# 20

# انقسام الخلية

# *Cell division*

**تنشأ جميع الخلايا عبر الانقسام، حيث تنقسم خلايا الكائنات البسيطة مثل البكتيريا عن طريق الانشطار الثنائي بينما تنقسم في الكائنات المعقدة عن طريق النواة وعدد هائل من الكروموسومات، هذا يعني أن الخلايا تنقسم عبر عملية ذات مراحل متعددة تُعرف بالانقسام المتساوي.**

يعتبر تاريخ نظرية الخلية ـ فكرة نشوء الحياة من الخلايا ـ واحدة من أفكار العلماء في القرن التاسع عشر التي سُرقت أو تم تجاهلها من بعضهم البعض. بينما كان يُعترف بالعالمَيْن الألمانيَيْن ماتياس شلايدن Matthias Schleiden وثيودور شوان Theodor Schwann كمكتشفين إلا أن الكثير يدعي هذا اللقب. على سبيل المثال، استنتج الباحث البولندي روبرت ريماك Robert Remak انقسام الخلايا الحيوانية ودحض اعتقاد شلايدن وشوان بأن انقسام الخلايا يحدث عفويًّا من البلورات.

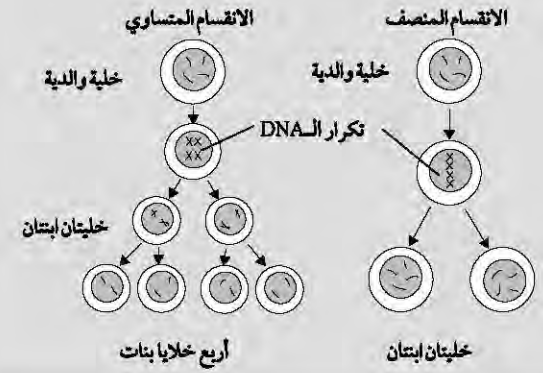
**الخط الزمني**

| 1839-38م | 1848م | 1878م |
|---|---|---|
| وضع شلايدن وشوان نظرية الخلية التي تذهب إلى أن الحياة تنبعث من البلورات. | وصف هوفميستر Hofmeister أطوار الانقسام المتساوي وتكسُّر النواة. | وصف فلمنج الكروموسومات وتضاعفها عن طريق الانقسام المتساوي. |

قبل اختراع التصوير الفوتوغرافي، اعتاد علماء الأحياء أن يكونوا رسامين مهرة. وقد أصبحت دراسة انقسام الخلية تحت المجهر أسهل بعد اكتشاف عالم الأحياء الألماني والتر فلمنج للصبغات كاللون النيلي «الأزرق» الذي يصبغ البنية داخل نواة خلايا حيوان السلمندر، وفي عام 1878 سمى تلك البِنى بالكروماتين التي نسميها الآن بالكروموسومات (كلمة لاتينية تعني الأجسام الملونة). مرت عقود قبل أن تسمح المجاهر لعلماء الأحياء برؤية الانقسام أثناء حدوثه، لذلك اعتاد فلمنج أن يرسم الكروموسومات في مراحل

## الانقسام المتساوي والانقسام المنصف

يتكون الانقسام المتساوي من جولة واحدة من انقسام الخلية في حين يتكون الانقسام المنصف من جولتين. أثناء الانقسام المتساوي تتحاذى كل الكروموسومات في صف واحد، باعتبارها كروماتيدات شقيقة، قبل أن تنقسم إلى خلايا ابنة مع زوجين من الكروموسومات (مضاعفة). أما في الانقسام المنصف الأول فتتحاذى كل خلية والدية من الزوجين المتماثلين جنبًا إلى جنب ويحدث تبادل في المادة الوراثية من خلال عملية التأشيب قبل أن ينفصلا، ثم تنفصل الكروماتيدات في الانقسام المنصف الثاني تاركة مجموعة واحدة (فرَدانية) في خلايا الحيوانات المنوية والبويضات.




**1883م**

قال فان بينديـن Van Beneden إن البويضة المخصبة ترث كروموسومات من كلا الأبوين.

**1902م**

لاحظ سوتون Sutton أن زوج الكروموسوم يتوزع بشكل عشوائي بين الخلايا.

**1991م**

اكتشف بي Bi ولوتكينهاوس Lutkenhaus الشكل الحلقي زد Z الذي يقسم البكتيريا عن طريق الانشطار الثنائي.

مختلفة ويعين متتالية الأحداث، ملاحظًا أن النواة لا تخضع لانشطار ثنائي، وفي عام 1880، سماه «التكاثر النووي غير المباشر».

في عام 1882، جُمعت تفسيرات فلمنج التي ـ لا تزال دقيقة ـ في كتابه «مادة الخلية»، النواة وانقسام الخلية. فقد دوّن أن الكروموسومات إما أنها مبعثرات غائمة أو تبدو كالخيوط، أو «خلايا لم تنقسم بعد»، ويُعرف هذان الطوران الآن بأنهما طوران في دورة انقسام الخلية؛ الطور البيني عندما تنمو الخلية الأم والطور المتساوي عندما تنقسم كروموسوماتها بين خليتين ابنتين. لاحقًا حدد العلماء خمسة أوجه واضحة تحدث أثناء الانقسام المتساوي.

## الانقسام المتساوي

بعد تكرار الـDNA في نهاية الطور البيني، تبدأ المرحلة الأولى للانقسام المتساوي (الطور الأول في الانقسام الخلوي)، حيث تتكثف غمامات المادة الوراثية لتكوّن كروموسومات واضحة تشبه زوجي جوارب مخططين وتُعرف بـ(الكروماتيدات الشقيقة sister chromatids) المتصلة من المنتصف المكونة لبنيات سينية الشكل (X). ويتم تحفيز التفاعل المكثف عن طريق البروتينات المرتبطة بالـDNA، مثل كوندينسن condensin (مركبات البروتين الكبيرة) الذي يكوّن لفات حول الكروموسومات حتى يصبح محكمًا لآلاف المرات.

قبل المرحلة الثانية ـ طليعة الطور التالي ـ تقسم بنية الجسيم المركزي Centrosome وتهاجر لأقطاب الخلية المقابلة، وينمو مقطع من الأنيبيبات الدقيقة (المغزل) microtubules بين أجزائها. كما اتضح في عام 1848 عندما قام عالم النبات فيلهلم هوفميستر Wilhelm Hofmeister بإدخال الغلاف النووي عنوة في فقاعات تشبه الحويصلات أو «الكتل»، فسمح للكروموسومات أن ترتبط بالمغزل. وفي عام 1888، رأى ثيودور بوفيري أن الكروموسومات تتحاذى في صف واحد بطول المغزل. وعند منتصف تلك المرحلة - الطور الوسيط - توجد وقفة قصيرة، كما لو أن الخلية تتنفس الصعداء قبل أن تعزم على اتخاذ قرار الانقسام.

أثناء طور الصعود في الانقسام المتساوي، تُسحب الكروماتيدات الشقيقة الموجودة في كل كروموسوم في اتجاه الأقطاب المقابلة عبر المغزل عن طريق الجذب كلعبة شد الحبل. حاليًا تهضم الإنزيمات الجزيء الذي يحافظ على تلك الكروماتيدات الشقيقة مندمجة معًا. وعند المرحلة الأخيرة من الانقسام المتساوي ـ الطور النهائي ـ تصل الكروماتيدات الشقيقة الأقطاب وينهار المغزل ويُعاد تركيب الحويصلات في الغلاف النووي حول مجموعتين من الكروماتيدات الشقيقة التي تخفف وتفكك خطوط زوجي الكروموسومات. ثم تنقسم الخلية بعد ذلك إلى اثنين عن طريق عملية نهائية تسمى انقسام السيتوبلازم cytokinesis.

## الانقسام المنصّف

يجمع التكاثر الجنسي عادة مجموعة من الكروموسومات من كلا الأبوين. كان عالم الحيوان البلجيكي إدوارد فان بيندين Edouard van Beneden أول من اعتقد ما يعنيه هذا بالنسبة لانقسام الخلية، وفي عام 1883 درس بيندين البويضات المخصبة للدودة الخيطية الأسكارس (الصَّفر الخيلي) Ascaris megalocephala وقال «إن كل نواة طليعية متعادلة لكل نصف نواة مقدمة، وكل مدين لأصله بخاصية أحادية الجنس». تلك التي نسميها الآن خلايا بمجموعتين من الكروموسومات «الخلايا المضاعفة»، في حين تعتبر الأمشاج gamettes - الحيوان المنوي أو البويضة ـ خلايا «فردانية» بمجموعة واحدة من الكروموسومات. لذلك يتطلب إنتاج الأمشاج نوعًا معينًا من الانقسام. في عام 1902، اعتقد العالم الأمريكي والتر سوتون Walter Sutton أن الأمشاج تحمل نصف العدد العادي من الكروموسومات. حيث استنتج سوتون بعد دراسة الحيوان المنوي للجراد أنه يخضع «للانقسام الاختزالي». وفي عام 1905، أعاد عالما الأحياء البريطانيان جون فارمر John Farmer وجون مور John Moore تسمية تلك العملية بالانقسام المنصِّف meiosis أو الانقسام الاختزالي maiosis.

**«لا يوجد طور تتعدد فيه الخلية متضمنًا انقسام الخلية مع تكاثر نووي غير مباشر قام أحد بعرضه حتى الآن».**

والتر فلمنج Walther Flemming

يختلف الانقسام المنصف عن الانقسام المتساوي في وجهين رئيسين وهما: يتضمن الانقسام المنصف انقسامين دائريين للخلية وتنفصل الكروموسومات بصورة مختلفة أما الانقسام المتساوي فينتج خليتين مضاعفتين بينما يصنع الانقسام المنصف أربع خلايا فردانية من الأمشاج. أثناء الطور الأول - الانقسام المنصف I - يتحاذى زوجان من الكروموسومات الأبوية والأمومية جنبًا إلى جنب ثم ينفصلان، عوضًا عن الصف الأحادي مع انفصال الكروماتيدات الشقيقة في الانقسام المتساوي. ويحدث هذا الانفصال في الانقسام المنصف II. طرح سوتون استنادًا على الزوجين المتحاذيين جنبًا إلى جنب في الانقسام المنصف I أن الكروموسومات تحمل الجينات، كما أشار إلى أن الخلايا ليس لها جانب أمومي وجانب أبوي، حيث يتزاوج كل كروموسوم بشكل عشوائي، لذلك يمكن أن يورث في

## اختلال الصيغة الصبغية

عندما يحدث خطأ في الانقسام، يؤول الحال بالخلايا إلى عدد غير طبيعي من الكروموسومات. تُعرف هذه الحالة باختلال الصيغة الصبغية. في كثير من الأنواع، تكون خلايا الجسم مضاعفة بزوجين من الكروموسومات (مجموعة واحدة تورث من كلا الأبوين) لكن تؤدي الأخطاء في انقسام الخلية إلى فقد أو اكتساب كروموسومات. وربما يحدث ذلك الخطأ بسبب عدم ارتباط الكروموسوم بالمغزل، فلا يسحب إلى الاتجاه المقابل للخلية ثم يختفي عمليًا عن طريق الخروج من النواة حيث لا تقرأ جيناتها. بالتعاقب، ربما لا ينفصل زوجا الكروماتيدات الشقيقة أثناء الانقسام المنصف. وتعرف هذه الظاهرة بـ«عدم الانفصال». ويمكن أن يترك عدم الانفصال الخلايا الجنسية سواء الحيوان المنوي أو البويضة دون نسخ لكروموسوم محدد ومن ثم، يصبح للجنين بعد التخصيب نسخة أحادية من أحد الأبوين ويسمى هذا الظرف باسم «آحاد الصبغة». ويمكن للخلايا الجنسية أيضًا أن تحمل نسختين بمعنى أن الجنين يرث ثلاث نسخ أو ما يُعرف بـ«ثلث صبغي». حيث تحدث متلازمة داون في الإنسان بسبب الثلث الصبغي للكروموسوم 21، بينما يتسبب وجود الكروموسوم الأحادي x في إصابة السيدات بمتلازمة تيرنر Turner. في اختلال الصيغة الصبغية، ينتج عدم التوازن في عدد الجينات جرعة بروتينات خاطئة تعرقل الكيمياء الحيوية للخلايا.

مجموعات مصفوفة. يوجد للأزواج الثلاثة $2^3$ (8) احتمالات ممكنة في الطور الوسيط. مستبعدًا كروموسومات الجنس بالنسبة للإنسان فهي $2^{22}$ أو أكثر من أربعة ملايين توليفة.

## الانشطار الثنائي

يحدث دون الاهتمام بوجود نواة أو عدة كروموسومات، فتنقسم الخلية بشكل أبسط وأسرع. حيث تنمو الخلية لتضاعف حجمها ثم تنقسم إلى خليتين. وبمجرد أن تصل الخلية في البكتيريا قضيبية الشكل وأغلب الكائنات بدائية النواة إلى ضعف طولها تنقسم عن طريق الانشطار الثنائي. تحتوي البكتيريا على كروموسوم أحادي دائري يتصل بالغشاء الخارجي عند نصف الخلية تقريبًا. يبدأ التكرار من «منبت» كل جديلة من الحلزون المزدوج في كلا الاتجاهين، منتجًا لولبي الـDNA. في عام 1991، أثبت عالِما الأحياء الدقيقة إيرفي بي Erfei Bi وجوزيف لوتكينهاوس Joseph Lutkenhaus أن الجزيء المسمى FtsZ يخلق بنية حلقية على شكل حرف زد Z مثل الخيوط التي تحيط بحقيبة أو محفظة وتفصل الخلايا بنفس الطريقة في حقيقيات النوى إلى انقسام السيتوبلازم.

## الفكرة الرئيسة

## تكرار الكروموسوم يعقّد انقسام الخلية