الخلية The Cell

الخلية هى الوحدة التركيبية والوظيفية للحياة . وهى عبارة عن كتلة بروتوبلازمية . وتتكون جميع الأنسجة والأعضاء من خلايا . تحدث خلالها جميع الوظائف الحيوية للكائن الحى .

* البروتوبلازم والخلايا Protoplasm and cells :

البروتوبلازم هو المادة الحية التى تتكون منها جميع خلايا أجسام الكائنات الحية (نباتية كانت أم حيوانية) . وهو مزيج من مواد مختلفة مثل الماء والأملاح المعدنية والعديد من المركبات العضوية . ويختلف تركيب وخواص البروتوبلازم فى الكائنات المختلفة وكذلك فى الأعضاء والأنسجة داخل جسم الكائن الواحد ، ومع ذلك فإن للبروتوبلازم خواص عامة مميزة فهو يوجد على هيئة مادة هلامية رمادية اللون نصف شفافة قريبة الشبه بالجيلاتين السائل .

* النظرية الخلوية Cell Theory :

تتكون أجسام جميع الكائنات الحية من خلايا ومن منتجات الخلايا . والخلية هى الوحدة التركيبية والوظيفية للكائن الحى . وجميع الخلايا قد نشأت من خلايا أخرى كانت توجد قبلها .

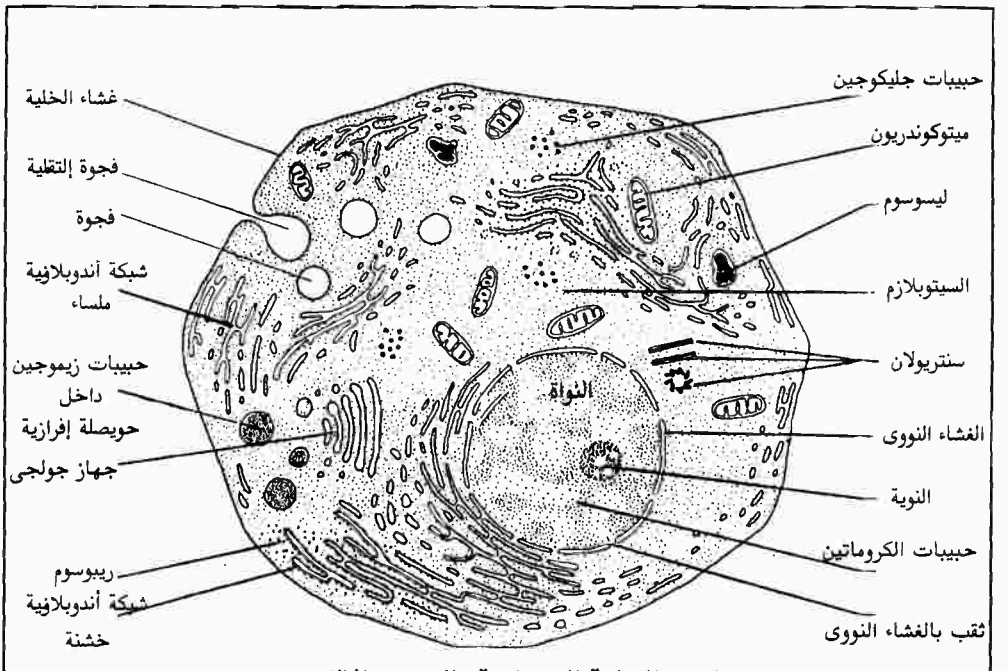
* الكائنات الحية قد تكون وحيدة الخلية أو عديدة الخلايا . فالكائن عديد الخلايا تتجمع خلاياه فى مجموعات ، كل منها ذو تركيب معين ويؤدى وظيفة خاصة أو معينة . ويبدأ الكائن عديد الخلايا كخلية واحدة تنقسم تباعًا لتكون الجسم .

* يوجد تباين كبير بين الخلايا من حيث الشكل والتركيب تبعًا لأماكن تواجدها فى الجسم والوظيفة التى تؤديها . كما أنها تختلف أيضًا فى الحجم

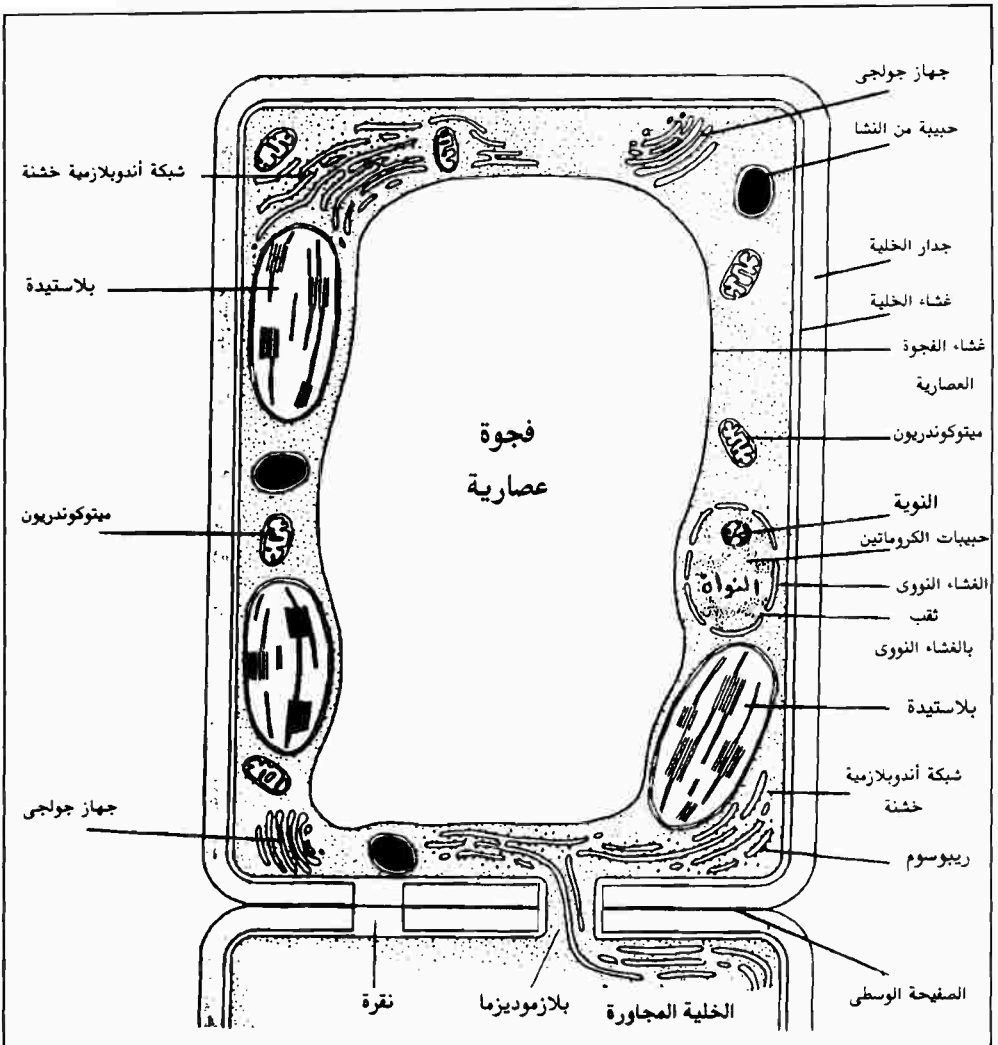
عن بعضها البعض ، فأحجام الخلايا فى جسم الإنسان ـ على سبيل المثال ـ صغيرة جدًا للدرجة التى لا يمكن معها تمييزها بالعين المجردة ، وهناك من الخلايا ما يمكن رؤيته بالعين مثل الخلية البيضية ببيضة الطيور .

* ما الوسائل المستخدمة لدراسة الخلية ؟

يمكن دراسة الخلية بعدة أنواع من المجاهر مثل المجهر الضوئى والإلكترونى النافذ والماسح . فالمجهر الضوئى له قوة تكبير حوالى ٨٠٠ مرة أما الإلكترونى النافذ فله قوة تكبير ٣٠٠,٠٠٠ مرة ، ويستخدم المجهر الإلكترونى الماسح فى دراسة أسطح التراكيب الخلوية المختلفة .



تركيب الخلية الحيوانية بالمجهر الإلكترونى



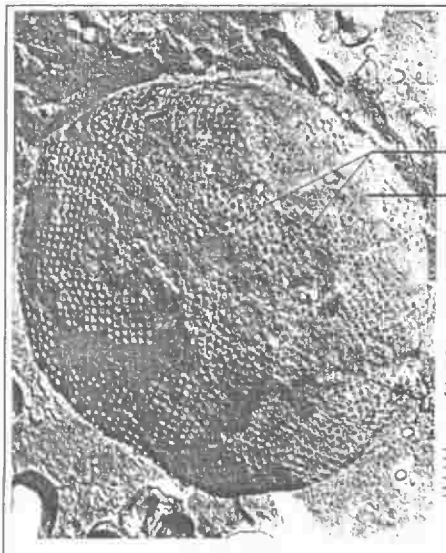
تركيب الخلية النباتية بالمجهر الإلكترونى

٭ الخلية The Cell :

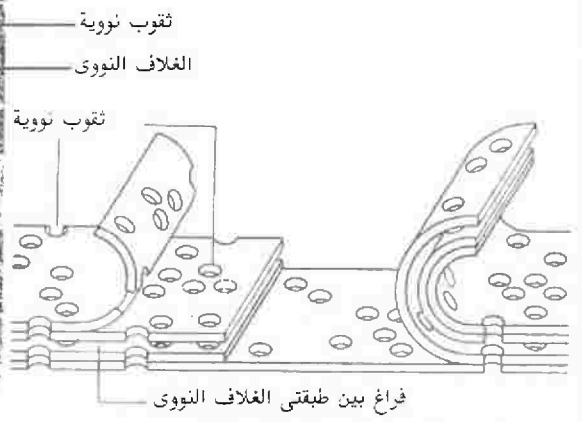
عبارة عن كتلة برتوبلازمية ، تتميز إلى جزئين رئيسيين : النواة والسيتوبلازم . وتحاط النواة بغشاء مزدوج يعرف بالغشاء النووى ، كما تحاط الخلية بأكملها بغشاء آخر يعرف بالغشاء الخلوى أو الغشاء البلازمى .

* النواة Nucleus :

وهى أوضح **عضيات** الخلية ، قد تكون كروية أو بيضاوية الشكل ، يحيط بها غشاء يحتوى العديد من الثقوب ليمكنها من الاتصال بالسيتوبلازم . وتعتمد الخلية



نواة الخلية
(صورة بالميكروسكوب الإلكترونى)



شكل يوضح طبقات الغلاف النووى

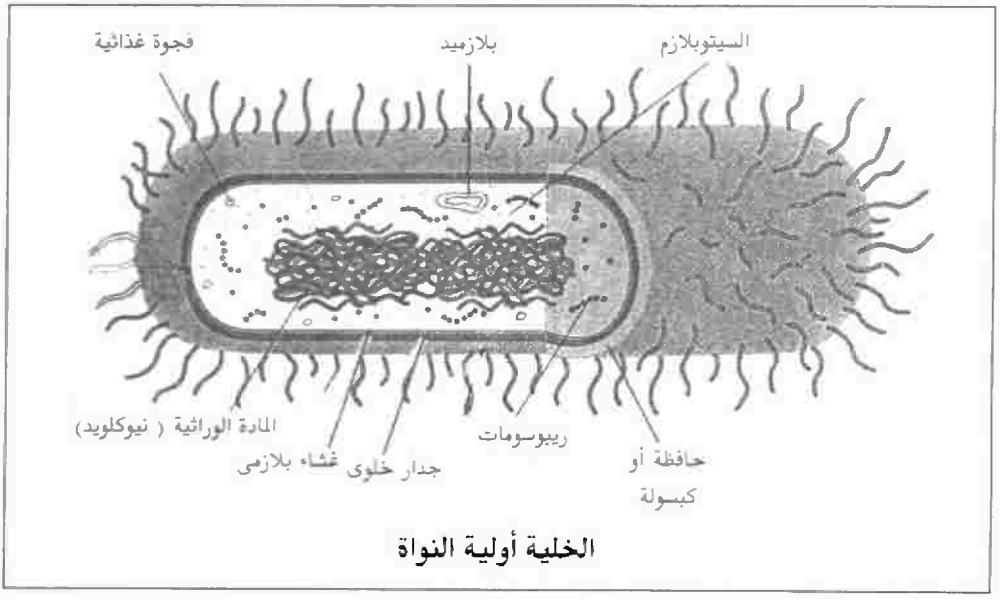
فى أداء وظائفها لدرجة قصوى على النواة . ويوجد داخل النواة مجموعة من الحبيبات من مادة الكروماتين ـ عبارة عن أجزاء من خيوط حلزونية تسمى الكرومونين ـ وأثناء انقسام الخلية تتجمع هذه الحبيبات على هيئة خيوط أو عصى تسمى الكروموسومات تنتظم عليها الجينات التى توجه الانتقال الوراثى للصفات وكذا توجه نشاط الخلية فى اتجاه معين . والنواة تتحكم فى معظم أيض وأنشطة الخلية فإذا أزيلت فإن الخلية لا تستطيع أن تستمر فى أداء أنشطتها العادية وتموت . وتحتوى كل نواة على نوية واحدة أو أكثر لها علاقة بأيض البروتين النووى . وتمر النواة أثناء حياتها بمرحلتين متتابعتين : المرحلة البينية أو الانتقالية ومرحلة الانقسام .

* السيتوبلازم Cytoplasm :

وهو ذو طبيعة غروية . يحتوى على تراكيب حية تعرف بالعضيات السيتوبلازمية ـ البعض منها غشائى مثل الميتوكوندريا والشبكة الاندوبلازمية وجهاز جولجى والليسوسومات والبلاستيدات الخضراء (فى الخلايا النباتية فقط) . وبعضها الآخر غير غشائى مثل الريبوسومات والجسم المركزى والأنيبيبات الدقيقة والليفات والأسواط والأهداب ـ كما يحتوى على مواد غير حية يطلق عليها الميتابلازم أو الديوتوبلازم عبارة عن الجليكوجين والنشا والحبيبات الدهنية والقطرات الزيتية وبعض المواد الأخرى كالأصباغ والمواد الإفرازية والنواتج الإخراجية . . وغيرها .

* الخلايا بدائيات النواة والخلايا حقيقيات النواة :

• **الخلايا بدائيات النواة** : مثل البكتريا والطحالب الخضراء المزرقة



الخلية أولية النواة

السيتوبلازم فيها يخلو من العضيات السيتوبلازمية الغشائية مثل الشبكة الأندوبلازمية وجهاز جولجى والليسوسومات والميتوكوندريا (معظم وظائف هذه العضيات يقوم بها السطح الداخلى للغشاء البلازمى) . وهو يحتوى على

ريبوسومات صغيرة الحجم ، والنواة تفتقد الغشاء النووى الذى يحيط بمحتوياتها ولذلك فالنواة غير محددة فى بدائيات النواة وتختلط محتوياتها بالسيتوبلازم . وتتكون المادة الوراثية فيها من كروموسوم واحد يتكون من جزئ طويل واحد من الحمض النووى الديؤكسى ريبوزى DNA ، بالإضافة إلى قطع صغيرة من الـ DNA تعرف بالبلازميدات . وحمض DNA بالكروموسوم والبلازميدات من النوع الدائرى . كما أن النواة لا تحتوى على نوية في بدائيات النواة . وبعض بدائيات النواة لها عضيات تشبه الشعر يطلق عليها الأسواط يغيب من تركيبها الأنيبيبات الدقيقة ، وتتكون من نوع واحد من البروتين يُعرف بالفلاجين .

* **الخلايا حقيقيات النواة Eucaryotic cells :**

تحاط فيها النواة بغلاف نووى يتركب من غشائين ويحتوى ثقوب تسمح باستمرار الاتصال بين محتويات النواة والسيتوبلازم . وتحتوى النواة على مادة الكروماتين التى تتعقد مع البروتينات وتشكل مادة الكروموسومات التى تمثل المادة الوراثية للخلية . وتحتوى النواة على نوية أو أكثر . ويحتوى السيتوبلازم على مختلف أنواع العضيات السيتوبلازمية الغشائية وغير الغشائية .

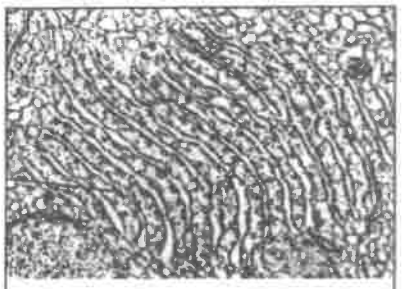
* **العضيات السيتوبلازمية Cytoplasmic organells :**

وهى تراكيب سيتوبلازمية تعتبر مراكز متخصصة ـ كل منها له وظيفة محددة داخل الخلية .

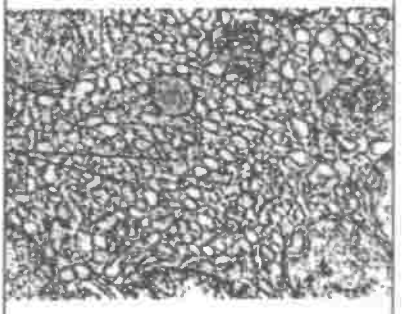
١ ـ الشبكة الإندوبلازمية Endoplasmic reticulum :

عبارة عن شبكة من القنيات الغشائية على اتصال بالغشاء النووى ومتخللة جميع أنحاء السيتوبلازم ، وكذلك فهى على اتصال بغشاء الخلية ـ فى معظم الخلايا ـ وبذلك فإن تجاويف الشبكة الأندوبلازمية تفتح للخارج فيما بين الخلايا . ويوجد نوعان من الشبكة الأندبلازمية : خشنة وملساء ، فالشبكة الأندوبلازمية الخشنة تتميز بوجود عدد كبير من الحبيبات الدقيقة ـ المعروفة بالريبوسومات ـ على أسطحها ، والتى تعتبر مواقع تخليق البروتين بالخلية . ولا توجد ريبوسومات

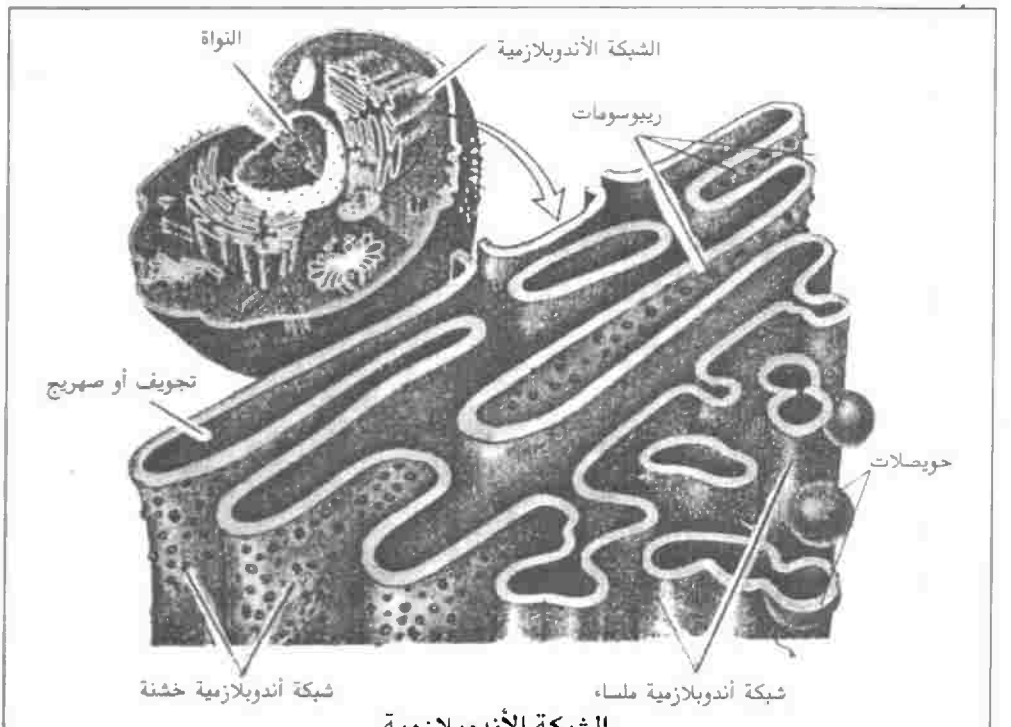
على أسطح الشبكة الأندوبلازمية الملساء . وتختص الشبكة الأندوبلازمية الخشنة بتخليق البروتين بالخلية وكذا إدخال التعديلات على البروتين الذى تفرزه الريبوسومات ، أما الشبكة الملساء فتختص بتخليق الدهون والجليكوجين بالخلية .



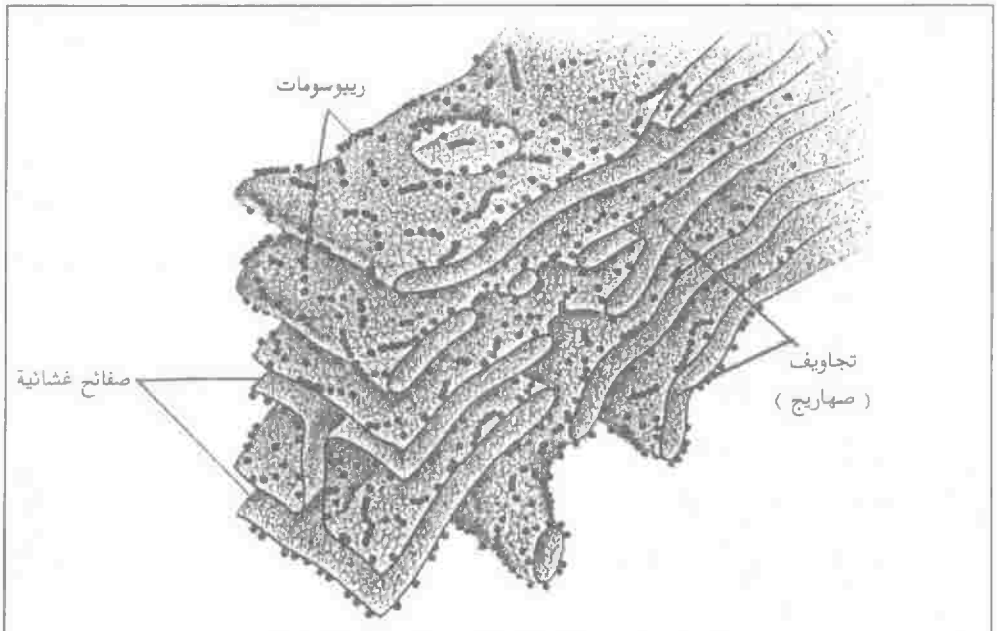
الشبكة الأندوبلازمية الخشنة



الشبكة الأندوبلازمية الملساء



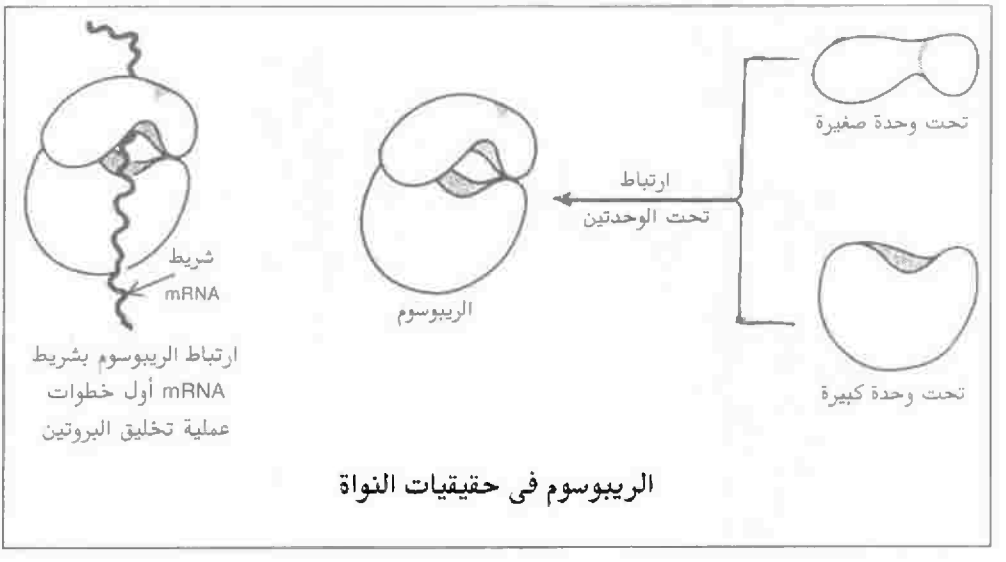
الشبكة الأندوبلازمية



شكل سطحى للشبكة الأندوبلازمية الخشنة

٢ ـ الريبوسومات Ribosomes :

عضيات متناهية فى الصغر ، كل منها يتكون من تحت وحدتين ـ كما يظهر



الريبوسوم فى حقيقيات النواة

بالمجهر الإلكترونى ـ وهى غنية بالحامض النووى RNA والبروتينات . ولا يقتصر وجود هذه العضيات بالخلية على ما هو موجود على أسطح الشبكة

الأندوبلازمية الخشنة ولكنها توجد أيضًا مبعثرة ـ مجموعات (بوليسومات) وفرادى ـ بالسيتوبلازم . والبروتين الذى يصنع بالريبوسومات عادة ما يُفرز منه جزء إلى خارج الخلية . والجزء الأخر يُحمل فى حويصلات أو قنيات ـ تكونها الشبكة الأندوبلازمية الخشنة ـ إلى عضيات أخرى بالخلية تعرف بأجسام أو جهاز أو مُعقد جولجى .

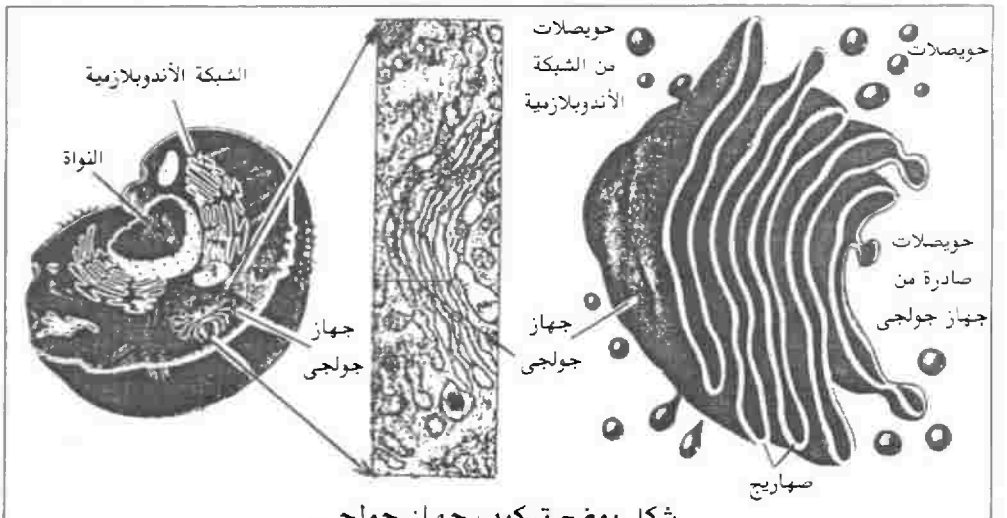
٣ ـ جهاز جولجى Golgi apparatus :

تركيب غشائى يتكون من ثلاثة عناصر :

(أ) عدد من الحويصلات الغشائية المفلطحة والمتوازية .

(ب) عدد من التجاويف الكبيرة المستديرة المغلفة بأغشية رقيقة وتقع عند نهاية الحويصلات السابقة .

(جـ) مجموعة صغيرة من التجاويف الدقيقة المغلفة بأغشية رقيقة .

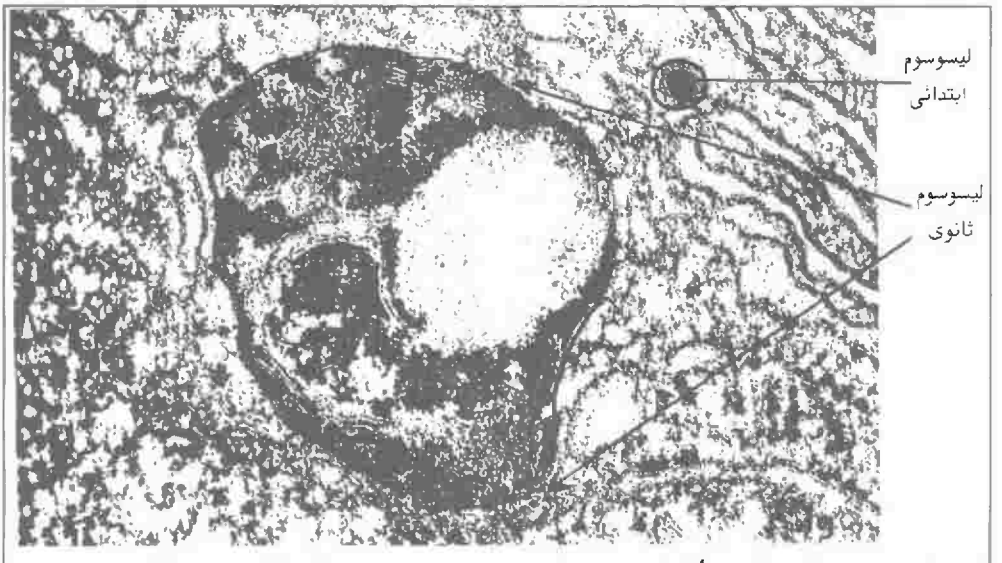


شكل يوضح تركيب جهاز جولجى

وجهاز جولجى يتسلم ويوظف المواد المنقولة إليه من الشبكة الأندوبلازمية ويعيد استخدامها بوسائل كيميائية مختلفة ثم يُصدرها داخل حويصلات تتجه صوب الغشاء البلازمى حيث تطردها الخلية للخارج كمنتجات إفرازية . وبذلك فإن جهاز جولجى يقوم بدور مهم فى تكوين المواد الإفرازية بالخلية . مثل المواد الخام التى تتكون منها الإنزيمات والهرمونات والمواد المخاطية . . وغيرها .

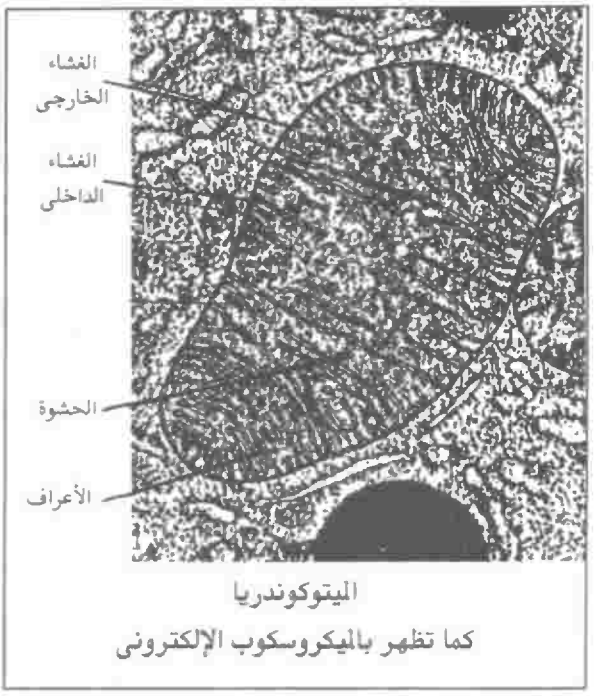
٤ ـ الليسوسومات Lysosomes :

عبارة عن حويصلات غشائية تقوم بدور مهم فى العديد من أنشطة الخلية مثل عمليات الهضم داخل الخلية وعمليات أيض المواد الكربوهيدراتية . . . وغيرها . وهى تلعب دورًا مهمًا فى التخلص من بعض محتويات الخلية والأنسجة فى ظروف معينة (مثل هدم وإتلاف العديد من الخلايا أثناء اختفاء وتحلل الذيل فى يرقات البرمائيات) . وإذا حدث وتمزقت أغشية الليسوسومات ـ لسبب ما ـ فإن إنزيماتها تنساب داخل الخلية مسببة تحلل الخلية كلية ، ولذلك يطلق على الليسوسومات مصطلح « الجيوب الانتحارية » . ويتم تكوين الليسوسومات بواسطة جهاز جولجى ويطلق عليها مصطلح (الليسوسومات الابتدائية) والتى لا تلبث أن تتحد مع الحويصلات الحاوية مع المواد الغذائية أو المواد الغريبة (ويطلق على الحويصلات المتكونة اسم الليسوسومات الثانوية) حيث تصب الأنزيمات وتهضم هذه المواد .



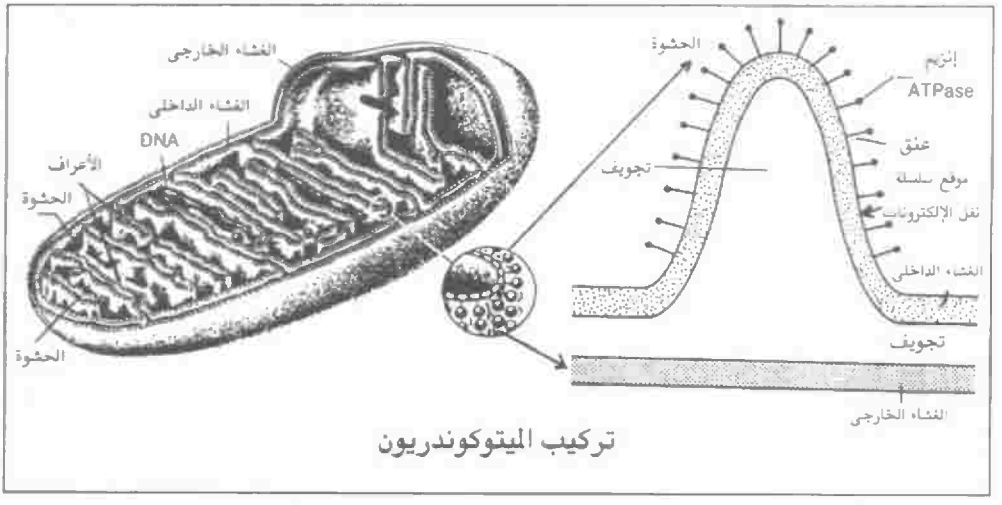
الليسوسوم الابتدائى ـ يُخلق من جهاز جولجى ، ويتحول إلى الليسوسوم الثانوى عند قيامه بعملية هضم المواد الغذائية أو المواد الغريبة داخل الحويصلات الخلوية

٥ ـ الميتوكوندريا (الأجسام السبحية) Mitochondria :



الميتوكوندريا
كما تظهر بالميكروسكوب الإلكترونى

وهى تراكيب كيسية أو أسطوانية قد تكون كروية أو بيضاوية الشكل ، دقيقة الحجم . جدارها يتكون من غشائين . الداخلى منهما به ثنيات وبروزات ـ تعرف بالأعراف ـ تبرز بتجويفها الداخلى الذى يعرف بالحشوة . وتعتبر الميتوكوندريا المستودع الرئيسى للأنزيمات التنفسية بالخلية حيث ينتشر على أعراف غشائها الداخلى مجموعة من أنزيمات السيتوكروم المؤكسدة وكذلك الأنزيمات النازعة للهيدروجين وأنزيمات الفسفرة التأكسدية . ولذلك تحدث تفاعلات نقل الإلكترونات وتفاعلات



تركيب الميتوكوندريون

انسياب أو تحرر الطاقة بالغشاء الداخلى للميتوكوندريا وبذلك فهى تعتبر مراكز التنفس الهوائى ومراكز توليد الطاقة بالخلايا ـ حيث ينتج مركب ATP الغنى بالطاقة . كما تحتوى الحشوة على العديد من الأنزيمات مثل أنزيمات دورة كربس ومرافقاتها الأنزيمية والماء والفوسفات بالإضافة إلى الأحماض النووية DNA (من النوع الحلقى) و RNA والريبوسومات . وتكثر الميتوكوندريا فى الخلايا ذات النشاط الأيضى العالى مثل الخلايا العصبية والعضلية والكبدية .

- **انسياب أو تحرر الطاقة (التنفس الخلوى) Release of energy :**

تنساب أو تتحرر الطاقة بواسطة عملية التنفس فى جميع الخلايا الحية عن طريق عملية أكسدة سكر الجلوكوز تبعًا للمعادلة الآتية :

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \longrightarrow 6\,H_2O + 6\,CO_2 + \text{Energy}$$

والمصدر الفورى (المباشر) للطاقة التى تحتاجها الخلية لجميع أنشطتها الحيوية هو ATP الذى تُخلقه الخلية من مركب ADP والفوسفات غير العضوى باستخدام الطاقة التى تنتج من أكسدة سكر الجلوكوز المخزن فى الخلايا على هيئة جليكوجين (فى الحيوانات) أو نشا (فى النباتات) . كما يعتبر كل من الدهون والبروتينات مصادر كامنة للطاقة اللازمة لتخليق ATP تستغلها الخلية فى حالة نقص أو غياب سكر الجلوكوز .

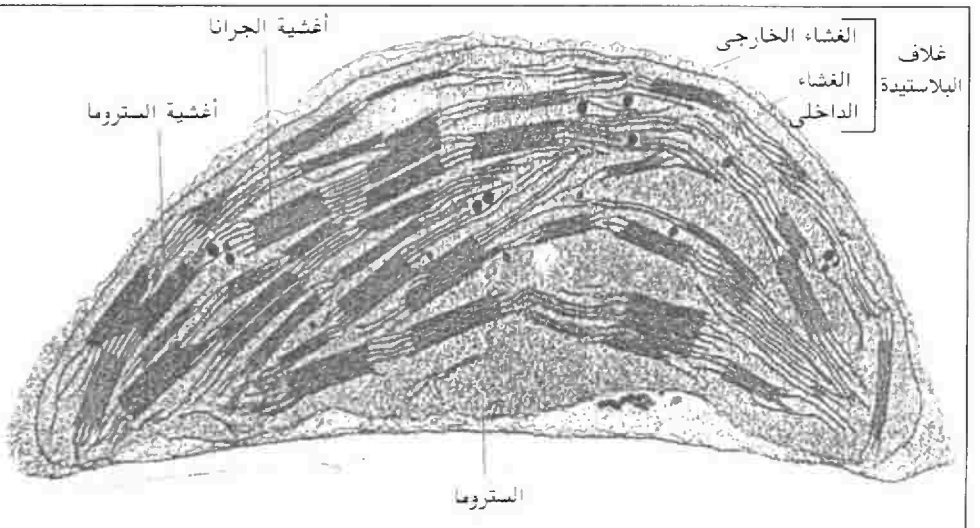
وتتم الأكسدة الهوائية لسكر الجلوكوز فى مرحلتين أساسيتين : أولهما مرحلة الانشطار السُكرى (جلوكوز ⟵ حمض بيروفيك) والتى تحدث فى سيتوبلازم الخلية ، متبوعة بالمرحلة الثانية وهى دورة كربس التى تتم بحشوة الميتوكوندريا . ومعظم الطاقة اللازمة لتخليق ATP تنساب من خلال سلسلة نقل الإلكترونات والتى تتم بأعراف الغشاء الداخلى للميتوكوندريا .

وفى حالة التنفس اللاهوائى (التخمر) فإن حمض البيروفيك (الناتج من انشطار الجلوكوز) يتحول إلى حمض اللاكتيك (فى الخلايا الحيوانية وأنواع معينة من البكتريا) أو إلى الكحول الإيثيلى و CO_2 (فى النباتات والخميرة) ،

ولا تحدث دورة كربس حيث لا تشترك الميتوكوندريا فى هذه العملية . وبالتالى فإن كمية الطاقة المنطلقة من عملية التنفس اللاهوائى قليلة جداً بالمقارنة بالكمية المنطلقة من التنفس الهوائى .

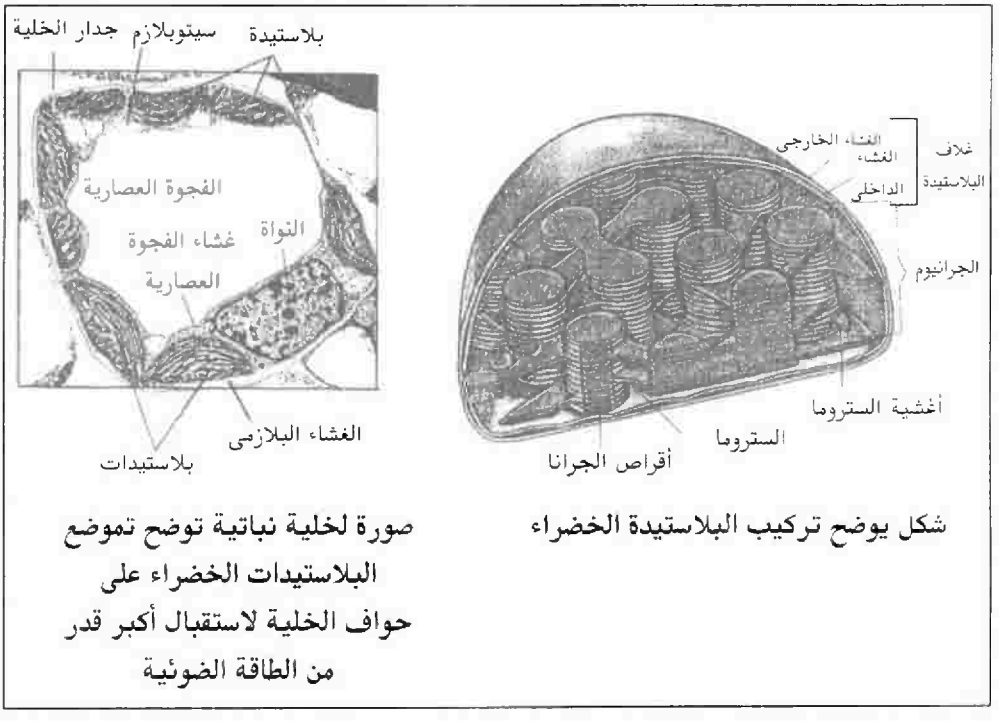
٦ ـ البلاستيدات Plastides :

عضيات سيتوبلازمية غشائية توجد بالخلايا النباتية فقط . ذات اشكال مستديرة أو بيضية أو قرصية تتراوح أقطارها من ٤ – ٦ ميكرون . وتتم بها عملية البناء الضوئى . وهى تتركب ـ كما تظهر بالمجهر الإلكترونى ـ من غلاف يتكون من غشائين يحيط بحشوة داخلية تسمى الستروما تتركب من DNA (من النوع الحلقى) و RNA وريبوسومات وأنزيمات وحبيبات نشا وقطرات دهنية إضافة إلى مجموعة من التراكيب الغشائية التى تعرف بأغشية الستروما والتى تكثر أعدادها فى بعض المواقع مكونة تراكيب تعرف بالجرانا والتى تتركب الواحدة منها (الجرانيوم) من مجموعة من الأقراص الغشائية المتراصة (٥ : ٥٠) والتى تحتوى صبغ الكلوروفيل بأغشيتها .



البلاستيدة الخضراء كما تظهر بالمجهر الإلكترونى

ويحدث داخل الجرانا مجموعة من التفاعلات الكيموضوئية حيث يتم امتصاص الطاقة الضوئية بواسطة صبغ الكلوروفيل واستخدامها فى شطر الماء إلى عنصريه الأكسجين الذى يتصاعد والهيدروجين الذى ينتقل إلى السترومـا حيث يدخل فى مجموعة من التفاعلات الأنزيمية المعروفة بالتفاعلات اللاضوئية (تفاعلات الظلام) يتم فيها اختزال ثانى أكسيد الكربون بالهيدروجين لتنتهى بتكوين المواد الكربوهيدراتية . كما تحتوى أغشية السترومـا على أنزيمات نقل الإلكترونات حيث يتم توليد جزيئات من مركب ATP .



صورة لخلية نباتية توضح تموضع البلاستيدات الخضراء على حواف الخلية لاستقبال أكبر قدر من الطاقة الضوئية

شكل يوضح تركيب البلاستيدة الخضراء

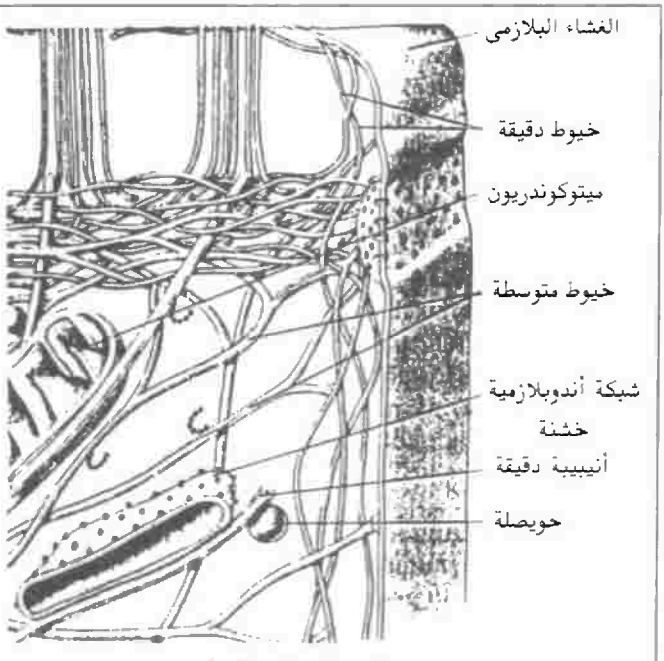
٧ ـ الفجوات Vacuoles :

يحتوى السيتوبلازم على العديد من الفجوات الصغيرة المبعثرة والممتلئة بمادة سائلة يحيط بها غشاء مفرد يسمى التونوبلاست . وقد تكون هذه الفجوات كبيرة الحجم وقليلة العدد (١ ـ ٢) كما فى الخلايا النباتية حيث تشغل حوالى ٩٠ ٪ من حجم الخلية وتعرف بالفجوة العصارية تحتوى داخلها على العصير الخلوى

الذى يكسب الخلية ضغط الامتلاء الضرورى للتركيب الدعامى للخلية . وكذلك للتحكم فى حركة وكمية الماء بالخلية . وتعتبر هذه الفجوات العصارية مخازن للكثير من النواتج الأيضية والمواد الإخراجية والسامة مثل السكريات والأحماض العضوية والأصباغ والقلويدات والدهون والزيوت والتانينات والبللورات . ويقوم غشاء التونوبلاست بدور مهم فى النشاط الكيموحيوى للخلايا النباتية لأن الفجوة العصارية تشترك فى تكسير وإعادة تكوين المواد الخلوية .

٨ ـ هيكل الخلية Cytoskeleton :

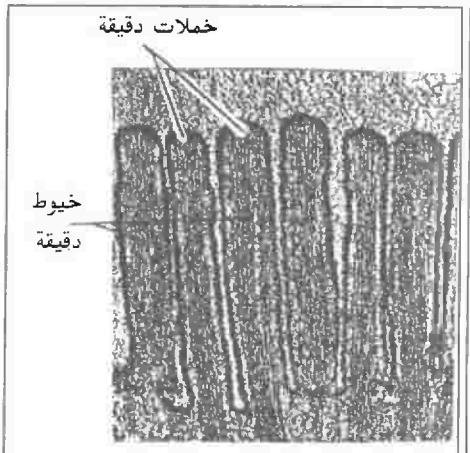
عبارة عن مجموعة من الخيوط الدقيقة والمتوسطة والأنيبيبات الدقيقة التى تكسب الخلية دعامة تساعد فى المحافظة على شكل وقوام الخلية . كما أنها تتشابك مع بعضها مكونة شبكة خلوية تمثل مسارات لتحرك الحويصلات المحتوية على المواد المختلفة من موضع لآخر داخل الخلية .



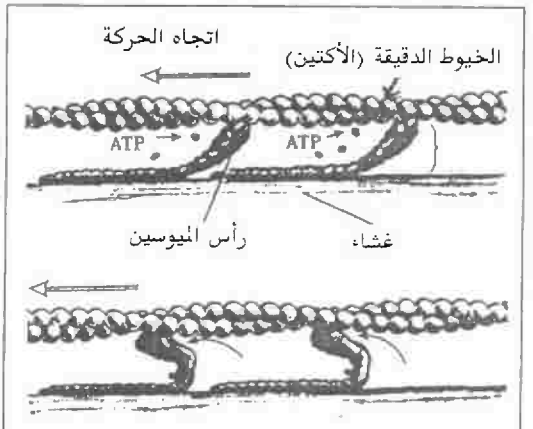
عناصر الهيكل الخلوى

(أ) الخيوط الدقيقة Microfilaments :

وهى عبارة عن شرائط مزدوجة ملتفة حول نفسها من بروتين الأكتين ، مثل الليفات العضلية الموجودة بالخلايا العضلية والتى يرجع إليها آلية الانقباض فى



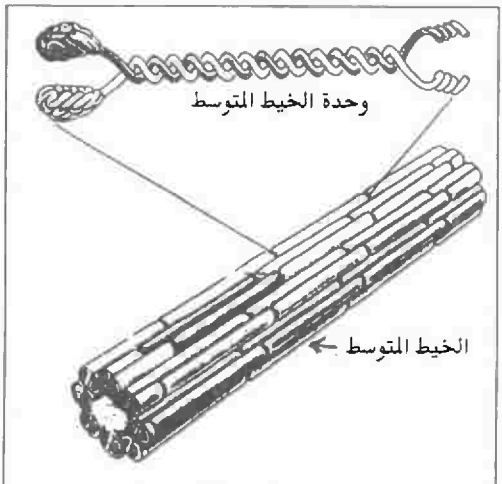
الخيوط الدقيقة تدعم الخملات الدقيقة
وتساعد فى نقل المواد بها



الخيوط الدقيقة والحركة الانزلاقية فى العضلات

هذه الخلايا عن طريق حركتها الانزلاقية مع خيوط من بروتين الميوسين ، وكذلك الليبيفات الموجودة بالخلايا العصبية والتى تساعد فى نقل المؤثرات الحسية والعصبية داخلها . وكالموجودة داخل الخملات الخلوية الدقيقة والتى تكسب الخملات دعامة تحافظ على شكلها وكذلك تكون مسارات لنقل المواد الممتصة داخلها .

(ب) الخيوط المتوسطة Intermediate filaments :

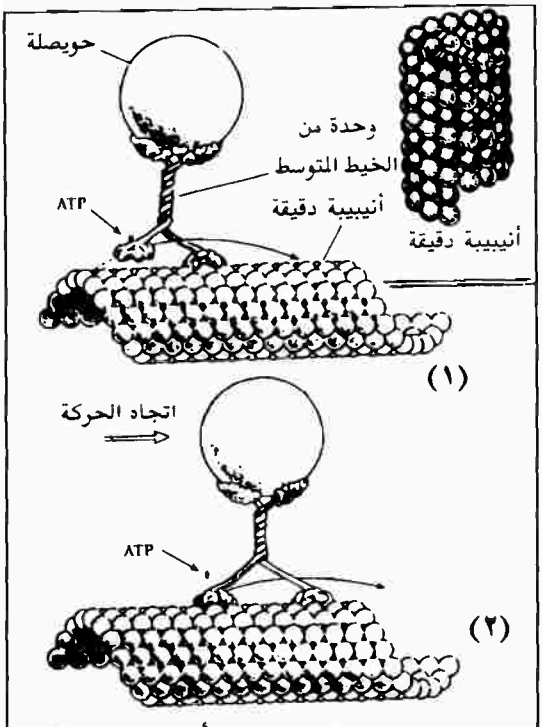


تركيب الخيط المتوسط

ويتكون الواحد منها من ثمان وحدات مرتبة على شكل أنبوبة جوفاء . والوحدة الواحدة منها عبارة عن شريطين ملتفين حول بعضهما وهى تتكون من بروتين يختلف نوعه حسب أنواع الخلايا الموجود بها هذه الخيوط . وتساعد هذه الخيوط فى المحافظة على شكل الخلية وتدعيمها وفى الربط بين الخلايا المتجاورة (الديسموسومات) .

(جـ) الأنيبيبات الدقيقة Microtubules :

وهى تراكيب أنبوبية بروتينية ، تتكون الواحدة منها من شريطين حلزونيين من وحدات بروتينية صغيرة من بروتين التيوبيولين . وتقوم الأنيبيبات الدقيقة (بالاشتراك مع الخيوط المتوسطة) بنقل المواد داخل الخلية . وهى تدخل فى تركيب الأهداب والأسواط وحبيباتها القاعدية وكذلك يتكون منها السنتريول وخيوط المغزل التى تتكون أثناء انقسام الخلية .

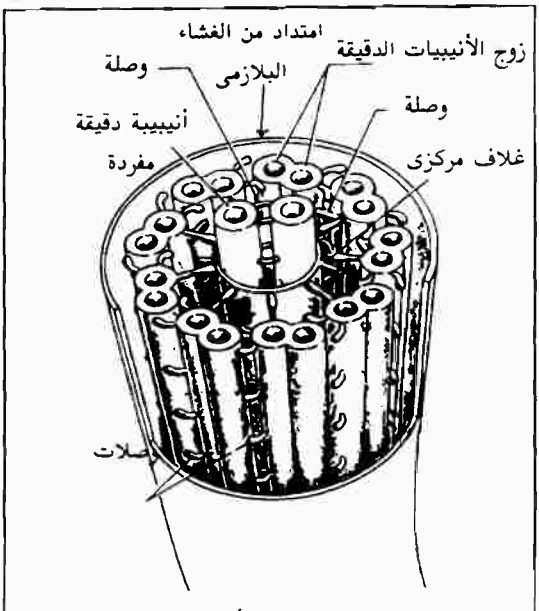


زحف الخيط المتوسط على الأنيبيبة الدقيقة

(النقل الخلوى)

* **الأسواط Flagella** : توجد بالخلايا أولية النواة مثل البكتريا وكذا بالخلايا حقيقية النواة مثل اليوجلينا والحيوانات المنوية .

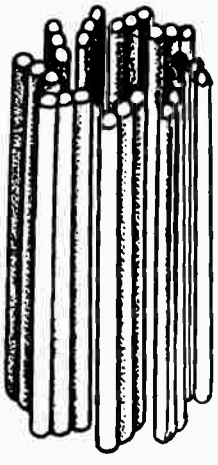
* **الأهداب Cilia** : توجد فى الكثير من خلايا الأنسجة والكائنات وحيدة الخلية . والأهداب توجد بعدد أكبر من الأسواط .



تركيب السوط أو الهدب

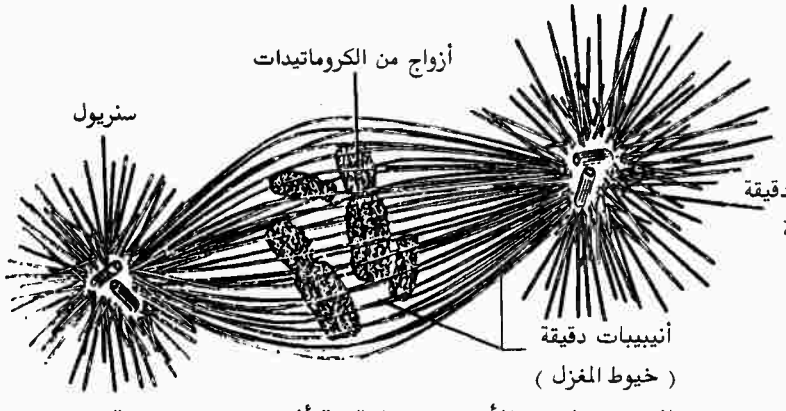
وعلى وجه العموم فإن الأسواط والأهداب من أعضاء الحركة الخلوية وكل منهما يتركب من تسعة أزواج من الأنيبيبات الدقيقة مرتبة فى شكل حلقة حول زوج من الأنابيب الدقيقة المفردة ، ويمتد الغشاء البلازمى حول هذه الحلقة .

٩ ـ الجسم المركزى (السنتروسوم) Centrosome :



تركيب السنتريول

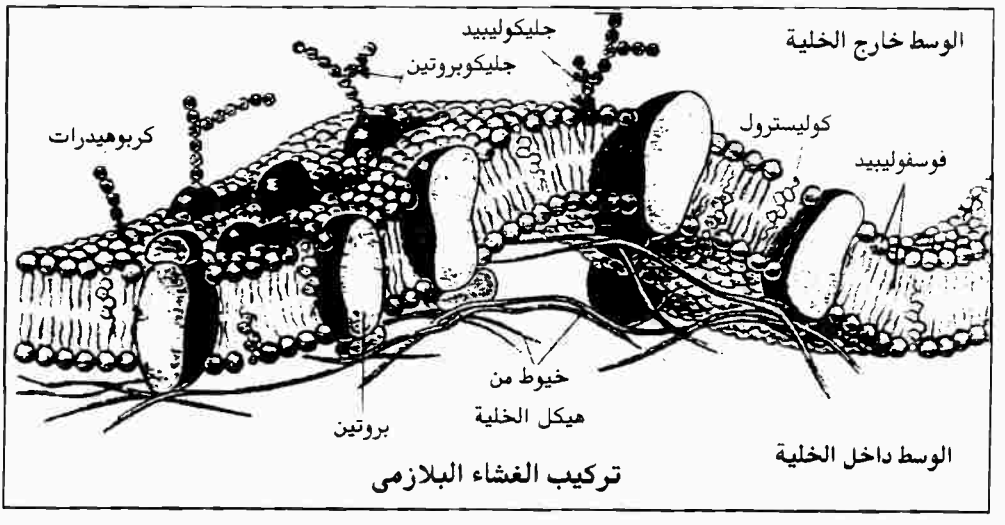
عضى خلوى دقيق يقع بالقرب من النواة ، ويوجد فى جميع الخلايا الحيوانية عدا الخلايا العصبية البالغة ، كما يغيب من الخلايا النباتية فيما عدا بعض الأنواع البدائية . وهو يحتوى على حبيبة أو حبيبتين مركزيتين (السنتريولان) ، وكل سنتريول أو حبيبة مركزية تبدو ـ كما تظهر بالمجهر الإلكترونى ـ على هيئة جسم أسطوانى يحتوى جداره الخارجى على عدد من الانيبيبات الدقيقة تنتظم فى تسع مجموعات ، تتكون الواحدة منها من ثلاث أنيبيبات تمتد موازية للمحور الطولى للسنتريول . ويلعب السنتروسوم دورًا هامًا فى عملية انقسام الخلية . كما أن للحبيبات المركزية صلة وثيقة بتكوين كل من الأهداب والأسواط وكذلك حركة كل منها فى الخلايا المهدبة أو المسوطة (مثال : تكوين وحركة ذيول الحيوانات المنوية) .



السنتريولات والأنيبيبات الدقيقة أثناء انقسام الخلية

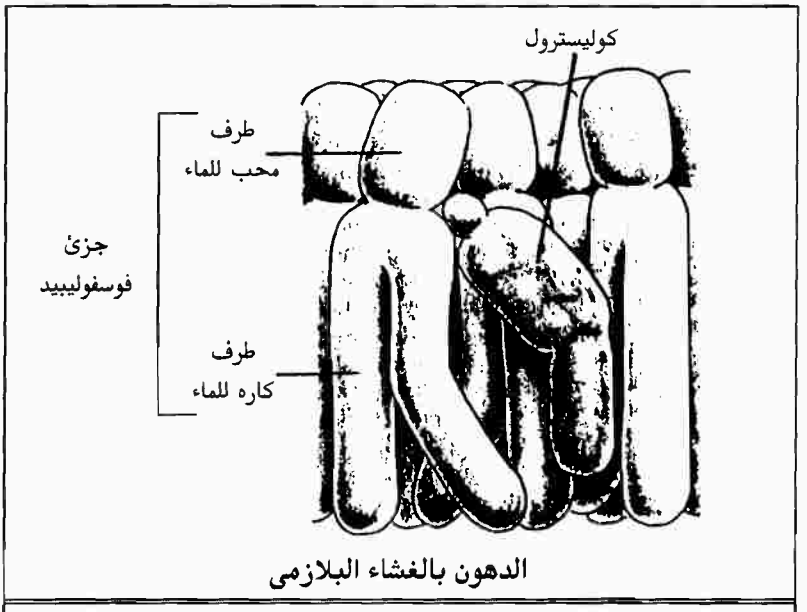
١٠ ـ الغشاء البلازمى Plasma membrane :

وهو غشاء رقيق يقوم بدور أساسى فى تنظيم مرور المواد من وإلى الخلية ، ويتركب أساسًا من الدهون والبروتينات والكربوهيدرات . ويتكون الغشاء من طبقتين من الفوسفوليبيدات (الدهون المفسفرة) تقابل أجزائها المشحونة كهربيًا (القابلة للذوبان فى الماء ـ أو المحبة للماء) الوسط المائى خارج وداخل الخلية . أما أجزاؤها غير المشحونة كهربيًا (الكارهة للماء) فتوجد داخل حشوة الغشاء . وتنطمر جزيئات من مادة الكوليسترول بين جزيئات الفوسفوليبيدات ، وكذلك ينطمر بين جزيئات هاتين الطبقتين الدهنيتين نوعين من جزيئات البروتين (نوع حلزونى وآخر كُرى) تبرز أجزاؤهما المحبة للماء بالوسط المائى داخل وخارج الخلية أما أجزاؤهما غير المستقطبة كهربيًّا (الكارهة للماء) فتوجد بحشوة الغشاء . ويتصل بجزيئات البروتين مجموعات من المواد الكربوهيدراتية تبرز بالوسط المائى خارج الخلية .

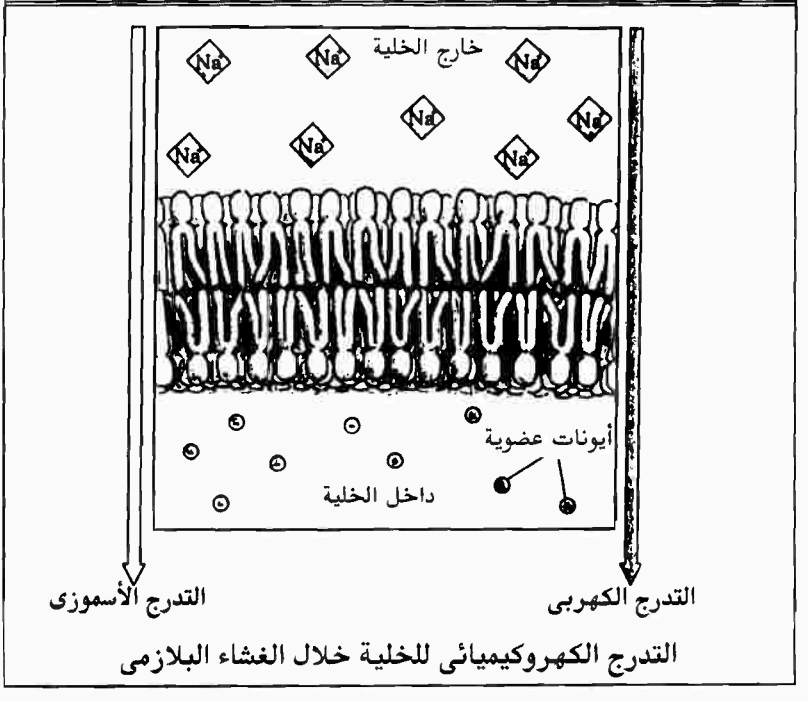


تركيب الغشاء البلازمى

وبنية الغشاء بهذه الكيفية تسمح بأن تكون جزيئات الفوسفوليبيدات فى حركة جانبية مستمرة داخل الطبقة الدهنية الواحدة مما يسمح لجزيئات البروتين بالحركة المستمرة خلال طبقتى الدهون وبذلك يحدث تبادل مستمر لمواقع جزيئات البروتين بالغشاء .



الدهون بالغشاء البلازمى



التدرج الكهروكيميائى للخلية خلال الغشاء البلازمى

* ولجزيئات البروتين التى تتخلل الغشاء دور فعال فى نشاط الخلية حيث أنها :

١ ـ تسهم فى دعم الغشاء .

٢ ـ تعمل كأنزيمات لدفع التفاعلات الأيضية .

٣ ـ تعمل كقنوات تساعد فى تبادل المواد بين السيتوبلازم داخل الخلية والوسط المائى خارج الخلية .

٤ ـ تعمل كمستقبلات (مواقع تعرف) للأجسام المضادة للجهاز المناعى أو الهرمونات أو النواقل العصبية . . . وغيرها على الخلية المستهدفة .

• خصائص الغشاء البلازمى :

تؤهله هذه الخصائص لأن يلعب دور المنظم والمراقب لتبادل المواد بين الخلية والوسط الخارجى المحيط بها ، ومنها :

١ ـ وجود الطبقة الثنائية للفوسفوليبيدات فى الغشاء الخلوى : يسمح للمواد التى تذوب فى الدهون مثل O_2 ، CO_2 والأحماض الدهنية والكحولات بأن تنتشر عبره بسهولة . بينما لا تستطيع بقية المواد التى لا تذوب فى الدهون من النفاذ إلا بوسائل أخرى تكلف الخلية جهدًا وطاقة .

٢ ـ يمارس الغشاء البلازمى الاصطفاء أو النفاذية الاختيارية بالنسبة لبعض المواد : حيث يسمح لبعض المواد بالعبور خلاله . ولا يسمح لبعضها الآخر ، وذلك وفقًا لحاجة الخلية والظروف المحيطة بها ، وحجم الجزيئات .

٣ ـ تنتقل بعض المواد عبر غشاء الخلية من الجانب ذى التركيز العالى إلى الجانب ذى التركيز المنخفض : حيث تكون سرعة انتقالها محددة بتركيزها النسبى على جانبى الغشاء ، وهو ما يعرف **بخاصية الانتشار** .

٤ ـ يكثر الماء فى السوائل الداخلية والخارجية بالنسبة للخلية : حيث أن الماء مذيب جيد لكثير من المواد والجزيئات . ولهذا فهو سريع النفاذ عبر الغشاء البلازمى . ويتحدد انتقاله من وإلى الخلية وفقًا لما يُعرف **بالخاصة الأسموزية** .

٥ ـ تختلف نفاذية الأيونات عبر الغشاء البلازمى : فبعضها ينفذ بسهولة ، وبعضها لا ينفذ إلا عندما تبذل الخلية طاقة من أجل إنفاذها . مثل : نقل بعض الأيونات من التركيز المنخفض إلى التركيز العالى . وهو ما يعرف **بالنقل النشط** .

* **النقل عبر الغشاء البلازمى**

توجد مجموعة من الآليات التى يتم بموجبها النقل عبر غشاء الخلية والتى يمكن إجمالها فى آليتين رئيسيتين : النقل السلبى (حيث لا تحتاج الخلية لبذل الطاقة) والنقل الإيجابى (حيث تبذل الخلية الطاقة) .

أولا : النقل السلبى Passive transport :

حيث تتحرك بعض الجزيئات والأيونات عبر غشاء الخلية تبعًا لتدرج التركيز والضغط والشحنة الكهربية . ويضم الأنواع التالية :

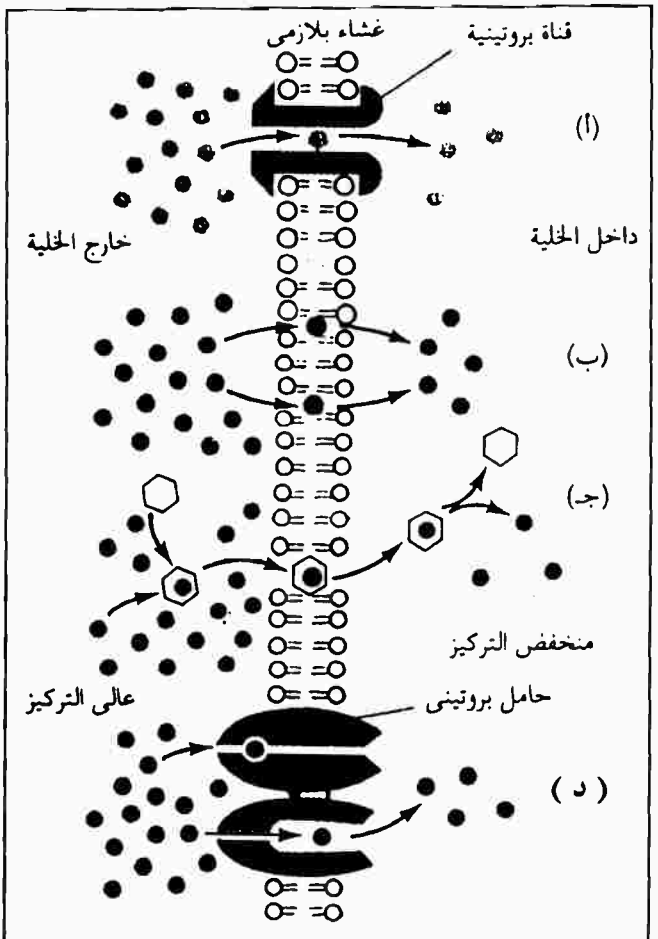
(أ) **الانتشار البسيط Simple diffusion** : وهو انتشار جزيئات الماء أو الغازات والجزيئات القابلة للذوبان فى الدهون عبر طبقتى الفوسفوليبيدات بالغشاء البلازمى حتى يحدث تجانس تركيزاتها على جانبى الغشاء ، وما حالة تبادل غاز O_2 وغاز CO_2 بين الوسط الداخلى والخارجى للخلية أثناء التنفس أو البناء الضوئى إلا واحدة من الحالات التى يمكن تفسيرها وفقًا لمبدأ الانتشار البسيط .

(ب) الخاصية الأسموزية Osmosis : وهى انتشار الماء خلال غشاء الخلية ذى النفاذية التفاضلية أو الاختيارية حسب تركيزه على جانبى الغشاء (وحيث لا يصحبه المواد الذائبة فيه) وذلك تبعًا لدرجة تركيز المواد خارج أو داخل الخلية (الضغط الأسموزى) .

(جـ) النقل الميسر Facilitated diffusion : وهو انتقال جزيئات المواد (القابلة للذوبان فى الماء) بواسطة ناقل أو حامل وسيط هو بروتينات الغشاء نفسه . حيث تقوم هذه البروتينات بتيسير انتقال الجزيئات عبر الغشاء دون أن تبذل الخلية من أجلها أية طاقة ، ويتم ذلك فى اتجاه منحدر تركيز هذه المواد (ومثال لذلك نقل الجلوكوز إلى داخل خلايا الجسم كمصدر للطاقة وإنتاج ATP ، حيث أن الجلوكوز لا يستطيع المرور بنفسه بسرعة كافية تتناسب مع حاجة التفاعلات الأيضية داخل الخلية) .

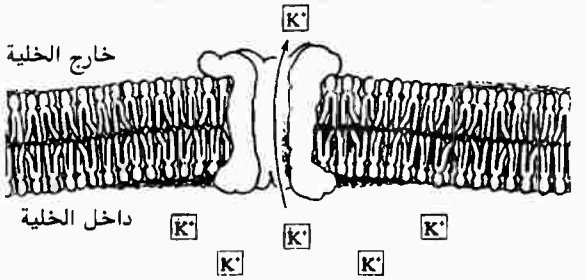
وتتم هذه الآلية بافتراضين :

الأول : أن الجزء البروتينى الحامل يلتحم مؤقتًا بجزئ المادة المراد نقلها عبر الغشاء الخلوى ، ثم يتحرك الجزئ البروتينى الحامل بما يحمله ويدور به إلى السطح المقابل من الغشاء الخلوى ، ثم ينفصل عن جزئ المادة المنقولة ويتركه يتخطى الغشاء الخلوى ثم يرجع من حيث أتى ليلتقط جزيئًا آخر من جديد .

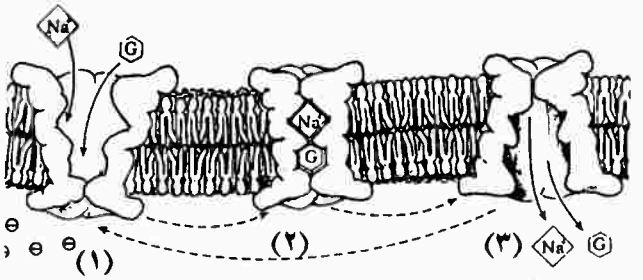


الانتشار والنقل الميسر عبر الغشاء الخلوى .
(أ) نقل ميسر بواسطة قنوات بروتينية .
(ب) الانتشار .
(جـ) النقل بواسطة المستقبل الوسيط .
(د) النقل الميسر بواسطة الحامل البروتينى .

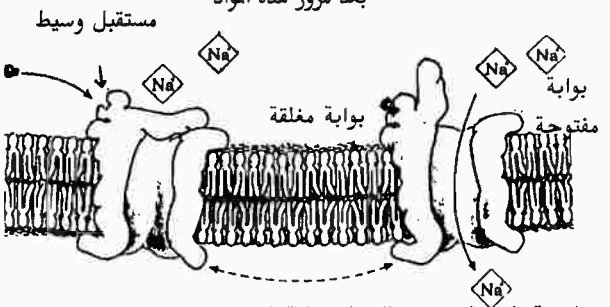
الثانى : يشكل البروتين الكامل ممرًا صغيرًا Protein channel يمكن الجزئ المراد نقله من أن يعبر طبقة الدهون المزدوجة بالغشاء الخلوى . وكثيرًا ما تكون هذه الحوامل البروتينية متخصصة ناقلة لمجموعة محددة من المواد الكيميائية ، وربما متخصصة بنقل مادة واحدة دون غيرها من المواد .



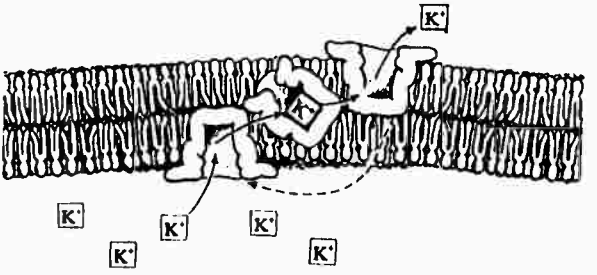
قنيات بروتين الغشاء تمثل ممرات مباشرة لمرور بعض الجزيئات والأيونات (مثل K^+) حسب منحدر تركيزها



مـرور أحد الأيونات (مثل Na^+) حسب منحدر تركيزه يساعد مرور جزيئات مادة أخرى (مثل الجلوكوز G) بعكس منحدر تركيزها ، حيث أن اتحاد أيون Na^+ مع بروتين الغشاء يسبب تغييرات به تسمح لاتحاد جزئ الجلوكوز مع بروتين الغشاء ، وبمرور الجلوكوز تقفل قناة البروتين من الخارج وتفتح من الداخل ، ثم تعود لطبيعتها بعد مرور هذه المواد



عندما تكون بوابات قنيات البروتين بالغشاء مغلقة فإنها تنفتح إذا اتحد معها مواد خاصة مما يؤدى لمرور جزيئات المواد (Na^+) عبرها حسب تدرج تركيزها ، ثم تعود لتنغلق من جديد .



اتحاد الناقل الوسيط (بروتين الغشاء) مع أيونات بعض المواد (K^+) ، ثم تحركه ، ثم انفصال الأيون ، ثم عودة الناقل لوضعه الأول .

آليات عملية النقل الميسر بالغشاء البلازمى

ثانيا : النقل باستخدام الطاقة Energy requiring transport :

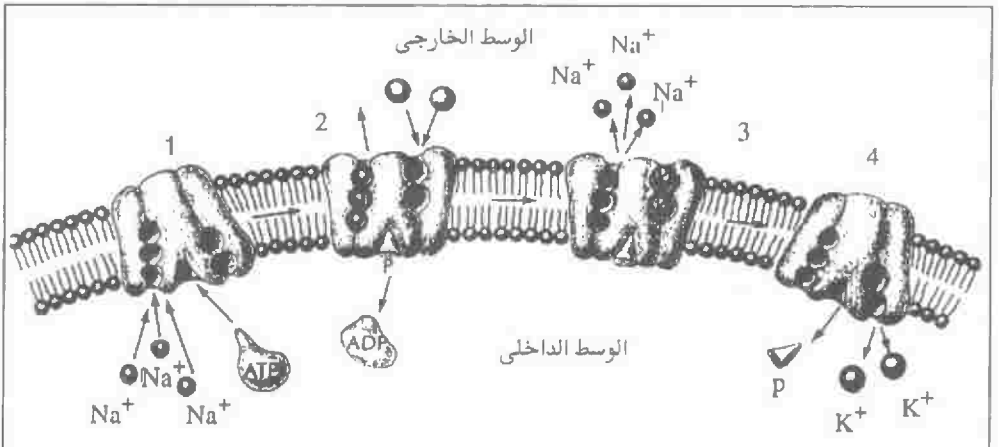
ويحدث فيه حركة وانتقال الجزيئات خلال الغشاء البلازمى ضد منحدر تركيزها باستخدام الطاقة الخلوية .

(أ) النقل النشط Active transport :

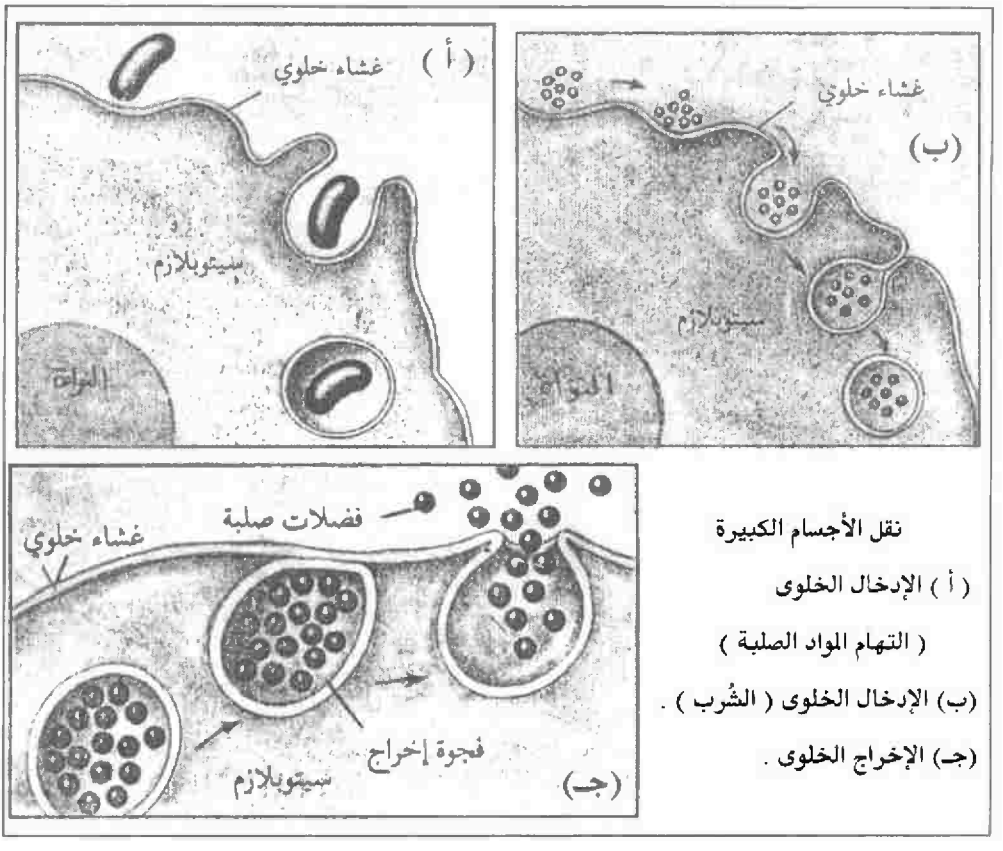
وهو انتقال الأيونات أو الجزيئات الصغيرة عبر الغشاء بواسطة الحوامل أو النواقل البروتينية الوسيطة بالغشاء ويكون ذلك مصاحبًا ببذل الجهد والطاقة الخلوية . وهذا النوع يشبه النقل الميسر من حيث استخدام الحوامل البروتينية فى الغشاء الخلوى إلا أن مرور الجزيئات يتم عكس منحدر أو ممال التركيز وذلك يتطلب بذل طاقة من الـ ATP . ومن أمثلة النقل النشط امتصاص الأحماض الأمينية والسكريات المهضومة من تجويف الأمعاء خلال الغشاء البلازمى لخلايا جدران الخملات ، وكذلك فإن مضخة الصوديوم والبوتاسيوم التى تحافظ على تركيز كل من الصوديوم والبوتاسيوم على جانبى غشاء الخلية تعتبر خير مثال لهذا النوع من النقل .

(ب) النقل الكبير Macro-transport :

تتصف بعض الخلايا بقدرتها على تحريك كتل كبيرة نسبيًا عبر الغشاء الخلوى (مثل قطيرات السوائل أو فتيتات الطعام أو كريات بروتينية كبيرة) فى عملية تسمى نقل الأجسام الكبيرة . فإذا كانت هذه المواد تُنقل من خارج الخلية إلى داخلها سُميت العملية **بالالتقام الخلوى أو الإدخال الخلوى Endocytosis** ، وإذا كانت المواد تُنقل إلى خارج الخلية فالعملية هى **الإفراغ الخلوى أو الإخراج الخلوى Exocytosis** . ويتم الإدخال الخلوى بانثناء جزء من غشاء الخلية مكونًا فجوة غذائية . وعمومًا ، إذا كانت المواد الداخلة بهذه الطريقة صلبة سميت العملية **بالبلعمة Phagocytosis** وإن كانت سائلة سميت **بالارتشاف أو الشرب الخلوى Pinocytosis** .



النقل النشط (مضخة الصوديوم والبوتاسيوم)



نقل الأجسام الكبيرة

(أ) الإدخال الخلوى

(التهام المواد الصلبة)

(ب) الإدخال الخلوى (الشُرب) .

(جـ) الإخراج الخلوى .

١١ ـ الروابط بين الخلايا Intercellular junctions :

ترتبط وتتصل الخلايا المتجاورة ـ لتكون ما يُعرف بالنسيج ـ ببعضها بواسطة تراكيب متخصصة ، حيث تبدو الأسطح الخارجية للأغشية البلازمية للخلايا المتجاورة وكأنها ملتحمة . وتصنف هذه الروابط ـ حسب نوع الكائن أو نوع الخلايا ـ إلى أربعة أنواع ، ثلاثة منها بالأنسجة الحيوانية (الديسموسومات ، والروابط الثغرية أو ذات الفجوات ، والوصلات المحكمة) أما الأنسجة النباتية فبها نوع واحد فقط هو البلازموديزماتا .

(أ) الديسموسومات Desmosomes :

وهى أقراص بيضاوية صغيرة ، توجد أسفل الغشاء البلازمى مباشرة ، يمتد منها خيوط بروتينية متخصصة إلى خارج الغشاء البلازمى للخليتين المتجاورتين وتمتد هذه الخيوط (من كل خلية) لتخترق جليكوبروتين الغشاء البلازمى للخلية المجاورة . كما يمتد من الديسموسومات إلى داخل سيتوبلازم الخلية نفسها مجموعة من الخيوط البروتوبلازمية تتصل بالخيوط الدقيقة بالخلية . وهذا النوع من الروابط يوجد بخلايا طلائية الأمعاء والجلد والمثانة البولية .

(ب) الروابط الثغرية (ذات الفجوات) Gap junctions :

وتعتبر وسيلة اتصال بين خلوى إلى جانب كونها وسيلة ربط ، فهى مجموعة من القنوات الدقيقة بين الخلايا ولذلك فبواسطتها يصبح سيتوبلازم الخلايا المتجاورة على اتصال حيث تتمكن الجزيئات الدقيقة من العبور خلالها من خلية لأخرى . ومثل هذا النوع يوجد بين الخلايا الكبدية المتجاورة .

(جـ) الوصلات المحكمة Tight junctions :

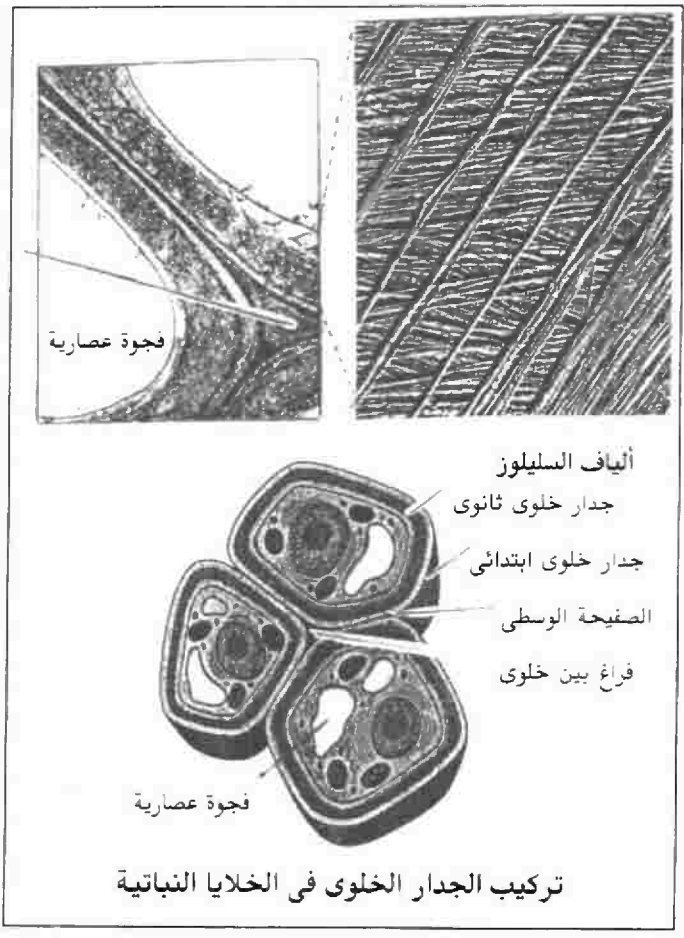
عبارة عن مجموعة من الأشرطة البروتينية تعمل على لحام الفراغات الموجودة بين الخلايا مما يمنع تسرب السوائل من خلية لأخرى ، خصوصًا الخلايا التى تبطن التراكيب الأنبوبية أو الكيسية مثل المثانة البولية حيث أن تسرب السوائل من هذه الأعضاء إلى تجويف الجسم يسبب مشكلات جمة .

(د) البلازموديزماتا Plasmodesmata :

وهى شرائط سيتوبلازمية تحاط بامتدادت من الغشاء البلازمى ، وتمر من خلية نباتية لأخرى مجاورة عن طريق فتحات فى الجُدر الخلوية للخلايا المتجاورة . وبالتالى فهذه التركيب تعتبر وسيلة اتصال تسمح بمرور جزيئات المواد بين الخلايا المتجاورة إلى جانب قيامها بوظيفة الربط بين هذه الخلايا .

تراكيب ارتباط واتصال الخلايا فى الحيوانات والنباتات

* **جدار الخلية Cell wall** :



تركيب الجدار الخلوى فى الخلايا النباتية

عبارة عن جدار سليلوزى صلب يحيط بالغشاء البلازمى للخلايا النباتية . وهو عبارة عن صفيحة بكتينية يترسب على كل من جانبيها مادة السليلوز . وتزداد صلابته بزيادة ترسيب السليلوز واللجنين (مواد منفذة للماء) والسيوبرين والكيوتين (مواد غير منفذة للماء) . ويوجد بجدار الخلية بعض المواقع التى لا يحدث بها ترسيب للمواد السابقة وتسمى النُقر وتعمل كقنوات يتم خلالها انتقال العصارة من خلية نباتية لأخرى مجاورة حيث يمر خلال هذه النقر خيوط بروتوبلازمية تربط وتوصل بين الخلايا النباتية المتجاورة تعرف بالروابط البروتوبلازمية أو البلازموديزماتا ، وهى تمثل وسائل الخلايا النباتية فى تنظيم وتجانس الأنشطة الخلوية فيما بينها .

تكاثر الخلية Cell reproduction

دورات الخلية Cell cycles :

* معظم خلايا حقيقيات النواة تتكاثر فى الأحوال العادية لإنتاج خلايا جديدة تحتوى المواد الموزعة من الخلية الأصلية ، وعملية توزيع المواد النووية خاصة الكروموسومات تسمى الانقسام الفتيلى mitosis . وتوزيع السيتوبلازم على الخلايا الجديدة يسمى الانقسام السيتوبلازمى cytokinesis .

* هذه العمليات تشمل تتابعًا كبيرًا للأحداث يسمى دورة الخلية cell cycle . وانتظام عملية النمو فى الخلية الحية يليه عملية تكاثر الخلية ، وفى كثير من الخلايا الدورة الداخلية من G1 (1 Growth) النمو الأول إلى انقسام السيتوبلازم (سيتوكينيزس) تكتمل خلال ساعات قليلة ، وفى خلايا أخرى يستغرق ذلك عدة أيام .

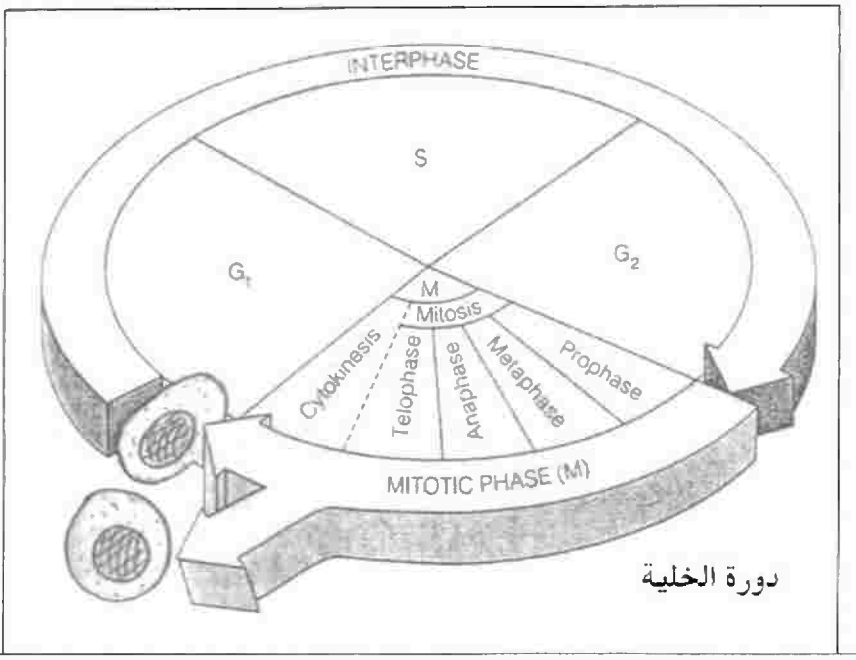
* الوظائف غير التكاثرية للخلية تقع خلال G1 (مرحلة النمو الأول Growth 1) ويتضمن ذلك النمو وزيادة عدد عضيات الخلية وإنتاج المواد سواء لإطلاقها خارج الخلية أو استخدامها فى الخلية وتلك الخلايا التى لا تستمر حتى تنقسم تستقر عادة دورتها فى مرحلة G1 .

* خلال مرحلة البناء synthesis (S) يتضاعف DNA (مادة الوراثة) وتحدث عملية ارتباط البروتينات بمادة DNA أى تتضاعف الكروموسومات بينما يختزل نشاط الأيض الخلوى .

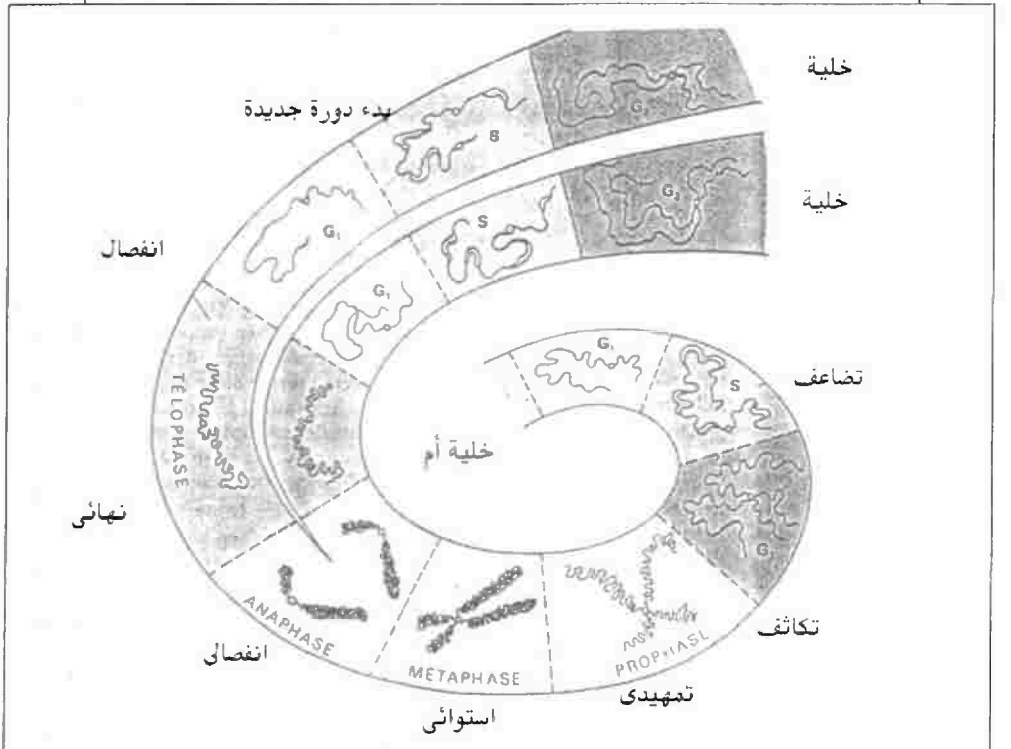
* خلال مرحلة النمو الثانى Growth 2 (G2) تحدث عملية تعضى التراكيب الخلوية وتبدأ عمليات الانقسام النشطة منطلقة من مرحلة G2 حيث تصبح الكروموسومات منظورة .

وتعرف المراحل G1 + S + G2 بالطور البينى Interphase .

* مرحلة الانقسام mitotic (M) وتشمل عملية الانقسام الفيتلى mitosis وانقسام السيتوبلازم cytokinesis ، وتشمل عملية الانقسام الفتيلى أربعة أطوار هى التمهيدى والاستوائى والانفصالى والنهائى ـ وتنتهى بالانقسام السيتوبلازمى حيث تتكون خليتين من الخلية الأم .



دورة الخلية



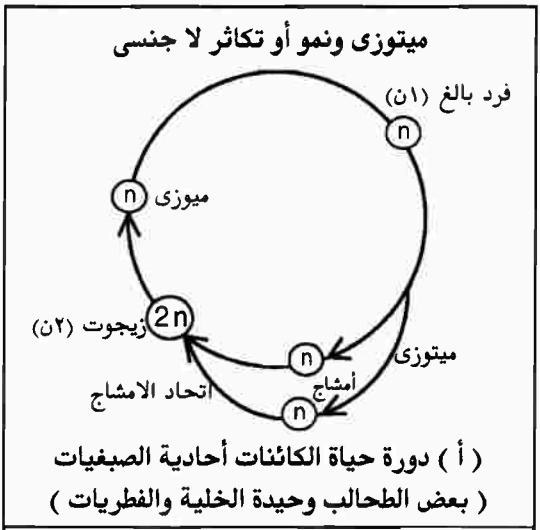
الشكل يوضح التغيرات التى تطرأ على الكروموسومات وواضح أن الكروموسوم عبارة عن كروماتيد فى الخلية الأم وفى مرحلة G1 ثم يتضاعف فى S ويبدوا مكونا من ٢ كروماتيد فى G2 ويبدأ الانقسام الميتوزى . وعندما نصل إلى الطور الانفصالى ينفصل الكروماتيدان ويصبح فى كل خلية بنوية كروموسوم من كروماتيد واحد ثم تبدأ الخلية البنوية دورة جديدة G1 ثم S ثم G2 وهكذا .

دورات الحياة Life cycles :

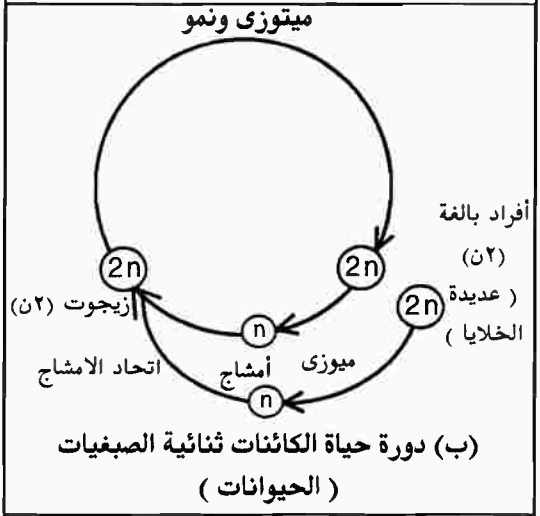
* فى الكائنات وحيدة الخلية التى تتكاثر لاجنسيا فقط ، دورة الحياة تصور التتابع الكلى للأحداث التى تحدث خلال حياة الخلية .

* فى الكائنات وحيدة أو عديدة الخلايا والتى تتكاثر جنسيًا دورة الحياة ذات تتابع أكثر تعقيدًا حيث يحدث حدثان مميزان . الأول هو اتحاد الخلايا الجنسية (الجاميتات) التى تحمل المادة الوراثية من مصادر مختلفة ، والثانى هو اندماج الجاميتات فى زيجوت .

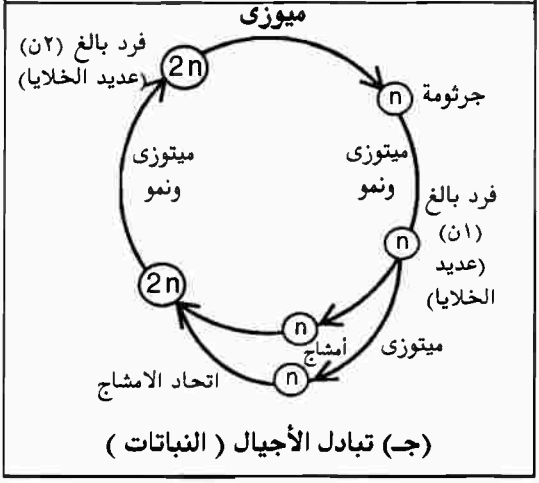
* تتشابه الجاميتات فى بعض الكائنات ولكن فى أغلب الكائنات تكون الجاميتات متضادة ذات تركيب مميز يعرف بالحيوان المنوى والبويضة وكل منهما يحتوى نصف عدد الكروموسومات الموجود فى الخلية الجسدية واتحاد هذه الجاميتات يسمى الإخصاب Fertilization الذى يؤدى إلى ازدواج الصبغيات (استعادة عدد الكروموسومات الخاص بالنوع) .



(أ) دورة حياة الكائنات أحادية الصبغيات
(بعض الطحالب وحيدة الخلية والفطريات)



(ب) دورة حياة الكائنات ثنائية الصبغيات
(الحيوانات)



(جـ) تبادل الأجيال (النباتات)

* يحدث الانقسام الميوزى فى الخلايا زوجية العـدد الصبغـى diploid (2N) وينتج عنه أربع خلايا جاميتية كل منها تحتوى نصف العدد الصبغى أى فرديـة الصبغيات haploid .

* فى عديدات الخلايا يوجد عادة كائنات تتميز بأنها زوجية الكروموسومات وفردية الكروموسومات وهـذا التبـادل بـين أطـوار 2N (زوجيـة diploid) و N (فردية haploid) يحدث عن طريق الانقسام الميـوزى والإخصـاب وكـل منـهما يصنع دورة حياة جميع الكائنات ونلاحظ ذلك بوضوح فى دورة حياة الحزازيات والسرخسيات .

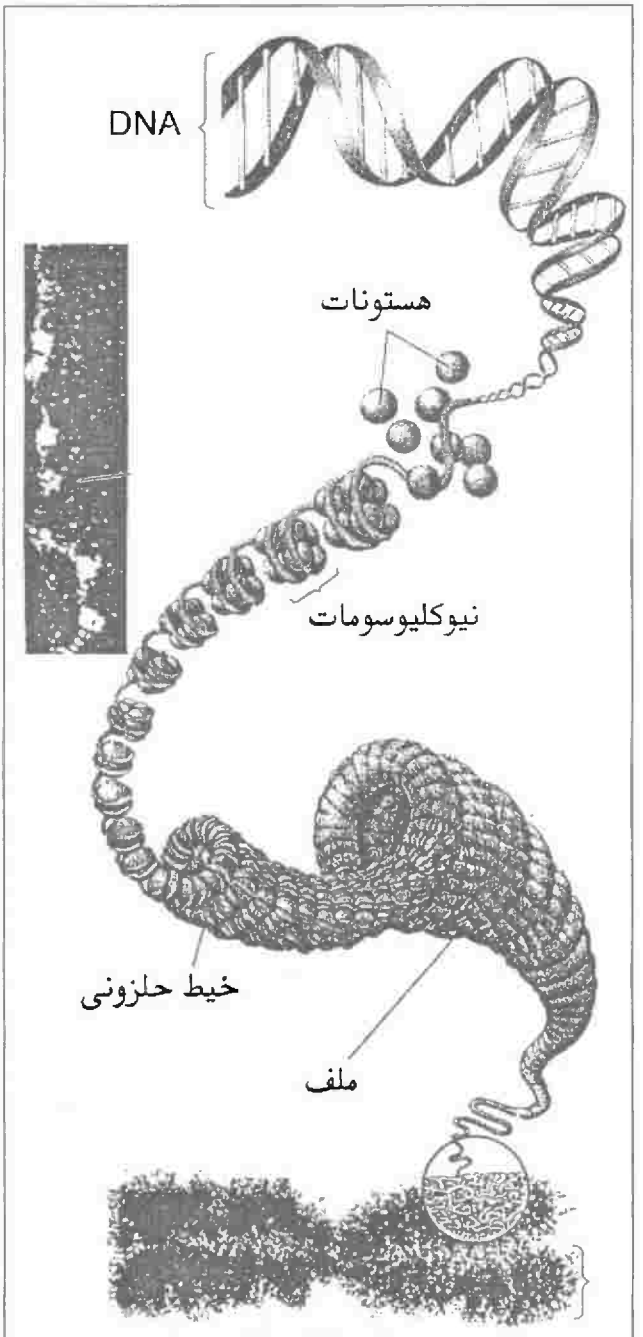
الكروموسومات محتوى الجينات
The chromosomes as packaged genes

* المعلومات عن الأنشطة فى كـل خليـة يتـم احتوائـها خـلال جـزئ حيـوى خاص ببرنامج العمل وهو جزئ DNA المعروف بأنه جزئ مادة الحياة .

* بعض الفيروسات التى على حافة خط الحياة تحتوى جزئ RNA كمخطـط برنامج عمل الفيروس إلا أن الأغلبية الأخرى منها تحتوى جزئ DNA .

* فى البكتريا جزئ DNA الدائرى غير المرتبط مع البروتين يمثـل كروموسـوم بكتيرى ويمثل كل DNA فى الخلية إلى جانب بعض مـن DNA يوجـد كجـزئ حلقى يسمى البلازميد plasmid منفصلا عن الكروموسوم .

* فى حقيقيات النواة توجد الكروموسومات على هيئة أجسـام خيطيـة ملتفـة حيث يوجد DNA مرتبطا مع بروتينات تسمى الـهستونات histones وحيث يكون كل ثمانية جزيئات من الـهستونات مع DNA الملتف حولـها وحدة تسمى النيوكليوسـوم nucleosome ويتكـون الكروموسـوم الكلـى مـن تكـرار لوحـدات النيوكليوسـومات والتفـاف DNA يجعـل النيوكليوسـومات متقاربـة ويظـهر الكروموسوم كشريط كثيف سمكه ٣٠ نانومـتر مـن مـادة الكروماتين chromatin وخلال الانقسام الميتوزى تلتف هذه الأشرطة مكونة الشكل المـيز للكروموسـومات خلال دورة الخلية .



كروموسوم فى الطور الاستوائى

رسم تخطيطى يوضح تعقد DNA مع البروتينات حتى يتكاثف فى الكروموسوم

◦ فى أوليات النواة وحقيقيات النواة الجينات تقع فى التكرار الممتد على طول الكروموسوم ويفصل بينها مناطق تنظيمية وعلامات البدء والتوقف التى ترتبط بعملية النسخ وعملية الترجمة .

◦ فى حقيقيات النواة يوجد DNA ملتف فى وحدات النيوكليوسومات وتمثل الجينات أقل من $\frac{١}{١٠}$ من DNA وهى التى تترجم إلى بروتينات بينما يوجد DNA كوحدات منفردة فى أوليات النواة ويمثل الكروموسوم الدائرى أغلب الجينات مع عدد قليل جدا على البلازميد .

◦ فى حقيقيات النواة تتميز الكروموسومات بأن لها أعدادًا خاصة تميز كل نوع من الكائنات وأن الجينات لها مواضع خاصة ومحددة على الكروموسومات وأن كروموسومات كل نوع تأخذ أشكالاً خاصة تميز النوع .

الانقسام الميتوزى MITOSIS

* تتضاعف كروموسومات الخلية الأم خلال مرحلة البناء (S) من الطور البينى للانقسام الميتوزى وبناء عليه يصبح كل خيط صبغى مكونًا من خيطين (كروماتيدين) متماثلين تمامًا فى المادة الوراثية ومتصلين معًا فى منطقة السنترومير Centromere وحول السنترومير توجد حلقة أو أكثر من البروتين تسمى كينيتوكور Kinetochore وهى التى تلعب دورًا محددًا فى اتصال الكروموسومات بخيوط المغزل وانفصال الكروماتيدات أثناء الانقسام .

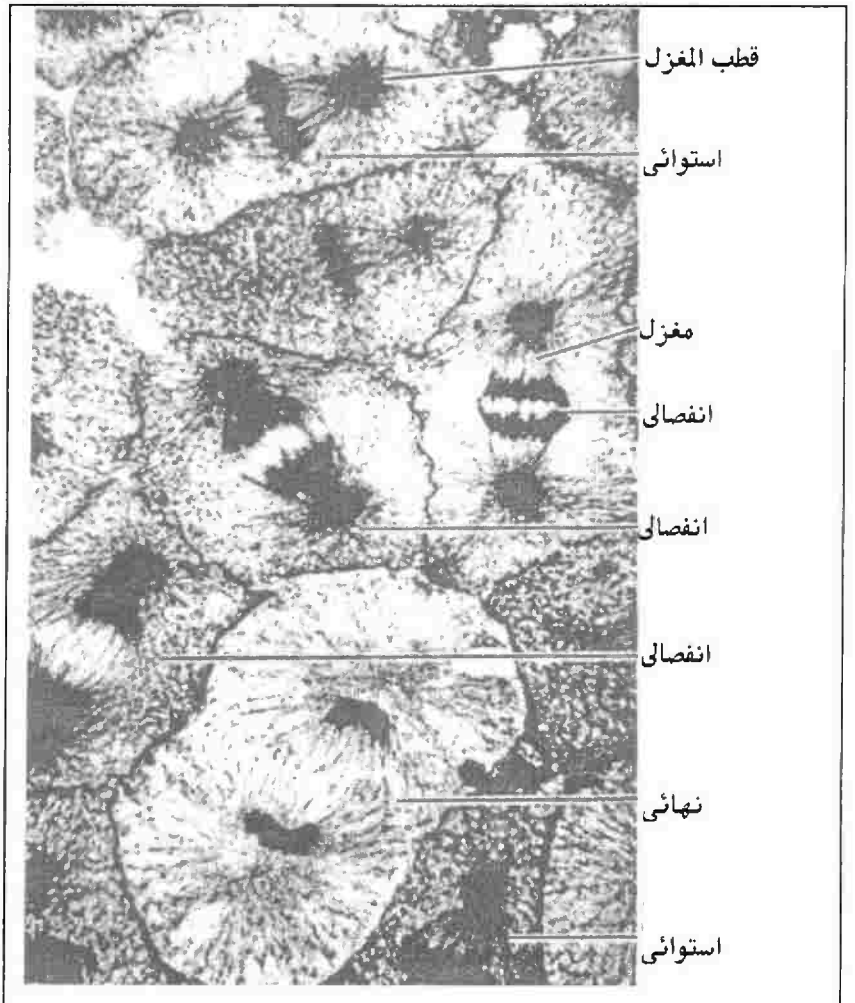
* الانقسام الميتوزى أربع مراحل أساسية هى :

التمهيدى Prophase ـ الاستوائى Metaphase ـ الانفصالى Anaphase ـ النهائى Telophase . وتعتبر مرحلة الطور التمهيدى أطول مراحل الانقسام حيث يتفكك الغشاء النووى ويتكون المغزل .

* فى الخلايا الحيوانية وبعض الفطريات يوجد بالقرب من غشاء النواة زوجا من السنتريولات Centrieoles يكونا منطقة السنتروسوم Centrosome ويتعامد كل سنتريول على الآخر ويهاجر كل منهما فى اتجاه عكس الآخر فى الخلية ليكونا الخيوط المغزلية ـ والسنتريولات تتضاعف خلال الطور البينى ـ والخيوط المغزلية ما هى إلى أنيبيبات دقيقة Microtubules تمتد بين السنتريولات متخذة شكلاً مغزليًا .

* عندما تتحرر الكروموسومات تتجه إلى وسط الخلية حيث يبدأ الطور الاستوائى الذى يتميز باصطفاف الكروموسومات صفًا واحدًا فى استواء الخلية وكل كروموسوم مكون من كروماتيدين متصلين بالسنترومير الذى يتصل بخيوط المغزل وفى بداية الطور الانفصالى ينشق سنترومير كل كروموسوم ويصبح كل كروماتيد بمثابة كروموسوم منفصل وعن طريق الخيوط المغزلية يتحرك كروماتيد واحد من كل كروموسوم نحو قطب الخلية ويتجه الكروماتيد الآخر نحو قطب الخلية الآخر ويتم ذلك عن طريق خيوط المغزل حيث تتصل أنبيبيات المغزل بالكنيتوكور

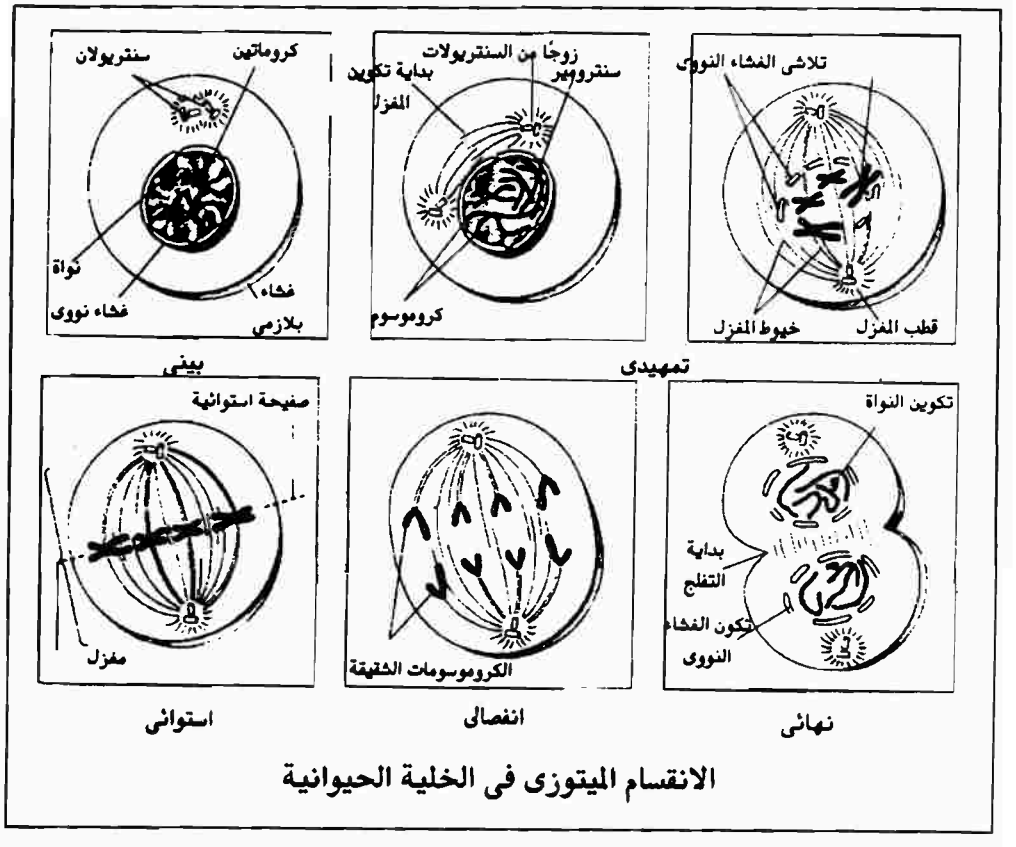
لكل كروماتيد ويتم سحب الكروماتيدات نحو الأقطاب فـى اتجـاهين كـل منـهما عكس الآخر .



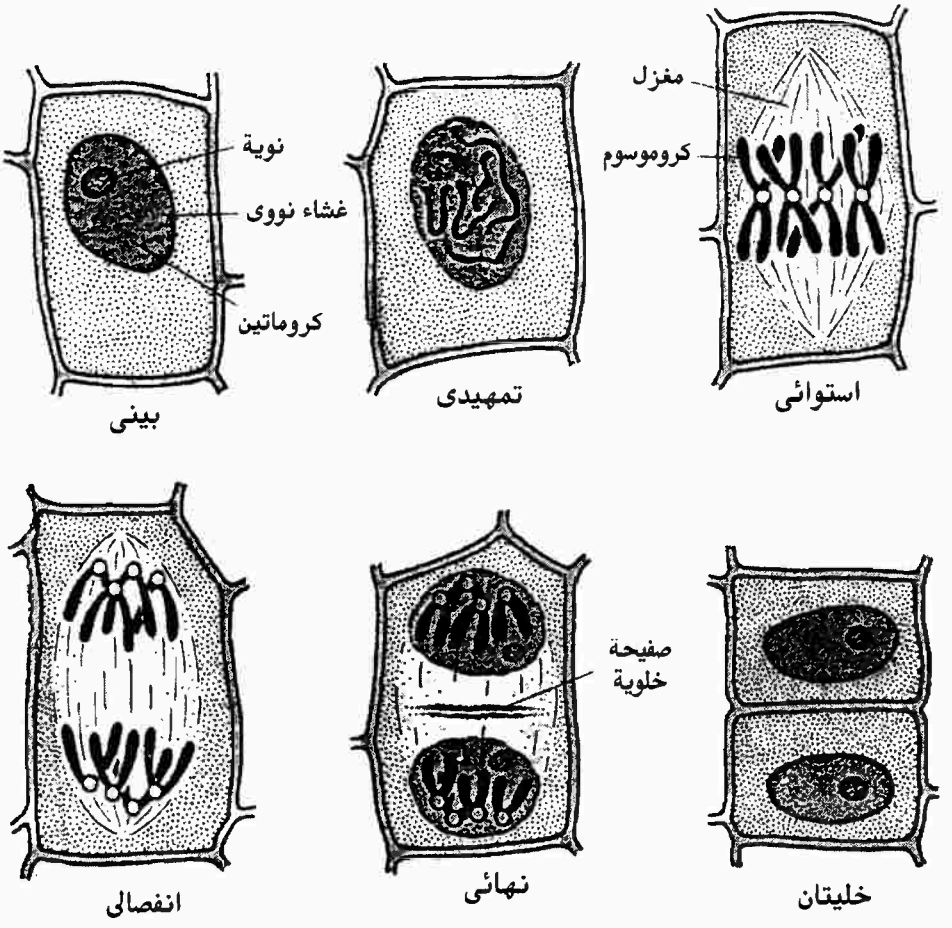
مراحل انقسام ميتوزى

* عندما تصل الكروموسومات عنـد الأقطـاب تبـدأ المرحلـة الأخـيرة وهـى الطـور النهائى حيث تفقد الكروموسومات صبغتها والتفافـها وتبـدأ النويـة nucleolus فـى التكوين وتتلاشى خيوط المغزل ويبدأ الغشاء النووى الجديد فى التكوين حـول تجمـع الكروموسومات . . ويعتبر الطور النهائى إعادة عكسية للطور التمهيدى .

* مع إنتهاء أحداث الانقسام النووى فى الخلية الحيوانية يبدأ السيتوبلازم عادة فى الانقسام وتسمى هذه العملية الانقسام السيتوبلازمى Cytokinesis ويتم ذلك بحدوث تخصر فى الخلية عند استوائها يزداد عمقا حتى تنفصل الخلية إلى خليتين وكل خلية ناتجة تحتوى الكروموسومات كاملة (العدد الكروموسومى للخلية الأم) . بينما فى الخلايا النباتية يتكون جدار خلوى Cell wall عن طريق تكوين صفيحة خلوية Cell plate فى استواء الخلية يفرزها جهاز جولجى .



الانقسام الميتوزى فى الخلية الحيوانية



الانقسام الخلوى الميتوزى فى الخلية النباتية ـ نلاحظ غياب السنتريولات التى تحتل أقطاب المغزل وتكون الصفيحة الخلوية فى المرحلة النهائية ويلى ذلك تكون غشاء خلوى وجدار خلوى لكل خلية بنوية

الانقسام الميوزى MEIOSIS

يحدث فى المناسل بهدف إنتاج الجاميتات اللازمة للتكاثر الجنسى ويتضمن هذا الانقسام انقسامين متتاليين ينتهى بإنتاج جاميتات تحتوى نصف المجموعة الكروموسومية والتى تحقق ازدواج الكروموسومات فى الزيجوت عندما تتحد الجاميتة المذكرة مع الجاميتة المؤنثة .

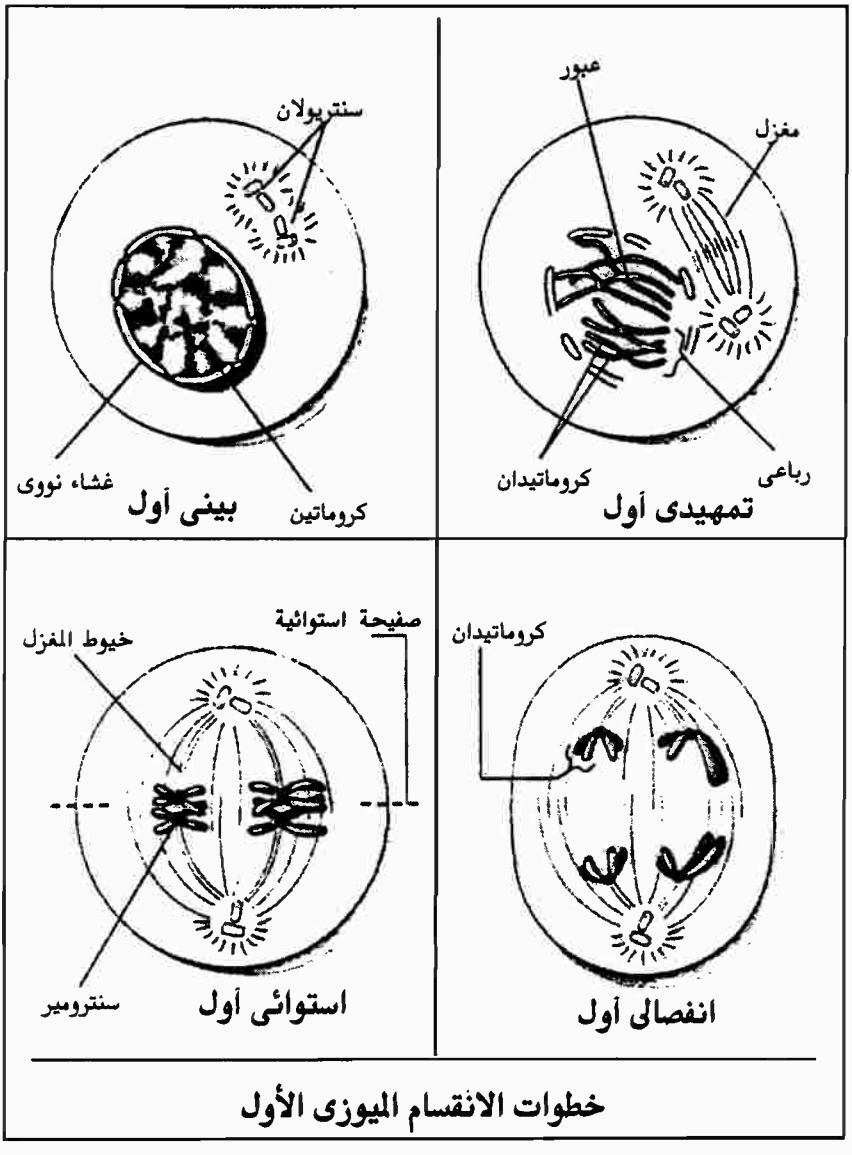
وكثير من النباتات البدائية (الحزازيات والسرخسيات) تقضى جزءًا من حياتها فى مرحلة الكروموسومات الفردية haploid وتعرف بالأطوار المشيجية gametophyte بينما النباتات الراقية تتميز بأطوار جرثومية sporophytes سائدة مزدوجة الكروموسومات diploid .

الانقسام الميوزى الأول The first meiotic division :

* يشبه فى البداية ما يحدث فى الانقسام الميتوزى من حيث تضاعف الكروموسومات فى الطور البينى interphase (فى المرحلة S من الطور البينى) .

* ويبدأ التمهيدى بعد المرحلة G2 بزيادة التفاف وتكثف الكروموسومات المزدوجة (كل زوج متماثل من الكروموسومات) وكذلك يتلاشى الغشاء النووى وتتحرك السنتريولات نحو أقطاب متقابلة فى الخلية وتهاجر الكروموسومات نحو منتصف الخلية وتتكون الخيوط المغزلية من تجمع الأنيبيبات الدقيقة وتختفى النوية .

* أول اختلاف واضح بين الأنقسام الميوزى الأول والانقسام الميتوزى أن الطور التمهيدى أطول كثيرًا فى الميوزى الأول وأن هناك عمليات مهمة تتم خلالها منها تقارب كل زوج متماثل من الكروموسومات وتشابك كل منهما مع الآخر synapsis فى نقاط مختلفة وتصبح شكلاً رباعى الكروماتيدات tetrad وتعرف نقاط الالتفاف بين الكروماتيدات بالكيازما chiasma حيث تحدث عملية تبادل أجزاء كروماتيدية بين الكروموسومات المتماثلة فيما يعرف بالعبور crossing over والذى يؤدى إلى خلط المادة الوراثية وفى نهاية الطور التمهيدى ينفصل كل كروموسوم عن مثيله .

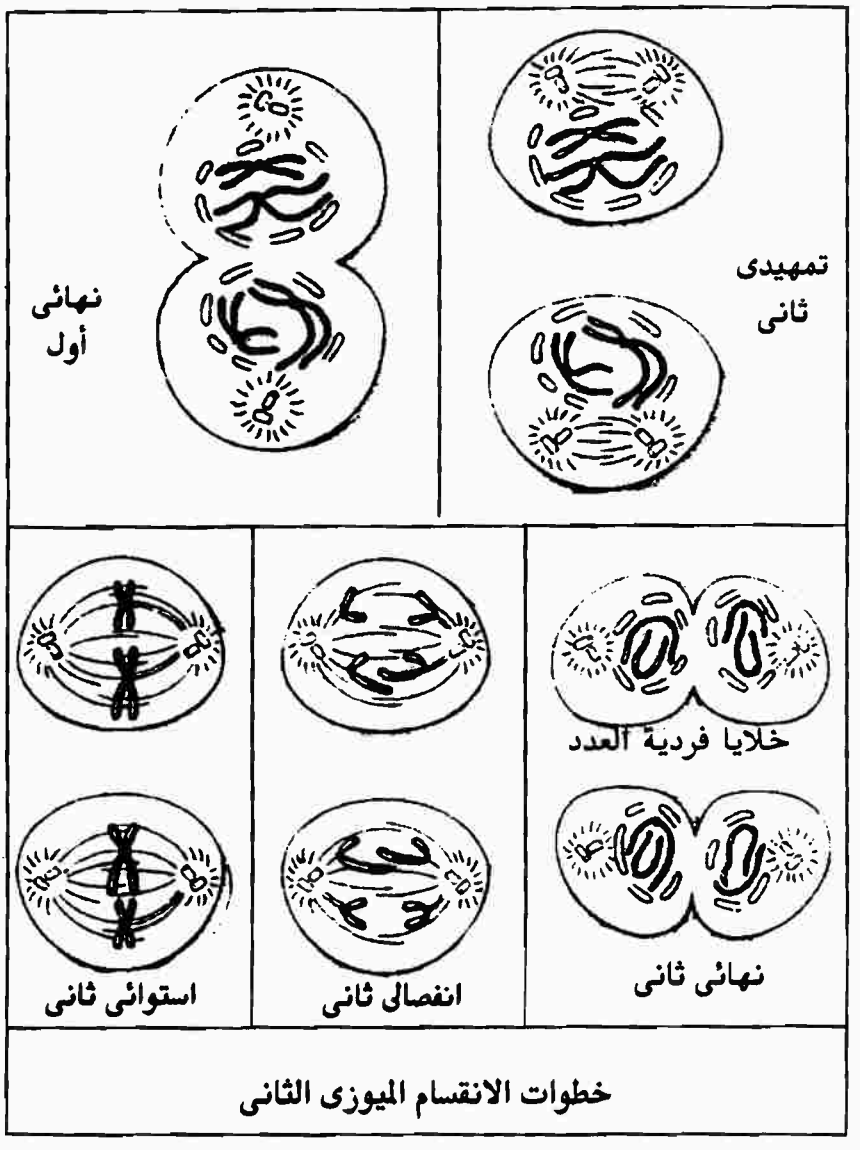


خطوات الانقسام الميوزى الأول

* فى الطور الاستوائى الأول تصطف الكروموسومات فى أزواج متماثلة فى استواء الخلية وتتصل خيوط المغزل بسنترومير كل كروموسوم وخلال الطور الانفصالى الأول تنفصل الكروموسومات وكل كروموسوم يسحب نحو قطب من أقطاب الخلية وبذلك يتجمع عند كل قطب كروموسوم واحد (٢ كروماتيد) من كل زوج متماثل من الكروموسومات وبذلك يصبح عند كل قطب نصف العدد الكروموسومى ولذلك يسمى الانقسام الميوزى الأول بالانقسام الاختزالى Reduction division .

* وفى الطور النهائى الأول يفقد كل كروموسوم كثافته ويتكون غشاء نووى جديد حول كل مجموعة كروموسومية وتستكمل خطوات الطور النهائى إلا أن هناك مرحلة قصيرة تسمى إنتركينيز interkinesis تحدث بين النهائى الأول والتمهيدى الثانى حيث لا يتم تخليق أى مادة وراثية وفى كثير من الأحوال لا تفقد الكروموسومات تكاثفها أثناء انتقالها إلى الانقسام الميوزى الثانى .

الانقسام الميوزى الثانى The second meiotic division :



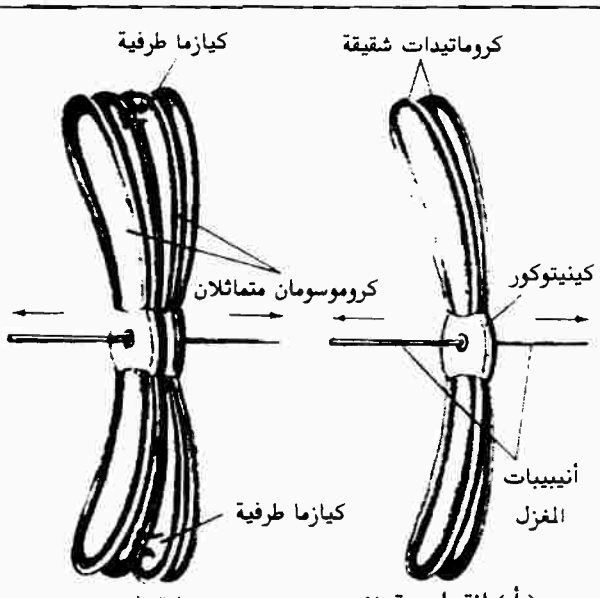
خطوات الانقسام الميوزى الثانى

* فى الانقسام الميوزى الثانى طور تمهيدى سريع ينتهى بتكوين خيوط المغزل وحركة الكروموسومات نحو منتصف الخلية حيث تصطف فى الطور الاستوائى فى استواء المغزل صفًا واحدًا ويرتبط السنترومير بخيوط المغزل وفى بداية الطور الانفصالى ينشق السنترومير وينفصل كروماتيدى الكروموسوم وتسحب خيوط المغزل الكروماتيدات نحو الأقطاب وبذلك يصبح فى كل قطب نفس العدد الفردى من الكروموسومات ويبدأ الطور النهائى بظهور الغشاء النووى حول الكروموسومات وانفصال السيتوبلازم وينتهى الطور بتكوين أربع خلايا فردية الكروموسومات من الخلية الجنسية الأم التى بدأ بها الانقسام الميوزى الأول ويحدث ذلك فى عملية تكوين الحيوانات المنوية spermatogensis بينما تتكون خلية جاميتية واحدة وثلاثة أجسام قطبية فى حالة تكوين البويضات oogensis فى الإناث وذلك رغم أن سلوك الكروموسومات واحدا خلال الانقسام سواء فى الذكور أو الإناث إلا أنه فى حالة الأنثى تضمر ثلاث خلايا مكونة الأجسام القطبية polar bodies .

آلية العبور Mechanism of the crossing over

عندما تتقارب أزواج الكروموسومات المتماثلة فى الطور التمهيدى الأول من الانقسام الميوزى يصبح كل زوج من الكروموسومات متشابك ويعرف بالرباعى tetrad حيث يظهر كأربعة كروماتيدات وكل نقطة من نقاط الالتفاف بين الكروماتيدات تسمى الكيازما chiasma وتتكون مناطق الكيازما بين الكروماتيدات الداخلية وهى مناطق ضعيفة قد يحدث بها كسر فتتبادل هذه الكروماتيدات قطعًا كروماتيدية بما عليها من جينات وعندما ينفصل زوج الكروموسومات المتماثل فى المرحلة الانفصالية الأولى يكون هناك تبادل أو عبور للجينات قد تم بين الكروماتيدات غير الشقيقة وعندما ينشق السنترومير فى المرحلة الانفصالية الثانية ينفصل كروماتيدى كل كروموسوم ، والكروماتيدات الداخلية التى حدث بها تبادل للجينات تسمى الكروموسومات الجديدة أو البنوية بينما هناك كروماتيدات لم يحدث بها عبور وتسمى الكروموسومات الأبوية حيث أنها تحمل نفس تتابع الجينات الموجود فى كروموسومات الآباء .

وعلى سبيل المثال فى خلية زوج واحد من الكروموسومات المتماثلة homologous chromosomes سيكون هناك أنواع من الجاميتات الناتجة فى نهاية الانقسام الميوزى . . خلايا تحتوى كروموسومات أبوية وخلايا تحتوى



الكروموسومات أثناء الطور الاستوائى

كروموسومات جديدة ، ويقدر ذلك بـ ٥٠ ٪ فى كل حالة ـ فى هذه الخلايا حيث يوجد احتمالان لتكوين الرباعى ـ ستتكون أربعة أنواع من الجاميتات ، وفى الإنسان حيث أن هناك ٢٣ زوجًا من الكروموسومات سيصبح هناك $٢^{٢٣}$ أكثر من ٨ مليون احتمال للجاميتات الناتجة .