الفصل الثانى

الخلية . . التركيب والوظيفة

- المجهر .
- بدائيات وحقيقيات النواة .
- النواة .
- الشبكة الأندوبلازمية .
- الريبوسومات .
- جهاز جولجى .
- الليسوسومات .
- الميتوكوندريا .
- البلاستيدات .
- هيكل الخلية .
- السنترسوم .
- الفجوات .
- الأغشية الخلوية .
- الجدار السليلوزى .

obeikandl.com

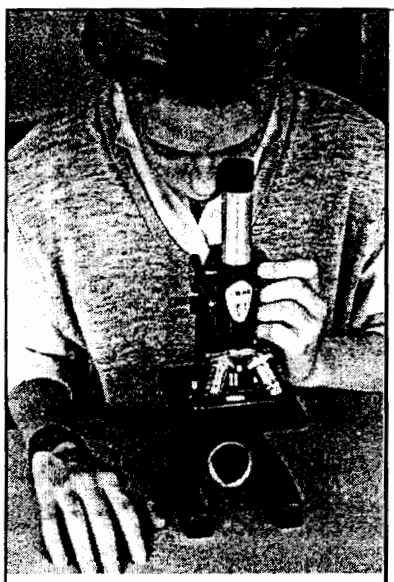
الخلية The cell

الخلية هى الوحدة التركيبية والوظيفية للحياة ، وتتكون جميع الأنسجة والأعضاء من خلايا ، وتحدث كل الوظائف الحيوية فى الكائنات وحيدة الخلية داخل حدود هذه الخلية المجهرية ، ولا ترى الخلايا بالعين المجردة باستثناء البويضات التى تعتبر من أكبر الخلايا المعروفة حجما .

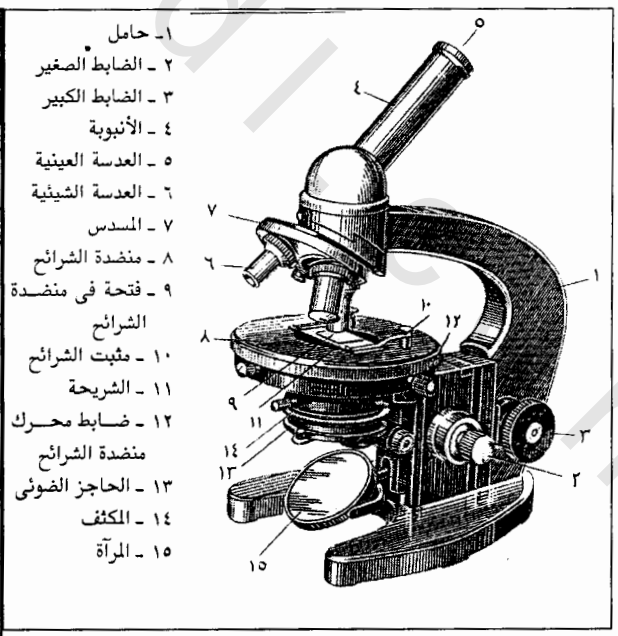
المجهر

بدأت دراسة الخلايا مع بداية اكتشاف المجهر حيث سجل الألمانى ليفنهوك (١٦٧٣ م ـ ١٧٢٣ م) أوصافاً لكثير من الكائنات التى لاحظها باستخدام العدسات المفردة ، ومن هذا التاريخ أصبح تقدم المجهر مقدمة لتقدم دراسة الخلية حتى وضعت النظرية الخلوية الحديثة وهى أن جميع الكائنات الحية تتكون من خلايا . ولقد ساهم المجهر الضوئى والمجهر الإلكترونى على فهم التنظيم الدقيق للخلايا وكذلك ساهمت الوسائل البيوكيميائية والفيزيائية الحديثة فى فهم تركيب ووظيفة الخلية .

* المجهر الضوئى :



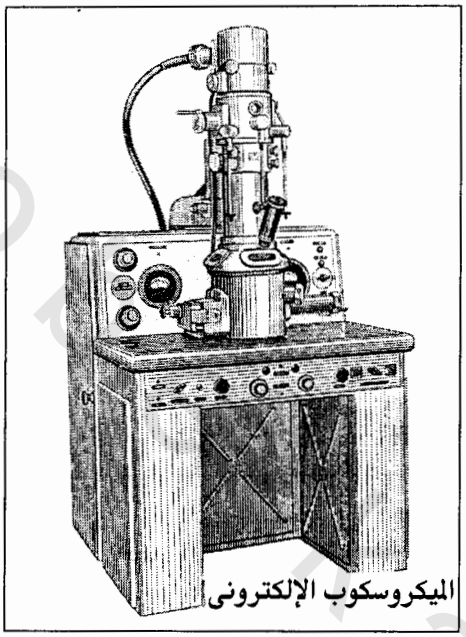
الوضع الصحيح لاستخدام المجهر



١ـ حامل
٢ ـ الضابط الصغير
٣ ـ الضابط الكبير
٤ ـ الأنبوبة
٥ ـ العدسة العينية
٦ ـ العدسة الشيئية
٧ ـ المسدس
٨ ـ منضدة الشرائح
٩ ـ فتحة فى منضدة الشرائح
١٠ ـ مثبت الشرائح
١١ ـ الشريحة
١٢ ـ ضابط محرك منضدة الشرائح
١٣ ـ الحاجز الضوئى
١٤ ـ المكثف
١٥ ـ المرآة

obeikandl.com

يتركب المجهر الضوئى من عدسة شيئية وعدسة عينية على طرفى أسطوانة الجزء العلوى منها متحرك لتعديل المسافة بين العينية والشيئية ، ويتم فحص الأشياء على شريحة زجاجية تثبت على القاعدة فوق ثقب ينفذ منه الضوء الذى تعكسه المرآة ويميز المجهر الضوئى الأبعاد حتى ٢٥٠ نانومتر .



الميكروسكوب الإلكترونى

١ مم = ١٠٠٠ ميكرون

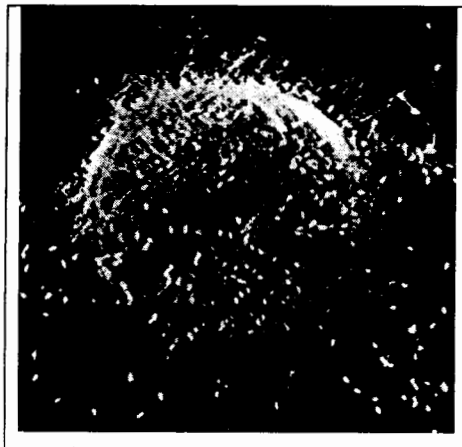
١ ميكرون = ١٠٠ نانومتر

* المجهر الإلكترونى النافذ :

يتم توجيه شعاع من الإلكترونات خلال العينة المراد فحصها (الطول الموجى للشعاع الإلكترونى قصير ويساوى ٠,٠٠٠١ من الطول الموجى للضوء العادى) مما يسمح بقوة تكبير أكبر ، هذا إلى جانب صباغة العينات بأصباغ خاصة تحتوى أيونات عناصر مثل الأوزميوم والرصاص لكى تزيد أيضا الفروق بين التراكيب المختلفة وتشاهد القطاعات وتصور على شاشة فلورسينية .

* المجهر الإلكترونى الماسح :

لا تمر الإلكترونات خلال العينة وإنما تتعرض العينة بأكملها للقذف بالإلكترونات ونتيجة ذلك ترتد من العينة إلكترونات تسجل صورة ثلاثية الأبعاد مما أضاف كثيرًا من المعلومات عن المظاهر الخارجية للخلايا .



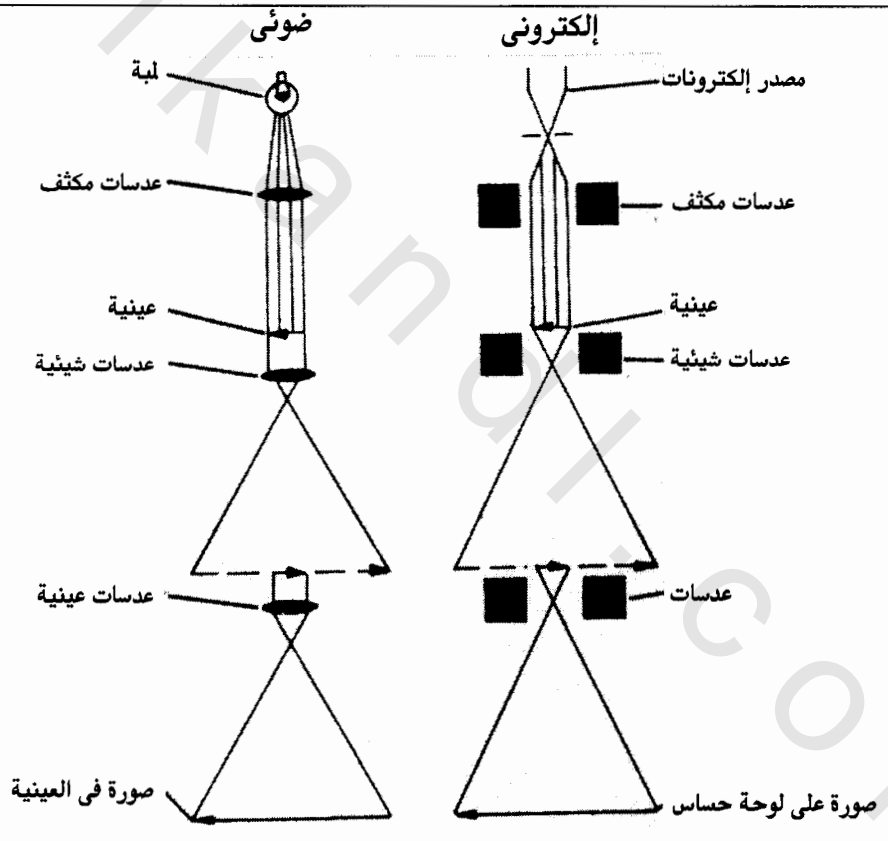
صورة بالمجهر الإلكترونى الماسح توضح التصاق الحيوان المنوى بسطح بويضة قنفذ البحر يخترق حيوان منوى واحد سطح البويضة ، أما الباقى فيمنع دخوله نتيجة للتغيرات السريعة فى سطح البويضة . ويسقط الحيوان المنوى الفاشل سريعًا بعيدًا عن البويضة (مكبرة ١٤٢٥ مرة)

* التقدم فى دراسة الخلية :

بالإضافة إلى المجاهر أدخلت طرق حديثة لصباغة الأنسجة ، كما أن لعضيات الخلية المختلفة كثافات مختلفة ، ولذلك فإن عملية تكسير الخلايا مع بقاء معظم العضيات سليمة باستخدام أجهزة طحن الأنسجة ثم فصل العضيات بالتدرج الكثافى (لعضيات الخلية المختلفة كثافات متباينة) أمكن تحضير عينات نقية لكل عضى على حدة ودراسة وظائفه البيوكيميائية .

وساهمت النظائر المشعة فى إيضاح تفاعلات التمثيل الغذائى ومساراتها داخل الخلية .

مقارنة بين المجهر الإلكترونى والمجهر الضوئى



مقارنة بين المجهر الضوئى والإلكترونى . ففى المجهر الإلكترونى تكون العدسات عبارة عن مغناطيسات لتركيز شعاع الإلكترونات

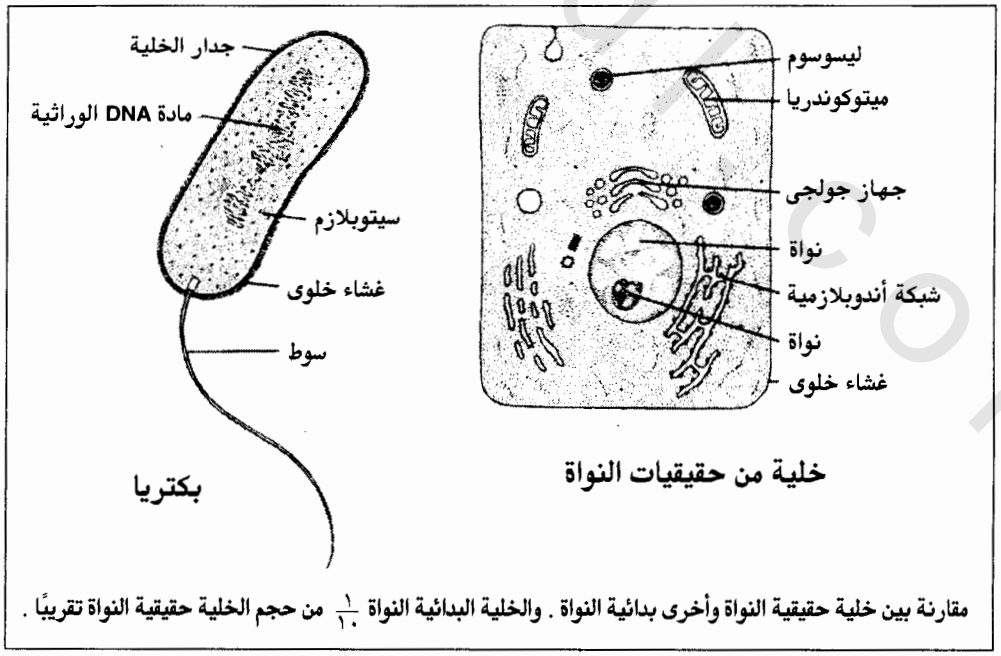
يميز المجهر الإلكترونى الأشياء حتى نانومتر واحد .

* ديناميكية الخلية :

داخل الخلية فى تغير مستمر وعضيات الخلية تتجول وتتجمع داخل السيتوبلازم مع عديد من حبيبات النشا وكريات الدهن وأمكن تصوير مزارع الخلايا الحية فى فترات متباينة وباستخدام الفيديو أمكن مشاهدة الحركة المكوكية السريعة للجزيئات عبر بوابات الغشاء الخلوى ومشاهدة تحولات الطاقة الأيضية داخل عضيات الخلية مما يوضح أن الخلية مجموعة من الأنشطة المنظمة تمثل ظاهرة الحياة .

الخلايا بدائية النواة وحقيقيات النواة Prokaryotic and Eukaryotic

الخلايا بدائية النواة تفتقد الغشاء النووى الموجود فى نواة الخلايا حقيقية النواة وتسمى البكتريا بالكائنات بدائية النواة لأنها تحتوى على كروموسوم واحد مكون من جزىء واحد من DNA (الحمض النووى الديؤكسى ريبوز) وبالتالى فمادة الخلية الوراثية لا يحيط بها غشاء نووى إلى جانب خلو سيتوبلازم بدائيات النواة من العضيات الغشائية مثل الميتوكوندريا وجهاز جولجى والشبكة الأندوبلازمية والبلاستيدات ، ومن بدائيات النواة أيضا الطحالب الخضراء المزرقة Blue green algae والتى تسمى السيانوبكتريا Cyanobacteria .



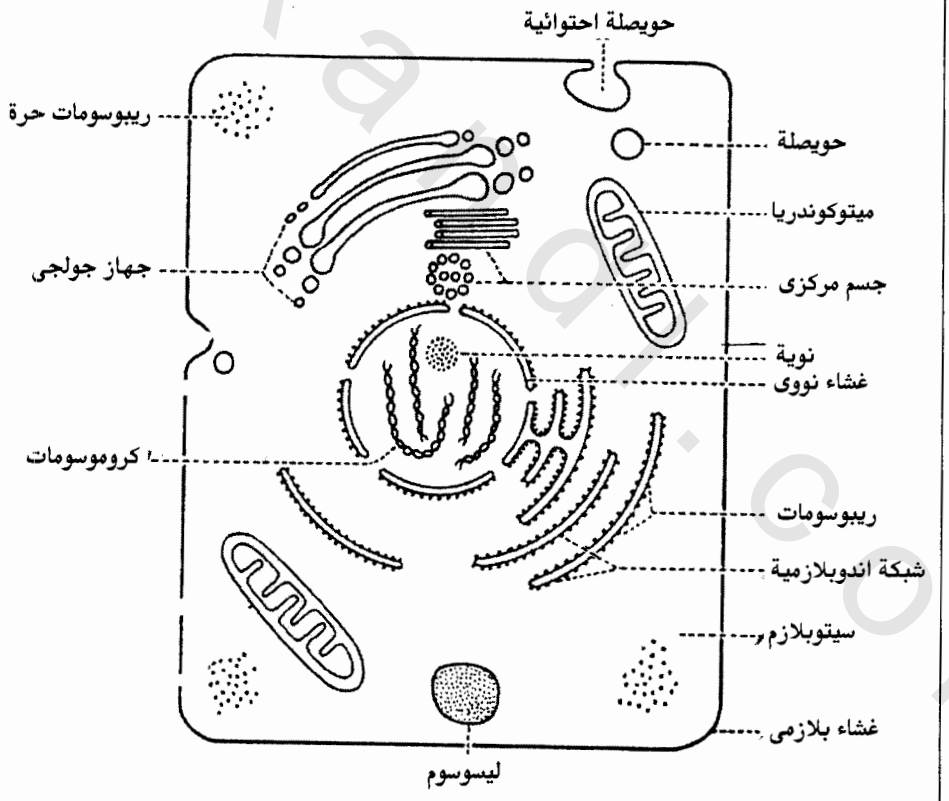
مقارنة بين خلية حقيقية النواة وأخرى بدائية النواة . والخلية البدائية النواة $\frac{1}{10}$ من حجم الخلية حقيقية النواة تقريبًا .

* الخلايا حقيقية النواة :

تحاط الخلية بغشاء بلازمى رقيق متين ذى نفاذية اختيارية مما يسمح بتنظيم انسياب المواد بين الخلايا ـ وتحاط النواة بغشاء نووى مزدوج مثقب يسمح باستمرار الاتصال بين المحتويات النووية والسيتوبلازم وتحتوى النواة على مادة الكروماتين .

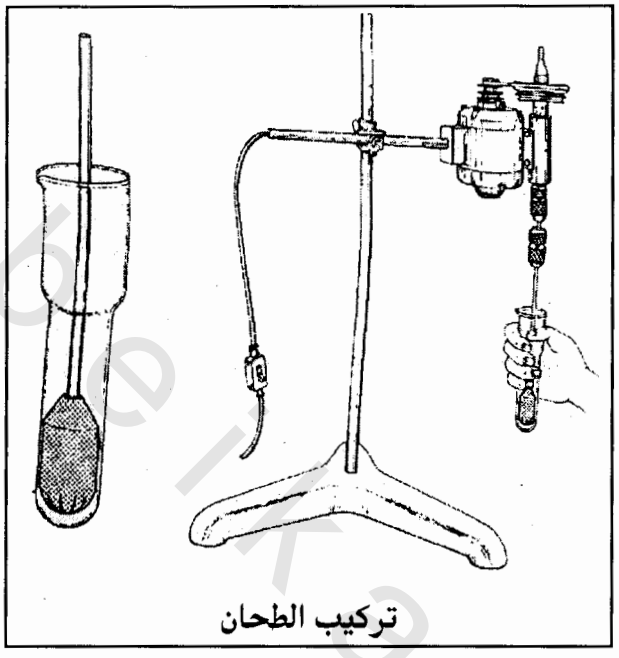
الكروماتين مركب من DNA متعقد مع بروتينات ويشكل مادة الكروموسوم ويمثل المعلومات الوراثية للخلية .

وتحتوى النواة على نوية أو أكثر . ويحتوى السيتوبلازم على عضيات عديدة مثل الميتوكوندريا وأجسام جولجى والأجسام المركزية والبلاستيدات (فى الخلايا النباتية) وأغشية الشبكة الاندوبلازمية التى تحاط غالبا بريبوسومات على أسطحها الخارجية .



(رسم مبسط لتركيب الخلية الحيوانية تحت المجهر الإلكترونى)

* طحن الأنسجة وفصل العضيات الخلوية :



تركيب الطحان

يتم ذلك عن طريق تمزيق الخلايا والحصول على معلق نسيجى يسمى (سائل الطحن) ثم يتم فصل أنواع خاصة من الأغشية باستخدام القوة الطاردة المركزية ويتم تمزيق الخلايا باستخدام الطحان Hemogenizer وهو يتركب من أنبوبة زجاجية تتسع فوهتها ويدور داخلها ساق معدنية تنتهى بقطعة من التفلون (قطعة من اللدائن القوية) ذات قطر أقل قليلاً من قطر الأنبوبة حتى تترك مسافة بينها وبين جدار الأنبوبة ليتم الطحن وتدور الساق المعدنية بواسطة مُحرك .

وتتم عملية الطحن بوضع جزء النسيج مع محلول استخلاص مناسب ثم يدار المحرك ويتم الطحن ونحصل على سائل الطحن مع مراعاة :

١ ـ قوة الطحن : تكون متوسطة فى الخلايا الحيوانية وكبيرة فى البكتريا والخلايا النباتية .

٢ ـ محلول الاستخلاص : يستخدم محلول السكروز ذو الضغط الأسموزى المنخفض فى استخلاص مكونات الخلايا الكبدية .

يستخدم محلول الملح فى استخلاص خلايا الطحال ولا تستخدم المحاليل إلا فى حالات خاصة لأنها تؤدى إلى تكدس الدقائق تحت الخلوية .

فى الأنسجة الأكثر صلابة يتم تبريد النسيج ثم يضغط داخل وعاء ينتهى بثقب ضيق ونتيجة اندفاع النسيج خلال هذا الثقب يتمزق النسيج .

* فصل الأغشية :

بعد أن نحصل على معلق نسيجى مطحون تتحرك فيه الدقائق المعلقة حركة عشوائية تستخدم لفصل هذه الدقائق قوة الطرد المركزى التى تفوق طاقة حركة الدقائق مما يترتب عليه ترسيب الدقائق عندما تتعادل القوى الطاردة المركزية مع طاقة الحركة العشوائية للدقائق وتتوقف سرعة الترسيب على حجم وشكل وكثافة الدقائق المترسبة ، ويتم هذا الفصل بعدة طرق :

١ ـ بالتحكم فى تغيير سرعة دوران الطرد المركزى حيث تتناسب سرعة الطرد المركزى مع طاقة حركة أحد مكونات المعلق النسيجى يتم الحصول على سلسلة من المكونات المختلفة يتم فصلها مع كل ازدواج بين قوة الطرد المركزى وطاقة حركة هذه الدقائق وتسمى هذه الطريقة بالطرد المركزى التجزيئى .

٢ ـ للحصول على مستخلص غشائى نقى يوضع المستخلص الغشائى فى محلول سكروز متدرج الكثافة حيث أن كل دقيقة من الدقائق المعلقة لها عامل طفو فى وسط كثافة معين (ويتم ذلك فى أنبوبة الطرد المركزى) ثم نستخدم قوى طرد مركزى مختلفة سبق تحديدها فى تجارب سابقة فتنفصل الدقائق ويستقر كل منها معلقًا فى طبقة معينة تحديدها ويسمى ذلك بالطرد المركزى لمحلول متدرج الكثافة .

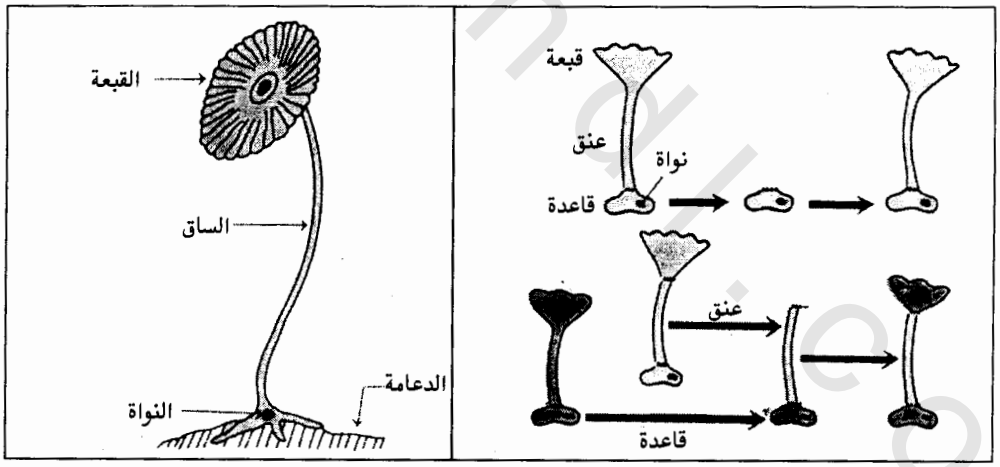
٣ ـ فصل المكونات باستخدام أسلوب هجرة الدقائق المشحونة فى مجال كهربى (Electrophoresis) .

٤ ـ فصل المكونات باستخدام تقنية الكروماتوجرافى التآلفى (Affinitiy chromotogrophy) .

النـــواة Nucleus

اكتشف النواة روبرت براون (١٨٣١ م) وأثبت وجودها فى جميع الخلايـا وهـى عضى كبير يحتل مركز الخلية غالبا ويحاط بغشاء نووى مزدوج يسمى الغلاف النووى Nuclear envelope ـ ويحتوى الغلاف النووى على ثقوب تسمح بمـرور جزيئـات معينة من السيتوبلازم إلى داخل النواة والعكس صحيح .

والنواة ذات أهمية أولية للخلية كمركز للتحكـم بعيـد المـدى فـى عمليـات الأيـض الخلوى وخصائص الخلية وفى أحد أنـواع الطحـالب الخضـراء المسـمى اسـيتابيولاريا Acetabularia الذى يتكون من قاعدة وعنق وقبعة ، وعند فصل القبعة والعنـق عـن القاعدة تموت القبعة والعنق وتنمو القاعدة لوجود النـواة التـى تحتـوى قواعـد النمـو ـ وعند التحام عنق طحلب آخر بالقاعدة ينمو للعنق قبعة جديدة تنتمى إلى نواة القـاعدة بصرف النظر عن خصائص سيتوبلازم العنق ، ويوضح ذلك أن النواة تتحكم فـى كـل من الوظيفة والتركيب فى الخلية .



وداخل النواة يوجد البـلازم النـووى Nucleoplasm ويوجـد علـى هيئـة شبكـة عبارة عن كتلة من الخيوط تسمى الكروماتين Chromatin وسميت كذلك لأنها تقبل الصبغة ، ويمكن تمييز الكروماتين فى الخلايا التى لا تنقسم وذلك فى صورة تراكيـب تسـمى الكروموسـومات Chromosomes وفـى انقسـام الخليـة تسـتخدم مركبـات

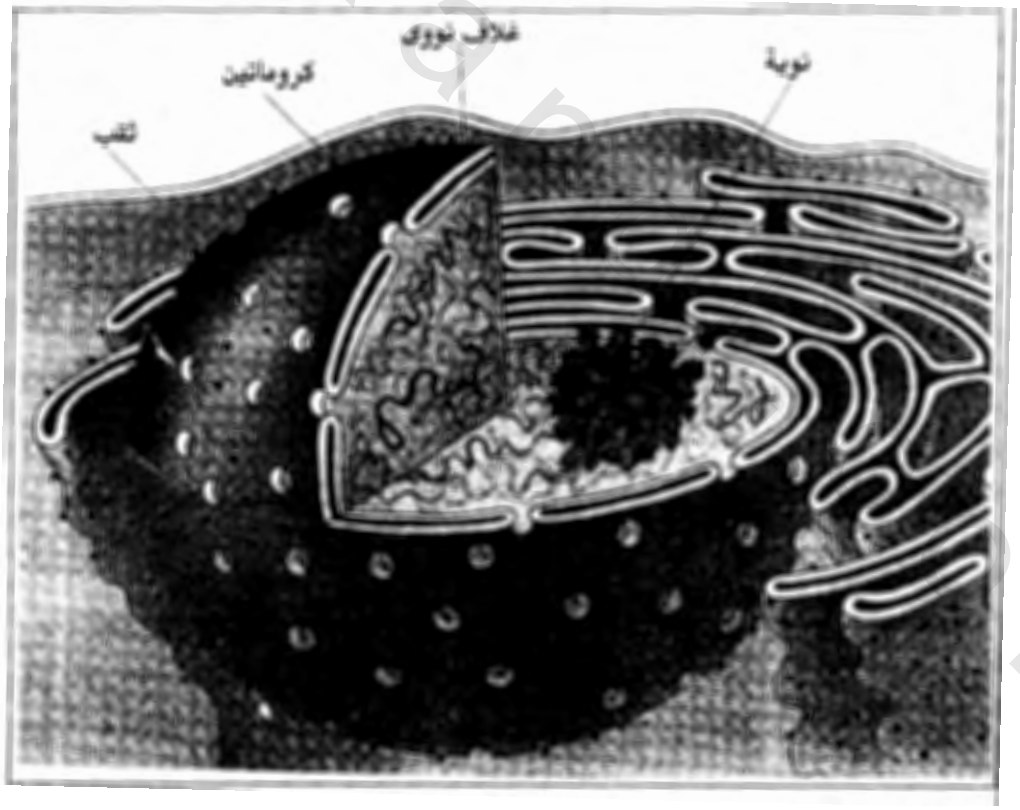
كيميائية لتوضيح الكروموسومات وقد أثبتت التحاليل الكيميائية أن الكروماتين يحتوى مركب DNA الحمض النووى الديؤكسى Deoxyribonucleis acid مرتبطا ببروتين معين وكذلك بعض من RNA الحمض النووى الريبوزى Ribonucleic acid .

ومن المعروف الآن أن DNA وبمساعدة من RNA يتم التحكم فى تخليق البروتين فى سيتوبلازم الخلية ومن خلال هذه الوظيفة يتحكم DNA فى الخلية .

* النوية Nucleolus :

تحتوى النواة على نوية أو أكثر وهى أجسام معتمة تحتوى نوعا من RNA يسمى الحمض النووى الريبوزى الريبوسومى ribosomal RNA (r RNA) .

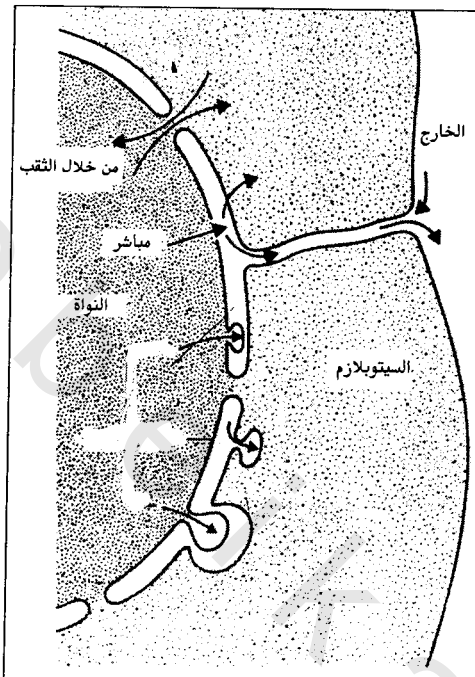
ويرتبط RNA بالبروتين قبل أن يهاجر إلى السيتوبلازم ليصبح جزءًا من الريبوسومات ribosomes .



يعتبر الغلاف النووى وثقوبه بوابات تنظم المرور بين النواة والسيتوبلازم حيث يحدث نقل مباشر من السائل النووى إلى السيتوبلازم وبالعكس كما تنتقل الجزيئات الذائبة الكبيرة إلى المسافة بين الغشاء النووى المزدوج ومنه إلى الشبكة الاندوبلازمية أو إلى خارج الخلية مما يهيئ اتصالا مباشرًا بين السائل النووى والبيئة الخارجية للخلية والعكس .

كما تنفذ الأيونات والجزيئات الصغيرة والماء عبر الغلاف النووى بسرعة كبيرة ومن خلال ثقوبه .

ومن الظواهر الملفتة للنظر تناوب ظهور واختفاء الغلاف النووى خلال دورة الانقسام حيث يختفى فى الطور التمهيدى ويعود فى الطور الانفصالى .



شكل تخطيطى لمسارات التبادل بين النواة والسيتوبلازم من خلال الغلاف النووى

obeikandl.com

الشبكة الاندوبلازمية Endoplasmic reticulum

اكتشفها بورتر عام ١٩٤٥ م ، وهى عبارة عن شبكة من القنيات الغشائية تبدأ من الغشاء النووى وتتخلل السيتوبلازم وتحتل بعض المواضع على أغشية هذه الشبكة حبيبات الريبوسومات (مصانع البروتين) وتسمى بالشبكة الاندوبلازمية الخشنة والقنيات الغشائية الخالية من الريبوسومات تسمى الشبكة الاندوبلازمية الملساء وهى التى تتضمن أغشيتها الإنزيمات التى تصنع الليبيدات وتنتشر الشبكة الخشنة فى خلايا الخصية وقشرة الغدة الكظرية حيث يتم إنتاج الهرمونات الاستيرودية .

وتزداد نسبة تواجد الشبكة الملساء فى خلايا الكبد نتيجة الإسراف فى تناول الكحوليات والمواد المخدرة لأنها تحتوى الإنزيمات التى تسبب معادلة سموم الجرعات الدوائية والمخدرات ويتصل بغشاء الشبكة الملساء فجوات تحتوى إنزيمات التأكسد التى تؤكسد المواد المختلفة التى تحتوى على كحول .

والشبكة الاندوبلازمية الخشنة أو الملساء تأخذ ثلاثة أشكال فيزيائية ، فالشبكة الخشنة تأخذ شكل الصفائح فهى عبارة عن مجموعات من الأكياس الغشائية المنضغطة وبالقرب من نهايتها وعند أماكن اتصالها بالريبوسومات تنتفخ قليلاً لتأخذ شكل الصهريج .

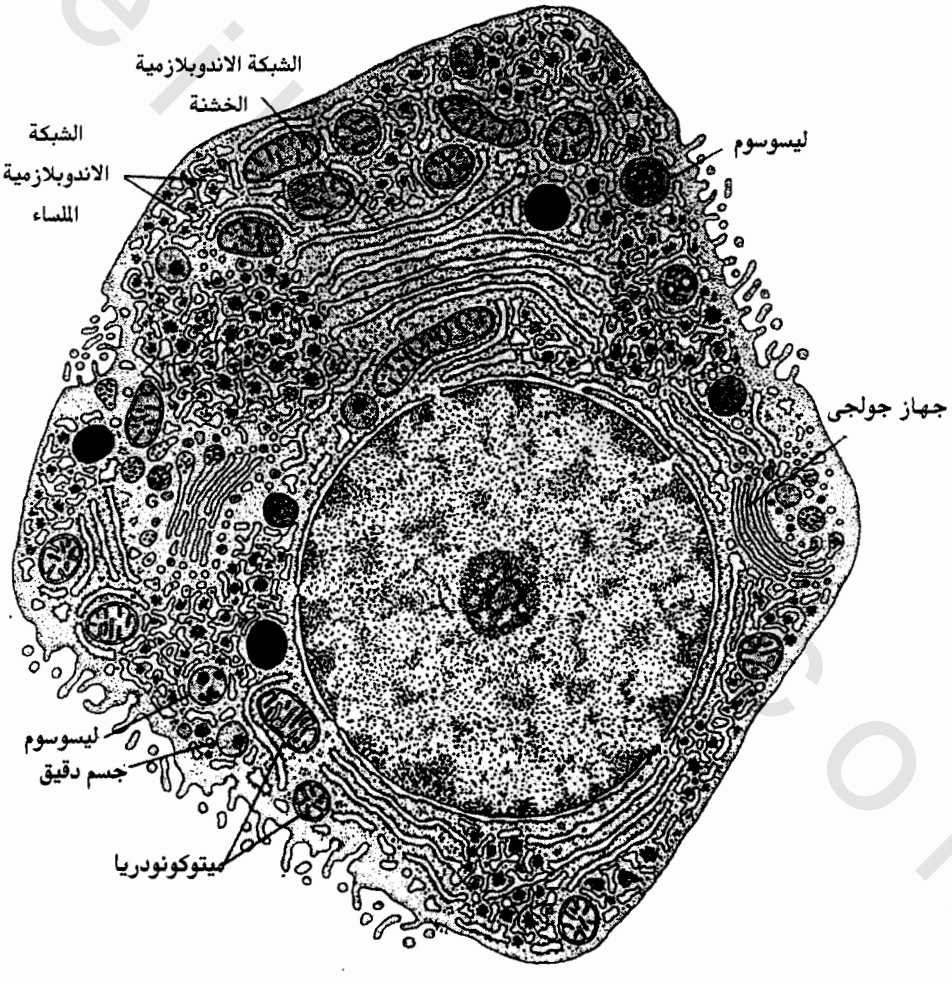
والشبكة الملساء غالبا تأخذ شكلا حوصليا حيث تميل الأغشية لتكوين الحويصلات وقد تأخذ شكلاً أنبوبيًا .

وأغشية الشبكة الاندوبلازمية أغشية بلازمية أقل سمكًا من الغشاء البلازمى للخلية ويحتوى الغشاء نسبة أعلى من البروتينات بالنسبة للدهون وعلى تركيز أقل من الغشاء البلازمى فى الكوليسترول ، ونتيجة ارتفاع نسبة البروتينات فى الغشاء نجده أكثر ثباتًا وأقل مرونة من الغشاء البلازمى للخلية .

وتعد الشبكة الاندوبلازمية الخشنة بما تحمله من ريبوسومات المركز الرئيسى لإنتاج البروتينات كما تقوم الشبكة بتعديل بعض البروتينات بإضافة روابط كبريتية أو سكريات لتصبح فعالة .

أما الشبكة الملساء فهى مسئولة عن تكوين الدهون ونقلها وبناء الكوليسترول والاستيرودات (لتتحول إلى هرمونات استيرودية فعالة مثل الكورتيزون والبروجستيرون) .

وفى خلايا الكبد تعمل الشبكة الملساء على إزالة سمية العقاقير والأدوية كما تعمل الشبكة الملساء فى خلايا نخاع العظام وهى الخلايا ذات النواة العملاقة (متضاعفة العدد الكروموسومى) فإن الشبكة تمتد حويصلاتها فى سيتوبلازم الخلية مما يسهل تجزئة الخلية إلى الصفائح الدموية ومن ثم فهى تساهم فى إنتاج الصفائح الدموية .

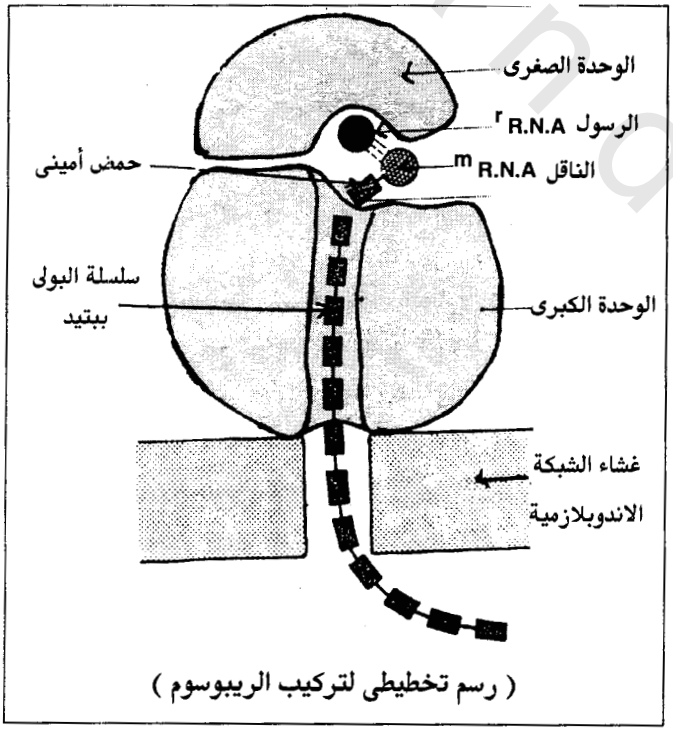


قنيات الشبكة الاندوبلازمية حول النواة

الريبوسومات Ribosomes

شبكة اندوبلازمية خشنة ينتشر على أسطح أغشيتها الريبوسومات

عضيات متناهية فى الصغر عند فحصها بالمجهر الإلكترونى تظهر بوضوح مكونة من تحت وحدتين ـ وتتركب الريبوسومات من حمض RNA والبروتينات وفى الوقت الذى تحتوى فيه تحت وحدة الريبوسوم الكبيرة على الأقل ثلاثين نوعا من البروتينات نجد أن تحت الوحدة الصغيرة تحتوى على الأقل عشرين نوعا منها .



(رسم تخطيطى لتركيب الريبوسوم)

وحمض RNA الريبوسومى (Ribosomal RNA) ينتج فى النوية ويتحد مع البروتين قبل أن يهاجر إلى السيتوبلازم ، وغالبا ما تتصل الريبوسومات بسطح الشبكة الاندوبلازمية الخشنة وإن كان بعض منها يوجد حرًا فى السيتوبلازم .

ومجموعة الريبوسومات التى ينتج كل منها نفس النوع من البروتين ترتب مع بعضها فى مجموعة وظيفية تسمى البوليسوم Polysame .

جهاز جولجى The Golgi apparatus

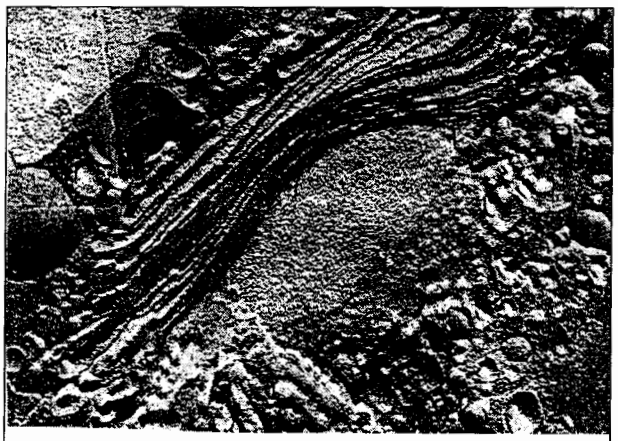
سُمى جهاز جولجى نسبة إلى العالم الإيطالى كاميلو جولجى .

عبارة عن حويصلات مفلطحة لها أغشية بلازمية والحويصلات غير متصلة وقد تحتوى الخلية قليلاً منها أو مئات منها ، ويتوقف عددها على نشاط الخلية فى إفراز البروتينات ـ وجهاز جولجى يتسلم ويوظف المواد المصنعة فى الشبكة الاندوبلازمية فمن جهة يتسلم جهاز جولجى الحويصلات المصدرة من الشبكة الاندوبلازمية مثلا ـ فجهاز جولجى يستقبله ويخزنه ويعيد استخدامه بوسائل كيميائية مختلفة ويصدره داخل حويصلات تتجه إلى الغشاء البلازمى لطرده خارج الخلية كمنتجات إفرازية تكونت لتفرز من خلية غدية .

ويطلق على وحدة الصفائح الغشائية فى الخلية النباتية الدكتيوسومات Dictyosomes وهو اصطلاح مرادف لجهاز جولجى .

ويقوم جهاز جولجى بأدوار مهمة فى كثير من العمليات الفسيولوجية فى الخلية ويعتبر مركز تعديل ومعالجة وتركيز وتعبئة النواتج الإفرازية .

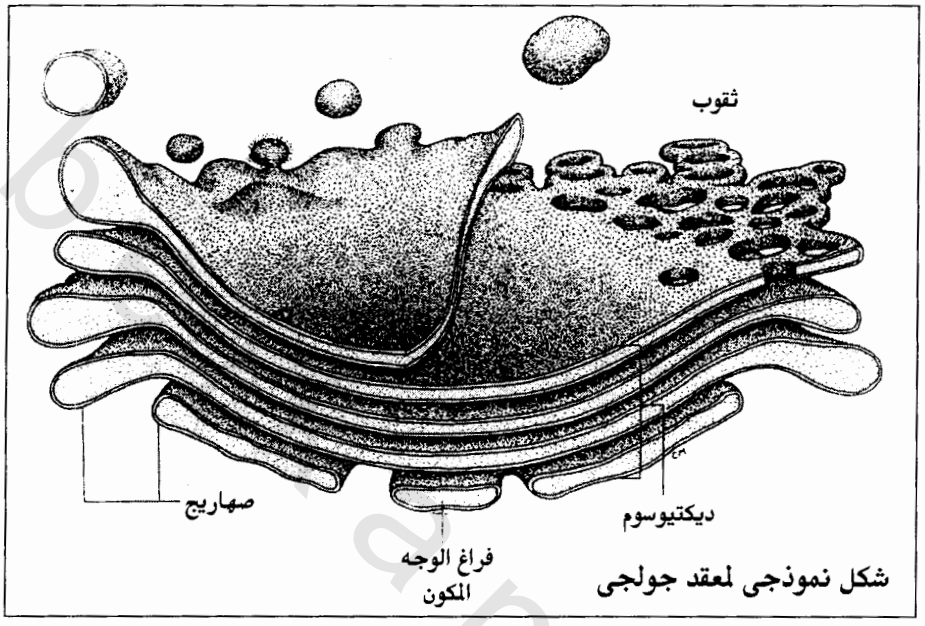
فهو يقوم بدور مهم فى إضافة السكريات فى البروتينات والليبيدات فى عملية التخلق الحيوى للجليكوبروتين التى يتم إفرازها أو تصبح جزءًا من الغشاء البلازمى للخلية .



(جهاز جولجى كما يبدو تحت المجهر الإلكترونى)

كما يقوم بتخليق حيوى للجليكوبروتينات المكبرتة المخاطية التى تفرزها خلايا القناة الهضمية والتى تحمل خواص انزلاقية تساعد على مرور الكتلة الغذائية خلال القناة الهضمية ـ ويقوم جهاز جولجى بدور رئيسى فى تكوين مواد الجدار الخلوى فى الخلية

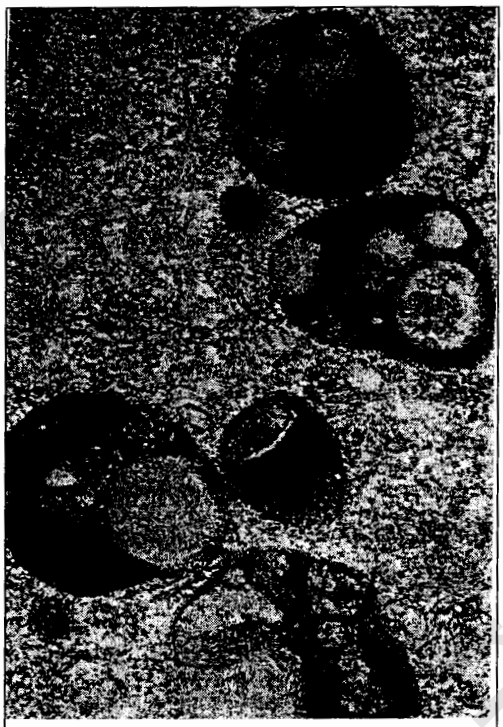
النباتية حيث يفرز البكتين والـهميسليولوز الذى يبنى الصفيحة الوسطى بين الخليتين الناتجتين من الانقسام الخلوى ويشارك فى تكوين الاكروسوم (فى رأس الحيوان المنوى) .



شكل نموذجى لمعقد جولجى

جهاز تجميع ، وفصل ، وإفراز بروتين ليصدر ويستخدم داخليًا بواسطة خلية

الليسوسومات Lysosomes



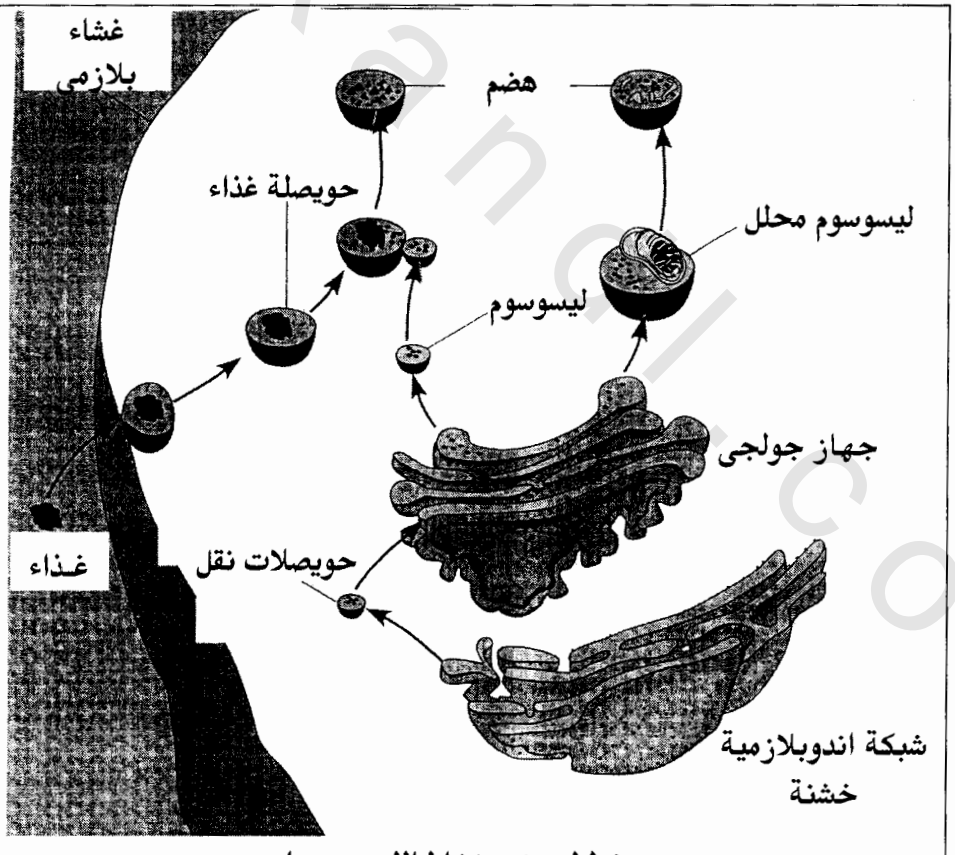
ليسوسومات داخل الخلية

الليسوسومات نوع خاص من الحويصلات تشبه غالبا التى تتكون من جهاز جولجى ، وجميع الليسوسومات محاطة بغشاء ، وتحتوى إنزيمات تحلل مائى وإنزيمات هاضمة وهى قادرة على إحداث تحلل أو تحطيم حيث تقوم الإنزيمات التى تحتويها بتكسير المواد الغريبة بما فيها البكتريا ، كما أنها قادرة على تكسير الخلايا المريضة أو المكونات الخلوية البالية حيث أن إنزيمات الليسوسومات قوية لدرجة أنها تقتل الخلايا المكونة لها إذا تمزق غشاء الليسوسوم ويحدث ذلك تلقائيًا عند موت الخلايا ، أما الخلايا العادية فتظل الإنزيمات محفوظة بها داخل الليسوسومات .

وتنتشر الليسوسومات فى معظم خلايا أنسجة الثدييات وتزداد أعدادها بصفة خاصة فى الكبد والكلى والخلايا البلعمية المنتشرة فى الجسم . وأى حويصلة ليسوسومية تتميز بأنها محددة بغشاء وتحتوى إنزيمات تحلل مائى وتتميز بخاصية الكمون الإنزيمى أى تأخير إطلاق المحتوى الإنزيمى ، ويعزى العلماء نشأة الليسوسومات إلى الشبكة الاندوبلازمية الملساء أو جهاز جولجى والافتراض الثانى أكثر قبولا . وإلى جانب دور الليسوسومات فى التحلل والهضم نجد أنها تلعب دورًا بارزًا فى إفراز بعض الهرمونات مثل هرمونات الغدة النخامية والغدة الدرقية ـ والدور الذى تقوم به الليسوسومات فى تحلل واختفاء ذيل الضفدعة يعتبر نموذجًا متميزًا للتغذية الذاتية

Autophagy حيث أنه يبين ارتفاع النشاط الليسوسومى أثناء عملية ذوبان وهضم الخلايا ، وأى قصور فى النشاط الليسوسومى سواء نقص و زيادة النشاط يؤدى إلى نتائج خطيرة . وهناك بعض الأمراض المرتبطة بقصور نشاط الليسوسومات مثل مرض بومبى Pomp's disease الذى يسبب تفتت والتهاب العضلات بسبب غياب الإنزيم الذى يسبب تكسير الجليكوجين إلى جلوكوز مما يسبب تراكم الجليكوجين وكذلك مرض النقرس Gout وهو تراكم حمض البوليك Uric acid فى بعض الأماكن بالجسم .

والغشاء الليسوسومى يتركب من ليبوبروتين يمنع تسرب الإنزيمات خارج الليسوسوم بينما يسمح للإنزيمات المتكونة فى السيتوبلازم بالدخول إلى داخل الليسوسوم وارتفاع تركيزها وعندما يهدم (يموت) الغشاء أو تموت الخلية أو بتأثير نشاط بيولوجى موجه تخرج الإنزيمات إلى السيتوبلازم .



مخطط يوضح نشاط الليسوسومات

الميتوكوندريا Mitochondria

(مفردها ميتوكوندريون Mitochondrion)

عضيات الطاقة وتوجد فى جميع خلايا حقيقيات النواة ـ تأخذ أشكالاً عصوية أو مستديرة وتتوزع بانتظام فى السيتوبلازم أو قرب سطح الخلية وتوجد فى الأماكن التى يرتفع فيها النشاط الأيضى ويبلغ طولها من ٣ : ٨ ميكرون .

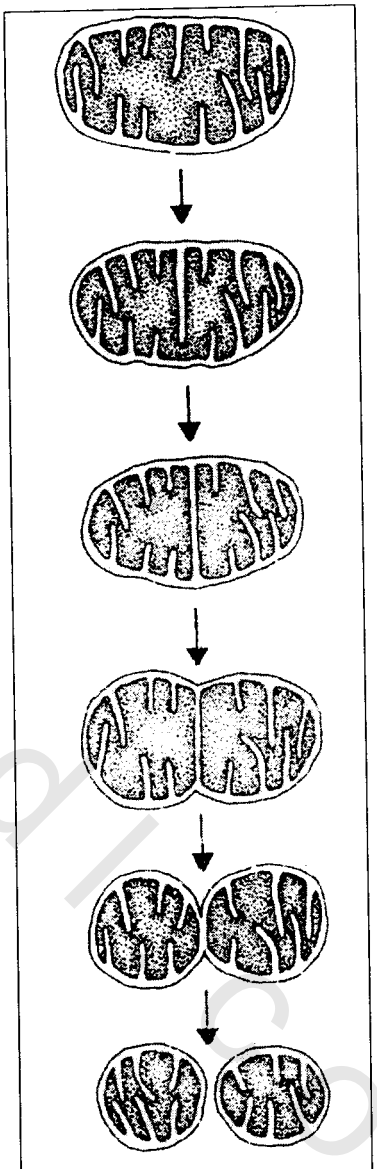
تتركب من غشاء مزدوج الخارجى أملس والداخلى متعرج ينثنى على نتوءات أصبعية تسمى الأعراف Cristae .

وينتشر على الأعراف إنزيمات الفسفرة التأكسدية ويعتبر جزىء A.T.P (أدينوسين ثلاثى الفوسفات) أهم جزيئات اختزان الطاقة ويتم إنتاجه فى الميتوكوندريا .

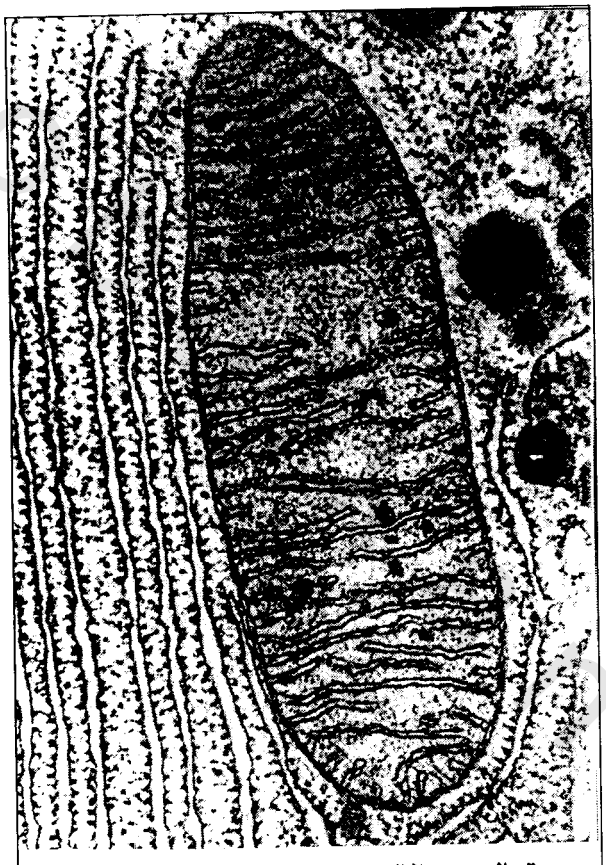
ويحيط غشاء الميتوكوندريون بمادة الحشوة Matrix وهى تحتوى الأحماض النووية RNA & DNA والفوسفوليبيدات وإنزيمات دورة كريبس والسيتوكرومات .

والميتوكوندريون له القدرة على الانقسام ويرجع ذلك إلى وجود DNA فى شكل حلقى ، وقد يوجد أكثر من نسخة منه فى مادة القالب . وينقسم الميتوكوندريون بأن يستطيل ثم تنمو إحدى الأعراف التى تقع بالقرب من وسط الميتوكوندريون وتمتد خلال الحشوة وتلتحم مع الغشاء الداخلى المقابل لها وتنقسم إلى وحدتين مستقلتين وبعد الانقسام يبدأ كل ميتوكوندريون فى التمايز وتوجيه جينوم النواة لتكوين إنزيمات التنفس ويصبح قادرًا على التنفس والفسفرة التأكسدية . وتختلف الميتوكوندريا فى العدد حسب نوع الخلية ودرجة نشاطها الفسيولوجى ، فخلية بعض السوطيات تحتوى عُضية واحدة وتحتوى خلية الكبد من ٨٠٠ إلى ١٠٠٠ ميتوكوندريا وفى الأميبا العملاقة نصف مليون ميتوكوندريا . والعلاقة بين الجينوم النووى وجينوم الميتوكوندريا أكيدة حيث يعتبر جينوم الميتوكوندريا جينوم فرعى يحتاج إلى بناء أنواع عديدة من البروتينات (الإنزيمات) وليتم ذلك فإن جينوم النواة ينتج أعدادًا من البروتينات الخاصة والضرورية حتى يتمكن جينوم الميتوكوندريا من التعبير عن نفسه إلا أن بعض

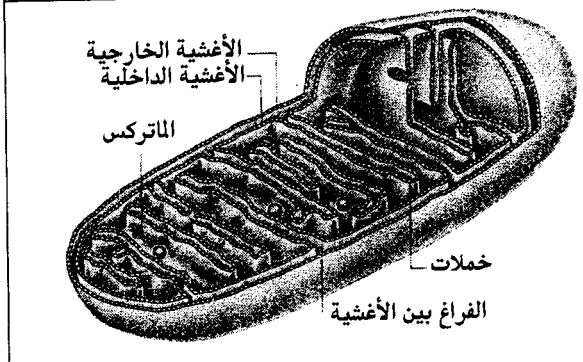
العلماء لديهم اعتقاد فى وجود سر بيولوجى وراء وجـود جينـوم الميتوكوندريـا وأن لـه دورًا رئيسيًا فى نشاط الخلية ينتظر من يكتشفه .



انقسام الميتوكوندريا
بتكوين الفواصل



صورة بالمجهر الإلكترونى تبين الغشاء المزدوج المحيط بالميتوكوندريا



السمات الرئيسية لتركيب الميتوكوندريا

* انقسام الميتوكوندريا :

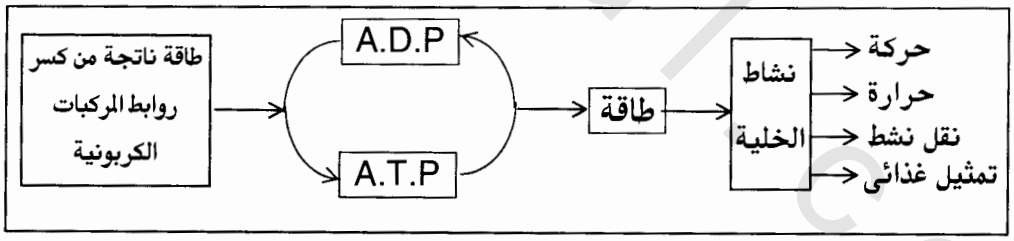
يحدث مع انقسام الخلية حيث تنقسم إلى قسمين كل قسم فى خلية جديدة ويخضع ذلك لتنظيم وراثى . وأثبتت الأبحاث أن الميتوكوندريون لا يتكون إلا من ميتوكوندريون سابق وإذا فقدته الخلية لا يعوض .

* تحرير الطاقة :

تحتاج الخلية إلى طاقة مخزنة فى مركب A.T.P وتقوم الميتوكوندريا بتخليق ٩٠ ٪ منه حيث تجرى التفاعلات الخاصة بدورة كريبس .

ومركب A.T.P الأدينوسين ثلاثى الفوسفات هو حامل للطاقة وينتشر فى سيتوبلازم الخلية ، وعند اتحاد حمض الفوسفوريك مع مركب الأدينوسين يتكون الأدينوسين أحادى الفوسفات A.M.P الذى يرتبط بمجموعة فوسفات أخرى مكونًا الأدينوسين ثنائى الفوسفات A.D.P الذى يرتبط بمجموعة فوسفات ثالثة مكونًا الأدينوسين ثلاثى الفوسفات A.T.P وتقدر كمية الطاقة فى كل رابطة من روابط البيروفوسفات بنحو ١٢٠,٠٠٠ سعر .

وعندما يتحول A.T.P تنطلق الطاقة وتستغل فى نشاط الخلية .



البلاستيدات Plastids

عضيات خلوية تميز النبات ، وهى ذات أشكال مستديرة أو بيضية أو قرصية من ٤ ـ ٦ ميكرون ويمكن مشاهدتها بالمجهر الضوئى إلا أن تركيبها الدقيق يظهر بالمجهر الإلكترونى يحيط بها غشاء مزدوج ومن الداخل توجد الحشوة وهى من أكثر العضيات الخلوية أهمية لقدرتها على تجميع الطاقة الضوئية وتحويلها إلى طاقة كيميائية (عملية التمثيل الضوئى) ومادة الحشوة تسمى الستروما Stroma حيث تنتشر بها تراكيب غشائية متقنة ومنظمة منها الجرانا Grana وهى حبيبات (مفردها جرانيوم Granum) وكل جرانيوم عبارة عن مجموعة من الأقراص المتعاقبة (من ٥ : ٥٠) وتتصل حبيبات الجرانا بأغشية الحشوة (أغشية الستروما) وتحتوى الحشوة على RNA & DNA وريبوسومات والإنزيمات وحبيبات النشا إلى جانب نحو ٦٠ جرانيوم ويحدث فى الجرانيوم التفاعلات الكيموضوئية لوجود الأصباغ على أغشية الجرانيوم وفى هذا التفاعل يتم امتصاص الطاقة الضوئية عن طريق صبغ الكلوروفيل وهذه الطاقة تشطر عنصرى الماء إلى الأكسجين الذى يتصاعد والهيدروجين الذى يتم نقله إلى الستروما حيث تتم تفاعلات الظلام (لا ضوئية) والدور الرئيسى فيها للإنزيمات التى تساعد على اختزال ثانى أكسيد الكربون بالهيدروجين واستمرار التفاعلات التى تنتهى بتكون السكر .

وتنقسم البلاستيدات إلى :

١ ـ بلاستيدات أولية Proplastids .

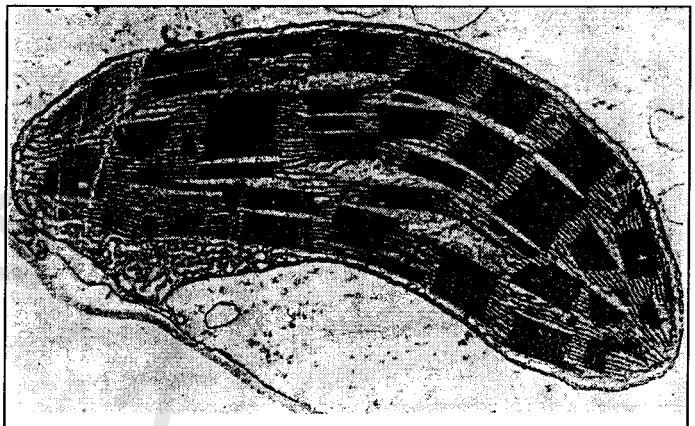
٢ ـ وبلاستيدات عديمة اللون Leucoplasts .

٣ ـ وبلاستيدات نشوية Amyloplasts .

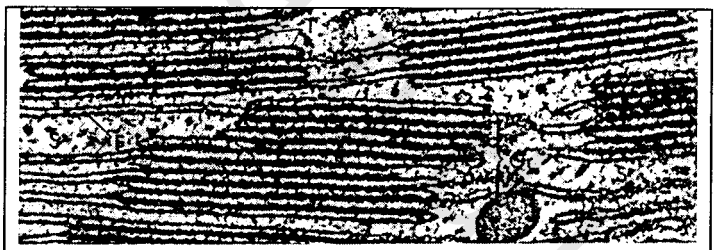
٤ ـ وبلاستيدات خضراء Chloroplasts أو بلاستيدات ملونة Chromoplasts .

والبلاستيدات الأولية هى التى تنمو مكونة البلاستيدات وتخلو البلاستيدات عديمة اللون من الصبغة والبلاستيدات النشوية التى تلعب دورًا رئيسيًا فى تمثيل النشا فى درنات البطاطس واندوسبرم الذرة والبلاستيدات عديمة اللون التى تنتج البروتينات والزيوت ويمكنها أن تتحول إلى بلاستيدات خضراء عندما تتعرض للضوء .

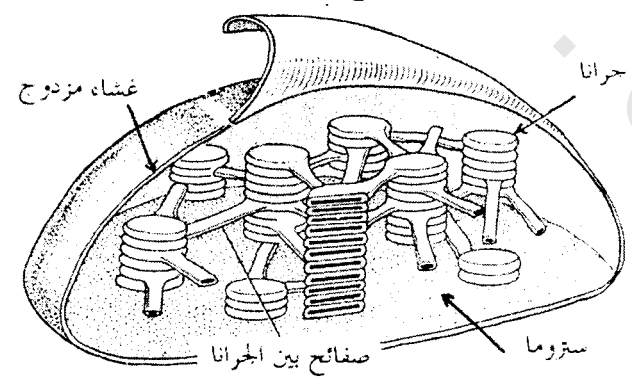
وتحتوى البلاستيدات الخضراء الكلوروفيل وأصباغ أخرى مثل الكاروتين والزانثوفيل ، والبلاستيدات الملونة تحتوى صبغات كاروتينية وتتحول البلاستيدات الخضراء إلى ملونة عندما تفقد الكلورفيل وتتراكم الكاروتينات كما يحدث عند نضج الطماطم .



البلاستيدة كما تبدو تحت المجهرالإلكترونى

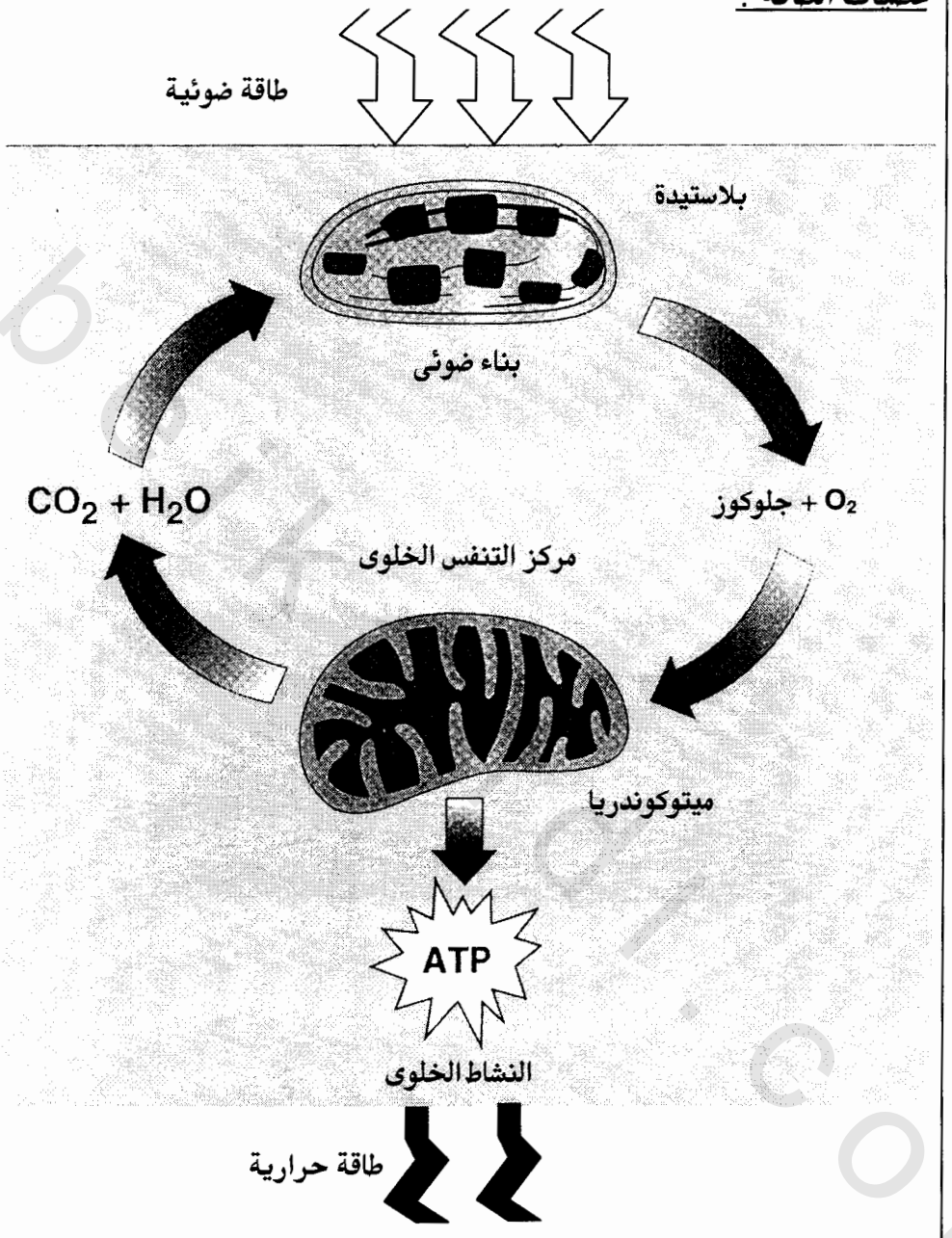


(صفائح الجرانا)



رسم تخطيطى لتركيب البلاستيدة

عضيات الطاقة :



رسم تخطيطى يوضح العلاقة بين البلاستيدة والميتوكوندريا حيث تمتص البلاستيدات الطاقة الضوئية وتقوم بعملية البناء الضوئى وتكون سكر الجلوكوز ويتصاعد غاز الأكسجين ، وتستهلك الميتوكوندريا الجلوكوز والأكسجين فى عملية التنفس الخلوى وتطلق الطاقة الحرارية كما ينطلق ثانى أكسيد الكربون والماء وتستهلك البلاستيدة ثانى أكسيد الكربون والماء فى عملية البناء الضوئى ويتكرر ذلك ، ويوضح ذلك دور العضيات الخلوية (البلاستيدة والميتوكوندريا) فى تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية مخزنة فى صورة ATP تفيد الكائن الحى .

هيكل الخلية Cytoskeleton

فى خلايا حقيقيات النواة تنتشر مجموعة من الأنبوبيات والخيوط التى تكون هيكل الخلية وتكسب الخلية دعامة مما يحافظ على شكل الخلية .

* **والخيوط الدقيقة Microfilaments** عبارة عن تراكيب رقيقة ومستقيمة تشاهد بوضوح فى الخلايا العضلية ومسئولة عن وظيفة الانقباض وهى عبارة عن بروتين من نوع الأكتين مع بروتينات أخرى مثل الميوسين .

انقباض الخلايا والعضلات يرجع إلى اتحاد الأكتين والميوسين .

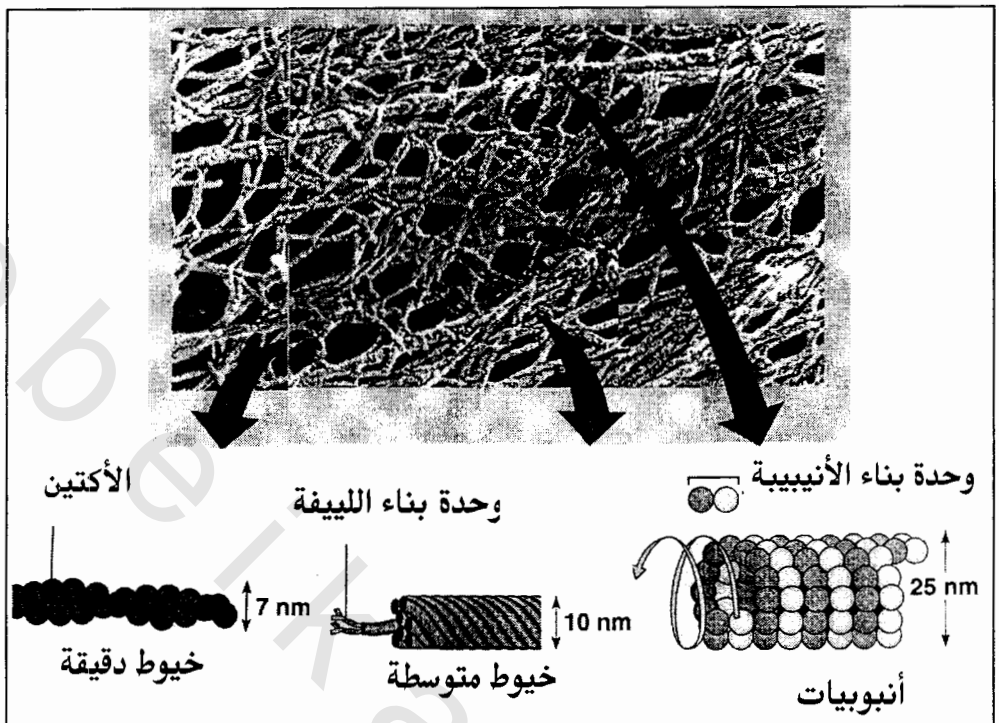
* **والأنبوبيات الدقيقة Microtubules** أكبر نوعًا من الخيوط الدقيقة وهى تراكيب أنبوبية الشكل مكونة من بروتين تيوبيولين لها دور هام فى حركة الكروموسومات أثناء انقسام الخلايا كما تقوم بدورها فى نقل المواد داخل الخلية كما تعتبر أجزاء أساسية فى تكوين الأسواط والأهداب وتخرج الأنبوبيات من الجسم المركزى Centrosome الذى يعتبر مركزًا لتخليق هذه الأنبوبيات .

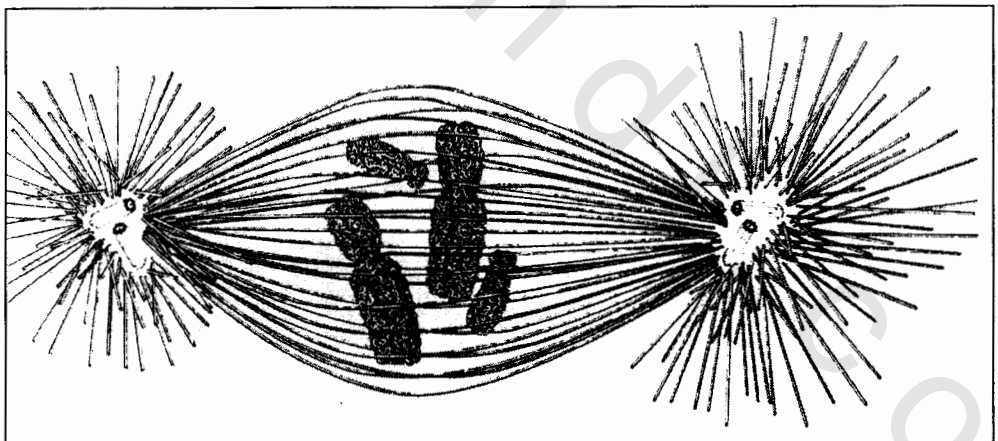
وبعض أجزاء الهيكل الخلوى تظهر ثم تختفى فى أوقات مختلفة من حياة الخلية فعند انقسام الخلية تظهر بعض الأنبوبيات فى صورة المغزل الذى يتصل بالكروموسومات ثم تختفى بعد أداء وظيفتها والبعض الآخر من الهيكل الخلوى دائم مثل الخيوط الدقيقة فى خلايا العضلات .

والأسواط Flagella توجد فى الحيوانات السوطية مثل اليوجلينا (يوجد سوط واحد متصل بالخلية) ويحتوى البلانكتون النباتى فى مياه البحار على زوج من السوطيات وتحتوى خلية الحيوان المنوى البشرى على سوط يشكل أغلب طوله .

والأهداب Cilia تنتشر فى كثير من خلايا الأنسجة الثابتة فى الحيوانات الهدبية مثل البراميسيوم .

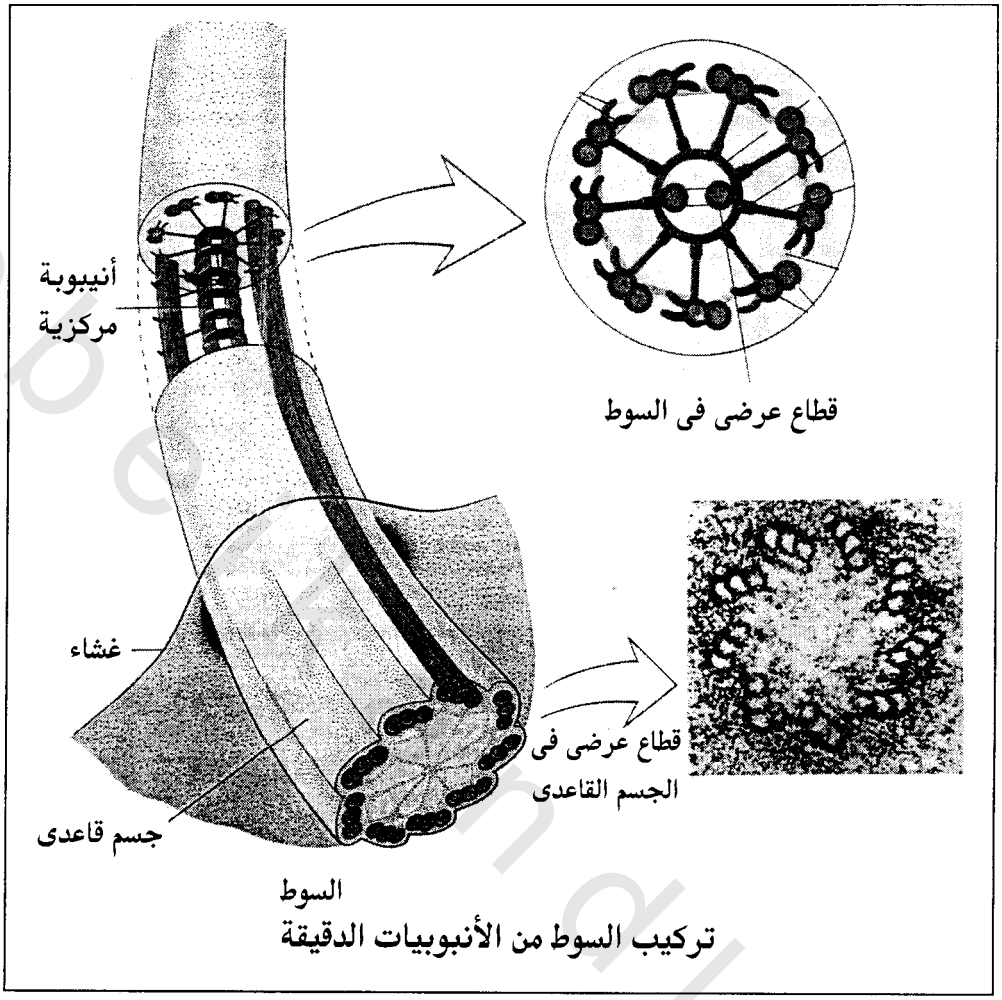
والأهداب أقصر وأكثر عددا من الأسواط ولكن كل منهما يتركب من تسعة أزواج من الأنبوبيات فى حلقة حول أنبوبية مركزية .





التركيب الدقيقة لجهاز المغزل ، عند كل قطب منطقة رائقة بها زوج من السنتريولات ، ومحاطة بأنبوبيات دقيقة .

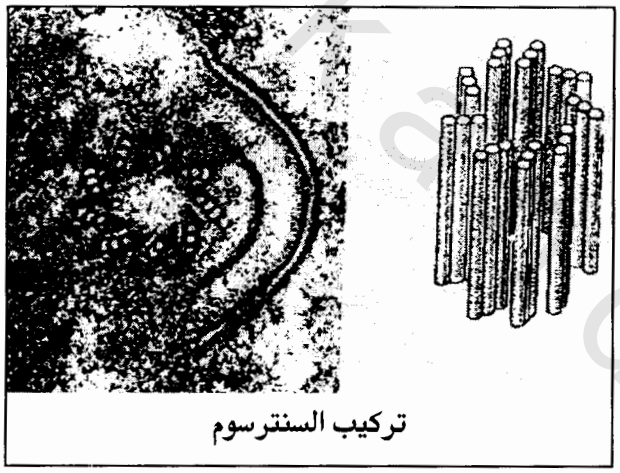
obeikandl.com



تركيب السوط من الأنبوبيات الدقيقة

(الجسم المركزى) السنترسوم Centrsome

بالقرب من النواة ويتركب من زوج متعامد من السنتريولات Centrioles (الحبيبات المركزية) والسنتريول أسطوانة صغيرة تتركب من ثلاثيات من الأنبوبيات الدقيقة (تسع ثلاثيات ٩ × ٣) والسنتريولات لها دور حيوى فى الخلايا السوطية أو الخلايا الهدبية حيث يتحرك السنتريول من نواة الخلية خلال السيتوبلازم ويتوضع بالقرب من الغشاء البلازمى وتنطلق منه الأنيوبيات مكونة هيكل السوط أو الهدب ، ويستقر السنتريول متصلا بجسم الخلية ويسمى بالجسم القاعدى Basal body .



تركيب السنترسوم

كما أن السنتريولات من جهة أخرى تقود الانقسام الخلوى عندما تكون الخيوط المغزلية .

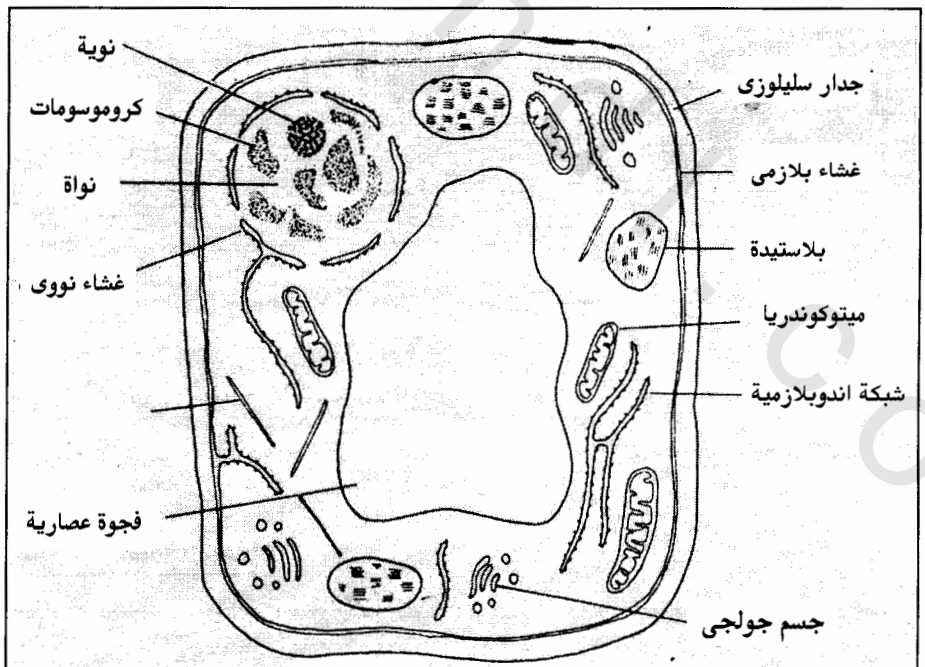
ويميز السنترسوم الخلايا الحيوانية وتفتقر إليه الخلايا النباتية إلا أنه موجود فى بعض خلايا النباتات الحزازية والسرخسية والطحالب وفى أمشاج نبات السيكاس (معراة البذور) .

وفى الخلايا النباتية تتكون خيوط المغزل عند الانقسام من تجمع السيتوبلازم فى قطبى الخلايا مكونا قلنسوة قطبية فى كل قطب ويمتد بينهما خيوط المغزل بينما فى الخلايا الحيوانية ينقسم السنترسوم وهو زوج من السنتريولات فيصبح زوجين من السنتريولات ، ويحتل كل زوج منهما قطبًا من أقطاب الخلية يمتد بينهما خيوط المغزل والتى تعمل مع سحب الكروماتيدات إلى أقطاب الخلية وذلك فى الانقسام الميتوزى أو سحب الكروموسومات نحو الأقطاب بحيث يتجمع عند كل قطب نصف العدد الكروموسومى فى الانقسام الميوزى .

الفجوات Vacuoles

تمتلئ الخلية عامة بالسيتوبلازم الكثيف الذى يحتوى عديدًا من الفجوات الصغيرة المبعثرة تظهر تحت الفحص المجهرى كقطيرات صافية ـ ومع نضج الخلية وكبر حجمها تتلاحم تلك الفجوات الصغيرة لتكون فجوة واحدة كبرى تتوسط الخلية وتكبر حتى تحتل ٩٠ ٪ من حجم الخلية النباتية وتدفع السيتوبلازم ليلاصق جدار الخلية كطبقة رقيقة تحيط بالفجوة . وتحاط الفجوة بغشاء مفرد يسمى التونوبلاست Tonoplast يحيط بسائل الفجوة وهو العصير الخلوى Cell sap الذى يكسب الخلية خاصية ضغط الامتلاء الضرورى للتركيب الدعامى للخلية وللتحكم فى حركة الماء ، كما أن العصير الخلوى يخزن كثيرًا من المواد الأساسية فى أيض الخلية كما يتراكم به كثير من نواتج الأيض والمواد السامة (سكريات ـ أحماض عضوية ـ أملاح معدنية ـ صبغات ـ قلويدات ـ دهون ـ زيوت ـ تانينات ـ بلورات) .

وغشاء التونوبلاست له دور هام فى النشاط الكيموحيوى للخلايا النباتية لأن الفجوة تشترك فى تكسير وإعادة تكوين المكونات الخلوية .



الخلية النباتية

الأغشية الخلوية Cell membranes

يعتمد تنظيم النشاط الكيميائى للخلية بشكل رئيسى على الأغشية البيولوجية ، والوحدات البنائية الأساسية لهذه الأغشية هى الليبيدات Lipids والتى تشكل حيزًا مغلقًا يتصف بالمرونة ـ وتندمج فى شبكة الليبيد عدة أنواع مختلفة من جزيئات البروتين التى تعطى كل نوع من الأغشية صفاته المميزة وتجعله قادرًا على القيام بوظيفته المتخصصة . والوظيفة الرئيسية لكل الأغشية هى فصل ما يوجد داخل حيز الغشاء عما يوجد فى محيطه الخارجى ـ ففى داخل الخلية تسهم الأغشية فى عزل التفاعلات الكيميائية التى تحدث داخل كل عضى ـ حيث تنفصل التفاعلات داخل الميتوكوندريا عن التفاعلات داخل البلاستيدات .

والغشاء البلازمى الذى يحيط بالخلية تمثل الشبكة الليبيدية فيه بحاجز يعبر من خلاله المواد الغذائية التى تدخل إلى الخلية والفضلات التى تغادرها ويتم هذا العبور بواسطة جزيئات البروتين التى تملأ الغشاء وتحفز انتقال أغذية معينة وجزيئات فضلاتها ، لكن بعض الجزيئات المغذية التى تتطلبها خلايا حقيقيات النواة هى من الحجم الكبير وتقوم بعض جزيئات البروتين (المستقبلة) Receptor التى ترتكز نهاياتها فى الغشاء البلازمى بالارتباط مع هذه الجزيئات ثم يحتويها الغشاء البلازمى مكونًا حويصلة احتوائية تنقل هذه الجزيئات إلى داخل الخلية ، وفى الوقت نفسه تقوم حويصلات أخرى من داخل الخلية بالالتحام مع الغشاء البلازمى طارحة محتوياتها فى الوسط المحيط بالخلية .

ويمكن تصنيف البروتينات الغشائية ضمن نوعين عامين تبعا لأشكالها ، فأحد هذين النوعين يشبه **القضيب** وله شكل حلزونى ملتف يدعى حلزون ألفا ، ويكون العمود الفقرى للبروتين هو الحلزون بينما تبرز السلاسل الجانبية للأحماض الأمينية نحو الخارج من هذا الحلزون ، وتعمل هذه البروتينات كمستقبلات أو معالم تمكن الجهاز المناعى من التمييز .

والنوع الآخر من البروتين له بنية كروية ويعمل كبروتين ناقل يسمح بتبادل الأيونات (النقل النشط) .

* الغشاء البلازمى Plasma membrane :

يحيط بالخلايا غشاء بلازمى يتركب فى جميع الخلايا من مواد أساسية هى الدهون والبروتينات والسكريات ، وتختلف نسب هذه المواد حسب العمل الذى يؤديه الغشاء .

* **الدهون** : توجد فى طبقة ثنائية (أحماض دهنية وفوسفوليبيدات) فى صورة جزيئات منتظمة كل جزىء يتميز برأس قطبى محب للماء نحو الخارج (إلى خارج الخلية وإلى داخل الخلية) ويرتبط بالرأس سلسلة ثنائية طويلة هيدروكربونية كارهة للماء (ذيل يشكل الجزء الداخلى من الطبقة الدهنية) .

* **البروتينات** : توجد فى صورة جزيئات عملاقة (سلاسل طويلة من عديد الببتيد) تتخلل الطبقة الدهنية وتبرز منها أجزاء خارج الخلية وأخرى داخلها تحمل شحنات كهربية (محبة لماء) والأجزاء غير البارزة غير مشحونة كارهة للماء تستقر وسط الغشاء بين الذيل التابع للمادة الدهنية .

وجزيئات البروتين التى تتخلل الغشاء متنوعة وكل منها له دور فعال فى نشاط الخلية ، فمنها :

١ ـ بروتينات تعمل كقنوات تساعد على تبادل المواد بين السيتوبلازم داخل الخلية والوسط المائى خارج الخلية .

٢ ـ بروتينات تتخذ أشكالاً وأوضاعًا تتميز بها الخلايا وتستدل بها الأجسام المضادة أو الهرمونات أو المواد الناقلة العصبية على الخلايا المستهدفة .

(يمكن تشبيهها بالعوامات المضيئة ليلاً على سطح البحر فى مدخل الميناء والتى توجه السفن) .

* **ما هو دور الغشاء البلازمى فى عبور المواد ؟**

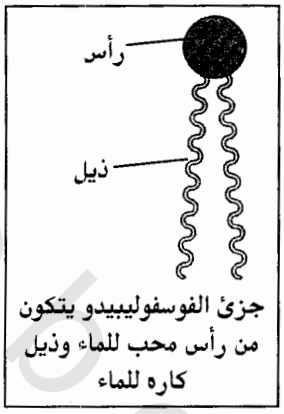
١ ـ الغشاء شبه منفذ يسمح أولا بالمرور حسب حاجة الخلية وحجم جزيئات المادة وشحنتها ويسمى ذلك (النفاذية الاختيارية) .

٢ ـ الطبقة الدهنية تكسب الغشاء خاصية النفاذية لما يذوب فى الدهن مثل الأكسجين وثانى أكسيد الكربون والأحماض الدهنية والكحولات وبعض الفيتامينات .

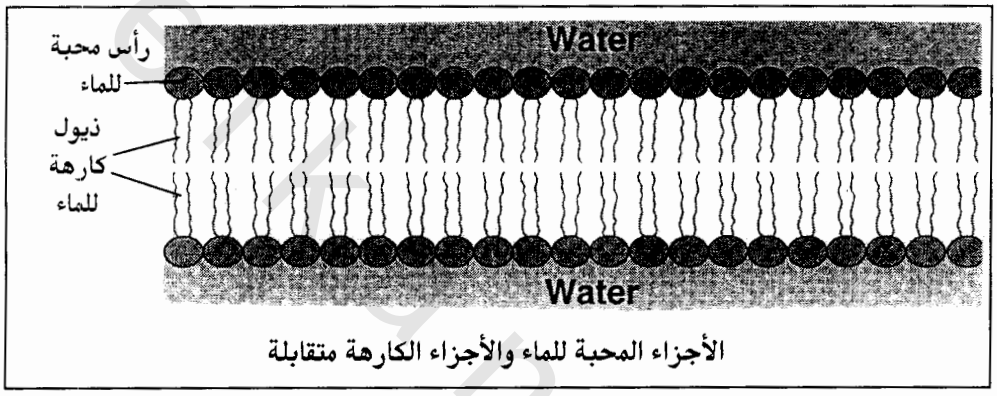
٣ ـ الغشاء له خاصية الانتشار البسيط حيث تتحرك المواد غير الإلكتروليتية عبر الغشاء من التركيز المرتفع إلى التركيز المنخفض .

٤ ـ ينتقل الماء بسهولة عبر الغشاء بالخاصية الأسموزية .

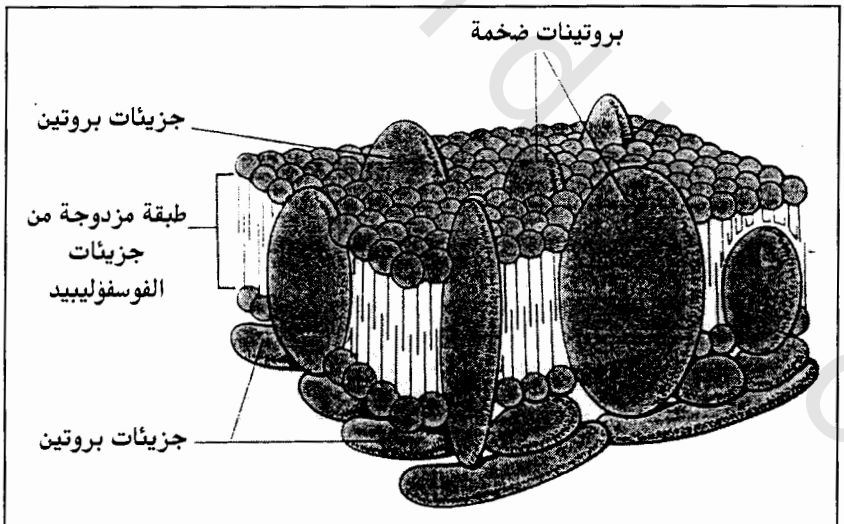
٥ ـ نفاذية الأيونات متغيرة ، فالأيونات السالبة تنفذ بسهولة أما الأيونات الموجبة فتحتاج إلى طاقة (٢٥ ٪ من طاقة الخلية) .



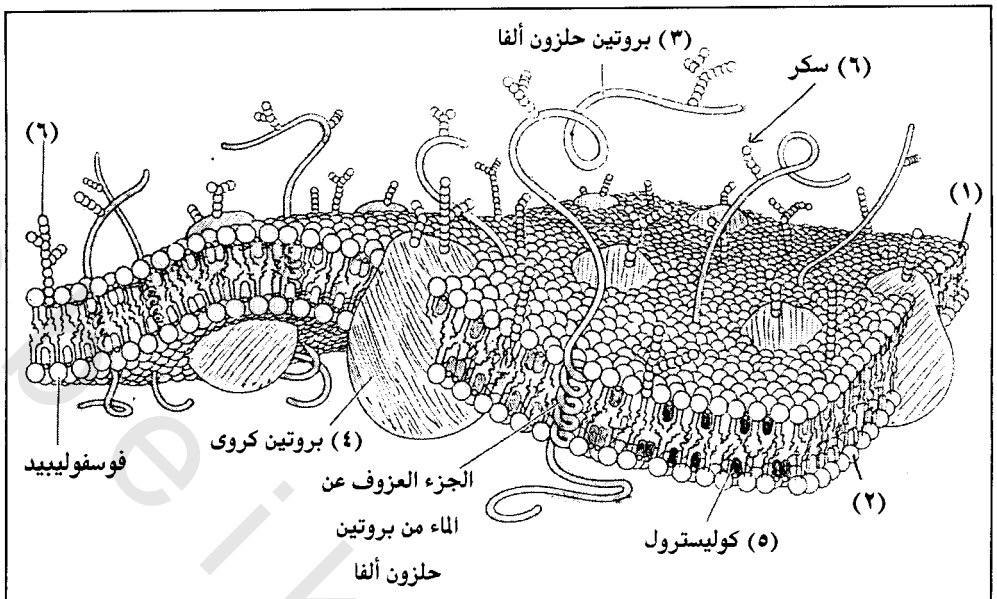
جزئ الفوسفوليبيدو يتكون من رأس محب للماء وذيل كاره للماء



الأجزاء المحبة للماء والأجزاء الكارهة متقابلة



تصور لتركيب الغشاء البلازمى



الحركة البراونية الفوضوية للجزيئات

يمثل الغشاء البلازمى طبقة ثنائية من الفوسفوليبيدات ينطمر فيها الكوليسترول ومختلف أنواع الجزيئات البروتينية . وفى هذا الشكل التخطيطى للغشاء تظهر جزيئات الفوسفوليبيدات ، فى الطبقة العليا المواجهة للوسط الخارجى (١) لكل منها نهايتان متحركتان . ويبين الشكل إلى اليسار الحركة البراونية الفوضوية للجزيئات ضمن الطبقتين الأحاديتين ، وتشير الأوضاع العشوائية للنهايات إلى سيولة المحتوى الهيدروكربونى . أما الطبقة السلى التى تواجه السيتوبلازم داخل الخلية ، فلها تركيب فوسفوليبيدى مختلف . (٢) وعلى الرغم من وجود تبادل عشوائى لجزيئات الفوسفوليبيد عبر الطبقة الثنائية ، إلا أن ذلك نادر ما يحدث . وهنالك نوعان رئيسيان من البروتينات فى الغشاء يجتازان الطبقة الثنائية . يَعُبَّر النوع الأول منها هذه الطبقة كسلسلة وحيدة من الأحماض الأمينية ، ملتفة على شكل حلزون الف (٣) أما الجزء الواقع داخل الغشاء من النوع الثانى من هذه البروتينات فهو ذو بنية كروية (٤) . وللإيضاح كانت نسبة الكوليسترول الصلبة (٥) إلى الاحتفاظ بنهايات الفوسفوليبيدات مثبتة نسبيًا وبانتظام فى المناطق الأقرب إلى الرؤوس الجذوب للماء . أما أجزاء النهايات الأقرب إلى قلب الغشاء فإنها تتحرك فيما حولها بحرية وتظهر السلاسل الجانبية لجزيئات السكر الملتصقة بالبروتينات والليبيدات (٦) .

* وصف الغشاء :

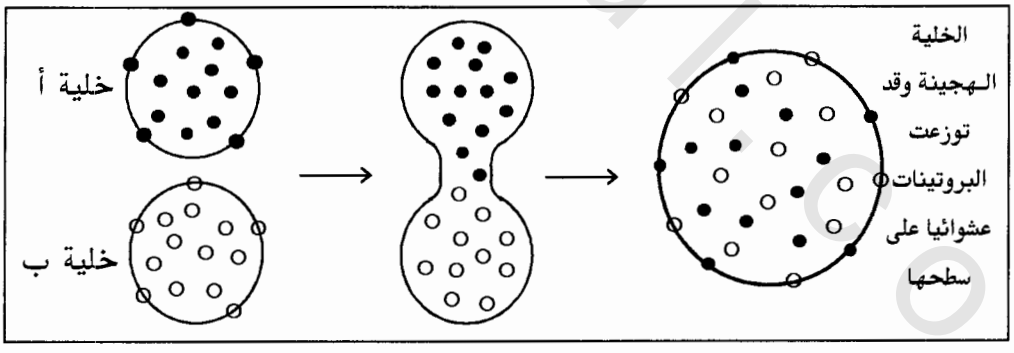
تمتد نهايات الفوسفوليبيدات غير القابلة للماء الموجودة فى كل طبقة من طبقتى الغشاء فى اتجاه بعضها بينما تتجه النهايات المحبة للماء إلى الوسط المائى وإذا

مزجت الليبيدات الفوسفورية بالماء فإن الجزيئات الفوسفوليبيدية ترتب نفسها تلقائيًا فى طبقة مزدوجة ، وحيث أن الأيونات ومعظم الجزيئات البيولوجية تذوب فى الماء فإن الهيدروكربون يكون حاجزًا بين داخل الخلية والوسط المحيط بها وطبقة الليبيد الفوسفورى المزدوجة عبارة عن سائل يعطى الغشاء مرونة ويسمح بحرية حركة جزيئات الليبيد الفوسفورى جانبيًا داخل طبقتها فقط ـ والكوليسترول أحد الليبيدات الهامة فى الأغشية ويقلل من مرونة ونفاذية الغشاء .

والجليكوبروتينات مكونات أساسية فى الأغشية تقع تحت مجموعتين كبيرتين حسب شكلها ، وتوجد الأجزاء عديدة التسكر المحبة للماء لكلا النوعين على النهايات البروتينية الخارجية وأحد هذين النوعين له جزىء كروى مغمور فى قلب الهيدروكربون يساعد على انتقال الأيونات سالبة الشحنة عبر الغشاء ويأخذ النوع الآخر الشكل الحلزونى ألفا .

*** خواص الغشاء البلازمى :**

١ ـ الغشاء ذو تركيب يتميز باللدانة Plasticity وبروتيناته فى حركة مستمرة خلال طبقة الدهن الثنائية حيث تسمح هذه الطبقة بتبادل مستمر بين بروتينات الغشاء المتجاورة ، وقد ثبت تبادل البروتينات بين خلية فأر وخلية بشرية فى تجربة لدمج الخليتين باستخدام الفيروس كعامل مساعد .



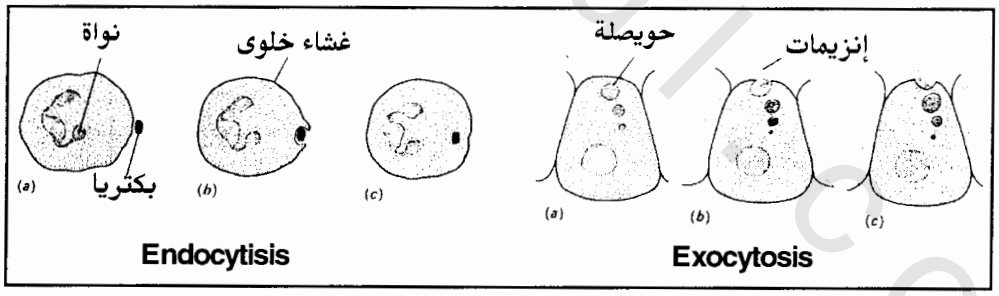
٢ ـ سيولة الغشاء Fluidity تشبه المركبات المحتوية على البروتينات فى الغشاء البلازمى بجبال الجليد الطافية أو المغمورة فى بحر من الدهن السائل وتتضح خاصية السيولة Fluidity خلال حركة الخلايا وحيدة الخلية مثل خلايا الدم البيضاء والأميبا حيث تتحرك بتدفق الأقدام الكاذبة التى تسحب الجسم إلى الأمام .

٣ ـ النقل الدقيق والنقل الكبير Micro - Macro - transport :

وفيه يتم انتقال مواد غير قطبية (غير مشحونة) من وسط أعلى تركيزًا إلى وسط أقل تركيزًا ولا يحتاج ذلك إلى بذل طاقة .

أو عملية مرور الأيونات والمواد ضد منحدر التركيز (صاعدًا الجبل) ويتطلب ذلك بالضرورة استهلاك طاقة مصدرها ATP وتحتوى الأغشية أنظمة متخصصة فى إحداث النقل النشط ويؤدى ذلك إلى تراكم أيونات معينة بتركيز عال جدًا على جانب من الغشاء ، مثل تراكم اليود فى الطحالب البحرية . ومن هذه الأنظمة مضخة الصوديوم والبوتاسيوم التى تضخ أيونات الصوديوم خارج الخلية وأيونات البوتاسيوم إلى داخل الخلية ، ويقوم إنزيم التحليل المائى لجزىء ATP والمسمى ATP ase بدور الحامل لنقل هذه الأيونات داخل وخارج الغشاء .

كما يتم نقل الجزيئات الضخمة من خارج إلى داخل الخلية Endocytosis وعندما يقتصر هذا النقل على نقل المواد الصلبة يسمى البلعمة (Phagocytosis) أما إذا كانت المواد فى صورة ذائبة أو سائلة فيسمى (شرب الخلية Pinocytosis) كما يشمل النقل الكبير من داخل إلى خارج الخلية Exocytosis وهو النشاط الإفرازى للخلية ، وسنتناول هذه الآليات فى النقل بشىء من التفصيل .



* آليات عبور المواد من الخلية :

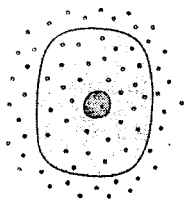
١ ـ الانتشار Diffusion :

تنتشر الجزيئات من منطقة التركيز المرتفع إلى منطقة التركيز المنخفض وتبادل غازى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون بين الورقة والوسط الخارجى أثناء عمليتى

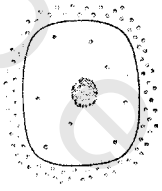
البناء الضوئى والتنفس يتم على أساس ظاهرة الانتشار ويحدث الانتشار نتيجة الحركة العشوائية للجزيئات أو الأيونات أو الذرات بفعل الطاقة الحركية الذاتية التى تحتويها.

(عند درجة حرارة أعلى من درجة الصفر المطلق - 273.18° توجد مكونات أى مادة فى حركة دائبة لاحتوائها على كمية من الطاقة الذاتية الحركية) .

وتحدث عملية الانتشار تلقائيًا فى النبات وهى مهمة لحركة المركبات العديدة داخل النبات ، ويزداد معدل الانتشار بزيادة درجة الحرارة وزيادة القابلية للذوبان .



تساوى التركيز

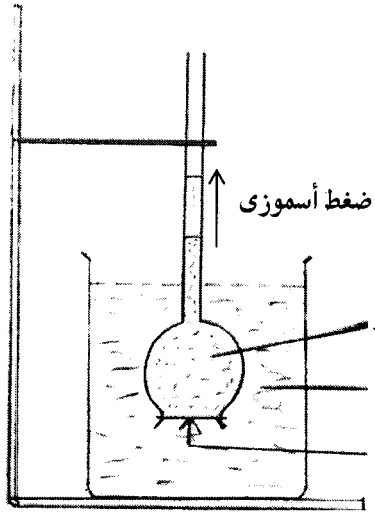


تركيز خارجى مرتفع

٢ ـ الخاصية الأسموزية Osmosis :

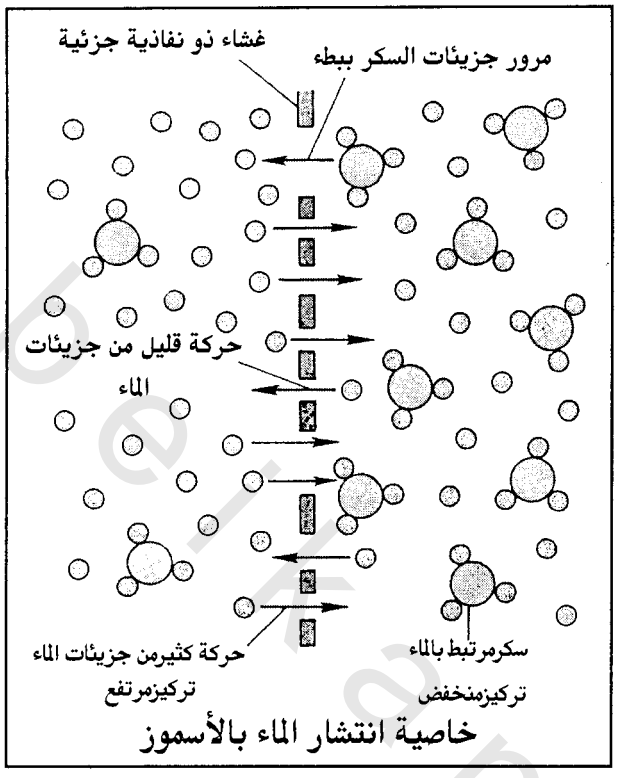
هى خاصية انتشار الماء من المحلول الأقل تركيزًا إلى المحلول الأكثر تركيزًا وخلال الأغشية شبه المنفذة تمر جزيئات الماء عبر الغشاء من المحلول الأقل تركيزا إلى المحلول الأكثر تركيزًا .

عند وضع محلول قوى التركيز من السكر فى قمع زهرة الحسك المحكم على فوهته غشاء شبه منفذ (مثل ورق السيلوفان) ووضع القمع فى كأس به ماء . فإن جزيئات الماء تنتشر خلال الغشاء إلى محلول السكر بسرعة أكبر من انتشارها من محلول السكر إلى الماء وبالتالى يرتفع الماء داخل أنبوبة القمع ، وتسمى القوة التى تنقل الماء بالضغط الأسموزى لمحلول السكر . وبزيادة تركيز المحلول يزداد ضغطه الأسموزى .



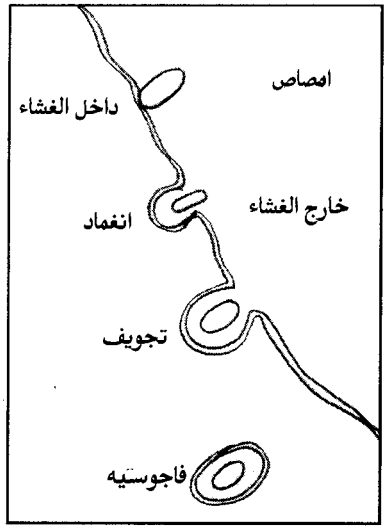
تجربة عملية توضح انتقال الماء من الوسط المخفف (الأكثر تركيزًا بالماء) إلى الوسط المركز (الأقل تركيزًا بالماء)

والخاصية الأسموزية ذات دور هام فى حيوية الخلية ، فإذا كان السائل المحيط بالخلية له ضغط أسموزى مساو للضغط الأسموزى لسيتوبلازم الخلية يكون انتقال الماء بين الخلية والوسط بكميات متساوية من وإلى الخلية فتحتفظ الخلية بشكلها وحجمها .



خاصية انتشار الماء بالأسموز

أما إذا كان الضغط الأسموزى أقل من الضغط الأسموزى للخلية فينتشر الماء من خارج إلى داخل الخلية فتنتفخ وقد تنفجر إذا لم يتوقف دخول الماء ، وإذا كان الضغط الأسموزى أكبر من الضغط الأسموزى للخلية فينتشر الماء من داخل إلى خارج الخلية فتنكمش الخلية ويحدث لها البلزمة Plasmolysic ، ومن الأمور الحيوية ألا يكون هناك تفاوت كبير فى التركيز بين الخلية والوسط المحيط لذلك يتم تنظيم تركيز السوائل بالخلية .



٣ ـ البلعمة Phagocytosis :

هى عملية نقل جزيئات كبيرة من خارج إلى داخل الخلية بأن يحدث انغمار موضعى لغشاء الخلية أمام المادة المراد إدخالها ويحيط الانغمار بالمادة ويتكون تجويف (فاجوسيت) يسمى الحويصلة الاحتوائية ، فالخلية تحصل على جزيئات البروتين بأن تلتصق جزيئات البروتين على سطح

غشاء الخلية بواسطة عملية الادمصاص Asdorption ثم ينغمد إلى الداخل وينغلق الانغماد مكونًا الحويصلة الاحتوائية (الفاجوسيتيه) .

وبهذه الطريقة يتم نقل البروتينات ومحاليل الإلكتروليتات القوية ، وتظهر هذه الآلية بوضوح فى مقاومة خلايا الدم البيضاء للميكروبات .

٤ ـ الامتصاص السلبى :

هو عملية امتصاص خلايا الجدر للأيونات (دون الطاقة الأيضية) . وجد أنه عند نقل خلايا نسيج نباتى من وسط ذى ملح منخفض التركيز إلى وسط عالى التركيز يحدث امتصاص سريع للأيونات يتبعه بطء فى الامتصاص عندما يبدأ التحكم الأيضى ، والفترة الابتدائية السريعة فى الامتصاص لا تتأثر بدرجة الحرارة أو المثبطات الأرضية .

وإذا أعيد هذا النسيج مرة أخرى إلى وسط سوف تنتشر خارجة إلى الوسط الخارجى فى حالة انتشار حُر للأيونات حيث تتحرك الأيونات بحرية إلى داخل أو إلى خارج الخلايا حتى تصل إلى حالة الاتزان داخل وخارج خلايا النسيج .

وتفسير عملية تراكم الأيونات بدون اشتراك الطاقة الأيضية يرجع إلى عدة ميكانيكيات تعمل فى غياب الطاقة الأيضية ، وهى :

(أ) التبادل الأيونى بين الأيونات فى المحلول الخارجى والأيونات المدمصة على أسطح الجدر الخلوية (ميكانيكيات التبادل الأيونى) .

تبادل أيون البوتاسيوم K^+ فى المحلول الخارجى مع أيون الهيدروجين H^+ المدمص على سطح الغشاء وفى نفس الوقت يتم تبادل أيون الهيدروكسيل OH^- مع أنيونات المحلول (الأيونات السالبة) .

(ب) الاتزان الأيونى الكهربى (اتزان دونان) Donnan effect :

وجود أنيونات على الجانب الداخلى للغشاء (بروتينات محملة بشحنات سالبة) ولا تنفذ خلال الغشاء يتطلب ذلك زيادة الكتيونات لتوازن الشحنات السالبة فيسمح الغشاء بمرور كاتيونات إضافية فيرتفع تركيز الكاتيونات فى المحلول الداخلى عن المحلول الخارجى وكذلك يصبح تركيز الأنيونات فى المحلول الداخلى أقل من تركيزها فى المحلول الخارجى .

وعندما يتساوى حاصل ضرب الأنيونات والكتيونات فى المحلـول الداخلـى مـع حاصل ضـرب الأنيونـات والكتيونـات فـى المحلـول الخـارجى يحـدث مـا يسـمى بالاتزان الأيونى الكهربى (اتزان دونان) .

وهكذا فإن تراكم الأيونات يمكن حدوثه دون الحاجة إلى الطاقة الأيضية .

(جـ) التدفق الكتلى للأيونات :

تتحرك الأيونات خلال الجذور على طول حركة تدفق الماء وزيادة تدفق المـاء سواء نتيجة زيادة النتح أو نتيجة زيادة الضغط الـهيدروستاتيكى تـؤدى إلى زيـاد امتصـاص الأيونات .

وقد أجريت تجربة على نبات الطماطم مقطوع القمة حيث أضيفت درجات مختلفة من الضغط الـــهيدروستاتيكى إلى المجمـوع الجـذرى للنبـات فـى غـرف ضغـط مغلقـة ومحتوية على محاليل مغذية من الفوسفور المنشط اشعاعيًـا P^{32} والكالسـيوم المشـع Ca^{45} وقـد ثبـت أن زيـادة الضغـط الـهيدروستاتيكى تسـبب زيـادة فـى كميـة الفوسـفور والكالسيوم المتحركة إلى داخل خشب الجذر .

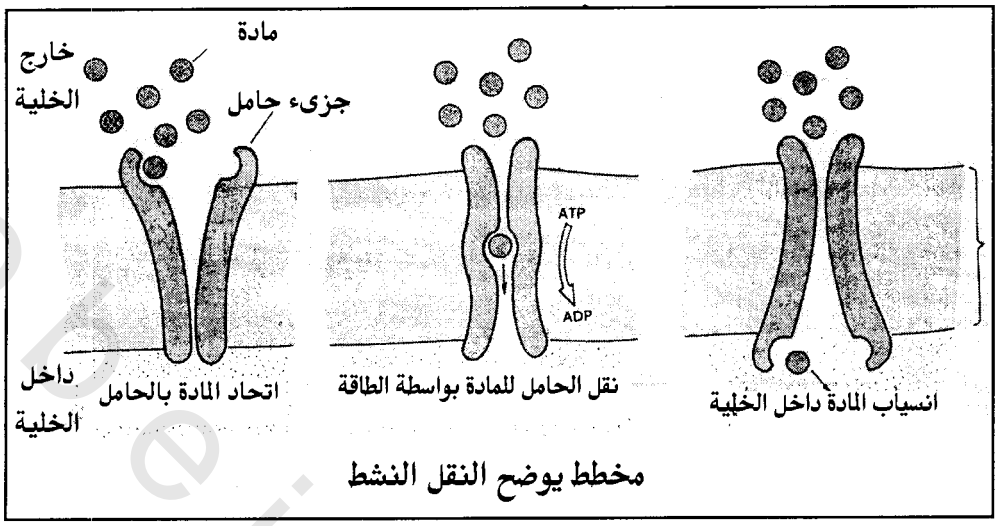
٥ ـ النقل النشط Active transport :

تقوم بروتينات غشاء البلازما بنقل بعض المواد عبر الغشاء الخلوى مثل السكر والأحماض الأمينية ويكون ذلك بمعدل أكبر مما يسمح به فرق التركيز على جانبى الغشاء .

ووجد أن بعض المواد تنتقل من التركيز المنخفض إلى التركيز المرتفع داخل الخليـة (عكس الانتشار العادى والانتشار الاسموزى) ويتم هذا النقـل بمـواد ناقلـة (حاملـة Cariers) ويحتاج ذلك طاقة تستهلكها الخلية من طاقة الخليـة (٢٥ ٪ مـن الطاقـة) ولذلد يسمى ذلك بالنقل النشط .

ومثالاً له : نقل أيونات البوتاسيوم من بلازمـا الـدم إلى خلايـا الـدم الحمـراء (تركيز أيون البوتاسيوم فى خلية الدم ٣٠ مرة قدر تركيزه فى البلازمـا) وكذلـك امتصاص الأحماض الأمينية والسكريات من تجويف الأمعاء بواسطة خلايـا جـدار الأمعاء فى الخملات .

وكذلك انتقال السكر والأحماض الأمينية من تجويف الأنابيب البوليـة واسـترادادها ثانية إلى الدم بواسطة خلايا جدران الأنابيب البولية .



مخطط يوضح النقل النشط

ولقد ثبت أن البروتين (إنزيم النقل) ثابت فى مكان واحد طرف الإنزيم معرض للسيتوبلازم داخل الخلية فى حين أن طرفه الآخر على السطح الخارجى للغشاء البلازمى وأن هذا الإنزيم يستمد طاقته من مركب A.T.P وبدراسة تركيز الأيونات فى داخل خلايا الدم الحمراء وفى بلازما الدم حيث تتحرك هذه الخلايا نجد أن أيونات البوتاسيوم والكالسيوم تنتقل إلى داخل خلايا الدم بالنقل النشط بينما يعمل النقل النشط على نقل أيونات الصوديوم والكلوريد من داخل إلى خارج الخلايا وبذلك يعمل النقل النشط فى الاتجاهين .

الأيون	تركيز الأيونات	
	خلايا الدم الحمراء	بلازما الدم
K^+	١٥٠	٥
Na^+	٢٦	١٤٤
Cl^-	٧٤	١١١
Ca^{++}	٧٠,١	٣,٢

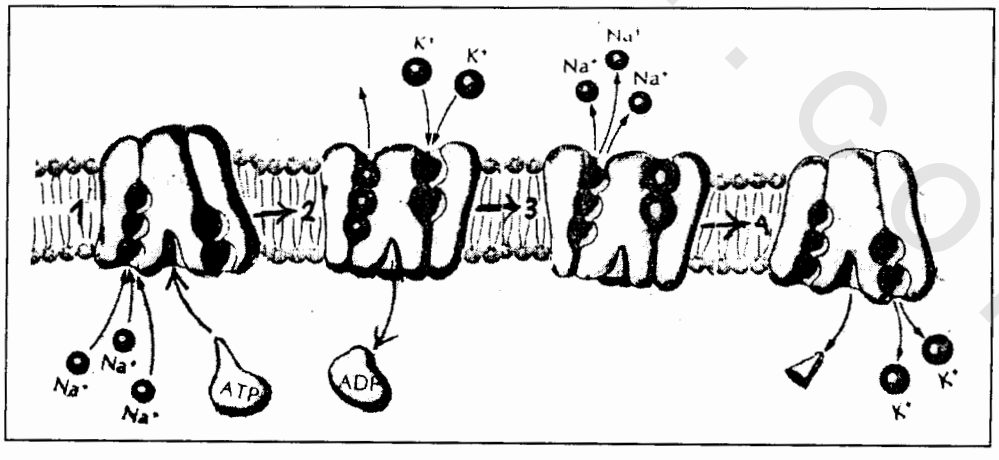
التغيرات التكوينية فى البروتين الغشائى تعمل كمضخة للصوديوم والبوتاسيوم عبر غشاء الخلية وبواسطة الطاقة (A.T.P) حيث تعمل على أن يظل غشاء الخلية موجب الشحنة من الخارج وسالب الشحنة من الداخل ؛ نتيجة فرق الشحنة بين فقد ثلاثة أيونات صوديوم نحو الخارج مقابل كسب أيونين من البوتاسيوم إلى الداخل .

* **مضخة الصوديوم والبوتاسيوم :**

إحدى أهم العمليات المميزة في النقل النشط عبر الغشاء حيث تنقل أيونات الصوديوم من داخل إلى خارج الخلية وفى نفس الوقت تنقل أيونات البوتاسيوم من خارج إلى داخل الخلية ـ وتعمل هذه المضخة فى جميع خلايا الجسم وهى المسئولة عن المحافظة على فرق تركيز كل من الصوديوم والبوتاسيوم عبر غشاء الخلية مما يحافظ على الجهد الكهربى السالب داخل الخلية .

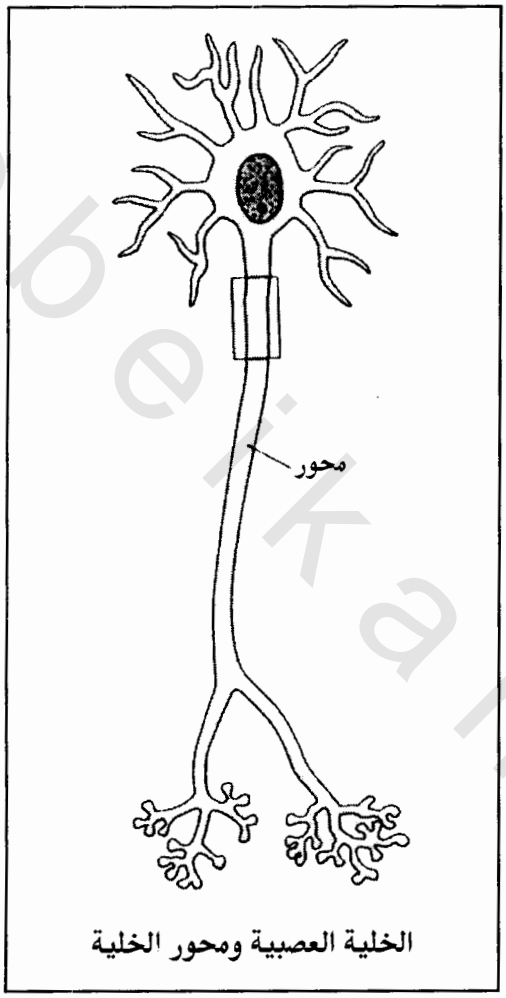
ويتم ذلك بواسطة البروتين الناقل الذى يحمل ثلاثة مستقبلات للصوديوم إلى داخل الخلية ومستقبلين للبوتاسيوم إلى خارج الخلية . والجزء الداخلى للبروتين المرتبط بالصوديوم يعمل كإنزيم ينشط عندما يرتبط البروتين الناقل بثلاثة أيونات من الصوديوم من (A.T.P ase) الداخل وأيونين من البوتاسيوم من الخارج فيقوم بشطر جزىء A.T.P إلى A.D.P وتتحرر طاقة فوسفاتية عالية يعتقد أنها تغير شكل البروتين الناقل مما يؤدى إلى نقل ثلاثة أيونات صوديوم إلى الخارج ونقل أيونين بوتاسيوم إلى الداخل مما ينشأ عنه فرق جهد عال بين خارج وداخل الخلية .

ويلعب فرق الجهد دورًا أساسيًا فى حركة السيالة العصبية فى الليفة العصبية وفى انقباض الليفات العضلية . وأى أثار له فى نقطة على غشاء البلازما ينشأ عنها تغير فى اتزان أيونات الصوديوم والبوتاسيوم ، وتعمل المضخة على إعادة هذا الاتزان .



* **السيالة العصبية :**

تفصل أغشية الخلايا والمحاور العصبية ـ فى حالة الراحة (السكون) ـ بين محلولين ، أحدهما خارج الغشاء ويحتوى بشكل رئيسى على أيونات الصوديوم الموجبة Na^+ ، والآخر داخل الغشاء ويحتوى على أيونات البوتاسيوم الموجبة K^+ ، إضافة إلى وفرة من الشحنات السالبة تحملها أيونات الكلور Cl^- وبعض المركبات مثل الأحماض الأمينية والبروتينات وجزيئات ATP . إلخ ، كما وجد أن أغشية المحاور فى هذه الحالة منفذة لأيونات البوتاسيوم K^+ فتسمح لها بالخروج والتجمع على السطح الخارجى للغشاء وغير منفذة لأيونات الصوديوم Na^+ إلى الداخل رغم وفرتها خارج الأغشية ويوصف الغشاء فى هذه الحالة بأنه فى حالة استقطاب Polarization . وهى الحالة التى يكون فيها السطح الخارجى للغشاء موجب الشحنة ، والسطح الداخلى سالب الشحنة .



الخلية العصبية ومحور الخلية

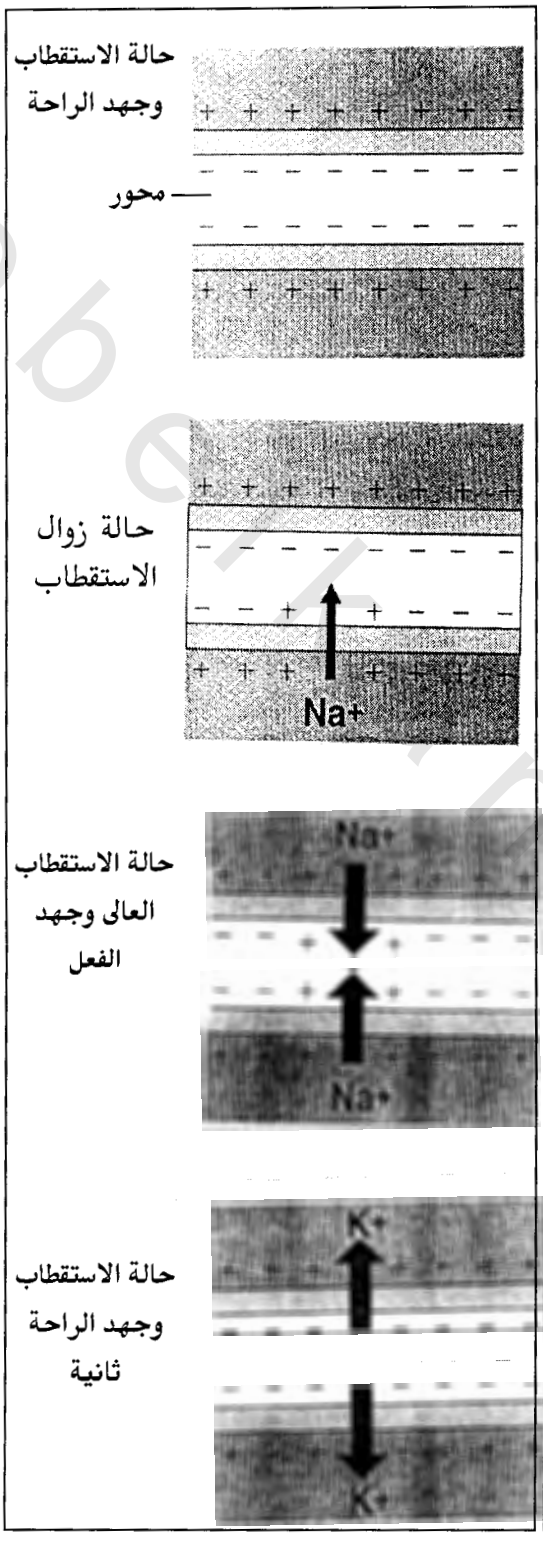
وإذا وضعنا قطبين لجهاز فولتميتر حساس أحدهما داخل الغشاء والآخر خارجه ، فإن فرق الجهد بين سطحى الغشاء العصبى يسمى جهد الراحة Resting potential أو (الكمون الغشائى) ويقدر بحوالى (– ٧٠ ميللى فولت) وقد يصل فى بعض الخلايا إلى (– ١٠٠) .

إذن جهد الراحة هو فرق الجهد المسجل بين سطحى المحور أثناء حالة الاستقطاب .

ـ فى حالة إثارة أى نقطة على الغشاء يفقد الغشاء قدرته على النفاذية الاختيارية فى نقطة الإثارة فتنفذ الأيونات دون تحكم فتدخل أيونات الصوديوم داخل الليفة وتصبح الشحنات داخل الليفة موجبة فينعكس الاستقطاب ويصبح فرق الجهد داخل الغشاء أعلى منه خارج الغشاء (وهو ما نعبر عنه بأن داخل الغشاء موجب وخارجه سالب) .

ـ يسبب ذلك زيادة نفاذية أيونات البوتاسيوم K^+ من الداخل إلى الخارج حتى يستعيد الغشاء القدرة على النفاذية الاختيارية .

ـ الاضطراب الذى حدث فى نقطة من الليفة تلاه تغير كهروكيميائى يؤثر على المناطق المجاورة ويكون سيالة عصبية .



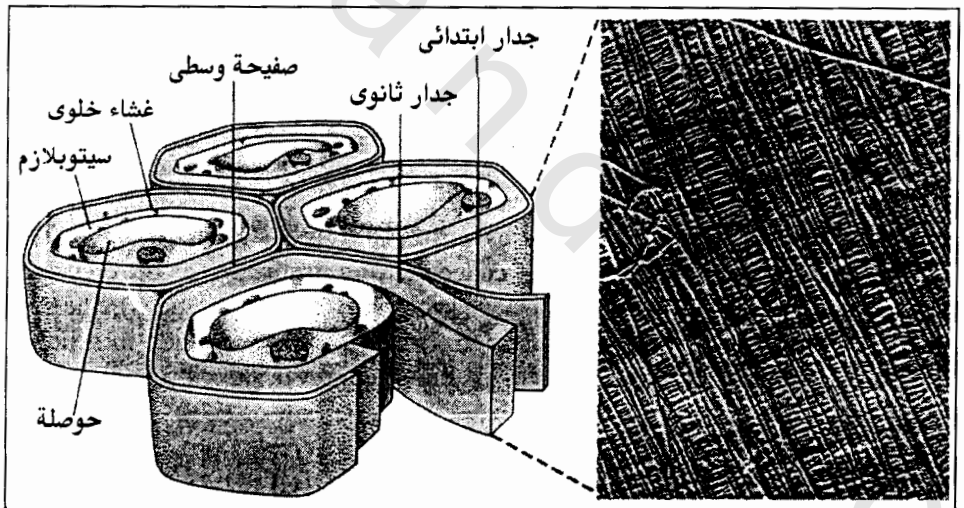
ـ مدة دخول أيونات الصوديوم وخروج أيونات البوتاسيوم من ٠,٠٠٢ إلى ٠,٠٠٥ ثانية .

يلزم فترة ٠,٠٠١ إلى ٠,٠٠٣ من الثانية بعد الانتهاء من نقل السيال العصبى حتى يمكن نقل سيال عصبى آخر جديد وتسمى هذه الفترة فترة الجموح .

ـ خلال فترة الجموح تبذل الخلية الطاقة للقيام بعملية النقل النشط لنقل أيونات الصوديوم خارج الخلية وليستعيد الغشاء خواصه الفسيولوجية فى حالة الراحة .

الجدار السليلوزى

تحاط الخلية النباتية بجدار صلب من المكونات غير الحية يبدأ ظهوره فى نهاية الانقسام الخلوى للخلية النباتية ويسمى الصفيحة الوسطى ، ويتركب من مواد بكتينية وبزيادة عمر الخلية يترسب على جانبيه مادة السليلوز ويعتبر جدارًا ابتدائيًا وباستمرار ترسيب السليلوز على جانبيه ومواد أخرى مثل اللجنين والسيوبرين يتحول إلى جدار ثانوى أكثر صلابة ، وكل من السليلوز واللجنين لا يعوق مرور الماء والمواد الذائبة خلال جدر الخلايا بينما يعيق كل من السيوبرين والكيوتين مرور الماء وهى مواد شمعية تغلظ بعض الخلايا حتى تقلل من عملية النتح مثل مادة الكيوتين ـ ولذلك فهى تغطى جدر خلايا الاندودرمس فى الجذر لينظم مرور الماء .



يتكون الجدار السليلوزى من جدار ابتدائى وجدار ثانوى

* **البلازموديزما Plasmodesmata** :

تتصل المادة الحية بين الخلايا بواسطة خيوط سيتوبلازمية دقيقة يصعب رؤيتها بالمجهر الضوئى وتمر من خلية إلى أخرى خلال فتحات فى الجدار الخلوى ، وتعرف

هذه الخيوط بـالروابط البروتوبلازميـة أو البلازموديزمـا ووجـود هـذه الروابـط ضـرورى لتنظيم وتجانس الأنشطة الحية فى الخلايا .

* **النقر :**

تزداد مساحة الجدار السيلوزى وسمكه إما بترسيب طبقات على السـطح الداخلـى للجدار أو إدماج مواد جديدة بين مكونات الجدار والفراغات التى تترك دون ترسـيب تسمى النقر وهى ثقوب فى الجدار تعمل كقنـوات يتـم خلالـها انتقـال العصـارة مـن خلية إلى أخرى وتوجد الروابط البلازمية فى الخلايا الحية فى أماكن النقر .

* **خاصية التشرب Imbibition :**

إحـدى صـور انتشـار المـاء فـى النبـات ويحـدث فـى وجـود مـواد ادمصاصيـة Adsorbent ومحصلة تحرك المـاء يكـون علـى طـول تـدرج الانتشـار . ويحـدث التشرب نتيجة وجود قابلية امتزاجية بين مكونات المادة الادمصاصيـة (الخشـب مثلا) والمادة المتشربة (الماء) والمادة الادمصاصية لا يشـترط تشربـها لكـل أنـواع السوائل ففى الوقت الذى لا يتشرب فيه المطاط الماء نجده يتشرب الإيثير .

وفى الخلايا يحدث ادمصاص للماء على أسطح الغرويات المحبة للماء داخل هـذه الخلايا كالبروتينات والسليلوز والنشا والماء اللازم لإنبات البذور يتم من خـلال عمليـة التشرب .

* **ما هو الادمصاص Adsorption ؟**

هو ميل الجزيئات أو الأيونات إلى الالتصاق على أسطح المواد الصلبة أو السـائلة ، وهذه الظاهرة تتوقف على كمية الأسطح المعرضة والطبيعـة الكيميائيـة للمـواد المشتركـة ، ولذلك فإن السعة الدمصاصية واسعة للمـواد الغرويـة الموجـودة فـى الخلايـا الحيـة ؛ وذلك لاتساع مساحة الأسطح المعرضة بالنسبة للوزن .