## المستوى الخلوي

## الخلية أنواعها في الكائنات الحية، أجزائها، انقسام الخلية وتكاثرها، دورة حياة الخلية، طبيعة المادة الوراثية في الخلية.

### مبادئ النظرية الخلوية

الكائنات الحية جميعها تتركب من خلية واحدة أو أكثر، الخلية هي الوحدة التركيبية والوظيفية للكائن الحي تنتج الخلية من انقسام خلية سابقة لها.

**ومن تقسيمات الخلية المعروفة من وجهة نظر علم الخلية:**

**كائنات بدائية النواة:** Prokaryotic

يضم هذا التقسيم الجراثيم (البكتيريا) والطحالب الزرقاء المخضرّة. وتقسم الخلية بدائية النواة الى جزئين رئيسيين هما السيتوبلازم وشبيه النواة ويسمى بعض الأحيان المنطقة النووية، ويحيط بهذين الجزئين الغشاء الخلوي. ويكون هذا الغشاء محاطاً أحياناً (كما في بعض الجراثيم، وفي الطحالب) بجدار خلوي صلب أو شبه صلب يحافظ على الخلية ويؤمن لها الدعم. يتراوح معدل حجم الخلية بدائية النواة بين 1 – 10 ميكرومتر.

وينطوي الغشاء البلازمي في بعض بدائي ات النواة مكوناً طيات وثنايا، لكن هذه لا تكون منفصلة عن الغشاء البلازمي، لذلك لا تعتبر تراكيب داخلية بعض هذه الطيات الجسميات المتوسطة تكون حاوية على الأنزيمات الأساسية الضرورية لعملية التنفس الهوائي والتي تحدث في الميتاكوندريا المنتمية للخلايا حقيقية النواة، ولكن عدم وجود أغشية داخلية دائمة يعني عدم وجود تركيز موضعي للفعاليات والنشاطات محدداً بغشاء وهذا هو الاختلاف الرئيسي بين النوعين. كما تختلف الرايبوسومات في بدائية النواة حيث تكون أصغر حجماً ويتراوح قطرها بين 150– 200 انكستروم وتكون حرة في السيتوبلازم.

وتوجد في بدائية النواة، إضافة الى السيتوبلازم، مناطق كثيفة ذات شكل غير منتظم، وهي المناطق النووية. ويشكل فقدان غشاء فاصل بين المادة الوراثية والسيتوبلازم فرقا أساسيا بين هذين النوعين من الخلايا (بدائية النواة وحقيقية النواة).

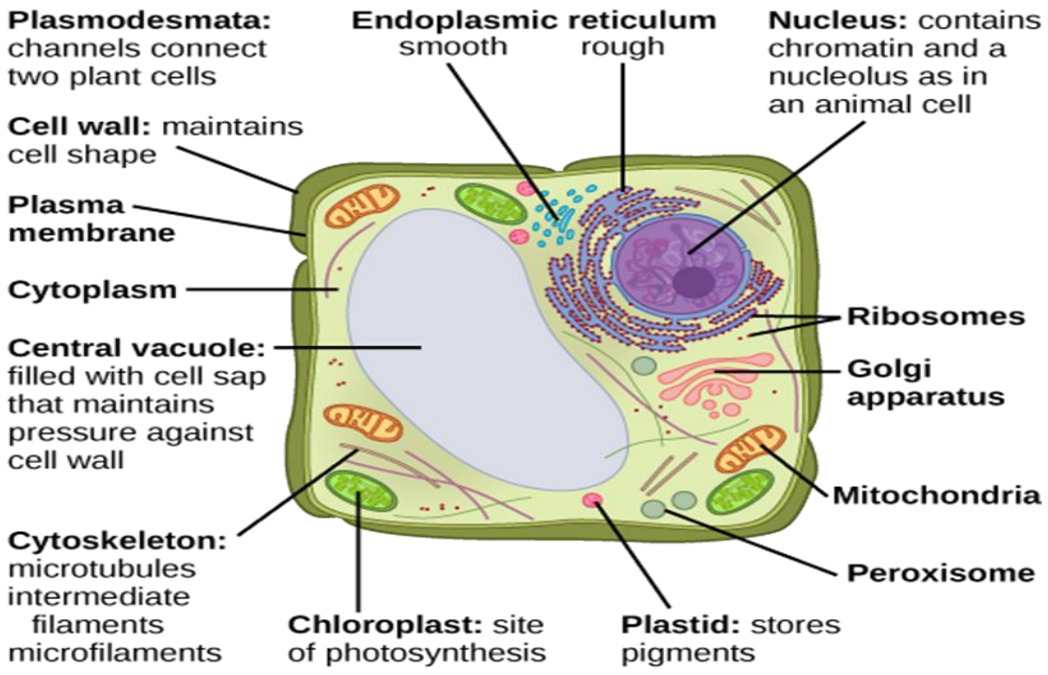
### كائنات حقيقية النواة: Eukaryotic

وتشمل خلايا بقية الكائنات والممالك. وتحتوي فيها الخلية على أجسام أصغر منها تسمى عضيات، مثل أجسام كولجي والمايتوكندريا، وهناك أيضا النواة التي تحمل في داخلها الشيفرة الوراثية الدنا DNA. كما يحيط بالخلية غشاء يسمى بالغشاء الخلوي، ولدى الخلايا النباتية، جدار من السيليولوز يسمى الجدار الخلوي، وهو غير مرن كالغشاء الخلوي وهو احد الفروق الرئيسة بين الخلايا الحيوانية والخلايا النباتية والذي يؤدي الى الاختلاف في الوظيفة والشكل.

## تركيب الخليـة النباتية

كما ذكر ما يميز الخلية النباتية الجدار الخلوي الذي يحيط بالغشاء البلازمي لخلايا النبات. تركيبه : من السيليلوز وهو مادة كربوهيدراتية عديدة السكر تأخذ شكل ألياف بينها فراغات تسمح بمرور الماء وبعض المواد الذائبة ، وتكون مغمورة داخل مادة خلالية تتكون من مزيج من مواد بروتينية ودهنية ومواد كربوهيدراتية عديدة التسكر تشمل اللكنين والهميسليلوز والبكتين.

وعموما تتكون الخلية الحية في مجملها من ثلاثة أجزاء رئيسية (غشاء الخلية) الذي يعد بمثابة جهاز الأمان لها والبوابة التي تربط الخلية بالوسط المحيط بها و(سائل الخلية) أو السيتوبلازم الذي يحوى العديد من العضيضات المسئولة عن غالبية العمليات الحيوية التي تتم في الخلية و (نواة الخلية) هذا العقل المدبر الذي يسيطر على كل مظاهر النشاط فيها.



اولا: الغشاء البلازمي ( Plasma Membrane ):

نظراً لضآلة سمك هذا الغشاء والذي يتراوح بين ( 7.5 – 10 نانوميتر ) لم يتمكن العلماء من مشاهدته فعلاً إلا بعد اختراع المجهر الإلكتروني .

- في عام 1972 اقترح العالم Singer

تركيبه :

يتركب الغشاء البلازمي من طبقتين من الليبيدات المفسفرة والبروتينات التي تتوزع توزيعاً غير منتظم فيها. وهذه البروتينات والليبيدات تتحرك باستمرار وتتغير مواضعها بالنسبة لبعضها ولهذا وصف الغشاء - وفق هذا النموذج - بأنه سائل .

الخصائص الحيوية للغشاء البلازمي:

1- ينمو مع نمو الخلية وازدياد حجمها.

2- لديه المقدرة على التجدد في المناطق التي يتعرض فيها للتمزق عن طريق بناء جزيئات بروتينية وليبيدات مفسفرة وإضافتها.

3- تلعب البروتينات المكونة للغشاء أدواراً مهمةً ، فبعضها يعمل عمل الانزيمات والنواقل ، كما أن لبعضها دوراً في استقبال المعلومات الكيميائية مثل الهرمونات.

4- يعود الاختلاف بين خلية وأخرى إلى التنوع في أنواع الكربوهيدرات المرتبطة بجزيئات البروتينات.

ثانيا: السيتوبلازم (Cytoplasm):

السيتوبلازم هو المادة الحية جميعها في الخلية ما عدا الغشاء البلازمي والنواة ويتكون من مجموعة من العضيات معلقة في سائل أساسي يسمى السيتوسول Cytosol ويتألف السيتوسول في معظمه من الماء الذي يحتوي على أملاح معدنية ومواد عضوية ذائبة . وتلعب الأغشية الموجودة في السيتوبلازم على تقسيمه إلى وحدات وظيفية تسمى العضيات الخلوية حيث يختص كل منها بوظائف معينة ويسمح بحدوث تفاعلات كيميائية حدوثاً مستقلاً دون تداخل.

**العضيات الخلوية :**

**أ- الشبكة الاندوبلازمية** : تتكون من قنوات وأكياس وحويصلات مملوء بسائل ومحاطة بأغشية لها تركيب الغشاء البلازمي .

يتلاءم تركيب الشبكة الاندوبلازمية وموقعها مع وظائفها المختلفة إذ أن قنوات الشبكة المنتشرة في معظم أجزاء السيتوسول والمتصلة مع الغلاف النووي والغشاء البلازمي يجعلها قادرة على القيام بالوظائف التالية :

1- تعمل كجهاز نقل بين الاجزاء الخلوية في السيتوبلازم من جهة وبين الخلية والبيئة الخارجية من جهة اخرى .

2- تعطي هذه الشبكة الدعامة للخلية.
3- تعمل على تقسيم الحيز الداخلي الى مناطق متخصصة بوظائف معينة
4- تزيد من مساحة السطح الداخلي للخلية وبالتالي زيادة التفاعلات الحيوية المختلفة
تتميز الشبكة الاندوبلازمية إلى نوعين يتصلات ببعضهما

-الشبكة الاندوبلازمية الملساء
-الشبكة الاندوبلازمية الخشنة

1 - الشبكة الإندوبلازمية الخشنة أو المحببة : Granular or Rough endoplasmic reticulum

يتميز هذا النوع بوجود عدد كبير من الحبيبات الدقيقة على السطح الخارجي للشبكة هذه الحبيبات تكون غنية بحامض الريبونيوكليك والبروتينات ولذا تسمى بحبيبات الريبونيوكليوبروتين( R N P) Ribonucleoprotein particles أو الريبوسومات Ribosome's ولا يقتصر وجود هذه الحبيبات على سطح أغشية الشبكة الإندوبلازمية فقط ، ولكن توجد أيضا تجمعات أو كتل من مثل هذه الحبيبات موزعة بين أجزاء الشبكة الإندوبلازمية ، وتمثل الريبوسومات مواقع تخليق البروتينات في الخلية ، لذا هي تتوفر بكثرة في الخلايا التي تتميز بنشاطها في بناء البروتينات ، مثل خلايا الكبد والبنكرياس .

الشبكة الإندوبلازمية الملساء أو الغير محببة : A granular or Smooth endoplasmic reticulum

يتميز هذا النوع بخلوه من الريبوسومات ويقتصر وجوده على أنواع قليلة من الخلايا الصبغية الطلائية لشبكية العين والخلايا العضلية الإرادية ، ويبدو أن الشبكة تقوم بدور حي في مثل هذه الخلايا .

العلاقة بين الشبكة الإندوبلازمية وغشائي النواة والخلية

الشبكة الإندوبلازمية وثيقة الصلة بغشاء النواة ، الذي يتكون في الواقع من غشائين يتصل الخارجي منهما بأغشية الشبكة الإندوبلازمية . وقد إعتبر بورتر عام 1960م أن غلاف النواة يمثل الجزء الأساسي من الشبكة الإندوبلازمية ، وأن الأجزاء الأخرى من هذه الشبكة ما هي إلا إمتدادات للغشاء النووي .

وتتصل الشبكة الإندوبلازمية أيضا في معظم الخلايا بغشاء الخلية وهذا يعني أنها تمتد من غشاء النواة إلى غشاء الخلية وأن تجاويف الشبكة الإندوبلازمية تفتح إلى الخارج في الفسحات بين الخلوية .وفي الخلايا النباتية بالذات ، يبدو أن الشبكة الإندوبلازمية في أي خلية ترتبط بنظيرتها في الخلايا المجاورة لتكون ما يسمى بالوصلات بين الخلوية Plasmodesmata .

وهناك وظيفة أخرى محتملة للشبكة الإندوبلازمية ، وهي أن تجاويفها قد تعمل كممرات يتم خلالها نقل مختلف المواد بين الأجزاء السيتوبلازمية المختلفة ، ومن النواة إلى خارج الخلية ، أو من خارج الخلية إلى السيتوبلازمية، أو حتى إلى النواة مباشرة .

**ب- الرايبوسومات (Ribosomes):** عضيات كروية تبنى داخل النوية وتنقل الى السيتوسول لتبقى حرة فيه أو ترتبط بأغشية الشبكة الاندوبلازمية أو بالغشاء النووي. وللريبوسومات دوراً مهماً في بناء البروتين .

**ج- أجسام جولجي (Golgi Bodies):** أجسام جولجي عبارة عن تراكيب غشائية تشمل حزمة من أكياس منبسطة مرتبة ترتيباً متوازياً ومن حويصلات كروية ذات أغشية رقيقة تقع بالقرب من حافة الأكياس . تعمل أجسام جولجي على تعديل تركيب البروتينات المصنعة في الرايبوسومات وتصنيفها وإعدادها بشكلها النهائي لتستخدم في داخل الخلية او لتفرز خارجها كما تعمل على تصنيع بعض جزيئات الكربوهيدرات عديدة التسكر.

**د- الميتوكندريا**

- توجد هذه العضيات في معظم الخلايا حقيقة النوى .
– تتنوع في أشكالها (كروية ، خيطية ، وغالباً أسطوانية) .
– عددها وحجمها وتوزيعها في الخلية يختلف باختلاف الحالة الفسيولوجية للخلية .
– تكثر هذه العضيات في الخلايا ذات النشاط الحيوي العالي .
– تقوم هذه العضيات بوظيفة مهمة إذ تعمل كمحطات لإنتاج الطاقة .

**هـ- البلاستيدات ( Plastids )**

– توجد في الطحالب وبعض الخلايا النباتية .
– تصنف حسب وجود الصبغة إلى :

1- بلاستيدات خضراء : تحتوي على صبغة الكلوروفيل الخضراء وهي الأكثر انتشاراً .
2- بلاستيدات ملونة : تحتوي على أصباغ ملونة بالإضافة إلى صبغة الكلوروفيل .
3- بلاستيدات عديمة اللون : تخلو من الأصباغ ، وتعمل على تخزين المواد الغذائية كالنشا والدهون والبروتينات .

**و- الفجوات الخلوية ( Vacuoles )**

فجوات مملوءة بمحلول مائي وتوجد في معظم الخلايا:

## (3) نواة الخلية

جسم كرى الشكل يوجد في منتصف الخلية غالبا وتمثل النواة العقل المدبر الذي يتحكم في كل العمليات الحيوية كما تحمل الشفرة الوراثية (الحامض النووي DNA ) بداخلها وتوجد النواة في جميع خلايا الحيوانات الثديية باستثناء خلايا كرات الدم الحمراء التي تخلو منها وفى الغالب تحتوى الخلية الحية على نواة واحدة لكن في بعض الخلايا كخلايا الكبد وبعض أنواع الخلايا الطلائية توجد نواتان مركزيتان بينما توجد أكثر من نواة في خلية العظام والخلايا العضلية وفى الشائع تأخذ النواة شكل كرى وربما تأخذ في بعض الخلايا شكل بيضاوي أو عصوي أو كلوي أو شكل حدوة الحصان وتتكون النواة من أربعة أجزاء رئيسية (غشاء النواة) الذي يحوى بداخله (عصارة النواة) و(النوية) و (المواد الكروماتينية) وتحمل النووية

الحامض النووي DNA الذي يمثل سجلا كبيرا يحمل آلاف الصفات الوراثية الخاصة بالكائن الحي كاللون والطول والجنس وغيرها من الصفات التي توجد بنظام شفري يترجم فيما بعد أثناء مرحلة التخليق والنمو في قدرة عجيبة.

**وظائفها:**

1. تلعب النواة دورًا مهمًا في الانقسامات الخلوية لاحتوائها على المادة الكروماتينية.
2. تساهم في تركيب اللإنزيمات لاحتوائها على ال D.N.A .
3. يلعب دورًا في انتقال الصفات الوراثية التي تحملها المورثات في سلم ال DNA اللولبي، حيث يؤدي تغير قضيب واحد من سلم ال DNA إلى إحداث تغير حاد في المورثة ينعكس في تغير الخصائص الوراثية التي تحملها هذه المورثة. لذلك، فإن ال DNA يوصف بأنه ينص الرسالة المدونة بأربعة رموز هي : A-T . T-A . C-G . G-C .
4. يعتبر وجود النواة ضروريًا لحياة الخلايا البشرية كما أثبتت الاختبارات التي تقوم على قسم الخلية إلى قسمين بحيث تبقى النواة في واحد منها فيبقى حيًا، أما القسم الآخر الذي يظل من غير نواة فيتلف ويموت.

## المواد التي تتكون منها النواة :

### 1. الغشاء النووي :

وهو الذي يميز الخلايا البدائية النواة عن الحقيقية النواة. فالبدائية لا تملكه. أما الحقيقية بنوعيها فتملكه. وهو يشبه الغشاء الخلوي في تركيبه. ويحتوي على ثقوب لتسمح بدخول وخروج المواد من وإلى النواة. ويكون هذا الغشاء مزدوج. بحيث لا يندمجان أجزاءه إلا عند الثقوب.

يختفي غشاء النواة عند انقسام الخلية، ولكنه يتكون من جديد عند اتصاله مع مركبات من الشبكة الإندوبلازمية (عند اكتمال الخليتين الجديدتين الناتجتين عن الانقسام).

**وظائفه :**

1. يفصل النواة عن سيتوبلازم الخلية.
2. يتصل القسم الخارجي منه مع الشبكة الإندوبلازمية والريبوسومات التي تلعب دورًا في فعاليات النواة .
3. يوجد في ثقوبه إنزيم ATPase الذي يحلل مركب ATP مما يدل على أن بعض المواد تمر خلال هذه الثقوب بواسطة النقل الفعال، إضافةً إلى أنها قد تعمل على نقل التراكيب الرايبوسومية إلى السيتوبلازم.

**2. السائل النووي :**

وهو السائل الموجود داخل النواة . وهو يحتوي على مواد عضوية وغير عضوية، وعلى إنزيمات محللة مختلفة وإنزيمات بناء وبروتين، إذ أن طبيعته بروتينية. والنوية تقع فيه أيضًا.

**وظيفته :** تنظيم جميع العمليات الحيوية داخل النواة وهذا بسبب المواد التي يحويها.

**3. النوية:**

وهي الجسم الكروي الصغير الواضح الذي يقع عادةً حول مركز النواة . وقد توجد أكثر من نوية واحدة في الخلية، وتكون أكبر حجمًا في الخلايا النشيطة في تكوين البروتين .وتبنى النوية من الرايبوسومات. وهي تحتوي على الحامض النووي ال RNA الريبوسومي. أي rRNA .

**وظائفها :**

1. تلعب دورًا في الإنقسام الخلوي.
2. مسؤولة عن تكوين ال RNA والبروتينات لبناء الريبوسوم. (النوية هي مكان تكوين الريبوسومات.

**4. المادة الكروماتينية :**

وتكون واضحةً عند انقسام الخلية.وهي تتكثف خلال انقسام الخلية مشكلةً الكروموسومات.

إن المادة الوراثية (الكروموسومات أو الكروماتين) تصطبغ بالأصباغ القاعدية ويمكن تقسيمها إلى نوعين :

–المناطق القليلة الطيات وتصبغ بصورة ضعيفة بالأصباغ القاعدية وتسمى بالكروماتين الحقيقي وهي المناطق الفعالة من مادة الكروموسوم،

–المناطق الأخرى فتكون كثيرة الطيات وتصطبغ بشدة وتسمى "الكروماتين المغاير". وهي مناطق غير فعالة من الكرموسوم.

**5. (الكروموسومات) :**

هي تراكيب تصبغ بالأصباغ القاعدية وتظهر بين قطبي الخلية أثناء الانقسام، حيث تكون متكثفة بشدة أثناء الإنقسام حيث تكون واضحة بسبب فقد الماء منها ،بحيث يمكن دراستها. ويكون عدد الكروموسومات ثابتًا للنوع الواحد من الكائنات. ويختلف هذا العدد باختلاف الكائنات. وفي خلايا الكائنات الراقية يكون نوعان من الخلايا حسب عدد الكروموسومات فيها. النوع الأول هو في الخلايا الجسمية والتي تحتوي على العدد المميز من الكروموزومات حسب الكائن. والنوع الثاني هو في الخلايا الجنسية والتي تحتوي على نصف العدد. يتكون الكروموسوم من ذراعين ومن جزء مركزي يسمى السنترومير.وهو يربط الذراعين ببعضهما ويسمى كل

ذراع كروماتيد، ويبدو الكروموسوم في منطقة الجزء المركزي أنحف من المناطق الأخرى وتسمى هذه المنطقة بمنطقة التخثر الأولي.

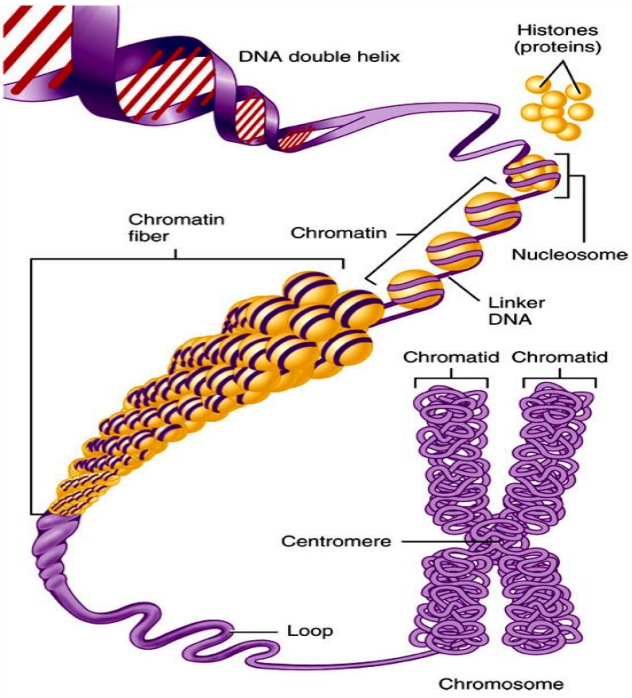
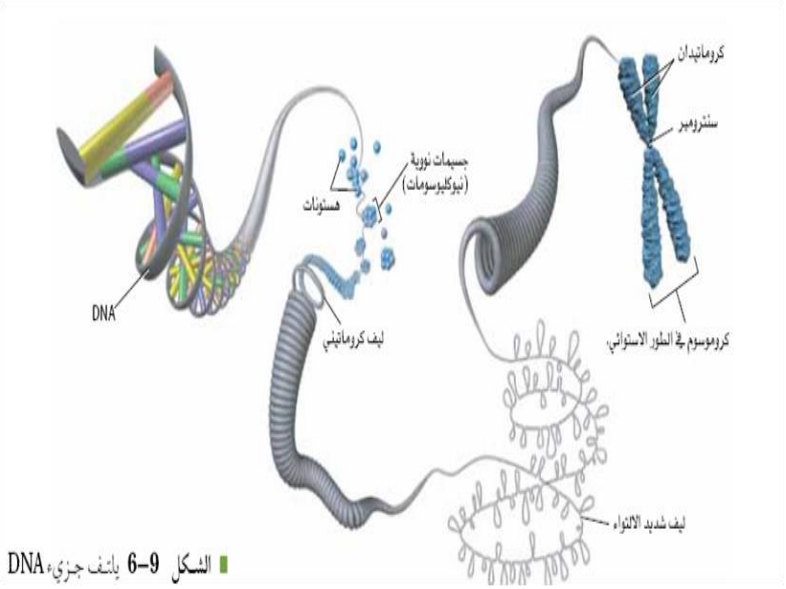



Figure 03.25 Tortora - PAP 12/e
Copyright © John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.




الشكل 9-6 يلتف جزيء DNA

## Cell Division انقسام الخلايا وتكاثرها

تتكاثر الاحياء بصورة عامة بطريقتين الجنسية واللاجنسية

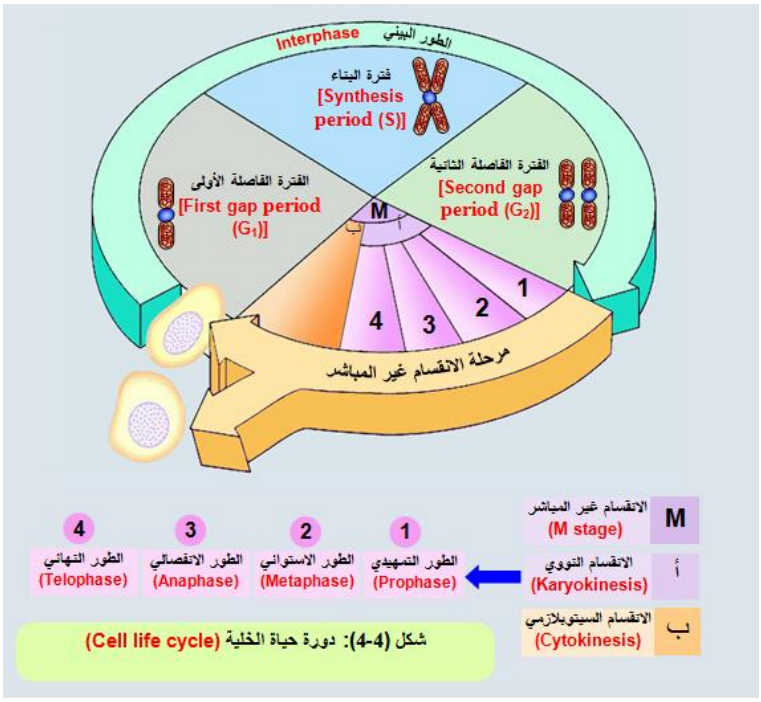
**طـرق إنقســام الخـلية**

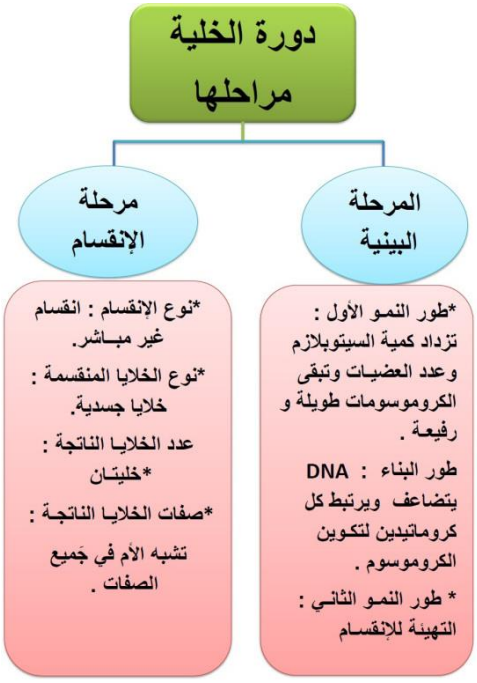
**أ ـ الإنقســام المباشر Amitosis :**

وهو أدنى أنواع إنقسام الخلية ويطلق عليه إسم الإنقسام الثنائي البسيط ( Binary fission) ويشع حدوثه بين الكائنات الدقيقة في بعض الحيوانات الأولية أثناء التكاثر اللاجنسي والذي يتم عندما تصل الخلية إلى حد معين من النمو بأن تستطيل النوية وتنشطر ثم تستطيل النواة ثم تنشطر ويلي ذلك تخصر في سيتوبلازم الخلية ثم في جدارها وبالتالي يحيط بكل نواة جديدة جزء من سيتوبلازم الخلية الأم وتتكون خليتان جديدتان تنمو كل منها إلى حد معين ثم تدخل في عملية الإنقسام مرة أخرى كما يحدث في الأميبا وبعض الكائنات الحية الأولية كالبكتريا.

**ب ـ الإنقسام الغير مباشر (الميتوزي ): Mitosis**

هذا النوع من الإنقسام يحدث في الخلايا الجسمية ، وكان أول من قام بدراسة ووصف هذا النوع من الإنقسام هو العالم فلمنج عام 1878م وقد وصف خمس مراحل رئيسية تمر بها الخلية حتى يتم إنقسامها إلى خليتين بواسطة هذا الإنقسام وهي كالتالي :




## أولا: الطور البيني Interphase

في هذا الطور توصف الخلية قبل إنقسامها بأنها في طور السكون وتتميز الخلية فيها بعدم وضوح الكروموسومات وزيادة حجم النواة . وهي تمر بثلاث اطوار

ثانيا: مرحلة الانقسام

## 1 - الطور التمهيدي Prophase:

تبدأ هذه المرحلة من الإنقسام بظهور الكروموسومات كخيوط واضحة تحت المجهر حيث تتجزأ الشبكة الصبغية إلى عدد من الخيوط المزدوجة طوليا تبدأ رفيعة ثم تزداد في السمك وتقل في الطول حيث تعرف بالكروموسومات ويتكون كل كروموسوم من نصفين طوليين يعرف منهما بالنصف كروموسوم ( أو الكروماتيد ) ويتلاقى كل كروماتيد مع الآخر في نقطة قرب أحد طرفيه تعرف بالسنترومير في نفس تحدث تغيرات أخرى داخل الخلية ففي خلايا الحيوانات والنباتات الدنيا يتحرك الجسم المركزي ( السنتريول) إلى الأطراف المضادة للنواة حيث تعمل كأقطاب للجهاز الإنقسامي عند بدأ تكوينه ويتكون هذا الجهاز من شبكة من الخيوط الأنيبيبية الدقيقة حيث تتصل هذه الخيوط بالسنتريولين لتكوين المغزل Spindle وأخيرا تتكون خيوط كروموسومية لتربط بين سنترومير الكروموسوم والسنتريولات ( تفقد خلايا النباتات العليا وبعض اللافقاريات الأجسام المركزية ولكنها تكون خيوط مغزلية ) وتختفي النويات خلال مراحل الطور

التمهيدي المتأخر وينتهي هذا الطور بإنهيار الغشاء النووي وبذلك لا تكون الكروموسومات معزولة عن السيتوبلازم .

**2 - الطور الإستوائي ( الإنتقالي ) Metaphase :**

بعد إنهيار الغشاء النووي تصبح الصبغيات متصلة مباشرة بالسيتوبلازم حيث تتحرك الكروموسومات بإتجاه المنطقة الوسطى من الخلية وتنتظم على خط الإستواء حيث تكون السنترومیرات متجهة للداخل وأذرع الكروموسومات إلى الخارج وهنا تتصل خيوط الكروموسومات من كل قطب بالسنترومیرات وفي نهاية هذه المرحلة تنقسم السنترومیرات وتصبح الكروماتيدات كروموسومات منفصلة .

**3 - الطور الإنفصالي Anaphase :**

في هذا الطور وأحيانا في آخر الطور الإستوائي تنشق السنترومیرات في الكروموسومات الأصلية وينتج عن ذلك إنفصال الكروماتيدات أي أنصاف الصبغيات ويلي ذلك تباعد الكروماتيدات

عن بعضها ويتجه الكروماتيدان الناشئان من كل كروموسوم في إتجاهين متضادين كل منهما إلى قطب من أقطاب الخلية وبذلك يخص كل نواة من النواتين لجديدتين عدد متساوي من

الصبغيات المتماثلة وفي هذا الطور تتخذ أنصاف الكروموسومات شكل حرف ( V )و تتجه الإنحناءات الوسطية تجاه قطبي المغزل وذلك نتيجة لجذب خيوط المغزل لأنصاف الصبغيات إلى قطبي الخلية

**4 - الطور النهائي Telephase :**

في هذه المرحلة يكتمل تكوين النواتين الجديدتين وذلك لأن أنصاف الصبغيات عندما تبلغ قطبي الخلية تتزاحم مع بعضها البعض وتطرأ عليها عدة تغيرات في عكس إتجاه التغيرات التي حدثت في الأطوار الأولى لعملية الإنقسام ومن شأن هذه المتغيرات تناسخ الكروماتيدات وإختفاء فردية الصبغات وتحولها إلى شبكة صبغية وفي الوقت نفسه يبدأ تكوين الغشاء النووي الذي يحيط بالنواة ويفصلها عن السيتوبلازم، وكذلك يتم إعادة بناء الأنوية، بينما يحدث ذلك في النواة يبدأ إنقسام السيتوبلازم خلال الطور الإنفصالي

أو النهائي ولكنه يكتمل خلال الطور النهائي يضيق العشاء البلازمي في خلايا الحيوان إلى الداخل إلى أن ينقسم السيتوبلازم كليا ، في النباتات يبدأ حاجز مضاعف من الغشاء البلازمي في التكوين في وسط الخلية ثم يستمر هذا الغشاء بالنمو بإتجاه الخارج ليتم إنتهاء عملية الإنقسام وعند هذا يبدأ بتصنيع الجدار الخلوي في الحيز الموجود بين الغشائين المتوازيين .

مما سبق يتضح أن هذا النوع من الإنقسام يعطي خلايا جديدة بها نفس العدد الزوجي من الصبغيات الموجودة بالخلية الأم، بمعنى آخر أنه ينتج من كل خلية منقسمة خليتين متشابهتين للخلية الأم تماما.

**الإختلاف الحاصل في الإنقسام الغير مباشر ( الميتوزي ) في الخلية النباتية :**

يمر الإنقسام الغير مباشر في الخلية النباتية بنفس أطوار الإنقسام السابقة إلا أن الاختلاف في الخلايا النباتية عن الخلايا الحيوانية يمكن توضيحه كالتالي :

1 ـ في الطور الإستوائي تتبع خيوط المغزل من نقطتين متقابلتين عند طرفي الخلية تعرفان بالقطبية حيث أن الخلية النباتية ليس بها جسم مركزي.

2 ـ في الطور الختامي : يتكون عند خط الإستواء للخلية حاجز من السيتوبلازم يعرف بالصفيحة الخلوية التي تتصلب مكونة الصفيحة الوسطى ويترسب على جانبيها طبقات الجدار الإبتدائي الذي يفصل بين الخليتين الجديدتين .

**جـ الإنقسام الإختزالي ( المنصف ـ الميوزي ) Meiosis :**

من المعروف أن نواة البيضة المخصبة (zygote) تنشأ من إتحاد المشيج الأنثوي ( خلية البيضة) مع نواة المشيج الذكري ( حبة اللقاح ) ولهذا فإنها تحوي مجموع عدد الكروموسومات الموجودة في الأمشاج الذكرية والأنثوية ولكي يبقى عدد الكروموسومات داخل النوع ثابتا من جيل إلى جيل ،يجب إختزال المجموعة الكروموسومية للأمشاج الذكرية والأنثوية بطريقة ما بطريقة ما إلى العدد الأحادي وتسمى هذه العملية بالإنقسام الميوزي ( الإختزالي ) .

وعموما عملية الإنقسام الميوزي متشابهة أساسا في كل من الحيوان والنبات .

**يتضمن الإنقسام الإختزالي إنقسامين متتاليين هما الإنقسام الأول والثاني :**

**الإنقسام الأول : يتضمن هذا الإنقسام أربعة أطوار هي :**

**أ ) الطور التمهيدي الأول Prophase**

**ب ) الطور الإستوائي الأول Metaphase**

**ج ) الطور الإنفصالي الأول Anaphase**

**د ) الطور النهائي الأول Telophase**

**نبدأ الآن في إستعراض الإنقسام الإختزالي الأول :**

**أ ) الطور التمهيدي الأول Prophase :**

هذا الطور يشبه نظيره في الإنقسام الغير مباشر لكنه يمكث مدة أطول ويتميز إلى عدة مراحل أهمها /

**1 ـ المرحلة القلادية : Leptotene**

تبدأ هذه المرحلة بتضخم النواة وتكثف المادة الصبغية ( Chromatin) وبدء الجسم المركزي بتكوين خيوط شعاعية قصيرة جدا ثم تبدو الصبغيات كخيوط طويله للغاية ورفيعة تنتظم عليها إنتفاخات مختلفة الأحجام ، فيشبه بذلك كل صبغي شكل القلادة المرصعة بالحبات

**2 ـ المرحلة الإزدواجية Zygoten**

تقصر الكروموسومات وتزداد كثافة وتقترب من بعضها مشكلة أزواجا فيلتقي كل كروموسومين متماثلين مع بعضهما وتبدأ عملية الإزدواج من نقطة ما بين الكروموسومين ويمتد بسرعة إلى المناطق الأخرى ، علما بأن أحد الكروموسومين من الأب والآخر من الأم أصلا ، تسمي هذه العملية بالكروموسومات المزدوجة الثنائية .

**3 ـ المرحلة الضامة ( التغلظ ) Pachytene**

تستمر الكروموسومات بالقصر والتغلظ وتلتف حول بعضها ويظهر كل كروموسوم متكون من كروماتيدين مرتبطين بالمنطقة المركزية Centromere وعليه كل ثنائي أو زوج يحتوي على أربعة كروماتيدات وتدعى بالمجموعة الرباعية ، ثم تبدأ عملية الإلتفاف والترابط الحقيقي بين كروماتيدين في المجموعة ولا ترتبط أو تلتف أكثر من إثنين مع بعضهما .

**4 ـ المرحلة الإنفراجية ( التضاعفية ) Diplotene**

تبدأ الكروموسومات في الإبتعاد قليلا عن بعضها ، فتنفصل عدا المناطق التي يحصل الإلتحام فيها بين كروماتيد من الكروموسوم الأول و آخر من الكروموسوم الثاني فيتحول الشكل الثاني إلى شكل تصالبي إذا كان الإتصال بمنطقة واحدة فقط وإلى شكل عروة إذا كان الإتصال بمنطقتين أو إذا كان الإتصال بمناطق عديدة . كل نقطة إتصال بين كروماتيدين تدعى تصالب Chiasma ولمناطق الإتصال بين كروماتيدات كروموسومين متقابلين أهمية خاصة في إنتقال وتنوع التركيب الوراثي حيث تتبادل المواقع أجزاء من الكروماتيد الثاني ، وتسمى هذه العملية ب " العبور " .

**5 ـ المرحلة التنافرية أوالتشتيتية Dikanes**

يستمر التنافر ويختفي الشكل التصالبي في هذه المرحلة وتبقي الكروموسومات الثنائية قريبة من بعضها وتختفي النوية ويبدأ غشاء النواة بالإختفاء وتتحرك أزواج الكروموسومات

إلى منطقة إستواء الخلية وتنتظم الخيوط المغزلية ممتدة من قطبي الخلية .

**ب ـ الطور الإستوائي الأول Metaphase I**

تتحرر الكروموسومات من داخل النواة ويكتمل تكوين خيوط المغزل وتصطف أزواج الصبغيات المتماثلة في المستوى الإستوائي للخلية، ويتكون كل زوج في هذه الحالة من كروموسومين متماثلين أو أربعة أنصاف كرموسومية ( 4 كروماتيدات ) ، كل نصف كرموموسومي متماثل مرتبط عن طريق السنترومير . من الطبيعي أن عدد أزواج الكرموسومات المتماثلة يساوي نصف عدد الكروموسومات في الخلية .

**جـ ـ الطور الإنفصالي الأول Anaphase I**

في هذا الطور يأخذ كل كروموسوم من الكروموسومين المتماثلين في الإنفصال عن مثيله وتنكمش خيوط المغزل وبذلك يتجه أحد الكروموسومين إلى أحد قطبي الخلية والثاني إلى القطب الآخر وبذلك يصبح

عند كل قطب من قطبي الخلية نصف عدد الكروموسومات الموجودة بالخلية الأصلية ( كل كروموسوم مكون من كروماتيدين ) .

**د ـ الطور النهائي الأول Telophase I**

في هذا الطور يتكون عند كل قطب من قطبي الخلية غشاء نووي يحيط بالصبغيات وتتكون بذلك نواتان بنويتان يحتوي كل منها على نصف عدد الصبغيات الموجودة في الخلية الأصلية ثم يتخصر السيتوبلازم حتى تكوين خليتين منفصلتين ( كل كرموسوم يحتوي على كروماتيدين ).

**الإنقسام الإختزالي الثاني :**

وهو استكمال انقسام الخليتين الناتجتين من الإنقسام الإختزالي الأول إلى خليتين جديدتين بطريقة مشابهه لما يحدث في الإنقسام الغير مباشر حسب الأطوار الآتية :

**أ ) الطور التمهيدي الثاني Prophase II**

**ب ) الطور الإستوائي الثاني Metaphase II**

**ج ) الطور الإنفصالي الثاني Anaphase II**

**د ) الطور النهائي الثاني Telophase II**

**أ ـ الطور التمهيدي الثاني :**

ينقسم الجسم المركزي في كل خلية إلى إثنين يتجهان إلى قطبي الخلية حيث يبدأ تكوين خيوط المغزل ويختفي جدار النواة وتظهر الكروموسومات وهي مكونة من كروموسومات كل واحد منها مكون من زوج من الكروماتيدات مرتبطين ببعضهما بسنترومير واحد

**ب ـ الطور الإستوائي الثاني :**

تصطف خلالها الكروموسومات على الخط الإستوائي للخلية.

**ج ـ الطور الإنفصالي الثاني :**

ينشق السنترومير الذي يربط كروماتيدي كل كروموسوم بعضها ببعض ،وبذلك ينفصل الكروماتيدان ويتحركان بعيدا في إتجاه الأقطاب.

**د ـ الطور النهائي الثاني :**

تتجمع كل مجموعة من الكروماتيدات ( التي أصبحت الآن كروموسومات قائمة بذاتها ) عند أحد قطبي الخلية ، ثم تستطيل متحولة إلى خيوط رفيعة ملتوية ، ويتكون حولها غشاء نووي ، وبذلك تتكون

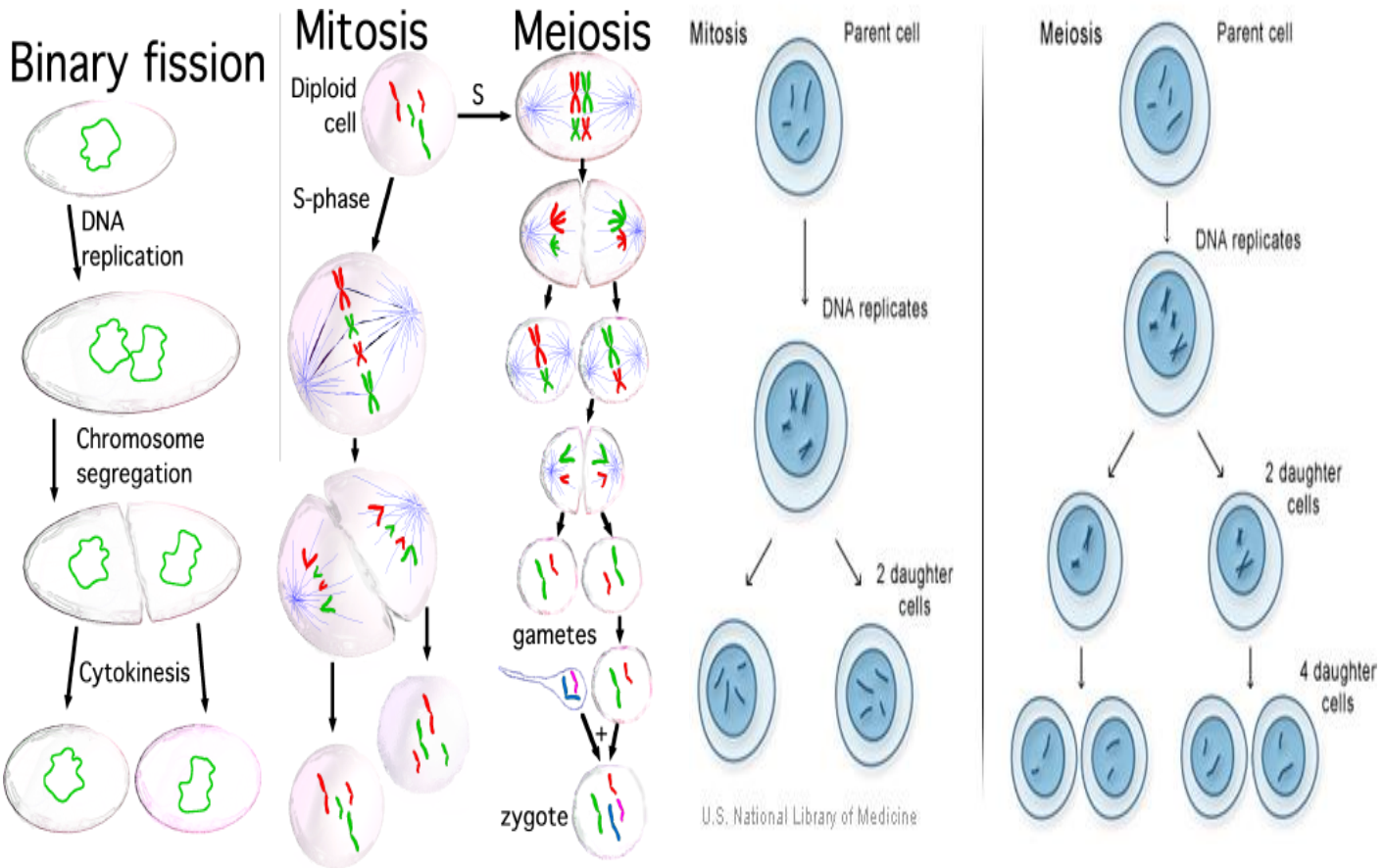
خليتان تحتوي على نواتان كل منهـا تحتوي على نصف العدد الوراثي ويكون الناتج أربعة خلايا كل منها يحتوي على نصف عـدد الكروموسومات الموجود في الخلية الأم.

**أهمية الإنقسام الإختزالـي :**

1 ـ يتكون الناتج النهائي من أربعة خلايا بكل منها نصف العدد الوراثي يطلق عليها إسم أمشاج ( حيوانات منوية ، بويضات ) . إذا إتحد المشيج الذكري مع المشيج الأنثوي ينتج الزيجوت الذي يحتوي العدد الأصلي من الصفات الوراثية والذي ينتج منه الجنين بذلك يحفظ العدد الثابت للكروموسومات.

2 ـ تبادل صفات وراثية بين الكروموسومات بنظام ثابت وذلك في المرحلة الضامة من الطور التمهيدي الأول بحيث تنتقل صفة مكان صفة أخري مثلها وتسمى هذه العملية بالعبور .

3 ـ ظهور صفات سائدة وصفات متنحية .



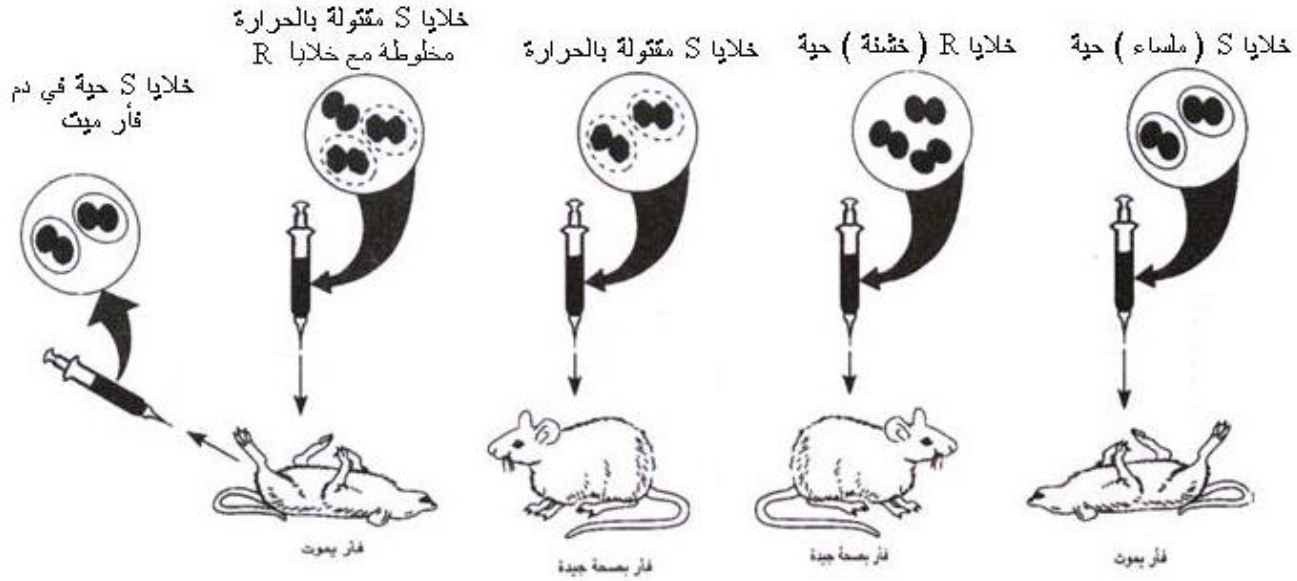
## طبيعة المادة الوراثية

وجد علماء البيولوجي أنه أثناء انقسام الخلية تنفصل الكروموسومات عن بعضها البعض بحيث يصبح في النهاية لكل خلية ناشئة عن الانقسام نفس عدد الكروموسومات الموجودة في الخلية الأصلية ، مما يدل على أن الكروموسومات هي التي تحمل المعلومات الوراثية ، إلا أن الكروموسومات يدخل في تركيبها مركبان رئيسيان هما : حامض DNA والبروتينات ..... فأي منهما يحمل المعلومات الوراثية ؟
وكان من المعروف أن البروتينات مجموعة من الجزيئات المتنوعة حيث يدخل في تركيبها 20 حمضاً أمينياً وتتجمع الأحماض الأمينية بطرق متباينة لتعطي عدد لا حصر له من المركبات البروتينية المختلفة بينما يدخل في تركيب حامض DNA أربع نيوكليوتيدات فقط .
لذلك أعتقد العلماء في أول الأمر أن البروتينات هي التي تحمل المعلومات الوراثية .
كما كانت المعرفة قليلة بالأحماض النووية ، والتي يبدو أن صفاتها الفيزيائية والكيميائية بعيدة عن التنظيم الضروري للمادة الوراثية ، ولكن هذه النظرة تغيرت بالتدريج ، عندما أظهرت التجارب على الكائنات الحية المجهرية المعروفة نتائج غير متوقعة .

### الأدلة على أن حمض DNA هو مادة الوراثة

**أولا: لتحول البكتيري Bacterial Trasformation :**

ظهر أول دليل يثير الشك حول اعتبار أن مادة الوراثة من البروتينات في عام 1928م – حين كان العالم البريطاني فريدريك جريفث (Griffith ) يدرس البكتيريا المسببة لمرض الالتهاب الرئوي – حيث اكتشف أنه يمكن تحويل إحدى سلالات بكتيريا الالتهاب الرئوي إلى سلالة أخري مختلفة وراثياً ، وكانت إحدى السلالتين اللتين درسهما مميتة ( السلالة S ) بمعنى أنها أدت إلى موت الفئران التي حقنت بها ، بينما السلالة الأخرى ( السلالة R ) أصابت الفئران بمرض الالتهاب الرئوي لكنها لم تؤد إلى قتلها ، وقد أوضح جريفث أنه عندما حقنت الفئران بسلالة البكتيريا المميتة التي سبق قتلها بالحرارة مع السلالة غير المميتة الحية ( أنظر الشكل )

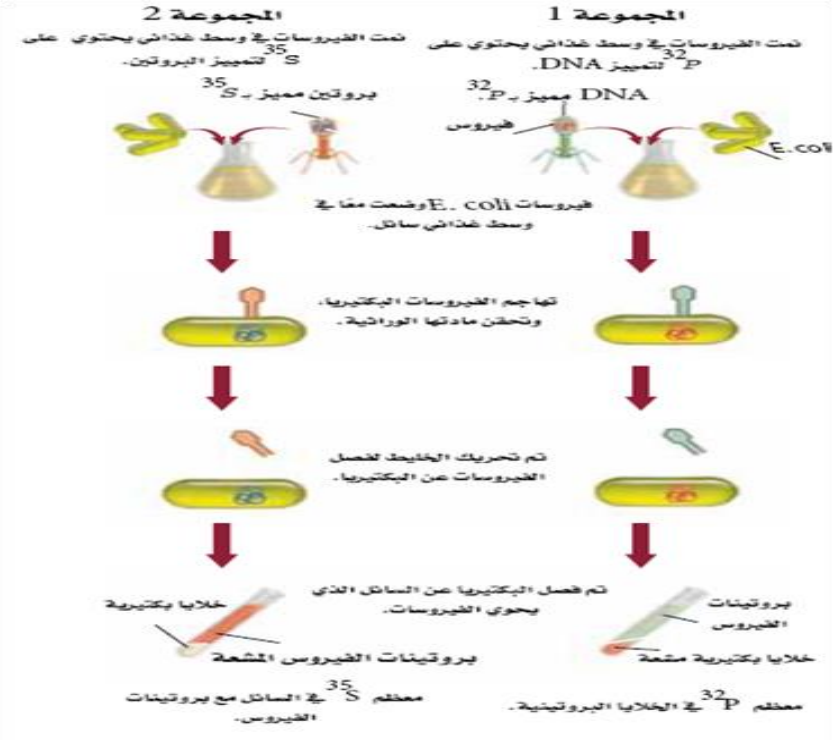



ماتت بعض الفئران رغم أنها لم تحقن بخلايا مميتة حية كما أن جثثها احتوت على سلالة البكتيريا المميتة .

وقد استنتج جريفث من ذلك أن بعض المادة الوراثية الخاصة بالبكتيريا المميتة قد دخلت بطريقة ما إلى داخل البكتيريا غير المميتة وحولتها إلى بكتيريا مميتة ، وأطلق على هذه الظاهرة ( التحول البكتيري ) .
وكانت الخطوة المنطقية التالية هي عزل المادة المسئولة عن التحول الوراثي في البكتيريا والتعرف عليها كيميائياً والتي كان يعتقد أنها مركب بروتيني إلا أنه لم يثبت أن أياً من البروتينات المعزولة من البكتيريا أدت للتحول الوراثي ، واستمر الحال كذلك حتى عام 1945م عندما تمكن العالم الأمريكي آفري Oswald Afery ( وزميلاه مكارتي وماكلويد ) من عزل مادة نشطة من سلالة البكتيريا المميتة لها القدرة على إحداث التحول البكتيري والتي أثبت التحليل الكيميائي والفيزيائي فيما بعد أنها عبارة عن حمض DNA .
وقد أثير في أول الأمر اعتراضا على أن DNA هو المادة الوراثية على أساس أن الجزء من DNA الذي سبب التحول البكتيري لم يكن على قدر كاف من النقاوة ، والذي كان به كمية من البروتين هي التي سببت التحول، إلا أن التجربة الحاسمة قد أجريت عندما تخلصوا من البروتينات بهضمها بإنزيمات محللة مثل التربسين، وكذلك من RNA بواسطة إنزيم رايبونيوكليز الذي يحطمه ، وحقنوا الفئران بمزيج من DNA المستخلص من خلايا البكتيريا السلالة S مع خلايا حية من السلالة R فماتت الفئران ، وبذلك تأكد لديهم أن إزالة البروتين وRNA لم تأثر في عملية التحول البكتيري ، وهذا يثبت أن المادة التي سببت التحول الوراثي ليست بروتين ولا RNA وإنما هي DNA .

### ثانيا: لاقمات البكتيريا Bacteriophages :

عام 1952م اكتشف آلفريد هيرشي Alfred Hershy ومارثا تشيس Matha Chase أن DNA هو المادة الوراثية لآكل (ملتهم) البكتيريا $T_2$ وهو واحد من عدة العاثيات (الفايروسات) التي تصيب بكتيريا القولون حيث يمسك بها بخيوط الذيل ولوحظ أنه بعد حوالي 20 دقيقة من اتصال الفيروس بالخلية البكتيرية أنها تنفجر ويخرج منها حوالي 100 فيروس جديد مكتمل التكوين ، وعلى ذلك لابد أن المادة التي دخلت إلى البكتيريا تحتوي على جينات الفيروس ، كما أن الغلاف البروتيني لفيروس $T_2$ لا يدخل البكتيريا .
وكان معروفاً أن DNA يدخل في تركيبه الفسفور ولا يحتوي على الكبريت ومعظم البروتينات تحتوي على الكبريت ولا تحتوي على الفسفور ، فقام العالمان بتنمية فيروس $T_2$ على غذاء يحتوي على نظير الفسفور المشع $^{32}P$ كعلامة مميزة لحمض DNA ، والكبريت المشع $^{35}S$ كعلامة مميزة لبروتينات الفيروس ، ثم سمحا للفيروس بمهاجمة الخلية البكتيرية وقاما بالكشف على الفسفور المشع والكبريت المشع داخل وخارج البكتيريا ، وأظهرت النتائج أنه لم يدخل من البروتين الفيروسي إلى الخلية البكتيرية إلا أقل من 3% أما DNA الفيروسي فقد دخل كله تقريباً لداخل الخلية البكتيرية ودفعها لبناء فيروسات جديدة ، وبذلك لم تقدم تجربة هيرشي وتشيس دليلاً واضحاً بأن DNA هو المادة الوراثية لآكل البكتيريا ، لأن كمية قليلة جداً من المادة البروتينية الموسومة بالكبريت المشع تدخل الخلية البكتيرية بصحبة DNA وقد تحمل المعلومات الوراثية .
وبقي الأمر كذلك لمدة عام حتى نشر نموذج واطسون وكريك حيث بدأت مرحلة أخرى من الأبحاث والدراسات.




## ثالثا: كمية DNA في الخلايا :

يسبق الانقسام الميتوزي للخلية تضاعف محتواها من DNA ، وخلال الانقسام يتوزع DNA بالتساوي بين الخليتين الوليدتين ، كما يوجد في المجموعات الزوجية من الكروموسومات ضعف كمية DNA الموجود في العدد النصفي للكروموسومات في أمشاج الكائن الحي نفسه ، ومن جهة أخرى فإن توزيع البروتينات في الخلايا الجسمية يختلف كثيراً من نسيج لآخر وليس من الضروري أن تكون كمية أقل في الخلايا الأمشاج مما ينفي أن البروتين يعمل كمادة وراثية ، كما أن البروتينات وجزيئات RNA يتم هدمهما وإعادة بنائها باستمرار في الخلايا بينما يكون DNA ثابت بشكل واضح.

## رابعا: محتوى DNA من القواعد النيتروجينية :

اكتشف عالم الكيمياء الحيوية إرون شارجاف Erwin Chargaff ومساعدوه في أواخر عام 1940م أن كل أفراد النوع الواحد من الكائنات الحية تحتوي على DNA ذي تركيب كيميائي واحد ولا ينطبق ذلك على البروتين ، كما أن كل مركبات DNA تتكون من نفس النيوكليوتيدات الاربعة التي تحتوي على القواعد النيتروجينية الأربعة ( الأدنين A ، والثايمين T ، والجوانين G والسايتوسين C) وهي لا توجد بنسب متساوية في خلايا أفراد الأنواع المختلفة ، إلا ان DNA المستخلص من أفراد مختلفة من النوع نفسه أو مستخلص من أنسجة مختلفة لنفس الفرد تكون النيوكليوتيدات به لها نفس النسبة، وعلاوة على ذلك فإن DNA الخاص بكل نوع يحتوي على أعداد متساوية من كل من النيوكليوتيدات الأربعة، أي أن نسب T/ A و C/G وتساوي تقريباً الواحد الصحيح، وقد قاد هذا الاكتشاف فيما بعد إلى التعرف على تركيب جزئ حمض DNA.