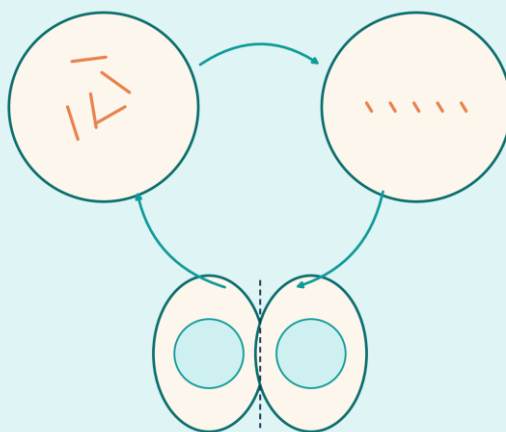


دورة الخلية

Cell Cycle

رحلة داخل الخلية: من النمو إلى الانقسام



صفحة حقوق النشر

عنوان الكتاب: دورة الخلية (Cell Cycle) — كتاب رقمي في الأحياء لطلبة الصف العاشر.

الطبعة: الأولى — أُعدَّ هذا الكتاب الرقمي اعتمادًا على محتوى منهجي أساسي جرى ترتيبه وإعادة صياغته وإثراؤه بمعلومات علمية حديثة، بما يخدم تسلسل المنهج وأهدافه.

جميع الحقوق محفوظة. لا يجوز نسخ أي جزء من هذا الكتاب أو إعادة إنتاجه أو نقله بأي شكل من الأشكال أو بأي وسيلة إلكترونية أو ميكانيكية، بما في ذلك التصوير أو التسجيل أو أي نظام لتخزين المعلومات واسترجاعها، دون إذن خطي مسبق من الجهة المُصدرة، باستثناء الاستخدام التعليمي غير الربحي داخل الغرفة الصفية.

إخلاء مسؤولية: بُذلت العناية اللازمة للتحقق من دقة المعلومات العلمية الواردة في هذا الكتاب حتى تاريخ إصداره، وقد يضيف العلم لاحقًا معطيات جديدة تستدعي المراجعة الدورية للمحتوى.

التصميم والإخراج: منظومة

مقدمة الكتاب

يضع هذا الكتاب الرقمي بين يدي الطالب رحلة علمية مُبسّطة داخل عالم الخلية، ليكتشف كيف تنمو الخلية الواحدة، وكيف تتضاعف مادتها الوراثية، وكيف تنقسم لُتنتج خليتين جديدتين تحملان الصفات الوراثية نفسها. إنّ فهم دورة الخلية ليس مجرد معرفة نظرية، بل هو مفتاح لفهم النمو، والشفاء من الجروح، وحتى فهم كيف تنشأ الأورام والسرطانات.

صُمم هذا الكتاب وفق أحدث معايير التصميم التعليمي الرقمي، بحيث يجمع بين الشرح العلمي الدقيق، والرسوم التوضيحية الملونة، والجداول المقارنة، والأنشطة التفاعلية، وأسئلة التقويم المتدرّجة في الصعوبة، إلى جانب روابط بالحياة اليومية والتطبيقات الصناعية والطبية الحديثة.

نتمنى أن يكون هذا الكتاب رفيقاً ممتعاً ومفيداً في رحلة تعلّم الأحياء.

أهداف التعلم العامة للكتاب

بعد دراسة هذا الكتاب، يُتوقع من الطالب أن يكون قادرًا على أن:

- يوضّح مفهوم دورة الخلية ومراحلها المختلفة.
- يصف أطوار الطور البيني (G1، S، G2) وأطوار الانقسام المتساوي (الطور التمهيدي، الاستوائي، الانفصالي، النهائي).
- يستنتج آلية التنظيم والتحكّم في دورة الخلية، وأهمية نقاط التفتيش الخلوية.
- يميّز بين أنواع الخلايا من حيث سرعة دورتها، وبين طوري السكون الدائم والمؤقت.
- يقارن بين الانقسام الخلوي في الخلية الحيوانية والخلية النباتية.
- يربط بين اختلال دورة الخلية ونشوء الأورام الحميدة والخبيثة (السرطان).
- يوظّف مفاهيم دورة الخلية في تفسير ظواهر حياتية وتطبيقات طبية وصناعية معاصرة.

كيفية استخدام هذا الكتاب

لتحقيق أقصى استفادة من هذا الكتاب الرقمي، يُنصح الطالب باتباع الخطوات التالية:

- ابدأ بقراءة أهداف الفصل في مقدّمته؛ لتكوين صورة عامة عما ستتعلمه.
- اقرأ الشرح العلمي بعناية، ولاحظ الكلمات المفتاحية المظللة، وارجع إلى صناديق المصطلحات كلما احتجت إلى توضيح معنى مصطلح علمي.
- تأمل الأشكال والرسوم التوضيحية جيداً؛ فهي تلخّص أفكاراً معقدة في صورة بصرية سهلة الفهم، وتذكّر أنّ التسميات داخل الرسوم بالإنجليزية بينما الشرح أسفلها بالعربية.
- استعن بالجدول المقارنة لتثبيت الفروقات بين المفاهيم المتشابهة.
- لا تتجاوز صندوق «هل تعلم؟» و«نصيحة صحية»؛ فهما يثران خلفيتك العلمية والصحية.
- راجع خريطة المفاهيم في نهاية الفصل لربط الأفكار ببعضها، ثم اقرأ الملخص لتثبيت أهم النقاط.
- حلّ أسئلة التقويم بتدرّجها من السهل إلى الصعب، وحاول الإجابة عن الأسئلة المفتوحة بأسلوبك الخاص.
- في نهاية الكتاب، اختبر نفسك من خلال الاختبار النهائي الشامل، وراجع إجاباتك باستخدام مفتاح الإجابات.

جدول المحتويات

٣	صفحة حقوق النشر
٤	مقدمة الكتاب
٥	أهداف التعلم العامة للكتاب
٦	كيفية استخدام هذا الكتاب
٧	جدول المحتويات
٩	عزيزي الطالب، يُتَوَقَّع منك بعد دراستك هذا الفصل أن:
٩	٣-١ مفهوم دورة الخلية (Concept of the Cell Cycle)
٩	ماذا يحدث للخلية الناتجة من الانقسام؟
٩	٣-٢ أطوار دورة الخلية (Cell Cycle Stages)
١٠	مراحل الطور البيني
١٠	طور السكون الدائم وطور السكون المؤقت
١١	تنظيم دورة الخلية (Control of Cell Cycle)
١١	٣-٣ انقسام الخلية (Mitotic Phase)
١١	المرحلة الأولى: الانقسام المتساوي (Mitosis)
١٢	المرحلة الثانية: انقسام السيتوبلازم (Cytokinesis)
١٢	٣-٤ الفروق في الانقسام الخلوي بين الخلية النباتية والخلية الحيوانية
١٣	٣-٥ الأورام (Tumours)
١٣	عوامل خطورة محتملة للإصابة بالسرطان
١٣	مربّع المصطلحات العام للفصل
١٤	التطبيقات الحياتية
١٤	التطبيقات الصناعية والطبية
١٤	في الطب
١٤	في التكنولوجيا الحيوية والهندسة الوراثية
١٤	في الصناعات الدوائية والغذائية
١٤	في الزراعة
١٤	في البيئة
١٥	خريطة مفاهيم الفصل
١٥	ملخّص الفصل
١٥	أهم الأفكار
١٥	أهم المصطلحات
١٥	أهم النقاط التي يجب حفظها
١٦	تقويم الفصل الأول
١٦	أولاً: صحّ أو خطأ
١٦	ثانياً: أكمل الفراغ بالكلمة المناسبة
١٦	ثالثاً: اختر الإجابة الصحيحة
١٦	رابعاً: علّل لما يأتي
١٦	خامساً: قارن بين كلّ ممّا يأتي
١٦	سادساً: رتّب
١٧	سابعاً: صلّ كل مصطلح في العمود (أ) بما يناسبه من العمود (ب)

١٧	ثامنًا: فسر / استنتج
١٧	تاسعًا: حلّ الرسم
١٧	عاشرًا: أسئلة تطبيقية
١٧	حادي عشر: أسئلة التفكير الناقد وحل المشكلات
١٧	ثاني عشر: أسئلة مقالية قصيرة
١٧	ثالث عشر: أسئلة مفتوحة للنقاش (دون إجابة محددة)
١٨	الاختبار النهائي الشامل
٢١	مفتاح إجابات الاختبار النهائي
٢٢	المراجع
٢٢	ملاحظة ختامية

دورة الخلية (Cell Cycle)

تختلف خلايا الكائن الحي في سرعة انقسامها، وزمن حدوثه، فهل فكرت يوماً كيف ينمو جسم الكائن الحي، والزمن الذي يستغرقه الانقسام فيه؟ في هذا الفصل سنكتشف معاً الإجابة عن هذا السؤال، من خلال رحلة داخل دورة حياة الخلية.

عزيزي الطالب، يُتوقع منك بعد دراستك هذا الفصل أن:

- توضّح مفهوم دورة الخلية.
- تصف أطوار دورة الخلية.
- تستنتج آلية التنظيم والتحكّم في دورة الخلية، وأهميتها.
- تميّز بين أنواع الخلايا من حيث سرعة دورتها.
- تستنتج مفهوم الانقسام المتساوي، وأهميته.
- تتبّع، وبالرسم، أدوار الانقسام المتساوي.
- تقارن بين الانقسام المتساوي في الخلايا الحيوانية والخلايا النباتية.

هل تعلم؟

يحتاج جسم الإنسان البالغ إلى تكوين نحو ٢٠٠ - ٣٠٠ بليون خلية جديدة يوميًا عن طريق الانقسام المتساوي؛ لتعويض الخلايا الميتة أو التالفة، معظمها من خلايا الدم وخلايا بطانة الأمعاء والجلد.

٣-١ مفهوم دورة الخلية (Concept of the Cell Cycle)

ماذا يحدث للخلية الناتجة من الانقسام؟

بعض الخلايا في أجسام الكائنات الحية، مثل الخلايا العصبية، تفقد القدرة على الانقسام، لماذا؟ أما البعض الآخر، مثل خلايا الجلد في الإنسان، والموادة (المستيمية) في النباتات، فيستمر في الانقسام والنمو، مكوّنًا ما يُعرف بدورة الخلية، التي يمكن تعريفها بأنها: الأطوار المتتابعة والمنظمة من النمو والانقسام التي تحدث للخلية في الفترة الزمنية الواقعة بين انقسامين متتاليين.

ولا تنتقل الخلية من مرحلة إلى أخرى حتى تجهز المركّبات الكيميائية التي تحتاجها للانقسام من حموض أمينية، وليبيدات، وسكريات.

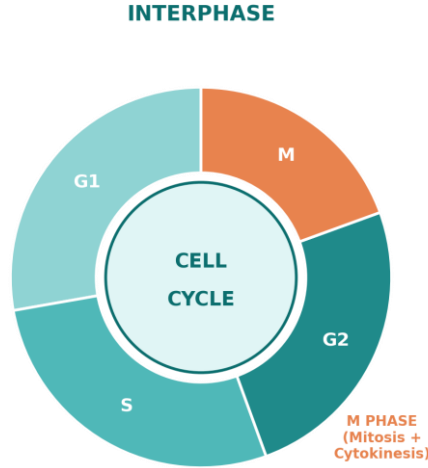
التعريف المبسط	بالإنجليزية	المصطلح
الأطوار المتتابعة والمنظمة من النمو والانقسام التي تمر بها الخلية بين انقسامين متتاليين.	Cell Cycle	دورة الخلية
المرحلة التي تسبق انقسام الخلية، وتشكّل نحو ٩٠٪ من زمن دورة الخلية.	Interphase	الطور البيني
المرحلة التي تنقسم فيها الخلية إلى خليتين، وتشمل الانقسام النووي والانقسام السيتوبلازمي.	Mitotic Phase (M)	طور الانقسام

تطبيق حياتي

سرعة دورة الخلية ليست ثابتة: خلايا بطانة الأمعاء تنقسم كل بضع ساعات لتعويض التآكل المستمر، بينما تحتاج بعض خلايا الكبد أشهرًا أو سنوات لتتقسم مرة أخرى، وهذا يفسّر اختلاف سرعة التئام الأنسجة المختلفة في الجسم.

٣-٢ أطوار دورة الخلية (Cell Cycle Stages)

تمرّ الخلية في دورة حياتها بمرحلتين رئيسيتين، هما: الطور البيني (Interphase) الذي يشكّل نحو ٩٠٪ من دورة الخلية، وطور انقسام الخلية (Mitotic phase) الذي يتكوّن من: الانقسام المتساوي (Mitosis)، وانقسام السيتوبلازم (Cytokinesis).



الشكل (١): دورة خلية حقيقية النواة، وتظهر فيها مراحل الطور البيني (G_1 , S , G_2) ثم طور الانقسام (M).

مراحل الطور البيني

فيما يلي جدول يوضح مميزات كل مرحلة من مراحل الطور البيني، مع أمثلة على الزمن الذي تستغرقه هذه المراحل في أنواع مختلفة من الخلايا:

المرحلة	المميزات	خلية نبات فاصولياء	خلية مولدة للألياف في فأر	خلايا بطانة الأمعاء في الإنسان
النمو الأول The first growth (G_1)	نشاط أبضي عالٍ للخلية، تنمو ويزداد حجمها وعدد عضياتها، بناء حمض RNA وبعض الإنزيمات.	٦	٩	٥
بناء DNA DNA Synthesis (S)	تتضاعف المادة الوراثية DNA، وتستمر الخلية بالنمو، وزيادة عدد عضياتها.	١٢	١٠	٧
النمو الثاني The second growth (G_2)	يستكمل بناء البروتينات وجزيئات RNA، واكتمال زيادة عدد عضيات الخلية، وتخزين كمية زائدة من الطاقة وإنتاج الإنزيمات اللازمة لعملية الانقسام.	٥	٢	٥

من خلال دراستك الجدول السابق، أجب عن الأسئلة الآتية:

١. أيّ المراحل في الطور البيني الأطول زمنًا؟
٢. ما عدد ساعات مراحل الطور البيني في كلّ من: نبات الفاصولياء، والألياف في الفأر، وخلايا بطانة الأمعاء؟
٣. ما النسبة المئوية لهذه المراحل من دورة حياة خلية نبات الفاصولياء، إذا علمت أنّ عدد ساعات طور الانقسام المتساوي لها ساعتان؟

طور السكون الدائم وطور السكون المؤقت

هل تستمر جميع الخلايا بالانقسام دون توقّف؟ تبقى خلايا الدم الحمراء الناضجة، والعضلات الهيكلية، والعصبونات في الإنسان طيلة حياتها في مرحلة النمو الصفري (G_0)، أو «طور السكون الدائم». وهناك نوع آخر من الخلايا، مثل خلايا الكبد، لها قدرة عالية على الانقسام، ولكن لا تنقسم إلّا في حالات خاصة، مثل إصلاح أنسجة الكبد التالفة، أو شفاء جرح فيه، ويُسمّى طور السكون المؤقت، أو مرحلة النمو (G_1).

التعريف المبسط	بالإنجليزية	المصطلح
مرحلة تبقى فيها الخلية طوال حياتها دون انقسام، كالخلايا العصبية وخلايا العضلات الهيكلية.	G0 Phase	السكون الدائم
مرحلة توقف مؤقت عن الانقسام لخلايا قادرة عليه، وتعود الانقسام عند الحاجة كإصلاح الأنسجة.	Quiescence	السكون المؤقت

تنظيم دورة الخلية (Control of Cell Cycle)

يوجد ثلاث نقاط تحكم أو سيطرة خلال انتقال الخلية من مرحلة إلى أخرى عند مراحل (G1، G2، M)، ويتحكم في هذه النقاط عاملان: عامل إنزيمي، وعامل وراثي.

وقد وجد العلماء من خلال زراعة الخلايا في الأوساط الغذائية أن تراكم بروتين السايكلين Cyclin (بروتين منبه بكميات كافية، وارتباطه مع بروتين آخر يؤدي إلى تنشيط الانقسام المتساوي، وبدونه تتوقف عملية الانقسام. ويتأثر هذا التراكم بعوامل، كالهormونات، وحجم الخلية، وموقعها في النسيج، ولهذه العوامل أهمية في بعض العمليات التي تعتمد على انقسام الخلايا في جسم الحيوان، مثل التئام الجروح، وتعويض النقص من الأنسجة، أو انتشار الخلايا السرطانية.

هل تموت الخلية أم تبقى إلى نهاية حياة الإنسان؟ إن تكاثر الخلايا، وحدث الموت الخلوي المبرمج (Programmed cell death) هما عمليتان أساسيتان وضروريتان لتجديد الأنسجة، وثباتها في جسم الإنسان وغيره من الحيوانات. وتتضمن كل منهما سلسلة من العمليات، والخطوات المنظمة التي تتحكم بها دورة الخلية. ويتم من خلالهما موت منسق ومنظم للخلايا غير اللازمة، وتجديد ونمو ما يحتاجه الجسم منها.

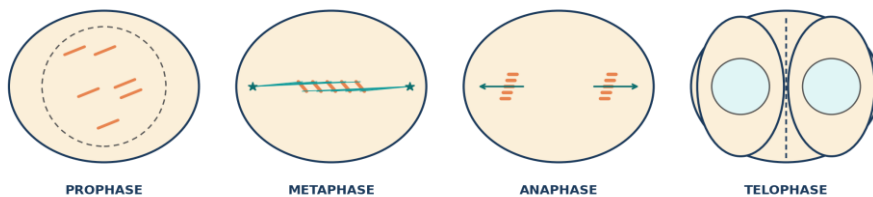
التعريف المبسط	بالإنجليزية	المصطلح
نقاط تحكم عند نهاية مراحل G1 و G2 و M تتأكد فيها الخلية من سلامة الظروف قبل الانتقال للمرحلة التالية.	Checkpoints	نقاط التفتيش
بروتين منبه يترام داخل الخلية ويرتبط بإنزيم آخر لتنشيط عملية الانقسام المتساوي.	Cyclin	السايكلين
عملية منظمة يموت خلالها عدد من الخلايا غير اللازمة، للحفاظ على توازن عدد الخلايا في الجسم.	Programmed Cell Death (Apoptosis)	الموت الخلوي المبرمج

٣-٣ انقسام الخلية (Mitotic Phase)

يتكون طور انقسام الخلية من مرحلتين: مرحلة الانقسام المتساوي (الانقسام النووي)، يليه الانقسام السيتوبلازمي.

المرحلة الأولى: الانقسام المتساوي (Mitosis)

يحدث الانقسام المتساوي في الخلايا الجسمية، ويطلق عليه في الكائنات وحيدة الخلية -مثل الأميبا والبراميسيوم- الانشطار الثنائي، والهدف منه: التكاثر، وزيادة العدد في الكائنات وحيدة الخلية، والنمو، وإصلاح الخلايا التالفة، أو تجديد الخلايا والأنسجة في الكائنات متعددة الخلايا.



الشكل (٢): أدوار الانقسام المتساوي (النووي) الأربعة بالترتيب من التمهيد إلى النهائي.

أهم ما يحدث فيه	الدور
أطول أدوار انقسام الخلية؛ إذ يستغرق أكثر من نصف زمن الانقسام كله. تبدأ فيه الكروموسومات بالتمايز مكونة خيوطاً رفيعة، تتضاعف على شكل كروماتيدين شقيقين يرتبطان بالسنترومير. يتحرك الجسم المركزي (السنتروسوم) نحو قطبي الخلية، وينشأ الغلاف المغزلي، ويبدأ الغلاف النووي بالتحلل وتختفي النوية.	الدور التمهيدي Prophase
تصطف الكروموسومات فرادى في وسط الخلية، مرتبطة بالخيوط المغزلية بواسطة السنترومير.	الدور الاستوائي Metaphase
أقصر الأدوار زمناً؛ يفصل السنترومير وتتباع الكروماتيدات الشقيقة إلى كروموسومات منفردة، وتتكمش الخيوط المغزلية ساحبة كل كروموسوم نحو أحد قطبي الخلية.	الدور الانفصالي Anaphase
تبدأ خيوط المغزل بالاختفاء، ويبدأ التخصر في السيتوبلازم، ويتكون جسم مركزي جديد في كل قطب، ويظهر الغشاء النووي والنوية من جديد. وفي نهاية هذا الدور يحدث انقسام السيتوبلازم.	الدور النهائي Telophase

من أدوار الانقسام المتساوي السابقة، أجب عن الآتي:

٤. كم عدد الخلايا الناتجة عن هذا الانقسام؟
٥. كم عدد الكروموسومات الناتج في كل خلية جديدة؟

المرحلة الثانية: انقسام السيتوبلازم (Cytokinesis)

يتم انقسام السيتوبلازم في نهاية الدور النهائي من أدوار الانقسام المتساوي في الخلية الحيوانية، وفيه يزداد تخصر السيتوبلازم، ليمتد إلى وسط الخلية حتى يتم انفصاله إلى قسمين، يحيط كل منهما بنواة تحتوي على العدد نفسه من الكروموسومات التي تظهر أقل وضوحاً.

التعريف المبسط	بالإنجليزية	المصطلح
أحد القسمين المتطابقين المكونين للكروموسوم المتضاعف، ويرتبطان معاً بالسنترومير.	Chromatid	الكروماتيد
خيوط بروتينية تتكون أثناء الانقسام وتسحب الكروموسومات نحو قطبي الخلية.	Spindle Fibers	المغزل
القطعة المركزية التي ترتبط بها الكروماتيدات الشقيقة، وتلتصق بها الخيوط المغزلية.	Centromere	السنترومير

٤-٣ الفروق في الانقسام الخلوي بين الخلية النباتية والخلية الحيوانية

رغم التشابه الكبير بين الانقسام في الخليتين، إلا أن هناك فروقاً جوهرية، أهمها طريقة انقسام السيتوبلازم، وموقع ظهور خيوط المغزل، كما يوضح الجدول الآتي:

الخلية الحيوانية	الخلية النباتية	وجه المقارنة
يتخصر السيتوبلازم تدريجياً حتى ينقسم مكوناً خليتين جديدتين، دون تكون صفيحة خلوية أو جدار.	تتكون الصفيحة الخلوية من وسط الخلية وتمتد إلى أطرافها، إذ ترسب مادة الجدار الابتدائي على جانبي الصفيحة الوسطى، مكونة خليتين جديدتين، ثم يتكون جدار خلوي.	طريقة انقسام السيتوبلازم
تظهر الخيوط المغزلية من المراكز الموجودة في قطبي الخلية.	لا تحتوي على مراكز (سنتريولات)، وتظهر خيوط المغزل من الأنبيبات الدقيقة الموجودة في الهيكل الخلوي في وسط الخلية.	موقع ظهور خيوط المغزل

قارن

لاحظ أنّ غياب الجدار الخلوي في الخلية الحيوانية هو ما يسمح للسيتوبلازم بالتخصّر (كما يحدث عند عصر بالون طويل من المنتصف)، بينما وجود الجدار في الخلية النباتية يفرض تكوين صفيحة خلوية جديدة بدلاً من التخصّر.

٣-٥ الأورام (Tumours)

ماذا يحدث للخلية عندما تفقد سيطرتها على الانقسام الخلوي؟ في بعض الحالات قد تفقد الخلية سيطرتها على التنظيم والتحكم بالانقسام الخلوي، فتبدأ بسلسلة انقسامات غير منظّمة، ينتج عنها كتلّ غير طبيعية من الخلايا تُسمّى الورم (Tumour)، وهناك نوعان منه: ورم خبيث، أو السرطان (Cancer) الذي تنتشر خلاياه في الجسم، وورم غير خبيث.

وجه المقارنة	الورم غير الخبيث (Benign)	الورم الخبيث / السرطان (Malignant)
الانتشار	يبقى موضعياً ولا ينتشر إلى الأنسجة المجاورة أو الأعضاء البعيدة.	تنتشر خلاياه إلى الأنسجة المجاورة والأعضاء البعيدة عبر الدم أو الجهاز اللمفاوي.
حجم الأنوية	أنوية طبيعية الحجم تقريباً.	أنوية أكبر حجماً وغير منتظمة الشكل غالباً.
سرعة الانقسام	بطيئة نسبياً ومحدودة.	سريعة وغير محدودة.
الخطورة	أقل خطورة، ويمكن استئصاله غالباً دون عودته.	خطير، ويحتاج علاجاً نوعياً (جراحة، علاج كيميائي أو إشعاعي).

يصيب هذا المرض جميع أعضاء الجسم تقريباً، خصوصاً الأنسجة الطلائية؛ لماذا؟ يُعزى تحوّل الخلايا السليمة إلى خلايا سرطانية إلى حدوث تغييرات في المادة الجينية المورثة.

عوامل خطورة محتملة للإصابة بالسرطان

- التدخين والتعرّض لدخانته بشكل متكرر.
- التعرّض المفرط للإشعاعات (كأشعة الشمس فوق البنفسجية أو الأشعة السينية).
- بعض العوامل الوراثية والطفرات الجينية الموروثة.
- العدوى ببعض الفيروسات (مثل فيروس الورم الحليمي البشري HPV).
- التعرّض لبعض المواد الكيميائية المسرطنة، وسوء التغذية، وقلة النشاط البدني.

نشاط بحثي

تعدّ الشامات في جسم الإنسان نوعاً من أنواع الأورام غير الخبيثة غالباً. ابحث في هذا التنوع، وناقش ما توصلت إليه مع زملائك، مبيّناً متى تستدعي الشامة استشارة طبية.

مربّع المصطلحات العام للفصل

المصطلح	بالإنجليزية	التعريف المبسّط
الكروموسوم	Chromosome	بنية خيطية تحمل المادة الوراثية (DNA) داخل نواة الخلية.
الانقسام المتساوي	Mitosis	انقسام نووي ينتج عنه خليتان متطابقتان وراثياً مع الخلية الأصلية.
الانقسام السيتوبلازمي	Cytokinesis	انقسام السيتوبلازم بعد الانقسام النووي، لتكوين خليتين مستقلتين.
الانشطار الثنائي	Binary Fission	طريقة تكاثر لا جنسي في الكائنات وحيدة الخلية، تُنتج خليتين متطابقتين.

التطبيقات الحياتية

- التئام الجروح: تنقسم الخلايا الجلدية المحيطة بالجرح بسرعة لتغطية المنطقة المصابة وإصلاحها.
- النمو الطبيعي للجسم من مرحلة الطفولة حتى البلوغ يعتمد على انقسامات متساوية متتالية.
- تجديد بطانة الأمعاء وخلايا الجلد وخلايا الدم بصورة مستمرة للحفاظ على وظائف الجسم.
- نمو النباتات، وتكوّن الأنسجة الجديدة من الخلايا المرستيمية في القمم النامية والجذور.

التطبيقات الصناعية والطبية

في الطب

يُعتمد على فهم دورة الخلية في تشخيص الأورام وتحديد سرعة نموها، وفي تصميم بعض العلاجات الكيميائية التي تستهدف الخلايا سريعة الانقسام (كخلايا السرطان) لإيقاف انقسامها.

في التكنولوجيا الحيوية والهندسة الوراثية

تُستخدم زراعة الخلايا وتحفيز انقسامها في إنتاج الأنسجة الحيوية، واستنساخ الخلايا الجذعية، وإنتاج بروتينات علاجية كالإنسولين عبر خلايا معدلة وراثيًا.

في الصناعات الدوائية والغذائية

يعتمد إنتاج بعض الأمصال واللقاحات على تنمية خلايا أو فيروسات ضمن مزارع خلوية مضبوطة السرعة والانقسام، كما تُستخدم الخمائر وانقسامها السريع في صناعات التخمر الغذائي.

في الزراعة

يُستفاد من الانقسام السريع للخلايا المرستيمية في إكثار النباتات بطريقة زراعة الأنسجة (Tissue Culture) لإنتاج نسخ متطابقة وراثيًا من نباتات ذات صفات مرغوبة.

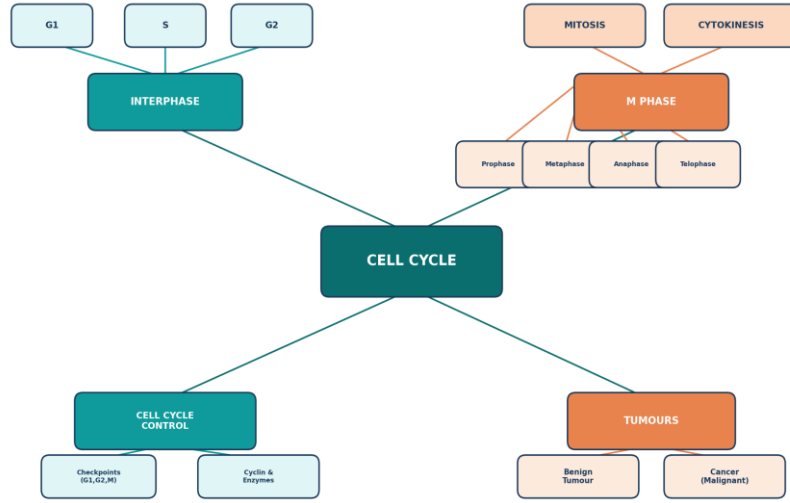
في البيئة

تُستخدم بعض الكائنات وحيدة الخلية سريعة الانقسام في معالجة المياه العادمة وتحليل الملوثات الحيوية.

نصيحة صحية

الفحص الدوري المبكر (مثل تصوير الثدي بجهاز الماموغرافي بعد سن الأربعين) يساعد على اكتشاف أي انقسام خلوي غير طبيعي في مراحله الأولى، ما يرفع فرص العلاج الناجح بإذن الله.

خريطة مفاهيم الفصل



خريطة مفاهيمية تلخص العلاقة بين دورة الخلية وأطوارها، وأدوار الانقسام المتساوي، وتنظيم الدورة، والأورام.

ملخص الفصل

أهم الأفكار

- دورة الخلية هي الأطوار المتتابعة من النمو والانقسام بين انقسامين متتاليين، وتتكون من الطور البيني (G1, S, G2) و طور الانقسام (M).
- الطور البيني يشكّل نحو ٩٠٪ من زمن دورة الخلية، وفيه تنمو الخلية وتضاعف DNA وتستعد للانقسام.
- طور الانقسام (M) يتكوّن من الانقسام المتساوي (النووي) بأدواره الأربعة، ثم الانقسام السيتوبلازمي.
- تتحكّم في انتقال الخلية بين مراحل دورتها نقاط تفتيش عند G1 و G2 و M، بمساعدة عوامل إنزيمية ووراثية أهمها بروتين السايكلين.
- تختلف الخلية الحيوانية عن النباتية في طريقة انقسام السيتوبلازم وموقع نشوء الخيوط المغزلية.
- فقدان الخلية السيطرة على انقسامها قد يؤدي إلى نشوء أورام حميدة أو خبيثة (سرطان).

أهم المصطلحات

دورة الخلية — الطور البيني — طور الانقسام — الكروماتيد — السنترومير — المغزل — السايكلين — نقاط التفتيش — الموت الخلوي المبرمج — الانشطار الثنائي — الورم — السرطان.

أهم النقاط التي يجب حفظها

- ترتيب مراحل الطور البيني: G1 ثم S ثم G2.
- ترتيب أدوار الانقسام المتساوي: تمهيدي، استوائي، انفصالي، نهائي.
- الفرق بين طور السكون الدائم (G0) و طور السكون المؤقت.
- الفرق بين انقسام السيتوبلازم في الخليتين النباتية والحيوانية.

تقويم الفصل الأول

تدرّج الأسئلة الآتية من المستوى السهل إلى المتوسط ثم الصعب، وتغطّي مستويات بلوم المعرفية المختلفة، من التذكّر والفهم إلى التحليل والتقييم والإبداع.

أولاً: صحّ أو خطأ

١. يشكّل الطور البيني نحو ٩٠٪ من زمن دورة الخلية. ()
٢. تبقى الخلايا العصبية والعضلات الهيكلية قادرة على الانقسام طوال حياة الإنسان. ()
٣. يُعدّ الدور الاستوائي أطول أدوار الانقسام المتساوي زمناً. ()
٤. تتكوّن الصفيحة الخلوية أثناء انقسام السيتوبلازم في الخلية الحيوانية. ()
٥. جميع الأورام خبيثة وتنتشر إلى أعضاء الجسم المختلفة. ()

ثانياً: أكمل الفراغ بالكلمة المناسبة

١. يُطلق على انقسام الكائنات وحيدة الخلية اسم
٢. تسمّى القطعة المركزية التي ترتبط بها الكروماتيدات الشقيقة
٣. يُسمّى البروتين الذي يترام وينشّط الانقسام المتساوي
٤. يُطلق على مرحلة النمو الصفري التي تبقى فيها بعض الخلايا دون انقسام طوال حياتها اسم

ثالثاً: اختر الإجابة الصحيحة

١. ما ترتيب أدوار الانقسام المتساوي الصحيح؟ أ. استوائي - تمهيدي - انفصالي - نهائي ب. تمهيدي - استوائي - انفصالي - نهائي ج. تمهيدي - انفصالي - استوائي - نهائي د. نهائي - تمهيدي - استوائي - انفصالي
٢. أيّ العبارات الآتية تصف الدور الانفصالي بدقّة؟ أ. اصطاف الكروموسومات في وسط الخلية ب. انفصال السنتروميير وتباعد الكروماتيدات الشقيقة ج. اختفاء الغلاف النووي د. تكوّن جسم مركزي جديد
٣. ماذا يحدث لو تراكم بروتين السايكلين دون أن يرتبط بالبروتين الآخر المنشّط؟ أ. يتسارع الانقسام المتساوي ب. تتوقف عملية الانقسام ج. يحدث الانقسام السيتوبلازمي فقط د. تدخل الخلية في السكون الدائم مباشرة

رابعاً: علّل لما يأتي

١. بقاء الخلايا العصبية في مرحلة السكون الدائم (G0) طوال حياة الإنسان.
٢. اعتماد بعض العلاجات الكيميائية للسرطان على استهداف الخلايا سريعة الانقسام.
٣. عدم انتقال الخلية من مرحلة إلى أخرى في دورتها قبل اكتمال المتطلبات الكيميائية اللازمة.

خامساً: قارن بين كلّ ممّا يأتي

١. قارن بين الانقسام المتساوي في الخلية النباتية والخلية الحيوانية من حيث طريقة انقسام السيتوبلازم.
٢. قارن بين الورم الحميد والورم الخبيث من حيث الانتشار وسرعة الانقسام.
٣. قارن بين طور السكون الدائم وطور السكون المؤقت.

سادساً: رتّب

١. رتّب الأحداث الآتية حسب حدوثها في الانقسام المتساوي: (انفصال الكروموسومات - اصطاف الكروموسومات - بداية ظهور الخيوط المغزلية - ظهور النوية من جديد).
٢. رتّب مراحل الطور البيني حسب تسلسلها الزمني: (بناء DNA - النمو الثاني - النمو الأول).

سابعًا: صل كل مصطلح في العمود (أ) بما يناسبه من العمود (ب)

العمود (ب)	العمود (أ)
أ. بروتين ينشط الانقسام المتساوي	١. السنتروميير
ب. انقسام لا جنسي في الكائنات وحيدة الخلية	٢. السايكلين
ج. نقطة ارتباط الكروماتيدات الشقيقة	٣. الانشطار الثنائي
د. موت خلوي منظم ومبرمج	٤. الأبوتوزيس

ثامنًا: فسّر / استنتج

١. فسّر لماذا يُعدّ الدور التمهيدي أطول أدوار الانقسام المتساوي زمنًا.
٢. استنتج أهمية وجود نقاط تفتيش في دورة الخلية بالنسبة لسلامة الكائن الحي.
٣. استنتج ماذا يحدث لو فقدت إحدى الخلايا قدرتها على الدخول في الموت الخلوي المبرمج.

تاسعًا: حلّ الرسم

١. بالنظر إلى الشكل (٢) الذي يوضح أدوار الانقسام المتساوي، حدّد الدور الذي تكون فيه الكروموسومات مصطفة في منتصف الخلية، واذكر الدور الذي يليه مباشرة.
٢. في الشكل (١) لدورة الخلية، أيّ قطاع من الدائرة يمثل أطول مدة زمنية؟ وأيها يمثل أقصرها؟

عاشرًا: أسئلة تطبيقية

١. انقسمت خلية في ورقة نبات عدد كروموسوماتها (١٢) كروموسومًا: ما نوع الانقسام في هذه الخلية؟ وكم عدد الخلايا الناتجة؟ وما عدد الكروموسومات في كل خلية ناتجة؟
٢. إذا استغرق الطور البيني في خلية معينة ٢٠ ساعة، وكانت نسبته ٩٠٪ من زمن دورة الخلية كاملة، فاحسب زمن دورة الخلية الكلي وزمن طور الانقسام (M).

حادي عشر: أسئلة التفكير الناقد وحل المشكلات

١. اقترح تفسيرًا علميًا لسبب ازدياد معدل انقسام الخلايا الجلدية بعد التعرّض لجرح، مقارنة بالحالة الطبيعية.
٢. لو اكتشف طبيب أن أحد المرضى لديه ورم تنقسم خلاياه بسرعة غير محدودة دون توقّف عند نقاط التفتيش، ما التفسير العلمي المحتمل؟ وما نوع الورم الأقرب لهذه الحالة؟

ثاني عشر: أسئلة مقالية قصيرة

١. اكتب فقرة قصيرة تشرح فيها العلاقة بين دورة الخلية والتئام الجروح.
٢. اشرح بأسلوبك الخاص كيف يمكن لخلل بسيط في تنظيم دورة الخلية أن يتطوّر إلى مرض خطير كالسرطان.

ثالث عشر: أسئلة مفتوحة للنقاش (دون إجابة محددة)

- ما رأيك في أهمية الفحص الدوري المبكر للكشف عن الأورام؟ ناقش ذلك مع زملائك وأسرتك.
- لو استطاع العلماء التحكم الكامل في دورة الخلية، كيف يمكن أن يُستثمر ذلك في علاج الشيخوخة أو الأمراض المزمنة؟ برأيك، ما التحديات الأخلاقية المحتملة لذلك؟

الاختبار النهائي الشامل

يتكوّن هذا الاختبار من (٥٠) سؤالاً من نوع الاختيار من متعدد، لكل سؤال أربعة بدائل، وإجابة صحيحة واحدة فقط. اقرأ كل سؤال جيداً قبل اختيار الإجابة، وضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة.

١. دورة الخلية هي:
 - أ. عملية انتقال الخلية من مرحلة G1 إلى G2 فقط
 - ب. الأطوار المتتابعة والمنظمة من النمو والانقسام بين انقسامين متتاليين
 - ج. عملية موت الخلية المبرمج فقط
 - د. انقسام السيتوبلازم دون انقسام النواة
٢. أي مما يأتي يشكّل نحو ٩٠٪ من زمن دورة الخلية؟
 - أ. طور الانقسام M
 - ب. الطور البيئي
 - ج. الدور الانفصالي
 - د. الانقسام السيتوبلازمي
٣. في أي مرحلة من الطور البيئي تتضاعف المادة الوراثية DNA؟
 - أ. G1
 - ب. S
 - ج. G2
 - د. M
٤. خلال مرحلة G1 تقوم الخلية بشكل رئيس بـ:
 - أ. تضاعف الحمض النووي
 - ب. النمو وزيادة الحجم وبناء الإنزيمات
 - ج. انفصال الكروماتيدات
 - د. تكوين الصفيحة الخلوية
٥. المرحلة التي يكتمل فيها بناء البروتينات وتخزين الطاقة استعداداً للانقسام هي:
 - أ. G1
 - ب. S
 - ج. G2
 - د. Prophase
٦. الخلايا التي تبقى في مرحلة النمو الصفري (G0) طوال حياة الكائن الحي مثل:
 - أ. خلايا الكبد
 - ب. الخلايا العصبية
 - ج. خلايا بطانة الأمعاء
 - د. الخلايا المرستيمية
٧. يُطلق على توقف بعض الخلايا القادرة على الانقسام مؤقتاً، كخلايا الكبد، اسم:
 - أ. السكون الدائم
 - ب. السكون المؤقت
 - ج. الانشطار الثنائي
 - د. الأوبوتوزيس
٨. عدد نقاط التحكم أو السيطرة الرئيسية في دورة الخلية:
 - أ. واحدة
 - ب. اثنتان
 - ج. ثلاث
 - د. أربع
٩. البروتين الذي يتراكم في الخلية ويرتبط بإنزيم آخر لتنشيط الانقسام المتساوي هو:
 - أ. الكيراتين
 - ب. الهيموغلوبين
 - ج. السايكلين
 - د. الأكتين
١٠. العملية المسؤولة عن الموت المنظم للخلايا غير اللازمة تسمى:
 - أ. الانشطار الثنائي
 - ب. الموت الخلوي المبرمج
 - ج. التمايز الخلوي
 - د. التنفس الخلوي
١١. يتكوّن طور الانقسام (M) من مرحلتين هما:
 - أ. G1 و G2
 - ب. S و G2
 - ج. الانقسام المتساوي والانقسام السيتوبلازمي
 - د. التمهيدي والاستوائي فقط
١٢. يُطلق على انقسام الكائنات وحيدة الخلية مثل الأميبا اسم:
 - أ. الانقسام الاختزالي
 - ب. الانشطار الثنائي
 - ج. التبرعم
 - د. الإخصاب
١٣. أطول أدوار الانقسام المتساوي زمناً هو:
 - أ. التمهيدي
 - ب. الاستوائي
 - ج. الانفصالي
 - د. النهائي
١٤. في الدور التمهيدي، تبدأ الكروموسومات بـ:
 - أ. الاصطفاف في وسط الخلية
 - ب. التمايز وتكوين خيوط رفيعة متضاعفة
 - ج. الانفصال إلى قطبي الخلية
 - د. الاختفاء نهائياً
١٥. القطعة المركزية التي ترتبط بها الكروماتيدات الشقيقة تسمى:
 - أ. السنتروسوم
 - ب. السنتروميير
 - ج. الرايبوسوم
 - د. الميتوكوندريا

١٦. في الخلايا الحيوانية، ينشأ الخيط المغزلي من:
 - أ. الأنابيبات الدقيقة في الهيكل الخلوي
 - ب. الجسم المركزي (السنترسوم)
 - ج. جدار الخلية
 - د. النوية
١٧. في الخلايا النباتية، تنشأ الخيوط المغزلية من:
 - أ. المريكزات (السنترولات)
 - ب. الأنابيبات الدقيقة في الهيكل الخلوي
 - ج. الصفيحة الوسطى
 - د. الفجوة العنصرية
١٨. الدور الذي تصطف فيه الكروموسومات فرادى في وسط الخلية هو:
 - أ. التمهيدي
 - ب. الاستوائي
 - ج. الانفصالي
 - د. النهائي
١٩. أقصر أدوار الانقسام المتساوي زمناً هو:
 - أ. التمهيدي
 - ب. الاستوائي
 - ج. الانفصالي
 - د. النهائي
٢٠. في الدور الانفصالي، ما الذي ينفصل ليؤدي إلى تباعد الكروماتيدات؟
 - أ. الغشاء النووي
 - ب. السنترومير
 - ج. جدار الخلية
 - د. الغلاف المغزلي
٢١. في نهاية الدور النهائي (Telophase) يبدأ:
 - أ. اختفاء الغلاف النووي
 - ب. ظهور الغلاف النووي والنوية من جديد
 - ج. تضاعف DNA
 - د. اصطاف الكروموسومات في الوسط
٢٢. انقسام السيتوبلازم بعد انتهاء الانقسام النووي يسمى:
 - أ. Mitosis
 - ب. Cytokinesis
 - ج. Meiosis
 - د. Apoptosis
٢٣. في الخلية الحيوانية، ينقسم السيتوبلازم عن طريق:
 - أ. تكون صفيحة خلوية وسطى
 - ب. التخصر التدريجي حتى الانفصال
 - ج. تكون جدار خلوي جديد
 - د. ذوبان الغشاء الخلوي بالكامل
٢٤. في الخلية النباتية، ينقسم السيتوبلازم عن طريق:
 - أ. التخصر التدريجي
 - ب. تكون صفيحة خلوية تمتد من وسط الخلية إلى أطرافها
 - ج. انكماش الغشاء الخلوي من الأطراف نحو المركز
 - د. ظهور مريكزات جديدة
٢٥. أحد أوجه الاختلاف بين الخلية النباتية والحيوانية في الانقسام هو:
 - أ. عدد الكروموسومات الناتجة
 - ب. موقع ظهور خيوط المغزل
 - ج. عدد مراحل الطور البيئي
 - د. نوع الحمض النووي
٢٦. الهدف من الانقسام المتساوي في الكائنات وحيدة الخلية هو:
 - أ. التكاثر وزيادة العدد
 - ب. إنتاج خلايا جنسية
 - ج. تقليل عدد الكروموسومات إلى النصف
 - د. دمج خليتين في خلية واحدة
٢٧. الهدف من الانقسام المتساوي في الكائنات متعددة الخلايا يشمل:
 - أ. إنتاج الأمشاج فقط
 - ب. النمو وإصلاح الخلايا التالفة وتجديد الأنسجة
 - ج. تقليل عدد الخلايا
 - د. تكوين الخلايا الجنسية فقط
٢٨. أهمية الانقسام المتساوي أنه:
 - أ. يزيد عدد خلايا الجسم دون تغيير المادة الوراثية لهذه الخلايا
 - ب. وسيلة للتكاثر الجنسي
 - ج. يختزل عدد الكروموسومات إلى النصف
 - د. ينتج خلايا مختلفة وراثياً عن الخلية الأصلية
٢٩. الكتلة غير الطبيعية من الخلايا الناتجة عن فقدان السيطرة على الانقسام تسمى:
 - أ. النسيج
 - ب. الورم
 - ج. العضو
 - د. الجهاز
٣٠. الورم الذي تنتشر خلاياه إلى أعضاء الجسم المختلفة يسمى:
 - أ. ورمًا حميدًا
 - ب. ورمًا خبيثًا (سرطانًا)
 - ج. نسيجًا طبيعيًا
 - د. نسيجًا مرستميًا
٣١. من صفات الورم غير الخبيث أنه:
 - أ. ينتشر إلى أعضاء بعيدة
 - ب. يبقى موضعيًا ولا ينتشر عادة
 - ج. أنويته كبيرة جدًا وغير منتظمة
 - د. ينقسم بلا حدود زمنية
٣٢. غالبًا ما يصيب السرطان الأنسجة الطلائية بسبب:
 - أ. بطء انقسام خلاياها
 - ب. ارتفاع معدل انقسام خلاياها
 - ج. خلوها من النواة
 - د. عدم احتوائها على DNA
٣٣. السبب المباشر لتحوّل الخلايا السليمة إلى خلايا سرطانية هو:
 - أ. ...

- أ. نقص الماء في الخلية ب. تغيرات في المادة الجينية المورثة ج. زيادة عدد الميتوكوندريا د. نقص الأكسجين فقط
٣٤. أي مما يأتي يُعدّ عامل خطورة محتملاً للإصابة بالسرطان؟
أ. التغذية المتوازنة ب. التدخين والتعرض المفرط للإشعاع ج. ممارسة الرياضة بانتظام د. شرب كمية كافية من الماء
٣٥. الجهاز المستخدم للكشف المبكر عن سرطان الثدي هو:
أ. المجهر الإلكتروني ب. جهاز الماموغرافي ج. جهاز قياس ضغط الدم د. جهاز تخطيط القلب
٣٦. خلية بها ١٢ كروموسومًا انقسمت انقسامًا متساويًا؛ عدد الكروموسومات في كل خلية ناتجة هو:
أ. ٦ ب. ١٢ ج. ٢٤ د. ٣
٣٧. خلية بها ١٢ كروموسومًا انقسمت انقسامًا متساويًا؛ عدد الخلايا الناتجة هو:
أ. واحدة ب. اثنتان ج. ثلاث د. أربع
٣٨. إذا كان الطور البيني يشكّل ٩٠٪ من دورة خلية مدتها ٢٠ ساعة، فإن مدة طور الانقسام M تساوي:
أ. ساعة واحدة ب. ساعتان ج. ١٨ ساعة د. ١٠ ساعات
٣٩. أي العبارات الآتية تصف الكروماتيد وصفًا دقيقًا؟
أ. مادة كثيفة داخل الغلاف النووي لخلية لا تنقسم ب. أحد القسمين المتطابقين المكوّنين للكروموسوم ج. عضيات صغيرة على الشبكة الإندوبلازمية د. كروموسوم منفرد غير متضاعف
٤٠. الفترة الزمنية ما بين انقسامين متتاليين للخلية تسمى:
أ. الطور البيني فقط ب. دورة الخلية ج. الطور الاستوائي د. الانشطار الثنائي
٤١. من العوامل التي تتحكّم في نقاط التفطيش بدورة الخلية:
أ. العامل الإنزيمي والعامل الوراثي فقط ب. درجة حرارة الجو الخارجي فقط ج. لون الخلية د. عدد الأشقاء في العائلة
٤٢. تُستخدم زراعة الأنسجة في الزراعة للاستفادة من:
أ. بطء انقسام الخلايا المرستيمية ب. سرعة انقسام الخلايا المرستيمية لإنتاج نسخ متطابقة وراثيًا ج. توقف الخلايا عن الانقسام د. تحويل الخلايا النباتية إلى خلايا حيوانية
٤٣. بعض العلاجات الكيميائية للسرطان تستهدف بشكل رئيس:
أ. الخلايا بطيئة الانقسام فقط ب. الخلايا سريعة الانقسام ج. الخلايا العصبية فقط د. خلايا العظام فقط
٤٤. ترتيب مراحل الطور البيني الصحيح هو:
أ. S ثم G1 ثم G2 ب. G1 ثم S ثم G2 ج. G2 ثم G1 ثم S د. G1 ثم G2 ثم S
٤٥. ترتيب أدوار الانقسام المتساوي الصحيح هو:
أ. استوائي، تمهيدي، انفصالي، نهائي ب. تمهيدي، استوائي، انفصالي، نهائي ج. تمهيدي، انفصالي، استوائي، نهائي د. نهائي، انفصالي، استوائي، تمهيدي
٤٦. الخلايا سريعة الانقسام نسبيًا مقارنة بخلايا الجسم الأخرى في الإنسان هي:
أ. الخلايا العصبية ب. خلايا بطانة الأمعاء ج. خلايا العضلات الهيكلية د. خلايا العدسة في العين
٤٧. المصطلح العلمي لموت الخلية المنظّم وظيفيًا يقابله بالإنجليزية:
أ. Mitosis ب. Apoptosis / Programmed cell death ج. Cytokinesis د. Interphase
٤٨. أي مما يأتي ليس من أدوار الانقسام المتساوي؟
أ. Prophase ب. Metaphase ج. Interphase د. Telophase
٤٩. تكوّن جسم مركزي جديد في كل قطب من أقطاب الخلية يحدث في:
أ. الدور التمهيدي ب. الدور الاستوائي ج. الدور الانفصالي د. الدور النهائي
٥٠. أي مما يأتي يمثل تطبيقًا حيائيًا مباشرًا لدورة الخلية؟

أ. التئام الجروح وتجديد خلايا الجلد ب. دوران الأرض حول الشمس ج. التمثيل الضوئي في النبات فقط د. التوصيل الكهربائي في الأسلاك

مفتاح إجابات الاختبار النهائي

فيما يلي رموز الإجابات الصحيحة لأسئلة الاختبار النهائي مرتبة حسب رقم السؤال:

١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠
ب	ب	ب	ب	ج	ب	ب	ج	ج	ب

١١	١٢	١٣	١٤	١٥	١٦	١٧	١٨	١٩	٢٠
ج	ب	أ	ب	ب	ب	ب	ب	ج	ب

٢١	٢٢	٢٣	٢٤	٢٥	٢٦	٢٧	٢٨	٢٩	٣٠
ب	ب	ب	ب	ب	أ	ب	أ	ب	ب

٣١	٣٢	٣٣	٣٤	٣٥	٣٦	٣٧	٣٨	٣٩	٤٠
ب	ب	ب	ب	ب	ب	ب	ب	ب	ب

٤١	٤٢	٤٣	٤٤	٤٥	٤٦	٤٧	٤٨	٤٩	٥٠
أ	ب	ب	ب	ب	ب	ب	ج	د	أ

المراجع

اعتمد هذا الكتاب في محتواه الأساس على المنهج المدرسي المقرر لمادة الأحياء للصف العاشر، وأثري ببعض المعلومات الإضافية من مصادر علمية موثوقة، من أبرزها:

- National Center for Biotechnology Information (NCBI) — www.ncbi.nlm.nih.gov
- National Institutes of Health (NIH) — www.nih.gov
- World Health Organization (WHO) — www.who.int
- Nature — www.nature.com
- Science (AAAS) — www.science.org
- Alberts, B. et al., Molecular Biology of the Cell — كتاب جامعي مرجعي في علم الخلية.
- الجمعيات العلمية المتخصصة في علم الأحياء الخلوي وأبحاث السرطان.

ملاحظة ختامية

هذا الكتاب الرقمي وثيقة تعليمية قابلة للتطوير والمراجعة الدورية بما يواكب مستجدات المعرفة العلمية في مجال بيولوجيا الخلية.