جهاز جولجي

Golgi Apparatus

يطلق على جهاز جولجي عدة مسميات منها أجسام جولوجي Golgi Bodies أو معقد جولجي Golgi Complex أو الدكتيوسومات Dictyosomes، ويكثر تواجده في الخلايا ذات النشاط الإفرازي العالي كالخلايا الغدية. ويعتبر جهاز جولجي أحد العضيات الفجوية في الخلية، ومن مميزاته أنه ليس له تركيب ثابت بل يكون غالبًا في تشكل وتجدد مستمر، وقد تم اكتشافه عام ١٨٩٨م، على يد العالم الإيطالي كاميلو جولجي Gamillo Golgi، أثناء فحصة للخلايا العصبية، حيث شاهده في موقع قرب النواة ومحاط بمنطقة خالية تسمى منطقة الاستبعاد Exclusion Zone، كما أنه على اتصال وثيق بالشبكة الإندوبلازمية. يبدو جهاز جولجي كما في الشكلين رقمي (٢٧) و(٢٨)، مكونًا من صفائح أو أوعية غشائية مجوفة ومفلطحة متراصة بعضها فوق بعض، ويتراوح عددها بين (٥ – ٨)، وتكون منتفخة عند الأطراف، ومفصولة بمسافة تقدر بحوالي ٢-٣ ميكرومتر، ويرتبط بعضها مع بعض بشبكة من الأُنيبيبات Tubules التي تتفرع بكثرة لربط الأوعية المفلطحة معًا. هذه الأغشية مليئة بمواد سائلة، وينشأ عنها عدد من الحويصلات هي:

١- حويصلات مغطاة بطبقة مرنة من بروتين الكلاثرين Clathrin، تنشأ من نهايات الأُنيبيبات.

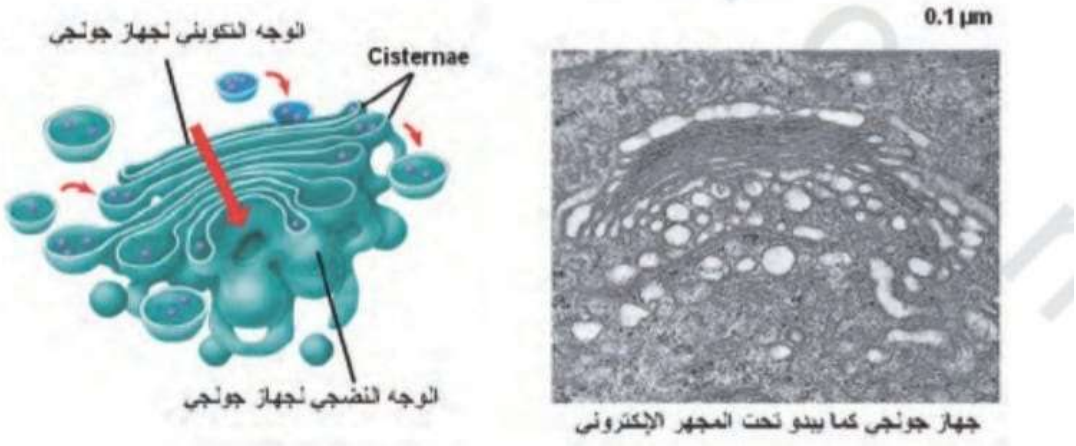
٢- حويصلات ملساء غير مغطاة تنشأ أيضًا من نهايات الأُنيبيبات.

٣- حويصلات إفرازية أكبر حجمًا من النوعين السابقين، وتنشأ من نهايات الأغشية الطبقية للسطوح المفلطحة للأوعية المفلطحة الخازنة، وتسمى أحياناً "الأجسام المحللة الأولية" أو اللايسوسومات Lysosomes والتي تنشأ عنها لايسوسومات الخلية.

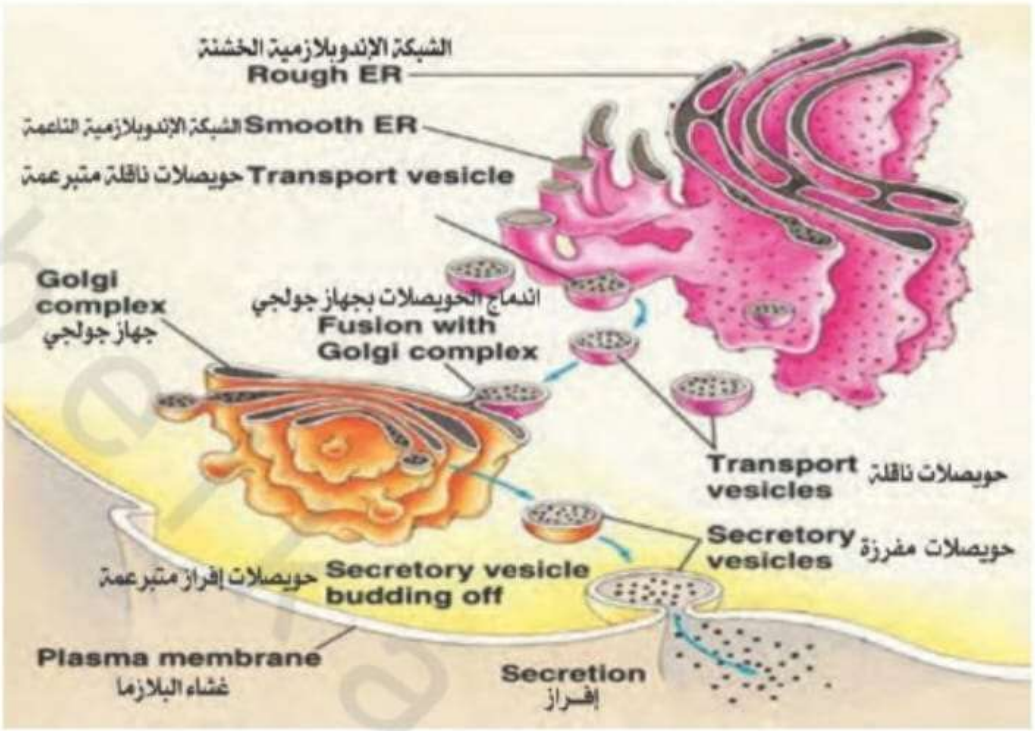
تختلف الخلايا من حيث محتواها من أجسام جولجي، إلا أن العدد الطبيعي في معظم الخلايا يكون بين (٢٠ – ١٠٠) دكتيوسوم في كل خلية، ويزداد العدد في الخلايا الغدية التي تنتج الإفرازات كالبنكرياس، كما يبلغ العدد نحو عدة مئات من

الدكتيوسومات في الخلية النباتية، لاسيما خلايا القلنسوة (قبعة الجذر) Root Cap، وقد تختفي الدكتيوسومات تماماً في بعض الخلايا، كخلايا الدم الحمراء.

تحتوي كل وحدة من جهاز جولجي على وجهين: أحدهما محدب يسمى وجه التكوين Forming Face، والآخر مقعر ويسمى الوجه الناضج Maturing Face، حيث يكون وجه التكوين قريباً من الغلاف النووي والشبكة الإندوبلازمية، ويبدأ نشوؤه من تجمع واندماج مجموعة من الحويصلات التي يعتقد أنها جاءت أساسًا من النواة أو من الشبكة الإندوبلازمية، حيث تساهم تلك الحويصلات في بناء ونمو الدكتيوسوم الواحد لتصل إلى مرحلة النضج كلما اقتربت من الوجه الناضج. أما الوجه الناضج فيكون بعيداً عن النواة وقريباً من غشاء البلازما، ومنه تتكون الحويصلات الناضجة والتي تظهر على شكل حويصلات دائرية، لا تلبث أن تتبرعم وتنفصل عن الدكتيوسوم لتبدأ عملها داخل الخلية. إن أغشية جهاز جولجي تشبه في خواصها أغشية الشبكة الإندوبلازمية والنواة، وهذا ما يرجح القول السائد بأن جهاز جولجي قد نشأ من الحويصلات الغشائية الناتجة عن الغلاف النووي المتصل بالشبكة الإندوبلازمية، أو من الحويصلات الناقلة للبروتينات من الرايبوسومات إلى الشبكة الإندوبلازمية الخشنة، ومنها تنطلق إلى السيتوبلازم لبدء تكوين جهاز جولجي، وهناك أدلة تبرهن على ذلك من خلال دراسات صور المجهر الإلكتروني.



الشكل رقم (٢٧). جهاز جولجي.



الشكل رقم (٢٨). العلاقة التركيبية والوظيفية بين كل من الشبكة الإندوبلازمية وجهاز جولجي وغشاء الخلية.

وظائف جهاز جولجي Functions of Golgi Apparatus

يمكن تلخيص أهم الوظائف الأساسية لجهاز جولجي في الآتي:

١- يعمل جهاز جولجي على تجميع ومعالجة الجزيئات المنتقلة إليه عبر قنوات الشبكة الإندوبلازمية، ثم توزيعها إلى أجزاء الخلية المختلفة.

٢- يعمل على معالجة المواد العضوية كالبروتينات والكربوهيدرات لتكوين مشتقات جديدة كالبروتينات السكرية Glycoprotein، وكذلك اتحاد الدهون والكربوهيدرات لتكوين الدهون السكرية Glycolipids.

٣- يلعب دورًا أساسيًا في تكوين الصفيحة الوسطى في الخلية النباتية في أثناء الطور النهائي من الانقسام الخلوي.

٤- يفرز مواد لزجة بتركيز عالٍ خارج خلايا قلنسوة الجذر، مما يساعد على انزلاق خلايا القمة النامية للجذر داخل حبيبات التربة.

٥- يقوم جهاز جولوجي بإفراز إنزيم الزايموجين Zymogen الذي يحتوي على إنزيمات هاضمة محللة للبروتينات والدهون والكربوهيدرات في خلايا الأمعاء.

٦- يساهم جهاز جولجي في عملية تكوين الأجسام المحللة الأولية Primary Lysosomes.

٧- يساهم في تخليص الخلية من الماء الزائد، حيث يتجمع الماء في حويصلات جهاز جولجي ثم تتحد تلك الحويصلات مكونة الفجوة المنقبضة Contractile Vacuole التي تتحد مع غشاء الخلية وتنفجر إلى الخارج.

الأجسام المحللة (اللايسوسومات)

Lysosomes

اللايسوسومات عبارة عن حويصلات كروية الشكل، صغيرة الحجم، يتراوح قطرها بين ٠,٢٥ - ٠,٥ مايكرومتر، تنتشر داخل السيتوبلازم. تتكون اللايسوسومات عن طريق اندماج حويصلات النقل التي تبرعمت وانفصلت من الوجه الناضج لجهاز جولجي. هذه الحويصلات خالية من التراكيب الداخلية، وتحتوي بداخلها على إنزيمات محللة Hydrolytic Enzymes ومن هنا جاءت تسميتها بالأجسام المحللة؛ فهي المسئولة عن تحلل معظم الجزيئات الكبيرة في الخلية، وكذلك تحلل الخلية الذاتي Autolysis بعد موتها بفعل إنزيمات خلوية داخلية تعرف بإنزيمات التحلل الذاتي Autolysis Enzymes، ومنها جاءت أهمية تطوير المثبتات لحفظ الخلايا على هيئتها بعد موتها حتي يتسنى للعلماء دراسة الخلايا بشكل أفضل. يبلغ الأس الهيدروجيني pH داخل اللايسوسومات حوالي ٤,٨ وتحافظ على درجة حموضتها بضخ أيونات الهيدروجين إلى داخلها مستخدمة الطاقة الناتجة عن تحلل مركب ATP. إن الغشاء المحيط باللايسوسومات يعزل محتواها من الإنزيمات، ويمنع تأثر الخلية بها. وتوجد الإنزيمات المحللة متصلة بغشاء اللايسوسوم أو مذابة داخله، ولا توجد هذه الإنزيمات عادة في السيتوبلازم. وقد تم اكتشاف اللايسوسومات بوساطة العالم الفرنسي كريستيان دي دوف Chridstian De Duve عام ١٩٥٠م، عندما كان

يعمل على تقنية إنزيم الفوسفاتيز الحامضي Acid Phosphatase في أكباد الفئران. وقد حاز على جائزة نوبل عام ١٩٧٤م تكريماً له على هذا الاكتشاف.

قارب عدد إنزيمات التحلل المائي المكتشفة في الأجسام المحللة حوالي ستين إنزيماً، من أهمها إنزيمات النيوكليز Nucleases والبروتيز Proteases والليبيز Lipases والفوسفاتيز الحمضي Acid Phosphatases وغيرها. ولا يعني هذا أن جميع الإنزيمات توجد في لايسوسوم واحد. توجد اللايسوسومات في معظم أنواع الخلايا إلا أنها تكثر في الخلايا التي تقوم بنشاط ابتلاعي مثل الخلايا الأكولة Macrophages وخلايا الدم البيضاء Leukocytes.

وتصنف الأجسام المحللة كما في الشكل رقم (٢٩) تبعاً لمراحل تكوينها وتفاعلها مع مكونات الخلية الأخرى إلى ثلاثة أشكال هي:

١- الأجسام المحللة الأولية Primary Lysosomes

يتم بناء إنزيماتها في الشبكة الإندوبلازمية، ثم تنتقل لجهاز جولجي، حيث تتم معالجتها، ثم تجميعها داخل حويصلات غشائية تحتوي على تلك الإنزيمات (إنزيمات التميؤ أو التحلل)، والتي لا تلبث أن تنفصل عن الوجه الناضج لجهاز جولجي.

٢- الأجسام المحللة الثانوية أو الفعالة Secondary or Active Lysosomes

وتمثل تلك الفجوات الناتجة عن اتحاد الأجسام المحللة الأولية مع فجوات خلوية أخرى مكونة فجوات مشتركة. وبناءً على مصدر تلك الفجوات قسمت الأجسام المحللة الثانوية إلى قسمين، هما:

أ) الأجسام المحللة الثانوية المتباينة Heterolysosomes: وهي أجسام محللة ثانوية ناتجة عن اتحاد أجسام محللة أولية مع فجوات خلوية ناتجة عن إدخال خلوي Endocytosis مثل عمليات البلع الخلوي Phagocytosis.

ب) الأجسام المحللة الثانوية الذاتية Autolysosomes: وهي أجسام محللة ثانوية ناتجة عن اتحاد أجسام محللة أولية مع فجوات خلوية تكونت داخل الخلية كإحاطة اللايسوسوم بالعضيات الخلوية الميتة كالميتوكوندريا أو الشبكة الإندوبلازمية.

٣- الأجسام المحللة النهائية Telolysosomes

وهي الفجوات المتخلفة من الأجسام المحللة الثانوية، والتي تحتوي على بعض المخلفات التي لم يتم هضمها بوساطة إنزيمات التحلل، ولهذا يطلق على مثل تلك الأجسام المحللة النهائية بالأجسام المتخلفة أو الكثيفة Residual or Dense Bodies والتي يتم التخلص منها عن طريق عملية الإفراز أحيانًا، أو قد تبقى داخل الخلية لفترة طويلة من الزمن، وتساهم في تقدم عمر الخلية.

وظائف الأجسام المحللة Functions of Lysosomes

هناك عدة وظائف للأجسام المحللة منها:

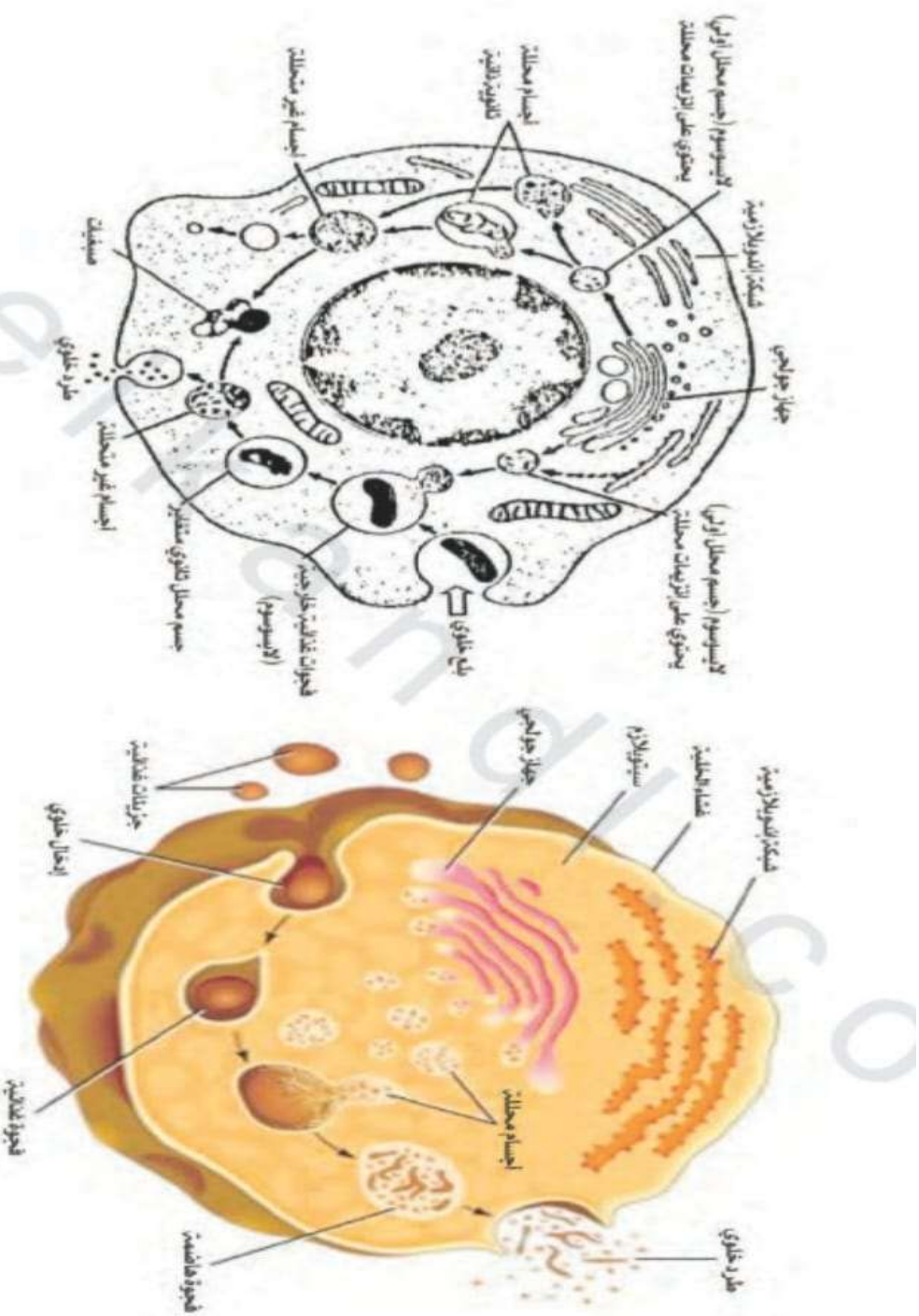
١- تساعد الأجسام المحللة في عملية الدفاع عن الجسم والقضاء على الميكروبات، كما يحدث عندما تهاجم خلايا الدم البيضاء الميكروبات وتبتلعها وتحللها داخليًا بمساعدة الإنزيمات الهاضمة.

٢- تفرز الأجسام المحللة في خلايا الجهاز الهضمي إنزيمات محللة تساعد على هضم المواد الغذائية.

٣- تفرز الأجسام المحللة في الخلية الحيوانية بعد موتها إنزيمات تساعد على سرعة تحللها.

٤- تساهم الأجسام المحللة في عمليات الإخصاب Fertilization، حيث يحتوي رأس الحيوان المنوي على تركيب حويصلي يعرف بالجسم القمي أو الأكروسوم Acrosome والذي يطلق عليه أحيانًا الجسم المحلل العملاق Giant Lysosome والذي يحتوي على إنزيمات محللة تساعد الحيوان المنوي على تحليل الغلاف المحيط بالبويضة، ليتمكن من اختراقها وإتمام عملية الإخصاب.

٥- تلعب الأجسام المحللة دورًا مهمًا في عمليات التحول Metamorphosis التي تحدث في بعض أنسجة الكائنات الحية، كاختفاء ذيل أبي ذنيبة، أو عمليات الانسلاخ في الحشرات.



الشكل رقم (٢٩). الأجسام المحللة.

الميتوكوندريا

Mitochondria (mt)

الميتوكندريا عضيات سيتوبلازمية تلعب دورًا أساسيًا في عملية التنفس الخلوي وأكسدة الغذاء وتحرير الطاقة اللازمة للفعاليات الخلوية المختلفة. وقد اكتشفها العالم السويسري ألبرت كوليكر، وسميت بعدة أسماء، منها بيت الطاقة Power House؛ لأنها تختزن الطاقة على شكل مركب ATP، كما سميت بالأجسام السبحية؛ بسبب شكلها الحبيبي الخيطي، كما يبدو تحت المجهر الإلكتروني وقد سماها البعض عضيات التنفس؛ بسبب طبيعة عملها التنفسية.

لقد ورثنا الميتوكوندريا الموجودة في أجسامنا من أمهاتنا فقط، وهذا يعني أن دنا الميتوكوندريا mtDNA وما به من جينات قد أتت أساسًا من الأم. ولتوضيح ذلك لابد من الإشارة إلى أنه في أثناء عملية الإخصاب فإن الحيوان المنوي بعد أن يحلل جدار البويضة – بمساعدة الإنزيمات المحللة في الأكروسوم الموجود في قمة رأس الحيوان المنوي– تندمج نواته فقط مع نواة البويضة، أما ذيل الحيوان المنوي الذي يحتوي على أعداد هائلة من الميتوكوندريا فيبقى خارجًا، مما يعني أن الميتوكوندريا الموجودة في سيتوبلازم البويضة المخصبة هي ميتوكوندريا الأم، وهذا ما يسمى بالتوارث السيتوبلازمي Cytoplasmic Inheritance.

يتراوح عدد الميتوكوندريا في الخلايا بين واحدة فقط، كما في الطحلب الأخضر ميكروموناس Micromonas، و٢٥٠٠ ميتوكوندريا كما في خلايا الكبد، و٥٠٠,٠٠٠ كما في خلية الأميبا ، وقد تنعدم في بعض الخلايا، مثل خلايا الدم الحمراء. ويزداد عددها في الخلايا الفتية والنشيطة مقارنة بالخلايا البالغة، وتقل تدريجيًا إلى درجة كبيرة في مرحلة الشيخوخة، وهذا فيه دلالة قاطعة على أهميتها في نشاط الخلية.

للميتوكوندريا أشكال وأحجام مختلفة؛ فقد يتراوح طولها بين ٠,٥– ١,٥ ميكرومتر، أما الميتوكوندريا الخيطية فقد يصل طولها إلى ١٢ ميكرومترًا. وتأخذ

الميتوكوندريا أشكالاً مختلفة، تتباين بين الشبكي، أو الحلقي، أو السبحي، أو الصولجاني أو البيضاوي أو الكأسي ...إلخ. وقد يتغير شكلها من شكل لآخر بشكل ديناميكي كما شوهد عند فحص عينة حية تحت المجهر متباين الأطوار Phase Contrast Microscope ولذا فقد يستعمل مصطلح متعددة الأشكال Polymorphic لوصف الميتوكوندريا. ويعزى سبب تعدد أشكال الميتوكوندريا إلى حدوث تغيرات في درجة الأس الهيدروجيني للخلية وفاعلية الخلية الوظيفية وحركة سيتوبلازم الخلية.

تركيب الميتوكوندريا Mitochondria Structure

تتركب الميتوكوندريا كما في الشكل رقم (٣٠) من غشاءين، أحدهما خارجي Outer Membrane أملس لا يحتوي على ثنيات تنفذ من خلاله الجزيئات ذات الوزن الجزيئي الأقل من ٥٠٠٠ كيلو دالتون، كمعظم جزيئات الغذاء، والآخر داخلي Inner Membrane اختياري النفاذية، تنفذ من خلاله الجزيئات ذات الوزن الجزيئي ١٠٠-٥٠٠ كيلو دالتون، ويحيط بفراغ الردهة الداخلية Inner Chamber التي تكون مملوءة بمادة كثيفة لزجة تسمى الحشوة Matrix، وهي مزيج من العديد من المواد البروتينية والدهنية والسكرية والأحماض الأمينية والنووية.

يتميز الغشاء الداخلي بوجود ثنيات كثيرة تمتد إلى داخل الحشوة تسمى الأعراف أو الثنيات Cristae، الغرض منها زيادة مساحة سطح التفاعلات الإنزيمية، كما يتصل بثنيات الغشاء الداخلي أيضًا العديد من الانتفاخات الصغيرة ذات أعناق رفيعة تعرف بالجسيمات الأولية Elementary Particles أو الأكسيسومات Oxysomes، ولهذه التراكيب أهمية كبيرة في زيادة سطح التفاعل، حيث إن معظم الإنزيمات التي تساعد في سلسلة نقل الإلكترونات توجد على السطح الداخلي للغشاء الداخلي.

إن مساحة غشاء الميتوكوندريا الداخلي أكثر بحوالي عشر مرات من مساحة الغشاء الخارجي. وهذه الخاصية تحدد فاعلية الميتوكوندريا الوظيفية؛ فكلما ازدادت الطاقة التي تبذلها الخلية ازداد عدد الثنيات في الميتوكوندريا، فهناك عدد هائل من

الثنيات في ميتوكوندريا العضلات القلبية وعضلات الصدر عند الطيور والحشرات، وكذلك ذيول الحيوانات المنوية، بينما يقل عدد تلك الثنيات في خلايا البشرة أو القصبة الهوائية مثلاً، وتقسم الثنيات الميتوكوندرية إلى نوعين أساسيين، هما الثنيات الحاجزية Septate Cristae، والثنيات الأُنيبيبية (الزغبية) Tubular (Villous) Cristae، ويندرج تحت كل منهما عدة أنواع مختلفة.

يفصل بين الغشاءين الخارجي والداخلي فسحة أو فراغ يسمى الردهة الخارجية Outer Chamber، أو الفسحة بين الغشائية Intramembrane Space التي تمتد إلى داخل الثنيات وتسمى بالفسحة داخل الثنية Intraspace Cristal. تحتوي الميتوكوندريا على جزيء دنا DNA خاص بها Mitochondrial DNA (mtDNA) وهو دنا صغير دائري يشفر لبناء أكثر من ٣٠ نوعًا من بروتينات الميتوكوندريا. وهذا يفسر وجود الرايبوسومات في الميتوكوندريا.

تكاثر الميتوكوندريا Mitochondria Proliferation

يعتقد أغلب العلماء أن الميتوكوندريا تسلك أكثر من طريقة للتكاثر أشهرها الانقسام الثنائي والتبرعم من عضيات الخلية الأخرى.

١- الانقسام الثنائي Binary Fission

لاحظ الباحثون من خلال المجهر الضوئي والإلكتروني هذا النوع من الانقسام؛ حيث تبدأ الميتوكوندريا بالاستطالة طوليًا مع ظهور اختناق (تخصر) في الوسط، ثم تنشطر الميتوكوندريا إلى جزأين، ويتم الانقسام في جميع مراحل الخلية بشكل مستقل عن انقسام الخلية؛ نظرًا لوجود الدنا الخاص بها.

٢- النشوء من عضيات الخلية الأخرى

استطاع العالمان رودن وويلكي الحصول على صور المجهر الإلكتروني تثبت إمكانية نشوء الميتوكوندريا من الشبكة الإندوبلازمية أو الغشاء البلازمي أو الغلاف النووي بطريقة تشبه التبرعم.

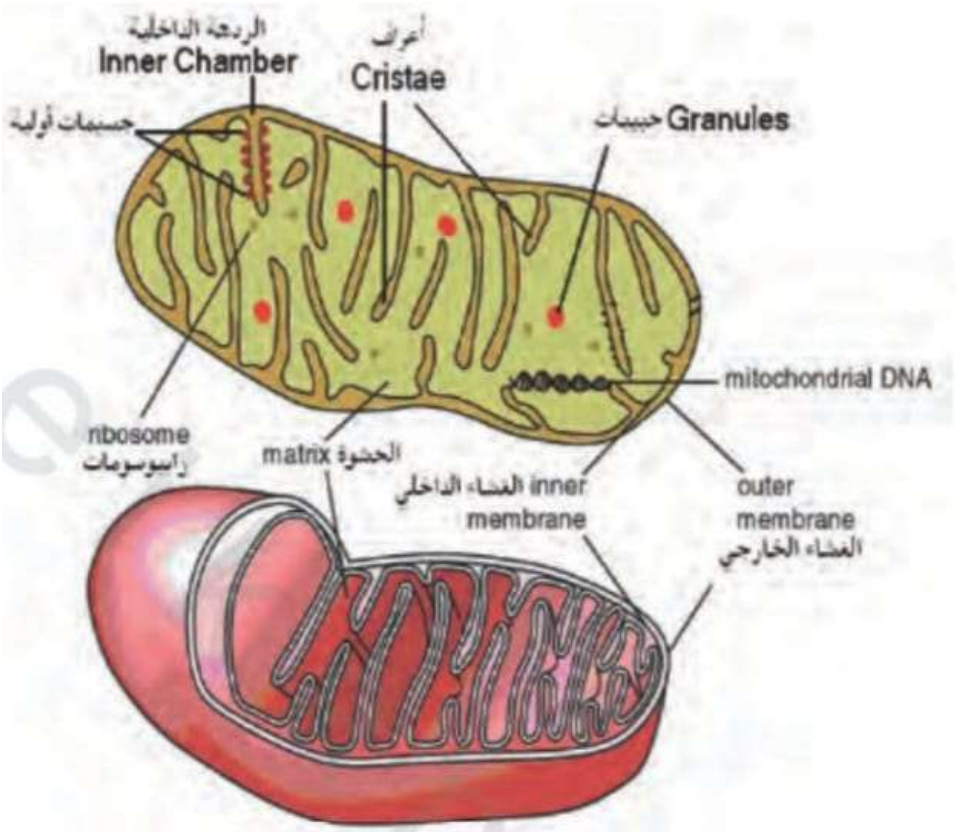
وظائف الميتوكوندريا Functions of Mitochondria

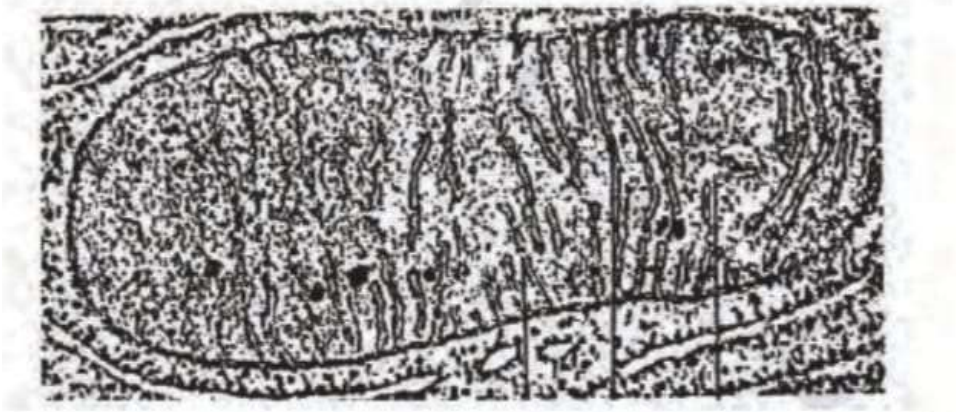
الميتوكوندريا هي المسئولة عن إنتاج الطاقة، حيث يتم تكوين مركب أدينوسين ثلاثي الفوسفات Adenosine Triphosphate (ATP) من خلال أكسدة بعض نواتج المواد الغذائية وخصوصًا السكر والأحماض الدهنية، ففي السيتوبلازم تتحلل السكريات بعملية التحلل السكري Glycolysis إلى بايروفيت Pyruvate الذي يستطيع دخول الميتوكوندريا حيث يكتمل تحليله في وجود الأكسجين ضمن عملية حيوية أخرى تعرف بالتنفس الخلوي لينتج في النهاية ثاني أكسيد الكربون ومركب الطاقة ATP. إن تفاعلات الفسفرة التأكسدية Oxidative Phosphorylation تحدث في الغشاء الداخلي والحشوة. وتعد دورة كربس (دورة حامض الستريك Citric Acid Cycle) أولى مراحل الأكسدة، وفيها تتحلل المركبات إلى ثاني أكسيد الكربون وماء ويتكون مركب ATP. كما تلعب الميتوكوندريا دورًا رئيسًا في تنسيق وتكامل أحداث الموت الخلوي المبرمج Apoptosis.

البلاستيدات

Plastids

تعد البلاستيدات عضيات سيتوبلازمية حية، كبيرة الحجم، قرصية الشكل، واضحة المعالم بالمجهر الضوئي، توجد في سيتوبلازم خلايا النبات والطحالب، لها القدرة على الانقسام والنمو دون الارتباط بعملية انقسام الخلية؛ لأنها مثل الميتوكوندريا تمتلك دنا خاصًا بها Chloroplast DNA (chDNA). وتكون البلاستيدات صغيرة وغير مميزة في الخلايا المرستيمية غير الناضجة (الفتية)، وتسمى البلاستيدات الأولية Proplastids التي قد تنشأ أيضا عن انقسام البلاستيدة الخضراء إلى بلاستيدتين أوليتين.





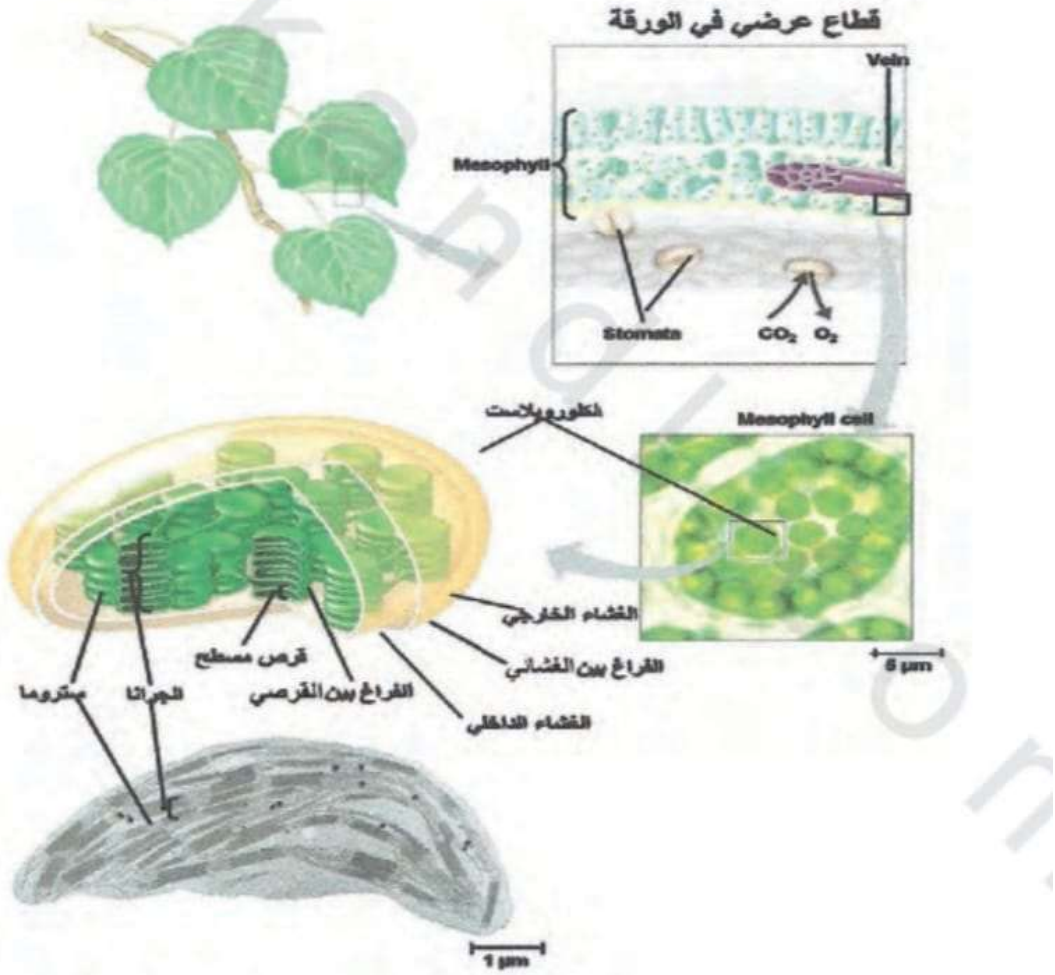
الشكل رقم (٣٠). رسم تخطيطي يوضح تركيب الميتوكوندريا، وفي الأسفل الميتوكوندريا تحت المجهر الإلكتروني.

تتكون البلاستيدة كما هو موضح في الشكل رقم (٣١) من ثلاثة أجزاء،

١- الغلاف Envelope: يتكون الغلاف من غشاءين أحدهما خارجي أ
متعرج، والآخر داخلي به الكثير من الانثناءات والتعرجات والامتدادات الدا
شكل صفائح.

٢- الحشوة Matrix: الحشوة مادة هلامية تسمى كذلك ستروما Stroma، تتركب من بروتينات ودهون وسكريات وإنزيمات نقل الطاقة وعدد من الرايبوسومات.

٣- الأقراص المسطحة Thylakoids: الأقراص المسطحة تتجمع لتكون الجرانا Granna، وهي عبارة عن عدد من الأشكال القرصية المتراصة بعضها فوق بعض وتنتشر في الحشوة كمجموعة إطارات أو قطع معدنية متراكبة يتراوح عددها في البلاستيدة الواحدة بين ١٠ - ١٠٠ مجموعة قرصية، كما يتراوح عدد المجموعة الواحدة بين ٥ - ٥٠ قرصًا. ترتبط هذه المجموعات معًا عن طريق وصلات من الصفائح الرقيقة Stroma Lamella.



الشكل رقم (٣١). البلاستيدات الخضراء.

تقسم البلاستيدات - على أساس وجود أو غياب بعض الصبغات - إلى: بلاستيدات عديمة الصبغات تسمى البلاستيدات عديمة اللون، وبلاستيدات ذات صبغات مختلفة تسمى البلاستيدات الملونة Chromoplasts. وتعد البلاستيدات الخضراء Chloroplasts أهم البلاستيدات الملونة التي تحتوي على صبغة الكلوروفيل (اليخضور) Chlorophyll ذات اللون الأخضر بصورة أساسية، وتحمل البلاستيدات الملونة الأخرى صبغات أخرى غير الخضراء. وفيما يلي أنواع البلاستيدات:

أنواع البلاستيدات Types of Plastids

١ - بلاستيدات عديمة اللون Leucoplasts

وتضم مجموعة كبيرة من البلاستيدات الخالية من الأصباغ، ومثل هذا النوع يوجد في الخلايا البعيدة عن ضوء الشمس، مثل درنات البطاطس أو البذور أو الجذور أو خلايا اللب، وقد توجد في خلايا الطبقة الخارجية (البشرة) للأوراق ، ووظيفتها الأساسية تخزين حبيبات النشا Starch Grains، وتوجد عدة أشكال أو صور من هذه البلاستيدات؛ لأنها متغيرة وذات قدرة عالية على التمدد ، وقد تتحول هذه البلاستيدات عديمة اللون من صورة لأخرى حسب نشاط الإنزيمات ونوعها ، وأهم الصور التي تكون عليها هذه البلاستيدات ما يأتي:

أ) البلاستيدات الأولية: وتضم البلاستيدات الموجودة في الخلايا المرستيمية الإنشائية الناتجة عن انقسام الخلية في الأطوار الأولى (الفتية) قبل النضج، وفي الأوراق الأولية التي تنشأ من الفلقة أو الفلقتين والتي تتحول إلى بلاستيدات خضراء عند تعرضها لضوء الشمس.

ب) البلاستيدات البيضاء أو الشاحبة: وهي البلاستيدات المحرومة من ضوء الشمس، حيث تختفي صبغة الكلوروفيل من البلاستيدات الخضراء في الأجزاء البعيدة عن ضوء الشمس، وتصبح البلاستيدات عديمة اللون.

ج) البلاستيدات الخازنة للنشا Amyloplasts : تعمل هذه البلاستيدات على تحويل السكر إلى نشا ثم خزنه داخلها، ويسمى النشا المخزون، وهو ذو حبيبات كبيرة الحجم

قليلة العدد، خلافًا للنشا المنقول المتكون في البلاستيدات الخضراء ذات الحبيبات صغيرة الحجم وكثيرة العدد. وتحوي هذه البلاستيدات إنزيمات تقوم بتحويل سكر الجلوكوز إلى نشا بمساعدة بعض الإنزيمات.

د) البلاستيدات الخازنة للدهون: وهي بلاستيدات تقوم بتخزين المواد الدهنية كالقطرات الدهنية والزيتية، وقد تتكون داخلها بعض الحبيبات النشوية أيضًا.

هـ) البلاستيدات الخازنة للبروتين: وتقوم بتخزين المواد البروتينية على شكل حبيبات بروتينية.

٢- بلاستيدات ملونة Chromoplasts

وتضم أنواعًا من البلاستيدات ذات ألوان مختلفة عدا اللون الأخضر وتحتوي على عدد من الصبغات مثل الكاروتين Carotene والزانثوفيل Xanthophyll وغيرها بتراكيز مختلفة، وهي المسئولة عن اللون الأصفر والبرتقالي والأحمر، وغير ذلك من الألوان الموجودة في الأزهار والثمار، وقد توجد في الجذور كما في الجزر. تمتاز البلاستيدات الملونة بقدرتها على التمدد تبعاً لوضع الصبغات التي قد تتبلور بداخلها. ويعتقد أن وظيفة البلاستيدات الملونة هي جذب الحشرات إلى الأزهار؛ لتسهيل عملية تلقيحها.

٣- بلاستيدات خضراء Chloroplasts

تتلون البلاستيدات الخضراء باللون الأخضر؛ بسبب وجود صبغات الكلوروفيل الخضراء. وتوجد في الأوراق وجميع أجزاء النباتات الخضراء، وتوجد أيضًا في الأجزاء النباتية البعيدة عن ضوء الشمس، كالخلايا البرنشيمية للأنسجة الوعائية. تتباين البلاستيدات الخضراء في الطحالب من حيث الشكل والعدد، حيث توجد بلاستيدة واحدة أو اثنتان ذواتا شكل حلزوني كما في في خلية طحلب السبيروجيرا، أو كأسي كما في طحلب الكلاميدوموناس، أو شريطي في صورة حزم كما في طحلب اليولوثركس.

إن البلاستيدات الخضراء تعتمد على الكلوروفيل في إنجاز عملية البناء الضوئي Photosynthesis التي تجعل النبات ذاتي التغذية Autotrophy.

آلية عملية البناء الضوئي Photosynthesis Mechanism

تتم عملية البناء الضوئي على مرحلتين منفصلتين لكنهما مرتبطتان، إحداهما تعرف بتفاعلات الضوء، والأخرى بتفاعلات الظلام.

١- تفاعلات الضوء Photochemical Reaction

تعرف بالتفاعلات الكيموضوئية، وتتطلب وجود الضوء، وتتم في الأوراق الخضراء في أغشية الجرانا داخل البلاستيدات، وتتطلب وجود الكلوروفيل والأصباغ الأخرى. يتم فيها تحويل الطاقة الضوئية إلى كيميائية على شكل ATP&NADPH التي تحتوي على طاقة كيميائية كامنة يمكن تحريرها بوساطة تفاعلات الأكسدة.

٢- تفاعلات الظلام Thermochemical Reaction

تعرف بالتفاعلات الكيموحرارية، ولا تتطلب وجود الضوء، وتتم في أغشية الحشوة فقط. ولا تتطلب وجود الكلوروفيل والأصباغ الأخرى. يتم في تفاعلات الظلام اختزال CO_2 وبناء سكريات بسيطة بمساعدة الإنزيمات.

يتم في عملية البناء الضوئي تحويل العناصر الأولية مثل الكربون والأكسجين والهيدروجين بالإضافة للعناصر الأخرى كالنيتروجين والكبريت، والتي يحصل عليها من الماء أو من عملية تبادل الغازات إلى مركبات عضوية مختلفة كالكربوهيدرات والدهون والسكريات وغيرها، وتنتج الطاقة اللازمة للنبات من عمليات الأكسدة التنفسية لمركبات الطاقة حسب المعادلة التالية:

$$\text{Sun Light} + CO_2 + H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + O_2\uparrow + H_2O$$

إن عملية البناء الضوئي وإنتاج الطاقة عملية معقدة، وتحتاج إلى مكونات عديدة، وتتأثر بعوامل عدة، منها درجة الحرارة والرطوبة وتركيز ثاني أكسيد الكربون.

الجسم المركزي

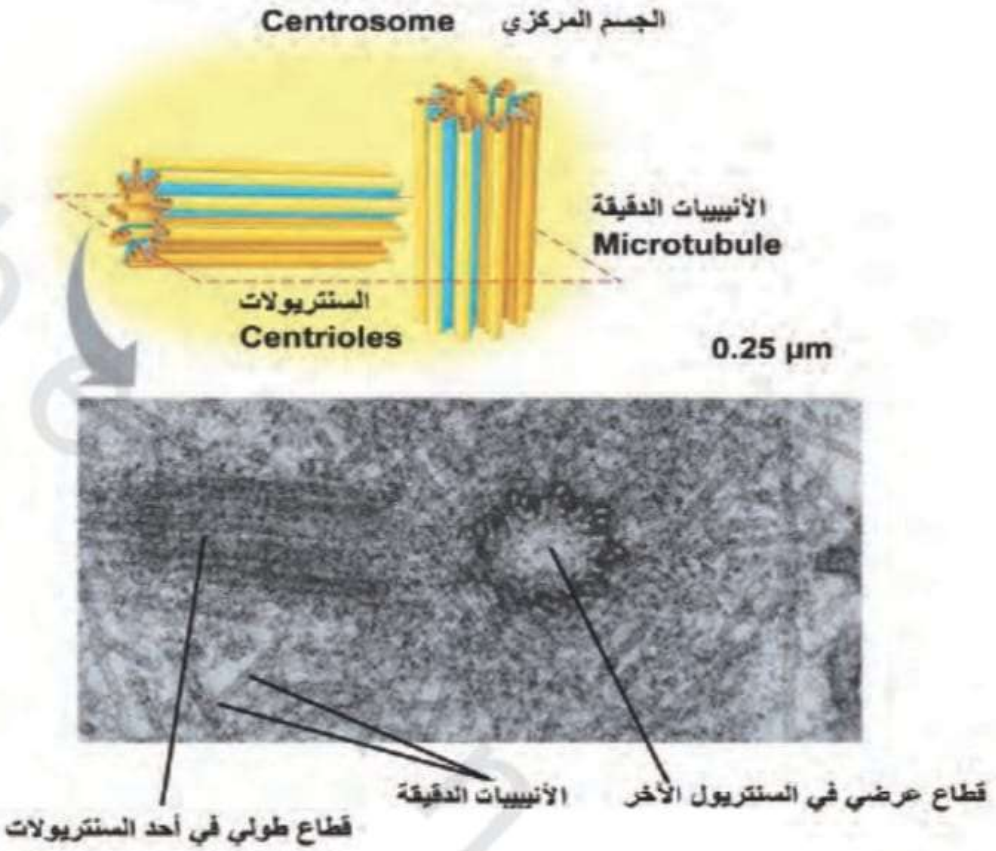
Centrosome

الجسم المركزي أو مركز الانقسام هو أحد التراكيب السيتوبلازمية، والذي يلعب دورًا مهمًا في انقسام الخلية الحيوانية. يقع الجسم المركزي في خلية الدور البيني بالقرب من النواة، ويحيط به العديد من الخييطات على شكل أشعة تعرف بالأشعة النجمية Astrosphere. يوجد الجسم المركزي في الخلايا الحيوانية. كما أثبتت الدراسات أيضًا وجوده في خلايا معظم الطحالب – عدا الحمراء منها كما يوجد في خلايا الأشنات.

تُظهر صور المجهر الإلكتروني أن الجسم المركزي يتركب من حبيبتين مركزيتين على شكل أسطوانتين متعامدتين طول كل منهما حوالي ٠,٣ – ٠,٥ ميكرومتر، والقطر حوالي ٠,١ – ٠,٢ ميكرومتر، وتعرف بالمريكز (السنتريول) Centrioles أو الجسم الثنائي Diplosome، والذي يحيط به منطقة شفافة تليها منطقة كثيفة.

يتكون كل سنتريول من تسع مجموعات متشابهة ومتوازية، وتتكون كل مجموعة من ثلاث أنيبيبات دقيقة مرتبطة معًا ومحاطة بمادة غروية تثبتها في مكانها؛ فهي ليست محاطة بغشاء خارجي (الشكل رقم ٣٢).

يوجد في الخلية في أثناء الدور البيني Interphase زوج واحد من السنتريولات، والذي له القدرة على التضاعف الذاتي في أثناء مرحلة التضاعف الدنا من الدور البيني S-Phase، حيث تنفصل الحبيبتان المركزيتان إحداهما عن الأخرى في أثناء المرحلة التمهيدية، وتتجه كل منهما إلى أحد قطبي الخلية الانقسامية، وتخرج بالقرب منهما ألياف المغزل وتحديداً من المنطقة الشفافة، لذا فإن الجسم المركزي يلعب دورًا ثانويًا في تكوين ألياف المغزل؛ بدليل تكون ألياف المغزل في الخلايا النباتية الخالية من الجسم المركزي.



الشكل رقم (٣٢). تركيب الجسم المركزي كما يبدو بالمجهر الإلكتروني.

الأجسام البيروكسية

Peroxisomes

الأجسام البيروكسية هي أحد أنواع الأجسام الدقيقة Microsomes وتعتبر من المكونات الغشائية السيتوبلازمية الدقيقة التي نشأت مباشرة من الشبكة الإندوبلازمية عن طريق التبرعم. يبلغ قطرها ٠,٥ – ١,٥ ميكرومتر، وهي تشبه اللايسوسومات فهي غنية بإنزيمات معينة تم تصنيعها بوساطة الرايبوسومات، مثل البيروكسيديز Peroxidase والكاتاليز Catalase والأكسيديز Oxidase، وتوجد الأجسام البيروكسية في كثير من الخلايا الحيوانية، ومنها الفقاريات والأوليات والخميرة، وكثير من خلايا النباتات الراقية، ويتراوح عددها في الخلية الواحدة بين ٧٠ – ١٠٠ وحدة، وتوجد

بشكل فردي أو ثنائي أو على شكل مجاميع عنقودية. يعتمد عمل إنزيماتها على نوع وجنس الخلية والظروف الفسيولوجية المحيطة بها، كما يعد وجودها ضروريًا لجميع الكائنات الحية المعتمدة على التنفس الهوائي Aerobics، حيث يتم اختزال جزيء أكسجين في أثناء التنفس الهوائي إلى جزيئي ماء من خلال قبولها أربعة إلكترونات، ولكنها تتحول – في حالة قبولها إلكترونين فقط – إلى فوق أكسيد الهيدورجين Hydrogen peroxide (H_2O_2) السام للخلية من خلال فاعلية إنزيم فوق أكسيد الدسميوتيز Superoxide dismutase، ولكن الخلية تحمي نفسها بإنزيم الكتاليز الذي يحلل فوق أكسيد الهيدورجين إلى ماء وأكسجين.

من وظائف الأجسام البيروكسية:

١- إنتاج وتكسير مركب فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 .

٢- إزالة سمية بعض المركبات الضارة.

٣- أيض المواد النيتروجينية.

٤- تحويل الدهون المخزنة في البذور إلى سكريات في أثناء عملية الإنبات.

الفجوات الخلوية

Cell Vacuoles

الفجوة عبارة عن كيس غشائي سيتوبلازمي يسمى الغشاء الفجوي Vacuolar Membrane، وهو مملوء بسائل مائي يحتوي على مواد عضوية ولاعضوية، وتوجد في الخلايا الحيوانية والنباتية، وتكون متميزة في الخلية النباتية، إذ تكون كبيرة الحجم، وقد تملأ جوف الخلية بالكامل مقارنة بالخلية الحيوانية التي تكون فجواتها صغيرة جدًا وقليلة ومتباعدة في حالة وجودها.

إن الفجوات ذات منشأ ووظائف مختلفة، فهناك الفجوات الناقلة التي تنشأ من الشبكة الإندوبلازمية أو جهاز جولجي، وهناك الفجوات المنقبضة Contractile Vacuoles

في خلايا بعض الأوليات Protozoa ذات الوظيفة الإفرازية؛ إذ يتم من خلالها طرد الماء والفضلات الزائدة عن حاجة الخلية، كما أن لبعض البدائيات فجوات غذائية تحوي بداخلها مواد غذائية، كما تحتوي الخلايا النباتية على فجوات عصارية تحوي بداخلها عصيرًا خلويًا (الشكل رقم ٣٣)، وتختلف الفجوات العصارية من حيث العدد والحجم باختلاف أنواع الخلايا وأعمارها، فالخلايا المرستيمية والفتية غير الناضجة تكون ممتلئة بالسيتوبلازم الذي يشكل ٩٠٪ من حجم الخلية، وفيه العديد من الفجوات، وعندما تتقدم الخلية في العمر تلتحم هذه الفجوات معًا، وتكون فجوة واحدة مركزية تشكل ٩٠٪ من حجم الخلية.

وظائف الفجوات الخلوية Functions of Cell Vacuoles

١- تجميع نواتج التفاعلات الأيضية كالسكريات والأحماض العضوية...إلخ وبعض المركبات السامة وفصلها عن البروتوبلازم.

٢- إفراز وإخراج المواد والفضلات الزائدة.

٣- المحافظة على الضغط الأسموزي للخلية كما في الأوليات.

٤- تخزين بعض المركبات الحيوية المهمة واستخدامها وقت الحاجة في عمليات بناء الخلية.

الشكل رقم (٣٣). الفجوة العصارية.

الهيكل السيتوبلازمي

Cytoskeleton

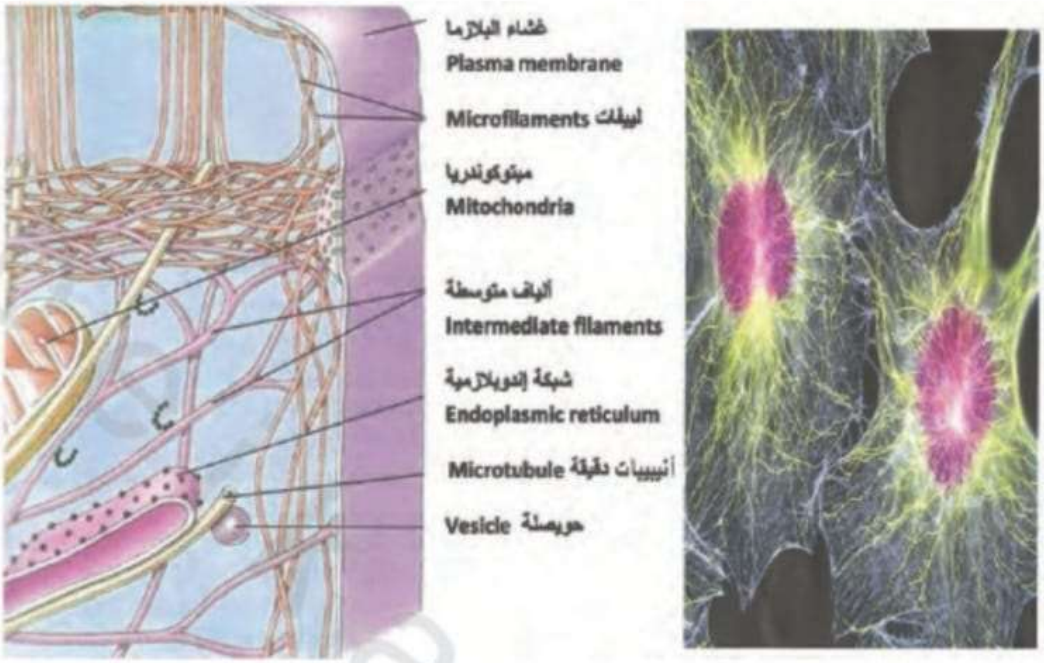
يطلق على الهيكل السيتوبلازمي الهيكل الدعامي للخلية، ويقصد به تلك الشبكة المكونة من تراكيب ليفية من الخيطات والأنيبيبات الدقيقة المنتشرة في سيتوبلازم الخلايا حقيقية النواة لتكسبه نوعًا من الدعامة والصلابة، كما تقوم كذلك بتثبيت عضيات سيتوبلازمية وتحريك أخرى كالميتوكندريا، كما تساهم في العديد من الوظائف الحيوية كتحريك الأهداب والأسواط والحيوانات المنوية وجريان السيتوبلازم والانقسام الخلوي...إلخ.

يبدو الهيكل السيتوبلازمي تحت المجهر الإلكتروني مكونًا من:

١- ألياف دقيقة Microfilaments: هي ألياف الميوسين Myosin السميكة (١٣-٢٢ نانومتر) وألياف الأكتين Actin الرفيعة (٥ - ٧ نانومتر)، والتي توجد على شكل شبكة من الألياف تحت الغشاء الخلوي وتلعب دورًا كبيرًا في انقباض الخلايا وحركتها، وكذلك تحديد بنية الخلية.

٢- أنيبيبات دقيقة Microtubuls: تكون أسطوانية مجوفة غير متفرعة، قطرها حوالي ٢٥ نانومتر، ويدخل في تركيبها بروتين التبيولين Tubulin. توجد بشكل مفرد أو مزدوج أو على شكل حزم.

٣- ألياف متوسطة Intermediated Fibers: تتكون من عدة خيطات أولية ملتفة حول محورها، وتركيبها ثابت غير متغير، كما يحدث في النوعين السابقين اللذين قد يزيد طولاهما أو يقل حسب طبيعة الوظيفة التي تؤديها. إن من أهم وظائف الألياف المتوسطة تدعيم النواة وتحديد شكلها، وكذلك تعمل عمل الروابط بين الخلايا (الشكل رقم ٣٤).



الشكل رقم (٣٤). تركيب الهيكل السيتوبلازمي.

تختلف الخلية الحيوانية عن الخلية النباتية في عدة نواحٍ يمكن إيجازها في الجدول رقم (٦).

الجدول رقم (٦). أهم الاختلافات بين تركيب الخلية الحيوانية والنباتية.

الخليـــة الحيوانيـــة	الخليـــة النباتيـــــة
لا يوجد جدار خلوي ولكن يوجد غشاء بلازمي	يوجد جدار خلوي مكون من السليلوز يليه من الداخل غشاء بلازمي
لا توجد بلاستيدات	توجد بلاستيدات
فجواتها صغيرة إن وجدت	تحتوي على فجوة واحدة كبيرة مركزية
يوجد جسم مركزي	لا يوجد جسم مركزي
لا تحتوي على أجسام محللة	تحتوي على أجسام محللة
غالباً النواة مركزية	النواة جانبية