجزئية فهناك العديد من الأيزومرات الفراغية Stereoisomer يمكن أن توجد فيه إذ أن كل 6 ذرات كاربون تعطي هيئات ثلاثية الأبعاد على شكل كرسي Chair أو قارب Boot وهيئة الكرسي للستيرويدات هي الأكثر استقراراً أو التي يمكن أن تعطي أيزومر سيز cis أو ترانس trans (**الشكل 18-7**). إن الكوليستيرول يذوب في الكلوروفورم والأسيتون والأيثر لكنه لا يذوب في الماء ويوجد في المخ (بنسبة 17 % من الوزن الجاف للمخ) وغدة فوق الكلية والطحال وغشاء الكريات الحمر ولا يوجد في خلايا بدائية النواة Prokaryotes.



الشكل(17-7): الكوليستيرول.

يرتبط الكوليستيرول في الدم بالأحماض الدهنية طويلة السلسلة وغير المشبعة مكوناً إسترات الكوليستيرول(**الشكل 19-7**) وينتقل عن طريق البروتينات الدهنية المختلفة خلال الدم في الجسم.



الشكل(19-7): إستر الكوليستيرول Cholesteryl ester.

يمكن للكوليستيرول أن يصنع في الجسم Endogenous Cholesterol إذ أن أغلب الأنسجة الجسمية تستطيع تصنيعه ولكن يتركز تصنيعه بشكل أساس في الكبد إذ يمكن أن يصنع بكمية 1-2 غرام/ يوم ويتخلص من الكمية بنحو 0.1-0.3 غرام/ يوم عن طريق الجلد وبنحو 0.2-0.8 غرام/ يوم عن طريق البراز. فضلاً عن ذلك فأن مصادر الكوليستيرول يمكن أن تكون خارجية Exogenous cholesterol والتي تأتي عن طريق الغذاء وبالتالي يمكن أن تزداد كميته عن الحد الطبيعي بين 150-250 ملغم/ 100 مل دم(استناداً الى العمر والجنس)عند زيادة تناول الغذاء الحاوي على كميات عالية من الكوليستيرول (مثل المخ الذي يحوي أكثر من 2000 ملغم كوليستيرول لكل 100 غرام من وزن المخ، وصفار البيض يحوي على 1500 ملغم كوليستيرول لكل 100 غرام من صفار البيض الطازج).

إن زيادة كمية الكوليستيرول في الجسم عن الحد الطبيعي ممكن أن تسبب العديد من الأمـــراض أبرزهـــا أمراض تصلب الشرايين وما ينتجه من أمراض مختلفة على القلب وبقية أعضاء الجسم وبالرغم من ذلك فأن **للكوليستيرول فوائد عديدة يمكن إجمال بعض منها:**

1- مكون للعديد مـــن الهورمونات (مثـــل الهورمونات الجنسية الذكريـــة والأنثوية).

2- تدخل في تركيب الأغشية البلازمية للخلية.

3- تدخل في تركيب الجهاز العصبي كالدماغ والخلايا العصبية وأنسجتها اذ يكون تقريباً 25% من دهـــون الأغشية للخلايا العصبية.

4- له دور في نقل الأحماض الدهنية غير المشبعة في الجسم. وبالتالي فان الزيوت الحاوية على الأحمـــاض الدهنية غير المشبعة تشارك في تقليل الكوليستيرول من خلال مشاركتها في ارتباطها مع الكوليـــستيرول وهذا يؤدي إلى زيادة أيض الكوليستيرول بعد نقله من الأنسجة المختلفة إلى الكبد.

الأحماض الصفراء Bile Acids

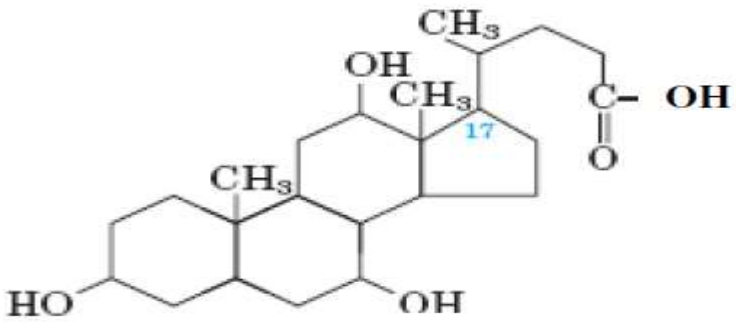
الأحماض الصفراء من المركبات التي تحتوي على نواة الستيرول والموجودة في الصفراء وتتميز السلسلة الجانبية المتصلة بذرة الكاربون 17 احتوائها على خمـــس ذرات كـــاربون فـــضلاً عـــن ارتبـــاط مجـــاميع

الهيدروكسيل في أكثر من موقع وتقوم هذه الأحماض بدور المستحلب Emulsifier للدهون في الأمعـــاء اذ لها دور مهم في هضم وامتصاص الدهون. وتتكون أحماض الصفراء في الكبد وتخزن في حويصلة الصفراء Gallbladder ثم تفرز في الإثنى عشر Duodenum **وهناك ثلاثة أنواع من هذه الأحماض هي:**

1- حامض الكوليك Cholic acid **(الشكل 20-7)**.

2- حامض ديوكسي كوليك Deoxycholic acid.

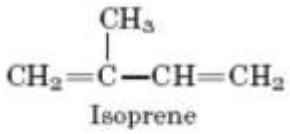
3- حامض الليثوكوليك Lithocholic.



الشكل(20-7): حامض الكوليك.

3- التربينات Terpenes

التربينات مركبات من مشتقات الدهون التي تتكون من تكاثف وحدتين او أكثر من وحـدات الأيزوبـرين Isoprene (2- مثيل 3,1 - بيوتادايين 2-methyl 1,3- butadiene) (**الشكل 23-7**).



الشكل(23-7): الايزوبرين.

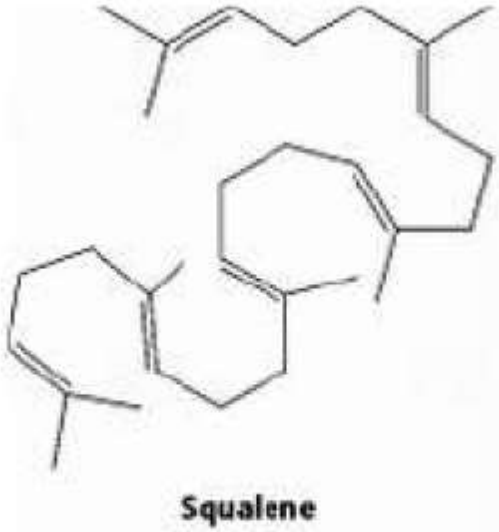
وتقسم هذه المركبات اعتماداً على وحدات الايزوبرين لإعطاء **أنواع عدة منـها:**

أ- ستزال Citral وميثون Methone (تحـويان كل منهمـا على وحدتين ايزوبرين).

ب- فارنيسول Farnesol وبيسارولين Bisarolene (تحوي كل منهما على ثلاث وحدات ايزوبرين).

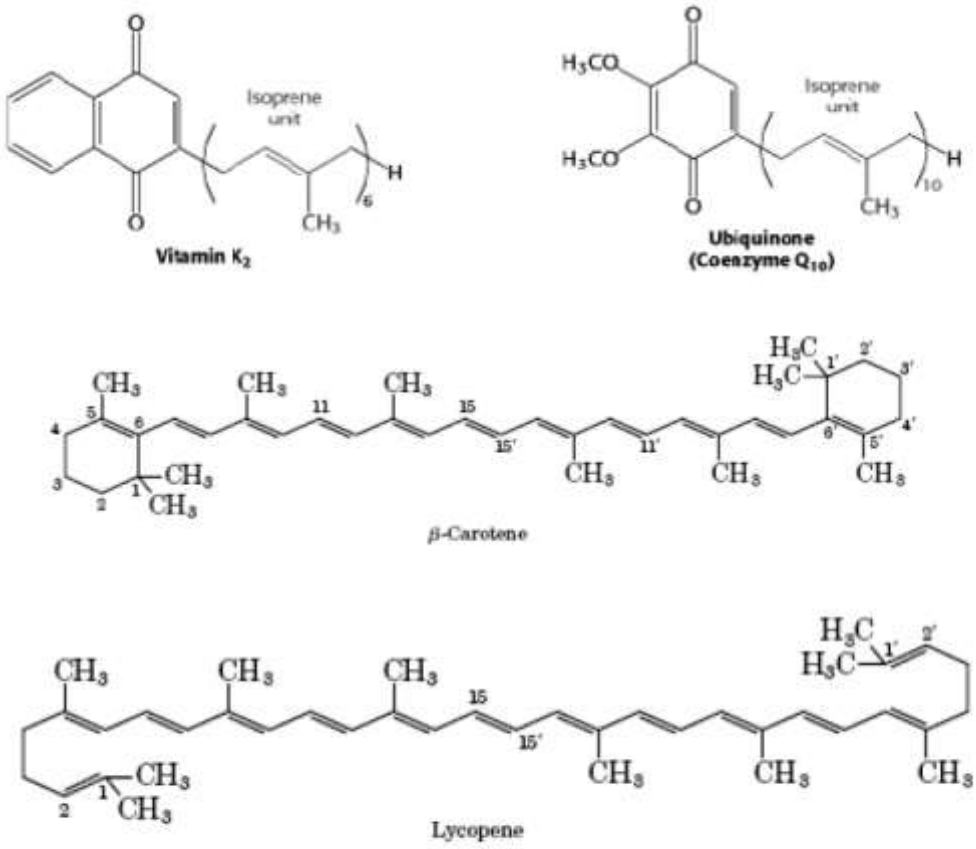
جـ- سكوالين Squalene (**شكل 24-7**) ولانوسيترول Lanosterol (تحوي كل منهمـا علـى سـتة وحدات ايزوبرين).

د- كاروتينويدات Carotenoids (تحوي أنواعها على ثماني وحدات من أيزوبرين).



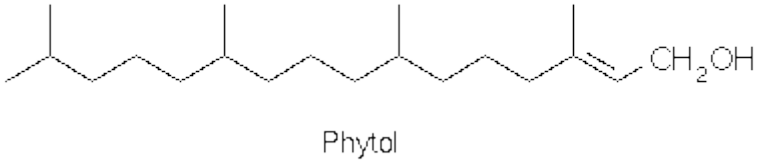
الشكل(24-7): السكوالين Squalene.

تشمل مركبات التربينات (**الشكل 25-7**) على زيوت أساسية (مثل الستزال) أو على أحمـاض راتنجيـة Resin acids ومطاط Rubber وصبغات نباتية (مثل الكـاروتين Carotene واللايكـوبين Lycopene والسكوالين) وفيتامينات مثل فيتامين A و E و K ومرافق الإنزيم Q (Coenzyme Q) وغيرها.



الشكل(25-7): بعض مركبات التربينات.

إن مركب الفايتول Phytol **(الشكل 26-7)** مثال على التربينات ضمن السلسلة المفتوحة والتي تتكون نتيجة التحلل المائي للكلوروفيل.



Phytol