

# العلوم الحياتية

الصف الثاني عشر

العلوم الحياتية

الصف الثاني عشر

للفروع العلمي والزراعي والاقتصاد المنزلي

٢٠١٩م / ١٤٤٠هـ

للفروع  
العلمي والزراعي والاقتصاد المنزلي

ISBN: 978-9957-84-775-3



9 789957 847753

# العلوم الحياتية

## الصف الثاني عشر

### للفروع العلمي والزراعي والاقتصاد المنزلي

الناشر  
وزارة التربية والتعليم  
إدارة المناهج والكتب المدرسية

يسر إدارة المناهج والكتب المدرسية استقبال آرائكم وملحوظاتكم على هذا الكتاب عن طريق العناوين الآتية:

هاتف: ٨-٥/٤٦١٧٣٠٤، فاكس: ٤٦٣٧٥٦٩، ص.ب: ١٩٣٠، الرمز البريدي: ١١١١٨

أو بواسطة البريد الإلكتروني: E-mail: 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 ١٧/١/٢٠١٧م، بدءاً من العام الدراسي ٢٠١٧م/٢٠١٨م.

## 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 الديسي  
أ. د. منار فايز العتوم  
روناهي "محمد صالح" الكردي (مقرراً)  
أ. د. سامح محمد التميمي (رئيساً)  
د. أمل موسى زهران  
د. زايد حسن عكور

وقام بتأليفه كل من:

عطاف جمعة المالكي  
محمد أحمد أبو صيام  
عطاف عايش الهباهبة  
د. نبيل عارف حداد  
نهاد عبد الفتاح صالح

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

التصميم : عائد سمور، زياد مهيار  
التحرير اللغوي: نضال أحمد موسى  
التحرير الفني : نرمين داود العزة  
الرسوم : خلدون منير أبوطالب

الإنتاج : د. عبد الرحمن سليمان أبو صعليك

دقق الطباعة وراجعها: روناهي "محمد صالح" الكردي

الموضوع الصفحة

المقدمة ..... ٥

## الفصل الدراسي الأول

### الوحدة الأولى: الوراثة

١

الفصل الأول: وراثة الصفات ..... ٩

الفصل الثاني: الطفرات وتأثيراتها ..... ٣٥

الفصل الثالث: تكنولوجيا الجينات ..... ٥٢

أسئلة الوحدة ..... ٧١



## الفصل الدراسي الثاني

### الوحدة الثانية: أنشطة فسيولوجية في جسم الإنسان

٢

الفصل الأول: الإحساس والاستجابة والتنظيم

في جسم الإنسان ..... ٧٩

الفصل الثاني: نقل الغازات، وآلية عمل الكلية،

والاستجابة المناعية ..... ١١١

الفصل الثالث: التكاثر عند الإنسان ..... ١٤٣

أسئلة الوحدة ..... ١٦١

مسرد المصطلحات ..... ١٦٨





الحمد لله رب العالمين، والصلاة 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 التعلم والتعليم، ومواكبة التطور العلمي المتسارع الذي يشهده العالم.

يشتمل الكتاب على وحدتين، هما: وحدة الوراثة التي تتضمن الفصول الآتية: وراثة الصفات، والطفرة 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، والتكاثر عند الإنسان.

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

وتعميقاً لمبادئ الصحة الإيجابية التي يتعيّن على الطلبة في هذه المرحلة العمرية وعيها وإدراكها جيدًا، فقد أُفرد موضوع التكاثر عند الإنسان في فصل مستقل، بحيث يتعرّف الطلبة آلية التكاثر، وبعض الطرائق التي يمكن اتباعها في تنظيم النسل.

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

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



# الفصل الدراسي الأول

## الوراثة

قال الله تعالى: ﴿اللَّهُ الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ الْأَرْضَ قَرَارًا وَالسَّمَاءَ بِنَاءً وَصَوَّرَكُمُ فَأَحْسَنَ صُورَكُمْ﴾.  
سورة غافر، الآية (٦٤).



● كيف تُؤثر 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؛ ما يُعدُّ تطبيقًا عمليًا لمبادئ علم الوراثة التي أرسى دعائمها العالم غريغور مندل (Gregor Mendel) عن طريق التجارب التي أجراها على نبات البازيلاء.

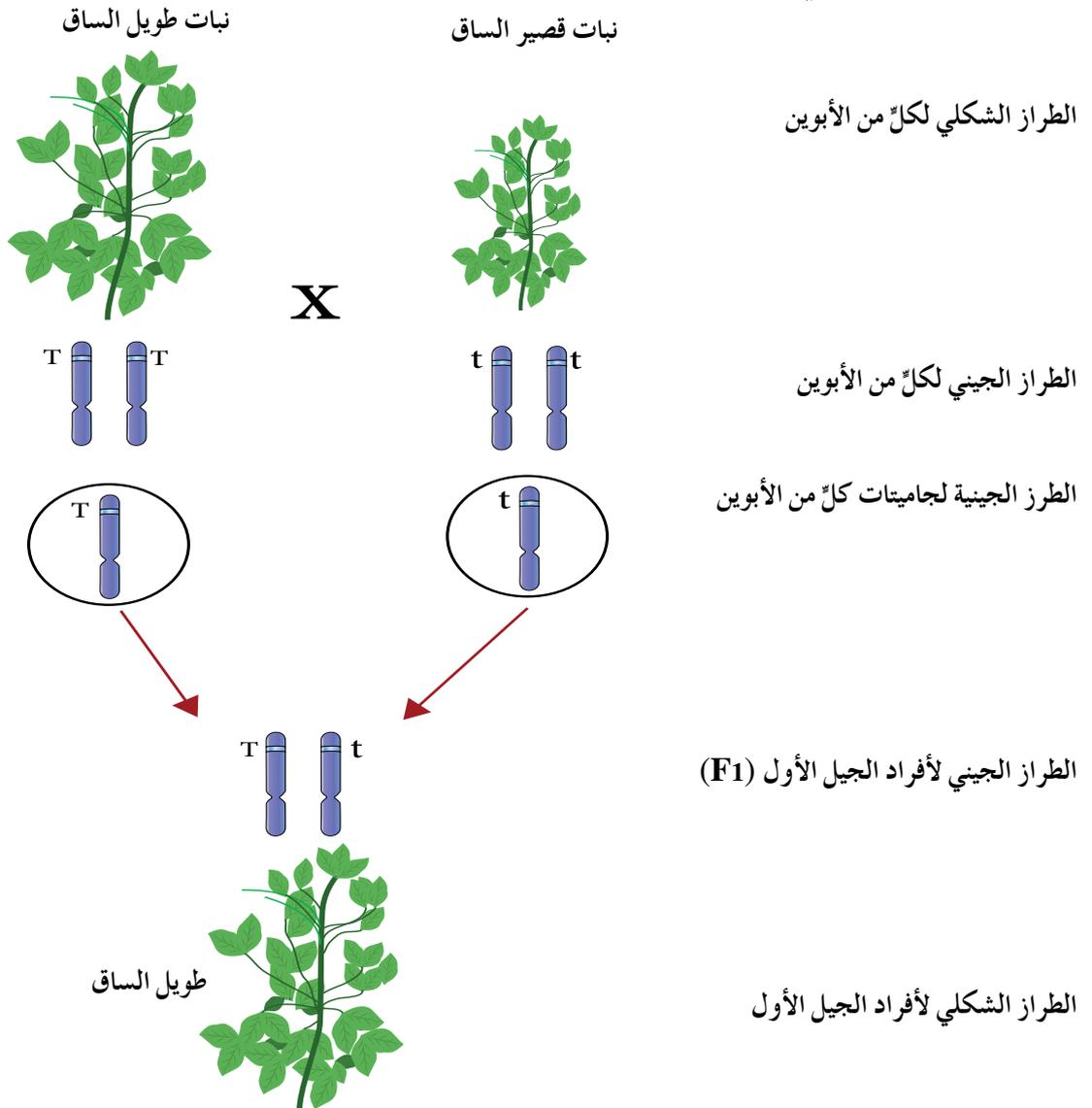
درست سابقًا كيفية توارث صفة وراثية واحدة، فكيف تُتوارث صفتان وراثيتان معًا؟ وهل توجد أنماط وراثية مغايرة لنمط توارث الصفات المنдлиّة؟ ستمكن من الإجابة عن هذين السؤالين وغيرهما بعد دراستك هذا الفصل.

يتوقع منك أن تكون قادرًا على أن:

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

تعرفت في سنوات سابقة أن الجينات تتحكم في ظهور الصفات الوراثية، وستتعرف الآن في هذا البند الذي يوضح نمط توارث الصفات المنديلية أن لكل جين شكلين، يُسمى كل منهما أليلاً (allele)، وقد يكون الأليل سائداً، ويُرمز إليه بحرف كبير (capital letter)، أو متنحياً، ويُرمز إليه بحرف صغير (small letter)، وقد تكون الصفة نقية (متماثلة الأليلات)، أو غير نقية (غير متماثلة 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 يبين 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) جميعًا طويلي الساق؟

عند تلقيح نبات بازلاء طويل الساق متمائل الأليلات (TT) مع نبات قصير الساق (tt)، ينتقل إلى كل فرد من أفراد الجيل الجديد أليل لصفة طول الساق من أحد الأبوين، وأليل لهذه الصفة من الآخر، ويكون الطراز الجيني لأفراد الجيل الأول جميعًا (Tt)، والطراز الشكلي طويل الساق؛ إذ يظهر تأثير أليل طول الساق السائد، ولا يظهر تأثير أليل قصر الساق المتنحي، في ما يُسمّى **مبدأ السيادة التامة**. توصل مندل أيضًا 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).

لتتعرف صفات مندلية أخرى في نبات البازلاء لاحظ الشكل (١-٢).

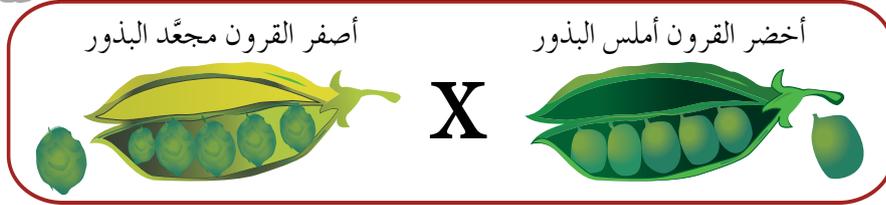
الصفة	لون الزهرة	لون البذرة	شكل البذرة	لون القرن	شكل القرن	موقع الأزهار	طول الساق
الصفة السائدة	أرجواني	أصفر	أملس	أخضر	ممتلئ	محوري	طويل
الصفة المتنحية	أبيض	أخضر	مجعد	أصفر	مجعد	طرفي	قصير

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

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

### قانون التوزيع الحر

لَّقَح مندل في إحدى تجاربه نباتات بازلاء خضراء القرون ملساء البذور متمائلة الأليلات (للصفتين) مع نباتات بازلاء صفراء القرون مجعّدة البذور. فإذا علمت أن أليل القرون الخضراء (G) سائد على أليل القرون الصفراء (g)، وأليل البذور الملساء (R) سائد على أليل البذور المجعّدة (r)، فما نتائج عملية التلقيح هذه؟ لاحظ الشكل (١-٣).



ggrr

GGRR

الطراز الشكلي لكلّ من الأبوين

gr

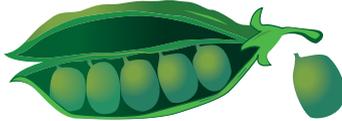
GR

الطراز الجيني لكلّ من الأبوين

الطراز الجيني لجاميئات كلّ من الأبوين

GgRr

أخضر القرون أملس البذور



الطراز الجيني لأفراد الجيل الأول (F1)

الطراز الشكلي لأفراد الجيل الأول (F1)

GgRr

GgRr

الطراز الجيني لكلّ من أبوي الجيل الثاني

GR Gr gR gr

GR Gr gR gr

الطرز الجينية لجاميئات كلّ من أبوي الجيل الثاني

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

الطرز الجينية والشكلية لأفراد الجيل الثاني (F2) مُمثّلة بمربع بانيت.

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

لاحظ مندل أن أفراد الجيل الأول الناتجة من التلقيح كانت خضراء القرون ملساء البذور. وعند تلقيح أفراد الجيل الأول ذاتيًا، ظهرت النتائج في الجيل الثاني بالنسبة العددية (٩:٣:٣:١) على النحو الآتي: (٩ خضراء القرون ملساء البذور): (٣ خضراء القرون مجعّدة البذور): (٣ صفراء القرون ملساء البذور): (١ أصفر القرون مجعّد البذور)، لاحظ النتائج المُمثّلة بمربع بانيت في الشكل (١-٣). وبذلك يكون احتمال ظهور الصفات الآنف ذكرها في الجيل الثاني على النحو الآتي:

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

أظهرت نتائج التجارب التي أجراها مندل انفصال الكروموسومات وما تحمله من أليلات في أثناء عملية الانقسام المنصّف، وتوزّعها على الجاميتات توزّعًا مستقلًّا بعضها عن بعض؛ إذ ليس شرطًا أن تظهر أليلات الصفات السائدة معًا، أو المتنحية معًا في الجاميتات الناتجة، في ما يُعرّف **بقانون التوزيع الحر** (Law of Independent Assortment) الذي ينص على الآتي: «ينفصل أليل كل صفة وراثية، ويتوزعان بصورة مستقلة عن أليلات الصفات الأخرى عند تكوين الجاميتات في أثناء عملية الانقسام المنصّف». وبهذا يُعدّ التوزيع الحر أحد أهم مصادر التنوع الوراثي في الكائنات الحية.

## سؤال ؟

١ - في أحد أنواع القوارض (Guinea pig)، يكون أليل الشعر الأسود (B) سائدًا على أليل الشعر الأبيض (b)، وأليل الشعر الأملس (S) سائدًا على أليل الشعر المجعّد (s). فإذا تزوج فرد أسود أملس الشعر غير متماثل الأليلات (للصفتين) مع آخر أبيض مجعّد الشعر، فأجب عن السؤالين الآتيين:

- ما الطرز الجينية للأبوين؟
- ما الطرز الشكلية لأفراد الجيل الأول؟

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

(٢٥) نبات بازلاء 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 المندلية

تتوارث الكثير من الصفات الوراثية بأنماط تختلف عن الوراثة المندلية، منها:

#### ١ الصفات ذات السيادة المشتركة والأليلات المتعددة

وجد العلماء أن بعض الصفات يتحكم فيها أكثر من أليلين (multiple alleles). فمثلاً، يتحكم 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.

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

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

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

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

عند اجتماع الأليلين السائدين ( $I^B, I^A$ )، يظهر تأثيرهما معاً في الطراز الشكلي، ولا يختفي تأثير أيٍّ منهما، وتكون فصيلة الدم (AB)، ويُسمّى هذا النمط من التوارث **السيادة المشتركة** (codominance). أمّا في حال غياب الأليلين ( $I^B, I^A$ ) فلا يظهر على سطوح خلايا الدم الحمراء أيٌّ من مولدَي 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



- ١- تزوّج شاب فصيلة دمه (A) (غير متماثل الأليلات) بفتاة فصيلة دمها (AB). اكتب:
  - الطراز الجيني لفصيلة دم كلٍّ من الأبوين.
  - الطرز الجينية لجاميتات الأبوين.
  - الطرز الجينية والشكلية لفصائل دم الأبناء المحتمل إنجابهم.
- ٢- تزوّج رجل طرازه الجيني لفصيلة الدم ( $I^B i$ ) بفتاة طرازها الجيني ( $I^A i$ ). ما فصائل الدم المتوقعة لأبنائهما؟

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

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 غُمقًا، ولذلك تُسمَّى الجينات المتعددة أيضًا **الجينات المتراكمة (cumulative genes)**، وهذا يُفسِّر إنتاج طرز شكلية متفاوتة متدرجة في بعض الصفات.

### سؤال



- ١ - رتِّب الأفراد ذوي الطرز الجينية (AABbCC، AABbcc، aaBbcc، AaBbCC) من الأعمق إلى الأفصح لونًا للبشرة.
- ٢ - اكتب الطراز الجيني لفرد يُشبه فردًا آخر من حيث لون البشرة طرازه الجيني (AABbCc).

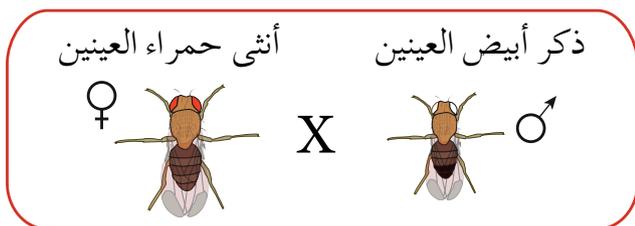
### الصفات المرتبطة بالجنس

درست سابقًا أن جنس الإنسان يتحدد بنوعين من الكروموسومات الجنسية (X)، (Y)، وأن الطراز الكروموسومي الجنسي للأنثى هو (XX)، حيثُ تنتج جاميتات تحوي الكروموسوم الجنسي (X)، وأن الطراز الكروموسومي الجنسي للذكر هو (XY)، حيثُ ينتج نوعان من الجاميتات، نصفها يحتوي على الكروموسوم الجنسي (X)، ونصفها الآخر يحتوي على الكروموسوم الجنسي (Y).

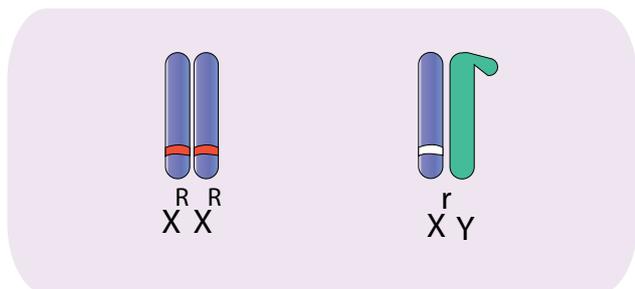
تُحمل بعض الجينات على الكروموسوم الجنسي (X)، ويُحمل عدد قليل من الجينات على الكروموسوم الجنسي (Y)، وتُسمَّى الصفات التي تُحمل جيناتها على الكروموسومات

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

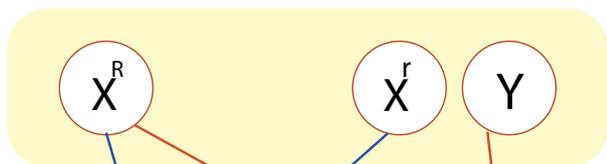
تمتاز ذبابة الفاكهة الطبيعية بعينين حمراوين، وقد لاحظ العالم توماس مورغان (Thomas Morgan) في إحدى تجاربه على ذبابة الفاكهة ظهور ذكور ذبابات فاكهة بيضاء العينين. ولدراسة توارث هذا الطراز الشكلي الجديد، زواج مورغان بين إناث حمراء العينين (متماثلة الأليلات)، وذكور بيضاء العينين، فكانت الطرز الشكلية لأفراد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



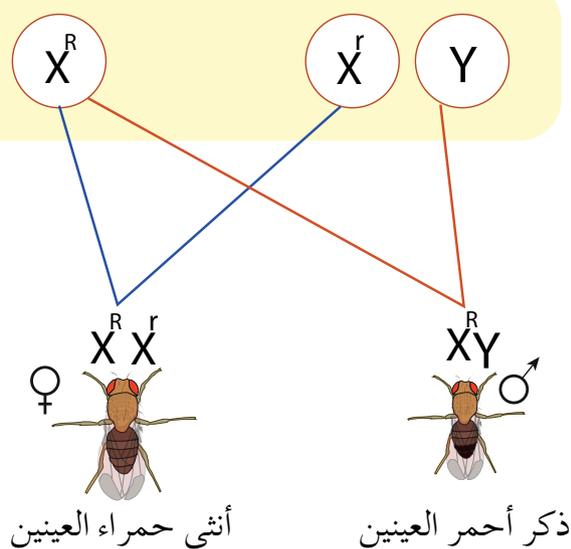
الطرز الشكلي لكل من الأبوين



الطرز الجيني لكل من الأبوين



الطرز الجينية لجاميتات كل من الأبوين

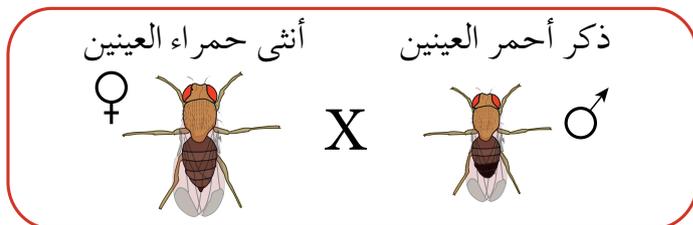


الطرز الجينية لأفراد الجيل الأول (F1)

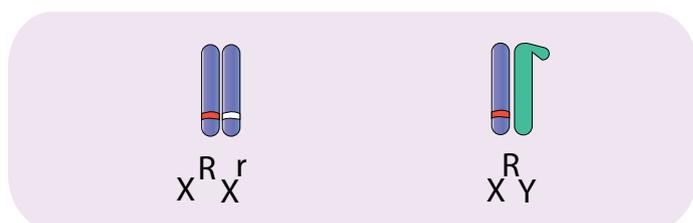
الطرز الشكلية لأفراد الجيل الأول

الشكل (١-٤): نتائج الجيل الأول في تجربة مورغان التي قادت إلى دراسة توارث الصفات المرتبطة بالجنس.

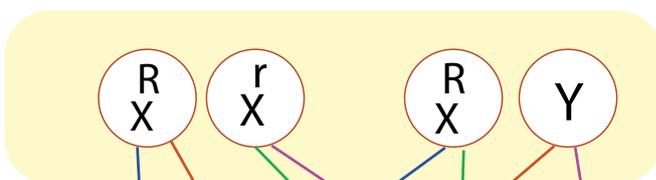
تابع مورغان تجاربه بإجراء تزاوج بين ذكور وإناث من أفراد الجيل الأول، فكانت نتيجة هذا التزاوج بالنسبة إلى لون العينين: (٣ أحمر : ١ أبيض). ومما أدهش مورغان أن جميع الذبابات بيضاء العينين كانت ذكوراً. لاحظ الشكل (١-٥)، ثم أجب عما يليه من أسئلة:



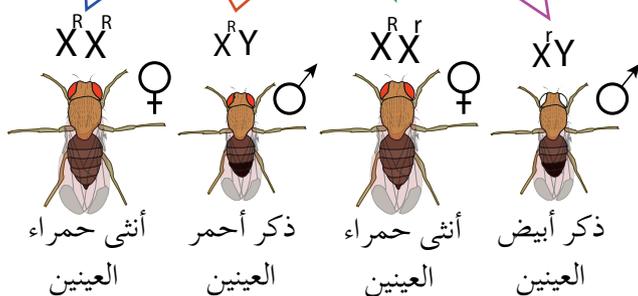
الطراز الشكلي لكل من أبوي الجيل الثاني



الطراز الجيني لكل من أبوي الجيل الثاني



الطرز الجينية لجاميئات كل من أبوي الجيل الثاني



الطرز الجينية لأفراد الجيل الثاني

الطرز الشكلية لأفراد الجيل الثاني

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

◀ كيف فسّر مورغان هذه النتائج؟

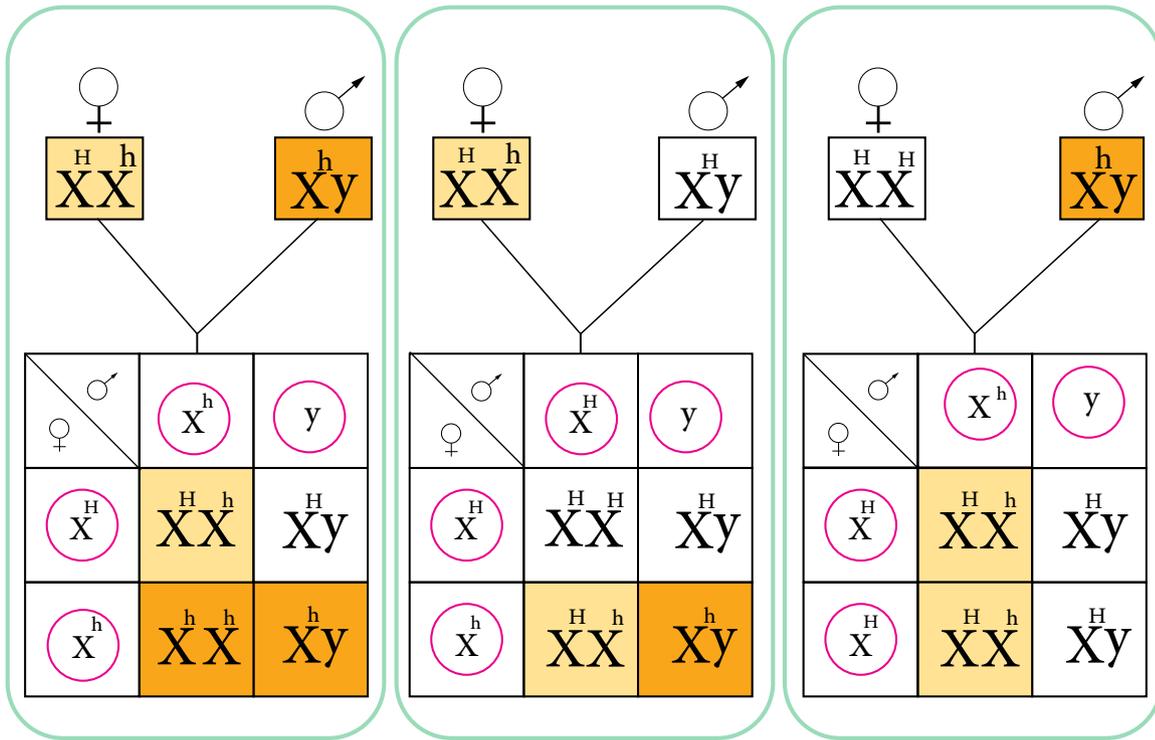
◀ كم أليلاً يلزم لظهور صفة العينين البيضاء لدى الذكر؟

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)، ويُعبّر عنه بـ (X<sup>R</sup>)، أو أليل الصفة المتنحي (r)، ويُعبّر عنه بـ (X<sup>r</sup>)، في حين أن الكروموسوم (Y) لا يحمل أليلاً لهذه الصفة.

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

ولكن، هل تُوارث الصفات المرتبطة بالجنس عند الإنسان بالطريقة نفسها التي تُوارث 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:



- 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؟

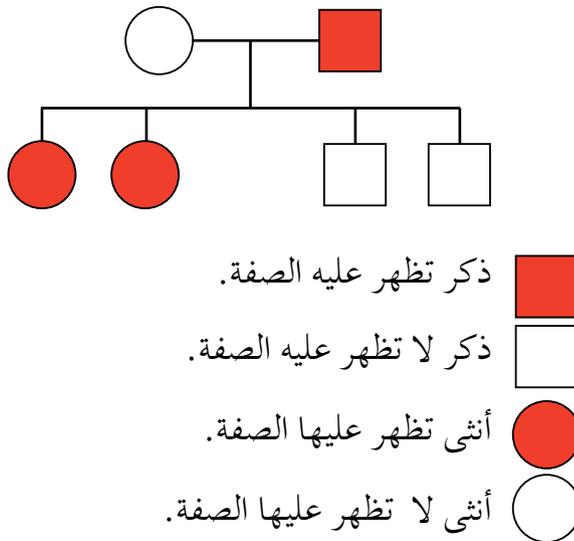
◀ لماذا لا يُورث الأب المصاب أليل الإصابة بالمرض لأبنائه الذكور؟

يُطلق على الأنثى غير متماثلة الأليلات ( $X^H X^h$ ) التي تَحْمِل 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 المتنحي 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 تُتوارث بنمط توارث صفة نزف الدم نفسه؛ إذ يُحمل 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 يُحدّد جنس الأفراد الناتجة من عملية الإخصاب.

### سؤال ؟

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



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

#### ٤ الصفات المتأثرة بالجنس

تُعَدُّ صفة الصلع المبكر (baldness) لدى الإنسان صفةً غير مندلية، يتحكَّم فيها أليل يُحمل على الكروموسومات الجسمية، ولكن مستوى الهرمونات الجنسية الذكرية يؤدي إلى اختلاف في ترجمة بعض الطرز الجينية بين الذكور والإناث، وهذا يجعلها **صفةً متأثرةً 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

◀ قارن بين ترجمة الطراز الجيني (HZ) إلى طراز شكلي عند كلٍّ من الذكور والإناث. يكون نمو الشعر طبيعيًا عند كلٍّ من الذكر والأنثى في حال وجود طراز جيني متماثل (HH). أمّا إذا كان الطراز الجيني (ZZ) فيبدأ كلُّ منهما بفقدان شعره، ويصبح أصلع بعد سن البلوغ. وأمّا الطراز الجيني (HZ) فتختلف ترجمته باختلاف الجنس، فتظهر صفة الصلع عند الذكر فقط، ولا تكون الأنثى صلعاء بسبب اختلاف مستوى الهرمونات الجنسية الذكرية لكلٍّ منهما، وهو ما يُؤثِّر في ترجمة الطرز الجينية. ونظرًا 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- تزوّج شاب أصلع غير متماثل الأليلات بفتاة شعرها طبيعي غير متماثلة الأليلات:

• ما الطراز الجيني لصفة وجود الشعر لدى كلٍّ من الشاب والفتاة؟

• ما طرز أبنائهما الجينية المتوقعة لهذه الصفة؟

٢- فتاة شعرها طبيعي، ووالدها أصلع وأمها صلعاء:

• ما الطراز الجيني لكلٍّ من والد الفتاة ووالدتها؟

• اكتب الطراز الجيني للفتاة.

٣- تزوّج شاب أصلع متماثل الأليلات مصاب بمرض عمى الألوان بفتاة شعرها طبيعي

متماثلة الأليلات إبصارها طبيعي، ووالدها مصاب بمرض عمى الألوان:

• ما الطراز الجيني لكلٍّ من الشاب والفتاة للصفتين معاً؟

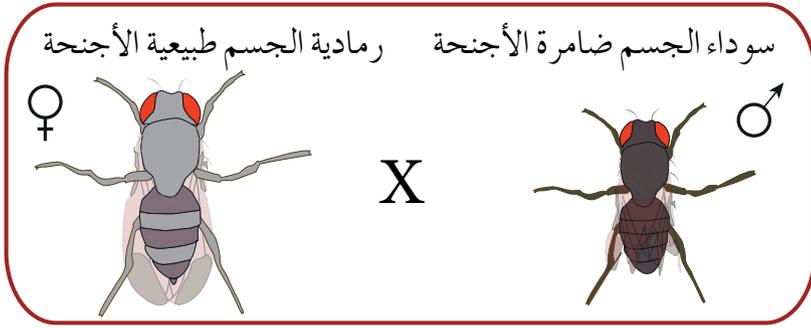
• ما طرز أبنائهما الجينية المتوقعة للصفتين معاً؟

### الجينات المرتبطة

### ثالثاً

تحتوي خلايا الكائن الحي عددًا كبيرًا من الجينات يفوق عدد الكروموسومات؛ لذا تحمل معظم الكروموسومات مئات الجينات أو الآلاف منها، وتتحكّم هذه الجينات في الصفات الوراثية المختلفة. وتُعرف الجينات التي تقع على الكروموسوم نفسه، وتُوارث بوصفها وحدة واحدة باسم **الجينات المرتبطة** (linked genes)، فكيف يُؤثر ارتباط الجينات في توارث الصفات؟ تختلف 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 (١-٧).

الطراز الشكلي لكل من الأبوين



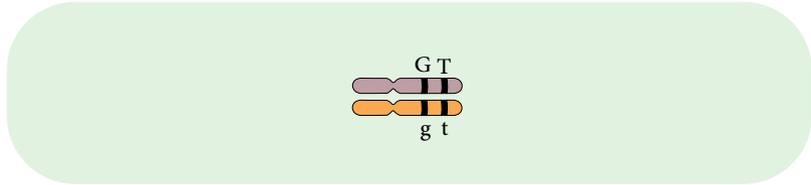
الطراز الجيني لكل من الأبوين



الطرز الجينية لجامينات كل من الأبوين



الطراز الجيني لأفراد الجيل الأول (F1)



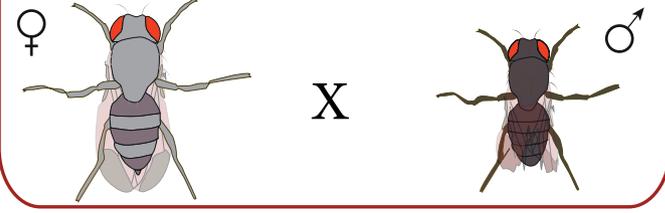
الطراز الشكلي لأفراد الجيل الأول

رمادية الجسم طبيعية الأجنحة

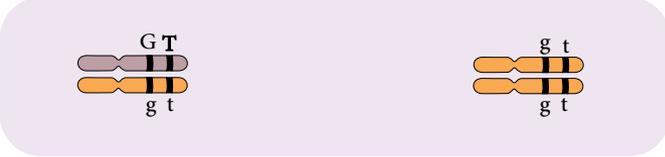
الشكل (٧-١): نتائج تجربة مورغان لدراسة توارث لون الجسم وحجم الجناح في الجيل الأول من ذبابة الفاكهة.

بعد ذلك زواج مورغان بين أنثى ذبابة فاكهة - من أفراد الجيل الأول - طرازها الجيني (GgTt) وذكر طرازه الجيني (ggtt)، ويُمثل الشكل (٨-١) نتائج هذا التزاوج.

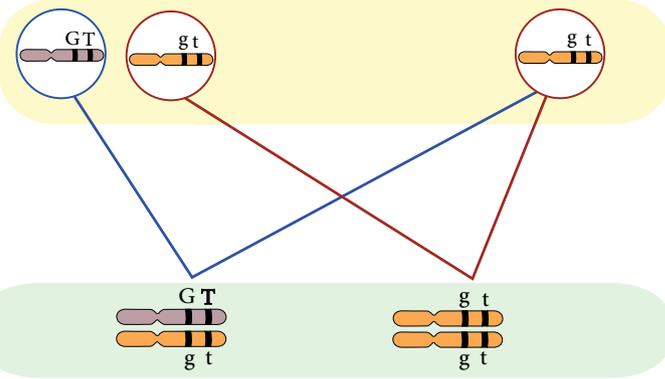
سوداء الجسم ضامرة الأجنحة رمادية الجسم طبيعية الأجنحة



الطرز الشكلي لكل من الأبوين



الطرز الجيني لكل من الأبوين



الطرز الجينية لجاميئات كل من الأبوين

الطرز الجينية للأبناء

رمادية الجسم  
طبيعية الأجنحة

سوداء الجسم  
ضامرة الأجنحة

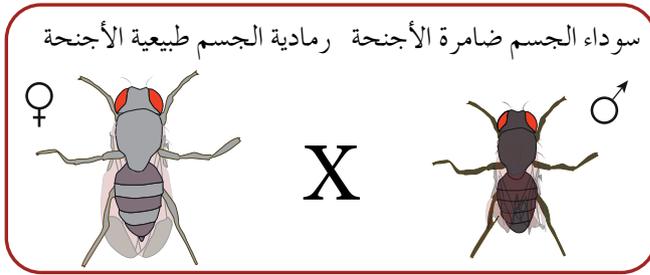
الطرز الشكلي للأبناء

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

لاحظ مورغان أن صفتي لون الجسم وحجم الجناح وُرثتا 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 عددية (١:١).

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

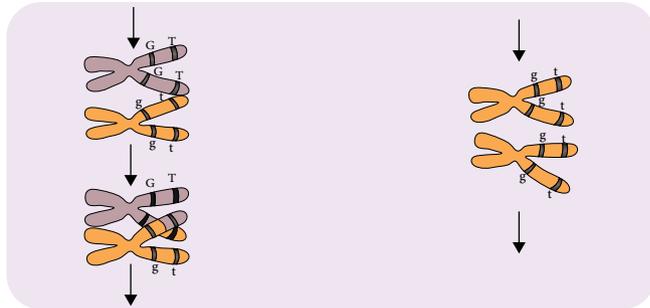
أظهرت بعض النتائج أن أليالات الجينات المرتبطة قد تنفصل في أثناء تكوين الجاميتات عن طريق العبور الجيني، فما المقصود بالعبور الجيني؟ وكيف يُؤثر في توارث الصفات؟  
لاحظ مورغان في إحدى تجاربه على ذبابة الفاكهة - حين زوّج ذبابات فاكهة طرازها الجيني (GgTt) بذبابات فاكهة طرازها الجيني (ggtt) - ظهور أفراد بنسب قليلة يحملون صفات تختلف عن صفات الأبوين. لاحظ الشكل (٩-١)، ثم أجب عن السؤال الذي يليه:



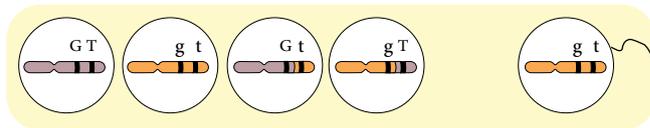
الطرز الشكلي لكل من الأبوين



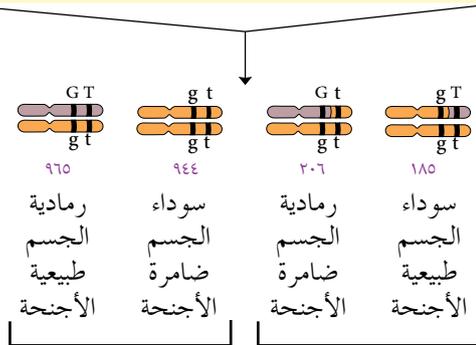
الطرز الجيني لكل من الأبوين



حدوث عملية العبور الجيني



الطرز الجينية لجاميتات كل من الأبوين



الطرز الجينية للأفراد الناتجة

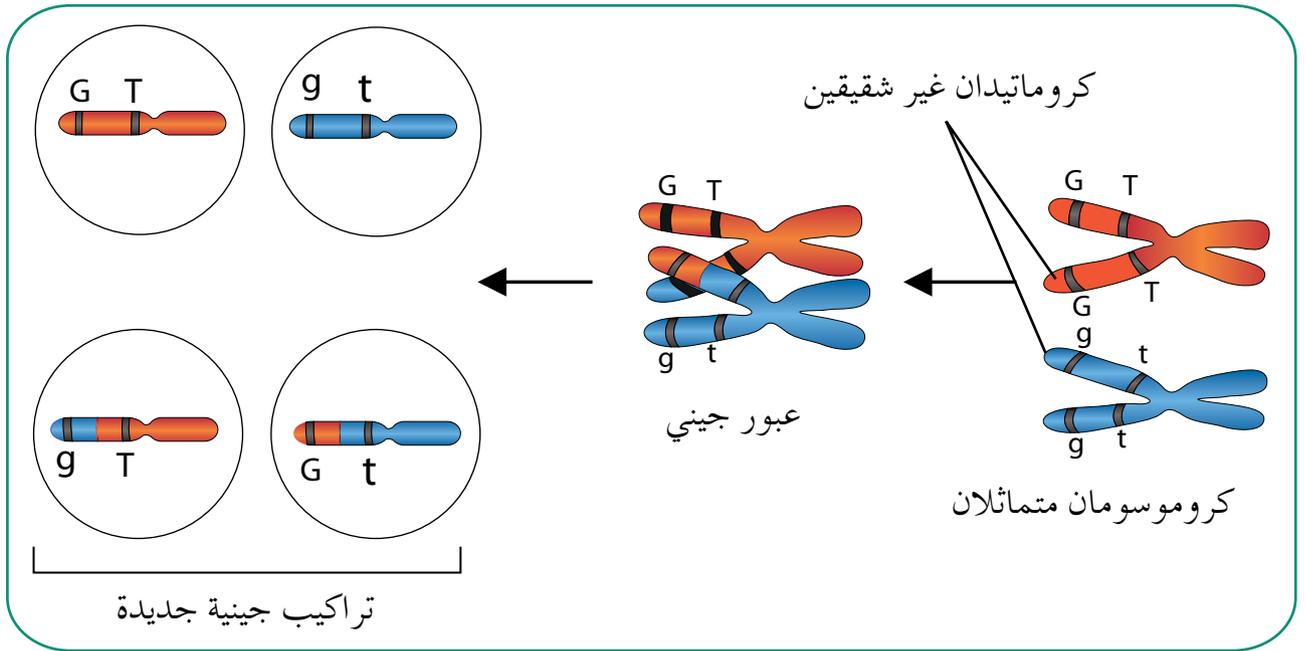
الطرز الشكلية للأفراد الناتجة

أفراد تشبه الآباء أفراد تراكيبها الجينية جديدة

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

◀ كيف فسّر مورغان هذه النتائج؟

تُعزى هذه النتائج إلى حدوث انفصال بين أليلات الجينات المرتبطة في أثناء تكوين الجاميتات عن طريق عملية **العبور الجيني** (genetic crossing over) التي تُعرّف 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 أي من الأبوين. لاحظ الشكل (١٠-١)، ثم أجب عما يليه من أسئلة:



الشكل (١٠-١): عملية العبور الجيني.

◀ كم طرازًا جينيًا للجاميتات التي ينتجها فرد طرازه الجيني (GgTt) في حال كانت الجينات مرتبطة، ولم يحدث عبور جيني؟

◀ ما التراكيب الجينية الجديدة الناتجة من عملية العبور الجيني؟

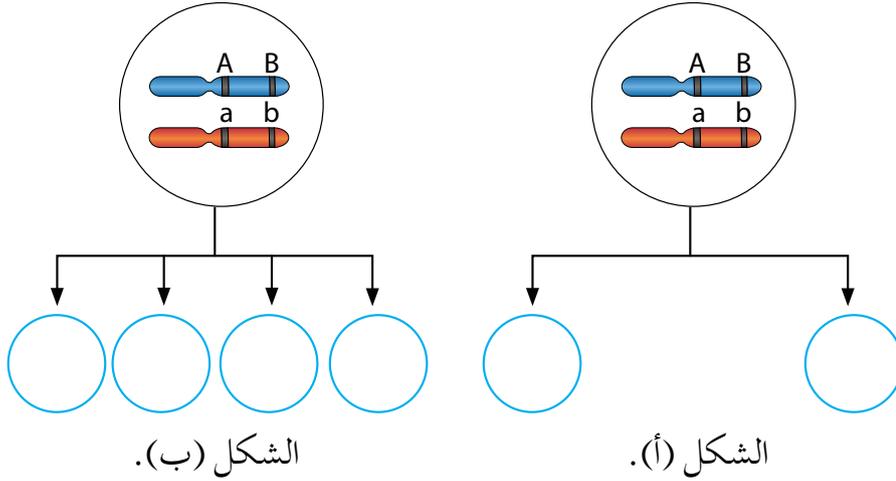
يمكن حساب نسبة حدوث التراكيب الجينية الجديدة باستخدام العلاقة الآتية:

$$\%١٠٠ \times \frac{\text{عدد الأفراد ذوي التراكيب الجينية الجديدة}}{\text{عدد الأفراد الكلي}}$$

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

$$= \frac{٢٠٦ + ١٨٥}{٢٣٠٠} \times \%١٠٠ = \%١٧$$

١- يُمثّل الشكلان (أ) و(ب) حالتين لجينات مرتبطة. اكتب الطرز الجينية للجاميتات الناتجة في الشكل (أ) في حال عدم حدوث عبور جيني، والطرز الجينية للجاميتات الناتجة في الشكل (ب) في حال حدوث عبور جيني.



٢- اكتب الطرز الجينية للجاميتات، التي ينتجها فرد طرازه الجيني BbDd في حال ارتباط الجين (B) والجين (d)، وحدثت عملية العبور الجيني.

ولكن، علام 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 مواقع 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 أيّ جينين على الكروموسوم نفسه تكون ثابتة.

يمكن تحديد مواقع الجينات على الكروموسوم بمعرفة نسبة حدوث تراكيب جينية جديدة، ويُعبّر 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.  
أما نسبة ارتباط الجينين معًا فتساوي: ١٠٠٪ - نسبة حدوث تراكيب جينية جديدة. وقد أفاد مورغان وتلاميذه من هذه النتائج في عمل **خرائط جينات** (gene maps) تُحدّد مواقع الجينات وترتيبها على طول الكروموسوم.

## مثال

إذا علمت أن مواقع 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 ١٩٪، فأجب عن الأسئلة الآتية:

- ١ - ما مقدار المسافة بين الجينين (A) و(B)؟
- ٢ - كم يبعد الجين (A) عن الجين (C) بوحدّة الخريطة الجينية؟
- ٣ - ارسم شكلاً يُمثّل مواقع الجينات على الكروموسوم.

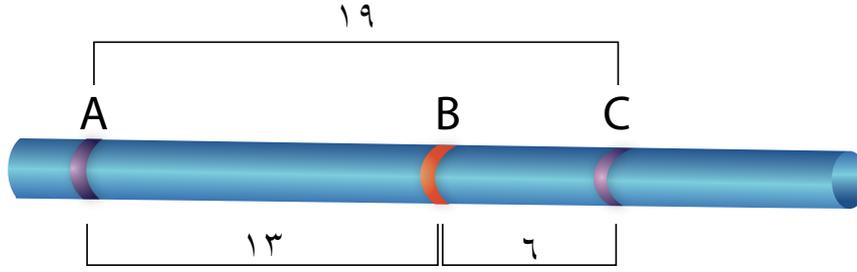
## الحل

- لحساب مقدار المسافة بين الجينين (A) و(B) نُطبّق العلاقة الآتية:
- نسبة ارتباط الجينين = ١٠٠٪ - نسبة حدوث تراكيب جينية جديدة.
- ٨٧٪ = ١٠٠٪ - نسبة حدوث تراكيب جينية جديدة.
- = ١٣٪

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

- المسافة بين الجينين (A) و(C) بوحدّة الخريطة = ١٩ وحدة خريطة

- يكون ترتيب مواقع الجينات على الكروموسوم كالآتي:



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٪، (D) و (B) = ١٪، وأن نسبة ارتباط الجينات كالاتي: (C) و (A) = ٩٨٪، (A) و (B) = ٩٥٪، فأجب عما يأتي:

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

## أثر البيئة في ترجمة الطرز الجينية إلى طرز شكلية

### خامساً



الشكل (١٢-١): قط سيامي.

تؤثر 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 تصنيع صبغة الميلانين، وهو إنزيم حساس لدرجة الحرارة، ينشط ويؤدي وظيفته في درجة حرارة أقل من درجة حرارة الجسم الطبيعية، في منطقة الأنف، والأذنين، والأطراف، والذيل، فتنتج صبغة الشعر الداكن بصورة طبيعية فيها، لاحظ الشكل (١٢-١).

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

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

يتغيّر لون فراء القط السيامي عند انخفاض درجة الحرارة، و يمكن التحقق 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، زُر الموقع الإلكتروني للمركز الوطني للبحث والإرشاد

الزراعي: [WWW.ncare.gov.jo](http://WWW.ncare.gov.jo).

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

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

٢ - أُجريت عملية تلقيح بين نباتي بندورة، فكان أليل طول الساق (T) سائدًا على أليل قصر الساق (t)، وأليل لون الثمار الأحمر (R) سائدًا 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 لكل من النباتين الأبوين.
- ب - اكتب الطرز الجينية للجاميتات المشار إليها بالرقمين (١)، و (٢).
- ج - اكتب الطرز الجينية والطرز الشكلية لكل فرد من الأفراد الناتجة من عملية التلقيح في المكان المخصص بالجدول.
- ٣ - تزوّج شاب فصيلة دمه (A) بفتاة فصيلة دمها (B)، فأنجبا ثلاثة أبناء فصائل دمهم على النحو الآتي: (O, AB, B). اكتب الطراز الجيني لفصيلة دم كل 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، علمًا بأن الطفلين غير شقيقين:

- 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 (١-١٣).



فإذا تزوجت أغنام ذات شعر على الذقن بأغنام من دون شعر على الذقن، فنتجت أفراد الجيل الأول الذكور جميعها بشعر على الذقن، والإناث جميعها من دون شعر على الذقن، ثم تزوج عدد من أفراد الجيل الأول فنتج ذكران من دون شعر على الذقن، وستة ذكور بشعر على الذقن، وست إناث من دون شعر على الذقن، وأنثيان بشعر على الذقن:

أ - ما الطرز الجينية لأفراد الجيل الأول؟

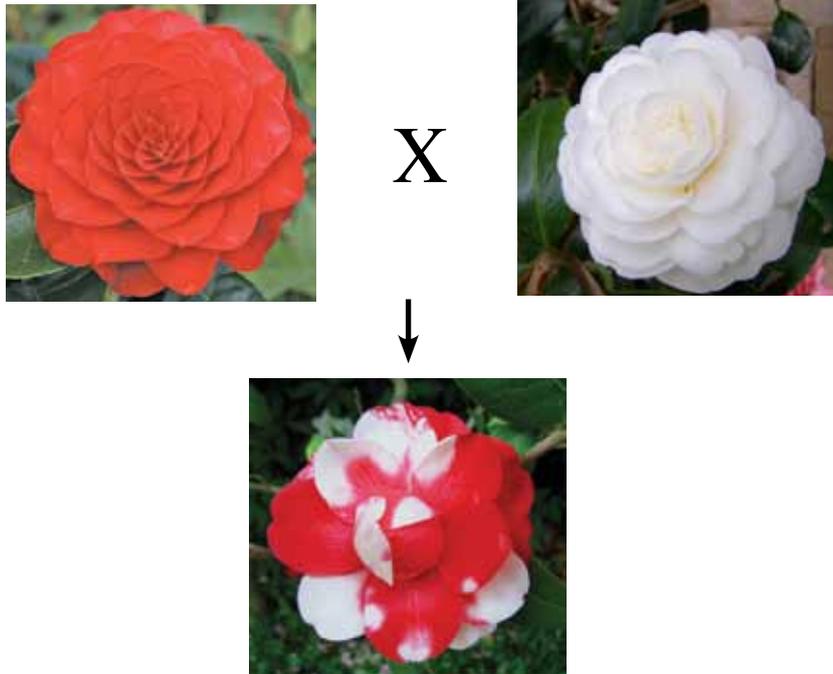
ب - ما الطرز الجينية لأفراد الجيل الثاني؟

الشكل (١-١٣): ما عر ذو شعر على الذقن.

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

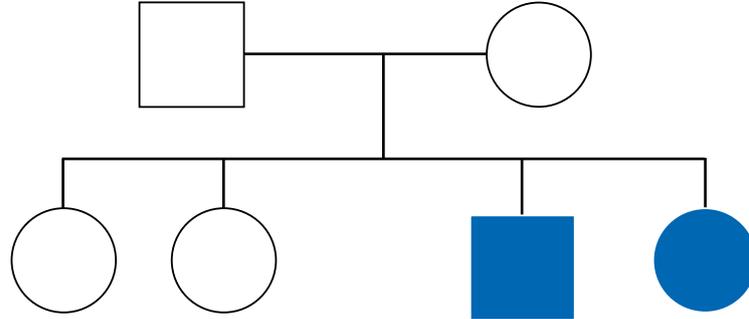
الطرز الجينية للجاميتات	الفرد
	أنثى حاملة أليل الإصابة بمرض نزف الدم (h) لا تظهر عليها أعراض المرض.
	فرد طرازه الجيني (MmNn) (بحسب قانون التوزيع الحر).
	فرد طرازه الجيني (BbDd) (في حال ارتباط الجين (B) و الجين (D)، وعدم حدوث عبور جيني).

٧ - نمط وراثته 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 رُمز 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 مصابًا بمرض وراثي. ادرس الشكل، ثم أجب عما يليه من أسئلة:



○ أنثى غير مصابة.

□ ذكر غير مصاب.

● أنثى مصابة.

■ ذكر مصاب.

أ - هل يُحمل أليل المرض على كروموسوم جنسي أم على كروموسوم جسدي؟ فسّر إجابتك.

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

٩ - تزوّج شاب بفتاة، وكان كلاهما غير مصاب بمرض عمى الألوان (إبصارهما طبيعي)، فأنجبا ثلاث بنات إبصارهن طبيعي. إذا تزوّجت إحدى البنات بشاب إبصاره طبيعي، وأنجبا ذكرًا مصابًا بمرض عمى الألوان، فسّر سبب إصابة هذا الطفل بمرض عمى الألوان.

## الطفرات وتأثيراتها

درست سابقًا دور المادة الوراثية في عملية بناء البروتينات في أجسام الكائنات الحية، وتعرّفت آلية هذه العملية الحيوية المهمة التي تتضمن عمليتي النسخ والترجمة، ولاحظت مدى دقتها وأهميتها.

تعرّفت أيضًا 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 تتطلب الاستشارة الوراثية؟ ستتمكن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك هذا الفصل.

يتوقع منك أن تكون قادرًا على أن:

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

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

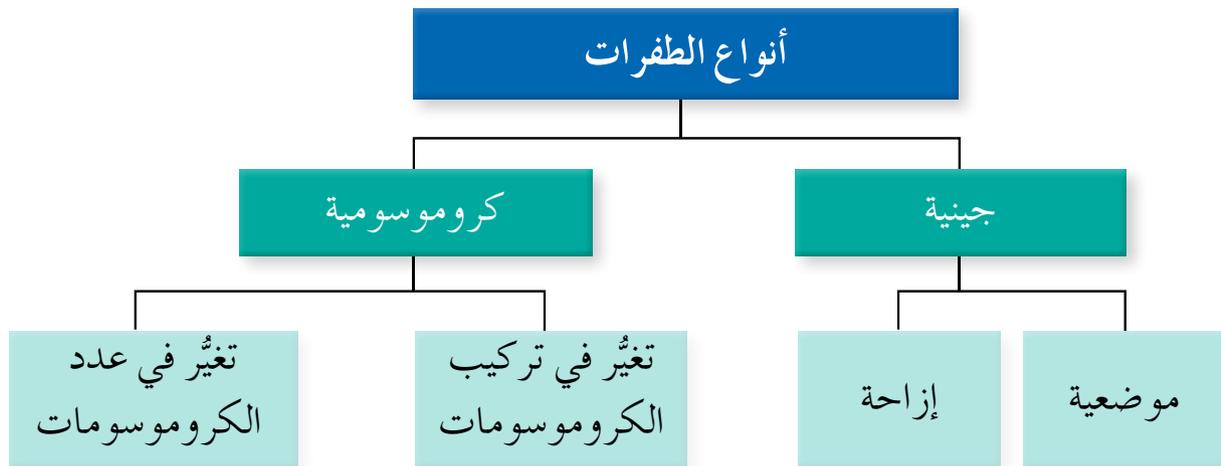
#### – العوامل الفيزيائية

من أمثلتها: الأشعة السينية (X-rays) وأشعة جاما، وأشعة الشمس التي تحوي الأشعة فوق البنفسجية (UV)، والتي قد تُحدث طفرات في حال التعرّض لها مُدداً طويلاً جداً، مُسببة سرطان الجلد.

#### – العوامل الكيميائية

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

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



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

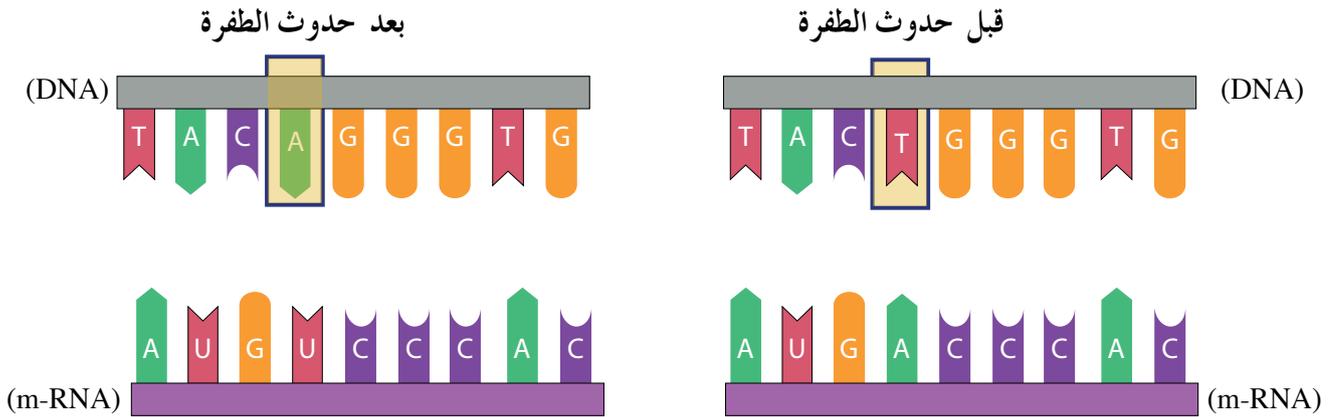
- ١ - تكون الطفرة التي تحدث في خلايا الرئتين غير متوارثة، فسّر ذلك.  
٢ - تعرّض غزال للأشعة فوق البنفسجية (UV)، فظهرت طفرة في شبكية عينه. أيّ العبارات الآتية غير صحيحة:

- أ - قد تؤدي الطفرة إلى حدوث سرطان الشبكية.  
ب - قد تؤثر الطفرة في عمل خلايا الشبكية.  
ج - ستورث الطفرة للأبناء.  
د - قد تؤثر الطفرة في شكل خلايا الشبكية.

### ١ الطفرات الجينية

تنتج هذه الطفرات من التغيّر 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 تغيّر كودون أو بضعة كودونات في جزيء (m-RNA) المنسوخ، لاحظ الشكل (١-١٦).

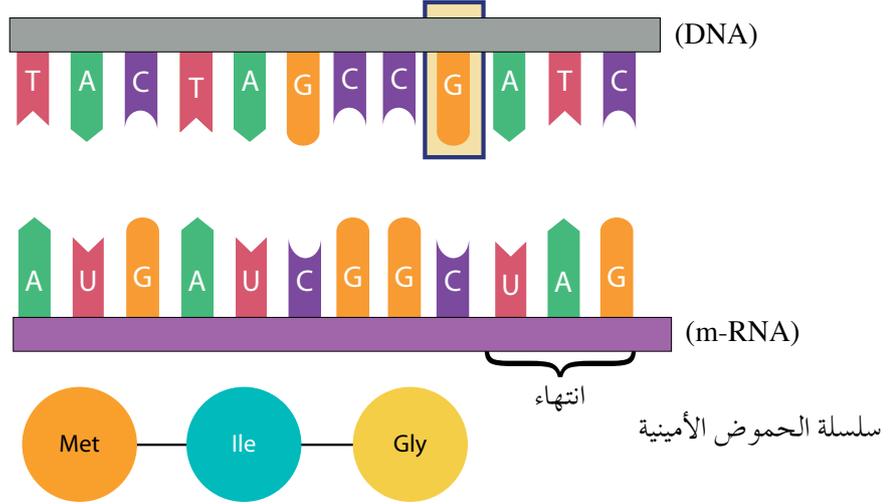


الشكل (١-١٦): الطفرة الموضعية.

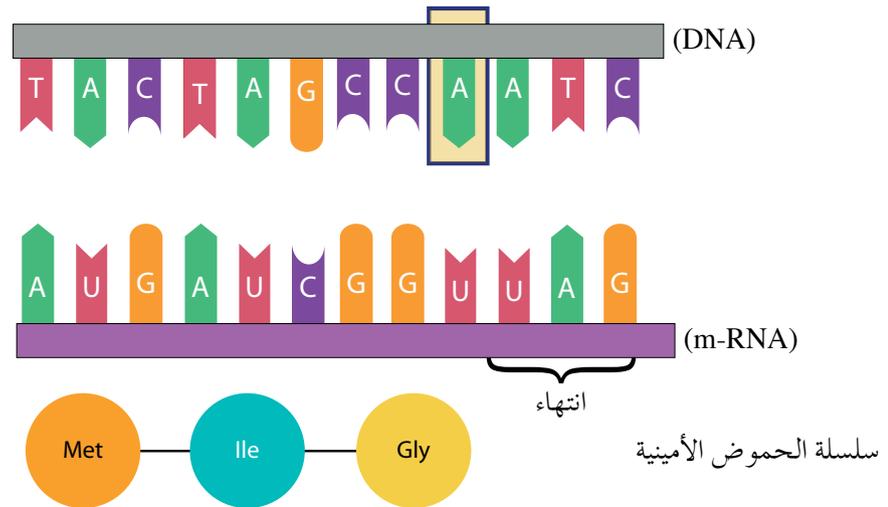
من النتائج المحتملة للطفرة الموضعية:

١. تغيّر كودون إلى كودون آخر يُترجم إلى الحمض الأميني نفسه عند بناء البروتين، فلا يطرأ تغيّر على البروتين الناتج، وتُسمى الطفرة في هذه الحالة **الطفرة الصامتة** (silent mutation)، لاحظ الشكل (١-١٧).

قبل حدوث الطفرة

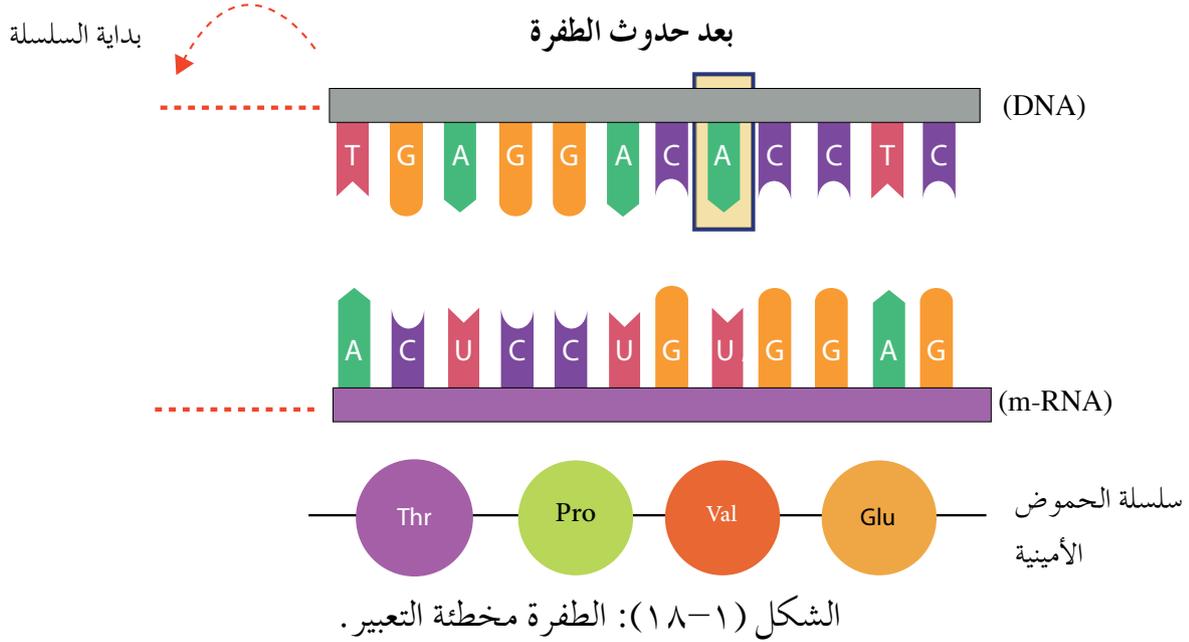
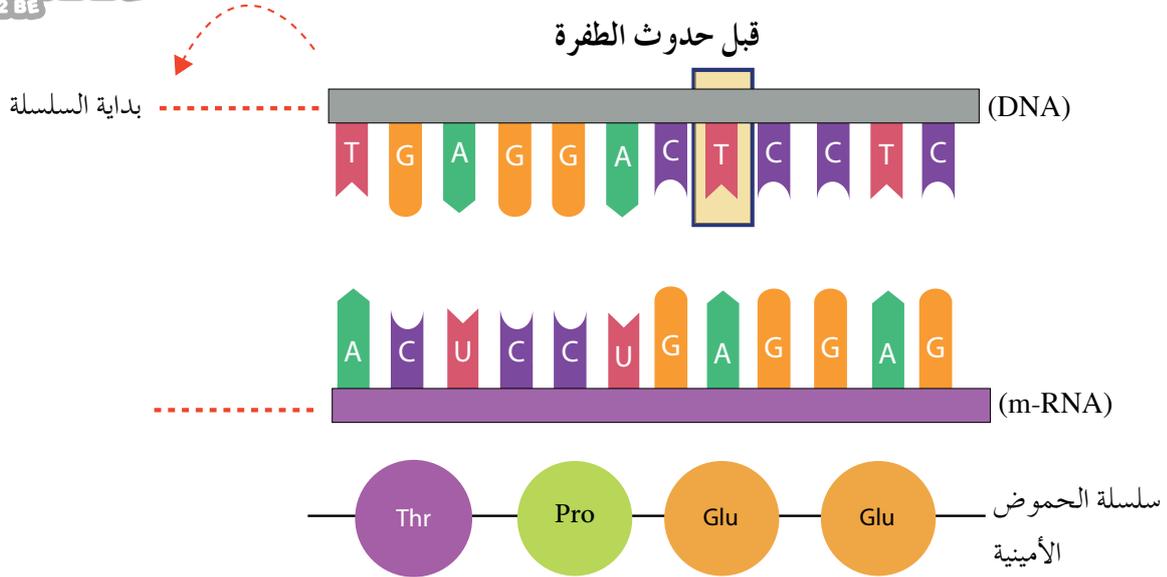


بعد حدوث الطفرة



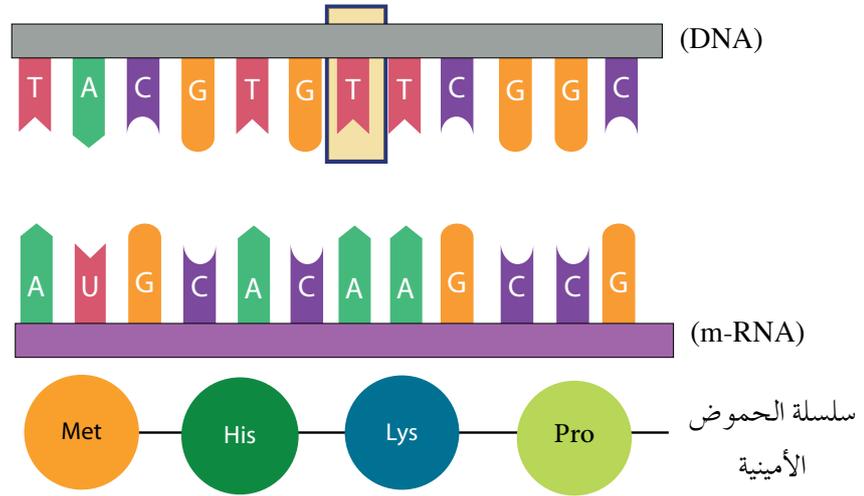
الشكل (١-١٧): الطفرة الصامتة.

٢. تغيّر كودون إلى كودون آخر يُترجم إلى حمض أميني جديد يختلف عن الحمض الأميني للكودون الأصلي. ومن الأمثلة على ذلك الطفرة التي تُسبب الإصابة بمرض الأنيميا المنجلية، والتي تُسمى **الطفرة مخطئة التعبير** (missense mutation)؛ لأنها تُسبب خطأً في التعبير الجيني، لاحظ الشكل (١-١٨).

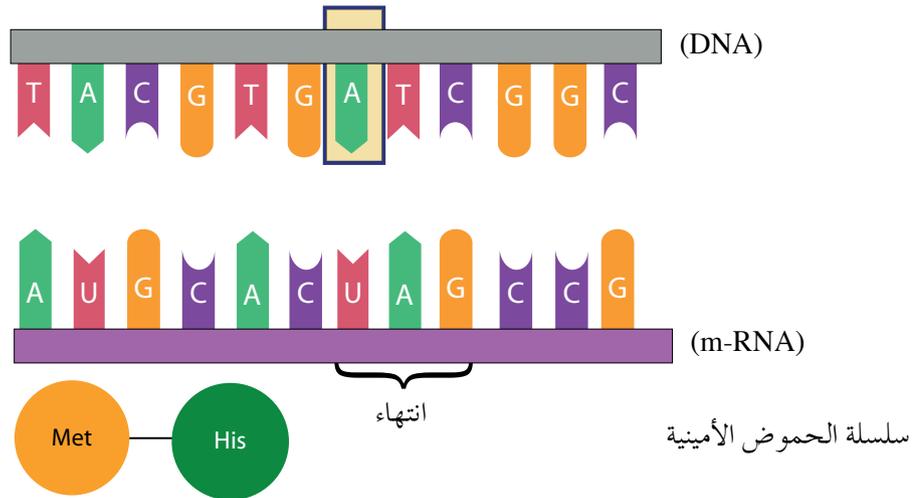


٣. تغيّر كودون إلى كودون وقف الترجمة، فُتنتج الخلية بروتينًا غير مكتمل (ناقصًا) لفقدانه مجموعة من الحموض الأمينية الداخلة في تركيبه، وتُسمى الطفرة في هذه الحالة **الطفرة غير المُعبّرة** (nonsense mutation)؛ لأنها تحول دون حدوث تعبير جيني كامل، لاحظ الشكل (١-١٩).

قبل حدوث الطفرة



بعد حدوث الطفرة



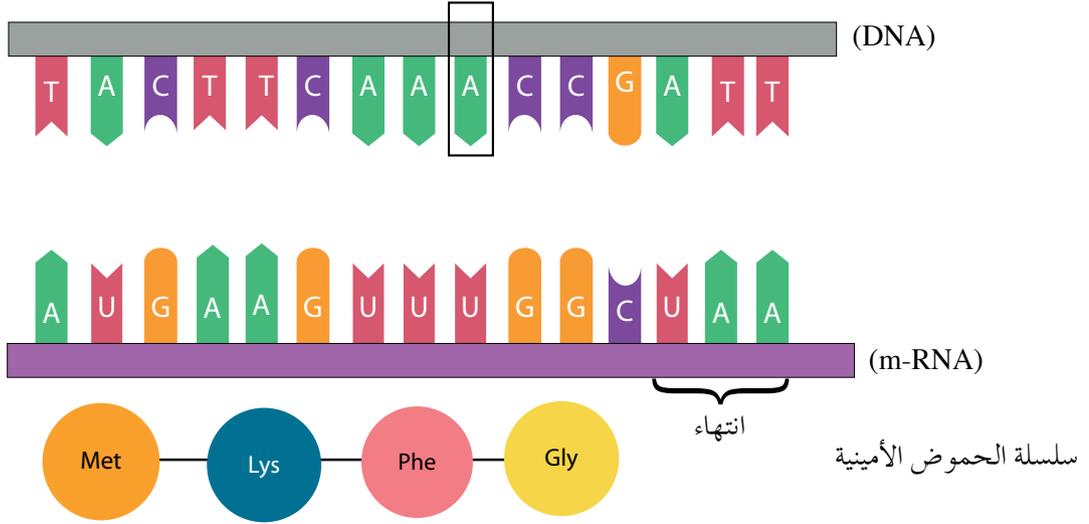
الشكل (١-١٩): الطفرة غير المُعبّرة.

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

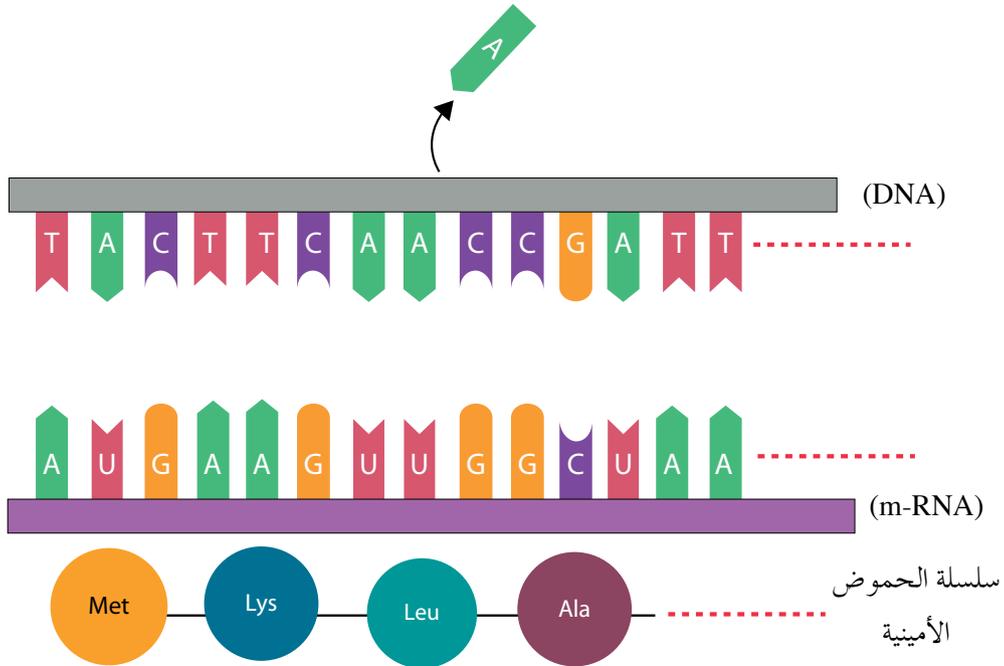
من النتائج المحتملة لطفرة الإزاحة:

- حدوث تغيير كبير في الكودونات، وهو ما يُسبب تغييرًا في سلسلة البروتين الناتج، لاحظ الشكل (٢٠-١).

قبل حدوث الطفرة

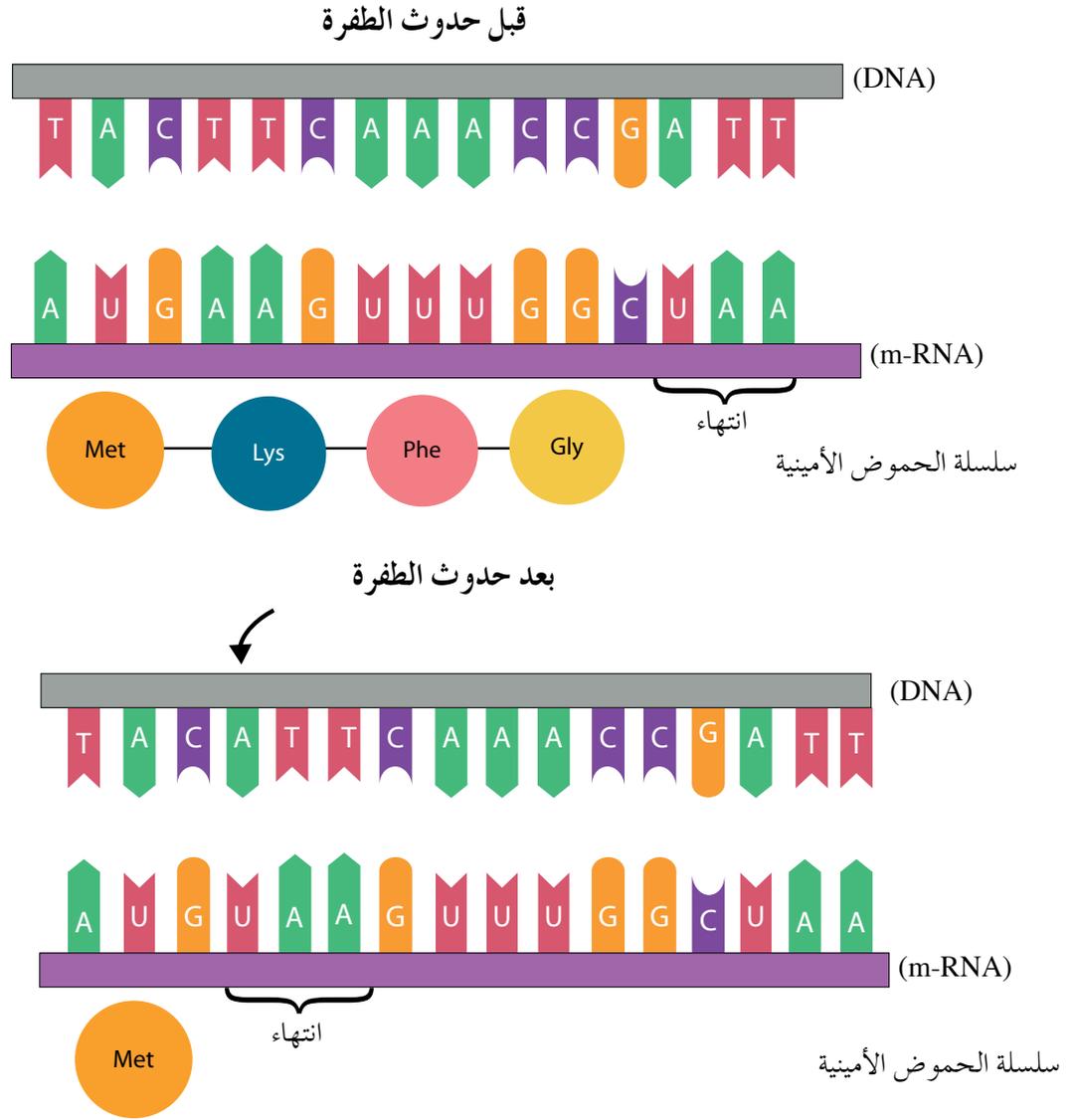


بعد حدوث الطفرة



الشكل (٢٠-١): طفرة إزاحة تُسبب تغييرًا في سلسلة البروتين.

٢. توقّف بناء سلسلة البروتين نتيجة حدوث تعيّر في أحد الكودونات ليصبح كودون وقف، لاحظ الشكل (٢١-١).



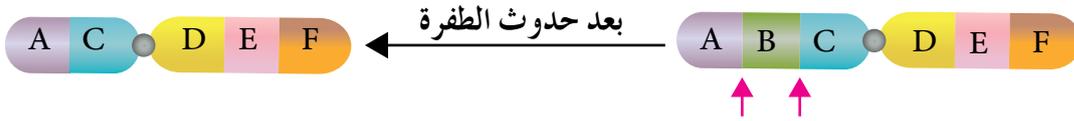
الشكل (٢١-١): طفرة إزاحة تتسبب في توقّف بناء سلسلة البروتين.

## ٢ الطفرات الكروموسومية

تنتج هذه الطفرات من التعيّر في تركيب الكروموسومات، أو عددها في الخلية، وتقسّم قسمين:

أ - الطفرات الناتجة من تعيّر في تركيب الكروموسوم: تنشأ هذه الطفرات نتيجة التعيّر 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 معًا، مُسببةً نقصًا 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.

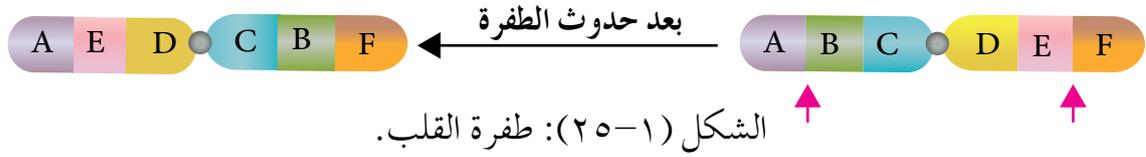
◀ ما الطفرة التي تعرّض لها الكروموسوم المقابل للكروموسوم الظاهر في الشكل (٢٣-١)؟

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.

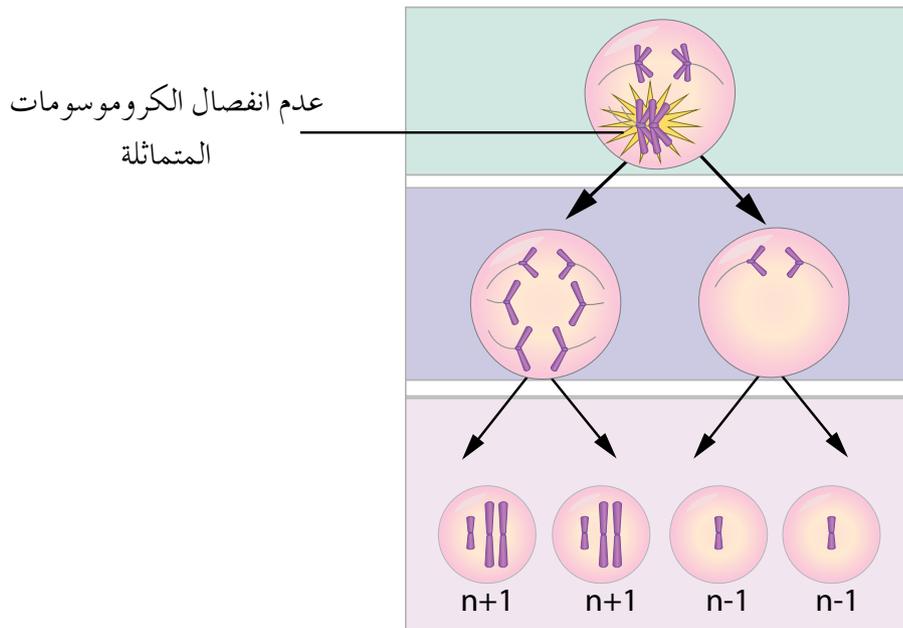
٤. طفرة القلب: تحدث **طفرة القلب** (inversion) عند انفصال قطعة من الكروموسوم، ثم ارتباطها مرة أخرى بصورة مقلوبة من الجهة المعاكسة لجهة انفصالها، وهو ما يؤدي إلى عكس ترتيب الجينات في هذا الجزء من الكروموسوم، لاحظ الشكل (١-٢٥).



ب- الطفرات الكروموسومية الناتجة من تغيير عدد الكروموسومات: تحدث هذه الطفرات اختلالاً في عدد الكروموسومات في خلايا الكائن الحي. وقد يحدث هذا الاختلال العددي نتيجة عدم انقسام السيتوبلازم 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:

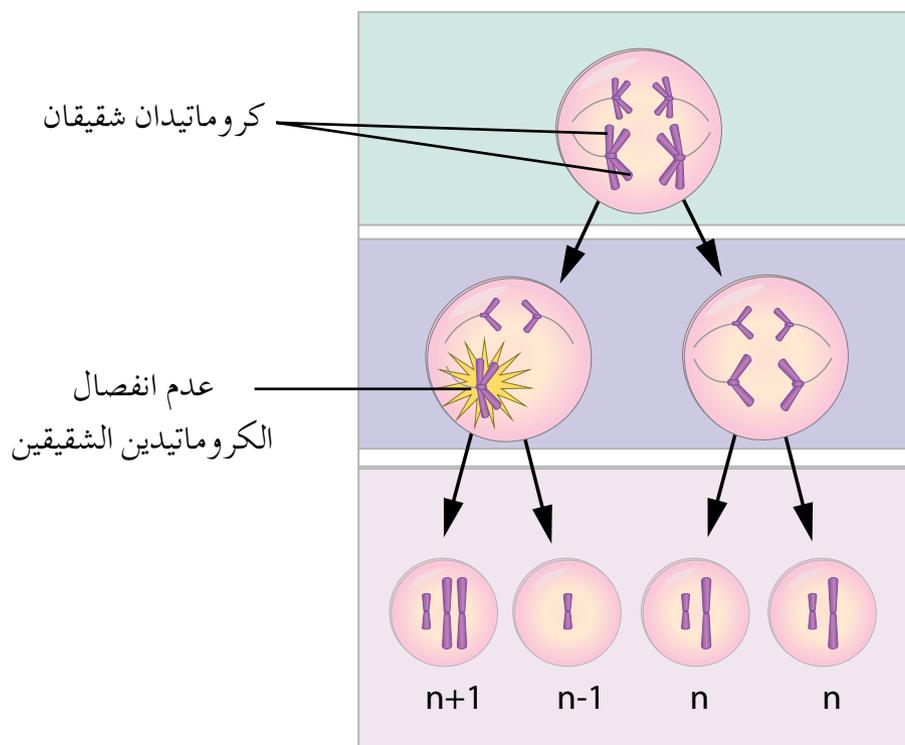
١. تغيير عدد الكروموسومات في أثناء المرحلة الأولى من الانقسام المنصف: يحدث ذلك نتيجة عدم انفصال كروموسوم عن الكروموسوم المماثل له، فتنتج جاميتات غير طبيعية تحتوي على كروموسومات عددها أكثر من العدد الطبيعي ( $n+1$ )، أو أقل منه ( $n-1$ )، لاحظ الشكل (١-٢٦).



الشكل (١-٢٦): 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 لكل منها.

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



الشكل (٢٧-١): عدم انفصال الكروماتيد الشقيقين في أحد الكروموسومات في أثناء المرحلة الثانية من الانقسام المنصف.

### سؤال ؟

أى 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؟

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

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

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

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

٢ اختلالات ناتجة من طفرات بسبب **تغيّر عدد الكروموسومات الجسمية**، لاحظ الجدول (٤-١).

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

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

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

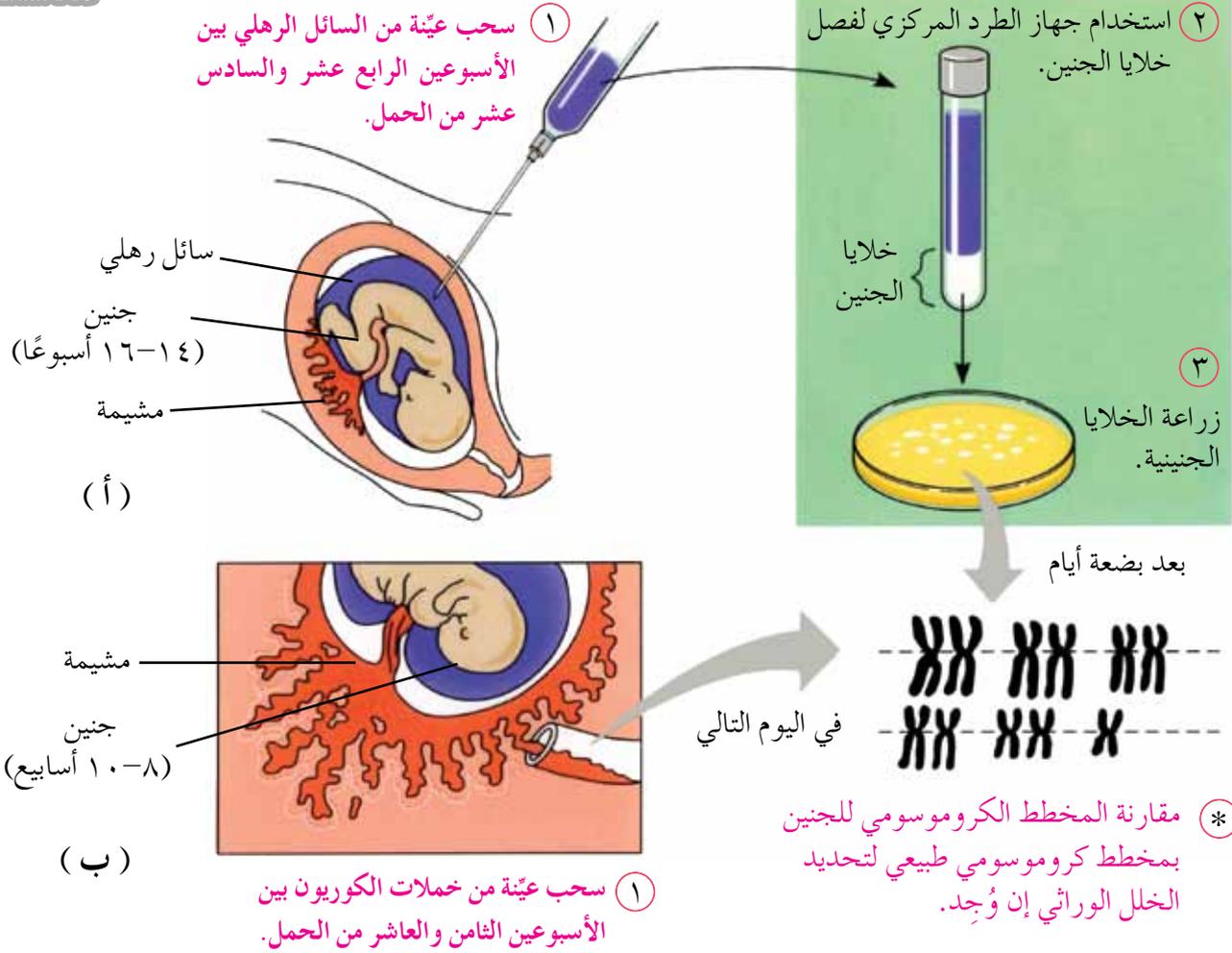
عدد الكروموسومات الكلي	التغيّر في عدد الكروموسومات	وصف الاختلال وأبرز أعراضه	اسم الاختلال
(٤٥) كروموسوماً.	حذف الكروموسوم الجنسي (X)، فيصبح الطراز الكروموسومي الجنسي (XO).	أنثى عقيمة قصيرة، وعدم اكتمال النضج الجنسي، وإمكانية ظهور بعض علامات النضج الجنسي الثانوية في حال خضوعها للعلاج.	متلازمة تيرنر (Turner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

يلجأ الكثير من الأزواج إلى الاستشارة الوراثية (genetic counseling) تجنباً لإنجاب أفراد يعانون أيّ اختلالات وراثية. ولهذا يُنشئ المستشار الوراثي سجل النسب الوراثي لأفراد العائلة، ويوصي بعمل بعض الفحوص المخبرية للزوجين وأقاربهما من الدرجة الأولى. وبعد أن يُعدّ سجل النسب الوراثي، وتُجرى فحوص الدم لناقلي مرض الثلاسيميا والأنيميا المنجلية مثلاً، يمكن توقُّع احتمالات ولادة أطفال مصابين باختلالات وراثية.

تُفيد الاستشارة الوراثية في حالات عدّة، منها:

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

ولتعرّف طريقتي فحص الأجنّة، ادرس الشكل (٢٨-١)؛ إذ يُوضّح الشكل (١-٢٨/أ) طريقة فحص السائل الرهلي، في حين يُوضّح الشكل (١-٢٨/ب) طريقة فحص خملات الكوريون.



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

## سؤال ؟

- ١ - في أيّ أسابيع الحمل تُؤخذ عيّنات كلٍّ من السائل الرهلي، وخملات 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، زُر الموقع الإلكتروني للمركز الوطني للسكري والغدد الصماء والوراثة: [www.ncd.org.jo](http://www.ncd.org.jo).

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

متلازمة داون، متلازمة بتاو، فينل كيتونيوريا، نرف الدم (A)، التليف الكيسي.

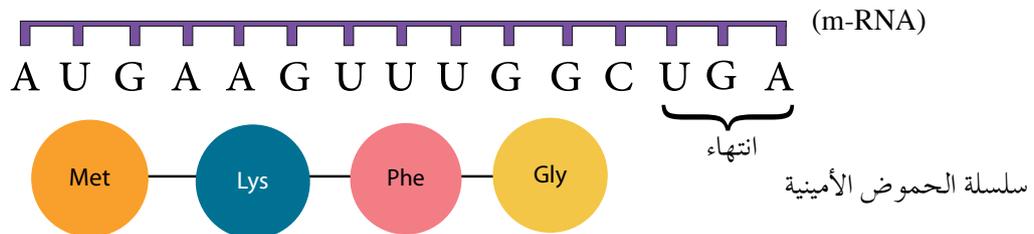
٢- هاتِ مثالاً على كلِّ ممَّا يأتي:

أ - مُسبَّب طفرة فيزيائي.

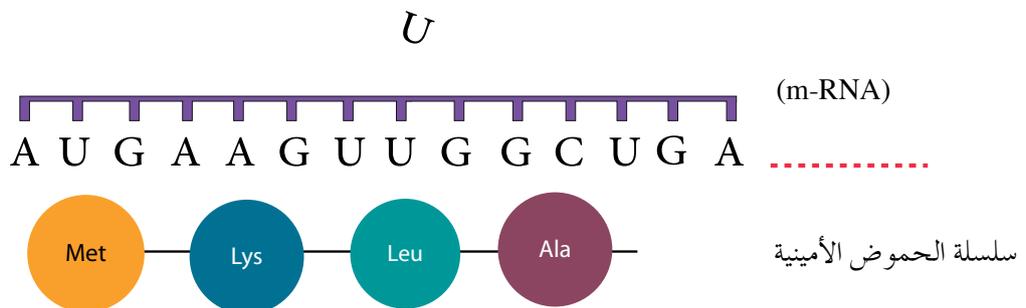
ب - مُسبَّب طفرة كيميائي.

٣- يُبين الشكل (١-٢٩) سلسلة أصلية من جزيء الحمض النووي الرايبوزي (m-RNA)، وتسلسل الحموض الأمينية في البروتين الناتج قبل حدوث الطفرة، وجزيء (m-RNA)، وتسلسل الحموض الأمينية بعد حدوث الطفرة. ادرس الشكل، ثم أجب عمَّا يليه من أسئلة:

(أ) قبل حدوث الطفرة.



(ب) بعد حدوث الطفرة.



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

أ - هل تُمثّل الطفرة الجينية الناتجة طفرة إزاحة أم طفرة موضعية؟

ب - لماذا يكون تأثير هذه الطفرة في الكائن الحي كبيراً؟

٤ - صنّف الطفرات الكروموسومية الآتية إلى طفرات تُؤثّر في تركيب الكروموسومات، وطفرة تُؤثّر 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 معاً.

٥ - أكمل الجدول الآتي:

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

## تكنولوجيا الجينات

لم تتوقف دراسة (DNA) عند معرفة تركيبه الذي درسته في سنوات سابقة، وإنما تعدت 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؟ ستمكن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك هذا الفصل.

يتوقع منك أن تكون قادراً على أن:

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

تتطلب تكنولوجيا الجينات استخدام أدوات ومواد عدّة تساعد على نقل المادة الوراثية من كائن حي إلى آخر؛ لتعديل الصفات الوراثية في الكائنات الحية. ومن الأمثلة على هذه الأدوات والمواد: إنزيمات الحموض النووية، ونواقل الجينات.

### ١ إنزيمات الحمض النووي DNA (DNA Enzymes)

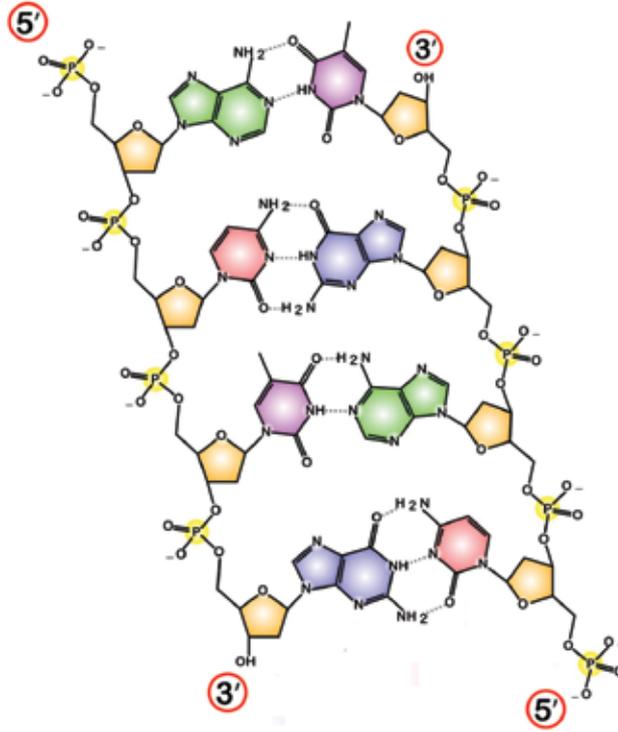
تُستخدم مجموعة من إنزيمات الحمض النووي (DNA) في مجال تكنولوجيا الجينات، أهمها: **إنزيمات القَطْع المُحدّد**، و**إنزيم ربط (DNA)**، و**إنزيم بلمرة (DNA) المتحمّل الحرارة**. أ - إنزيمات القَطْع المُحدّد: إنزيمات متخصصة في قَطْع (DNA) تُنتجها أنواع عدّة من البكتيريا للدفاع عن نفسها، وذلك بقطع (DNA) الفيروس الذي يهاجمها للتخلص منه، وقد تعرّف العلماء أكثر من (٣٥٠٠) إنزيم منها، واستخدموا بعضها في تكنولوجيا الجينات.

تُسمّى **إنزيمات القَطْع المُحدّد** (restriction enzymes) تبعاً لنوع البكتيريا التي تُنتجها. فمثلاً، تُكوّن بكتيريا (*Escherichia coli* R) إنزيم قطع يُسمّى (*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 قَطْع مُحدّد اكتُشف في هذه البكتيريا.

يُعرّف كل إنزيم من إنزيمات القَطْع المُحدّد تتابعاً معيناً من النيوكليوتيدات، يتراوح بين (٤-٦) نيوكليوتيدات في (DNA)، تُمثّل **مناطق التعرّف** (Palindrome)، ويكون هذا التتابع متماثلاً في منطقة التعرّف في سلسلتي (DNA).

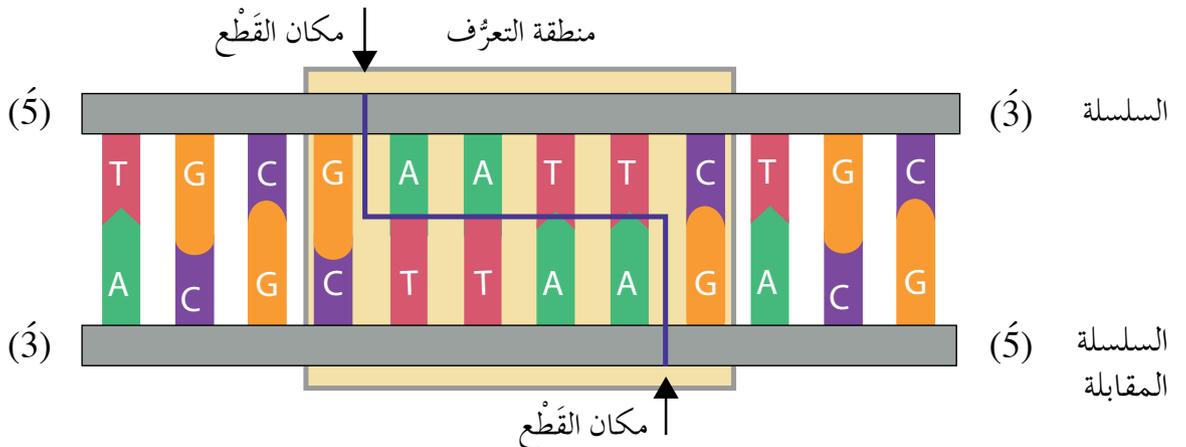
لكل سلسلة (DNA) نهايتان يُرمز إلى إحداهما بالرمز (5) (five prime)، ويُرمز إلى الأخرى بالرمز (3) (three prime)، لاحظ الشكل (١-٣٠).

الأسماء العلمية للبكتيريا والإنزيمات ليست للحفظ.



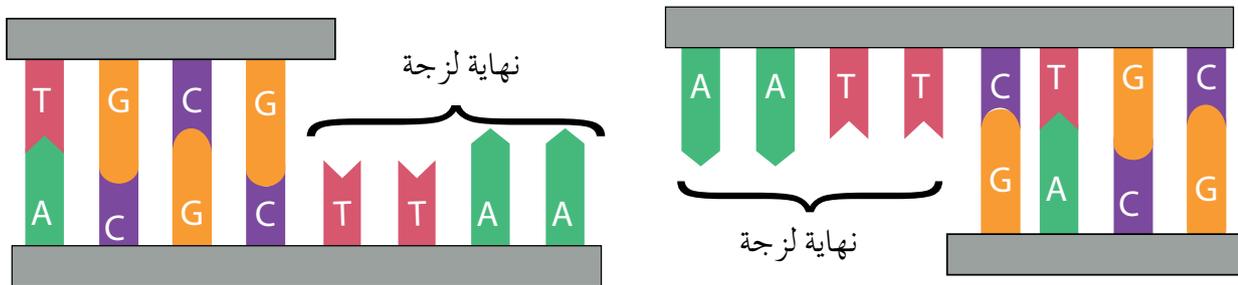
الشكل (٣٠-١): جزء من (DNA) مُوضَّح عليه نهايتا سلسلتيه.

يكون امتداد السلسلة الأولى في جزيء (DNA) من (٥) إلى (٣)، ويكون في السلسلة المقابلة من (٣) إلى (٥). ادرس الشكل (٣١-١) الذي يُبيِّن منطقة تعرُّف أحد إنزيمات القَطْع المُحدَّد (الجزء المحصور بالمستطيل الأصفر في الشكل)، والذي يُظهر أن تتابع النيوكليوتيدات في منطقة التعرُّف 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 مُحدَّد بين القاعدة النيتروجينية جوانين (G) والقاعدة النيتروجينية أدنين (A) في سلسلتي (DNA)، انظر مكان القَطْع في الشكل.



الشكل (٣١-١): إنزيم القَطْع المُحدَّد (*EcoRI*): منطقة التعرُّف، ومكان القَطْع.

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



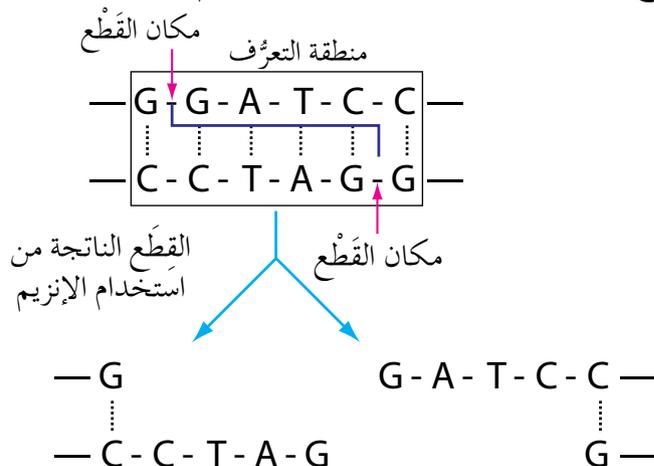
الشكل (٣٢-١): سلسلتا (DNA) بعد القِطْع، وظهور النهايات اللزجة.

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

ينتج من بعض إنزيمات القَطْع المُحدَّد قِطْع (DNA)، تكون نهاياتها **غير لزجة** (blunt ends) (لا تكون هذه الأطراف سلاسل مفردة من النيوكليوتيدات)، ويكون التحام هذه النهايات بقِطْع أخرى صعبًا؛ ما يجعل استخدامها في مجال تكنولوجيا الجينات محدودًا.

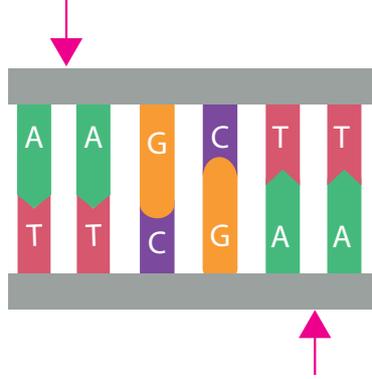
### مثال

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



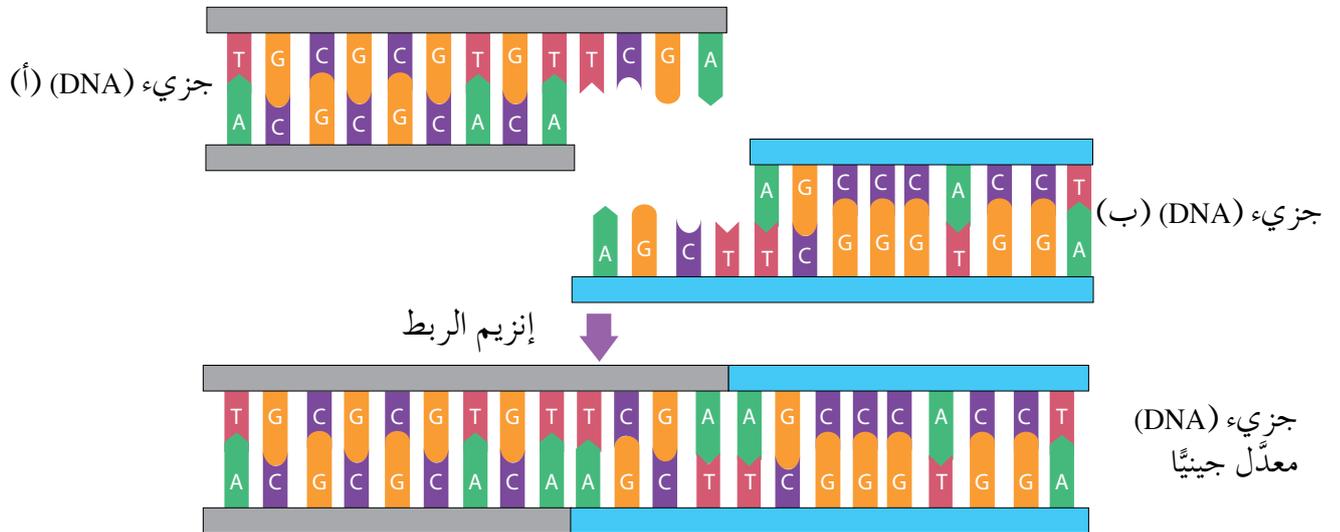
الحل

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



الشكل (٣٣-١): منطقة التعرف، ومكان قطع الإنزيم (*Hind*III).

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



الشكل (٣٤-١): كيفية عمل إنزيم الربط.

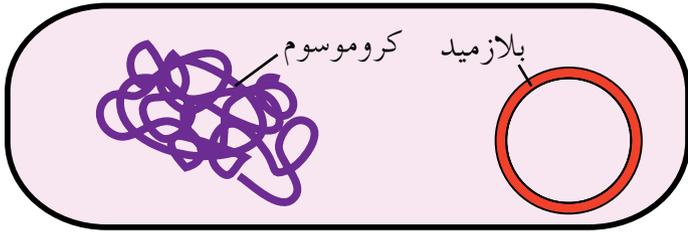
ج - إنزيم بلمرة (DNA) المتحمّل الحرارة: يُستخرج هذا الإنزيم (Taq DNA Polymerase) من بكتيريا تعيش في الينابيع الساخنة، ويُستخدم في بناء سلسلة مُكمّلة لسلسلة (DNA) الأصلية في تفاعلات إنزيم البلمرة المتسلسل الذي ستدرسه لاحقاً. يمكن استخدام قطع (DNA) الناتجة من إنزيمات القُطع المُحدّد في تطبيقاتٍ لتكنولوجيا الجينات التي يتطلّب بعضها استخدام نواقل الجينات، فما هذه النواقل؟

## نواقل الجينات

٢

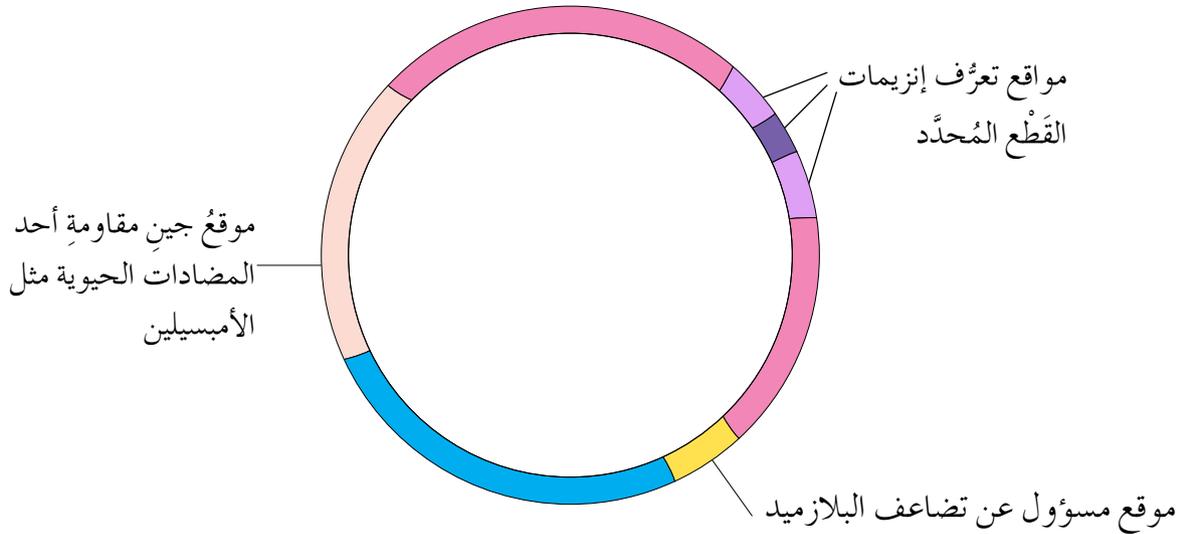
تُستخدم **نواقل الجينات** (vectors) في نقل قطع (DNA) الناتجة من إنزيمات القُطع المُحدّد إلى الخلايا المستهدفة لتعديلها جينياً. ومن الأمثلة على هذه النواقل: البلازميدات، والفيروسات. أ- البلازميدات: يُستخدم **البلازميد** ناقل جيناتٍ، وهو جزيء (DNA) حلقي يوجد في

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



الشكل (١-٣٥): المادة الوراثية في البكتيريا: البلازميد والكروموسوم البكتيري.

يجب توافر مواقع مهمة في البلازميد الذي يُستخدم ناقل جيناتٍ، فما هذه المواقع؟ للإجابة، لاحظ الشكل (١-٣٦).

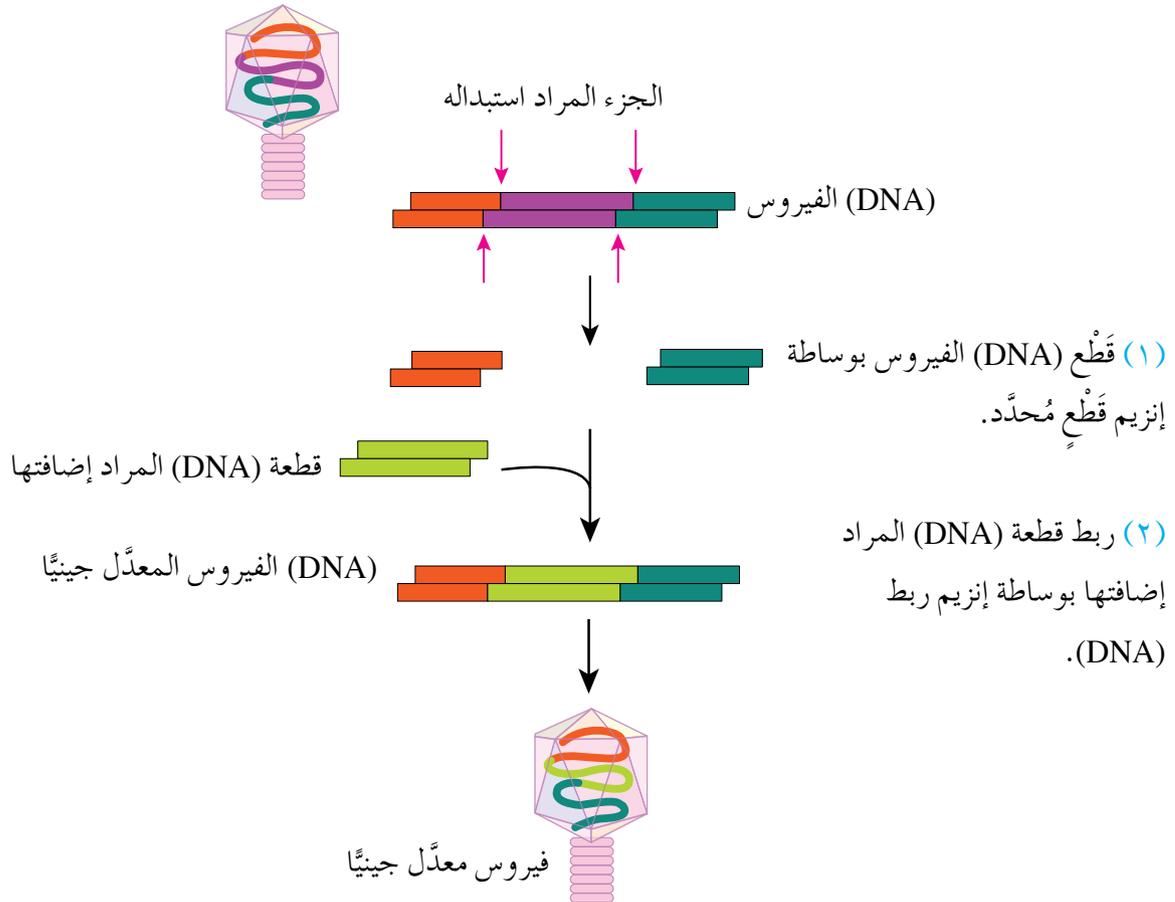


الشكل (١-٣٦): مواقع في البلازميد الذي يُستخدم ناقل جيناتٍ.

وفي ما يأتي المواقع المهمة في البلازميد الذي يُستخدم ناقلَ جيناتٍ:

١. الموقع المسؤول عن تضاعف البلازميد.
٢. مواقع تعرّف إنزيمات القَطْع المُحدّد؛ إذ تعرّف هذه الإنزيمات تسلسل النيوكليوتيدات في هذه المواقع، فتَقطَع عندها تُضاف قِطَع (DNA) المرغوبة إلى البلازميد.
٣. الموقع الذي يحوي جينَ مقاومةٍ نوع من المضادات الحيوية أو أكثر؛ لتسهيل فصل البكتيريا التي تحوي هذا البلازميد المعدّل جينيًّا.

ب- الفيروسات: تُستخدم بعض أنواع الفيروسات، مثل **فيروس آكل البكتيريا** (Lambda phage)، بوصفها نواقلَ جيناتٍ، ولا سيما حين تكون قِطَع (DNA) المراد نقلها كبيرة الحجم؛ إذ يُقَطَع جزء من (DNA) الفيروس، وتُضاف قطعة (DNA) مرغوبة مكانه، بالاستعانة بإنزيمات القَطْع المُحدّد، وإنزيم ربط (DNA)، لاحظ الشكل (١-٣٧).



الشكل (١-٣٧): تعديل فيروس لاستخدامه ناقلَ جيناتٍ.

تدخل النواقل 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.

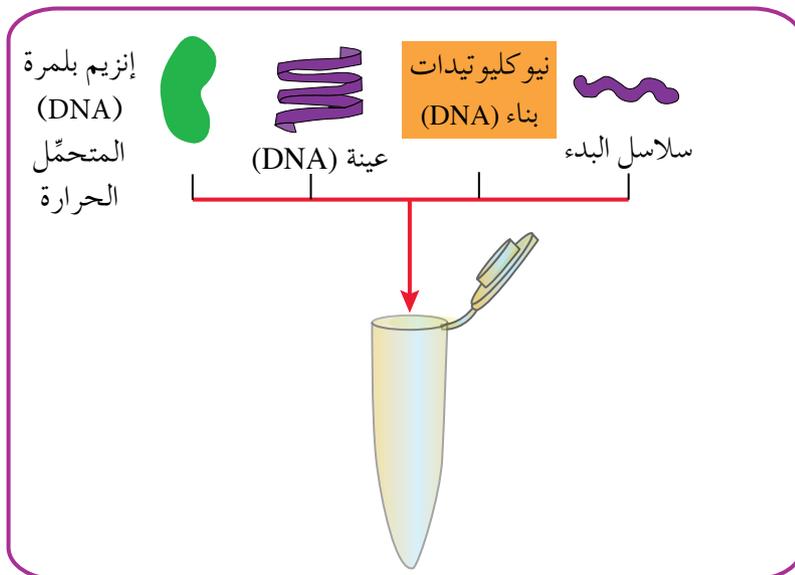
## الطرائق المستخدمة في تكنولوجيا الجينات

ثانيًا

تُستخدم طرائق مخبرية عدّة في إنتاج نسخ متعددة من (DNA)، وفي فصل قِطَع (DNA) بعضها عن بعض. وسنتعرّف في هذا الفصل تفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل (Polymerase Chain Reaction)، والفصل الكهربائي الهلامي (Gel electrophoresis)، فكيف يتم كلٌّ منهما؟

### ١ تفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل

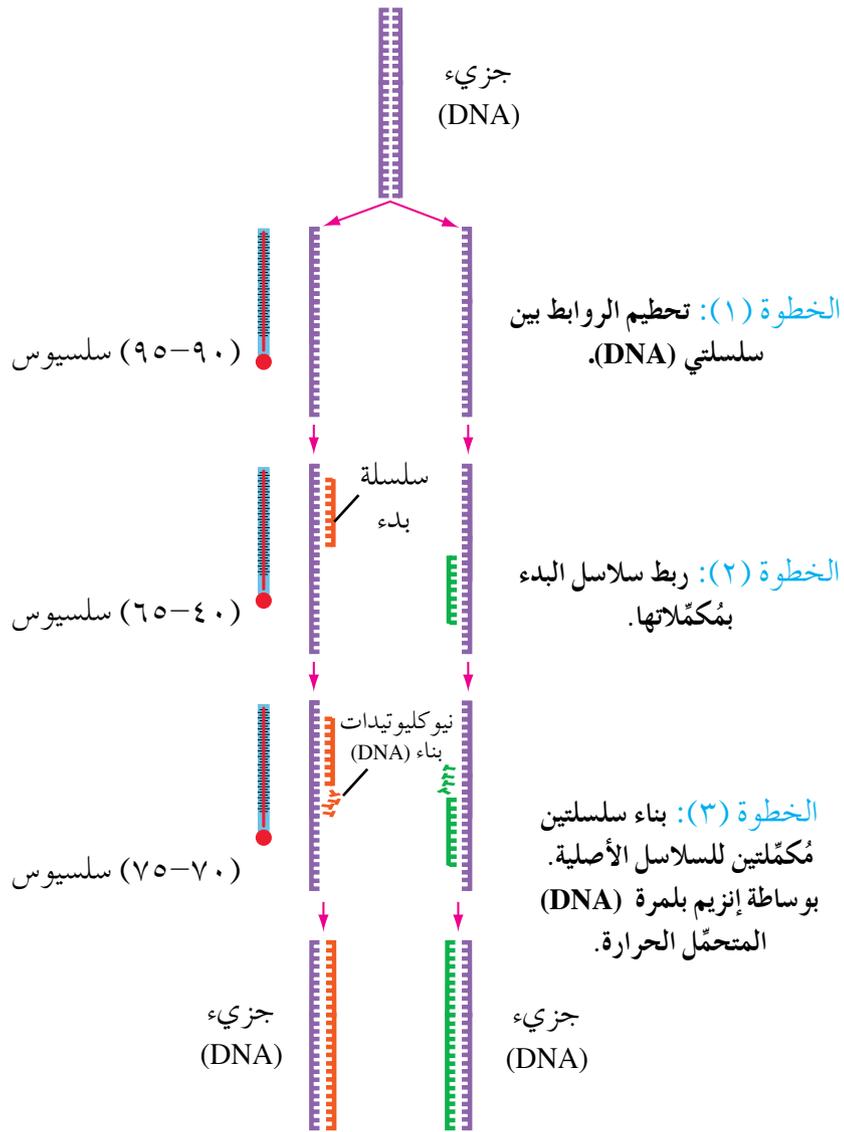
نال العالم كاري موليس (Kary Mullis) جائزة نوبل عام ١٩٩٣م لاختراعه طريقة تفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل (PCR)، الذي يُستخدم في إنتاج نسخ كثيرة من قِطَع (DNA) خارج الخلية الحية باستخدام جهاز خاص. يُستفاد من نسخ (DNA) الناتجة في مجالات عدّة، منها: تكثير جين مُعيّن مرغوب لاستخدامه في التعديل الجيني، وتكثير عدد نسخ (DNA) لمُسبّب مرض ما، وهو ما يساهم في الكشف عن وجود مُسبّبات الأمراض الفيروسية والبكتيرية في عيّنات المرضى، وتشخيص بعض الاختلالات الوراثية، وتعرّف بصمة (DNA)، فما المواد اللازمة لهذا التفاعل؟ للإجابة، لاحظ الشكل (١-٣٨).



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

لإجراء تفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل تُستخدم المواد والأدوات الآتية: إنزيم بلمرة (DNA) المتحمّل الحرارة، وعيّنة (DNA) المراد نسخها، ونيوكليوتيدات بناء (DNA)، وسلاسل البدء (Primers) التي تُعرّف بأنها سلاسل (DNA) أحادية قصيرة، يكون تتابع النيوكليوتيدات فيها مُكمّلاً للنيوكليوتيدات في المنطقة التي يبدأ فيها نسخ (DNA). وما إن تتوفر المواد الضرورية للتفاعل حتى تُنقل إلى أنبوب خاص يوضع في جهاز تفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل.

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

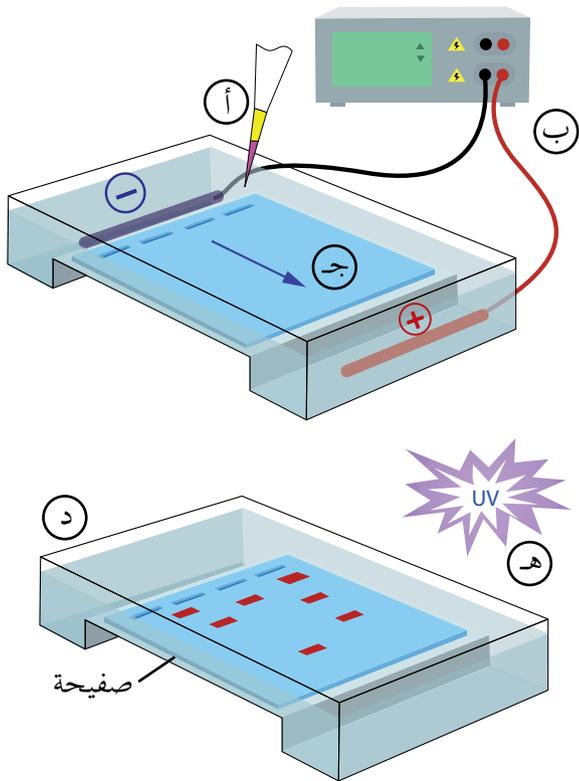


الشكل (١-٣٩): دورة تفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل.

تحدث التفاعلات على صورة دورات تستغرق مُدَّةً زمنية قصيرة، تتراوح بين ثوانٍ ودقائق، وتتضمَّن كل خطوة من خطوات الدورة ضبط درجات الحرارة كما هو مُبيَّن في الشكل (١-٣٩)؛ إذ تُعدُّ الدقة في ضبط درجة الحرارة عاملاً أساسياً لإتمام كل خطوة من خطوات الدورة. ففي الخطوة الأولى تُفصل سلسلتا (DNA)، وذلك بتحطيم الروابط بينهما. وفي الخطوة الثانية ترتبط سلاسل البدء بمُكمِّلاتها. وفي الخطوة الثالثة تُبنى سلسلتا (DNA) جديدتان مُكمِّلتان للسلسلتين الأصليتين، فيتضاعف جزيء (DNA) الأصلي. تُكرَّر الدورة مرات عدَّة قد تصل إلى (٣٥) دورة، وتكون جميع نُسخ (DNA) الناتجة من تفاعلات (PCR) نسخاً طبق الأصل عن جزيء (DNA) الأصلي.

## الفصل الكهربائي الهلامي للمادة الوراثية

٢



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

يُستعمل **الفصل الكهربائي الهلامي** لفصل قِطَع (DNA) في عيِّنة ما اعتماداً على حجمها. ولَمَّا كانت قطع (DNA) مشحونة بشحنة سالبة فإنها تتحرك باتجاه القطب الكهربائي الموجب، لاحظ الشكل (١-٤٠/ج).

تختلف المسافة التي تتحركها قِطَع (DNA) في المادة الهلامية باختلاف حجم كلِّ منها؛ فالقِطَع الصغرى تقطع مسافة أطول من القِطَع الكبيرة في الوقت المستغرق نفسه، وهو ما يُعدُّ أساساً لفصل مزيج من قِطَع (DNA).

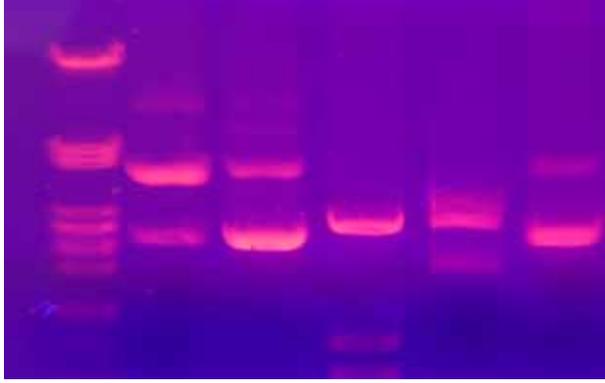
لتعرِّف خطوات الفصل الكهربائي الهلامي للمادة الوراثية، لاحظ الشكل (١-٤٠). يمكن تلخيص الخطوات المُبيَّنة في الشكل على النحو الآتي:

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

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

ج- انتقال قِطْع (DNA) باتجاه القطب الموجب بسرعة تناسب عكسيًا مع حجمها.

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



الشكل (٤١-١): أشرطة (DNA) مثلما تُشاهد باستخدام الأشعة فوق البنفسجية.

هـ- نقل الصفيحة إلى جهاز آخر

خاص مزوّد بمصدر للأشعة فوق

البنفسجية (UV)؛ فتظهر أشرطة

مصبوغة تختلف مواقعها على

المادة الهلامية، ويُمثّل كل شريط

أحمر قطعة (DNA)، لاحظ الشكل

(٤١-١)، وتَقَطِّع قِطْع (DNA)

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

## سؤال ؟

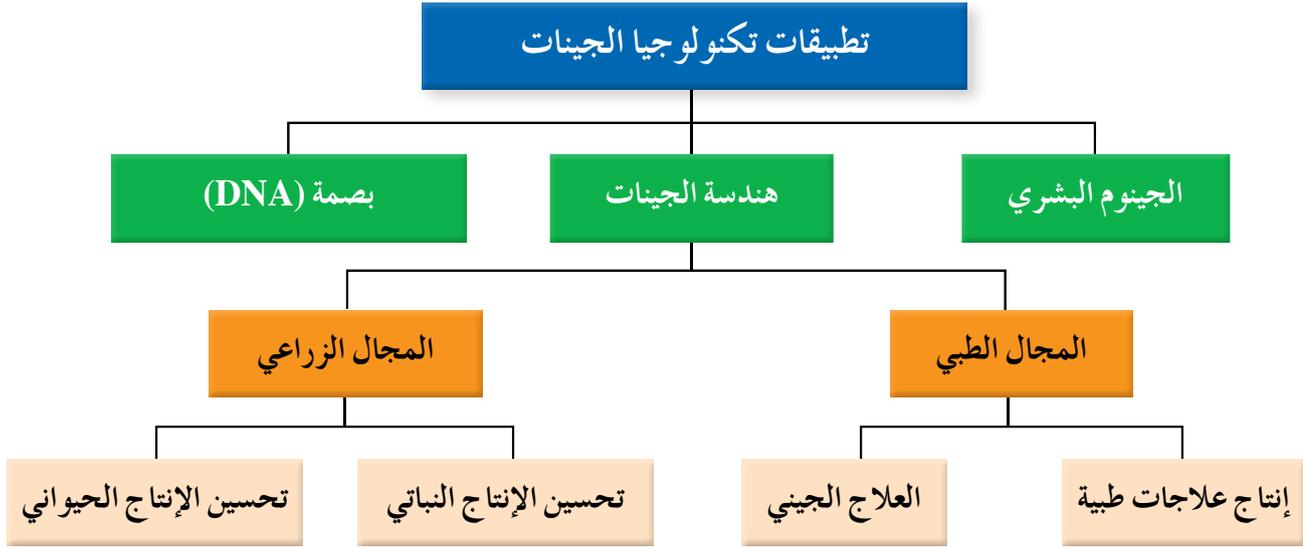
يُمثّل الشكل (٤٢-١) نتائج الفصل الكهربائي الهلامي لعدد من قِطْع (DNA) المفردة:

- انسب كل قطعة (DNA) إلى الرمز الذي يُمثّلها على الشريط المُرمّز من (أ-ز).
- ما الأساس الذي اعتمدت عليه في إجابتك؟

أ	GCGAATGCGTCCAAC	١
ب	GCGAATTGCGTCC	٢
ج	GCAATGCGTCCACAACGC	٣
د	GCGAATGCGTCCAC	٤
هـ	GCGAATGCGTC	٥
و	GCGAATGC	٦
ز	GCGAATGCGTCCACAACGCTAC	٧

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

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



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

## ١ الجينوم البشري

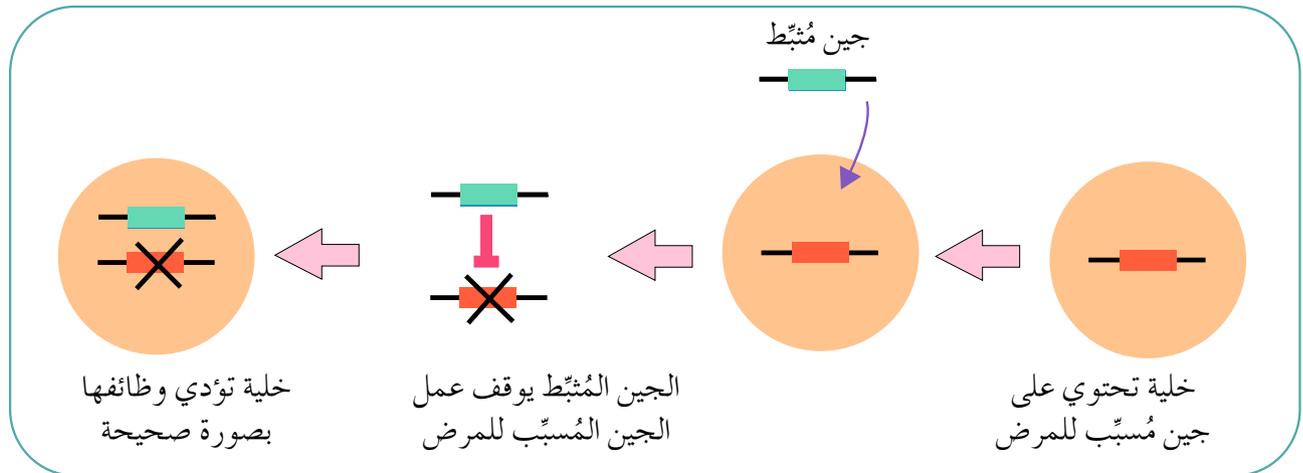
درست سابقاً أن كل خلية جسمية في الإنسان ثنائية المجموعة الكروموسومية تحتوي على (٤٦) كروموسوماً، وكل كروموسوم يحمل مجموعة من الجينات، وكل جين يتكوّن من تسلسل مُحدّد من النيوكليوتيدات، فما تسلسل النيوكليوتيدات لكل جين من الجينات الموجودة على كل كروموسوم؟ ظهرت فكرة مشروع **الجينوم البشري** عام ١٩٩٠م، وتضافرت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

تُعَدُّ **هندسة الجينات** أحد أهم تطبيقات تكنولوجيا الجينات، وتتضمَّن تعديل تركيب (DNA) لِيُنتَج (DNA) معدَّل جينيًّا، يُستخدَم في إنتاج كائنات حية معدَّلة جينيًّا ذات صفات مرغوبة، فما مجالات هندسة الجينات؟

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

١. 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 سابقًا.

٢. العلاج الجيني: من الأمراض التي تُعالج جينيًّا مرض التليف الكيسي، ونزف الدم. تُعالج الخلايا جينيًّا بطريقتين: أولاهما تثبيط الجين المُسبب للمرض وإيقافه عن العمل، لاحظ الشكل (١-٤٤).



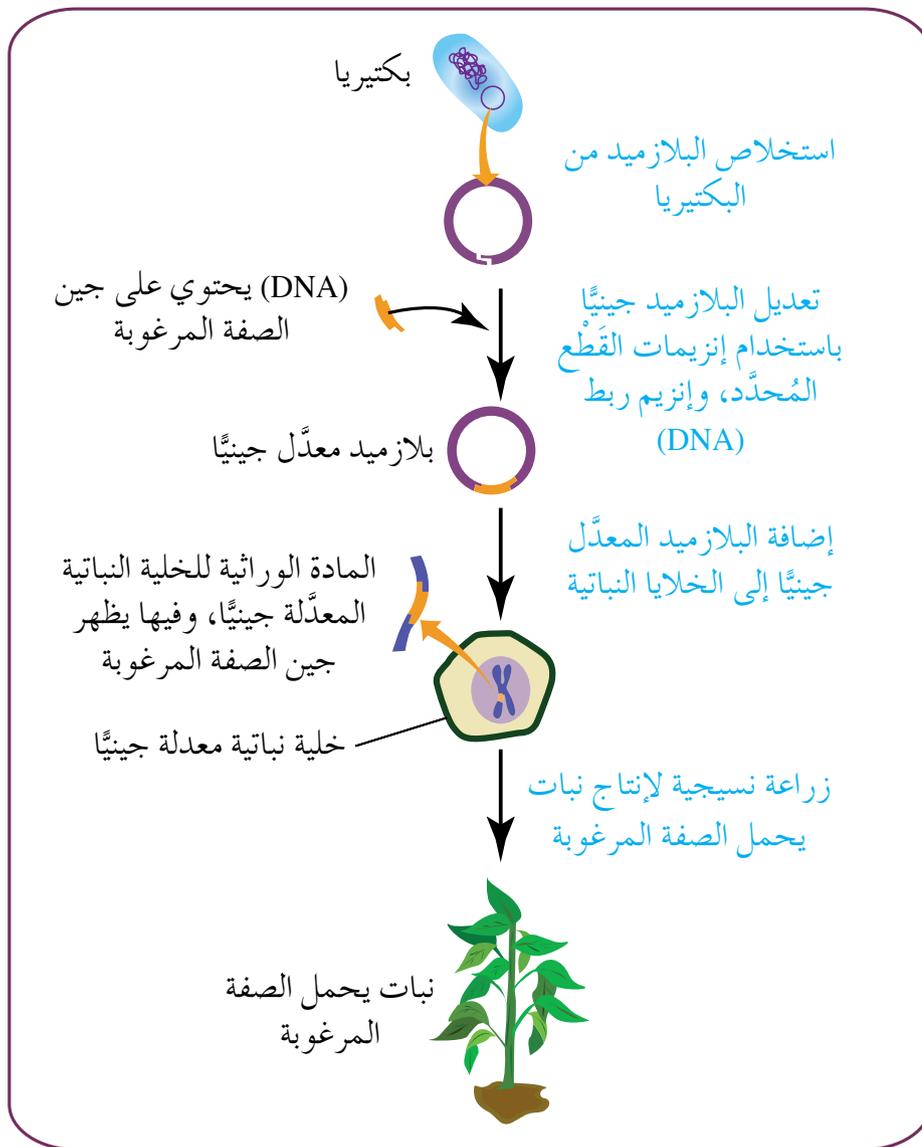
الشكل (١-٤٤): المعالجة الجينية بتثبيط الجين المُسبِّب للمرض.

وثانيتها إدخال الجينات السليمة عن طريق نواقل الجينات، بحيث تُنقل الجينات السليمة إلى الخلايا الجسمية، أو الجاميتات، أو البويضة المخصبة.

ب- المجال الزراعي: يشهد العالم زيادة كبيرة في عدد السكان، ويعاني شحاً في الموارد، وزحف العمران إلى المناطق الزراعية، والرعي 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: استُخدمت هندسة الجينات في إكساب النباتات صفات جديدة تُمكنها من تحمّل الظروف البيئية القاسية؛ إذ يُنقل إليها جينات تجعلها قادرة على مقاومة الحشرات، أو الأمراض، أو الملوحة، أو الجفاف.

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



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

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

٢. تحسين الإنتاج الحيواني: من الاستخدامات الأخرى لهندسة الجينات في المجال الزراعي تعديل بعض 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، فتكوّن الأسماك المعدلة جينياً كمية كبيرة من هرمون النمو استجابةً لتعليمات الجين الموجود عندها أصلاً، إضافةً إلى تعليمات الجين الذي أُضيف إليها، وهو ما يتسبّب في زيادة نموها.

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

### بصمة (DNA)

٣

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

تُستخلص عيّنة (DNA) من أنسجة الجسم وسوائله المختلفة، مثل: الدم، والسائل المنوي، واللعاب، والبول، وبصيلات الشعر، والجلد، والأسنان، والعظام، والعضلات، والأنسجة الطلائية، ثم يُستخدم تفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل، وإنزيمات القُطع المُحدّد، وتقنية الفصل الكهربائي الهلامي للعيّنات التي تُجمَع من مسرح الجريمة، ومن المشتبه فيهم في حالة الجرائم، أو من الطفل والأبوين في حالة إثبات النسب، ثم تقارَن نتائج العيّنات المفحوصة بعيّنات المشتبه فيهم للتوصّل إلى الجناة في حالة الجرائم، أو بعيّنات الآباء للفصل في قضايا إثبات النسب.



- 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 أثر 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 لدخولها، ويهاجمها، فلا يستفيد المريض من المعالجة الجينية.
  - ٣ - تحوُّل 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 المرصية.
  - ٤ - إنتاج كائنات حية تُؤثّر في الاتزان البيئي والسلاسل الغذائية.

### مؤسساتنا فخرنا

للاستزادة عن أهمية تفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل (PCR)، ورسم خرائط الجينات، زُر الموقع الإلكتروني لمركز الحسين للسرطان/ العلاج بالخلايا والجنيوم: [www.khcc.jo](http://www.khcc.jo).



اكتب تسلسل النيوكليوتيدات في القِطْع الناتجة من استخدام إنزيم القِطْع المُحدّد *HindIII*، مستعينًا بالجدول (٦-١).

الجدول (٦-١): بعض إنزيمات القِطْع المُحدّد، ومناطق التعرّف والقِطْع.

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

٥ - يُبيّن الجدول الآتي مناطق التعرّف والقِطْع لإنزيمات مختلفة:

الإنزيم	منطقة التعرّف والقِطْع
س	<pre> G   A - A - T - T - C                   C - T - T - A - A   G </pre>
ص	<pre> G   G - A - T - C - C                   C - C - T - A - G   G </pre>
ع	<pre> A   A - G - C - T - T                   T - T - C - G - A   A </pre>

أ - أيُّ الإنزيمات الواردة في الجدول يمكن استخدامه لِقِطْع جزء (DNA) الآتي:



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

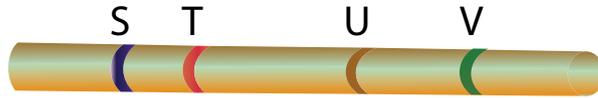
١- لكل فقرة من الفقرات الآتية أربع إجابات، واحدة منها فقط صحيحة، حددها:  
(١) أي أنماط التوارث الآتية تُفسّر ترجمة الطراز الجيني غير متماثل الأليلات إلى طرز شكلية مختلفة عند كل من الذكور والإناث:

أ - الجينات المتعددة. ب - الأليلات المتعددة.

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

(٢) مستعيناً بالشكل (١-٤٨)، أي الجينات الآتية أقل احتمالية لحدوث عملية العبور

بينها:



الشكل (١-٤٨): السؤال الأول.

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

(٣) أي الآتية يُعدُّ ناقلَ جيناتٍ:

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

ج - إنزيم القُطع المُحدّد. د - بلازميد.

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

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

ج - إنتاج هرمون الإنسولين. د - العلاج الجيني.

٢ - فسّر ما يأتي:

- الأب الذي فصيلة دمه (AB) لا يُنجب 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)، فظهرت

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

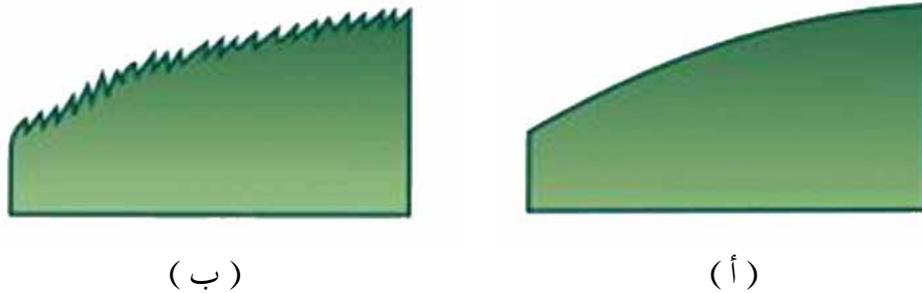
تزاوج إناث من دون قرون مع ذكور بقرون من أفراد الجيل الأول ظهر أفراد الجيل الثاني الذكور بنسبة (٣) بقرون إلى (١) من دون قرون، والإناث بنسبة (٣) من دون قرون إلى (١) بقرون:

- أ - ما نمط توارث صفة القرون عند هذه الأغنام؟ فسّر إجابتك.  
ب - اكتب الطرز الجينية والشكلية لأفراد الجيل الثاني.

٤- إذا كان أحد الكروموسومات يحمل الجينات (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٪، ويبعد 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 المُسنَّنة للأوراق كما في الشكل (١-٤٩)، ويسود أليل لون الأزهار الأصفر (Y) على أليل لون الأزهار الأبيض. إذا نُقلت حبوب لقاح من نبات مجهول الطراز الجيني والطرز الشكلي إلى نباتين على النحو الآتي:



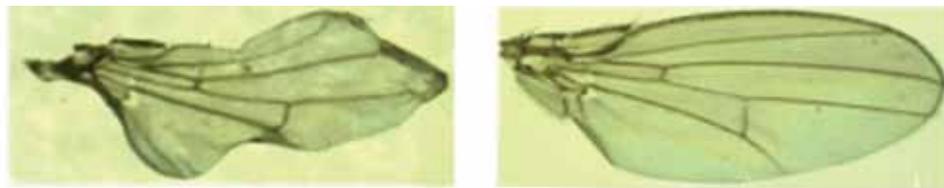
الشكل (١-٤٩): حواف أوراق النبات: أ - ملساء. ب - مُسنَّنة.

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

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

ما الطرز الجينية للنباتات جميعها الواردة في هذا السؤال؟

٦ - في ذبابة الفاكهة، أليل لون الجسم الرمادي (G) يُحمَل على كروموسوم جسمي، ويسود على أليل لون الجسم الأسود (g)، وأليل الأجنحة المنتظمة (S) يُحمَل على كروموسوم جنسي (X)، ويسود على أليل الأجنحة غير المنتظمة (s)، انظر الشكل (١-٥٠). 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)

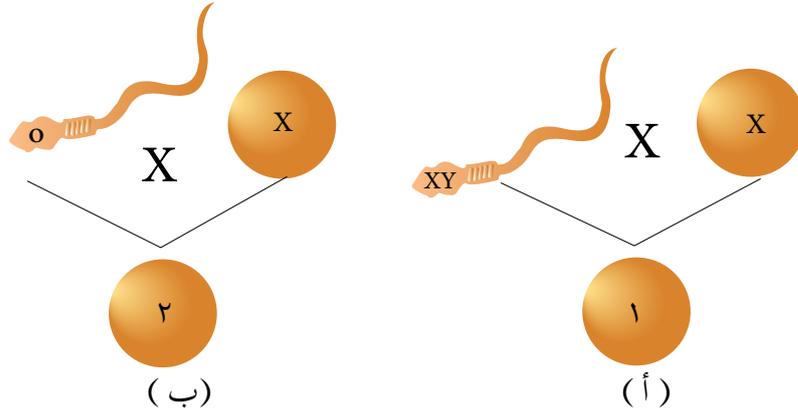
الشكل (١-٥٠): الأجنحة في ذبابة الفاكهة: أ - منتظمة. ب - غير منتظمة.

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

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

ب - اذكر أعراض الإصابة بكلّ من: مرض فينل كيتونيوريا، ومتلازمة بتاو.

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



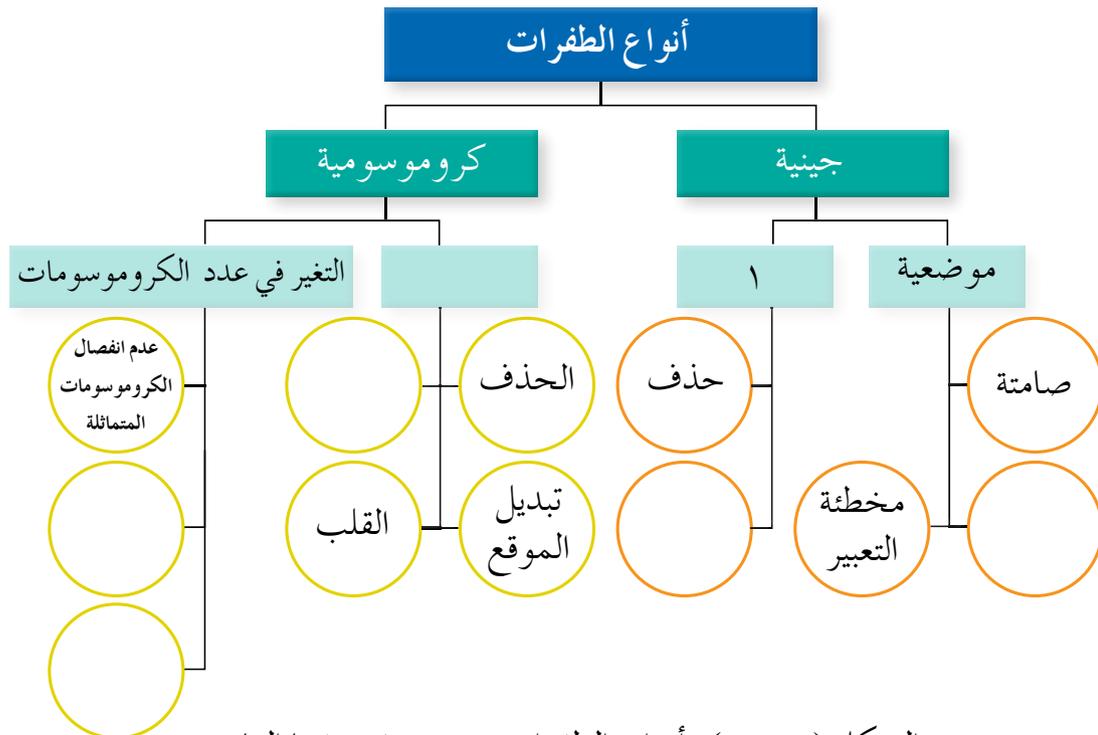
الشكل (١-٥١): نتائج حالتها تراوَج.

أ - اكتب اسم الاختلال الوراثي والطرز الكروموسومي الجنسي الذي يُمثله كلٌّ من الرقمين (١)، و(٢).

ب - اذكر أهم أعراض الاختلالين اللذين يُمثلهما كلٌّ من الشكلين (١)، و(٢).

ج - ما عدد الكروموسومات الجسمية في الفرد المصاب بالاختلال الذي يُمثله الشكل (ب)؟

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



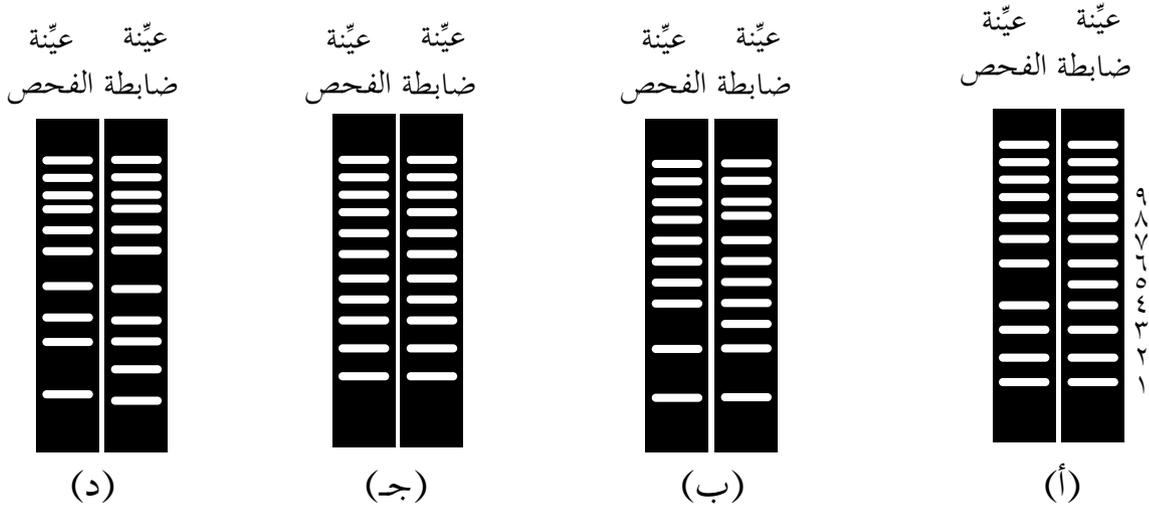
الشكل (١-٥٢): أنواع الطفرات بحسب تصنيفها العام.

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



- ما نوع الطفرة الجينية التي حدثت؟

١١ - يُشخِّص أحد الاختلالات الوراثية بغياب قطع من (DNA)، ويظهر في الشكل (١-٥٣) نتائج الفصل الكهربائي الهلامي للعيِّنة (أ) مقارنة بعيِّنة ضابطة. وقد أثبتت النتائج عدم وجود القطعة (٥) في العيِّنة (أ)، وهو ما يدل على وجود اختلال وراثي لدى صاحبها. هل تُظهر النتائج الخاصة بكلٍّ من: العيِّنة (ب)، والعيِّنة (ج)، والعيِّنة (د) وجود اختلالات وراثية لدى أصحابها؟ فسِّر إجابتك.



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

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

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

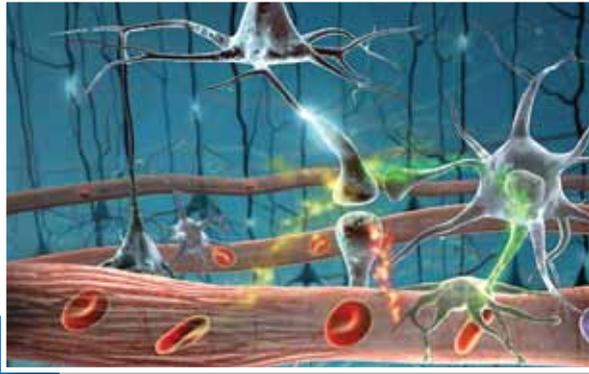


# الفصل الدراسي الثاني

## أنشطة فسيولوجية في جسم الإنسان

قال الله تعالى: ﴿سَنُرِيهِمْ آيَاتِنَا فِي الْأَفَاقِ وَفِي أَنْفُسِهِمْ حَتَّىٰ يَتَبَيَّنَ لَهُمْ أَنَّهُ الْحَقُّ ۗ أَوَلَمْ يَكْفِ بِرَبِّكَ أَنَّهُ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ شَهِيدٌ﴾.

سورة فصلت، الآية (٥٣).



● كيف تُنظِّم أنشطة جسمك المختلفة؟

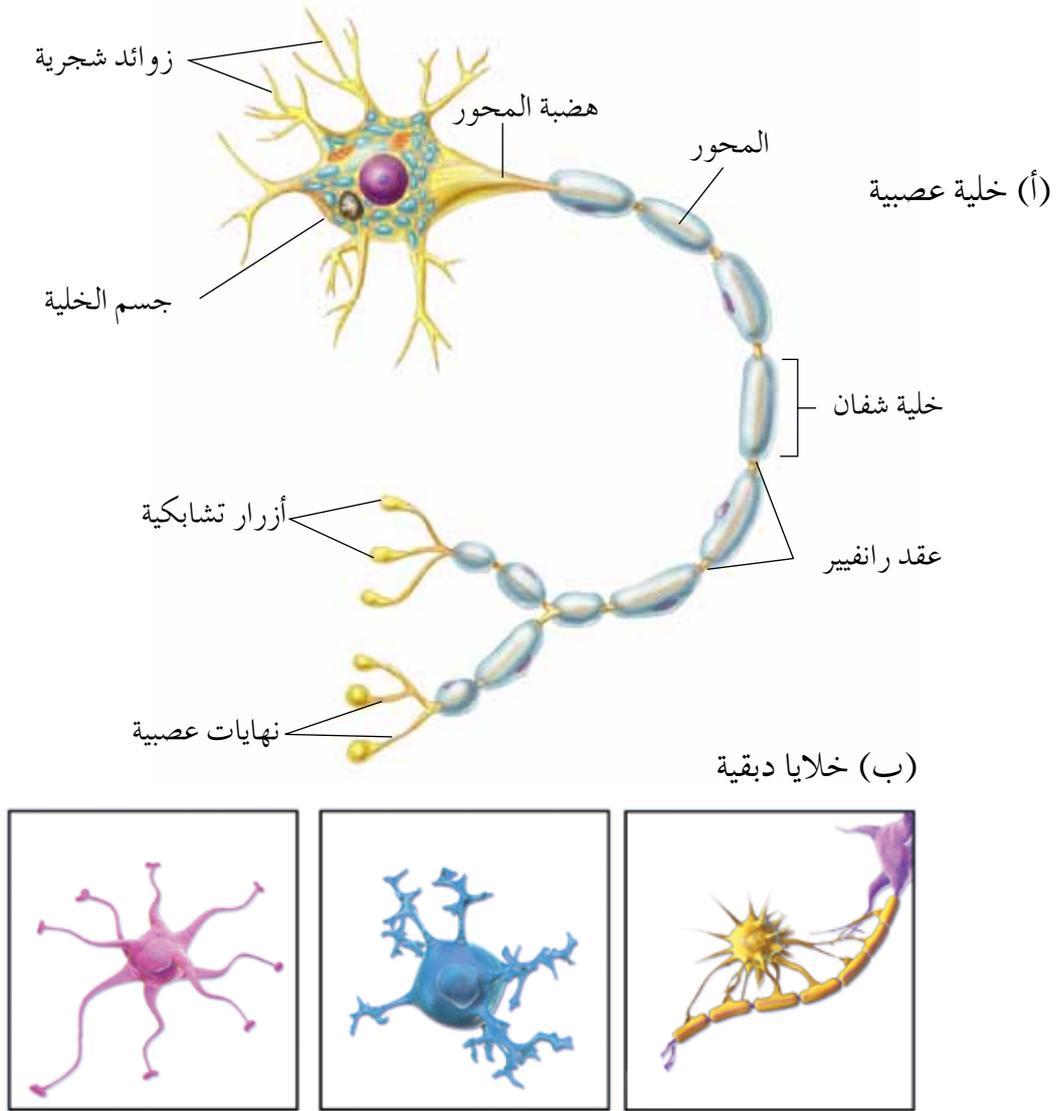
## الإحساس والاستجابة والتنظيم في جسم الإنسان

يتآزر كلٌّ من الجهاز العصبي وجهاز الغدد الصمّ لضمان عمل الأجهزة الأخرى؛ إذ يعملان معًا في أغلب الأحيان لضبط العمليات الحيوية في الجسم، وضبط الاتزان الداخلي فيه. فما أهمية الجهاز العصبي؟ وكيف تتكوّن السوائل العصبية وتنتقل إلى أجزاء الجسم المختلفة؟ وكيف يُنظّم الجهاز العصبي الذاتي عمل أجهزة الجسم اللاإرادية؟ وما دور الجهاز العصبي في انقباض العضلات الهيكلية؟ وكيف تُؤثّر الهرمونات في أنشطة الجسم المختلفة؟ ستمكّن من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها بعد دراستك هذا الفصل.

يتوقع منك أن تكون قادرًا على أن:

- تُوضّح آلية تكوّن السائل العصبي، وكيفية انتقاله.
- تُبيّن أهمية الجهاز العصبي الذاتي في تنظيم عمليات مختلفة داخل الجسم.
- تصف آلية عمل بعض المستقبلات الحسية في جسم الإنسان.
- تتبّع آلية انقباض العضلة الهيكلية.
- تُوضّح آلية عمل بعض الهرمونات.

نتعرّض في حياتنا اليومية للكثير من المنبهات، مثل: الحرارة، والضوء، والضوضاء. وقد درست سابقاً دور الجهاز العصبي في إحساس الجسم بالمنبهات والاستجابة لها. يتلاءم تركيب الجهاز العصبي مع الوظائف التي يقوم بها، ويتألف النسيج العصبي (المُكوّن الأساسي لأجزاء الجهاز العصبي) من نوعين رئيسيين من الخلايا، هما: **العصبونات (neurons)**، و**الخلايا الدبقية (neuroglia)**. ادرس الشكل (٢-١)، ثم أجب عمّا يليه من أسئلة:



الشكل (٢-١): خلايا النسيج العصبي.

- ◀ سمّ الأجزاء الرئيسة التي يتكوّن منها العصبون.
- ◀ قارن بين العصبون والخلية الدبقية من حيث الحجم.

يتكوّن العصبون من الأجزاء الرئيسة الآتية: **الزوائد الشجرية** (dendrites)، و**جسم الخلية** (cell body)، و**المحور** (axon)، ونهايات عصبية تنتهي بأجزاء منتفخة تُدعى **الأزوار الشبكية**. وتُسمّى نقطة اتصال جسم الخلية بالمحور **هضبة المحور**. يحيط بمحور العصبون غالبًا **غمد مليني** (myelin sheath) تُكوّنه **خلايا شفان** (Schwann cells)، ويوجد بين هذه الخلايا عقد رانفيير.

ويحوي النسيج العصبي خلايا داعمة تُسمّى **خلايا دبقية** (neuroglia)، وهي أكثر عددًا من العصبونات، وأصغر حجمًا منها، ولها وظائف عدّة، منها: دعم العصبونات، وحمايتها، وتزويدها بالغذاء.

تَنقُل العصبونات المعلومات بين أجزاء الجسم والدماغ والحبل الشوكي، وبين العصبونات نفسها على شكل إشارات كهروكيميائية (electrochemical signals) تُسمّى **السيال العصبي**، فكيف ينشأ السيل العصبي؟ وكيف ينتقل؟

## ١ تكوّن السيل العصبي

ينشأ **السيال العصبي** (جهد الفعل) عند تعرّض العصبون لمنبّه ما مناسب، ويساهم تركيب الغشاء البلازمي للعصبون مساهمةً فاعلةً في تكوين السيل العصبي؛ إذ توجد قنوات متخصصة فيه تُدعى **قنوات الأيونات** (ion channels).

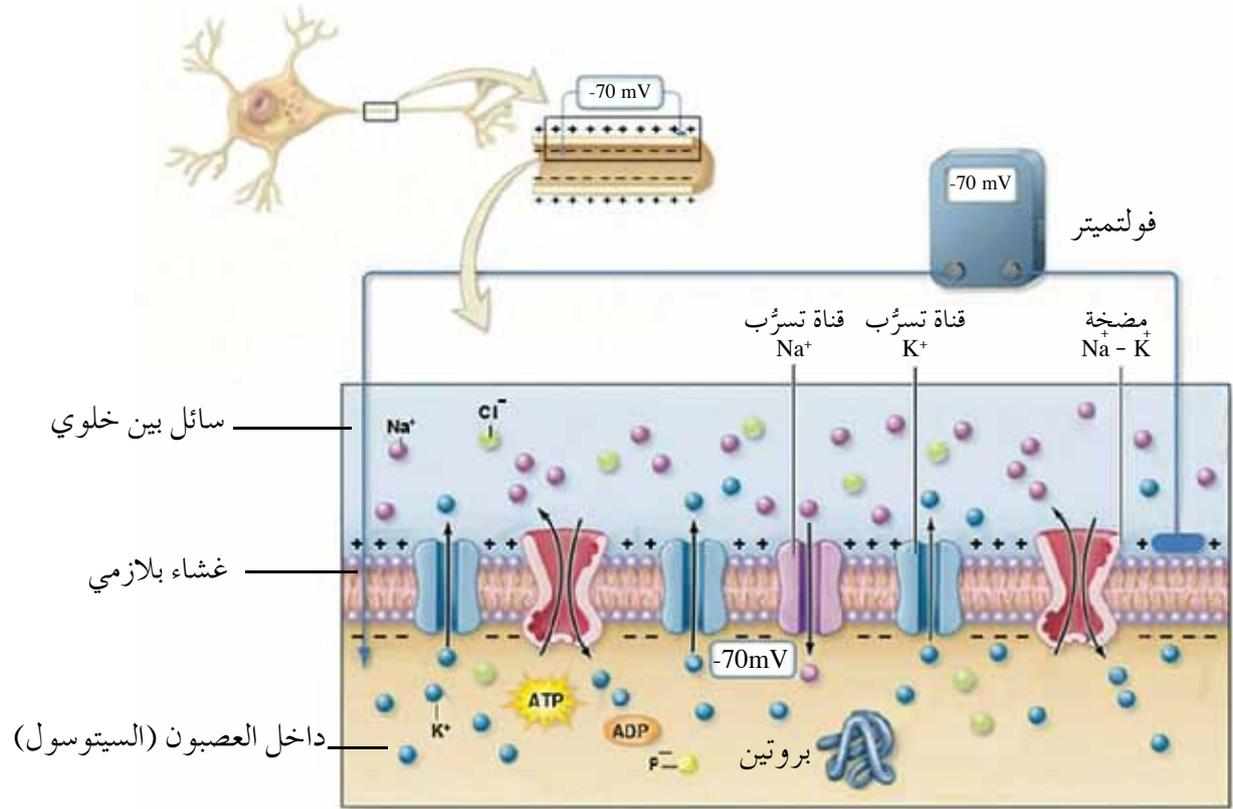
تختلف هذه القنوات في ما بينها من حيث طبيعة العمل؛ فمنها ما يحتاج إلى مُنظّم لفتحها وإغلاقها، مثل: **القنوات الحساسة للنواقل الكيميائية** (ligand-gated channels)، و**القنوات الحساسة لفرق الجهد الكهربائي** (voltage-gated channel)، ومنها ما لا يحتاج إلى مُنظّم لفتحها وإغلاقها، مثل **قنوات التسرّب** (leak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

والآن، لتتعرّف حالة العصبون قبل وصول منبّه مناسب وبعد وصوله.

أ - حالة العصبون قبل وصول منبّه 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 مُعرّضًا لمنبّه مناسب، فإنه يكون في

مرحلة الراحة. وينشأ في هذه المرحلة جهد يُسمى **جهد الراحة** (resting potential).  
لتعرّف 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؟

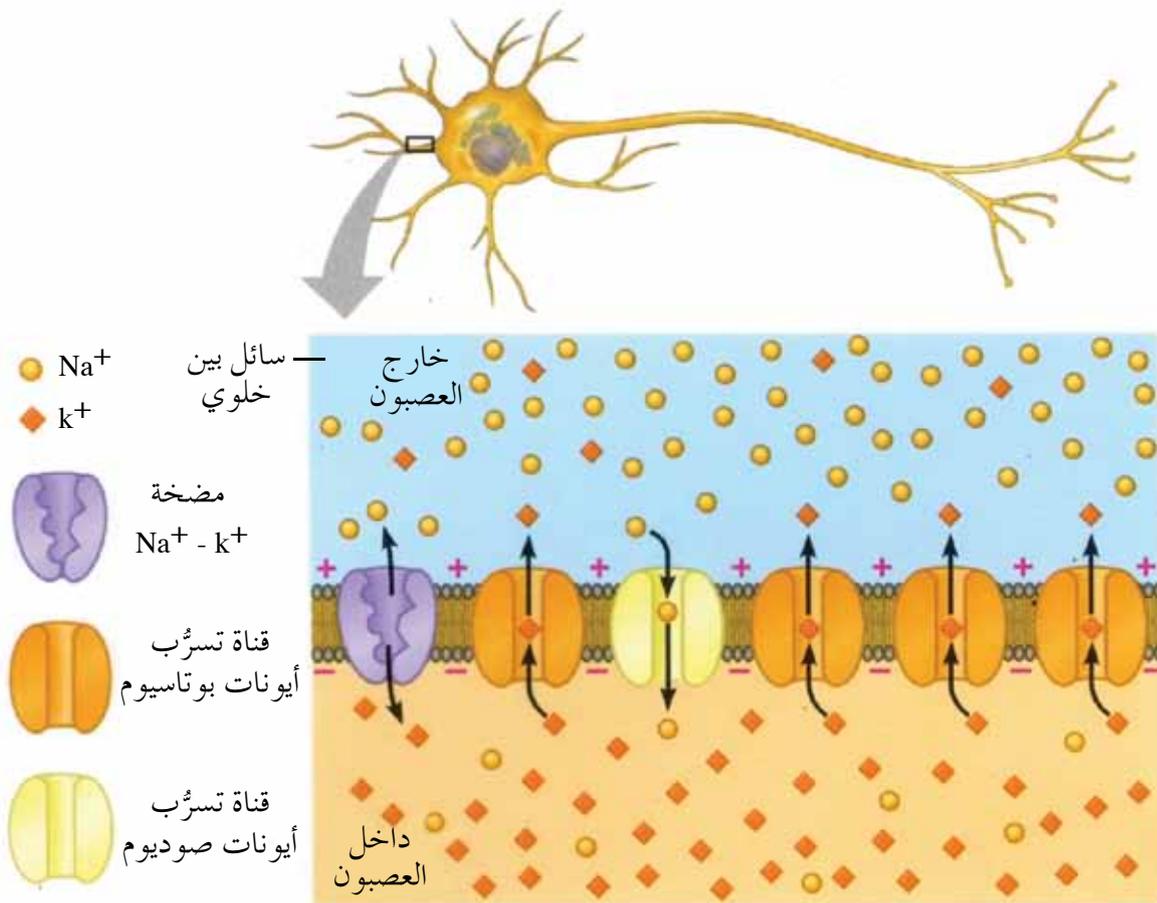
◀ كم يبلغ مقدار جهد الراحة للعصبون؟

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 السييتوسول).

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 مقارنةً بخارجها.

يتكوّن جهد الراحة نتيجةً لعوامل عدّة، منها:

١. احتواء الغشاء البلازمي على قنوات تسرّب أيونات تسمح بنفاذ أيونات البوتاسيوم  $K^+$  إلى خارج العصبون، وأيونات الصوديوم  $Na^+$  إلى داخله، لاحظ الشكل (٢-٣). ولأن عدد قنوات تسرّب أيونات البوتاسيوم  $K^+$  يزيد على عدد قنوات تسرّب أيونات الصوديوم  $Na^+$ ؛ فإن الشحنات الموجبة تتراكم خارج العصبون.
٢. عدم قدرة الأيونات السالبة المرتبطة بمركّبات 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 (٢-٣).



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

يبقى العصبون في مرحلة الراحة إلى أن يصل إليه منبّه (stimulus) مناسب يُحدث تغييرًا سريعًا في نفاذية غشائه البلازمي، وهو ما يؤدي إلى وصول مقدار فرق جهد الغشاء مستوى معينًا يُطلق عليه اسم **مستوى العتبة** (threshold). فمثلًا، يكون مستوى العتبة في بعض العصبونات (-55) ملي فولت، لاحظ الشكل (٢-٤/س). وإذا لم يحدث المنبّه تغييرًا في جهد الغشاء البلازمي ليصل مستوى العتبة يبقى العصبون في مرحلة الراحة.

## سؤال ?

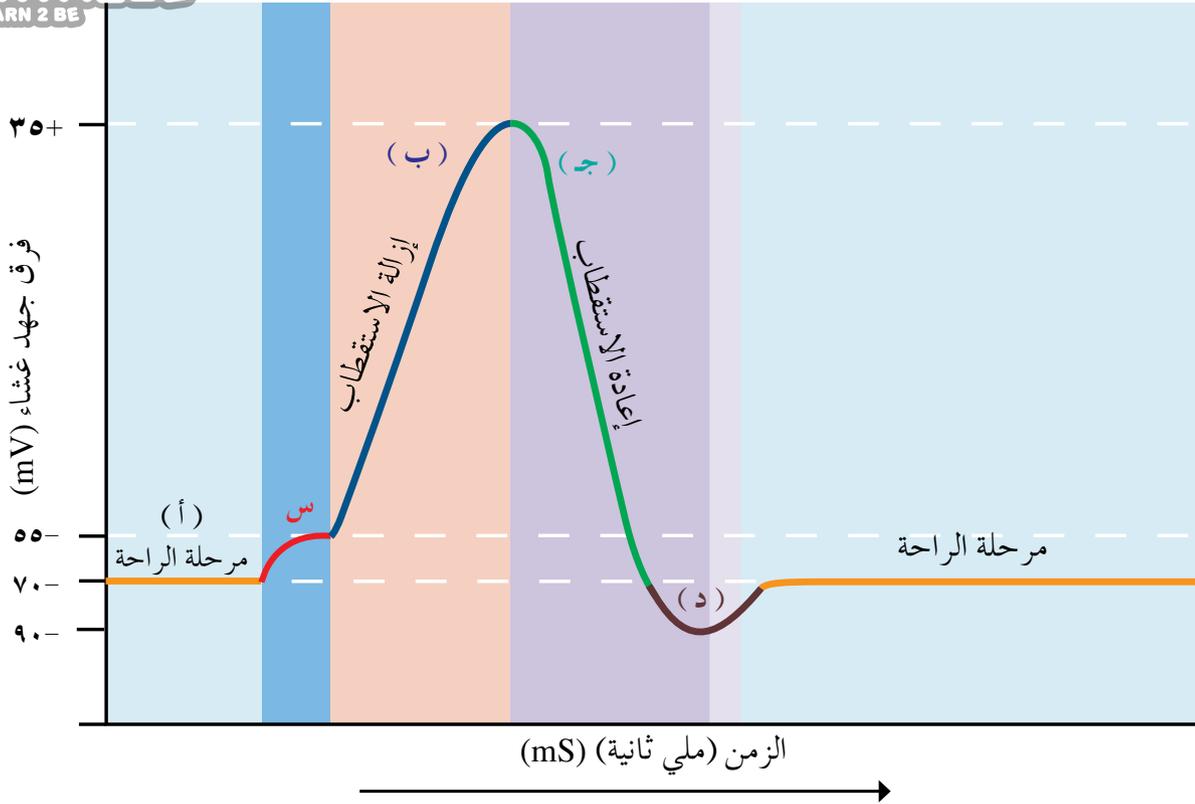
فسّر ما يأتي:

- يكون فرق جهد غشاء العصبون خلال مرحلة الراحة سالبًا.
- قد يبقى العصبون في مرحلة الراحة بالرغم من وصول عدّة منبّهات إليه.

والآن، لتعرّف حالة العصبون بعد وصول منبّه مناسب.

ب - حالة العصبون بعد وصول منبّه مناسب

١. إزالة الاستقطاب **Depolarization**: يؤدي تنبيه العصبون بمنبّه يصل بجهد الغشاء إلى مستوى العتبة أو يزيد عليه إلى فتح قنوات أيونات الصوديوم الحساسة لفرق الجهد الكهربائي (voltage gated Na<sup>+</sup> channels)، فتندفع أيونات الصوديوم Na<sup>+</sup> الموجودة في السائل بين الخلوي إلى داخل العصبون مُسببةً تراكم الشحنات الموجبة، وهو ما يؤدي إلى **إزالة الاستقطاب**، لاحظ الشكل (٢-٤/ب). تستمر أيونات الصوديوم Na<sup>+</sup> في الدخول إلى داخل العصبون، فتزيد الشحنات الموجبة داخل العصبون، ليصل فرق الجهد إلى (+٣٥) ملي فولت تقريبًا مدة 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 منبه يُغيّر جهد الغشاء إلى جهد العتبة.
- فتح قنوات  $Na^+$  الحساسة لفرق الجهد الكهربائي.
- فتح قنوات  $K^+$  الحساسة لفرق الجهد الكهربائي، بعد غلق قنوات  $Na^+$  الحساسة لفرق الجهد الكهربائي.
- غلق قنوات  $K^+$  الحساسة لفرق الجهد الكهربائي.

الشكل (٢-٤): المراحل التي يمر بها العصبون قبل وصول منبه مناسب وبعده 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)، فتندفق 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) لاحظ الشكل (٢-٤/د)، وتسمى هذه الفترة أيضاً **فترة**

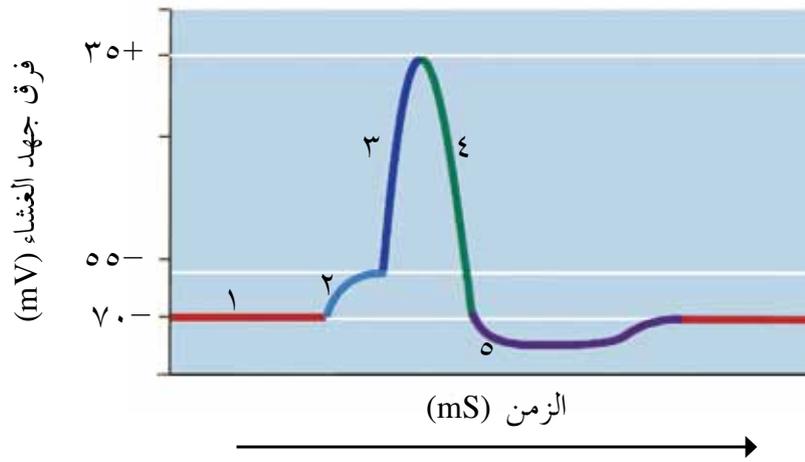
**الجموح** (refractory period)، وفيها لا يستجيب العصبون لمنبه آخر. وعندما يصل

فرق الجهد في هذه الفترة إلى (-٩٠) ملي فولت تغلق قنوات أيونات البوتاسيوم

الحساسية لفرق الجهد الكهربائي، فتصبح كلٌّ من قنوات أيونات الصوديوم وقنوات أيونات البوتاسيوم الحساسة لفرق الجهد الكهربائي مغلقة تمامًا. 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 كلٍّ من الصوديوم والبوتاسيوم - كما درست سابقاً - في إعادة تكوُّن جهد الراحة، ويصل فرق الجهد إلى (-70) ملي فولت تقريبًا.

## سؤال ؟

ادرس الشكل (٢-٥)، ثم بيِّن سبب حدوث المراحل والفترات المرقمة بالأرقام: (١، ٢، ٣، ٤، ٥).

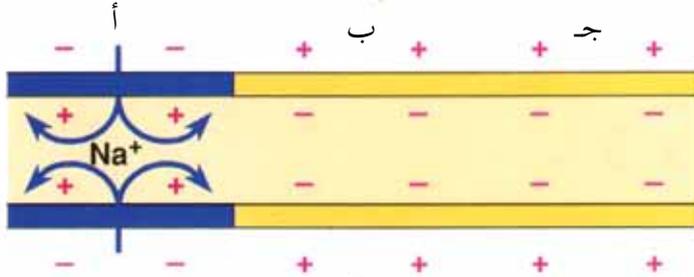
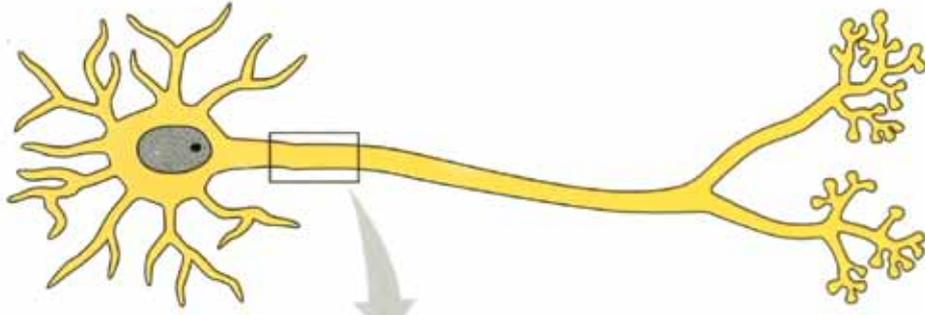


الشكل (٢-٥): سؤال المراحل والفترات التي يمر بها العصبون.

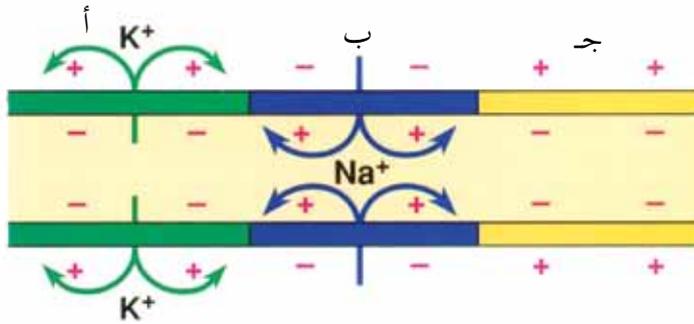
## ٢ انتقال السعال العصبي

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

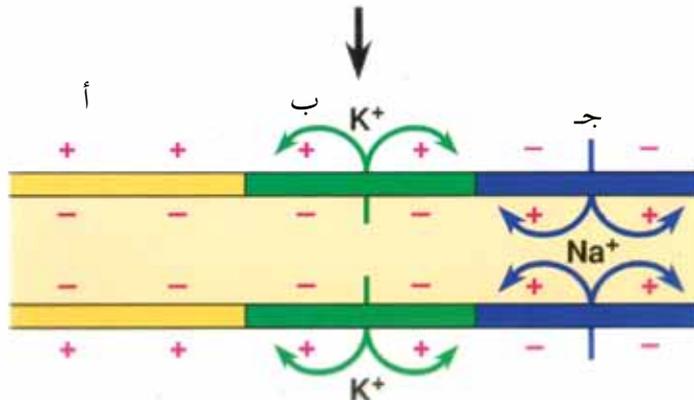
أ - انتقال السعال العصبي على طول المحور: يؤدي جهد الفعل المتولد في نقطة ما على غشاء العصبون إلى نشوء جهد فعل في المنطقة المجاورة لها، وبذا ينتقل جهد الفعل على طول محور العصبون غير المحاط بغمد مليني، لاحظ الشكل (٢-٦).



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



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

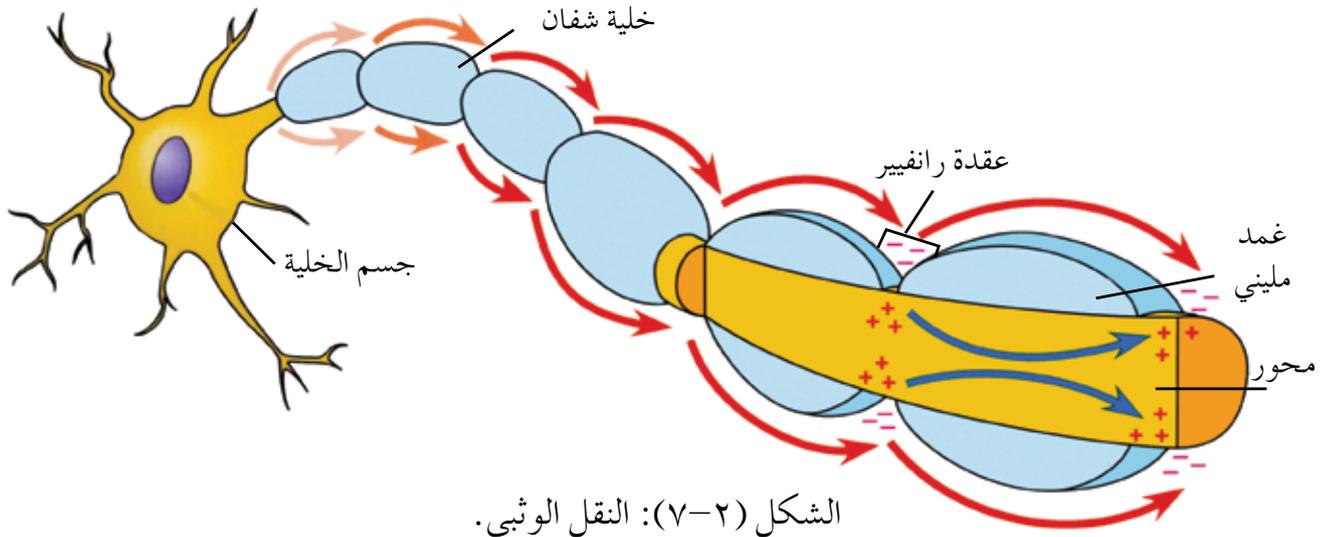


- عودة المنطقة (أ) بعد فترة الجموح إلى مرحلة الراحة، وتكون المنطقة (ب) في مرحلة إعادة الاستقطاب، والمنطقة (ج) في مرحلة إزالة الاستقطاب.

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

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

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



الشكل (٢-٧): النقل الوثبي.

تختلف سرعة انتقال السيال العصبي من عصبون إلى آخر، وتعتمد سرعة انتقاله على ما يأتي:

١. وجود الغمد المليني، وسُمكُه (إن وُجد)؛ إذ تزداد سرعة انتقال السيال العصبي بوجود الغمد المليني، وزيادة سُمكِه.

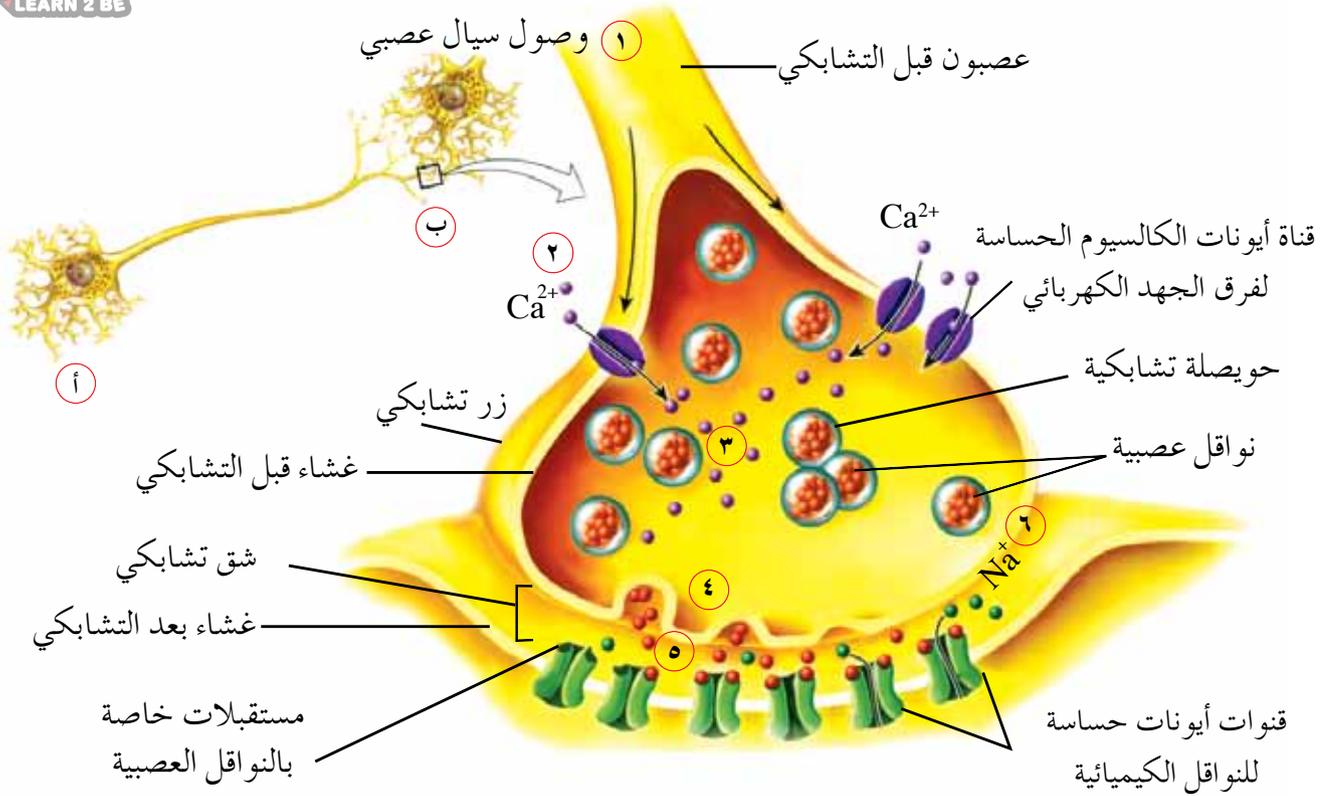
٢. قطر محور العصبون؛ إذ تزداد سرعة انتقال السيال العصبي بزيادة قطر المحور.

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

تُعرف منطقة اتصال العصبون بالعصبون الذي يليه باسم **منطقة التشابك العصبي** (synapse).

فمّم تتكوّن هذه المنطقة؟ وكيف يحدث انتقال السيال العصبي فيها؟

للإجابة، ادرس الشكل (٢-٨)، ثم أجب عمّا يليه من أسئلة:



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

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

◀ ماذا يُطلق على المادة التي تتحرر من عصبون، وتؤثر في عصبون آخر؟

يُسمّى العصبون الذي يحمل السيال العصبي نحو التشابك العصبي **العصبون قبل التشابكي** (presynaptic neuron)، وتحتوي الأزوار التشابكية الموجودة في نهاية محوره على **حويصلات تشابكية** (synaptic vesicles) بداخلها مواد كيميائية تُسمّى **النواقل العصبية** (neurotransmitters) مثل: استيل كولين، ونورأدرينالين.

أما العصبون الذي يحمل السيال العصبي بعيداً عن التشابك العصبي فيُسمّى **العصبون بعد التشابكي** (postsynaptic neuron)، ويحتوي غشاؤه البلازمي على مستقبلات خاصة بالنواقل العصبية.

يفصل غشاء كلٍّ من العصبون قبل التشابكي والعصبون بعد التشابكي شق يُسمّى **الشق التشابكي** (synaptic cleft).

- تُلخّص 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 channels)، توجد في غشاء العصبون بعد التشابكي، مُسببة دخول أيونات موجبة (مثل أيونات الصوديوم) عبر الغشاء بعد التشابكي، وهو ما يؤدي إلى إزالة الاستقطاب، وانتقال جهد الفعل في هذا الغشاء.
- ومنعًا لاستمرار تنبيه العصبون بعد التشابكي؛ تحدث إحدى العمليتين الآتيتين:
- تحطُّم الناقل العصبي في الشق التشابكي بواسطة إنزيمات معينة، ثم انتشار نواتج تحطُّمه خلال الغشاء قبل التشابكي في الزر التشابكي؛ لاستخدامها في إعادة بناء الناقل العصبي مرة أخرى.
  - عودة الناقل العصبي إلى الزر التشابكي.

## سؤال ؟

صمّم مخططًا سهميًا 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. ويُنظَّم هذا الجهاز عمل أجهزة الجسم اللاإرادية للمحافظة على الاتزان الداخلي ويرتبط بتحت المهاد في الدماغ.

وقد أثبتت الدراسات أن الجهاز العصبي الذاتي يقوم على وجود مستقبلات حسية في الأعضاء اللاإرادية للجسم تُسمى **العصبونات الحسية الحشوية الواردة**، تنقل الإحساس إلى الجهاز العصبي المركزي، الذي يُصدر الاستجابة لها عن طريق **عصبونات صادرة** إلى أعضاء محددة، مثل عضلة القلب، والعضلات الملساء في القناة الهضمية، والأوعية الدموية؛ إذ تُنقل السيالات العصبية الصادرة من الجهاز العصبي المركزي إلى الأعضاء ذات العلاقة بوساطة عصبونين، هما: **العصبون قبل العُقدي، والعصبون بعد العُقدي**. وينتج عن عمل الجهاز العصبي الذاتي، **حدوث ردود أفعال منعكسة** ترتبط بالأعضاء اللاإرادية (مثل: القلب، والكلى، والرئة).

يقسم الجهاز العصبي الذاتي إلى جهازين متضادين في العمل يعملان على حفظ الاتزان في الجسم، هما:

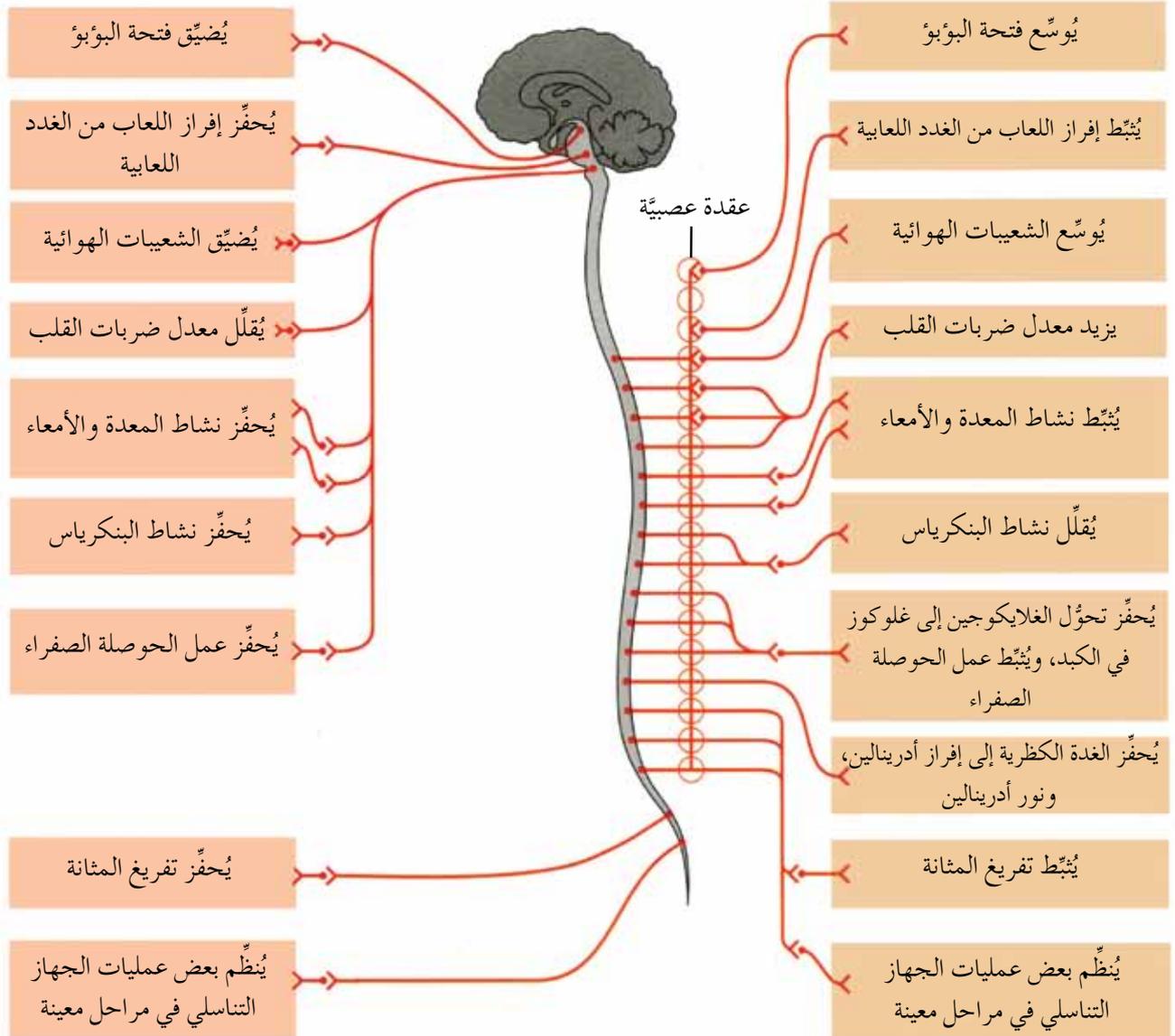
**الجهاز العصبي الودّي** (Sympathetic Nervous System)، **والجهاز العصبي شبه الودّي** (Parasympathetic Nervous System).

أمّا الجهاز العصبي الودّي فيعمل عند تعرّض الفرد للخطر، أو الضغوط النفسية، أو البيئية، ويُحفّز الجسم إلى حالات الطوارئ التي تُعرّف باسم **الكر والفر** (fight or flight)، ويتطلّب عمل هذا الجهاز قدرًا كبيرًا من الطاقة. أمّا الجهاز العصبي شبه الودّي فيعمل في حالات الجسم الطبيعية، أو يعمل على إعادة الجسم إلى وضعه الطبيعي بعد تجاوز الحالة الطارئة، ويتطلّب عمله قدرًا أقلّ من الطاقة.

لتعرّف بعض الأنشطة التي يُنظّمها الجهاز العصبي الذاتي، لاحظ الشكل (٢-٩).

## الجهاز العصبي شبه الودّي

## الجهاز العصبي الودّي



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

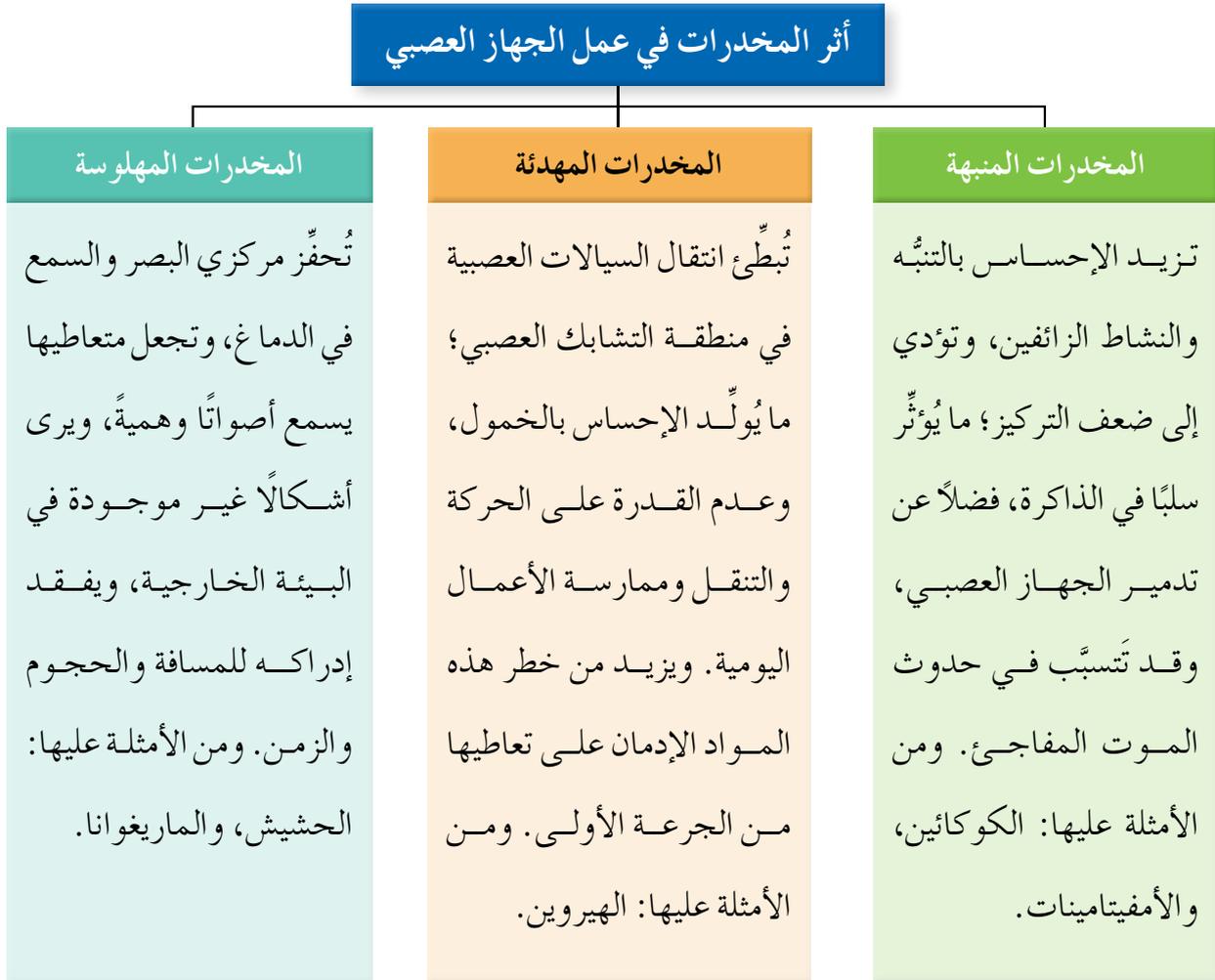
### سؤال ؟

وضّح ما يحدث من تغيّرات في جسمك إذا ظهرت أمامك فجأة أفعى في أثناء تجوّلك في نزهة.

مواقع العقد العصبية في الشكل (٢ - ٩) ليست للحفظ.

## أثر المخدرات في عمل الجهاز العصبي

تُعَدُّ المخدرات إحدى أكبر المشكلات التي تواجه العالم أجمع؛ فهي تُهدِّد أَمْنَهُ واستقراره. ولهذه المشكلة آثار مدمِّرة وخطرة على الفرد المتعاطي خاصة، والمجتمع بوجه عام. تُؤثِّر المخدرات في الجهاز العصبي بطرائق عدَّة تبعًا لنوعها. والشكل (٢-١٠) يُوضِّح مخاطر المخدرات وأضرارها على الجهاز العصبي:



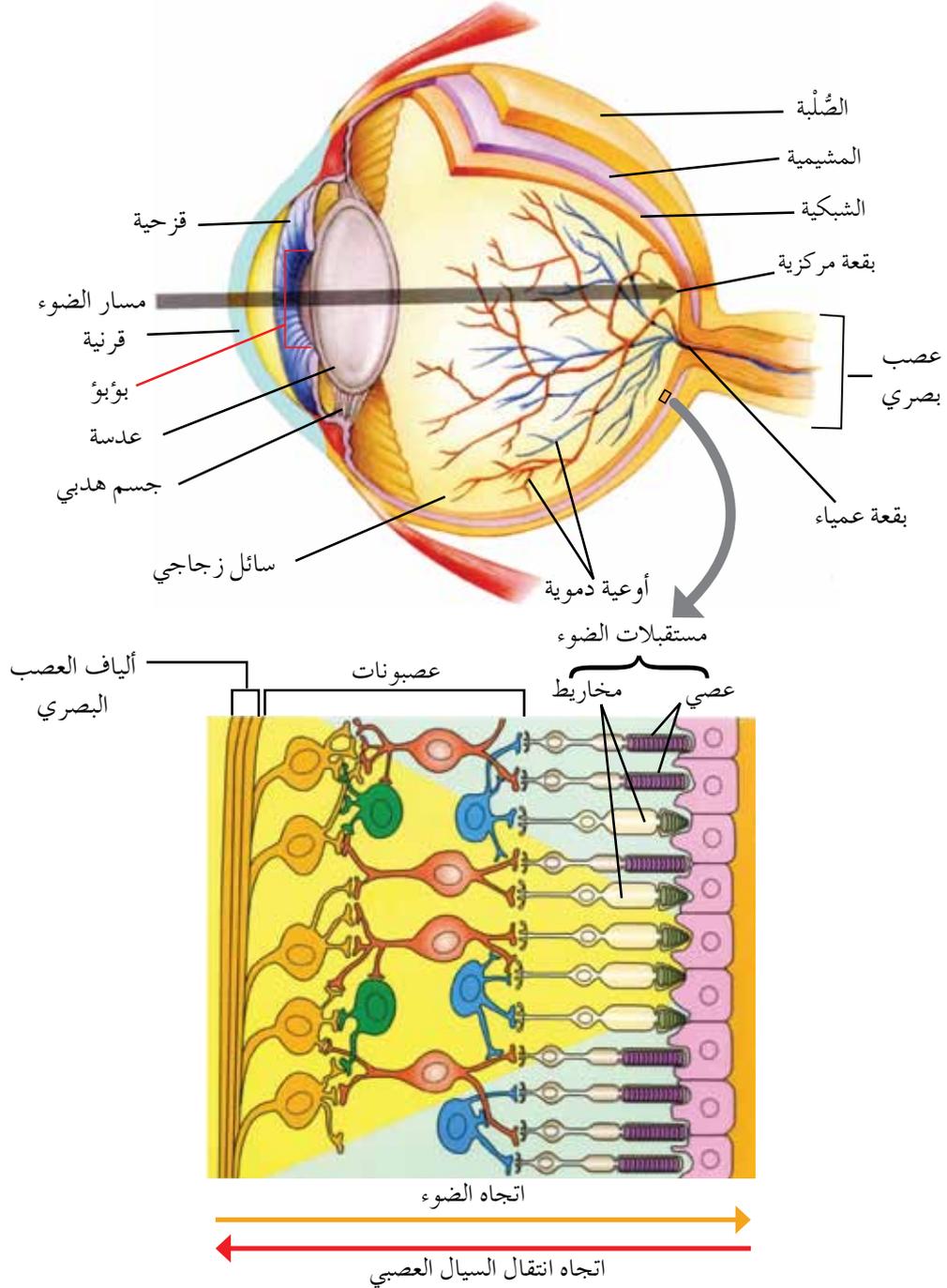
الشكل (٢-١٠): أثر المخدرات في عمل الجهاز العصبي.

### المستقبلات الحسية

ثالثًا

يحتوي جسمك على ملايين العصبونات التي تُعرَف **بالمستقبلات الحسية** (sensory receptors)، والتي تتنبَّه بوساطة منبِّهات خاصة بها؛ إمَّا فيزيائية مثل الضوء والصوت، وإمَّا كيميائية مثل الروائح المختلفة، بحيث تُحوَّلها إلى سيالات عصبية.

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



الشكل (٢-١١): تركيب العين.

- ▶ سَمِّ الطبقات التي تتركب منها العين.
- ▶ ما اسم العصب الذي ينقل السيالات العصبية من العين إلى الدماغ؟
- ▶ سَمِّ مستقبلات الضوء الموجودة في الشبكية.

تتركَب العين من ثلاث طبقات هي:

– **الطبقة الخارجية:** تُعرَف هذه الطبقة باسم **الصُّلبة (sclera)**، وترتبط بعضلات هيكلية لتحريك العين. أما الجزء الأمامي من العين فيكون مُحدِّبًا وشفافًا، ويُطلق عليه اسم **القرنية**.

– **الطبقة الوسطى:** تُعرَف هذه الطبقة باسم **المشيمية (choroid)**، وتتصف بلونها الداكن لتُرَكِّز صبغة الميلانين، وغزارة الأوعية الدموية فيها. تُكوِّن هذه الطبقة في الجزء الأمامي تركيبين، هما: **الجسم الهدبي** الذي يساهم في تغيير شكل العدسة، و**القزحية** التي تمتاز بتنوع ألوانها بين الأفراد، والتي تتوسطها فتحة **البؤبؤ** الذي يتحكم في كمية الأشعة الضوئية المارّة إلى داخل العين عن طريق تضيقه أو توسّعه.

وتقع **العدسة** خلف البؤبؤ، وتمتاز بشفافيتها، ويقع خلف العدسة تجويف مليء بمادة شفافة شبه جيلاتينية تُسمّى **السائل الزجاجي** الذي يحافظ على حجم العين ثابتًا.

– **الطبقة الداخلية:** تُعرَف هذه الطبقة باسم **الشبكية (retina)**، وتحتوي نوعين من مستقبلات الضوء، هما: **المخاريط (cones)**، و**العصي (rods)**. وتحتوي الشبكية خلايا أخرى تُنظِّم عملها الدقيق.

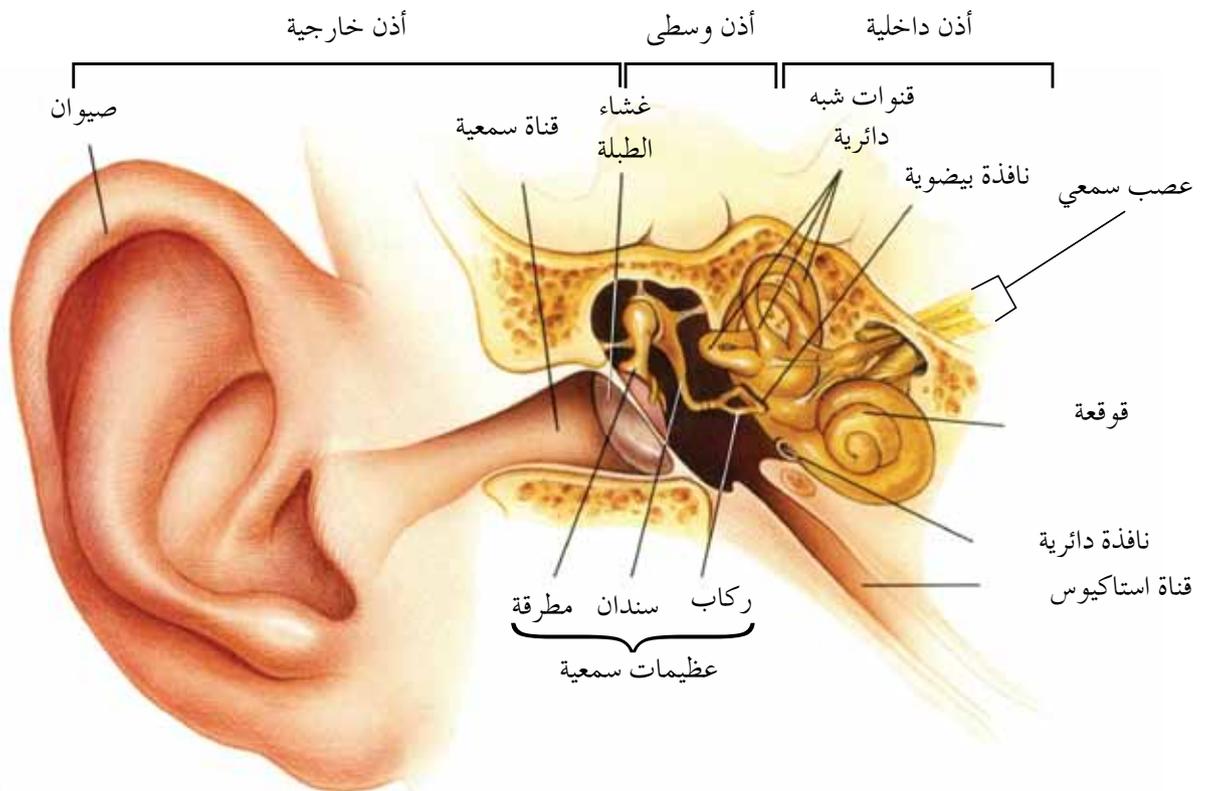
والآن، لتتعرف مستقبلات الضوء ودورها في آلية الإبصار.

- **المخاريط:** تتركز المخاريط في بقعة تُسمّى **البقعة المركزية (fovea centralis)**، وتحتوي على صبغة فوتوسين، وتنبّه 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 يتيح لنا رؤية الألوان جميعها.
- **العصي:** تحتوي على صبغة رودوبسين، وتتأثر بالضوء الخافت، لكنها تُمكننا من الإبصار فقط بالأبيض والأسود، علمًا بأن البقعة المركزية تخلو من العصي.

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

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

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



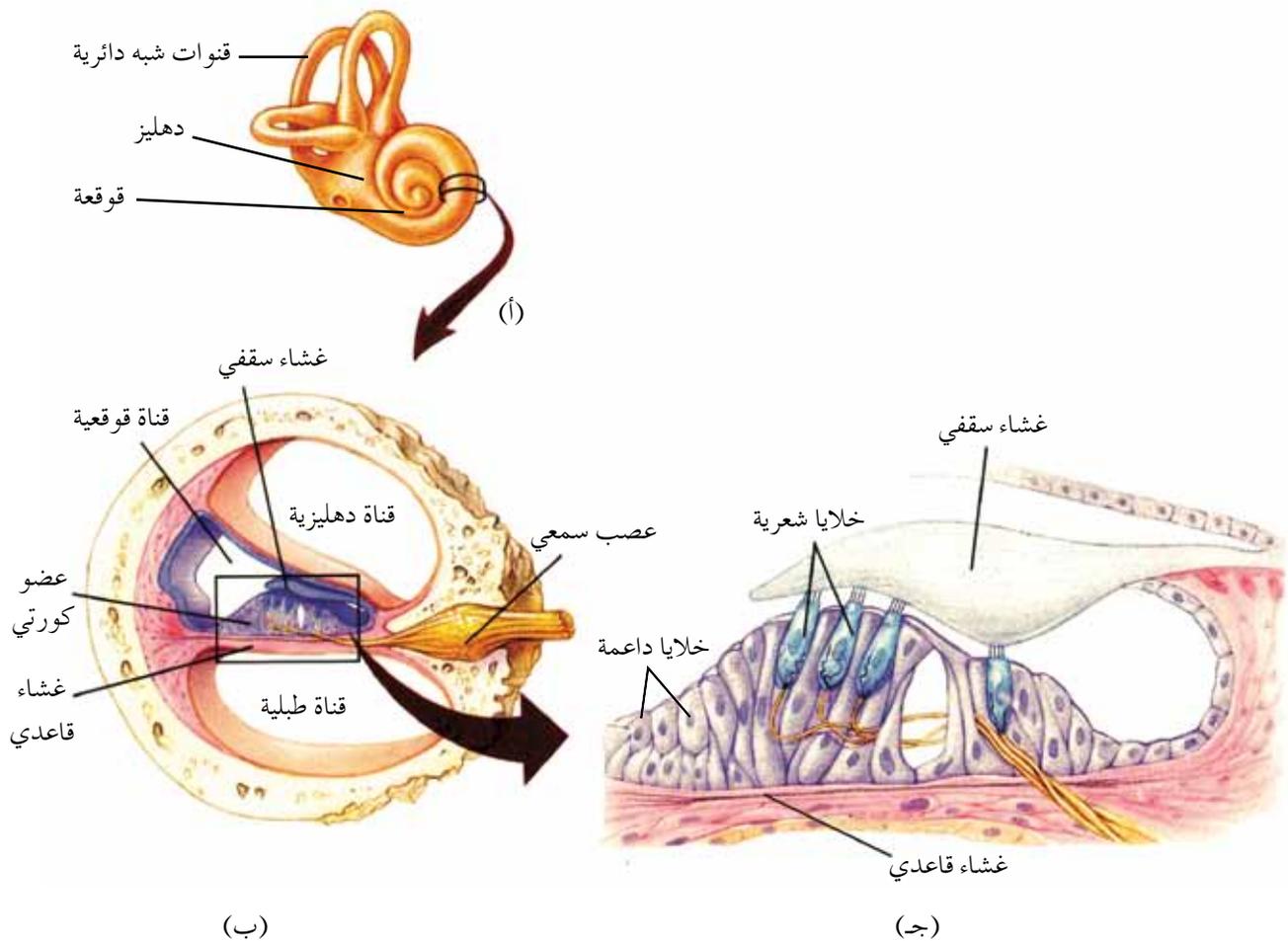
الشكل (٢-١٢): أجزاء الأذن.

- ▶ تقسم الأذن إلى ثلاثة أجزاء رئيسية، اذكرها.
  - ▶ توقع في أيّ أجزاء الأذن تقع مستقبلات الصوت.
- تقسم الأذن إلى ثلاثة أجزاء رئيسية، هي:

– **الأذن الخارجية (External ear)**: تتكوّن هذه الأذن من **الصوان**، و**القناة السمعية** التي تنتهي **بغشاء الطبلية**، والتي تحوي غددًا تُفرز مادة شمعية لحماية الأذن من المواد الغريبة التي قد تدخلها مثل الغبار.

– الأذن الوسطى (Middle ear): هي تجويف صغير مملوء بالهواء، يفصلها عن الأذن الخارجية غشاء الطبلة، وعن الأذن الداخلية حاجز عظمي رقيق يحوي فتحتين صغيرتين مغطاتين بأغشية رقيقة، تُدعى إحداهما **النافذة البيضوية**، والأخرى **النافذة الدائرية**. تتميز الأذن الوسطى باحتوائها على ثلاث عظيمات تُعدُّ الأصغر في الجسم، هي: **المطرقة** التي تتصل بغشاء الطبلة، و**السندان**، 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): تتكوّن هذه الأذن من سلسلة معقدة من القنوات تُسمّى **التيه**، وتشمل: **الدھليز**، و**القنوات شبه الدائرية**، و**القوقعة**، لاحظ الشكل (٢-١٣).



الشكل (٢-١٣): تركيب الأذن الداخلية.

تحتوي القوقعة (تركيب عظمي حلزوني الشكل) على قنوات ثلاث، هي: **القوقعية**، و**الدهليزية**، و**الطبليّة**، انظر الشكل (٢-١٣/ب)، وتمتلئ تجاوب هذه القنوات بسائل **الليمف**، علمًا بأن القناة القوقعية محصورة بين القناتين الدهليزية (إلى الأعلى منها)، و**الطبليّة** (إلى الأسفل منها)، وفيها **عضو كورتي** الذي يستقر على **غشاء قاعدي** يفصل بينه وبين القناة الطبليّة، ويتكوّن من **خلايا داعمة** و**خلايا شعرية** (hair cells).

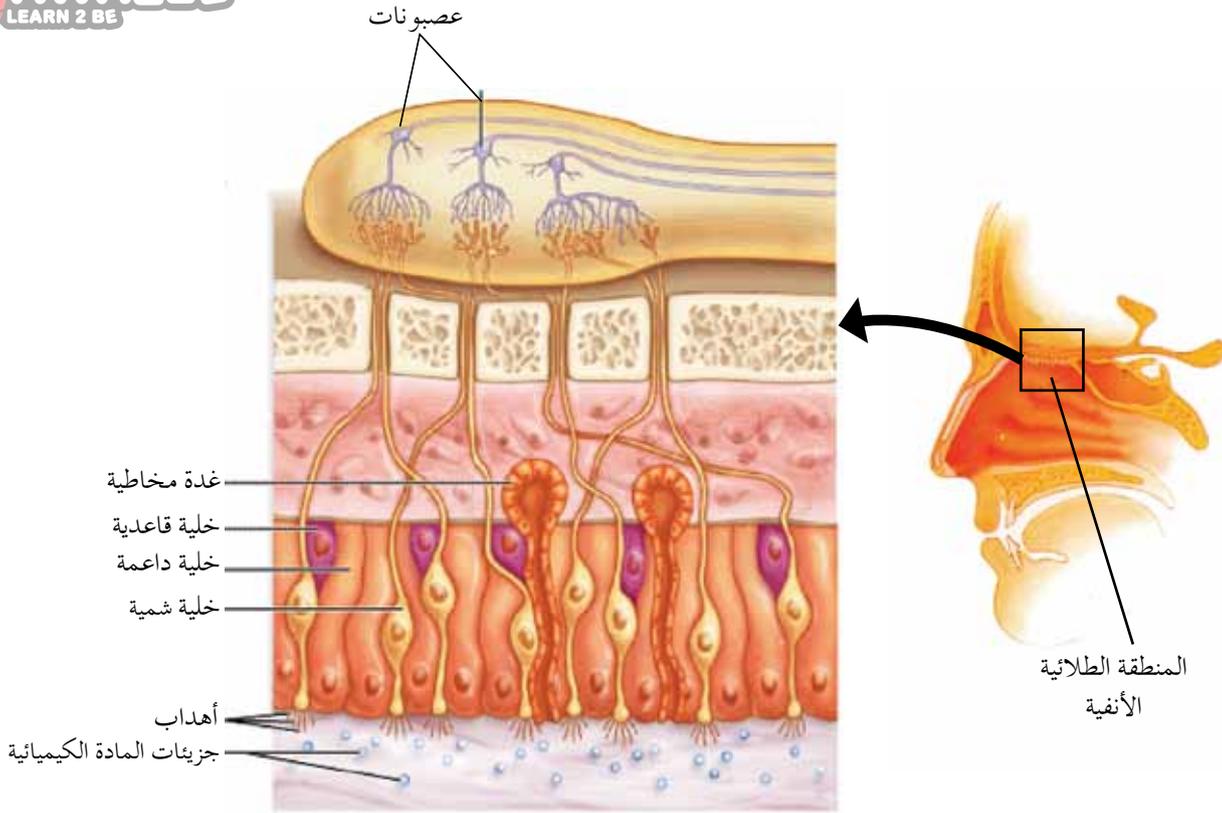
● **الخلايا الشعرية**: تعمل الخلايا الشعرية بوصفها **مستقبلات للصوت**، وتتميز بوجود **أهداب** على أطرافها الحرة، لاحظ الشكل (٢-١٣/ج).

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

تُسبب هذه الاهتزازات **موجات ضغط** (pressure waves) في سائل الليمف الموجود في قنوات القوقعة الثلاث، وهو ما يُسبب اهتزاز منطقة محددة في الغشاء القاعدي بحسب مقدار تردد الصوت، فتتحرك الخلايا الشعرية المستقرة على هذه المنطقة، ويؤدي ذلك إلى تحريك الأهداب الملامسة للغشاء السقفي وثنيها، مُسبِّبة تكوّن جهد فعل ينتقل عبر العصب السمعي إلى مراكز السمع في الدماغ لإدراك الصوت. وبعد أن تُحدّث الموجات الصوتية الأثر المطلوب يجري التخلص من الضغط الزائد في السائل الليمفي باهتزاز **غشاء النافذة الدائرية** المرنة؛ فلولا وجود النافذة الدائرية وغشائها المرنة لتسببت موجات الضغط الناتجة من الصوت بانفجار القوقعة.

## ٢ المستقبلات المستجيبة للمنبّهات الكيميائية

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



الشكل (٢-١٤): المنطقة الطلائية الأنفية.

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

- **الخلايا الشمّية:** هي عصبونات تنتهي بعدد من الأهداب التي تقع عليها مستقبلات المواد التي تُنبّهها.
- **الخلايا الداعمة:** هي خلايا طلائية عمادية تسند الخلايا الشمّية.
- **الخلايا القاعدية:** تقع هذه الخلايا بين قواعد الخلايا الداعمة، ويُعتقَد أنها تعمل على تجديد الخلايا الشمّية.

تحتوي المنطقة الطلائية الأنفية أيضًا على **غدة مخاطية** تُفرز المخاط الذي يُعدّ مذيّبًا للمواد التي يجري استنشاقها، وعداد وخلايا تُفرز محلولًا مائيًا يزيل المادة الكيميائية (المنبّه) بعد انتهاء عملية الشم؛ لجعل المستقبلات جاهزة للارتباط بمادة جديدة.

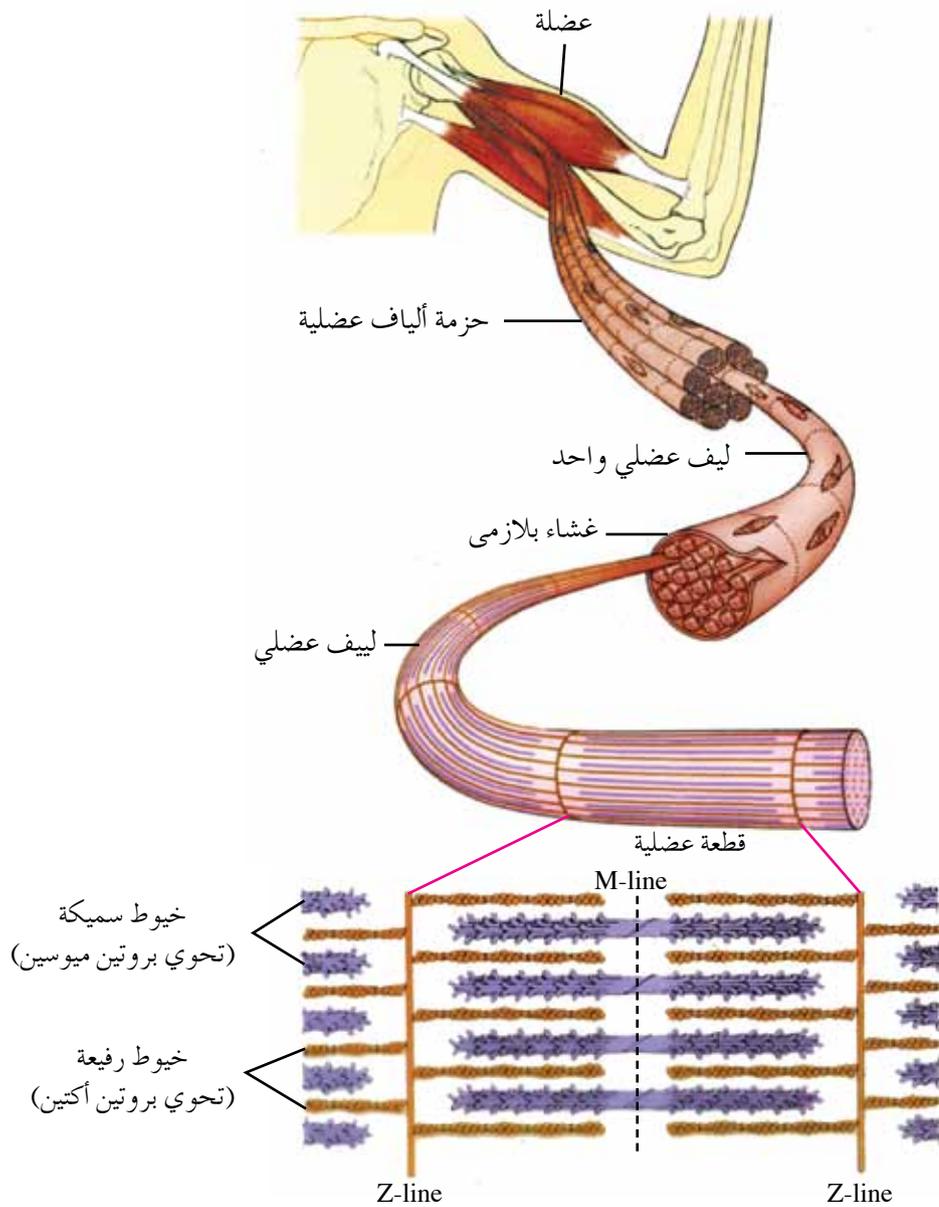
والآن، كيف تحدث عملية الشم؟

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

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

### ١ تركيب العضلة الهيكلية

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



الشكل (٢-١٥): تركيب العضلة الهيكلية.

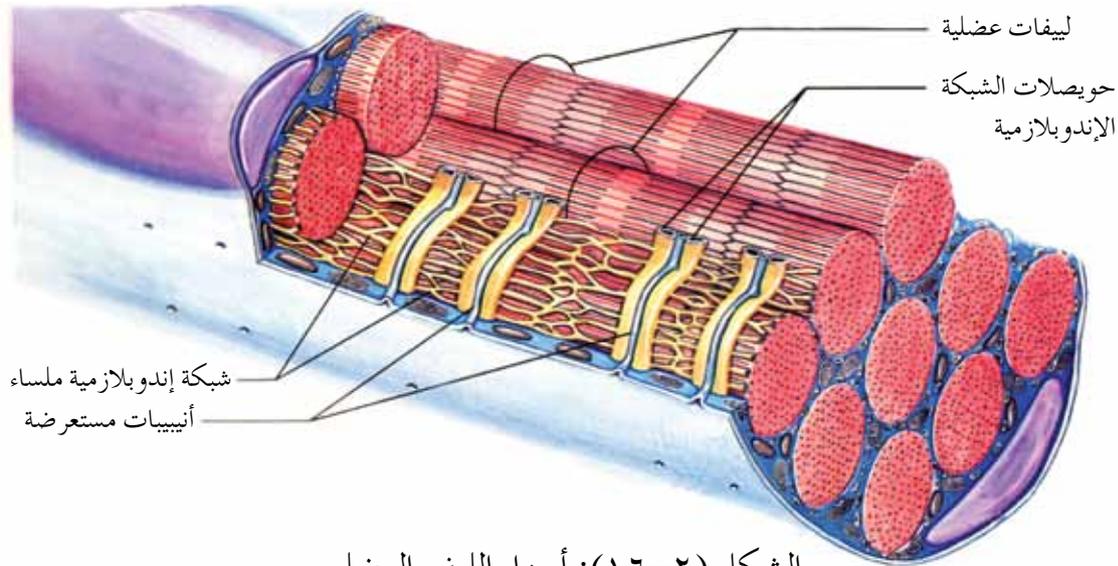
- ◀ مِمَّ يتكوّن الليف العضلي الواحد؟
- ◀ سَمّ البروتينات التي يتكوّن منها الليف العضلي؟
- ◀ ماذا يُطلق على المنطقة المحصورة بين خطي Z؟

تتركّب العضلة الهيكلية من حزم من **الألياف العضلية** (muscle fibers)، ويُمثّل كل ليف عضلي **خليةً عضليةً متعددة النوى** (multinucleated cell)، ويحتوي كل ليف عضلي على عدد من **الليفات العضلية** (myofibrils). يتكوّن الليف العضلي الواحد من نوعين من الخيوط البروتينية؛ خيوط سميكة تحوي بروتين **ميوسين** (myosin) ولها رؤوس تُدعى **رؤوس الميوسين**، وأخرى رقيقة تحوي بروتين **أكتين** (actin).

تترتب خيوط الأكتين والميوسين على نحوٍ متداخل؛ ما يُكسب العضلات الهيكلية مظهرًا منمخططًا. تُثبّت خيوط الأكتين من نهاياتها ببروتين، فيتكوّن تركيب يُسمّى **(Z-line)**، ويُطلق على المنطقة الواقعة بين خطي **(Z)** **القطعة العضلية** (sarcomere)، في حين تُثبّت خيوط الميوسين في مواقعها بوساطة بروتين يُكوّن تركيبًا يُسمّى **(M-line)**، ويقع في منتصف القطعة العضلية، لاحظ الشكل (٢-١٥).

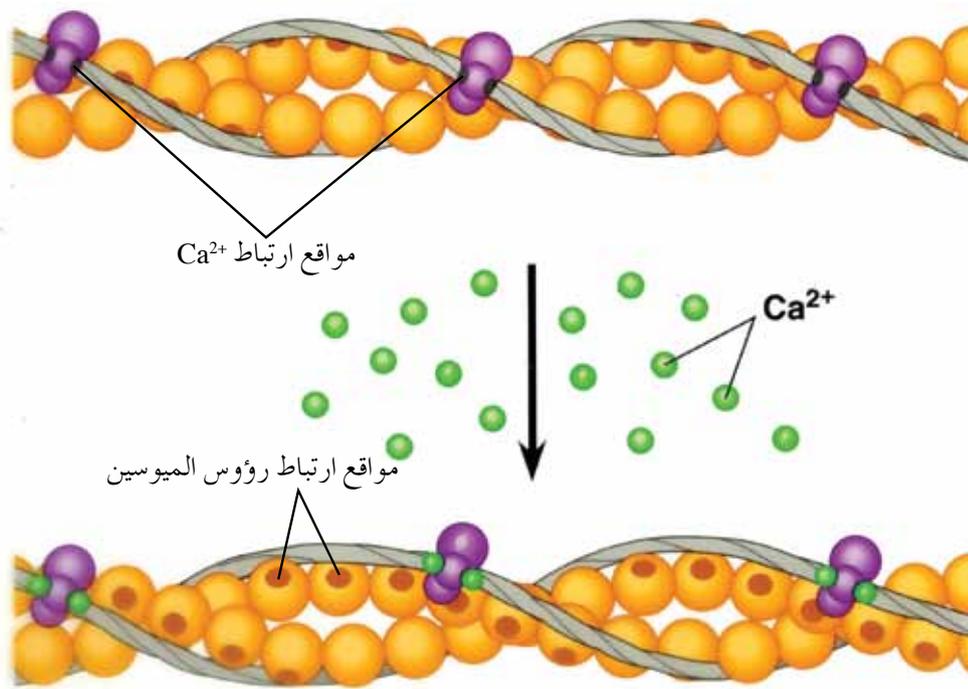
## آلية انقباض العضلة الهيكلية

يَتَسبّب وصول السيال العصبي من عصبون حركي إلى الليف العضلي في نشوء جهد فعل ينتشر على طول غشاء الليف العضلي، مارًا **بأنبيبات مستعرضة** (t-tubules)؛ وهي انغمادات غشائية عرضية في الغشاء البلازمي تقع على طرفي خيوط الميوسين، لاحظ الشكل (٢-١٦).



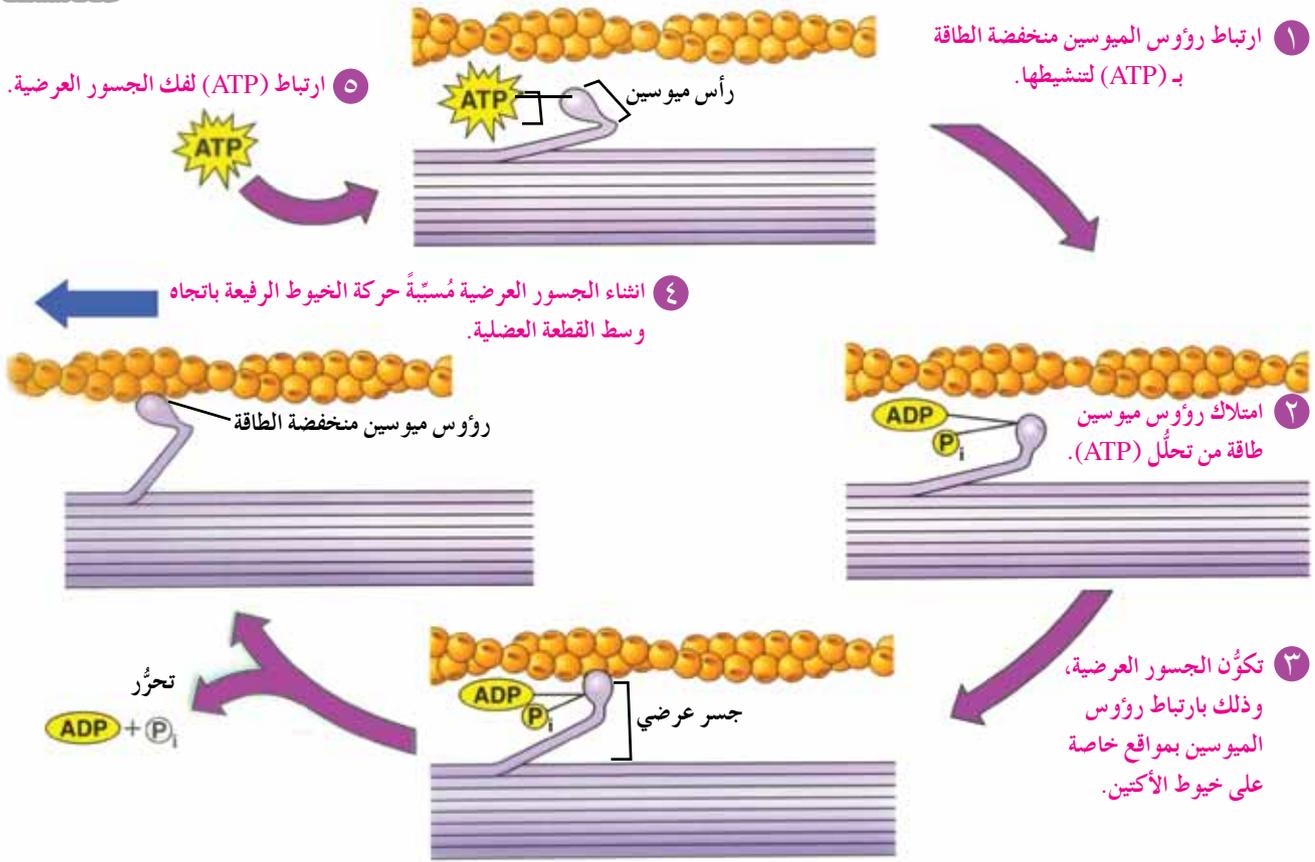
تمتد الأنابيب المستعرضة بين اللييفات العضلية، وتكون محاطة بالشبكة الإندوبلازمية الملساء التي تخزن أيونات الكالسيوم ( $Ca^{2+}$ )، لاحظ الشكل (٢-١٦)، وهو ما يؤدي إلى خروج أيونات الكالسيوم من مخازنها في الشبكة الإندوبلازمية الملساء، وانتشارها في السيتوسول بين اللييفات العضلية.

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



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

بعد تكشف مواقع ارتباط رؤوس الميوسين بخيوط الأكتين، يتم الارتباط بينهما مُكوِّناً **جسوراً عرضيةً** (cross bridges)، ويُسبب انشاء الجسور العرضية (كما ستدرس لاحقاً) حركة الخيوط الرفيعة باتجاه وسط القطعة العضلية، فتزلق خيوط الأكتين بين خيوط الميوسين، مُسببةً قصر القطعة العضلية. ادرس الشكل (٢-١٨)، مُتتبِّعاً آلية انقباض العضلة بحسب **نظرية الخيوط المنزلة**، ولاحظ أن رؤوس الميوسين هي المكان الأساسي لاستهلاك (ATP)؛ إذ إن تكوين الجسور العرضية أو فكها يتطلب طاقة.



الشكل (٢-١٨): آلية انقباض العضلة الهيكلية تبعاً لنظرية الخيوط المنزلفة.

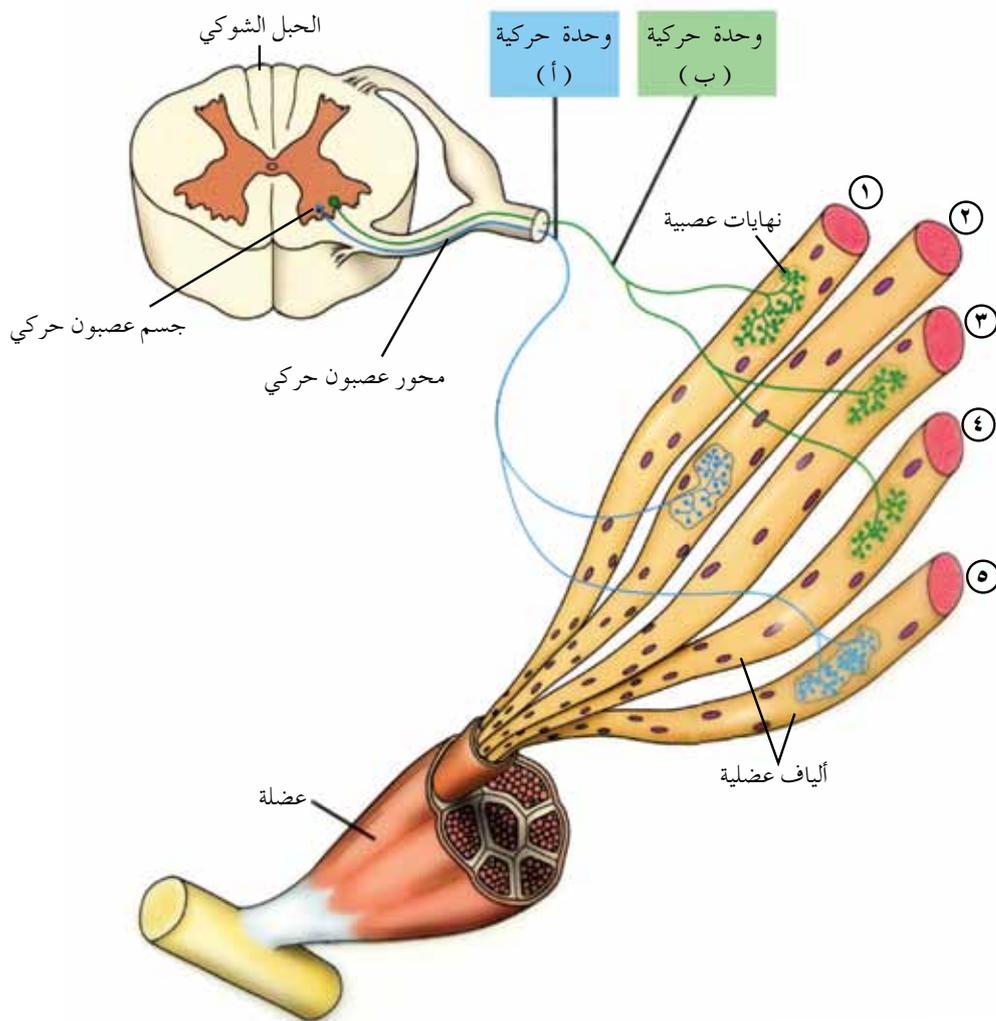
وبوجه عام، فإن الانزلاق بين خيوط الأكتين والميوسين لا يكون كافياً لإحداث انقباض في العضلة، فتتكرر الخطوات السابقة لإحداث الانقباض المطلوب، وهذا يتطلب تكوّن جسور عرضية جديدة.

ولكن، ماذا يحدث عند توقّف تنبيه العضلة الهيكلية من الجهاز العصبي؟ في هذه الحالة تعود أيونات الكالسيوم  $Ca^{2+}$  مرة أخرى إلى مخازنها في الشبكة الإندوبلازمية، بعملية **النقل النشط**، وتصبح الأماكن المخصصة لارتباط رؤوس الميوسين بالأكتين غير مُتكشّفة؛ ما يحول دون تكوّن جسور عرضية، فيحدث انبساط للعضلة.

### ٣ الوحدة الحركية

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، مُكوّنًا ما يُسمّى **الوحدة الحركية**، وتزداد قوة انقباض العضلة الهيكلية بزيادة عدد الوحدات الحركية العاملة في وقت ما، وهذا يوجب توظيف عدد أكبر من الوحدات الحركية لزيادة قوة انقباض العضلة. ادرس الشكل (٢-١٩)، ثم أجب عمّا يليه من أسئلة:



الشكل (٢-١٩): 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) قلّ عدد الألياف العضلية المتصلة بالعصبون الحركي.

في أيّ الوجدتين الحركيتين يكون عدد الألياف العضلية أكثر: الوجدة الحركية التي تُوظفُ لحركة أصابع يد ساعاتي في أثناء تصليحه ساعة، أم الوجدة الحركية التي تُوظفُ لحركة يده في أثناء نقل صندوق أدوات التصليح؟

## التنظيم الهرموني

### خامساً

**الهرمونات** مواد كيميائية تُفرزها 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.

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

يختلف التنظيم الهرموني عن التنظيم العصبي؛ إذ يكون التنظيم الهرموني أبطأ من التنظيم العصبي، وذلك لانتقال الهرمونات بوساطة 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 تُبطلان استمرار تنبيه النواقل العصبية للعصبون، وقد درستهما سابقاً، في حين لا توجد مثل هذه العمليات في التنظيم الهرموني.

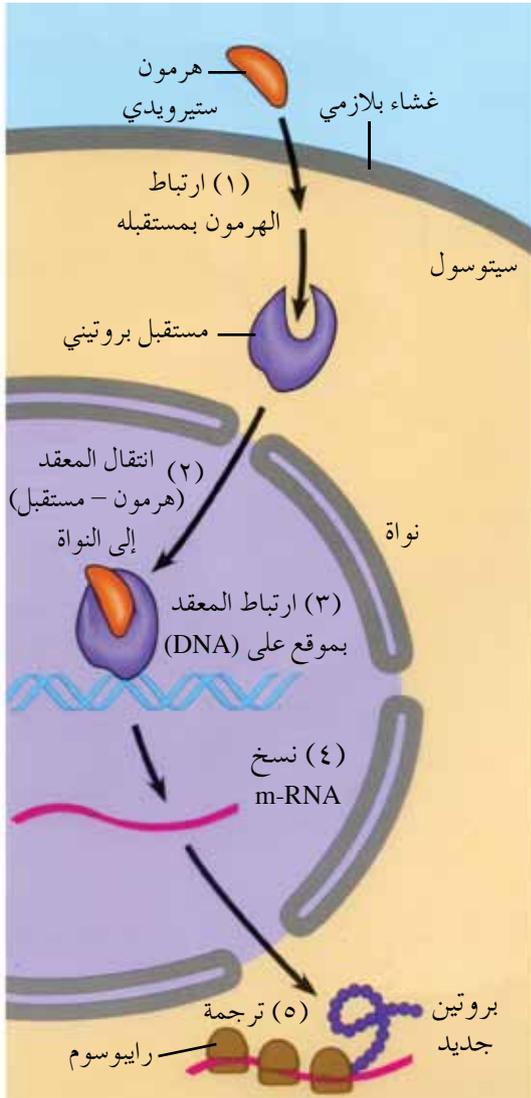
## ١ تصنيف الهرمونات بحسب تركيبها الكيميائي

تُصنّف الهرمونات تبعاً لتركيبها الكيميائي إلى: **هرمونات ستيرويدية**، و**هرمونات بيتيدية**، و**هرمونات مشتقة من الحموض الأمينية**، و**هرمونات بروتينية سكرية**.

تتشارك الهرمونات في آلية عمل عامة يُوضِّحها الشكل (٢-٢٠).



الشكل (٢-٢٠): الآلية العامة لعمل الهرمونات.



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

يرتبط الهرمون بمستقبل بروتيني خاص يوجد على غشاء الخلية أو داخلها؛ ما يُسبب حدوث سلسلة من العمليات التي تختلف باختلاف تركيب الهرمون، والتي تؤدي إلى استجابة الخلية. ستتعرف في ما يأتي آلية عمل **الهرمونات الستيرويدية** التي يُمثِّلها الشكل (٢-٢١).

تدخل هذه الهرمونات الخلية بسهولة؛ لأنها تذوب في الليبيدات فتستطيع عبور الغشاء البلازمي، ثم ترتبط بمستقبل بروتيني داخل السيتوسول، فيتكوّن معقد (هرمون - مستقبل)، ينتقل من ثقب الغلاف النووي إلى داخل النواة، ويرتبط بأحد المواقع في جزيء (DNA)، مُنبِّهاً لتكوين (m-RNA) الذي يترجم لبناء بروتينات جديدة في سيتوسول الخلية الهدف، تُؤثر في أنشطتها، فتحصل الاستجابة.

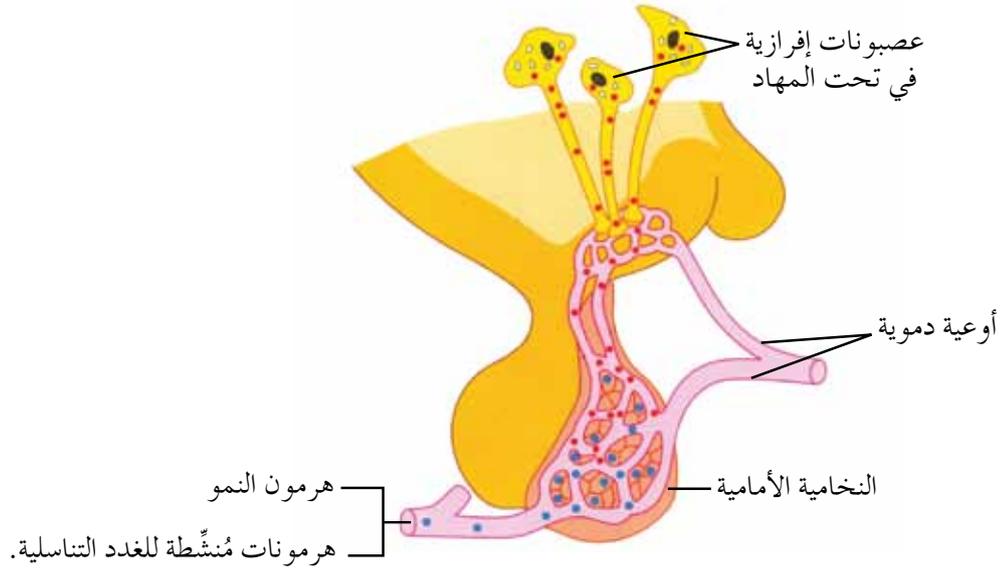
ومن الأمثلة على هذه الهرمونات **التستوستيرون، والألدوستيرون** اللذان ستدرسهما لاحقاً.

### علاقة تحت المهاد بالغدة النخامية

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

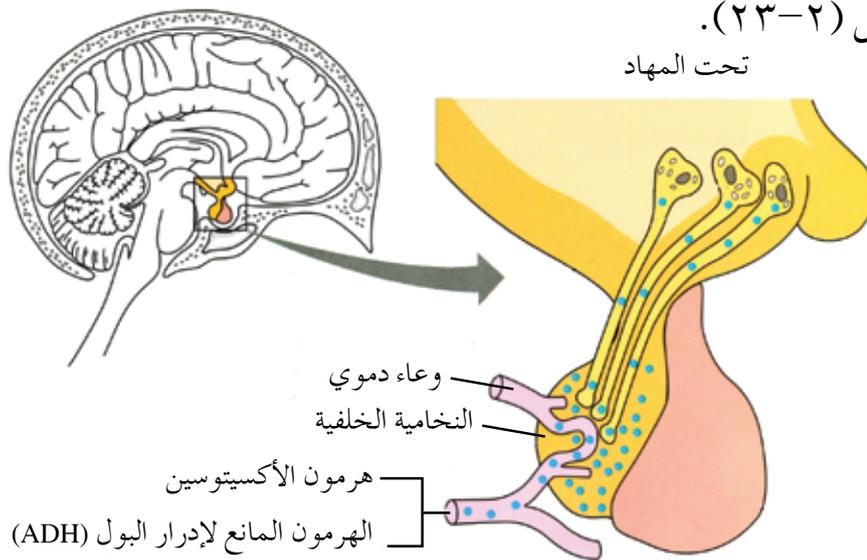
درست سابقاً **الغدة النخامية**؛ وهي غدة تقع مباشرة أسفل تحت المهاد، وتتكون من جزأين، هما:

– **النخامية الأمامية**: يُنظَّم إفراز هرموناتها هرمونات العصبونات الإفرازية الموجودة في تحت المهاد. تُفرز النخامية الأمامية هرمونات عدّة، مثل: **هرمون النمو**، و**الهرمونات المُنشّطة للغدد التناسلية**، لاحظ الشكل (٢-٢٢).



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

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

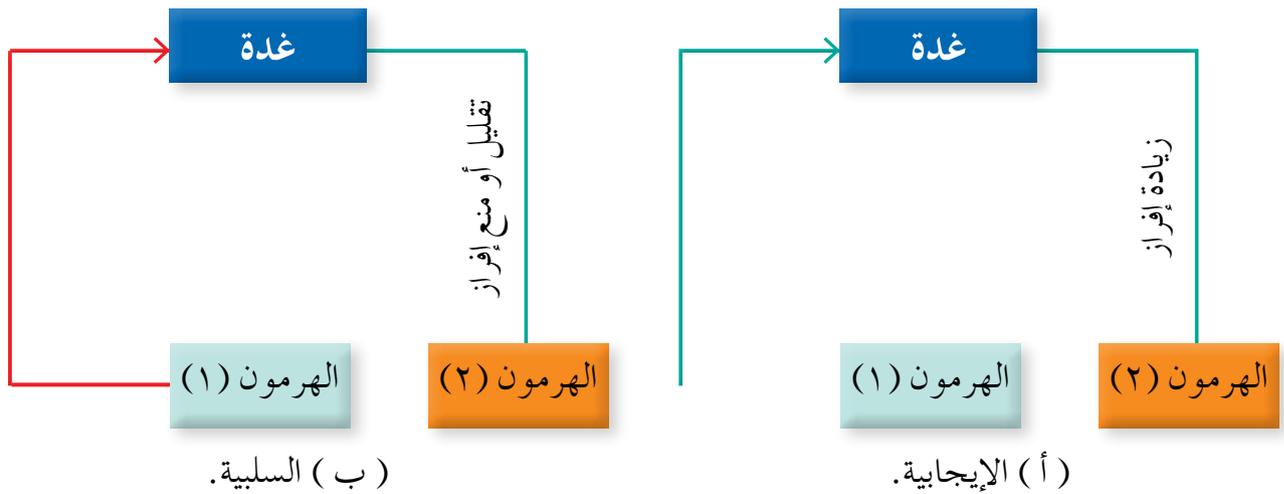


الشكل (٢-٢٣): علاقة تحت المهاد بالغدة النخامية الخلفية.

تكمن أهمية التغذية الراجعة في المحافظة على الاتزان الداخلي للجسم، مثل: درجة الحرارة، ودرجة الحموضة، وتركيز الهرمونات ضمن معدلاتها الطبيعية. تُصنّف التغذية الراجعة إلى نوعين:

أ - التغذية الراجعة الإيجابية (positive feedback): إذ تؤدي الزيادة في مستوى أحد الهرمونات إلى زيادة إفراز هرمون آخر، لاحظ الشكل (٢-٤ أ/ب).

ب - التغذية الراجعة السلبية (negative feedback): إذ تؤدي الزيادة في مستوى أحد الهرمونات إلى تقليل إفراز هرمون آخر، أو منع إفرازه، لاحظ الشكل (٢-٤ ب).



الشكل (٢-٤): التغذية الراجعة.

### مؤسساتنا فخرنا

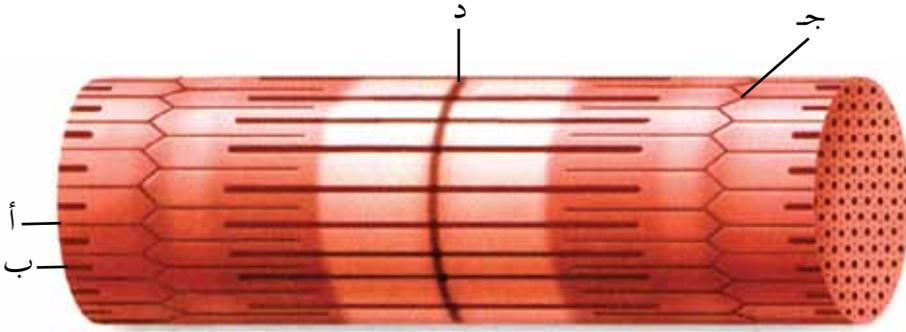
للاستزادة عن موضوع الفصل زر الموقع الإلكتروني لمستشفى الجامعة الأردنية: [hospital.ju.edu.jo](http://hospital.ju.edu.jo)؛ لتتعرف الخدمات التي يُقدّمها في مجال زراعة القوقعة، وتصحيح البصر، ولتعرف أهمية التبرع بالقرنية.

- ١- افترض أن سرعة انتقال السيال العصبي في العصبون (س) تتراوح بين (٧٠ - ١٢٠) م/ث، وأن سرعة انتقاله في العصبون (ص) تتراوح بين (٣ - ١٥) م/ث. أي العصبونين أكبر قطرًا، علمًا بأن كليهما غير محاط بغمد مليني، ويتشابهان في جميع الصفات الأخرى؟
- ٢- فسّر 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 يُمثّلها كلٌّ من: (أ، ب، ج، د) في الشكل (٢-٢٥)؟



الشكل (٢-٢٥): تركيب اللييف العضلي.

- ٤- يعمل المبيد الحشري (Organophosphate) على تثبيط عمل إنزيم (Acetylcholinesterase) المسؤول عن تحطيم الناقل العصبي الكيميائي أسيتل كولين المُحفّز إلى انقباض العضلات الهيكلية. وضح كيف سيؤثر التعرّض لهذا المبيد في انقباض العضلات الهيكلية.
- ٥- قارن بين التنظيم الهرموني والتنظيم العصبي من حيث:
- أ - سرعة استجابة الأعضاء لكلٍّ منهما.
- ب - مدة تأثير كلٍّ منهما (أطول، أقصر).

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

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

٧- صف ما يحدث لكل من الآتية إذا طُلب إليك الوقوف، وإلقاء محاضرة لم تُعدّها:

- أ - القلب.  
 ب - الشعيبات الهوائية.  
 ج - الأمعاء.  
 د - الغدد اللعابية.  
 هـ - البؤبؤ.

## 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 وثنائي أكسيد الكربون؟ وما مُكوّناته التي تساهم بفاعلية في الدفاع عن الجسم وحمايته من مُسبّبات 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 هذا الفصل.

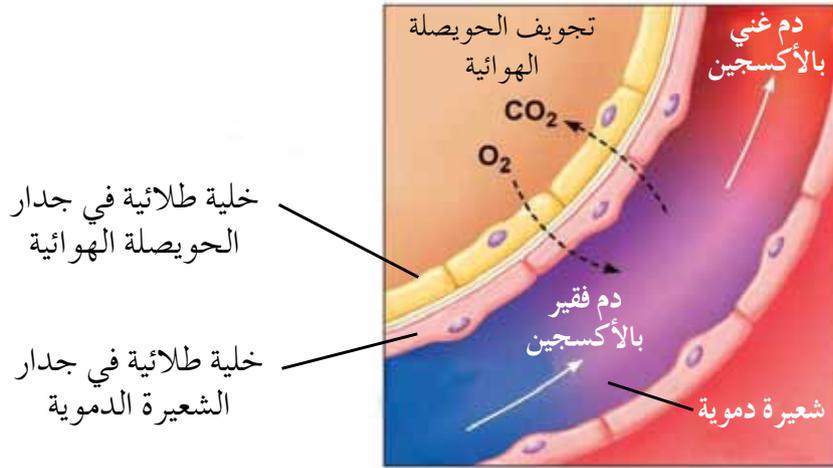
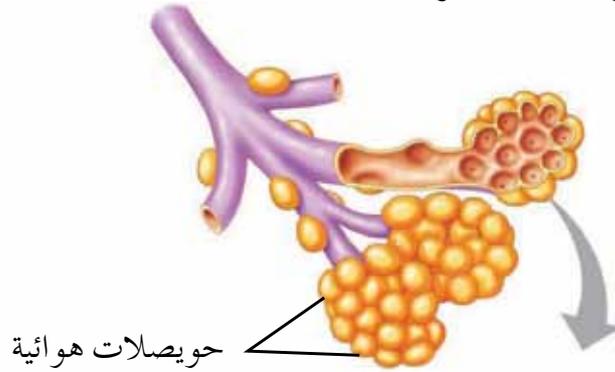
يتوقع منك أن تكون قادرًا على أن:

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

درست سابقاً تركيب الجهاز التنفسي وجهاز الدوران، وتعرّفت عمليات تبادل كلٍّ من غازي الأوكسجين وثنائي 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 الأوكسجين

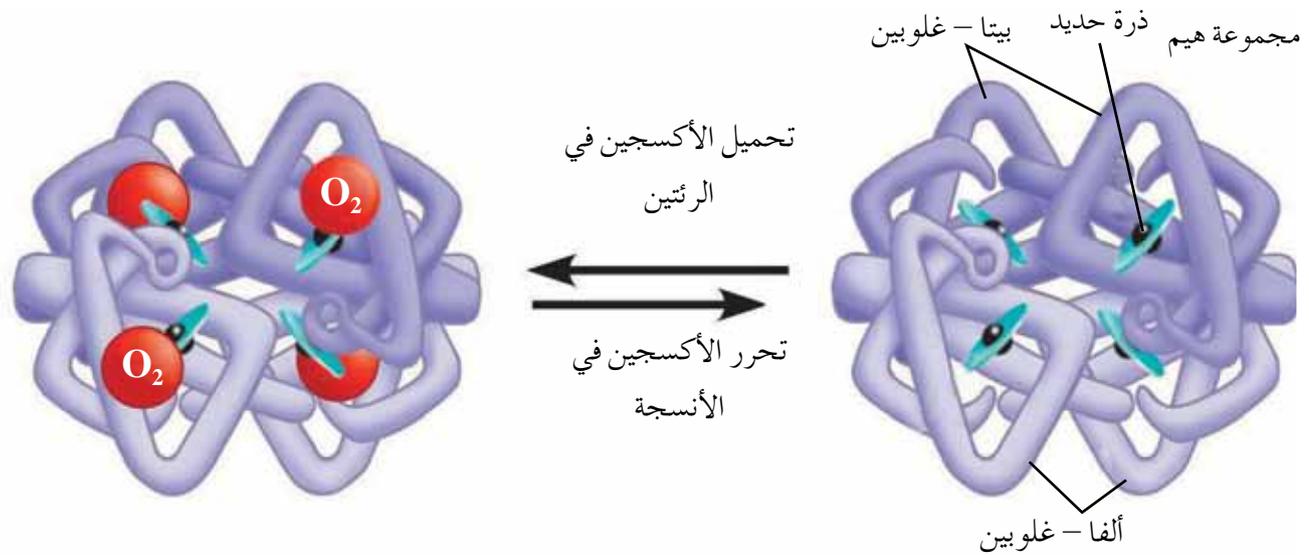
ينقل الشريان الرئوي الدم فقير الأوكسجين إلى الرئتين، ويوصله إلى الشعيرات الدموية المحيطة بالحويصلات الهوائية. ولأن الشعيرات الدموية رقيقة الجدران؛ فإنها تسمح بتبادل الغازات بسهولة، ويزيد من كفاءة عملية تبادل الغازات مساحة السطح الواسعة للحويصلات الهوائية، وجُدرها الرقيقة التي تسمح بتبادل الغازات خلالها،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



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

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

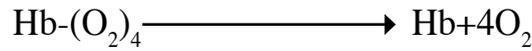
لتتعرف تركيب الهيموغلوبين، ادرس الشكل (٢-٢٧)، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



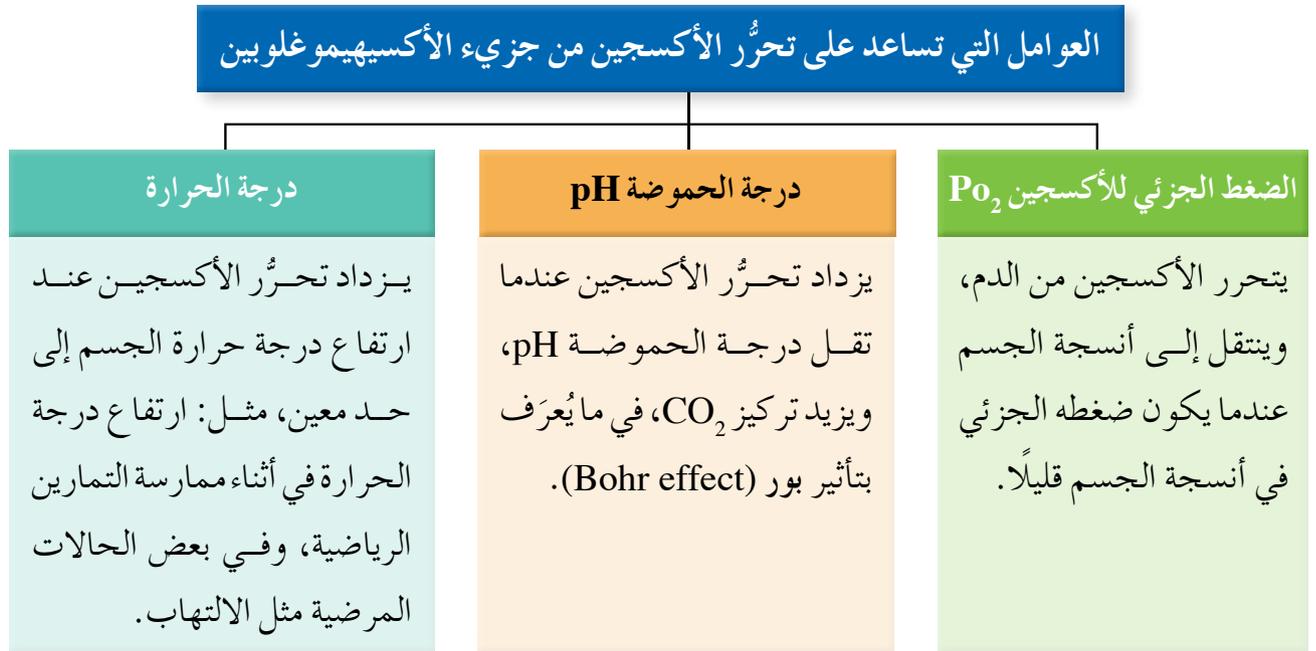
الشكل (٢-٢٧): تركيب جزيء الهيموغلوبين.

- ◀ ما عدد سلاسل عديد الببتيد التي يتكوّن منها جزيء الهيموغلوبين؟
- ◀ ما أنواع سلاسل عديد الببتيد في جزيء هيموغلوبين؟
- ◀ سمّ ذرة العنصر الذي تحويه مجموعة الهيم (Heme).

يتركّب جزيء الهيموغلوبين من أربع سلاسل من عديد الببتيد: سلسلتين من نوع ألفا غلوبين، وسلسلتين من نوع بيتا غلوبين، وترتبط بكل سلسلة مجموعة عضوية تُسمى هيم، وتحتوي كلٌّ منها على ذرة حديد. ويمكن لكل 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، مُكوّناً مركّباً يُدعى الأكسيهيموغلوبين (oxyhemoglobin). وما إن يصل الدم إلى الشعيرات الدموية في أنسجة الجسم المختلفة، حيث الضغط الجزئي للأكسجين قليل، حتى يتفكك مركب الأكسيهيموغلوبين، فيتحرر الأكسجين لتستفيد منه الخلايا تبعاً للمعادلة الآتية:



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

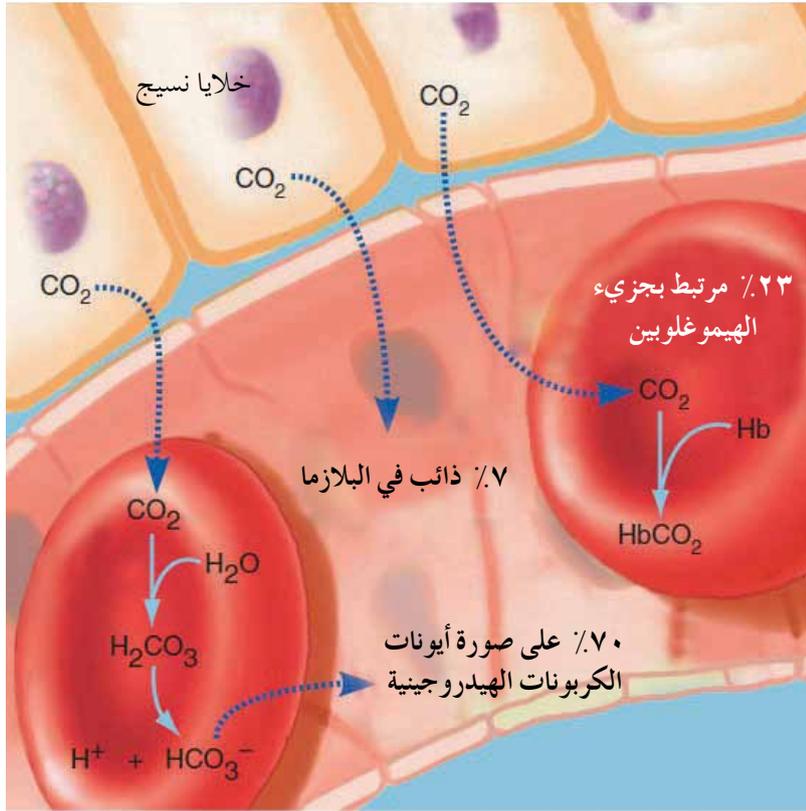


الشكل (٢-٢٨): العوامل التي تساعد على تحرُّر الأكسجين.

بعد وصول الأكسجين إلى خلايا الجسم المختلفة، فإنه يُستهلك بعملية **التنفس الخلوي** التي ينتج منها ثاني أكسيد الكربون. ونظرًا إلى سُميته للخلايا؛ فلا بُدَّ من التخلص منه، فكيف يكون ذلك؟

ملاحظة: كلما قلَّ مقدار درجة الحموضة pH (الرقم الهيدروجيني) عن ٧ يكون الوسط أكثر حمضيًا.

ينتقل ثاني أكسيد الكربون في أشكال عدّة من خلايا الجسم المختلفة، التي يكون فيها الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون ( $P_{CO_2}$ ) عاليًا، إلى الشعيرات الدموية المحيطة بها، حيث يكون ضغطه الجزئي فيها قليلًا، لاحظ الشكل (٢-٢٩) الذي يُبيّن أشكال نقل ( $CO_2$ ).



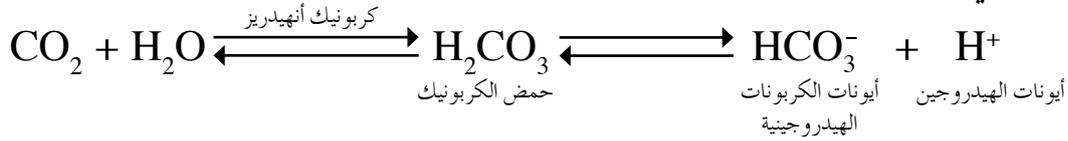
الشكل (٢-٢٩): أشكال نقل ثاني أكسيد الكربون في الدم.

أشكال نقل ( $CO_2$ ) في الدم هي:

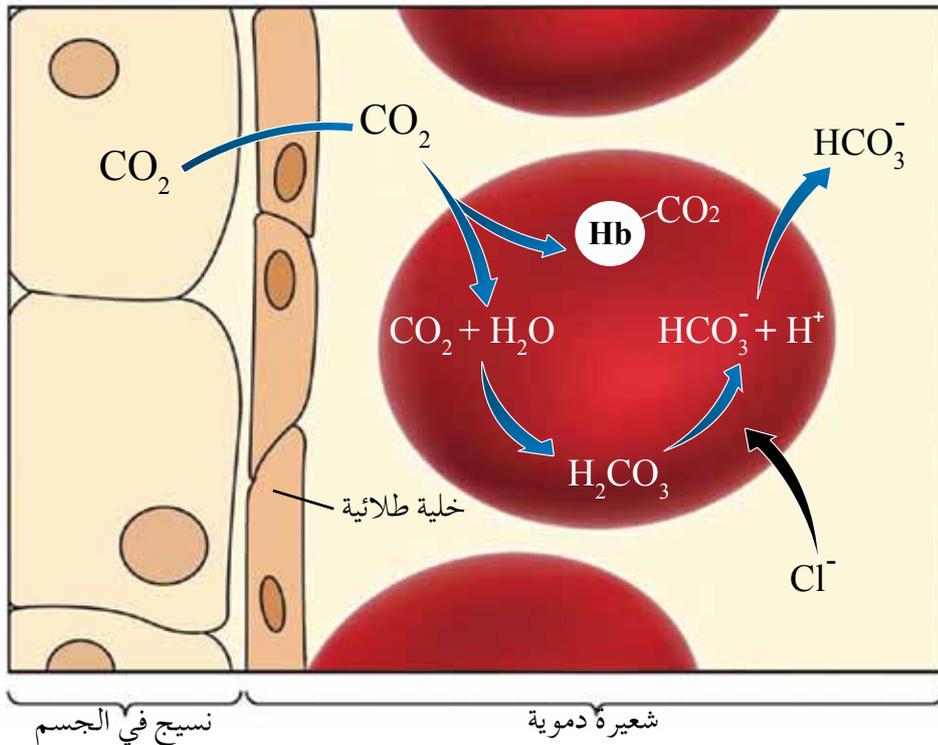
أ - غاز  $CO_2$  ذائبًا في بلازما الدم: إن نسبة ( $CO_2$ ) التي يستطيع الدم نقلها ذائبًا في البلازما قليلة، وهي ٧٪ من ( $CO_2$ ) المنقول.

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

ج - أيونات الكربونات الهيدروجينية  $\text{HCO}_3^-$ : إذ يتحد الجزء الأكبر من ثاني أكسيد الكربون (يُمثّل ما نسبته ٧٠٪ من  $\text{CO}_2$ ) الكلي المنقول) مع الماء الموجود داخل خلايا الدم الحمراء بمساعدة إنزيم كربونيك أنهيدريز، مُكوِّناً حمض الكربونيك  $\text{H}_2\text{CO}_3$  وفق المعادلة الآتية:

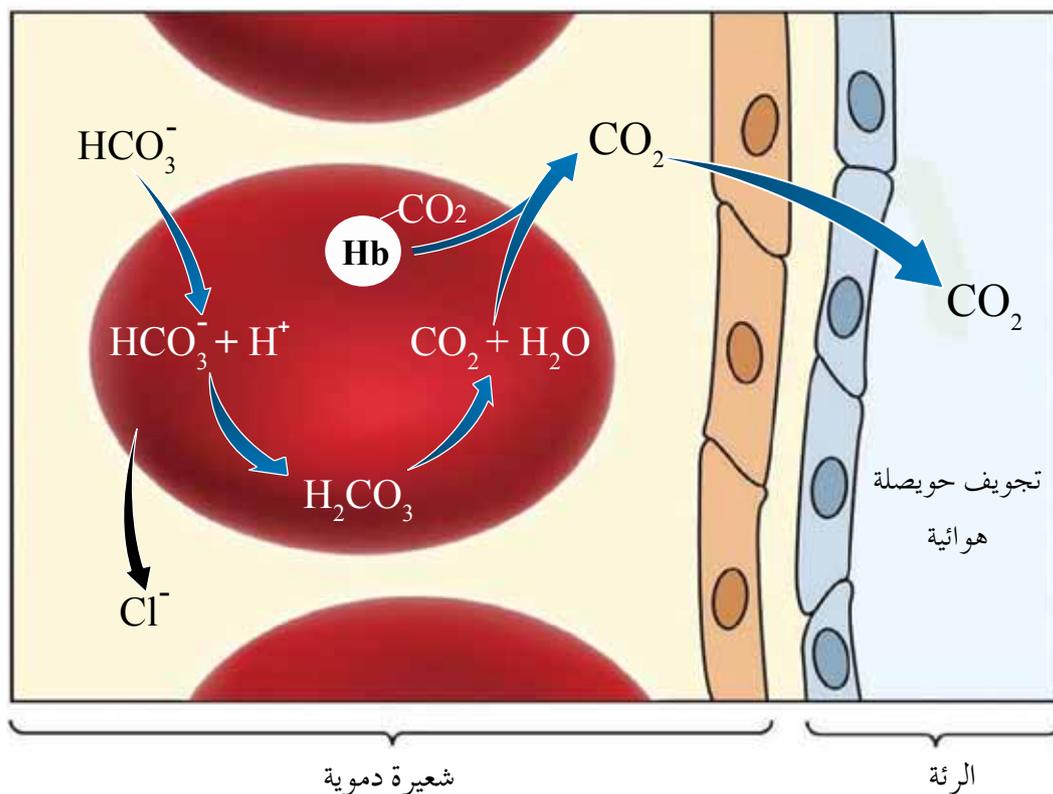


يتبيّن من المعادلة السابقة أن حمض الكربونيك سرعان ما يتفكك داخل خلايا الدم الحمراء إلى أيونات الكربونات الهيدروجينية سالبة الشحنة، وأيونات الهيدروجين ( $\text{H}^+$ )، ثم تغادر أيونات الكربونات الهيدروجينية خلايا الدم الحمراء إلى بلازما الدم بواسطة الانتشار، لاحظ الشكل (٢-٣٠). ويؤدي خروج أيونات الكربونات 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 ( $\text{Cl}^-$ ) الموجود بكميات كبيرة في بلازما الدم إلى داخل خلايا الدم الحمراء، وتُسمّى هذه العملية **إزاحة أيونات الكلور (chloride shift)**، لاحظ الشكل (٢-٣٠) الذي يُبيّن انتقال ثاني أكسيد الكربون من أنسجة الجسم إلى الدم.



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

عند وصول الدم إلى الشعيرات الدموية المحيطة بالحويصلات الهوائية تنتشر أيونات الكربونات الهيدروجينية ( $\text{HCO}_3^-$ ) في خلايا الدم الحمراء، وترتبط بأيونات الهيدروجين مُكوّنة حمض الكربونيك الذي سرعان ما يتفكك إلى ماء وثاني أكسيد الكربون ( $\text{CO}_2$ ) الذي ينتقل من خلايا الدم الحمراء إلى بلازما الدم، ومنها إلى الحويصلات الهوائية ليغادر الجسم مع هواء الزفير، لاحظ الشكل (٢-٣١).  
ويتفكك مركب **كاربامينوهموغلوبين** إلى هيموغلوبين وثاني أكسيد الكربون الذي ينتقل إلى الحويصلات الهوائية.

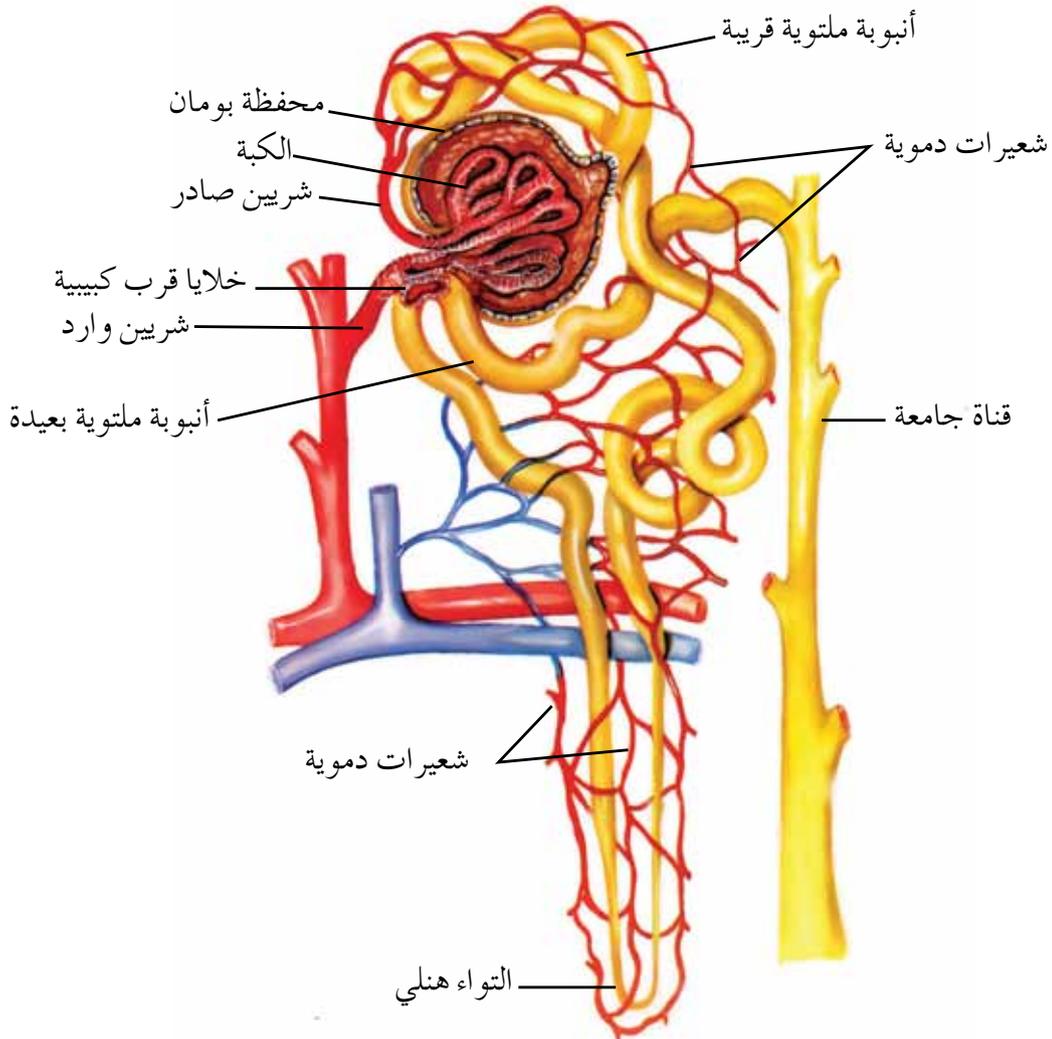


الشكل (٢-٣١): انتقال ثاني أكسيد الكربون من الدم إلى الرئتين.

### سؤال ؟

حدّد اتجاه انتقال كلٍّ من: أيونات الكلور، وأيونات الكربونات الهيدروجينية في أثناء عملية انتقال ثاني أكسيد الكربون من الدم إلى الرئتين.

تعرفت 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**، وتعرفت أيضاً أن للكلية دوراً في المحافظة على الاتزان الداخلي للجسم. تُعدُّ **الوحدة الأنبوبية الكلوية** الوحدة الأساسية المُكوّنة للكلية؛ إذ يوجد في الكلية الواحدة نحو (١,٣) مليون وحدة أنبوبية كلوية (nephron). لتتعرف تركيبها، ادرس الشكل (٢-٣٢)، ثم أجب عن السؤال الذي يليه:



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

◀ ما أجزاء الوحدة الأنبوبية الكلوية؟

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

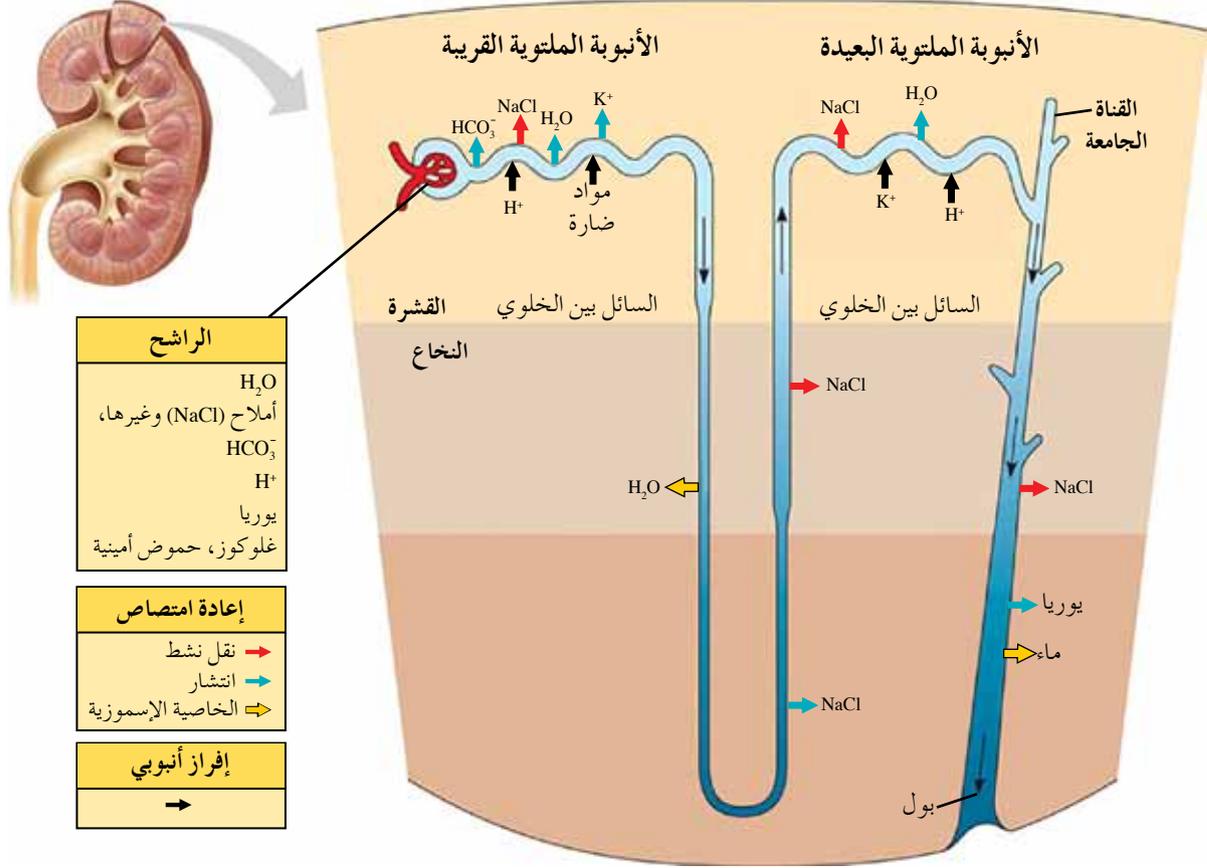
يتكوّن البول بثلاث عمليات هي: الارتشاح، وإعادة الامتصاص، والإفراز الأنبوبي.

أ - الارتشاح (Filtration): يحدث الارتشاح في **الكبة**؛ وهي شبكة من الشعيرات الدموية عالية النفاذية في الحويصلة الكلوية التي تتألف من **الكبة ومحفظة بومان**. وبينما ترشح المواد صغيرة الحجم (مثل: أيونات الصوديوم، وأيونات الكلور، وأيونات البوتاسيوم، وجزئيات الغلوكوز، والحموض الأمينية، والفضلات النيتروجينية الذائبة في البلازما) من الدم الذي يأتي عبر **الشريين الوارد**، والذي يتجه نحو تجويف محفظة بومان، فإن خلايا الدم الحمراء والمواد ذات الحجم الجزيئي الكبير (مثل بروتينات البلازما) لا ترشح، ثم ينتقل ما تبقى من الدم في **الشريين الصادر** إلى الشعيرات الدموية المحيطة بالأنايب الملتوية.

يضبط **الجهاز العصبي الذاتي** معدل الارتشاح؛ إذ تتحكم الأعصاب الودية في العضلات الملساء المكوّنة للشريين الوارد، وتساهم الهرمونات في هذه العملية، وهو ما ستعرفه مُفصّلًا في ما بعد.

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

تحدث عملية إعادة الامتصاص في أجزاء الوحدة الأنبوبية الكلوية جميعها ما عدا الكبة، حيث يعاد امتصاص ما نسبته ٩٩٪ من حجم الراشح الموجود في تجويف **الأنبوبة الملتوية القريبة، والتواء هنلي، والأنبوبة الملتوية البعيدة، والقناة الجامعة**، وما يحتويه من ماء ومواد مفيدة يحتاج إليها الجسم. يُعاد امتصاص الماء بالخاصية الأسموزية، ويمكن إعادة امتصاص المواد الأخرى إمّا بالنقل النشط، وإمّا بالانتشار إلى **السائل بين الخلوي**، ثم إلى الشعيرات الدموية المحيطة بأجزاء الوحدة الأنبوبية الكلوية، لاحظ الشكل (٢-٣٣).



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

ج- الإفراز الأنبوبي (Tubular Secretion): تنتقل المواد السامة والضارة ونواتج أيض بعض العقاقير تجنباً لخطرهما من الشعيرات الدموية المحيطة بالوحدة الأنبوبية الكلوية إلى تجاويف كلٍّ من: الأنبوبة الملتوية القريبة، والأنبوبة الملتوية البعيدة، والقناة الجامعة.

يساهم الإفراز الأنبوبي في تنظيم درجة الحموضة في الجسم؛ وذلك بالتخلص من أيونات الهيدروجين (H<sup>+</sup>) الزائدة وطرحها خارج الجسم، وإعادة امتصاص أيونات الكربونات الهيدروجينية (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)، 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. وتساهم الهرمونات في المحافظة على الاتزان الداخلي، وضبط عمل الكلية، فكيف تقوم بذلك؟

أ - الهرمون المانع لإدرار البول: تساهم الكلية وتحت المهاد 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 المهاد على تحفيز الغدة النخامية الخلفية المخزنة للهرمون المانع لإدرار البول (ADH) إلى إفرازه، فيزيد هذا الهرمون من نفاذية القناة الجامعة والجزء الأخير من الأنبوبة الملتوية البعيدة للماء؛ ما يؤدي إلى زيادة إعادة امتصاصه نحو السائل بين الخلوي، ثم إلى الشعيرات الدموية. تعمل زيادة تركيز المواد الذائبة في الدم أيضاً على تحفيز مراكز العطش، فيتناول الإنسان كميات أكبر من الماء، معيداً 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 - فسّر ما يأتي:

• تُعدُّ عملية الإفراز الأنبوبي من العمليات المهمة التي تقوم بها الوحدة الأنبوبية الكلوية.

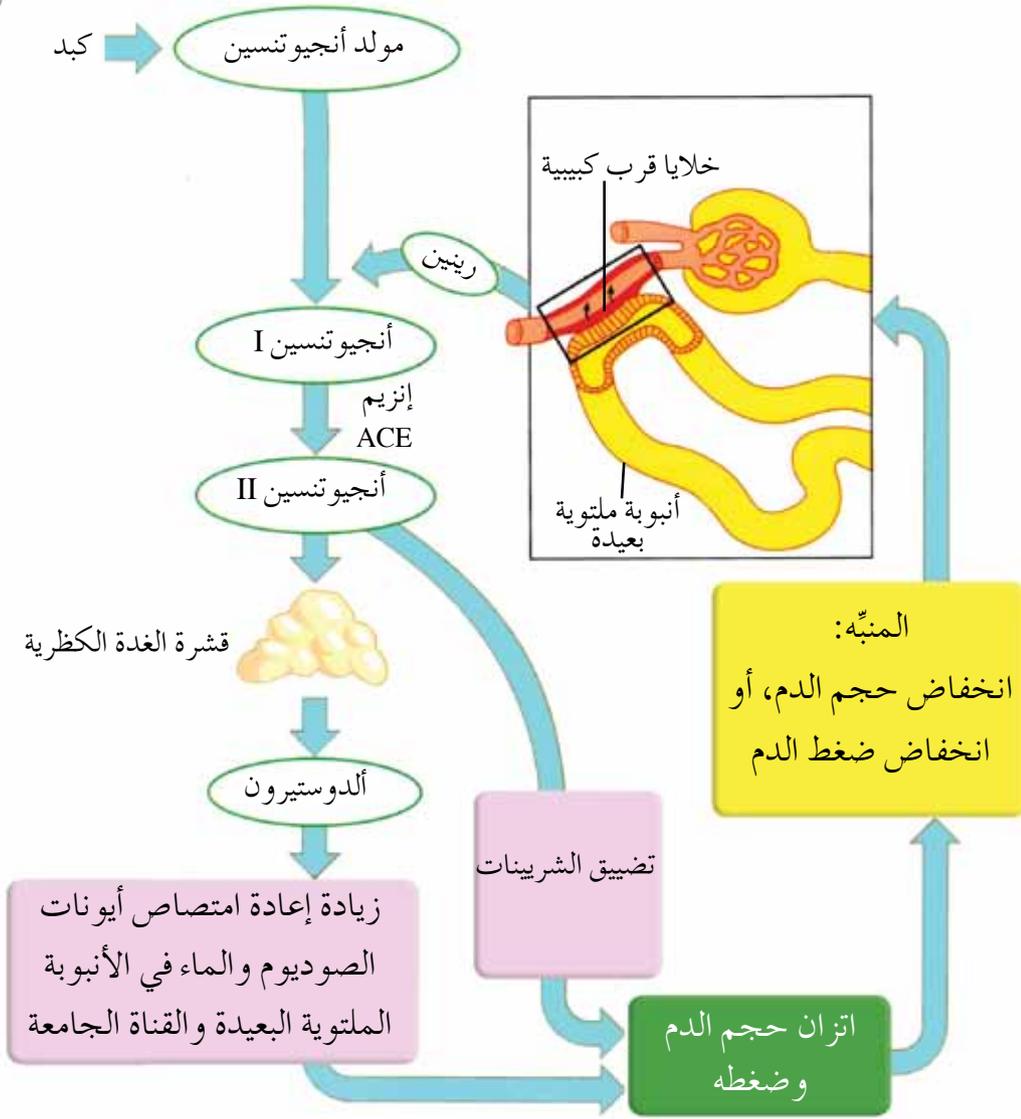
• يحدث الارتشاح في الكبة.

٣ - ارسم مخططاً سهمياً يوضح آلية تنظيم الهرمون المانع لإدرار البول (ADH) الضغط الأسموزي للدم.

ب - نظام رينين-أنجيوتنسين-ألدوستيرون (**Renin-Angiotensin-Aldosterone System**):

تساهم هذه المواد في تنظيم عمل الكلية. لتعرّف ذلك، ادرس الشكل (٢-٣٤)،

ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



الشكل (٢-٣٤): 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، ينخفض ضغط الدم في الشريين الوارد، فتُفرز **الخلايا قرب الكبيبة** الموجودة في جدران هذا الشريين إنزيم رينين الذي يُحوّل بروتين مولد أنجيوتنسين المُصنَّع في الكبد، والذي ينتقل في بلازما الدم، إلى أنجيوتنسين I، ليتحوّل بفعل إنزيم محوّل أنجيوتنسين (ACE) الذي تُفرزه الخلايا الطلائية المبطنة للحويصلات الهوائية في الرئتين إلى أنجيوتنسين II. ويحدث هذا التحوّل في الشعيرات الدموية المحيطة بالحويصلات الهوائية.

يُضَيِّقُ أنجيوتنسين II الشريينات، ويُحفِّز قشرة الغدة الكظرية إلى إفراز هرمون ألدوستيرون الذي يُسبِّب زيادة إعادة امتصاص أيونات الصوديوم، فيرتفع مستواها في الدم، مُسبِّبةً انتقال الماء بالخاصية الأسموزية من الأنبوبة الملتوية البعيدة والقناة الجامعة إلى السائل بين الخلوي، ومنه إلى الدم، فيزداد حجم الدم وضغطه.

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

### سؤال ؟

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

### الاستجابة المناعية

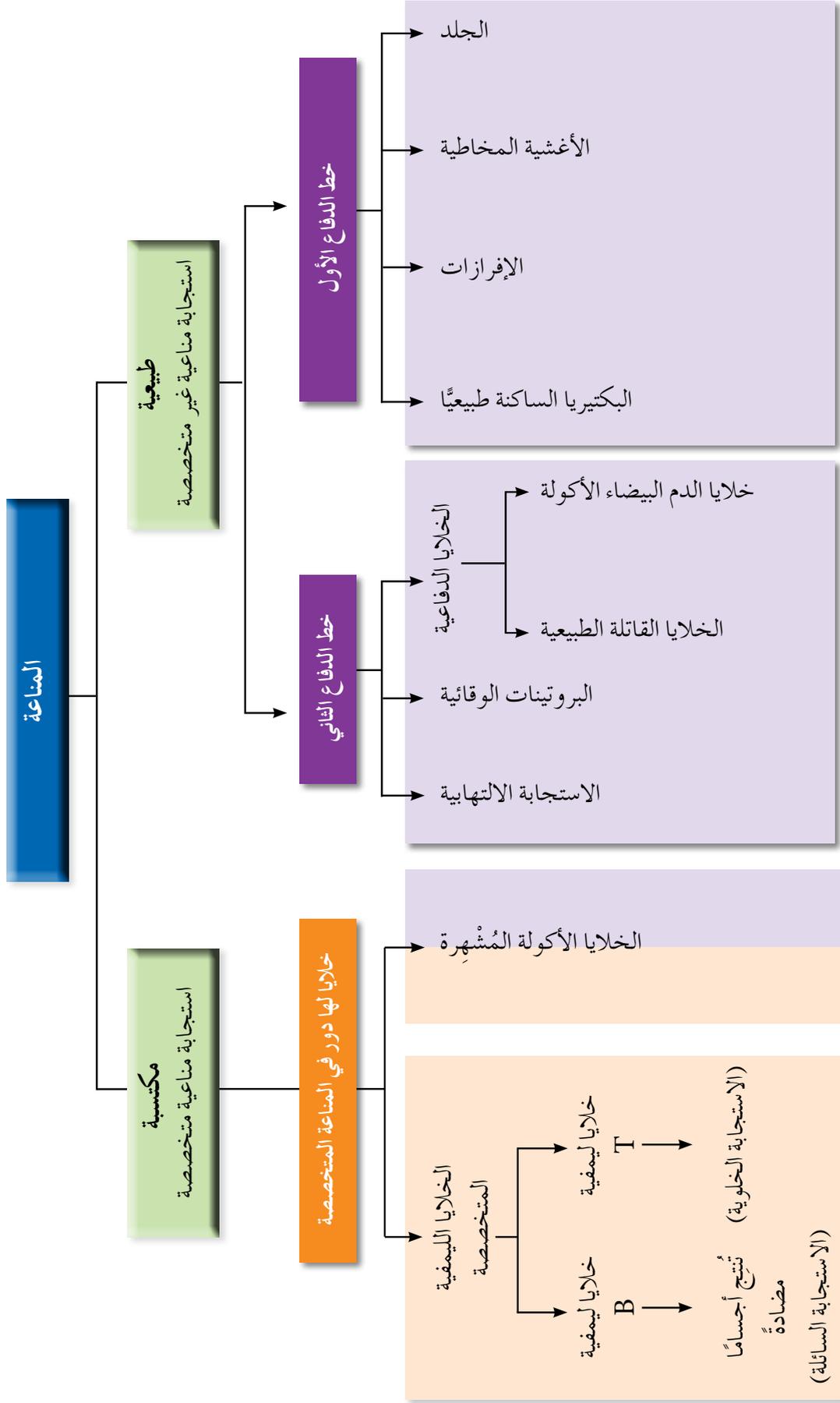
### ثالثاً

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

### ١ أنواع المناعة

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

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



الشكل (٢-٣٥): أنواع المناعة.

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

تشمل المناعة الطبيعية ما يأتي:

### ١ . خط الدفاع الأول

أ . حاجز الجلد: يُعدُّ الجلد السليم حاجزاً فيزيائياً مهماً يمنع دخول مُسببات الأمراض. ويُسبب العرق المُفرز من الجلد انخفاضاً في درجة حموضة الجلد، فيوفر رقماً هيدروجينياً منخفضاً؛ ما يُقلل نمو كثير من أنواع البكتيريا على الجلد.

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

ج . الإفرازات: يُمثل كلُّ من الدموع واللعاب حاجزاً يمنع وصول مُسببات الأمراض إلى داخل الجسم بسبب احتوائها على إنزيمات تُحلل الأجسام الغريبة. فضلاً عن حمض الهيدروكلوريك الموجود في المعدة الذي يقتل الكثير من مُسببات الأمراض الموجودة في الطعام.

د . البكتيريا الساكنة طبيعياً في الجسم: هي بكتيريا نافعة تعيش على سطح الجلد، أو في أجزاء مختلفة من الجسم، مثل القناة الهضمية، وتنتج مواد قد تقتل البكتيريا الضارة مباشرة، أو تُفرز مواد تُغيّر من درجة حموضة الوسط لجعله غير ملائم لعيش البكتيريا الضارة، أو تستنفد المواد الغذائية المتوافرة، مانعةً بذلك حصول البكتيريا الضارة على غذائها، مما قد يُسبب موتها.

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

٢ . خط الدفاع الثاني: يتكوّن هذا الخط من خلايا مناعية غير متخصصة وبروتينات وقائية مثل البروتينات المتممة. فإذا دخلت مُسبّبات الأمراض في الجسم فإن أنواعًا من خلايا المناعة تدافع عنه عن طريق **البلعمة**، وتساهم **البروتينات المتممة** في إتمام عمل خلايا المناعة؛ إذ تُسبّب في تحلّل مُسبّبات الأمراض الداخلة في الجسم، وتسهّل عملية بلعمتها.

والآن، لتعرّف خط الدفاع الثاني على نحوٍ أوضح.

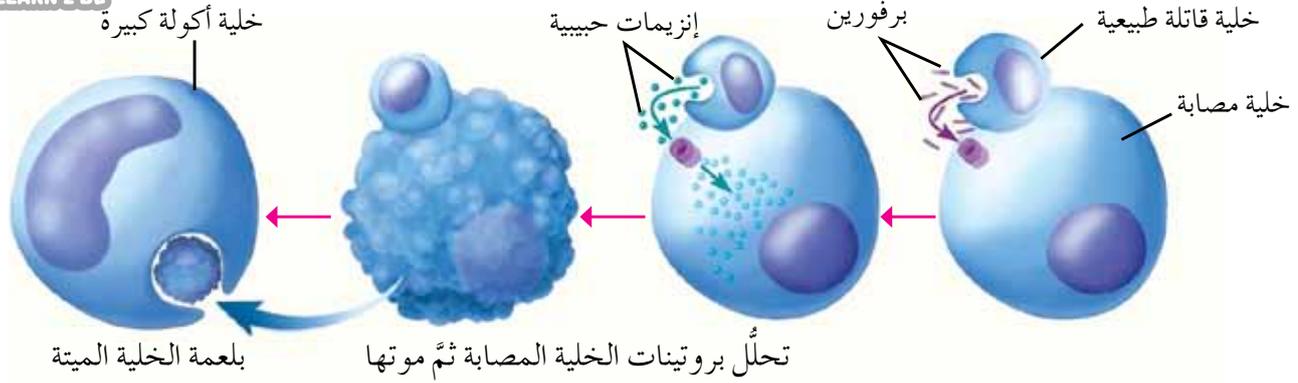
أ . **الخلايا الدفاعية**: تشتمل هذه الخلايا على خلايا الدم البيضاء الأكلة، والخلايا القاتلة الطبيعية.

- **خلايا الدم البيضاء الأكلة (phagocytes)**: تضم هذه الخلايا أنواعًا عدّة، أبرزها:

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

■ **الخلايا الأكلة الكبيرة (macrophages)**: تُعدّ هذه الخلايا في الأساس وحيدة النواة، وقد تكون حرّةً بحيث تتجوّل من نسيج إلى آخر، أو مستقرّةً 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. لتعرّف آلية عملها، ادرس الشكل (٢-٣٦).



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

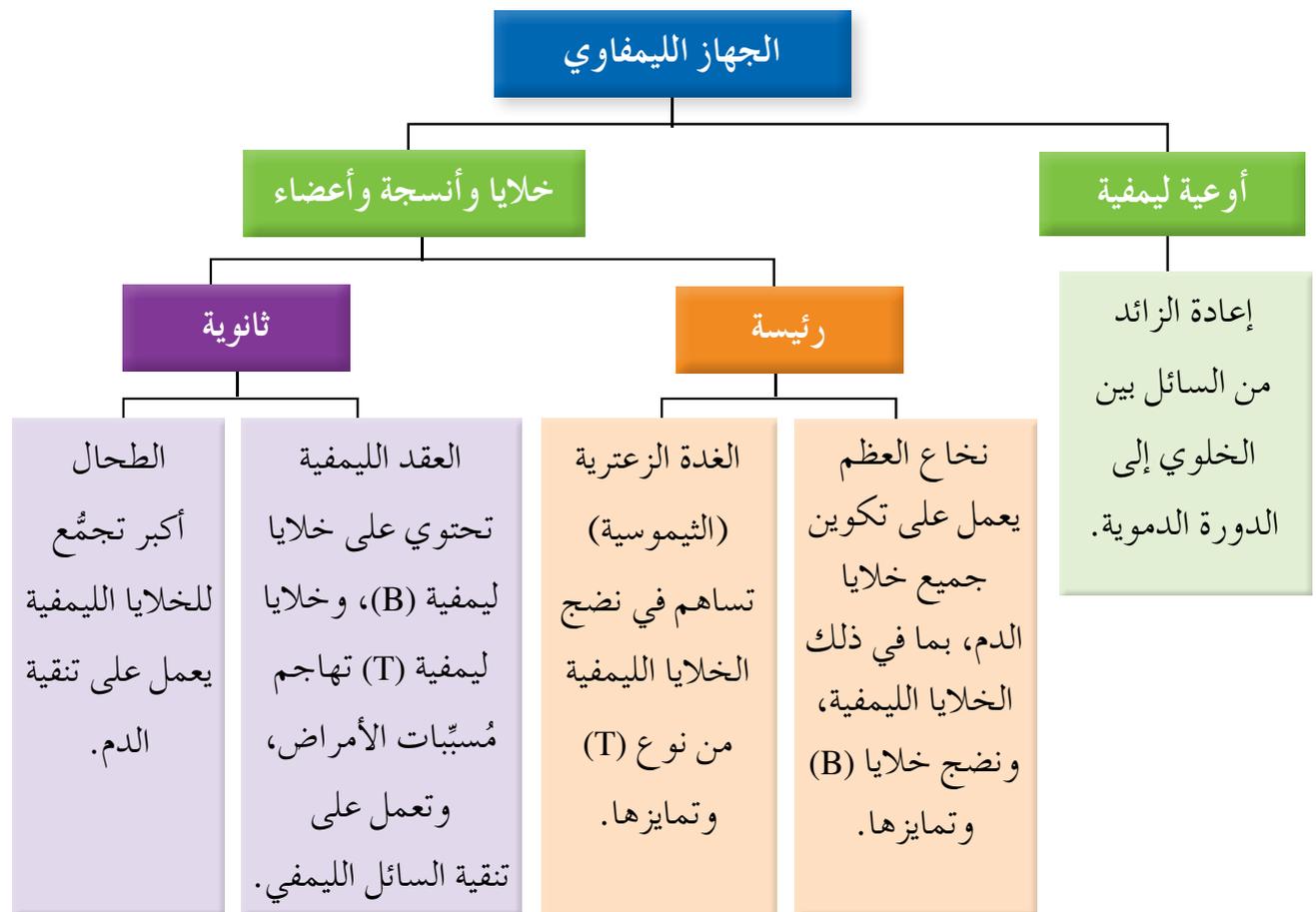
تُفرز الخلايا القاتلة الطبيعية مادة تُسمى **برفورين**، تُحدث ثقباً في غشاء الخلية المصابة، ثم تُفرز هذه الخلايا **إنزيمات حبيبية** (granzymes) تدخل خلال الثقب لتُحلل بروتينات الخلية المصابة مُسببةً موتها، ثم تبتلع الخلايا الأكلة الكبيرة الخلية الميتة بعملية البلعمة.

ب. البروتينات الوقائية: تشمل هذه البروتينات كلاً من **البروتينات المتممة** التي عرفت سابقاً، و**الإنترفيرونات**؛ وهي بروتينات تُفرزها الخلايا المصابة بالفيروسات، فترتبط بالخلايا المجاورة، وتُحفزها إلى إنتاج بروتينات مضادة للفيروسات تمنع تضاعف أعداد الفيروسات المهاجمة لها.

ج. الاستجابة الالتهابية: تعمل مجموعة من المواد الكيميائية المُفرزة من مُسببات المرض وخلايا الجسم المصابة على جذب الخلايا الأكلة 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 عدّة، منها: الاحمرار بسبب توسع الشعيرات الدموية، والانتفاخ بسبب خروج البلازما من الدم، ويصاحب هذه الاستجابة إحساس بالألم نتيجة تهيج النهايات العصبية، وارتفاع درجة حرارة النسيج المصاب.

يُذكر أن المناعة الطبيعية هي **مناعة فطرية** (innate immunity) تتكوّن في جسم الإنسان منذ لحظة ولادته، وهي مناعة غير متخصصة تتصدى للأجسام الغريبة جميعها حال دخولها الجسم. ولكن، ماذا يحدث حين يفشل خط الدفاع الثاني في السيطرة على مُسبّب المرض؟

ب - المناعة المكتسبة (المتخصصة): تحدث الاستجابة المناعية المكتسبة حين يتجاوز مُسبّب المرض خط الدفاع الثاني، ويعتمد حدوث هذه الاستجابة على الجهاز الليمفاوي الذي يتكوّن من أجزاء عدّة، لاحظ الشكل (٢-٣٧).

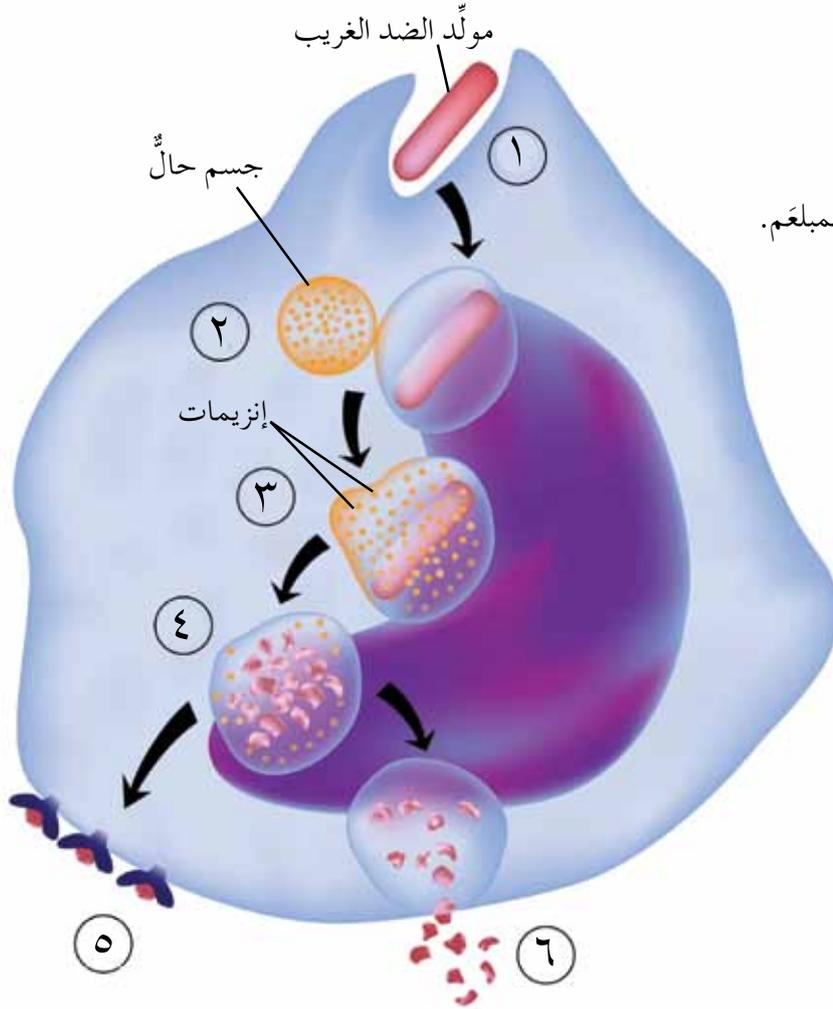


الشكل (٢-٣٧): بعض أجزاء الجهاز الليمفاوي، ووظائفها.

يمتاز السطح الخارجي لخلايا جسم الإنسان بوجود الكثير من البروتينات التي يرتبط بعضها بمواد سكرية، ويُميّز الجسم هذه البروتينات السكرية بوصفها ذاتية (تخصّسه) وتسمى **مولدات ضد ذاتية** (self antigens). ويُطلق على أيّ مادة غريبة تُحفّز الجهاز المناعي إلى إحداث استجابة مناعية خاصة عند دخولها الجسم اسم **مولد الضد الغريب** (non-self antigen).

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

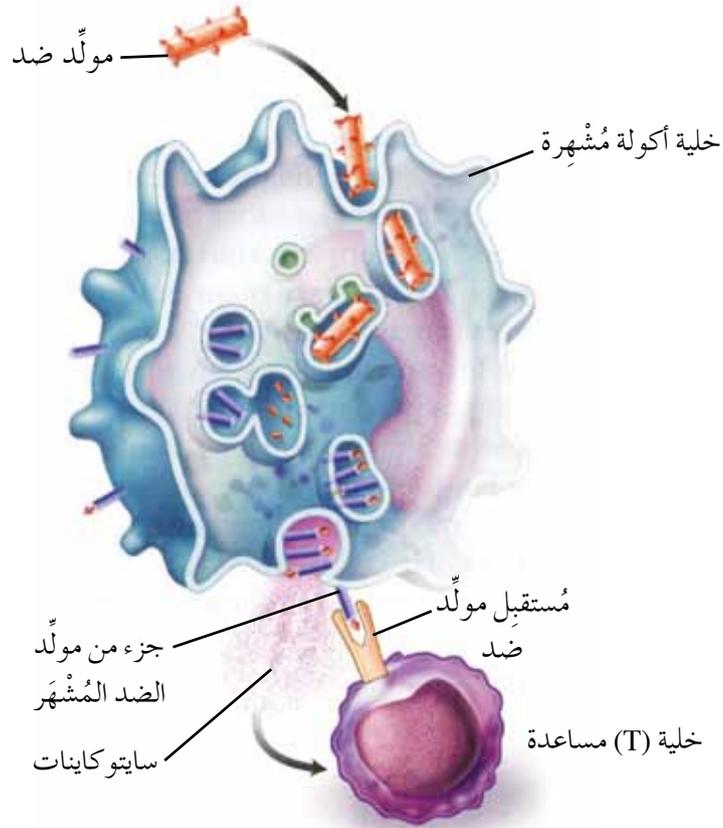
أ . الخلايا الأكلة المُشهِرة (Antigen-Presenting Cells): هي خلايا أكلة كبيرة تُشهِر مولد الضد الغريب المُسبِّب للمرض على سطحها. لتعرّف طبيعة عمل هذه الخلايا، ادرس الشكل (٢-٣٨).



- ١ بلعمة مولد الضد الغريب.
- ٢ اتحاد الجسم الحال مع الجسم المبلع.
- ٣ بدء الإنزيمات تحليل مولد الضد الغريب.
- ٤ تحطيم مولد الضد الغريب إلى أجزاء صغيرة.
- ٥ إظهار أجزاء من مولد الضد الغريب على سطح الخلية.
- ٦ التخلص من الأجزاء الأخرى بواسطة الإخراج الخلوي.

الشكل (٢-٣٨): آلية عمل الخلايا الأكلة المُشهِرة.

تتحرك الخلايا المُشهِرة للبحث عن الخلايا الليمفية المُسمّاة خلايا (T) المساعدة التي تحمل المستقبل الخاص بمولد الضد المُشهِر لترتبط بها، لاحظ الشكل (٢-٣٩).



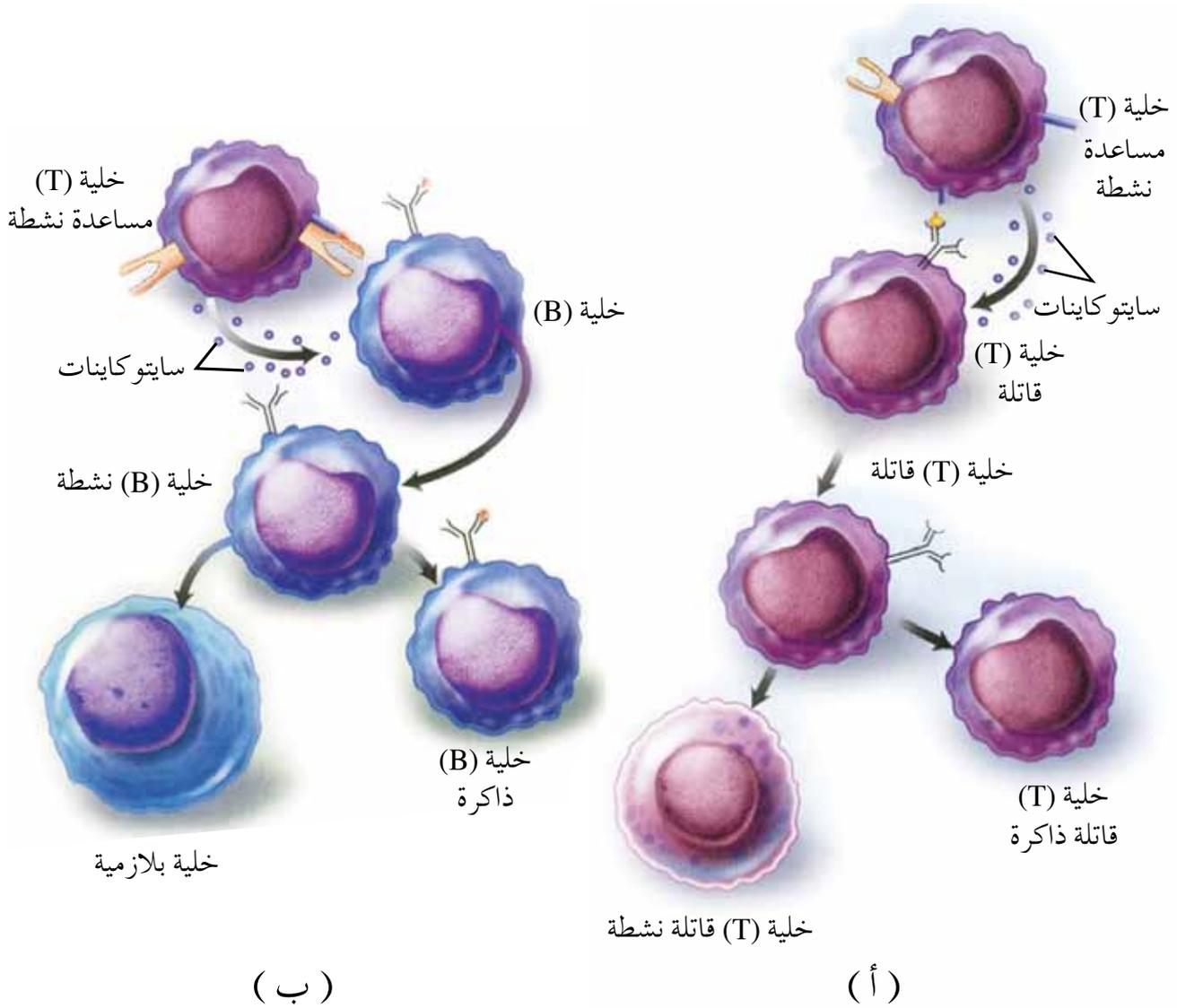
الشكل (٢-٣٩): ارتباط خلية (T) المساعدة بمولد الضد المُشهر.

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

ب. خلايا (T) المساعدة: هي خلايا ليمفية تساعد على إتمام عمل الخلايا المناعية الأخرى. ويُسبب ارتباط خلايا (T) المساعدة بمولد الضد المُشهر إفراز الخلايا الأكلة المُشهرة مواد كيميائية تُسمى **سايټوكاينات** (cytokines) تُحفز انقسام الخلية (T) المساعدة، وتمايزها إلى نوعين من الخلايا، هما: **خلايا (T) مساعدة نشطة، و خلايا (T) مساعدة ذاكرة.**

تُفرز خلايا (T) المساعدة النشطة سايټوكاينات تُنشط خلايا (T) القاتلة، وتُحفزها إلى الانقسام لتكوين خلايا (T) قاتلة نشطة، وخلايا (T) قاتلة ذاكرة، لاحظ الشكل (٢-٤٠/أ).

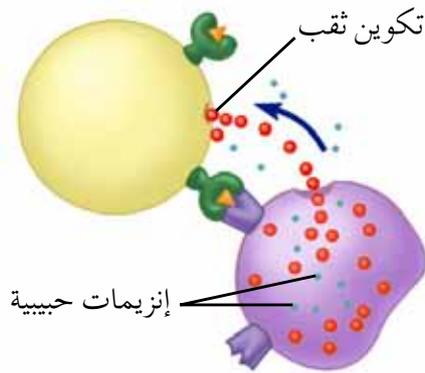
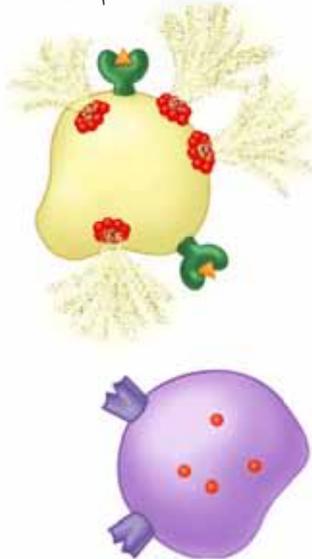
وتُحفّز السايٲوكاينات التي تُفرزها خلايا (T) المساعدة النشطة خلايا (B)، فتصبح نشطة، وتنقسم لإنتاج خلايا بلازمية، وخلايا (B) ذاكرة، لاحظ الشكل (٢-٤٠/ب).



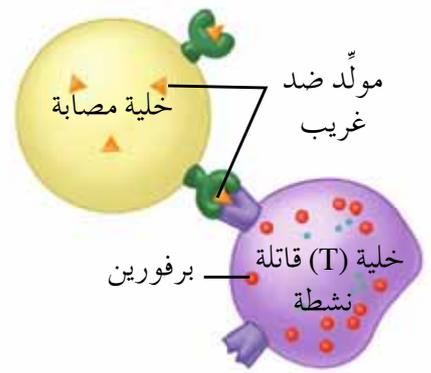
الشكل (٢-٤٠): آلية عمل خلايا (T) المساعدة.

ج. خلايا (T) القاتلة: هي خلايا ليمفية تهاجم الخلايا المصابة، فكيف تقوم بعملها؟ تعرّف خلايا (T) القاتلة النشطة مولّد الضدّ المُشهرّ على سطح الخلايا المصابة بالمرض، وترتبط به مُفرزةً مادة كيميائية تُسمّى برفورين (Perforin) الذي يُحدث ثقباً في الغشاء البلازمي للخلايا المصابة بالمرض؛ ما يسمح بدخول إنزيمات حبيبية خاصة تُحلّل بروتينات الخلية المصابة مسببة موتها، لاحظ الشكل (٢-٤١). يُذكر أن الاستجابة المناعية التي تنتج من عمل الخلايا (T) الليمفية تُعرّف باسم **الاستجابة الخلوية**.

٣) تحلّل بروتينات الخلية المصابة ثمّ موتها



٢) إحداث برفورين ثقباً في الغشاء البلازمي للخلية المصابة.



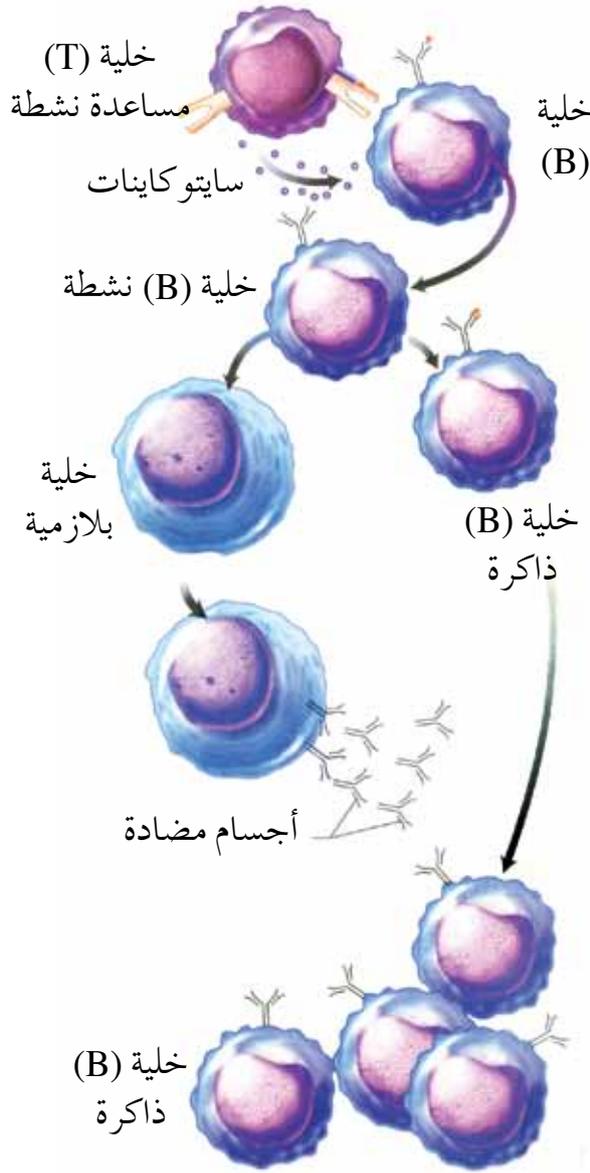
١) ارتباط خلية (T) القاتلة النشطة بالخلية المصابة.

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

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

◀ ما تأثير السايٹوكاينات المُفرزة من خلايا (T) المساعدة النشطة في الخلايا الليمفية (B)؟

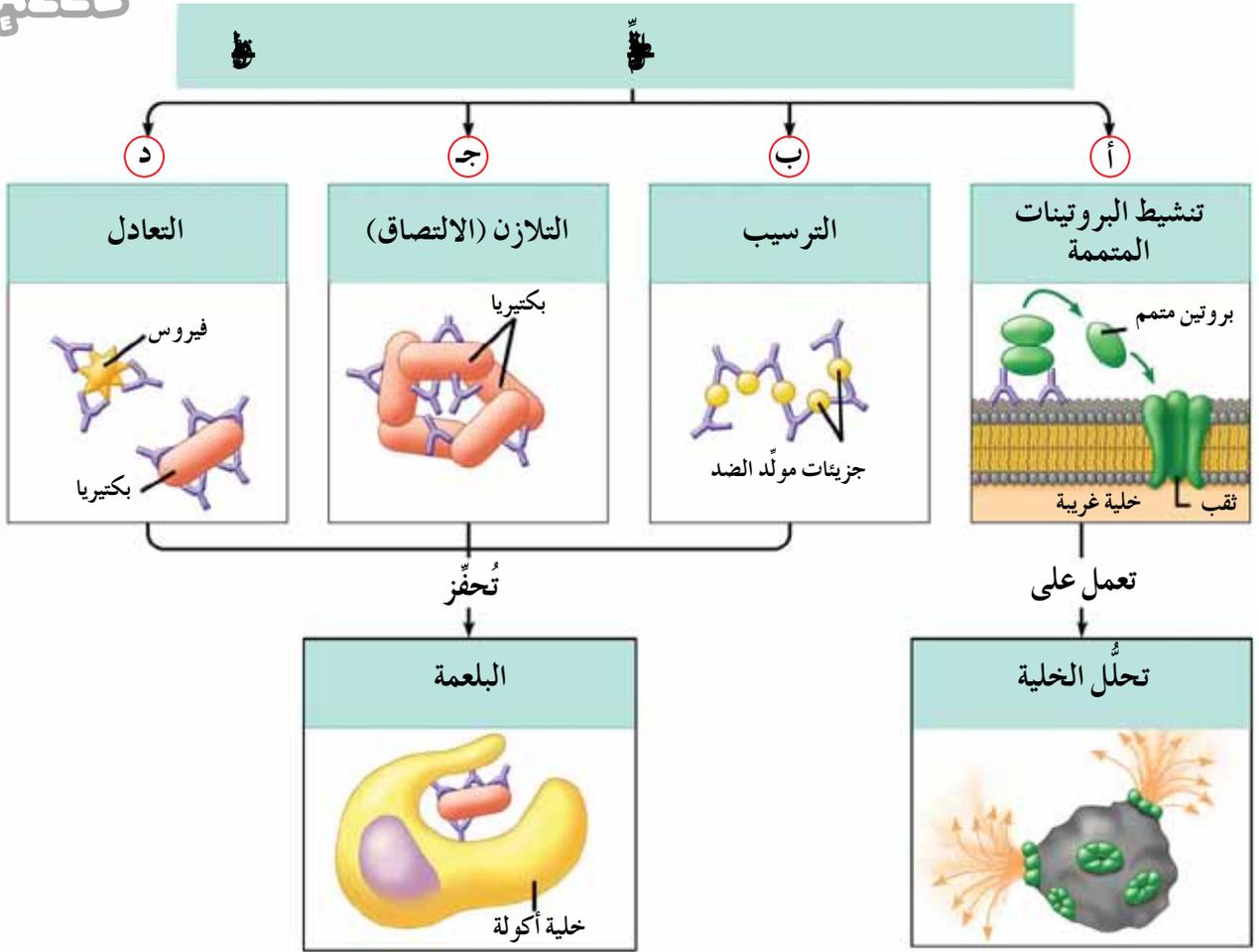
◀ ما نوع الخلايا التي تُنتج الأجسام المضادة؟



الشكل (٢-٤٢): 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 تُنتجه الخلايا البلازمية استجابةً لوجود مولد ضد مُعيّن بغرض تثبيطه. وتُعرف الاستجابة المناعية التي تعتمد على إنتاج الاجسام المضادة باسم **الاستجابة السائلة**.

ولكن، كيف يُثبِّط الجسم المضاد مولد الضد الذي سبَّب إنتاجه؟ للإجابة، ادرس الشكل (٢-٤٣).



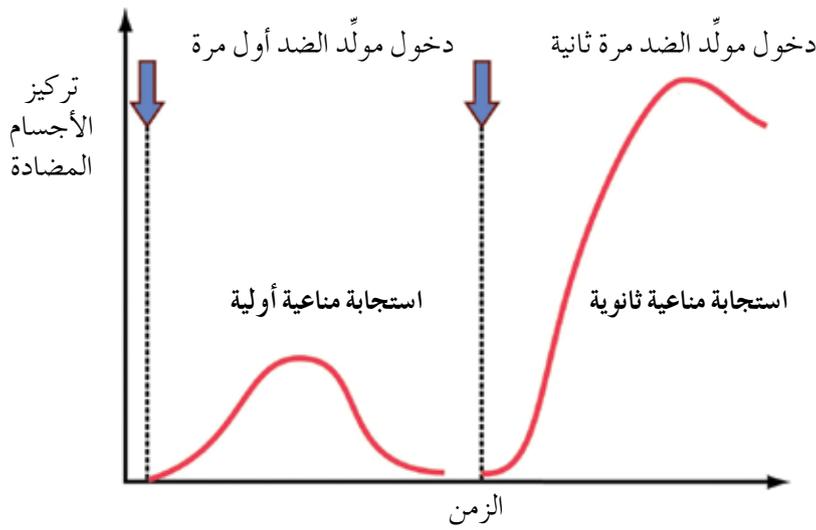
الشكل (٢-٤٣): آلية عمل الأجسام المضادة.

- من طرائق تثبيط مولّد الضد عند ارتباطه بالجسم المضاد:
- أ) ارتباط الأجسام المضادة بالغشاء البلازمي للخلية المُسبّبة للمرض (مولّد الضد)، يليه تنشيط البروتينات المتممة، مما يؤدي إلى إحداثها ثقوباً في الغشاء البلازمي للخلية المُسبّبة للمرض، ودخول السوائل إلى داخل الخلية، فتتحلّل الخلية.
- ب) ارتباط الأجسام المضادة بمولّدات الضد مُسبّبة ترسيبها، فتنشط الخلايا الأكلة، وتحدث عملية البلعمة.
- ج) ارتباط الأجسام المضادة بمجموعة من مولّدات الضد مُسبّبة التصاق بعضها ببعض (تلازنها)، فتنشط الخلايا الأكلة، وتحدث عملية البلعمة.
- د) ارتباط الأجسام المضادة بمُسبّب المرض (مولّد الضد)، مانعاً إياه من الارتباط بخلايا الجسم وإلحاق الضرر به، وتنشط الخلايا الأكلة، وتحدث عملية البلعمة.

تمتاز الاستجابة المناعية المكتسبة (المتخصصة) بأنها موجهة؛ أي إنها قادرة فقط على تمييز مولد الضد الغريب الذي يُسبب الاستجابة، وتكوين 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 (٢-٤٤) الذي يوضح الاستجابة المناعية عند تعرّض الجسم لمولد الضد الغريب نفسه في المرتين الأولى (استجابة مناعية أولية)، والثانية (استجابة مناعية ثانوية).



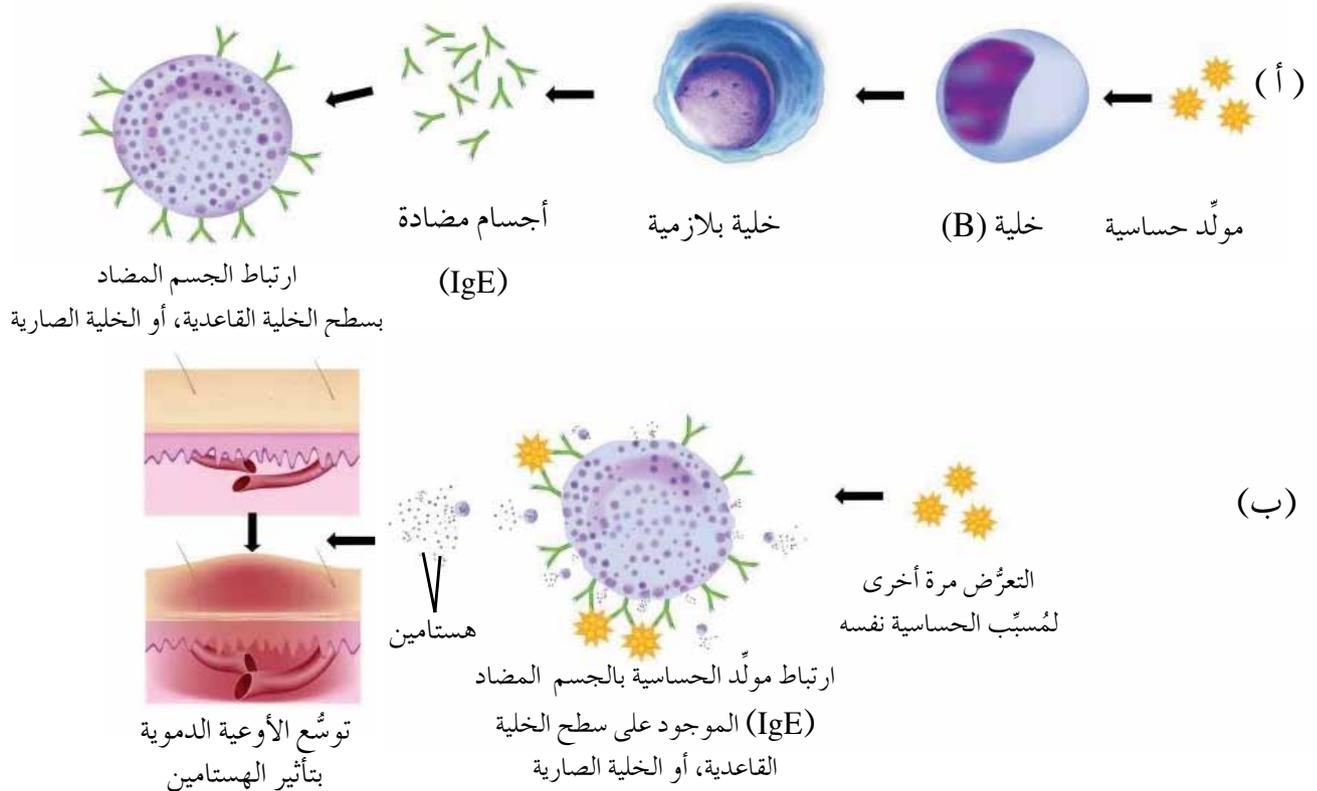
الشكل (٢-٤٤): الاستجابة المناعية لدى تعرّض الجسم لمولد الضد.

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

## بعض اختلافات الجهاز المناعي

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

يحدث تفاعل الحساسية الأنفية مثلاً حين يتعرّض الشخص لمولّد الحساسية الذي يرتبط بالخلايا الليمفية (B)، مُحفِّزاً إيها إلى الانقسام لتكوين خلايا بلازمية تُنتج كميات كبيرة من أحد أنواع الأجسام المضادة الذي يُسمّى (IgE)، والذي يرتبط بمستقبلات خاصة على **الخلايا الصارية، والخلايا القاعدية** الموجودة في الأنسجة. وعند التعرّض مرة أخرى لمولّد الحساسية نفسه يرتبط مولّد الحساسية بالجسم المضاد (IgE) الموجود على الخلايا الصارية أو الخلايا القاعدية، مُحفِّزاً الحبيبات داخل هذه الخلايا إلى إفراز مادة **الهستامين** التي تعمل على توسّع الأوعية الدموية لتصبح أكثر نفاذية للسوائل، فضلاً عن ظهور بعض الأعراض، مثل: الاحمرار، والانتفاخ، وزيادة إفراز المخاط، لاحظ الشكل (٢-٤٥).



الشكل (٢-٤٥): تفاعل الحساسية: (أ) عند التعرّض لمُسبّب الحساسية أول مرة. (ب) عند التعرّض لمُسبّب الحساسية نفسه مرة أخرى.

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

ب - متلازمة نقص المناعة المكتسبة (AIDS): قد تُؤثر بعض الأمراض في فاعلية الجهاز المناعي، ومن الأمراض التي تُسبب فشل الجهاز المناعي **متلازمة نقص المناعة المكتسبة (AIDS)**؛ إذ يصيب فيروس نقص المناعة المكتسبة (HIV) الذي يُسبب مرض الإيدز الخلايا الليمفية (T) المساعدة، فيتكاثر داخل هذه الخلايا، مُنتجًا فيروسات (HIV) جديدة وكثيرة تصيب خلايا (T) مساعدة أخرى. وبمرور الزمن تصبح أعداد الخلايا (T) المساعدة قليلة جدًا، ما يؤدي إلى انخفاض قدرة الشخص المصاب على مقاومة الأمراض.

### سؤال ؟

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

### الرفض المناعي ٣

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 تعرّضه لحادث مُعيّن، قد يحتاج إلى إجراء عملية زراعة عضو يتبرع به إنسان آخر، أو لعملية نقل دم من مُتبرّعين. وفي هذه الحالات تُجرى الكثير من الفحوص لكلّ من المُستقبل والمُتبرّع للتأكد من أنهما متوافقان مناعياً؛ وذلك تجنباً لحدوث **الرفض المناعي (immune rejection)** في جسم المُستقبل للعضو أو للدم المنقول؛ إذ إن حدوثه يُعرّض المُستقبل لخطر شديد قد يؤدي بحياته.

ولتوضيح الرفض المناعي سنعرض عملية **نقل الدم (blood transfusion)** بوصفها مثالاً على ذلك في حال عدم توافق كلّ من فصيلة دم المُتبرّع والمُستقبل مناعياً. ادرس الجدول الآتي الذي يُبيّن مولدات الضد على سطوح خلايا الدم الحمراء، والأجسام المضادة في بلازما دم أصحاب فصائل الدم المختلفة بحسب نظام (ABO)، وفصائل الدم المناسبة للتبرّع لكلّ منهم، ثم أجب عمّا يليه من أسئلة:

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

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

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

لا حظ 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 مولد الضد (B)، وتقتصر فصائل الدم المناسب نقلها إليه على فصيلة (A)، أو فصيلة (O) فقط.

وفي حال حدوث خطأ بأن يُنقل دم من مُتبرِّع فصيلة دمه غير متوافقه مناعياً مع فصيلة دم المُستقبل فإن الأجسام المضادة الموجودة في بلازما دم المُستقبل ترتبط بمولدات الضد الموجودة على سطوح خلايا الدم الحمراء المنقولة إليه، مُسببةً تحلل خلايا الدم الحمراء المنقولة، فترتفع درجة حرارة المُستقبل، ويحدث ارتعاش في جسمه، وفشل كلوي أحياناً، وقد تؤدي بحياته في حال كانت كمية الدم المنقولة إليه كبيرة. وهذا يحدث أيضاً عند اجتماع مولد الضد (A) مع الجسم المضاد من النوع نفسه (Anti-A).

### سؤال ؟

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

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

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

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

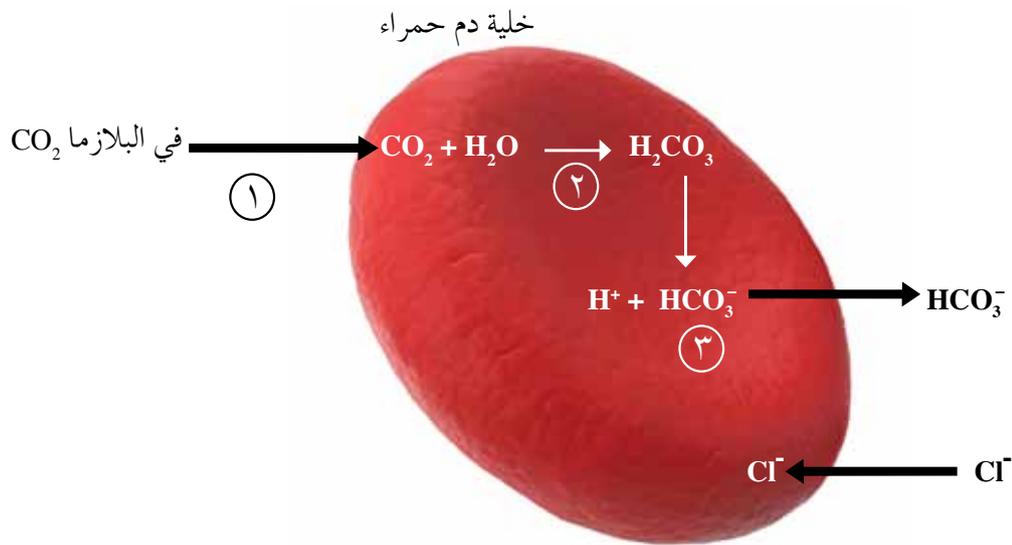
### سؤال ؟

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](http://www.jrms.mil.jo).

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



الشكل (٤٦-٢): أحد أشكال انتقال ( $\text{CO}_2$ ).

- أ - أيُّ أشكال نقل غاز ثاني أكسيد الكربون يُمثِّله الرقم (١)؟  
 ب - ما اسم الإنزيم الممثَّل بالرقم (٢)؟  
 ج - ما اسم المادة المشار إليها بالرقم (٣)؟  
 د - فسِّر سبب انتشار أيونات الكلور السالبة داخل خلية الدم الحمراء.  
 ٣ - يتصف أول أكسيد الكربون بأنه غاز لا لون له ولا رائحة، وبقدرته الفائقة على الارتباط بالهيموغلوبين. ما أثر وجود تركيز عالٍ 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 الأنبوبية الكلوية أصابها الضرر؟ ولماذا؟

٥ - نُقل شخص إلى المستشفى بعد فقدته كميات كبيرة من الدم. كيف يُؤثر ذلك في إفراز الرينين، والألدوستيرون، والعامل الأذيني المُدرِّ للصوديوم؟ وما تأثير كلٍّ منها؟

٦ - قارن بين المناعة الطبيعية والمناعة المتخصصة من حيث الخلايا التي تُشارك في كلٍّ منها.

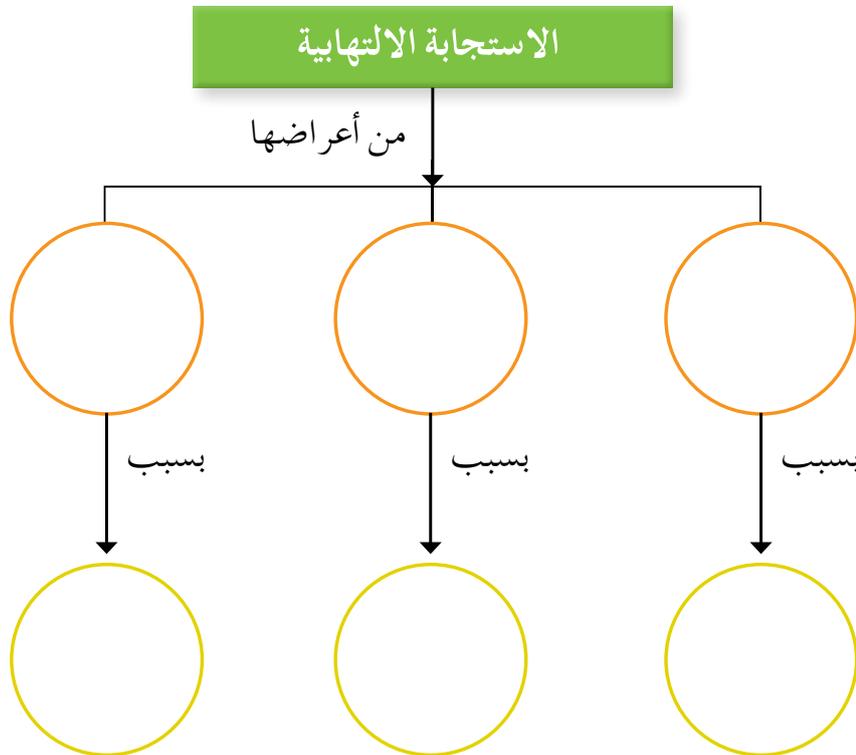
٧ - فيم تختلف الخلايا القاتلة الطبيعية عن الخلايا (T) القاتلة؟

٨ - ماذا تُفرز كلٌّ من:

أ - الخلية (T) المساعدة النشطة.

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

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



الشكل (٤٧-٢): الاستجابة الالتهابية.

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

الرمز	العبرة	المصطلح
أ	وعاء دموي ينقل الدم فقير الأكسجين إلى الرئتين.	
ب	مركب ينتج من اتحاد جزيء هيمو غلوبين بجزيئات الأكسجين.	
ج	عملية انتقال أيونات الكلور ( $Cl^-$ ) من بلازما الدم إلى داخل خلايا الدم الحمراء لإعادة التوازن الكهربائي على جانبي غشائها البلازمي.	
د	الوحدة الأساسية المكونة للكلية.	
هـ	إنزيم تُفرزه الخلايا الطلائية المبطنة للحويصلات الهوائية.	
و	خلايا دم بيضاء تُعدُّ أساسًا وحيدة النواة، وقد تكون حرّة في الدم، أو مستقرة في أعضاء معينة.	
ز	أَيُّ مادة غريبة تُحفِّز الجهاز المناعي إلى إحداث استجابة مناعية عند دخولها الجسم.	

## التكاثر عند الإنسان

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

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

يتوقع منك أن تكون قادراً على أن:

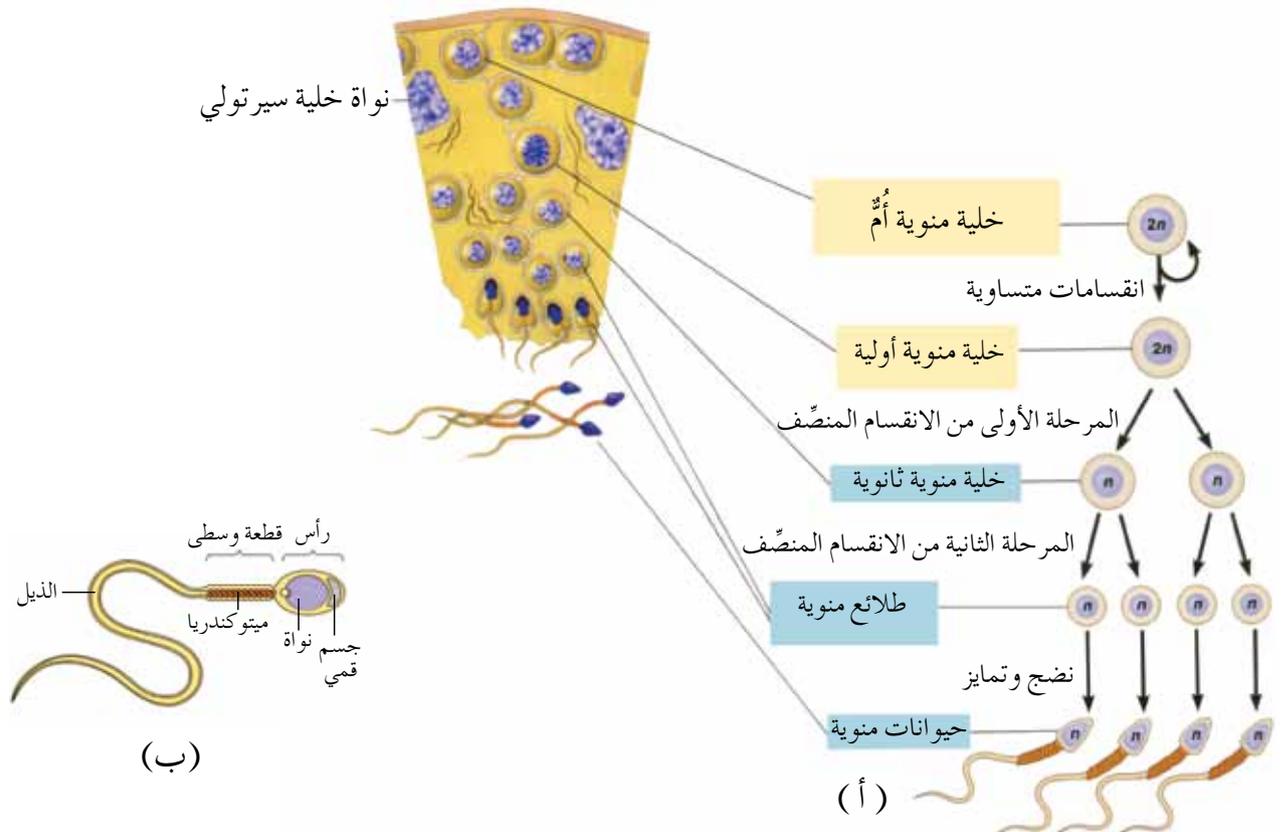
- تُبيّن مراحل تكوين كلٍّ من الجاميتات الذكرية والأنثوية لدى الإنسان.
- تصف التغيرات الدورية في نشاط الجهاز التناسلي الأنثوي.
- تتبّع مراحل إخصاب البويضة، وتكوين الجنين في الإنسان.
- تُقدّر أهمية الطرائق المختلفة في تنظيم النسل.
- توضح أهمية التقنيات الحديثة في عمليتي الحمل والإخصاب لدى الإنسان.

تحدث عملية تكوين الجاميتات الذكرية (الحيوانات المنوية) في الخصية، وعملية تكوين الجاميتات الأنثوية (البويضات) في المبيض، فما مراحل تكوين كل منهما؟

### ١ تكوين الحيوانات المنوية

تبدأ عملية تكوين الحيوانات المنوية (spermatogenesis) في الأنبيبات المنوية في الخصية عند البلوغ، ولا تتوقف بعد ذلك لدى الشخص الطبيعي، لكنها قد تتباطأ مع تقدم العمر. تمر عملية تكوين الحيوانات المنوية بالمرحلتين الآتيتين:

أ - مرحلة تضاعف الخلايا التناسلية ونموها: تنقسم **الخلايا المنوية الأم** (spermatogonia) ( $2n$ ) الموجودة في الأنبيبات المنوية للخصية انقسامات متساوية متتالية، لتكوين مخزون كبير منها، وتبقى أعداد من هذه الخلايا بوصفها مصدراً للخلايا الجنسية الجديدة؛ إذ تستمر في الانقسام المتساوي، وتدخل أعداد أخرى منها مرحلة النمو والتمايز، فيزداد حجمها، وتسمى عندئذٍ **الخلايا المنوية الأولية** (primary spermatocytes)، وتحتوي العدد الزوجي من الكروموسومات ( $2n$ )، لاحظ الشكل (٢-٤٨ / أ).



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

ب - مرحلة النضج والتمايز: تدخل الخلية المنوية الأولية المرحلة الأولى من الانقسام المنصف، وينتج منها خليتان تُسمّى كلٌّ منهما **الخلية المنوية الثانوية** (secondary spermatocyte)، التي تحتوي على نصف عدد الكروموسومات الموجودة في الخلية المنوية الأم؛ أي إنها أحادية المجموعة الكروموسومية (1n). وبعد دخول الخليتين المنويتين الثانويتين المرحلة الثانية من الانقسام المنصف تتكوّن أربع **طلائع منوية** (spermatids)، لاحظ الشكل (٢-٤٨/أ).

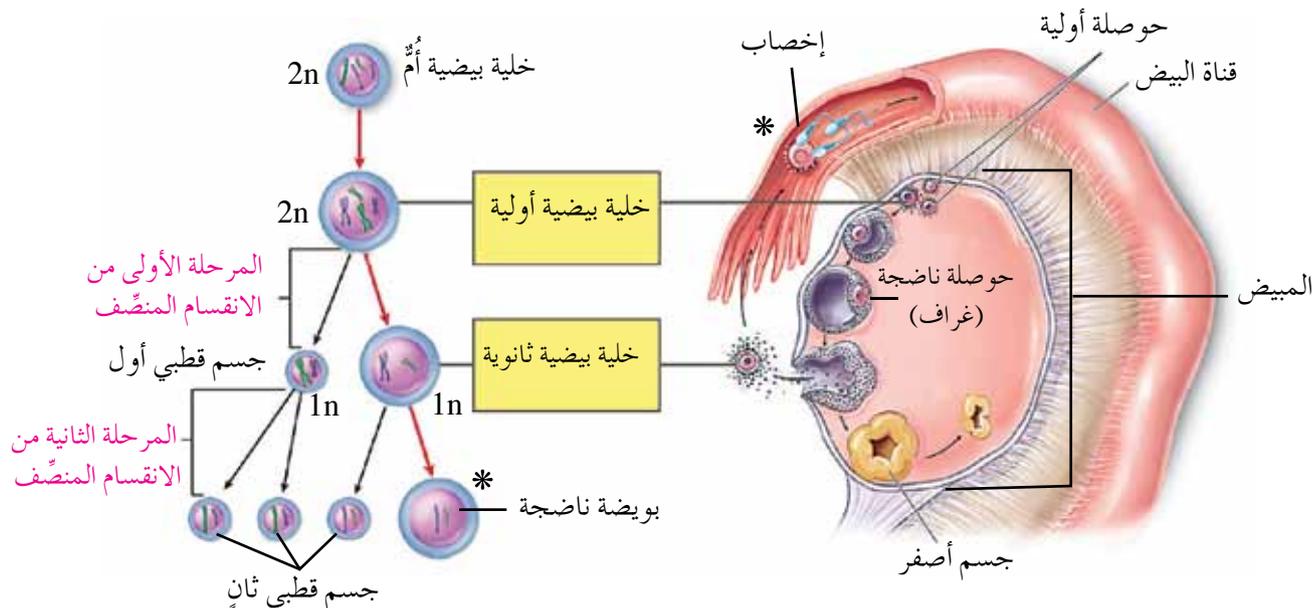
ولكي تصبح الطلائع المنوية قادرة على إخصاب الخلية البيضية الثانوية التي ستدرسها لاحقاً؛ فإنها تمر بعملية نضج وتمايز؛ إذ يُحفّز الهرمون المُنشّط للجسم الأصفر الذكري (male LH) المُفرز من الغدة النخامية الأمامية خلايا لايدج (leydig cells) الموجودة بين الأنبيبات المنوية في الخصيتين إلى إفراز هرمون التستوستيرون الذي 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 تُزوّد الطلائع المنوية بالغذاء اللازم في أثناء عملية التمايز، وتساهم إفرازاتها في دفع الحيوانات المنوية نحو البربخ. لتعرّف تركيب الحيوان المنوي، ادرس الشكل (٢-٤٨/ب). تستغرق مراحل تكوين الحيوان المنوي مدةً تتراوح بين (٦٤-٧٣) يوماً، وتساهم إفرازات الحوصلتين المنويتين اللتين تحويان الفركتوز في تزويد الحيوانات المنوية بالطاقة اللازمة لحركتها، في حين تساهم إفرازات غدة البروستات في تسهيل حركة الحيوانات المنوية. أمّا إفرازات غدتي كوبر فتعمل على معادلة الحموضة الناجمة عن بقايا البول في الإحليل؛ وبذا تساهم في بقاء الحيوانات المنوية حية.

## ٢ تكوين البويضات

يحدث **تكوين البويضات (oogenesis)** في المبيض، وتنشأ من **الخلايا التناسلية الأولية**؛ وهي خلايا جذعية غير متميزة، يبدأ تكوّنها منذ المراحل الجنينية الأولى للأنثى.

تمر عملية تكوين البويضات بمرحلتين اثنتين، فما هما؟ وماذا يحدث في كل منهما؟  
للإجابة، ادرس الشكل (٢-٤٩).



الشكل (٢-٤٩): مراحل تكوّن البويضات.

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 عدد الخلايا البيضية الأم في الازدياد بالانقسام المتساوي. تنمو بعض الخلايا البيضية الأم، ويزداد حجمها، وتحوّل إلى **خلايا بيضية أولية** (primary oocytes)، لاحظ الشكل (٢-٤٩). وفي أثناء المرحلة الجنينية، تدخل الخلايا البيضية الأولية المرحلة الأولى من الانقسام المنصف، ولكن هذا الانقسام يتوقف في طور التمهيدي الأول، فتدخل الخلايا البيضية الأولية في مرحلة كمن داخل المبيض.

ب - مرحلة النضج: يُكَمَل عدد قليل من الخلايا البيضية الأولية الانقسام المنصف الأول عند البلوغ بتحفيز من الهرمونات الأنثوية، فينتج من كلٍّ منها خليتان: الأولى كبيرة تُسمّى **الخلية البيضية الثانوية** (secondary oocyte)، والأخرى صغيرة تُسمّى **الجسم القطبي الأول** (first polar body)، وتحتوي كلٌّ منهما على نصف عدد الكروموسومات (1n). يُذكر أن الخلية البيضية الثانوية تتوقف عن استكمال

الانقسام في الطور الاستوائي من المرحلة الثانية من الانقسام المنصف، في حين ينقسم الجسم القطبي الأول إلى جسمين قطبيين صغيرين. بعد عملية الإباضة، ووصول الخلية البيضية الثانوية إلى قناة البيض، وتعدُّ تلقيحها بحيوان منوي، فإنها غالبًا تتحلل. أمّا إذا جرى تلقيحها بحيوان منوي فتُحفز الخلية البيضية الثانوية خلال عملية الإخصاب التي ستعرف مراحلها لاحقًا إلى إكمال المرحلة الثانية من الانقسام المنصف لإنتاج خليتين: واحدة كبيرة تُسمى **البويضة الناضجة**، وأخرى صغيرة تُعرف بالجسم القطبي الثاني، لاحظ الشكل (٢-٤٩). أمّا الأجسام القطبية الثلاثة فإنها تضمحل وتتحلل؛ نظرًا إلى قلة كمية السيتوبلازم وما يحويه من مواد غذائية فيها.

### سؤال ؟

ما عدد المجموعة الكروموسومية في كلٍّ من:

- الخلية المنوية الأولية؟
- الخلية البيضية الأولية؟
- الجسم القطبي؟

### محيي

### ثانيًا

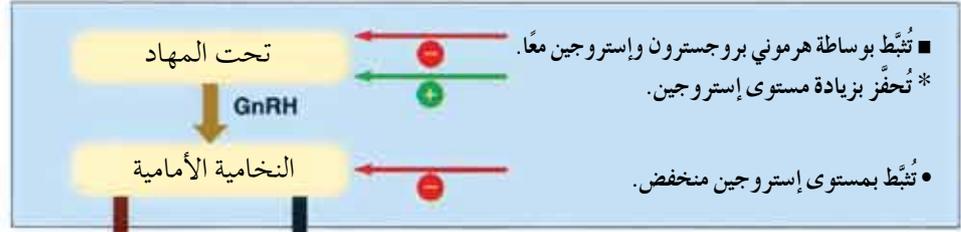
تحدث تغيرات دورية شهرية منتظمة في كلٍّ من الرحم والمبيض، يتم خلالها تكوين البويضات، وتجهيز الرحم للحمل. وتكون هذه التغيرات دورية عند الأنثى طوال مدة الخصوبة الممتدة من سن البلوغ إلى سن الخمسين تقريبًا، وتكون غالبًا منتظمة، وتستمر مدةً تتراوح بين (٢٨-٣٠) يومًا.

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 منهما؟ وما دور الهرمونات في ذلك؟

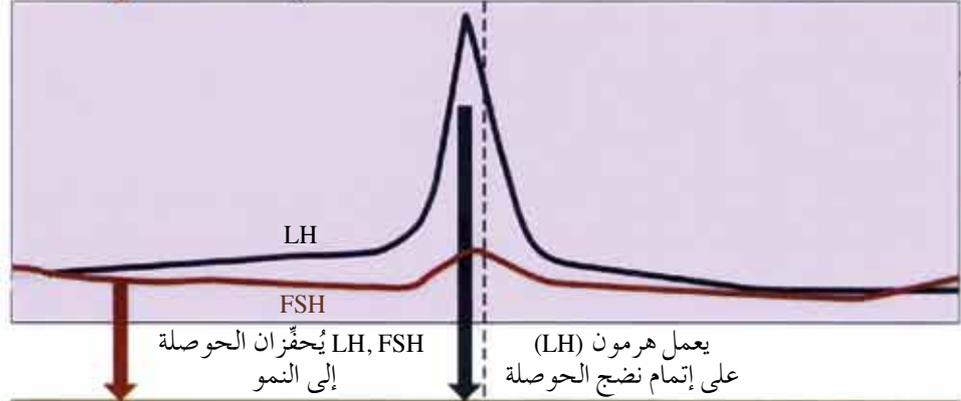
### ١ دورة المبيض

تمر دورة المبيض بأطوار يُوضِّحها الشكل (٢-٥٠/ج)، في حين يُوضِّح الشكلان (٢-٥٠/ب)، و(٢-٥٠/د) مستوى الهرمونات في أثناء هذه الأطوار.

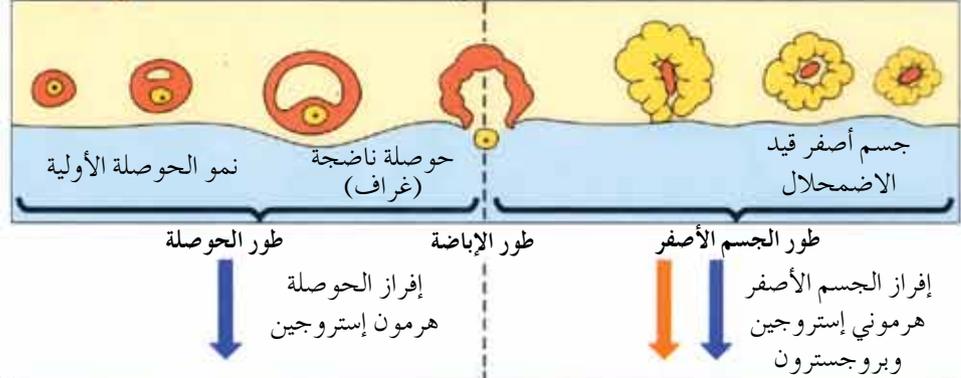
(أ) التنظيم الهرموني.



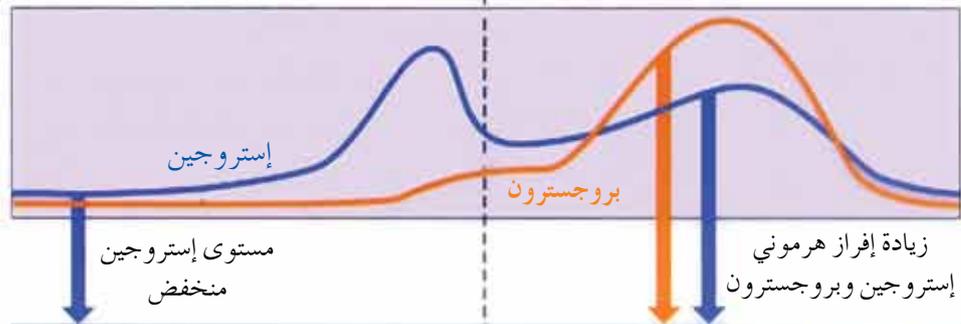
(ب) مستوى هرمونات الغدة النخامية في الدم.



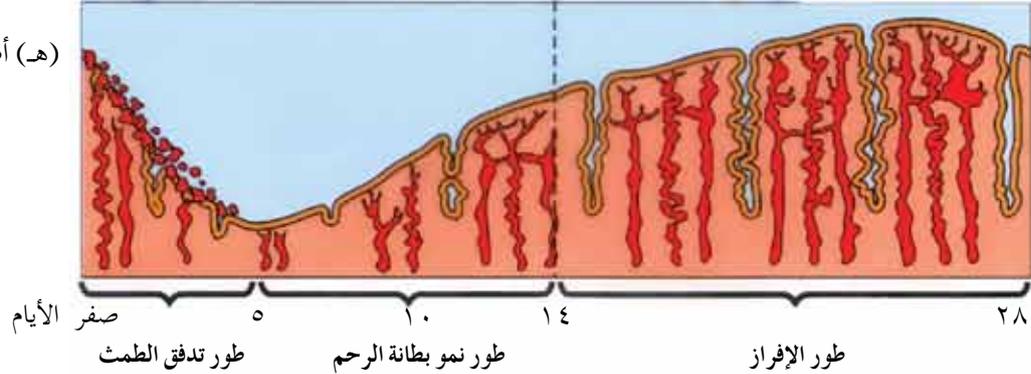
(ج) أطوار دورة المبيض.



(د) مستوى هرمونات المبيض في الدم.



(هـ) أطوار دورة الرحم (الطمث).



الشكل (٢-٥٠): التغيرات الدورية في نشاط الجهاز التناسلي الأنثوي.

وأطوار دورة المبيض هي:

أ - طور الحوصلة: يعمل الهرمون المنشط للحوصلة الأنثوي (FSH) المُفَرَز من الغدة النخامية الأمامية على حفز المبيض، فتتبع بعض الحوصلات الأولية، لاحظ الأشكال: (٢-٥٠/أ)، و(٢-٥٠/ب)، و(٢-٥٠/ج)؛ إذ ينمو في كل شهر نحو (٢٠) حوصلة أولية (primordial)، لكن واحدة منها فقط (أسرعها نموًا) تنضج كل شهر من أحد المبيضين، وتُفَرَز هذه الحوصلة في أثناء نضجها هرمون إستروجين الذي يرتفع مستواه ببطء، فيكون مستوى هذا الهرمون في هذه المرحلة منخفضًا، ويعمل على تثبيط 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 ثانوية شهريًا.

ب - طور الإباضة: يستمر مستوى هرمون إستروجين في الدم بالارتفاع فيحفز غدة تحت المهاد إلى إفراز كميات من الهرمون المحفز لإفراز هرمونات الغدة التناسلية (GnRH)، فيزيد إفراز الهرمون المنشط للجسم الأصفر الأنثوي (Female LH)، من النخامية الأمامية، الذي يعمل على إتمام نضج الحوصلة، فتسمى عندئذٍ حوصلة غراف، لاحظ الشكلين (٢-٥٠/أ\*)، و(٢-٥٠/ج). يُذكر أن أعلى مستوى لهرموني (female)، (FSH) LH يكون قبيل عملية الإباضة التي تحدث يوم الرابع عشر من الدورة تقريبًا، لاحظ الشكل (٢-٥٠/ب). وفي هذا الطور تنطلق الخلية البيضية الثانوية باتجاه قناة البيض.

ج- طور الجسم الأصفر: بعد لحظة الإباضة مباشرة، وخروج الخلية البيضية الثانوية، تتحوّل الأجزاء المتبقية من الحوصلة إلى جسم أصفر (corpus luteum)، يُفَرَز كميات كبيرة من هرمون بروجسترون، وكميات قليلة من هرمون إستروجين؛ ما يثبط إفراز الهرمون المنشط للحوصلة الأنثوي (FSH)، ولذلك لا تنضج أي حوصلة جديدة ما دام الجسم الأصفر نشطًا، لاحظ الأشكال (٢-٥٠/أ)، و(٢-٥٠/ب)، و(٢-٥٠/د). وبالمقابل، يقل إفراز الهرمون المنشط للجسم الأصفر إذا لم يحدث إخصاب للخلية البيضية الثانوية، فيبدأ هذا الجسم بالضمور.

## دورة الرحم Uterine cycle

٢

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

تمر دورة الرحم بأطوار يُمثّلها الشكل (٢-٥٠هـ)، في حين يُوضّح الشكل (٢-٥٠ب)، و(٢-٥٠د) مستوى الهرمونات في أثناء هذه الأطوار.  
وأطوار دورة الرحم هي:

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

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

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 سُمك بطانة الرحم، ويُحفزان غدها إلى إفراز مواد مخاطية غنية بالغلايكوجين؛ للمحافظة على بطانة الرحم، وتوفير البيئة المناسبة لنمو الجنين، لاحظ الشكلين (٢-٥٠هـ)، و(٢-٥٠د).

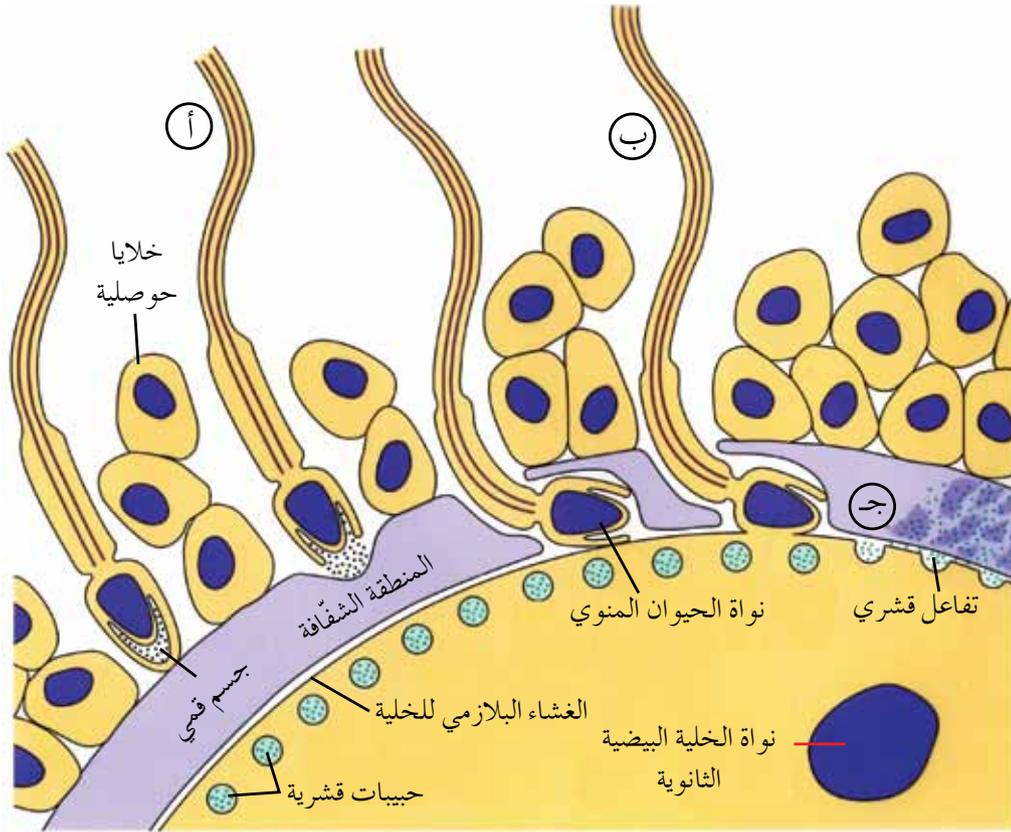
### سؤال ؟

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

ولكن، ماذا يحدث إذا التقت الجاميتات الذكرية مع الجاميتات 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 السيروبلازم المحاذي للغشاء البلازمي على حبيبات قشرية، لاحظ الشكل (٢-٥١).

تحدث عملية الإخصاب في أعلى قناة البيض خلال الأربع والعشرين ساعة من عملية الإباضة، وفي هذه الأثناء يحدث اتحاد (أو اندماج) لنواة البويضة الناضجة مع نواة الحيوان المنوي؛ فتكوّن البويضة المخصبة.



الشكل (٢-٥١): عملية الإخصاب.

تتضمن عملية الإخصاب المراحل الآتية:

### ١ مرحلة الاختراق

عند دخول أعداد كبيرة من الحيوانات المنوية عبر طبقة الخلايا الحوصلية المحيطة بالخلية البيضية الثانوية إلى المنطقة الشفافة يتحطم الجسم القمي لكل حيوان منوي، وتحرر محتوياته الغنية بالإنزيمات الهاضمة للبروتينات، ثاقبة المنطقة الشفافة، لاحظ الشكل

(٢-٥١/أ). ويُعزى سبب تحرُّر إنزيمات الجسم القمي إلى اتحاد الغشاء البلازمي للجزء الأمامي من الحيوان المنوي مع مستقبلات بروتينية خاصة توجد في المنطقة الشفافة. تستمر عملية الاختراق فيلتحم الغشاء البلازمي للحيوان المنوي الأسرع بالغشاء البلازمي للخلية البيضية الثانوية، لاحظ الشكل (٢-٥١/ب) ويؤدي الالتحام إلى اندفاع أيونات الصوديوم إلى داخل الخلية البيضية الثانوية، وإزالة الاستقطاب في غشائها البلازمي، فتفتح قنوات أيونات الكالسيوم وتدخل أيونات الكالسيوم الخلية البيضية الثانوية، فيحدث تفاعل يُدعى **التفاعل القشري**؛ إذ تندفع الحبيبات القشرية للخلية البيضية الثانوية في السائل خارج الخلية بين المنطقة الشفافة والغشاء البلازمي للخلية البيضية الثانوية، لاحظ الشكل (٢-٥١/ج). ونتيجةً لامتناس الحبيبات القشرية الماء وانتفاخها؛ فإنها تدفع الحيوانات المنوية التي علقت بغشاء الخلية البيضية الثانوية بعيداً، وتُعيّر من طبيعة موقع ارتباط الحيوان المنوي بالخلية البيضية الثانوية مانعةً دخول حيوانات منوية أخرى.

## ٢ مرحلة استكمال الانقسام المنصف

يُحفز دخول نواة الحيوان المنوي سيتوبلازم الخلية البيضية الثانوية إلى إكمال الانقسام المنصف، فيتكوّن جسم قطبي ثانٍ، وبويضة ناضجة.

## ٣ مرحلة الاندماج

تتجه نواة البويضة الناضجة، ونواة الحيوان المنوي إلى وسط البويضة، وتندمج نواة كلٍ منهما لتكوّنا البويضة المخصبة (الزيجوت) ثنائية المجموعة الكروموسومية (2n).

## سؤال ؟

ما الذي يُحفز كلاً ممّا يأتي:

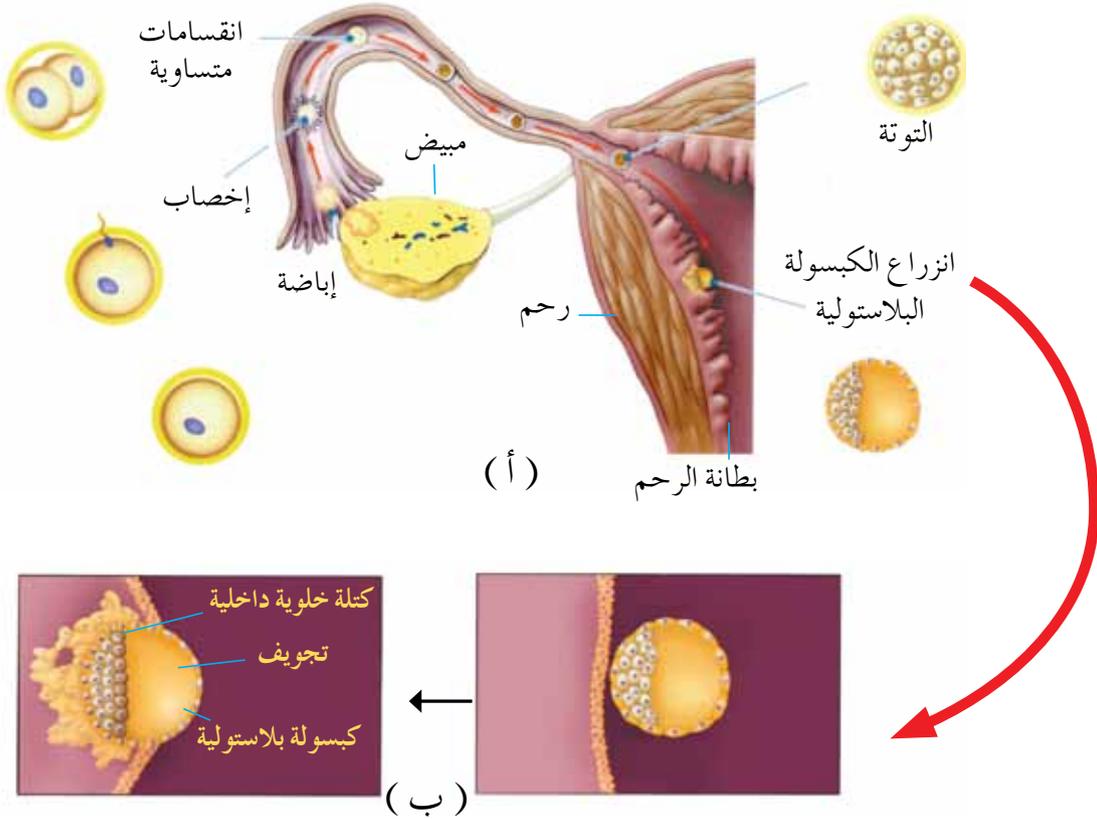
- فتح قنوات أيونات الكالسيوم الموجودة في غشاء الخلية البيضية الثانوية؟
- إكمال الخلية البيضية الثانوية الانقسام المنصف؟

والآن، لتتعرّف ما يحدث للخلية البيضية الثانوية بعد إخصابها.

١ تكوين الجنين

يُقَسَّم الحمل إلى ثلاث مراحل، تُمثِّل كلُّ 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 - المرحلة الأولى من الحمل (ثلاثة الأشهر الأولى): في الأسبوع الأول من الحمل تتعرَّض البويضة المخصبة لسلسلة من الانقسامات المتساوية في قناة البيض، لاحظ الشكل (٢- ٥٢/أ)، ثم تصبح خلال ثلاثة أيام كتلة مُكوَّنة من (١٦) خلية في ما يُسمَّى **مرحلة التوتة**، وتكون محاطة بالمنطقة الشفّافة، ثم تنتقل إلى الرحم في اليوم الخامس، وتحوَّل التوتة إلى كرة مجوّفة مملوءة بسائل تُسمَّى **الكبسولة البلاستولية**، التي يتجمع في أحد قطبيها مجموعة من الخلايا تُسمَّى الكتلة الخلوية الداخلية؛ وهي خلايا جذعية أولية يتشكّل منها أعضاء الجنين المختلفة.



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

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

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

ب- المرحلة الثانية من الحمل (الأشهر: الرابع، والخامس، والسادس): يستمر الجنين في النمو، ويصبح قادرًا على تحريك أطرافه عشوائيًا، وتستطيع الأم الإحساس بحركته في الرحم.

ج- المرحلة الثالثة من الحمل (ثلاثة الأشهر الأخيرة): في هذه المرحلة يزداد حجم الجنين، ولكن الأجنة الذين يولدون في بداية هذه المرحلة يواجهون مشكلات في النجاة؛ لأن أعضائهم، ولا سيما الرئتين، تكون غير مكتملة النمو للعمل جيدًا. وفي نهاية المرحلة ينقلب الجنين بحيث تصبح وضعية الرأس إلى أسفل.

ولكن، كيف يتم تبادل المواد بين الجنين والأم؟

## تغذية الجنين

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

◀ فسّر كلاً ممّا يأتي:

- يواجه الأجنّة الذين يولدون في بداية المرحلة الثالثة من الحمل مشكلات قد تُؤثر في بقائهم أحياناً.
- للمشيمة دور في تثبيت الحمل.
- تتكوّن أعضاء الجنين المختلفة من الكتلة الخلوية الداخلية.

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

### تنظيم النسل

### خامساً

يُنصح بتباعد الأحمال وتنظيمها؛ تخفيفاً لأعباء الحمل على الأمّ، وحفاظاً 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 تُؤثر هذه الوسائل في صحة الأمّ، ولا تُسبّب لها أيّ مضاعفات جانبية، ومن الأمثلة عليها **الرضاعة الطبيعية**؛ إذ تمنع مرحلة الرضاعة الأمّ من الحمل غالباً.

#### ٢ الوسائل الميكانيكية

تتعدد هذه الوسائل وتنوع ومن أمثلتها: **العازل الذكري**، و**الواقى الأنثوي**، اللذان يعملان على منع وصول الحيوانات المنوية إلى الخلية البيضية الثانوية. ومن أمثلتها أيضاً **اللولب** الذي يتكوّن من مواد خاملة غير قابلة للتفاعل، والذي يُزرع داخل الرحم؛ ليحول دون انزراع الكبسولة البلاستولية.

#### ٣ الوسائل الهرمونية

تمتاز هذه الوسائل بأشكال وتراكيب عدّة، وهي تعمل على منع الحمل عن طريق منع حدوث الإباضة، وذلك بتثبيط إفراز الهرمونات المُنشّطة لحوصلات المبيض، فيتعدّر نضج الخلايا البيضية الثانوية. تعمل هذه الوسائل أيضاً على زيادة لزوجة المادة المخاطية في عنق الرحم؛ ما يُعوّق دخول الحيوانات المنوية. ومن الأمثلة على هذا النوع من الوسائل:

- أ - **حبوب منع الحمل**: وهي نوعان؛ **حبوب منع الحمل المركبة** التي تحوي هرموني إستروجين وبروجسترون، و**حبوب منع الحمل المصغرة** التي تحوي هرمون بروجسترون فقط. تمتاز هذه الحبوب بفعاليتها الفائقة في منع الحمل في حال استُخدمت بانتظام.
- ب - **حُقن منع الحمل**: تحتوي هذه الحُقن على هرمون 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، وتُفَرِّز كل يوم جرعة محددة من الهرمونين، وتدوم كل لصقة مدة (٧) أيام تقريبًا.

## سؤال ؟

- ◀ صنّف وسائل منع الحمل الآتية إلى وسائل هرمونية، وطبيعية، وميكانيكية:
- إرضاع الطفل طبيعيًا.
  - تناول حبوب منع الحمل.
  - وضع لصقات منع الحمل.
  - استخدام اللولب.

## سادسًا تقنيات في عمليتي الإخصاب والحمل

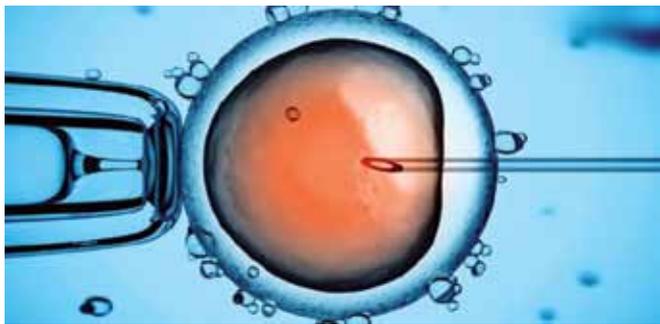
أصبح علاج حالات العقم بالتقنية وسيلة ذائعة الصيت عالميًا، ويوجد في الأردن الكثير من المراكز ووحيدات الإخصاب التي تُستخدم أحدث التقنيات في مجال علاج العقم ومشكلات حدوث الحمل واستمراره، وهذه أبرزها:

### ١ التقنية التقليدية للإخصاب الخارجي

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

أطباق خاصة داخل حاضنة مدةً تتراوح بين (٢٤-٧٢) ساعةً، وهي المدة اللازمة لحصول الإخصاب وتكوّن الأجنّة، ثم تُعاد الأجنّة إلى رحم الأمّ في اليوم الثاني أو اليوم الثالث من سحب الخلايا البيضية الثانوية. ومن أسباب اللجوء إلى هذه التقنية التقليدية: انسداد قناتي البيض أو تلفهما، والضعف المتوسط للحيوانات المنوية، وعدم الحمل غير معروف السبب.

## ٢ الحقن المجهري للبويضات



الشكل (٢-٥٣): الحقن المجهري للبويضات.

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

الشكل (٢-٥٣)، ثم تُعاد الأجنّة الناتجة من عملية الحقن إلى رحم الأمّ. ومن أسباب إجراء الحقن المجهري للبويضات: ضعف الحيوانات المنوية الشديد.

## 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 للأجنّة

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

١ - ما أهمية فحص كلٍّ من الخلايا البيضية الثانوية والحيوانات المنوية المستخدمة في تقنية الإخصاب الخارجي؟

٢ - في ما يتعلق بالتقنية التقليدية للإخصاب الخارجي والحقن المجهرى للبيوضات، أجب عن السؤالين الآتيين:

- قارن بين هاتين التقنيتين من حيث إجراءات تنفيذ كلٍّ منهما.
- أيُّ تقنيتي الإخصاب السابقتين يُفضَّل استخدامها بعد استخلاص الحيوانات المنوية من الخصية؟ فسّر إجابتك.

### مؤسساتنا فخرنا

للاستزادة عن موضوع تقنيات عمليتي الإخصاب والحمل، زُر الموقع الإلكتروني لمستشفى الملك المؤسس عبد الله الجامعي: [www.kauh.jo](http://www.kauh.jo).

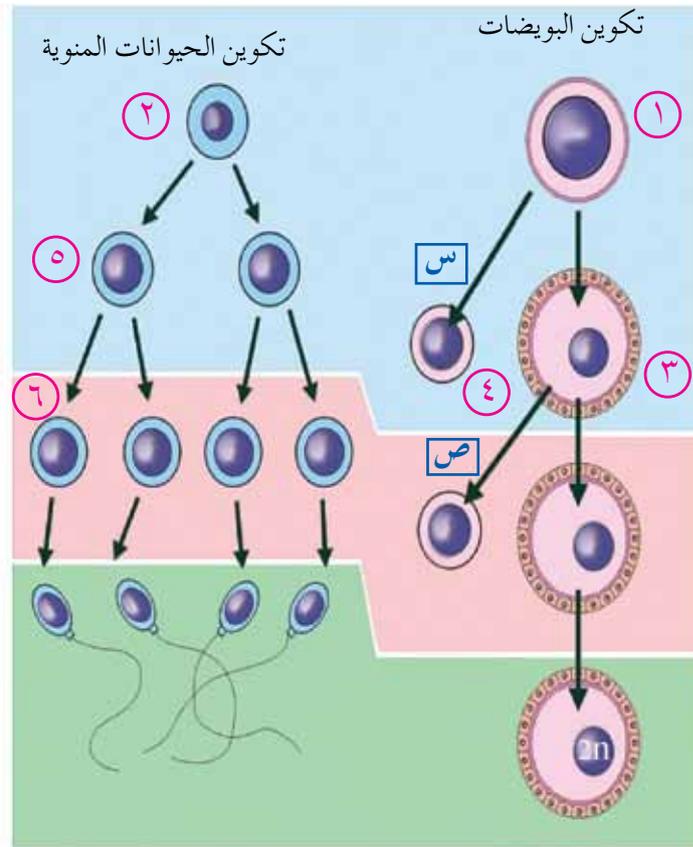
١- اذكر ثلاثة فروق بين تكوين الحيوانات المنوية وتكوين البويضات.

٢- حدّد وظيفة كلٍّ ممّا يأتي:

أ - خلايا سيرتولي الموجودة في الخصية.

ب - الحبيبات القشرية الموجودة تحت الغشاء البلازمي للخلية البيضة الثانوية.

٣- يُمثّل الشكل (٢-٥٤) بعض خطوات عمليتي تكوين الحيوانات المنوية، وتكوين البويضات، ادرسه ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



الشكل (٢-٥٤): بعض خطوات عمليتي تكوين الحيوانات المنوية، وتكوين البويضات.

أ - ما أسماء العمليات المشار إليها بالرموز: (س، ص)؟

ب - ما أسماء الخلايا المشار إليها بالأرقام: (٢، ٣، ٤، ٦)؟

ج - ما عدد الكروموسومات في الخلايا المشار إليها بالرقمين: (١، ٥)؟

د - ما المُحفّز إلى انقسام الخلية المشار إليها بالرقم (٣)؟

- ٤- وضح دور الهرمونات في كلٍّ 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 الثانوية.
  - ب - التصاق الكبسولة البلاستولية ببطانة الرحم.
- ٦- وضح مبدأ عمل لصقات منع الحمل في تنظيم النسل.

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

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

أ - الصوديوم. ب - الكلور.

ج - البوتاسيوم. د - الفوسفات.

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

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

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

(٣) يصل مقدار فرق جهد الغشاء البلازمي للعصبون خلال فترة الجموح إلى:

أ - (٣٥) ملي فولت. ب - (صفر) ملي فولت.

ج - (-٤٥) ملي فولت. د - (-٩٠) ملي فولت.

(٤) في أيِّ العصبونات الآتية يكون انتقال جهد الفعل أسرع:

أ - عصبون غير محاط بغمد مليني، قطر محوره صغير.

ب - عصبون محاط بغمد مليني، قطر محوره صغير.

ج - عصبون غير محاط بغمد مليني، قطر محوره كبير.

د - عصبون محاط بغمد مليني، قطر محوره كبير.

(٥) تنتظم الخيوط البروتينية الرفيعة والسميكة في وحدة تركيب وظيفية تُسمَّى:

أ - ليفاتٍ عضليةً. ب - خيوطاً عضليةً.

ج - قطعةً عضليةً. د - خليةً عضليةً.

(٦) في أيِّ المراحل يكون الجنين أكثر عرضة للإجهاض:

أ - الأولى. ب - الثانية والثالثة.

ج - الثانية. د - الثالثة.

(٧) بناءً على نظرية الخيوط المنزلفة، تتكشف مواقع 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 للبيوضات.

ج - الزراعة المتقدمة للجنين.

د - تجميد الأجنة.

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

أ - إزالة استقطاب غشائها البلازمي. ب - دخول نواة الحيوان المنوي.

ج - الهرمونات الجنسية. د - الهرمونات الجسمية.

٢ - فسّر كلاً ممّا يأتي:

أ - إمكانية رؤية الألوان جميعها، بالرغم من اقتصار حساسية المخاريط على ثلاثة ألوان

منها.

ب - منع شخص فصيلة دمه (A<sup>+</sup>) التبرُّع بالدم لشخص فصيلة دمه (B<sup>-</sup>).

ج - تحلُّل الجسم القطبي.

د - من وسائل تنظيم النسل، زراعة اللولب داخل الرحم.

هـ - زيادة سُمك 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 السيال العصبي في العصبونات الحسية؟ فسّر إجابتك.

٤ - أعط سبباً لكل مما يأتي:

أ - تغيّر العصبون من مرحلة الراحة إلى مرحلة نشوء جهد الفعل.

ب - عودة العصبون إلى مرحلة الراحة.

٥ - وضح وظيفة كل مما يأتي:

أ - العصي في عملية الإبصار.

ب - تحت المهاد في التنظيم الهرموني.

ج - الغدد المخاطية في عملية الشم.

٦ - ادرس الشكل (٢-٥٥) الذي يُبين

مستوى الكالسيوم وقوة انقباض

العضلة خلال مدة زمنية معينة، ثم أجب

عما يأتي:

(١) في أيّ الأوقات يكون في العضلة

أعلى مستوى لأيونات الكالسيوم

تقريباً:

أ - (١٠) ملي ثانية.

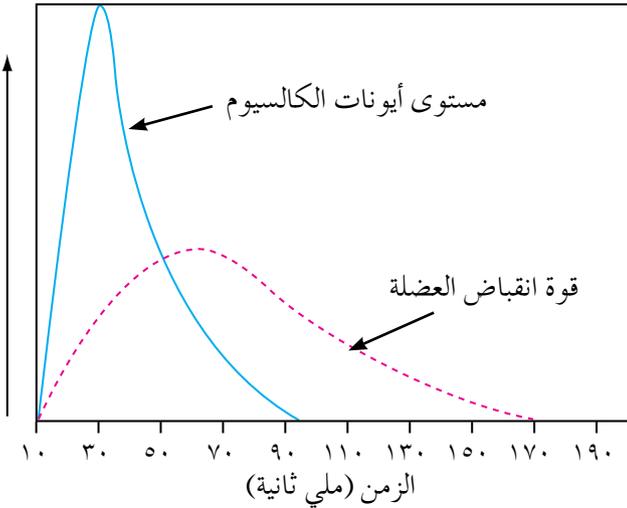
ب - (٥٠) ملي ثانية.

ج - (٣٠) ملي ثانية.

د - (٧٠) ملي ثانية.

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

أ - ليس لأيونات الكالسيوم دور في انقباض العضلة.



الشكل (٢-٥٥): العلاقة بين مستوى أيونات

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 - وضح أثر كل مما يأتي في عمل الجهاز العصبي المركزي:

أ - الماريغوانا. ب - الهيروين. ج - الكوكائين.

٨ - وضح بمخطط سهمي كيف يؤثر هرمون ستيرويدي في الخلية الهدف.

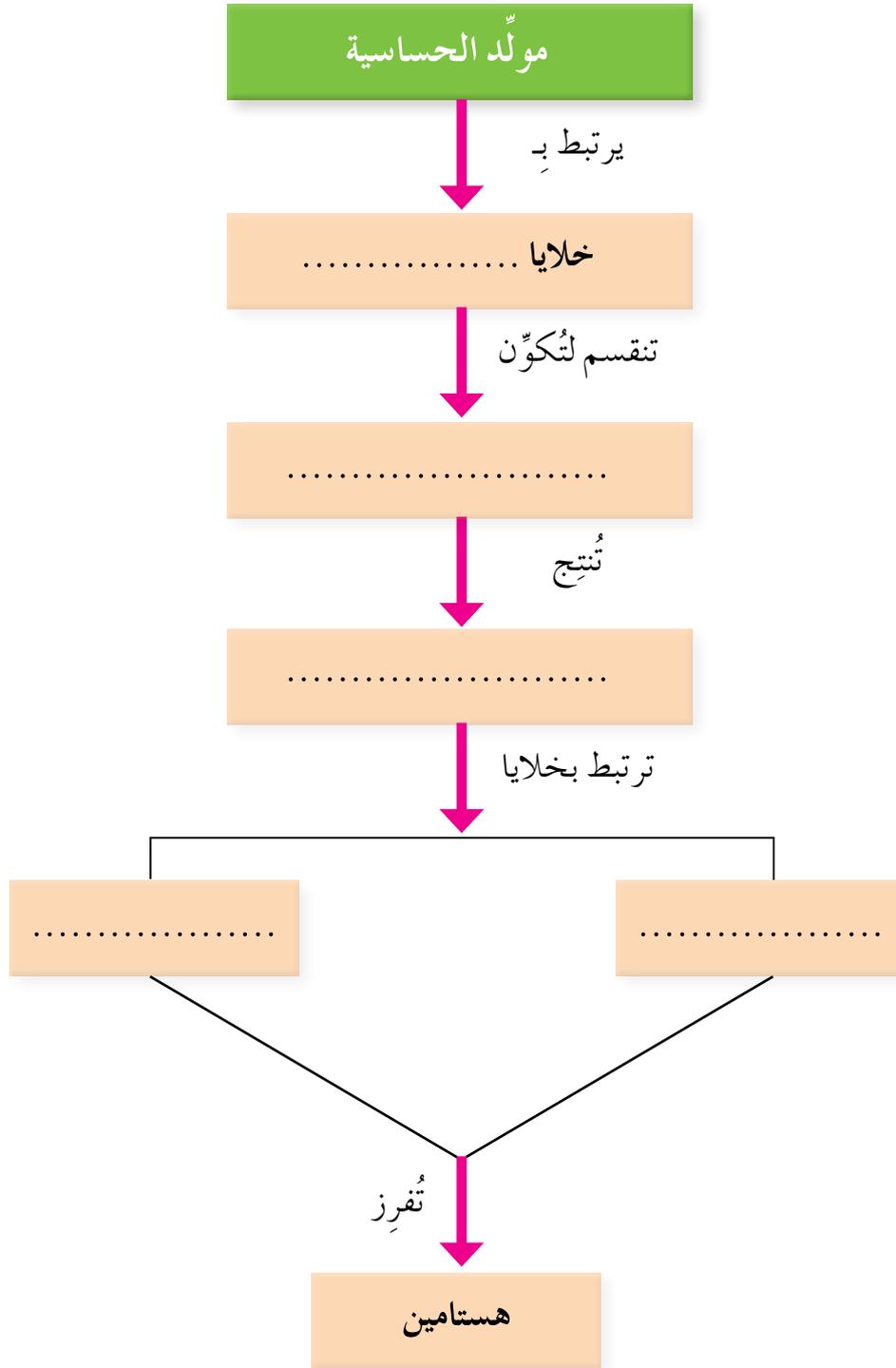
٩ - يُظهر الجدول الآتي خمس مواد موجودة في الدم الذي يصل الكلية في الوحدة الأنبوبية الكلوية، وفي البول (جميع القيم غ/يوم):

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

- أ - أي المواد انتقلت من الدم إلى الوحدة الأنبوبية الكلوية؟  
 ب - أي عمليات تكوين البول تُمثل انتقال هذه المواد إلى الوحدة الأنبوبية الكلوية؟  
 ج - أي المواد المذكورة أعيد امتصاصها؟  
 د - فسّر نتيجة البروتين.

١٠ - نظم مخططاً مفاهيمياً توضح فيه الاستجابة الخلوية.

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

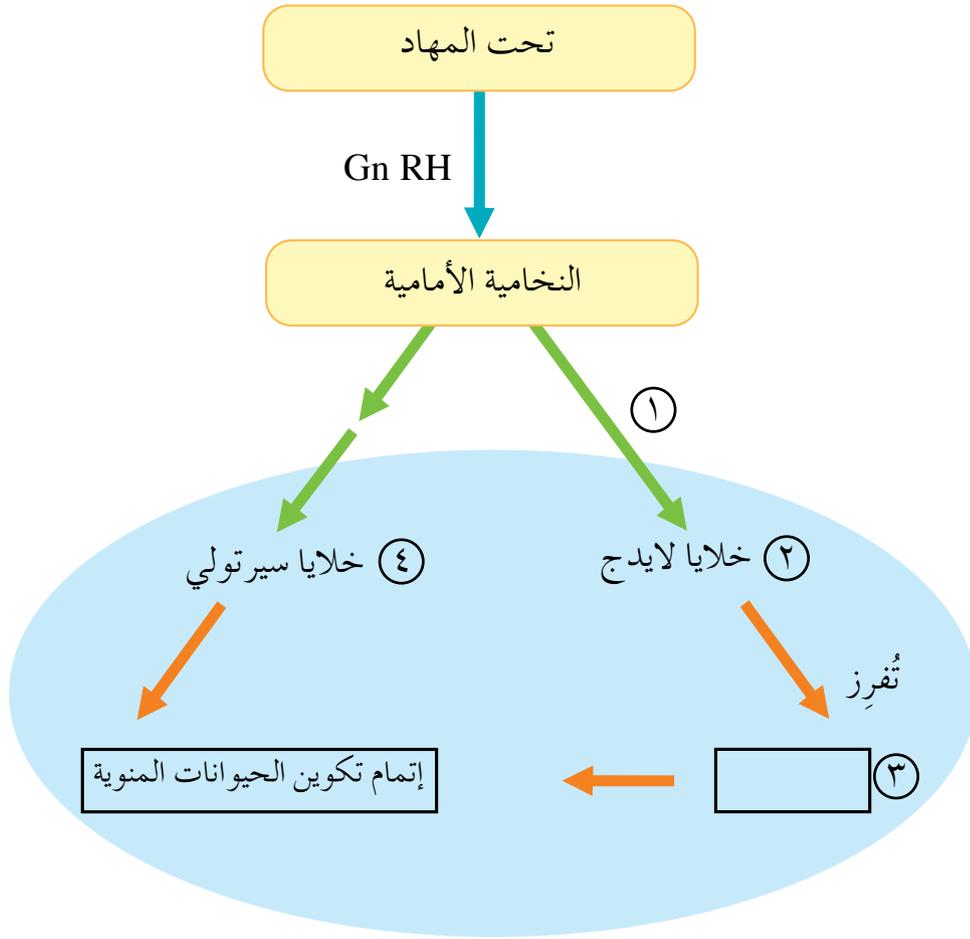


الشكل (٢-٥٦): مخطط يُمثّل تفاعل الحساسية الأنفية.

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

أ - فاعلية كلٍّ منهما. ب - نوع الهرمونات في كلٍّ منهما.

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



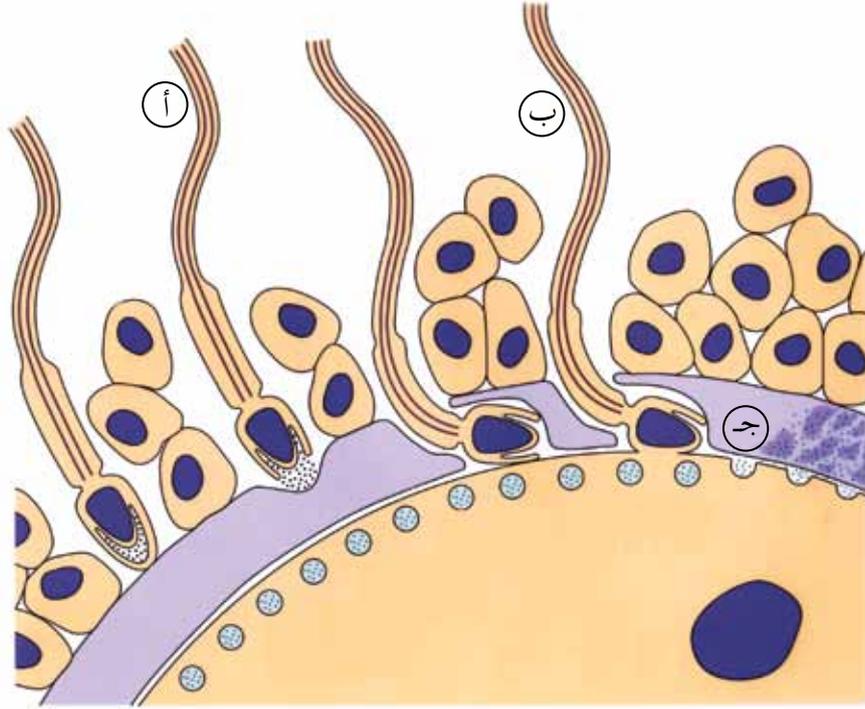
الشكل (٢-٥٧): التنظيم الهرموني لعملية تكوين الحيوانات المنوية.

أ - ما أسماء الهرمونات المشار إليها بالأرقام: (١، ٢)؟

ب - ما وظائف الخلايا المشار إليها بالرقمين: (٢، ٤) في تكوين الحيوانات المنوية؟

١٤- ما الوظائف التي تؤديها المشيمة؟

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



الشكل (٢-٥٨): مراحل عملية الأخصاب.

- أ - ماذا تُمثِّل كلٌّ من: (أ)، (ب)، (ج)؟
- ب - ماذا يُسمَّى الجزء في الحيوان المنوي الذي يُفرز إنزيمات هاضمة خلال اختراق الخلية البيضية الثانوية؟
- ج - ماذا ينتج من إكمال الخلية البيضية الثانوية الانقسام المنصف؟

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 تُثبت صحة التشخيص.

أليل (**Allele**): أحد أشكال جين ما يتحكم في صفة معينة، وقد يكون سائدًا أو متنحيًا.

إنزيم بلمرة (DNA) المتحمل الحرارة (**Taq DNA polymerase**): إنزيم يُستخدم في بناء سلسلة مُكمّلة لسلسلة (DNA) الأصلية في تفاعلات إنزيم البلمرة المتسلسل (PCR).

إنزيمات القَطْع المُحدّد (**Restriction enzymes**): إنزيمات متخصصة في قَطْع (DNA)، تُنتجها أنواع عدّة من البكتيريا، ويُستخدم بعضها في تكنولوجيا الجينات.

بصمة (DNA) (**DNA finger print**): تطبيق يُستخدم في معرفة تسلسل النيوكليوتيدات لدى الشخص في مناطق محددة من (DNA).

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

تنوع وراثي (**Genetic diversity**): تنوع في الخصائص الموروثة للكائنات الحية قد ينتج من حدوث عبور جيني.

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

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

جهد الراحة (**Resting potential**): فرق جهد غشاء العصبون عندما لا يكون مُعرّضًا لمنبّه مناسب، وتبلغ قيمته في كثير من الخلايا الحيوانية (-70) 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 كورتى بالأذن الداخلية، والتي تتميز بوجود أهداب على أطرافها الحرّة.

**خلايا قاتلة طبيعية (Natural killer cells):** خلايا ليفية، 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 يُفرزهما المبيض.

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

**صفة متعددة الجينات (Polygenic trait):** صفة تنتج من جينات عدّة؛ إذ ينجم عن كل جين أثر في الطراز الشكلي للكائن 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.

**طفرة جينية (Gene mutations):** طفرات تنتج من التغيّر في تسلسل القواعد النيتروجينية على مستوى الجين، وهي نوعان: الطفرة الموضوعية، وطفرة الإزاحة.

**طفرات كروموسومية (Chromosomal mutations):** طفرات تنتج من التغير 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. ويكمن تأثير هذا النوع من الطفرات في أنها تُحدث إزاحة للكودونات في جزيء (m-RNA) المنسوخ.

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

**طفرة الحذف (Deletion):** طفرة تحدث عند إزالة جزء من الكروموسوم، والتحام القطع المتبقية من الكروموسوم معًا؛ ما يُسبِّب 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 انفصالها؛ ما يؤدي إلى عكس ترتيب الجينات في هذا الجزء من الكروموسوم.

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

**طفرة غير مُعبِّرة (Nonsense mutation):** تعيِّر كودون إلى كودون وقف الترجمة، فُتنتج الخلية بروتينًا غير مكتمل (ناقصًا) لفقده مجموعة من الحموض الأمينية الداخلة في تركيبه.

**طفرة مخطئة التعبير (Missense mutation):** تعيِّر كودون إلى كودون يُترجم إلى حمض أميني آخر يختلف عن الحمض الأميني للكودون الأصلي، مُحدثًا 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 بضعة أزواج من القواعد النيتروجينية في جزيء (DNA)، وهو ما يؤدي إلى تعيِّر كودون أو بضعة كودونات في جزيء (m-RNA) المنسوخ.

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

طفرة صامتة (**Silent mutation**): تغيير كودون إلى كودون يُترجم 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 البويضة الناضجة مع نواة الحيوان المنوي بغرض تكوين البويضة 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 الجاميتات في أثناء عملية الانقسام المنصف.

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

كودون (**Codon**): وحدة مكوّنة من ثلاثة نيوكليوتيدات في حمض (m-RNA)، وهي تُحدّد حمضًا أمينيًا مُعيّنًا.

لييف عضلي (**Myofibril**): وحدة مؤلفة للييف عضلي، يتكوّن من نوعين من الخيوط البروتينية: خيوط سميكة تحتوي بروتين ميوسين، وأخرى رقيقة تحتوي بروتين أكتين.

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

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

مستوى العتبة (**Threshold**): مقدار فرق جهد الغشاء البلازمي للعصبون الذي ينشأ نتيجة وصول مُنبّهٍ مناسب إليه ليتكوّن بعده جهد الفعل. ويبلغ مقدار مستوى العتبة في بعض العصبونات (٥٥-) ملي فولت.

مشيمة (**Placenta**): تركيب يتكوّن في الجزء العلوي من الرحم في أثناء عملية الحمل، ويصل الأمّ بجنينها، ويوفّر للجنين التغذية، والتنفس، والمناعة، والتخلص من الفضلات، فضلاً عن حمايته، وتثبيت الحمل؛ وذلك بإفرازه هرموني الإستروجين والبروجسترون.

ناقل عصبي (**Neurotransmitters**): مادة كيميائية تعمل على نقل السيال العصبي من عصبون إلى آخر يليه، وتُفرّز من الأزرار التشابكية الموجودة في النهايات العصبية للعصبون قبل التشابكي، لترتبط بقنوات أيونات خاصة بها، مُسبّبة دخول أيونات موجبة إلى الغشاء بعد التشابكي؛ ما يتسبّب في إزالة الاستقطاب، وانتقال جهد الفعل في الغشاء بعد التشابكي.

نقل وثبي (**Saltatory conduction**): طريقة انتقال السيال العصبي في العصبون المحاط بغمد مليني من عقدة رانفيير إلى أخرى مجاورة على طول العصبون.

هرمونات (**Hormones**): مواد كيميائية تُفرّزها غدد أو خلايا متخصصة، تعمل على تنظيم أنشطة خلايا أخرى في الجسم.

هرمون مانع لإدرار البول (**ADH**): هرمون تُفرّزه النخامية الخلفية عند ارتفاع الضغط الأسموزي للدم، ويعمل على زيادة نفاذية القناة الجامعة والجزء الأخير من الأنبوبة الملتوية البعيدة للماء، مُعيداً تركيز المواد الذائبة في الدم إلى الوضع الطبيعي.

هندسة الجينات (**Genetic engineering**): أحد مجالات تكنولوجيا الجينات تتضمّن تعديل تركيب (DNA)، فينتج (DNA) معدّل جينيّاً يمكن استخدامه في إكساب كائنات حية صفات مرغوبة.

### أولاً: المراجع العربية

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

### 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, 3<sup>rd</sup> edition, 2008.
- 3 - Campbell, Neil A. and others, **Biology a global approach**, Pearson education L<sup>td</sup>., 10<sup>th</sup> 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, 12<sup>th</sup> edition, 2011.
- 9 - Goodenough, Judith and McGuire, Betty, A., **Biology of Humans**, Pearson Education, 4<sup>th</sup> edition, 2012.
- 10- Hall, E., John, Guyton and Hall, **Textbook of Medical Physiology**, Saunders, 12<sup>th</sup> edition, 2010.
- 11- Jones, Mary, Jones Geoff, **IGSE Biology**, Course book, Cambridge University press, 7<sup>th</sup> printing, 2012.
- 12- Klug, William S., and others, **Concepts of Genetics**, Pearson, 9<sup>th</sup> edition.
- 13- Levine Miller, **Biology**, Pearson Prentice Hall, 2008.
- 14- Mackean, D. G., Hayward, Dave, **Cambridge IGCSE Biology**, Hodder education, 3<sup>rd</sup> edition, 2014.
- 15- Mader, Sylvia, S. and Windelspecht, Michael, **Human Biology**, McGraw-Hill, 12<sup>th</sup> 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** 6<sup>th</sup> 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, 3<sup>rd</sup> printing, 2013.



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
تَعَالَى