



العلوم الحياتية

العلوم الحياتية

الصف الثاني عشر

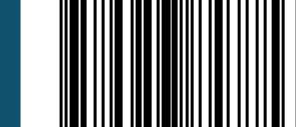
الصف الثاني عشر

للفرعين العلمي والزراعي

١٤٢٤ هـ / ٢٠٢٣ م

للفرعين العلمي والزراعي

ISBN: 978-9957-84-775-3



9 789957 847753

المطبعة
المائية



إدارة المناهج والكتب المدرسية

العلوم الحياتية

الصف الثاني عشر

للفرعين العلمي والزراعي

الناشر
وزارة التربية والتعليم
إدارة المناهج والكتب المدرسية

يسرا إدارة المناهج والكتب المدرسية استقبال آرائكم وملحوظاتكم على هذا الكتاب عن طريق العنوانين الآتية:

هاتف: ٤٦١٧٣٠٤/٨، فاكس: ٤٦٣٧٥٦٩، ص.ب: ١٩٣٠، الرمز البريدي: ١١١٨

أو بوساطة البريد الإلكتروني: Scientific.Division@moe.gov.jo

قررت وزارة التربية والتعليم تدريس هذا الكتاب في مدارس المملكة الأردنية الهاشمية جميعها، بناءً على قرار مجلس التربية والتعليم رقم (٢٠١٧/١)، تاريخ ٢٠١٧/١٧، بدءاً من العام الدراسي ٢٠١٨/٢٠١٩ م.

حقوق الطبع جميعها محفوظة لوزارة التربية والتعليم عمّان – الأردن / ص.ب: ١٩٣٠

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية
(٢٠١٧/٣/١٥٧٣)
ISBN: 978 - 9957 - 84 - 775 - 3

أشرف على تأليف هذا الكتاب كل من:

أ. د. أحمد محمد الديسري
أ. د. منار فايز العتوم
روناهي "محمد صالح" الكردي (مقرراً)

أ. د. سامح محمد التميمي (رئيساً)
د. أمل موسى زهران
د. زياد حسن عكور

وقام بتأليفه كل من:

عطاف عايش الهاشمة
د. نبيل عارف حداد
نهاد عبد الفتاح صالح

عطاف جمعة المالكي
محمد أحمد أبو صيام

التحرير العلمي: روناهي "محمد صالح" الكردي، د. زياد حسن عكور

التصميم: زياد "محمد عدنان" مهيار
التحرير الفني: نرمين داود العزة
الرسـم: خـلدون منـيرـأبو طـالـب

الإنـسـاج: خـولـةـأـحمدـالمـومـنـي

راجـعـهـا: رـونـاهـيـ"ـمـهـمـدـصـالـحــالـكـرـدـيـ"

دقـقـالـطـبـاعـةـ:ـنهـادـعـبـدـفـتـاحـصـالـحـ

قائمة المحتويات

الصفحة	الموضوع
--------	---------

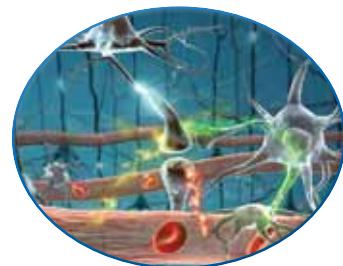
٥	المقدمة
---	---------

١ الوحدة الأولى: الوراثة

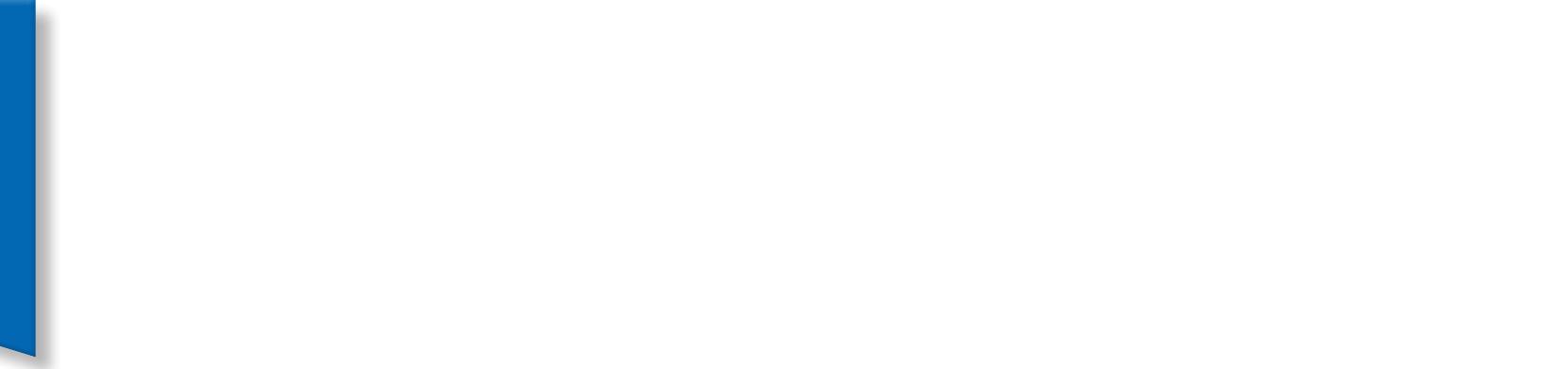


٧	الفصل الأول: وراثة الصفات
٣٣	الفصل الثاني: الطفرات وتأثيراتها
٥٠	الفصل الثالث: تكنولوجيا الجينات
٦٩	أسئلة الوحدة

٢ الوحدة الثانية: أنشطة فسيولوجية في جسم الإنسان



٧٥	الفصل الأول: الإحساس والاستجابة والتنظيم في جسم الإنسان
١٠٧	الفصل الثاني: نقل الغازات، وآلية عمل الكلية، والاستجابة المناعية
١٣٩	الفصل الثالث: التكاثر عند الإنسان
١٥٧	أسئلة الوحدة
١٦٤	مسرد المصطلحات



الحمد لله رب العالمين، والصلوة والسلام على سيد المرسلين؛ أما بعد، فنضع كتاب العلوم الحياتية للصف الثاني عشر بين أيدي أبنائنا الطلبة وزملائنا المعلمين انسجاماً مع فلسفة التربية والتعليم، وتحقيقاً لأهدافها في تحسين جودة التعليم، ومواكبة التطور العلمي المتسارع الذي يشهده العالم.

يشتمل الكتاب على وحدتين، هما: وحدة الوراثة التي تتضمن الفصول الآتية: وراثة الصفات، والطفرات وتأثيراتها، وتكنولوجيا الجينات. ووحدة أنشطة فسيولوجية في جسم الإنسان، وهي تتضمن الفصول الآتية: الإحساس والاستجابة والتنظيم في جسم الإنسان، ونقل الغازات، وآلية عمل الكلية، والاستجابة المناعية، والتکاثر عند الإنسان.

روعي في إعداد الكتاب الأسلوب التربوي الحديث، والتنوع في أساليب العرض؛ فإضافةً إلى النصوص العلمية، يضم الكتاب عدداً من الصور والأشكال والرسوم والخرائط المفاهيمية الملائمة التي تخدم المحتوى العلمي، والتي لا يُكلّف الطلبة برسمها في امتحان الثانوية العامة، وإنما يُكتفى بدراسة المعلومات الواردة فيها، وتحديد أجزائها. وأن هدف التعلم هو إظهار أثر ما نتعلم في حياتنا اليومية؛ فقد تضمن المحتوى أسئلةً ونصوصاً تُحفّز الطلبة إلى التأمل في عملية التعلم، واشتملت أسئلة نهاية الفصول والوحدات على فقرات تهدف إلى تقويم تعلم الطلبة، وترسيخ المفاهيم الأساسية لديهم.

وتعزيزاً لمبادئ الصحة الإنجابية التي يتبعها الطلبة في هذه المرحلة العمرية وعيها وإدراكيها جيداً، فقد أفرد موضوع التکاثر عند الإنسان في فصل مستقل، بحيث يتعرّف الطلبة آليّة التکاثر، وبعض الطرائق التي يمكن اتباعها في تنظيم النسل.

تضمن الكتاب أيضاً الكثير من التطبيقات المخبرية الحديثة التي تسهم في فهم الطلبة مبادئ بعض الفحوص المخبرية، وكيفية استخدام التكنولوجيا فيها، والتي تُحفّزهم إلى اتباع الطرائق العلمية الصحيحة في مختلف جوانب الحياة؛ لضمان حياة صحية خالية من الاختلالات الوراثية والأمراض التي تصيب أحجزة الجسم المختلفة. ولغرس القيم الأخلاقية والتوجهات الإيجابية في نفوس الطلبة، فقد اشتملت بعض الفصول على بندين يُعرفان الطلبة بالأخلاقيات المرتبطة بالموضوعات التي يتضمنها المحتوى؛ ما يُحفّزهم إلى تمثيل هذه القيم. وإيماناً من فريق التأليف بأهمية العمل - جنباً إلى جنب - مع مؤسسات الدولة المختلفة، فقد ألحّق بكل فصل من فصول الكتاب موقعاً إلكترونية لبعض المؤسسات العامة (مؤسساتنا فخرنا) تُثري بعض الموضوعات المطروحة في الفصول، والطلبة غير ملزمين بدراسة هذه المعلومات الإثرائية في امتحان الثانوية العامة.

علماً بأن عملية تطوير المناهج والكتب المدرسية عملية مستمرة؛ لذا نرجو من زملائنا المعلمين وأولياء الأمور تزويدنا بأي ملاحظات تغنى الكتاب وتسهم في تحسنه، بما يلبي حاجات الطلبة وطموحات المجتمع الأردني.



الوحدة الأولى

الوراثة

قال الله تعالى: ﴿أَللهُ الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ الْأَرْضَ قَرَارًا وَالسَّمَاءَ بَنَاءً وَصَوَرَكُمْ فَأَحْسَنَ صُورَكُمْ﴾.

سورة غافر، الآية (٦٤).



● كيف تؤثر الوراثة في حياتنا؟

وراثة الصفات

اهتم العرب منذ القدم بالخيول العربية الأصيلة، وحافظوا على أنسابها وصفاتها، وذلك بتكثيرها من سلالات الخيول المميزة بشكلها وقوتها، وعدم اختلاطها بالسلالات الأخرى؛ مما يُعدُّ تطبيقاً عملياً لمبادئ علم الوراثة التي أرسى دعائمه العالم غريغور مендل (Gregor Mendel) عن طريق التجارب التي أجراها على نبات البازيلاء.

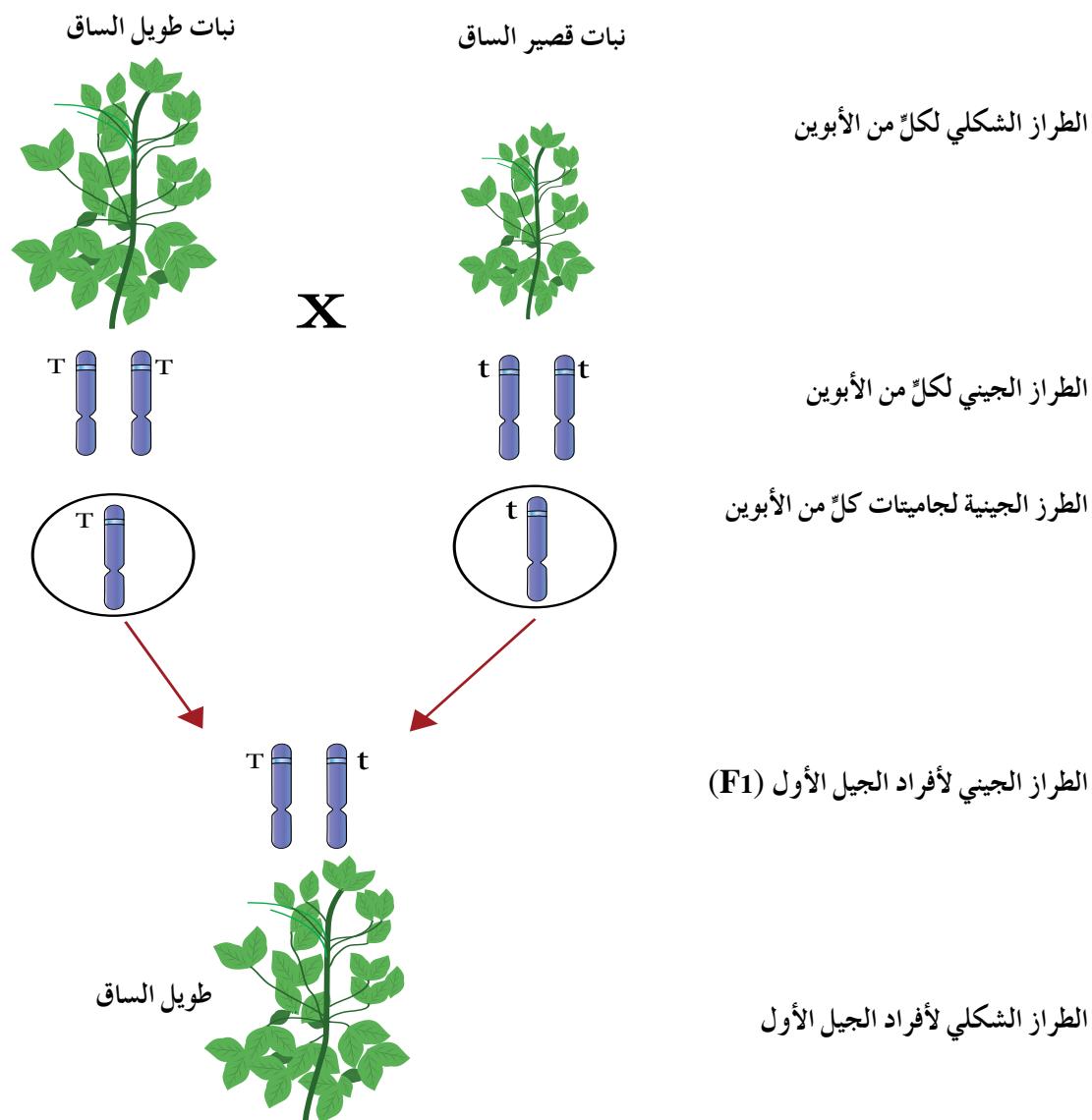
درست سابقاً كيفية توارث صفة وراثية واحدة، فكيف تُتوارث صفتان وراثيتان معًا؟ وهل توجد أنماط وراثية مغايرة لنمط توارث الصفات mendelian؟ ستتمكن من الإجابة عن هذين السؤالين وغيرهما بعد دراستك لهذا الفصل.

يتوقع منك أن تكون قادرًا على أن:

- تُوضح كيفية توارث صفتين معًا.
- تحل مسائل وراثية تتعلق بقانون التوزيع الحر (قانون مندل الثاني).
- تُوضح أنماط توارث بعض الصفات غير mendelian.
- تحل مسائل تطبيقية على بعض أنماط توارث الصفات غير mendelian.
- تُبيّن المقصود بالعبور الجيني، وأهميته.
- تتوصّل إلى طريقة رسم الخريطة الجينية.

تعرّفت في سنوات سابقة أن جيناً واحداً على الأقل يتحكم في ظهور الصفة الوراثية الواحدة، وستتعرّف الآن أن لكل جين شكلين، يُسمى كلّ منهما أليلاً (allele)، وقد يكون **الأليل سائداً**، ويرمز إليه بحرف كبير (capital letter)، أو متحيّراً، ويرمز إليه بحرف صغير (small letter)، وقد تكون الصفة نقية (متماضلة الأليلات)، أو غير نقية (غير متماضلة الأليلات).

درس العالم مندل كيف تُتوارث صفة وراثية واحدة في نبات البازيلاء، وقد أفضت نتائج تجاربه في هذا المجال إلى عدد من مبادئ علم الوراثة، لاحظ الشكل (١-١) الذي يبيّن نتائج توارث صفة طول الساق في نبات البازيلاء.



الشكل (١-١): نتائج تجارب مندل لدراسة صفة طول الساق في نبات البازيلاء.

◀ لماذا كان أفراد الجيل الأول (F1) جمِيعاً طويلاً الساق؟

عند تلقيح نبات طويل الساق متماثل الأليلات (TT) مع نبات قصير الساق (tt)، ينتقل إلى كل فرد من أفراد الجيل الجديد أليل واحد لصفة طول الساق من الأب، وأليل آخر لهذه الصفة من الأم، ويكون الطراز الجيني لأفراد الجيل الأول جمِيعاً (Tt)، والطراز الشكلي طويل الساق؛ إذ يظهر تأثير أليل طول الساق السائد، ولا يظهر تأثير أليل قصر الساق المتنحي، في ما يُسمى **مبداً السيادة التامة**. توصل مندل أيضاً إلى أن الأليلين المتقابلين لصفة وراثية واحدة ينفصل كلٌّ منهما عن الآخر عند تكوين الجاميتات في عملية الانقسام المنصف في ما يُعرف باسم **قانون مندل الأول**، أو **قانون انعزال الصفات** (Law of Segregation).

لتتعرَّف صفات مندلية أخرى في نبات الباذيلاء لاحظ الشكل (٢-١).

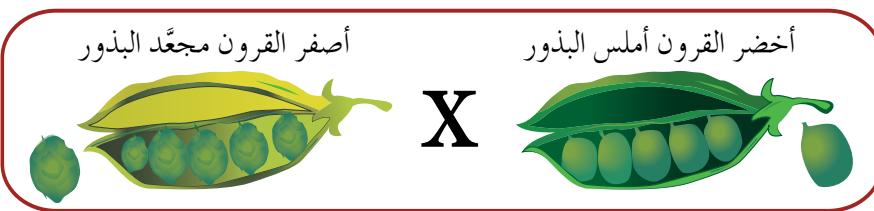
الصفة	لون الزهرة	لون البذرة	شكل البذرة	لون القرن	شكل القرن	موقع الأزهار	طول الساق
الصفة السائدة	أرجواني	أصفر	أبيض	أخضر	ممتهن	محوري	طويل
الصفة المتنحية	أبيض	أخضر	أخضر	مجعد	طرفي	قصير	قصير

الشكل (٢-١): بعض الصفات المندلية في نبات الباذيلاء.

وما إن انتهى مندل من بيان آلية توارث صفة وراثية واحدة حتى أجرى الكثير من التجارب لدراسة وراثة صفتين وراثيتين في آنٍ معًا، فما النتائج التي توصل إليها؟

قانون التوزيع الحر

لَقَحْ مندل في إحدى تجاربه نباتات باذيلاء خضراء القرؤن ملساء البذور متماثلة الأليلات (للصفتين) مع نباتات باذيلاء صفراء القرؤن مجعدة البذور. فإذا علمت أن أليل القرؤن الخضراء (G) سائد على أليل القرؤن الصفراء (g)، وأليل البذور الملساء (R) سائد على أليل البذور المجعدة (r)، فما نتائج عملية التلقيح هذه؟ لاحظ الشكل (٣-١).



ggrr

GGRR

الطرز الشكلي لكل من الأبوين

الطرز الجيني لكل من الأبوين

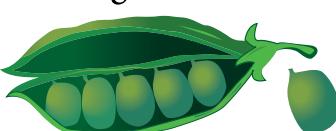
gr

GR

الطرز الجيني لجاميات كل من الأبوين

GgRr

أخضر القرن أملس البذور



الطرز الجيني لأفراد الجيل الأول (F1)

الطرز الشكلي لأفراد الجيل الأول (F1)

GgRr

GgRr

الطرز الجيني لكل من أبيي الجيل الثاني

GR

Gr

gR

gr

GR

Gr

gR

gr

الطرز الجينية لجاميات كل من أبيي الجيل الثاني

الثاني

GR

الطرز الجينية والشكلية لأفراد الجيل الثاني
(F2) ممثلة بربع بنيت.

	GR	Gr	gR	gr
GR	GGRR	GGRr	GgRR	GgRr
Gr	GGRr	GGrr	GgRr	Ggrr
gR	GgRR	GgRr	ggRR	ggRr
gr	GgRr	Ggrr	ggRr	ggrr

الشكل (١-٣): نتائج تجارب مندل لدراسة آلية توارث صفتين معاً في نبات الباذيلاء.

لاحظ مندل أن أفراد الجيل الأول الناتجة من التلقيح كانت خضراء القرون ملساء البذور. وعند تلقيح أفراد الجيل الأول ذاتيًّا، ظهرت النتائج في الجيل الثاني بالنسبة العددية (٩:٣:٣:١) على النحو الآتي: (٩ خضراء القرون ملساء البذور)، (٣ خضراء القرون مجعدة البذور)، (٣ صفراء القرون ملساء البذور)، (١ أصفر القرون مجعد البذور)، لاحظ النتائج الممثّلة بربع بانيت في الشكل (١-٣). وبذلك يكون احتمال ظهور الصفات الأنف ذكرها في الجيل الثاني على النحو الآتي:

$\frac{9}{16}$ خضراء القرون ملساء البذور، و $\frac{3}{16}$ خضراء القرون مجعدة البذور، و $\frac{3}{16}$ صفراء القرون ملساء البذور، و $\frac{1}{16}$ أصفر القرون مجعد البذور.

أظهرت نتائج التجارب التي أجرتها مندل انفصال الكروموسومات وما تحمله من أليلات في أثناء عملية الانقسام المنصف، وتوزُّعها على الجاميتات توزُّعًا مستقلًّا بعضها عن بعض؛ إذ ليس شرطًا أن تظهر أليلات الصفات السائدَة معاً، أو المتنحية معًا في الجاميتات الناتجة، في ما يُعرف بـ**قانون التوزيع الحر** (Law of Independent Assortment) الذي ينص على الآتي: «ينفصل أليلاً كل صفة وراثية، ويتوزعان بصورة مستقلة عن أليلات الصفات الأخرى عند تكوين الجاميتات في أثناء عملية الانقسام المنصف». وبهذا يُعدُّ التوزيع الحر أحد أهم مصادر التنوع الوراثي في الكائنات الحية.

سؤال

١ - في أحد أنواع القوارض (Guinea pig)، يكون أليل الشعر الأسود (B) سائداً على أليل الشعر الأبيض (b)، وأليل الشعر الأميس (S) سائداً على أليل الشعر المجعد (s). فإذا تزاوج فرد أسود أملس الشعر غير متماثل الأليلات (للصفتين) مع آخر أبيض مجعد الشعر، فأجب عن السؤالين الآتيين:

- ما الطرز الجينية للأبوين؟

- ما الطرز الشكلية لأفراد الجيل الأول؟

٢ - عند تلقيح نبات بازيلاء محوري أرجواني الأزهار مع نبات بازيلاء آخر طرازه الشكلي مجهول، ظهرت نباتات بالأعداد والطرز الشكلية الآتية:

(٢٥) نبات بازيلاء محوري أرجواني الأزهار، و (٢٠) نباتاً محوري أبيض الأزهار، و (٧) نباتات طرفية أرجوانية الأزهار، و (٩) نباتات طرفية بيضاء الأزهار. فإذا علمت أن أليل الأزهار الأرجوانية (P) سائد على أليل الأزهار البيضاء (p)، وأليل الأزهار المحورية (A) سائد على أليل الأزهار الطرفية (a)، فأجب عن الأسئلة الآتية:

- اكتب الطرازين الجيني والشكلي للأب المجهول.
- مثل نتائج التلقيح باستخدام مربع بانيت.
- ما احتمال ظهور نبات محوري أرجواني الأزهار؟

ثانياً وراثة الصفات غير mendelian

تُتوارث الكثير من الصفات الوراثية بأنماط تختلف عن الوراثة mendelian، منها:

١ الصفات ذات السيادة المشتركة والأليلات المتعددة

وجد العلماء أن بعض الصفات يتَّحدَّكم فيها أكثر من أليلين (multiple alleles). فمثلاً، يتَّحدَّكم في وراثة فصائل دم الإنسان بحسب نظام (ABO) ثلاثة أليلات، هي (I^A ، I^B ، i)، ويحمل الفرد في كل خلية من خلاياه الجسمية أليلين من هذه الأليلات.

يتَّحدَّكم الأليلان (I^A ، I^B) في وجود بروتينات سكرية على سطوح خلايا الدم الحمراء، تُدعى **مولّدات الضد** (antigens)، لاحظ الجدول (١-١)، ويؤدي وجود الأليل (I^A) إلى تكوين مولّد الضد (A)، في حين يؤدي وجود الأليل (I^B) إلى تكوين مولّد الضد (B) على سطوح خلايا الدم الحمراء.

إذا وُجد مولّد الضد (A) من دون وجود مولّد الضد (B)، فإن فصيلة دم الشخص تكون (A)، وإذا وُجد مولّد الضد (B) من دون وجود مولّد الضد (A)، فإن فصيلة دم الشخص تكون (B).

الجدول (١-١): الطرز الجينية وأنواع مولدات الضد على سطوح خلايا الدم الحمراء بحسب نظام (ABO).

O	AB	B	A	فصيلة الدم
				مولدات الضد على خلايا الدم الحمراء
عدم وجود أيٌ من مولدي الضد B أو A	A, B	B	A	وجود مولد الضد
ii	$I^A I^B$ $I^B i$ أو i	$I^B I^B$ $I^B i$ أو i	$I^A I^A$ $I^A i$ أو i	الطرز الجينية

عند اجتماع الأليلين السائد (I^A, I^B)، يظهر تأثيرهما معاً في الطراز الشكلي، ولا يختفي تأثير أيٍ منهما، وتكون فصيلة الدم (AB)، ويسُمّى هذا النمط من التوارث **السيادة المشتركة** (codominance). أما في حال غياب الأليلين (I^A, I^B) فلا يظهر على سطوح خلايا الدم الحمراء أيٌ من مولدي الضد (A), (B)، فيكون الطراز الجيني للشخص (ii)، وفصيلة دمه (O). انظر الجدول (١-١)، ملاحظاً الطرز الجينية للأفراد ذوي فصائل الدم المختلفة بحسب نظام (ABO).

سؤال

- تزوج شاب فصيلة دمه (A) (غير متماثل للأليلات) بفتاة فصيلة دمها (AB). اكتب:
 - الطراز الجيني لفصيلة دم كلٌ من الأبوين.
 - الطرز الجينية لجاميتات الأبوين.
 - الطرز الجينية والشكليّة لفصائل دم الأبناء المحتمل إنجابهم.
- تزوج رجل طرازه الجيني لفصيلة الدم (i) بفتاة طرازها الجيني (I^Ai). ما فصائل الدم المتوقعة لأبنائهم؟

يَتَحَكَّمُ في بعض صفات الإنسان والحيوان والنبات جينات عَدَّة، مثل الجينات المسؤولة عن لون البشرة في الإنسان؛ إذ يَتَحَكَّمُ في إنتاج صبغة الميلانين في الجلد العديد من الجينات. ولتسهيل دراسة مفهوم **الجينات المتعددة** (polygenes)، فإننا سنُركِّز على ثلاثة جينات منها، بحيث تُمثِّل الرموز (A,B,C) الأليلات السائدة المسؤولة عن إنتاج صبغة الميلانين في الجلد، وينتج من توازيها طرز شكلية متفاوتة متدرجة في لون البشرة، فيتميِّز الفرد ذو الطراز الجيني (AABBCC) ببشرة غامقة جدًا، ويتميِّز الفرد ذو الطراز الجيني (aabbcc) ببشرة فاتحة جدًا.

يكون للطراز الجيني (aaBbCc) والطراز الجيني (AabbCc) التأثير نفسه في درجة ظهور الصفة. وكلما زاد عدد الأليلات السائدة لدى الفرد كانت درجة لون البشرة في الطراز الشكلي أكثر غُمْقاً، ولذلك تُسمى الجينات المتعددة أيضًا **الجينات المتراكمة** (cumulative genes)، وهذا يفسِّر إنتاج طرز شكلية متفاوتة متدرجة في بعض الصفات.

سؤال

- ١ - رتب الأفراد ذوي الطرز الجينية (AABbCC، AABbcc، aaBbcc، AaBbCC) من الأغمق إلى الأفتح لوناً للبشرة.
- ٢ - اكتب الطراز الجيني لفرد يُشبه فرداً آخر من حيث لون البشرة طرازه الجيني (AAabbCc).

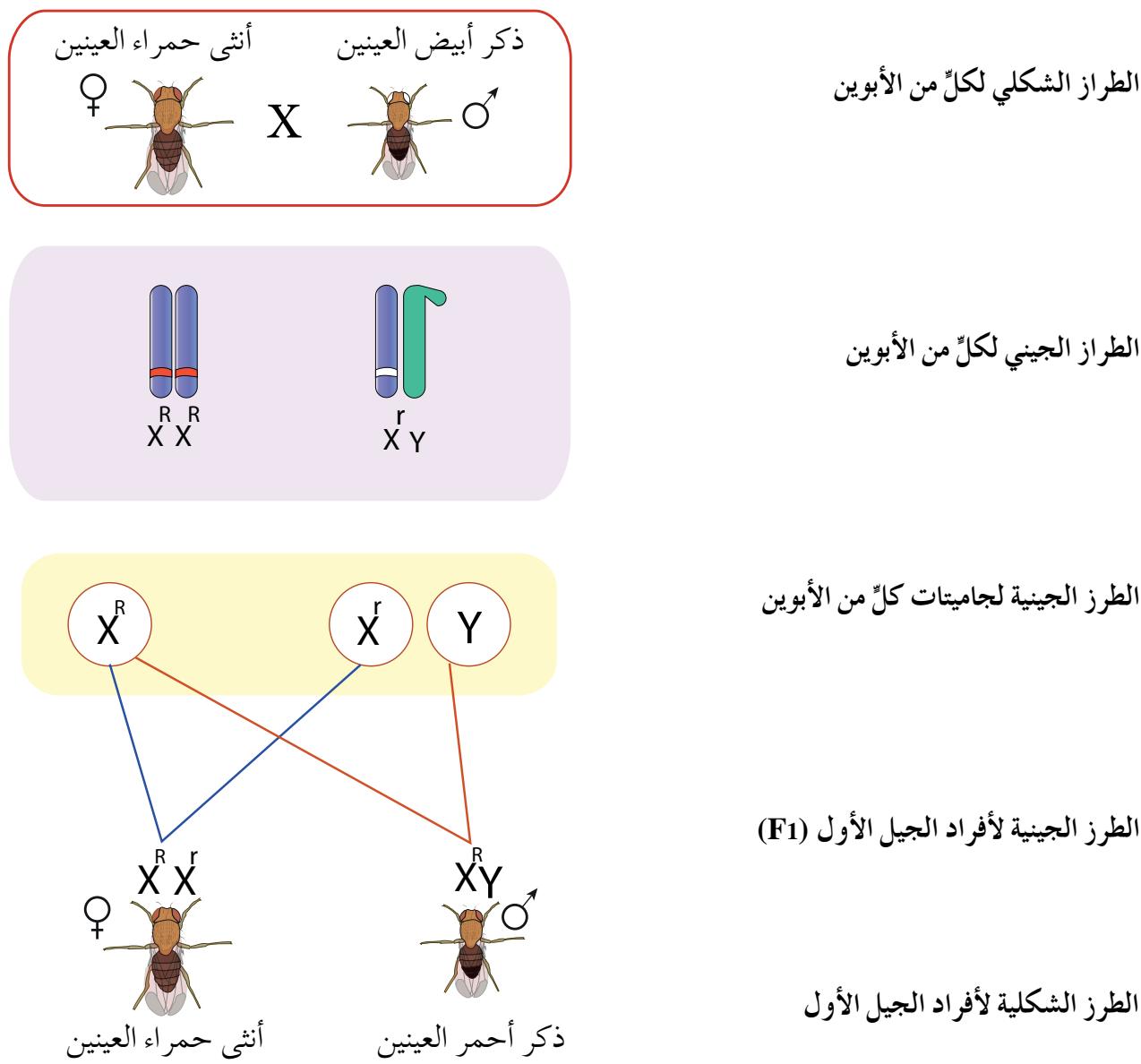
الصفات المرتبطة بالجنس

درست سابقاً أن جنس الإنسان يتحدَّد بنوعين من الكروموسومات الجنسية (X)، (Y)، وأن الطراز الكروموسومي الجنسي للأنثى هو (XX)، حيث تتوج جاميات تحوي الكروموسوم الجنسي (X)، وأن الطراز الكروموسومي الجنسي للذكر هو (XY)، حيث ينبع نوعان من الجاميات، نصفها يحتوي على الكروموسوم الجنسي (X)، ونصفها الآخر يحتوي على الكروموسوم الجنسي (Y).

تُحمل بعض الجينات على الكروموسوم الجنسي (X)، ويُحمل عدد قليل من الجينات على الكروموسوم الجنسي (Y)، وتُسمى الصفات التي تُحمل جيناتها على الكروموسومات

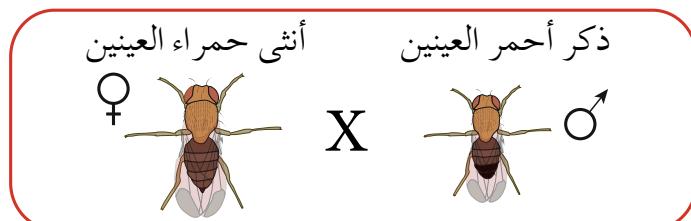
الجنسية صفات مربطة بالجنس (sex linked traits)، فكيف تُتوارث الصفات المرتبطة بالجنس؟

تمتاز ذبابة الفاكهة الطبيعية بعينين حمراوين، وقد لاحظ العالم توماس مورغان (Thomas Morgan) في إحدى تجاربه على ذبابة الفاكهة ظهور ذكور ذبابات فاكهة بيضاء العينين. ولدراسة توارث هذا الطراز الشكلي الجديد، زاوج مورغان بين إناث حمراء العينين (متماثلة الأليلات)، وذكور بيضاء العينين، فكانت الطرز الشكلية لأفراد الجيل الأول جميعها حمراء العينين، لاحظ الشكل (٤-١).

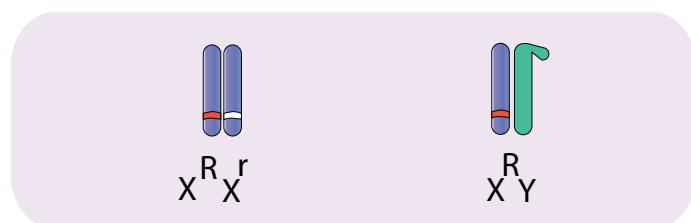


الشكل (٤-٤): نتائج الجيل الأول في تجربة مورغان التي قادته إلى دراسة توارث الصفات المرتبطة بالجنس.

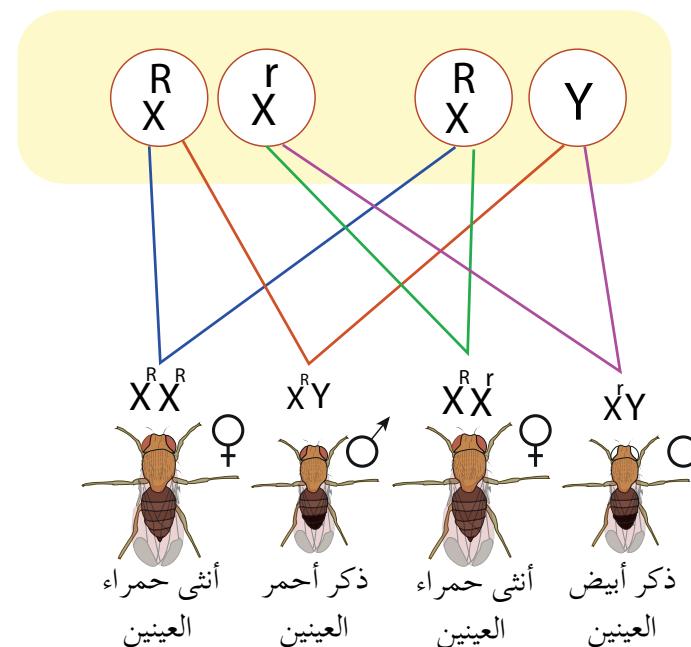
تابع مورغان تجربه بإجراء تزاوج بين ذكور وإناث من أفراد الجيل الأول، فكانت نتيجة هذا التزاوج بالنسبة إلى لون العينين: (٣ أحمر : ١ أبيض). وممّا أدهش مورغان أن جميع الذبابات بيضاء العينين كانت ذكوراً. لاحظ الشكل (١-٥)، ثم أجب عما يليه من أسئلة:



الطراز الشكلي لكُلِّ من أبوي الجيل الثاني



الطراز الجيني لكُلِّ من أبوي الجيل الثاني



الطرز الجينية لجاميتات كُلِّ من أبوي الجيل الثاني

الطرز الجينية لأفراد الجيل الثاني

الطرز الشكلية لأفراد الجيل الثاني

الشكل (١-٥): نتائج الجيل الثاني في تجربة مورغان التي قادته إلى دراسة توارث الصفات المرتبطة بالجنس.

◀ كيف فسر مورغان هذه النتائج؟

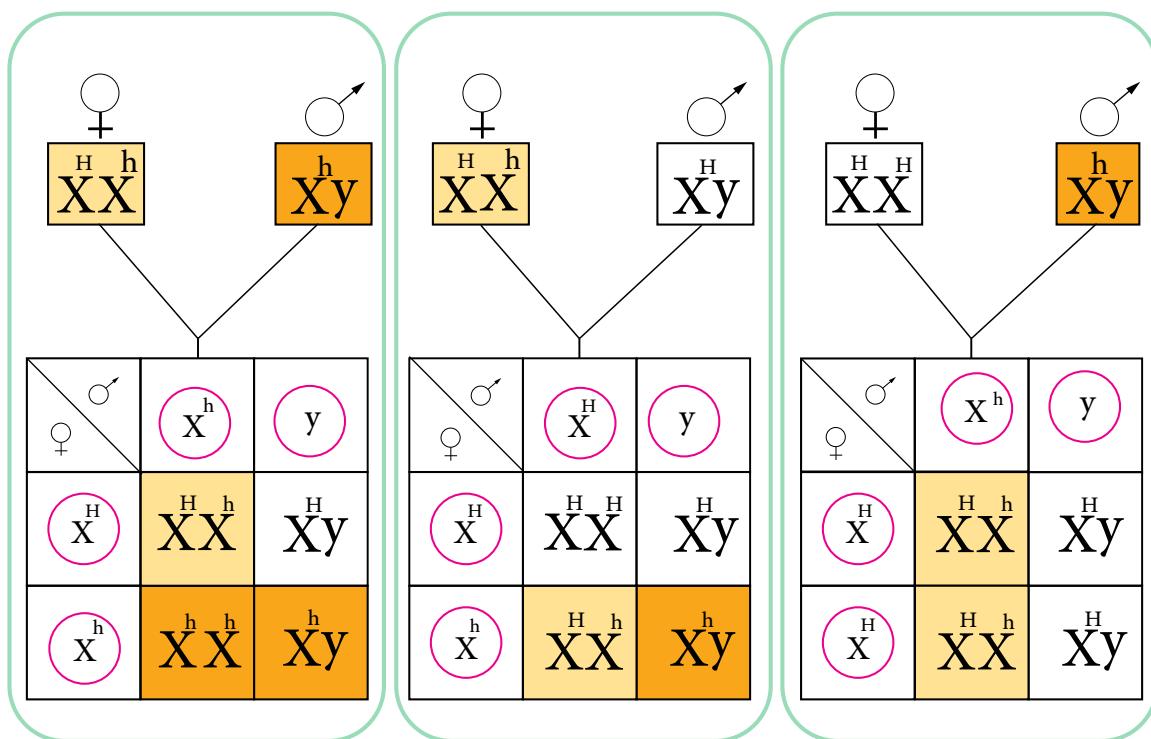
◀ كم أليلاً يلزم لظهور صفة العينين البيضاوين لدى الذكر؟

استنتج مورغان أن جين صفة لون العينين في ذبابة الفاكهة يُحمل على الكروموسوم الجنسي (X)، ولهذا فقد يحمل الكروموسوم الجنسي (X) أليل الصفة السائد (R)، ويُعبر عنه بـ (X^R)، أو أليل الصفة المتنحي (r)، ويُعبر عنه بـ (X^r)، في حين أن الكروموسوم (Y) لا يحمل أليلاً لهذه الصفة.

تظهر صفة لون العينين البيضاوين لدى الإناث عند اجتماع الأليلين المتنحين، في حين يكفي أليل متّنح واحد لظهور هذه الصفة عند الذكور.

ولكن، هل توارث الصفات المرتبطة بالجنس عند الإنسان بالطريقة نفسها التي توارث فيها صفة لون العينين لذبابة الفاكهة؟

تنطبق نتائج تجارب مورغان على الصفات المرتبطة بالجنس في الإنسان، ومنها مرض نزف الدم. تأمل الشكل (٦-١)، ثم أجب عما يليه من أسئلة:



الحالة (ج).

الحالة (ب).

الحالة (أ).

- غير مصاب / غير مصابة. □
- مصاب / مصابة. ■
- غير مصابة حاملة أليل المرض. ■

الشكل (٦-١): توارث مرض نزف الدم.

◀ كم أليلاً يلزم لظهور مرض نزف الدم عند الأنثى؟

◀ لماذا لا يورث الأب المصاب أليل الإصابة بالمرض لأبنائه الذكور؟

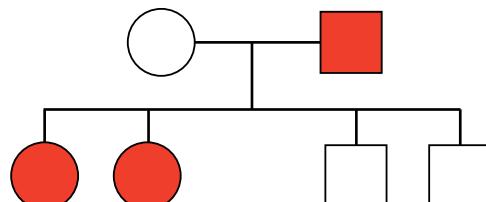
يُطلق على الأنثى غير متماثلة الأليلات (X^hX) التي تَحمل على أحد كروموسوماتها الجنسية أليل الإصابة بالمرض، ولا تظهر عليها أعراض المرض، اسم الأنثى **غير المصابة حاملة أليل المرض** (carrier)؛ إذ إن تأثير الأليل السائد (عدم الإصابة بنزف الدم) يمنع ظهور تأثير الأليل المتنحى المسؤول عن الإصابة بالمرض. وفي ما يخص الذكور، فإن أليلاً متنحياً واحداً يكفي لظهور المرض. ولما كان الذكر يرث من أبيه الكروموسوم الجنسي (Y)، فلا يمكن نقل أليل الإصابة إليه من أبيه؛ لأن الكروموسوم الجنسي (Y) لا يحمل هذا الأليل.

ومن الأمثلة أيضاً على الصفات المرتبطة بالجنس لدى الإنسان، صفة عمى الألوان التي تتوارث بنمط توارث صفة نزف الدم نفسه؛ إذ يحمل أليل هذه الصفة على الكروموسوم الجنسي (X).

وبالمثل، توجد في الطيور صفات مرتبطة بالجنس، غير أن الطراز الكروموسومي الجنسي لذكور الطيور هو الذي يكون متماثلاً، خلافاً لإناث الطيور، حيث يكون غير متماثل؛ لذا فإن الأنثى هي من يحدد جنس الأفراد الناتجة من عملية الإخصاب.

سؤال ?

◀ يوضّح مخطط السلالة الآتي وراثة صفة سائدة مرتبطة بالجنس محمولة على الكروموسوم الجنسي (X) في الإنسان. ادرس هذا المخطط، ثم أجب عما يليه من أسئلة:



ذكر تظهر عليه الصفة.



ذكر لا تظهر عليه الصفة.



أنثى تظهر عليها الصفة.



أنثى لا تظهر عليها الصفة.



- لماذا ظهرت الصفة عند الإناث فقط؟
- اكتب الطراز الجيني لكل فرد في مخطط السلالة، مستخدماً الرمز (G) لأليل الصفة السائدة، والرمز (g) لأليل الصفة المتنحية.

٤ | الصفات المتأثرة بالجنس

تُعدّ صفة الصلع المبكر (baldness) لدى الإنسان صفة غير مندلية، يَتحَكَّمُ فيها أليل يُحمل على الكروموسومات الجسمية، ولكن مستوى الهرمونات الجنسية الذكرية يؤدي إلى اختلاف في ترجمة بعض الطرز الجينية بين الذكور والإإناث، وهذا يجعلها **صفة متأثرة بالجنس** (sex-influenced trait)، لاحظ الجدول (٢-١).

الجدول (٢-١): وراثة صفة الصلع عند الإنسان.

الطرز الشكلية للإناث	الطرز الشكلية للذكور	الطرز الجينية
صلعاء	أصلع	ZZ
غير صلعاء	أصلع	HZ
غير صلعاء	غير أصلع	HH

◀ قارِن بين ترجمة الطراز الجيني (HZ) إلى طراز شكري عند كلٌ من الذكور والإإناث. يكون نمو الشعر طبيعيًا عند كلٌ من الذكر والأأنثى في حال وجود طراز جيني متماثل (HH). أما إذا كان الطراز الجيني (ZZ) فيبدأ كلٌ منهما بفقدان شعره، ويصبح أصلع بعد سن البلوغ. وأما الطراز الجيني (HZ) فتختلف ترجمته باختلاف الجنس، فتظهر صفة الصلع عند الذكر فقط، ولا تكون الأنثى صلعاء بسبب اختلاف مستوى الهرمونات الجنسية الذكرية لـكلٌ منهما، وهو ما يؤثّر في ترجمة الطرز الجينية. ونظراً إلى هذا الاختلاف؛ فإنه يكفي وجود أليل صفة صلع واحد (Z) لظهور هذه الصفة عند الذكر، في حين يُشترط وجود أليلين (ZZ) لهذه الصفة كي تظهر عند الأنثى.

١- تزوج شاب أصلع غير متماثل الأليات بفتاة شعرها طبيعي غير متماثلة الأليات:

- ما الطراز الجيني لصفة وجود الشعر لدى كل من الشاب والفتاة؟

- ما طرز أبنائهما الجينية المتوقعة لهذه الصفة؟

٢ - فتاة شعرها طبيعي، ووالدها أصلع وأمها صلعة:

- ما الطراز الجيني لكل من والد الفتاة ووالدتها؟

- اكتب الطراز الجيني للفتاة.

٣ - تزوج شاب أصلع متماثل الأليات مصاب بمرض عمي الألوان بفتاة شعرها طبيعي

متماثلة الأليات إبصارها طبيعي، ووالدها مصاب بمرض عمي الألوان:

- ما الطراز الجيني لكل من الشاب والفتاة للصفتين معًا؟

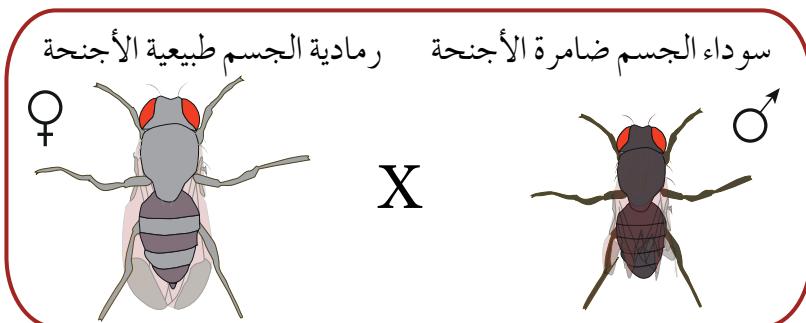
- ما طرز أبنائهما الجينية المتوقعة للصفتين معًا؟

الجينات المرتبطة

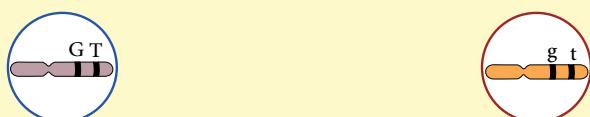
ثالثاً

تحوي خلايا الكائن الحي عدداً كبيراً من الجينات يفوق عدد الكروموسومات؛ لذا تحمل معظم الكروموسومات مئات الجينات أو الآلاف منها، وتتحكم هذه الجينات في الصفات الوراثية المختلفة. وتُعرف الجينات التي تقع على الكروموسوم نفسه، وتتوارث بوصفها واحدة واحدة باسم **الجينات المرتبطة** (linked genes)، فكيف يؤثر ارتباط الجينات في توارث الصفات؟

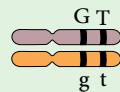
تحتفل نتائج توريث صفتين مرتبطتين على الكروموسوم نفسه عن نتائج قانون التوزيع الحر المتوقعة. فمثلاً، درس مورغان آلية توريث صفتين مرتبطتين، هما: صفة لون الجسم، وصفة حجم الجناح لذبابة الفاكهة؛ إذ يكون أليل لون الجسم الرمادي (G) سائداً على أليل لون الجسم الأسود (g)، وأليل الجناح الطبيعي (T) سائداً على أليل الجناح الضامر (t). وعند إجراء تزاوج بين ذبابات فاكهة رمادية الجسم طبيعية الأجنحة طرازها الجيني (GGTT) وذبابات فاكهة سوداء الجسم ضامرة الأجنحة طرازها الجيني (ggtt)، كانت جميع أفراد الجيل الأول رمادية الجسم طبيعية الأجنحة طرازها الجيني (GgTt)، لاحظ الشكل (٧-١).



الطراز الجيني لكلاً من الآبدين



الطراز الجينية لجاميتات كلٌّ من الآبدين



الطراز الجيني لأفراد الجيل الأول (F1)

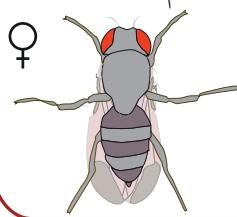
رمادية الجسم طبيعية الأجنحة

الطراز الشكلي لأفراد الجيل الأول

الشكل (٧-١): نتائج تجربة مورغان لدراسة توارث لون الجسم وحجم الجناح في الجيل الأول من ذبابة الفاكهة.

بعد ذلك زاوج مورغان بين أنثى ذبابة فاكهة طرازها الجيني (GgTt) وذكر طرازه الجيني (ggtt)، ويمثل الشكل (٨-١) نتائج هذا التزاوج.

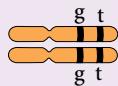
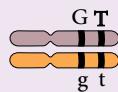
سوداء الجسم ضامرة الأجنحة رمادية الجسم طبيعية الأجنحة



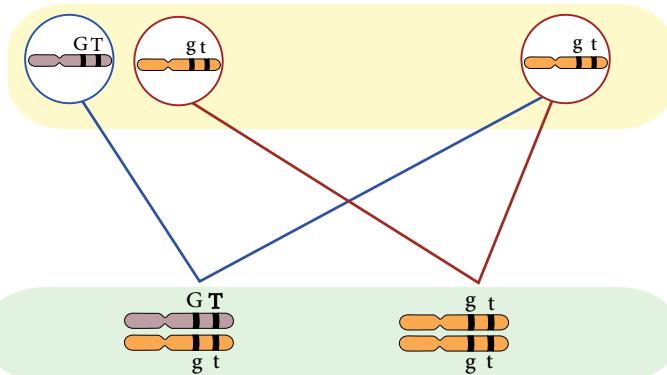
X



الطرز الشكلي لكلٌ من الآبوبين



الطرز الجيني لكلٌ من الآبوبين



الطرز الجينية لجاميتات كلٌ من الآبوبين

الطرز الجينية للأبناء

رمادية الجسم
طبيعية الأجنحة

سوداء الجسم
ضامرة الأجنحة

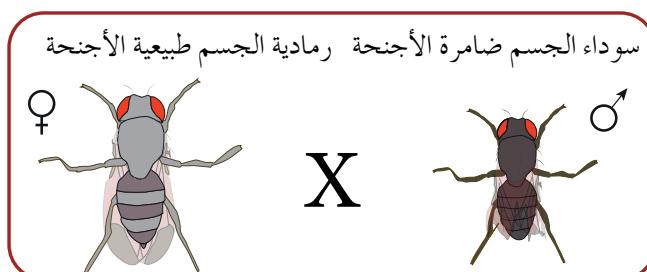
الطرز الشكلية للأبناء

الشكل (٨-١): نتائج تجربة مورغان لدراسة توارث لون الجسم وحجم الجناح في الجيل الثاني من ذباب الفاكهة.

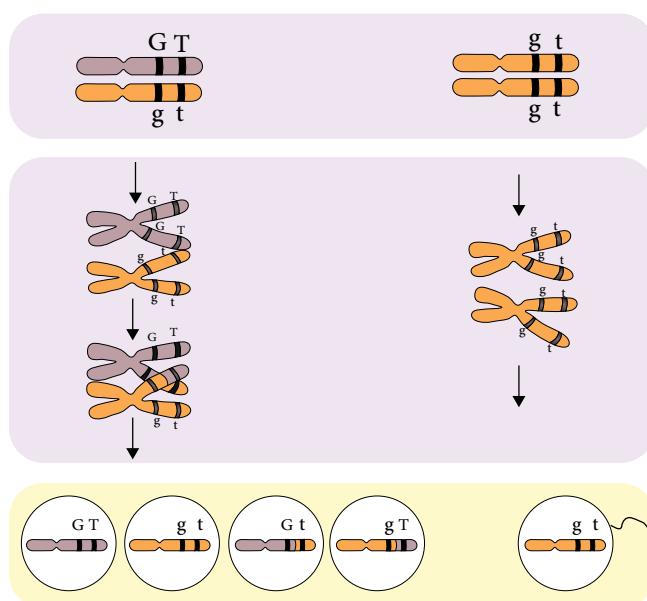
لاحظ مورغان أن صفاتي لون الجسم وحجم الجناح ورثتا بوصفهما وحدة واحدة، ولم تتفق النتائج مع ما هو متوقع بحسب قانون مندل (التوزيع الحر)، فكانت الأفراد الناتجة رمادية الجسم طبيعية الأجنحة، وسوداء الجسم ضامرة الأجنحة بنسبة عدديّة (١:١).

وقد أظهرت نتائج الكثير من عمليات التزاوج أن جيني صفة لون الجسم وصفة حجم الجناح يحملان على الكروموسوم نفسه، وأن آليات هذه الصفات تنتقل غالباً معاً بوصفها وحدة واحدة من دون أن تنفصل في أثناء عملية الانقسام المنصف لتكوين الجاميتات؛ إذ يرتبط أليل لون الجسم الرمادي بأليل الجناح الطبيعي، ويرتبط أليل لون الجسم الأسود بأليل الجناح الضامر، ومع ذلك

أظهرت بعض النتائج أنَّ اليلات الجينات المرتبطة قد تنفصل في أثناء تكوين الجاميتات عن طريق العبور الجيني، فما المقصود بالعبور الجيني؟ وكيف يؤثِّر في توارُث الصفات؟ لاحظ مورغان في إحدى تجاربِه على ذباب الفاكهة – حين زوَّج ذبابات فاكهة طرازها الجيني (GgTt) بذبابات فاكهة طرازها الجيني (ggtt) – ظهرَ أفرادٌ بنسَبٍ قليلة يحملون صفاتٍ تختلف عن صفاتِ الأبوين. لاحظ الشكل (٩-١)، ثم أجب عن السؤال الذي يليه:

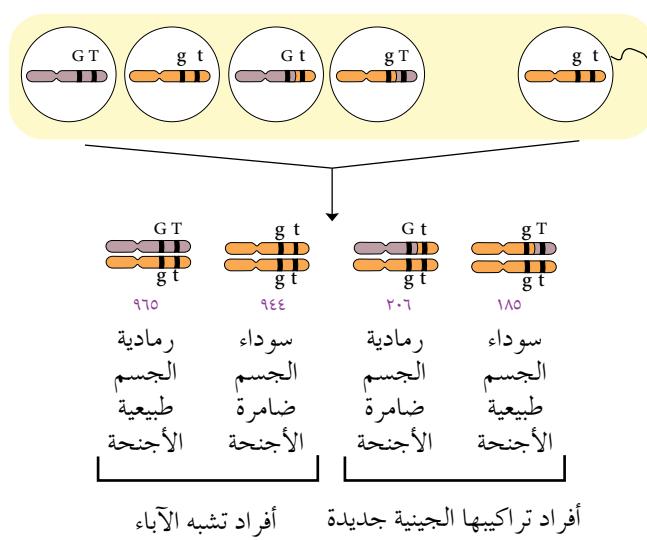


الطراز الشكلي لكُلِّ من الأبوين



الطراز الجيني لكُلِّ من الأبوين

حدوث عملية العبور الجيني



الطرز الجينية لجاميتات كلِّ من الأبوين

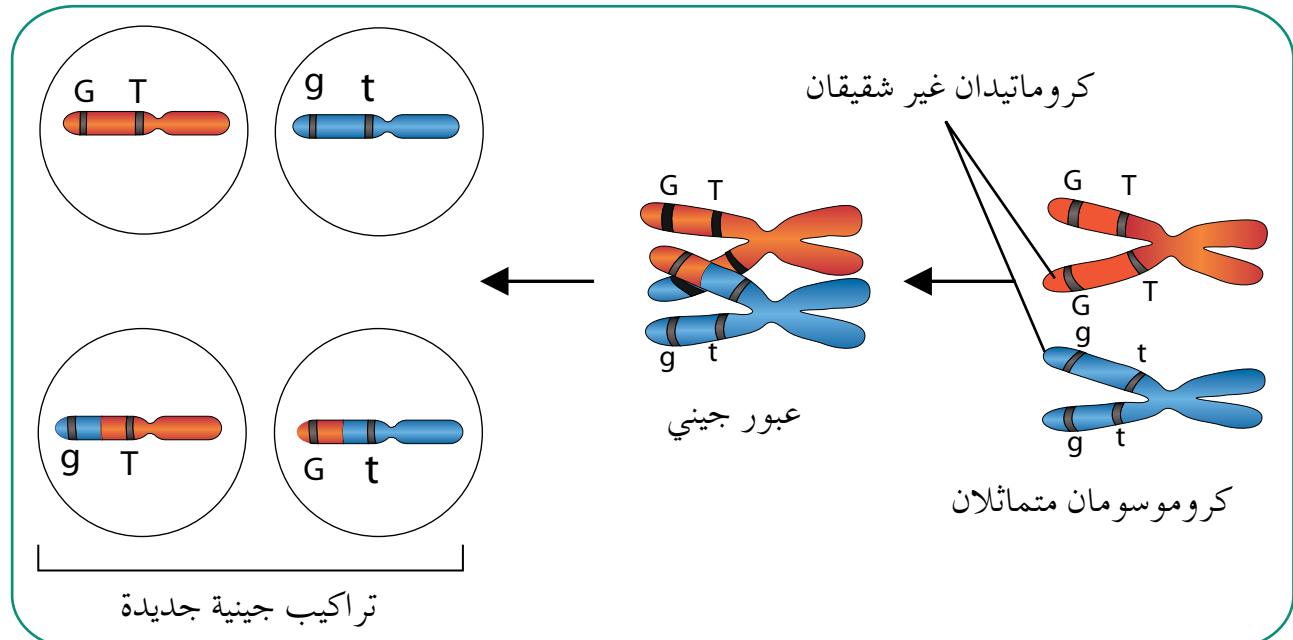
الطرز الجينية للأفراد الناتجة

الطرز الشكلي للأفراد الناتجة

الشكل (٩-١): نتائج تجربة مورغان عند حدوث عبور جيني.

◀ كيف فسر مورغان هذه النتائج؟

تعزى هذه النتائج إلى حدوث انفصال بين أليلات الجينات المرتبطة في أثناء تكوين الجاميات عن طريق عملية **العبور الجيني** (genetic crossing over) التي تُعرف بأنها تبادل أجزاء من المادة الوراثية بين الكروماتيدات غير الشقيقة في زوج الكروموسومات المتماثلة في أثناء الطور التمهيدي الأول من الانقسام المنصف، وهو ما يؤدي إلى انفصال أليلات بعض الجينات المرتبطة، فتنتج تراكيب جينية جديدة تختلف عن تلك الموجودة عند أيٌّ من الأبوين. لاحظ الشكل (١٠-١)، ثم أجب عما يليه من أسئلة:



الشكل (١٠-١): عملية العبور الجيني.

◀ كم طرزاً جينياً للجاميات التي ينتجها فرد طرازه الجيني (GgTt) في حال كانت الجينات مرتبطة، ولم يحدث عبور جيني؟

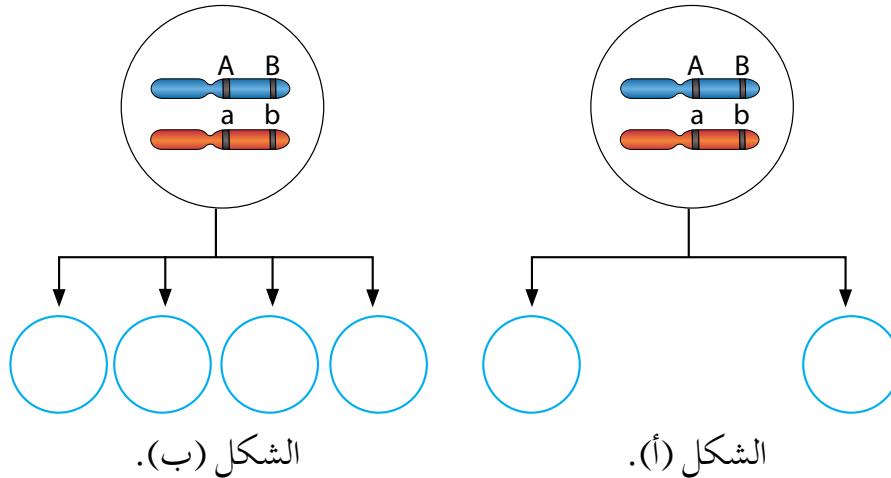
◀ ما التراكيب الجينية الجديدة الناتجة من عملية العبور الجيني؟
يمكن حساب نسبة حدوث التراكيب الجينية الجديدة باستخدام العلاقة الآتية:

$$\frac{\text{عدد الأفراد ذوي التراكيب الجينية الجديدة}}{\text{عدد الأفراد الكلي}} \times 100\%$$

وفي تجربة مورغان الأنف ذكرها، فإن نسبة حدوث التراكيب الجينية الجديدة

$$= \frac{206 + 185}{2300} \times 100\% = 17\%$$

يُمثل الشكلان (أ) و(ب) حالتين لجينات مرتبطة. اكتب الطرز الجينية للجاميات الناتجة في الشكل (أ) في حال عدم حدوث عبور جيني، والطرز الجينية للجاميات الناتجة في الشكل (ب) في حال حدوث عبور جيني.



ولكن، علامَ تعتمد احتمالية حدوث العبور الجيني بين أليلات الجينات المرتبطة؟ وكيف نستفيد من معرفتنا بنسبة حدوث تراكيب جينية جديدة في تحديد المسافة بين الجينات المرتبطة؟

رابعاً خريطة الجينات

لاحظ مورغان أنه كلما زادت المسافة بين موقع الجينين المرتبطين على الكروموسوم زادت احتمالية حدوث عملية العبور الجيني بينهما، فتزداد نسبة حدوث تراكيب جينية جديدة. ولأن لكل جين موقعاً ثابتاً على الكروموسوم؛ فإن المسافة بين أي جينين على الكروموسوم نفسه تكون ثابتة.

يمكن تحديد موقع الجينات على الكروموسوم بمعرفة نسبة حدوث تراكيب جينية جديدة، ويعبر عن كل (١٪) نسبة حدوث تراكيب جينية جديدة ناتجة من العبور الجيني بين جينين بوحدة خريطة واحدة بينهما على الكروموسوم.

فعلى سبيل المثال، إذا كانت نسبة حدوث تراكيب جينية جديدة هي ٥٪ ، فهذا يعني أن المسافة بينهما هي خمس وحدات خريطة.
أمّا نسبة ارتباط الجينين معًا فتساوي: ١٠٠٪ – نسبة حدوث تراكيب جينية جديدة. وقد أفاد مورغان وتلاميذه من هذه النتائج في عمل **خرائط جينات** (gene maps) تُحدد موقع الجينات وترتيبها على طول الكروموسوم.

مثال

إذا علمت أن موقع الجينات التي يُرمز إليها بالأحرف (A, B, C) تقع على الكروموسوم نفسه في ذبابة الفاكهة، وأن المسافة بين الجين (C) والجين (B) تساوي ٦ وحدات خريطة، وأن نسبة ارتباط الجين (B) والجين (A) هي ٨٧٪، وأن نسبة حدوث تراكيب جينية جديدة ناتجة من العبور بين الجين (A)، والجين (C) الموجودان على الكروموسوم نفسه هي ٩٪، فأجب عن الأسئلة الآتية:

١ – ما مقدار المسافة بين الجينين (A) و(B)؟

٢ – كم يبعد الجين (A) عن الجين (C) بوحدة الخريطة الجينية؟

٣ – ارسم شكلاً يمثل موقع الجينات على الكروموسوم.

الحل

– لحساب مقدار المسافة بين الجينين (A) و(B) نطبق العلاقة الآتية:

نسبة ارتباط الجينين = ١٠٠٪ – نسبة حدوث تراكيب جينية جديدة.

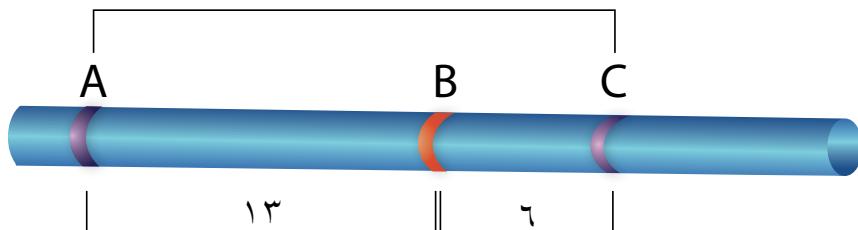
= ١٠٠٪ – نسبة حدوث تراكيب جينية جديدة. ٪٨٧

$$= \% ١٣$$

المسافة بين الجينين (A) و(B) تساوي ١٣ وحدة خريطة.

– المسافة بين الجينين (A) و(C) بوحدة الخريطة = ١٩ وحدة خريطة

– يكون ترتيب موقع الجينات على الكروموسوم كالتالي:



الشكل (١١-١) : ترتيب الجينات على كروموسوم في ذبابة الفاكهة.

سؤال

إذا علمت أن نسبة حدوث تراكيب جينية جديدة ناتجة من العبور الجيني بين الجينات المرتبطة الآتية هي :

(A) و (D) = ٤٪، (D) و (C) = ٢٪، (B) و (D) = ١٪، وأن نسبة ارتباط الجينات كالآتي: (C) و (A) = ٩٨٪، (A) و (B) = ٩٥٪، فأجب عمّا يأتي:

- ما ترتيب الجينات على الكروموسوم؟
- كم يبعد الجين (C) عن الجين (B)؟

خامساً

أثر البيئة في ترجمة الطرز الجينية إلى طرز شكلية



تؤثّر العوامل البيئية في ترجمة الطرز الجينية إلى طرز شكلية، ومن الأمثلة على ذلك لون الفراء في القطط السيامية (Siamese cats) التي تتلون بلون داكن في الأجزاء التي تكون فيها درجة الحرارة أقل من بقية أجزاء الجسم؛ إذ يوجد في هذا النوع من القطط أليل مسؤول عن إنتاج إنزيم تصنّع صبغة الميلانين، وهو إنزيم حساس لدرجة الحرارة، ينشط ويوّدي وظيفته في درجة حرارة أقل من درجة حرارة الجسم الطبيعية، في منطقة الأنف، والأذنين، والأطراف، والذيل، فتُنتَج صبغة الشعر الداكن بصورة طبيعية فيها، لاحظ الشكل (١٢-١).

الشكل (١٢-١) : قط سيامي.

أما أجزاء الجسم الأخرى التي ترتفع فيها درجة الحرارة أكثر من تلك الأنف ذكرها فيكون فيها الإنزيم غير نشط، ولا يؤدي وظيفته بإنتاج صبغة الشعر الداكن، فتظهر هذه الأجزاء بلون أبيض. مستعيناً بالشكل (١٢-١) والمعلومات التي تم ذكرها، أجب عن الأسئلة الآتية:

- ◀ في أيِّ أجزاء الجسم يظهر اللون الأبيض؟
- ◀ هل تتوقع أن يتغير لون الفراء الأبيض إلى داكن إذا خُفضت درجة حرارة هذه الأجزاء؟
- ◀ كيف يمكن التتحقق من ذلك؟

يتغيَّر لون فراء القط السيامي عند انخفاض درجة الحرارة، و يمكن التتحقق من ذلك بحلق جزء من فراء ظهر قط سيامي، ثم وضع قطعة قطن باردة مثبتة بلفافة على هذا الجزء، مع الاستمرار في تغيير قطعة القطن الباردة لضمان خفض درجة حرارة هذا الجزء إلى أقل من درجة حرارة جسم القط الطبيعية، عندئذٍ ستلاحظ نمو فراء جديد أسود اللون في هذا الجزء تحديداً.

مؤسساتنا فخرنا

للاستزادة عن موضوع الفصل، زر الموقع الإلكتروني للمركز الوطني للبحث والإرشاد .WWW. ncare.gov.jo

أسئلة الفصل

١ - اختر من عبارات المجموعة (ب) ما يناسب عبارات المجموعة (أ)، واتكتب الرقم الذي يُمثل الإجابة في المكان المخصص:

الإجابة	المجموعة (أ)	المجموعة (ب)
فصيلة الدم (AB).	١ - صفة متعددة الجينات.	
صفة لون الأزهار في نبات البازيلاء.	٢ - صفة متأثرة بالجنس.	
الصلع عند الإنسان.	٣ - سيادة تامة.	
لون البشرة في الإنسان.	٤ - صفة مرتبطة بالجنس.	
عمى الألوان عند الإنسان.	٥ - سيادة مشتركة.	

٢ - أجريت عملية تلقيح بين نباتي بندورة، فكان أليل طول الساق (T) سائداً على أليل قصر الساق (t)، وأليل لون الثمار الأحمر (R) سائداً على أليل لون الثمار الأصفر (r). ادرس مربع بانيت الآتي، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

♂	♀	TR	١	tR	tr
Tr			TTrr		
٢					ttrr

- أ - اكتب الطراز الجيني لكلاً من النباتين الأبوين.
- ب - اكتب الطرز الجينية للجاميتات المشار إليها بالرقمين (١)، و (٢).
- ج - اكتب الطرز الجينية والطرز الشكلية لكلاً من الأفراد الناتجة من عملية التلقيح في المكان المخصص بالجدول.
- ٣ - تزوج شاب فصيلة دمه (A)، بفتاة فصيلة دمها (B)، فأنجبا ثلاثة أبناء فصائل دمهم على النحو الآتي: (O, AB, B). اكتب الطراز الجيني لفصيلة دم كلًّا من الأبوين.

٤ – إذا كانت فصيلة دم الطفل (أ) هي (O)، وفصيلة دم الطفل (ب) هي (A)، فانسب كل طفل إلى العائلة التي ينتمي إليها:

– العائلة (س): الأب فصيلة دمه (O).

الأم فصيلة دمها (AB).

– العائلة (ص): الأب فصيلة دمه (A).

الأم فصيلة دمها (B).

٥ – تمتاز بعض الأغنام بصفة وجود شعر على الذقن متأثرة بالجنس، لاحظ الشكل (١٣-١).



الشكل (١٣-١): ماعز ذو شعر على الذقن.

فإذا تزاوجت أغنام ذات شعر على الذقن بأغنام من دون شعر على الذقن، فتتجزأ أفراد الجيل الأول الذكور جميعها بشعر على الذقن، والإإناث جميعها من دون شعر على الذقن، ثم تزاوج عدد من أفراد الجيل الأول فتتجزأ ذكوراً من دون شعر على الذقن، وستة ذكور بشعر على الذقن، وست الإناث من دون شعر على الذقن، وأنثيان بشعر على الذقن:

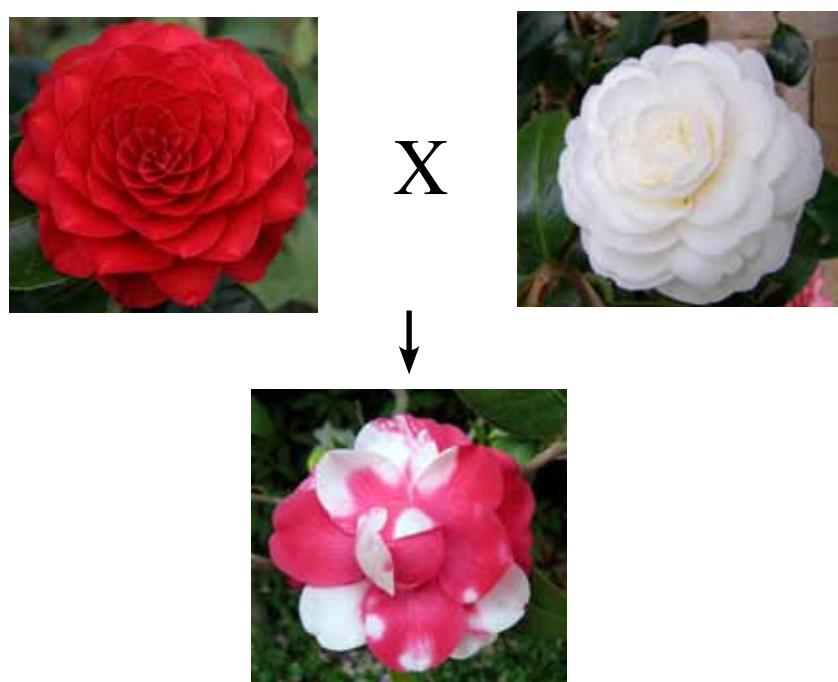
أ – ما الطرز الجينية لأفراد الجيل الأول؟

ب – ما الطرز الجينية لأفراد الجيل الثاني؟

٦ - اكتب الطرز الجينية للجاميتات التي ينتجها كل فرد مما يأتي:

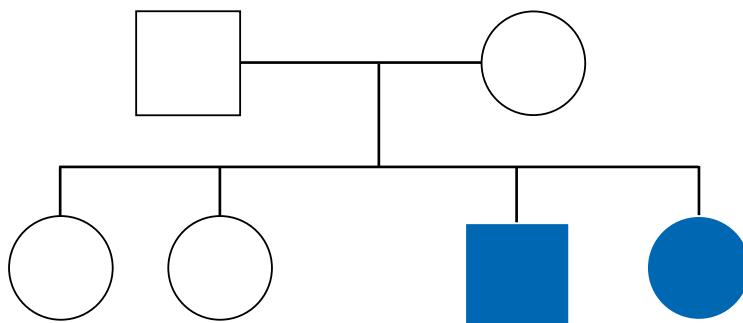
الطرز الجينية للجاميتات	الفرد
	أنثى حاملة أليل الإصابة بمرض نزف الدم (H) لا تظهر عليها أعراض المرض.
	فرد طرازه الجيني (MmNn) (في حال عدم ارتباط الجينات).
	فرد طرازه الجيني (BbDd) (في حال ارتباط الجين (B) والجين (D)، وعدم حدوث عبور جيني).

٧ - نمط وراثة لون الزهرة في نبات الكاميليا هو السيادة المشتركة. وعند تلقيح نبات أحمر الأزهار مع نبات أبيض الأزهار، كانت لأزهار الجيل الأول بتلات حمراء اللون وبتلات بيضاء اللون في الزهرة نفسها، لاحظ الشكل (١٤-١). فإذا رُمِزَ إلى أليل لون الأزهار الأحمر بالرمز (C^R)، وإلى أليل لون الأزهار الأبيض بالرمز (C^w)، فما الطرز الجينية والطرز الشكلية لكل فرد ناتج من تلقيح نباتين من أفراد الجيل الأول؟



الشكل (١٤-١): نتيجة تلقيح نباتي كاميليا.

٨ - في مخطط السلالة أدناه، كان الشخص المشار إليه باللون الأزرق مصاباً بمرض وراثي.
ادرس الشكل، ثم أجب عما يليه من أسئلة:



أنثى غير مصابة.

ذكر غير مصابة.

أنثى مصابة.

ذكر مصابة.

أ - هل يُحمل أليل المرض على كروموسوم جنسي أم على كروموسوم جسمي؟ فسر إجابتك.

ب - إذا تزوج الشاب المشار إليه باللون الأزرق من فتاة غير مصابة بالمرض ووالدها مصاب به، فاكتب الطرز الجينية والشكلية المحتملة لأبنائهما.

٩ - تزوج شاب بفتاة، وكان كلاهما غير مصاب بمرض عمى الألوان (إبصارهما طبيعي)، فأنجبا ثلث بنات إبصارهن طبيعي. إذا تزوجت إحدى البنات بشاب إبصاره طبيعي، وأنجبا طفلاً مصاباً بمرض عمى الألوان، ففسّر سبب إصابة هذا الطفل بمرض عمى الألوان.

الطفرات وتأثيراتها

درست سابقاً دور المادة الوراثية في عملية بناء البروتينات في أجسام الكائنات الحية، وتعرّفت آلية هذه العملية الحيوية المهمة التي تتضمّن عمليتي النسخ والترجمة، ولا حظت مدى دقتها وأهميتها.

تعرّفت أيضاً أن أيّ تغيير يحدث في المادة الوراثية يؤدي إلى اختلال في عملية بناء البروتينات، وهو ما يؤدي إلى حدوث طفرات، فما أنواع الطفرات؟ وما أسباب حدوثها؟ وما تأثيرها في الكائنات الحية؟ وما الاختلالات الوراثية التي قد تنشأ عنها؟ وما الحالات التي تتطلّب الاستشارة الوراثية؟ ستتمكن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك لهذا الفصل.

يتوقع منك أن تكون قادرًا على أن:

- توضّح أنواع الطفرات.
- تعرّف بعض الاختلالات الوراثية عند الإنسان، وأسبابها، وأعراضها.
- تبيّن أهمية الاستشارة الوراثية والفحص الطبي قبل الزواج.

تحتَّلُّفُ الطفرات (mutations) باختلاف نوع الخلايا التي تحدث فيها، فتَكُون متوارثة عندما تحدث في جاميات الكائن الحي أو الخلايا المنتجة لها، وتكون غير متوارثة عندما تحدث في الخلايا الجسمية للكائن الحي. تختلف الطفرات أيضًا باختلاف العامل المُسَبِّب لها، فقد تكون تلقائية نتيجة حدوث أخطاء في أثناء تضاعف (DNA)، وتحدث غالباً في الفيروسات والبكتيريا، وقد تكون مستحثة نتيجة تعرض خلايا الكائن الحي لعوامل مختلفة، منها:

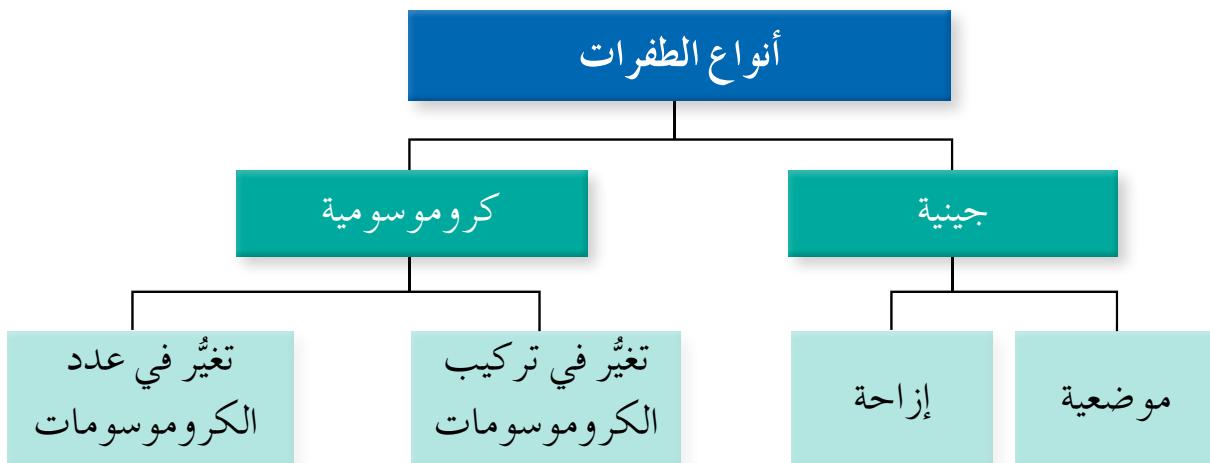
- العوامل الفيزيائية

من أمثلتها: الأشعة السينية (X-rays) وأشعة جاما، وأشعة الشمس التي تحوي الأشعة فوق البنفسجية (UV)، والتي قد تُحدِّث طفرات في حال التعرض لها مُدِّداً طويلاً جدًا، مُسبِّبة سرطان الجلد.

- العوامل الكيميائية

من أمثلتها: ألياف الأسبست، والمواد الموجودة في دخان السجائر والدهانات، وبعض الملوثات، مثل: الرصاص، والكادميوم، والغازات المنبعثة من عوادم السيارات والمصانع، والمبيدات الحشرية والفتيرية.

وبحسب التصنيف العام للطفرات، يوجد نوعان رئيسيان منها، لاحظ الشكل (١٥-١).



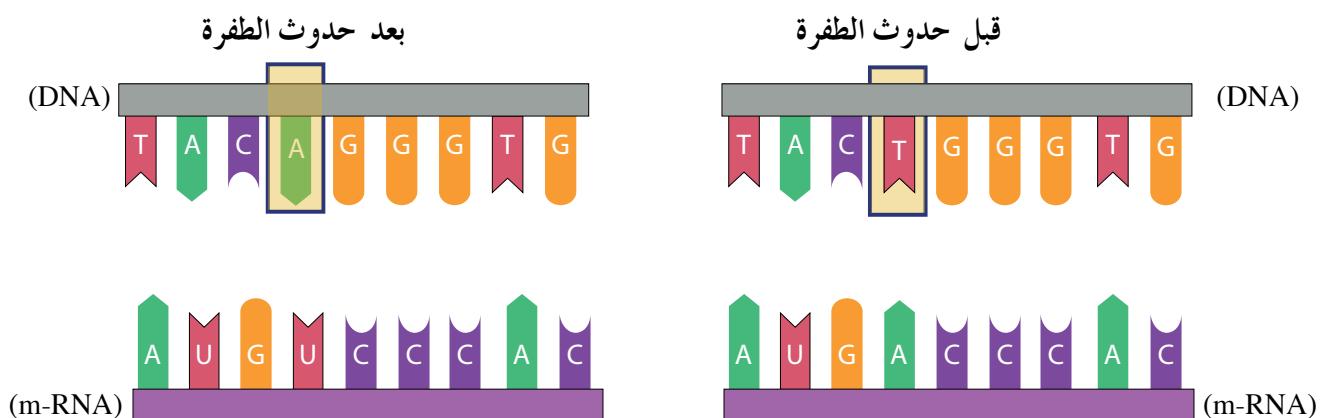
الشكل (١٥-١): أنواع الطفرات بحسب تصنيفها العام.

- ١ - وُضِّح سبب عدم ظهور طفرة عند أبناء شخص لديه طفرة في خلايا الرئتين.
 - ٢ - تعرَّض غزال للأشعة فوق البنفسجية (UV)، فظهرت طفرة في شبكيَّة عينه. أيُّ العبارات الآتية غير صحيحة:
- أ - قد تؤدي الطفرة إلى حدوث سرطان الشبكيَّة.
 - ب - قد تؤثِّر الطفرة في عمل خلايا الشبكيَّة.
 - ج - ستُورَث الطفرة للأبناء.
 - د - قد تؤثِّر الطفرة في شكل خلايا الشبكيَّة.

١ | الطفرات الجينية

تنتج هذه الطفرات من التغيير في تسلسل القواعد النيتروجينية على مستوى الجين، وهي نوعان:

- أ - **الطفرة الموضعية**: تحدث **الطفرة الموضعية** (point mutation) في موقع محدد من الجين، وذلك باستبدال زوج أو بضعة أزواج من القواعد النيتروجينية في جزيء (DNA)، وهو ما يؤدي إلى تغيير كودون أو بضعة كودونات في جزيء (m-RNA) المنسوخ، لاحظ الشكل (١٦-١).

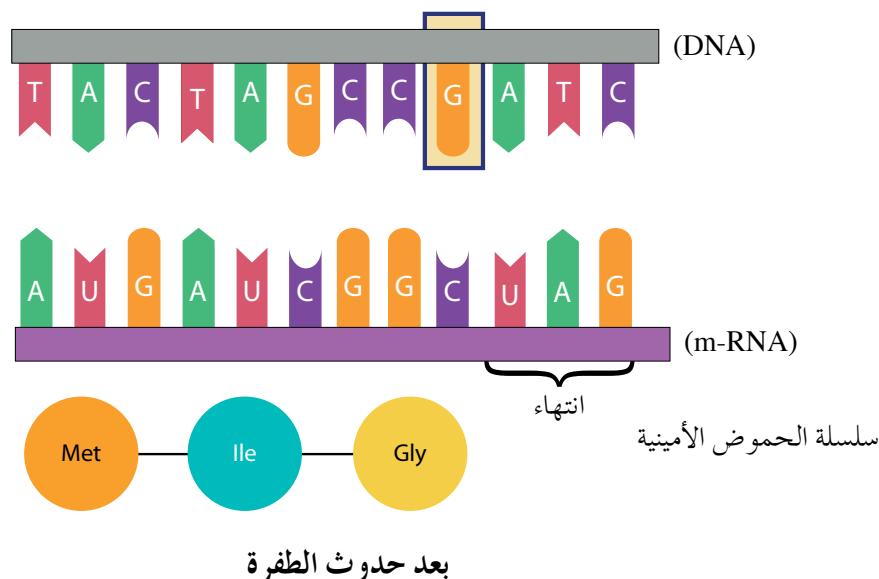


الشكل (١٦-١): الطفرة الموضعية.

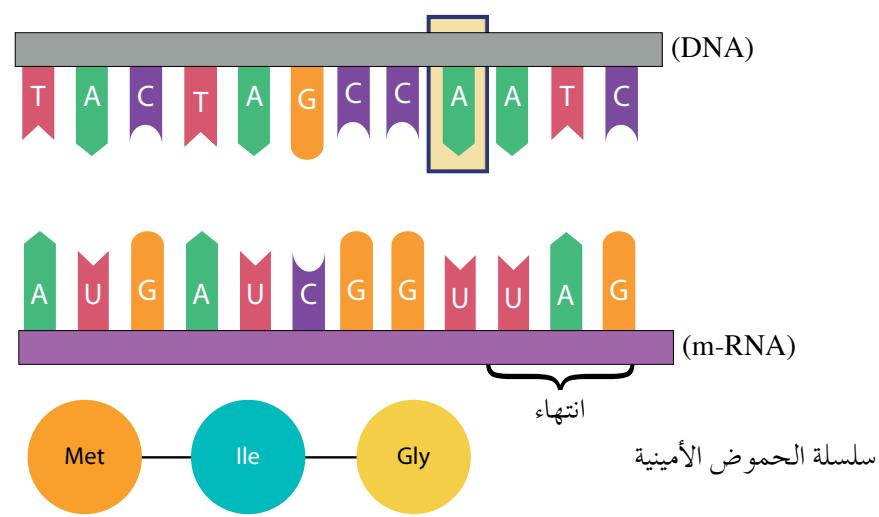
من النتائج المحتملة للطفرة الموضعية:

١. تغيير كودون إلى كودون آخر يترجم إلى الحمض الأميني نفسه عند بناء البروتين، فلا يطرأ تغيير على البروتين الناتج، وتسمى الطفرة في هذه الحالة **الطفرة الصامتة** (silent mutation).

قبل حدوث الطفرة

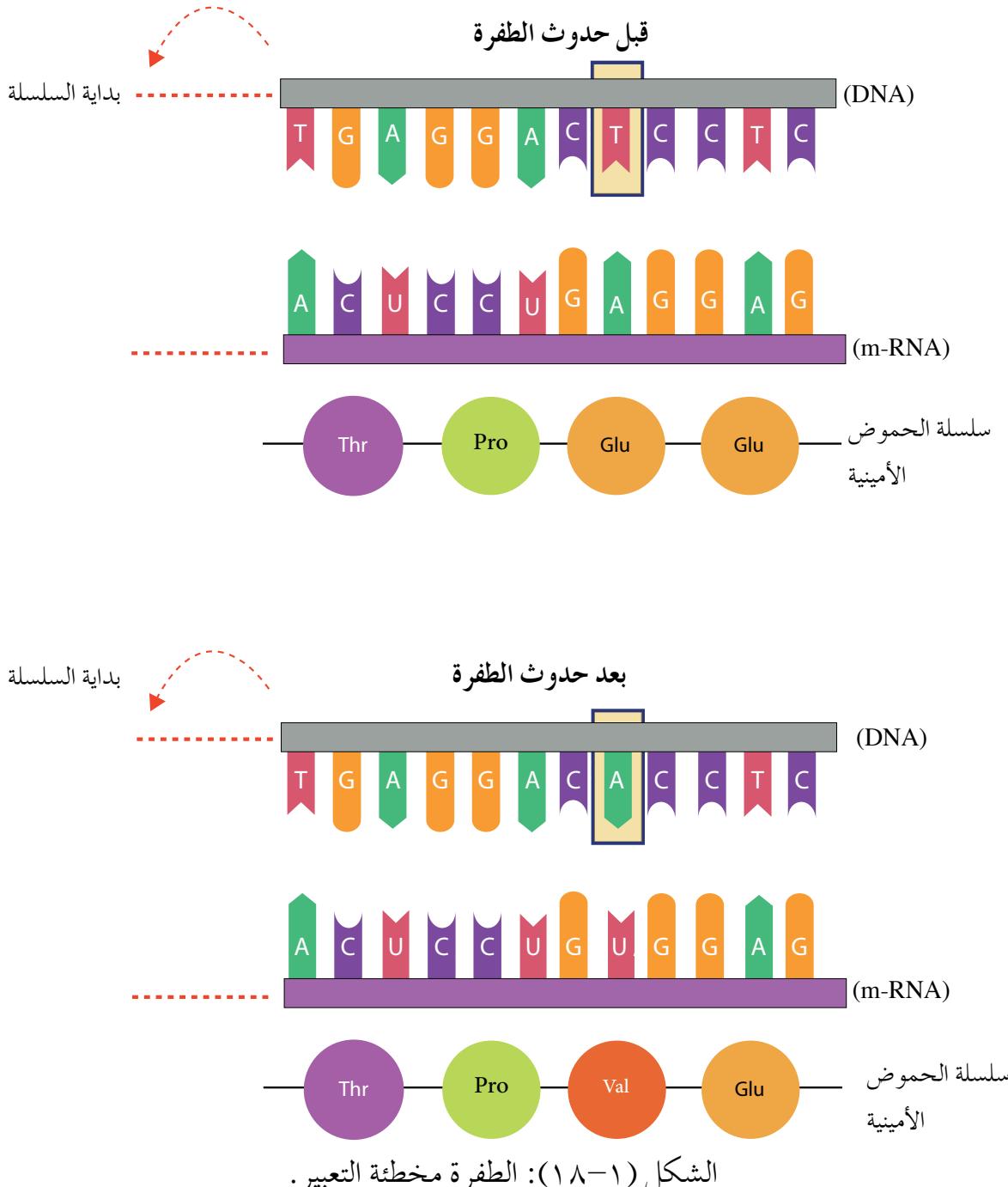


بعد حدوث الطفرة

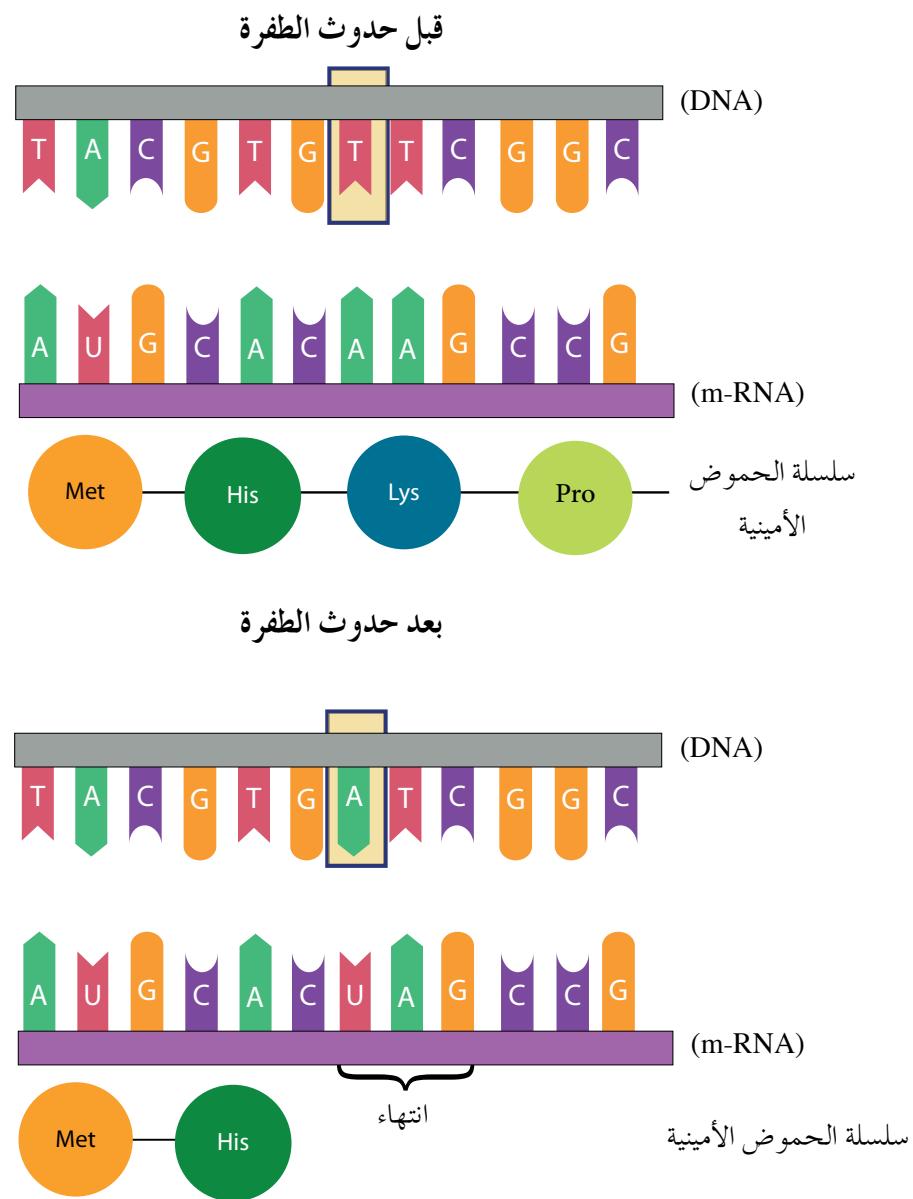


الشكل (١٧-١): الطفرة الصامتة.

٢. تغيير كودون إلى كودون آخر يترجم إلى حمض أميني جديد يختلف عن الحمض الأميني للكodon الأصلي. ومن الأمثلة على ذلك الطفرة التي تسبب الإصابة بمرض الأنيميا المنجلية، والتي تسمى **الطفرة مخطئ التعبير** (missense mutation)؛ لأنها تسبب خطأً في التعبير الجيني، لاحظ الشكل (١٨-١).



٣. تغيير كودون إلى كودون وقف الترجمة، فتنتهي بروتينًا غير مكتمل (ناقصًا) لفقدانه مجموعة من الحموض الأمينية الدالة في تركيبه، وتشتهر الطفرة في هذه الحالة **الطفرة غير المعبرة** (nonsense mutation); لأنها تحول دون حدوث تعبير جيني كامل، لاحظ الشكل (١٩-١).



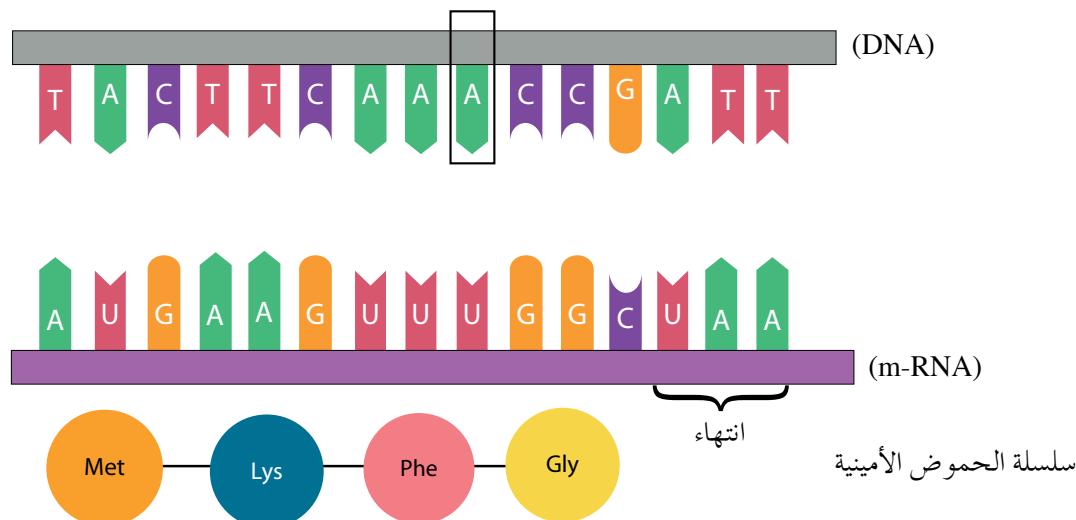
الشكل (١٩-١) : الطفرة غير المُعَبّرَة.

ب - طفرة الإزاحة: تحدث طفرة الإزاحة (frameshift mutation) إما بإضافة زوج أو عدّة أزواج من القواعد النيتروجينية إلى الجين، وإما بحذف زوج أو عدّة أزواج من القواعد النيتروجينية من الجين. وبذلك تحدث إزاحة للكودونات في جزيء المنسوخ.

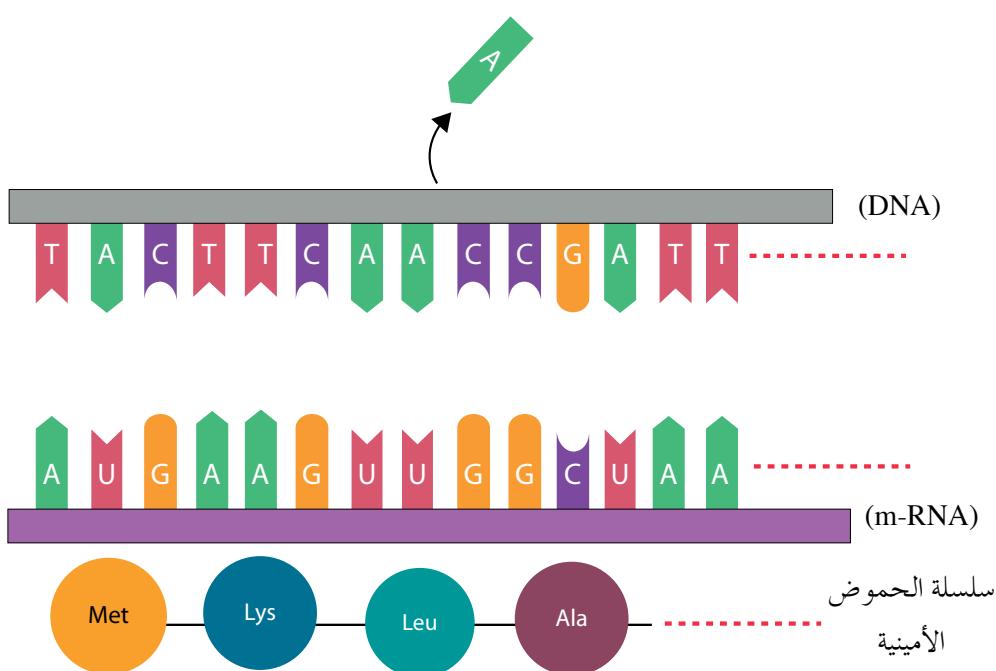
من النتائج المحتملة لطفرة الإزاحة:

1. حدوث تغيير كبير في الكودونات، وهو ما يسبب تغييراً في سلسلة البروتين الناتج،
لاحظ الشكل (٢٠-١).

قبل حدوث الطفرة

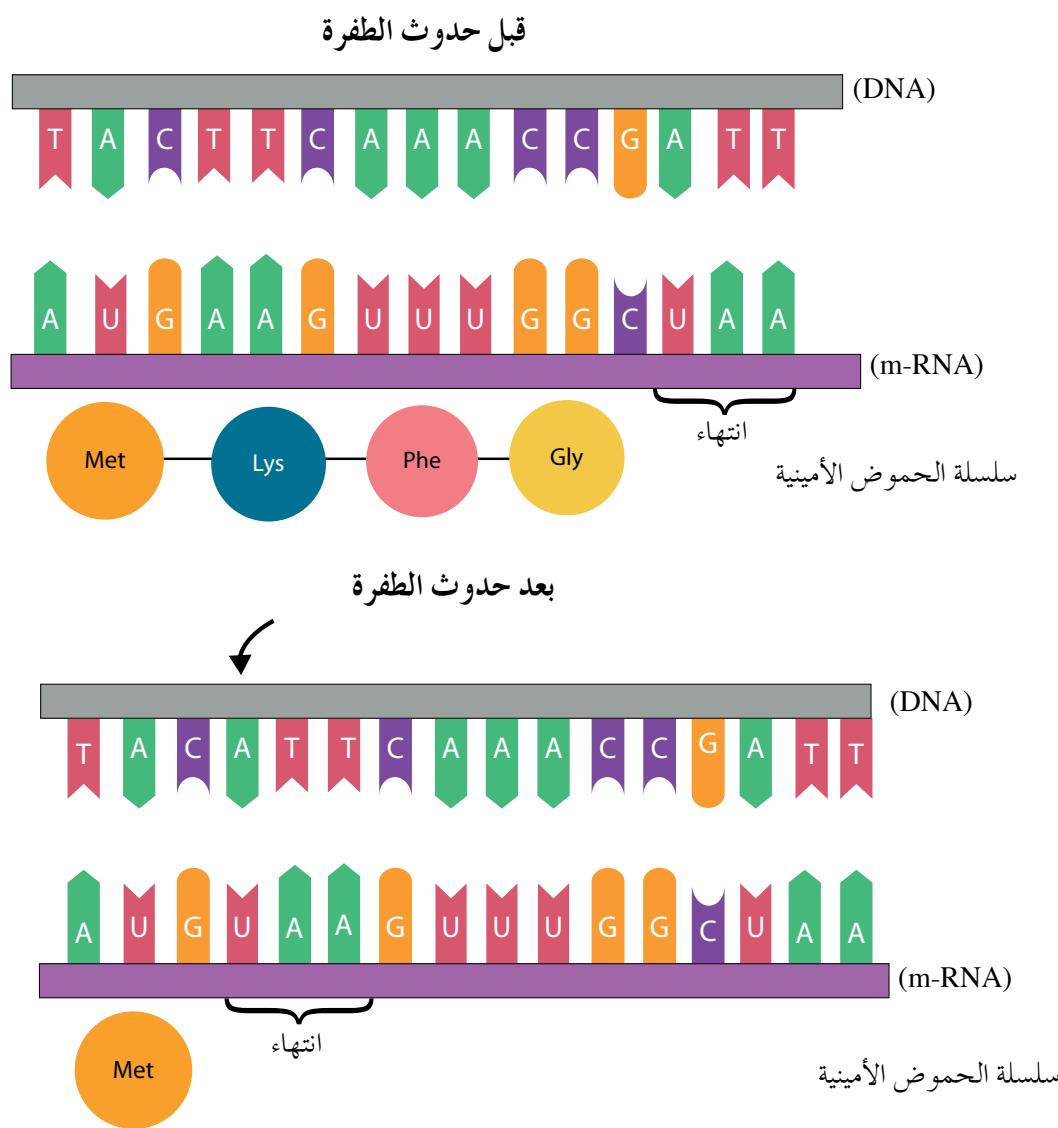


بعد حدوث الطفرة



الشكل (٢٠-١): طفرة إزاحة تُسبِّب تغييراً في سلسلة البروتين.

٢. توقف بناء سلسلة البروتين نتيجة حدوث تغيير في أحد الكodonات ليصبح كodon وقف، لاحظ الشكل (٢١-١).



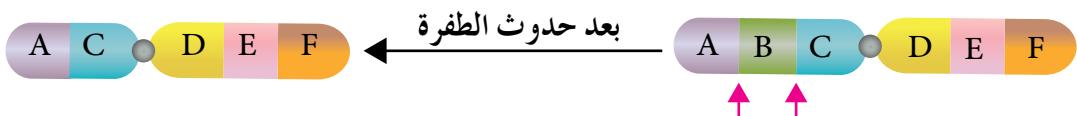
الشكل (٢١-١): طفرة إزاحة تسبب في توقف بناء سلسلة البروتين.

٢ الطفرات الكروموسومية

تنتج هذه الطفرات من التغيير في تركيب الكروموسومات، أو عددها في الخلية، وتُقسَّم إلى قسمين:

أ – الطفرات الناتجة من تغيير في تركيب الكروموسوم: تنشأ هذه الطفرات نتيجة التغيير في بنية الكروموسوم أو تركيبه، وهي: الحذف، والتكرار، وتبديل الموقع، والقلب.

١. طفرة الحذف: تحدث **طفرة الحذف** (deletion) عند إزالة جزء من الكروموسوم والتحام القطع المتبقية من الكروموسوم معاً، مُسْبِبَةً نقصاً في طول الكروموسوم، وهو ما يؤدي إلى حدوث نقص في عدد الجينات التي يحملها، لاحظ الشكل (٢٢-١).



الشكل (٢٢-١): طفرة الحذف.

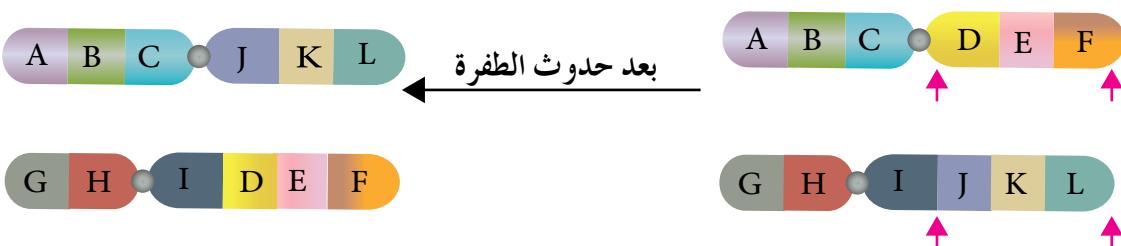
٢. طفرة التكرار: تحدث **طفرة التكرار** (duplication) عندما ينقطع جزء من الكروموسوم، ويرتبط بالكروموسوم المماثل له، فيصبح لدى الكروموسوم المماثل جزء مكرر إضافي لأحد أجزائه، لاحظ الشكل (٢٣-١).



الشكل (٢٣-١): طفرة التكرار.

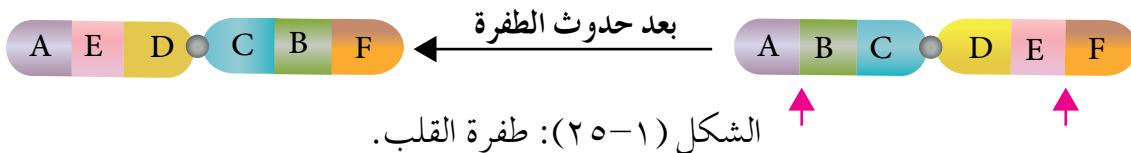
◀ ما الطفرة التي تعرض لها الكروموسوم المقابل للكروموسوم الظاهر في الشكل (٢٣-١)؟

٣. طفرة تبديل الموقع: تحدث طفرة **تبديل الموقع** (translocation) عند قطع جزء طرفي من الكروموسوم، ثم انتقاله إلى كروموسوم آخر غير مماثل له، وهو ما يؤدي إلى تبديل مواقع الجينات على الكروموسومات غير المتماثلة، لاحظ الشكل (٢٤-١).



الشكل (٢٤-١): طفرة تبديل الموقع.

٤. طفرة القلب: تحدث **طفرة القلب** (inversion) عند انفصال قطعة من الكروموسوم، ثم ارتباطها مرة أخرى بصورة مقلوبة من الجهة المعاكسة لجهة انفالها، وهو ما يؤدي إلى عكس ترتيب الجينات في هذا الجزء من الكروموسوم، لاحظ الشكل (٢٥-١).

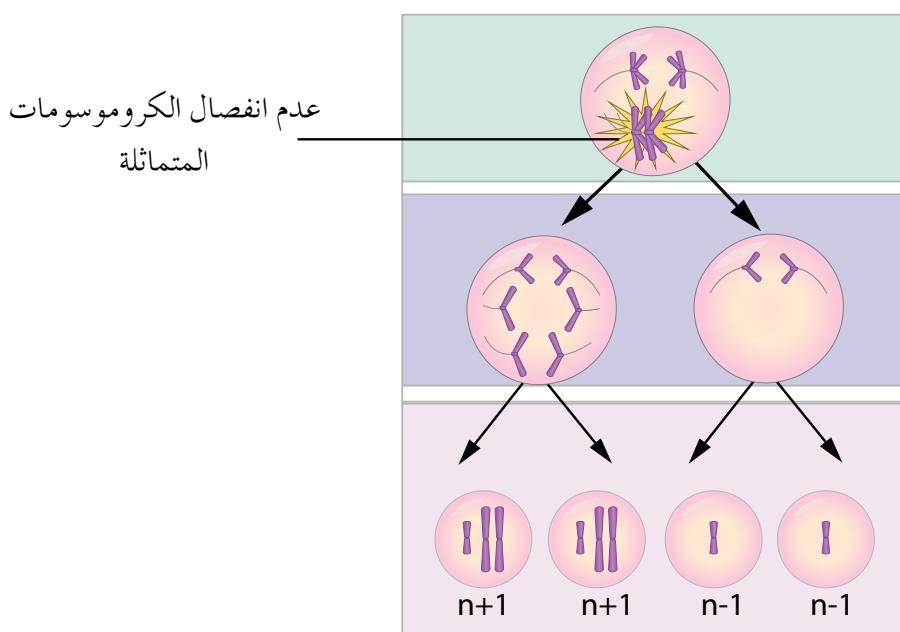


الشكل (٢٥-١): طفرة القلب.

ب - الطفرات الكروموسومية الناتجة من تغيير عدد الكروموسومات: تُحدث هذه الطفرات اختلالاً في عدد الكروموسومات في خلايا الكائن الحي. وقد يحدث هذا الاختلال العددي نتيجة عدم انقسام السيتو بلازم في أثناء الانقسام الخلوي، مثلما يحدث في بعض أنواع النباتات.

وقد يحدث الاختلال أيضاً نتيجة عدم انفصال الكروموسومات المتماثلة أو الكروماتيدات الشقيقة في أثناء الانقسام المنصف، وذلك على النحو الآتي:

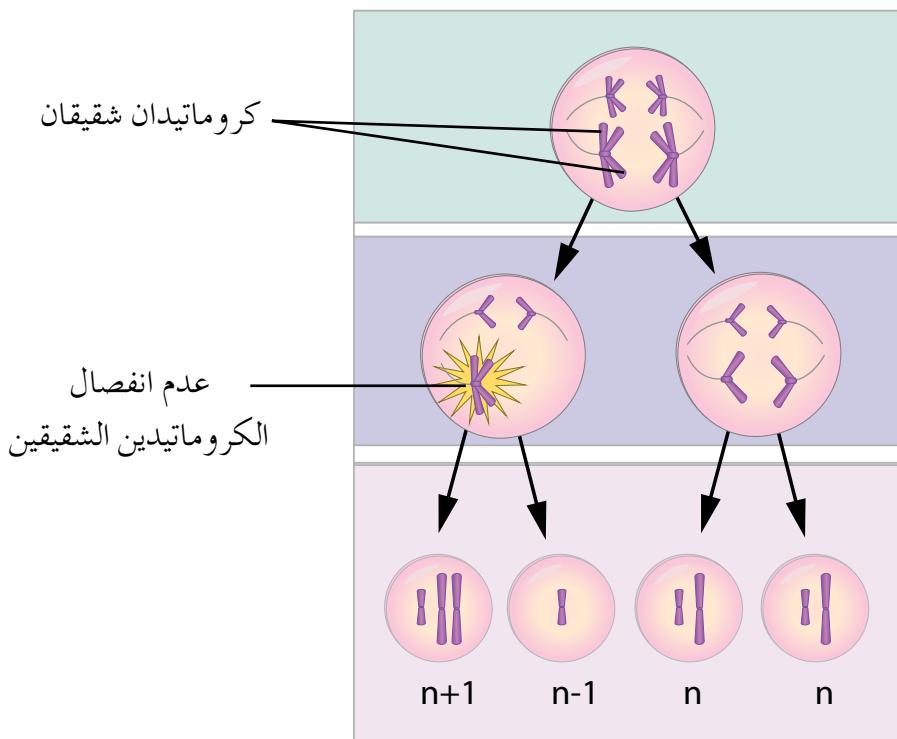
١. تغيير عدد الكروموسومات في أثناء المرحلة الأولى من الانقسام المنصف: يحدث ذلك نتيجة عدم انفصال كروموسوم عن الكروموسوم المماثل له، فتنتج جاميات غير طبيعية تحتوي على كروموسومات عددها أكثر من العدد الطبيعي ($n+1$)، أو أقل منه ($n-1$)، لاحظ الشكل (٢٦-١).



الشكل (٢٦-١): عدم انفصال أحد أزواج الكروموسومات المتماثلة في أثناء المرحلة الأولى من الانقسام المنصف.

وقد يحدث ذلك أيضاً نتيجة عدم انفصال أكثر من كروموسوم عن الكروموسوم المماثل لكلٌ منها.

٢. تغير عدد الكروموسومات في أثناء المرحلة الثانية من الانقسام المنصف: يحدث ذلك نتيجة عدم انفصال الكروماتيدات الشقيقة بعضها عن بعض في كروموسوم أو أكثر، فتنتج جاميتاتٌ عدُّ الكروموسومات فيها طبيعي (n)، وجاميتات أخرى تحتوي على كروموسومات عددها أكثر من العدد الطبيعي ($n+1$)، أو أقل منه (ن-1)، لاحظ الشكل (٢٧-١).



سؤال

أي حالات حدوث طفرات في عدد الكروموسومات لا يمكن أن ينتج منها جاميتات طبيعية: حدوثها في المرحلة الأولى أم في المرحلة الثانية من الانقسام المنصف؟

تسهم بعض الطفرات في تحسين صفات السلالات النباتية أو الحيوانية، ولكن يوجد الكثير من الاختلالات الوراثية الناجمة عن حدوث الطفرات، فما هذه الاختلالات؟

الاختلافات الوراثية عند الإنسان

ينتج من الطفرات اختلالات وراثية عدّة، يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أنواع:

١ اختلالات ناتجة من طفرات جينية، لاحظ الجدول (١-٣).

الجدول (١-٣): اختلالات ناتجة من طفرات جينية.

موقع حدوث الطفرة	وصف الاختلال وأبرز أعراضه	اسم الاختلال
الزوج الكروموسومي رقم (٧).	صعوبة في التنفس والهضم نتيجة وجود مخاط كثيف لزج جدًا في الرئتين، والقناة الهضمية، وأعضاء أخرى.	التلُّيف الكيسي (Cystic fibrosis)
الزوج الكروموسومي رقم (١٢).	حدوث خلل في أيض الحمض الأميني فينيل الألانين في جسم الشخص الذي يعاني هذا الاختلال. وفي حال لم يخضع الشخص لنظام غذائي خالٍ من فينيلalanine، أو يحتوي على كميات قليلة منه، فإن تراكم هذا الحمض الأميني في دمه يُسبِّب تراجعاً في قدراته العقلية.	فينيل كيتونوريا (Phenylketonuria: PKU)
الكروموسوم الجنسي (X).	استمرار نزف الدم الذي قد يكون تلقائياً، أو ناجماً عن عملية جراحية؛ لوجود خلل في إنتاج عامل التخثر (VIII).	نزف الدم-A (الناعور) (Haemophilia A)

٢ اختلالات ناتجة من طفرات بسبب تغيير عدد الكروموسومات الجسمية، لاحظ الجدول (٤-٦).

الجدول (١-٤): اختلالات ناتجة من طفرات بسبب تغيير عدد الكروموسومات الجسمية.

اسم الاختلال	وصف الاختلال وأبرز اعراضه	التغيير في عدد الكروموسومات	عدد الكروموسومات الكلي
متلازمة داون (Down Syndrome)	قدرات عقلية محدودة، ولامح وجه مختلف عن الوجه الطبيعي، وانشاء في الجفن العلوي، وقامة قصيرة ممتلئة، ومشكلات في القلب لدى بعض الأشخاص.	إضافة كروموسوم إلى الزوج الكروموسومي رقم (٢١).	(٤٧) كروموسوماً.
متلازمة بتاو (Patau Syndrome)	تشوهات في الأعضاء الداخلية، وقدرات عقلية محدودة، ووجود شق في الشفة العليا والحلق.	إضافة كروموسوم إلى الزوج الكروموسومي رقم (١٣).	(٤٧) كروموسوماً.

٣ | اختلالات ناتجة من طفرات بسبب تغيير عدد الكروموسومات الجنسية، لاحظ الجدول (١-٥).

الجدول (١-٥): اختلالات ناتجة من طفرات بسبب تغيير عدد الكروموسومات الجنسية.

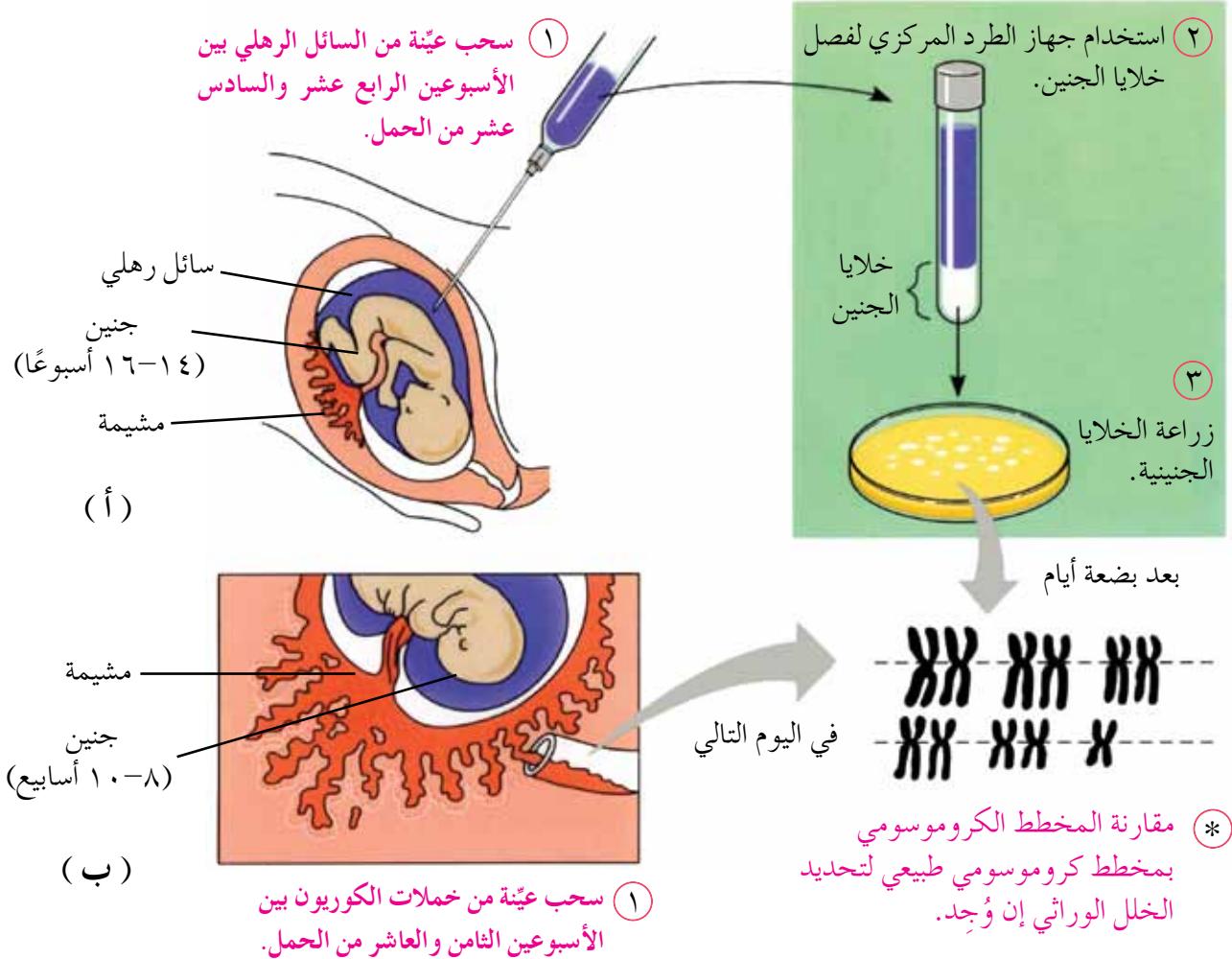
اسم الاختلال	وصف الاختلال وأبرز اعراضه	التغيير في عدد الكروموسومات	عدد الكروموسومات الكلي
متلازمة تيرنر (Turner syndrome)	أثنى عقيمة قصيرة، وعدم اكتمال النضج الجنسي، وإمكانية ظهور بعض علامات النضج الجنسي الثانوية في حال خضوعها للعلاج.	حذف الكروموسوم الجنسي (X)، فيصبح الطراز الكروموسومي الجنسي (XO).	(٤٥) كروموسوماً.
متلازمة كلينفلتر (Klinefelter syndrome)	ذكر طويل القامة، معدل ذكائه عادة أقل من المعدل الطبيعي، يعاني صغر حجم الأعضاء التناسلية، وعدم اكتمال النضج الجنسي.	إضافة الكروموسوم الجنسي (X)، فيصبح الطراز الكروموسومي الجنسي (XXY).	(٤٧) كروموسوماً.

يلجأ الكثير من الأزواج إلى **الاستشارة الوراثية** (genetic counseling) تجنباً لإنجاب أفراد يعانون أي اختلالات وراثية. ولهذا يُنشئ المستشار الوراثي سجل النسب الوراثي لأفراد العائلة، ويوصي بعمل بعض الفحوص المخبرية للزوجين وأقاربهما من الدرجة الأولى. وبعد أن يُعد سجل النسب الوراثي، وتجري فحوص الدم لناقلين مرض الثلاثي والأنيميا المنجلية مثلاً، يمكن توقع احتمالات ولادة أطفال مصابين باختلالات وراثية.

تفيد الاستشارة الوراثية في حالات عدّة، منها:

- الكشف عن احتمالية نقل الأمراض الوراثية مثل مرض الثلاثي؛ ففي عام ٢٠٠٤ م أصبح فحص الثلاثي من الفحوص الإجبارية للمقبلين على الزواج في الأردن.
 - فحص الأفراد الذين يُشتبه في وجود متلازمة وراثية لديهم؛ لتأكيد ذلك أو نفيه.
 - تقديم النصيحة لذوي الأشخاص المصابين باختلالات وراثية؛ وذلك بتوضيح طبيعة الاختلال، وكيفية التعامل مع المصابين به.
 - فحص الأجنة في بداية الحمل؛ لتحديد الأجنة غير الطبيعية.
- يمكن فحص الأجنة بإحدى الطريقتين الآتيتين:
- فحص السائل الرهلي (السلى) (Amniocentesis).
 - فحص خملات الكوريون (Chorionic Villus Sampling).

ولتعرف طريقيتي فحص الأجنة، ادرس الشكل (١-٢٨)؛ إذ يوضح الشكل (١-٢٨/أ) طريقة فحص السائل الرهلي، في حين يوضح الشكل (١-٢٨/ب) طريقة فحص خملات الكوريون.



الشكل (٢٨-١): فحص الأجنّة: أ - فحص السائل الرهلي. ب - فحص خملات الكوريون.

سؤال

١ - في أيّ أسابيع الحمل تُؤخذ عيّنات كلٌّ من السائل الرهلي، وحملات الكوريون؟

٢ - فسّر كلاً ممّا يأتي:

- وضع عيّنة السائل الرهلي في جهاز الطرد المركزي.
- مقارنة المخطط الكروموسومي للجنين بمخطط كروموسومي طبيعي.

مؤسساتنا فخرنا

للاستزادة عن موضوع الاختلالات الوراثية عند الإنسان، زر الموقع الإلكتروني
للمركز الوطني للسكري والغدد الصماء والوراثة: www.ncd.org.jo

١ - صنف الاختلالات الوراثية الآتية تبعاً لنوعها (جينية، كروموسومية جنسية، كروموسومية جسمية):

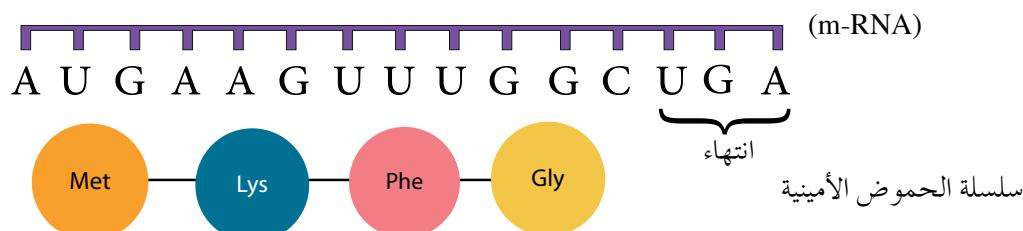
متلازمة داون، متلازمة بتاو، فينل كيتونوريما، نزف الدم (A)، التلief الكيسي.

٢ - هات مثلاً على كلٌّ مما يأتي:

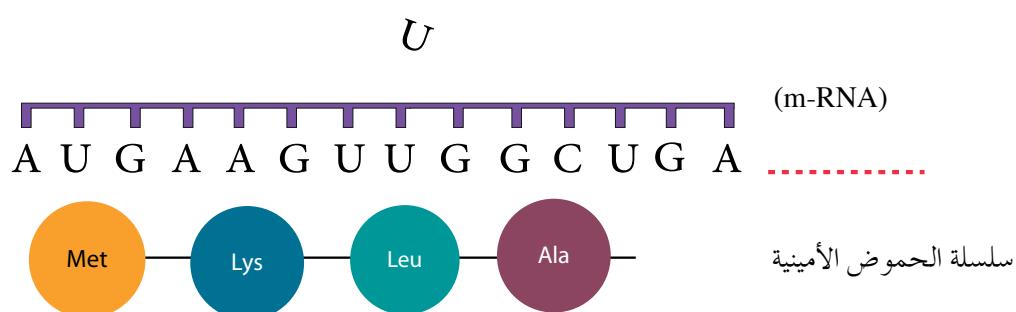
- أ - مُسبِّب طفرة فيزيائي.
- ب - مُسبِّب طفرة كيميائي.

٣ - يُبيّن الشكل (٢٩-١) سلسلة أصلية من جزء الحمض النووي الريبوذري (m-RNA) وسلسل الحموض الأمينية في البروتين الناتج قبل حدوث الطفرة، وجزء (m-RNA) وسلسل الحموض الأمينية بعد حدوث الطفرة. ادرس الشكل، ثم أجب عما يليه من أسئلة:

(أ) قبل حدوث الطفرة.



(ب) بعد حدوث الطفرة.



الشكل (٢٩-١): جزء (m-RNA) وسلسل الحموض الأمينية قبل وبعد حدوث طفرة.

- أ - هل تمثل الطفرة الجينية الناتجة طفرة إزاحة أم طفرة موضعية؟
- ب - لماذا يكون تأثير هذه الطفرة في الكائن الحي كبيراً؟
- ج - صنف الطفرات الكروموسومية الآتية إلى طفرات تؤثر في تركيب الكروموسومات، وطفرات تؤثر في عدد الكروموسومات:
- أ - عدم انفصال الكروموسومات المتماثلة في أثناء الانقسام المنصف في خلايا الأم أو الأب.
- ب - انتقال القطع الطرفية من كروموسوم إلى كروموسوم آخر غير مماثل له.
- ج - إزالة جزء من الكروموسوم، والتحام القطع المتبقية من الكروموسوم معًا.

٥- أكمل الجدول الآتي:

الطراز الكروموسومي الجنسي	عدد الكروموسومات الكلية	اسم الاختلال
XO	(٤٥) كروموسوماً	
XXY		
XY أو XX		متلازمة بتاو

تكنولوجيا الجينات

لم تتوقف دراسة (DNA) عند معرفة تركيبه الذي درسته في سنوات سابقة، وإنما تعدّت ذلك إلى الاستفادة من هذه المعرفة في تطوير تكنولوجيا نقل المادة الوراثية من كائن حي إلى آخر؛ خدمةً للبشرية في الكثير من المجالات، ولا سيما: الطبية، والزراعية، والبيئية، فما الطرائق والأدوات المستخدمة مخبرياً في هذا المجال؟ وما تطبيقات تكنولوجيا الجينات؟ وكيف يمكن الاستفادة منها؟ وما الأبعاد الأخلاقية لتطبيقات تكنولوجيا الجينات؟ ستتمكن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك لهذا الفصل.

يتوقع منك أن تكون قادرًا على أن:

- تبيّن أهمية الأدوات والطرائق المستخدمة في تكنولوجيا الجينات.
- توضّح كيفية استخدام بعض أدوات تكنولوجيا الجينات، وطرائقها.
- تستقصي بعض تطبيقات تكنولوجيا الجينات.
- توضّح أثر تكنولوجيا الجينات في الحياة.
- توضّح الأبعاد الأخلاقية لتطبيقات تكنولوجيا الجينات.

تطلُّب تكنولوجيا الجينات استخدام أدوات و مواد عدَّة تساعد على نقل المادة الوراثية من كائن حي إلى آخر؛ لتعديل الصفات الوراثية في الكائنات الحية. ومن الأمثلة على هذه الأدوات والمواد: إنزيمات الحمض النووي، ونواقل الجينات.

١ | إنزيمات الحمض النووي DNA Enzymes

تُستخدم مجموعة من إنزيمات الحمض النووي (DNA) في مجال تكنولوجيا الجينات، أهمها: **إنزيمات القطع المُحدَّد، وإنزيم ربط (DNA)، وإنزيم بلمرة (DNA) المتحمل للحرارة.**

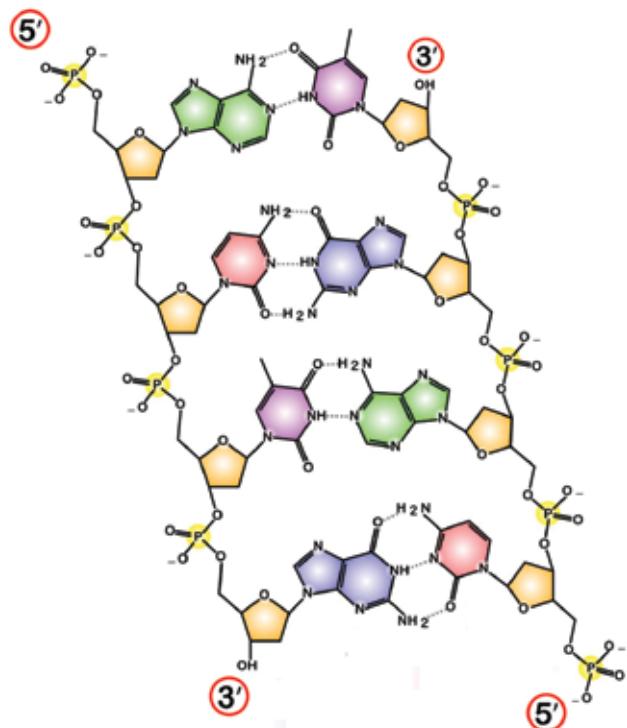
أ - **إنزيمات القطع المُحدَّد:** إنزيمات متخصصة في قطع (DNA) تُتجهها أنواع عدَّة من البكتيريا للدفاع عن نفسها، وذلك بقطع (DNA) الفيروس الذي يهاجمها للتخلص منه، وقد تعرَّف العلماء أكثر من (٣٥٠٠) إنزيم منها، واستخدموها بعضها في تكنولوجيا الجينات.

تُسمى **إنزيمات القطع المُحدَّد** (restriction enzymes) تبعًا لنوع البكتيريا التي تُتجهها. فمثلاً، تُكون بكتيريا *Escherichia coli* R إنزيم قطع يُسمى (EcoRI)، وتشير الأحرف (Eco) إلى جنس البكتيريا ونوعها، ويشير الحرف (R) إلى سلالة البكتيريا، في حين يشير الرقم (I) إلى أن هذا الإنزيم هو أول إنزيم قطع مُحدَّد اكتُشِف في هذه البكتيريا.

يتعرَّف كل إنزيم من إنزيمات القطع المُحدَّد تابعًا معيناً من النيوكليوتيدات، يتراوح بين (٤-٦) نيوكلويوتيدات في (DNA)، **تمثيل مناطق التعرُّف** (Palindrome)، ويكون هذا التتابع متماثلاً في منطقة التعرُّف في سلسلتي (DNA).

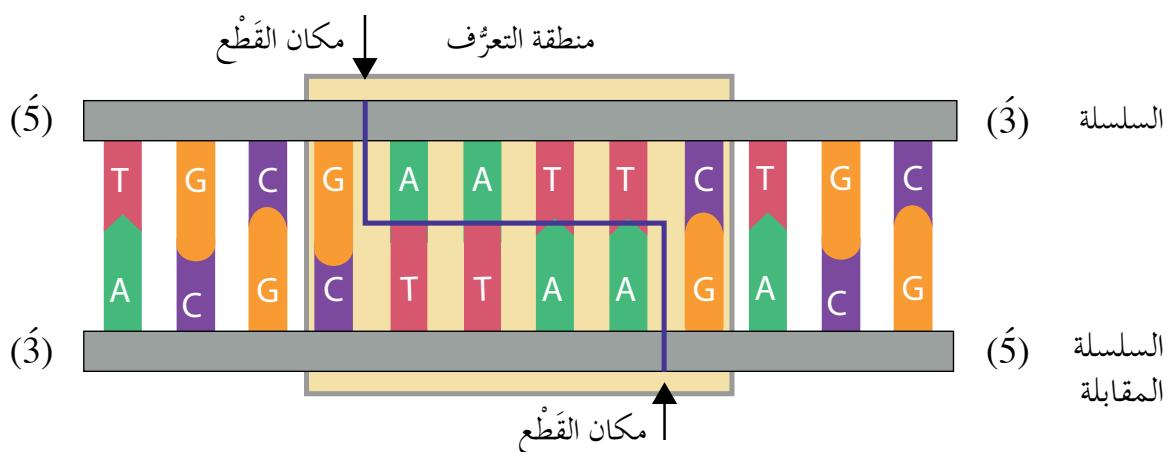
لكل سلسلة (DNA) نهايات يُرمز إلى إحداهما بالرمز (٥) (five prime)، ويرمز إلى الأخرى بالرمز (٣) (three prime)، لاحظ الشكل (٣٠-١).

الأسماء العلمية للبكتيريا وإنزيمات ليست للحفظ.



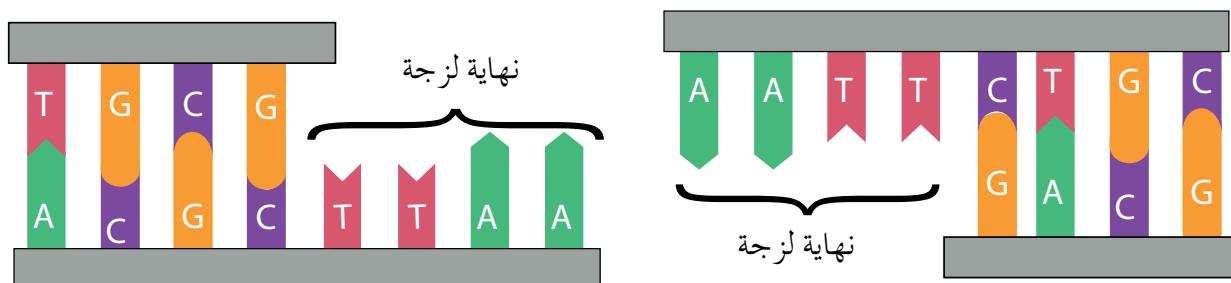
الشكل (٣٠-١): جزء من (DNA) مُوضّح عليه نهايّات سلسلته.

يكون امتداد السلسلة الأولى في جزيء (DNA) من (٥) إلى (٣)، ويكون في السلسلة المقابلة من (٣) إلى (٥). ادرس الشكل (٣١-١) الذي يبيّن منطقة تعرّف أحد إنزيمات القطع المحدّد (الجزء المحصور بالمستطيل الأصفر في الشكل)، والذي يُظهر أن تتابع النيوكليوتيدات في منطقة التعرّف في سلسلة (DNA) من (٥) إلى (٣) هو تتابع النيوكليوتيدات نفسه في السلسلة المقابلة من (٥) إلى (٣). لاحظ أن هذا الإنزيم يقطع سلسلة (DNA) في مكان محدّد بين القاعدة النيتروجينية جوانين (G) والقاعدة النيتروجينية أدنين (A) في سلسلتي (DNA)، انظر مكان القطع في الشكل.



الشكل (٣١-١): إنزيم القطع المحدّد (EcoRI): منطقة التعرّف، ومكان القطع.

ينتج من بعض إنزيمات القِطْع المُحدَّد، مثل إنزيم (EcoRI)، قِطْع أطرافها سلاسل مفردة من النيوكليوتيدات، وتُسمى هذه الأطراف **النهايات اللزجة** (sticky ends)، لاحظ الشكل (٣٢-١)، وقد وُصفت باللزجة لإمكانية التصاقها بجزء مُكمل لها.



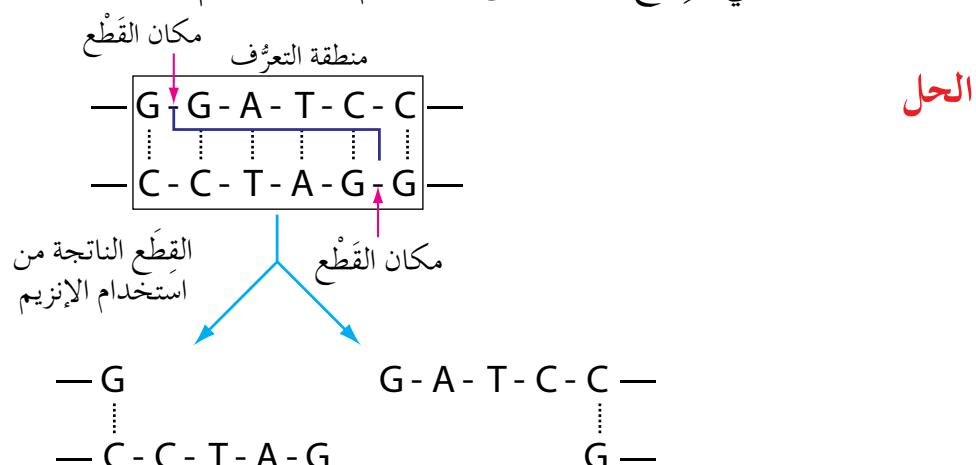
الشكل (٣٢-١): سلسلتا (DNA) بعد القِطْع، وظهور النهايات اللزجة.

لاحظ أن القطعة ذات النهاية اللزجة (AATT) يمكنها أن ترتبط بجزء مُكمل لها .(TTAA).

ينتج من بعض إنزيمات القِطْع المُحدَّد سلاسل (DNA)، تكون نهاياتها **غير لزجة** (blunt ends)، ويكون التحام هذه النهايات بسلاسل أخرى صعباً؛ ما يجعل استخدامها في مجال تكنولوجيا الجينات محدوداً.

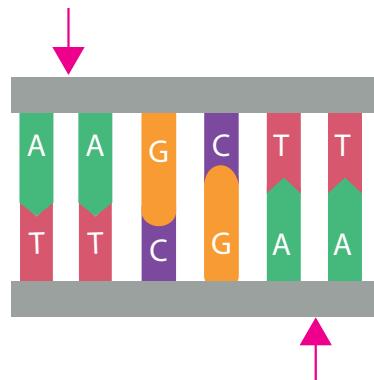
مثال

إذا علمت أن أحد إنزيمات القِطْع يتعرّف على تسلسل النيوكليوتيدات (GGATCC)، ويقطع سلسلة (DNA) بين القاعدة النيتروجينية (G) والقاعدة النيتروجينية (G) المتتاليتين، فاكتتب تسلسل النيوكليوتيدات في القِطْع الناتجة من استخدام هذا الإنزيم.



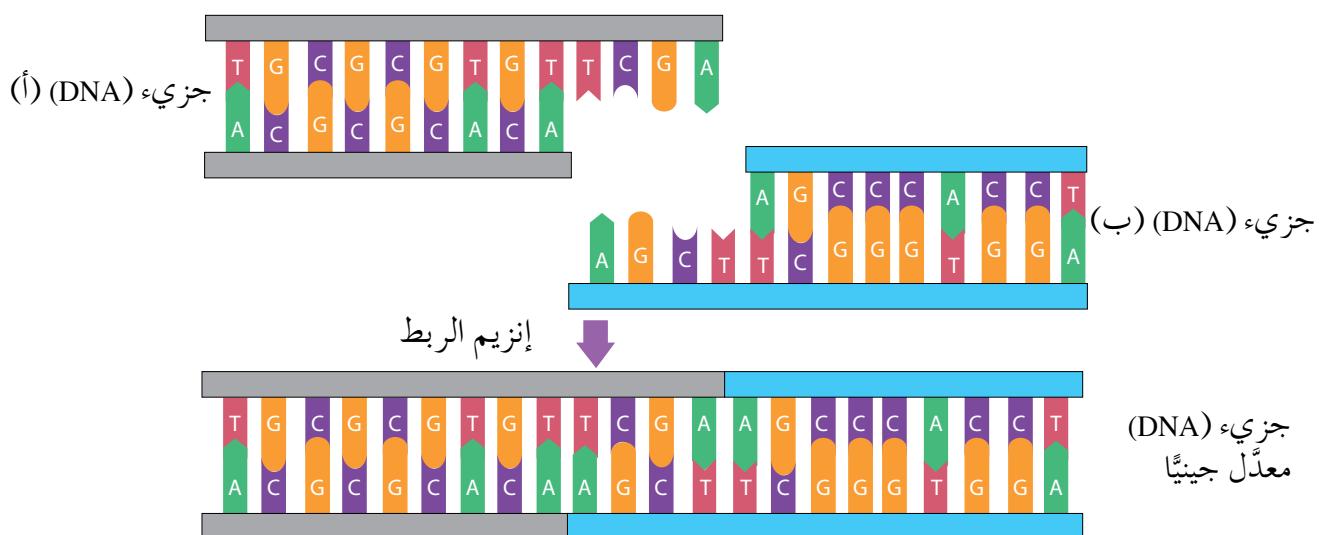


- ◀ تُكوّن بكتيريا *Haemophilus influenzae* d إنزيم (HindIII) الذي يتعرّف تسلسل النيوكليوتيدات (AAGCTT)، انظر الشكل (١-٣٣)، ويقطع في المكان المحدّد بالأسهم بين القاعدة النيتروجينية أدنين (A) والقاعدة النيتروجينية أدنين (A) المترافقين:
- ماذا يُمثّل كُلّ من: الحروف (Hin)، والرقم اللاتيني (III)؟
 - اكتب القطع الناتجة من استخدام هذا الإنزيم.



الشكل (١-٣٣): منطقة التعرّف، ومكان قطع الإنزيم (HindIII).

ب - إنزيم الربط: يُستخدم **إنزيم الربط** (ligase) في ربط سلسلتي (DNA) معًا، ويُستخدم أيضًا في تكنولوجيا الجينات لربط نهايتي جزيئي (DNA) معًا؛ ليكوّنا جزءاً واحدًا معدّلاً جينيًّا ، لاحظ الشكل (١-٣٤).



الشكل (١-٣٤): كيفية عمل إنزيم الربط.

ج - إنزيم بلمرة (DNA) المتحمل للحرارة: يُستخرج هذا الإنزيم (*Taq DNA Polymerase*) من بكتيريا تعيش في اليابع الساخنة، ويُستخدم في بناء سلسلة مُكملة لسلسلة (DNA) الأصلية في تفاعلات إنزيم البلمرة المتسلسل الذي ستدرسه لاحقاً.

يمكن استخدام قطع (DNA) الناتجة من إنزيمات القطع المحدد في تطبيقات لتكنولوجيا الجينات التي يتطلب بعضها استخدام نواقل الجينات، فما هذه النواقل؟

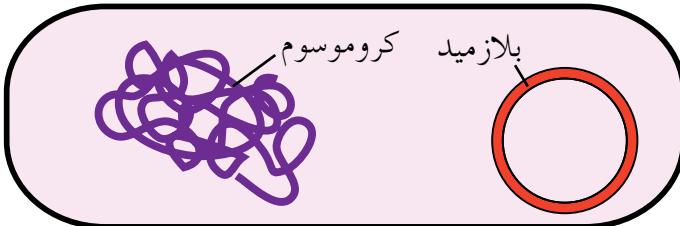
نواقل الجينات

٢

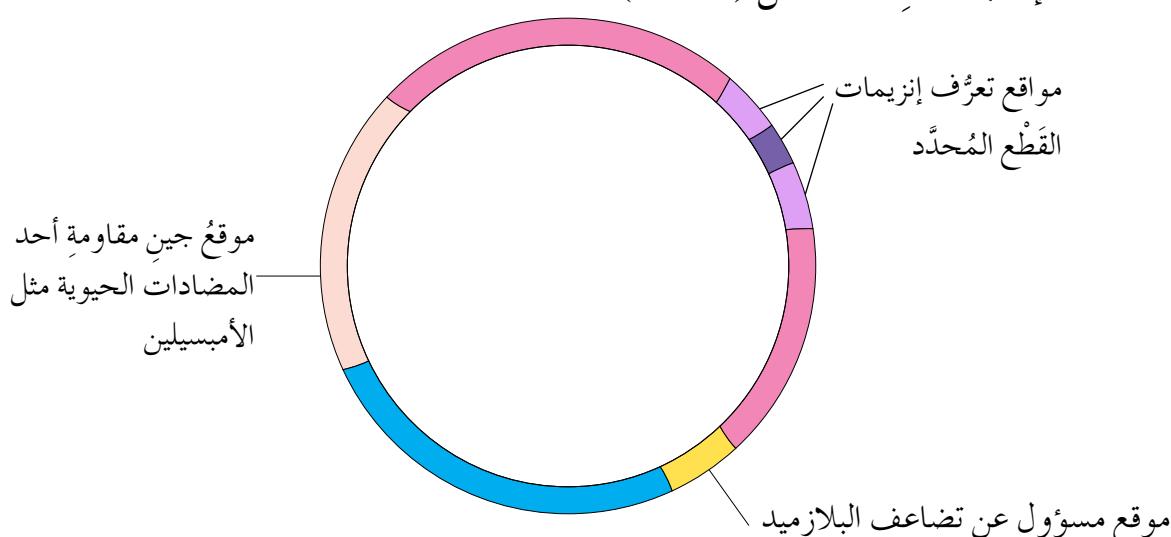
تُستخدم **نواقل الجينات** (vectors) في نقل قطع (DNA) الناتجة من إنزيمات القطع المحدد إلى الخلايا المستهدفة. ومن الأمثلة على هذه النواقل: البلازميدات، والفيروسات.

أ- **البلازميدات**: يُستخدم **البلازميد** ناقلاً جينات، وهو جزيء (DNA) حلقي يوجد في

بعض سلالات البكتيريا، ويتميز بقدرته على التضاعف ذاتياً، ويعُدُّ أول النواقل المستخدمة في التعديل الجيني للبكتيريا، لاحظ الشكل (٣٥-١).

 الشكل (٣٥-١): المادة الوراثية في البكتيريا: البلازميد والクロموسوم البكتيري.

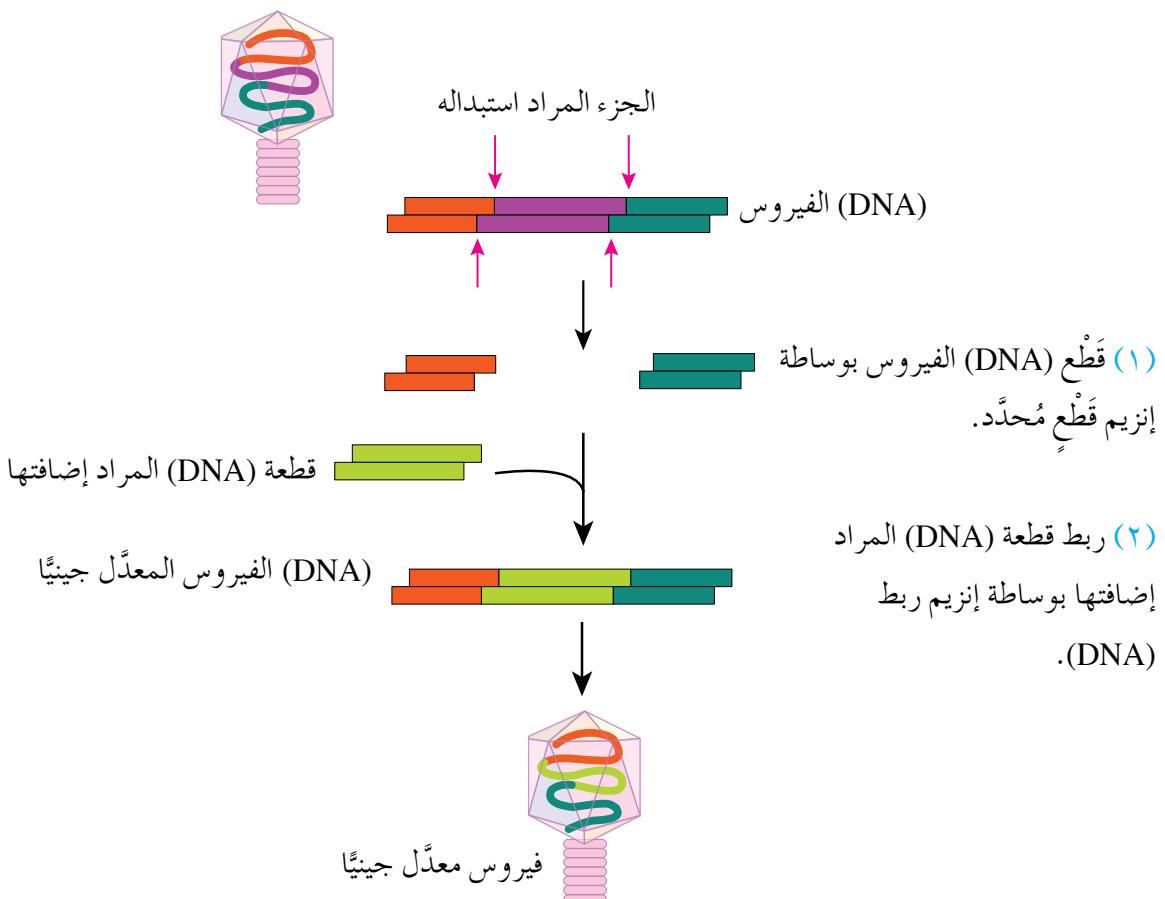
يجب توافر موقع مهم في البلازميد الذي يُستخدم ناقلاً جينات، فما هذه المواقع؟ للاحاجة، لاحظ الشكل (٣٦-١).



الشكل (٣٦-١): موقع في البلازميد الذي يُستخدم ناقلاً جينات.

وفي ما يأتي الموضع المهمة في البلازميد الذي يستخدم ناقل جيناتٍ:

١. الموقع المسؤول عن تضاعف البلازميد.
 ٢. موقع تعرُّف إنزيمات القَطْع المُحدَّد؛ إذ تعرُّف هذه الإنزيمات تسلسل النيوكليوتيدات في هذه الموضع، فتقطع عندها التضاف قِطْع (DNA) المرغوبة إلى البلازميد.
 ٣. الموقع الذي يحوي جين مقاومة نوع من المضادات الحيوية أو أكثر؛ لتسهيل فصل البكتيريا التي تحوي هذا البلازميد المعدل جينياً.
- بـ- الفيروسات: تُستخدم بعض أنواع الفيروسات، مثل **فيروس أكل البكتيريا** (Lambda phage)، بوصفها نواقل جيناتٍ، ولا سيما حين تكون قِطْع (DNA) المراد نقلها كبيرة الحجم؛ إذ يُقطع جزء من (DNA) الفيروس، وتضاف قطعة (DNA) مرغوبة مكانه، بالاستعانة بإنزيمات القَطْع المُحدَّد، وإنزيم ربط (DNA)، لاحظ الشكل (٣٧-١).



تدخل النوافل المعدلة جينيًا إلى الخلايا الهدف؛ لتعديلها جينيًا، وقد تكون هذه الخلايا خلايا إنسان تخضع للمعالجة الجينية، أو خلايا نباتية، أو خلايا حيوانية يُراد تحسين صفاتها، أو خلايا بكتيريا يُراد استخدامها في إنتاج مواد علاجية، مثل: هرمون الإنسولين، وهرمون النمو.

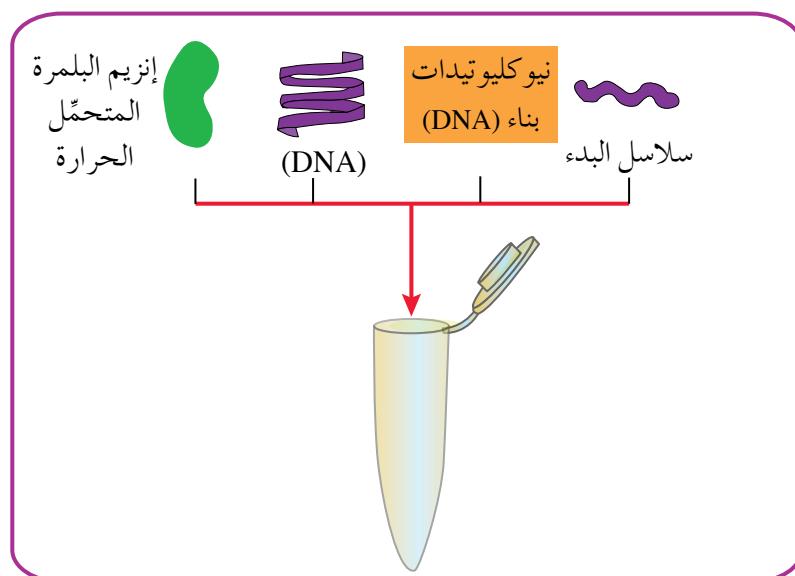
ثانيًا

الطرق المستخدمة في تكنولوجيا الجينات

تُستخدم طرائق مخبرية عدّة في إنتاج نسخ متعددة من (DNA)، وفي فصل قطع (DNA) بعضها عن بعض. وستعرّف في هذا الفصل تفاعل **إنزيم البلمرة المتسلسل** (Polymerase Chain Reaction) والفصل الكهربائي الهرامي (Gel electrophoresis)، فكيف يتم كلّ منها؟

١ | تفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل

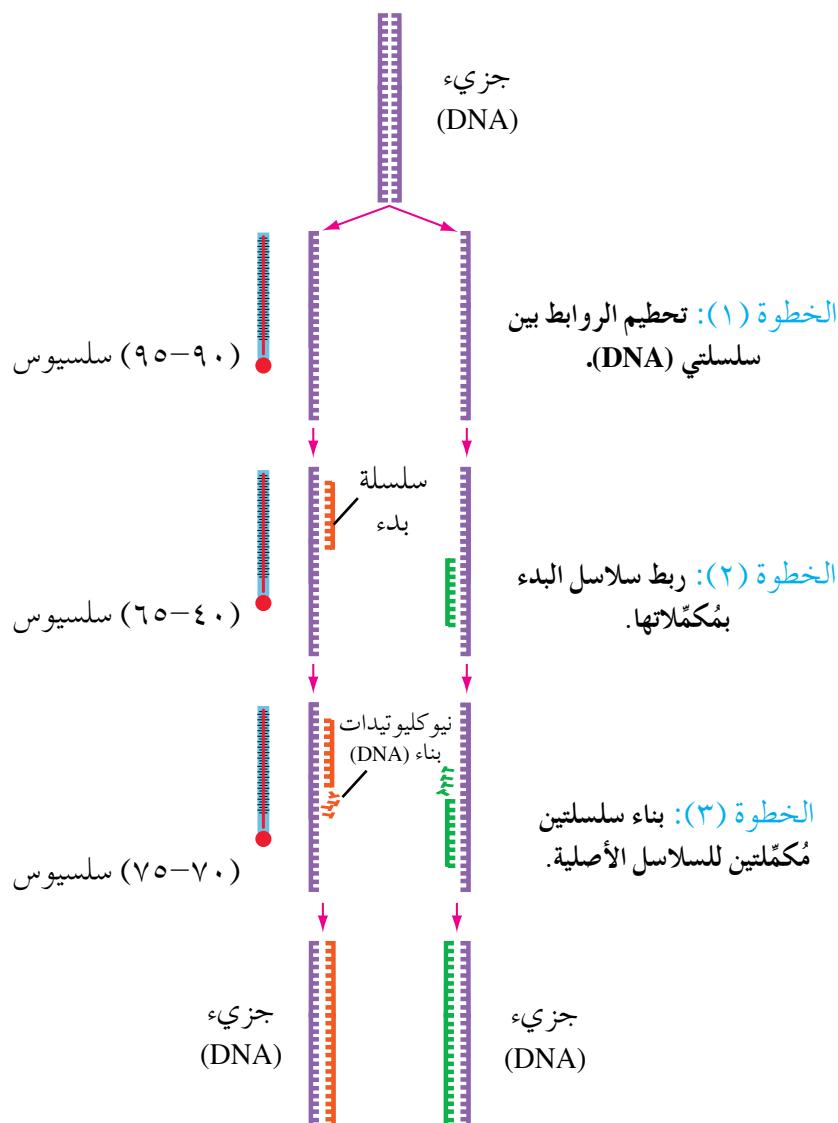
نال العالم كاري موليس (Kary Mullis) جائزة نوبل عام ١٩٩٣م لاختراعه طريقة **تفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل** (PCR)، الذي يستخدم في إنتاج نسخ كثيرة من قطع (DNA) خارج الخلية الحية باستخدام جهاز خاص. يستفاد من نسخ (DNA) الناتجة في مجالات عدّة، منها: تكثير جين معين مرغوب لاستخدامه في التعديل الجيني، وتكثير عدد نسخ (DNA) لمسبب مرض ما، وهو ما يساهم في الكشف عن وجود مسببات الأمراض الفيروسية والبكتيرية في عينات المرضى، وتشخيص بعض الاختلالات الوراثية، وتعريف بصمة (DNA)، مما الموارد الازمة لهذا التفاعل؟ للإجابة، لاحظ الشكل (٣٨-١).



الشكل (٣٨-١): المواد والأدوات الازمة لتفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل.

لإجراه تفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل تُستخدم المواد والأدوات الآتية: إنزيم بلمرة (DNA) المتحمل للحرارة، وعِينة (DNA) المراد نسخها، ونيوكليوتيدات بناء (DNA)، وسلسل البدء (Primers) التي تُعرف بأنها سلاسل (DNA) أحادية قصيرة، يكون تتبع النيوكليوتيدات فيها مكملاً للنيوكليوتيدات في المنطقة التي يبدأ فيها نسخ (DNA). وما إن توافر المواد الضرورية للتتفاعل حتى تُنقل إلى أنبوب خاص يوضع في جهاز تفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل.

ولكن، ما خطوات تفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل؟ للاجابة، ادرس الشكل (٣٩-١).



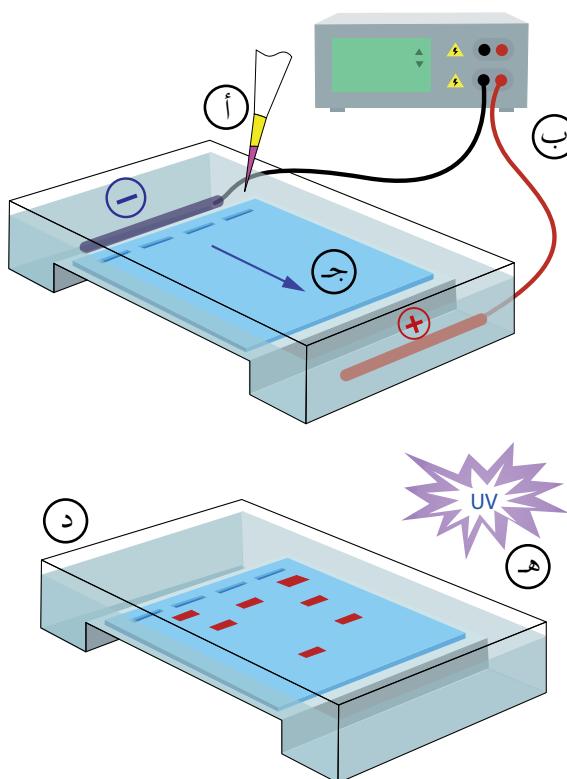
الشكل (٣٩-١): دورة تفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل.

تحدث التفاعلات على صورة دورات تستغرق مُددًا زمنية قصيرة، تراوح بين ثوانٍ ودقائق، وتتضمن كل خطوة من خطوات الدورة ضبط درجات الحرارة كما هو مُبيّن في الشكل (٤١-٣٩)؛ إذ تُعدُّ الدقة في ضبط درجة الحرارة عاملًا أساسياً لإتمام كل خطوة من خطوات الدورة. ففي الخطوة الأولى تُفصل سلسلة (DNA)، وذلك بتحطيم الروابط بينهما. وفي الخطوة الثانية ترتبط سلاسل البدء بمكملاتها. وفي الخطوة الثالثة تُبني سلسلة (DNA) جديدين مُكمِّلَتَان للسلسلتين الأصليتين، فيتضاعف جزيء (DNA) الأصلي.

تُكرَّر الدورة مرات عدَّة قد تصل إلى (٣٥) دورة، وتكون جميع نسخ (DNA) الناتجة من تفاعلات (PCR) نسخاً طبق الأصل عن جزيء (DNA) الأصلي.

الفصل الكهربائي الهلامي للمادة الوراثية

٢



الشكل (٤٠-١): خطوات الفصل الكهربائي الهلامي.

يُستعمل **الفصل الكهربائي الهلامي** لفصل قِطع (DNA) في عيّنة ما اعتماداً على حجمها. ولما كانت قطع (DNA) مشحونة بشحنة سالبة فإنها تتحرك باتجاه القطب الكهربائي الموجب، لاحظ الشكل (٤٠-١).

تختلف المسافة التي تتحرَّكها قِطع (DNA) في المادة الهلامية باختلاف حجم كل منها؛ فالقطَّع الصغرى تقطع مسافة أطول من القِطع الكبيرة في الوقت المستغرق نفسه، وهو ما يُعدُّ أساساً لفصل مزيج من قِطع (DNA).

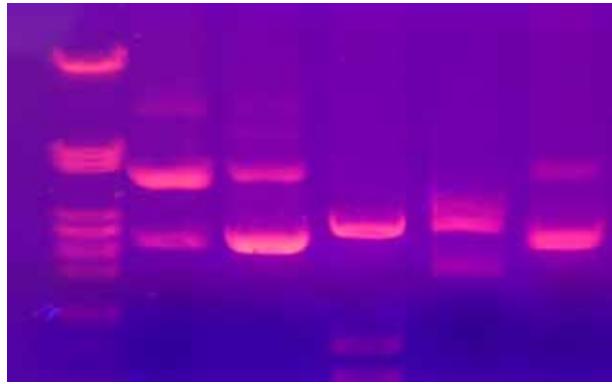
لتتعرَّف خطوات الفصل الكهربائي الهلامي للمادة الوراثية، لاحظ الشكل (٤٠-١). يمكن تلخيص الخطوات المُبيَّنة في الشكل على النحو الآتي:

أ - ملء الحفر الموجودة على طرف الهلام بمزيج من قِطع (DNA) المراد فصلها.

بـ- وصل قطبي الجهاز بمصدر تيار كهربائي خاص به، ومراعاة استمرار تأثير التيار مدة مناسبة.

جـ- انتقال قطع (DNA) باتجاه القطب الموجب بسرعة تتناسب عكسيًا مع حجمها.

دـ- فصل التيار الكهربائي، ثم وضع الصفيحة بما تحويه في محلول صبغة خاصة بجزيئات (DNA) مدة قصيرة.



الشكل (٤١-١): أشرطة (DNA) مثلمًا تشاهد باستخدام الأشعة فوق البنفسجية.

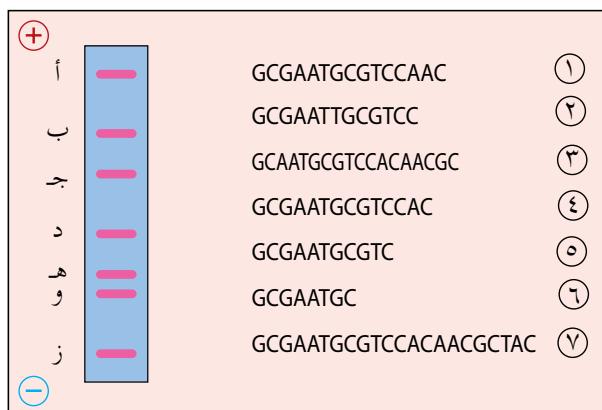
المتطابقة في حجومها المسافة نفسها على المادة الهلامية. يُذَكَّر أن هذه الطريقة تُستخدم في تكنولوجيا الجينات لتحديد بصمة (DNA) التي ستدرسها لاحقًا.

هـ- نقل الصفيحة إلى جهاز آخر خاص مزوَّد بمصدر للأشعة فوق البنفسجية (UV)؛ فتظهر أشرطة مصبوغة تختلف مواقعها على المادة الهلامية، ويعْتَدِلُ كل شريط أحمر قطعة (DNA)، لاحظ الشكل (٤١-١)، وتقطَّع قطع (DNA)

سؤال

◀ يُمثِّل الشكل (٤٢-١) نتائج الفصل الكهربائي الهلامي لعدد من قطع (DNA) المفردة:

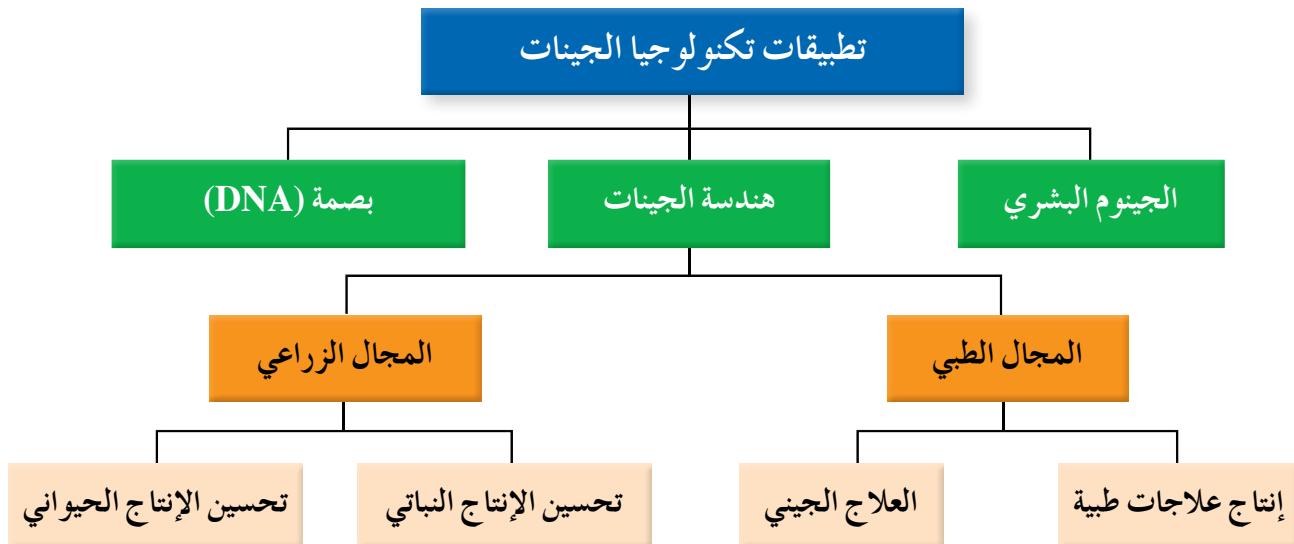
- انساب كل قطعة (DNA) إلى الرمز الذي يُمثِّلها على الشريط المرمز من (أــزـ).
- ما الأساس الذي اعتمدت عليه في إجابتك؟



الشكل (٤٢-١): نتائج الفصل الكهربائي الهلامي لعدد من قطع (DNA).

ثالثاً تطبيقات تكنولوجيا الجينات

انتقلت آثار المعرفة من مختبرات البحث العلمي إلى خارجها لتلبية حاجة الإنسان الحقيقة في مجالات حياته المختلفة، فما تطبيقات تكنولوجيا الجينات التي ساعدت على ذلك؟ للإجابة، لاحظ المخطط في الشكل (٤٣-١).



الشكل (٤٣-١): بعض تطبيقات تكنولوجيا الجينات.

١ الجينوم البشري

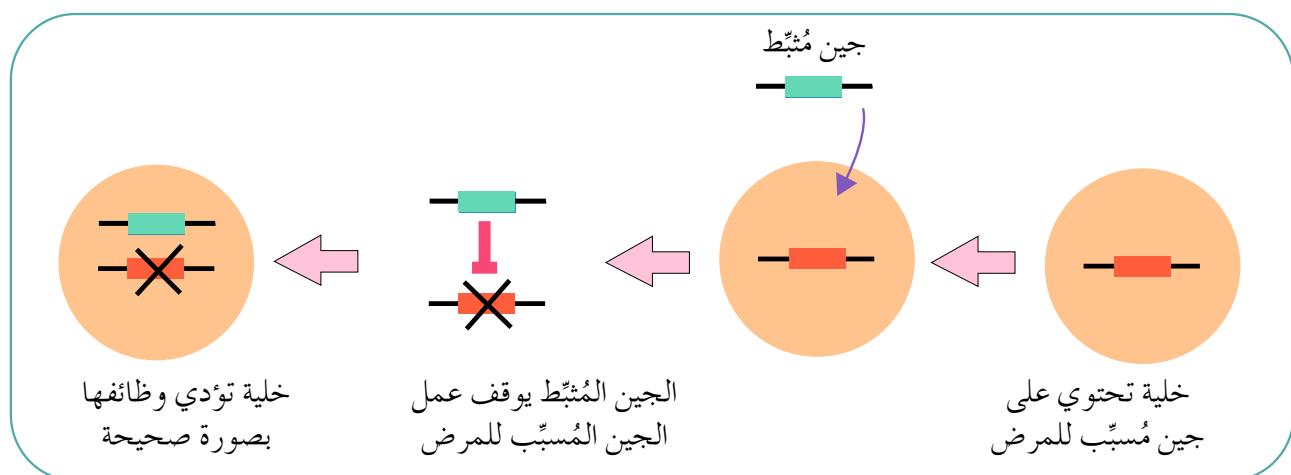
درست سابقاً أن كل خلية جسمية في الإنسان ثنائية المجموعة الكروموسومية تحتوي على (٤٦) كروموسوماً، وكل كروموسوم يحمل مجموعة من الجينات، وكل جين يتكون من تسلسل محدد من النيوكليوتيدات، مما تسلسل النيوكليوتيدات لكل جين من الجينات الموجودة على كل كروموسوم؟ ظهرت فكرة مشروع **الجينوم البشري** عام ١٩٩٠م، وتضافرت جهود العلماء في دول عدّة لإتمام هذا المشروع، بحيث دُونت النتائج التي توصلوا إليها تباعاً في قاعدة بيانات خاصة، ثم نُشرت نتائج المشروع النهائية عام ٢٠٠٣م، وقد تضمنَت التسلسل الكامل للنيوكليوتيدات في كل كروموسوم من كروموسومات الخلية البشرية الواحدة، أمّا أبرز فوائد المشروع فكان تحديد موقع جينات بعض الاختلالات الوراثية لمعالجتها.

تُعدّ **هندسة الجينات** أحد أهم تطبيقات تكنولوجيا الجينات، وتتضمن تعديل تركيب (DNA) ليتتج (DNA) معدّل جينيًا، يُستخدم في إنتاج كائنات حية معدّلة جينيًا ذات صفات مرغوبة، مما مجالات هندسة الجينات؟

أـ **المجال الطبي:** امتد أثر الثورة المعرفية والتكنولوجية في علم الوراثة ليشمل المجال الطبي، فكيف كان ذلك؟

١ـ **إنتاج علاجات طبية:** استفاد العلماء من هندسة الجينات في إنتاج مواد طبية يتناولها المرضى غير القادرين على إنتاجها، مثل: هرمون الإنسولين، وهرمون النمو، ومواد أخرى ضرورية، مثلما درست سابقاً.

٢ـ **العلاج الجيني:** من الأمراض التي تعالج جينيًا مرض التليف الكيسي، ونزف الدم. تعالج الخلايا جينيًا بطريقتين: أولاهما تشبيط الجين المُسبب للمرض وإيقافه عن العمل، لاحظ الشكل (٤-٤).



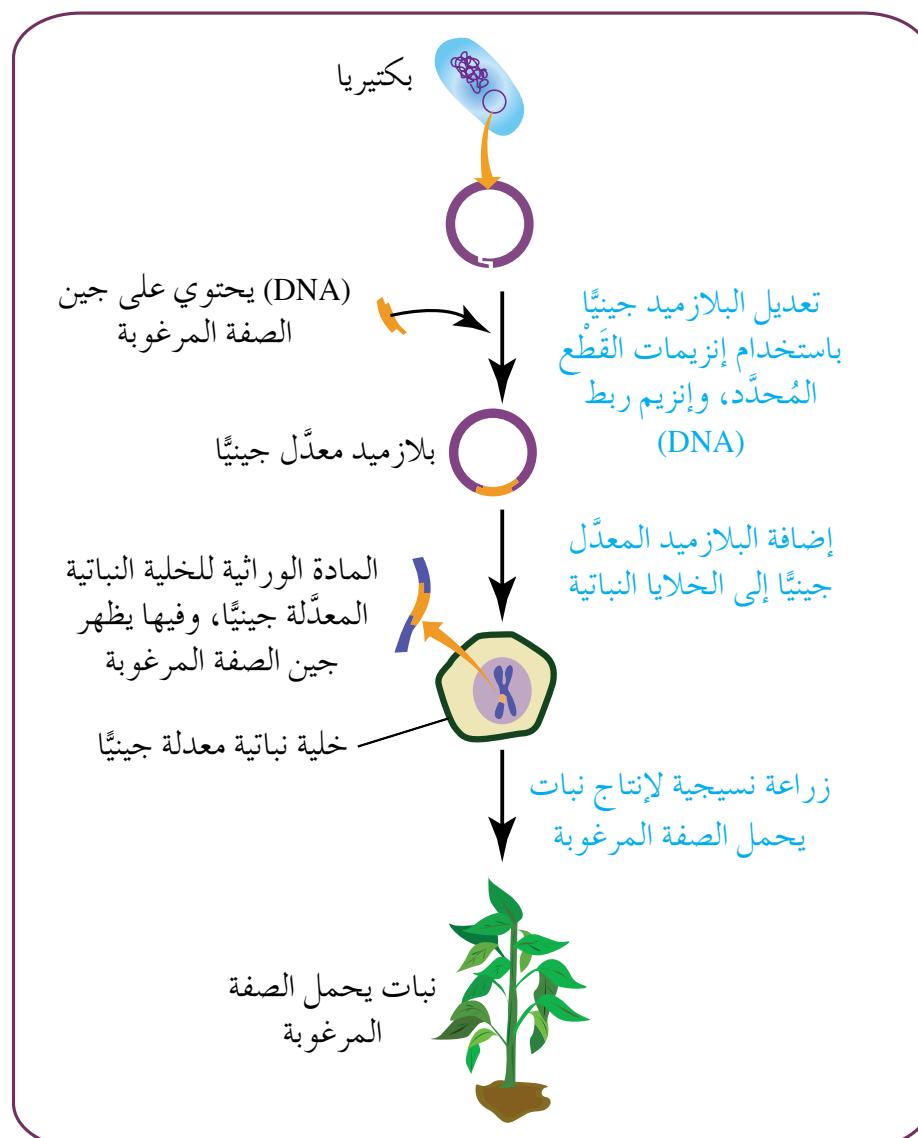
الشكل (٤-٤): المعالجة الجينية بتشبيط الجين المُسبب للمرض.

و ثانيتهم إدخال الجينات السليمة عن طريق نواقل الجينات، بحيث تُنقل الجينات السليمة إلى الخلايا الجسمية، أو الجاميات، أو البوصبة المخصبة.

بـ- المجال الزراعي: يشهد العالم زيادة كبيرة في عدد السكان، ويعاني شحًا في الموارد، وزحف العمران إلى المناطق الزراعية، والرعى الجائر، والاستخدام المفرط للمبيدات الحشرية، وهو ما أدى إلى ظهور مشكلات عدّة، أبرزها نقص الغطاء النباتي، ثم نقص الثروة الحيوانية، فكيف تساهم هندسة الجينات في حل هذه المشكلة وغيرها؟

١. تحسين الإنتاج النباتي: استُخدِمت هندسة الجينات في إكساب النباتات صفات جديدة تُمكّنها من تحمل الظروف البيئية القاسية؛ إذ يُنقل إليها جينات تجعلها قادرة على مقاومة الحشرات، أو الأمراض، أو الملوحة، أو الجفاف.

فما خطوات هندسة الجينات في النباتات؟ للاجابة، ادرس الشكل (٤٥-١).



الشكل (٤٥-١): ملخص خطوات هندسة الجينات في النبات.

يُستخلص البلازميد من البكتيريا، ويُعدل جينياً، ثم يضاف البلازميد المعدل جينياً إلى الخلية النباتية المستهدفة، فيكتسب النبات صفات جديدة.

٢. تحسين الإنتاج الحيواني: من الاستخدامات الأخرى لـهندسة الجينات في المجال الزراعي تعديل صفات الحيوانات لإنتاج جيل جديد من الحيوانات المعدلة جينياً تحمل الصفات المرغوبة، ومن الأمثلة على ذلك نقل الجين المسؤول عن تكوين هرمون النمو في أحد أنواع الأسماك إلى بويضة نوع آخر منها، فتكون الأسماك المعدلة جينياً كمية كبيرة من هرمون النمو استجابةً لتعليمات الجين الموجود عندها أصلاً، إضافةً إلى تعليمات الجين الذي أضيف إليها، وهو ما يتسبب في زيادة نموها.

من الصفات التي يراد تحسينها في الحيوانات أيضاً: زيادة مقاومتها للأمراض، وزيادة إنتاجها للحليب والبيض.

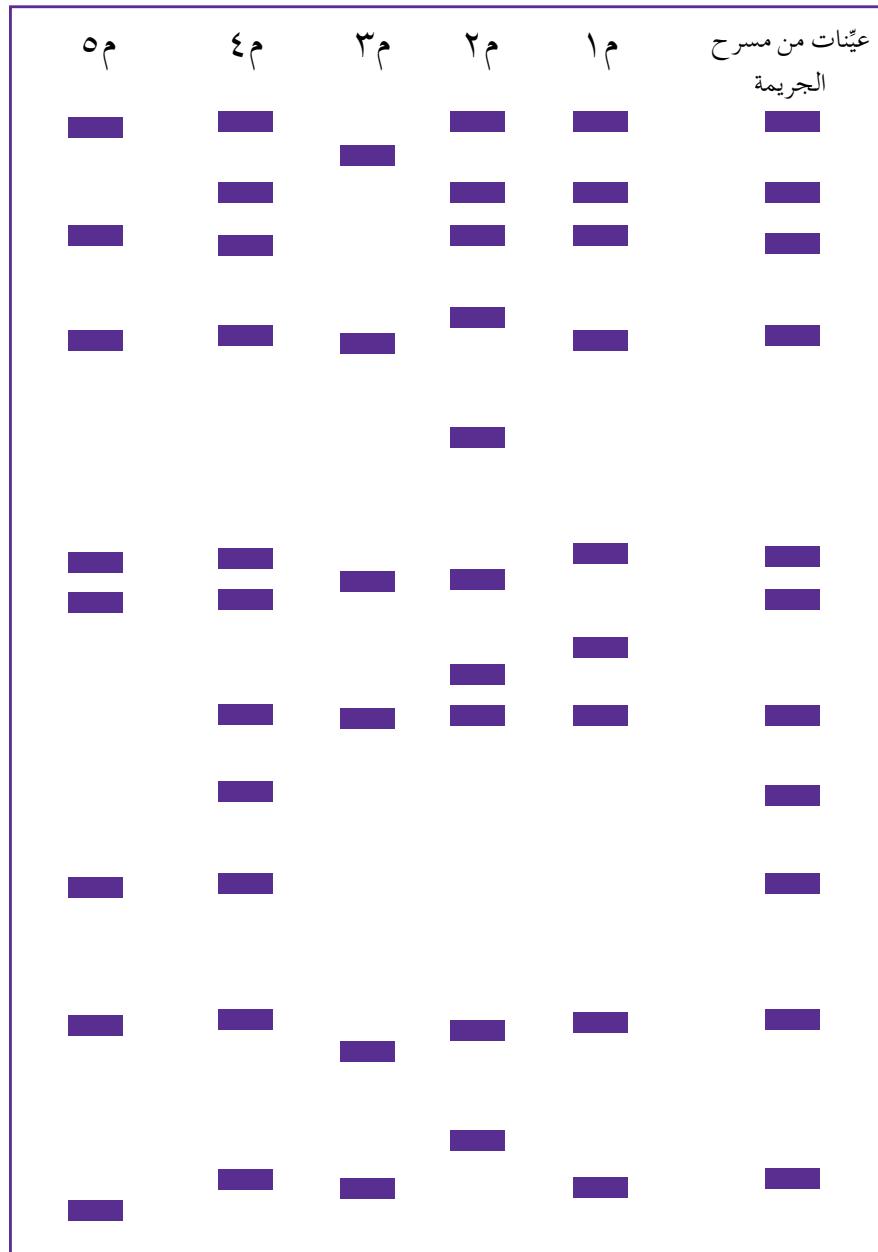
٣ بصمة (DNA)

تطبيق يُستخدم في معرفة تسلسل النيوكليوتيدات لدى الأشخاص في مناطق محددة من الجين؛ إذ إن لكل شخص تسلسلاً معيناً من النيوكليوتيدات. فما مصدر الخلايا التي يُستخلص منها الحمض النووي (DNA) لتحديد بصمة (DNA)؟

تُستخلص عينة (DNA) من أنسجة الجسم وسوائله المختلفة، مثل: الدم، والسائل المنوي، واللعاب، والبول، وبصيلات الشعر، والجلد، والأسنان، والعظام، والعضلات، والأنسجة الطلائية، ثم تُستخدم إنزيمات القطع المحدد، وتقنية الفصل الكهربائي الهرامي، وتفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل للعينات التي تجمع من مسرح الجريمة، ومن المشتبه فيهم في حالة الجرائم، أو من الطفل والأبوين في حالة إثبات النسب، ثم تقارن نتائج العينات المفحوصة بعينات المشتبه فيهم للتوصّل إلى الجناة في حالة الجرائم، أو بعينات الآباء للفصل في قضايا إثبات النسب.



جَمَعَ الباحث الجنائي عيّنات من مسرح إحدى الجرائم، وخضعت هذه العيّنات للفصل الكهربائي الهرامي لتحديد بصمة (DNA)، ثم خضع الأشخاص المشتبه فيهم للفحص نفسه، وكانت النتائج حسبما هو ظاهر في الشكل (٤٦-١). حَدَّدَ المجرم من بين المشتبه فيهِم.



الشكل (٤٦-١): نتائج فحص عيّنات من مسرح الجريمة، وعيّنات المشتبه فيهِم.

الأبعاد الأخلاقية لتطبيقات تكنولوجيا الجينات ومحاذير استخدامها

بالرغم من الإيجابيات التي درستها عن تطبيقات تكنولوجيا الجينات، فقد تزايدت المحاذير والمخاوف من إساءة استخدام هذه التكنولوجيا، أو ظهور آثار سلبية لاستخدامها، مثل:

- ١ - تأثير الجين المنقول إلى الخلية في عمل الجينات الأخرى؛ فإذا أثرَ الجين المنقول في جين مسؤول عن منع حدوث أورام مثلاً، وأفقده القدرة على العمل، فإن الأورام ستنتشر في جسم الشخص المنقول إليه الجين.
- ٢ - تأثير نواقل الجينات (مثل الفيروسات المعدلة جينياً) في عمل جهاز المناعة؛ إذ يستجيب جهاز المناعة لدخول هذه الكائنات الحية، ويهاجمها، فلا يستفيد المريض من المعالجة الجينية.
- ٣ - تحول هدف التعديل الجيني للخلية البشرية من المعالجة الجينية للتخلص من الأمراض إلى تعديل الصفات الشكلية الطبيعية، مثل: لون البشرة، ولون العينين، وغير ذلك من الصفات غير المرضية.
- ٤ - إنتاج كائنات حية تؤثّر في الاتزان البيئي والسلالات الغذائية.

مؤسساتنا فخرنا

للاستزادة عن أهمية تفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل (PCR)، ورسم خرائط الجينات، زر الموقع الإلكتروني لمركز الحسين للسرطان / العلاج بالخلايا والجينوم: www.khcc.jo.

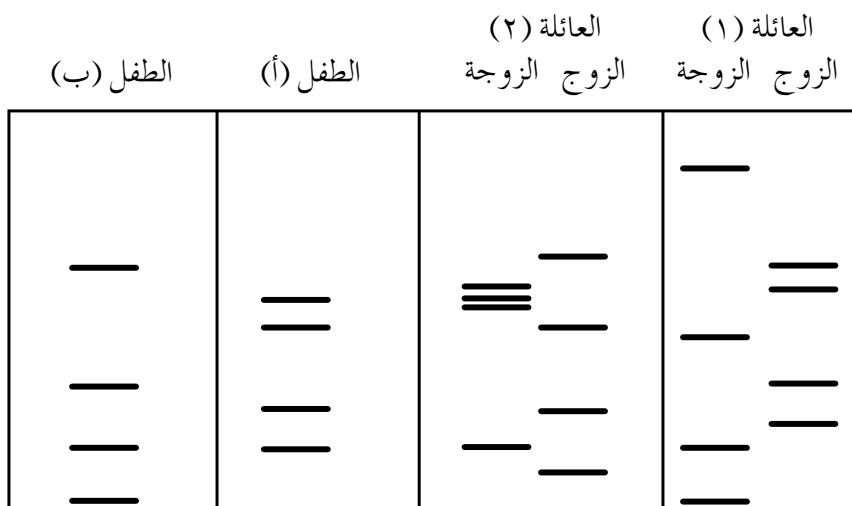
١ - ما تطبيقات تكنولوجيا الجينات التي تُستخدم فيها إنزيمات القِطْع المُحدَّد؟

٢ - فَسْر سبب استخدام كُلٌّ ممّا يأتي:

أ - تفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل في الكشف عن الأمراض البكتيرية والفيروسية.

ب - استخدام الأشعة فوق البنفسجية (UV) بوصفها خطوة من خطوات تحديد بصمة (DNA).

٣ - وَضعت سيدتان في غرفة الولادة طفلين ذكرين. وقبل وضع السوارين حول معصم كُلٍّ من المولودين للتعریف بهما، سُمع صوت جرس إنذار الحريق لـإخلاء جناح الولادة، فأسرعت الممرضات لنقل الطفلين من دون تحديد هويتهما. وبعد زوال الخطر أُجري فصل كهربائي هلامي لعيّنات أُخذت من الطفلين وذويهما لتحديد بصمة (DNA) لـكُلٌّ منهم. ادرس النتائج المُبيّنة في الشكل (٤٧-١)، ثم انسب كل طفل إلى عائلته.



الشكل (٤٧-١): نتائج فحوص الطفلين وذويهما.

٤ - يُمثّل تسلسل النيوكليوتيديات الآتي جزءاً من جزيء (DNA):

— A - A - C - T - A - A - G - C - T - T - A - T - C - C - G - A - A - T - T - C - G - A - T —
 — T - T - G - A - T - T - C - G - A - A - T - A - G - G - C - T - T - A - A - G - C - T - A —

اكتب تسلسل النيوكليوتيدات في القطع الناتجة من استخدام إنزيم القطع المحدد *HindIII*، مستعيناً بالجدول (٦-١).

الجدول (٦-٦): بعض إنزيمات القطع المحدد، ومناطق التعرف والقطع.

اسم الإنزيم	تسلسل النيوكليوتيدات في منطقة التعرف	مكان قطع سلسلة (DNA)
<i>EcoRI</i>	GAATCC	القاعدة النيتروجينية (G)، والقاعدة النيتروجينية (A).
<i>HindIII</i>	AAGCTT	القاعدة النيتروجينية (A)، والقاعدة النيتروجينية (A).

٥ - يُبيّن الجدول الآتي مناطق التعرف والقطع لإنزيمات مختلفة:

الإنزيم	منطقة التعرف والقطع
س	G A - A - T - T - C : : : C - T - T - A - A + G
ص	G G - A - T - C - C : : : C - C - T - A - G + G
ع	A A - G - C - T - T : : : T - T - C - G - A + A

أ - أي الإنزيمات الواردة في الجدول يمكن استخدامه لقطع جزء (DNA) الآتي:

G - G - G - G - A - T - C - C - C - G
 | : | : | : | : | : | : |
 C - C - C - C - T - A - G - G - G - C

ب - اكتب تسلسل النيوكليوتيدات في القطع الناتجة بعد عملية قطع جزء (DNA) في الفرع (أ).

١ - لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة منها فقط صحيحة، حددّها:

(١) أيُّ أنماط التوارث الآتية تفسّر ترجمة الطراز الجيني غير متماثل الأليلات إلى طرز شكلية مختلفة عند كُلِّ من الذكور والإناث:

ب - الأليلات المتعددة. أ - الجينات المتعددة.

د - الصفات المتأثرة بالجنس. ج - الصفات المرتبطة بالجنس.

(٢) مستعيناً بالشكل (١-٤٨)، أيُّ الجينات الآتية أقل احتمالية لحدوث عزلية العبور

: بينها:



الشكل (١-٤٨): السؤال الأول.

.(U,V) - د - .(S,U) - ج - .(S,T) - ب - .(S,V) - أ .

(٣) أيُّ الآتية يُعدُّ ناقل جيناتٍ :

ب - إنزيم تفاعل البلمرة المتسلسل. أ - خلية بشرية معدلة جينياً.

د - بلازميد. ج - إنزيم القطع المحدد.

(٤) أيُّ الآتية لا يُعدُّ من تطبيقات تكنولوجيا الجينات في المجال الطبي :

ب - إنتاج نباتات مقاومة للملوحة. أ - إنتاج مواد مضادة للتخرر.

د - العلاج الجيني. ج - إنتاج هرمون الإنسولين.

٢ - فسر ما يأتي :

- الأب الذي فصيلة دمه (AB) لا يُجب أبناءً فصيلة دمهم (O).

٣ - تزاوجت أغنام من سلالة دورست (Dorset) التي تمتاز بوجود قرون في كلا الجنسين

(DD) بأغنام من سلالة سفولك (Suffolk) عديمة القرون في كلا الجنسين (SS)، ظهرت

أفراد الجيل الأول الذكور جميعاً بقرون، وظهرت الإناث جميعها من دون قرون. وعند

تزاوج إناث من دون قرون مع ذكور بقرون من أفراد الجيل الأول ظهر أفراد الجيل الثاني الذكور بنسبة (٣) بقرون إلى (١) من دون قرون، والإناث بنسبة (٣) من دون قرون إلى (١) بقرون:

أ - ما نمط توارث صفة القرون عند هذه الأغنام؟ فسر إجابتك.

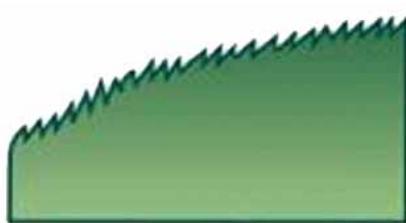
ب - اكتب الطرز الجينية والشكلية لأفراد الجيل الثاني.

٤- إذا كان أحد الكروموسومات يحمل الجينات (D, F, G, H, E)، وكان الجين (H) يبعد عن الجين (E) (٢٠) وحدة خريطة، ونسبة الارتباط بين الجين (F) و (G) هي ٩٧٪، ونسبة حدوث تراكيب جينية جديدة ناتجة من عبور الجين (F) والجين (H) هي ١٠٪، وي بعد الجين (G) عن الجين (E) (٧) وحدات خريطة:

أ - ارسم ترتيب الجينات المذكورة على الكروموسوم.

ب - كم وحدة خريطة يبعد الجين (F) عن الجين (E)؟

٥- في أحد أنواع النباتات العشبية المزهرة يسود أليل الحواف الملساء للأوراق (C) على أليل الحواف المُسَنَّة للأوراق كما في الشكل (٤٩-١)، ويسود أليل لون الأزهار الأصفر (Y) على أليل لون الأزهار الأبيض. إذا نقلت حبوب لقاد من نبات مجهول الطراز الجيني والطراز الشكلي إلى نباتين على النحو الآتي:



(ب)



(أ)

الشكل (٤٩-١): حواف أوراق النبات: أ - ملساء. ب - مُسَنَّة.

أ - إلى مياسم أزهار نباتات حواف أوراقها ملساء صفراء الأزهار، فتنتج (٣٥) نباتاً حواف أوراقه ملساء أصفر الأزهار، و(١٣) نباتاً حواف أوراقه ملساء أبيض الأزهار، و(١١) نباتاً حواف أوراقه مُسننة أصفر الأزهار، و(٤) نباتات حواف أوراقها مُسننة بيضاء الأزهار.

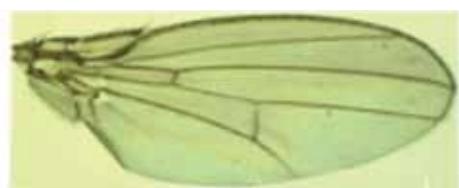
ب - إلى مياسم أزهار نباتات حواف أوراقها مُسننة بيضاء الأزهار، فتنتج (٦) نباتات حواف أوراقها ملساء صفراء الأزهار، و(١٠) نباتات حواف أوراقها ملساء بيضاء الأزهار، و(٩) نباتات حواف أوراقها مُسننة صفراء الأزهار، و(٦) نباتات حواف أوراقها مُسننة بيضاء الأزهار:

ما الطرز الجينية للنباتات جميعها الواردة في هذا السؤال؟

٦ - في ذبابة الفاكهة، أليل لون الجسم الرمادي (G) يُحمل على كروموسوم جسمي، ويسود على أليل لون الجسم الأسود، وأليل الأجنحة المنتظمة (S) يُحمل على كروموسوم جنسي (X)، ويسود على أليل الأجنحة غير المنتظمة، انظر الشكل (١-٥).
حدّد الطرز الجينية والشكلية لأفراد الجيل الأول الناتجة من تزاوج أنثى رمادية الجسم (متماثلة الأليلات) غير منتظمة الأجنحة مع ذكر أسود الجسم منتظم الأجنحة.



(ب)



(أ)

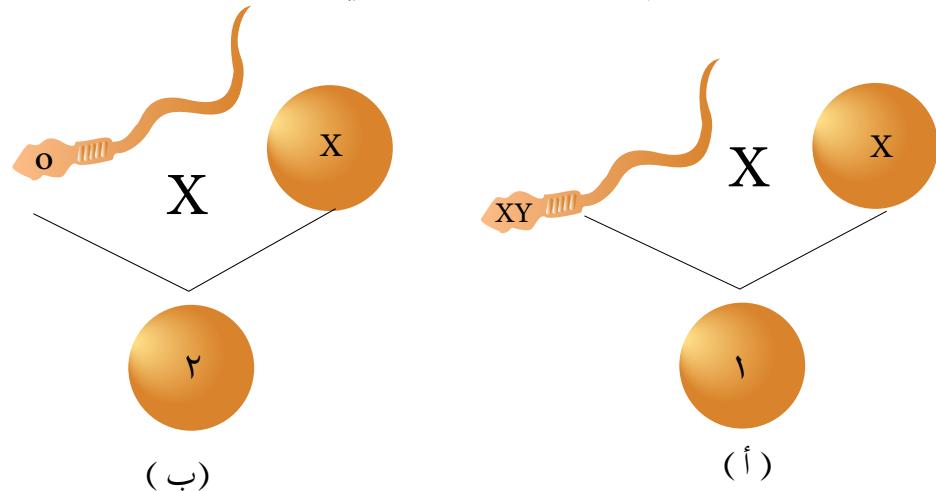
الشكل (١-٥): الأجنحة في ذبابة الفاكهة: أ - منتظمة. ب - غير منتظمة.

٧ - ترتبط الاختلالات الوراثية لدى الإنسان بطفرة كروموسومية أو جينية:

أ - وضوح الطفرة التي ينشأ عن حدوثها الإصابة بمتلازمة داون.

ب - اذكر أعراض الإصابة بكلٌ من: مرض فينيل كيتونورياء، ومتلازمة بتاو.

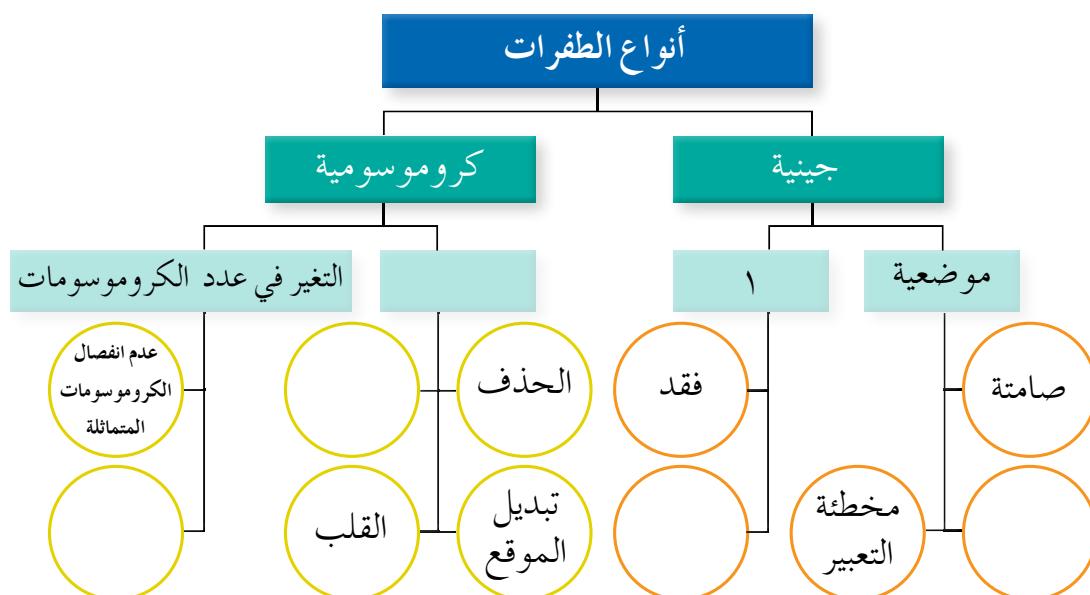
٨- ادرس الشكل (١-٥١)، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



الشكل (١-٥١): نتائج حالي تزاوج.

- أ - اكتب اسم الاختلال الوراثي والطراز الكروموموسومي الجنسي الذي يمثله كلٌّ من الرقمين (١)، و(٢).
- ب - اذكر أهم أعراض الاختلالين اللذين يمثلهما كلٌّ من الشكلين (١)، و(٢).
- ج - ما عدد الكروموموسومات الجسمية في الفرد المصاب بالاختلال الذي يمثله الشكل (ب)؟

٩- أكمل الشكل (١-٥٢) الذي يمثل خريطة مفاهيمية تُبيّن أنواع الطفرات بحسب تصنيفها العام.



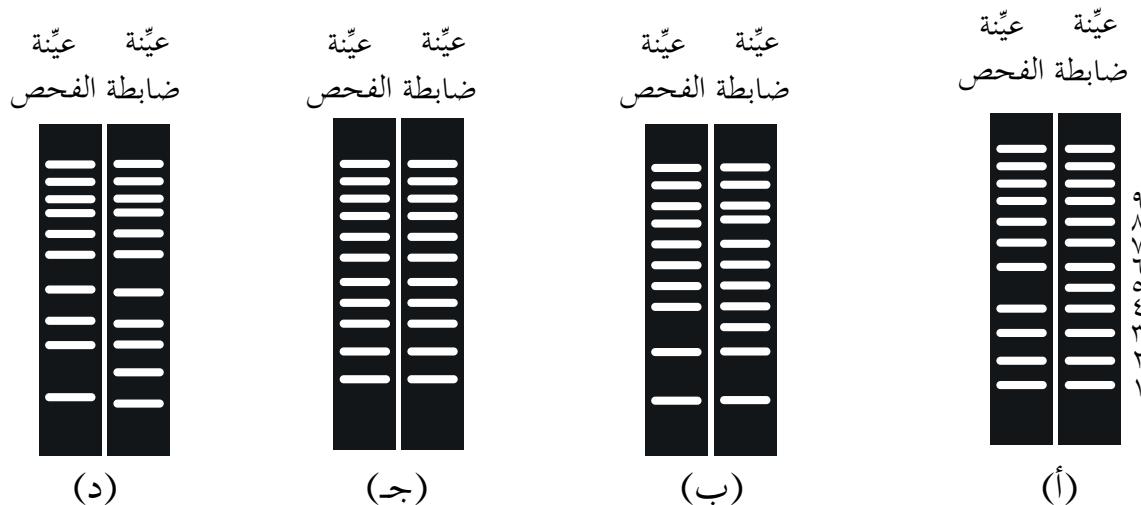
الشكل (١-٥٢): أنواع الطفرات بحسب تصنيفها العام.

١٠ - ادرس الشكل الآتي الذي يُبيّن تسلسل النيوكلويتيدات في جزء من سلسلة (DNA) قبل التعرُّض لمادة كيميائية وبعد التعرُّض لها:



- ما نوع الطفرة الجينية التي حدثت؟

١١ - يُشخّص أحد الاختلالات الوراثية بغياب قطع من (DNA)، ويظهر في الشكل (٥٣-١) نتائج الفصل الكهربائي الهلامي للعينة (أ) مقارنة بعينة ضابطة. وقد أثبتت النتائج عدم وجود القطعة (٥) في العينة (أ)، وهو ما يدل على وجود اختلال وراثي لدى صاحبها. هل تُظهر النتائج الخاصة بكلٌّ من: العينة (ب)، والعينة (ج)، والعينة (د) وجود اختلالات وراثية لدى أصحابها؟ فسر إجابتك.



الشكل (٥٣-١): نتائج الفصل الكهربائي الهلامي لقطع (DNA) في عينات مختلفة.

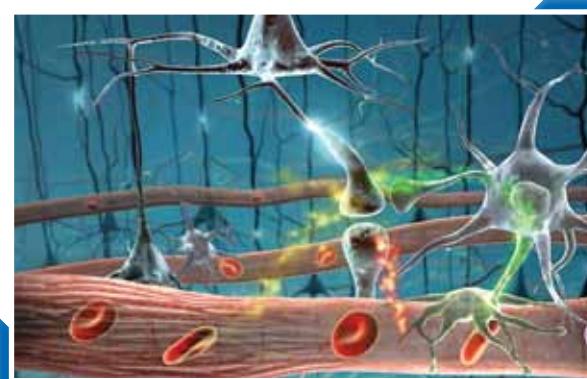
١٢ - إذا علمت أن إنزيم القِطْع المُحدَّد (EcoRV) هو من الإنزيمات المستخدمة في تكنولوجيا الجينات، فوضِّح سبب تسميته بهذا الاسم.

١٣ - استخرج مُحلّل مسرح الجريمة عينة تحوي كمية قليلة من (DNA) لا تكفي للحصول على نتائج تفضي إلى معرفة هوية الجاني. اقترح حلًّا لهذه المشكلة.

الوحدة الثانية

أنشطة فسيولوجية في جسم الإنسان

قال الله تعالى: ﴿سَنُرِيهِمْ إِذَا فِي الْأَفَاقِ وَفِي أَنفُسِهِمْ حَتَّىٰ يَتَبَيَّنَ لَهُمْ أَنَّهُ الْحُقُوقُ لَا أَوْلَمْ يَكْفِي بِرِبِّكَ أَنَّهُ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ شَهِيدٌ﴾ .
سورة فصلت، الآية (٥٣).



كيف تُنظّم أنشطة جسمك المختلفة؟

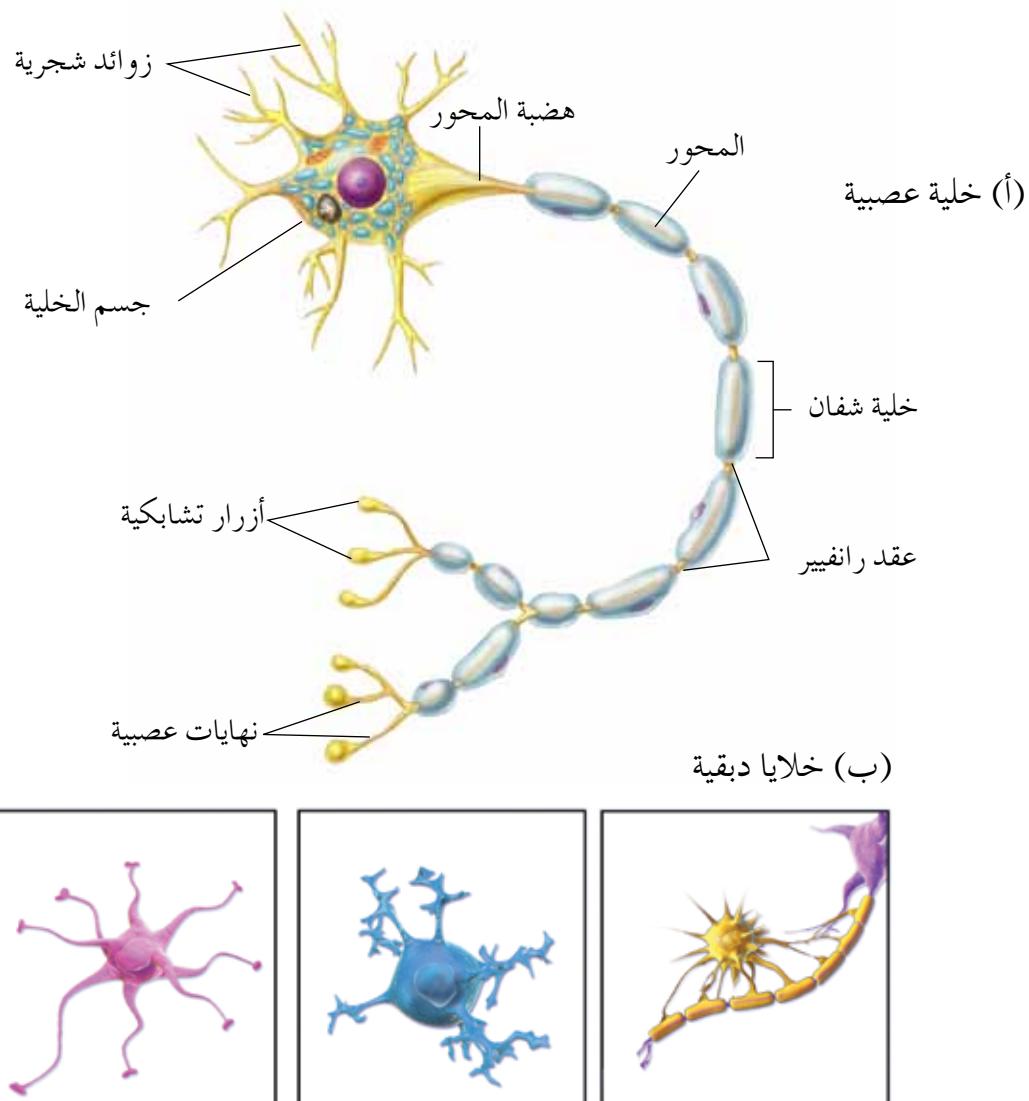
الإحساس والاستجابة والتنظيم في جسم الإنسان

يتآزر كُلُّ من الجهاز العصبي وجهاز الغدد الصم لضمان عمل الأجهزة الأخرى؛ إذ يعملان معًا في أغلب الأحيان لضبط العمليات الحيوية في الجسم، وضبط الاتزان الداخلي فيه. فما أهمية الجهاز العصبي؟ وكيف تكون السيالات العصبية وتنقل إلى أجزاء الجسم المختلفة؟ وكيف يُنظم الجهاز العصبي الذاتي عمل أجهزة الجسم الإرادية؟ وما دور الجهاز العصبي في انقباض العضلات الهيكيلية؟ وكيف تؤثر الهرمونات في أنشطة الجسم المختلفة؟ ستتمكن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك لهذا الفصل.

يتوقع منك أن تكون قادرًا على أن:

- تُوضح آلية تكون السيال العصبي، وكيفية انتقاله.
- تُبين أهمية الجهاز العصبي الذاتي في تنظيم عمليات مختلفة داخل الجسم.
- تصف آلية عمل بعض المستقبلات الحسية في جسم الإنسان.
- تتبع آلية انقباض العضلة الهيكيلية.
- تُوضح آلية عمل بعض الهرمونات.

نتعرّض في حياتنا اليومية للكثير من المنشئات، مثل: الحرارة، والضوء، والضوضاء. وقد درست سابقاً دور الجهاز العصبي في إحساس الجسم بالمنشئات والاستجابة لها. يتلاءم تركيب الجهاز العصبي مع الوظائف التي يقوم بها، ويتألف النسيج العصبي (المُكون الأساسي لأجزاء الجهاز العصبي) من نوعين رئيسيين من الخلايا، هما: **العصيون (neurons)**، **والخلايا الدقيقة (neuroglia)**. ادرس الشكل (١-٢)، ثم أجب عما يليه من أسئلة:



الشكل (١-٢): خلايا النسيج العصبي.

◀ سِّم الأجزاء الرئيسية التي يتكون منها العصيون.

◀ قارن بين العصيون والخلايا الدقيقة من حيث الحجم.

يتكون العصبون من الأجزاء الرئيسية الآتية: **جسم الخلية** (cell body)، **الزوائد الشجرية** (dendrites)، **المحور** (axon) الذي يتنهى ب نهايات متتفحة تدعى **الأزرار التشابكية**. وتسمى نقطة اتصال جسم الخلية بالمحور **هضبة المحور**.

يحيط بمحور العصبون غالباً **غمد ملني** (myelin sheath) تُكوّنه **خلايا شفان** (Schwann cells)، ويوجد بين هذه الخلايا عقد رانفيير.

أما النسيج العصبي فيحوي خلايا داعمة تسمى **خلايا دبقية** (neuroglia)، وهي أكثر عدداً من العصبونات، وأصغر حجماً منها، ولها وظائف عدّة، منها: دعم العصبونات، وحمايتها، وتزويدها بالغذاء.

تنقل العصبونات المعلومات بين أجزاء الجسم والدماغ والجبل الشوكي، وبين العصبونات نفسها على شكل إشارات كهروكيميائية (electrochemical signals) تسمى السيال العصبي، فكيف ينشأ السيال العصبي؟ وكيف ينتقل؟

تُكوّن السيال العصبي

ينشأ **السيال العصبي** (جهد الفعل) عند تعرض العصبون لمتبّهٍ ما، ويساهم تركيب الغشاء اللازمي للعصبون مساهمةً فاعلةً في تكوين السيال العصبي؛ إذ توجد قنوات متخصصة فيه تُدعى **قنوات الأيونات** (ion channels).

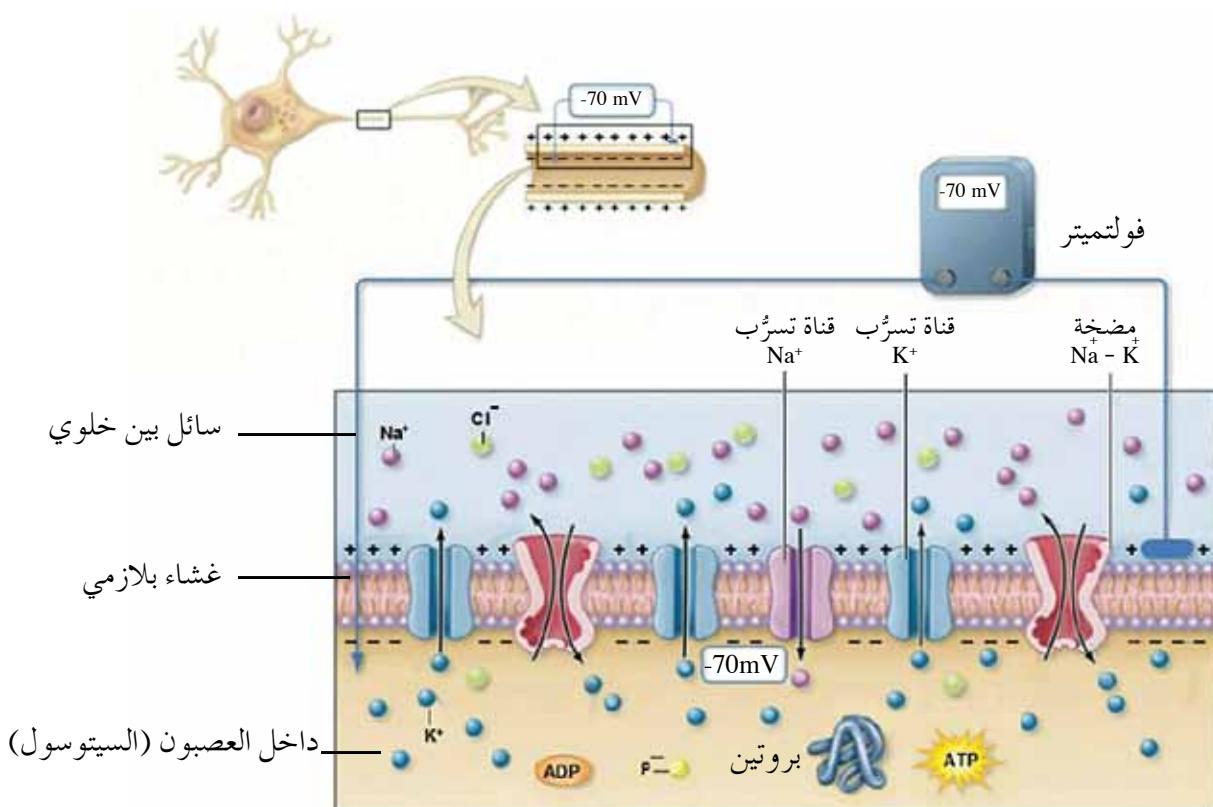
تحتختلف هذه القنوات في ما بينها من حيث طبيعة العمل؛ فمنها ما يحتاج إلى منظم لفتحها وإغلاقها، مثل: **القنوات الحساسة للنواقل الكيميائية** (ligand-gated channels)، و**القنوات الحساسة لفرق الجهد الكهربائي** (voltage-gated channel)، ومنها ما لا يحتاج إلى منظم لفتحها وإغلاقها، مثل **قنوات التسرب** (leak channels) التي تفتح وتغلق تلقائياً، والتي يوجد منها أنواع عدّة، مثل: قنوات تسرب أيونات الصوديوم Na^+ ، وقنوات تسرب أيونات البوتاسيوم K^+ .

والآن، لتعرف حالة العصبون قبل وصول منبهٍ مناسب وبعد وصوله.

أ - حالة العصبون قبل وصول منبهٍ مناسب

• مرحلة الراحة (Resting phase): تتركز أيونات الصوديوم (Na^+) في السائل بين الخلوي، في حين تتركز أيونات البوتاسيوم K^+ داخل العصبون في السيتوسول (السائل داخل الخلايا). إذا لم يكن العصبون معرضاً لمنبهٍ مناسب، فإنه يكون في

مرحلة الراحة. وينشأ في هذه المرحلة جهد يُسمى **جهد الراحة** (resting potential). لتتعرّف كيفية نشوئه، ادرس الشكل (٢-٢)، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



الشكل (٢-٢): العصبون من الداخل والخارج في أثناء مرحلة الراحة.

قارن بين داخل العصبون وخارجه من حيث تركيز الشحنات الموجبة. ما تفسيرك لهذه النتيجة؟

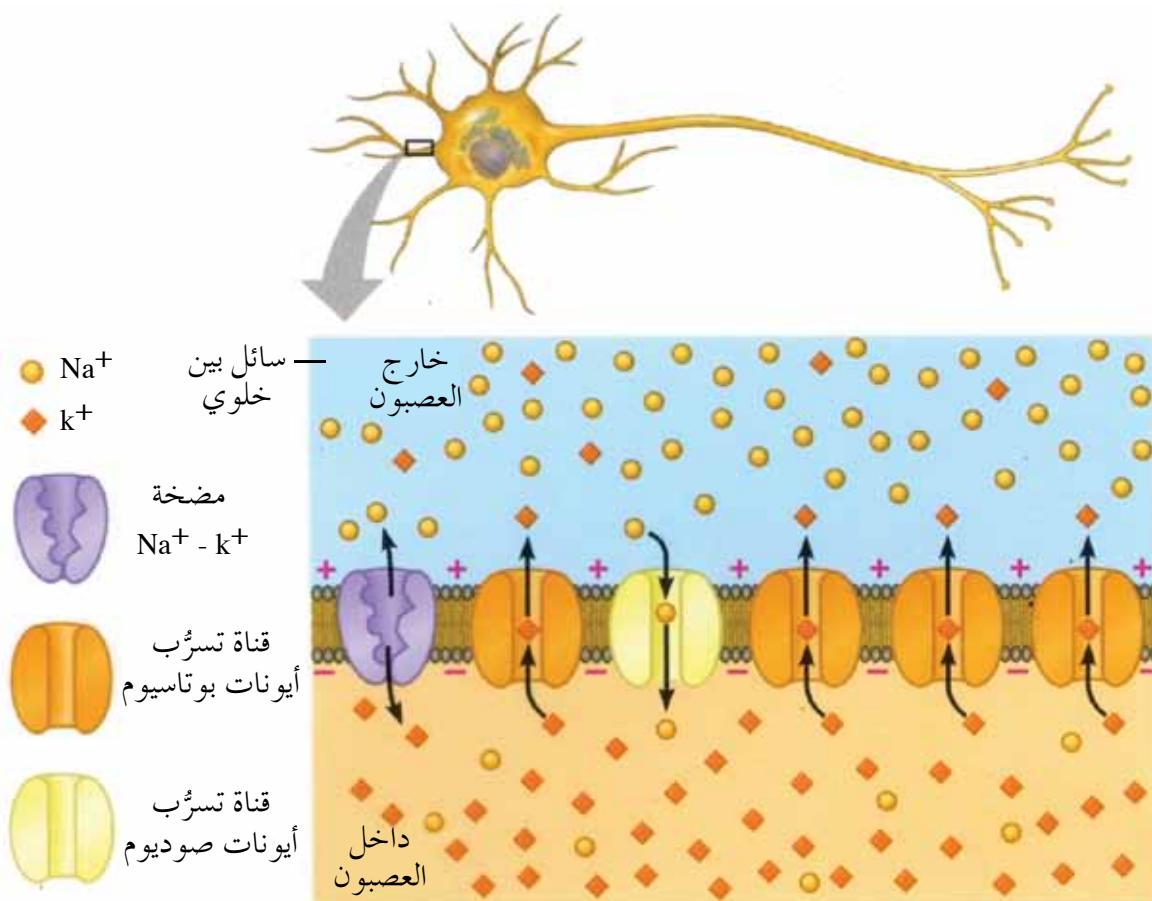
كم يبلغ مقدار جهد الراحة للعصبون؟

في أثناء مرحلة الراحة يكون تركيز الشحنات الموجبة مرتفعاً على السطح الخارجي لغشاء العصبون، في حين يكون تركيز الشحنات السالبة مرتفعاً على سطحه الداخلي (من جهة السيتوسول).

يُقاس فرق جهد غشاء العصبون بجهاز فولتميتر حساس، وتكون وحدة قياسه ملي فولت (mV)، ويزداد فرق الجهد بزيادة الفرق بين الشحنات داخل العصبون وخارجه، وتبلغ قيمته في كثير من الخلايا الحيوانية (-٧٠) ملي فولت، ويُطلق عليه اسم جهد الراحة، وتشير الإشارة السالبة إلى أن داخل الخلية سالب الشحنة مقارنة بخارجها.

يتكون جهد الراحة نتيجةً لعوامل عدّة، منها:

١. احتواء الغشاء البلازمي على قنوات تسرُّب أيونات البوتاسيوم K^+ إلى خارج العصبون، وأيونات الصوديوم Na^+ إلى داخله، لاحظ الشكل (٣-٢). ولأن عدد قنوات تسرُّب أيونات البوتاسيوم K^+ يزيد على عدد قنوات تسرُّب أيونات الصوديوم Na^+ ؛ فإن الشحنات الموجبة تراكم خارج العصبون.
٢. عدم قدرة الأيونات السالبة المرتبطة بمركبات كبيرة الحجم (مثل البروتينات) على النفاذ إلى خارج العصبون، لاحظ الشكل (٢-٢).
٣. وجود مضخات أيونات الصوديوم-البوتاسيوم ($Na^+ - K^+$ pump)؛ إذ تنقل كل مضخة ثلاثة أيونات صوديوم $3Na^+$ إلى خارج العصبون مقابل أيوني بوتاسيوم $2K^+$ إلى داخله بعملية نقل نشط، لاحظ الشكل (٣-٢).



الشكل (٣-٢): بعض العوامل التي تساهم في تكوين جهد الراحة.

يُيقن العصبون في مرحلة الراحة إلى أن يصل إليه منبه (stimulus) مناسب يُحدث تغييراً سريعاً في نفاذية غشاءه البلازمي، وهو ما يؤدي إلى وصول مقدار فرق جهد الغشاء مستوى معيناً يُطلق عليه اسم **مستوى العتبة** (threshold). فمثلاً، يكون مستوى العتبة في بعض العصبونات (-٥٥) ملي فولت، لاحظ الشكل (٢-٤). وإذا لم يُحدث المنبه تغييراً في جهد الغشاء البلازمي ليصل مستوى العتبة يُيقن العصبون في مرحلة الراحة.

سؤال

◀ فسر ما يأتي :

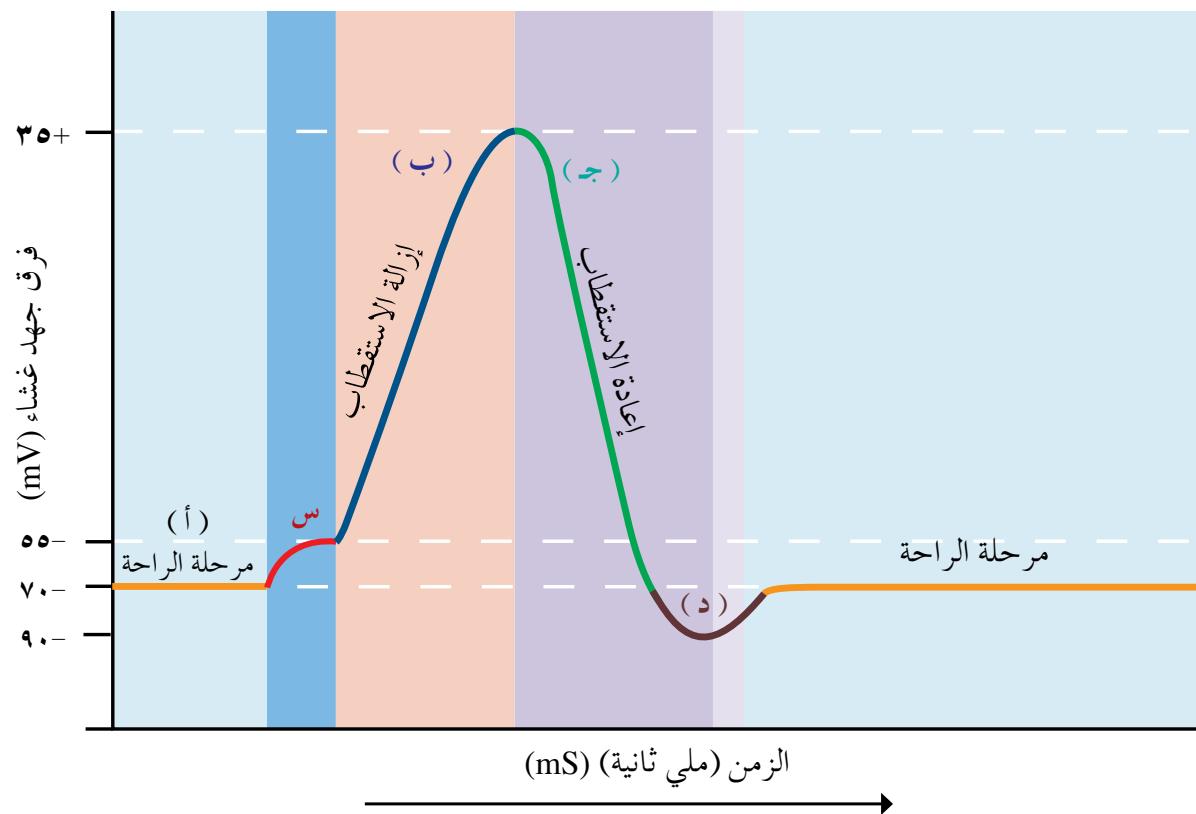
- يكون فرق جهد غشاء العصبون خلال مرحلة الراحة سالباً.
- قد يُيقن العصبون في مرحلة الراحة بالرغم من وصول عدّة منبهات إليه.

والآن، لنتعرف حالة العصبون بعد وصول منبه مناسب.

ب - حالة العصبون بعد وصول منبه مناسب

١. **إزالة الاستقطاب Depolarization:** يؤدي تنبية العصبون بمنبه يصل بجهد الغشاء إلى مستوى العتبة أو يزيد عليه إلى فتح قنوات أيونات الصوديوم الحساسة لفرق الجهد الكهربائي (voltage gated Na⁺ channels)، فتندفع أيونات الصوديوم Na⁺ الموجودة في السائل بين الخلوي إلى داخل العصبون مسبباً تراكم الشحنات الموجبة، وهو ما يؤدي إلى **إزالة الاستقطاب**، لاحظ الشكل (٢-٤ / ب).

تستمر أيونات الصوديوم Na⁺ في الدخول إلى داخل العصبون، فتزيد الشحنات الموجبة داخل العصبون، ليصل فرق الجهد إلى (+٣٥) ملي فولت تقريباً مدةً قصيرةً، لاحظ الشكل (٢-٤)، ويؤدي هذا التغيير في الجهد إلى غلق قنوات أيونات الصوديوم الحساسة لفرق الجهد الكهربائي.



- مرحلة الراحة: جميع القنوات الحساسة لفرق الجهد الكهربائي تكون مغلقة.
- وصول منبهٍ يُغيّر جهد الغشاء إلى جهد العتبة.
- فتح قنوات Na^+ الحساسة لفرق الجهد الكهربائي.
- فتح قنوات K^+ الحساسة لفرق الجهد الكهربائي، وغلق قنوات Na^+ الحساسة لفرق الجهد الكهربائي.

الشكل (٢-٤): المراحل التي يمر بها العصبون قبل وصول منبهٍ مناسب وبعد وصوله.

٢. إعادة الاستقطاب (Repolarization) تبدأ هذه العملية بفتح قنوات أيونات البوتاسيوم الحساسة لفرق الجهد الكهربائي (voltage gated K^+ channels)، لاحظ الشكل (٢-٤/ج)، فتتدفق أيونات البوتاسيوم K^+ إلى خارج العصبون.

يستمر فتح قنوات أيونات البوتاسيوم الحساسة لفرق الجهد الكهربائي مسبباً تدفق المزيد من أيونات البوتاسيوم إلى خارج العصبون، فتحدث زيادة استقطاب (hyperpolarization)، ويصل فرق الجهد إلى (-٩٠) ملي فولت تقريرياً. وحين يصل فرق الجهد إلى هذا المستوى تُسمى هذه الفترة فرة الجمود (refractory period)، لاحظ الشكل (٢-٤/د)، وفيها لا يستجيب العصبون لمنبهٍ آخر. تغلق قنوات أيونات البوتاسيوم الحساسة لفرق الجهد الكهربائي،

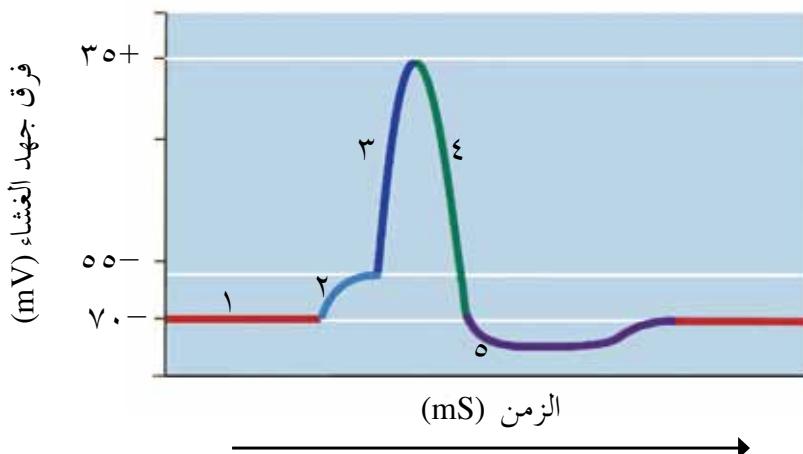
فتصبح كلّ من قنوات أيونات الصوديوم وقنوات أيونات البوتاسيوم الحساسة لفرق الجهد الكهربائي مغلقة تماماً.

ولكي يعود العصبون إلى مرحلة الراحة، تنشط مضخة أيونات (الصوديوم - البوتاسيوم) لتتركز أيونات الصوديوم Na^+ خارج العصبون، وأيونات البوتاسيوم K^+ داخله، وتساهم قنوات تسرُّب أيونات كلّ من الصوديوم والبوتاسيوم - كما درست سابقاً - في إعادة تكوُّن جهد الراحة، ويصل فرق الجهد إلى (-٧٠) ملي فولت تقريباً.

سؤال

ادرس الشكل (٢-٥)، ثم بيّن سبب حدوث المراحل والفترات المرقمة بالأرقام:

(١، ٢، ٣، ٤، ٥).

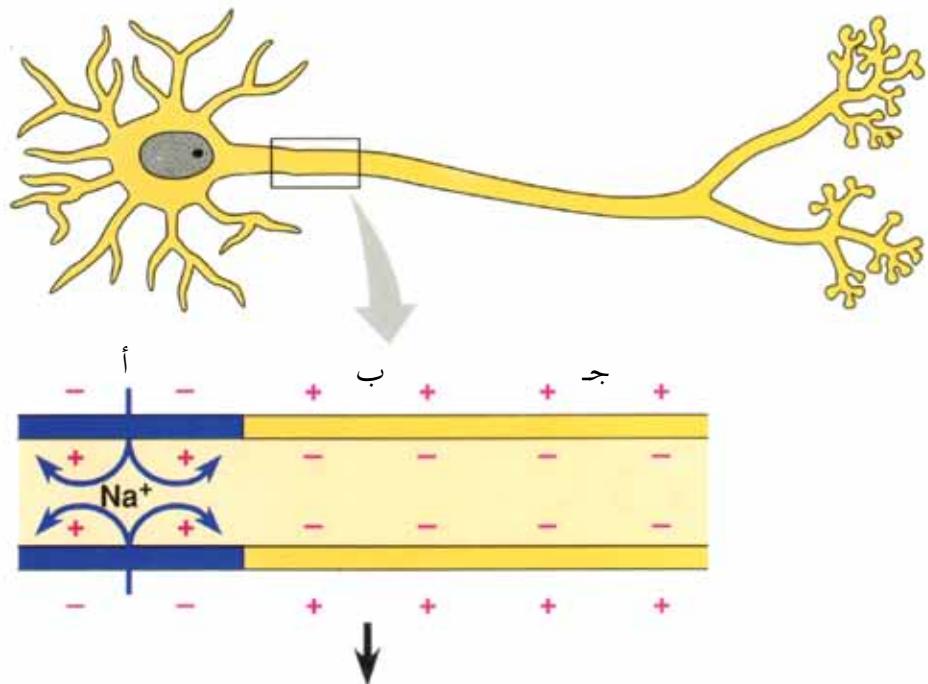


الشكل (٢-٥): سؤال المراحل والفترات التي يمر بها العصبون.

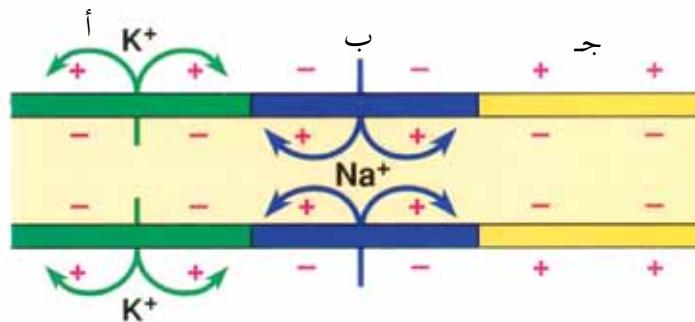
٢ انتقال السيال العصبي

ينتقل السيال العصبي على طول محور العصبون حتى يصل إلى نهايته، ثم ينتقل من العصبون إلى خلية أخرى في منطقة التشابك العصبي، فكيف يحدث كلّ منهما؟

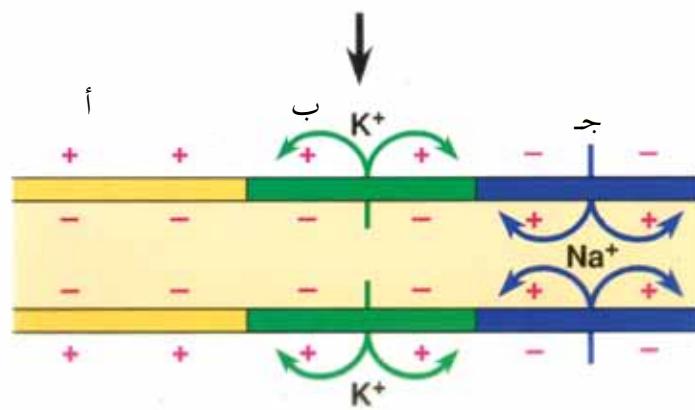
أ - انتقال السيال العصبي على طول المحور: يؤدي جهد الفعل المتولد في نقطة ما على غشاء العصبون إلى نشوء جهد فعل في المنطقة المجاورة لها، وبذا ينتقل جهد الفعل على طول محور العصبون غير المحاط بغمد مليني، لاحظ الشكل (٦-٢).



- نشوء جهد فعل في المنطقة (أ) من المحور عند دخول أيونات الصوديوم بكميات كبيرة إلى داخل العصبون، مُسبيًا حدوث إزالة الاستقطاب.



- حدوث إعادة استقطاب في المنطقة (أ)، وإزالة استقطاب في المنطقة (ب)، مُسبيًا نشوء جهد فعل في المنطقة (ب)، وتكون المنطقة (ج) في مرحلة الراحة.

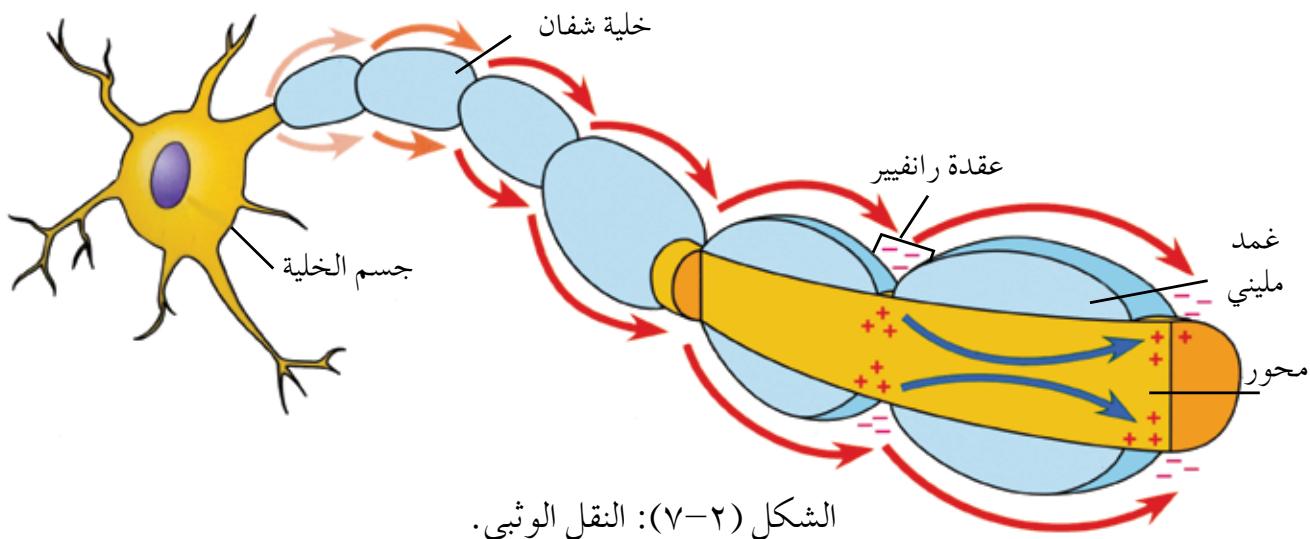


- عودة المنطقة (أ) بعد فترة الجمود إلى مرحلة الراحة، وتكون المنطقة (ب) في مرحلة إعادة الاستقطاب، والمنطقة (ج) في مرحلة إزالة الاستقطاب.

الشكل (٦-٢): انتقال السائل العصبي على طول محور عصبون غير محاط بغمد مليني.

ملحوظة: يتكرّر حدوث الخطوات السابقة الواردة في الشكل (٦-٢) على طول محور العصبون.

لاحظ أن محور العصبون الوارد ذكره في الشكل (٦-٢) غير محاط بغمد مليني؛ لذا يكون انتقال السائل العصبي على طول العصبون. أمّا في حال وجود غمد مليني فينتقل السائل العصبي عن طريق **النقل الوثبي** (saltatory conduction) من عقدة رانفيير إلى أخرى مجاورة على طول العصبون، لاحظ الشكل (٧-٢).

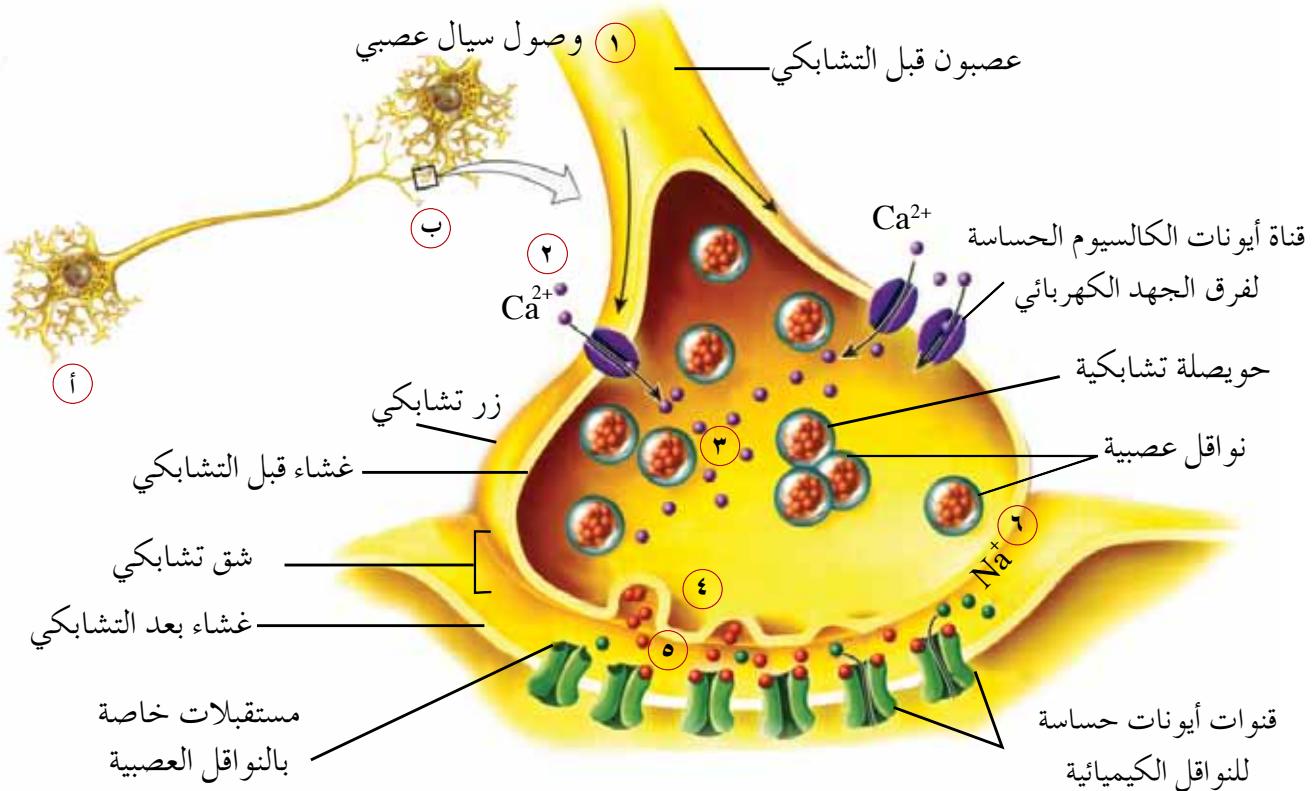


تحتّل سرعة انتقال السائل العصبي من عصبون إلى آخر، وتعتمد سرعة انتقاله على ما يأتي:

١. وجود الغمد المليني، وسُمِّكه (إن وُجد)؛ إذ تزداد سرعة انتقال السائل العصبي بوجود الغمد المليني، وزيادة سُمِّكه.
٢. قطر محور العصبون؛ إذ تزداد سرعة انتقال السائل العصبي بزيادة قطر المحور.

ب - انتقال السائل العصبي في منطقة التشابك العصبي: عند وصول السائل العصبي إلى نهاية المحور، حيث توجد النهايات العصبية، يتواصل العصبون مع خلية أخرى تكون غالباً عصبوناً آخر، وقد تكون غدة، أو خلية عضلية.

تُعرَف منطقة اتصال العصبون بالعصبون الذي يليه باسم **منطقة التشابك العصبي** (synapse). فِمَّ تتكوّن هذه المنطقة؟ وكيف يحدث انتقال السائل العصبي فيها؟ للإجابة، ادرس الشكل (٨-٢)، ثم أجب عَمّا يليه من أسئلة:



الشكل (٨-٢): انتقال السيال العصبي في منطقة التشابك العصبي.

سَمُّ العصبونين (أ)، و(ب) تبعاً لموقعهما من منطقة التشابك العصبي.

ما زا يُطلق على المادة التي تتحرر من عصبون، وتؤثر في عصبون آخر؟

يُسمى العصبون الذي يحمل السيال العصبي نحو التشابك العصبي **العصبون قبل التشابكي**

(presynaptic neuron)، وتحتوي الأزرار التشابكية الموجودة في نهاية محوره على

حوصلات غشائية (synaptic vesicles) بداخلها مواد كيميائية تُسمى **النواقل العصبية**

(neurotransmitters) مثل: استيل كولين، ونورأدرينالين.

أمّا العصبون الذي يحمل السيال العصبي بعيداً عن التشابك العصبي فـ**فُيسمى العصبون**

بعد التشابكي (postsynaptic neuron)، ويحتوي غشاوه البلازمي على مستقبلات

خاصة بالنواقل العصبية.

يفصل غشاء كلٌّ من العصبون قبل التشابكي والعصبون بعد التشابكي شق يُسمى

الشق التشابكي (synaptic cleft).

تلخيص الخطوات الآتية عملية انتقال السيال العصبي في منطقة التشابك العصبي:

- يصل السيال العصبي إلى الزر التشابكي، فتفتح قنوات أيونات الكالسيوم الحساسة لفرق الجهد الكهربائي الموجودة على الغشاء قبل التشابكي، وهو ما يؤدي إلى دخول أيونات الكالسيوم من السائل بين الخلوي إلى داخل الزر التشابكي.
- ترتبط أيونات الكالسيوم Ca^{2+} بالحوصلات التشابكية التي تحوي النواقل العصبية، فتندفع هذه الحوصلات نحو الغشاء قبل التشابكي، وتندمج فيه، فيتحرر الناقل العصبي نحو الشق التشابكي.
- يرتبط الناقل العصبي بمستقبلات خاصة موجودة على قنوات أيونات حساسة للنواقل الكيميائية (ligand-gated ion channels)، توجد في غشاء العصبون بعد التشابكي، مُسَبِّبَةً دخول أيونات موجبة (مثل أيونات الصوديوم) إلى الغشاء بعد التشابكي، وهو ما يؤدي إلى إزالة الاستقطاب، وانتقال جهد الفعل في هذا الغشاء. ومنعًا لاستمرار تنبيه العصبون؛ تحدث إحدى العمليتين الآتتين:
 - تحطم الناقل العصبي في الشق التشابكي بواسطة إنزيمات معينة، ثم انتشار نواتج تحطمه خلال الغشاء قبل التشابكي في الزر التشابكي؛ لاستخدامها في إعادة بناء الناقل العصبي مرة أخرى.
 - عودة الناقل العصبي إلى الزر قبل التشابكي.

سؤال

صمم مخططاً سهلياً توضّح فيه آلية انتقال السيال العصبي في منطقة التشابك العصبي.

درست سابقاً أن **الجهاز العصبي الذاتي** (Autonomic Nervous System) هو جزء من الجهاز العصبي الطرفي. وينظم هذا الجهاز عمل أجهزة الجسم الإرادية للمحافظة على الاتزان الداخلي ويرتبط بتحت المهداد في الدماغ.

وقد أثبتت الدراسات الحديثة أن الجهاز العصبي الذاتي يقوم على وجود مستقبلات حسية في الأعضاء الإرادية للجسم، تنقل الإحساس إلى الجهاز العصبي المركزي، وتسمى **العصبونات الحسية الحشوية الواردة**، إضافةً إلى حدوث ردود أفعال معكسة ترتبط بالأعضاء الإرادية (مثل: القلب، والكلية، والرئة).

يعمل الجهاز العصبي الذاتي على ربط المعلومات الواردة إليه (المنبهات) وتكاملها لإصدار الاستجابة لها عن طريق **عصبونات صادرة** إلى أعضاء محددة، مثل عضلة القلب، والعضلات الملساء في القناة الهضمية، والأوعية الدموية؛ إذ تنقل السinalات العصبية الصادرة من الجهاز العصبي المركزي إلى الأعضاء ذات العلاقة بوساطة عصبونين، هما: **العصبون قبل العقدي**، **والعصبون بعد العقدي**.

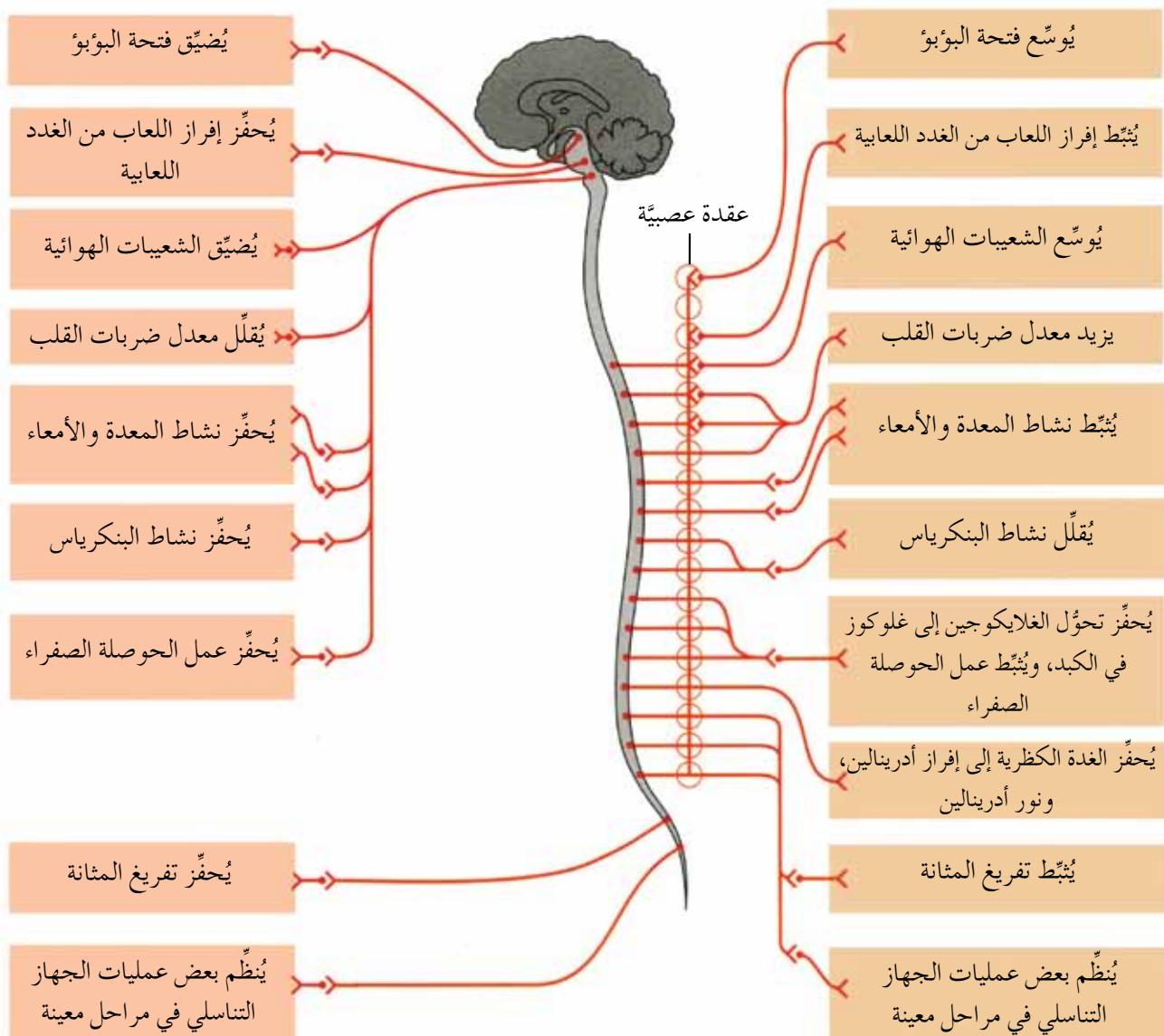
يقسم الجهاز العصبي الذاتي إلى جهازين متضادين يعملان على حفظ الاتزان في الجسم، هما: **الجهاز العصبي الوُدّي** (Sympathetic Nervous System)، **والجهاز العصبي شبه الوُدّي** (Parasympathetic Nervous System).

أما الجهاز العصبي الوُدّي فيعمل عند تعرّض الفرد للخطر، أو الضغوط النفسية، أو البيئية، ويحفّز الجسم إلى حالات الطوارئ التي تُعرف باسم **الكر والفر** (fight or flight)، ويطلب عمل هذا الجهاز قدرًا كبيرًا من الطاقة. أما الجهاز العصبي شبه الوُدّي فيعمل في حالات الجسم الطبيعية، أو يعمل على إعادة الجسم إلى وضعه الطبيعي بعد تجاوز الحالة الطارئة، ويطلب عمله قدرًا أقلً من الطاقة.

لتتعرّف بعض الأنشطة التي يُنظمها الجهاز العصبي الذاتي، لاحظ الشكل (٩-٢).

الجهاز العصبي شبه الودّي

الجهاز العصبي الودّي



الشكل (٩-٢): بعض الأنشطة التي يُنظّمها الجهاز العصبي الودّي، والجهاز العصبي شبه الودّي.

سؤال

وضّح ما يحدث من تغييرات في جسمك إذا ظهرت أمامك فجأةً أفعى في أثناء تجولك في نزهة.

أثر المخدرات في عمل الجهاز العصبي

تُعدّ المخدرات إحدى أكبر المشكلات التي تواجه العالم أجمع؛ فهي تهدّد أمنه واستقراره. ولهذه المشكلة آثار مدمرة وخطيرة على الفرد المتعاطي خاصة، والمجتمع بوجه عام. تؤثّر المخدرات في الجهاز العصبي بطرق عدّة تبعاً لنوعها. والشكل (١٠-٢) يوضح مخاطر المخدرات وأضرارها على الجهاز العصبي:

أثر المخدرات في عمل الجهاز العصبي		
المخدرات المهدّئة	المخدرات الممهدّة	المخدرات المنبهة
تحفّز مركزي البصر والسمع في الدماغ، وتجعل متعاطيها يسمع أصواتاً وهميّةً، ويرى أشكالاً غير موجودة في البيئة الخارجية، ويفقد إدراكه للمسافة والحجم والزمن. ومن الأمثلة عليها: الحشيش، والماريغوانا.	تبطئ انتقال السيالات العصبية في منطقة التشابك العصبي؛ ما يولد الإحساس بالخمول، وعدم القدرة على الحركة والتنقل وممارسة الأعمال اليومية. ويزيد من خطر هذه المواد الإدمان على تعاطيها من الجرعة الأولى. ومن الأمثلة عليها: الهيروين.	تزيد الإحساس بالتنبّه والنشاط الزائفين، وتهدي إلى ضعف التركيز؛ ما يؤثّر سلباً في الذاكرة، فضلاً عن تدمير الجهاز العصبي، وقد تسبّب في حدوث الموت المفاجئ. ومن الأمثلة عليها: الكوكائين، والأمفيتين.

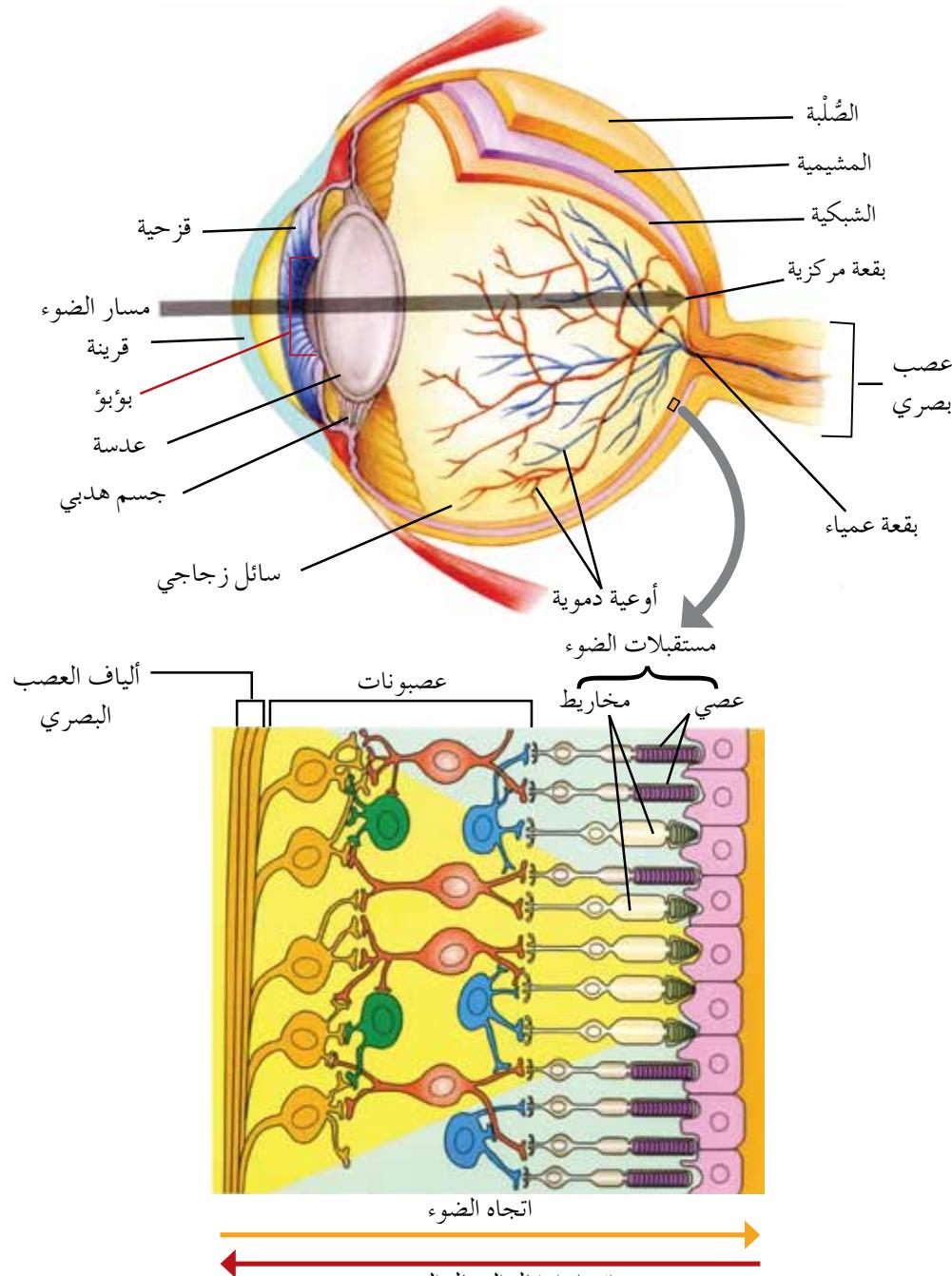
الشكل (١٠-٢): أثر المخدرات في عمل الجهاز العصبي.

ثالثاً المستقبلات الحسية

يحتوي جسمك على ملايين العصبونات التي تُعرف بالمستقبلات الحسية (sensory receptors)، والتي تتنبّه بوساطة منبهات خاصة بها؛ إما فيزيائية مثل الضوء والصوت، وإما كيميائية مثل الروائح المختلفة، بحيث تحولّها إلى سيالات عصبية.

١ المستقبلات المستجيبة للمنبهات الفيزيائية

أ - مستقبلات الضوء: لمستقبلات الضوء الموجودة في العين دور مهم في عملية الإبصار التي يُعدُّ الضوء مُنْهَّاً لها. ولمعرفة آلية الإبصار، لا بد من تعرُّف أجزاء العين؛ لذا ادرس الشكل (١١-٢)، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



الشكل (١١-٢): تركيب العين.

سَمِّ الطبقات التي ترَكَب منها العين.

ما اسم العصب الذي ينقل السیالات العصبية من العين إلى الدماغ؟

سَمِّ مستقبلات الضوء الموجودة في الشبكية.

تترَكَب العين من ثلات طبقات هي:

– الطبقة الخارجية: تُعرَف هذه الطبقة باسم **الصلبة** (sclera)، وترتبط بعضلات هيكلية لتحريك العين. أمّا الجزء الأمامي من العين فيكون مُحدّباً وشفافاً، ويُطلق عليه اسم **القرنية**.

– الطبقة الوسطى: تُعرَف هذه الطبقة باسم **المشيمية** (choroid)، وتتصف بلونها الداكن لتتركز صبغة الميلانين، وغزاره الأوعية الدموية فيها. تُكوِن هذه الطبقة في الجزء الأمامي تركيبين، هما: **الجسم الهدبي** الذي يساهم في تغيير شكل العدسة، والقزحية التي تمتاز بتنوع ألوانها بين الأفراد، والتي تتوسطها فتحة **البؤبؤ** الذي يتحكم في كمية الأشعة الضوئية المارة إلى داخل العين عن طريق تضييقه أو توسيعه.

وتقع **العدسة** خلف البؤبؤ، وتمتاز بشفافيتها، ويعق خلف العدسة تجويف مليء بمادة شفافة شبه جيلاتينية تُسمى **السائل الرجاجي** الذي يحافظ على حجم العين ثابتاً.

– الطبقة الداخلية: تُعرَف هذه الطبقة باسم **الشبكية** (retina)، وتحوي نوعين من مستقبلات الضوء، هما: **المخاريط** (cones)، **والعصي** (rods). وتحوي الشبكية خلايا أخرى تُنظم عملها الدقيق.

والآن، لنتعرَف مستقبلات الضوء ودورها في آلية الإبصار.

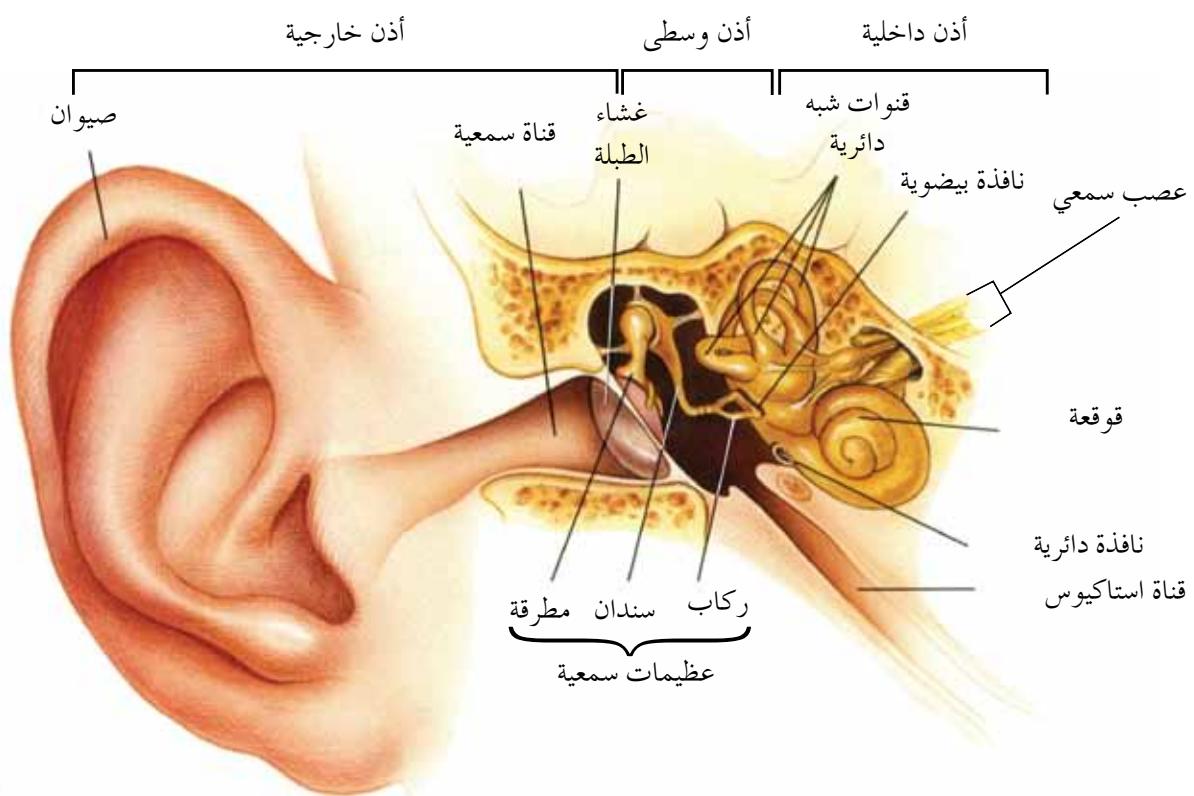
- **المخاريط**: تتركز المخاريط في بقعة تُسمى **البَقْعَةُ الْمُركَزِيَّةُ** (fovea centralis)، وتحتوي على صبغة فوتوبسين، وتنبه للإضاءة الشديدة؛ ما يسمح بإبصار الألوان المختلفة. يوجد ثلاثة أنواع من المخاريط؛ أحدها حساس للضوء الأزرق، والثاني حساس للضوء الأخضر، والثالث حساس للضوء الأحمر، ولكن التداخل في أطوال الأمواج الضوئية التي تمتصها هذه الأنواع يتبع لنا رؤية الألوان جميعها.

- **العصي**: تحتوي على صبغة رودوبسين، وتأثر بالضوء الخافت، لكنها تُمكِّنا من الإبصار فقط بالأبيض والأسود، علماً بأن البقعة المركزية تخلو من العصي.

تحدث آلية الإبصار عند انعكاس الضوء عن الأشياء، فيمُر الضوء المنعكس في العين ليصل إلى العصي والمخاريط، فيتغير شكل جزيئات الصبغة الموجودة في كل منها، ويحدث جهد فعل ينتقل بوساطة **العصب البصري** إلى الدماغ، حيث تُدرك الصورة،

ويُطلق على نقطة خروج العصب البصري من العين إلى مراكز الإبصار في الدماغ اسم **البقعة العمياء** لعدم وجود مستقبلات حسية فيها.

بـ- مستقبلات الصوت: درست سابقاً أن الصوت ينشأ عن اهتزازات الأجسام، وأن الأذن تحتوي على مستقبلات حسية يمكنها التقاط هذه الاهتزازات وتحويلها إلى جهد فعل. لنتعرّف آلية حدوث ذلك، لا بدّ من تعرّف أجزاء الأذن؛ ادرس الشكل (١٢-٢)، ثم أجب عما يليه من أسئلة:



الشكل (١٢-٢): أجزاء الأذن.

◀ تقسم الأذن إلى ثلاثة أجزاء رئيسة، اذكرها.

◀ تقع في أيّ أجزاء الأذن تقع مستقبلات الصوت.

تقسم الأذن إلى ثلاثة أجزاء رئيسة، هي:

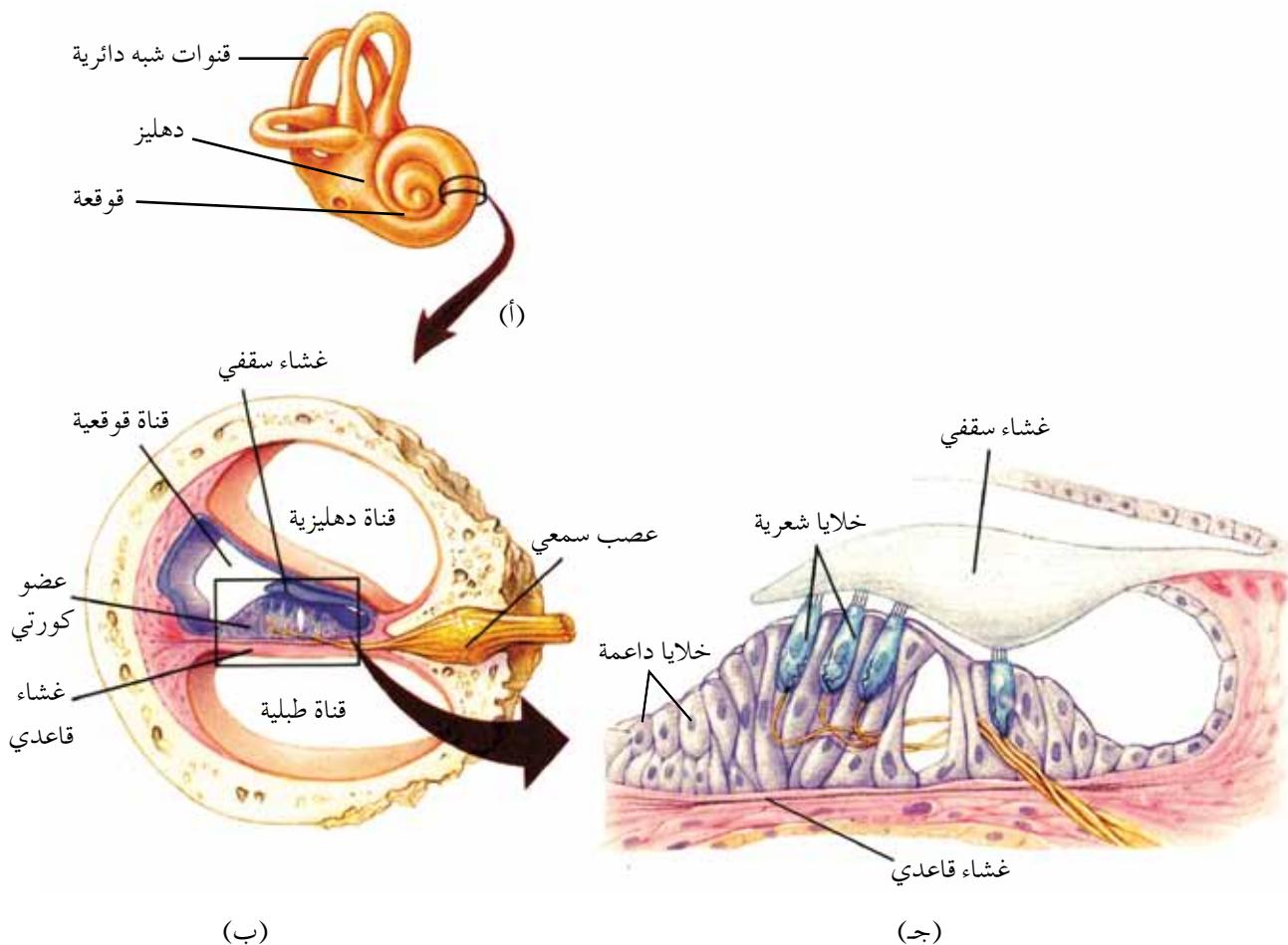
- **الأذن الخارجية** (External ear): تتكون هذه الأذن من **الصيوان**، والقناة السمعية التي

تنتهي **بغشاء الطلبة**، والتي تحوي غدداً تفرز مادة شمعية لحماية الأذن من المواد

الغربيّة التي قد تدخلها مثل الغبار.

– **الأذن الوسطى** (Middle ear): هي تجويف صغير مملوء بالهواء، يفصلها عن الأذن الخارجية غشاء الطلبة، وعن الأذن الداخلية حاجز عظمي رقيق يحوي فتحتين صغيرتين مغطاتين بأغشية رقيقة، تُدعى إحداهما **النافذة البيضوية**، والأخرى **النافذة الدائرية**. تميز الأذن الوسطى باحتواها على ثلاث عظاميات تُعدُّ الأصغر في الجسم، هي: **المطرقة** التي تتصل بغشاء الطلبة، و**الستدان**، و**الركاب**. تتصل الركاب بالنافذة البيضوية، ويحتوي الجدار الأمامي للأذن الوسطى على فتحة تقود إلى **قناة استاكيوس**؛ وهي قناة تصل الأذن الوسطى بالجزء العلوي من البلعوم، وتساهم في تساوي ضغط الهواء داخل الأذن الوسطى بضغط الهواء الجوي.

– **الأذن الداخلية** (Inner ear): تتكون هذه الأذن من سلسلة معقدة من القنوات تُسمى **التيه**، وتشمل: **الدهليز**، و**القنوات شبه الدائرية**، و**القوقة**، لاحظ الشكل (١٣-٢).



الشكل (١٣-٢): تركيب الأذن الداخلية.

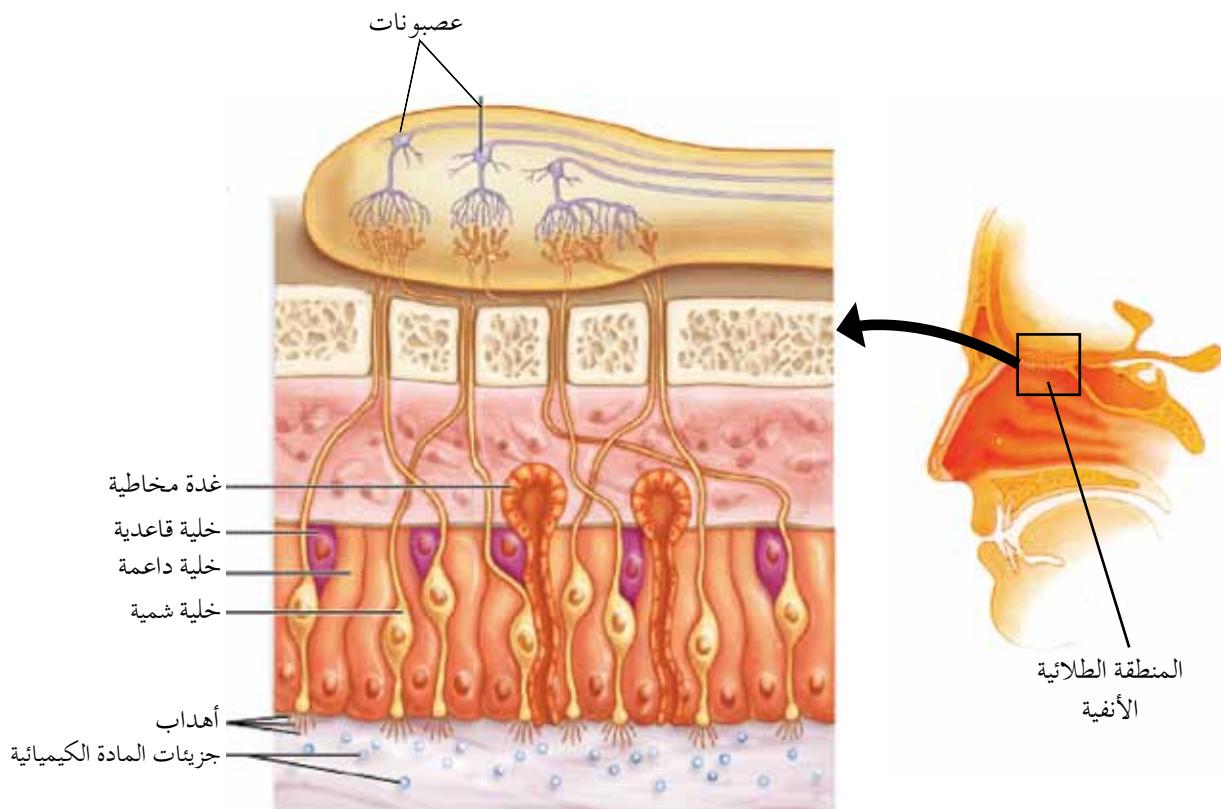
تحتوي القوقةة (تركيب عظمي حلواني الشكل) على قنوات ثلاث، هي: **القوقةة**، **والدھلیزیة**، **والطبیلة**، انظر الشکل (١٣-٢/ب)، وتمتلىء تجاويف هذه القنوات بسائل **اللیمف**، علماً بأن القناة القوقةة محصورة بين القناتين الدھلیزیة (إلى الأعلى منها)، والطبیلة (إلى الأسفل منها)، وفيها **عضو کورتی** الذي يستقر على **غشاء قاعدي** يفصل بينه وبين القناة الطبیلة، ويتكوّن من **خلايا داعمة وخلايا شعرية** (hair cells).

- **الخلايا الشعرية:** تعمل الخلايا الشعرية بوصفها **مستقبلات للصوت**، وتتميز بوجود **أهداب** على أطرافها الحرة، لاحظ الشکل (١٣-٢/ج).

والآن، بعد أن تعرّفنا أجزاء الأذن، فلتتعرّف كيف تحدث آلية السمع. يجمع صيوان الأذن الموجات الصوتية، ثم يُمرّرها إلى القناة السمعية، فيهتز غشاء الطبیلة. وتعتمد سرعة اهتزاز غشاء الطبیلة على تردد الموجات الصوتية التي تصله. بعد ذلك تنتقل هذه الاهتزازات من غشاء الطبیلة إلى العظيمات الثلاث: المطرقة، فالسندان، فالركاب، ثم إلى غشاء النافذة البيضوية مُسببةً اهتزازه، وبذا تُضخم العظيمات الثلاث الاهتزازات بما يزيد على (٢٠) مرة من اهتزاز غشاء الطبیلة، وتسمم مساحة سطح غشاء النافذة البيضوية الصغير في ذلك.

تُسبّب هذه الاهتزازات **موجات ضغط** (pressure waves) في سائل اللیمف الموجود في قنوات القوقةة الثلاث، وهو ما يُسبّب اهتزاز منطقة محددة في الغشاء القاعدي بحسب مقدار تردد الصوت، فتتحرّك الخلايا الشعرية المستقرة على هذه المنطقة، و يؤدي ذلك إلى تحريك الأهداب الملامسة للغشاء السقفي وثنائها، مُسببةً تكون جهد فعل ينتقل عبر العصب السمعي إلى مراكز السمع في الدماغ لإدراك الصوت. وبعد أن تُحدث الموجات الصوتية الآخر المطلوب يجري التخلص من الضغط الزائد في السائل اللیمي باهتزاز **غشاء النافذة الدائرية** المرن؛ فلولا وجود النافذة الدائرية وغضائها المرن لتسبّبت موجات الضغط الناتجة من الصوت بانفجار القوقةة.

ج - **المستقبلات المستجيبة للمنبهات الكيميائية:** يستطيع الإنسان تمييز نحو (١٠,٠٠٠) رائحة مختلفة؛ نظراً إلى احتواء الأنف على مستقبلات لهذه الروائح توجد (المستقبلات) في **المنطقة الطلائية الأنفية** (olfactory epithelium) التي تقع أعلى التجويف الأنفي، لاحظ الشکل (١٤-٢).



الشكل (٤-٢) : المنطقة الطلائية الأنفية.

تتألف المنطقة الطلائية الأنفية من عدّة أنواع من الخلايا، أهمها:

- **الخلايا الشمية**: هي عصبونات تنتهي بعدد من الأهداب التي تقع عليها مستقبلات المواد التي تُبَهِّبُها.

- **الخلايا الداعمة**: هي خلايا طلائية عمادية تسند الخلايا الشمية.

- **الخلايا القاعدية**: تقع هذه الخلايا بين قواعد الخلايا الداعمة، ويعتقد أنها تعمل على تجديد الخلايا الشمية.

تحتوي المنطقة الطلائية الأنفية أيضًا على **غدد مخاطية** تفرز المخاط الذي يُعدُّ مذيباً للمواد التي يجري استنشاقها، وغدد وخلايا تفرز محلولاً مائياً يزيل المادة الكيميائية (المتبهّب) بعد انتهاء عملية الشم؛ لجعل المستقبلات جاهزة للارتباط بمادة جديدة.

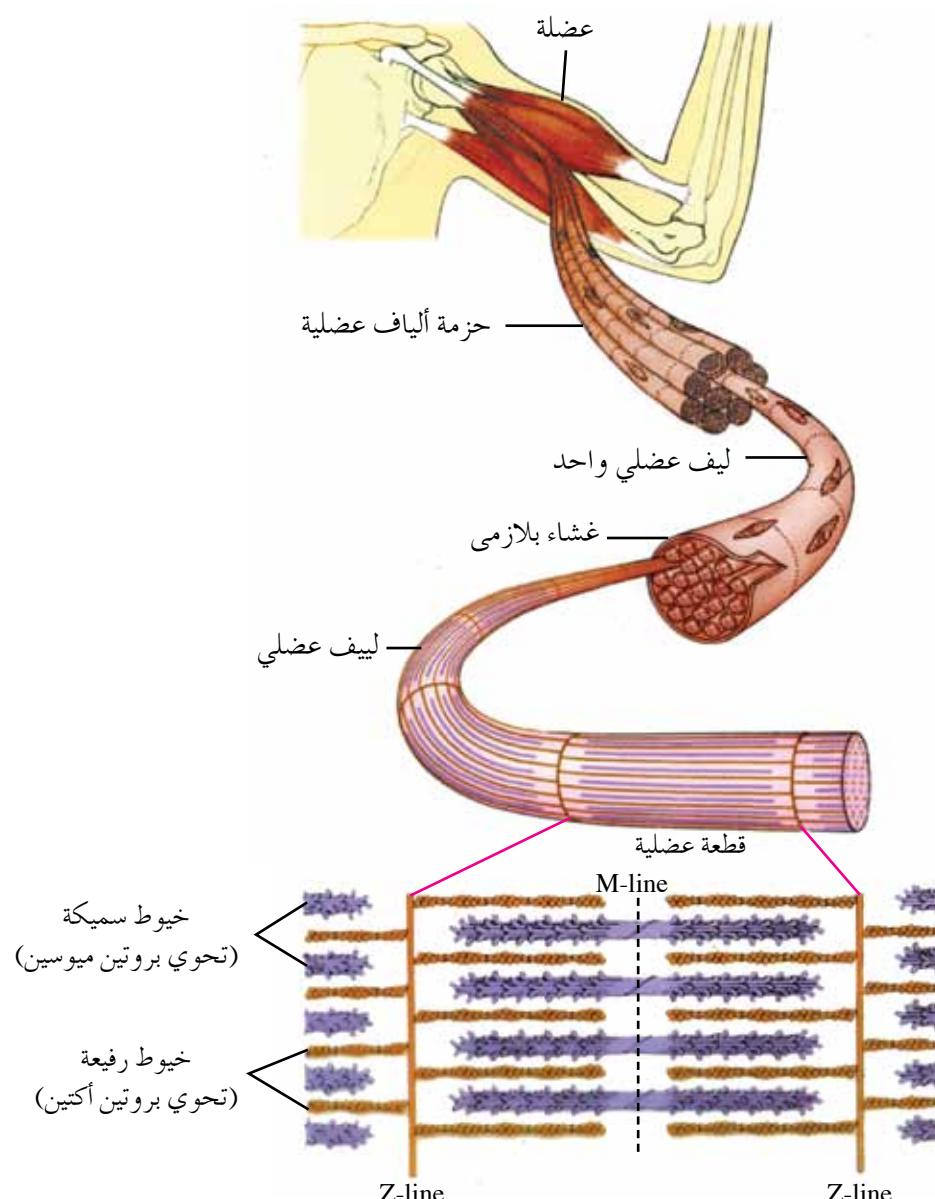
والآن، كيف تحدث عملية الشم؟

ترتبط المواد الكيميائية المتطايرة الذائبة في المخاط بمستقبلاتها البروتينية الخاصة المناسبة لشكلها الموجودة على أهداب الخلايا الشمية، وهو ما يؤدي إلى حدوث سلسلة من التفاعلات التي تَسْبِبُ في تكون جهد فعل ينتقل عبر العصب الشمي إلى مراكز الشم في الدماغ لتمييز الرائحة.

درست سابقاً أنواع العضلات المنتشرة في جسمك، وهي: العضلات الهيكلية، والعضلات القلبية، والعضلات الملساء، وتعلمت أن الوظائف التي يؤديها النسيج العضلي الهيكلى (مثل: تغيير تعابير وجهك، وتركيز بصرك في شيء محدد) تحدث بتناقض ودقة. وستدرس في هذا الفصل تركيب العضلة الهيكلية وآلية انقباضها، فمِمَّ ترتكب هذه العضلة؟

١ تركيب العضلة الهيكلية

لتتعرف على تركيب العضلة الهيكلية، ادرس الشكل (١٥-٢)، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



الشكل (١٥-٢): تركيب العضلة الهيكلية.

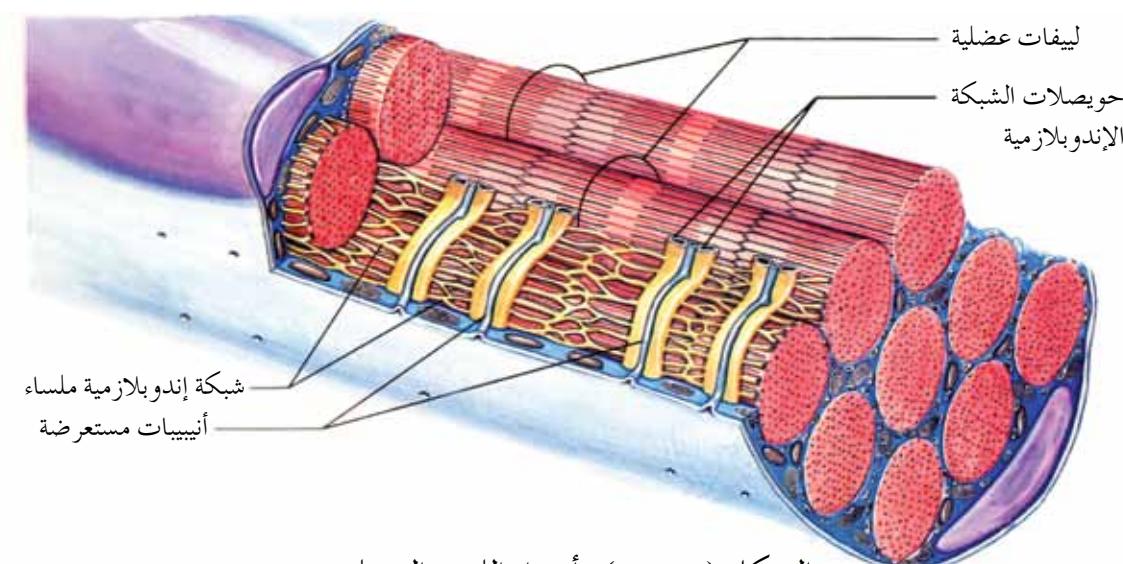
- ◀ مِمَّ يَتَكَوَّنُ الْلَّيفُ الْعَضْلِيُّ الْوَاحِدُ؟
- ◀ سَمِّ الْبَرْوَتِينَاتِ الَّتِي يَتَكَوَّنُ مِنْهَا الْلَّيفُ الْعَضْلِيُّ؟
- ◀ مَاذَا يُطْلَقُ عَلَى الْمَنْطَقَةِ الْمَحْصُورَةِ بَيْنِ خَطِّي Z؟

تترَكَبُ العَضْلَةُ الْهِيَكْلِيَّةُ مِنْ حَزْمٍ مِنَ الْأَلْيَافِ الْعَضْلِيَّةِ (muscle fibers)، وَيُمْثِلُ كُلَّ لَيفٍ عَضْلِيٍّ خَلِيلَةً عَضْلِيَّةً مُتَعَدِّدَةَ النُّوَى (multinucleated cell)، وَيَحْتَوِي كُلَّ لَيفٍ عَضْلِيٍّ عَلَى عَدْدٍ مِنَ الْلَّيْفَاتِ الْعَضْلِيَّةِ (myofibrils). يَتَكَوَّنُ الْلَّيفُ الْعَضْلِيُّ الْوَاحِدُ مِنْ نَوْعَيْنِ مِنَ الْخَيُوطِ الْبَرْوَتِينِيَّةِ؛ خُصُوصَةً تَحْوِي بَرْوَتِينَ مِيُوسِينَ (myosin) وَلَهَا رُؤُسٌ تُدْعَى رُؤُسَ الْمِيُوسِينِ، وَآخَرَى رَفِيعَةً تَحْوِي بَرْوَتِينَ أَكتِينَ (actin).

تَتَرَبَّ خَيُوطُ الْأَكتِينِ وَالْمِيُوسِينِ عَلَى نَحْوِ مَتَدَاخِلٍ؛ مَا يُكَسِّبُ الْعَضْلَاتِ الْهِيَكْلِيَّةَ مَظَاهِرًا مُخْطَطًا. تُثَبَّتُ خَيُوطُ الْأَكتِينِ مِنْ نَهَايَاتِهَا بِبَرْوَتِينِ، فَيَتَكَوَّنُ تَرْكِيبٌ يُسَمَّى (Z-line)، وَيُطْلَقُ عَلَى الْمَنْطَقَةِ الْوَاقِعَةِ بَيْنِ خَطِّي Z (القطعة العضلية (sarcomere)، فِي حِينَ تُثَبَّتُ خَيُوطُ الْمِيُوسِينِ فِي مَوَاقِعِهَا بِوَسَاطَةِ بَرْوَتِينٍ يُكَوَّنُ تَرْكِيَّبًا يُسَمَّى (M-line)، وَيَقْعُدُ فِي مَنْتَصِفِ الْقَطْعَةِ الْعَضْلِيَّةِ، لَاحِظُ الشَّكْلَ (١٥-٢).

٢ آليَّةُ انقباضِ الْعَضْلَةِ الْهِيَكْلِيَّةِ

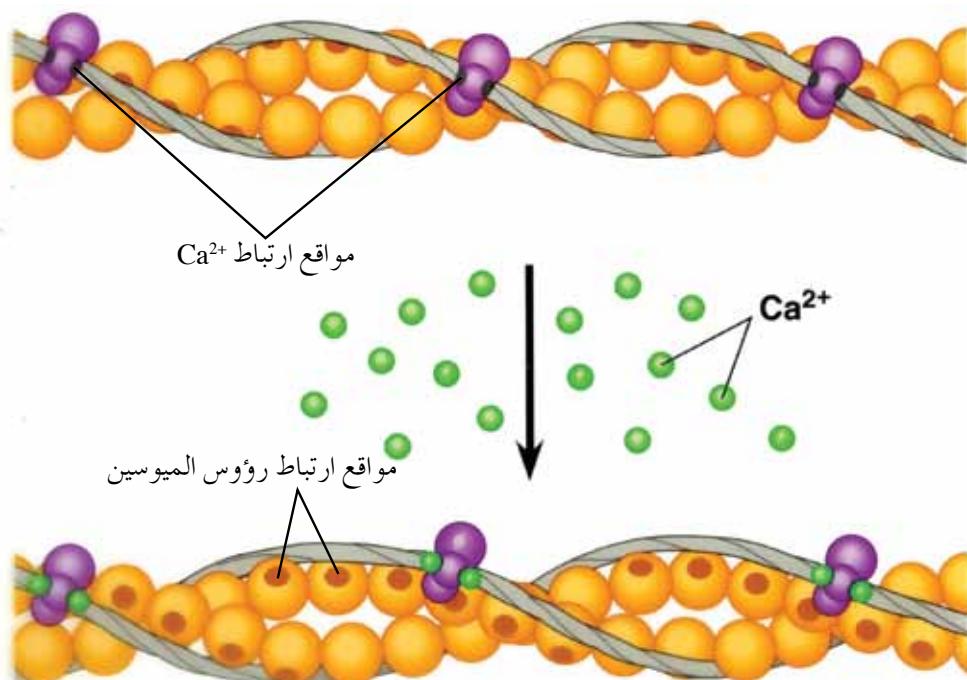
يَتَسَبَّبُ وَصُولُ السِّيَالِ الْعَصْبِيِّ مِنْ عَصْبُونَ حَرْكَيِّ إِلَى الْلَّيفِ الْعَضْلِيِّ فِي نَشَوَّهٍ جَهْدِ فَعْلٍ يَنْتَشِرُ عَلَى طُولِ غَشَاءِ الْلَّيفِ الْعَضْلِيِّ، مَارِّاً بِأَنْبِيبَاتِ مَسْتَعْرَضَةٍ (t-tubules)؛ وَهِيَ اِنْغَمَادَاتٌ غَشَائِيَّةٌ عَرَضِيَّةٌ فِي الغَشَاءِ الْبَلازِميِّ تَقْعُدُ عَلَى طَرْفِيِّ خَيُوطِ الْمِيُوسِينِ، لَاحِظُ الشَّكْلَ (١٦-٢).



الشكل (١٦-٢): أَجْزَاءُ الْلَّيفِ الْعَضْلِيِّ.

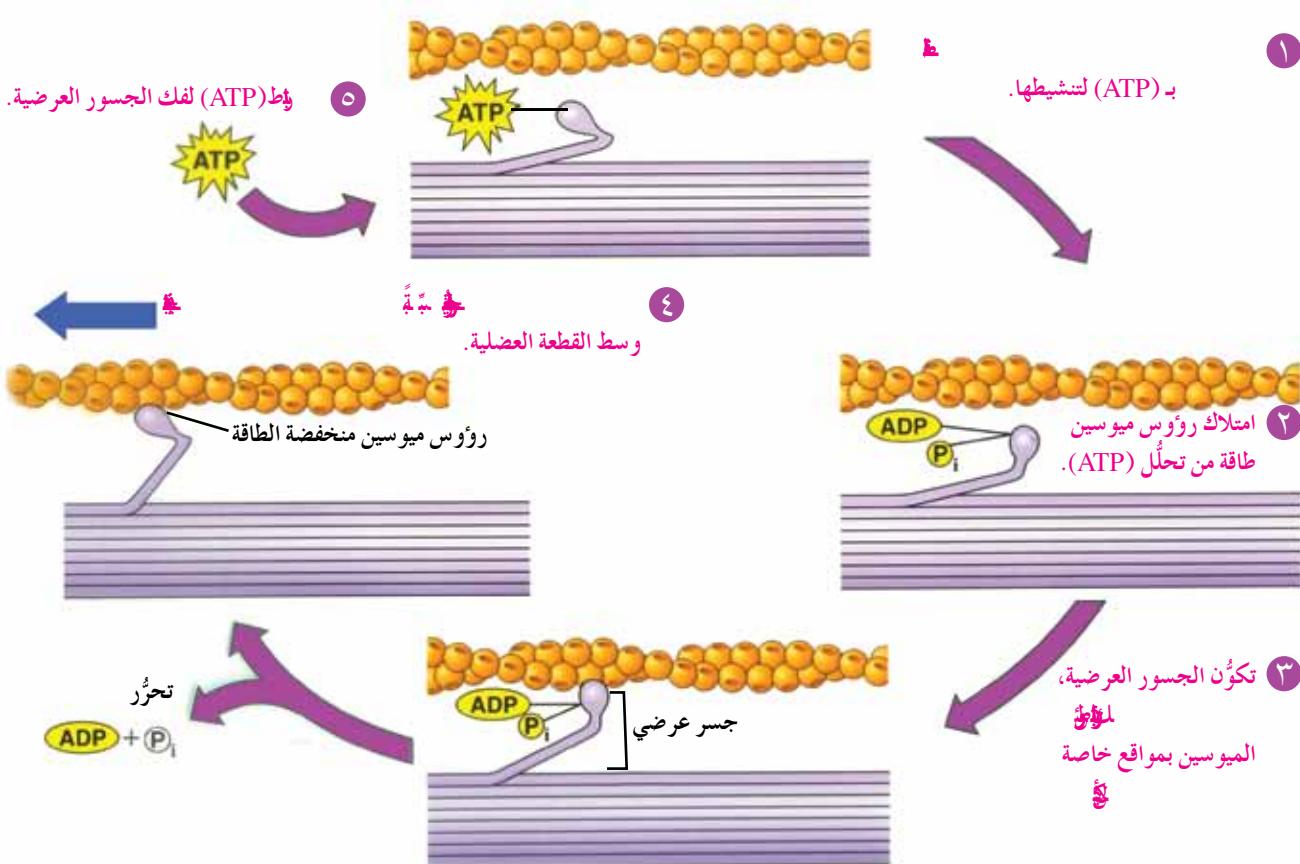
تمتد الأنبيبات المستعرضة بين الليفيات العضلية، وتكون محاطة بالشبكة الإندو بلازمية الملساء التي تخزن أيونات الكالسيوم (Ca^{2+})، لاحظ الشكل (١٦-٢)، وهو ما يؤدي إلى خروج أيونات الكالسيوم من مخازنها في الشبكة الإندو بلازمية الملساء، وانتشارها في السيتوسول بين الليفيات العضلية.

ترتبط أيونات الكالسيوم بمستقبلات خاصة على خيوط الأكتين، فتكتشف موقع ارتباط رؤوس الميوسين بخيوط الأكتين، لاحظ الشكل (١٧-٢).



الشكل (١٧-٢): ارتباط الكالسيوم بمستقبلاته على خيوط الأكتين.

بعد تكشف موقع ارتباط رؤوس الميوسين بخيوط الأكتين، يتم الارتباط بينهما مكوناً جسورة عرضية (cross bridges)، ويسبب إنشاء الجسور العرضية (كما ستدرس لاحقاً) حركة الخيوط الرفيعة باتجاه وسط القطعة العضلية، فتنزلق خيوط الأكتين بين خيوط الميوسين، مسببة قصر القطعة العضلية. ادرس الشكل (١٨-٢)، متابعاً آلية انقباض العضلة بحسب **الخطوة**، ولاحظ أن رؤوس الميوسين هي المكان الأساسي لاستهلاك (ATP)؛ إذ إن تكوين الجسور العرضية أو فكها يتطلب طاقة.



وبوجه عام، فإن الانزلاق بين خيوط الأكتين والميوسين لا يكون كافياً لإحداث انقباض في العضلة، فتتكرر الخطوات السابقة لإحداث الانقباض المطلوب، وهذا يتطلب تكون جسور عرضية جديدة.

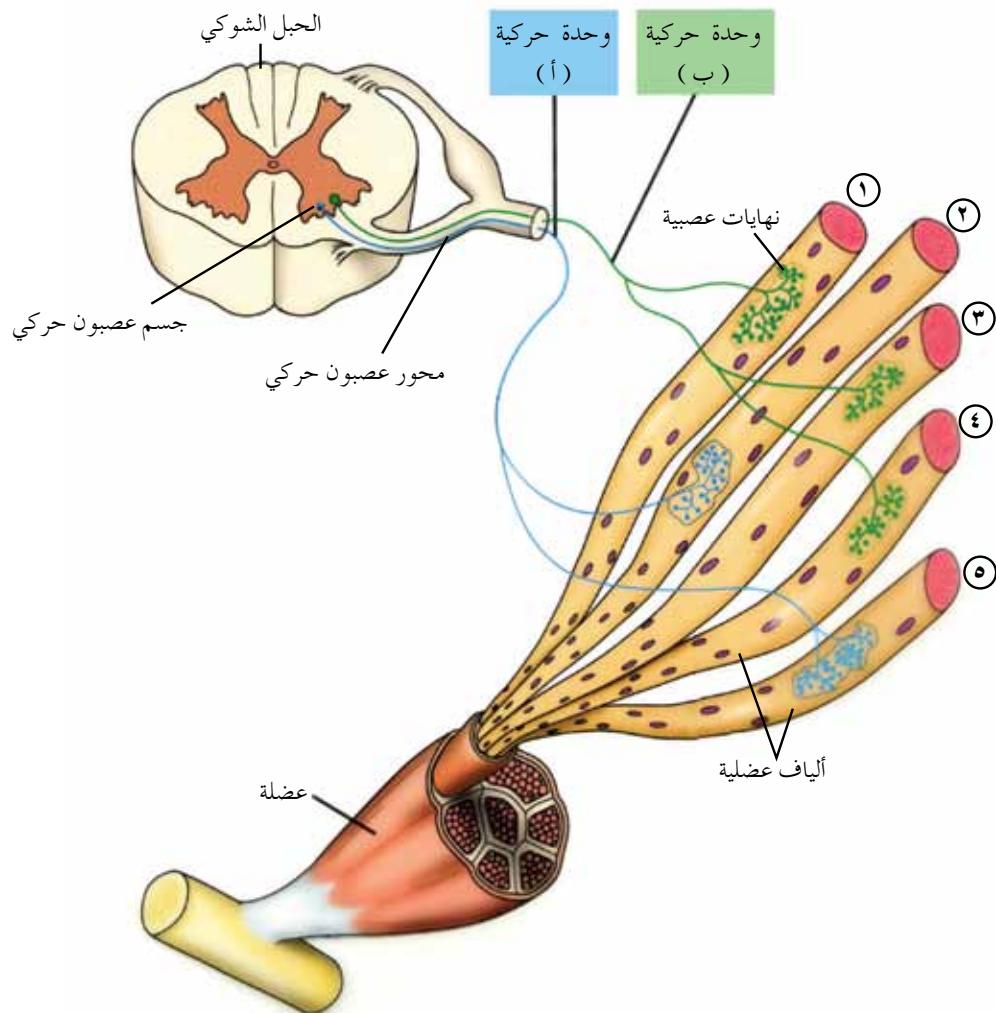
ولكن، ماذا يحدث عند توقف تنبية العضلة الهيكيلية من الجهاز العصبي؟ في هذه الحالة تعود أيونات الكالسيوم Ca^{2+} مرة أخرى إلى مخازنها في الشبكة الإندوبلازمية، بعملية **النقل النشط**، وتصبح الأماكن المخصصة لاتصال رؤوس الميوسين بالأكتين غير مُتكشفة؛ ما يحول دون تكون جسور عرضية، فيحدث انبساط للعضلة.

الوحدة الحركية ٣

يمكن تحديد مقدار قوة انقباض العضلة اللازم لإنجاز عمل ما؛ إذ يختلف مثلاً مقدار قوة الانقباض اللازم لرفع صفيحة مليئة بالزيت عنه لرفع صفيحة فارغة، فكيف يحدث ذلك؟

يتصل محور العصبون الحركي الواحد بعدد من الألياف العضلية، مُكوّناً ما يُسمى **الوحدة الحركية**، وتزداد قوة انقباض العضلة الهيكيلية بزيادة عدد الوحدات الحركية العاملة في وقت ما، وهذا يوجب توظيف عدد أكبر من الوحدات الحركية لزيادة قوة انقباض العضلة.

ادرس الشكل (١٩-٢)، ثم أجب عما يليه من أسئلة:



الشكل (١٩-٢): وحدتان حركيتان، ومُكوّناتهما.

◀ كم عدد الألياف العضلية في الوحدة الحركية (أ)؟

◀ ما أرقام الألياف العضلية في الوحدة الحركية (ب)؟

يعتمد عدد الألياف العضلية في الوحدة الحركية على دقة العمل المنجز من حركة العضلة؛ فكلما زادت دقة حركة العضلة (مثل حركة العضلات المحركة للعين) قلَّ عدد الألياف العضلية المتصلة بالعصبون الحركي.



في أي الوحدتين الحركيتين يكون عدد الألياف العضلية أكثر: الوحدة الحركية التي توظّف لحركة أصابع يد ساعاتي في أثناء تصليحه ساعة، أم الوحدة الحركية التي توظّف لحركة يده في أثناء نقل صندوق أدوات التصليح؟

خامسًا

الهرمونات مواد كيميائية تُفرِزها غدد أو خلايا متخصصة، تعمل على تنظيم أنشطة مختلفة في الجسم، ويشترك الجهاز العصبي مع الهرمونات في تنظيم هذه الأنشطة، وقد درست سابقاً كيف يتم التنظيم العصبي في جسمك.

يُؤثّر كل هرمون في خلايا محددة تُسمى **الخلايا الهدف** (target cells)؛ إذ يوجد على أغشية هذه الخلايا أو داخلها مستقبلات خاصة لارتباط بهرمون معين، ويوءدي ارتباط الهرمون بهذه المستقبلات إلى حدوث تغيرات داخلها.

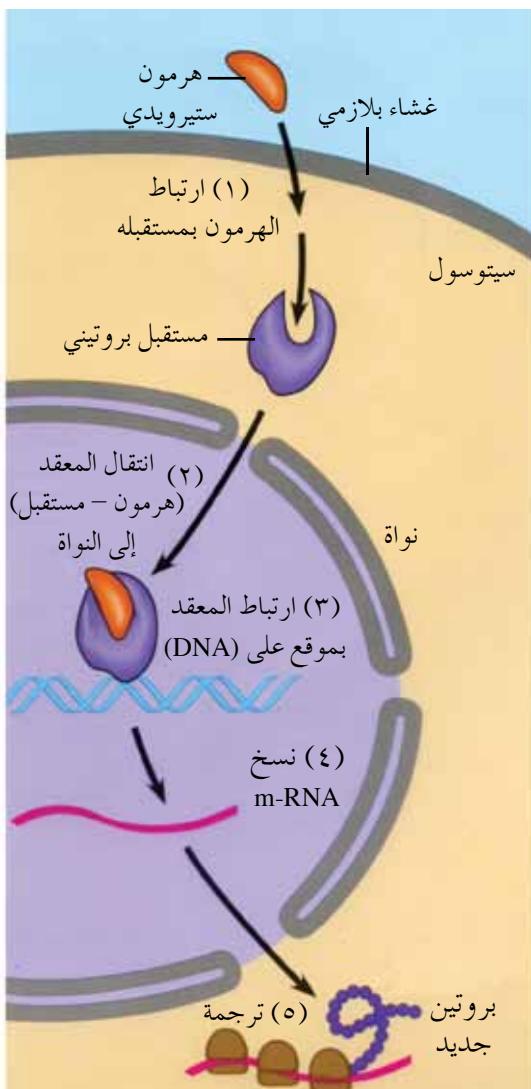
يختلف التنظيم الهرموني عن التنظيم العصبي؛ إذ يكون التنظيم الهرموني أبطأ من التنظيم العصبي، وذلك لأنّ انتقال الهرمونات بواسطة الدم إلى أجزاء الجسم، في حين يعتمد إفراز النواقل العصبية في التنظيم العصبي على انتقال السائل العصبي في محاور العصبونات، ويتم ذلك بسرعة كبيرة.

ويظهر الاختلاف أيضاً في مدة التأثير؛ إذ يستمر تأثير الجهاز العصبي مدةً أقصر من تأثير الهرمونات، وذلك بسبب حدوث عمليتين تُبْطّان استمرار تبنيه النواقل العصبية للعصبون، وقد درستهما سابقاً، في حين لا توجد مثل هذه العمليات في التنظيم الهرموني.

١ | تصنيف الهرمونات بحسب تركيبها الكيميائي

تصنّف الهرمونات تبعاً لتركيبها الكيميائي إلى: **هرمونات ستيرويدية**، و**هرمونات ببتيدية**، و**هرمونات مشتقة من الحمض الأميني**، و**هرمونات بروتينية سكرية**.

تشترك الهرمونات في آلية عمل عامة يُوضّحها الشكل (٢٠-٢).



الشكل (٢١-٢): آلية عمل الهرمونات الستيرويدية.

يرتبط الهرمون بمستقبل بروتيني خاص يوجد على غشاء الخلية أو داخلها؛ ما يُسبّب حدوث سلسلة من العمليات التي تختلف باختلاف تركيب الهرمون، والتي تؤدي إلى استجابة الخلية.

ستتعرّف في ما يأتي آلية عمل **الهرمونات الستيرويدية** التي يُمثلّها الشكل (٢١-٢).

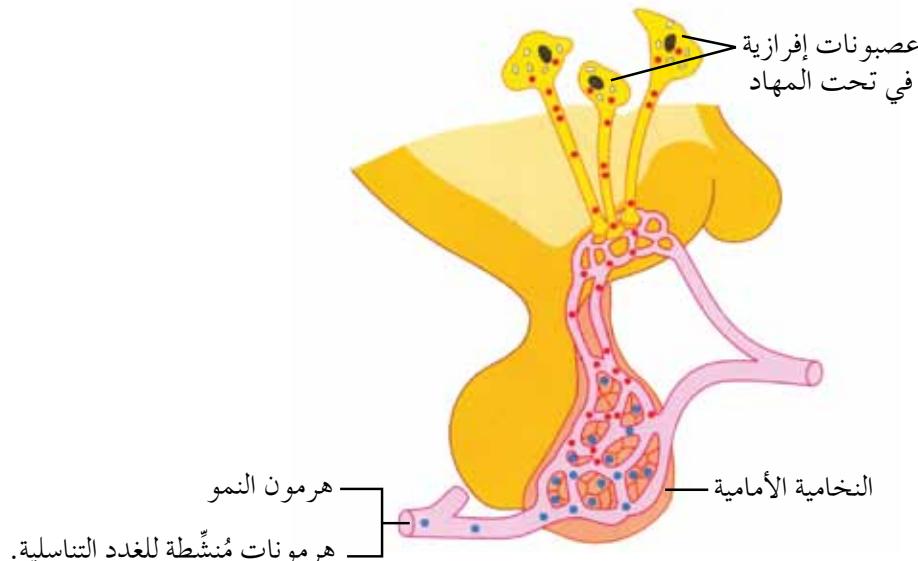
تدخل هذه الهرمونات الخلية بسهولة؛ لأنّها تستطيع عبور الغشاء البلازمي، ثم ترتبط بمستقبل بروتيني داخل السيتوسول، فيتكون معقد (هرمون - مستقبل)، ينتقل من ثقوب الغلاف النووي إلى داخل النواة، ويرتبط بأحد المواقع في جزيء (DNA)، مُنبئاً لتكوين (m-RNA) الذي يترجم لبناء بروتينات جديدة في سيتو بلازم الخلية الهدف، تؤثّر في أنشطتها، فتحصل الاستجابة. ومن الأمثلة على هذه الهرمونات **التستوستيرون**، **والألدوستيرون** اللذان ستدرسهما لاحقاً.

٣ علاقـة تحت المـهـاد بالـغـدـة الـخـامـيـة

تحكم **تحت المـهـاد** (منطقة صغيرة في الدماغ) إفراز الهرمونات، وتُنظم بصورة غير مباشرة الأنشطة والوظائف المختلفة التي ترتبط بالأعضاء الإلارادية والجهاز العصبي الذاتي، فضلاً عن تنظيم بعض العوامل في الجسم، مثل: درجة الحرارة، والشعور بالجوع.

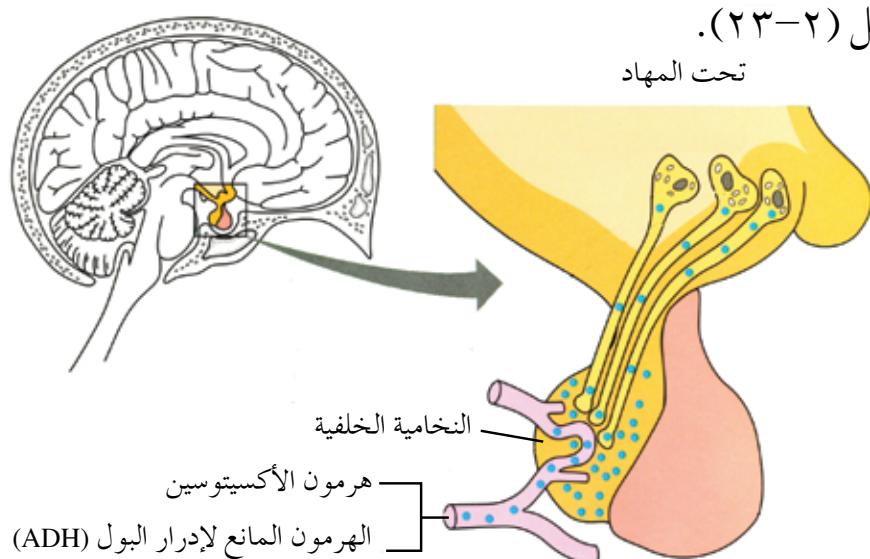
درست سابقاً **الغدة النخامية**؛ وهي غدة تقع مباشرةً أسفل تحت المهاد، وتتكون من جزأين، هما:

- النخامية الأمامية: يُنظّم إفراز هرموناتها هرمونات العصبوнаس الإفرازية الموجودة في تحت المهاد. تُفرز النخامية الأمامية هرمونات عدّة، مثل: **هرمون النمو**، وال**الهرمونات المنشطة للغدد التناسلية**، لاحظ الشكل (٢٢-٢).



الشكل (٢٢-٢): علاقة تحت المهاد بالغدة النخامية الأمامية.

- النخامية الخلفية: هي امتداد لعصبونات تحت المهاد، وتحزن في نهايات العصبونات **هرموني الأكسيتوسين**، والمانع لإدرار البول (ADH) الذين ستدرسهما لاحقاً، لاحظ الشكل (٢٣-٢).



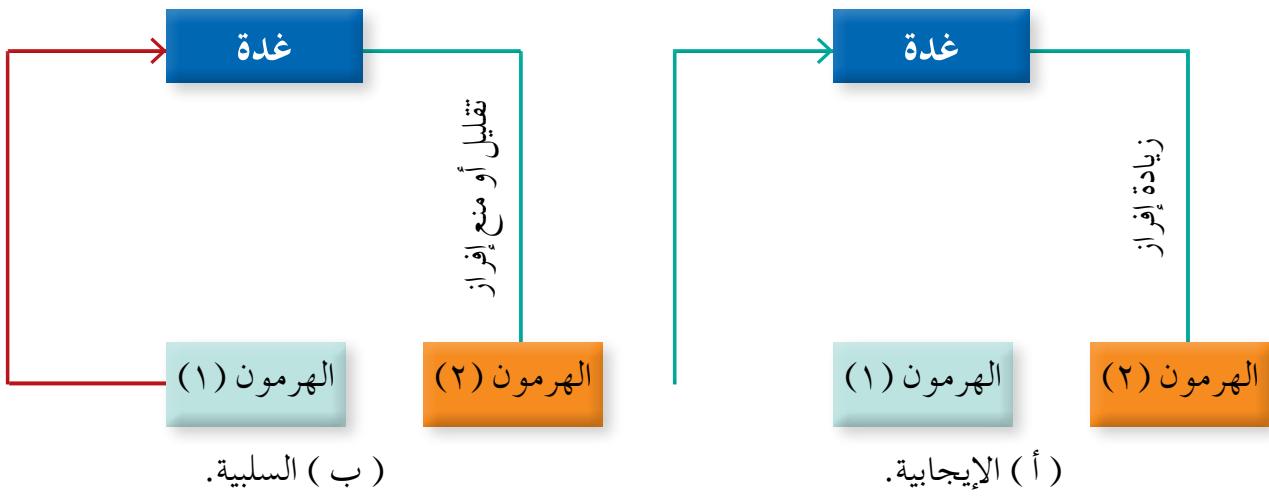
الشكل (٢٣-٢): علاقة تحت المهاد بالغدة النخامية الخلفية.

تكمّن أهميّة **التغذية الراجعة** في المحافظة على الاتزان الداخلي للجسم، مثل: درجة الحرارة، ودرجة الحموضة، وتركيز الهرمونات ضمن معدلاتها الطبيعية.

تصنّف التغذية الراجعة إلى نوعين:

أ - التغذية الراجعة الإيجابية (positive feedback): إذ تؤدي الزيادة في مستوى أحد الهرمونات إلى زيادة إفراز هرمون آخر، لاحظ الشكل (٢٤-٢/أ).

ب - التغذية الراجعة السلبية (negative feedback): إذ تؤدي الزيادة في مستوى أحد الهرمونات إلى تقليل إفراز هرمون آخر، أو منع إفرازه، لاحظ الشكل (٢٤-٢/ب).



الشكل (٢٤-٢): التغذية الراجعة.

مؤسساتنا فخرنا

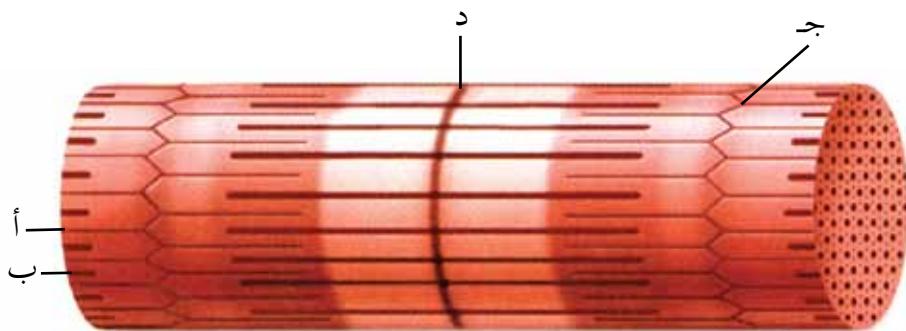
للاستزادة عن موضوع الفصل زر الموقع الإلكتروني لمستشفى الجامعة الأردنية: hospital.ju.edu.jo؛ للتعرّف الخدمات التي يُقدّمها في مجال زراعة القوقة، وتصحيح البصر، وللتعرّف أهميّة التبرّع بالقرنية.

١ - افترض أن سرعة انتقال السيال العصبي في العصبون (س) تترواح بين (٧٠ - ١٢٠) م/ث، وأن سرعة انتقاله في العصبون (ص) تترواح بين (٣ - ١٥) م/ث. أي العصبونين أكبر قطرًا، علماً بأن كليهما غير محاط بغمد مليني، ويتشابهان في جميع الصفات الأخرى؟

٢ - فسر ما يأتي:

- أ - إفراز محلول مائي من غدد في المنطقة الطلائية الأنفية.
- ب - تسمية نقطة خروج العصب البصري من العين إلى مراكز الإبصار في الدماغ باسم البقعة العمياء.

٣ - ما أسماء الأجزاء التي يُمثلها كل من: (أ، ب، ج، د) في الشكل (٢٥-٢)؟



الشكل (٢٥-٢): تركيب الليف العضلي.

٤ - يعمل المبيد الحشري (Acetylcholinesterase) على تثبيط عمل إنزيم (Organophosphate) المسؤول عن تحطيم الناقل العصبي الكيميائي أسيتيل كولين المحفز إلى انقباض العضلات الهيكيلية. وضح كيف سيؤثر التعرض لهذا المبيد في انقباض العضلات الهيكيلية.

٥ - قارن بين التنظيم الهرموني والتنظيم العصبي من حيث:

- أ - سرعة استجابة الأعضاء لكل منها.
- ب - مدة تأثير كل منها (أطول، أقصر).

٦- اكتب اسم المصطلح العلمي الدال على كلٌ من العبارات الواردة في الجدول الآتي:

المصطلح	العبارة	الرمز
	تركيب عظمي حلزوني في الأذن الداخلية يحتوي على قنوات.	أ
	عضو في القناة القوقةية يحتوي على مستقبلات الصوت.	ب
	قناة تصل الأذن الوسطى بالجزء العلوي من البلعوم.	ج
	بقعة تتركز فيها المخاريط على الشبكية.	د
	جزء من الجهاز العصبي الطرفي، يُنظم عمل أجهزة الجسم اللاإرادية للمحافظة على الاتزان الداخلي للجسم.	هـ

٧- صِف ما يحدث لكل عضو من أعضائِك الآتية إذا طُلب إليك الوقوف، وإلقاء محاضرة لم تُعد لها:

- أ - القلب.
- ب - الغدد العرقية.
- د - الغدد اللعابية.
- ج - الأمعاء.
- هـ - البوباء.

نقل الغازات، وآلية عمل الكلية، والاستجابة المناعية

تحتاج خلايا الجسم جميعها إلى الأكسجين والغذاء اللازمين لإتمام عملياتها الحيوية، وإلى التخلص من نواتج هذه العمليات بطرحها خارج الجسم.

يعمل جهاز الدوران على نقل المواد من الخلايا وإليها، فكيف ينقل غازي الأكسجين وثاني أكسيد الكربون؟ وما مكوناته التي تساهم بفاعلية في الدفاع عن الجسم وحمايته من مسببات الأمراض المختلفة؟ وكيف يتخلص الجسم من فضلاته النيتروجينية؟ وما دور الكلية في ضبط الاتزان الداخلي في الجسم؟ ستتمكن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك لهذا الفصل.

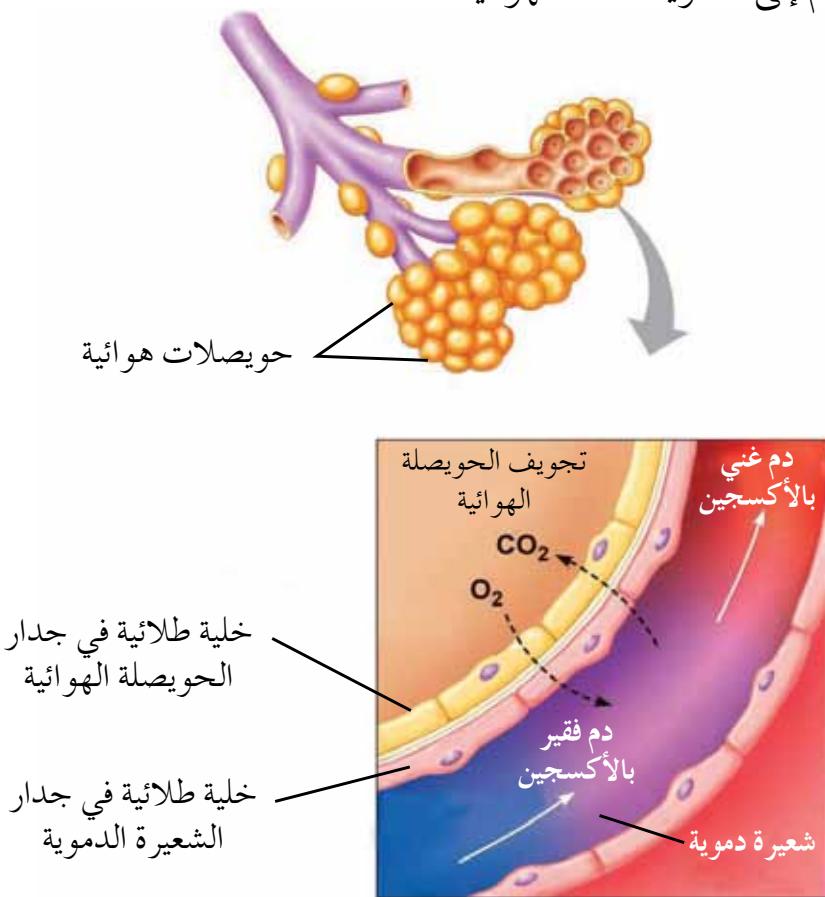
يتوقع منك أن تكون قادرًا على أن:

- تُوضّح كيفية انتقال غازي الأكسجين وثاني أكسيد الكربون في الدم.
- تُبيّن مراحل تكوّن البول.
- تُوضّح كيفية ضبط حجم الدم وضغطه الأسموزي.
- تميّز أنواع الاستجابة المناعية في جسم الإنسان.

درست سابقاً تركيب الجهاز التنفسي وجهاز الدوران، وتعلمت عمليات تبادل كلٌّ من غاز الأكسجين وثاني أكسيد الكربون بين الحويصلات الهوائية والدم في الرئتين من جهة، وبين خلايا الجسم والشعيرات الدموية من جهة أخرى، فكيف تنتقل الغازات في الدم؟

١ نقل الأكسجين

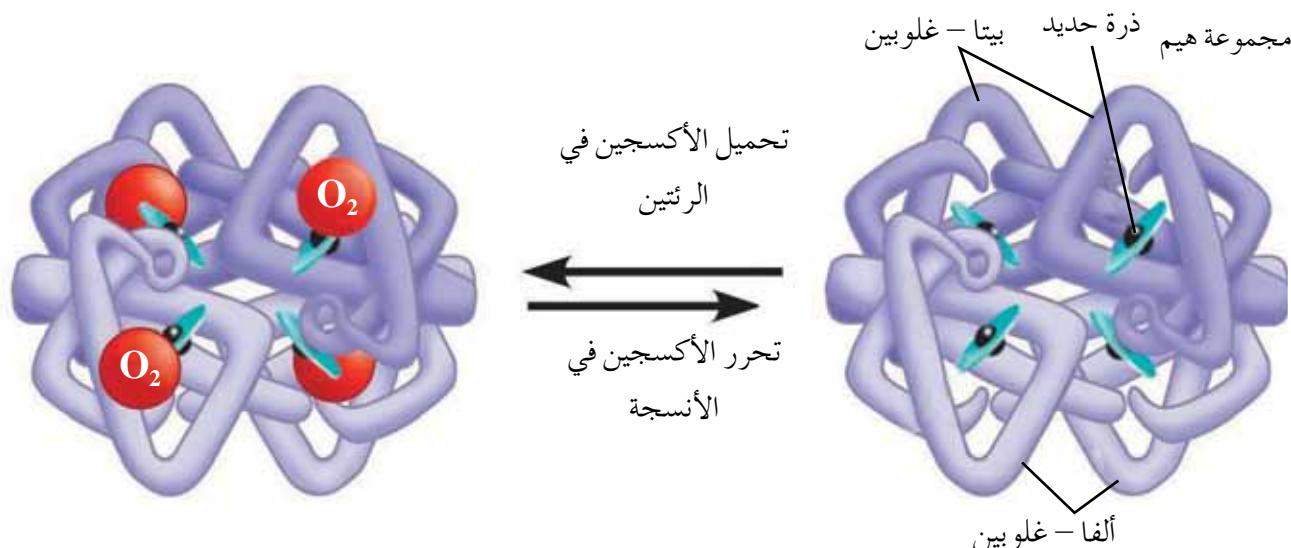
ينقل الشريان الرئوي الدم فقير الأكسجين إلى الرئتين، ويوصله إلى الشعيرات الدموية المحيطة بالحويصلات الهوائية. ولأن الشعيرات الدموية رقيقة الجدران؛ فإنها تسمح بتبادل الغازات بسهولة، ويزيد من كفاءة عملية تبادل الغازات مساحة السطح الواسعة للحويصلات الهوائية، وجدرها الرقيقة التي تسمح بتبادل الغازات خلالها، ووجود كميات كبيرة من الدم في الأوعية الدموية المحيطة بها، لاحظ الشكل (٢٦-٢). وبينما يتنتقل غاز الأكسجين من الحويصلات الهوائية إلى الدم، فإن غاز ثاني أكسيد الكربون يتنتقل من الدم إلى الحويصلات الهوائية.



الشكل (٢٦-٢): تبادل الغازات في الرئتين.

عند انتقال غاز الأكسجين من الحويصلات الهوائية إلى الدم فإنه يمر خلال جدران الحويصلة الرقيقة، فجدران الشعيرات الدموية، وصولاً إلى بلازما الدم. ونظراً إلى ذاتية غاز الأكسجين القليلة في الماء؛ فإن ما نسبته ٢٪ فقط من الأكسجين يذوب في بلازما الدم، أمّا النسبة الكبرى منه (٩٨٪ تقريباً) فتنتقل بوساطة خلايا الدم الحمراء؛ حيث يرتبط الأكسجين بمركب **الهيموغلوبين** الموجود في هذه الخلايا. ولكن، ما الذي يحدد ارتباط الأكسجين بالهيموغلوبين أو تحرره منه؟ إن العامل المهم في هذه العملية هو **الضغط الجزئي** لغاز الأكسجين الذي يبيّن مدى تركيزه، علماً بأن **الضغط الجزيئي لأي غاز** يتناصف طردياً مع تركيزه، وكل غاز في خليط الغازات يساهم في جزء من الضغط الكلي الذي يُعرف بالضغط الجزيئي للغاز. وتنتقل المواد من المناطق التي يكون فيها تركيز المادة أو ضغطها الجزيئي عالياً إلى المناطق التي يكون فيها تركيز المادة أو ضغطها الجزيئي قليلاً.

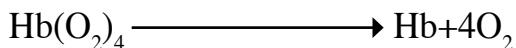
لتتعرّف تركيب الهيموغلوبين، ادرس الشكل (٢٧-٢)، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



الشكل (٢٧-٢): تركيب جزيء الهيموغلوبين.

- ◀ ما عدد سلاسل عديد الببتيد التي يتكون منها جزيء الهيموغلوبين؟
- ◀ ما أنواع سلاسل عديد الببتيد في جزيء هيموغلوبين؟
- ◀ سَمْ ذرة العنصر الذي تحتويه مجموعة هيم (Heme).

يتَرَكَّب جزيء الهيموغلوبين من أربع سلاسل من عديد الببتيد: سلسلتين من نوع **الالفاغلوبين**، وسلسلتين من نوع **بيتا غلوبين**، وترتبط بكل سلسلة مجموعة عضوية تُسمى **هيم**، وتحتوي كل منها على ذرة حديد. ويمكن لـ**ذرة حديد** أن ترتبط ارتباطاً ضعيفاً بجزيء واحد من الأكسجين؛ لذا فإن كل جزيء من الهيموغلوبين قادر على الارتباط بأربعة جزيئات من الأكسجين عند الإشباع، مكوّناً مركباً يُدعى **الأكسيهيموغلوبين** (oxyhemoglobin). وما إن يصل الدم إلى الشعيرات الدموية في أنسجة الجسم المختلفة، حيث الضغط الجزئي للأكسجين قليل، حتى يتفكك جزيء الأكسيهيموغلوبين، فيتحرر الأكسجين لستفید منه الخلايا تبعاً للمعادلة الآتية:



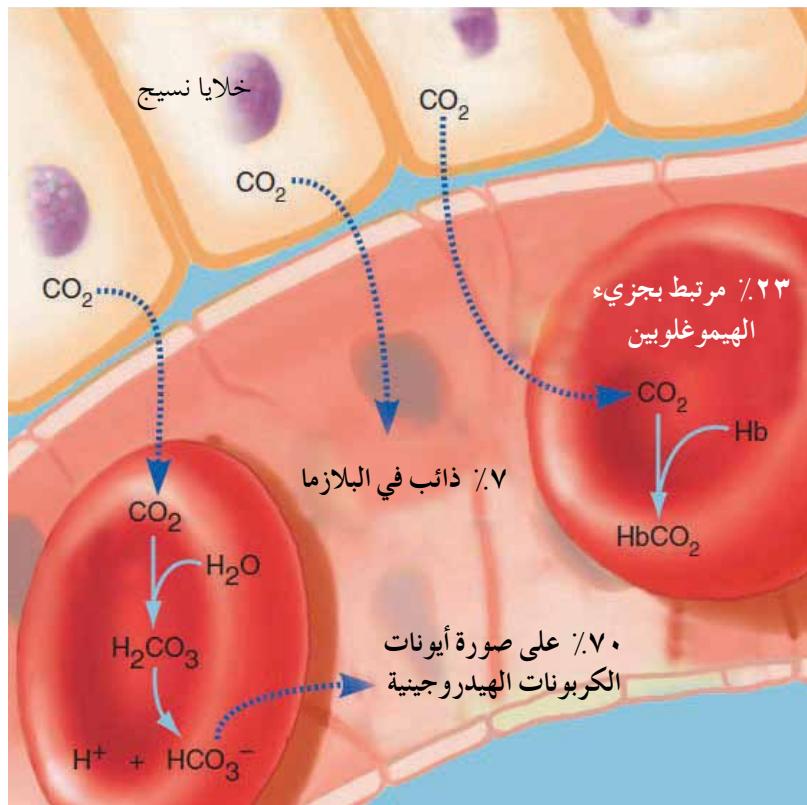
يُبيّن الشكل (٢٨-٢) العوامل التي تساعد على تحرر الأكسجين من جزيء الأكسيهيموغلوبين.

العوامل التي تساعد على تحرر الأكسجين من جزيء الأكسيهيموغلوبين		
درجة الحرارة	درجة الحموضة pH	الضغط الجزئي للأكسجين Po_2
يزداد تحرر الأكسجين عند ارتفاع درجة حرارة الجسم إلى حد معين، مثل: ارتفاع درجة الحرارة في أثناء ممارسة التمارين الرياضية، وفي بعض الحالات المرضية مثل الالتهاب.	يزداد تحرر الأكسجين عندما تقل درجة الحموضة pH، ويزيد تركيز CO_2 ، في ما يُعرف بتأثير بور (Bohr effect).	يتحرر الأكسجين من الدم، وينتقل إلى أنسجة الجسم عندما يكون ضغطه الجزئي في أنسجة الجسم قليلاً.

الشكل (٢٨-٢): العوامل التي تساعد على تحرر الأكسجين.

بعد وصول الأكسجين إلى خلايا الجسم المختلفة، فإنه يستهلك بعملية **التفس الخلوى** التي ينتج منها ثاني أكسيد الكربون. ونظراً إلى سميةه للخلايا؛ فلا بد من التخلص منه، فكيف يكون ذلك؟

ينتقل ثاني أكسيد الكربون في أشكال عدّة من خلايا الجسم المختلفة، التي يكون فيها الضغط الجزيئي لثاني أكسيد الكربون (Pco_2) عالياً، إلى الشعيرات الدموية المحيطة بها، حيث يكون ضغطه الجزيئي فيها قليلاً، لاحظ الشكل (٢٩-٢) الذي يُبيّن أشكال نقل CO_2 .



الشكل (٢٩-٢): أشكال نقل ثاني أكسيد الكربون في الدم.

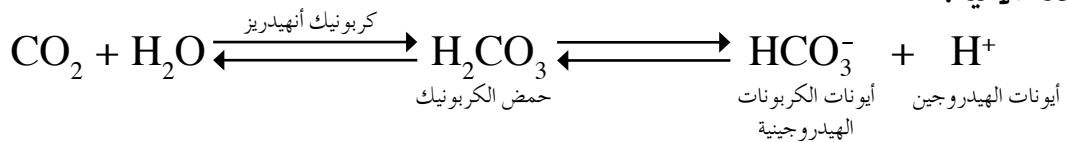
أشكال نقل CO_2 في الدم هي:

أ - غاز CO_2 ذائباً في بلازما الدم: إن نسبة CO_2 التي يستطيع الدم نقلها ذائبة في البلازما قليلة، وهي ٧٪ من CO_2 المنقول.

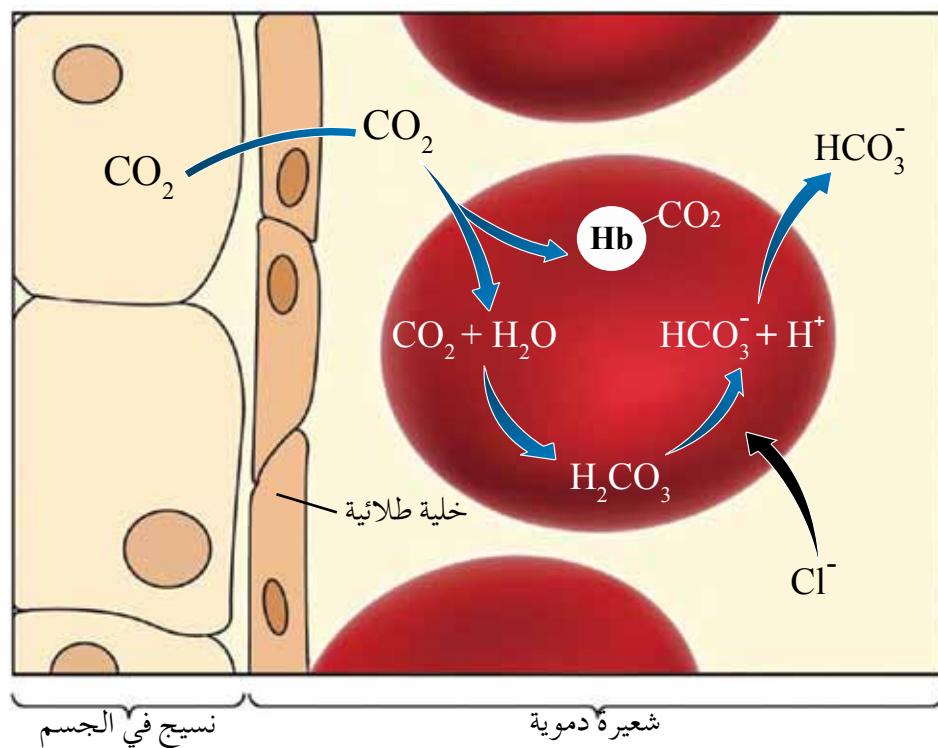
ب - كاربامينوهيموغلوبين (carbaminohemoglobin): هو المركب الذي يتكون من اتحاد CO_2 بالهيموغلوبين. وتبلغ نسبة CO_2 المنقول بهذا الشكل نحو ٢٣٪ من ثاني أكسيد الكربون الكلي المنقول، لكن هذا المركب يتفكك على نحو سريع عند وصوله إلى الشعيرات الدموية المحيطة بالهوبيصلات الهوائية في الرئتين.

ج - أيونات الكربونات الهيدروجينية HCO_3^- : إذ يتحد الجزء الأكبر من ثاني أكسيد الكربون (يُمثل ما نسبته ٧٠٪ من CO_2) الكلوي المنقول) مع الماء الموجود داخل خلايا الدم الحمراء بمساعدة إنزيم كربونيكي أنهيدريز، مكوّناً حمض الكربونيك H_2CO_3 وفق

المعادلة الآتية:



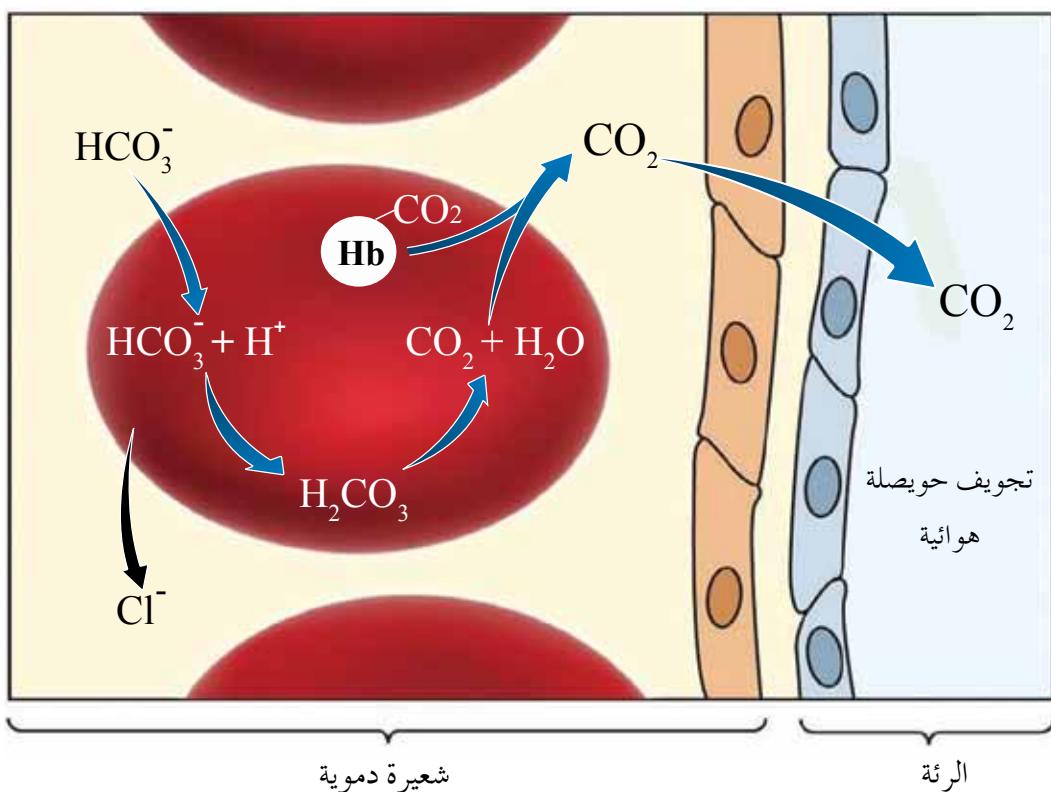
يتبيّن من المعادلة السابقة أن حمض الكربونيك سرعان ما يتفكّك داخل خلايا الدم الحمراء إلى أيونات الكربونات الهيدروجينية سالبة الشحنة، وأيونات الهيدروجين (H^+)، ثم تغادر أيونات الكربونات الهيدروجينية خلايا الدم الحمراء إلى بلازما الدم بوساطة الانتشار، لاحظ الشكل (٣٠-٢). ويؤدي خروج أيونات الكربونات الهيدروجينية السالبة من خلايا الدم الحمراء إلى بلازما الدم إلى حدوث خلل في التوازن الكهربائي على جانبي كل غشاء بلازمي لكل خلية دم حمراء. ولإعادة التوازن، ينتقل أيون الكلور السالب (Cl^-) الموجود بكثرة في بلازما الدم إلى داخل خلايا الدم الحمراء، وتُسمى هذه العملية **إزاحة أيونات الكلور (chloride shift)**، لاحظ الشكل (٣٠-٢) الذي يبيّن انتقال ثاني أكسيد الكربون من أنسجة الجسم إلى الدم.



الشكل (٣٠-٢): انتقال ثاني أكسيد الكربون من أنسجة الجسم إلى الدم.

عند وصول الدم إلى الشعيرات الدموية المحيطة بالحوبيصلات الهوائية تنتشر أيونات الكربونات الهيدروجينية (HCO_3^-) في خلايا الدم الحمراء، وترتبط بأيونات الهيدروجين H^+ مُكوّنةً حمض الكربونيك الذي سرعان ما يتفكك إلى ماء وثاني أكسيد الكربون (CO_2) الذي ينتقل من خلايا الدم الحمراء إلى بلازما الدم، ومنها إلى الحويصلات الهوائية ليغادر الجسم مع هواء الزفير، لاحظ الشكل (٣١-٢).

ويتحلل **كاربامينوهيموغلوبين** إلى هيموغلوبين وثاني أكسيد الكربون الذي ينتقل إلى الحويصلات الهوائية.



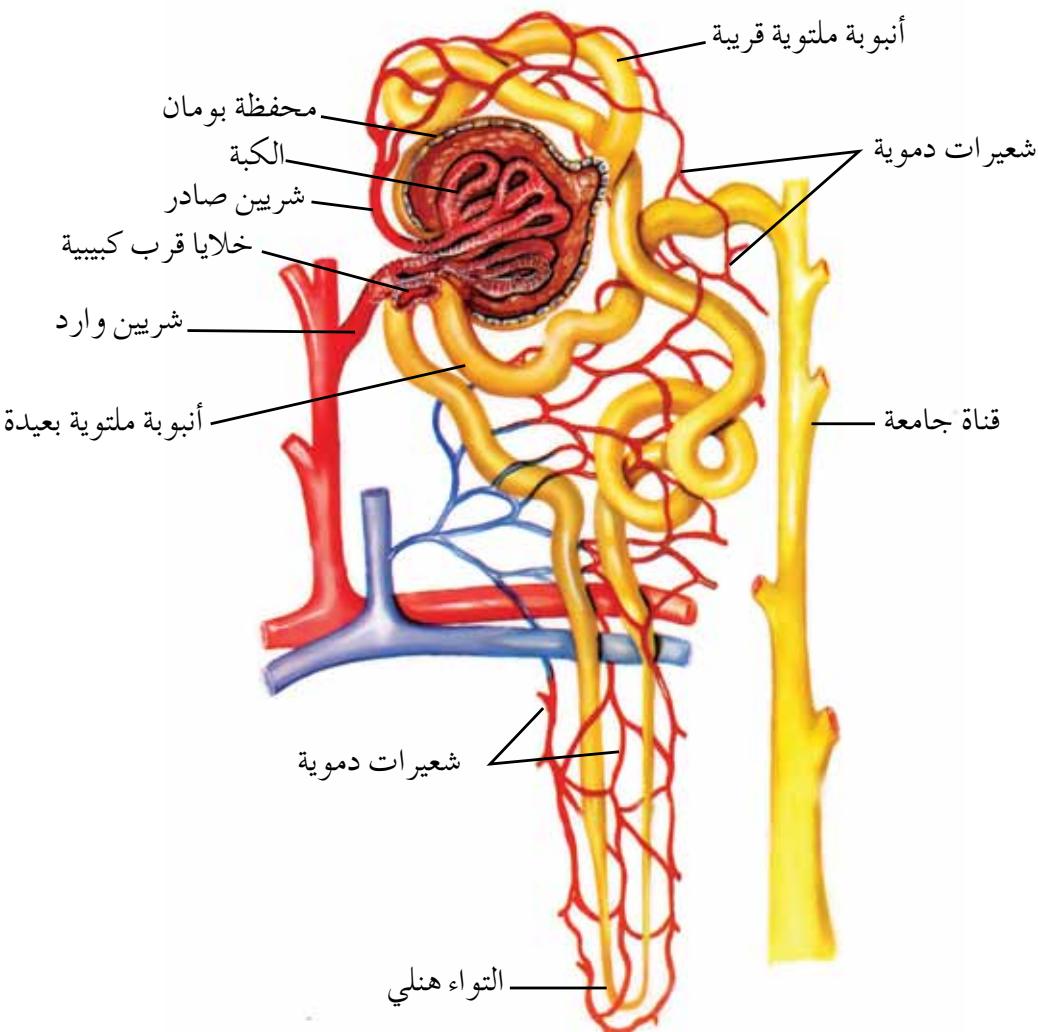
الشكل (٣١-٢): انتقال ثاني أكسيد الكربون من الدم إلى الرئتين.

سؤال

حدّد اتجاه انتقال كلّ من: أيونات الكلور، وأيونات الكربونات الهيدروجينية عند انتقال ثاني أكسيد الكربون من الدم إلى الرئتين.

دور الكلية في تكوين البول

تعرّفت سابقاً أن الكلية عضو يساهم بصورة رئيسة في عمل الجهاز البولي المسؤول عن طرح الفضلات النيتروجينية الناتجة والمواد غير العضوية الزائدة على حاجة الجسم، بصورة سائل يُسمّى **البول**، وتعرّفت أيضاً أن للكلية دوراً في المحافظة على الاتزان الداخلي للجسم. تُعد **الوحدة الأنبوية الكلوية** الوحدة الأساسية المكوّنة للكلية؛ إذ يوجد في الكلية الواحدة نحو (١,٣) مليون وحدة أنبوية كلوية (nephron). لتعتّرف بتركيبها، ادرس الشكل (٣٢-٢)، ثم أجب عن السؤال الذي يليه:



الشكل (٣٢-٢): تركيب الوحدة الأنبوية الكلوية.

◀ ما أجزاء الوحدة الأنبوية الكلوية؟

يُرشّح الدم في الكلية مرات كثيرة في اليوم، وينتج من ذلك نحو (١,٥) لتر يومياً من البول، فما عمليات تكوين البول؟

يتكون البول بثلاث عمليات هي: الارتشاح، وإعادة الامتصاص، والإفراز الأنبوبي.

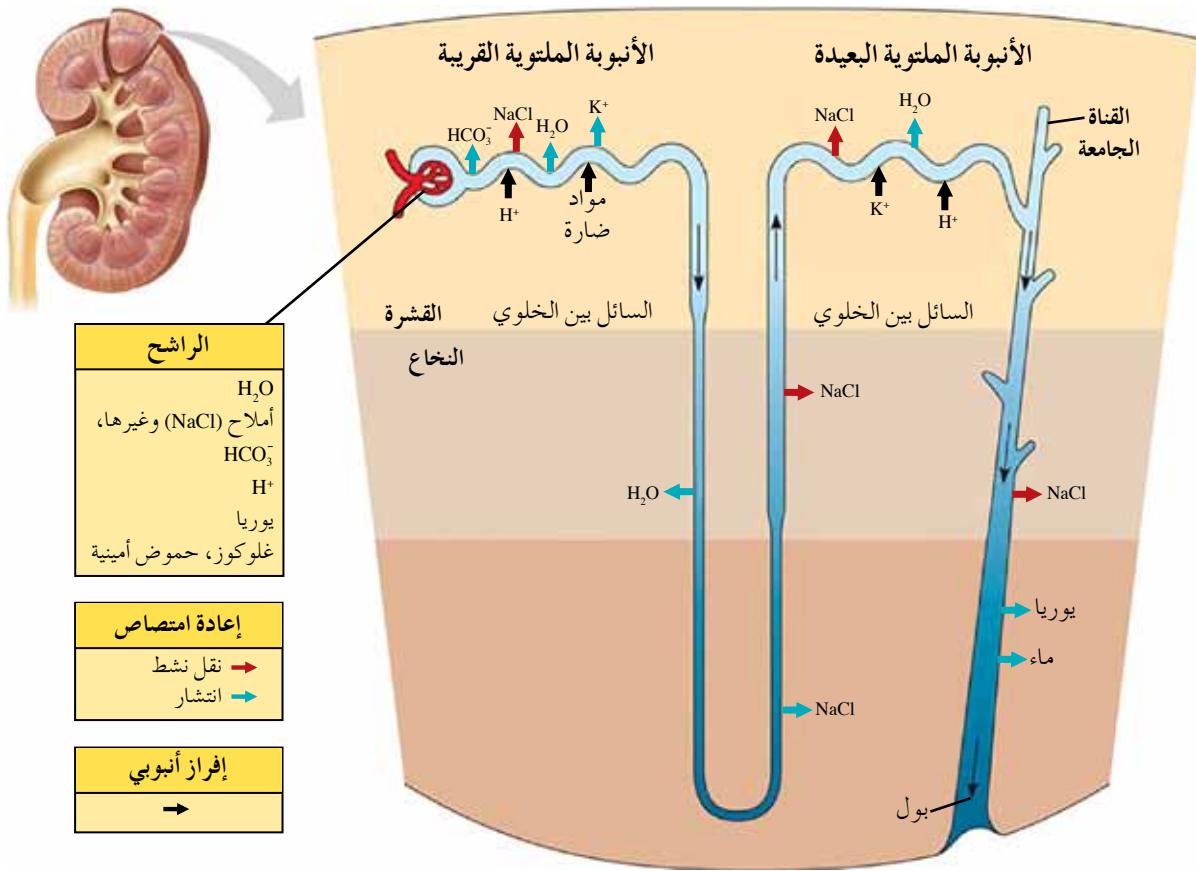
أ - الارتشاح (Filtration): يحدث الارتشاح في **الكبة**; وهي شبكة من الشعيرات الدموية عالية التفاذية في **الحويصلة الكلوية** التي تتتألف من .

وبينما ترشع المواد صغيرة الحجم (مثل: أيونات الصوديوم، وأيونات الكلور، وأيونات البوتاسيوم، وجزيئات الغلوکوز، والحموض الأمينية، والفضلات النيتروجينية الذائبة في البلازما) من الدم الذي يأتي عبر **الشريين الوارد**، والذي يتوجه نحو تجويف محفظة بومان، فإن خلايا الدم الحمراء والمواد ذات الحجم الجزيئي الكبير (مثل بروتينات البلازما) لا ترشع، ثم يتقلل ما تبقى من الدم في **الشريين الصادر** إلى الشعيرات الدموية المحيطة بالأنباب الملتوية.

يضبط **الجهاز العصبي الذاتي** معدل الارتشاح؛ إذ تحكم الأعصاب الودية في العضلات الملساء المكونة للشريين الوارد، وتساهم الهرمونات في هذه العملية، وهو ما سترقه مفضلًا في ما بعد.

ب - إعادة الامتصاص (Reabsorption): يحتوي الراشح على الكثير من المواد التي لا يمكن للجسم الاستغناء عنها، مثل: الغلوکوز، والحموض الأمينية، وأيونات الصوديوم، وأيونات البوتاسيوم؛ لذا يعاد امتصاص معظم هذه المواد.

تحدث عملية إعادة الامتصاص في أجزاء الوحدة الأنبوية الكلوية جمیعها ما عدا الكبة، حيث يعاد امتصاص ما نسبته ٩٩٪ من حجم الراشح الموجود في تجويف **الأنبوبة الملتوية القرية**، و**التواء هنلي**، والأنبوبة الملتوية البعيدة، و**القناة الجامدة**، وما يحتويه من ماء ومواد مفيدة يحتاج إليها الجسم. ويمكن إعادة امتصاص المواد إما بالنقل النشط، وإما بالانتشار إلى **السائل بين الخلوي**، ثم إلى الشعيرات الدموية المحيطة بأجزاء الوحدة الأنبوية الكلوية، لاحظ الشكل (٢-٣).



الشكل (٢-٣٣): إعادة امتصاص بعض المواد في الوحدة الأنبوية الكلوية.

ج - الإفراز الأنبوبي (Tubular Secretion): تنتقل المواد السامة والضارة ونواتج أيض بعض العقاقير تجنبًا لخطرها من الشعيرات الدموية المحيطة بالوحدة الأنبوية الكلوية إلى تجاويف كلٌّ من: الأنبوة الملتوية القريبة، والأنبوة الملتوية البعيدة، وقناة الجامعة.

يساهم الإفراز الأنبوبي في تنظيم درجة الحموضة في الجسم؛ وذلك بالخلص من أيونات الهيدروجين (H^+) الزائدة وطرحها خارج الجسم، وامتصاص أيونات الكربونات الهيدروجينية (HCO_3^-)، في ما يُعرف بالتوازن الحمضي القاعدي (acid-base balance). ويكون الإفراز الأنبوبي إما بالنقل النشط، وإما بالانتشار.

لا يقتصر دور الكلية على تكوين البول فقط، وإنما تساهم في أداء وظائف عدّة داخل الجسم، مثل: المحافظة على اتزان الماء والأملاح في الجسم، وضبط درجة حموضة الدم، وضبط ضغط الدم وحجمه. وتسهم الهرمونات في المحافظة على الاتزان الداخلي، وضبط عمل الكلية، فكيف تقوم بذلك؟

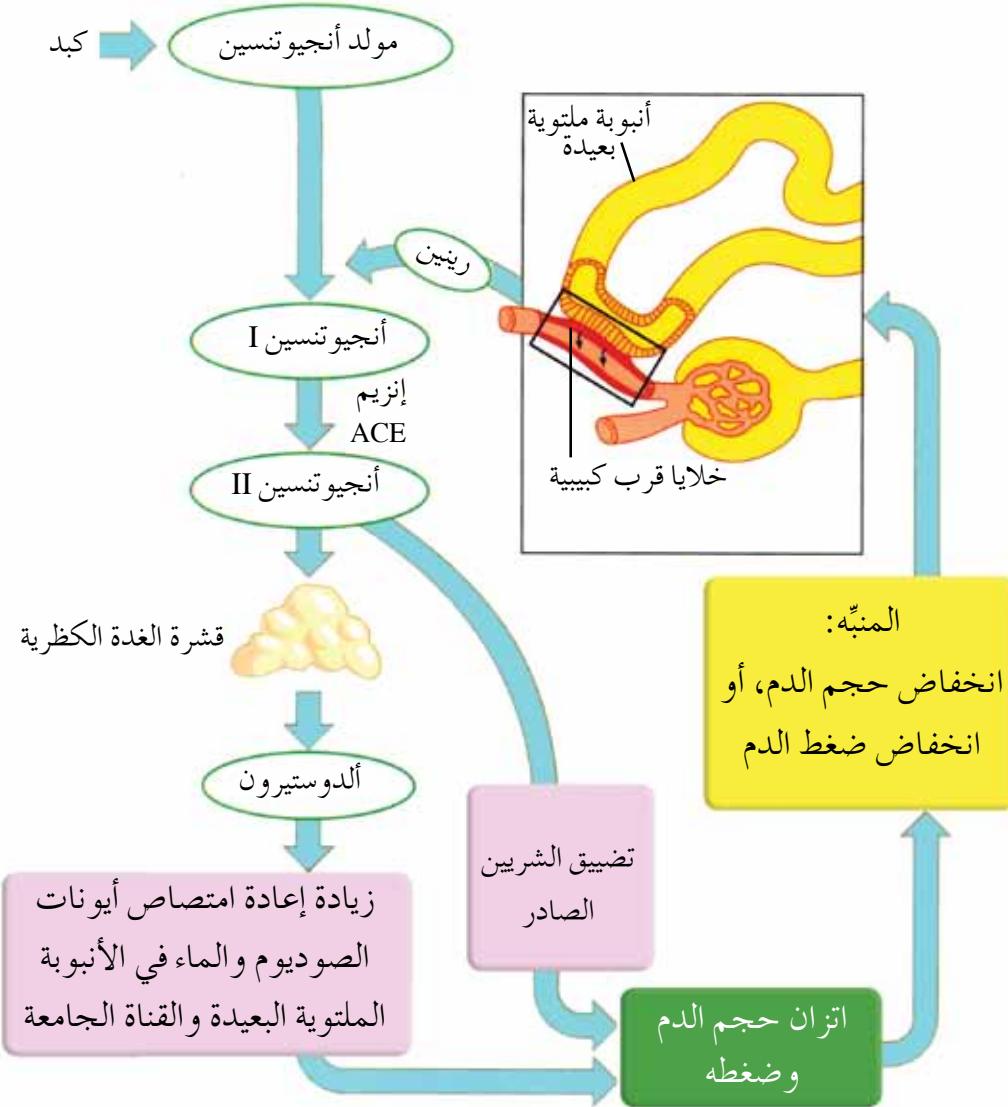
أ - الهرمون المانع لإدرار البول: تساهم الكلية وتحت المهداد والغدة النخامية الخلفية في المحافظة على اتزان الماء في الجسم عن طريق **الهرمون المانع لإدرار البول (ADH)**، فكيف يعمل هذا الهرمون؟

تؤدي زيادة تركيز المواد الذائبة في الدم إلى زيادة ضغطه الأسموزي، فتعمل المراكز الحسية للمستقبلات الأسموزية في تحت المهداد على تحفيز الغدة النخامية الخلفية المخزنة للهرمون المانع لإدرار البول (ADH) إلى إفرازه، فيزيد هذا الهرمون من نفاذية القناة الجامعة والجزء الأخير من الأنوبية الملتوية البعيدة للماء؛ ما يؤدي إلى زيادة إعادة امتصاصه نحو السائل بين الخلوي، ثم إلى الشعيرات الدموية. تعمل زيادة تركيز المواد الذائبة في الدم أيضًا على تحفيز مراكز العطش، فيتناول الإنسان كميات أكبر من الماء، معيناً بذلك تركيز المواد الذائبة إلى الوضع الطبيعي.

سؤال

- ١ - ما تأثير الهرمون المانع لإدرار البول (ADH) في حجم البول في الحالتين الآتيتين:
 - زيادة إفرازه؟
 - نقص إفرازه؟
- ٢ - فسر ما يأتي:
 - تُعد عملية الإفراز الأنبوبي من العمليات المهمة التي تقوم بها الوحدة الأنبوية الكلوية.
 - يحدث الارتشاح في الكبة.
- ٣ - ارسم مخططاً سهلاً يوضح آلية تنظيم الهرمون المانع لإدرار البول (ADH) الضغط الأسموزي للدم.

ب - رينين-أنجيوتنسين-ألدوجستيرون (Renin-Angiotensin-Aldosterone): تساهم هذه المواد في تنظيم عمل الكلية. لتتعرف ذلك، ادرس الشكل (٣٤-٢)، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



الشكل (٣٤-٢): آلية عمل رينين—أنجيوتنسين—ألدوستيرون.

◀ أين تحدث عملية تحويل أنجيوتنسين I إلى أنجيوتنسين II؟

◀ ما تأثير أنجيوتنسين II في قشرة الغدة الكظرية؟

◀ ما تأثير ألدوستيرون في أجزاء الوحدة الأنبوية الكلوية؟

عندما تقل كمية الدم الواردة إلى الكبة نتيجة انخفاض ضغط الدم يقل تركيز أيونات الصوديوم، وينخفض ضغط الدم في الشريان الوارد إلى الكلية، فُفرز **الخلايا قرب الكبيبة** الموجودة في جدران هذا الشريان إنزيم رينين الذي يحوّل بروتين مولد أنجيوتنسين المصنّع في الكبد، والذي ينتقل في بلازما الدم، إلى أنجيوتنسين I، ليتحوّل بفعل إنزيم محول أنجيوتنسين (ACE) الذي تُفرزه الخلايا الطلائية المبطنة للحويصلات الهوائية في الرئتين إلى أنجيوتنسين II.

يُضيق أنجيوتنسين II الشريين الصادر، فيرفع ضغط الدم في الكمة، ويُحفّز قشرة الغدة الكظرية إلى إفراز هرمون الدوستيرون الذي يُسبّب زيادة إعادة امتصاص أيونات الصوديوم، فيرتفع مستوىها في الدم، مُسبّبة انتقال الماء بالخاصية الأسموزية من الأنبوة الملتوية البعيدة والقناة الجامعة إلى السائل بين الخلوي، ومنه إلى الدم، فيزداد حجم الدم وضغطه.

جـ - العامل الأذيني المُدر للصوديوم (ANF): عند زيادة ضغط الدم وحجمه تُفرز خلايا متخصصة من الأذينين **العامل الأذيني المُدر للصوديوم** (Atrial natriuretic factor)، الذي يُثبط إفراز إنزيم رينين، فألدوستيرون، وهو ما يُثبط إعادة امتصاص أيونات الصوديوم والماء، فيقل حجم الدم وضغطه.

سؤال

ما تأثير زيادة إفراز الجسم للعامل الأذيني المُدر للصوديوم في حجم البول؟

ثالثاً

الاستجابة المناعية

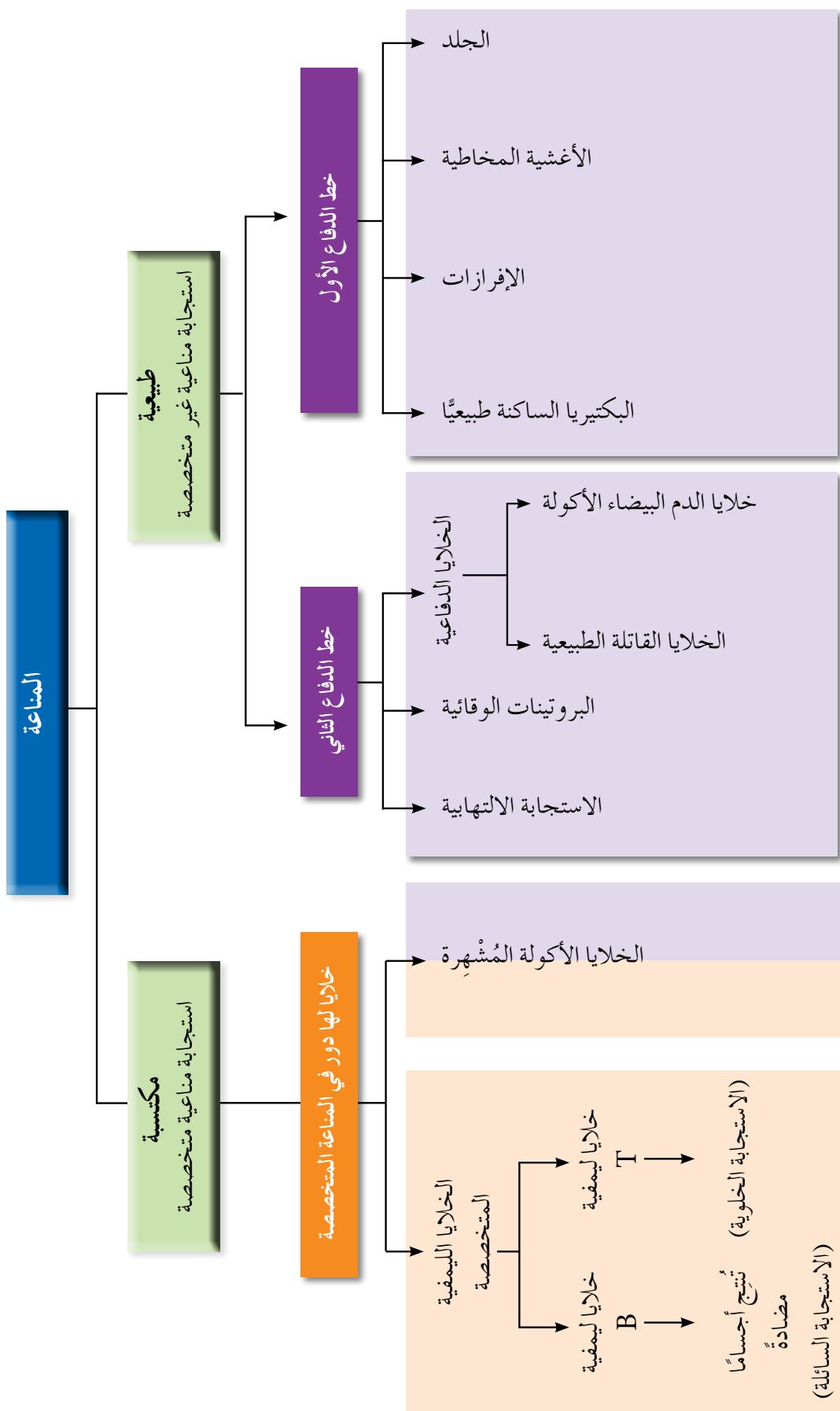
يحتوي الهواء الذي تنفسه، والماء الذي تشربه، والغذاء الذي تتناوله، على عدد كبير من الكائنات الدقيقة التي تبحث داخل جسمك عن مأوى لها للعيش والتكاثر. صحيح أن بعض هذه الكائنات لا تُسبّب لك ضرراً، بيد أنه توجد كائنات دقيقة أخرى تُسبّب الأمراض، وتُمثل مصدر تهديد حقيقي للجسم.

١ أنواع المناعة

يختص جهاز المناعة بحماية الجسم من مُسببات الأمراض، ومقاومتها، والقضاء عليها وعلى الخلايا السرطانية والخلايا المصابة بالفيروسات. ويتكوّن هذا الجهاز من مجموعة من الحواجز الفيزيائية والكيميائية، ومن خلايا دم بيضاء قادرة على ابتلاع مُسببات المرض، وتحليلها، أو منع تكاثرها.

تنقسم الاستجابة المناعية (المناعة) لدى الإنسان إلى نوعين رئيسين، هما: **المناعة الطبيعية، والمناعة المكتسبة**، انظر الشكل (٣٥-٢) الذي يوضح أنواع المناعة، ويلخص ما ستدرسه لاحقاً.

الشكل (٢-٥٣): أنواع المناعة.



أ - **المناعة الطبيعية (المناعة غير المتخصصة)**: تتمثل المهمة الأساسية لهذا النوع من المناعة في منع دخول مسببات الأمراض إلى الجسم، أو القضاء عليها فور دخولها، أو التخلص من الخلايا المصابة بها. وتُعد هذه المناعة غير متخصصة لأنها لا تستهدف نوعاً محدداً من مسببات الأمراض.

تشمل المناعة الطبيعية ما يأتي:

١ . خط الدفاع الأول

أ . حاجز الجلد: يُعد الجلد السليم حاجزاً فيزيائياً مهماً يمنع دخول مسببات الأمراض. ويسبب العرق المفرز من الجلد انخفاضاً في درجة حرارة الجلد، فيوفر رقمًا هيدروجينياً منخفضاً؛ مما يقلل نمو كثير من أنواع البكتيريا على الجلد.

ب . الأغشية المخاطية: يمنع المخاط المفرز من الأغشية المخاطية المبطنة للقناة التنفسية والقناة الهضمية والجهاز البولي والتناسلي مسببات الأمراض من دخول خلايا الجسم.

ج . الإفرازات: يمثل كل من الدموع واللعاب حاجزاً يمنع وصول مسببات الأمراض إلى داخل الجسم بسبب احتواها على إنزيمات تحلل الأجسام الغريبة. فضلاً عن حمض الهيدروكلوريك الموجود في المعدة الذي يهضم الكثير من مسببات الأمراض الموجودة في الطعام.

د . البكتيريا الساقنة طبيعياً في الجسم: هي بكتيريا نافعة تعيش في أجزاء مختلفة من الجسم، مثل: سطح الجلد، والقناة الهضمية، وتنتج مواد قد تقتل البكتيريا الضارة مباشرةً، أو تفرز مواد تغير من درجة حرارة الوسط لجعله غير ملائم لعيش البكتيريا الضارة، أو تستنفذ المواد الغذائية المتوفرة، مانعاً بذلك حصول البكتيريا الضارة على غذائها، مما قد يسبب موتها.

أما في حال اختراق خط الدفاع الأول (مثل الإصابة بجرح) فإن خط الدفاع الثاني يتدخل، فما مكوناته؟

٢ . خط الدفاع الثاني: يتكون هذا الخط من خلايا مناعية غير متخصصة وبروتينات وقائية مثل البروتينات المتممة. فإذا دخلت مسببات الأمراض في الجسم فإن أنواعاً من خلايا المناعة تدافع عنه عن طريق **البلعمة**، وتساهم **البروتينات المتممة** في إتمام عمل خلايا المناعة؛ إذ تتسبب في تحلل مسببات الأمراض الداخلة في الجسم، وتُسهل عملية بلعمتها.

والآن، لنتعرّف خط الدفاع الثاني على نحوٍ أوضح.

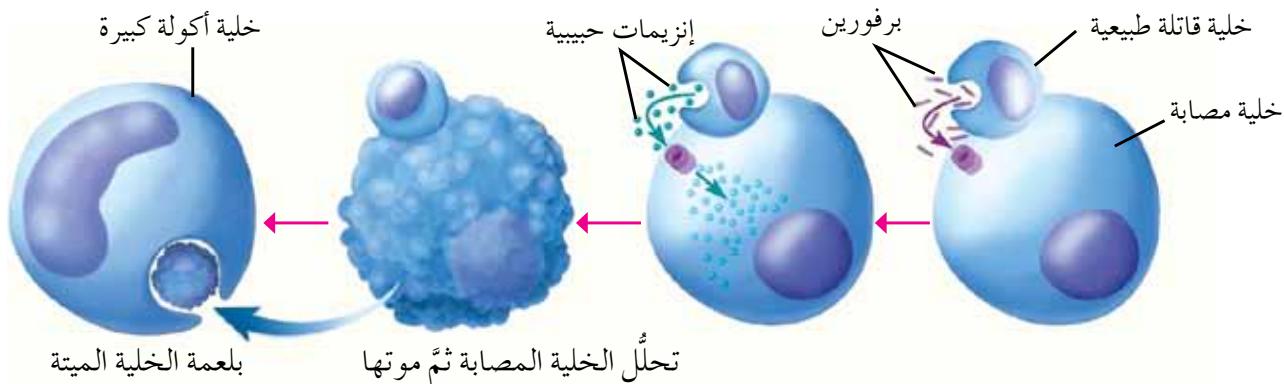
أ . **الخلايا الدفاعية:** تشتمل هذه الخلايا على خلايا الدم البيضاء الأكولة، والخلايا القاتلة الطبيعية.

• **خلايا الدم البيضاء الأكولة (phages):** تضم هذه الخلايا أنواعاً عدّة، أبرزها:

■ **الخلايا المتعادلة (neutrophils):** توجد هذه الخلايا في الدم، وفي أعضاء أخرى، مثل: الكبد، والطحال، والرئتين، واللوزتين. وهي خلايا نهمة في ابتلاع مسببات الأمراض البكتيرية، لكنها لا تعيش طويلاً.

■ **الخلايا الأكولة الكبيرة (macrophages):** تُعدُّ هذه الخلايا في الأساس وحيدة النواة، وقد تكون حرةً بحيث تتجوّل من نسيج إلى آخر، أو مستقرةً في أعضاء معينة، مثل: الطحال، والكبد.

• **الخلايا القاتلة الطبيعية (natural killer cells):** هي خلايا ليمفية توجد في الطحال، والعقد الليمفية، ونخاع العظم، والدم، ويمكنها تمييز الخلايا المصابة بالفيروسات والخلايا السرطانية، وقتلها، لكنها غير متخصصة. لنتعرّف آلية عملها، ادرس الشكل (٣٦-٢).



الشكل (٢-٣٦): آلية عمل الخلايا القاتلة الطبيعية.

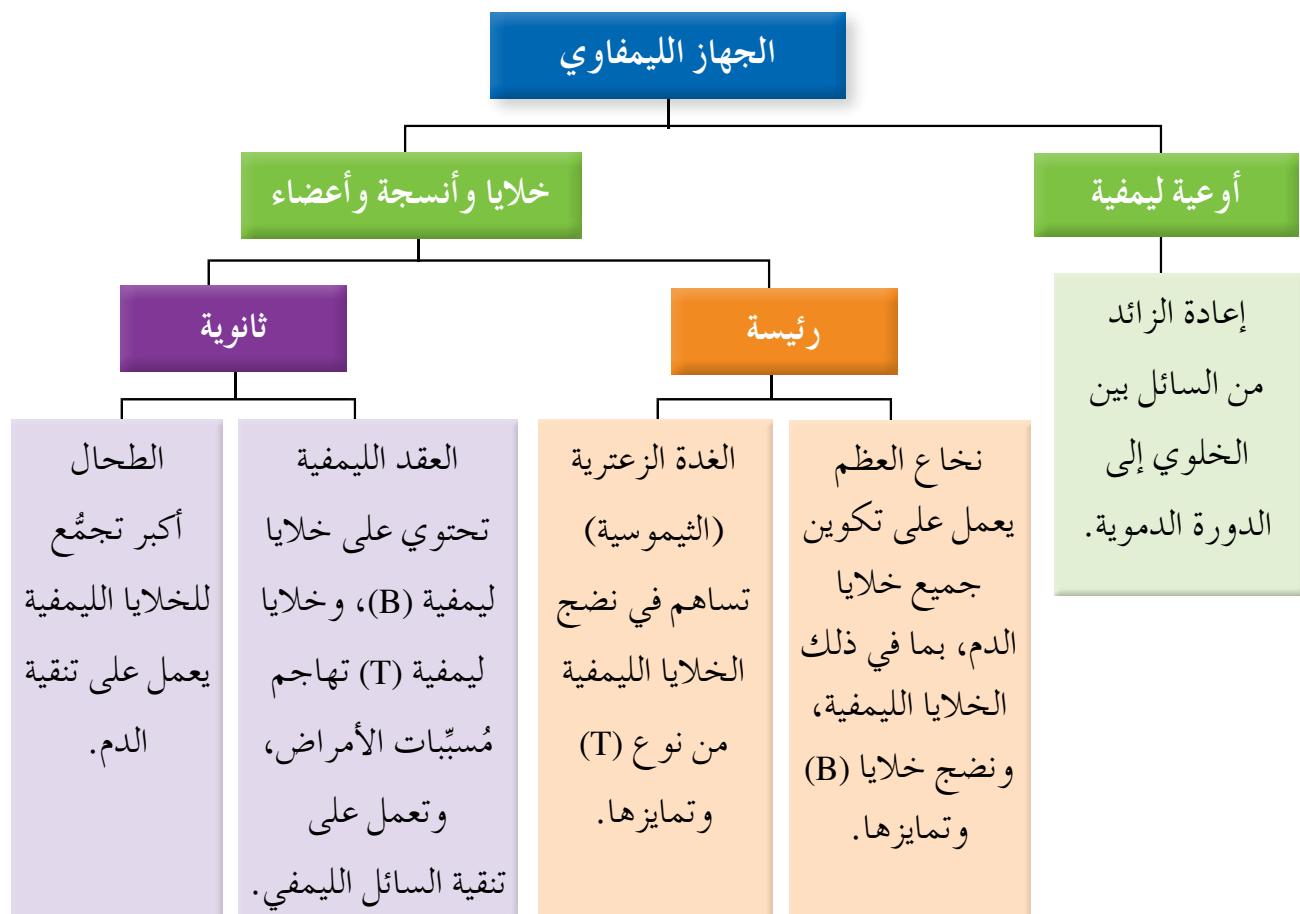
تُفرِّزُ الخلايا القاتلة الطبيعية مادة تُسمى **برفورين**، تُحدِّثُ ثقوبًا في غشاء الخلية المصابة، ثم تُفرِّزُ هذه الخلايا **إنزيمات حببية** (granzymes) تدخل خلال الثقوب لتحلُّل بروتينات الخلية المصابة مُسبِّبةً موتها، ثم تتبعُ الخلايا الأكولة الكبيرة الخلية الميتة بعملية البلعمة.

بـ. البروتينات الوقائية: تشمل هذه البروتينات كُلَّاً من **البروتينات المتممة** التي عرفتها سابقاً، و**الإنترفيرونات**؛ وهي بروتينات تُفرِّزُها الخلايا المصابة بالفيروسات، فترتبط بالخلايا المجاورة، وتحفِّزُها إلى إنتاج بروتينات مضادة للفيروسات تمنع تضاعف أعداد الفيروسات المهاجمة لها.

جـ. الاستجابة الالتهابية: تعمل مجموعة من المواد الكيميائية المُفرَّزة من مُسبِّبات المرض والخلايا الجسم المصابة على جذب الخلايا الأكولة إلى منطقة الإصابة، وتزيد من تدفق الدم نحوها، إضافةً إلى تزايد نفاذية الشعيرات الدموية في منطقة الإصابة، وهو ما يساعد على زيادة أعداد خلايا الدم البيضاء في المنطقة. للاستجابة الالتهابية أعراض عدَّة، منها: الاحمرار بسبب توسيع الشعيرات الدموية، والانتفاخ بسبب خروج البلازما من الدم، ويصاحب هذه الاستجابة إحساس بالألم نتيجة تهيج النهايات العصبية، وارتفاع درجة حرارة النسيج المصاب.

يُذَكِّرُ أَنَّ الْمَنَاعَةَ الطَّبِيعِيَّةَ هِي مَنَاعَةٌ فَطَرِيَّةٌ (innate immunity) تَتَكَوَّنُ فِي جَسْمِ الْإِنْسَانِ مِنْذُ لَحْظَةِ وِلَادَتِهِ، وَهِيَ مَنَاعَةٌ غَيْرُ مُتَخَصِّصةٌ تَتَصَدِّيُّ لِلْأَجْسَامِ الغَرِيبَةِ جَمِيعَهَا حَالَ دُخُولِهَا الْجَسْمِ. وَلَكِنَّ، مَاذَا يَحْدُثُ حِينَ يَفْشِلُ خَطَّ الدَّافَعِ الثَّانِي فِي السِّيَطَرَةِ عَلَى مُسَبِّبِ الْمَرْضِ؟

ب - المَنَاعَةُ الْمَكَتَسِبَةُ (المُتَخَصِّصَةُ): تَحْدُثُ الْاسْتِجَابَةُ الْمَنَاعِيَّةُ الْمَكَتَسِبَةُ حِينَ يَتَجاوزُ مُسَبِّبُ الْمَرْضِ خَطَّ الدَّافَعِ الثَّانِي، وَيَعْتَمِدُ حَدُوثُ هَذِهِ الْاسْتِجَابَةِ عَلَى الْجَهَازِ الْلِيمَفَاوِيِّ الَّذِي يَتَكَوَّنُ مِنْ أَجْزَاءٍ عَدَّةٍ، لِاحِظُ الشَّكْلَ (٣٧-٢).

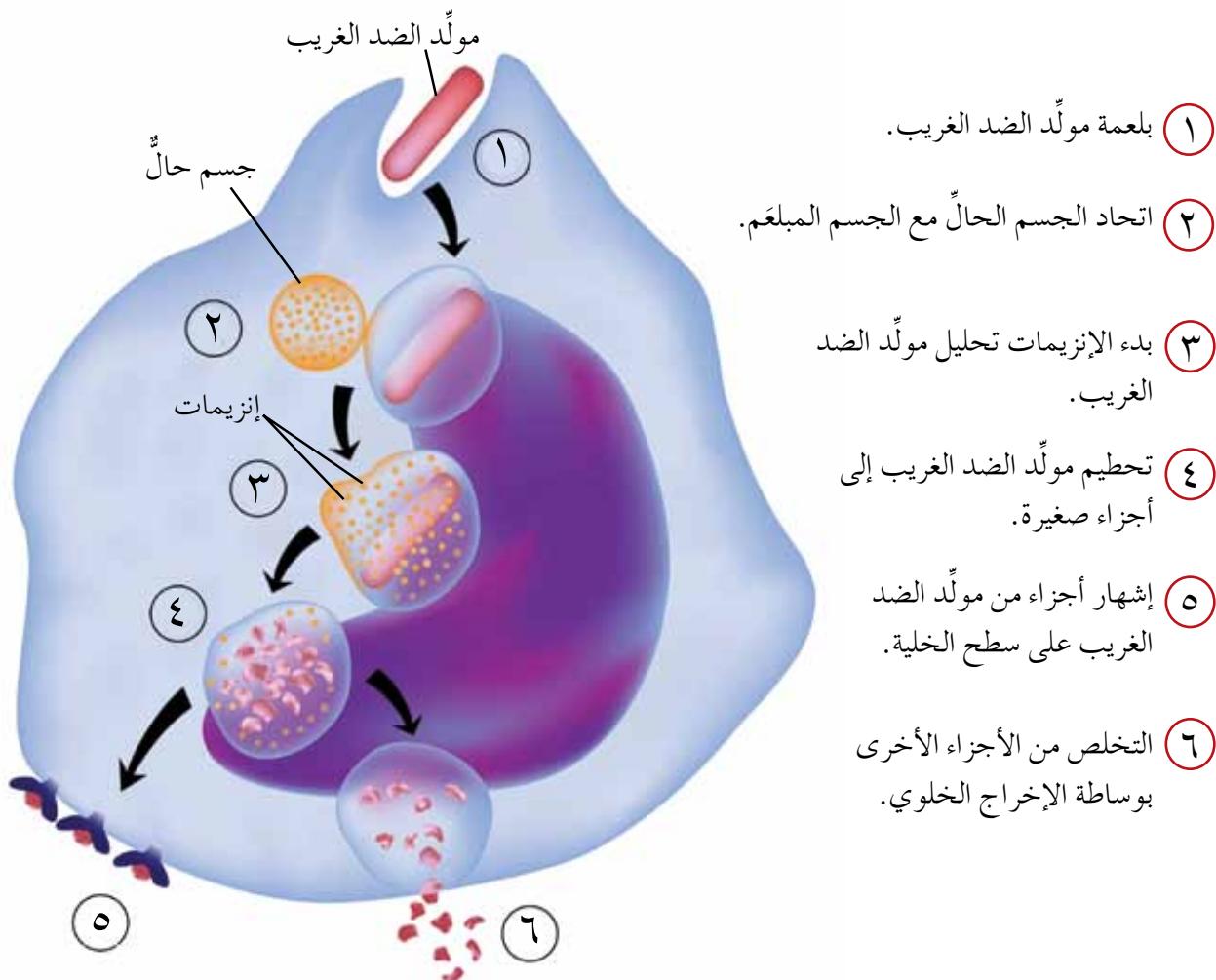


الشكل (٣٧-٢): بَعْضُ أَجْزَاءِ الْجَهَازِ الْلِيمَفَاوِيِّ، وَوَظَائِفُهَا.

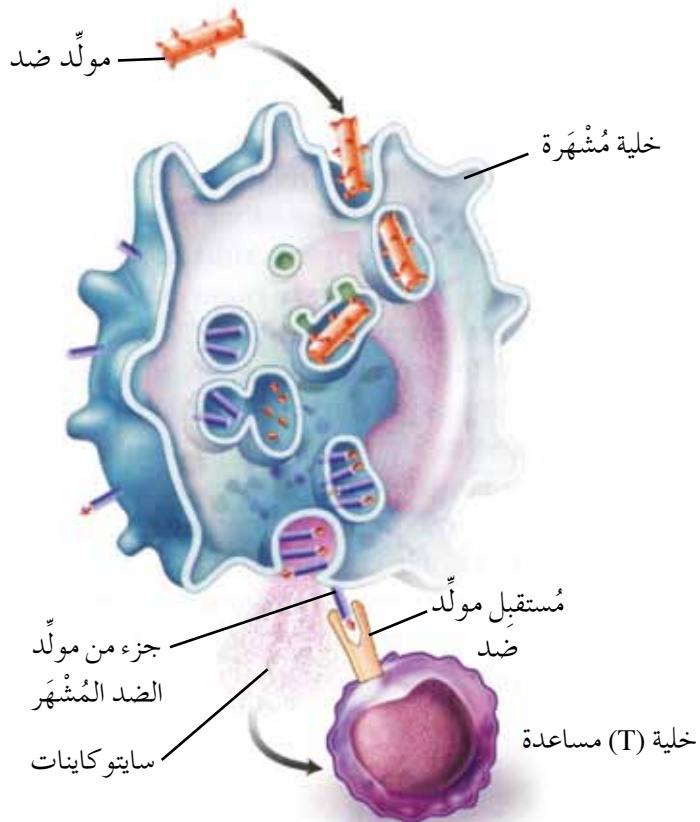
يَمْتَازُ السَّطْحُ الْخَارِجيُّ لِخَلَايَا جَسْمِ الإِنْسَانِ بِوْجُودِ الْكَثِيرِ مِنَ الْبِرُوتِينَاتِ الَّتِي يَرْتَبِطُ بَعْضُهَا بِمَوَادِ سَكَرِيَّةٍ، وَيُمِيزُّ الْجَسْمَ هَذِهِ الْبِرُوتِينَاتِ السَّكَرِيَّةَ بِوْصُفَّهَا ذَاتِيَّةً (تَخَصُّصُهُ). وَيُطَلِّقُ عَلَى أَيِّ مَادَةٍ غَرِيبَةٍ تُحَفِّزُ الْجَهَازَ الْمَنَاعِيَّ إِلَى إِحْدَاثِ اسْتِجَابَةٍ مَنَاعِيَّةٍ خَاصَّةٍ عَنْدَ دُخُولِهَا الْجَسْمَ اسْمٌ مُوْلَدٌ الصَّدِ الْغَرِيبِ (non-self antigen).

- خلايا لها دور في المناعة المتخصصة: تشارك بعض الخلايا المناعية في الاستجابة المتخصصة، مثل:

أ. **الخلايا الأكولة المشهورة** (Antigen-Presenting Cells): هي خلايا أكولة كبيرة تُشهر مولّد الضد الغريب المُسبّب للمرض على سطحها. لتعرّف طبيعة عمل هذه الخلايا، ادرس الشكل (٣٨-٢).



تحرك الخلايا المشهورة للبحث عن الخلايا الليمفية المسمّاة خلايا المساعدة التي تحمل المستقبل الخاص بمولّد الضد المشهور لترتبط بها، لاحظ الشكل (٣٩-٢).



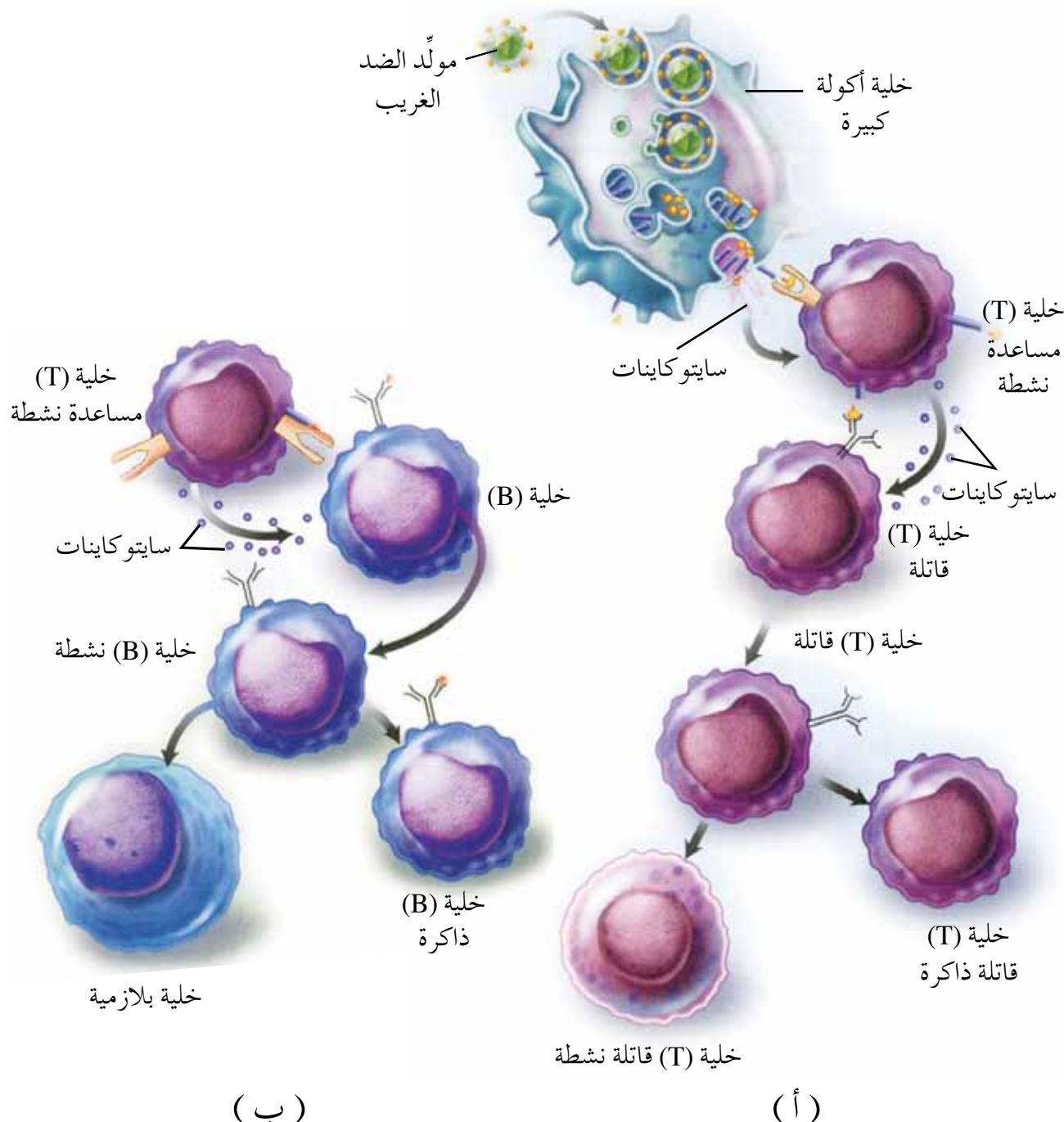
الشكل (٢-٣٩): ارتباط خلية (T) المساعدة بمولد الضد المشهور.

يُعدُّ ارتباط خلية (T) المساعدة بمولد الضد المشهور عملية مُنشطة لعمل خلايا المساعدة، فما عملها؟

بـ. خلايا (T) المساعدة: هي خلايا ليمفية تساعد على إتمام عمل الخلايا المناعية الأخرى. ويسبب ارتباط خلايا (T) المساعدة بمولد الضد المشهور إفراز الخلايا الأكولة المشهرة مواد كيميائية تسمى **سaitو كاينات** (cytokines) تحفز انقسام الخلية (T) المساعدة، وتمايزها إلى نوعين من الخلايا، هما: **خلايا (T) مساعدة نشطة**، و**خلايا (T) مساعدة ذاكرة**.

تُقرِّز خلايا (T) المساعدة النشطة سaitو كاينات تُنشِّط خلايا (T) القاتلة، وتُحفِّزها إلى الانقسام لتكون خلايا (T) قاتلة نشطة، وخلايا (T) قاتلة ذاكرة، لاحظِ الشكل (٤٠-٢).

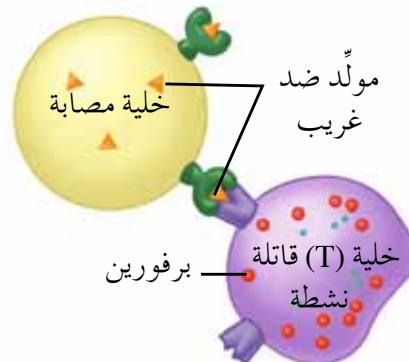
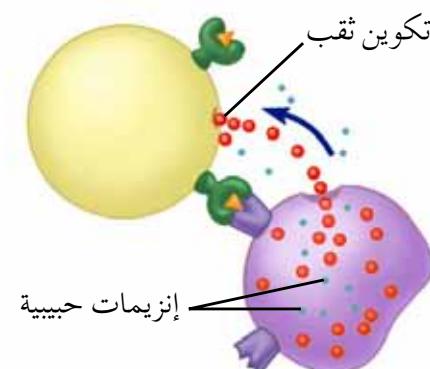
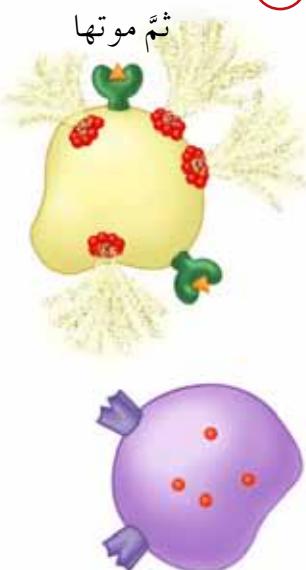
وتحفّرُ السايتوكاينات التي تفرزها خلايا (T) المساعدة النشطة خلايا (B)، فتصبح نشطة، وتنقسم لإنتاج خلايا بلازمية، وخلايا (B) ذاكرة، لاحظ الشكل (٤٠-٢ ب).



الشكل (٤٠-٢): آلية عمل خلايا (T) المساعدة.

جـ. خلايا (T) القاتلة: هي خلايا ليمفية تهاجم الخلايا المصابة، فكيف تقوم بعملها؟ تعرّف خلايا (T) القاتلة النشطة مولّد الضد المشهّر على سطح الخلايا المصابة بالمرض، وترتبط به مُفرِزةً مادة كيميائية تُسمّى برفورين (Perforin) الذي يُحدِث ثقوبًا في الغشاء البلازمي للخلايا المصابة بالمرض؛ ما يسمح بدخول إنزيمات خاصة تُحلّل بروتينات الخلية المصابة مسبّبة موتها، لاحظ الشكل (٤١-٢). يُذكّر أن الاستجابة المناعية التي تنتج من عمل الخلايا (T) الليمفية تُعرف باسم **الاستجابة الخلوية**.

٣ تحلل الخلية المصابة



٢ إحداث برفورين ثقوبًا في الغشاء البلازمي للخلية المصابة.

١ ارتباط خلية (T) القاتلة النشطة بالخلية المصابة.

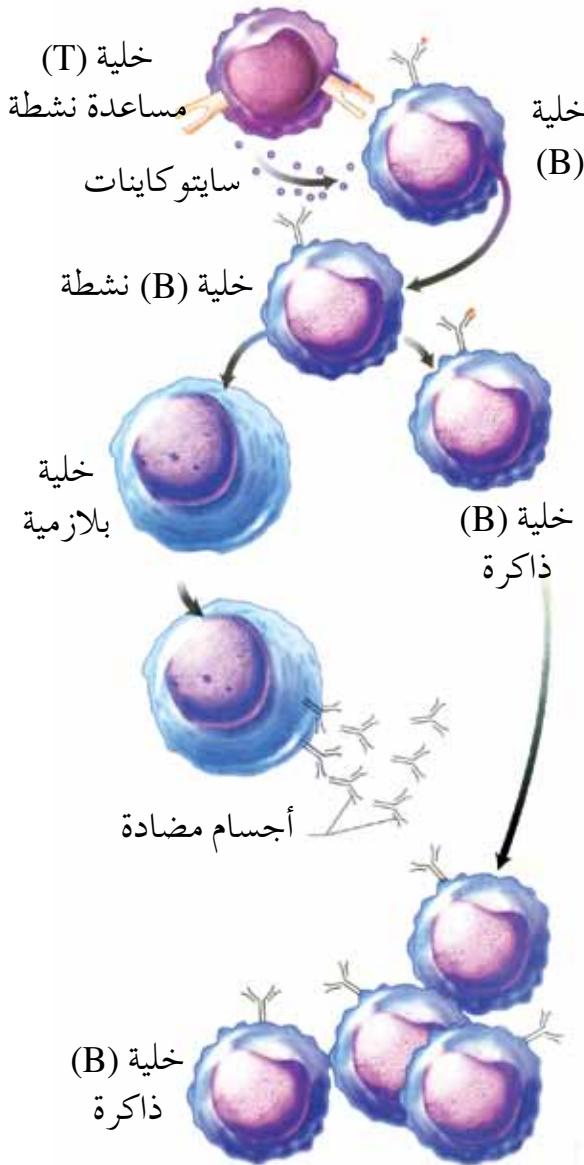
الشكل (٤١-٢): آلية عمل خلايا (T) القاتلة.

دـ. خلايا (B): هي خلايا ليمفية تساهم بفاعلية في الاستجابة المناعية، وتتكامل مع خلايا مناعية أخرى. لتتعرّف وظيفة هذه الخلايا، ادرس الشكل (٤٢-٢)، ثم أجب عن السؤالين الآتيين:

ما تأثير السايتوكاينات المُفرَزة من خلايا (T) المساعدة النشطة في الخلايا

الليمفية (B)؟

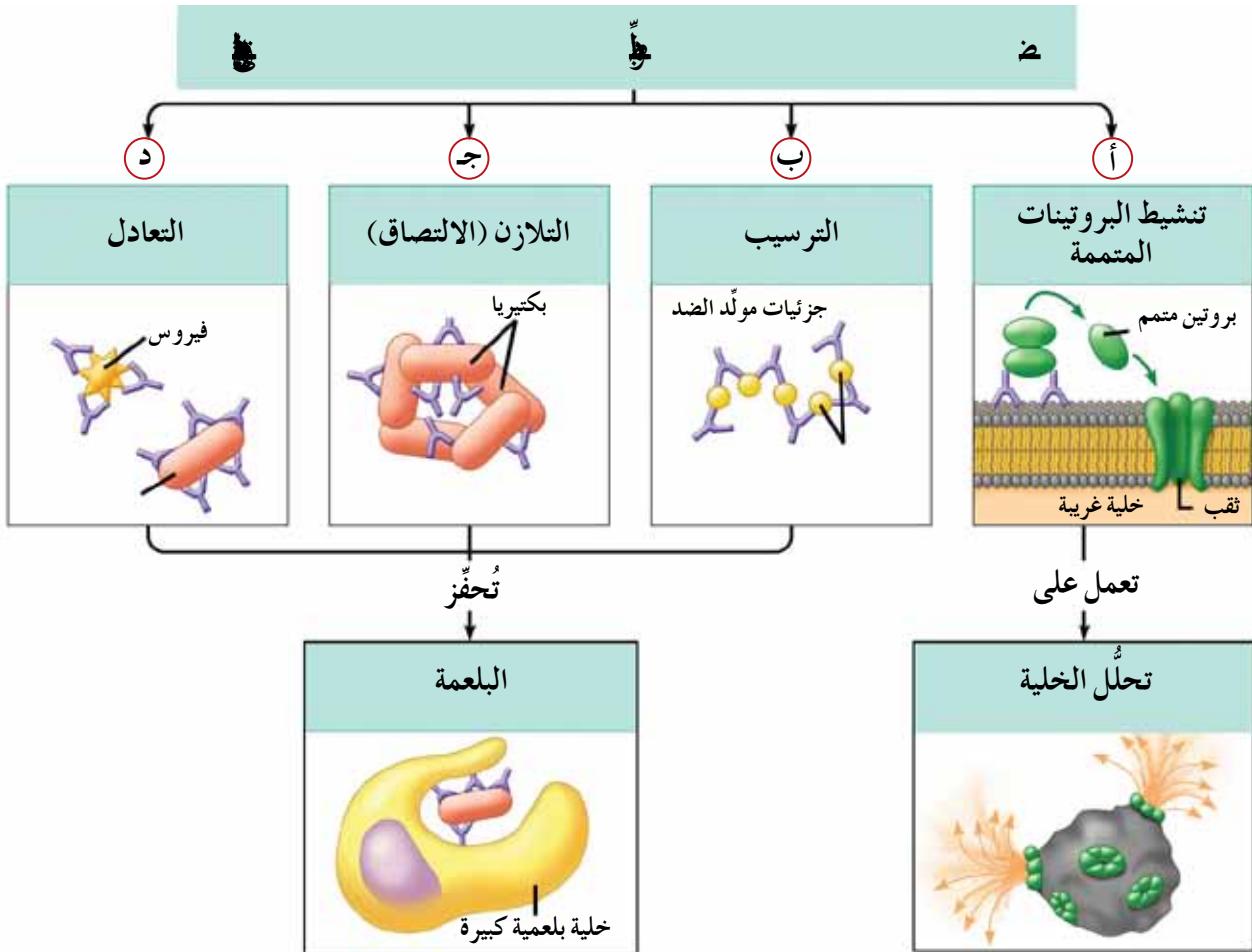
ما نوع الخلايا التي تُنتج الأجسام المضادة؟



الشكل (٤-٢): آلية عمل خلايا (B).

تبدأ خلايا (B) النشطة الانقسام لتكوين أعداد كبيرة من خلايا النوع نفسه، بحيث تتمايز إلى خلايا ذاكرة، وأخرى بلازمية تُنتج **أجساماً مضادةً** (antibodies). والجسم المضاد هو بروتين تُنتِجه الخلايا البلازمية استجابةً لوجود مولّد ضد معين بغرض تثبيطه. وتعُرف الاستجابة المناعية التي تعتمد على إنتاج الأجسام المضادة باسم **الاستجابة السائلة**.

ولكن، كيف يُثبّط الجسم المضاد مولّد الضد الذي سبّب إنتاجه؟ للإجابة، ادرس الشكل (٤-٣).



الشكل (٤٣-٢): آلية عمل الأجسام المضادة.

من طريق تثبيط مولد الضد عند ارتباطه بالجسم المضاد:

أ ارتباط الأجسام المضادة بالغشاء البلازمي للخلية المُسببة للمرض (مولد الضد)، يليه تنشيط البروتينات المتممة، فيؤدي الارتباط إلى إحداث ثقوب في الغشاء البلازمي للخلية المُسببة للمرض، ودخول السوائل إلى داخل الخلية، فتتحلل الخلية.

ب ارتباط الأجسام المضادة بمولادات الضد مُسببةً ترسيبها، فتنشط الخلايا الأكولة، وتحدث عملية البلعمة.

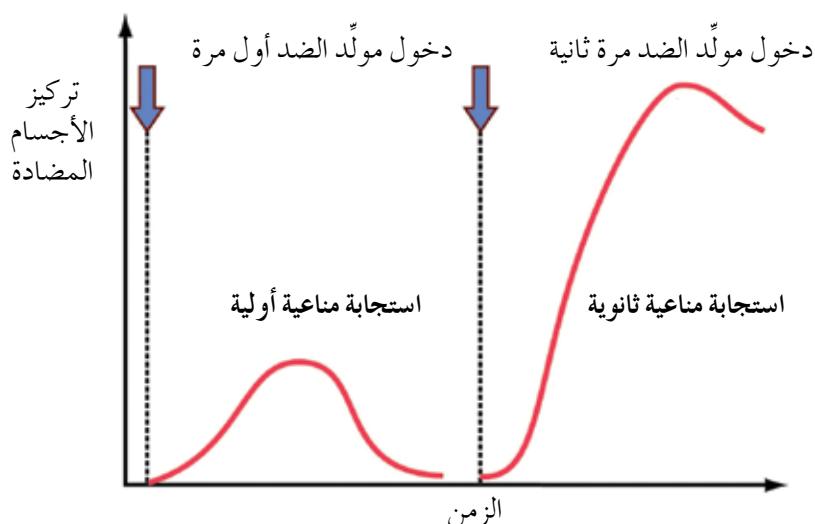
ج ارتباط الأجسام المضادة بمجموعة من مولادات الضد مُسببةً التصاق بعضها بعض (تلازنهما)، فتنشط الخلايا الأكولة، وتحدث عملية البلعمة.

د ارتباط الأجسام المضادة بمبِّثِي المرض (مولد الضد)، مانعاً إياه من الارتباط بخلايا الجسم وإلحاق الضرر به، وتنشط الخلايا الأكولة، وتحدث عملية البلعمة.

تمتاز الاستجابة المناعية المكتسبة (المتخصصة) بأنها **مُوجَّهة**؛ أي إنها قادرة فقط على تمييز **مولد الضد** الغريب الذي **يُسبِّب الاستجابة**، وتكون خلايا ذاكرة قادرة على تمييز **مولد الضد** إذا دخل مرة أخرى، والتعامل معه على نحو أسرع من تعاملها معه في المرة الأولى.

سؤال

ادرس الشكل (٤-٤) الذي يوضح الاستجابة المناعية عند تعرُّض الجسم لمولد الضد الغريب نفسه في المرتين الأولى (استجابة مناعية أولية)، والثانية (استجابة مناعية ثانوية).



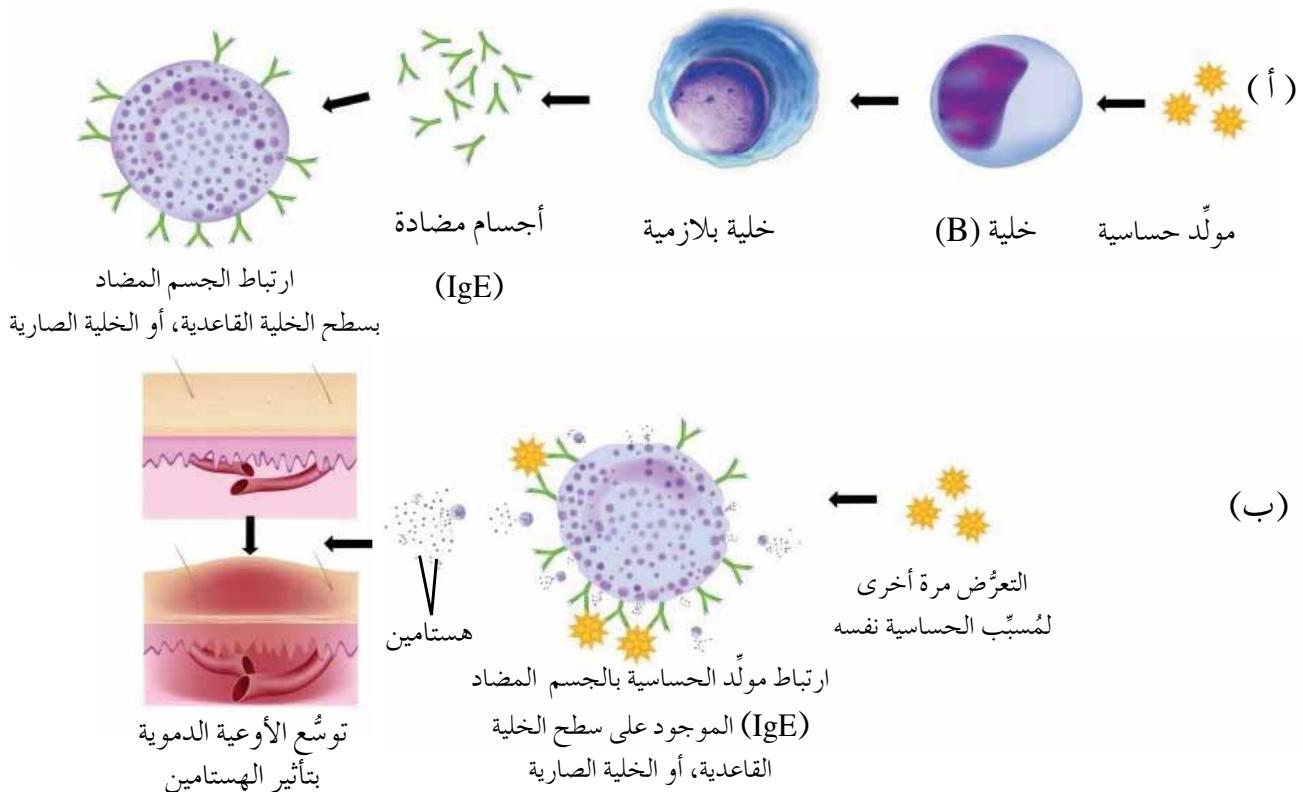
الشكل (٤-٤): الاستجابة المناعية لدى تعرُّض الجسم لمولد الضد.

- قارن بين الاستجابة المناعية الأولية والاستجابة المناعية الثانوية من حيث تركيز الأجسام المضادة.
- أيهما تستغرق وقتاً أطول لبدء إنتاج الأجسام المضادة: الاستجابة المناعية الأولية أم الثانية؟ فسر إجابتك.

بعض اختلالات الجهاز المناعي ٢

أ - تفاعل الحساسية: يُعد تفاعل الحساسية اختلالاً مناعياً لأن جهاز المناعة يهاجم مواد غير ضارة تدخل الجسم. وتُعرف هذه المواد باسم **المواد المُسبِّبة للحساسية** (allergens). ومن أمثلتها: حبوب اللقاح، وأبوااغ بعض الفطريات، وبعض أنواع الأغذية.

يحدث تفاعل الحساسية الأنفية مثلاً حين يتعرّض الشخص لمولّد الحساسية الذي يرتبط بالخلايا الليمفية (B)، محفزاً إياها إلى الانقسام لتكوين خلايا بلازمية تُنتج كميات كبيرة من أحد أنواع الأجسام المضادة الذي يُسمى (IgE)، والذي يرتبط بمستقبلات خاصة على **الخلايا الصاربة**، و**الخلايا القاعدية** الموجودة في الأنسجة. وعند التعرّض مرة أخرى لمولّد الحساسية نفسه يرتبط مولّد الحساسية بالجسم المضاد (IgE) الموجود على الخلايا الصاربة أو الخلايا القاعدية، محفزاً الجبيات داخل هذه الخلايا إلى إفراز مادة **الهستامين** التي تعمل على توسيع الأوعية الدموية لتصبح أكثر نفاذية للسوائل، فضلاً عن ظهور بعض الأعراض، مثل: الاحمرار، والانتفاخ، وزيادة إفراز المخاط، لاحظ الشكل (٤-٢).



الشكل (٤-٢): تفاعل الحساسية: (أ) عند التعرّض لمُسبّب الحساسية أول مرة.
 (ب) عند التعرّض لمُسبّب الحساسية نفسه مرة أخرى.

تُعالج حالات الحساسية بأدوية تُسمى **مضادات الهستامين** التي تعمل على إبطاء وصول الهستامين إلى الخلايا الهدف، مثل: **الخلايا المُفرزة للمخاط**، و**خلايا الأوعية الدموية**، أو منعه من الوصول إليها.

ب - متلازمة نقص المناعة المكتسبة (AIDS): قد تؤثر بعض الأمراض في فاعلية الجهاز المناعي، ومن الأمراض التي تسبب فشل الجهاز المناعي **متلازمة نقص المناعة المكتسبة** (AIDS)؛ إذ يصيب فيروس (HIV) الذي يسبب مرض الإيدز الخلية الليمفية (T) المساعدة، فيتکاثر داخل هذه الخلايا، مُنتِجاً فيروساً (HIV) جديداً وكثيرة تصيب خلايا (T) المساعدة أخرى. وبمرور الزمن تصبح أعداد الخلايا (T) المساعدة قليلة جدًا، ما يؤدي إلى انخفاض قدرة الشخص المصاب على مقاومة الأمراض.

سؤال

اعتماداً على ما درسته سابقاً، وضح أثر مهاجمة فيروس الإيدز (HIV) للجسم في عمل الخلايا (T) المساعدة.

٣ الرفض المناعي

درست أن جهاز المناعة في الجسم يستطيع تمييز مولدات الضد الذاتية من مولدات الضد غير الذاتية، وبذا يتخلص من الأجسام الغريبة التي قد تدخل الجسم، ولكن الإنسان في بعض الحالات المرضية، أو عند تعرضه لحادث معين، قد يحتاج إلى إجراء عملية زراعة عضو يتبرع به إنسان آخر، أو لعملية نقل دم من متبرعين.

وفي هذه الحالات تجرى الكثير من الفحوص لكلٍ من المستقبل والمُتبرع للتأكد من أنهما متوافقان مناعياً؛ وذلك تجنباً لحدوث **الرفض المناعي** (immune rejection) في جسم المستقبل للعضو أو للدم المنقول؛ إذ إن حدوثه يعرض المستقبل لخطر شديد قد يؤدي بحياته.

ولتوسيع الرفض المناعي سنعرض عملية **نقل الدم** (blood transfusion) بوصفها مثالاً على ذلك في حال عدم توافق كلٍ من فصيلة دم المُتبرع والمُستقبل مناعياً.

ادرس الجدول الآتي الذي يبيّن مولدات الضد على سطوح خلايا الدم الحمراء، والأجسام المضادة في بلازما دم أصحاب فصائل الدم المختلفة بحسب نظام (ABO)، وفصائل الدم المناسبة للتبرع لكلٍ منهم، ثم أجب عما يليه من أسئلة:

فصيلة/ فصائل دم المُتبرّعين الملائمين	الأجسام المضادة في بلازما الدم	مولّد الضد على سطوح خلايا الدم الحمراء	فصيلة الدم
O, A	Anti-B	A	A
O, B	Anti-A	B	B
O, B, A, AB	-----	A, B	AB
O	Anti-A, Anti-B	-----	O

◀ ما نوع الأجسام المضادة الموجودة في بلازما كلٌ من: شخص فصيلة دمه (A)، وشخص فصيلة دمه (B)؟

◀ مستعيناً بالجدول، فسر سبب حدوث رفض مناعي في جسم إنسان فصيلة دمه (O) عند نقل دم إليه من مُتبرّع فصيلة دمه (A) أو (B).

لاحظ أنه توجد أجسام مضادة (Anti-B) في بلازما دم الشخص الذي فصيلة دمه (A)؛ لذا لا يمكن نقل خلايا دم حمراء فصيلتها (B) إلى جسمه لأنها تحمل مولّد الضد (B)، وتقترن فصائل الدم المناسبة نقلها إليه على فصيلة (A)، أو فصيلة (O) فقط.

وفي حال حدوث خطأ بأن يُنقل دم من مُتبرّع فصيلة دمه غير متوافقه مناعياً مع فصيلة دم المستقبل فإن الأجسام المضادة الموجودة في بلازما دم المستقبل ترتبط بمولّدات الضد الموجودة على سطوح خلايا الدم الحمراء المنقوله إليه، مُسبّبةً تحلّل خلايا الدم الحمراء المنقوله، فترتفع درجة حرارة المستقبل، ويحدث ارتعاش في جسمه، وفشل كلوبي أحياناً، وقد تودي بحياته في حال كانت كمية الدم المنقوله إليه كبيرة.
وهذا يحدث أيضاً عند اجتماع مولّد الضد (A) مع الجسم المضاد من النوع نفسه (Anti-A).

سؤال

◀ فسر ما يأتي: يمكن للشخص صاحب فصيلة الدم (AB) استقبال دم من مُتبرّعين فصائل دمهم: (A, B, AB, O).

وفي الواقع، تُجرى فحوصات إضافية قبل إجراء عملية نقل الدم للتأكد أنه يمكن التبرُّع به من دون حدوث أيّ مضاعفات للمُستقبل.

والثابت أن التوافق المناعي لا يكون ضروريًا فقط في فصائل الدم بحسب نظام (ABO)، وإنما يكون ضروريًا بحسب نظام العامل الرئيسي (Rh)؛ إذ يكون الشخص موجب العامل الرئيسي (Rh^+) في حال وجود مولد الضد (D) على سطوح خلايا دمه الحمراء، في حين يكون سالب العامل الرئيسي (Rh^-) في حال عدم وجود مولد الضد (D) على سطوح خلايا دمه الحمراء، ويعُبر عن عدم وجوده باستخدام الحرف الصغير (d).

يمكن للشخص سالب العامل الرئيسي (Rh^-) التبرُّع بالدم للأشخاص سالبي العامل الرئيسي ومحبِّي العامل الرئيسي شريطة توافق الدم بينهما مناعيًّا بحسب نظام (ABO). ويمكن للشخص موجب العامل الرئيسي (Rh^+) التبرُّع بالدم لآخر موجب العامل الرئيسي شريطة توافق الدم بينهما مناعيًّا بحسب نظام (ABO)، لكنه لا يستطيع التبرُّع بالدم لشخص سالب العامل الرئيسي؛ إذ يتسبَّب دخول خلايا دم المُتبرِّع التي تحمل مولد الضد (D) إلى جسم المُستقبل في تكوين الأخير أجسامًا مضادةً (Anti-D) في جسمه. فمثلاً، يمكن لشخص فصيلة دمه (B^-) التبرُّع بالدم لشخص فصيلة دمه (B^+)، غير أنه لا يمكن حدوث العكس.

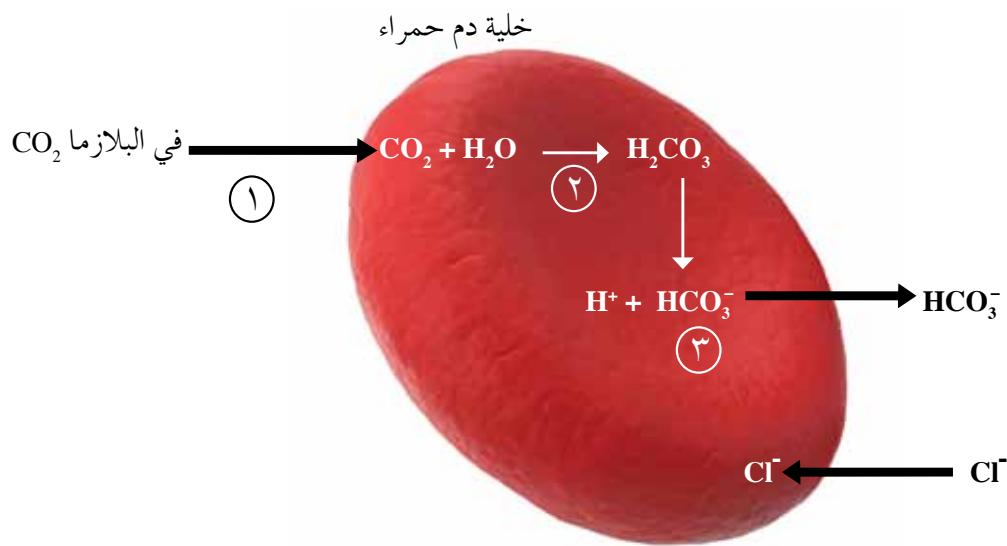
سؤال

ماذا يحدث عند اجتماع مولد الضد (D) مع الجسم المضاد (Anti-D) في دم المستقبل؟

مؤسساتنا فخرنا

للاستزادة عن موضوع التبرُّع بالدم، زُر الموقع الإلكتروني للخدمات الطبية الملكية/
التبرُّع بالدم: www.jrms.mil.jo

- ١ - اذكر العوامل التي تساعد على تحرر الأكسجين من الأكسيهيموغلوبين.
- ٢ - يوضح الرسم (٤٦-٢) انتقال غاز ثاني أكسيد الكربون إلى الدم. ادرسه، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



الشكل (٤٦-٢): أحد أشكال انتقال (CO_2) .

- أ - أي أشكال نقل غاز ثاني أكسيد الكربون يمثله الرقم (١)؟
- ب - ما اسم الإنزيم الممثل بالرقم (٢)؟
- ج - ما اسم المادة المشار إليها بالرقم (٣)؟
- د - فسر سبب انتشار أيونات الكلور السالبة داخل خلية الدم الحمراء.
- ٣ - يتصرف أول أكسيد الكربون بأنه غاز لا لون له ولا رائحة، وبقدرته الفائقة على الارتباط بالهيموغلوبين. ما أثر وجود تركيز عالي من هذا الغاز الناتج من عمليات الاحتراق غير الكاملة في انتقال غاز الأكسجين في الدم؟

٤ - يعاني أحد الأشخاص وجود بروتين في البول. برأيك، أي أجزاء الوحدة الأنبوية الكلوية أصابها الضرر؟ ولماذا؟

٥ - نقل شخص إلى المستشفى بعد فقده كميات كبيرة من الدم. كيف يؤثر ذلك في إفراز الرينين، والألدوستيرون، والعامل الأذيني المُدرّ للصوديوم؟ وما تأثير كل منها؟

٦ - قارن بين المناعة الطبيعية والمناعة المتخصصة من حيث الخلايا التي تشارك في كل منها.

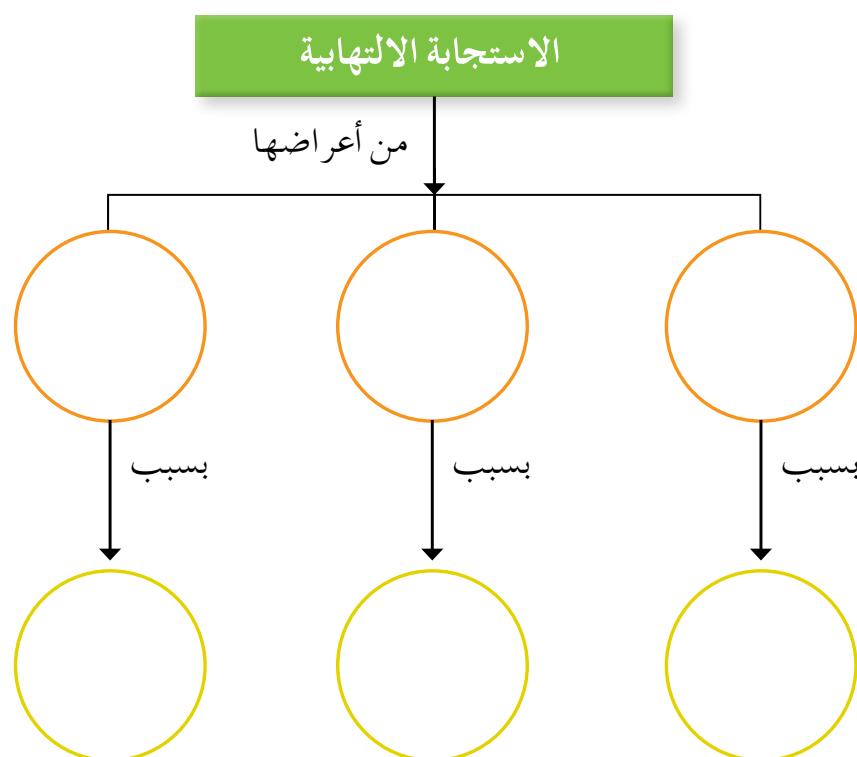
٧ - فيم تختلف الخلايا القاتلة الطبيعية عن الخلايا (T) القاتلة؟

٨ - ماذا تفرز كل من:

أ - الخلية (T) المساعدة النشطة.

ب - الخلية (T) القاتلة النشطة المرتبطة بخلية جسم مصابة.

٩ - أكمل الشكل (٤٧-٢) الذي يمثل خريطة مفاهيمية للاستجابة الالتهابية:



الشكل (٤٧-٢): الاستجابة الالتهابية.

١٠ - اكتب اسم المصطلح العلمي الدال على كلٌ من العبارات الواردة في الجدول الآتي:

المصطلح	العبارة	الرمز
	وعاء دموي ينقل الدم فقير الأكسجين إلى الرئتين.	أ
	مركب ينتج من اتحاد جزيء هيموغلوبين بجزيئات الأكسجين.	ب
	عملية انتقال أيونات الكلور (Cl^-) من بلازما الدم إلى داخل خلايا الدم الحمراء لإعادة التوازن الكهربائي.	ج
	الوحدة الأساسية المكونة للكلية.	د
	إنزيم تفرزه الخلايا الطلائية المبطنة للحوصلات الهوائية، فيُضيق الشريان الصادر، ويرفع ضغط الدم في الكبة.	هـ
	خلايا دم بيضاء تُعد أساساً وحيدة النواة، وقد تكون حرة في الدم، أو مستقرة في أعضاء معينة.	و
	أيّ مادة غريبة تُحفز الجهاز المناعي إلى إحداث استجابة مناعية عند دخولها الجسم.	ز

التكاثر عند الإنسان

درست سابقاً تركيب الجهاز التناسلي الذكري والأثوي للإنسان، وتعلمت أن الإنسان قد حافظ على نوعه عن طريق التكاثر الجنسي، الذي يكون باتحاد جامت ذكري (1n) مع جاميت أنثوي (1n) لتكوين بويضة مخصبة (2n) تنقسم انقسامات عدّة، ثم تنمو وتتمايز لتصبح فرداً جديداً، فكيف يُنَتَّج كُلُّ من الجاميات الذكرية والأنثوية؟ وكيف تحدث عملية الإخصاب؟ وما مراحل تكوين الجنين؟ وكيف يمكن تنظيم النسل؟

ستتمكن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك لهذا الفصل.

يتوقع منك أن تكون قادراً على أن:

- تبيّن مراحل تكوين كُلٌّ من الجاميات الذكرية والأنثوية لدى الإنسان.
- تصف التغيرات الدورية في نشاط الجهاز التناسلي الأنثوي.
- تتبع مراحل إخصاب البويضة، وتكوين الجنين في الإنسان.
- تقدّر أهمية الطرق المختلفة في تنظيم النسل.
- تُوضّح أهمية التقنيات الحديثة في عملية الحمل والإخصاب لدى الإنسان.

تحدث عملية تكوين الجاميات الذكرية (الحيوانات المنوية) في الخصية، وعملية تكوين الجاميات الأنثوية (البويضات) في المبيض، فما مراحل تكوين كلٌّ منها؟

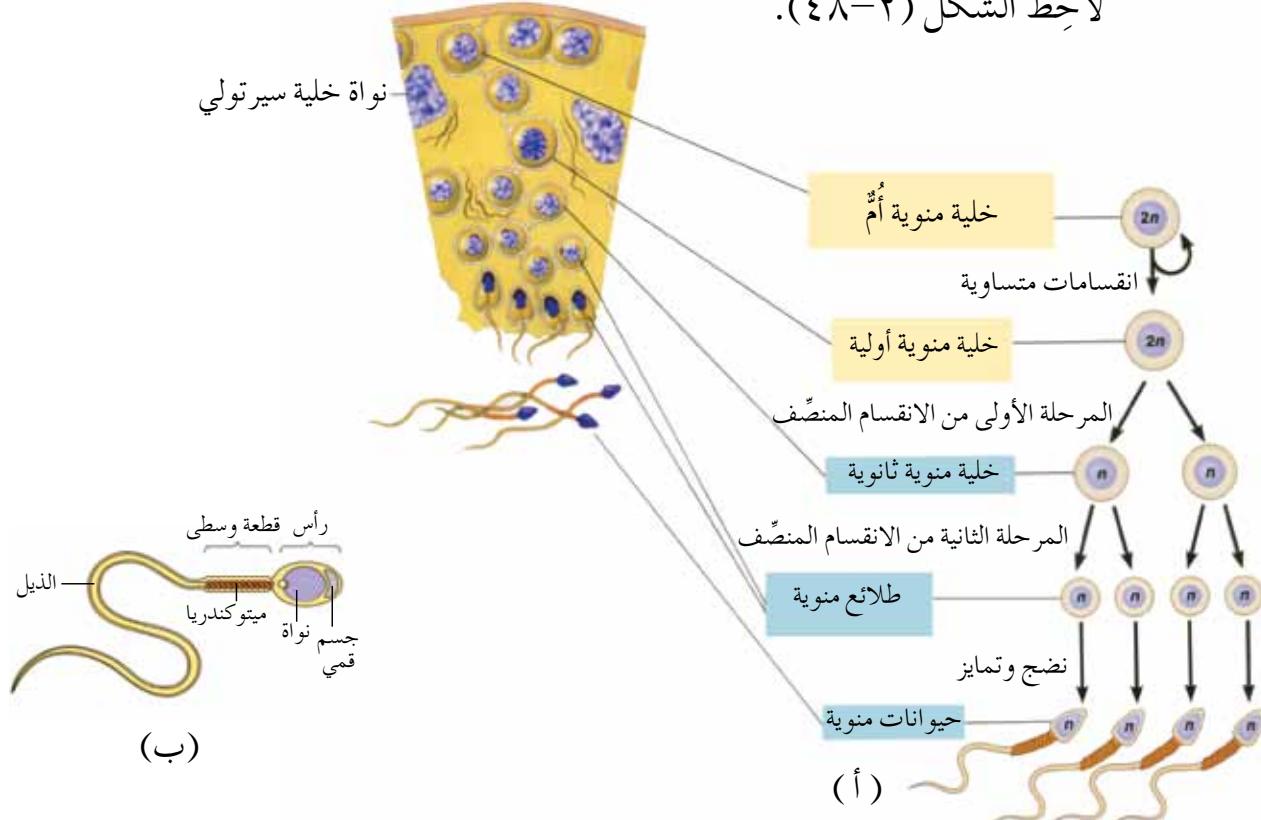
١ تكوين الحيوانات المنوية

تبدأ عملية تكوين **الحيوانات المنوية** (spermatogenesis) في الأنبيبات المنوية في الخصية عند البلوغ، ولا توقف بعد ذلك لدى الشخص الطبيعي، لكنها قد تتباطأ مع تقدم العمر.

تمر عملية تكوين الحيوانات المنوية بالمرحلتين الآتتين:

- أ - مرحلة تضاعف الخلايا التassالية ونموها: تنقسم **الخلايا المنوية الأم** ($2n$) (spermatogonia) إلى **أنقسامات متساوية** (mitosis)، لتكون مخزون كبير منها، وتبقى أعداد من هذه الخلايا بوصفها مصدرًا للخلايا الجنسية الجديدة؛ إذ تستمر في الانقسام المتساوي، وتنقل أعداد أخرى منها إلى تجويف الأنبيبات المنوية، لتدخل مرحلة النمو والتمايز، فيزداد حجمها، وتُسمى عندئذ **الخلايا المنوية الأولية** (primary spermatocytes) (primary spermatocytes)، وتحوي العدد الزوجي من الكروموسومات ($2n$)،

لاحظ الشكل (٤٨-٢).



الشكل (٤٨-٢): أ - مراحل تكوين الحيوانات المنوية. ب - تركيب الحيوان المنوي.

بـ-مرحلة النضج والتمايز: تدخل الخلية المنوية الأولية المرحلة الأولى من الانقسام المنصف، ويتتج منها خلستان تُسمى كلًّا منها **الخلية المنوية الثانوية** (secondary spermatocyte)، التي تحتوي على نصف عدد الكروموسومات الموجودة في الخلية المنوية الأم؛ أي إنها أحادية المجموعة الكروموسومية (1n). وبعد دخول الخلتين المنويتين الثانويتين المرحلة الثانية من الانقسام المنصف تتكون أربع **طلائع منوية** (spermatids)، لاحظ الشكل (٤٨-٢).

ولكي تصبح الطلائع المنوية قادرة على إخصاب الخلية البيضية الثانوية التي ستدرسها لاحقاً؛ فإنها تمر بعملية نضج وتمايز؛ إذ يحفز الهرمون المنشط للجسم الأصفر الذكري (male LH) المُفرَز من الغدة النخامية الأمامية خلايا لايدج (leydig cells) يعمل على تحويل الطلائع المنوية إلى الشكل النهائي للحيوان المنوي بعد مرورها بعمليات نضج وتمايز.

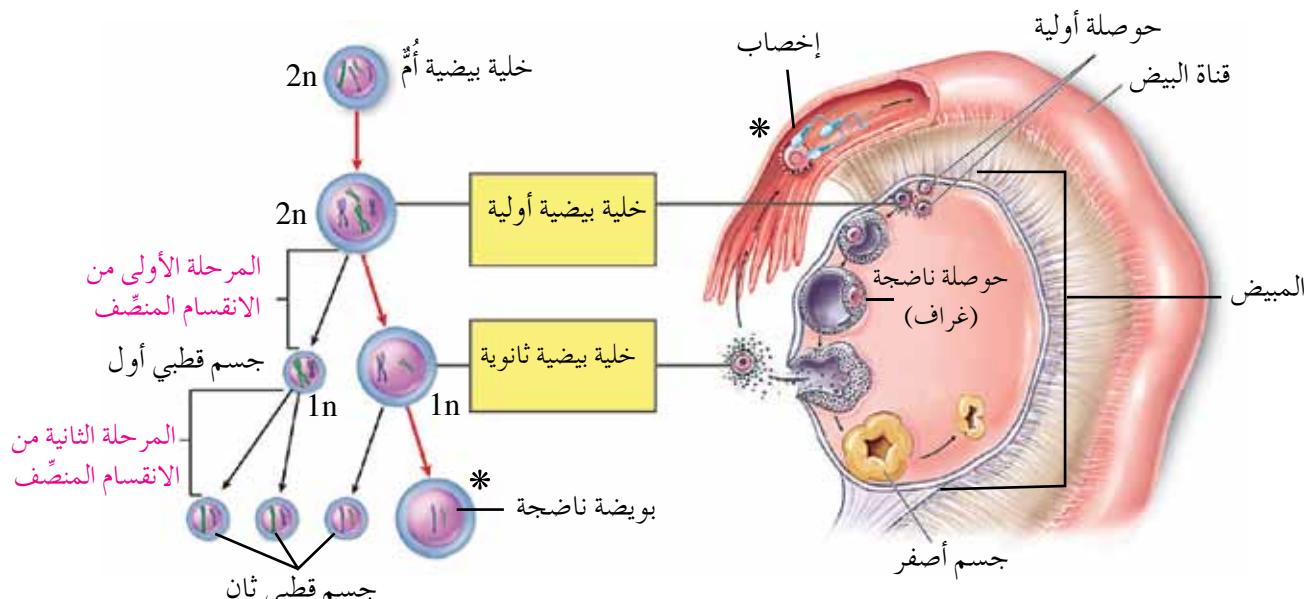
يساعد على إتمام هذه العمليات خلايا سيرتولي؛ وهي خلايا مستطيلة تُزوِّد الطلائع المنوية بالغذاء اللازم في أثناء عملية التمايز، وتساهم إفرازاتها في دفع الحيوانات المنوية نحو البربخ. لتعرف تركيب الحيوان المنوي، ادرس الشكل (٤٨-٢).

تستغرق مراحل تكوين الحيوان المنوي مدةً تتراوح بين (٦٤-٧٣) يوماً، وتساهم إفرازات الحوصلتين المنويتين اللتين تحويان الفركتوز في تزويد الحيوانات المنوية بالطاقة الالزمة لحركتها، في حين تساهم إفرازات غدة البروستات في تسهيل حركة الحيوانات المنوية. أمّا إفرازات غدي كوبر فتعمل على معادلة الحموضة الناجمة عن بقايا البول في الإحليل؛ وبذا تساهم فيبقاء الحيوانات المنوية حية.

٢ | تكوين البويلصات

يحدث **تكوين البويلصات** (oogenesis) في المبيض، وتنشأ من **الخلايا التناصبية الأولى**؛ وهي خلايا جذعية غير متمايزة، يبدأ تكوُّنها منذ المراحل الجنينية الأولى للأئنة.

تمر عملية تكوين البوopiesات بمرحلتين اثنتين، فما هما؟ وماذا يحدث في كلٌ منها؟ للإجابة، ادرس الشكل (٤٩-٢).



الشكل (٤٩-٢): مراحل تكوُّن البوopiesات.

أ - مرحلة تضاعف الخلايا التناسلية ونموها: تنقسم الخلايا التناسلية الأولية انقسامات متساوية عدّة، ينتج منها **خلايا بيضية أم** (oogonia) تحوي العدد الزوجي من الكروموسومات ($2n$)، ويستمر عددها في الازدياد بالانقسام المتساوي.

تنمو بعض الخلايا البيضية الأم، ويزداد حجمها، وتحوَّل إلى **خلايا بيضية أولية** (primary oocyte)، لاحظ الشكل (٤٩-٢). وفي أثناء المرحلة الجنينية، تدخل الخلايا البيضية الأولية المرحلة الأولى من الانقسام المنصف، ولكن هذا الانقسام يتوقف في الطور التمهيدي الأول، فتدخل الخلايا البيضية الأولية في مرحلة كمون داخل المبيض.

ب - مرحلة النضج: يكمل عدد قليل من الخلايا البيضية الأولية الانقسام المنصف الأول عند البلوغ بتحفيز من الهرمونات الأنوثية، فينتج من كلٌ منها خليتان: الأولى كبيرة تُسمى **الخلية البيضية الثانوية** (secondary oocyte)، والأخرى صغيرة تُسمى **الجسم القطبي الأول** (first polar body)، وتحتوي كلٌ منها على نصف عدد الكروموسومات ($1n$). يُذكَر أن الخلية البيضية الثانوية تتوقف عن استكمال

الانقسام في الطور الاستوائي من المرحلة الثانية من الانقسام المنصف، في حين ينقسم الجسمقطبي الأول إلى جسمين قطبيين صغيرين.

بعد عملية الإياء، ونزول الخلية البيضية الثانية إلى قناة البيض، وتعدّ تلقيحها بحيوان منوي، فإنها غالباً تتحلل. أمّا إذا جرى تلقيحها فإن إنزيمات الجسم القمي للحيوان المنوي تحفّز الخلية البيضية الثانية إلى إكمال المرحلة الثانية من الانقسام المنصف لإنتاج خلتين: واحدة كبيرة تُسمى **البويضة الناضجة**، وأخرى صغيرة تُعرف بالجسمقطبي الثاني، لاحظ الشكل (٤٩-٢). أمّا الأجسامقطبية الثلاثة فإنها تتضمن وتتحلل؛ نظراً إلى قلة كمية السيتوبلازم وما يحويه من مواد غذائية فيها.

سؤال

ما عدد المجموعة الكروموموسومية في كلٍّ من:

- الخلية المنوية الأولى؟
- الخلية البيضية الأولى؟
- الجسمقطبي؟

ثانية

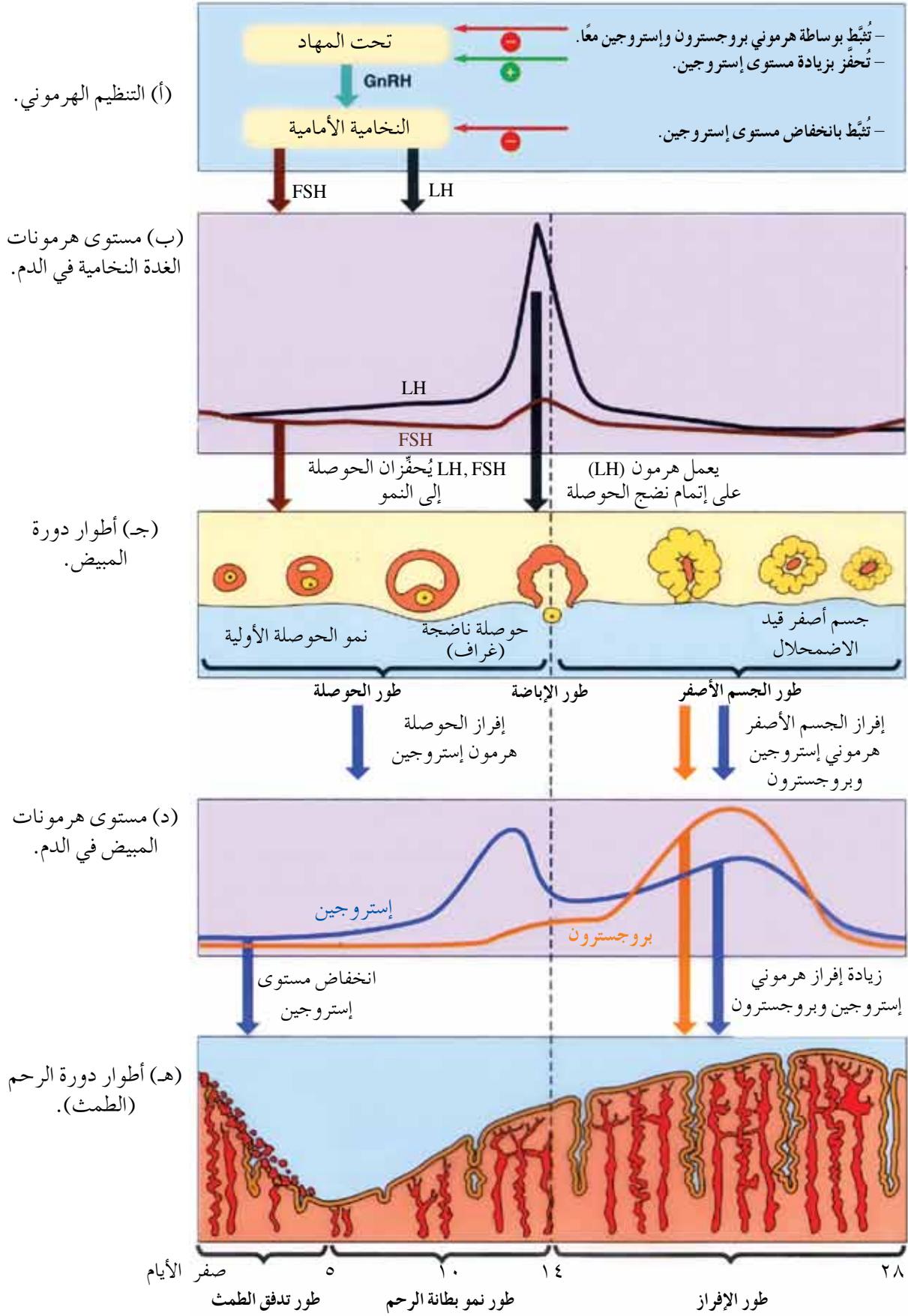


تحدث تغيرات دورية شهرية منتتظمة في كلٍّ من الرحم والمبيض، يتم خلالها تكوين البويضات، وتجهيز الرحم للحمل. وتكون هذه التغيرات دورية عند الأنثى طوال مدة الخصوبة الممتدة من سن البلوغ إلى سن الخمسين تقريرياً، وتكون غالباً منتتظمة، وتستمر مدة تراوح بين (٣٠ - ٢٨) يوماً.

تنقسم هذه التغيرات إلى تغيرات دورية في المبيض تُسمى **دورة المبيض** (ovarian cycle)، وتغيرات دورية في الرحم تُسمى **دورة الرحم** (uterine cycle)، فما التغيرات التي تحدث في كلٍّ منها؟ وما دور الهرمونات في ذلك؟

١ | دورة المبيض

تمر دورة المبيض بأطوار يوضّحها الشكل (٢-٥/ج)، في حين يوضّح الشكلان (٢-٥/ب)، و(٢-٥/د) مستوى الهرمونات في أثناء هذه الأطوار.



الشكل (٢-٥): التغيرات الدورية في نشاط الجهاز التناسلي الأنثوي.

وأطوار دورة المبيض هي:

أ - طور الحوصلة: يعمل الهرمون المُنشّط للحوصلة الأنثوي (FSH) المُفرز من الغدة النخامية الأمامية على حفز المبيض، فتنمو بعض الحوصلات الأولية، لاحظ الأشكال: (٢٠/٥٠/أ)، و(٢٠/٥٠/ب)، و(٢٠/٥٠/ج)؛ إذ ينمو في كل شهر نحو (٢٠) حوصلة أولية (primordial)، لكن واحدة منها فقط (أسرعها نمواً) تنضج كل شهر من أحد المبيضين، وتُفرز هذه الحوصلة في أثناء نضجها هرمون إستروجين يعمل عند ارتفاع مستوىه على تشبيط إفراز هرمون (FSH)؛ وذلك لمنع الإفراط في تحفيز المبيضين، ونضج أكثر من حوصلة؛ إذ إن المبيضين لا يعملان معًا، وإنما يتناوبان على إنتاج خلية بيضية ثانية شهريًا.

ب - طور الإباضة: يُحفّز ارتفاع مستوى هرمون إستروجين في الدم غدة تحت المهاد إلى إفراز كميات من الهرمون المُحفّز إلى إفراز هرمونات الغدد التناسلية (GnRH)، فيزيد إفراز الهرمون المُنشّط للجسم الأصفر الأنثوي (Female LH)، من الغدة النخامية، الذي يعمل على إتمام نضج الحوصلة، فتُسمى عندئذ حوصلة غراف، لاحظ الشكلين (٢٠/٥٠/أ)، و(٢٠/٥٠/ه). يُذكر أن أعلى مستوى لهرموني (female LH)، (FSH) يكون قبيل عملية الإباضة التي تحدث يوم الرابع عشر من الدورة تقريرًا، لاحظ الشكل (٢٠/٥٠/ب). وفي هذا الطور تطلق الخلية البيضية الثانية باتجاه قناة البيض.

ج- طور الجسم الأصفر: بعد لحظة الإباضة مباشرة، وخروج الخلية البيضية الثانية، تتحول الأجزاء المتبقية من الحوصلة إلى **جسم أصفر** (corpus luteum)، يُفرز كميات كبيرة من هرمون بروجسترون، وكميات قليلة من هرمون إستروجين؛ ما يمنع إفراز الهرمون المُنشّط للحوصلة الأنثوي (FSH)، ولذلك لا تنضج أي حوصلة جديدة ما دام الجسم الأصفر نشطاً، لاحظ الشكلين (٢٠/٥٠/ج)، و(٢٠/٥٠/د). وبالمقابل، يقل إفراز الهرمون المُنشّط للجسم الأصفر إذا لم يحدث إخصاب للخلية البيضية الثانية، فيبدأ هذا الجسم بالضمور.

دورة الرحم | ٢

هي سلسلة من التغيرات الدورية التي تحدث في بطانة الرحم؛ استجابةً للتغيرات الدورية في مستوى هرموني إستروجين وبروجسترون اللذين يُفرزهما المبيض.

تمر دورة الرحم بأطوار يُمثلها الشكل (٢-٥٠/هـ)، في حين يُوضّح الشكلان (٢-٥٠/بـ)، و(٢-٥٠/دـ) مستوى الهرمونات في أثناء هذه الأطوار.

وأطوار دورة الرحم هي:

أ - طور تدفق الطمث: يستمر هذا الطور مدةً تتراوح عادةً بين (٧-٥) أيام من بداية دورة الرحم، لاحظ الشكل (٢-٥٠/هـ). إذ يؤدي اضمحلال الجسم الأصفر عند عدم حدوث الحمل إلى انخفاض نسبة هرموني إستروجين وبروجسترون في الدم، لاحظ الشكل (٢-٥٠/دـ)، فيحدث اضطراب في بطانة الرحم الداخلية يؤدي إلى موتها تدريجياً، وإلى انقباض الأوعية الدموية الحلزونية، فتقل كمية الدم الواصلة إلى بطانة الرحم، ويختنق فيها الدم، وتنفصل مناطق من الطبقة الوظيفية (الداخلية) على صورة قطع، ويتبع ذلك نزف، وتقدف الغدد محتوياتها من المخاط والإنزيمات دافعةً للبطانة إلى الخارج، فيحدث الطمث.

ب - طور نمو بطانة الرحم: يستمر هذا الطور مدةً تتراوح عادةً بين (٩-٧) أيام بعد انقطاع الدم في طور تدفق الطمث من دورة الرحم المنتظمة؛ إذ تحدث زيادة في إفراز هرمون إستروجين، فيزيد سمك الطبقة الداخلية لبطانة الرحم، بما تحويه من أوعية دموية وغدد، تمهدًا لاستقبال الجنين، وانزراعه في حالة حدوث الحمل، انظر الشكل (٢-٥٠/هـ)، وقد تعرّفت سابقاً أن الإباضة تحدث عادةً في اليوم الرابع عشر، لاحظ الشكل (٢-٥٠/جـ).

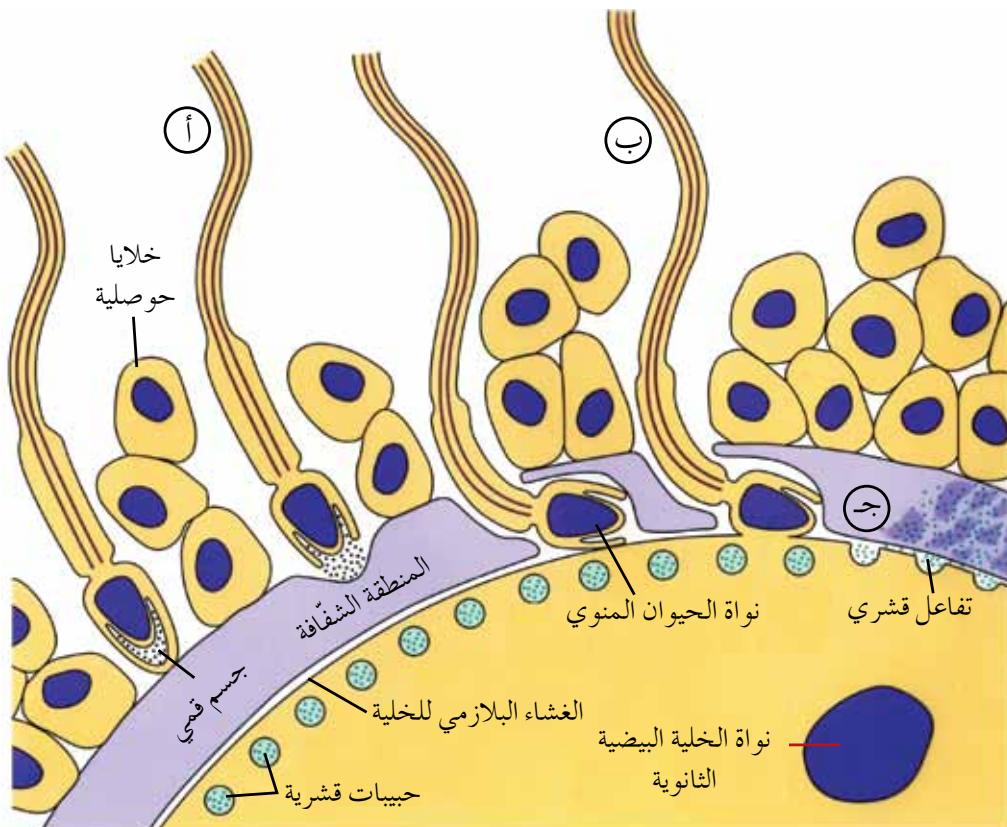
ج - طور الإفراز: يمتد هذا الطور من مرحلة ما بعد الإباضة مباشرةً إلى نهاية دورة الرحم؛ إذ يزيد إفراز الجسم الأصفر لهرموني بروجسترون وإستروجين، اللذين يعملان على زيادة سمك بطانة الرحم، ويحفزان غدها إلى إفراز مواد مخاطية غنية بالغلايكوجين؛ للمحافظة على بطانة الرحم، وتوفير البيئة المناسبة لنمو الجنين، لاحظ الشكلين (٢-٥٠/هـ)، و(٢-٥٠/دـ).

سؤال

- ١- وُضّح دور كلٌّ من هرموني إستروجين وبروجسترون في كلٌّ من دورتي المبيض والرحم.
- ٢- وُضّح أثر هرمون إستروجين في إفراز (FSH). ما أهمية ذلك؟

ولكن، ماذا يحدث إذا التقت الجاميات الذكرية مع الجاميات الأنثوية؟

تحاط الخلية البيضية الثانوية من الخارج بطبقة من الخلايا الحوصلية، يليها إلى الداخل المنطقة الشفافة، ويلي هذه المنطقة سائل بين خلوي يفصلها عن الغشاء البلازمي للخلية البيضية الثانوية، ويحتوي السيتوبلازم المحاذي للغشاء البلازمي على حبيبات قشرية، لاحظ الشكل (٥١-٢). تحدث عملية الإخصاب في أعلى قناة البيض خلال الأربع والعشرين ساعة من عملية الإباضة، وفي هذه الأثناء يحدث اتحاد (أو اندماج) لنواة الخلية البيضية الثانوية مع نواة الحيوان المنوي؛ فتتكون البويضة المخصبة.



الشكل (٥١-٢): عملية الإخصاب.

تضمن عملية الإخصاب المراحل الآتية:

١ مرحلة الاختراق

عند وصول أعداد كبيرة من الحيوانات المنوية إلى طبقة الخلايا الحوصلية المحيطة بالخلية البيضية الثانوية يتحطم الجسم القمي لكل حيوان منوي، وتتحرر محتوياته الغنية بالإنزيمات الهاضمة للبروتينات، مُبددةً الخلايا الحوصلية، وثاقبةً المنطقة الشفافة، فيمر حيوان منوي

واحد من بينها، لاحظ الشكل (٢-٥١أ). وعند وصول الحيوان المنوي إلى المنطقة الشفافة للخلية البيضية الثانوية، فإن الغشاء اللازمي للجزء الأمامي من الحيوان المنوي يتحد مع مستقبلات بروتينية خاصة توجد في المنطقة الشفافة، مانعاً دخول حيوانات منوية أخرى، لاحظ الشكل (٢-٥١ب).

يؤدي دخول الحيوان المنوي في الخلية البيضية الثانوية إلى اندفاع أيونات الصوديوم إلى داخل الخلية البيضية الثانوية، وإزالة حالة الاستقطاب في غشائها اللازمي، فتفتح قنوات الكالسيوم ويدخل الكالسيوم الخلية البيضية الثانوية، فيحدث تفاعل يُدعى **التفاعل القشرى**؛ إذ تدفع الحبيبات القشرية للخلية البيضية الثانوية في السائل خارج الخلية بين المنطقة الشفافة والغشاء اللازمي للخلية البيضية الثانوية، لاحظ الشكل (٢-٥١ج). ونتيجةً لامتصاص الحبيبات القشرية الماء وانتفاخها؛ فإنها تدفع الحيوانات المنوية التي علقت بغضائط الخلية البيضية الثانوية بعيداً، وتغيير من طبيعة موقع ارتباط الحيوان المنوي بالخلية البيضية الثانوية، وتحفز الخلية البيضية الثانوية إلى الانقسام.

٢ مرحلة الالتحام

يحفز اختراق الحيوان المنوي ستيوبلازم الخلية البيضية الثانوية إلى إكمال الانقسام المنصف، فيتكون جسم قطبي ثانٍ، وبويضة ناضجة.

٣ مرحلة الاندماج

تجه نواة الخلية البيضية الثانوية، ونواة الحيوان المنوي إلى وسط البويضة، وتندمج نواة كلّ منها لتكونا البويضة المخصبة (الزيجوت) ثنائية المجموعة الكروموسومية ($2n$) .

سؤال

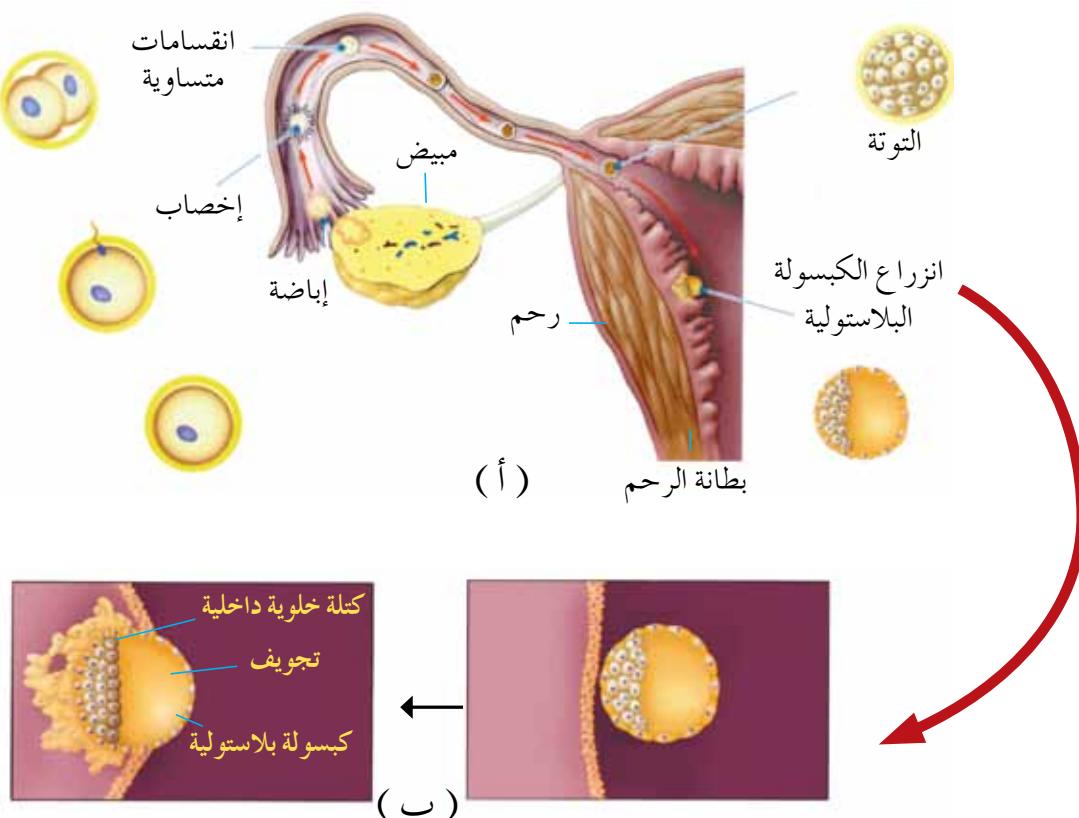
- ١ - لماذا لا يحدث إخصاب في حال انخفاض عدد الحيوانات المنوية انخفاضاً حاداً؟
- ٢ - ما الذي يحفز كلاً ممّا يأتي:
 - فتح قنوات الكالسيوم الموجودة في غشاء الخلية البيضية الثانوية؟
 - إكمال الخلية البيضية الثانوية الانقسام المنصف؟

والآن، لنتعرّف ما يحدث للخلية البيضية الثانوية بعد إخصابها.

١ | تكوين الجنين

يُقسّم الحمل إلى ثلات مراحل، تمثل كلّ منها ثلاثة أشهر من مدة الحمل البالغة تسعة أشهر تقريباً، وفي أثناء هذه المراحل تساعد العديد من الهرمونات على استمرارية الحمل. ولكن، ما التطورات التي تحدث للجنين في كل مرحلة من مراحل الحمل؟

- أ - **المراحل الأولى من الحمل (ثلاثة الأشهر الأولى):** في الأسبوع الأول من الحمل تعرّض البويضة المخصبة لسلسلة من الانقسامات المتتساوية في قناة البيض، لاحظ الشكل (٢-٥٢)، ثم تصبح خلال ثلاثة أيام كتلة مكوّنة من (١٦) خلية في ما يُسمّى **مرحلة التوتة**، وتكون محاطة بالمنطقة الشفافة، ثم تنتقل إلى الرحم في اليوم الخامس، وتحوّل التوتة إلى كرة مجوّفة مملوءة بسائل تُسمّى **الكبسولة البلاستولية**، التي يتجمع في أحد قطبيها مجموعة من الخلايا تُسمّى الكتلة الخلوية الداخلية؛ وهي خلايا جذعية أولية يتشكّل منها أعضاء الجنين المختلفة.



الشكل (٢-٥٢): المراحل الأولى لتكوين الجنين.

- الانزراع: تبدأ عملية انزراع الكبسولة البلاستولية في اليوم السابع أو اليوم الثامن بعد الإخصاب، وتنتهي في اليوم العاشر؛ إذ تُفرِّز الكبسولة البلاستولية بعد التصاقها ببطانة الرحم إنزيمات هاضمة تذيب جزءاً من الطبقة الداخلية لبطانة الرحم، وتحل مكان الجزء المهدوم تدريجياً حتى تندمل داخل البطانة، لاحظ الشكل (٢-٥١/ب).

وفي أثناء الأسبوعين الثاني والثالث يتكون القرص الجنيني من الكتلة الخلوية الداخلية، ويتميز إلى ثلاث طبقات (خارجية، وداخلية، ووسطى)، تكون منها أجهزة الجسم المختلفة. وفي هذه المرحلة من الحمل يكون الجنين أكثر عرضة للإجهاض.

بـ- المرحلة الثانية من الحمل (الأشهر: الرابع، الخامس، والسادس): يستمر الجنين في النمو، ويصبح قادرًا على تحريك أطرافه عشوائياً، و تستطيع الأم الإحساس بحركته في الرحم.

جـ- المرحلة الثالثة من الحمل (ثلاثة الأشهر الأخيرة): في هذه المرحلة يزداد حجم الجنين، ولكن الأجنحة الذين يولدون في بداية هذه المرحلة يواجهون مشكلات في النجاة؛ لأن أعضائهم، ولا سيما الرئتين، تكون غير مكتملة النمو للعمل جيداً. وفي نهاية المرحلة ينقلب الجنين بحيث تصبح وضعية الرأس إلى أسفل. ولكن، كيف يتم تبادل المواد بين الجنين والأم؟

٢ تغذية الجنين

تحدث عملية تبادل المواد بين دم الجنين ودم الأم عن طريق تركيب يتكون في الجزء العلوي من الرحم في أثناء الحمل يُسمى **المشيمة** (placenta). وتمثل أهمية المشيمة للجنين في التغذية، والتنفس، والمناعة، والتخلص من الفضلات، فضلاً عن حمايته، وثبتت الحمل؛ وذلك بإفرازها هرموني بروجسترون وإستروجين اللذين يساعدان على استمرار الحمل.



فَسْرَ كَلَّا مَمَا يَأْتِي :

- يواجه الأجيال الذين يولدون في بداية المرحلة الثالثة من الحمل مشكلات قد تؤثر في بقائهم أحياءً.
- للمسيمية دور في تثبيت الحمل.
- تكون أعضاء الجنين المختلفة من الكتلة الخلوية الداخلية.

ولكن، هل يمكن تنظيم عملية الحمل؟ كيف يكون ذلك؟



خامساً

ينصح بتباعد الأحمال وتنظيمها؛ تخفيضاً لأعباء الحمل على الأم، وحفظاً على صحتها وصحة المواليد، بحيث ينالون حقهم في الرضاعة الطبيعية، والرعاية الضرورية؛ صحياً، واجتماعياً، ونفسياً. ولهذا توجد وسائل متعددة ومتنوعة لتنظيم النسل، منها:

١ الوسائل الطبيعية

لا تؤثر هذه الوسائل في صحة الأم، ولا تسبب لها أي مضاعفات جانبية، ومن الأمثلة عليها **الرضاعة الطبيعية**؛ إذ تمنع مرحلة الرضاعة الأم من الحمل غالباً.

٢ الوسائل الميكانيكية

تتعدد هذه الوسائل وتتنوع ومن أمثلتها: **العازل الذكري**، **والواقي الأنثوي**، اللذان يعملان على منع وصول الحيوانات المنوية إلى الخلية البيضية الثانوية. ومن أمثلتها أيضاً **اللوبل** الذي يتكون من مواد خاملة غير قابلة للتفاعل، والذي يزرع داخل الرحم؛ ليحول دون انزلاق الكبسولة البلاستولية.

٣ الوسائل الهرمونية

تمتاز هذه الوسائل بأشكال وتركيب عدّة، وهي تعمل على منع الحمل عن طريق منع حدوث الإباضة، وذلك بتبسيط إفراز الهرمونات المنشطة لحوالات المبيض، فيتعذر نضج الخلايا البيضية الثانوية. تعمل هذه الوسائل أيضاً على زيادة لروجة المادة المخاطية في عنق الرحم؛ ما يُعوق دخول الحيوانات المنوية. ومن الأمثلة على هذا النوع من الوسائل:

- أ - حبوب منع الحمل: وهي نوعان؛ **حبوب منع الحمل المركبة** التي تحوي هرمون إستروجين وبروجسترون، و**حبوب منع الحمل المصغرة** التي تحوي هرمون بروجسترون فقط. تمتاز هذه الحبوب بفاعليتها الفائقة في منع الحمل في حال استُخدِمت بانتظام.
- ب - حقن منع الحمل: تحتوي هذه الحقن على مادة بروجسترون، وتعطى بإشراف الطبيب، علمًا بأن فاعليتها تستمر مدة (٣) أشهر.
- ج - الكبسولات الصغيرة التي تُزرع تحت الجلد: تحوي هذه الكبسولات هرمون بروجسترون، وتستمر فاعليتها عادةً مدة (٥) سنوات.
- د - لصقات منع الحمل: تحوي هذه اللصقات هرموني بروجسترون وإستروجين، وتُفرِز كل يوم جرعة محددة من الهرمونين، وتتدوم كل لصقة مدة (٧) أيام تقريبًا.

سؤال

◀ صنف وسائل منع الحمل الآتية إلى وسائل هرمونية، وطبيعية، وميكانيكية:

- وضع لصقات منع الحمل.
- إرضاع الطفل طبيعياً.
- استخدام اللولب.
- تناول حبوب منع الحمل.

السادس تقنيات في عملية الإخصاب والحمل

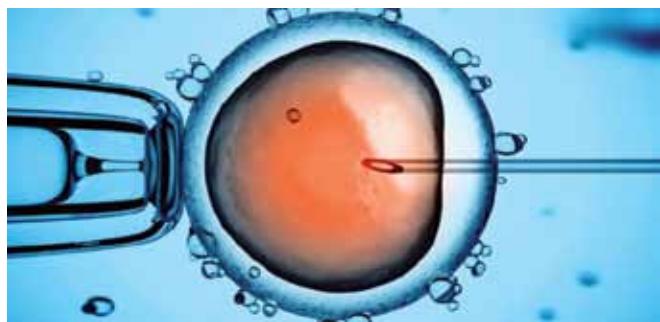
أصبح علاج حالات العقم بالتقنية وسيلة ذاته الصيت عالميًا، ويوجد في الأردن الكثير من المراكز ووحدات الإخصاب التي تُستخدم أحدث التقنيات في مجال علاج العقم ومشكلات حدوث الحمل واستمراره، وهذه أبرزها:

١ التقنية التقليدية للإخصاب الخارجي

تشمل هذه التقنية تنشيط المبيض لإنتاج العدد الكافي من الخلايا البيضية الثانوية، ثم التقاطها باستخدام منظار خاص، لتببدأ عملية تحضير الخلايا البيضية الثانوية الملقطة والحيوانات المنوية وتقييمها، ثم توضع الخلايا البيضية الثانوية مع الحيوانات المنوية في

أطباق خاصة داخل حاضنة مدة تراوح بين (٤-٧٢) ساعة، وهي المدة الالزمة لحصول الإخصاب وتكون الأجنحة، ثم تُعاد الأجنحة إلى رحم الأم في اليوم الثاني أو اليوم الثالث من سحب الخلايا البيضية الثانوية. ومن أسباب اللجوء إلى هذه التقنية التقليدية: انسداد قناتي البضم أو تلفهما، والضعف المتوسط للحيوانات المنوية، وعدم الحمل غير معروف السبب.

٢ الحقن المجهرى للبوبيضات



الشكل (٥٣-٢): الحقن المجهرى للبوبيضات.
(٥٣-٢)، ثم تُعاد الأجنحة الناتجة من عملية الحقن إلى رحم الأم. ومن أسباب إجراء الحقن المجهرى للبوبيضات: ضعف الحيوانات المنوية الشديد.

تلخيص هذه التقنية في حقن رأس حيوان منوي واحد، أو إحدى الطلائع المنوية داخل الخلية البيضية الثانوية بوساطة إبرة مجهرية خاصة، متصلة بمجهر ذي قوة تكبيرية عالية خارج الجسم لاحظ الشكل

٣ استخلاص الحيوانات المنوية من الخصية أو البربخ

تُستخدم هذه التقنية في حال عدم وجود حيوانات منوية في السائل المنوي. ومن طرائق الحصول على الحيوان المنوي بهذه التقنية سحب الحيوانات المنوية من البربخ أو الخصية بوساطة إبرة رفيعة، ثم حقنها مجهرياً في الخلية البيضية الثانوية. ومن الحالات التي تُستخدم فيها هذه التقنية انسداد الوعاء الناقل للحيوانات المنوية بسبب الالتهابات.

٤ التشخيص الوراثي للأجنحة

تُستخدم هذه التقنية لفحص الأجنحة، وتعُرف إذا كانت حاملة لمرض وراثي ما، ويُلجأ إلى هذه التقنية لتشخيص أسباب حدوث الإجهاض المتكرر بسبب وجود طفرات وراثية في الأجنحة.

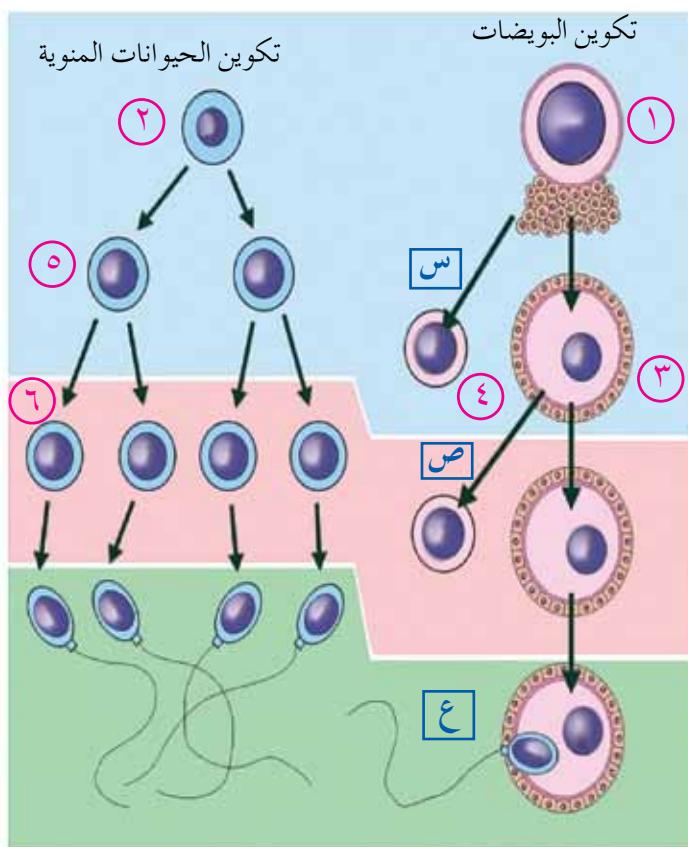


- ١ - ما أهمية فحص كلٌ من الخلايا البيضية الثانوية والحيوانات المنوية المستخدمة في تقنية الإخصاب الخارجي؟
- ٢ - في ما يتعلق بالتقنية التقليدية للإخصاب الخارجي والحقن المجهرى للبوopies، أجب عن السؤالين الآتيين:
 - قارن بين هاتين التقنيتين من حيث إجراءات تنفيذ كلٌ منها.
 - أي تقنيتي الإخصاب السابقتين يفضل استخدامها بعد استخلاص الحيوانات المنوية من الخصية؟ فسر إجابتك.

مؤسساتنا فخرنا

للاستزادة عن موضوع تقنيات عمليتي الإخصاب والحمل، زر الموقع الإلكتروني لمستشفى الملك المؤسس عبدالله الجامعي: www.kauh.jo

- ١ - اذكر ثلاثة فروق بين تكوين الحيوانات المنوية وتكوين البويلات.
- ٢ - حدد وظيفة كلٌ مما يأتي:
- خلايا سيرتولي الموجودة في الخصية.
 - الحبيبات القشرية الموجودة تحت الغشاء البلازمي للخلية البيضية الثانية.
- ٣ - يمثل الشكل (٤-٥) بعض خطوات عمليتي تكوين الحيوانات المنوية، وتكوين البويلات، ادرسه ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



الشكل (٤-٥) : بعض خطوات عمليتي تكوين الحيوانات المنوية، وتكوين البويلات.

- ما أسماء العمليات المشار إليها بالرموز: (س، ص، ع)؟
- ما أسماء الخلايا المشار إليها بالأرقام: (٢، ٣، ٤، ٦)؟
- ما عدد الكروموسومات في الخلايا المشار إليها بالرقمين: (١، ٥)؟
- ما المُحَفَّز إلى انقسام الخلية المشار إليها بالرقم (٣)؟

٤- وُضِّح دور الهرمونات في كلٌ من:

أ - طور الجسم الأصفر من دورة المبيض.

ب - طور الإفراز من دورة الرحم.

٥- ماذا يحدث في كل حالة ممّا يأتي:

أ - التحام الغشاء البلازمي للحيوان المنوي بالغشاء البلازمي للخلية البيضية الثانية.

ب - التصاق الكبسولة البلاستولية ببطانة الرحم.

٦- وُضِّح مبدأ عمل لصقات منع الحمل في تنظيم النسل.

١- لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة منها فقط صحيحة، حددتها:

(١) الأيونات التي تدخل العصبون مُسببةً إزالة استقطاب الغشاء البلازمي هي:

- أ** – الصوديوم. **ب** – الكلور.

- ج - البوتاسيوم. د - الفوسفات.

(٢) أي الآتية يلزم لفتح القنوات المستجيبة للمواد الكيميائية:

- أ** – زيادة تركيز أيونات الصوديوم.
ب – ارتباط الناقل العصبي.

جـ - زيادة تركيز أيونات البوتاسيوم . د - إزالة استقطاب الغشاء البلازمي .

(٣) يكون مقدار فرق جهد الغشاء البلازمي خلال فترة الجمود:

- .mV (٣٥) – أ .mV (صفر) – ب

.mV (φ , $-$) = ω .mV (ξ , $-$) = ω .

- أ - عصيون غير محاط بغمد مليئ، قطر محوره صغير.

ب - عصيون محاط بغمد مليء ، قطر محوه صغير .

د - عصون محاط بغمد مليء ، قطره محوه كيس .

تنظم الخطوط البرية وتنمية الـ فعـة و السـمـكـة فيـ و حـدـةـ

(٥) تنتظم الخيوط البروتينية الرفيعة والسميكه في وحدة تركيب وظيفية تسمى:

- أ** – لِسَفَاتُ عَضْلَيَّةٍ.
ب – خَوْطًا عَضْلَيَّةً.

جـ - قطعةً عضليةً.
د - خلةً عضليةً.

في أي المرة أحا يكون الجنين أكثر عرضة للإجهاض :

- أ - الأولى :** **ب - الثانية :**

جـ - **الثانية.**
د - **الثالثة.**

(٧) بناءً على نظرية الخيوط المنزلقة، تكشف موقع ارتباط رؤوس الميوسين بالأكتين عند:

- أ - ارتفاع مستوى الفوسفات.
- ب - ارتفاع مستوى (ATP).
- ج - ارتفاع مستوى الأستيل كولين.
- د - ارتفاع مستوى أيونات الكالسيوم.

(٨) التقنية المستخدمة في حال انعدام الحيوانات المنوية في السائل المنوي هي:

- أ - التقنية التقليدية للإخصاب الخارجي.
- ب - الحقن المجهرى للبويضات.
- ج - الزراعة المتقدمة للجنين.
- د - تجميد الأجنة.

(٩) مُحَفِّز الخلية البيضية الثانوية إلى استكمال انقسامها هو:

- ب - إنزيمات الحبيبات القشرية.
- د - الهرمونات الجنسية.
- أ - إمكانية رؤية الألوان جميعها، بالرغم من اقتصار حساسية المخاريط على ثلاثة ألوان منها.
- ب - منع شخص فصيلة دمه (A^+) التبرّع بالدم لشخص فصيلة دمه (B^-).
- ج - تحلل الجسم القطبي.
- د - اختراق حيوان منوي واحد طبقة الخلايا الحوصلية المحيطة بالخلية البيضية الثانوية.
- ه - زيادة سمك بطانة الرحم الداخلية.

٣ - تُستخدم بعض المواد في التخدير الموضعي في أثناء إجراء بعض العمليات الجراحية الصغرى للمرضى؛ إذ تعمل على منع دخول أيونات الصوديوم داخل محاور العصبونات الموجودة في المنطقة التي يُراد تخديرها موضعياً. ما أثر هذه المواد في نقل السائل العصبي في العصبونات الحسية؟ فسر إجابتك.

٤ - أعطِ سبباً لكلّ ممّا يأتي:

أ - تغيير العصبون من مرحلة الراحة إلى مرحلة نشوة جهد الفعل.

ب - عودة العصبون إلى مرحلة الراحة.

٥ - وضح وظيفة كلّ ممّا يأتي:

أ - العصي في عملية الإبصار.

ب - تحت المهداد في التنظيم الهرموني.

ج - الغدد المخاطية في عملية الشم.

٦ - ادرس الشكل (٥٥-٢) الذي يُبيّن

مستوى الكالسيوم وقوة انقباض العضلة خلال مدة زمنية معينة، ثم أجب عما يأتي:

(١) في أيِّ الأوقات يكون في العضلة أعلى مستوى لأيونات الكالسيوم تقريرياً:

أ - (١٠) ملي ثانية.

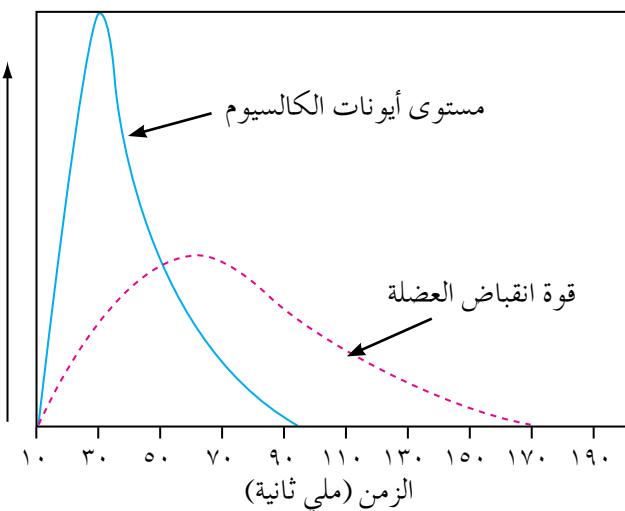
ب - (٥٠) ملي ثانية.

ج - (٣٠) ملي ثانية.

د - (٧٠) ملي ثانية.

(٢) اعتماداً على الشكل، أيُّ العبارات الآتية صحيحة:

أ - ليس لأيونات الكالسيوم دور في انقباض العضلة.



الشكل (٥٥-٢): العلاقة بين مستوى لأيونات الكالسيوم وقوة انقباض العضلة.

ب - يتحرر أكبر مقدار من أيونات الكالسيوم من مخازنها بعد انتهاء انقباض العضلة.

ج - يتحرر أكبر مقدار من أيونات الكالسيوم من مخازنها قبل أن تكون قوة انقباض العضلة في أقصاها.

د - يتحرر أكبر مقدار من أيونات الكالسيوم من مخازنها عندما تكون قوة انقباض العضلة في أقصاها.

٧ - وُضِّح أثر كلٍّ مما يأتي في عمل الجهاز العصبي المركزي:

أ - الماريغوانا. ب - الكوκائين. ج - الهايروين.

٨ - وُضِّح بمخطط سهمي كيف يُؤثِّر هرمون ستيرويدي في الخلية الهدف.

٩ - يُظَهِّر الجدول الآتي خمس مواد موجودة في الدم الذي يصل الكلية في الوحدة الأنبوية الكلوية، وفي البول (جميع القيم غ/يوم):

المادة	الدم الواصل إلى الكلية	الوحدة الأنبوية الكلوية	البول
يوريا	٥٤	٢٤	٣٠
غلوکوز	١٦٢	١٦٢	٠
حموض أمينية	٠,٨	٠,٨	٠
أملاح البوتاسيوم	٢٩,٦	٢٧,٦	٢
بروتين	٢	٠	٠

أ - أيُّ المواد انتقلت من الدم إلى الوحدة الأنبوية الكلوية؟

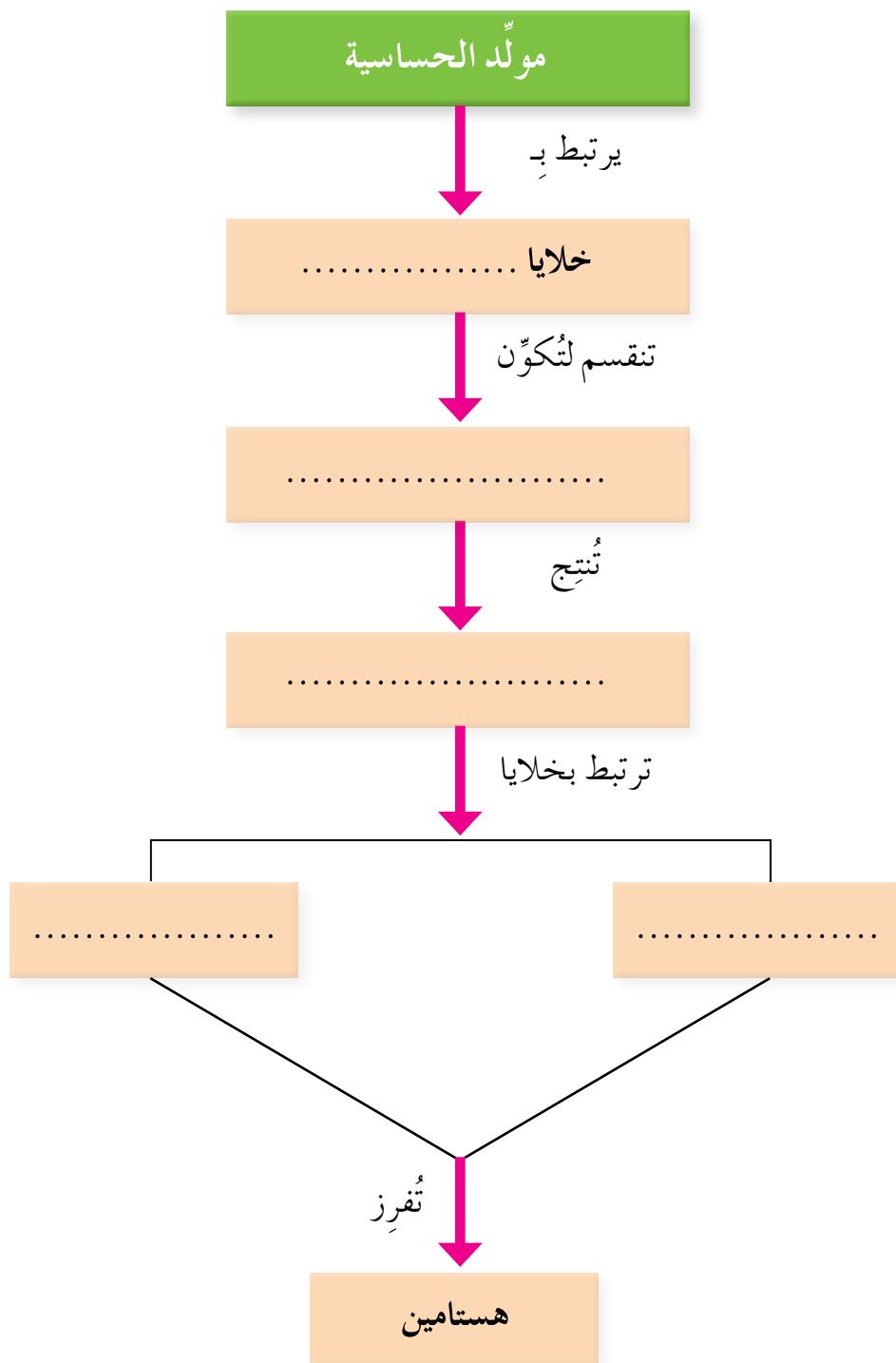
ب - أيُّ عمليات تكوين البول تمثل انتقال هذه المواد إلى الوحدة الأنبوية الكلوية؟

ج - أيُّ المواد المذكورة أُعيد امتصاصها؟

د - فسّر نتيجة البروتين.

١٠ - نَظَمَ مخططاً مفاهيمياً توضِّح فيه الاستجابة الخلوية.

١١- أكمل الشكل (٥٦-٢) الذي يمثل تفاعل الحساسية الأنفية:

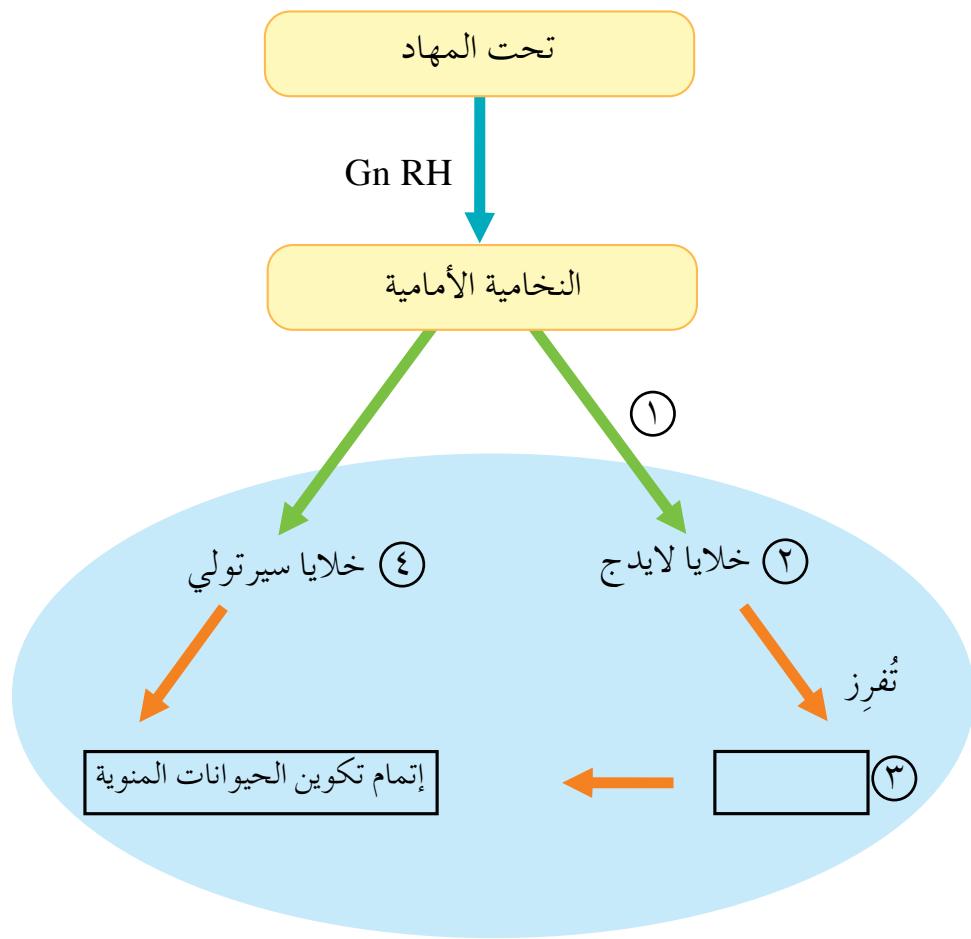


الشكل (٥٦-٢): مخطط يمثل تفاعل الحساسية الأنفية.

١٢- قارن بين وسيلي تنظيم النسل: الكبسولات الصغيرة التي تُزرَع تحت الجلد، ولصقات منع الحمل من حيث:

أ - فاعلية كلٌّ منها.
ب - نوع الهرمونات في كلٍّ منها.

١٣- يُمثل الشكل (٥٧-٢) التنظيم الهرموني لعملية تكوين الحيوانات المنوية:

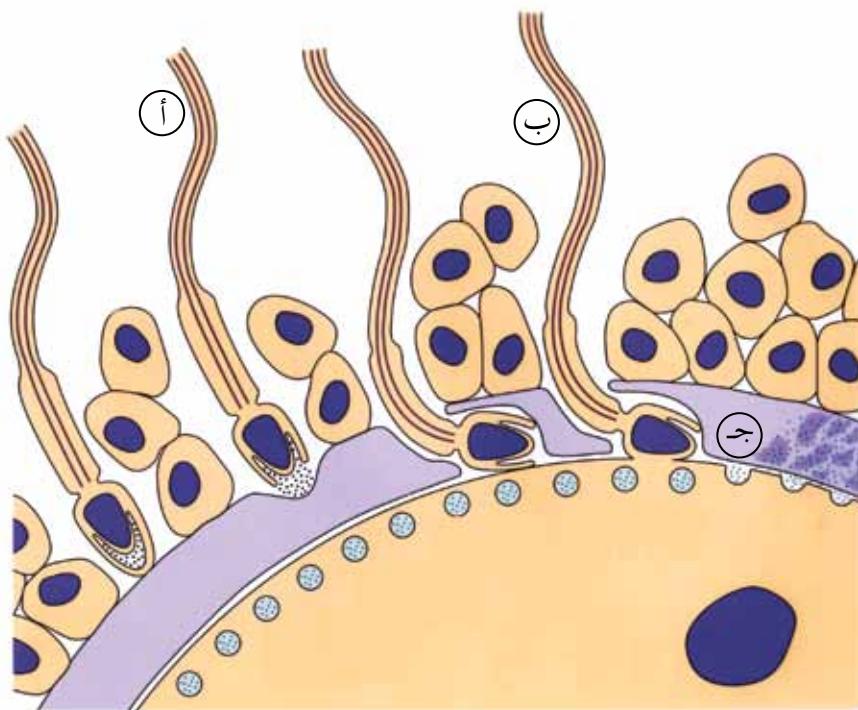


الشكل (٥٧-٢): التنظيم الهرموني لعملية تكوين الحيوانات المنوية.

أ - ما أسماء الهرمونات المشار إليها بالأرقام: (١، ٣)؟
ب - ما وظائف الخلايا المشار إليها بالرقمين: (٤، ٢) في تكوين الحيوانات المنوية؟

٤- ما الوظائف التي تؤديها المشيمة؟

١٥- ادرس الشكل الآتي الذي يُبيّن مراحل عملية الإخصاب، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



الشكل (٥٨-٢): مراحل عملية الأخصاب.

- أ - ماذا تمثل كل من المراحل: (أ)، (ب)، (ج)؟
- ب - ماذا يسمى الجزء في الحيوان المنوي الذي يفرز إنزيمات هاضمة خلال اختراق الخلية البيضية الثانوية؟
- ج - في أي مرحلة الإخصاب تكمل الخلية البيضية الثانوية الانقسام المنصف؟ ماذا يتبع من انقسامها؟

استشارة وراثية (Genetic Counseling): استشارة طبيب متخصص في الأمراض الوراثية؛ إما للكشف عن احتمالية إنجاب أفراد مصابين باختلالات وراثية، وإما لتشخيص الأفراد الذين يُشتبه في وجود متلازمة وراثية لديهم؛ وذلك بعمل فحوص تثبت صحة التشخيص.

أليل (Allele): أحد أشكال جين ما يتحكم في صفة معينة، وقد يكون سائداً أو متمنحاً.
إنزيم بلمرة (DNA) المتحمل للحرارة (Taq DNA Polymerase): إنزيم يستخدم في بناء سلسلة مكملة لسلسلة (DNA) الأصلية في تقاعلات إنزيم البلمرة المتسلسل (PCR).

إنزيمات القطع المحدد (Restriction enzymes): إنزيمات متخصصة في قطع (DNA)، تُتجهها أنواع عدّة من البكتيريا، ويُستخدم بعضها في تكنولوجيا الجينات.

بصمة (DNA Finger print): تطبيق يستخدم في معرفة تسلسل النيوكليوتيدات لدى الشخص في مناطق محددة من الجين.

بلازميد (Plasmid): جزيء (DNA) حلقي يوجد في بعض سلالات البكتيريا، ويتميز بقدرته على التضاعف ذاتياً.

تنوع وراثي (Genetic Diversity): تنوع في الخصائص الموروثة للكائنات الحية قد ينبع من حدوث عبور جيني.

جسم مضاد (Antibody): بروتين تُتجه الخلايا البلازمية في الجسم؛ استجابةً لوجود مولّد ضد معين بغرض تثبيطه.

جهاز عصبي ذاتي (Autonomic Nervous System): جزء من الجهاز العصبي الطرفي، يُنظم عمل أجهزة الجسم اللاإرادية، وينقسم إلى جهازين متضادين يعملان على حفظ الاتزان في الجسم، هما: الجهاز العصبي الودّي، والجهاز العصبي شبه الودّي.

جهد الراحة (Resting potential): فرق جهد غشاء العصبون عندما لا يكون معرضاً للمؤثر مناسب، وتبعد قيمته في كثير من الخلايا الحيوانية (-٧٠) ملي فولت.

جينوم بشري (Human genome): تسلسل النيوكليوتيدات الكامل في كل كروموسوم من كروموسومات الخلية البشرية الواحدة.

خلايا شعرية (Hair cells): مستقبلات الصوت التي توجد في عضو كورتي بالأذن الداخلية، والتي تتميز بوجود أهداب على أطرافها الحرّة.

خلايا قاتلة طبيعية (Natural killer cells): خلايا ليمفية، تمتاز بقدرتها على تمييز الخلايا السرطانية والخلايا المصابة بالفيروسات وقتلها.

دورة الرحم (Uterine Cycle): سلسلة من التغيرات الدورية التي تحدث في بطانة الرحم؛ استجابةً للتغيرات الدورية في مستوى هرموني إستروجين وبروجسترون اللذين يُفرِزُهما المبيض.

سيادة مشتركة (Codominance): نمط وراثي يحدث عندما لا يسود أليل على آخر، ويظهر تأثيرهما معاً في الطراز الشكلي للકائن الحي.

صفة متعددة الجينات (Polygenic trait): صفة تنتج من جينات عدّة؛ إذ ينجم عن كل جين أثر في الطراز الشكلي للکائن الحي. ومن أمثلتها صفة لون الجلد في الإنسان.

صفة مرتبطة بالجنس (Sex-linked trait): صفة يتحكم فيها جين محمول على الكروموسوم الجنسي (X)، أو على الكروموسوم الجنسي (Y)، مثل: صفة عمى الألوان، وصفة نزف الدم.

طفرات جينية (Gene mutations): طفرات تنتج من التغيير في تسلسل القواعد النيتروجينية على مستوى الجين، وهي نوعان: الطفرة الموضعية، وطفرة الإزاحة.

طفرات كروموسومية (Chromosomal mutations): طفرات تنتج من التغيير في عدد الكروموسومات أو تركيبها.

طفرة الإزاحة (Frameshift mutation): طفرة تحدث نتيجة حذف زوج أو عدّة أزواج من القواعد النيتروجينية من الجين، أو إضافة زوج أو عدّة أزواج من القواعد النيتروجينية إلى الجين. ويُمكن تأثير هذا النوع من الطفرات في أنها تُحدِث إزاحة للكودونات في جزيء (m-RNA) المنسوخ.

طفرة التكرار (Duplication): طفرة تنتج من قطع جزء من الكروموسوم، واندماج الجزء المقطوع بالكروموسوم المماثل له، فيصبح لدى الكروموسوم المماثل جزء مكرر إضافي.

طفرة الحذف (Deletion): طفرة تحدث عند إزالة جزء من الكروموسوم، والتحام القطع المتبقية من الكروموسوم معًا؛ ما يُسَبِّب نقصًا في طول الكروموسوم يؤدي إلى حدوث نقص في عدد الجينات التي يحملها.

طفرة القلب (Inversion): طفرة تحدث عند انفصال قطعة من الكروموسوم، وارتباطها مرة أخرى بصورة مقلوبة من الجهة المعاكسة لجهة انفصالتها؛ ما يؤدي إلى عكس ترتيب الجينات في هذا الجزء من الكروموسوم.

طفرة تبديل الموقع (Translocation): طفرة تحدث عند قطع جزءٍ طرفيٍّ من الكروموسوم، ثم انتقاله إلى كروموسوم آخر غير مماثل له؛ ما يؤدي إلى تبديل موقع الجينات على الكروموسومات غير المتماثلة.

طفرة غير معتبرة (Nonsense mutation): تغيير كودون إلى كودون وقف الترجمة، فتُنْتج الخلية بروتينًا غير مكتمل (ناقصًا) لفقدانه مجموعة من الحمض الأميني الداخلة في تركيبه.

طفرة مخطئة التعبير (Missense mutation): تغيير كودون إلى كودون يُترَجم إلى حمض أميني آخر يختلف عن الحمض الأميني للكودون الأصلي، مُحدِثًا تغييرًا في التعبير الجيني. ومن الأمثلة على الأمراض التي تنشأ عن هذه الطفرة: الأنيميا المنجلية.

طفرة موضعية (Point mutation): طفرة تحدث في موقع محدد من الجين؛ وذلك باستبدال زوج أو بعضة أزواج من القواعد النيتروجينية في جزيء DNA، وهو ما يؤدي إلى تغيير كودون أو بضعة كودونات في جزيء mRNA المنسوخ.

عصي (rods): مستقبلات الضوء في شبكة العين التي تحتوي على صبغة رودوبسين، والتي تتأثر بالضوء الخافت، وتُمْكِن الإنسان من الإبصار فقط بالأبيض والأسود.

طفرة صامتة (Silent mutation): تغيير كودون إلى كودون يترجم إلى الحمض الأميني نفسه عند بناء البروتين؛ فلا يطرأ تغيير على البروتين الناتج.

عبور جيني (Genetic Crossing over): تبادل أجزاء من المادة الوراثية بين الكروماتيدات غير الشقيقة في زوج الكروموسومات المتماثلة في أثناء الطور التمهيدي (I) من الانقسام المنصف.

عملية الإخصاب (Fertilization): عملية اتحاد (أو اندماج) نواة الخلية البيضية الثانوية مع نواة الحيوان المنوي بغرض تكوين البوياضة المخصبة.

غير متماثل الأليلات (Heterozygous): كائن يحمل أليلين مختلفين لصفة محددة.

قانون التوزيع الحر (Law of Independent Assortment): أحد قوانين مندل التي تنص على انفصال أليلي الصفة الوراثية وتوزعهما بصورة مستقلة عن أليلات الصفات الأخرى عند تكوين الجاميات في أثناء عملية الانقسام المنصف.

كاربامينوهيموغلوبين (Carbaminohemoglobin): مركب ينبع من اتحاد ثاني أكسيد الكربون مع جزيء هيموغلوبين.

كودون (Codon): وحدة مكونة من ثلاثة نيوكلريوتيدات في حمض (m-RNA)، وهي تُحدد حمضًا أمينيًّا معيناً.

ليف عضلي (Myofibril): وحدة مؤلفة لليف عضلي، يتكون من نوعين من الخيوط البروتينية: خيوط سميكة تحتوي بروتين ميوسين، وأخرى رفيعة تحتوي بروتين أكتين.

مخاريط (Cones): مستقبلات الضوء التي تتركز في البقعة المركزية على الشبكية، والتي تحتوي على صبغة فوتوبسين، وتنبه للإضاءة الشديدة، فتُمكِّن الإنسان من إبصار الألوان المختلفة.

مخطط سلالة (Pedigree): مخطط يُبيّن توارث صفة ما من الآباء إلى الأبناء، وهو يستخدم في توقع الطرز الجينية والشكلية للأفراد الناتجة من جيل إلى آخر.

مستوى العتبة (Threshold): مقدار فرق جهد الغشاء البلازمي للعصبون الذي ينشأ نتيجة وصول مُنبِّهٍ إليه ليتَكُونَ بعده جهد الفعل. ويبلغ مقدار جهد العتبة في بعض العصبوнаـت (٥٥) ملي فولت.

مشيمة (Placenta): تركيب يتَكُونُ في الجزء العلوي من الرحم في أثناء عملية الحمل، ويصل الأم بجنيـنها، ويوفر للجنين التغذية، والتنفس، والمناعة، والتخلص من الفضلات، فضلاً عن حمايتها، وثبتـيت الحمل؛ وذلك بإفرازه هرمونـي الإستروجين والبروجسترون.

ناقل عصبي (Neurotransmitters): مادة كيميائية تعمل على نقل السـيـال العصبي من عصبـون إلى آخر يليـه، وتُـقـرـز من الأزرار التـشـابـكـية المـوـجـودـة في النـهـاـيـات العـصـبـيـة لـلـعـصـبـوـنـ قـبـلـ التـشـابـكـيـ، لـتـرـتـبـطـ بـقـنـوـاتـ آـيـوـنـاتـ خـاصـةـ بـهـاـ، مـسـبـبـةـ دـخـولـ آـيـوـنـاتـ موـجـبةـ إـلـىـ الغـشـاءـ بـعـدـ التـشـابـكـيـ؛ ما يـتـسـبـبـ فيـ إـزـالـةـ الـاسـقـطـابـ الـمـوـضـعـيـ، وـانتـقـالـ جـهـدـ الـفـعـلـ فـيـ الغـشـاءـ بـعـدـ التـشـابـكـيـ.

نقل وثي (Saltatory conduction): طريقة انتقال السـيـال العـصـبـيـ فيـ العـصـبـوـنـ المحـاطـ بـغـمـدـ مـلـينـيـ منـ عـقـدـةـ رـانـفـيرـ إـلـىـ أـخـرـىـ مـجاـوـرـةـ عـلـىـ طـوـلـ العـصـبـوـنـ.

هرمونـات (Hormones): مواد كـيمـيـائـيةـ تـفـرـزـهاـ غـدـدـ أوـ خـلـاـيـاـ مـتـخـصـصـةـ، تـعـملـ عـلـىـ تـنـظـيمـ أـنـشـطـةـ خـلـاـيـاـ أـخـرـىـ فـيـ الـجـسـمـ.

هرمونـمانـعـ لـإـدرـارـ الـبـولـ (ADH): هـرـمـونـ تـفـرـزـهـ النـخـامـيـةـ الـخـلـفـيـةـ عـنـدـ اـرـتـفـاعـ الضـغـطـ الـأـسـمـوزـيـ لـلـدـمـ، وـيـعـمـلـ عـلـىـ زـيـادـةـ نـفـاذـيـةـ الـقـنـاـةـ الـجـامـعـةـ وـالـجـزـءـ الـأـخـيـرـ مـنـ الـأـنـبـوـةـ الـمـلـتوـيـةـ الـبـعـيـدةـ لـلـمـاءـ، مـسـبـبـاـ انـخـفـاضـ ضـغـطـ الدـمـ.

هندسة الجـينـات (Genetic engineering): أحدـ مـجـالـاتـ تـكـنـوـلـوـجـياـ الـجـينـاتـ تـتـضـمـنـ تعـديـلـ تـرـكـيبـ (DNA)، فـيـنـتـجـ (DNA) مـعـدـلـ جـينـيـاـ يـمـكـنـ اـسـتـخـدـمـهـ فـيـ إـكـسـابـ كـائـنـاتـ حـيـةـ صـفـاتـ مـرـغـوبـةـ.

قائمة المراجع

أولاً: المراجع العربية

- ١ - شتيوي العبدالله، علم وظائف الأعضاء، عمان، ط١، دار المسيرة للنشر والتوزيع، م.٢٠١٢.
- ٢ - عادل محمد المصري، التشوهات والأمراض الوراثية في الإنسان، منشأة المعارف، م.٢٠٠٩.
- ٣ - مها علي فهمي صدقى، أساسيات علم الوراثة/ الصفات والأمراض الوراثية، دار الفكر العربي، م.٢٠١٣.

ثانياً: المراجع الأجنبية

- 1 - Bolar K., Hoffman, AR., Maneatis T., Lippe B., **Long-term safety of recombinant human growth hormone in Turner syndrome**, J. Clin. Endocrinol. Metab. 93 (2): 344–51. 2008.
- 2 - Boyle, Mike and Senior, Kath, **Biology**, Collins, 3rd edition, 2008.
- 3 - Campbell, Neil A. and others, **Biology a global approach**, Pearson education L^{td}., 10th edition, 2015.
- 4 - Clegg, C.J., **Cambridge International Level Biology**, Hodder education, a Hachette UK., company, London, 2014.
- 5 - Farlow, Wilfond, **The experience of families with children with trisomy 13 and 18 in social networks**. Pediatrics 130 (2): 293–298. , 2012.
- 6 - Ferguson-Smith, Malcolm A., **Putting medical genetics into practice**. Annual Review of Genomics and Human Genetics 12: 1–23. 2011.
- 7 - Firth, Helen V., Hurst, Jane A., Hall, Judith G., **Clinical genetics**. Oxford, Oxford University Press, pp. 498–499, 2005.

- 8 - Fox, Stuart Ira, **Human Physiology**, McGraw-Hill, 12th edition,2011.
- 9 - Goodenough, Judith and McGuire, Betty,A., **Biology of Humans**, Pearson Education, 4th edition,2012.
- 10- Hall,E., John, Guyton and Hall, **Textbook of Medical Physiology**, Saunders, 12th edition, 2010.
- 11- Jones,Mary, Jones Geoff, **IGSE Biology**, Course book, Cambridge University press, 7th printing, 2012.
- 12- Klug, William S., and others, **Concepts of Genetics**, Pearson, 9th edition.
- 13- Levine Miller, **Biology**, Pearson Prentice Hall, 2008.
- 14- Mackean, D. G., Hayward, Dave, **Cambridge IGCSE Biology**, Hodder education, 3rd edition, 2014.
- 15- Mader,Sylvia,S. and Windelspecht,Michael, **Human Biology**, McGraw-Hill, 12th edition,2012.
- 16- Mc Dougal, Holt and Nowicki, Stephen, **Biology**, Houghton Mifflin Harcourt Publishing company, 2012.
- 17- Milunsky, Jeff M., "Prenatal diagnosis of sex chromosome abnormalities". In Milunsky, Aubrey; Milunsky, Jeff M., (eds.), **Genetic disorders and the fetus: diagnosis, prevention and treatment** 6th edition, 2010. Oxford: Wiley-Blackwell. pp. 273–312.
- 18- Postlethwait, John H. and Hopson, Janet L., **Modern biology**, Holt, Rinehart and Winston, 2009.
- 19- Rinehart, Holt and Winston, **Life Science**, A Harcourt education company, 2007.
- 20- Walpole Brenda, Merson-Davies Ashby and Dann Leighton, **Biology for the Ib diploma**, Cambridge university press, 3rd printing, 2013.

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيْمِ
تَعَالٰى