بيولوجيا الخلية Cell Biology

يعد روبرت هوك Robert Hooke أول من اكتشف الخلية في مقطع الفلين عام 1665، أما ليفنهوك Leeuwenhoek فهو أول من شاهد الخلية (البروتستا) تحت المجهر عام 1673، وفي العام 1838 أقترح عالم النبات الالماني Schleiden أن جميع النباتات مكونة من خلايا، وبعدها بعام أقترح شوان Schwann أن جميع الحيوانات مكونة من خلايا، وفي العام 1855 أقترح فيركو Virchow أن جميع الخلايا تأتي من خلايا.

وعموماً فإن كل الكائنات الحية تتكون من خلية واحدة أو عدة خلايا، والخلية هي وحد البناء الاساسية والوحدة الأصغر في جسم الكائن الحي تقوم بجميع العمليات الحيوية.

ويعرف بيولوجيا الخلية على أنه جزء من فرع علوم الحياة الذي يدرس الخلية بشكل مفصل من ناحية تركيبها وصفاتها الفسلجية ووظائفها المتنوعة ودورة حياتها وانقساماتها وشيخوختها وموتها... ويرتبط هذا العلم بشكل وثيق مع العلوم البيولوجية الأخرى مثل البيولوجي الجزيئي، الوراثة، الكيمياء الحياتية، المناعة، علم الأحياء التطوري، تقنيات دراسة الخلايا، الطب، والعلوم الأخرى.

وهناك عدة تقسيمات للكائنات الحية ربما أهمها هو تقسيمها إلى قسمين كبيرين هما بدائية النواة Prokaryotes وحقيقية النواة Eukaryotes. والكائنات بدائية النواة هي كائنات حية لا تملك نواة محددة (غير محاطة بغلاف نووي) أو أية عضيات مرتبطة بالأغشية، معظم هذه الكائنات وحيدة الخلايا Unicellular ولكن بعضها متعددة الخلايا Multicellular ومن أشهر الأمثلة عليها هي البكتريا.

أما حقيقية النواة فهي كائنات تملك خلايا لها تراكيب معقدة وأهم هذه التراكيب هي النواة التي تحاط بغشاء نووي، ومن أمثلة الكائنات حقيقية النواة هي الحيوانات والنباتات والفطريات والبروتستا. ويمكن تلخيص أهم صفات الكائنات بدائية النواة وحقيقية النواة وكذلك الفرق بينهما من خلال الجدول التالي :

جدول (1) أهم صفات الكائنات حقيقية النواة وبدائية النواة

	حقيقة النواة	بدائية النواة
النواة	موجودة	مفقودة
وجود غلاف نووي يحيط بالنواة	موجودة	مفقودة
عدد الكروموسومات	أكثر من كروموسوم	كروموسوم واحد
نوع الخلايا	متعددة الخلايا	وحيدة الخلايا، باستثناء بعض البكتريا الزرقاء Cyanobacteria يمكن أن تتواجد بشكل متعدد الخلايا
اللايسوسومات والبروكسيسومات	موجودة	مفقودة
المايتوكوندريا	موجودة	مفقودة أو نادرة الوجود
الشبكة الاندوبلازمية	موجودة	مفقودة
الهيكل الخلوي	موجودة	مفقودة

	حقيقة النواة	بدائية النواة
الرايبوسوموات	كبيرة	صغيرة
جهاز كولجي	موجودة	مفقودة
الكلوروبلاست	موجودة (في الخلايا النباتية)	مفقودة، قد توجد أحياناً
السوط	مجهري الحجم، يرتبط بالغشاء الخلوي، ويتكون من تسعة مزدوجات من الألياف	تحت مجهري الحجم (أصغر) ويتكون من ليف واحد

ونظراً لأهمية الخلية الحيوانية والنباتية في دراسات بيولوجيا الخلية فلا بد من التعرف على أهم الفروقات بين نوعي الخلايا من خلال التطرق لأهم صفات الخلايا الحيوانية والنباتية كما في الجدول (2) :

جدول (2) أهم صفات الخلايا الحيوانية والخلايا النباتية

	الخلايا الحيوانية	الخلايا النباتية
النواة	موجودة وتحمل المادة الوراثية	موجودة وتحمل المادة الوراثية
نوع الخلايا	حقيقية النواة وجود غلاف نووي حقيقي يحيط بالنواة	حقيقية النواة وجود غلاف نووي حقيقي يحيط بالنواة
المايتوكوندريا	بيوت الطاقة وعددها كثير	عددها أقل
شكل وحجم الخلايا	صغيرة الحجم نسبياً ومتغيرة الشكل	كبيرة الحجم وثابتة الشكل (عادة سداسية)
جدار الخلية	لا يوجد جدار خلوي و يقوم الغشاء الخلوي بوظيفة الحدود التي تتفاعل مع البيئة الخارجية	لها جدار خلوي وغشاء خلوي، ويعمل الجدار الخلوي على حماية الخلية النباتية ويعطيها الشكل الثابت والمتانة ويتكون من السليلوز والهيمي سليلوز

	الخلايا الحيوانية	الخلايا النباتية
الكلوروبلاست	غير موجودة	موجودة وتقوم بتجهيز الغذاء للخلية عن طريق التركيب الضوئي باستخدام أشعة الشمس، ثاني أوكسيد الكاربون، والماء لتصنيع جزيئات السكريات
الفجوات	يمكن أن تحتوي الخلية الحيوانية أو لا تحتوي على فجوة واحدة أو عدة فجوات	هناك فجوة واحدة كبيرة في كل خلية تحوي الماء والمواد الغذائية وبذلك تعمل كخزين للخلية
المريكزات	تساهم في حركة الكروموسموات خلال الانقسام االخلوي	غير موجودة
الجسيمات الحالة	توجد في السايتوبلازم وتحوي أنزيمات تساهم في تحطيم (هضم) المركبات	غير موجودة
الأحماض الأمينية	يمكن تصنيع بعض الأحماض الأمينية داخل الخلايا الحيوانية	تصنع جميع أنواع الأحماض الأمينية داخل الخلايا النباتية
الانقسام الخلوي	يحدث الانقسام الخلوي بحدوث تخصر مركزي وسط الخلية	خلال الانقسام الخلوي تتكون الصفيحة الخلوية

عضيات الخلية Cell Organelles

تعرف عضيات الخلية على أنها وحدات أو تراكيب خلوية متخصصة لها وظائف معينة، وسميت عضيات Organelles (مصغر عضو Organ) اعتقاداً بأنها أعضاء مكونة للخلية (كما أن الجسم يتكون من أعضاء مثل الكبد والكلى والقلب والدماغ...)، ويمكن مشاهدة بعض العضيات باستعمال المجهر الضوئي كما يمكن عزلها وتنقيتها بعملية تجزئة الخلية Cell fractionation.

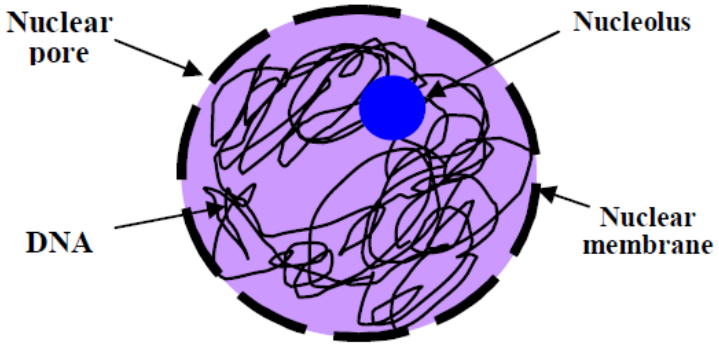
وأهم عضيات الخلية هي :

1- النواة Nucleus
2- النوية Nucleolus
3- الرايبوسومات Ribosomes
4- الحويصلات Vesicles
5- الشبكة الاندوبلازمية الخشنة Rough endoplasmic reticulum
6- الشبكة الاندوبلازمية الملساء Smooth endoplasmic reticulum
7- جهاز (أو جسم) كولجي Golgi apparatus or body
8- الهيكل الخلوي Cytoskeleton
9- المايتوكوندريا Mitochondria
10- الفجوات Vacuoles
11- السايتوسول Cytosol
12- الجسيمات الحالة Lysosomes
13- الجسيمات المركزية Centrosomes
14- الغشاء الخلوي Cell membrane

النواة Nucleus :

هي العضية المركزية في الخلايا حقيقية النواة وتكون محاطة بغشاء (أو غلاف) نووي فيه ثقوب، وعادة تملك الخلية نواة واحدة ونادراً نواتين أو أكثر، أهم ما تحتويه النواة المادة الوراثية DNA التي تترتب مع البروتينات (الهستونات) مكونة الكروموسومات، كما تحوي النواة على هيكل نووي Nucleoskeleton (والتي تتكون من الصفيحات النووية Nuclear lamina) وتوفر دعم ميكانيكي للنواة وبذلك تشبه في الوظيفة الهيكل الخلوي.

أما الثقوب النووية Nuclear pores (الشكل 3-1) فتتكون من بروتينات تدعى Nucleoproteins وهناك حوالي 50– عدة مئات من أنواع البروتينات النووية (حسب نوع الكائن الحي)، ويكون حجم الثقوب النووية صغير جداً بحث يسمح بمرور جزيئات الماء والايونات ويمنع مرور الجزيئات الكبيرة مثل البروتينات والأحماض النووية (من والى النواة)، أما نقل الأحماض النووية (مثل RNA المراسل mRNA) من النواة إلى السايتوبلازم فيتم عن طريق النقل الفعال. ويقدر عدد الثقوب النووية في الخلايا الحيوانية بحدود 3000



الشكل (3-1) مخطط توضيحي للنواة والنوية

الرايبوسومات Ribosomes :

هي عضيات كبيرة ومعقدة تعمل كمصنع للبروتينات (تتم فيها عملية الترجمة Translation) حيث تقوم بربط الأحماض الأمينية مع بعضها بأصرة ببتيدية وبتسلسلات معينة اعتماداً على قراءة الشفرة الوراثية الموجودة على جزيئة mRNA. أكتشفت الرايبوسومات في منتصف الخمسينات من القرن العشرين من قبل عالم الخلية الروماني George Palade باستعمال المجهر الالكتروني.

ويتواجد الرايبوسوم في جميع الخلايا الحية وهو المسئول عن تصنيع البروتين. ويتكون الرايبوسوم عادة من بروتينات و RNA من نوع rRNA، ويتكون الرايبوسوم عادة من

الحويصلات Vesicles :

هي تراكيب مكونة من غشاء ثنائي الشحوم تحيط بسوائل، يمكن أن تتكون الحويصلات خلال الأفراز الخلوي Exocytosis، الالتهام الخلوي Phagocytosis أو Endocytosis أو الشرب الخلوي Pinocytosis، وكذلك خلال نقل السوائل ضمن السايتوبلازم، وهناك حويصلات يتم تصنيعها في المختبر لغرض إدخال المواد (عادة جينات أو أجزاء من الحامض النووي) إلى داخل الخلايا تدعى الأجسام الشحمية Liposomes.

تقوم الحويصلات بالعديد من الوظائف فهي تدخل في عمليات الأيض، النقل، خزن الإنزيمات، ووظائف أخرى، مع الإشارة إلى أن السوائل داخل الحويصلات يختلف تركيبها وصفاتها عن السايتوبلازم لكونها معزولة عن السايتوبلازم بغشاء شحمي ثنائي. وجدير بالذكر أن هناك العديد من الحويصلات داخل الخلايا ومنها :

1- **الفجوات**: وهي حويصلات تحوي الماء وتتواجد داخل الخلايا النباتية بشكل فجوة مركزية كبيرة Large central vacuole (LCV) ووظيفتها التنظيم الأزموزي وخزن الأغذية، ونوع أخر يوجد في الأوالي Protozoa يدعى الفجوات المتقلصة.

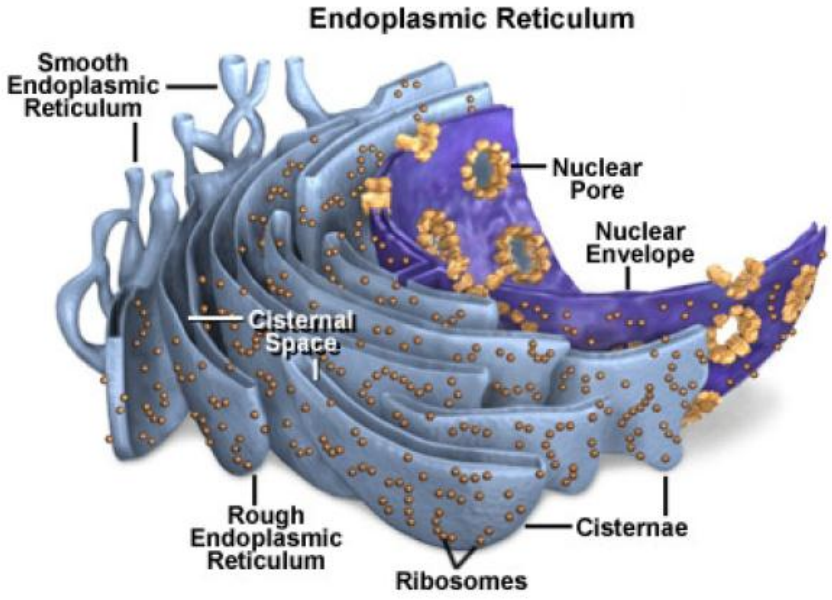
2- **اللايسوسومات** Lysosomes: وهي حويصلات كروية تحوي إنزيمات محللة Hydrolytic enzymes (أكثر من 50 نوع من الأنزيمات) تعمل عند pH مثالي هو 4.5 قادرة على تحطيم جميع الجزيئات الحيوية مثل البروتينات والكاربوهيدرات والشحوم والأحماض النووية وكذلك بقايا الخلايا Cell debris والجزيئات الخارج خلوية (مثل الفيروسات والبكتريا).

3- **الحويصلات الناقلة** Transport vesicles: تقوم بنقل الجزيئات بين مواقع متعددة داخل الخلية مثل نقل البروتينات من الشبكة الاندوبلازمية الخشنة (RER) إلى جهاز كولجي، وكذلك نقل البروتينات المخصصة للإفراز خارج الخلية.

4- **الحويصلات الإفرازية**: وتحوي على مواد يراد إفرازها خارج الخلية إما لكون هذه المواد فضلات خلوية يجب التخلص منها أو هي مواد كيميائية متخصصة مثل الهرمونات أو النواقل العصبية Neurotransmitters، حيث تكون هذه الخلية متخصصة بتصنيع وإفراز هذه المواد حسب الحاجة، ومن الأمثلة الأخرى الحويصلات التي تحوي الإنزيمات اللازمة لبناء جدار الخلية (للنباتات والفطريات والبكتريا) أو لبناء القالب الخارج خلوي Extracellular matrix (ECM) للخلايا الحيوانية، الحويصلات الخارج

الشبكة الاندوبلازمية Endoplasmic reticulum :

أحد عضيات الخلية حقيقية النواة (عدا كريات الدم الحمر والنطف فإنها تفقد الشبكة الاندوبلازمية) وهي عبارة عن شبكة من الأغشية التي تدعى الصهاريج Cisternae (تشبه الكيس) وتوجد في السايتوبلازم وتدعم من قبل هيكل الخلية، وتقوم بوظائف متعددة حسب نوع ووظيفة الخلية، وهناك نوعان من الشبكة الاندوبلازمية هما الخشنة والملساء (الشكل 3-3).



الشكل (3-3) الشبكة الاندوبلازمية الخشنة والملساء

الشبكة الاندوبلازمية الخشنة Rough endoplasmic reticulum :

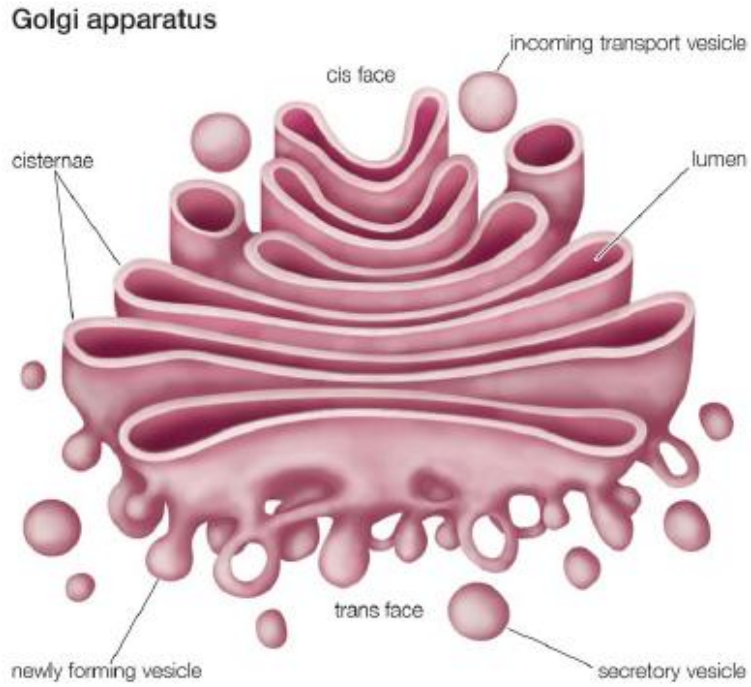
وتدعى أيضاً Ergastoplasm، وسمي خشناً لوجود الرايبوسومات على جداره مما يعطيه مظهراً خشناً، ويرتبط الرايبوسوم مع الشبكة الاندوبلازمية في مواقع متخصصة تدعى Translocon لكونها تقوم بوظيفة تغيير الموقع Translocation لمتعدد الببتيد الذي يحمل الإشارة الهدف إلى داخل (الصهريج أو التجويف) الشبكة الاندوبلازمية من السايتويول. ويتكون هذا التركيب المعقد (الرايبوسوم – الشبكة الاندوبلازمية) عندما يتطلب الأمر بتصنيع معقد بروتين – حامض نووي في السايتوسول، حيث تبدأ أولاً الرايبوسومات الحرة غير المرتبطة بالشبكة الاندوبلازمية بترجمة mRNA، وتشفر أولاً التسلسلات (5 – 30 نيوكليوتيد) لتصنيع ببتيد إشارة Signal peptide وهي رسالة جزيئية يتم التعرف عليها والارتباط معها من قبل جسيمات التعرف على الإشارات Signal recognition particles (SRP) عندها تتوقف الترجمة ثم يرتبط ويتكون معقد الرايبوسوم – الشبكة الاندوبلازمية عند الموقع Translocon عندها تبدأ الترجمة ثانيةً مكونة البروتين وباتجاه تجويف الشبكة الاندوبلازمية حيث تعامل في التجويف من قبل إنزيمات متخصصة (ببتايديز الإشارة Signal peptidase) والذي يقوم بإزالة ببتيد الإشارة، عندها يمكن أن تعود الرايبوسومات

الشبكة الاندوبلازمية الملساء Smooth endoplasmic reticulum(SER) :

وتقوم الشبكة الاندوبلازمية الملساء بالعديد من الوظائف الحيوية والأيضية ومنها تصنيع الشحوم والشحوم الفوسفاتية Phospholipids وأيض الستيرويدات، وأيض الكاربوهيدرات، إزالة سمية بعض الأدوية، ربط المستقبلات مع بعض بروتينات الغشاء الخلوي، وتمتاز الخلايا المسؤولة عن تصنيع وإفراز هذه المركبات (مثل خلايا الخصى، المبيض،

جهاز جولجي Golgi Apparatus

في عام ١٨٩٨م كان كاميلو جولجي أول من لاحظ وجود أكياس قنوية بقرب نواة الخلية تختلف في الحجم والشكل باختلاف أنواع الخلايا . هذه الحويصلات التي وصفها جولجي والتي تنشأ من الشبكة الاندوبلازمية تعرف اليوم بجهاز جولجي . يظهر هذا الجسم بوضوح في الخلايا اثناء نشاطها الإفرازي الأغشية التي يتكون منها هذا الجهاز ناعمة ومزدوجة ويصل سمكها إلى حوالي ٢٠٠ أنجستروم ويعتقد بأن وظيفته هي تخزين بعض المواد الإفرازية تهاجر نحو غشاء البلازما لتلتحم به وتفرز محتوياتها خارج الخلية بطريقة التسرب Exocytosis أي طرد المواد إلى الخارج .



الشكل (3-4) جهاز كولجي

الجسيمات الحالة Lysosomes

مجموعة من البنيات السيتوبلازمية بالأغشية تظهر تحت المجهر الالكتروني على هيئة حبيبات كثيفة يصل قطر كل منها حوالي ٢٥٠-٧٥٠ ملي ميكورن وتغطى عادة بطبقة من البروتينات الدهنية Lipoproteins لتعزل انزيماتها الهاضمة عن محتويات الخلية من المواد العضوية أثناء الحالات الطبيعية يعتقد بأن الجسيمات الحالة مثل الحويصلات الإفرازية تنشأ من جهاز جولجي وقد تنشأ في بعض الحالات من بعض أغشية الشبكة الاندوبلازمية التي تنقطع لتنتج منها حويصلات محتوية على بروتينات . تحتوي اليحاليل على انزيمات هاضمة للبروتينات والدهون وبعض السكريات وحامض الدنا والرنا وتستطيع هذه الجسيمات الحالة أن تكون فجوات هاضمة تلتصق بالحويصلات التي تتكون داخل الخلايا وذلك نتيجة لعمليات البلعمة التي تقوم بها بعد إتمام عملية الالتصاق تفرز الجسيمات الحالة انزيماتها داخل الحويصلات لتقوم بهضم المواد التي تم بلعها والتي عادة ما تكون بكتريا لتحولها إلى مواد تستطيع الخلية الاستفادة منها أي تحول المواد العضوية إلى مواد قادرة على الانتشار مثل الأحماض الأمينية والجلوكوز . تغادر المواد المهضومة الفجوات بواسطة الانتشار بينما تبقى المواد غير القابلة للهضم في داخل هذه الجسيمات وتطرد خارج الخلية . كما تقوم الجسيمات الحالة بهضم الخلايا التي تحتويها عند إصابتها أو موتها ، وذلك بأن ينفجر الغشاء المحيط بالجسيمات الحالة ويقوم بهضم محتويات الخلية نفسها . وتكثر الجسيمات الحالة عادة في خلايا الدم البيضاء والتي من اهم وظائفها بلعمة المواد الغريبة التي تدخل الجسم .

الهيكل الخلوي Cytoskeleton :

جميع الخلايا الحية حقيقية وبدائية النواة تملك هيكل خلوي، وهناك اختلافات كبيرة في التركيب والوظيفة اعتماداً على نوع الكائن الحي ونوع الخلية، وعموماً فإن الهيكل الخلوي للخلايا الحيوانية يتكون من ثلاث أجزاء هي الخيوط الدقيقة Microfilaments (والتي تتكون من بروتين الأكتين Actin) والنبيبات الدقيقة Microtubules (وتتكون من بروتين التيوبيولين Tubulin) والخيوط الوسطية Intermediate filaments (ولها حوالي 70 نوع من البروتينات التركيبية) (الشكل3-5). ويقوم الهيكل الخلوي بالعديد من الوظائف منها :

1- تعطي للخلية الشكل والدعم الميكانيكي وبذلك تحافظ (بالتعاون مع القالب الخارج خلوي) على ثبات النسج ككل.
2- يمكن للهيكل الخلوي أن يتقلص وينبسط وبذلك يساهم في حركة الخلية.
3- يساهم في العديد من مسارات الإشارات الخلوية.
4- وكذلك المساهمة في التهام المواد من خارج الخلية Endocytosois.
5- وتساعد في عملية عزل الكروموسومات خلال الانقسام الخلوي.
6- وتساهم في عملية انقسام الخلية الأم إلى خليتين بنويتين بعملية Cytokinesis.

الميتوكندريا Mitochondria

تعتبر الميتوكندريا من العضيات السيتوبلازمية التي توجد في جميع الخلايا على عدة أشكال ، منها القضيبي و الدائري ، والخيطي . حجمها كبير ، يمكن رؤيتها بواسطة المجهر الضوئي ، كما أن هذا الحجم يختلف من خلية إلى أخرى ، ويتراوح قطرها من مئات الميليميكرونات إلى الميكرون ، وطولها قد يصل إلى حوالي ٧ ميكرونات ، ولكن عموماً يكون طولها ٣ ميكرونات وعرضها من ٠,٥ – ١ ميكرون . وجدير بالذكر أن حجم الميتوكندريا يتغير في دقائق حتى في نفس الخلية . يتراوح عدد الميتوكندريا من ٢٠ متقدرة (في الحيوان المنوي) إلى حوالي ٢٥٠٠ متقدرة (في خلايا الكبد) في الخلية الواحدة ، ويعتمد ذلك على كمية الطاقة التي تحتاجها الخلية لتؤدي وظائفها بشكل طبيعي . تتميز الميتوكندريا باحتوائها على غشاءين كما هو موضح بالشكل (٥) ، الغشاء الخارجي وهو مستوى ويحيط بالميتكوندريا بكاملها أما الغشاء الداخلي فيتميز بوجود ثنايا على مسافات في مركز الميتوكندريا ، تظهر على شكل رفوف تسمى الأوراف Cristae تمتد على مسافات متفاوتة داخل جسم الميتوكندريا ويوجد على سطحها العديد من الانزيمات الضرورية لنشاط هذه العضيات . تحتوي الميتوكندريا على حامض الدنا وهو نوع شبيه بذلك الموجود بالنواة ، ولكنه ليس مماثلا له . تقوم الميتوكندريا بإنتاج الطاقة الاسقلابية اللازمة لنشاط الخلية ولذلك فإن الميتوكندريا عادة ما يطلق عليها اسم بيت الطاقة في الخلية ومن الجدير بالذكر أن الميتوكندريا بإمكانها الانقسام لزيادة أعدادها ، كما أن بإمكان ميتوكندريتين أو اكثر الالتحام مع بعضها ليكونوا وحدة واحدة .

غشاء الخلية Cell membrane

وبشكل عام فإن الغشاء الخلوي يتكون من شحوم ثنائية الطبقة Lipid bilayer حيث تترتب بشكل رأس وذيل، الرأس يكون محباً للماء Hydrophilic ويكون باتجاه داخل وخارج الخلية، أما الذيل فيكون نافراً من الماء Hydrophobic ويكون إلى الداخل (الشكل 3-8).

التركيب الكيميائي للغشاء الخلوي :

1- **الشحوم**: ويتكون من ثلاث أنواع وهي الشحوم الفوسفاتية Phospholipids، الشحوم السكرية Glycolipids، الستيرولات Sterols ونسبة كل نوع تكون متغيرة اعتماداً على نوع الخلية. وعموماً فإن الأحماض الدهنية في الغشاء الخلوي تتكون من عدد زوجي even number من الكاربون (وخاصة 16 و 18) ويمكن أن تكون مشبعة أو غير مشبعة ويساهم ذلك في تنظيم مدى "سيولة" الغشاء الخلوي، وفي الخلايا الحيوانية تتواجد جزيئات الكولستيرول في الغشاء موزعة (ولكن بدرجات مختلفة ونمط متنوع حسب نوع الخلية) بين الذيول المحبة للماء حيث تعطي صلابة وقوة للغشاء الخلوي (الشكل 3-8).

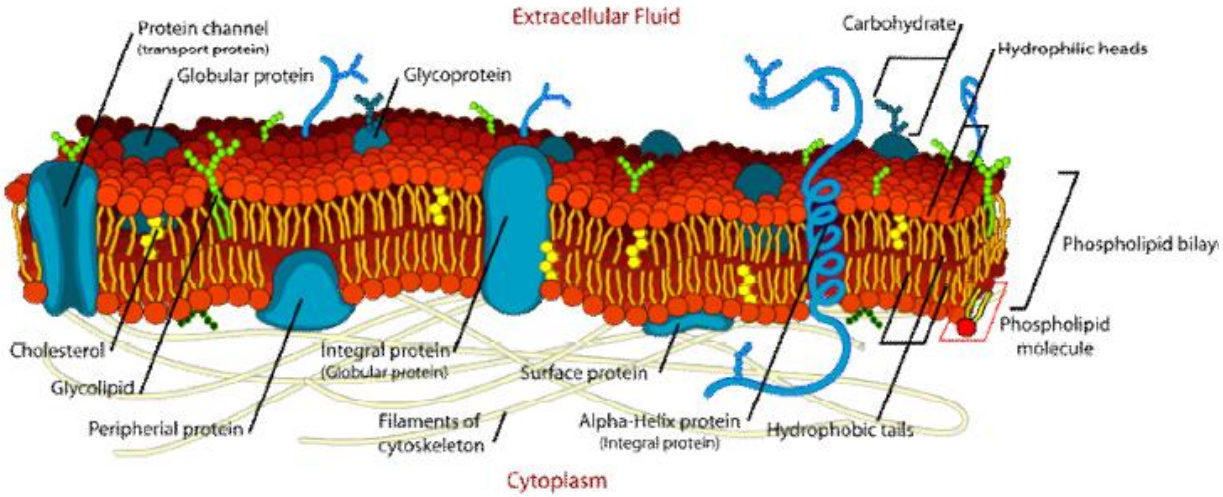
2- **الكاربوهيدرات**: وتتواجد بشكل بروتينات سكرية Glycoproteins والقليل من الشحوم السكرية Glycolipids و Cerebrosides و Gangliosides. وعادة يكون الجزء السكري إلى خارج الغشاء الخلوي ومن السكريات المهمة هو Glycocalyx وهو عبارة عن معقد من بروتينات سكرية مع متعدد السكر Glycoprotein-polysaccharide، ويحيط بالغشاء الخلوي لبعض البكتريا وبعض الخلايا الحيوانية (مثل الخلايا الظهارية)، وتكون بشكل يشبه الشعر المحيط بالخلية، كما أن Glycocalyx يعد ضرورياً في عملية تحديد هوية الخلية وللتمييز بين الخلية الأصلية والغريبة (الدخيلة

أو المهاجمة مثل الأحياء المجهرية) وبين السليمة والمريضة أو المنقولة (المزروعة) Transplant cells.

3- **البروتين**: ويشكل البروتين حوالي نصف حجم الغشاء الخلوي، ويقوم بوظائف حيوية مهمة مثل الإشارات بين الخلايا، وتعمل كمستقبلات أو مستضدات Antigens، وكذلك نقل الإشارات الخلوية إلى داخل الخلية، ونقل المواد خلال الغشاء الخلوي والعديد من الوظائف المهمة الأخرى، وأهم أنواع بروتينات الغشاء الخلوي هي :

- **البروتينات خلال الغشاء الخلوي** Transmembrane proteins: ومن أمثلتها قنوات الأيونات، مضخات البروتين Protein pumps، المستقبلات المزدوجة مع البروتين جي (GPCR) G protein couple receptor.
- البروتينات المثبتة للشحوم ومن أمثلتها G protein.
- البروتينات الطرفية مثل بعض الإنزيمات والهرمونات.

وتكون الشحوم ثنائية الطبقة غير نفاذة للأيونات والجزيئات القطبية (الأحماض الأمينية، الأحماض النووية، الكاربوهيدرات، البروتينات، الأيونات) وبذلك تمنع نفوذها من خلال الغشاء الخلوي.



الشكل (3-8) تركيب الغشاء الخلوي المثالي في الخلية الحيوانية