الوحدة 2

دورة الخلية وتصنيع البروتينات

Cell Cycle and Proteins Synthesis

قال تعالى:

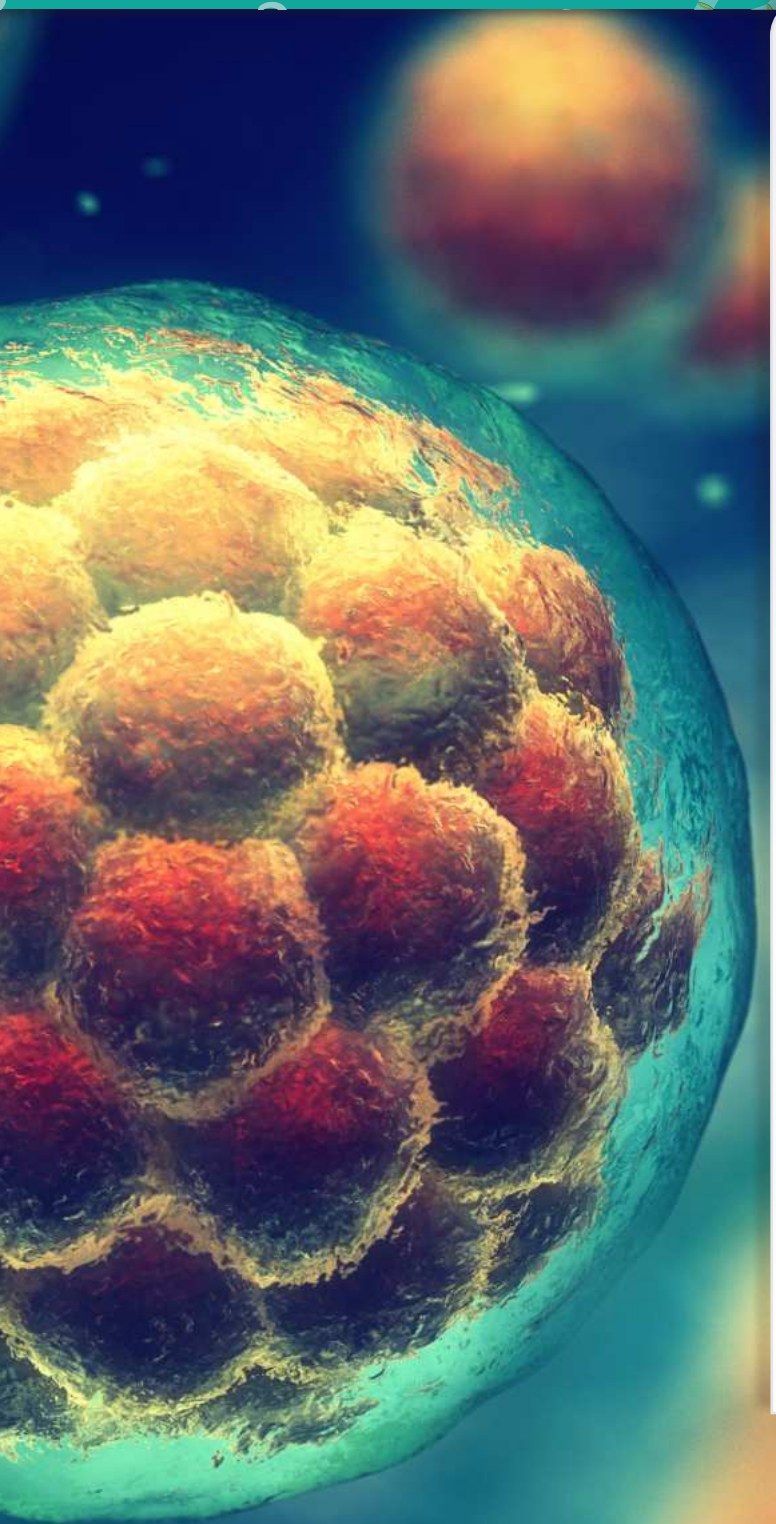
﴿إِنَّا خَلَقْنَا ٱلْإِنسَٰنَ مِن نُّطْفَةٍ أَمْشَاجٍ نَّبْتَلِيهِ فَجَعَلْنَٰهُ سَمِيعًۢا بَصِيرًا﴾

(سورة الإنسان، الآية 2).



أتأمَّل الصورة

يؤدّي الانقسام الخلوي دورًا في نمو الكائنات الحيَّة وتكاثرها، وتُمثِّل الصورة في الأعلى نمذجة لخلايا ناتجة من انقسام خلوي. فما المراحل التي تمرُّ بها الخلية قبل انقسامها؟ ما الذي يضبط هذه المراحل؟ كيف تُصنِّع الخلايا البروتينات التي تحتاج إليها؟



الفكرة العامة:

تمرُّ الخليـة في أثنـاء حياتها بدورة تشمل مراحـل عِدَّة، وتعمل على تصنيع البروتينـات اللازمـة لأداء أنشطتها الحيوية، وتنظيم هذه الدورة.

الدرس الأوَّل: دورة الخلية.

الفكرة الرئيسة: تتـألَّف دورة الخلية من مراحـل وأطوار تُسهِم في تنظيمها إشارات خلوية عديدة. وتكون جميع الخلايا الحيَّة دائمًا في مرحلة ما من دورة الخلية.

الدرس الثاني: الانقسام الخلوي وأهميته.

الفكرة الرئيسة: للانقسام الخلوي أنواع عِدَّة، لكلٍّ منها أهميته في استمرار الحياة، وبقاء الأنواع الحيَّة المختلفة على سطح الأرض.

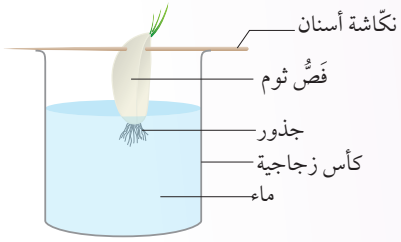
الدرس الثالث: تضاعف DNA والتعبير الجيني.

الفكرة الرئيسة: يمتاز جزيء DNA بقدرته على التضاعف، وتُعَدُّ المعـلومـات التي يحملها الأسـاس في عمـليـات تصنيع الخلية للبروتينات. تحدث عملية التعبير الجيني في الخليـة، وهي تختلف بين الخـلايـا تبعًا لاختـلاف الأنشطة والوظائف التي تقوم بها كلٌّ منها.

الانقسام المتساوي في خلايا القمم النامية لجذور الثوم

تُسهِم دراسة الانقسام الخلوي إسهامًا كبيرًا في فهم كثير من العمليات الحيوية. وتُعَدُّ دراسة انقسام خلايا القمم النامية لجذور النباتات إحدى أسهل الطرائق لدراسة الانقسام الخلوي.

المواد والأدوات: كأس زجاجية صغيرة فيها ماء، نكّاشة أسنان، شرائح زجاجية وأغطيتها، صبغة خلايا نباتية مثل السفرانين، مجهر ضوئي، مشرط، فصوص ثوم (يُمكِن استخدام البصل)، ملقط، حمض الهيدروكلوريك (1M)، محلول من حمض الخليك والإيثانول (نسبة حمض الخليك إلى الإيثانول 1 إلى 3)، قفّازات، ورق تنشيف، قلم رصاص، ماء، طبق بتري زجاجي.



إرشادات السلامة:

- استعمال المشرط والمواد الكيميائية بحذر.
- غسل اليدين جيدًا بعد انتهاء التجربة.

خطوات العمل:

1. **أُجرِّب:** أُثبِّت فَصَّ الثوم على فُوَّهة الكأس باستخدام نكّاشة الأسنان، مع مراعاة غَمْر الجذور فقط في الماء كما في الشكل المجاور؛ تجنُّبًا لتعفُّن فَصِّ الثوم.
2. **أُلاحِظ** نمو الجذور بعد (3-4) أيام.
3. **أُجرِّب:** أقطع cm (1-3) من نهايات القمم النامية للجذور، ثم أضعها في كأس تحوي محلول حمض الخليك والإيثانول مدَّة min (10). بعد ذلك أُسخِّن محلول حمض الهيدروكلوريك في حمّام مائي حتى تصبح درجة حرارته $60\ ^0C$.
4. **أُجرِّب:** أغسل الجذور بالماء البارد مدَّةً تتراوح بين min (4-5)، ثم أُنشِّفها جيدًا بورق التنشيف. بعد ذلك أنقلها إلى الكأس التي تحوي محلول حمض الهيدروكلوريك الساخن، وأتركها فيه مدَّة min (5).
5. **أُجرِّب:** أنقل الجذور إلى طبق بتري باستخدام الملقط، وأغسلها بالماء البارد، ثم أُنشِّفها جيدًا بورق التنشيف، ثم أضعها على شريحة زجاجية نظيفة. بعد ذلك أَقُصُّ mm (2) من قمم الجذور النامية، ثم أُبقيها على الشريحة، وأتخلَّص من بقية الجذور.
6. أُضيف قطرة من الصبغة إلى القمم النامية على الشريحة، ثم أضع غطاء الشريحة، ثم أسحق العيِّنة بالضغط عليها بلطف فوق غطاء الشريحة باستخدام الطرف العريض لقلم الرصاص.
7. **أُلاحِظ** الخلايا باستخدام المجهر الضوئي بعد تكبيرها X 400، ثم أُدوِّن ملاحظاتي.

التحليل والاستنتاج:

1. **أحسُبُ** النسبة المئوية لكل طور من أطوار الانقسام الخلوي.
2. **أُمثِّل بيانيًّا** أعداد الخلايا في كل طور.
3. **أتواصل:** أُناقِش زملائي/ زميلاتي في النتائج التي توصَّلْتُ إليها، ثم أُقارِنها بنتائجهم.

الدرس 1

دورة الخلية
Cell Cycle

الفكرة الرئيسة:

تتألَّف دورة الخلية من مراحل وأطوار تُسهِم في تنظيمها إشارات خلوية عديدة. وتكون جميع الخلايا الحيَّة دائمًا في مرحلة ما من دورة الخلية.

نتاجات التعلُّم:

- أَصِف مراحل دورة الخلية.
- أُوضِّح آليَّة تنظيم مراحل دورة الخلية وأطوارها.

المفاهيم والمصطلحات:

دورة الخلية	Cell Cycle
الطور الصفري	G_0 Phase
الإشارات الخلوية	Cellular Signals
إشارات التقدُّم	Go-ahead Signals
إشارات التوقُّف	Stop Signals
إشارات الموت المُبرمَج للخلية	Apoptosis Signals
نقطة المراقبة	Checkpoint
السايكلينات	Cyclins
إنزيمات الفسفرة المُعتمِدة على السايكلين	Cyclin-Dependent Kinases (Cdks)

ما دورة الخلية؟ What is Cell Cycle?

لكل كائن حيٍّ على سطح الأرض دورة حياة، وكذلك الخلايا المُكوِّنة لهذه الكائنات؛ إذ إنَّ لكل خلية دورة حياة تمرُّ بها، وتبدأ منذ تكوُّن الخلية نتيجة انقسام خلية ما، وتنتهي عند انقسامها هي نفسها مُكوِّنةً خليتين جديدتين، وتُسمّى هذه الدورة **دورة الخلية Cell Cycle**.

تختلف الخلايا في ما بينها من حيث مدَّة الدورة لكلٍّ منها، ويعتمد ذلك على عوامل مختلفة، منها: نوع الخلية، والظروف التي تحيط بها. فمثلًا: تنقسم خلية قِمَّة نامية في جذر بصل كل 20 ساعة تقريبًا، أنظر الشكل (1)، في حين تنقسم خلية طلائية في الأمعاء الدقيقة لإنسان كل (10-12) ساعة.

تمرُّ دورة الخلية بمرحلتين رئيستين، هما: المرحلة البينية، ومرحلة الانقسام الخلوي، وتحوي كل مرحلة منهما أطوارًا عِدَّةً.

✓ **أتحقَّق:** أُعرِّف دورة الخلية.

الشكل (1): بعض مراحل دورة الخلية في خلايا قِمَّة نامية لجذر بصل.

مراحل دورة الخلية Cell Cycle Phases

تمرُّ دورة الخلية في الكائنات حقيقية النوى بمرحلتين رئيستين، هما: المرحلة البينية التي تتكوَّن من طور النمو الأوَّل (G_1)، وطور التضاعف (S)، وطور النمو الثاني (G_2)، ومرحلة الانقسام الخلوي (M) التي تتكوَّن من أطوار عِدَّة، لكلٍّ منها سماته التي تُميِّزه عن غيره من الأطوار.

✓ **أتحقَّق:** ما المراحل الرئيسة التي تمرُّ بها خلية جلد إنسان في دورة الخلية؟

المرحلة البينية Interphase

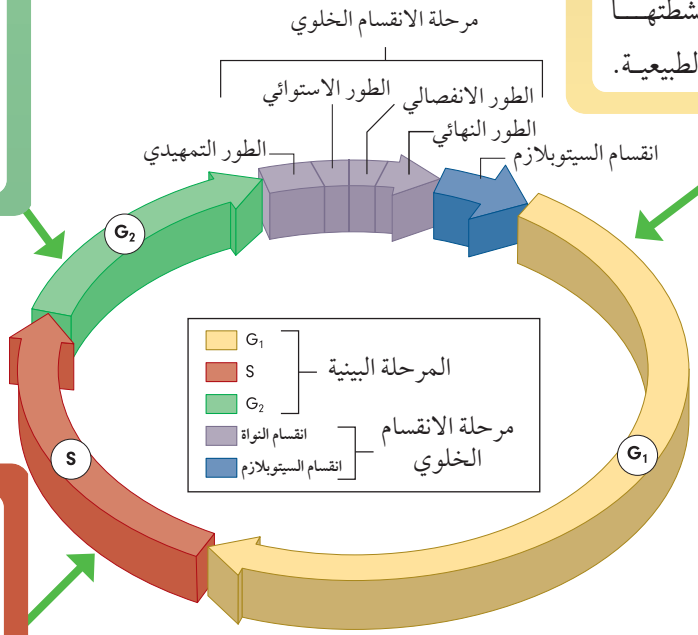
تتكوَّن المرحلة البينية من أطوار عِدَّة، أنظر الشكل (2)، وتُمثِّل غالبًا ما نسبته 90% من دورة الخلية؛ إذ تنمو في أثنائها الخلية، وتتضاعف مادة الوراثة (DNA) تمهيدًا للانقسام الخلوي.

G_1

طور النمو الأوَّل G_1 Phase: يُعَدُّ هذا الطور أوَّل أطوار دورة الخلية، وفيه تنمو الخلية، ويزداد كلٌّ من حجمها، وعدد العُضَيّات فيها، فضلًا عن أداء الخلية أنشطتها ووظائفها الخلوية الطبيعية.

G_2

طور النمو الثاني G_2 Phase: يستمر نمو الخلية في هذا الطور، فيزداد حجمها، فضلًا عن أدائها أنشطتها ووظائفها الخلوية الطبيعية، إلى جانب استعدادها للانقسام؛ إذ تبدأ بإنتاج البروتينات التي تُصنَّع منها الخيوط المغزلية (الأُنَيْبيبات الدقيقة).

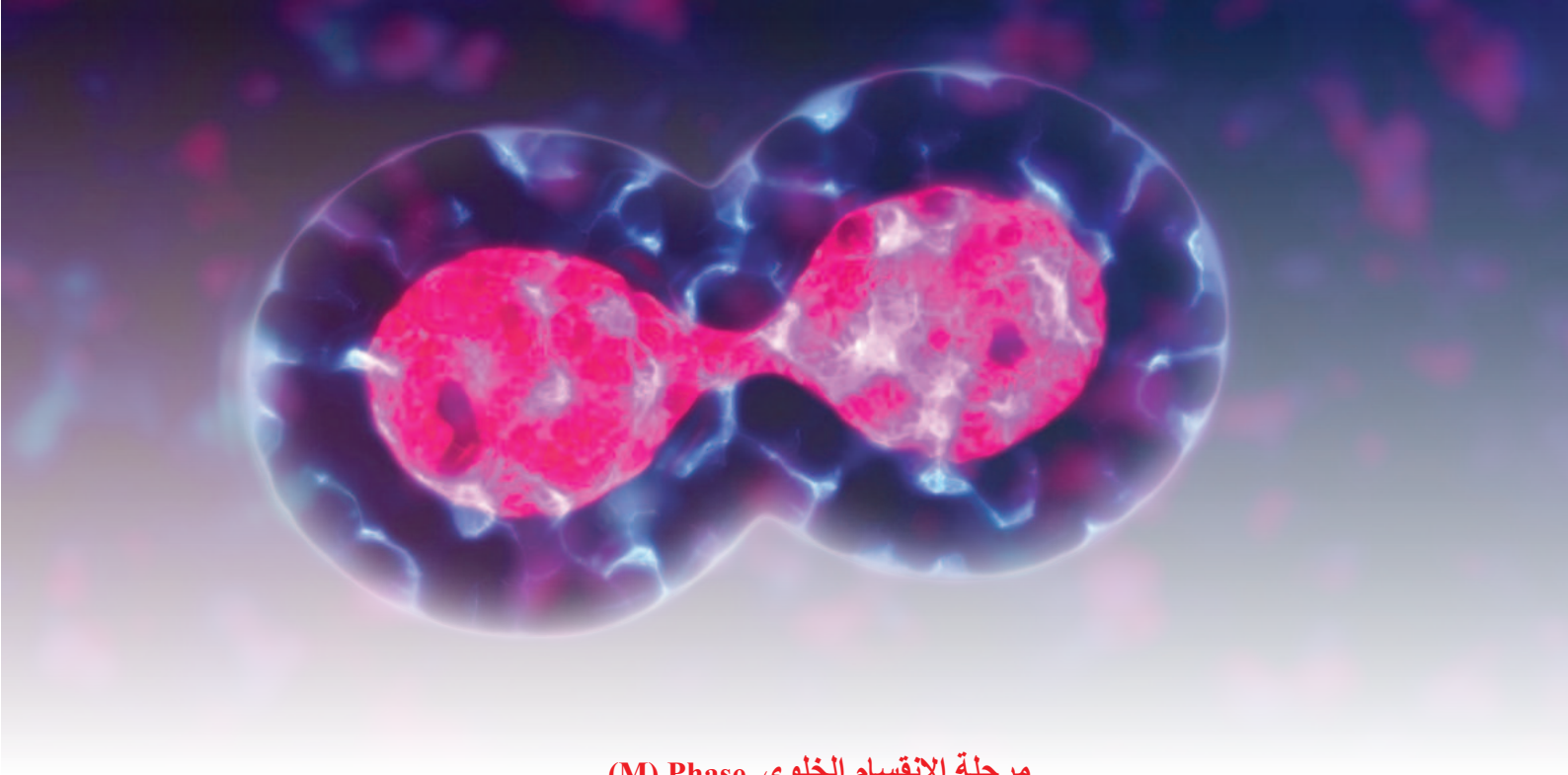


الشكل (2): مراحل دورة الخلية بما فيها المرحلة البينية.

أتتبَّع أطوار المرحلة البينية، وأوضّح ما يحدث في كلٍّ منها.

S

طور التضاعف S Phase (Synthesis): في هذا الطور يتضاعف (DNA)؛ ما يجعل في نواة الخلية – في نهاية الطور– مِثْلَي كمِّية المادة الوراثية.



الشكل (3): انقسام السيتوبلازم بعد انقسام النواة.

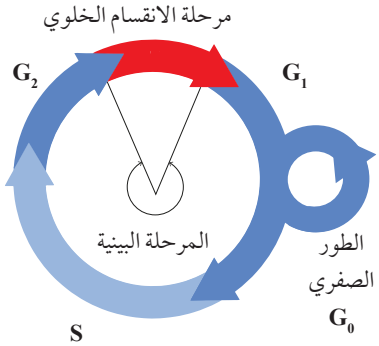
مرحلة الانقسام الخلوي (M) Phase

تبدأ هذه المرحلة بعد طـور النمو الثـاني؛ ويحدث فيها انقسـام النواة أيِ انقسـام نواة الخلية إلى نواتين مُتماثِلتين، وهو ما يحدث على نحوٍ مُشابِهٍ في جميع الخلايا حقيقية النوى. يلي ذلك انقسام السيتوبلازم، أنظر الشكل (3)، ويختلف هذا الانقسام في الخلايا النباتية عنه في الخلايا الحيوانية.

✓ **أتحقَّق:** متى تبـدأ مرحلة الانقسام الخلوي؟

الطور الصفري G_0

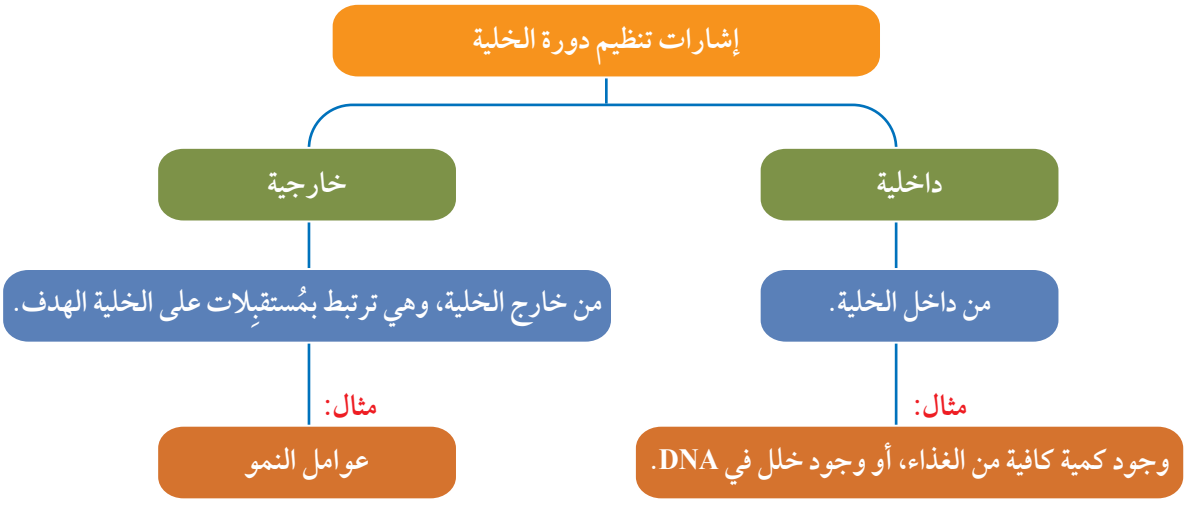
تختلف الخلايا بعضها عن بعض من حيث النشاط في الانقسام؛ فمنها ما يكون نشيطًا، ويُكمِل دورة الخلية كاملة، مثل الخلايا الطلائية المُبطِّنة للقناة الهضمية، ومنها ما يدخل في طور سكون يُسمّى **الطور الصفري** G_0. تخرج الخلية من طور G_1 إلى هذا الطور في حال غياب الإشارات الخلوية (سأدرسها لاحقًا) التي تُحفِّز الخلية على الاستمرار في الدورة. ومن الأمثلة على الخلايا التي تدخل طور G_0: الخلايا العضلية، والخلايا العصبية، أنظر الشكل (4).



الشكل (4): خروج الخلية من دورة الخلية، ودخولها الطور الصفري.

تقوم الخلية في الطـور الصفري بجميع وظائفها وأنشطتها باستثناء الأنشطة التي تُهيِّئها للانقسام، علمًا بأنَّ بعض الخلايا لا تغادر هذا الطور بعد دخولها فيه، خلافًا لخلايا أُخرى تتمكَّن من العودة إلى طور G_1، وإكمال دورة الخلية عند تحفيزها بالإشارات الخلوية المُناسِبة، ومن الأمثلة على هذه الخلايا خلايا الكبد.

✓ **أتحقَّق:** أذكر أمثلة على بعض الخلايا التي تدخل الطور الصفري.



الشكل (5): إشارات تنظيم دورة الخلية.

تنظيم دورة الخلية Regulation of Cell Cycle

تعمل مجموعة من المواد الكيميائية على تنظيم دورة الخلية، ويُطلَق على هذه المواد التي معظمها بروتينات اسم **الإشارات الخلوية Cellular Signals**، وهي تُصنَّف بحسب مصدرها إلى إشارات داخلية، وإشارات خارجية، أنظر الشكل (5).

تُصنَّف هذه الإشارات بحسب آليَّة عملها إلى ثلاثة أنواع، هي: **إشارات التقدُّم Go-ahead Signals** التي تُحفِّز انتقال الخلية إلى المرحلة اللاحقة أو الطور اللاحق، و**إشارات التوقُّف Stop Signals** التي تعمل على بقاء الخلية في الطور، وعدم انتقالها إلى الطور الذي يليه، وتُنشطُ **إشارات الموت المُبرمَج للخلية Apoptosis Signals** جينات تُسهِم في إنتاج إنزيمات تُحطِّم مُكوِّنات في الخلية؛ ما يؤدّي إلى موتها.

أُفكِّر: لماذا لا تستجيب بعض الخلايا للإشارات الخارجية؟

✓ **أتحقَّق:** ما أهمية الإشارات الخلوية في دورة الخلية؟

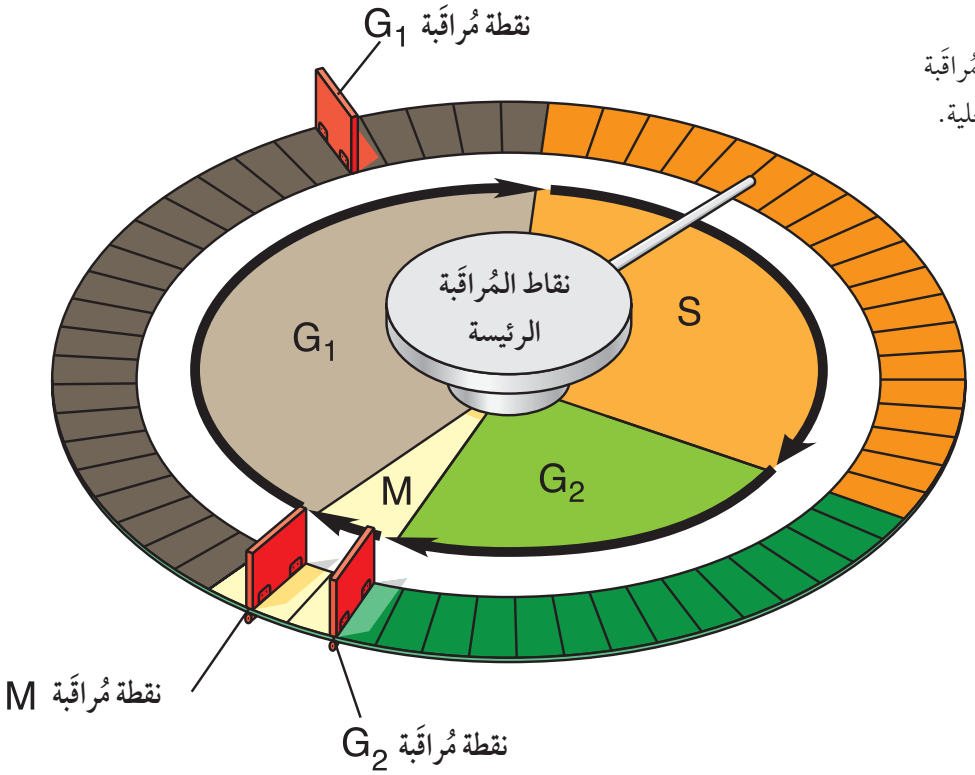
نقاط المُراقَبة Checkpoints

تُنظِّم الإشارات الخلوية دورة الخلية في نقاط مُحدَّدة، تُسمّى كلٌّ منها **نقطة مُراقَبة** **Checkpoint** .

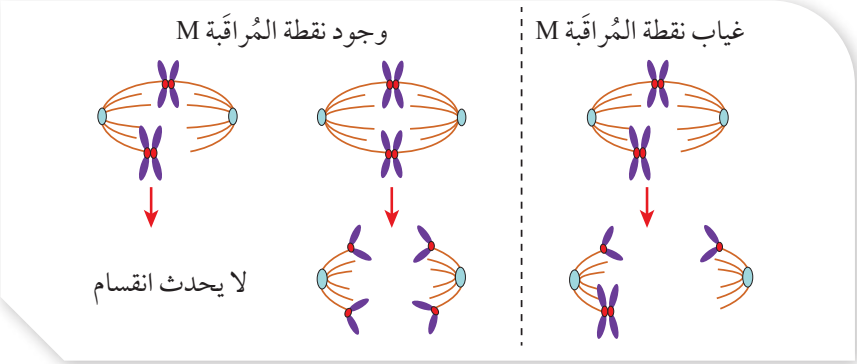
توجد نقاط مُراقَبة عديدة، ولكنَّ نقاط المُراقَبة: G_1، وG_2، و M، هي الرئيسة منها، أنظر الشكل (6).

أُفكِّر: ما الأخطاء التي يُحتمَل ظهورها إذا اختفت نقطة المُراقَبة G_2؟

تُعَدُّ نقطة المُراقَبة G_1 أهم نقاط المُراقَبة؛ ذلك أنَّ الخلية في الطور G_1 تستقبل إشارات خلوية داخلية وخارجية تُحدِّد معًا الوقت المُناسِب لدخول الخلية طور التضـــاعف. وإذا لم تستقبل الخلية في نقطة المُراقَبة هذه إشارة تقدُّم، فقد لا تُكمِل الخلية بقية الأطوار، وتخرج من دورتها إلى الطور الصفري. أمّا نقطة المُراقَبة G_2 ففيها يُتحقَّق من انتهاء تضاعف DNA في طور التضاعف، ومن عدم وجود أخطاء في جزيئي DNA الناتجين من عملية تضاعف DNA. وفي حال وجود خطأ ما، فإنَّ دورة الخلية تتوقَّف عند نقطة المُراقَبة G_2؛ ما يتيح للخلية تصحيح الخطأ، أو يؤدّي إلى موتها المُبرمَج إنْ لم تستطع ذلك. يُسهِم الموت المُبرمَج في منع دخول الخلايا غير الطبيعية مرحلة الانقسام وازدياد أعدادها.



الشكل (6): نقاط المُراقَبة الرئيسة في دورة الخلية.



الشكل (7): الانقسام في حال ارتباط الكروماتيدات بالخيوط المغزلية، وفي حال عدم الارتباط بها.

وأمّا نقطة المُراقَبة M فتعمل ما بين الطور الاستوائي والطور الانفصالي. وفيها يُتحقَّق من ارتباط الكروماتيدات الشقيقة بالخيوط المغزلية على نحوٍ صحيح. وفي حال كانت بعض الكروماتيدات غير مُرتبِطة بالخيوط المغزلية، فإنَّ الخلية تتوقَّف عن عملية الانقسام حتى ترتبط جميع الكروماتيدات بالخيوط المغزلية، أنظر الشكل (7).

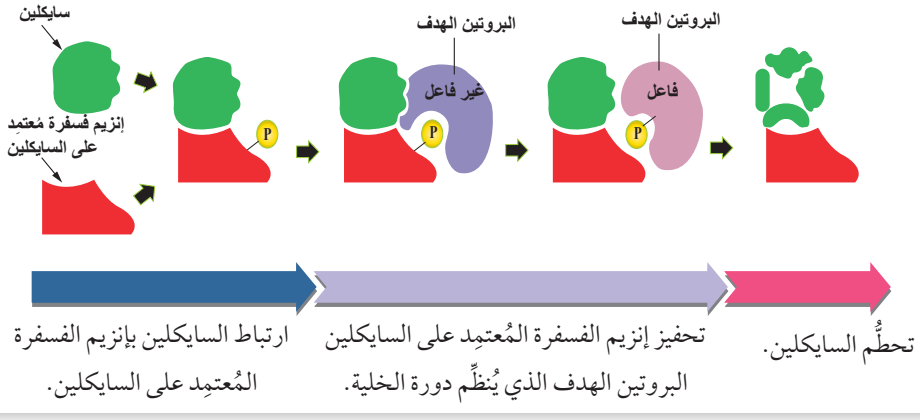
✓ **أتحقَّق:** ما نقاط المُراقَبة الرئيسة في دورة الخلية؟

السايكلينات وإنزيمات الفسفرة المُعتمِدة على السايكلين
Cyclins and Cyclin-Dependent Kinases (Cdks)

السايكلينات Cyclins هي مجموعة من البروتينات، توجد في معظم الخلايا حقيقية النوى، وتُصنَّع في أثناء دورة الخلية، وتُحطَّم خلالها سريعًا. تؤدّي السايكلينات دورًا في تنظيم دورة الخلية؛ بتحفيزها إنزيمات تُسمّى **إنزيمات الفسفرة المُعتمِدة على السايكلينات Cyclin-Dependent Kinases (Cdks)**؛ إذ تعمل هذه الإنزيمات – بعد ارتباطها بالسايكلين– على إضافة مجموعة فوسفات إلى البروتين الهدف في عملية تُسمّى الفسفرة. وقد تؤدّي فسفرة البروتينات إلى تحفيزها أو تثبيطها بحسب حاجة الخلية، أنظر الشكل (8).

✓ **أتحقَّق:** فيمَ يستفاد من ارتباط السايكلين بإنزيم الفسفرة المُعتمِد على السايكلين؟

تتمثَّل أهمية ارتباط السايكلين بإنزيم الفسفرة المُعتمِد على السايكلين في أمرين رئيسين، هما: تحفيز الإنزيم، وإرشاده إلى البروتينات الهدف التي يعمل على فسفرتها.



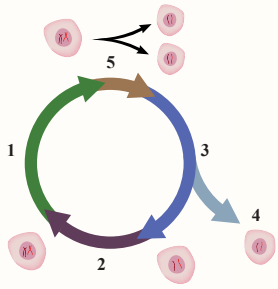
الشكل (8): آليَّة عمل إنزيمات الفسفرة المُعتمِدة على السايكلين.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** ما مراحل دورة الخلية؟ ما أطوار كل مرحلة منها؟

2. **أُفسِّر:** لماذا تختلف الخلايا في ما بينها من حيث المدَّة الزمنية اللازمة لإكمال دورة الخلية؟

3. أدرس الشكل المجاور الذي يُمثِّل دورة الخلية، ثم أُجيب عن الأسئلة الآتية:



أ . أكتب اسم الطور (في المرحلة البينية) الذي يشير إليه كلٌّ من الأرقام الآتية: 1، 2، 3.

ب. ما رقم الطور (4 - 1) الذي لا يحدث فيه استعداد لعملية الانقسام؟

جـ. ما رقم الطور الأطول في المرحلة البينية لدورة الخلية الظاهرة في الشكل؟

4. **أتوقَّع:** كيف يُسهِم غياب نقاط المُراقَبة في ظهور الأورام السرطانية؟

5. **أُقارِن** بين الطور الصفري وطور النمو الثاني كما في الجدول الآتي:

	الطور الصفري	طور النمو الثاني
أداء الخلية أنشطتها الطبيعية:		
الزيادة في كمِّية DNA:		
أداء الخلية الأنشطة التي تُهيِّئها للانقسام:		

6. **لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أُحدِّدها:**

1. توجد نقطة مراقبة G_2 في:

أ . نهاية طور النمو الأول. ب. بداية طور النمو الأول.

جـ. نهاية طور النمو الثاني. د . بداية طور النمو الثاني.

2. تحتاج الخلية الطلائية في الأمعاء الدقيقة للإنسان لكي تنقسم مدّة زمنية تقدر بـــ:

أ . 18-20 ساعة. ب. 7-9 ساعات. جـ. 13-16 ساعة. د . 10-12 ساعة.

3. الإشارات الخلوية التي تقوم بتنشيط جينات في الخلية تسهم في إنتاج إنزيمات تحطم مُكوِّنات الخلية ومن ثم موتها هي:

أ . إشارات الموت المبرمج. ب- إشارات التقدم.

جـ. إشارات التوقف. د- إشارات الثبات.

4. ما يحدث أثناء طور التضاعف (S):

أ . يزداد عدد العُضيّات. ب. يتضاعف (DNA).

جـ. يزداد حجم الخلية. د . تُنتَج البروتينات التي تُصنَع منها الخيوط المغزلية.

5. دخل نسيج يتكون من أربعة خلايا في عملية الانقسام المتساوي، إذا كانت الخلية (أ) تحتوي على نصف المادة الوراثية الموجودة في الخلايا (ب، ج، د)، فإن الطور الذي توجد فيه الخلية (أ) هو:

أ . النمو الأول (G_1). ب. النمو الثاني (G_2). جـ. التمهيدي. د . الاستوائي.

الانقسام الخلوي وأهميته

Cell Division and its Importance

الدرس 2

الفكرة الرئيسة:

للانقسام الخلوي أنواع عِدَّة، لكلٍّ منها أهميته في استمرار الحياة، وبقاء الأنواع الحيَّة المختلفة على سطح الأرض.

نتاجات التعلُّم:

- أُوضِّح أهمية الانقسام الخلوي في حياة الكائنات الحيَّة.
- أَصِف مراحل الانقسام الخلوي في الخلية.
- أُقارِن بين الانقسام المتساوي والانقسام المُنصِّف.
- أُوضِّح دور الانقسام المتساوي والانشطار الثنائي في تكاثر الكائنات الحيَّة لاجنسيًّا.

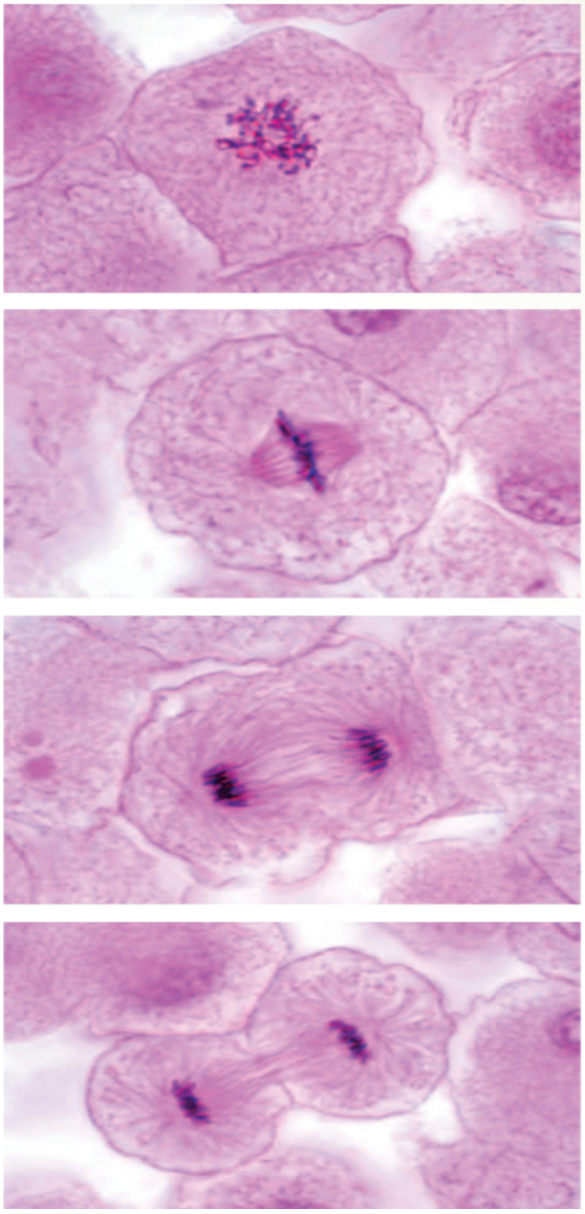
المفاهيم والمصطلحات:

التجدُّد Regeneration

الانقسام المتساوي Mitosis

يحدث انقسام متساوٍ في خلية ما لإنتاج خليتين مُطابِقتين جينيًّا للخلية المُنقسِمة، وتحوي كلٌّ منهما عدد كروموسومات هذه الخلية نفسه.

تمرُّ الخلية في أثناء الانقسام المتساوي بأربعة أطوار رئيسة مُتتابِعة، وهي: الطور التمهيدي، والطور الاستوائي، والطور الانفصالي، والطور النهائي، أنظر الشكل (9)، يليها انقسام السيتوبلازم لإنتاج خليتين مُنفصِلتين.



الشكل (9): أطوار الانقسام المتساوي.

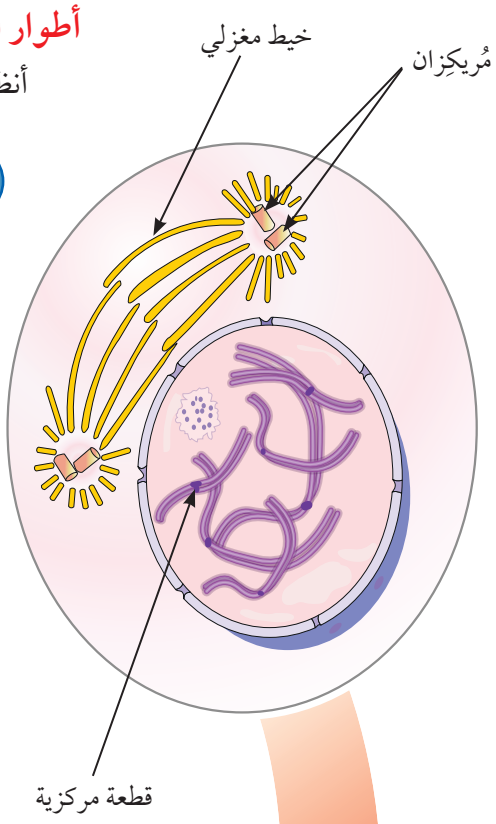
أطوار الانقسام المتساوي Phases of Mitosis

أنظر الشكل (10) الذي يُبيِّن أطوار الانقسام المتساوي، وسمات كل طور.

1 الطور التمهيدي Prophase

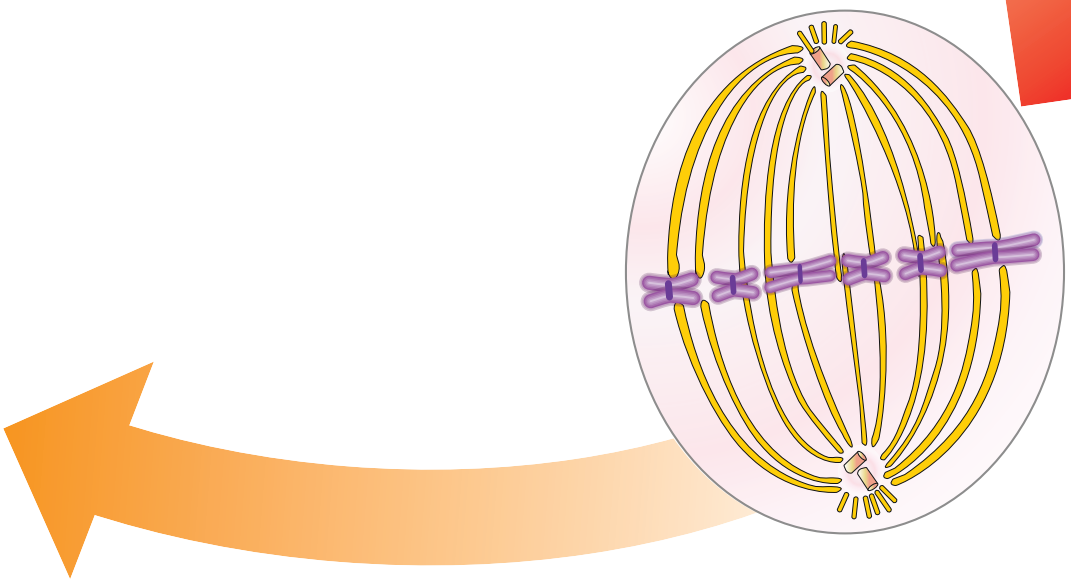
تظهر الكروموسومات قصيرة وسميكة، ويتكوَّن كلٌّ منها من كروماتيدين شقيقين يرتبطان معًا عن طريق قطعة مركزية (سنترومير).

في نهاية هذا الطور يتفكَّك الغلاف النووي، وتختفي النُوَيَّة، ويتحرَّك الجسمان المركزيان Centrosomes (الجسم المركزي تركيب يقتصر وجوده على الخلايا الحيوانية فقط، ويتكوَّن كل جسم مركزي من تركيبين أسطوانيين، يُسمّى كلٌّ منهما مُريكِزًا) نحو قطبي الخلية المُتقابِلين، وتبدأ الخيوط المغزلية بالامتداد من المُريكِزات إلى القطع المركزية في الكروموسومات لترتبط بها.

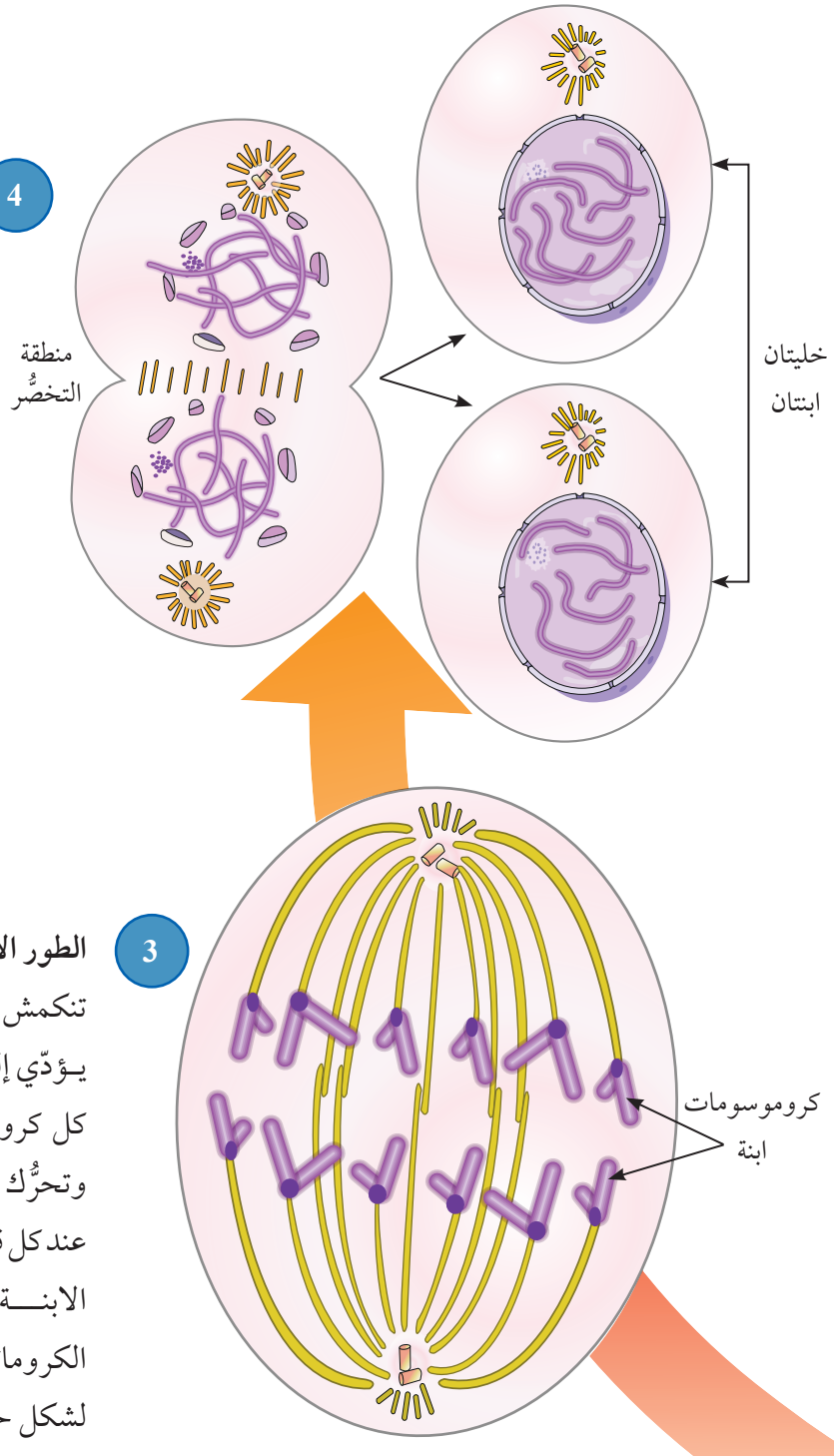


2 الطور الاستوائي Metaphase

ترتبط الخيوط المغزلية بالقطع المركزية قُبَيْل هذا الطور. ويمتاز هذا الطور بترتيب الكروموسومات في وسط الخلية.



الشكل (10): أطوار الانقسام المتساوي، وسمات كل طور.



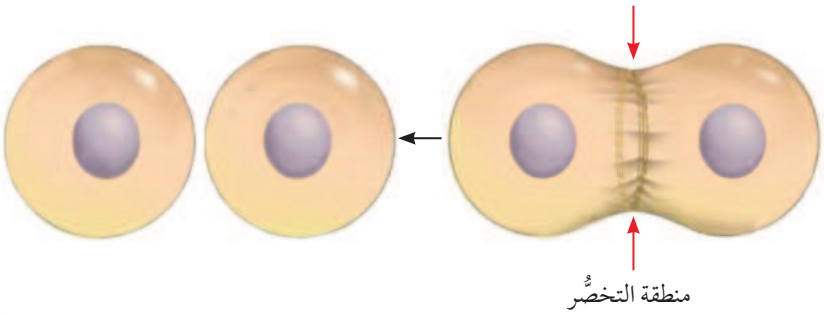
4 الطور النهائي Telophase

تتشكَّل في هذا الطور نواتان ونُوَيَّتان، ويبدأ الغلاف النووي بالظهور، وتصبح الكروموسومات أرفع وأطول تمهيدًا لعودتها على شكل شبكة كروماتينية. وفي نهاية الطور يبدأ انقسام السيتوبلازم بعد وقت قصير من انقسام النواة.

3 الطور الانفصالي Anaphase

تنكمش الخيوط المغزلية في هذا الطور؛ ما يؤدّي إلى سحب الكروماتيدات الشقيقة، وانفصال كل كروماتيدين شقيقين أحدهما عن الآخر، وتحرُّك كلٍّ منهما نحو أحد قطبي الخلية، فيصبح عند كل قطب مجموعة كاملة من الكروموسومات الابنة Daughter Chromosomes. يُذكَر أنَّ الكروماتيدات في هذا الطور يكون شكلها مشابهًا لشكل حرف (V) نتيجة عملية السحب.

أُفكِّر: في أيٍّ أطوار المرحلة البينية تُصنَّع البروتينات التي تدخل في تركيب الخيوط المغزلية؟



الشكل (11): انقسام السيتوبلازم في الخلايا الحيوانية.

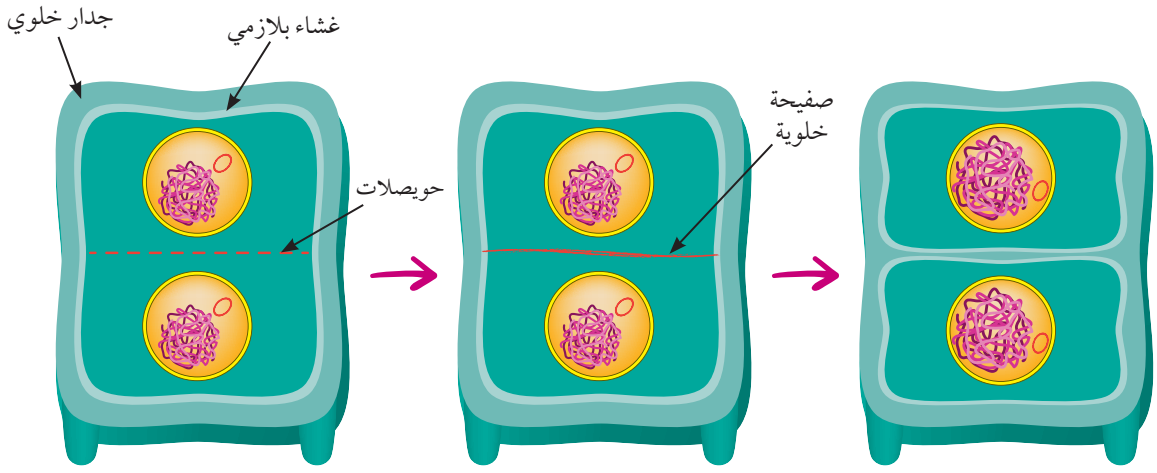
انقسام السيتوبلازم Cytokinesis

يختلف انقسام السيتوبلازم في الخلايا الحيوانية عنه في الخلايا النباتية؛ ففي الخلايا الحيوانية يحدث تخصُّر تدريجي وسط الخلية مُشكِّلًا أُخدودًا.

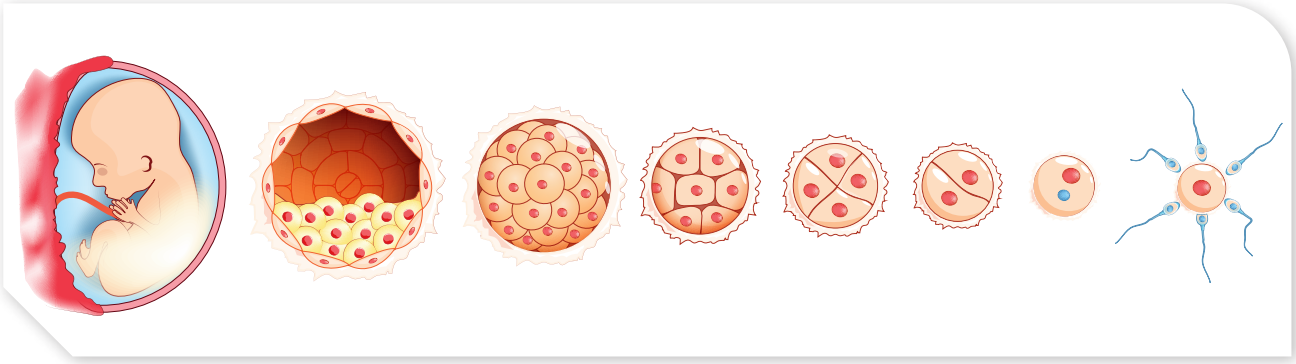
يوجد في الجانب السيتوبلازمي للأُخدود حلقة مُنقبِضة من ألياف بروتين الأكتين الدقيقة وجزيئات بروتين الميوسين التي تعمل معًا على انقباض الحلقة، فيزداد التخصُّر، إلى أنْ ينتج من ذلك خليتان مُنفصِلتان، أنظر الشكل (11).

✓ **أتحقَّق:** كيف ينقسم السيتوبلازم في الخلية الحيوانية؟

أمّا عملية انقسام السيتوبلازم في الخلايا النباتية فتختلف بسبب وجود الجُدُر الخلوية؛ إذ تصطفُّ وسط الخلية حويصلاتٌ من أجسام غولجي، ثم تندمج الحويصلات مُشكِّلةً صفيحة خلوية. بعد ذلك يندمج الغشاء المحيط بالصفيحة الخلوية بالغشاء البلازمي للخلية، ثم ينشأ الجدار الخلوي من مُكوِّنات في الصفيحة الخلوية. وبذلك تنتج خليتان مُنفصِلتان، ومُطابِقتان للخلية الأُمِّ، أنظر الشكل (12).



الشكل (12): انقسام السيتوبلازم في الخلايا النباتية.



الشكل (13): تطوُّر جنين إنسان من بويضة مُخصَّبة بالانقسام المتساوي.

أهمية الانقسام المتساوي The Importance of Mitosis

للانقسام المتساوي أهمية كبيرة؛ فهو ضروري لنمو الكائنات الحيَّة عديدة الخلايا، أنظر الشكل (13) الذي يُبيِّن دور الانقسام المتساوي في تطوُّر جنين من بويضة مُخصَّبة (خلية واحدة) إلى إنسان يتكوَّن جسمه من عدد كبير جدًّا من الخلايا.

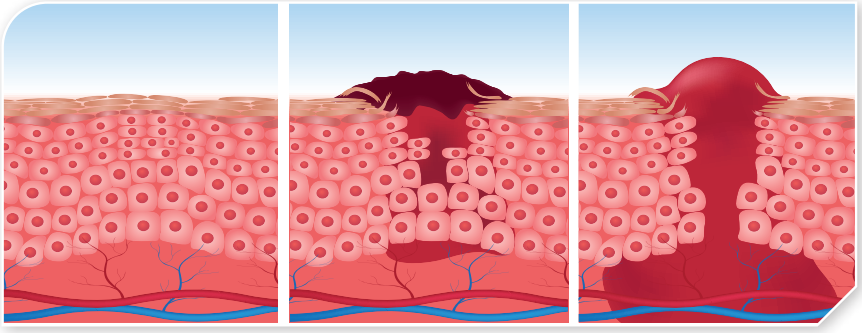
قال تعالى:

﴿وَلَقَدْ خَلَقْنَا ٱلْإِنسَٰنَ مِن سُلَٰلَةٍ مِّن طِينٍ ﴿١٢﴾ ثُمَّ جَعَلْنَٰهُ نُطْفَةً فِى قَرَارٍ مَّكِينٍ ﴿١٣﴾ ثُمَّ خَلَقْنَا ٱلنُّطْفَةَ عَلَقَةً فَخَلَقْنَا ٱلْعَلَقَةَ مُضْغَةً فَخَلَقْنَا ٱلْمُضْغَةَ عِظَٰمًا فَكَسَوْنَا ٱلْعِظَٰمَ لَحْمًا ثُمَّ أَنشَأْنَٰهُ خَلْقًا ءَاخَرَ ۚ فَتَبَارَكَ ٱللَّهُ أَحْسَنُ ٱلْخَٰلِقِينَ ﴿١٤﴾﴾

(سورة المؤمنون، الآيات 12-14)

تتمثَّل أهمية الانقسام المتساوي أيضًا في استبدال الخلايا التالفة، وتعويض الأنسجة التي تعرَّضت لجرح، أو حرق، أو كشط، مثل: الجلد، والأنسجة المُبطِّنة للأمعاء، أنظر الشكل (14).

يُذكَر أنَّ بعض الكائنات الحيَّة عديدة الخلايا (مثل: السحلية، ونجم البحر) لديها قدرة على **التجدُّد Regeneration**؛ أيْ تعويض أجزاءٍ فَقَدَتْها من أجسامها عن طريق الانقسام المتساوي، أنظر الشكل (15).



الشكل (14): تعويض الأنسجة التالفة بالانقسام المتساوي.

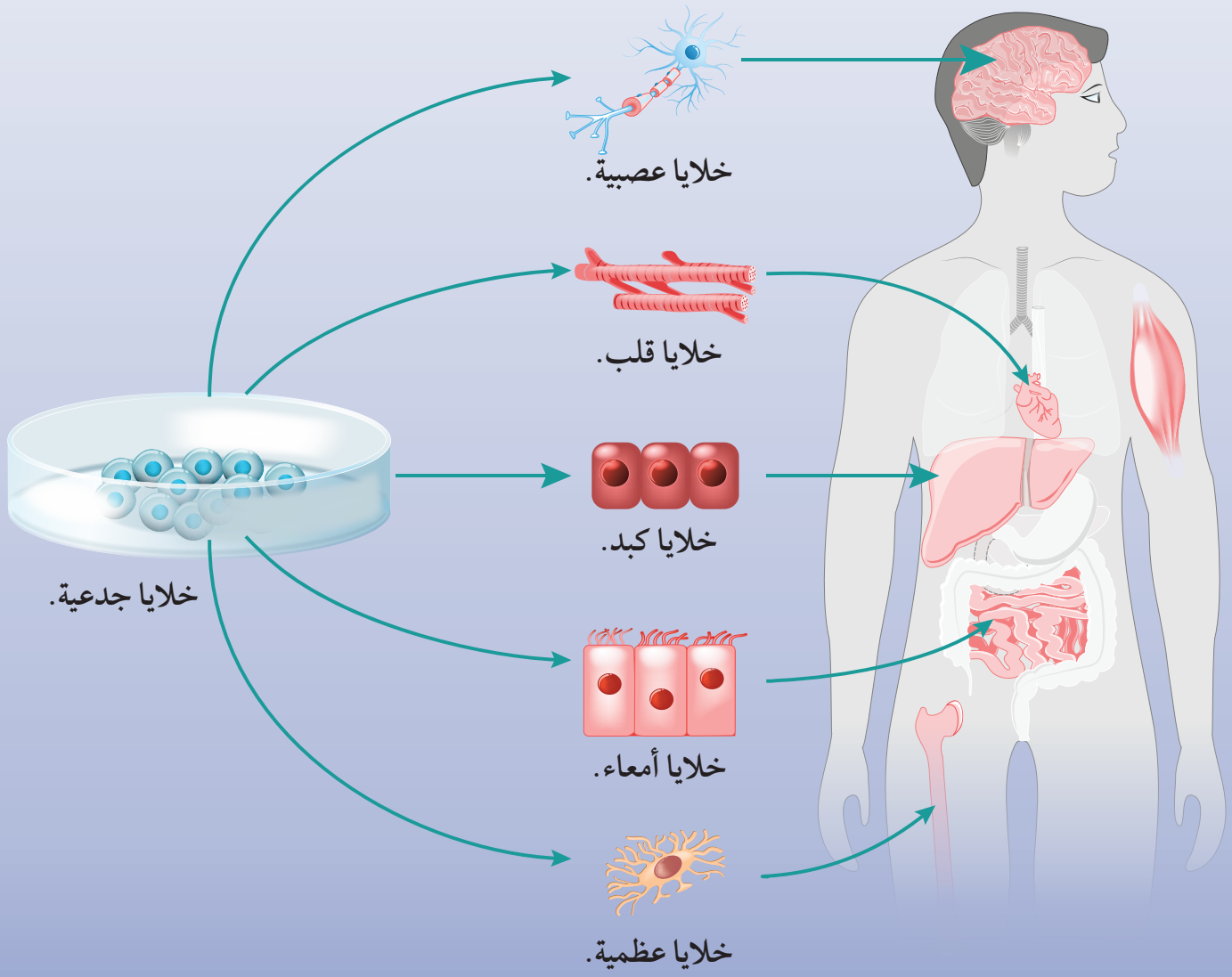
✓ **أتحقَّق:** ما أهمية الانقسام المتساوي في جسمي؟



الشكل (15): سحلية تُجدِّد ذيلًا عِوَضًا عن ذيلها الأصلي المقطوع.

يوجد في المراحل الجنينية للكائن الحيِّ خلايا جذعية غير مُتمايِزة، وقد تنقسم هذه الخلايا لإنتاج خلايا تستمر بوصفها خلايا جذعية، وخلايا أُخرى تتمايز؛ ما يجعلها خلايا مُتخصِّصة، تتكوَّن منها الأنسجة والأعضاء.

يُعَدُّ استخدام الخلايا الجذعية في إنتاج أنسجة جديدة علاجًا واعدًا للأعضاء المُتضرِّرة نتيجة الإصابة بأمراض مُتعدِّدة، مثل بعض أمراض القلب والأعصاب. يوجد في الأردن عدد من المراكز والمؤسسات المُتقدِّمة والرائدة في مجال بحوث الخلايا الجذعية وتطبيقاتها العلاجية ، مثل مركز العلاج بالخلايا (Cell Therapy Center) التابع لمستشفى الجامعة الأردنية، وهي تضمُّ نخبة من الخبرات العلمية والعملية التي تُطبِّق أحدث الطرائق المُستخدَمة عالميًّا في مجال العلاج بالخلايا الجذعية.





(أ) تكاثر الخميرة بالتبرعم.



(ب) تكاثر الهيدرا بالتبرعم.



(جـ) تكاثر نباتات بالأبصال.

الشكل (16): أمثلة على تكاثر كائنات حقيقية النوى لاجنسيًّا.

يُعَدُّ الانقسام المتساوي أساسًا للتكاثر اللاجنسي في الكائنات الحيَّة حقيقية النوى؛ سواء أكانت وحيدة الخلية مثل الخميرة، أنظر الشكل (16/ أ)، أم عديدة الخلايا مثل الهيدرا والنباتات، أنظر الشكل (16/ ب، جـ).

يكون تكاثر الكائنات الحيَّة لاجنسيًّا أسرع من تكاثرها جنسيًّا، ولكنَّ الكائنات الحيَّة الناتجة من التكاثر اللاجنسي تكون مُتماثِلة جينيًّا؛ ما يعني عدم وجود تنوُّع في صفات هذه الكائنات، وهو ما يجعل كُلًّا منها عُرْضةً للتأثُّر بالظروف المحيطة بها على نحوٍ مُشابِهٍ.

أُعِدُّ عرضًا تقديميًّا (Power Point) عمّا تعلَّمْتُه عن أهمية الانقسام المتساوي ودوره في تكاثر الكائنات الحيَّة لاجنسيًّا.

الانقسام المُنصِّف Meiosis

يُعَدُّ الانقسام المُنصِّف أحد أنواع الانقسام الخلوي الذي يؤدّي إلى إنتاج الجاميتات؛ وهي خلايا أُحادية المجموعة الكروموسومية.

يمرُّ الانقسام المُنصِّف بمرحلتين أساسيتين، تسبق أُولاهما مرحلة بينية مُشابِهة لتلك التي تسبق الانقسام المتساوي.

أطوار المرحلة الأولى من الانقسام المُنصِّف Phases of Meiosis I

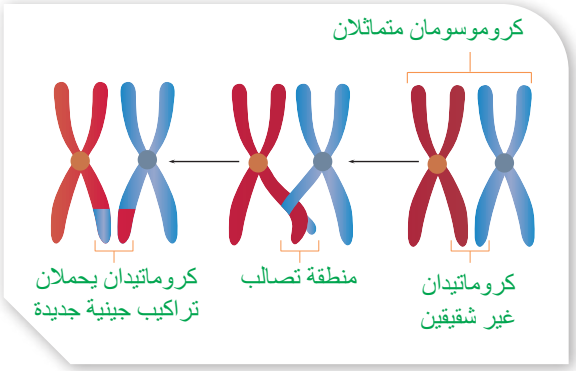
تمرُّ هذه المرحلة بأربعة أطوار، وتنتج في نهايتها خليتان تحويان نصف عدد كروموسومات الخلية الأُمِّ (المُنقسِمة)، أنظر الشكل (17).

الطور التمهيدي الأوَّل Prophase I

تظهر الكروموسومات قصيرة وسميكة، ويتكوَّن كلٌّ منها من كروماتيدين شقيقين، في حين يتفكَّك الغلاف النووي.

وقد يحدث تقاطع بين كروماتيدين غير شقيقين في كروموسومين متماثلين - بسبب قربهما من بعضهما- في نقاط تُسمّى كلٌّ منها منطقة التصالب Chiasma فينتج عن ذلك تبادل أجزاء من المادة الوراثية بين هذين الكروماتيدين، في ما يُعرَف بالعبور Crossing Over الذي تنتج منه تراكيب جينية جديدة تؤدّي دورًا في التنوُّع الجيني، أنظر الشكل (18).

يتحرَّك كل زوج من المُريكِزات نحو أحد قطبي الخلية المُتقابِلين، وتبدأ الخيوط المغزلية بالامتداد من المُريكِزات إلى القطع المركزية في الكروموسومات لترتبط بها.



الشكل (18): عملية العبور.

الطور الاستوائي الأوَّل Metaphase I

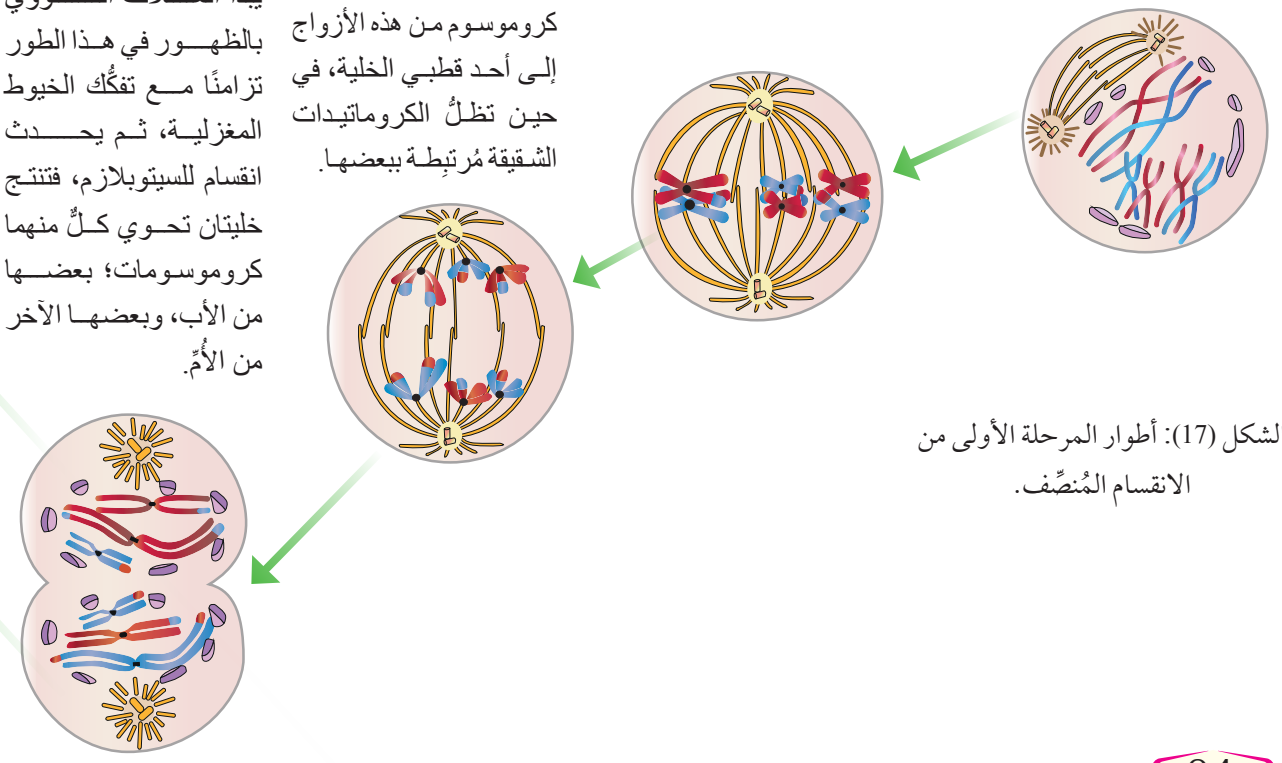
تصطفُّ أزواج الكروموسومات المُتماثِلة والمُرتبِطة بالخيوط المغزلية على جانبي خطٍّ وسط الخلية، من دون أنْ تترتَّب ترتيبًا مُعيَّنًا، وإنَّما يكون ترتيبها عشوائيًّا؛ أيْ ليس شرطًا أنْ تكون جميع الكروموسومات التي من الأب على الجانب نفسه، وكذا الحال بالنسبة إلى الكروموسومات التي من الأُمِّ. وهذا يعني أنَّ جهة ما قد تحوي كروموسومات من الأب والأُمِّ؛ ما يؤدي إلى حدوث تنوُّع جيني في الخلايا الناتجة من الانقسام.

الطور الانفصالي الأوَّل Anaphase I

تنفصل في هذا الطور أزواج الكروموسومات المُتماثِلة نتيجة انكماش الخيوط المغزلية، ويتجه كل كروموسوم من هذه الأزواج إلى أحد قطبي الخلية، في حين تظلُّ الكروماتيدات الشقيقة مُرتبِطة ببعضها.

الطور النهائي الأوَّل Telophase I

يبدأ الغلاف النووي بالظهور في هذا الطور تزامنًا مع تفكُّك الخيوط المغزلية، ثم يحدث انقسام للسيتوبلازم، فتنتج خليتان تحوي كلٌّ منهما كروموسومات؛ بعضها من الأب، وبعضها الآخر من الأُمِّ.



الشكل (17): أطوار المرحلة الأولى من الانقسام المُنصِّف.

أطوار المرحلة الثانية من الانقسام المُنصِّف Phases of Meiosis II

تدخل الخلايا المرحلة الثانية من الانقسام المُنصِّف من دون حدوث تضاعف DNA. وفي هذه المرحلة تنفصل الكروماتيدات الشقيقة بعضها عن بعض، ويتحرَّك كلٌّ منها نحو أحد قطبي الخلية، ثم يتكوَّن الغلاف النووي الذي يتبعه حدوث انقسام للسيتوبلازم، فتنتج أربع خلايا أُحادية المجموعة الكروموسومية، أنظر الشكل (19).

أتحقَّق: خلية جنسية تحوي (64) كروموسومًا:

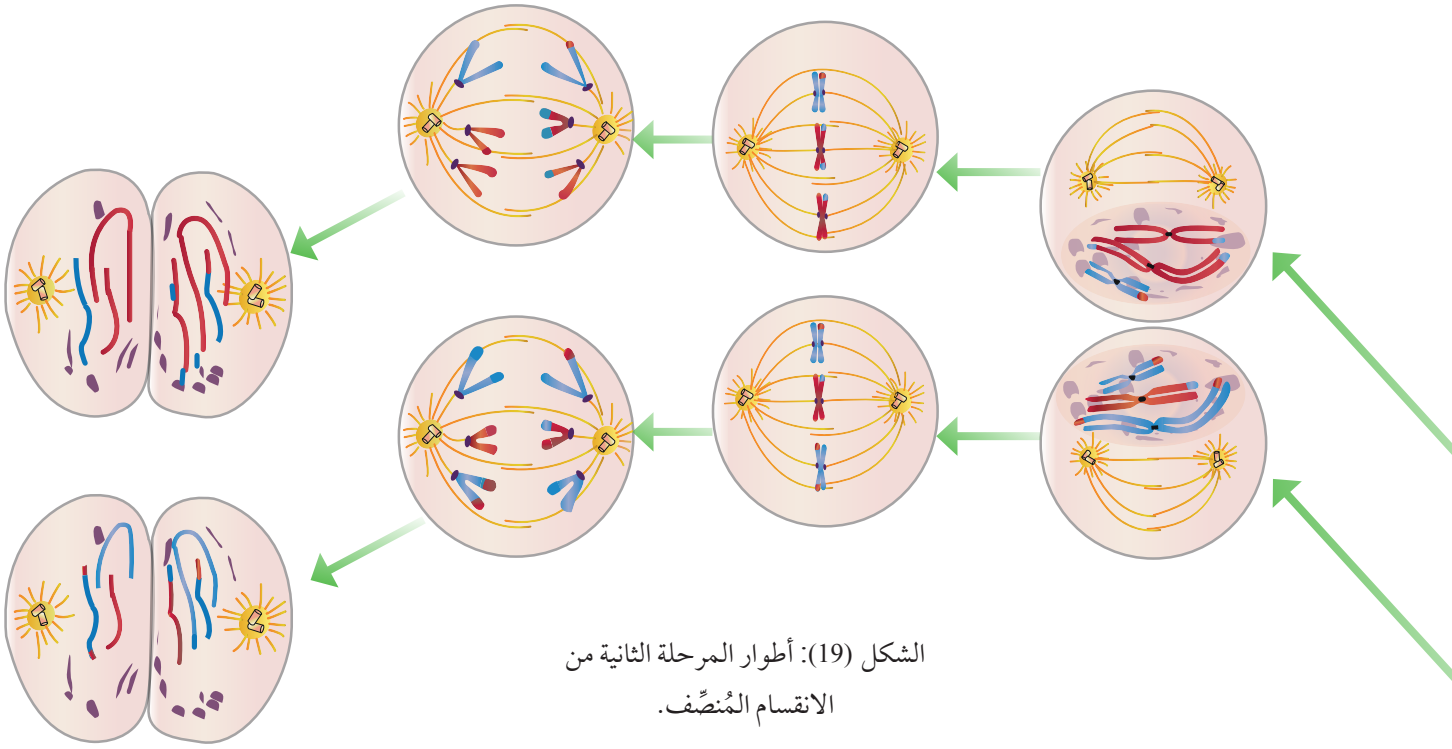
- ما عدد الخلايا الناتجة في المرحلة الأولى من انقسامها انقسامًا مُنصِّفًا؟
- ما عدد الكروموسومات في كلٍّ من الخلايا الناتجة؟

الطور التمهيدي الثاني
Prophase II
يتفكَّك الغلاف النووي في هذا الطور، وتتجه المُريكِزات إلى أقطاب الخلية المُتقابِلة، وتبدأ الخيوط المغزلية بالظهور.

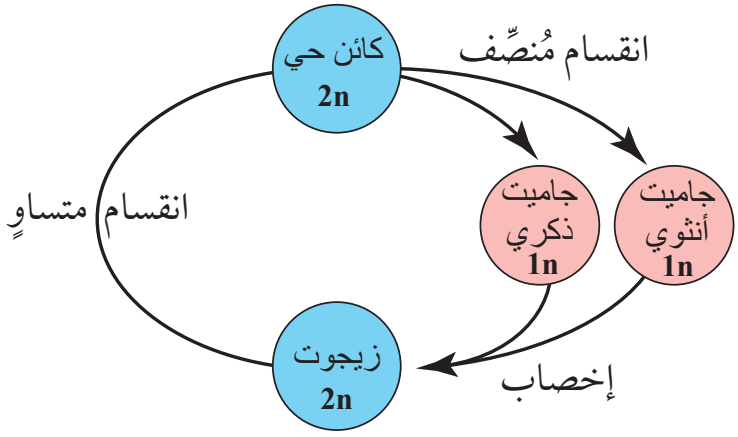
الطور الاستوائي الثاني
Metaphase II
تترتَّب الكروموسومات (لا يزال كلٌّ منها يتكوَّن من كروماتيدين شقيقين) في منتصف الخلية.

الطور الانفصالي الثاني
Anaphase II
ينفصل كل كروماتيدين شقيقين أحدهما عن الآخر، ثم يتحرَّك كلٌّ منهما نحو أحد قطبي الخلية.

الطور النهائي الثاني
Telophase II
يتشكَّل الغلاف النووي حول كل مجموعة كروموسومية، وتبدأ الخيوط المغزلية بالتفكُّك، ويحدث انقسام ثانٍ للسيتوبلازم، فتنتج أربع خلايا أُحادية المجموعة الكروموسومية (1n).



الشكل (19): أطوار المرحلة الثانية من الانقسام المُنصِّف.



الشكل (20): أهمية الانقسام المُنصِّف.

أتحقَّق: أُقارِن بين الطور الانفصالي الأوَّل والطور الانفصالي الثاني من حيث أبرز أحداث كلٍّ منهما.

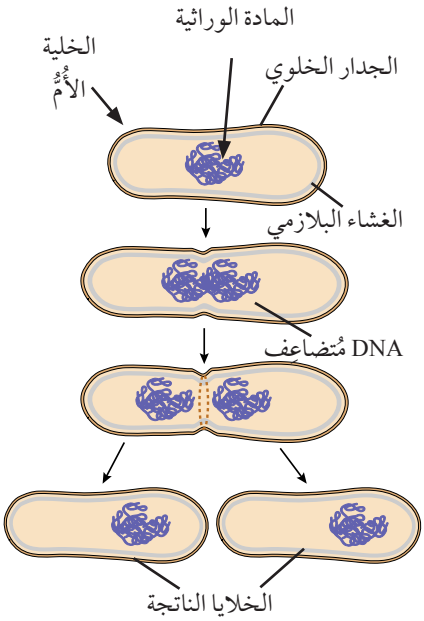
أهمية الانقسام المُنصِّف The Importance of Meiosis

يؤدّي انقسام خلية ثنائية المجموعة الكروموسومية انقسامًا مُنصِّفًا إلى إنتاج أربع خلايا أُحادية المجموعة الكروموسومية. فمثلًا: الخلايا المنوية الأولية في الإنسان هي ثنائية المجموعة الكروموسومية (2n)؛ أيْ إنَّ كُلًّا منها تحوي 23 زوجًا من الكروموسومات (46 كروموسومًا). وبعد حدوث انقسام مُنصِّف -بمرحلتيه- تنتج أربع خلايا أُحادية المجموعة الكروموسومية (1n)، وهي تُسمّى جاميتات ذكرية، ويحوي كلٌّ منها 23 كروموسومًا. وعند حدوث عملية الإخصاب التي يندمج فيها الجاميت الذكري بالجاميت الأنثوي تتكوَّن خلية ثنائية المجموعة الكروموسومية (2n) تُسمّى الزيجوت، أنظر الشكل (20)، وبذلك يُمكِن المحافظة على ثبات عدد الكروموسومات في الكائن الحيِّ الطبيعي.

الانشطار الثنائي في الكائنات الحيَّة بدائية النوى
Binary Fission in Prokaryotes

يتشابه الانشطار الثنائي والانقسام المتساوي من حيث نواتج العمليتين؛ إذ ينتج من كلٍّ منهما خليتان مُطابِقتان للخلية الأُمِّ المُنقسِمة، ولكنَّ هاتين العمليتين تختلفان فعليًّا في ما بينهما، أنظر الشكل (21) الذي يُبيِّن آليَّة الانشطار الثنائي في البكتيريا.

تبدأ عملية الانشطار الثنائي بتضاعف كروموسوم البكتيريا، وهو كروموسوم حلقي، ثم يتحرَّك الكروموسومان الناتجان من التضاعف في اتجاهين مُتقابِلين، ضمن عملية يدخل فيها بروتين يُشبِه الأكتين Actin – like Protein، فيظهر كروموسوم واحد عند كل طرف من طرفي الخلية المُتقابِلين، ويحدث في أثناء هذه العملية نمو واستطالة للخلية. بعد ذلك ينغمد الغشاء البلازمي نحو الداخل، بالتزامن مع تكوُّن الجدار الخلوي، ثم تنتج خليتان مُنفصِلتان ومُشابِهتان للخلية الأُمِّ.



الشكل (21): الانشطار الثنائي في البكتيريا.

أتحقَّق: ما نتائج انقسام خلية جلد ونتائج انشطار خلية بكتيريا من حيث عدد الخلايا الناتجة من عملية انقسام واحدة؟

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** ما أنواع الانقسام الخلوي في الكائنات حقيقية النوى؟ ما أهمية كل نوع منها؟

2. **أتوقَّع:** ماذا يستفيد الكائن الحيُّ إذا كان قادرًا على التكاثر جنسيًّا ولاجنسيًّا؟

3. **أستنتج:** إذا نَمَّيْتُ خلايا خميرة على طبقين غذائيين مُناسِبين، ثم أضفْتُ إلى أحدهما مادة كيميائية توقِف تضاعف المادة الوراثية، فكيف أستطيع تمييز الطبق الذي أضفْتُ إليه المادة الكيميائية؟

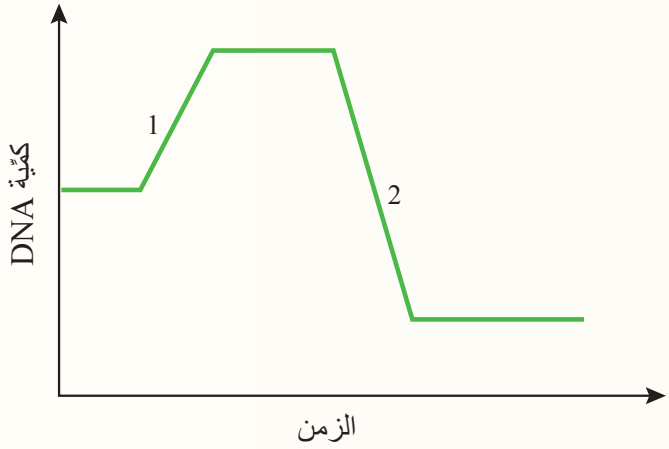
4. **أُقارِن** بين كلٍّ ممّا يأتي:

أ . عملية الانقسام المتساوي، وعملية الانشطار الثنائي من حيث آليَّة الانقسام.

ب. انقسام السيتوبلازم في الخلايا النباتية، وانقسامه في الخلايا الحيوانية.

جـ. الخلايا الناتجة في الطور النهائي من الانقسام المتساوي، والخلايا الناتجة في الطور النهائي الأوَّل من الانقسام المُنصِّف من حيث عدد الكروموسومات في كلٍّ منها.

5. أدرس الشكل الآتي الذي يُبيِّن كمِّية DNA في خلية تمرُّ بسلسلة من العمليات خلال مدَّة من الزمن، ثم أُجيب عن السؤالين التاليين:



أ . هل يُمثِّل الرقم (1) انقسامًا مُنصِّفًا، أو انقسامًا متساويًا، أو إخصابًا، أو تضاعف DNA؟

ب. ما نوع الانقسام الذي يُمثِّله الرقم (2)؟

6. **لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أُحدِّدها:**

1. في الانقسام الخلوي يبدأ انقسام السيتوبلازم بعد وقت قصير من انقسام:

أ . النواة. ب. الجدار الخلوي.

جـ. الخلية. د . النُّوَيَّة.

2. البروتين الذي يدخل في الحلقة المُنقبِضة التي تكوّن التخصر اللازم لانقسام السيتوبلازم:

أ. الميوسين فقط. ب. الميوغلوبين.

جـ. الأكتين فقط. د . الميوسين والأكتين.

3. في أثناء دورة الخلية، إذا كانت كمية DNA في خلية ثنائية المجموعة الكروموسومية خلال طور النمو الأول هي (1X)، فإن كمية الـ DNA في الخلية نفسها أثناء الطور الاستوائي في المرحلة الأولى من الانقسام المنصف هي:

أ . 0.25X ب. 0.5X

جـ. 1X د . 2X

4. فحص أحد الطلبة مجموعة من الخلايا باستخدام المجهر، حيث كانت هذه الخلايا ثنائية المجموعة الكروموسومية (تتكون من 14 كروموسوم)، لاحظ الطالب خلية تحتوي على 7 كروموسومات (مُكوَّنة من كروماتيدات شقيقة) تترتّب في منتصف الخلية، أي من العبارات الآتية تصف هذه الخلية بدقّة:

أ . الخلية في الطور الاستوائي من الانقسام المتساوي.

ب. الخلية في الطور الاستوائي من المرحلة الأولى من الانقسام المُنصِّف.

جـ. الخلية في الطور الاستوائي من المرحلة الثانية من الانقسام المُنصِّف.

د . الخلية في الطور الانفصالي من الانقسام المتساوي.

5. تنتج الصفيحة الخلوية وسط الخلية النباتية من حويصلات مصدرها:

أ . النواة. ب. الجدار الخلوي.

جـ. أجسام غولجي. د . الغشاء البلازمي.

الدرس 3

تضاعف DNA والتعبير الجيني

DNA Replication and Gene Expression

الفكرة الرئيسة:

يمتاز جزيء DNA بقدرته على التضاعف، وتُعَدُّ المعلومات التي يحملها الأساس في عمليات تصنيع الخلية للبروتينات. تحدث عملية التعبير الجيني في الخلية، وهي تختلف بين الخلايا تبعًا لاختلاف الأنشطة والوظائف التي تقوم بها كلٌّ منها.

نتاجات التعلُّم:

- أُبيِّن دور العلماء في اكتشاف المادة الوراثية وتضاعفها.
- أتتبَّع آليَّة تضاعف DNA في الخلية.
- أَصِف آليّات تصحيح اختلالات DNA.
- أستقصي آليَّة تصنيع البروتينات.
- أُبيِّن دور التعبير الجيني في تمايز الخلايا.

المفاهيم والمصطلحات:

تضاعف DNA	DNA Replication
التضاعف شبه المُحافِظ	Semiconservative Replication
البروتينات المُرتبِطة بالسلاسل المفردة	Single Strand Binding Proteins
سلسلة البدء	primer
السلسلة الرائدة	Leading Strand
السلسلة المُتأخِّرة	Lagging Strand
التعبير الجيني	Gene Expression
تمايز الخلايا	Cell Differentiation

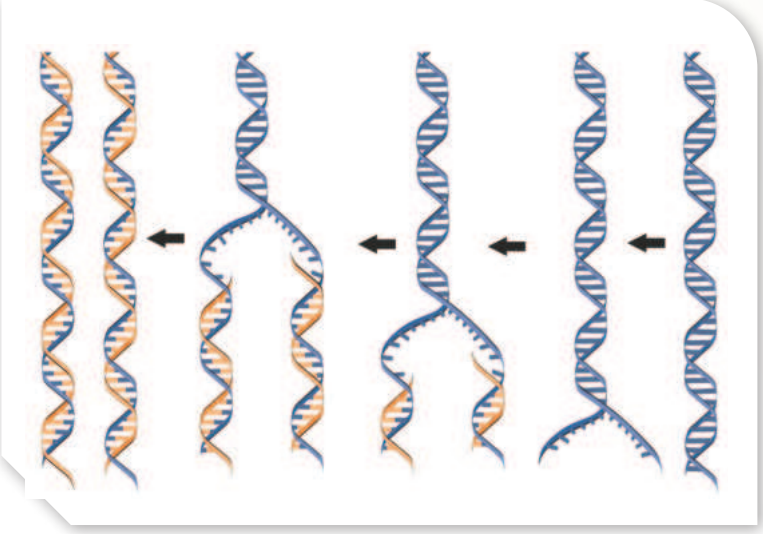
تضاعف DNA DNA Replication

درسْتُ سابقًا أنَّ الخلية تمرُّ بطور التضاعف في أثناء المرحلة البينية من دورة الخلية. وفي هذا الطور تحدث عملية **تضاعف DNA Replication DNA**، وهي عملية تُنظِّمها إنزيمات عِدَّة.

تنتج من تضاعف جزيء DNA نسختان مُتماثِلتان، تتكوَّن كلٌّ منهما من سلسلتين؛ إحداهما من DNA الأصل (أيْ سلسلة أصلية)، والأُخرى جديدة ومُكمِّلة لها، تحمل التعليمات الوراثية كاملة.

يُطلَق على عملية تضاعف DNA اسم **التضاعف شبه المُحافِظ Semiconservative Replication**؛ لأنَّ إحدى السلسلتين محفوظة، والأُخرى جديدة، أنظر الشكل (22).

اقترح العالِمان مِسلسون وستال Meselson and Stahl نموذجًا لكيفية تضاعف DNA، استنادًا إلى اكتشاف تركيب DNA على أيدي العالِمين واتسون وكريك، والنتائج العملية التي توصَّل إليها علماء آخرون في هذا المجال.



الشكل (22): تضاعف DNA.

أتحقَّق: أيُّ أطوار الخلية يحدث فيه تضاعف DNA؟



الشكل (23): عمل إنزيم الهيليكيز، والبروتينات المُرتبِطة بالسلاسل المفردة.

أفكّر: ما النتائج المُتوقَّعة من حدوث طفرة في البروتينات المُرتبِطة بالسلاسل المفردة تمنعها من الارتباط بسلسلة DNA المفردة؟

أتحقَّق: ما دور إنزيم الهيليكيز في عملية تضاعف DNA؟

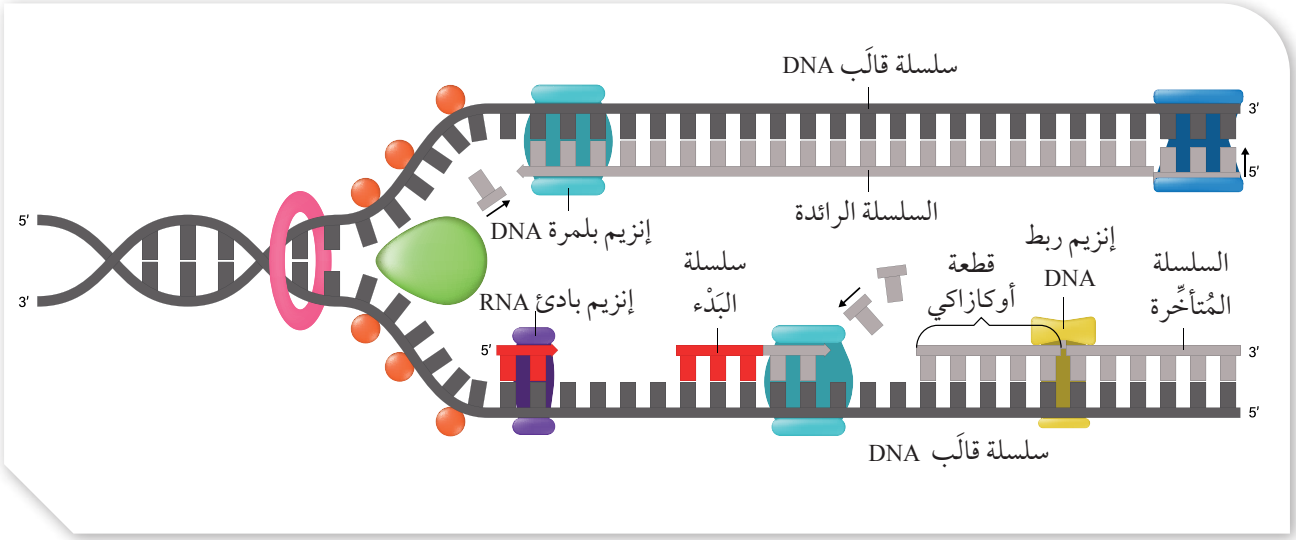
آليَّة تضاعف DNA Mechanism of DNA Replication

تبدأ عملية تضاعف جزيء DNA بانفصال سلسلتيه المُتقابِلتين؛ إذ تتحطَّم الروابط الهيدروجينية بين النيوكليوتيدات المُتقابِلة في السلسلتين بفعل إنزيم الهيليكيز Helicase الذي يحتاج إلى طاقة ATP لإتمام هذه العملية، أنظر الشكل (23).

ينتج من هذا الانفصال سلسلتان مفردتان، ترتبط كلٌّ منهما ببروتينات خاصة تُسمّى **البروتينات المُرتبِطة بالسلاسل المفردة Single Strand Binding Proteins (SSBP)**، وهي تمنع عودة ارتباط السلسلتين إحداهما بالأُخرى، علمًا بأنَّ كل سلسلة مفردة تُمثِّل قالَبًا لبناء سلسلة جديدة.

ولمّا كانت الإنزيمات المسؤولة عن تضاعف DNA غير قادرة على بَدْء هذه العملية، فإنَّ إنزيم بادئ RNA primase RNA يضيف قطعة صغيرة من RNA (تتكوَّن من (10- 5) نيوكليوتيدات، وتُسمّى **سلسلة البَدْء primer**) إلى كل سلسلة من سلسلتي DNA المُكمِّلتين؛ لتوفير نهاية '3 حُرَّة، ثم يبدأ إنزيم آخر يُسمّى إنزيم بلمرة DNA polymerase DNA بإضافة نيوكليوتيدات مُكمِّلة لنيوكليوتيدات السلسلة القالَب.

يكون بناء سلسلة DNA المُكمِّلة (الجديدة) مُتَّجِهًا دائمًا من ′5 إلى ′3، فتنتج سلسلة مُتَّصِلة تُسمّى **السلسلة الرائدة Leading Strand**، وتكون مُكمِّلة لإحدى سلسلتي القالَب، أنظر الشكل (24).



الشكل (24): بناء السلسلة الرائدة، والسلسلة المُتأخِّرة.

أُفسِّر سبب تكوُّن قطع أوكازاكي.

لا يستطيع إنزيم بلمرة DNA بناء سلسلة في اتجاه معاكس (أيْ من 3′ إلى 5′)؛ لذا فإنَّ بناء السلسلة المُكمِّلة للسلسلة القالَب الأُخرى يكون مختلفًا؛ إذ يكون على هيئة قطع غير مُتَّصِلة تُسمّى قطع أوكازاكي Okazaki Fragments (نسبةً إلى العالِم الذي اكتشفها)، وتُسمّى هذه السلسلة المُكمِّلة **السلسلة المُتأخِّرة Lagging Strand**، أنظر الشكل (24).

تحتاج عملية بناء السلسلة المُتأخِّرة إلى أكثر من سلسلة بَدْء؛ إذ تُضاف سلسلة بَدْء جديدة في كل مَرَّة يفصل فيها إنزيم الهيليكيز جزءًا من سلسلتي DNA الأصليتين إحداهما عن الأُخرى، ليستأنف إنزيم بلمرة DNA عملية بناء قطع أوكازاكي من 5′ إلى 3′.

بعد ذلك تُزال سلاسل البَدْء، وتوضَع نيوكليوتيدات DNA مكانها، ثم تُربَط قطع أوكازاكي باستعمال إنزيم ربط DNA Ligase الذي يربط قطعًا بأُخرى مجاورة عن طريق تكوين روابط فوسفاتية ثنائية الإستر. بعد انتهاء بناء السلسلة الرائدة والسلسلة المُتأخِّرة، ينتج جزيئا DNA مُتماثِلان، يتكوَّن كلٌّ منهما من سلسلة أصلية، وأُخرى جديدة مُكمِّلة لها.

أتحقَّق: لماذا تُبْنى إحدى سلسلتي DNA على شكل قطع غير مُتَّصِلة؟

تختلف طريقة تضاعف DNA في السلسلة الرائدة عنها في السلسلة المُتأخِّرة. أنظم المعلومات التي تعلمتها عن تضاعف كلٍّ من السلسلتين، ثم أُعِدُّ فلمًا قصيرًا عن ذلك باستخدام برنامج (movie maker)، ثم أعرضه أمام زملائي/ زميلاتي في الصف.

نشاط

محاكاة عملية تضاعف DNA

يتضاعف جزيء DNA مُنتِجًا نسختين مُتماثِلتين، تتكوَّن كلٌّ منهما من سلسلتين؛ إحداهما أصلية (أيْ من DNA الأصل)، والأُخرى جديدة ومُكمِّلة لها. وتُعَدُّ كل سلسلة أصلية في أثناء التضاعف قالَبًا لبناء سلسلة مُكمِّلة جديدة. وبينما يكون بناء إحدى السلسلتين مستمرًّا، يكون بناء السلسلة المُقابِلة مُتقطِّعًا.

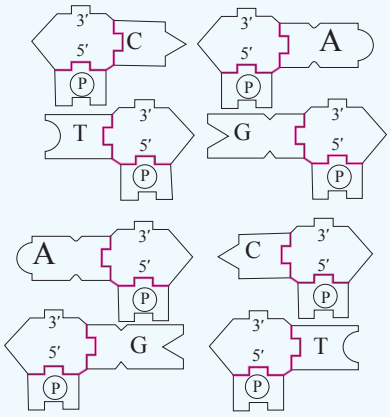
المواد والأدوات:

مقص، شريط لاصق، أقلام مُلوَّنة، ورق مقوى.

إرشادات السلامة: استعمال المقص بحذر.

خطوات العمل:

1 أُصمِّم نموذجًا:



- أصمّم أشكالًا منفردة لأنواع النيوكليوتيدات المختلفة في جزيء DNA كما يظهر في الرسم المجاور، علمًا بأنَّ عدد النسخ يعتمد على طول سلسلتي DNA المراد نمذجة تضاعفهما.
- أَقُصُّ الأشكال على نحوٍ يجعل النيوكليوتيدات مُنفصِلة.
- أُرتِّب هذه النيوكليوتيدات في سلسلتين، مع مراعاة ربط كل نيوكليوتيد بالنيوكليوتيد المجاور له في السلسلة نفسها، ثم أُثبِّت كل نيوكليوتيدين باستخدام الشريط اللاصق.
- أضع النيوكليوتيدات في السلسلة المُقابِلة على نحوٍ يجعلها مُكمِّلة للنيوكليوتيدات في السلسلة الأولى، مع مراعاة أنْ تكون نهايتا ′3 و′5 مُتعاكِستين في السلسلتين المُتقابِلتين.

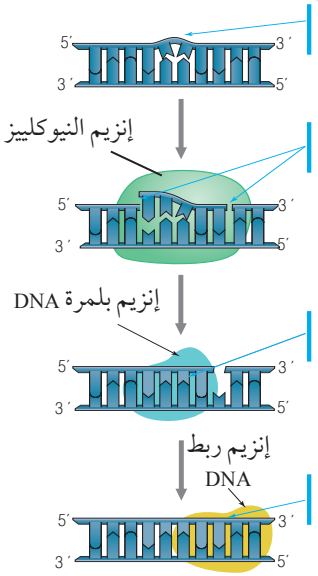
2 أُلاحِظ الشكل الناتج.

3 أُجرِّب استعمال النيوكليوتيدات المُتبقِّية لتمثيل تضاعف السلسلتين، وتكوين سلسلتين جديدتين.

4 أفصل السلسلتين إحداهما عن الأُخرى جزئيًّا، ثم أُضيف النيوكليوتيدات لبناء السلسلة المُقابِلة للسلسلة الأصلية، مع مراعاة أنْ يكون اتجاه الإضافة من ′3 إلى ′5 على سلسلة القالَب؛ أيْ من ′5 إلى ′3 للنيوكليوتيدات المضافة.

التحليل والاستنتاج:

1. **أُقارِن:** أيُّ السلسلتين عملية بنائها مُتَّصِلة منذ البداية؟ أيُّهما عملية بنائها مُتقطِّعة؟
2. **أتوقَّع:** أفصل الجزء المُتبقّي من السلسلتين المُتقابِلتين، ثم أُحدِّد السلسلة التي قد يستمر بناؤها، وتلك التي سيتوقَّف بناؤها، وتتطلَّب البَدْء من جديد.
3. **أستنتج:** أيُّ السلسلتين رائدة؟ أيُّهما مُتأخِّرة؟
4. **أتواصل:** أُناقِش زملائي/ زميلاتي في النتائج التي توصَّلْتُ إليها.



تعمل إنزيمات عديدة على تحديد الجزء التالف من سلسلة DNA .

يقطع إنزيم النيوكلييز الجزء التالف من السلسلة.

يعمل إنزيم بلمرة DNA على سَدِّ الفجوة بنيوكليوتيدات مُكمِّلة، مُستخدِمًا السلسلة غير التالفة قالَبًا.

يربط إنزيم ربط DNA نهايات النيوكليوتيدات المضافة بالسلسلة الأصلية.

تصحيح اختلالات DNA (DNA Damage Repair)

توجد آليّات عديدة تعمل على تصحيح اختلالات DNA الناجمة عن تلف جزء من سلسلة DNA؛ نتيجة تعرُّض الكائن الحيِّ لعوامل كيميائية ضارَّة، مثل: سموم بعض الفطريات، والتبغ، أو تعرُّضه لعوامل فيزيائية، مثل: الأشعة السينية (X)، والأشعة فوق البنفسجية (UV). عندئذٍ، يُقطَع الجزء التالف من سلسلة DNA عن طريق إنزيم النيوكليز Nuclease، ثم تُسَدُّ الفجوة الناتجة من عملية القطع بنيوكليوتيدات مُكمِّلة للسلسلة المُقابِلة غير التالفة باستعمال إنزيم بلمرة DNA، وإنزيم ربط DNA. يُطلَق على آليَّة التصحيح هذه اسم تصحيح استئصال النيوكليوتيد Nucleotide Excision Repair، أنظر الشكل (25).

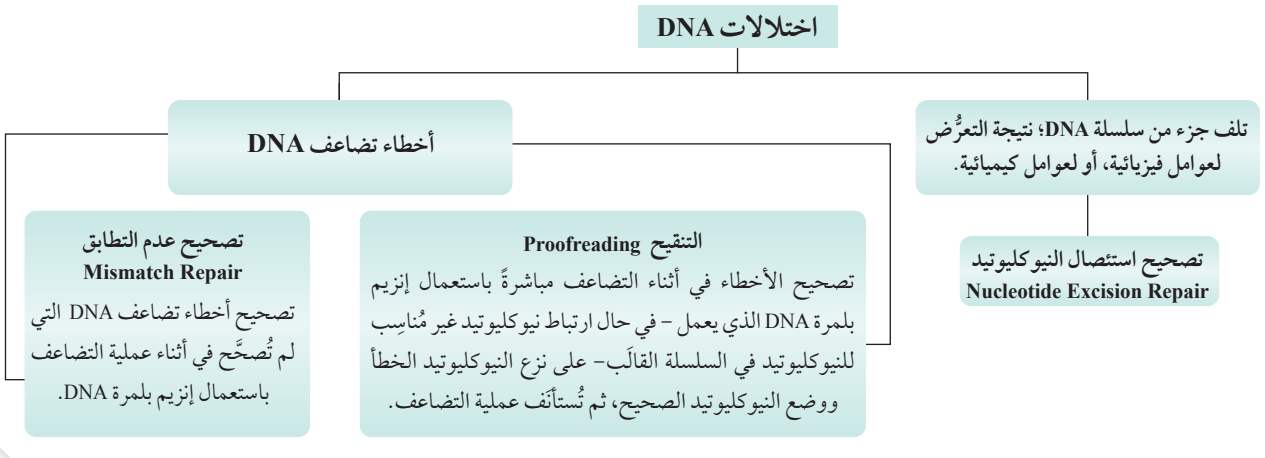
تجدر الإشارة إلى وجود آليّات تستخدمها الخلية في تصحيح اختلالات تضاعف DNA.

يُمثِّل الشكل (26) مُلخَّصًا لاختلالات DNA، وآليّات تصحيحها في الخلية.

الشكل (25): تصحيح استئصال النيوكليوتيد.

أتحقَّق: ما الإنزيمات التي تعمل على سَدِّ الفجوات الناجمة عن قطع الجزء التالف من سلسلة DNA؟

الشكل (26): اختلالات DNA، وآليّات تصحيحها.

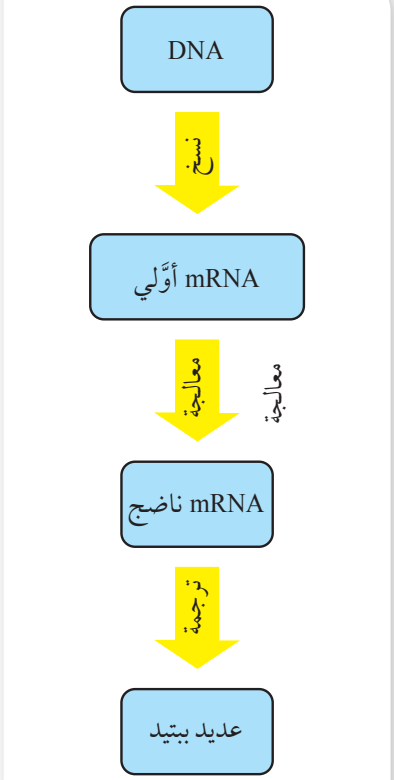


تصنيع البروتينات Protein Synthesis

يُنظِّم DNA أنشطة الخلية والعمليات الحيوية التي تحدث فيها؛ ذلك أنَّه يحمل التعليمات اللازمة لتصنيع البروتينات في صورة نيوكليوتيدات وَفق تسلسل مُعيَّن، وتُسمّى هذه التعليمات الشيفرة الوراثية. تؤدّي البروتينات أدوارًا مُهِمَّةً في أجسام الكائنات الحيَّة، وفي الخلايا المُكوِّنة لها، إضافةً إلى دورها في تنظيم دورة الخلية.

تمرُّ عملية تصنيع البروتينات بمرحلتين رئيستين، هما: النسخ Transcription، والترجمة Translation، وتوجد بينهما مرحلة يُعالَج فيها الحمض النووي RNA، أنظر الشكل (27).

يُذكَر أنَّ عملية النسخ ضرورية أيضًا لإنتاج جميع أنواع الحمض النووي RNA، التي تختلف بطرائق معالجتها. إلّا أنَّ الحمض النووي mRNA هو من تحدث له عملية الترجمة لتصنيع البروتينات.



الشكل (27): مراحل تصنيع البروتينات.

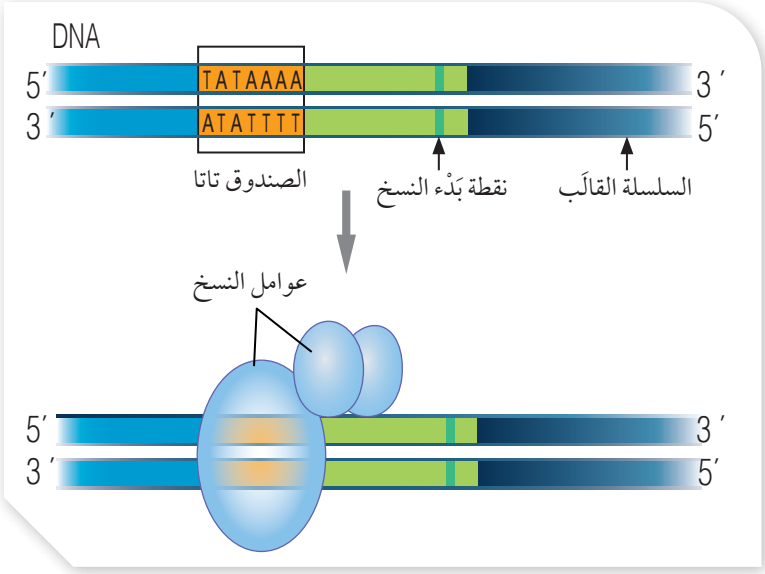
النسخ Transcription

يُطلَق على عملية إنتاج جزيء RNA مُكمِّل لجزء من إحدى سلسلتي DNA باستعمال إنزيمات بلمرة RNA اسم **النسخ Transcription**.

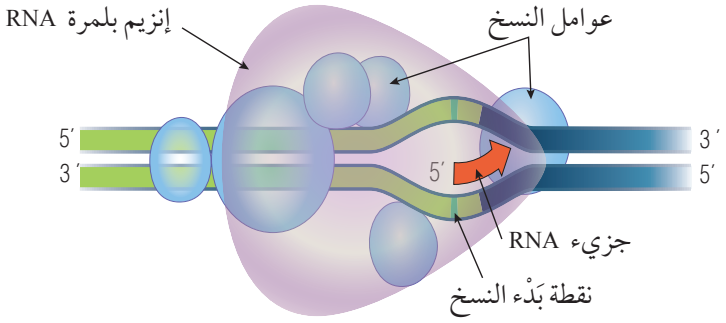
تحدث هذه العملية في النواة، وتتألَّف من ثلاث خطوات، هي: بَدْء عملية النسخ، واستطالة RNA، وانتهاء عملية النسخ.

بَدْء عملية النسخ Initiation of Transcription

تبدأ عملية النسخ عند تعرُّف بروتينات مُعيَّنة (تُسمّى عوامل النسخ Transcription Factors) تسلسلًا مُعيَّنًا من النيوكليوتيدات في DNA، وهو تسلسل يوجد قبل نقطة بَدْء النسخ، ومن الأمثلة عليه في الخلايا حقيقية النوى: الصندوق كات (CAAT BOX)، والصندوق تاتا (TATA BOX). وتُعْزى تسمية كلٍّ منهما إلى النيوكليوتيدات المُكوِّنة لهما، أنظر الشكل (28).



الشكل (28): تعرُّفُ عواملِ النسخِ تسلسلَ نيوكليوتيدات قبل نقطة بَدْء النسخ.



الشكل (29): بَدْء عملية النسخ.

يرتبط إنزيم بلمرة RNA بموقعه المُناسِب، وترتبط به عوامل نسخ أُخرى؛ ما يؤدّي إلى تكوُّن مُعقَّد بَدْء النسخ Transcription Initiation Complex. بعد ذلك يبدأ إنزيم بلمرة RNA بفكِّ التفاف سلسلتي DNA، وتبدأ عملية نسخ mRNA الأوَّلي من نقطة بَدْء النسخ على السلسلة القالَب، أنظر الشكل (29).

أُفكِّر: ماذا سيحدث لعملية النسخ في حال عدم توافر أحد عوامل النسخ؟

استطالة RNA Elongation of RNA

يبدأ إنزيم بلمرة RNA بالتحرُّك مُتَّجِهًا من 3′ إلى 5′ على سلسلة DNA القالَب، ثم يضيف نيوكليوتيدات جديدة إلى النهاية 3′ في جزيء RNA، أنظر الشكل (30).

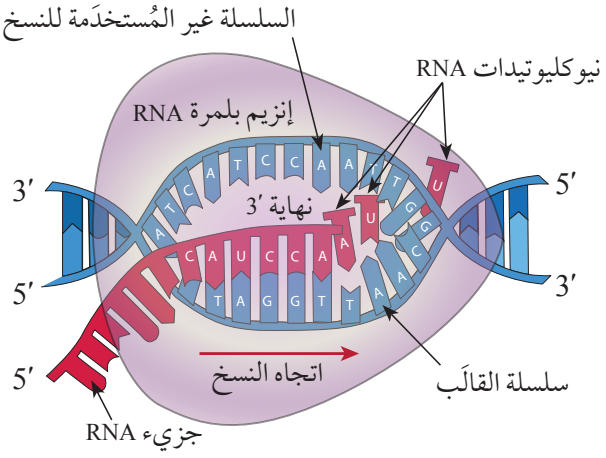
تحتوي النيوكليوتيدات المضافة إلى سلسلة RNA على قواعد نيتروجينية مُكمِّلة للقواعد النيتروجينية في سلسلة DNA، غير أنَّ القاعدة النيتروجينية المُكمِّلة للأدنين تكون اليوراسيل في RNA، وذلك عوضًا عن الثايمين.

✓ **أتحقَّق:** أُوضِّح مراحل عملية النسخ، ثم أكتب سلسلة RNA الناتجة من نسخ سلسلة DNA الآتية:

A T G G C T A C

انتهاء عملية النسخ Termination of Transcription

عند انتهاء عملية النسخ المطلوبة يتوقَّف إنزيم بلمرة RNA عن العمل، ويبتعد RNA المنسوخ عن سلسلة DNA القالَب، ويُطلَق على RNA الناتج اسم mRNA الأوَّلي.

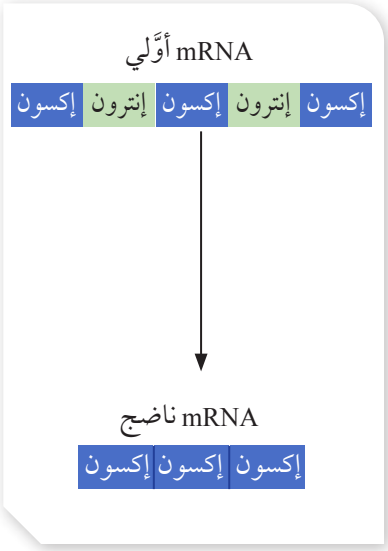


الشكل (30): استطالة RNA.

معالجة RNA Processing RNA

يخضع جزيء mRNA الأوَّلي لعملية معالجــة في النواة قبــل أنْ يصبح جزيء mRNA ناضجًا mature mRNA يُمكِن ترجمته.

تتضمَّن عملية المعالجــة إزالة قطع من mRNA، تُسـمّى كلٌّ منها الإنترون Intron، وهي أجزاء غير فاعلة في تصنيع البروتين المطلوب؛ ما يعني بقاء الأجزاء الفاعلة فقط في تصنيع البروتين المطلوب، التي يُعرَف كلٌّ منها باسم الإكسون Exon. بعد ذلك تُربَط قطع الإكسون المُتبقِّية بعضها ببعض، فينتج جزيء mRNA ناضج يخرج من النواة إلى السيتوبلازم عن طريق الثقوب النووية الموجودة في الغلاف النووي؛ تمهيدًا لبَدْء عملية الترجمة، أنظر الشكل (31).



الشكل (31): معالجة mRNA الأوَّلي.

الترجمة Translation

يُطلَق على العملية التي تُستخدَم فيها المعلومات الوراثية التي يحملها mRNA لتصنيع سلسلة عديد الببتيد اسم **الترجمة Translation**، ويُطلَق على كل ثلاثة نيوكليوتيدات مُتتابِعة في mRNA يُمكِن أنْ تُترجَم إلى حمض أميني أو إشارة وقف (Stop) اسم **الكودون Codon**، أنظر الشكل (32).

	U	C	A	G	
U	UUU, UUC Phe فينيل ألانين UUA, UUG Leu ليوسين	UCU, UCC, UCA, UCG Ser سيرين	UAU, UAC Tyr تايروسين *UAA Stop *UAG Stop	UGU, UGC Cys سستيين *UGA Stop UGG Trp تريبتوفان	U C A G
C	CUU, CUC, CUA, CUG Leu ليوسين	CCU, CCC, CCA, CCG Pro برولين	CAU, CAC His هستدين CAA, CAG Gln غلوتامين	CGU, CGC, CGA, CGG Arg أرغنين	U C A G
A	AUU, AUC, AUA Ile أيسوليوسين *AUG Start Met ميثيونين	ACU, ACC, ACA, ACG Thr ثريونين	AAU, AAC Asn أسبارغنين AAA, AAG Lys لايسين	AGU, AGC Ser سيرين AGA, AGG Arg أرغنين	U C A G
G	GUU, GUC, GUA, GUG Val فالين	GCU, GCC, GCA, GCG Ala ألانين	GAU, GAC Asp حمض أسبارتيك GAA, GAG Glu حمض غلوتاميك	GGU, GGC, GGA, GGG Gly غلايسين	U C A G

* كودونات البَدْء والانتهاء فقط للحفظ، وبقية الكودونات للاطلاع.

الشكل (32): الكودونات، ونواتج ترجمة كلٍّ منها.

✓ **أتحقَّق:** أيـن تحـدث عمـلية ترجمـة mRNA؟

تشتمل أنواع RNA على نوع يُسمّى RNA الناقل tRNA، وهو المُترجِم في هذه العملية، أنظر الشكل (33) الذي يُبيِّن تركيب tRNA.

تحدث عملية الترجمة بمساعدة الرايبوسومات؛ وهي تراكيب تتكوَّن من البروتينات، والحمض النووي الرايبوسومي rRNA. ويتألَّف كل رايبوسوم من وحدتين؛ إحداهما كبيرة، والأُخرى صغيرة، وهما تجتمعان عند بَدْء عملية الترجمة، أنظر الشكل (34).

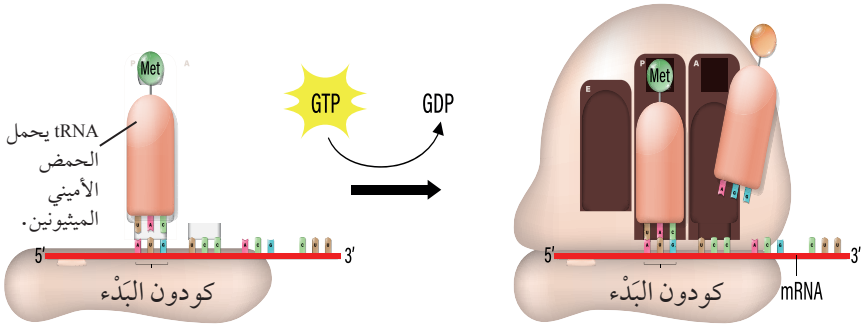
يحتوي الرايبوسوم الواحد على ثلاثة مواقع مُخصَّصة لارتباط جزيئات tRNA، أنظر الشكل (35)، ويُسمّى أحدها الموقع Peptidyl -tRNA (P)، وهو يرتبط بـ tRNA الحامل لسلسلة عديد الببتيد التي تتكوَّن في أثناء عملية الترجمة. في حين يُسمّى آخر الموقع Aminoacyl - tRNA Site (A)، وهو يرتبط بـ tRNA الذي يحمل الحمض الأميني الذي سيضاف إلى سلسلة عديد الببتيد. أمّا الموقع الثالث فيُسمّى الموقع Exit site (E)، وهو موقع خروج جزيء tRNA الذي يغادر الرايبوسوم فارغًا بعد أنْ يوصِل الحمض الأميني.

تمرُّ عملية الترجمة بثلاث مراحل رئيسة، هي: مرحلة بَدْء الترجمة، ومرحلة استطالة سلسلة عديد الببتيد، ومرحلة انتهاء الترجمة.

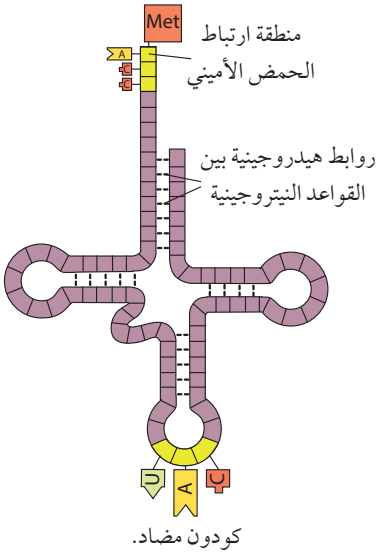
مرحلة بَدْء الترجمة Initiation of Translation

يرتبط جزيء mRNA وجزيء tRNA البادئ (الذي يُمثِّل تسلسل النيوكليوتيدات في موقع الكودون المضاد فيه UAC، ويحمل الحمض الأميني الميثيونين) بالوحدة البنائية الصغيرة، فتتكوَّن روابط هيدروجينية بين كودون البَدْء (AUG) في mRNA والكودون المضاد (UAC) في tRNA، يلي ذلك ارتباط الوحدة البنائية الكبيرة للرايبوسوم.

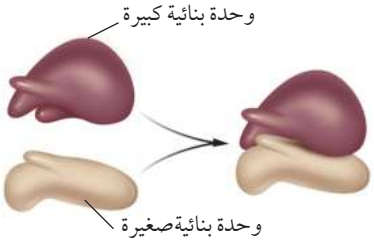
يُذكَر أنَّ هذه العملية تحتاج إلى عوامل مساعدة، وإلى الطاقة المُخزَّنة في جزيئات غوانوسين ثلاثي الفوسفات GTP، أنظر الشكل (36).



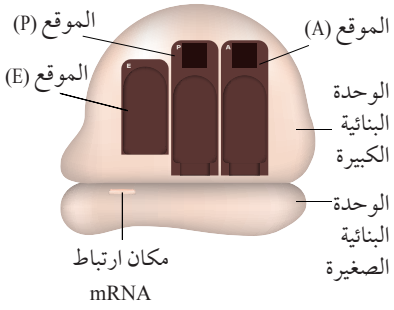
الشكل (36): مرحلة بَدْء الترجمة.



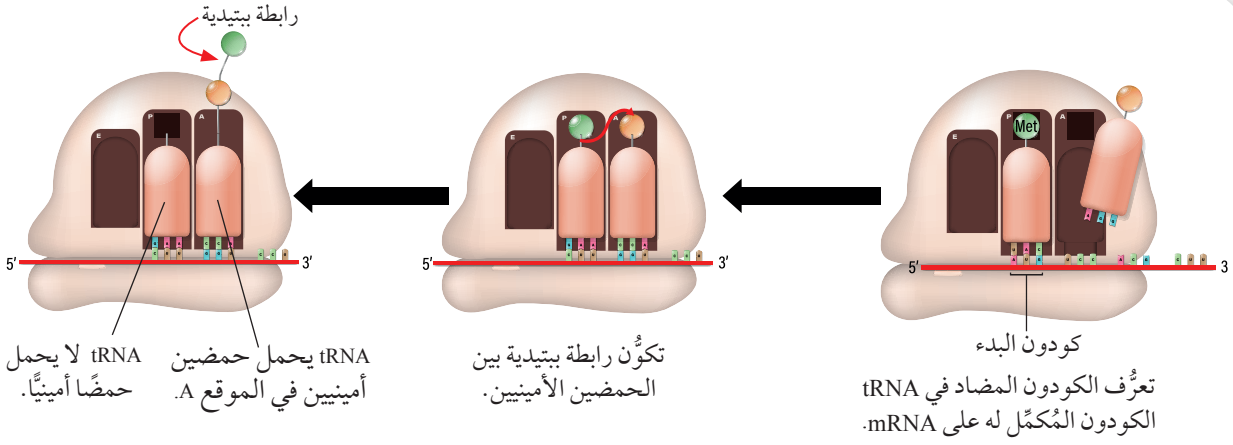
الشكل (33): تركيب tRNA.



الشكل (34): تركيب الرايبوسوم.



الشكل (35): مواقع ارتباط جزيئات tRNA في الرايبوسوم.



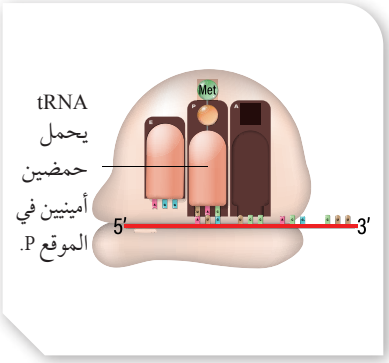
الشكل (37/ أ): بَدْء مرحلة الاستطالة.

مرحلة استطالة سلسلة عديد الببتيد Polypeptide Elongation

يستطيع الكودون المضاد في أحد جزيئات tRNA أنْ يتعرَّف الكودون المُكمِّل له في جزيء mRNA الموجود في الموقع (A). عندئذٍ، يستقبل الموقع (A) في الرايبوسوم جزيء tRNA الذي يحوي الكودون المضاد المُكمِّل للكودون الثاني في جزيء mRNA، ويحمل الحمض الأميني الثاني، فتتكوَّن رابطة ببتيدية بين مجموعة الكربوكسيل في الحمض الأميني الموجود في الموقع (P) ومجموعة الأمين في الحمض الأميني الذي يحمله جزيء tRNA الموجود في الموقع (A)، وبذلك يكون الموقع (A) في هذه اللحظة مشغولًا بـ tRNA، حاملًا حمضين أمينيين، في حين لا يحمل جزيء tRNA الموجود في الموقع (P) أيَّ حمض أميني، أنظر الشكل (37/ أ).

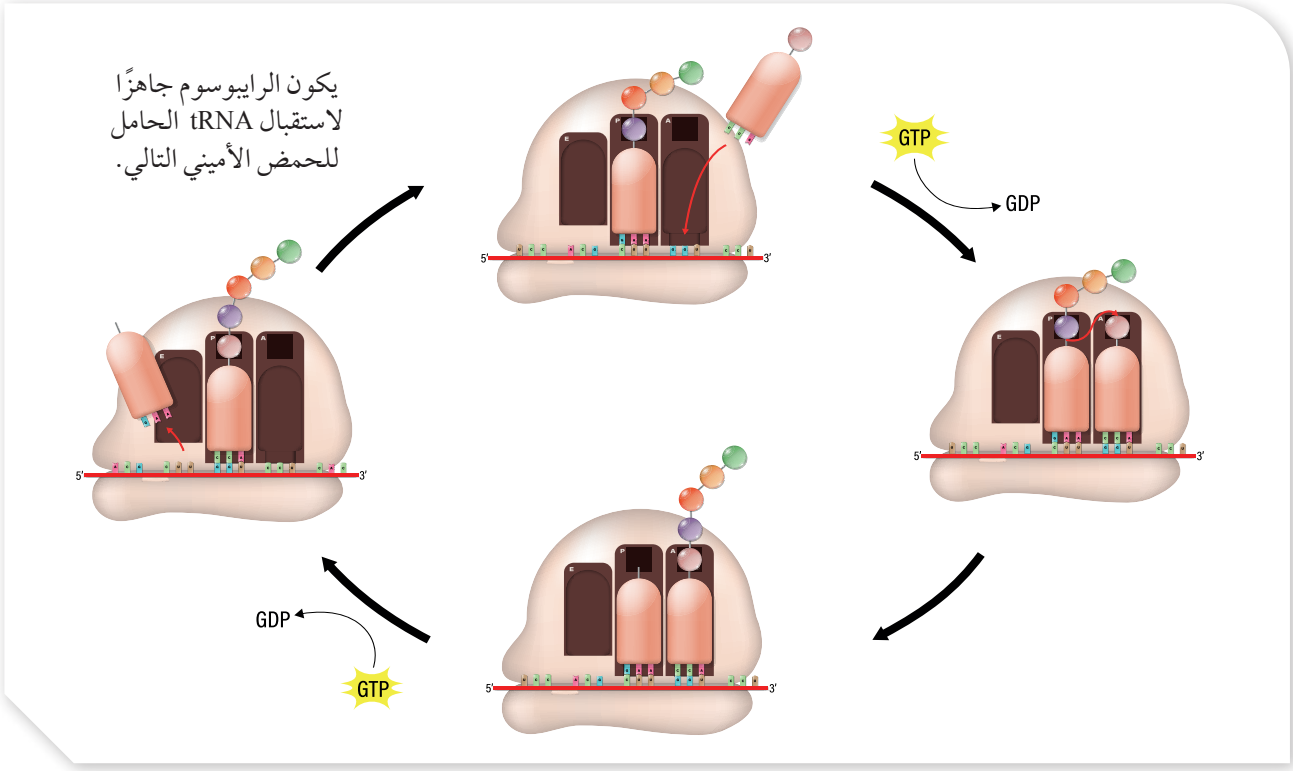
يتحرَّك الرايبوسوم إلى الداخل على سلسلة mRNA بمقدار كودون واحد من النهاية 5′ إلى النهاية 3′؛ ما يؤدّي إلى انتقال جزيء tRNA الموجود في الموقع (P) إلى الموقع (E) خارجًا من الرايبوسوم، وينتقل جزيء tRNA الموجود في الموقع (A) إلى الموقع (P)، فيصبح الموقع (A) فارغًا وجاهزًا لاستقبال جزيء tRNA جديد يحمل كودونًا مضادًّا للكودون التالي في جزيء mRNA، أنظر الشكل (37/ ب).

تتكرَّر الخطوات السابقة لإضافة الحموض الأمينية واحدًا تلو الآخر. وتحتاج مرحلة استطالة سلسلة عديد الببتيد عند إضافة كل حمض أميني إلى الطاقة المُخزَّنة في جزيئات GTP؛ لكي يتمكَّن الكودون المضاد في جزيء tRNA من تعرُّف الكودون في جزيء mRNA، وتحريك الرايبوسوم بعد تكوُّن الرابطة الببتيدية، أنظر الشكل (38).



الشكل (37/ ب): بَدْء مرحلة الاستطالة.

✓ **أتحقَّق:** ما الكودون المضاد في جزيء tRNA البادئ؟



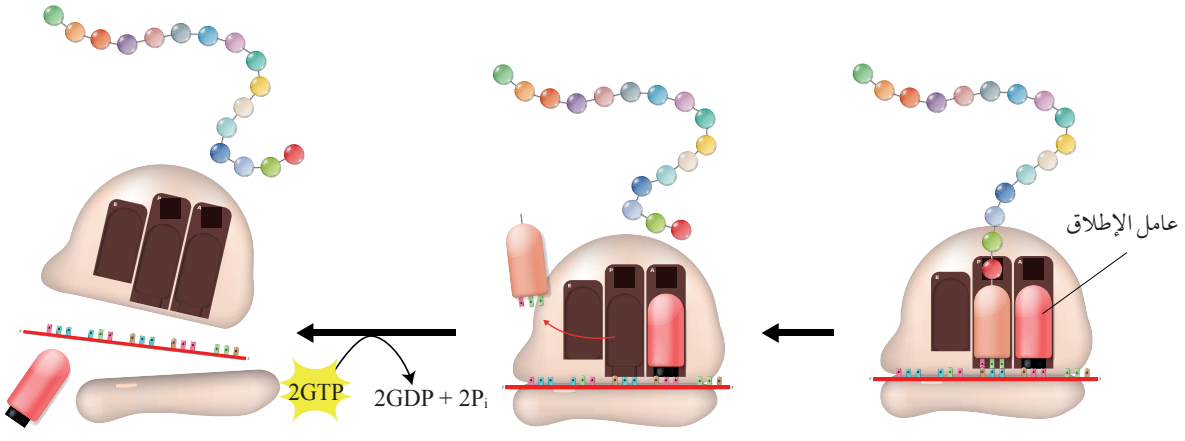
الشكل (38): مرحلة استطالة سلسلة عديد الببتيد.

أتتبَّع مرحلة استطالة سلسلة عديد الببتيد.

مرحلة انتهاء الترجمة Termination of Translation

عند وصول الرايبوسوم إلى أحد كودونات الوقف: (UAA)، أو (UAG)، أو (UGA) في جزيء mRNA، فإنَّ الموقع (A) في الرايبوسوم يستقبل عامل الإطلاق Release factor عوضًا عن جزيء tRNA، فيعمل هذا العامل على تحلُّل الرابطة بين سلسلة عديد الببتيد المُتكوِّنة وجزيء tRNA الموجود في الموقع (P)؛ ما يؤدّي إلى تحرُّر سلسلة عديد الببتيد من الرايبوسوم، ثم انفصال الوحدة البنائية الكبيرة للرايبوسوم، وانفصال بقية المُكوِّنات باستهلاك جزيئين من GTP، أنظر الشكل (39).

✓ **أتحقَّق:** ما مبدأ العمل الذي يعتمد عليه عامل الإطلاق؟



الشكل (39): مرحلة انتهاء الترجمة.

التعبير الجيني Gene Expression

تستطيع الخلية تصنيع آلاف البروتينات المختلفة التي تؤدّي كلٌّ منها وظيفة خاصة بها، غير أنَّ الخلية لا تحتاج إلى هذه البروتينات كلها في الوقت نفسه؛ لذا تَعْمَد إلى تنظيم عملية تصنيع البروتينات، لا سيَّما وقت التصنيع، والكمِّية التي تَلزمها، في عملية تُسمّى **التعبير الجيني Gene Expression**؛ وهي عملية تستخدم فيها الخلية المعلومات الوراثية التي يحملها الجين لبناء جزيء RNA، وتصنيع بروتين يؤدّي وظيفة مُحدَّدة في الخلية.

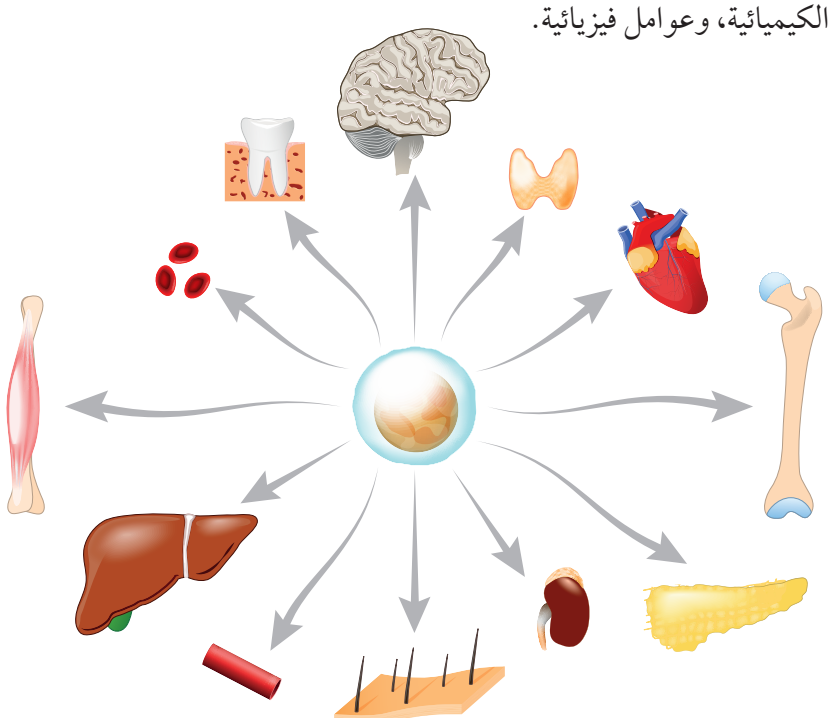
صحيحٌ أنَّ خلايا الكائن الحيِّ عديد الخلايا تحوي كروموسومات تحمل الجينات نفسها، لكنَّ تفعيل التعبير الجيني لجينات مُعيَّنة دون غيرها يُسبِّب اختلاف البروتينات التي تصنعها خلية ما عن تلك التي تصنعها أُخرى، استنادًا إلى الوظيفة التي تؤدّيها كل خلية في الكائن الحيِّ.

يُؤثِّر التعبير الجيني في **تمايز الخلايا Cell Differentiation**. ويُعرَّف التمايز بأنَّه عملية تتحوَّل فيها الخلايا غير المُتخصِّصة إلى خلايا مُتخصِّصة. فمثلًا: في مراحل تكوُّن جنين الإنسان تتمايز الخلايا الناتجة من انقسام الزيجوت إلى خلايا مختلفة الأنواع، منها: خلايا الكبد، والخلايا العصبية، أنظر الشكل (40).

تتطلَّب عملية التمايز هذه تغيير نمط التعبير الجيني في الخلية، فيصبح للخلية نمط مُحدَّد للتعبير الجيني، لا يتغيَّر غالبًا طوال مدَّة حياة الخلية المُتخصِّصة.

يتأثَّر التعبير الجيني في الخلايا بعوامل داخلية (من جسم الكائن الحيِّ نفسه) مثل الهرمونات، وعوامل خارجية (من البيئة المحيطة بالكائن الحيِّ) مثل بعض المواد الكيميائية، وعوامل فيزيائية.

✓ **أتحقَّق:** ما العوامل المُؤثِّرة في عملية التعبير الجيني؟



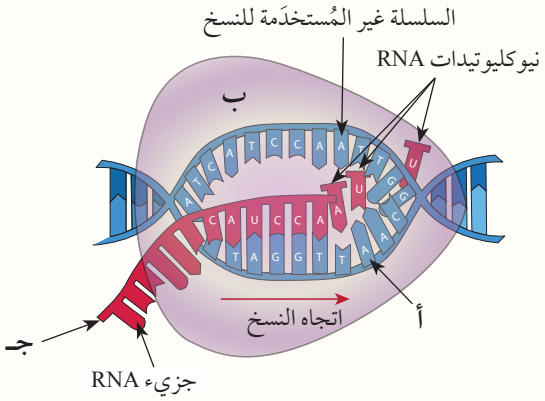
الشكل (40): تمايز الخلايا الجذعية إلى أنواع مختلفة.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** فيمَ يستفاد من اختلاف التعبير الجيني بين الخلايا؟

2. ما المقصود بتضاعف DNA شبه المُحافِظ؟

3. أدرس الشكل الآتي الذي يُبيِّن إحدى خطوات النسخ في عملية تصنيع البروتين، ثم أُجيب عن الأسئلة التي تليه:



أ . ما الخطوة التي يُبيِّنها الشكل؟

ب. ماذا يُمثِّل كلٌّ من الرمز (أ)، والرمز (ب) في الشكل؟

جـ. ما نهاية السلسلة المشار إليها في الشكل بالرمز (جـ)؟

4. **لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أُحدِّدها:**

1. سبب احتواء الخلايا الجديدة على التعليمات الوراثية الكاملة بالرغم من حدوث انقسام، هو:

أ . كلتا سلسلتي DNA أصلية.
ب. تكوُّن سلسلتين جديدتين.
جـ. إحدى سلسلتي DNA أصلية.
د. نسخ الحمض النووي الرايبوزي RNA.

2. ما يمنع عودة ارتباط سلسلتي DNA بعد الانفصال أثناء التضاعف:

أ . الروابط الهيدروجينية.
ب. تنافر البروتينات.
جـ. بروتينات (SSBP).
د. إنزيمات البلمرة.

3. عدد النيوكليوتيدات التي تحويها سلسلة البدء التي تُوفر نهاية '3 حُرَّة، ليقوم إنزيم بلمرة DNA في عمله:

أ . (4-8).
ب. (5-10).
جـ. (4-6).
د . (10-12).

4. إذا كانت نسبة الإنترونات في جزيء mRNA هي (75%)، فإن طول mRNA الناضج بالنسبة إلى mRNA الأولي:

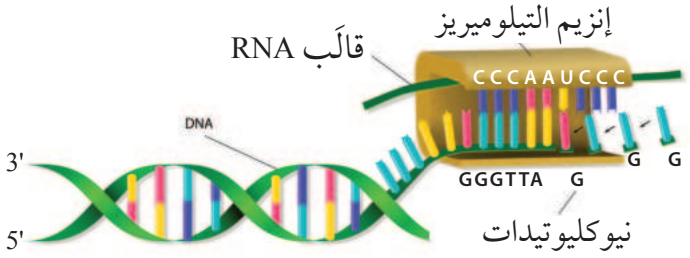
أ . 1/2
ب. 1/4
جـ. ضعفان.
د . أربعة أضعاف.

5. القاعدة النيتروجينية التي تدخل في تركيب جزيء الطاقة اللازم لعملية الترجمة:

أ . الغوانين.
ب. السايتوسين.
جـ. الأدينين.
د . الثايمين.

التيلوميرات Telomeres

توجد في نهاية كروموسومات الخلايا حقيقية النوى سلاسل مُتكرِّرة من النيوكليوتيدات الطرفية غير مُشفِّرة، تعمل على حماية الجينات في نهايات الكروموسومات من الضياع (الشطب) في أثناء الانقسامات المُتكرِّرة للخلية، وتُعرَف باسم التيلومير Telomere.



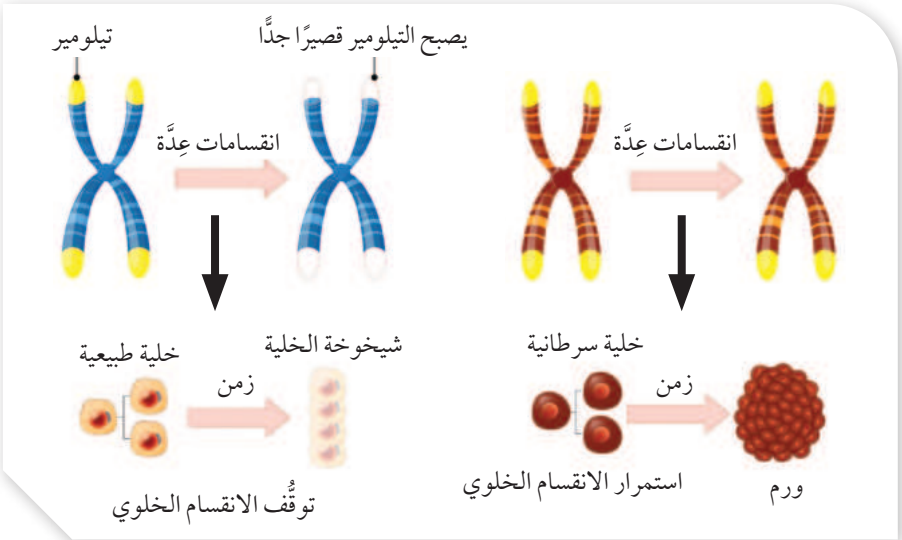
تختلف الكائنات الحيَّة حقيقية النوى في ما بينها من حيث عدد النيوكليوتيدات في التيلومير؛ ففي خلايا الإنسان الجسمية – مثلًا– توجد سلسلة من ستة نيوكليوتيدات ('5-TTAGGG-3')، والسلسلة المكملة لها، تتكرَّر عددًا من المَرّات يتراوح بين (100-1000) مَرَّة.

يوجد أيضًا إنزيم يُسمّى التيلوميريز telomerase، ويتكوَّن من مُعقَّد (بروتين – RNA)، ويستخدم RNA الموجود فيه قالَبًا لإضافة سلسلة مُتكرِّرة من النيوكليوتيدات إلى نهاية 3′ في الكروموسوم، وهو ينشط في الخلايا الجنينية والخلايا الجسمية الجذعية، ولا ينشط في الخلايا الجسمية الطبيعية المُتمايِزة.

بعد إضافة سلسلة مُتكرِّرة إلى نهاية 3′ في الكروموسوم، يضيف إنزيم بلمرة RNA البادئ سلسلة بَدْء إلى السلسلة المُتكرِّرة، ثم يعمل إنزيم بلمرة DNA على إضافة النيوكليوتيدات المُكمِّلة للسلسلة. تتكرَّر هذه العملية مَرّاتٍ عِدَّةً للحفاظ على طول سلسلة التيلومير، إلّا أنَّه لا يُمكِن لمعظم الخلايا الجسمية القيام بهذه العملية؛ نظرًا إلى عدم وجود إنزيم التيلوميريز فيها، فيقل طول سلسلة التيلومير في ظلِّ الانقسامات الخلوية المُتكرِّرة، وتقل قدرتها على الانقسام؛ ما يؤدّي إلى شيخوخة الخلية أو موتها.

يُذكَر أنَّ إنزيم التيلوميريز يكون نشطًا في الخلايا السرطانية؛ ما يحافظ على طول التيلومير فيها، بالرغم من الانقسامات المُتكرِّرة؛ لذا تستمر الخلايا في الانقسام.

أُصمِّم مَطْوِيَّة تَعْرِض دور التيلوميريز في شيخوخة الخلايا.



السؤال الأوَّل:

لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة فقط صحيحة، أُحدِّدها:

1. الطور (المرحلة) الذي تكون فيه الكروموسومات مكوَّنة من كروماتيدات شقيقة هو:
   أ. G1 ب. G2 جـ. S د. M

2. طور الانقسام المتساوي الذي يبدأ فيه الغلاف النووي بالاختفاء هو:
   أ. التمهيدي. ب. الاستوائي.
   جـ. الانفصالي. د. النهائي.

3. طور الانقسام المتساوي الذي يبدأ فيه الغلاف النووي بالظهور هو:
   أ. التمهيدي. ب. الاستوائي.
   جـ. الانفصالي. د. النهائي.

4. طور الانقسام المتساوي الذي تبدأ فيه الخيوط المغزلية الارتباط بالقطع المركزية هو:
   أ. التمهيدي. ب. الاستوائي.
   جـ. الانفصالي. د. النهائي.

5. الإنزيم الذي يُمكِنه تنقيح DNA في أثناء عملية التضاعف هو:
   أ. إنزيم بلمرة DNA.
   ب. إنزيم بلمرة RNA.
   جـ. إنزيم الهيليكيز.
   د. البروتين المُرتبِط بالسلاسل المفردة.

6. يكون الكودون المضاد في جزيء tRNA:
   أ. مُكمِّلًا للكودون في جزيء DNA.
   ب. مُطابِقًا للكودون في جزيء mRNA.
   جـ. مُكمِّلًا للكودون في جزيء mRNA.
   د. مُتماثِلًا لجميع الحموض الأمينية.

7. عدد مواقع ارتباط tRNA في الرايبوسوم هو:
   أ. 1 ب. 2 جـ. 3 د. 4

8. للانقسام المتساوي أهمية مباشرة في كلٍّ ممّا يأتي **باستثناء**:
   أ. النمو.
   ب. التكاثر اللاجنسي.
   جـ. تعويض الأنسجة التالفة.
   د. إنتاج الجاميتات.

9. الإنزيم الذي يفصل سلسلتي DNA هو إنزيم:
   أ. الربط. ب. بلمرة DNA.
   جـ. الهيليكيز. د. بادئ RNA.

10. ينتج من تضاعف جزيء DNA شبه المحافظ جزيئان، يتكوَّن كلٌّ منهما من:
   أ. سلسلتين جديدتين.
   ب. سلسلتين؛ إحداهما جديدة، والأُخرى أصلية.
   جـ. سلسلتين أصليتين.
   د. سلسلتين، كلٌّ منهما تحوي أجزاء جديدة، وأُخرى أصلية.

11. تحدث عملية تضاعف DNA في الخلايا حقيقية النوى في:
   أ. السيتوبلازم. ب. الرايبوسوم.
   جـ. النواة. د. الشبكة الإندوبلازمية.

12. الإنزيم الذي يضيف النيوكليوتيدات المُكمِّلة لنيوكليوتيدات السلسلة الأصلية في أثناء تضاعف DNA هو إنزيم:
   أ. بلمرة RNA. ب. بلمرة DNA.
   جـ. الهيليكيز. د. النيوكلييز.

13. الروابط التي يُحطِّمها إنزيم الهيليكيز بين سلسلتي DNA هي:
   أ. الببتيدية. ب. الأيونية.
   جـ. التساهمية. د. الهيدروجينية.

14. إحدى الآتية صحيحة في ما يتعلَّق بالحمض النووي RNA:
أ. يتكوَّن نتيجة تضاعف DNA.
ب. يتكوَّن من سلسلتين لولبيتين تلتفُّ إحداهما على الأُخرى في الخلايا حقيقية النوى.
جـ. تدخل في تركيبه قاعدة نيتروجينية هي الثايمين.
د. ينتج من عملية النسخ.

15. بعد استخدام الحمض الأميني في أثناء تصنيع البروتين، فإنَّ جزيء tRNA:
أ. ينطلـق مَرَّةً أُخرى، فيرتبط بحمض أميني آخر مناسبٍ للكودون المضاد الذي يحمله.
ب. يُحطَّم مباشرةً.
جـ. يعود إلى النواة، ولا يغادرها.
د. يرتبط بأوَّل حمض أميني يقابله.

16. جميع الآتية صحيحة في ما يتعلَّق بعملية النسخ **باستثناء**:
أ. عدم نسخ جزيء DNA كاملًا، واقتصار العملية على نسخ جينات مُعيَّنة فقط.
ب. استخدام سلسلة واحدة فقط من DNA في عملية النسخ.
جـ. أداء إنزيم بلمرة DNA دورًا في عملية النسخ.
د. اتجاه بناء سلسلة mRNA هو من 5′ إلى 3′.

17. يعمل إنزيم بلمرة DNA على:
أ. ربط قطع أوكازاكي بعضها ببعض.
ب. إضافة نيوكليوتيدات مُكمِّلة لنيوكليوتيدات السلسلة القالَب.
جـ. فكُّ التفاف السلاسل في DNA.
د. إنتاج جزيء RNA أوَّلي.

18. تُكوِّن قطعُ أوكازاكي:
أ. السلسلة المُتأخِّرة.
ب. السلسلة الرائدة.
جـ. جزيء RNA الأوَّلي.
د. سلسلتي DNA.

19. اتجاه استطالة جزيء RNA خلال عملية النسخ هو:
أ. 3′ إلى 5′.
ب. 5′ إلى 3′.
جـ. 3′ إلى 3′.
د. 5′ إلى 5′.

20. اتجاة بناء سلسلة DNA هو:
أ. 3′ إلى 5′.
ب. 5′ إلى 3′.
جـ. 3′ إلى 3′.
د. 5′ إلى 5′.

السؤال الثاني:

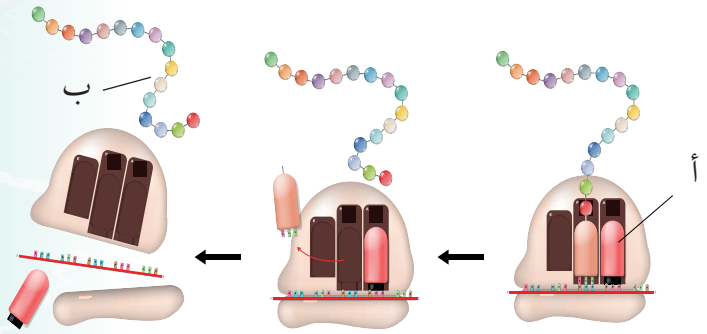
أُقارِن بين كلٍّ ممّا يأتي:

أ- آليَّة التنقيح، وآليَّة تصحيح استئصال النيوكليوتيد من حيث الإنزيمات التي تشترك في كلٍّ منهما.

ب- جزيء mRNA الأوَّلي، وجزيء mRNA الناضج من حيث وجود الإنترونات، ووجود الإكسونات.

السؤال الثالث:

أعتمد الشكل المجاور، وأُجيب عن السؤالين الآتيين:



1. أيُّ مراحل تصنيع البروتينات يُمثِّلها الشكل؟
2. إلامَ يرمز كلٌّ من (أ)، و(ب)؟

السؤال الرابع:

أُوضِّح أهمية tRNA في تصنيع البروتينات.

السؤال الخامس:

أتأمَّل في سلسلة mRNA الناضج الآتية، ثم أُجيب عن السؤالين التاليين:

A U G G U U A G C U A G A U G A C G G C U C C G

1. ما عدد الحموض الأمينية في سلسلة عديد الببتيد الناتجة من ترجمة سلسلة mRNA؟
2. ما عدد جزيئات tRNA التي يُمكِن استخدامها في ترجمة هذه السلسلة؟

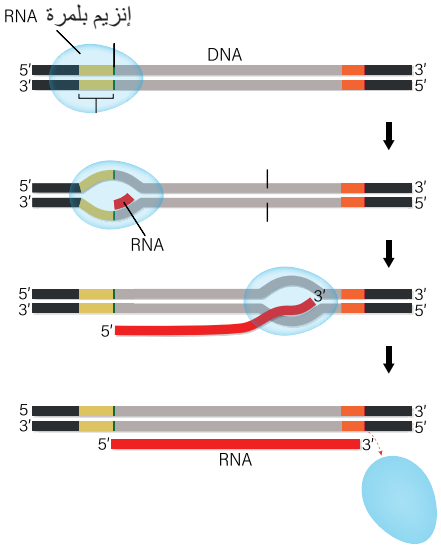
السؤال السادس:

أَصِل بين المصطلح العلمي والوصف المُناسِب له في ما يأتي:

الكودون المضاد	يحمل المعلومات الوراثية من النواة إلى السيتوبلازم.
الرايبوسوم	عملية فكِّ شيفرة mRNA، وتصنيع البروتين.
تضاعف DNA	ثلاث قواعد تكون في إحدى نهايات tRNA .
الكودون	تصنيع mRNA باستعمال إنزيم بلمرة RNA في النواة.
النسخ	ثلاث قواعد تُحدِّد الحمض الأميني الذي سيُستخدَم في أثناء عملية الترجمة.
الترجمة	تحدث فيه عملية الترجمة.
mRNA	يصنع DNA نسخة عن نفسه.

السؤال السابع:

أُوضِّح أيَّ مراحل تصنيع البروتين الرئيسة التي يُمثِّلها الشكل الآتي، وأبيّن خطواتها.



السؤال الثامن:

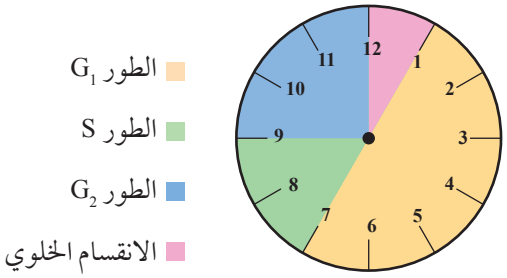
أُنشِئ جدولًا للمقارنة بين الانقسام المتساوي والانقسام المُنصِّف من حيث: الأهمية، وعدد الخلايا الناتجة، ونوع الخلايا التي يحدث فيها الانقسام، وعدد الكروموسومات في الخلايا الناتجة مقارنة بالخلية المُنقسِمة.

السؤال التاسع:

أتوقَّع: إذا حدثت عملية العبور أكثر من مَرَّة خلال الانقسام الواحد، وفي مواقع مختلفة من الكروموسوم نفسه، فما تأثير ذلك في التنوُّع الجيني للكائنات الحيَّة؟

السؤال العاشر:

أدرس الشكل المجاور الذي يُبيِّن دورة خلية يستغرق إكمالها 12 ساعة، ثم أُجيب عن الأسئلة الآتية:



1. ما الطور الذي ستكون فيه الخلية الساعة 6:30؟
2. **أحسُبُ** عدد الدقائق اللازمة لتضاعف DNA.
3. **أتوقَّع:** في أيِّ طور ستكون الخلية بعد 7 ساعات من الساعة 9؟
4. في أيِّ وقت تقريبًا ستحدث عملية الانقسام الخلوي؟
5. في أيِّ وقت/ أوقات يزداد عدد عُضَيّات الخلية؟