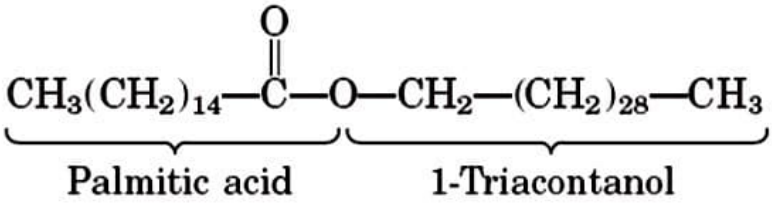
ب ــ الشموع Waxes

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)**.



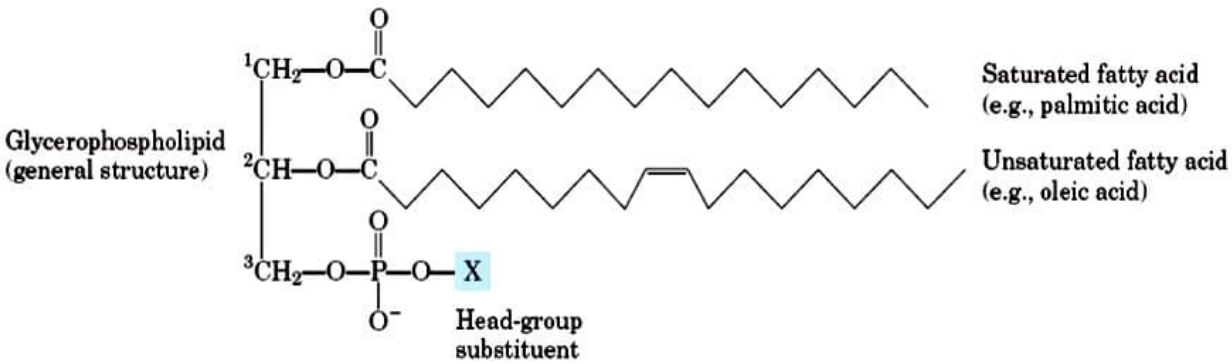
الشكل(2-7): شمع إستر بالماتيك.

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

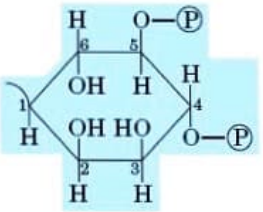
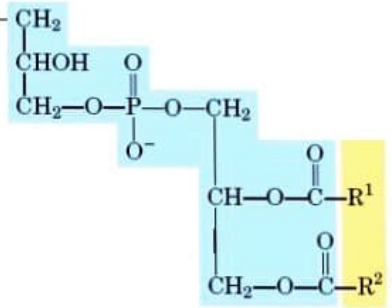
تتكون من إسترات يرتبط فيها حامض الفوسفوريك محل جزيئة من الأحماض الدهنية ثم ارتباط قاعدة نيتروجينية غالباً والتي تدخل في تراكيب الأغشية وتركيب البروتين الدهني **(الشكل 3-7)**.



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 :

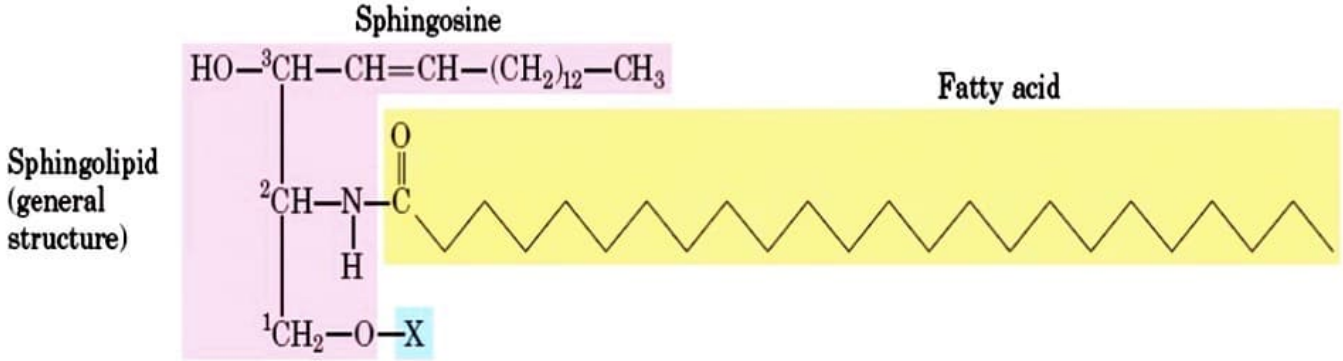
1- **حامض الفوسفاتيديك Phosphatidic acid** : يتكون هذا الحامض من كلسيرول وحامض فوسفوريك وجزيئتين من الاحماض الدهنية وعادة ما يكون احدهما مشبعاً والآخر غير مشبع.

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.

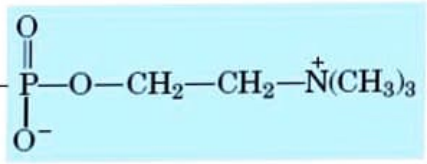
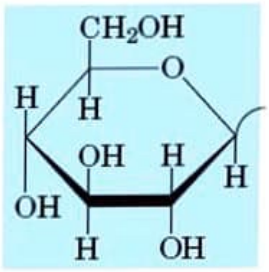
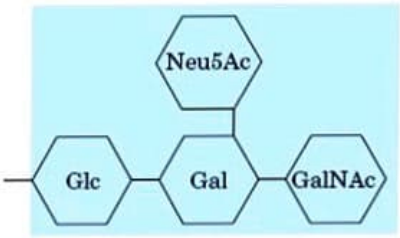
5- **الدهون الأسفنجية (السفنكوليبيدات) Sphingolipids** : ومن الأمثلة على هذه المركبات هي السفنكومايلين Sphingomyelin اذ تتكون من قاعدة نيتروجينية هي السفينكوسين Sphingosine (وهي عبارة عن كحول أميني ذي سلسلة هيدروكاربونية غير مشبعة وحامض دهني واحد فضلاً عن حامض الفوسفوريك) والأحماض الدهنية المشبعة التي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



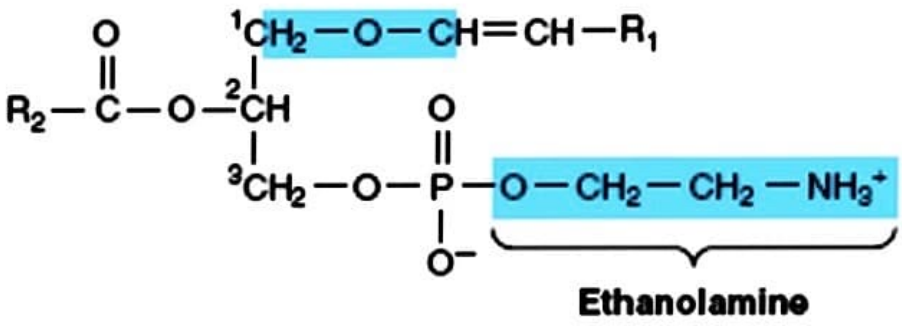
الشكل(4-7): الشكل العام للدهون الأسفنجية.

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.

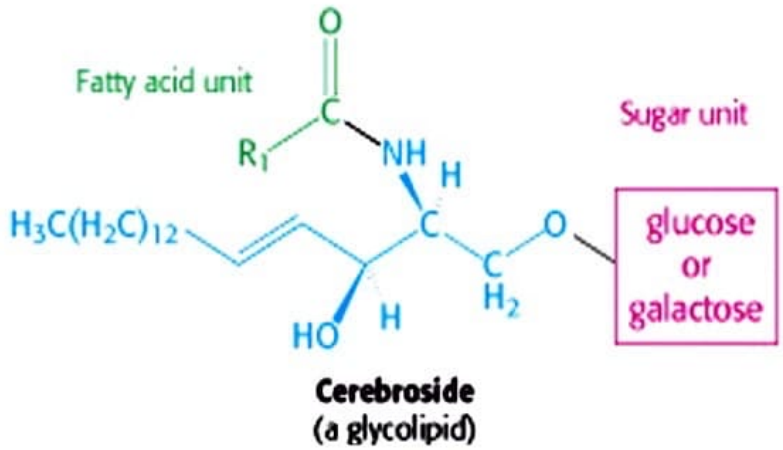
7- كارديولبينات Cardiolipinins (كلسيرول ثنائي فوسفاتيديل Diphosphatidy glycerol) وهو من الدهون المفسفرة ناتج من جزيئتين من الكلسيرول فوسفولبيد **(الجدول 1-7)**، وعرفت بالدهون القلبية Cardiolipins لكونها عزلت من عضلة القلب أولاً.

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:**

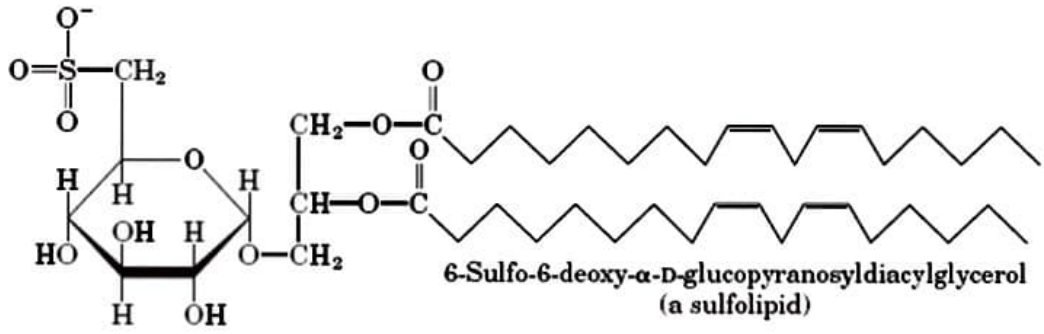
1- السيروبروسايد Cerebrosides : وهي دهون تحتوي على كاربوهيدرات عادة تكون الكالاكتوز أو الكلوكوز وأحماض دهنية ذات وزن جزيئي عالي وسفنكوسين ومعظم الأحماض الدهنية المكونة لها هي حامض اللكنوسيرك Lignoceric acid أو حامض البهينيك Behenic acid او حامض البالمتيك **(الشكل 6-7)** وتوجد هذه المركبات في الجهاز العصبي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



الشكل(6-7): السيروبروسايد.

2- الكانكليوسايد Gangliosides : وهي دهون تحوي كاربوهيدرات (الكالاكتوز عادةً) وحامض دهني طويل السلسلة وحامض النيورامنيك Neuraminic acid والسفنكوسين وتكون مصاحبة للسيروبروسايد **(الجدول 2-7)** إذ توجد في الأنسجة العصبية وكريات الدم الحمر. ويعتقد أنها تشارك في نقل النبضات العصبية عبر التشابك العصبي.

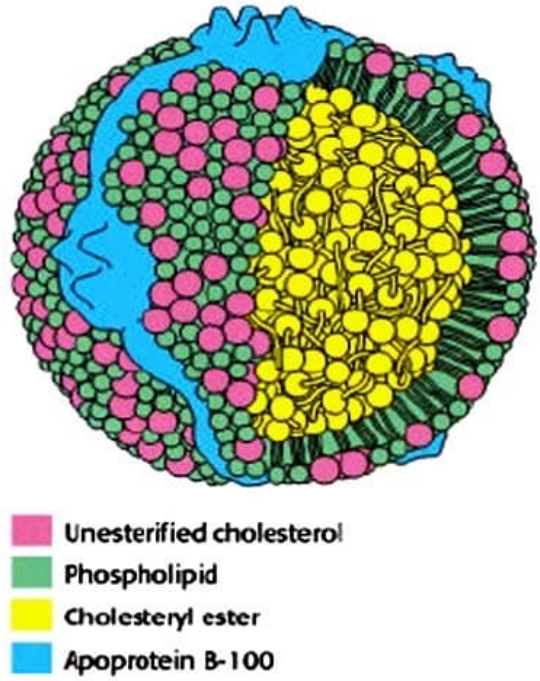
جـ- الدهون الكبريتية Sulfolipids : وهي مركبات شبيه بالسيروبروسايد ماعدا وجود حامض الكبريتيك وتحتوي أيضاً على السفنكوسين والكالاكتوز وحامض السيروبرونيك Cerebronic acid **(الشكل 7-7).**



الشكل(7-7): الدهون الكبريتية Sulfolipid.

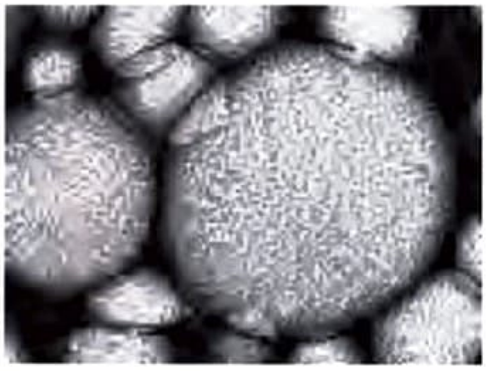
د- البروتينات الدهنية Lipoproteins

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.

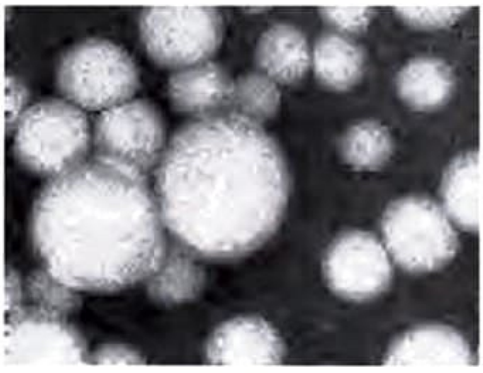


الشكل(9-7): البروتين الدهني واطئ الكثافة(LDL).

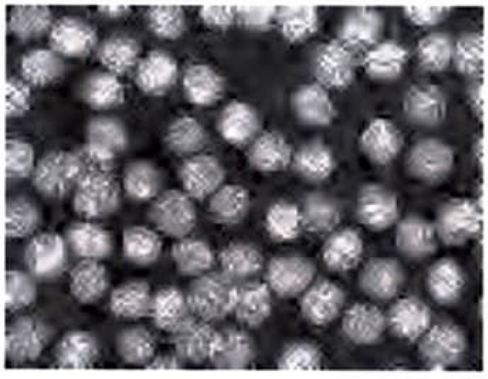
تم تصنيف البروتينات الدهنية إلى أصناف مختلفة باستخدام تقنيات مختلفة كاستخدام تقنية الهجرة الكهربائية Electrophoresis أو استخدام جهاز الطرد المركزي فائق السرعة Ultracentrifuge لتصنيفها استناداً الى كثافتها ومحتواها من البروتينات والدهون(**الشكل 10-7**) **وهذه الأصناف هي :**



Chylomicrons (×60,000)



VLDL (×180,000)



LDL (×180,000)

HDL (×180,000)

الشكل(10-7): أشكال البروتينات الدهنية تحت المجهر الالكتروني.

1- **الكيلومايكرونات Chylomicrones**: وهي اكبر الجزيئات (قطرها يتراوح بين 180-500 نـانوميتر) 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 البـروتين. تعمـل على نقل الكلسيريدات الثلاثية والكوليستيرول من الأمعاء إلى الأنسجة.

2- **البروتينات الدهنية واطئـة الكثافـة جـداً Very low density lipoproteins (VLDL)**: وهـي جزيئات متوسطة الحجم وتحتوي على كلسيريدات ثلاثية بشكل أساسـي إذ تنقـل كميـات كبيـرة مـن الكلسيريدات الثلاثية نحو 60-80% ومصدرها داخلي Endogenous وتتكون في الكبـد مـن الـدهون الداخلية وتنقل الدهون إلى الخلايا والأنسجة الدهنية والتي يمكن حساب كميتها في المـصل مـن خـلال استخدام المعادلة الآتية:

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

استخدم الرقم خمسة لكون تركيز VLDL في المصل هو خمس تركيز الكلسيريدات الثلاثية.

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 (LDL): Low density lipoproteins :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 $CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$.

جـ- **الأحماض الدهنية الهيدروكسيلية** مثل حامض السيربرونيك Cerebronic acid .

د- **متشعبة (متفرعة)** Branched مثل حامض ايزوفاليريك Isovaleric acid .

هـ- **حلقية** Cyclic مثل حامض كولموجيرك Chaulmogric acid .

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

1- **أحادية الآصرة المزدوجة** Monounsaturated (تسمى أيضاً مونوإينويك Monoenoic).

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

3- **أيكوسانويد**(المركبات الصندوقية) Eicosanoids هذه المركبات تشتق من eicosa المحتوية على 20 ذرة كاربون على سبيل المثال بروستانويد Prostanoids التي تشتق منها البروستاكلانديات Praostanaglandins (PGs) (مثل Praostanaglandin E_1) وليوكوترينات (مثل Leukotriene A_4) وثرومبوكسانيسات Thromboxane (TXs) (Thromboxane A_4) (**الشكل 11-7**).