سلطنة عُمان
وزارة التربية والتعليم

رؤية عُمان 2040
بثقة Moving Forward with Confidence

الأحياء

الصف الحادي عشر

كتاب الطالب

الفصل الدراسي الثاني

CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

الطبعة التجريبية
1445 هـ - 2023 م

سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم

الأحياء

الصف الحادي عشر

كتاب الطالب

الفصل الدراسي الثاني

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

الطبعة التجريبية 1445 هـ - 2023 م

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

مطبعة جامعة كامبريدج، الرمز البريدي CB2 8BS، المملكة المتحدة.

تشكل مطبعة جامعة كامبريدج جزءًا من الجامعة.
وللمطبعة دور في تعزيز رسالة الجامعة من خلال نشر المعرفة، سعيًا وراء
تحقيق التعليم والتعلم وتوفير أدوات البحث على أعلى مستويات التميز العالمية.

© مطبعة جامعة كامبريدج ووزارة التربية والتعليم في سلطنة عُمان.

يخضع هذا الكتاب لقانون حقوق الطباعة والنشر، ويخضع للاستثناء التشريعي
المسموح به قانونًا ولأحكام التراخيص ذات الصلة.
لا يجوز نسخ أي جزء من هذا الكتاب من دون الحصول على الإذن المكتوب من
مطبعة جامعة كامبريدج ومن وزارة التربية والتعليم في سلطنة عُمان.

الطبعة التجريبية ٢٠٢٣ م، طُبعت في سلطنة عُمان

هذه نسخة تمَّت مواءمتها من كتاب الطالب – الأحياء للصف الحادي عشر – من سلسلة كامبريدج للأحياء
لمستوى الدبلوم العام والمستوى المتقدم AS & A Level للمؤلفين ماري جونز، ريتشارد فوسبيري، دينيس تايلور،
جنيفر غريغوري.

تمت مواءمة هذا الكتاب بناءً على العقد الموقع بين وزارة التربية والتعليم ومطبعة
جامعة كامبريدج.
لا تتحمل مطبعة جامعة كامبريدج المسؤولية تجاه المواقع الإلكترونية
المستخدمة في هذا الكتاب أو دقّتها، ولا تؤكد أن المحتوى الوارد على تلك المواقع دقيق
وملائم، أو أنه سيبقى كذلك.

تمت مواءمة الكتاب

بموجب القرار الوزاري رقم ٢٠٢٢/١٢١ واللجان المنبثقة عنه

محفوظة جميع الحقوق

جميع حقوق الطبع والتأليف والنشر محفوظة لوزارة التربية والتعليم

**ولا يجوز طبع الكتاب أو تصويره أو إعادة نسخه كاملًا أو مجزّأ أو ترجمته
أو تخزينه في نطاق استعادة المعلومات بهدف تجاري بأي شكل من الأشكال
إلّا بإذن كتابي مسبق من الوزارة، وفي حال الاقتباس القصير يجب ذكر المصدر.**

المغفور لـه

السلطان قابوس بن سعيد

-طيّب اللّه ثراه-

حضرة صاحب الجلالة

السلطان هيثم بن طارق المعظم

-حفظه اللّه ورعاه-

سلطنـــــة عُمـــــان

(المحافظات والولايات)

¥ÁªÀ¸ÁÜ¥ÀÆgÀ ¸ÀA¸ÉÜAiÀÄ

جَـــلالَـــةَ الـسُّـــلْـطـان É¯ÉÆÃd ¸ÀªÀðzÀÄ É¯ÉÆÃPÀgÀ É¯Éj

¿É¯ÉÆÃPÀëuÉ ¸ÀÆPÀëuÉ ¿É¯ÉÆÃQëöäÃmï »ÃUÉ ¸ÀÄvÀÛªÀÅ

وَلْـيَـــــــدُمْ مـُؤَيَّـــدًا عـــاهِـــلاً مُـــمَـــجَّـــدًا

¸ÀÄvÀÛªÀÅ ¸ÀÆPÀëuÉ ¸ÀÄvÀÛªÀÅ

يا عُمانُ نَحْنُ مِنْ عَهْدِ النَّبي أَوْفِـيـاءُ مِـنْ كِـرامِ الْعَرَبِ

فـارْتَقـــي هـــامَ السَّمـاء وَامْلَئي الْكَـــوْنَ ضيـــاء

¸ÀA¸ÉÜ ¸ÀÄvÀÛªÀÅ ¸ÀÄvÀÛªÀÅ

تقديم

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على خير المرسلين، سيّدنا مُحمَّد، وعلى آله وصحبه أجمعين.
وبعد:

لقد حرصت وزارة التربية والتعليم على تطوير المنظومة التعليمية في جوانبها ومجالاتها المختلفة كافة؛ لتُلبّي مُتطلّبات المجتمع الحالية، وتطلُّعاته المستقبلية، ولتتواكب مع المُستجدّات العالمية في اقتصاد المعرفة، والعلوم الحياتية المختلفة؛ بما يؤدّي إلى تمكين المخرجات التعليمية من المشاركة في مجالات التنمية الشاملة للسلطنة.

وقد حظيت المناهج الدراسية، باعتبارها مكوِّنًا أساسيًا من مكوِّنات المنظومة التعليمية، بمراجعة مستمرة وتطوير شامل في نواحيها المختلفة؛ بدءًا من المقرّرات الدراسية، وطرائق التدريس، وأساليب التقويم وغيرها؛ وذلك لتتناسب مع الرؤية المستقبلية للتعليم في السلطنة، ولتتوافق مع فلسفته وأهدافه.

وقد أولت الوزارة مجال تدريس العلوم والرياضيات اهتمامًا كبيرًا يتلاءم مع مستجدات التطور العلمي والتكنولوجي والمعرفي. ومن هذا المنطلق اتَّجهت إلى الاستفادة من الخبرات الدولية؛ اتساقًا مع التطوُّر المتسارع في هذا المجال، من خلال تبنّي مشروع السلاسل العالمية في تدريس هاتَين المادّتَين وفق المعايير الدولية؛ من أجل تنمية مهارات البحث والتقصّي والاستنتاج لدى الطلبة، وتعميق فهمهم للظواهر العلمية المختلفة، وتطوير قدراتهم التنافُسية في المسابقات العلمية والمعرفية، وتحقيق نتائج أفضل في الدراسات الدولية.

إن هذا الكتاب، بما يحويه من معارف ومهارات وقيَم واتجاهات، جاء مُحقِّقًا لأهداف التعليم في السلطنة، وموائمًا للبيئة العمانية، والخصوصية الثقافية للبلد، بما يتضمَّنه من أنشطة وصور ورسوم. وهو أحد مصادر المعرفة الداعمة لتعلُّم الطالب، بالإضافة إلى غيره من المصادر المختلفة.

نتمنّى لأبنائنا الطلبة النجاح، ولزملائنا المعلّمين التوفيق فيما يبذلونه من جهود مُخلِصة، لتحقيق أهداف الرسالة التربوية السامية؛ خدمة لهذا الوطن العزيز، تحت ظل القيادة الحكيمة لمولانا حضرة صاحب الجلالة السلطان هيثم بن طارق المعظّم، حفظه الله ورعاه.

والله ولي التوفيق

د. مديحة بنت أحمد الشيبانية

وزيرة التربية والتعليم

المحتويات

المقدمة xi

كيف تستخدم هذه السلسلة xiii

كيف تستخدم هذا الكتاب xv

الوحدة الخامسة: أغشية الخلية والنقل

٥-١ وظائف الأغشية وتركيبها ٢٠

٥-٢ وظائف الجزيئات الموجودة في الأغشية ٢٣

٥-٣ التأشير الخلوي ٢٦

٥-٤ حركة المواد عبر الأغشية ٢٧

الوحدة السادسة: النقل في النباتات

٦-١ تركيب السيقان والجذور والأوراق وتوزيع نسيجَي الخشب واللحاء ٥٢

٦-٢ نقل الماء ٥٩

٦-٣ نقل نواتج التمثيل الغذائي ٧١

الوحدة السابعة: النقل في الثدييات

٧-١ الأوعية الدمويّة ٨٨

٧-٢ السائل النسيجي ٩٤

٧-٣ الدم ٩٦

٧-٤ القلب ١٠٥

الوحدة الثامنة: تبادل الغازات

٨-١ الرئتان ١٢٤

٨-٢ تدفئة وتنظيف الهواء ١٢٧

٨-٣ الحويصلات الهوائيّة ١٢٩

قائمة المصطلحات ١٣٨

المقدمة

يستند هذا الكتاب بشكل أساسيّ إلى كتاب علم الأحياء الذي كتب لمنهج كامبريدج (Cambridge AS & A Level Biology 9700). ويغطي الفصل الدراسي الثاني من منهج سلطنة عمان لمادة الأحياء للصف الحادي عشر.

تعتمد دراسة الكتاب على جهودك الخاصة في التعلم، وعلى ما يوجهك المعلم إليه. وترتكز وحداته على المعارف والمهارات التي درستها في سنوات سابقة، كما ترتكز بعض الوحدات المتأخرة على المعرفة المتأتية من الوحدات التي عرضت قبلها.

تؤمّن الكثير من الأسئلة الواردة في المحتوى فهمًا أعمق للحقائق والمفاهيم، وبالتالي لن يكفي حفظ العبارات ومحتوى الرسوم التخطيطيّة، واسترجاعها، بل يفترض بك أن تطوّر فهمًا معمّقًا لكل مفهوم. وسيساعدك في تحقيق ذلك محاولتك الإجابة عن الأسئلة الواردة ضمن الوحدات وفي نهايتها.

من المهم جدًا إدراك أن جميع موضوعات الكتاب ترتبط بعضها ببعض، على الرغم من أنك ستدرسها على شكل سلسلة من الموضوعات المختلفة، وستحتاج إلى تكوين روابط بين المفاهيم المختلفة لتتمكّن من الإجابة عن بعض الأسئلة. على سبيل المثال، قد تتطلب الإجابة عن أحد الأسئلة الجمع بين المعرفة عن بناء البروتين والأمراض المعدية وعمليات النقل في الثدييات. وستلاحظ أن بعض المفاهيم الأساسيّة تتكرر باستمرار، ومنها:

- الخلايا كوحدات للحياة.
- العمليات الكيميائيّة الحيويّة.
- جزيء الوراثة DNA.
- الكائنات الحيّة في بيئاتها.
- الملاحظة والتجربة.

فكّر، أثناء تعلمك، في ما تعلمته سابقًا، ومدى ارتباطه بما تتعلمه الآن. ستجد في بعض أسئلة التفكير الواردة في نهاية الوحدات روابط معيّنة يمكنك التفكير فيها، وهي تحفزك على أن تفكر في طريقة تعلمك، بما يساعدك في تحقيق أقصى استفادة من وقتك وقدراتك أثناء تعلمك. يمكنك الاستفادة أيضًا من قوائم التقويم الذاتي الواردة في نهاية كل وحدة لتستكشف مدى فهمك لكل موضوع، وتعرف ما إذا كنت في حاجة إلى بذل مزيد من الجهد في دراسته.

تمثل المهارات العمليّة جزءًا مهمًا في كتاب الأحياء، وستطوّر مهاراتك مع إجرائك للأنشطة والاستقصاءات العمليّة المرتبطة بالموضوعات التي تدرسها.

يؤمّن كتاب التجارب العملية والأنشطة إرشادات عامة ذات صلة بكثير من المهارات التي تحتاج إلى تطويرها وأنت تجري الأنشطة والاستقصاءات العمليّة – ومن ذلك، رسم التمثيلات البيانيّة وتحليلها والتخطيط للتجارب – وحل المسائل المختلفة. كما يشتمل على الكثير من الشروح، بما فيها الشرح المفصّل عن كيفيّة إجراء جميع الاستقصاءات العمليّة التي يتضمنها المنهج.

ستكون دراستك لكتاب الأحياء هذا مثيرة للاهتمام، بخاصة مع الاكتشافات المتلاحقة والتقنيات الجديدة التي تعرضها وسائل الإعلام. لذا، نأمل أن تجد في ما ستدرسه الفائدة والمتعة اللتَين نتوخّاهما، وأن تطوّر مزيدًا من الاهتمام بعلم الأحياء باستمرار.

كيف تستخدم هذه السلسلة

تقدّم هذه المكوّنات (أو المصادر) الدعم للطلبة في الصف الحادي عشر في سلطنة عمان لتعلم مادة الأحياء واستيعابها، حيث تعمل كتب هذه السلسلة جميعها معًا لمساعدة الطلبة على تطوير المعرفة والمهارات العلمية اللازمة لهذه المادة. كما تقدّم الدعم للمعلمين لإيصال هذه المعارف للطلبة وتمكينهم من مهارات الاستقصاء العلمي.

يقدّم «كتاب الطالب» دعمًا شاملًا لمنهج الأحياء للصف الحادي عشر في سلطنة عمان، ويقدّم شرحًا للحقائق والمفاهيم والتقنيات العلمية بوضوح، كما يستخدم أمثلة من العالم الواقعي للمبادئ العلمية. والأسئلة التي تتضمنها كل وحدة تساعد على تطوير فهم الطلبة للمحتوى، في حين أن الأسئلة الموجودة في نهاية كل وحدة تحقق لهم مزيدًا من التطبيقات العلمية الأساسية.

يحتوي «كتاب التجارب العملية والأنشطة» على أنشطة وأسئلة نهاية الوحدة، والتي تمّ اختيارها بعناية، بهدف مساعدة الطلبة على تطوير المهارات المختلفة التي يحتاجون إليها أثناء تقدمهم في دراسة كتاب الأحياء. كما تساعد هذه الأسئلة الطلبة على تطوير فهمهم لمعنى الأفعال الإجرائية المستخدمة في الأسئلة، إضافة إلى دعمهم في الإجابة عن الأسئلة بشكل مناسب.

كما يحقّق هذا الكتاب للطلبة الدعم الكامل الذي سوف يساعدهم على تطوير مهارات الاستقصاء العملية الأساسية جميعها. وتشمل هذا المهارات تخطيط الاستقصاءات، واختيار الجهاز وكيفية التعامل معه، وطرح الفرضيات، وتدوين النتائج وعرضها، وتحليل البيانات وتقييمها.

يدعم دليل المعلم «كتاب الطالب» و «كتاب التجارب العملية والأنشطة»، ويعزز الأسئلة والمهارات العملية الموجودة فيهما. ويتضمّن هذا الدليل أفكارًا تفصيلية للتدريس وإجابات عن كل سؤال ونشاط وارد في «كتاب الطالب» وفي «كتاب التجارب العملية والأنشطة»، فضلًا عن الإرشادات التعليمية لكل موضوع، بما في ذلك خطة التدريس المقترحة، وأفكار للتعلم النشط والتقويم التكويني، والمصادر المرتبطة بالموضوع، والأنشطة التمهيدية، والتعليم المتمايز (تفريد التعليم) والمفاهيم الخاطئة وسوء الفهم. كما يتضمن أيضًا دعمًا مفصلًا لإجراء الاستقصاءات العملية وتنفيذها في «كتاب التجارب العملية والأنشطة»، بما في ذلك فقرات «مهم» لجعل الأمور تسير بشكل جيد، إضافة إلى مجموعة من عينات النتائج التي يمكن استخدامها إذا لم يتمكن الطلبة من إجراء التجربة، أو أخفقوا في جمع النتائج النموذجية.

كيف تستخدم هذا الكتاب

خلال دراستك هذا الكتاب، ستلاحظ الكثير من الميزات المختلفة التي ستساعدك في التعلم. هذه الميزات موضحة على النحو الآتي:

أهداف التعلّم

تُمثّل هذه الأهداف مضمون كل وحدة دراسية، وتساعد على إرشاد الطلبة خلال دراسة «كتاب الطالب»، كما تشير إلى المفاهيم المهمة المطروحة في كل موضوع، ويتم التركيز عليها عند تقويم الطالب.

قبل أن تبدأ بدراسة الوَحدة

تحتوي هذه الميزة على أسئلة وأنشطة تتمحور حول المعرفة القبلية للموضوعات التي ستحتاج إليها قبل البدء بدراسة الوحدة.

العلوم ضمن سياقها

تُقدّم هذه الميزة أمثلة وتطبيقات واقعية للمحتوى الموجود في كل وحدة دراسية، ما يعني أنها تشجع الطلبة على إجراء المزيد من البحث في الموضوعات المختلفة.

مهارة عملية

لا يحتوي هذا الجزء من الكتاب على تعليمات مفصلة لإجراء تجارب معيّنة، لكنك ستجد، في مربّعات النص هذه، توجيهات أساسية حول النشاط العملي الذي تحتاج إلى تطبيقه.

أسئلة

يتخلّل النص أسئلة تمنحك فرصة للتحقق من أنك قد فهمت الموضوع الذي قرأت عنه.

أمثلة

تحتوي على أمثلة محلولة توضّح كيفية استخدام صيغة رياضية معيّنة لإجراء عملية حسابية.

مصطلحات علمية

يتم تمييز المصطلحات الأساسية في النص عند تقديمها لأول مرة. ثم يتم تقديم تعريفات لها في الهامش تشرح معاني هذه المصطلحات.

سوف تجد أيضًا تعريفات لهذه المصطلحات في قائمة المصطلحات الواردة في نهاية هذا الكتاب.

أفعال إجرائية

لقد تمّ إبراز الأفعال الإجرائية الواردة في المنهج الدراسي بلون غامق في أسئلة نهاية الوحدة، ويمكن استخدامها في الاختبارات، خصوصًا عندما يتم تقديمها للمرة الأولى. وستجد في الهامش تعريفًا لها.

سوف تجد أيضًا التعريفات نفسها في قائمة المصطلحات الواردة في نهاية هذا الكتاب.

مهمّ

يتم في مربّعات النص هذه إدراج حقائق وإرشادات مهمّة للطلبة.

ملخّص

تحتوي مربّعات النص هذه على ملخّص للنقاط الرئيسية في نهاية كل وحدة.

أسئلة نهاية الوحدة

تقيس هذه الأسئلة مدى تحقّق الأهداف التعليمية في الوحدة، وقد يتطلب بعضها استخدام معارف علمية من وحدات سابقة. تتوافر إجابات هذه الأسئلة في دليل المعلم.

قائمة تقييم ذاتي

تلي الملخّص عبارات تتضمّن عناوين منها: «أستطيع أن» التي تتطابق مع أهداف التعلم الموجودة في بداية الوحدة؛ و «أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد»، أو «متمكّن إلى حدٍّ ما» اللتَين تشيران إلى وجوب مراجعة ما تراه ضروريًا في هذا المجال. وقد تجد أنه من المفيد تقييم مدى ثقتك بكل من هذه العبارات أثناء عملية المراجعة.

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدٍّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا

الوحدة الخامسة

أغشية الخليّة والنقل

Cell membranes and transport

أهداف التعلّم

٥-١ يصف النموذج الفسيفسائي السائل لتركيب الغشاء مع الإشارة إلى التفاعلات الكارهة للماء والمحبة للماء التي تفسر تكوين الطبقة الثنائية للدهون المفسفرة وترتيب البروتينات فيها.

٥-٢ يصف ترتيب الكوليسترول والدهون السكريّة والبروتينات السكريّة في غشاء سطح الخلية.

٥-٣ يصف أدوار الدهون المفسفرة والكوليسترول والدهون السكريّة والبروتينات والبروتينات السكريّة في غشاء سطح الخلية، مع الإشارة إلى الاستقرار والسيولة والنفاذيّة والنقل (البروتينات الحاملة والبروتينات القنوية) والتأشير الخلوي (مستقبلات سطح الخليّة) وتمييز الخلايا (أنتيجينات سطح الخلية).

٥-٤ يلخص المراحل الرئيسيّة للتأشير الخلوي التي تؤدي إلى استجابات محددة:

- إفراز مواد كيميائيّة معيّنة (الرسائل) من الخلايا.
- نقل الرسائل إلى الخلايا المستهدفة.
- ارتباط الرسائل بمستقبلات سطح الخليّة على الخلايا المستهدفة.

٥-٥ يصف ويشرح عمليات: الانتشار البسيط، والانتشار المسهل، والأسموزيّة، والنقل النشط، والإدخال الخلوي، والإخراج الخلوي.

٥-٦ يستقصي الانتشار البسيط والأسموزيّة باستخدام أنسجة نباتيّة ومواد غير حيّة، بما في ذلك أنابيب الديلسة والآجار.

٥-٧ يوضح المبدأ بأن نسبة مساحة السطح إلى الحجم تتناقص مع زيادة الحجم عن طريق حساب مساحة السطح والحجم لأشكال بسيطة ثلاثيّة الأبعاد.

٥-٨ يستقصي تأثير التغير في نسبة مساحة السطح إلى الحجم على الانتشار باستخدام كتل آجار بقياسات مختلفة.

٥-٩ يستقصي تأثير غمر أنسجة النبات في محاليل مختلفة الجهد المائي، مستخدمًا النتائج لتقدير الجهد المائي للأنسجة.

٥-١٠ يشرح حركة الماء بين الخلايا والمحاليل من حيث جهد الماء، ويشرح التأثيرات المختلفة لحركة الماء على الخلايا النباتيّة والخلايا الحيوانيّة (لا يتوقع معرفة جهد المذاب وجهد الضغط).

قبل أن تبدأ بدراسة الوحدة

- لماذا تحاط جميع الخلايا (بدائيّة النواة وحقيقيّة النواة) بغشاء سطح الخليّة (الوحدة الأولى)؟
- ما معنى «النفاذيّة الجزئيّة» للأغشية (الوحدة الأولى)؟
- ما أهميّة الدهون المفسفرة لتركيب الغشاء (الوحدة الثانية)؟
- اذكر **مثالَين** يوضحان زيادة مساحة سطح الغشاء عن طريق الثني، مع ذكر ميزة واحدة لكل منهما (الوحدة الأولى).
- أعطِ مثالًا لعضيّة خلويّة محاطة: (أ) بغشاء مفرد، (ب) بغشاءَين (غلاف) (الوحدة الأولى).

العلوم ضمن سياقها

أكياس التوصيل

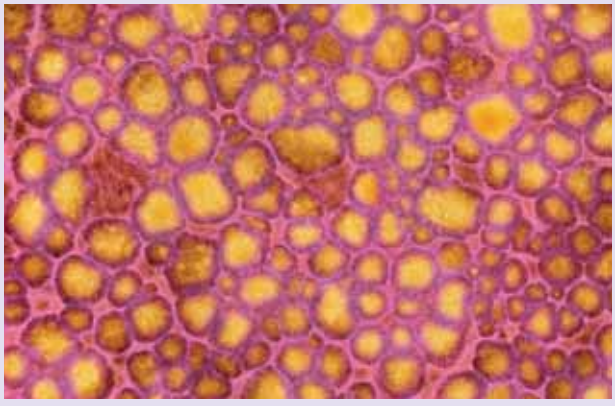
الليبوسومات Liposomes حويصلات محاطة بغشاء (الصورة ٥-١). تحضّر صناعيًا عن طريق تجزئة الأغشية الحيوية إلى أجزاء، بعضها ينغلق بإحكام لتكوين كريات تشبه الخلايا الفارغة.

مثل الخلايا السليمة، تحاط الليبوسومات بطبقة ثنائية من الدهون المفسفرة، وعادة ما يكون بداخلها وسط مائي. وصفت الليبوسومات لأول مرة عام 1961م، واستخدمت منذ ذلك الوقت كنماذج اصطناعية للخلايا، وخصوصًا في الاستخدامات الطبيّة، ولا سيما لتوصيل الأدوية.

ولتحقيق ذلك الأمر، يتم تحضير الليبوسومات أثناء وضعها في محلول من الدواء، فتتشرّبه، وعند إدخالها إلى الجسم، ووصولها إلى الخليّة المستهدفة، مثل خلية سرطانية أو أي خليّة غير سليمة أخرى، يندمج الليبوسوم مع غشاء سطح الخليّة، وذلك لتوصيل الدواء إلى داخل الخليّة. ويمكن تحقيق الاستهداف الدقيق عن طريق حقن جزيء التعرّف الصحيح (كأنتيجين أو جسم مضاد)، في غشاء الليبوسومات، فضلًا عن وجود طرائق استهداف أخرى.

في عام 2013م تم اكتشاف أن الليبوسومات تمثل طريقة آمنة لنقل الدواء «ستوروسبورين*»، staurosporine كمضاد قوي للسرطان. وعلى الرغم من توافر هذا الدواء منذ عام 1977م، إلّا أنه لم يتم استخدامه لأنه يؤدّي إلى قتل جميع الخلايا التي يلامسها، بما فيها الخلايا السليمة، وذلك لتداخله مع العديد من مسارات التأشير الخلوي. الدواء المذكور يضاف إلى الليبوسومات، ثم يضاف عامل إخفاء للسطح الخارجي لليبوسومات ليخفي الدواء عن جهاز المناعة، ما يسمح له باستهداف الخلايا السرطانيّة فقط.

تستخدم الليبوسومات في مجالات أخرى عديدة، ومن ذلك صناعة مستحضرات التجميل لنقل وإيصال منتجات العناية بالبشرة، مثل منتجات الصبار Aloe vera والكولاجين Collagen والإيلاستين Elastin وفيتاميني (A)، و (E)، عند دلكها على الجلد. وقد حقق توصيل المكملات الغذائية بواسطة الليبوسومات عن طريق الفم بعض النجاح، إذ يمكن أن تكون معدلات الامتصاص أعلى بكثير من الأقراص التقليديّة.



الصورة ٥-١ الليبوسومات.

أسئلة للمناقشة

تضمنت بعض اختبارات دواء ستوروسبورين تجارب على الفئران.

- ما الحجج المؤيدة وتلك المعارضة للتجارب الطبيّة على الحيوانات؟
- برأيك ما هي الحقوق التي يجب أن تُعطى لحيوانات التجارب؟
- كيف يمكن التأكد من أن الليبوسومات المستخدمة في صناعة مستحضرات التجميل ليست ضارة؟

*ستوروسبورين هو مثبط بروتين كاينيز، وسوف تتعلم في الصف الثاني عشر عن دور البروتين كاينيز في التأشير الخلوي.

١-٥ وظائف الأغشية وتركيبها

درست في الوحدة الأولى أن جميع الخلايا الحيّة محاطة بغشاء رقيق جدًا هو غشاء سطح الخليّة، الذي يتحكم بتبادل المواد (كالمغذيات والفضلات) بين الخليّة وبيئتها المحيطة. وفي داخل الخلية تؤدي أغشية العضيّات الخلويّة دورًا حيويًا في تنظيم النقل أيضًا. كما تقوم الأغشية بوظائف أخرى مهمة؛ على سبيل المثال، تمكّن الخلايا من تلقي الرسائل الهرمونيّة. وتحتوي أغشية البلاستيدات الخضراء على صبغات تمتص الضوء اللازم لعمليّة التمثيل الضوئي. ستساعدك دراسة تركيب هذه الأغشية في فهم كيف تتم هذه الوظائف.

الدهون المفسفرة

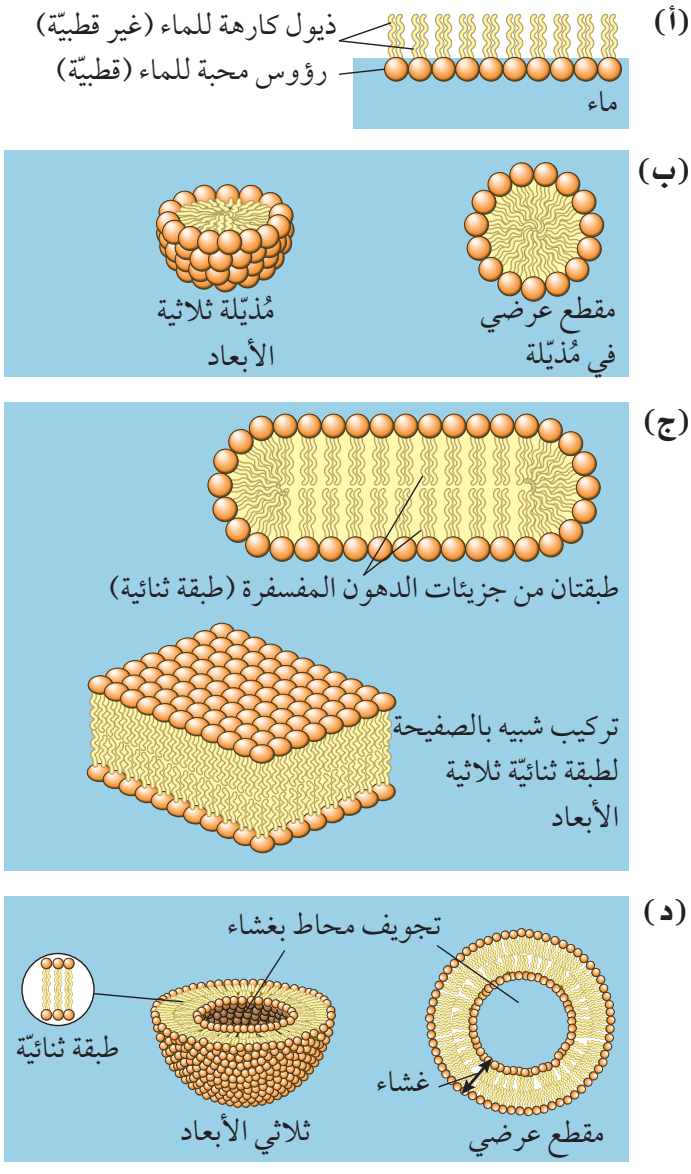
يعتمد فهم تركيب الأغشية على فهم تركيب الدهون المفسفرة (درستها في الوحدتَين الأولى والثانية). تساعد الدهون المفسفرة على تكوين الأغشية التي تحيط بالخلايا ومعظم العضيّات.

يظهر الشكل ٥-١أ ما يحصل إذا كانت جزيئات الدهون المفسفرة منتشرة على سطح الماء. ستشكل هذه الجزيئات طبقة واحدة تكون رؤوسها في الماء، لأن الرؤوس قطبيّة (محبة للماء؛ أي أنها تنجذب إلى الماء)، فيما تبرز ذيولها خارج الماء لأنها غير قطبيّة (كارهة للماء؛ أي أنها تبتعد عن الماء). يشير المصطلح قطبي Polar إلى توزيع غير متساوٍ للشحنة.

وعند محاولة مزج الدهون المفسفرة مع الماء ستشكل:

- تراكيب شبيهة بالكرة تسمّى مُذيّلات Micelles (الشكل ٥-١ب).
- أو تراكيب شبيهة بالصفائح تسمّى الطبقات الثنائيّة Bilayers (الشكل ٥-١ج).

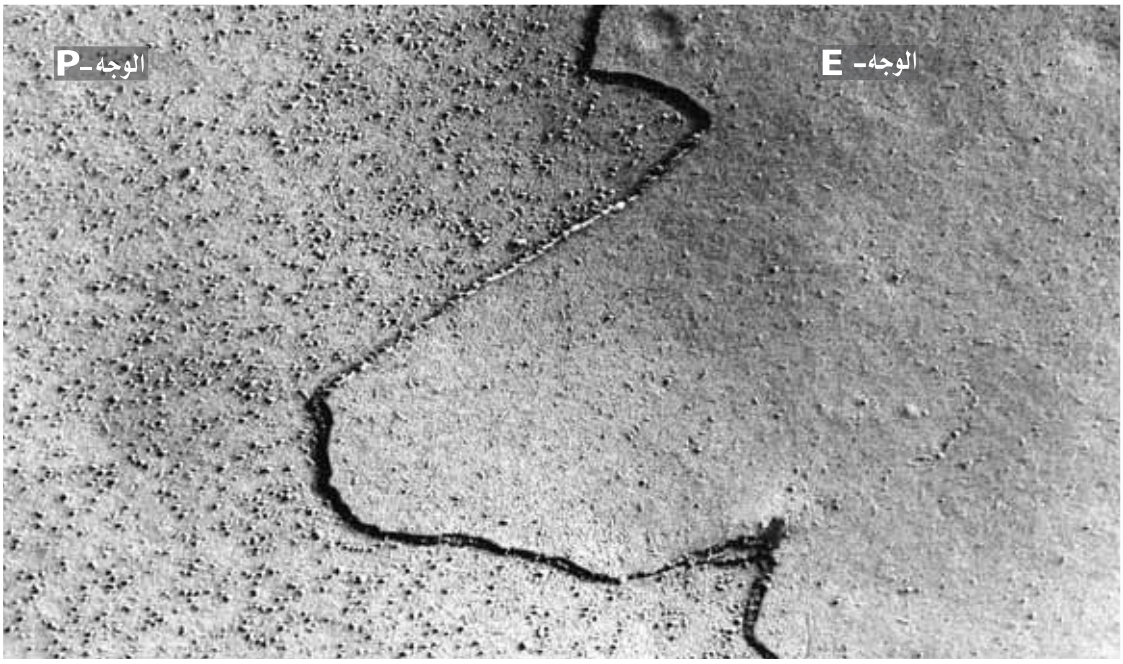
تتجه جميع الرؤوس المحبة للماء في المُذيّلة إلى الخارج نحو الماء، بحيث تشكل درعًا تقي به الذيول الكارهة للماء من الماء. فيما تكون الذيول في وسط المُذيّلة، متجهة إلى الداخل باتجاه بعضها البعض، الأمر الذي يكوّن بيئة كارهة للماء داخل المُذيّلة (الشكل ٥-١ب). وفي الطبقات الثنائيّة أيضًا، يتم حماية الذيول الكارهة للماء من الماء بواسطة الرؤوس المحبة للماء (الشكل ٥-١ج).



الشكل ٥-١ الدهون المفسفرة في الماء: (أ) انتشار الجزيئات على سطح الماء على شكل طبقة واحدة (طبقة أحاديّة) (ب) تكوين مُذيّلة محاطة بالماء (ج) تكوين طبقة ثنائيّة (د) طبقة ثنائيّة تكوّن تجويف محاط بغشاء.

بات معروفًا الآن أن الطبقة الثنائية للدهون المفسفرة هي التركيب الأساسي للأغشية (الشكل ٥-١د). وتعني الطبقة الثنائيّة Bilayer وجود طبقتَين كما في الشكلين ٥-١ج، ٥-١د. ويبلغ عرض الطبقة الثنائيّة أو الغشاء 7 nm تقريبًا.

تحتوي الأغشية أيضًا على بروتينات، ويمكن أن تشاهَد في بعض الصور المجهرية الإلكترونية، مثل الصورة ٥-٢.



الصورة ٥-٢ صورة مجهرية إلكترونية (الماسح) لغشاء سطح الخليّة. تم تحضير الغشاء عن طريق التجميد والكسر Freeze-fracture، والذي أدى إلى شق الطبقة الثنائيّة. «الوجه P» في الصورة هو طبقة الدهن المفسفر الأقرب إلى داخل الخليّة، ويظهر العديد من جسيمات البروتين الموجودة في الغشاء. «الوجه E» هو جزء من طبقة الدهن المفسفر الخارجية (x50000).

النموذج الفسيفسائي السائل لتركيب الغشاء

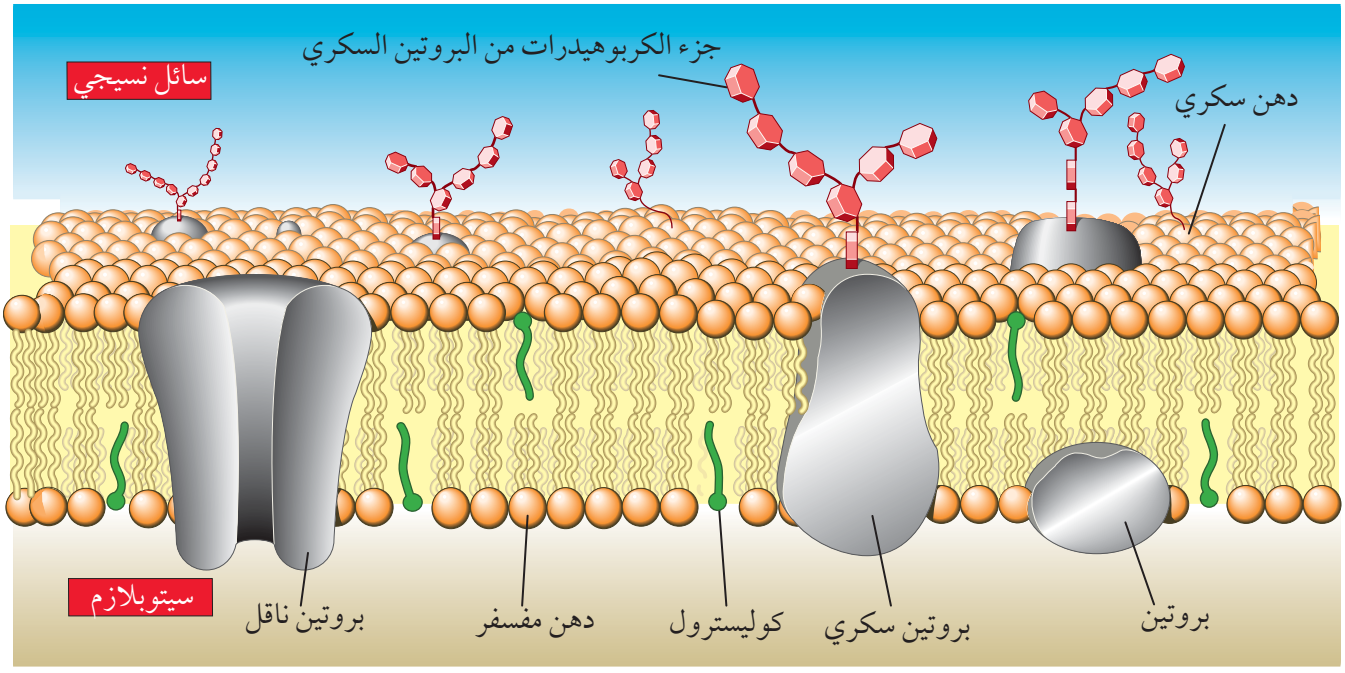
في عام 1972م، قدّم العالمان سنجر ونيكلسون Singer و Nicolson في ضوء الأدلة المتوافرة فرضيّة عن تركيب الغشاء أطلقا عليها اسم **النموذج الفسيفسائي السائل Fluid mosaic model**. ويأتي الوصف «سائل» Fluid من قدرة الدهون المفسفرة والبروتينات على التحرك عن طريق الانتشار. فالطبقة الثنائية للدهون المفسفرة تتصف بنوع من السيولة شبيهة بزيت الزيتون، وتتحرك جزيئات الدهون المفسفرة بشكل جانبي فيهما. كما تتحرك معظم جزيئات البروتين داخل الطبقة الثنائية للدهون المفسفرة في حين يبقى بعضها مثبتة في التراكيب داخل الخليّة أو خارجها.

وتصف كلمة «فسيفساء» Mosaic نمط تناثر جزيئات البروتين عند النظر إلى سطح الغشاء من الأعلى.

يمثل الشكل ٥-٢، رسمًا تخطيطيًا لما يتخيله العلماء عن شكل الغشاء إذا أمكن رؤية الجزيئات المفردة.

مصطلحات علمية

النموذج الفسيفسائي السائل Fluid mosaic model: النموذج المقبول حاليًا لتركيب الغشاء، وفيه تكون جزيئات البروتين حرة الحركة في طبقتي الدهون المفسفرة.



الشكل ٥-٢ رسم تخطيطي يمثل النموذج الفسيفسائي السائل لتركيب الغشاء.

خصائص النموذج الفسيفسائي السائل

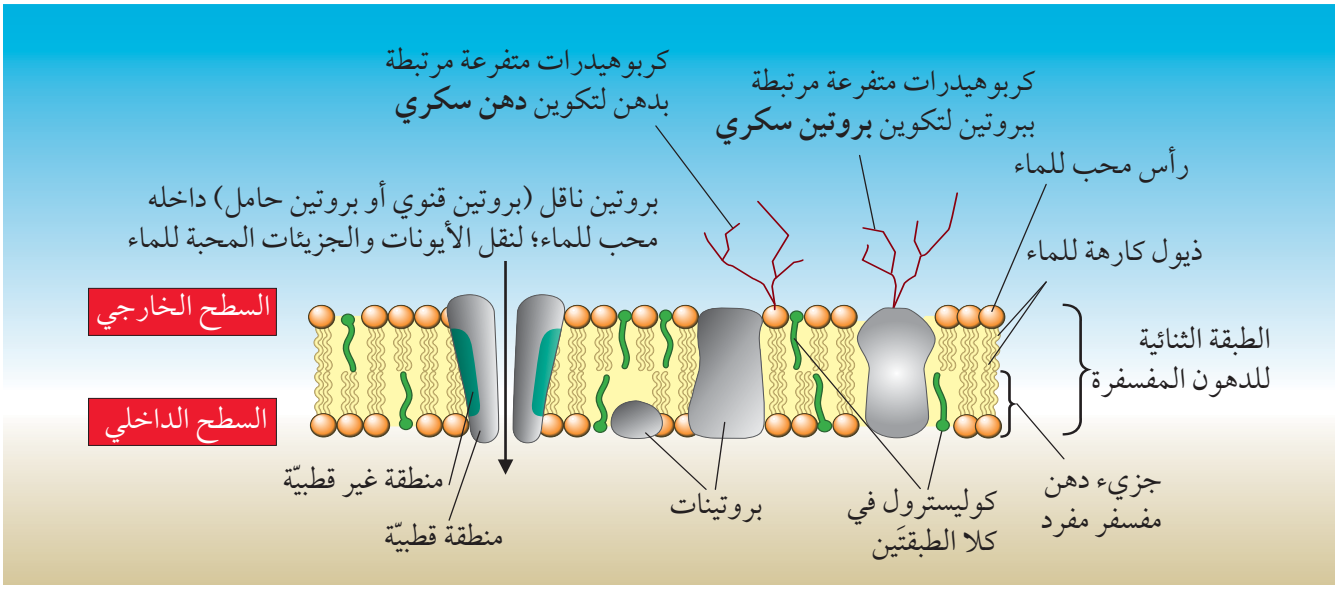
يتكوّن الغشاء من طبقة ثنائية (مزدوجة) من جزيئات الدهون المفسفرة، والتي تتحرك بشكل فردي بالانتشار داخل الطبقتَين.

تتجه ذيول الدهون المفسفرة إلى الداخل بحيث يواجه بعضها بعضًا، مشكّلة وسطًا داخليًا غير قطبي كارهًا للماء. وفي المقابل تتجه رؤوس الدهون المفسفرة إلى الخارج في الوسط المائي الذي يحيط بالأغشية.

بعض ذيول الدهون المفسفرة مشبعة، وبعضها الآخر غير مشبعة (تذكّر أن الذيول غير المشبعة تحتوي على روابط ثنائية). وكلما كانت الذيول غير المشبعة أكثر، كان الغشاء أكثر سيولة؛ لأنها تكون منحنية، وبالتالي تترك فراغات بينها. تتأثر السيولة أيضًا بطول الذيل، فكلما كان الذيل أطول، كان الغشاء أقل سيولة. وتصبح الأغشية أقل سيولة أيضًا مع انخفاض درجة الحرارة، ولكن بعض الكائنات الحيّة التي لا تستطيع تنظيم درجة حرارتها، مثل البكتيريا والخمائر Yeasts، تستجيب بزيادة نسبة الأحماض الدهنيّة غير المشبعة في أغشيتها.

قد توجد البروتينات في الطبقة الداخليّة، والطبقة الخارجيّة، والأكثر شيوعًا أنها تخترق الغشاء (كلا الطبقتين) وتعرف باسم بروتينات الغشاء الناقلة Transmembrane Proteins.

تحتوي بروتينات الغشاء على مناطق كارهة للماء (غير قطبيّة)، ومناطق محبة للماء (قطبيّة). وهي تبقى في الغشاء لأن المناطق الكارهة للماء المكوّنة من أحماض أمينية كارهة للماء تجاور ذيول الأحماض الدهنيّة الكارهة للماء، ويتمّ دفعها (طردها) من البيئة المائيّة على كلا جانبَي الغشاء. أما المناطق المحبة للماء والمكوّنة من الأحماض الأمينيّة المحبة للماء، فيتم دفعها من داخل الغشاء الكاره للماء، لتواجه بالتالي البيئة المائيّة داخل الخليّة أو خارجها، أو تبطن الثقوب المحبة للماء في الغشاء (الشكل ٥-٣).



الشكل ٥-٣ رسم تخطيطي للنموذج الفسيفسائي السائل لتركيب الغشاء.

تطفو معظم جزيئات البروتين في طبقات الدهون المفسفرة مثلما تطفو الكتل الجليديّة في المحيط، على الرغم من أن بعضها مثبت بالتراكيب داخل الخليّة أو خارجها ولا يتحرك.

ويتصل بالعديد من البروتينات والدهون سلاسل كربوهيدرات قصيرة ومتفرعة (تواجه خارج الخلية)، مكوّنة بروتينات سكريّة ودهون سكريّة، كما يحتوي الغشاء أيضًا على جزيئات كوليسترول.

٥-٢ وظائف الجزيئات الموجودة في الأغشية

لقد درست أن أغشية الخلايا تحتوي على عدة أنواع من الجزيئات. هناك ثلاثة أنواع من الدهون: الدهون المفسفرة والكوليسترول والدهون السكريّة، وهناك أيضًا البروتينات والبروتينات السكرية. ولكل من هذه الأنواع دور معيّن في التركيب العام للغشاء ووظيفته.

الدهون المفسفرة

- تكوّن الدهون المفسفرة طبقة ثنائيّة تمثل المكوّن الأساسي في تركيب الغشاء.
- تتأثر سيولة الغشاء بطول ذيول الأحماض الدهنيّة، وما إذا كانت مشبعة أو غير مشبعة.

تمثّل الأغشية حاجزًا لمعظم المواد الذائبة في الماء، لأن ذيول الدهون المفسفرة غير قطبيّة (كارهة للماء)، الأمر الذي يصعب على الجزيئات القطبيّة أو الأيونات المرور عبر الأغشية. وهذا يعني أنه لا يمكن للجزيئات الذائبة في الماء مثل السكريات والأحماض الأمينيّة والبروتينات أن تتسرب من الخليّة، ولا يمكن للجزيئات الذائبة في الماء غير المرغوب فيها أن تدخل الخليّة.

الكوليسترول

الكوليسترول Cholesterol جزيء صغير نسبيًا. ومثل الدهون المفسفرة، فإن رؤوس جزيئات الكوليسترول محبة للماء؛ أمّا ذيولها فكارهة للماء، كما أنها تتموضع بين جزيئات الدهون المفسفرة وتكون رؤوسها في سطح الغشاء. تحتوي أغشية سطح الخليّة في الخلايا الحيوانيّة على مقدار من الكوليسترول يساوي تقريبًا مقدار الدهون المفسفرة. الكوليسترول أقل شيوعًا في أغشية الخلايا النباتيّة، ولا يوجد في بدائيّة النواة، بل يوجد فيها مركبات شبيهه جدًا بالكوليسترول وتؤدي وظيفته.

الكوليسترول مهم للاستقرار الميكانيكي للأغشية، فوجوده بين جزيئات الدهون المفسفرة يقوي الأغشية ويقلل من سيولتها، ومن دونه تتكسر الأغشية بسرعة وتنفجر الخلايا.

تساعد المناطق الكارهة للماء في جزيئات الكوليسترول على منع مرور الأيونات أو الجزيئات القطبيّة عبر الغشاء. وهذا مهم بشكل خاص في غمد المايلين Myelin sheath الذي يحيط بالخلايا العصبيّة. يتكوّن غمد المايلين من عدة طبقات من غشاء سطح الخليّة، ليقي من تسرب الأيونات، والذي إذا حدث يؤدي إلى إبطاء السيالات العصبيّة.

مصطلحات علمية

الكوليسترول Cholesterol: جزيء دهني صغير له رأس محب للماء وذيل كاره للماء، وهو مكوّن رئيسي للأغشية. وجود الكوليسترول شائع بشكل خاص في الخلايا الحيوانيّة، وهو يكسب الغشاء المرونة والثبات ويقلل من سيولته.

تميل ذيول الدهون المفسفرة في درجات الحرارة المنخفضة إلى التقارب معًا، ولكن يمنع الكوليسترول حدوث التقارب الزائد مما يحافظ على سيولة الغشاء. وهذا يساعد الخلايا على البقاء حية في درجات الحرارة المنخفضة جدًا.

الدهون السكريّة والبروتينات السكريّة والبروتينات

على الأغلب ترتبط سلاسل قصيرة من الكربوهيدرات بجميع جزيئات البروتين وبالعديد من جزيئات الدهون الموجودة على الأسطح الخارجيّة لغشاء سطح الخليّة. تسمى جزيئات البروتين المرتبطة بسلاسل كربوهيدرات البروتينات السكريّة Glycoproteins، وتسمى جزيئات الدهون المرتبطة بسلاسل الكربوهيدرات الدهون السكرية Glycolipids. في ما يلي ملخص لبعض وظائف الدهون السكريّة والبروتينات، بما فيها البروتينات السكريّة:

الجزيئات المستقبلة

تساعد سلاسل الكربوهيدرات البروتينات السكريّة والدهون السكريّة على العمل كجزيئات مستقبلة Receptor molecules ترتبط مع مواد معيّنة عند سطح الخليّة، وتحتوي الخلايا المختلفة على مستقبلات مختلفة تبعًا لوظيفتها. وأحد أنواع المستقبلات تسمّى «مستقبلات التأشير Signalling receptors» لأنها جزء من نظام تأشير ينظم أنشطة الخلايا. وتميّز مستقبلات التأشير الجزيئات المرسلة مثل الهرمونات والنواقل العصبيّة. وعندما يرتبط الجزيء المرسل بمستقبل التأشير، تبدأ سلسلة من التفاعلات الكيميائيّة داخل الخليّة. ومن الأمثلة على مستقبل التأشير، مستقبل الجلوكاجون في خلايا الكبد. فالخلايا التي تحتوي على مستقبلات الجلوكاجون هي فقط التي تتأثر بالجلوكاجون.

تعرّف الخلايا على بعضها

تعمل بعض الدهون السكريّة والبروتينات السكريّة كعلامات خلويّة Cell markers أو أنتيجينات Antigens تتيح للخلايا التعرُّف بعضها على بعض. وترتبط سلاسل الكربوهيدرات بمواقع مكملة على خلايا أخرى. تعرّف الخلايا بعضها على بعض Cell-to-cell recognition مهم في النمو والتطور والاستجابة المناعيّة. ولكل نوع من الخلايا نوع خاص من الأنتيجينات. على سبيل المثال، أنتيجينات فصائل الدم ABO هي دهون سكريّة وبروتينات سكريّة يختلف بعضها عن بعض في سلاسل الكربوهيدرات اختلافًا بسيطًا.

البروتينات الناقلة

تعمل العديد من البروتينات كبروتينات ناقلة Transport proteins، تشكّل قنوات أو ممرات محبة للماء، لتمر الأيونات والجزيئات القطبيّة عبر الغشاء. ويختص كل بروتين ناقل بنوع معيّن من الأيونات أو الجزيئات. ثمّة نوعان من البروتينات الناقلة: البروتينات القنويّة والبروتينات الحاملة. وسيتم وصف دور كل منها في حركة المواد عبر الأغشية ضمن الموضوع ٥-٤.

الإنزيمات

بعض بروتينات الغشاء هي إنزيمات؛ على سبيل المثال، توجد إنزيمات الهضم في أغشية سطح الخلايا المبطنة للأمعاء الدقيقة. وتحفز هذه الإنزيمات التحلل المائي للجزيئات مثل السكريات الثنائيّة.

الهيكل الخلوي

تتصل بعض البروتينات الموجودة في الطبقة الداخلية لغشاء سطح الخليّة بنظام من الخيوط البروتينيّة داخل الخليّة يسمّى الهيكل الخلوي Cytoskeleton. وتساعد هذه البروتينات في تحديد شكل الخليّة والحفاظ عليه. وقد تشارك أيضًا في التغيرات التي تطرأ على الشكل عندما تتحرك الخلايا.

وظائف أخرى

تؤدي البروتينات وظائف مهمة أيضًا في أغشية العضيات. على سبيل المثال، تشارك بروتينات في أغشية الميتوكندريا والبلاستيدات الخضراء في عمليتَي التنفس والتمثيل الضوئي (وسوف تتعرف الكثير عنها في الصف الثاني عشر).

سؤال

١ كوّن جدولًا تلخص فيه الوظائف الرئيسيّة للدهون المفسفرة، والكوليسترول، والدهون السكريّة، والبروتينات السكريّة، والبروتينات في أغشية سطح الخليّة.

٥-٣ التأشير الخلوي

مصطلحات علمية

التأشير الخلوي Cell signalling: الآليات الجزيئيّة التي تكشف بها الخلايا عن المنبهات الخارجيّة وتستجيب لها، بما في ذلك التواصل بين الخلايا.

يمثل **التأشير الخلوي Cell signalling** مجالًا مهمًا للبحث في علم الأحياء الحديث الذي يحتوي على تطبيقات واسعة. وهو مهم لأنه يساعد على توضيح كيفيّة تحكم الكائنات الحيّة بأجسامها وتنسيق أنشطتها الحيوية. ستتعرّف في هذه الوحدة على بعض المبادئ الأساسيّة للتأشير الخلوي، والذي تتشارك جميع الكائنات الحية في العديد من خصائصه.

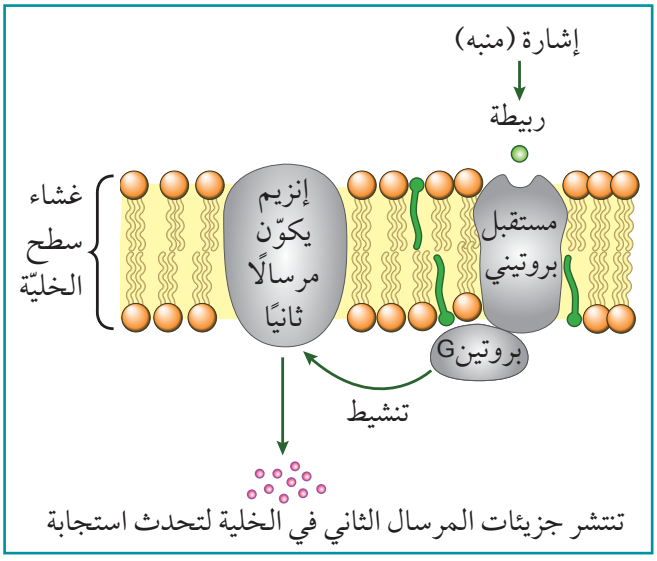
يجب أن تكون جميع الخلايا والكائنات الحيّة قادرة على الاستجابة بشكل مناسب لبيئاتها، ويحدث ذلك عن طريق مسارات التأشير التي تنسق أنشطة الخلايا، حتى ولو كانت على مسافات متباعدة في الجسم نفسه.

يمكن أن يكون مسار التأشير كهربائيًا (كالجهاز العصبي)، أو كيميائيًا (كالجهاز الهرموني في الحيوانات)، وتتضمن مجموعة واسعة من جزيئات التأشير مثل النواقل العصبيّة، والهرمونات. ستركز في هذه الوحدة على مسارات التأشير التي تتضمن مواد كيميائيّة.

يشتمل الجزء الأول من المسار عادة على المراحل الرئيسيّة الثلاث الآتية:

- يحفز منبّه ما خلايا معيّنة لإفراز مادة كيميائيّة معيّنة، تسمّى **الربيطة Ligand**. وهرمون الجلوكاجون مثال على هذه الربيطة، فهو مادة كيميائيّة تفرزها بعض خلايا البنكرياس استجابةً لانخفاض مستوى سكر الدم (المنبّه).
- نقل الربيطة إلى الخلايا المستهدفة، وتكون الربيطة (جزيئات التأشير) عادة صغيرة نسبيًا ليسهل نقلها، وفي حالة الهرمونات، تنقل عن طريق الدم.
- ترتبط الربيطة بمستقبلات محددة على سطح الخلايا المستهدفة، والمستقبلات هي جزيئات بروتينيّة توجد في غشاء سطح الخليّة.

مستقبل سطح الخليّة هو شكل معيّن يتعرّف على ربيطة معينة ويستجيب لها، حيث يمكن فقط للخلايا التي تحتوي على ذلك المستقبل التعرّف على الربيطة والاستجابة لها. تُحدث الربيطة تعديلًا في شكل المستقبل الذي يخترق الغشاء، ليتم تمرير الرسالة إلى داخل الخليّة. وبالتالي يسمح التغيّر في شكل المستقبل بالتفاعل مع المكوّن التالي من مسار التأشير، وغالبًا ما يكون المكوّن التالي في مسار الإشارات هو «البروتين G» الذي يعمل كمفتاح لإطلاق المرسال الثاني «Second messenger»، وهو جزيء صغير ينتشر في الخلية لنقل الرسالة، ولتحدث الاستجابة بعد ذلك. يسمّى تحويل الإشارة الأصليّة إلى رسالة سيتم نقلها بعد ذلك **التحويل Transduction**. يوضح الشكل ٥-٤ مسارًا مبسطًا للتأشير الخلوي، حيث تستجيب الخلية للربيطة عن طريق تكوين مرسال ثانٍ داخل الخلية.



الشكل ٥-٤ مسار مبسّط للتأشير الخلوي يتضمن ربيطةً ومرسالًا ثانيًا.

مصطلحات علمية

الربيطة Ligand: جزيء تأشير حيوي يرتبط بجزيء آخر مثل مستقبل غشاء سطح الخليّة، أثناء التأشير الخلوي.

التحويل Transduction: يحدث أثناء التأشير الخلوي. وهو عمليّة تحويل الإشارة الأصلية إلى رسالة سيتم نقلها.

٥-٤ حركة المواد عبر الأغشية

درست سابقًا أن طبقتَي الدهون المفسفرة المحيطة بالخلايا تكوّن حاجزًا فاعلًا جدًا، خصوصًا ضد حركة الجزيئات والأيونات الذائبة في الماء، فيمنع مغادرتها. ومع ذلك، فمن الضروري حدوث بعض التبادل بين الخليّة وبيئتها المحيطة. توجد خمس آليات أساسيّة يتم من خلالها حدوث التبادل:

- الانتشار
- الانتشار المسهّل (الميسّر)
- الأسموزيّة
- النقل النشط
- الإدخال الخلوي والإخراج الخلوي (النقل الحويصلي)

سؤال

(٢) اقترح ثلاثة أسباب لضرورة التبادل بين الخلية وبيئتها.

الانتشار

مصطلحات علمية

الانتشار Diffusion: محصلة الحركة للجزيئات أو الأيونات من المنطقة ذات التركيز الأعلى إلى المنطقة ذات التركيز الأقل، نتيجة الحركة العشوائيّة للجسيمات (الجزيئات والأيونات).

يعرّف **الانتشار Diffusion** بأنه محصلة الحركة للمادة من المنطقة ذات التركيز الأعلى إلى المنطقة ذات التركيز الأقلّ نتيجة الحركة العشوائيّة للجزيئات أو الأيونات. تتحرك الجزيئات أو الأيونات مع منحدر التركيز، وتنتج الحركة العشوائيّة من الطاقة الحركيّة الطبيعيّة (طاقة الحركة) للجزيئات أو الأيونات. ونتيجة للانتشار، تميل الجزيئات أو الأيونات للوصول إلى حالة الاتزان، حيث تتوزع بالتساوي داخل حجم ما. يمكن توضيح عملية الانتشار بسهولة باستخدام مواد غير حيّة مثل الجلوكوز وأنابيب الديلسة (المهارات العمليّة ٥-١)، أو باستخدام الأنسجة النباتيّة (المهارات العمليّة ٥-٢).

تستطيع بعض الجزيئات أو الأيونات المرور عبر أغشية الخلايا الحيّة بالانتشار. على سبيل المثال، يمكن أن تعبر غازات الجهاز التنفسي (غاز الأكسجين وغاز ثاني أكسيد الكربون) الأغشية بالانتشار. هذه الغازات عديمة الشحنة وغير قطبيّة، وبالتالي يمكنها عبور الطبقة الثنائية للدهون المفسفرة بين جزيئات الدهون. جزيئات الماء على الرغم من أنها عالية القطبية، إلّا أنها تنتشر بسرعة عبر الطبقة الثنائية للدهون المفسفرة، لأنها صغيرة بما يكفي للمرور عبرها. أما الجزيئات الكارهة للماء فيمكنها عبور الأغشية لأن الوسط الداخلي من الغشاء كاره للماء.

مهارات عملية ٥-١

توضيح الانتشار باستخدام أنابيب الديلسة

أنابيب الديلسة منفذة جزئيًا وغير حيّة. وهي مصنوعة من السليلوز، لها مسام جزيئيّة صغيرة الحجم، بما يكفي لمنع مرور الجزيئات الكبيرة، مثل النشا والسكروز، ولكنها تسمح بمرور الجزيئات الصغيرة، مثل الجلوكوز بالانتشار.

يمكن إيضاح ذلك عن طريق ملء أنبوبة الديلسة (طولها 15 cm تقريبًا) بمزيج من محلولَي النشا والجلوكوز. إذا تم تعليق أنبوبة الديلسة في ماء داخل أنبوبة اختبار كبيرة (أو كأس زجاجية) لفترة من الزمن، يمكن اختبار وجود النشا والجلوكوز في الماء خارج الأنبوبة على فترات لمعرفة ما إذا حدث انتشار خارج الأنبوبة. يجب أن تشير النتائج إلى أن الجلوكوز، وليس النشا، ينتشر خارج الأنبوبة.

يمكن أن تكون هذه التجربة كميّة على نطاق أوسع. على سبيل المثال، يمكن محاولة تقدير تركيز الجلوكوز خارج أنبوبة الديلسة على فترات زمنيّة محددة، عن طريق تحضير أنابيب منفصلة، واحدة لكل فترة زمنية مخطّط لها، واستخدام اختبار بندكت شبه الكمي في كل مرة. يمكن أن يفيد مقياس الألوان لهذا الغرض. وبدلًا من ذلك قد يتم تحضير مجموعة من الألوان المعياريّة، وتكوين تمثيل بياني يبيّن كيف يتغيّر معدل الانتشار مع منحدر التركيز داخل أنبوبة الديلسة وخارجها.

يمكن تصميم تجارب يضاف فيها السكروز والسكريز (الإنزيم الذي يفكّك السكروز) إلى أنبوبة الديلسة، إضافة إلى تصميم تجارب تتضمن الأميليز الذي يفكّك النشا.

مهارات عملية ٥-٢

توضيح الانتشار باستخدام الأنسجة النباتيّة

يمكن ملاحظة الانتشار عبر أغشية سطح الخليّة عن طريق صبغ مؤقت لخلايا نباتيّة حيّة، على سبيل المثال، إضافة محلول اليود إلى خلايا البشرة لصبغ النوى والسيتوبلازم. كما يمكن إجراء تجربة لتوضيح كيف تتأثر نفاذيّة الأغشية بالعوامل البيئيّة مثل المواد الكيميائيّة ودرجة الحرارة باستخدام الشمندر.

يمكن وضع قطع من الشمندر في الماء على درجات حرارة مختلفة أو في كحول بتراكيز مختلفة. سيؤدي أي ضرر في أغشية الخلايا إلى تسرّب الصبغة الحمراء التي توجد طبيعيًا في الفجوة المركزية الكبيرة إلى خارج الخلايا عن طريق الانتشار. وقد تتم ملاحظة التغيّرات في لون المحلول المحيط نوعيًا أو كميًا. كما في تجربة المهارات العلميّة ٥-١ يمكن استخدام مقياس الألوان أو مجموعة من الألوان المعياريّة، أو وضع الأنابيب بالترتيب وتكوين مقياس ألوان (على سبيل المثال من 0 إلى 10)، باستخدام الماء للدرجة 0 والمحلول الأكثر قتامةً للدرجة 10.

ما تظهره التجربة هو انتشار الصبغة الحمراء من منطقة عالية التركيز في الفجوات إلى منطقة منخفضة التركيز في المحلول خارج قطع الشمندر. عادة تمنع الطبيعة المنفذة جزئيًا لأغشية الخلايا حدوث عملية الانتشار.

يعتمد معدل انتشار المادة عبر الغشاء على عدد من العوامل، بما فيها:

- الفرق في منحدر التركيز.
- درجة الحرارة.
- طبيعة الجزيئات أو الأيونات.
- مساحة السطح.

الفرق في منحدر التركيز

كلما كان الفرق في منحدر التركيز على جانبي الغشاء كبيرًا، كان معدل انتشار المادة أسرع. فإذا كان هناك تركيز عالٍ من جزيئات المادة على أحد جانبَي الغشاء مقارنة بالجانب الآخر، فسيكون هناك محصلة حركة للجزيئات، من

التركيز الأعلى إلى التركيز الأقل. بمعنى أنه حتى مع تحرك الجزيئات في كلا الاتجاهين، سيتحرك أكثرها باتجاه واحد مقارنة بالآخر اعتمادًا على منحدر التركيز.

درجة الحرارة

في درجات الحرارة المرتفعة تمتلك الجزئيات والأيونات طاقة حركية أعلى مما هي عليه في درجات الحرارة المنخفضة، وبالتالي تتحرك بشكل أسرع، لذا يكون الانتشار أسرع.

طبيعة الجزيئات أو الأيونات

تتطلب الجزيئات الكبيرة المزيد من الطاقة لتتحرك مقارنة بالجزيئات الصغيرة، لذا تميل الجزيئات الكبيرة إلى الانتشار بشكل أبطأ من الصغيرة. وتنتشر الجزيئات غير القطبيّة مثل الجليسرول والكحول والهرمونات الستيرويدية بسهولة أكبر بكثير عبر أغشية الخلايا مقارنة بالجزيئات القطبية، لأنها قابلة للذوبان في ذيول الدهون المفسفرة غير القطبيّة.

مساحة السطح الذي يحدث عبره الانتشار

كلما زادت مساحة السطح، زاد عدد الجزيئات أو الأيونات التي يمكنها عبوره في أيّة لحظة، وبالتالي يحدث الانتشار بشكل أسرع. يمكن زيادة مساحة سطح غشاء الخليّة بالثني، كما في الخملات في بطانة الأمعاء أو الأعراف في الميتوكندريا.

مهم

تقل نسبة مساحة السطح إلى الحجم مع زيادة حجم (قياس) أي جسم ثلاثي الأبعاد.

ثمّة عامل مهم أيضًا، وهو أنه كلما كانت الخليّة أكبر تكون مساحة سطحها بالنسبة إلى حجمها أصغر. وهذا ما يوضحه الشكل ٥-٥ في السؤال ٣. ولتسهيل العمليات الحسابيّة المرتبطة بالموضوع، تظهر الخلايا على شكل مكعبات بدلًا من الكرات، لكن يبقى المبدأ نفسه: مع زيادة نمو الخلية يزداد الحجم بسرعة أكبر بكثير من مساحة السطح، وهذا ما يسبب آثارًا مهمة على الخلايا (انظر أيضًا المهارات العمليّة ٥-٣).

سؤال

(٣) يبيّن الشكل ٥-٥ ثلاثة مكعبات.

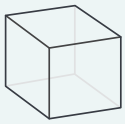
احسب مساحة السطح، والحجم، ونسبة مساحة السطح إلى الحجم لكل من هذه المكعبات.

مثال، طريقة الحساب للمكعب الصغير (طول الضلع = وحدة واحدة)

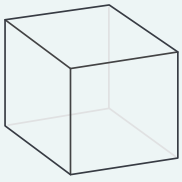
اتبع الخطوات الآتية:

لحساب مساحة سطح المكعب اضرب الطول في العرض في عدد أوجه المكعب (1 × 1 × 6 أوجه) والتي تساوي 6 ولحساب حجم المكعب اضرب الطول في العرض في الارتفاع (1 × 1 × 1) والذي يساوي 1 وبالتالي تكون نسبة مساحة السطح إلى الحجم هي 1:6

طول الضلع = وحدة واحدة



طول الضلع = وحدتان



طول الضلع = ثلاث وحدات

الشكل ٥-٥ رسم تخطيطي لثلاثة مكعبات.

تعتمد الخلايا على الانتشار لأنه الطريقة الرئيسيّة التي تتحرك بها الجزيئات داخل الخلايا، وينتج عن هذا حد لحجم الخلايا، لأن الزمن الذي تستغرقه الجزيئات لقطع أي مسافة عن طريق الانتشار يزيد مع زيادة المسافة. لذلك، يكون الانتشار فعالًا فقط في المسافات القصيرة جدًا. على سبيل المثال، جزيء الحمض الأميني يمكن أن ينتقل بضعة ميكرومترات في عدة ثوان، لكنه قد يستغرق عدة ساعات لينتشر 10 000 ميكرومتر (سنتيمتر واحد). لهذا معظم الخلايا صغيرة الحجم، ولا يزيد قطر معظم الخلايا حقيقيّة النواة عن 50 ميكرومتر، في حين أن الخلايا بدائيّة النواة تكون أصغر. أما إذا كانت الخلية التي تتنفس هوائيًا كبيرة جدًا فسينفد منها غاز الأكسجين بسرعة وتموت.

سؤال

٤ حقيقة أن نسبة مساحة السطح إلى الحجم تتناقص مع زيادة نمو الخلية، صحيحة بالنسبة إلى جميع الكائنات الحية. اشرح ارتباط ذلك بوجود أجهزة النقل داخل أجسام الكائنات الحيّة.

مهارات عملية ٥-٣

استقصاء تأثير نسبة مساحة السطح إلى الحجم على الانتشار

يمكن استقصاء تأثير تغير نسبة مساحة السطح إلى الحجم على الانتشار عن طريق قياس زمن انتشار الأيونات عبر مكعبات من الآجار بقياسات مختلفة.

يحضر الآجار الصلب في أوعية مناسبة مثل قوالب مكعبات الثلج. سيكون لون الآجار بنفسجيًا إذا تم تحضير الآجار مع محلول هيدروكسيد الصوديوم المخفف جدًا وكاشف عام. يمكن قطع المكعبات بالأبعاد المطلوبة (مثلًا: بجوانب 2 cm x 2 cm أو 1 cm x 1 cm أو 0.5 cm x 0.5 cm) من الآجار، ووضعها في وعاء، وتغطيتها بمحلول الانتشار مثل حمض الهيدروكلوريك المخفف (يجب أن تكون مولارية الحمض أعلى من هيدروكسيد الصوديوم بحيث يمكن ملاحظة انتشاره من خلال تغيّر لون الكاشف. أو يمكن تكوين الآجار من الكاشف العام فقط بالرغم من أن لونه سيتأثر بالرقم الهيدروجيني pH للماء المستخدم). يمكن قياس الزمن الذي يستغرقه الحمض ليغيّر لون الكاشف في مكعبات الآجار، أو قياس المسافة التي يقطعها الحمض في المكعب في زمن معيّن (على سبيل المثال 5 دقائق)، ويمكن تحويل الفترات الزمنية إلى نسب.

أخيرًا، يمكن تكوين تمثيل بياني لمعدل الانتشار (معدل تغيّر اللون) مقابل نسبة مساحة السطح إلى الحجم.

يمكنك تصميم المزيد من التجارب باستخدام الطريقة نفسها، كاستقصاء تأثير الفرق في منحدر التركيز على معدل الانتشار.

الانتشار المسهّل

لا يمكن للجزيئات القطبيّة الكبيرة مثل الجلوكوز والأحماض الأمينيّة والأيونات مثل الصوديوم (Na^+) أو الكلوريد (Cl^-) أن تنتشر عبر الطبقة الثنائية للدهون المفسفرة. بل يمكنها عبور الغشاء فقط بمساعدة جزيئات بروتين معيّنة. يسمّى الانتشار الذي يحتاج إلى مساعدة بهذه الطريقة **الانتشار المسهّل (أو الميسر)** **Facilitated diffusion**. تعني «مسهّل» أنه أصبح سهلًا أو أصبح ممكنًا، فالبروتينات تسهّل عملية الانتشار.

يوجد نوعان من البروتين الناقل يُسهمان في ذلك، هما **البروتينات القنويّة** **Channel proteins** و**البروتينات الحاملة** **Carrier proteins**. وكل بروتين قنوي أو بروتين حامل متخصص جدًا، حيث يسمح لنوع معين من الجزيئات أو الأيونات بالمرور عبره.

مصطلحات علمية

الانتشار المسهّل (الميسر) Facilitated diffusion: انتشار مادة بوساطة بروتين ناقل (بروتين قنوي أو بروتين حامل) في غشاء الخلية. يوفر البروتين مناطق محبة للماء التي تسمح للجزيء أو الأيون بالمرور عبر الغشاء، والتي بدونه يكون لها أقل نفاذية.

البروتين القنوي Channel protein: بروتين غشائي له شكل ثابت يحتوي على مسامّ ممتلئ بالماء يمكن من خلاله للأيونات أو الجزيئات المنتقاة والمحبة للماء المرور بالانتشار المسهّل أو النقل النشط.

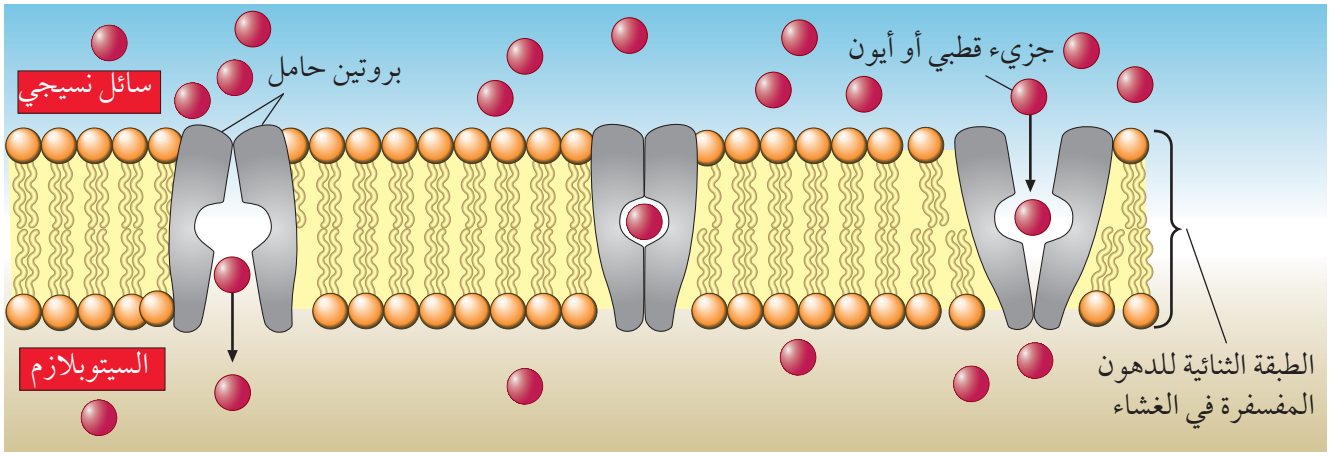
البروتين الحامل Carrier protein: بروتين غشائي يغيّر شكله ليسمح بمرور أيونات أو جزيئات معيّنة إلى داخل الخليّة أو خارجها بالانتشار المسهّل أو النقل النشط.

البروتينات القنويّة

تتصف البروتينات القنويّة Channel proteins بأن لها شكلًا ثابتًا، ومسامًا ممتلئة بالماء كجزء من تركيبها، تسمح للمواد المشحونة، وعادة الأيونات، بالانتشار عبر الغشاء. معظم البروتينات القنويّة «مبوبة أو ذات أبواب Gated»، وهذا يعني أن جزءًا من جزيء البروتين على الجانب الداخلي للغشاء يمكن أن يتحرك ليغلق المسام أو يفتحها، مثل البوابة، الأمر الذي يسمح بالتحكم في تبادل الأيونات. ومن الأمثلة على ذلك، البروتينات المبوبة الموجودة في أغشية سطح الخليّة العصبيّة. نوع واحد منهما يسمح بدخول أيونات الصوديوم (Na^+)، وذلك أثناء إحداث جهد الفعل Action potential، ونوع آخر يسمح بخروج أيونات البوتاسيوم (K^+) أثناء إعادة الاستقطاب Repolarisation (ستتعرف عليه بالتفصيل في الصف الثاني عشر). تتكون بعض القنوات من بروتين مفرد، وتتكوّن أخرى من عدة بروتينات مجتمعة. وتتطلب بعض البروتينات القنوية المبوبة طاقة (ATP) لتشغيل البوابة.

البروتينات الحاملة

تتصف البروتينات الحاملة بأن لها شكلًا غير ثابت، فهي تتقلب بالتناوب بين شكلَين (الشكل ٥-٦). ونتيجة لذلك، يفتح موقع الارتباط بالتناوب، على أحد جانبَي الغشاء، ثم على الجانب الآخر، بما يسمح للجزيء أو الأيون بعبور الغشاء. وتغيّر بعض البروتينات الحاملة، شكلها تلقائيًا، الأمر الذي يسمح بحدوث الانتشار المسهّل، كما تعمل بعض البروتينات الحاملة كمضخات Pumps تتطلب طاقة وتشارك في النقل النشط (ستتعرف على ذلك بالتفصيل لاحقًا في هذه الوحدة).



الشكل ٥-٦ التغيّرات في شكل البروتين الحامل أثناء الانتشار المسهّل. يحدث في هذه الحالة محصلة انتشار للجزيئات أو الأيونات في الخليّة مع منحدر التركيز.

معدل الانتشار عبر البروتينات القنويّة والحاملة

يعتمد اتجاه حركة الجزيئات عند انتشارها عبر الغشاء على تركيزها النسبي على كل جانب من جانبَي الغشاء. فهي تتحرك مع منحدر التركيز من التركيز الأعلى إلى التركيز الأقل. ومع ذلك، فإن المعدل الذي يحدث فيه الانتشار المسهّل يتأثر أيضًا بعدد جزيئات البروتينات القنويّة أو البروتينات الحاملة الموجودة في الغشاء، وما إذا كانت البروتينات القنويّة مفتوحة أم لا.

الأسموزيّة

الأسموزيّة Osmosis نوع خاص من الانتشار يشمل فقط جزيئات الماء. تذكّر أن:

المحلول = المذاب + المذيب

في محلول السكر على سبيل المثال، المذاب هو السكر، والمذيب هو الماء.

يبيّن الشكل ٥-٧ محلولَين تم فصلهما بغشاء منفذ جزئيًا. يسمح هذا الغشاء لجزيئات معيّنة فقط بالمرور خلاله، تمامًا مثل أغشية الخلايا الحيّة. للمحلول B في الشكل ٥-٧ أ تركيز أعلى من جزيئات المذاب مقارنة بالمحلول A، لذلك يوصف المحلول B بأنه أكثر تركيزًا من المحلول A، والمحلول A مخفف أكثر من المحلول B.

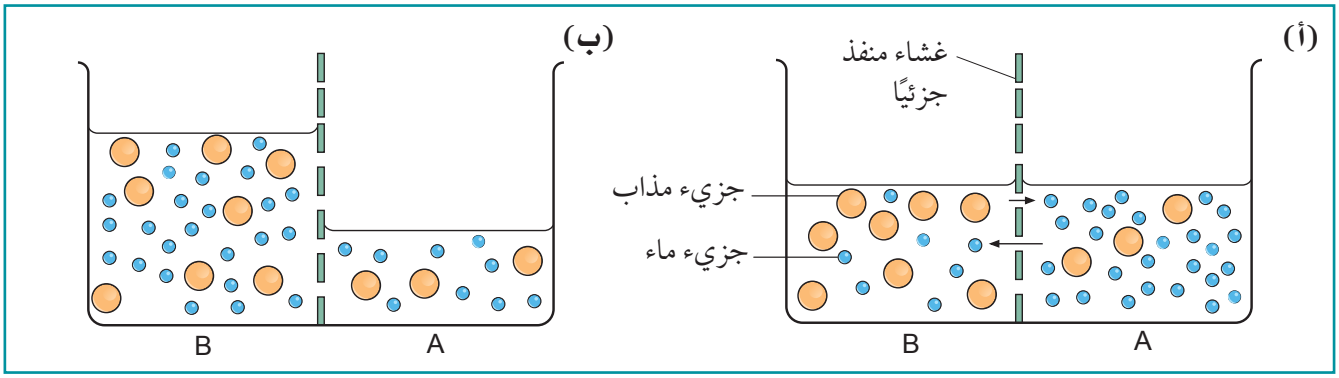
مصطلحات علمية

الأسموزيّة Osmosis: محصلة الانتشار لجزيئات الماء من منطقة ذات جهد ماء أعلى إلى منطقة ذات جهد ماء أقل من خلال غشاء منفذ جزئيًا.

أولًا، تخيّل ما سيحدث لو لم يكن الغشاء موجودًا. سيتحرك كل من الجزيئات المذابة وجزيئات الماء عشوائيًا وبحرية في أي مكان داخل المحلولَين. ومع تحركها عشوائيًا، سوف تتوزع جزيئات الماء وجزيئات المذاب بالتساوي في جميع أنحاء الحيّز المتاح بالانتشار. وعند الوصول إلى حالة الاتزان سيكون تركيز المحلول نفسه في A و B.

الآن، انظر إلى الحالة التي يكون فيها الغشاء المنفذ جزئيًا موجودًا، كما في الشكل ٥-٧. لاحظ أنّ حجم جزيئات المذاب كبير بحيث لا يمكنها عبور الغشاء وستعبر جزيئات الماء فقط. إذ تتحرّك جزيئات المذاب بشكل عشوائي، لكنها عندما تصطدم بالغشاء فإنها ببساطة ترتد مرة أخرى، ليبقى عدد جزيئات المذاب على جانبَي الغشاء نفسه. وتتحرك جزيئات الماء أيضًا بشكل عشوائي، لكنها قادرة على الانتقال من A إلى B، ومن B إلى A. وبمرور الزمن، ستميل جزيئات الماء إلى الانتشار أكثر بالتساوي بين A و B.

وهذا يعني أنه في النهاية سيحتوي A على عدد قليل من جزيئات الماء وسيصبح المحلول أكثر تركيزًا بالمذاب؛ وسيحتوي B على عدد أكبر من جزيئات الماء، بحيث يصبح مخففًا أكثر. سيزداد حجم السائل في B لأنه يحتوي الآن



الشكل ٥-٧ محلولان منفصلان بغشاء منفذ جزئيًا. (أ) قبل الأسموزيّة. جزيئات المذاب كبيرة بحيث لا تمر عبر مسام الغشاء، لكن جزيئات الماء صغيرة يمكنها المرور. (ب) كما يشير السهمان في الرسم (أ)، تنتقل جزيئات الماء من A إلى B أكثر ممّا تنتقل من B إلى A، وبالتالي فإن محصلة الحركة هي من A إلى B، والذي يؤدي إلى ارتفاع مستوى المحلول في B، وخفض مستوى المحلول A.

على العدد نفسه من جزيئات المذاب، لكن مع مقدار أكبر من جزيئات الماء. وسيكون للمحلولين في A و B تركيز متقارب إلى حد كبير.

تسمى محصلة الانتشار لجزيئات الماء من منطقة ذات جهد ماء أعلى إلى منطقة ذات جهد ماء أقل، عبر غشاء منفذ جزئيًا، بالأسموزيّة.

مصطلحات علمية

جهد الماء Water potential: مقياس لميل الماء إلى الانتقال من مكان إلى آخر. ينتقل الماء من المحلول ذي جهد الماء الأعلى إلى المحلول ذي جهد الماء الأقل. يقل جهد الماء بإضافة المذاب، ويزيد بتأثير الضغط. رمز جهد الماء هو Ψ أو Ψ_w.

جهد الماء

يُستخدم مصطلح **جهد الماء Water potential** كثيرًا عند عرض موضوع الأسموزيّة. ويمكن استخدام الحرف اليوناني ساي Ψ للتعبير عنه.

يمكن القول إن جهد الماء هو قابلية أو ميل الماء إلى الانتقال من مكان إلى آخر؛ إذ ينتقل الماء دائمًا من منطقة ذات جهد ماء مرتفع إلى منطقة ذات جهد ماء منخفض. لذا يتحرك الماء دائمًا مع منحدر جهد الماء.

سيتحرك الماء إلى أن يتساوى جهد الماء في كل الحيز الموجود فيه، وعند هذه النقطة يمكن القول إنه تم الوصول إلى الاتزان.

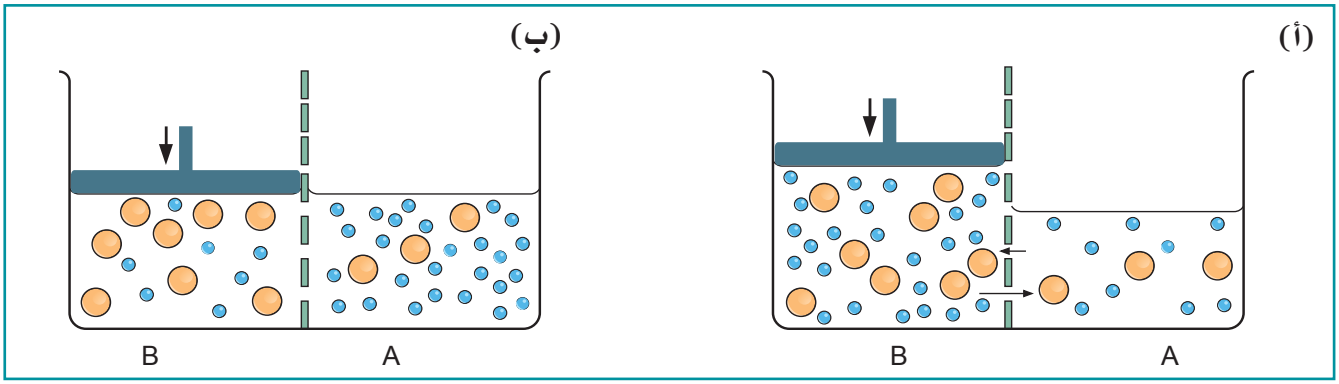
يعتمد جهد الماء بالإشارة إلى الأسموزيّة على عاملَين:

- تركيز المحلول.
- مقدار الضغط المؤثر عليه.

على سبيل المثال، المحلول الذي يحتوي على كثير من الماء (محلول مخفف) له جهد ماء أعلى من المحلول الذي يحتوي نسبيًا على قليل من الماء (محلول مركز). في الشكل ٥-٧ أ، المحلول A له جهد ماء أعلى من المحلول B، لأن المحلول A مخفف (أقل تركيزًا) من المحلول B. ولهذا السبب فإن محصلة حركة الماء هي من A إلى B (جهد الماء الأعلى إلى جهد الماء الأقلّ).

لاحظ الآن مرة أخرى الشكل ٥-٧ ب. ماذا يحدث إذا أمكننا الضغط بشدة على المحلول B، كما هو مبيّن في الشكل ٥-٨ أ؟

مع تأثير الضغط على المحلول B يصبح إعادة بعض الماء مرة أخرى إلى المحلول A ممكنًا. وبزيادة الضغط على المحلول B، يزداد ميل الماء إلى الخروج منه، أي يزيد جهد الماء فيه حتى يصبح أعلى من جهد الماء في A. وهكذا يزيد جهد الماء في المحلول بزيادة الضغط عليه.



الشكل ٥-٨ (أ) يزيد تأثير الضغط على المحلول من ميل الماء إلى الخروج منه. لذا في هذا الشكل يزيد الضغط من جهد الماء في المحلول B. (ب) ينتقل الماء من B إلى A نتيجة لتأثير الضغط، فتظهر حالة الاتزان. أعاد تأثير الضغط المحلولَين إلى الحالة التي يبيّنها الشكل ٥-٧ أ.

قياس جهد الماء

يمكن قياس جهد الماء بوحدات الضغط كيلوباسكال kiloPascals (تكتب اختصارًا kPa). وكما لاحظت يكون جهد الماء للماء النقي دائمًا أعلى من جهد الماء للمحلول (بافتراض عدم وجود ضغط إضافي على المحلول). تم ضبط جهد الماء للماء النقي عند 0 kPa. وحيث إن لجميع المحاليل جهد ماء أقل من الماء النقي، فإن جهد الماء لجميع المحاليل يجب أن يكون أقل من الصفر. أي أنه يكون سالبًا، وتكون الوحدات kPa-. سيكون للمحلول المخفف قيمة سالبة أقل من المحلول المركز. على سبيل المثال، محلول له جهد ماء يساوي 10 kPa-، يكون جهد الماء له أعلى من محلول له جهد ماء 20 kPa-.

سؤال

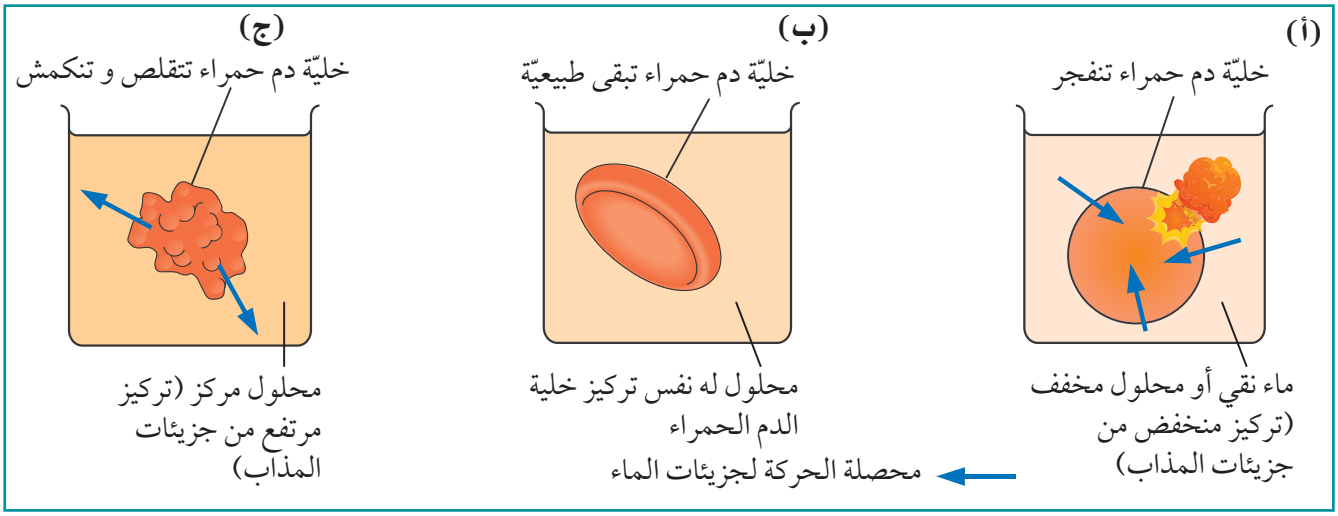
٥ أ. في الشكل ٥-٧ ب وصل المحلولَين A و B إلى حالة الاتزان، لذلك لا توجد محصلة الحركة لجزيئات الماء. حدِّد جهد الماء في كل من المحلولَين A و B؟

ب. ١. في الشكل ٥-٨ ب المحلولان A و B في حالة الاتزان. أيّ المحلولان A أو B أكثر تركيزًا؟

٢. لماذا لا توجد محصلة حركة لجزيئات الماء من المحلول الأكثر تخفيفًا إلى المحلول الأكثر تركيزًا؟

الأسموزية في الخلايا الحيوانية

يبيّن الشكل ٥-٩ تأثير الأسموزيّة على الخليّة الحيوانيّة. النوع المناسب من الخلايا للدراسة في العمل المختبري هو خلايا الدم الحمراء. ستظهر شريحة مجهرية لدم طازج أعدادًا كبيرة من خلايا الدم الحمراء. يمكن أخذ عينات مختلفة من الدم ومزجها مع محاليل ذات جهد ماء مختلف. يبيّن الشكل ٥-٩ أ أنه إذا كان جهد الماء في المحلول المحيط بالخلية مرتفعًا جدًا، فستنتفخ الخليّة وتنفجر؛ أمّا إذا كان منخفضًا جدًا فستتقلص الخليّة (الشكل ٥-٩ ج). وهذا يوضح أحد أسباب أهميّة الحفاظ على ثبات جهد الماء في أجسام الحيوانات.



الشكل ٥-٩ حركة الماء من وإلى خلايا الدم الحمراء بالأسموزيّة في محاليل بتراكيز مختلفة.

سؤال

٦ في الشكل ٥-٩:

أ. أي محلول جهده المائي أعلى؟

ب. في أي محلول يتساوى جهد الماء في خليّة الدم الحمراء مع جهد الماء في المحلول؟

الأسموزيّة في الخلايا النباتيّة

تحاط الخلايا النباتيّة، بجدران خلويّة قويّة جدًا وصلبة. إذا تم وضع خليّة نباتيّة في ماء نقي أو محلول مخفف (الشكل ٥-١٠أ)، يدخل الماء بالأسموزيّة إلى الخليّة عبر غشاء سطح الخليّة المنفذ جزئيًا لأن للماء أو للمحلول جهدًا مائيًا أعلى من الخليّة النباتيّة. لذا سيزداد حجم الخليّة كما في الخليّة الحيوانيّة، لكن جدار الخليّة النباتيّة يقاوم تمدد **البروتوبلاست Protoplast**، وهو الجزء الحي من الخليّة الموجود إلى الداخل من الجدران الخلويّة بما في ذلك غشاء سطح الخليّة. يبدأ ضغط الخليّة بالتراكم بسرعة داخلها، ويزيد هذا الضغط من جهد الماء للخليّة حتى يساوي جهد الماء داخل الخليّة جهد الماء خارجها، ويحصل الاتزان (الشكل ٥-١٠ب). فجدار الخليّة غير مرن نسبيًا بحيث يتراكم الضغط بسرعة، الأمر الذي يؤدي إلى دخول القليل من الماء للوصول إلى الاتزان، فيحول جدار الخليّة دون انفجارها، على عكس ما يحدث عندما توضع الخليّة الحيوانيّة في ماء نقي أو محلول مخفف. عندما تمتلئ الخليّة النباتيّة بالكامل بالماء، توصف بأنها ممتلئة Turgid.

يبيّن الشكل ٥-١٠ج ما يحدث عندما توضع الخليّة النباتيّة في محلول ذي جهد مائي منخفض، مثل محلول السكروز المركز. إذ يخرج الماء من الخليّة في هذا المحلول بالأسموزيّة، وينكمش البروتوبلاست أثناء ذلك تدريجيًا بحيث لا يضغط على جدران الخليّة مطلقًا. يمكن أن تستمر جزيئات المذاب وجزيئات الماء في المحلول خارج الخليّة بالمرور عبر جدار الخليّة المنفذ كليًا، بحيث يبقى المحلول الخارجي على اتصال مع البروتوبلاست المنكمش (الشكل ٥-١١ج).

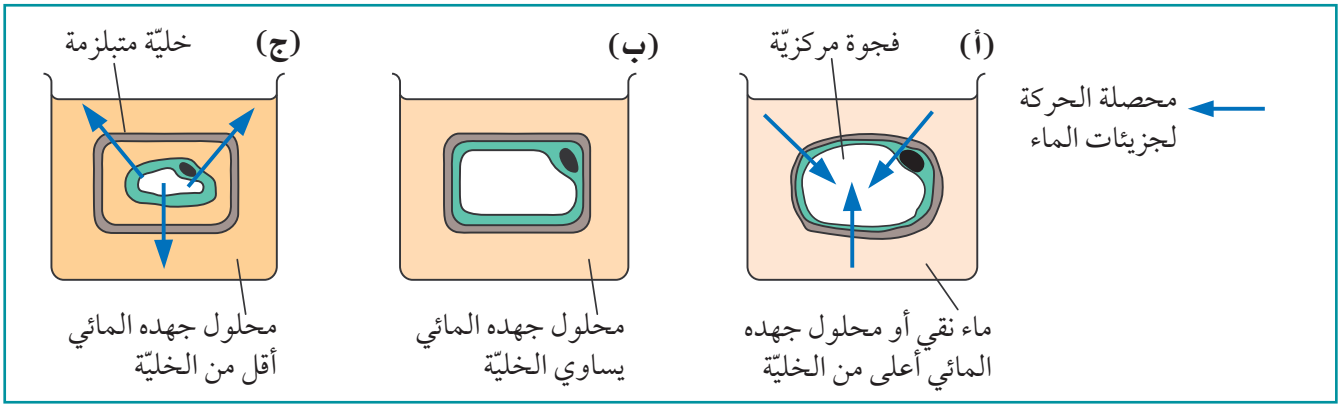
مع استمرار انكماش البروتوبلاست يبدأ بالتراجع تدريجيًا بعيدًا عن جدار الخليّة (الشكل ٥-١١ والصورة ٥-٣). تسمّى هذه العمليّة **البلزمة Plasmolysis**، وتسمّى الخليّة التي تحدث فيها البلزمة خليّة متبلزمة **Plasmolysed** (الشكل ٥-١٠ج و ٥-١١ والصورة ٥-٣). والنقطة التي على وشك أن تحدث عندها البلزمة تسمى **البلزمة الابتدائية Incipient plasmolysis**. عند هذه النقطة، يكون البروتوبلاست قد انسحب قليلًا بعيدًا عن الجدار الخلوي ولا يشكل أي ضغط على جدار الخليّة. وبعد ذلك، وكما هو الحال في الخليّة الحيوانيّة، يتم الوصول إلى حالة الاتزان عندما ينخفض جهد الماء للخليّة حتى يعادل جهد الماء للمحلول الخارجي.

مصطلحات علمية

البروتوبلاست
Protoplast: المحتويات الحيّة للخليّة النباتيّة، بما في ذلك غشاء سطح الخليّة، باستثناء جدار الخليّة.

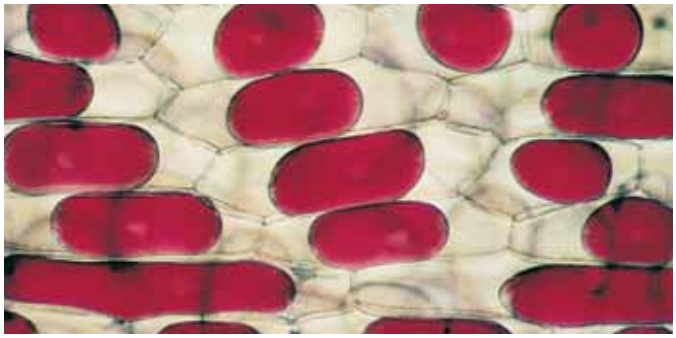
البلزمة Plasmolysis: فقدان الماء من خليّة نباتية أو بدائيّة النواة إلى النقطة التي ينكمش فيها البروتوبلاست بعيدًا عن جدار الخليّة.

البلزمة الابتدائية
Incipient plasmolysis: النقطة التي يكون عندها بدء حدوث البلزمة عندما تبدأ الخليّة النباتيّة أو الخليّة بدائيّة النواة بفقد الماء. عند هذه النقطة لا يضع البروتوبلاست أي ضغط على جدار الخليّة.

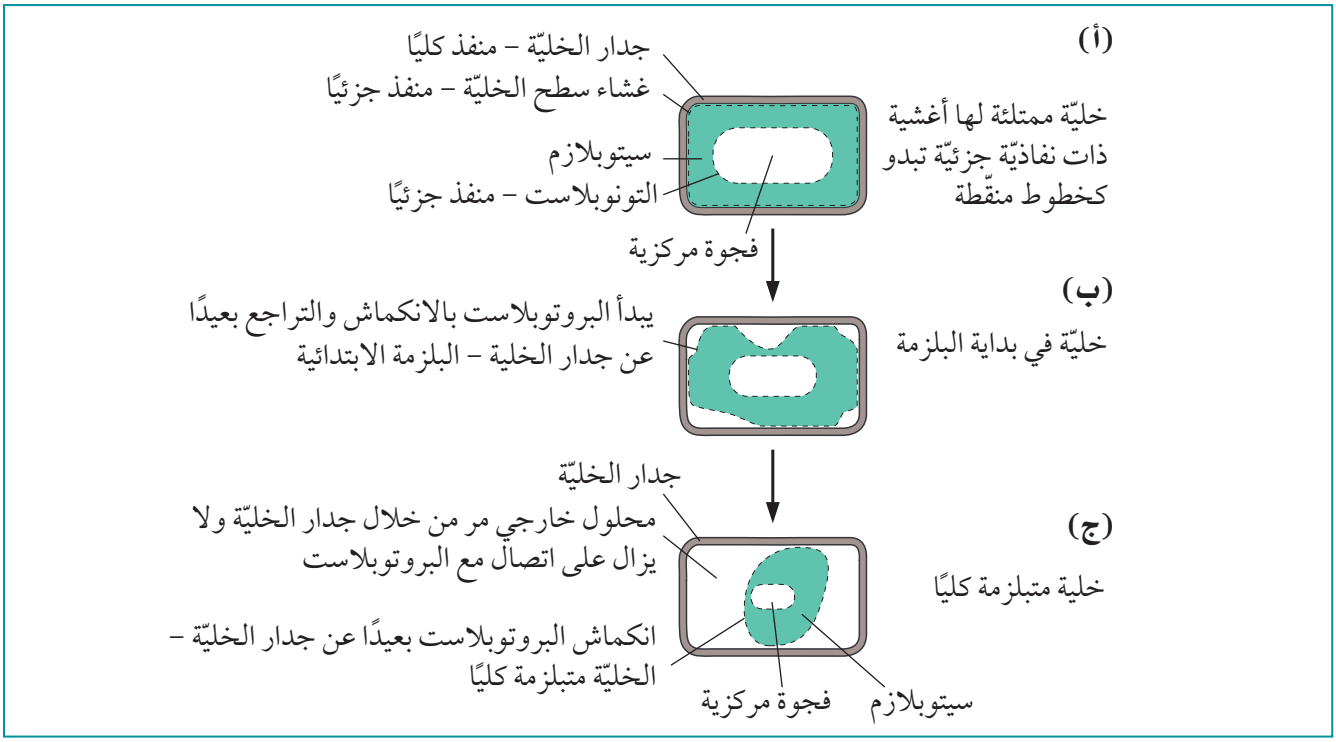


الشكل ٥-١٠ التغيّرات الأسموزيّة في خليّة نباتيّة وضعت في محاليل تختلف في جهدها المائي.

يمكن بسهولة رؤية التغيّرات السابقة بالمجهر الضوئي باستخدام طبقة رقيقة منزوعة من بشرة أوراق التخزين المنتفخة لبصيلات نبات البصل الأحمر (الصورة ٥-٣). كما يمكن وضع الطبقة الرقيقة من البشرة في مجموعة مختلفة التراكيز من محاليل السكروز لمعرفة أيّ منها يسبّب البلزمة (مهارات عملية ٥-٤).



صورة ٥-٣ صورة مجهرية ضوئية لخلايا بصل أحمر متبلزمة (x100).



الشكل ٥-١١ كيفية حدوث البلزمة

أسئلة

(٧) يبيّن الشكل ٥-١١ والصورة ٥-٣ ظاهرة البلزمة. لماذا لا تحدث البلزمة في الخليّة الحيوانيّة؟

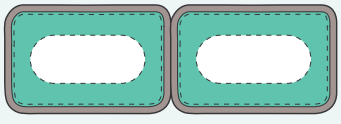
(٨) يمكن أن يحاكي نفخ البالون دخول الماء إلى الخليّة بالأسموزيّة.

أ. ماذا يمثل سطح البالون؟

ب. ماذا سيحدث إذا استمر نفخ البالون (خليّة حيوانيّة)؟

ج. ماذا سيحدث إذا وجد البالون في صندوق متين (خليّة نباتيّة)؟

(٩) يبيّن الشكل ٥-١٢ خليتَين نباتيتَين متجاورتَين. جهد الماء للخليّة (أ) أعلى من جهد الماء للخليّة (ب) (تذكّر أن جهد الماء يكون أعلى كلما كان أقرب إلى الصفر).



الشكل ٥-١٢ جهد الماء في خليتَين نباتيتَين متجاورتَين.

أ. في أي اتجاه سيكون هناك محصلة حركة لجزيئات الماء؟

ب. اشرح المقصود بالمصطلح «محصلة الحركة» في ضوء الشكل ٥-١٢.

ج. فسر إجابتك في (أ).

د. اشرح ما سيحدث إذا وُضعت الخليتان في:

١. ماء نقي.

٢. محلول سكروز بجهد ماء أقل من كلا الخليتَين.

مهارات عملية ٥-٤

استقصاء الأسموزيّة في الخلايا النباتيّة

ملاحظة الأسموزيّة في الخلايا النباتيّة

تعد طبقة البشرة عينة جيدة لملاحظة البلزمة، والعصارة الملوّنة تجعل الملاحظة أسهل. فالعينات المناسبة هي السطوح الداخليّة لأوراق التخزين المنتفخة من بصيلات البصل الأحمر، وأوراق الملفوف الأحمر.

يمكن وضع طبقة البشرة في مجموعة من محاليل السكروز بمولاريات (حتى 1.0 mol/L) أو محاليل كلوريد الصوديوم حتى 3%. يمكن بعد ذلك وضع قطع صغيرة من الطبقة على شرائح زجاجيّة في محلول مناسب، وملاحظتها بالمجهر. قد تتطلب البلزمة عدة دقائق.

تحديد جهد الماء لنسيج نباتي

المبدأ في هذه التجربة إيجاد محلول بجهد مائي معروف لا يتسبب للنسيج النباتي الذي يتم فحصه كسب الماء أو فقده. توضع عينات الأنسجة – مثل رقائق بطاطس من حجم قياسي – في مجموعة من المحاليل مختلفة الجهد المائي؛ يمكن استخدام محاليل السكروز لتصل إلى حالة الاتزان، ثم يتم تسجيل التغيّرات في الكتلة أو الحجم. ويمكن استخدام طول الرقائق لمقياس الحجم إذا كانت جميع الرقائق متماثلة الأبعاد. يسمح التمثيل البياني للنتائج بتحديد المحلول الذي لم يسبّب أي تغيّر في الكتلة أو الحجم، ويكون جهد الماء لهذا المحلول مساويًا للنسيج النباتي.

سؤال

(١٠) في تجربة لتحديد جهد الماء في نسيج جذر الشمندر الطازج، قطع طالب 12 شريحة مستطيلة الشكل من وسط جذر شمندر كبير، وبسماكة 2 mm، وعرض 5 mm، وطول 50 mm. ثم غُمرت شريحتان في كل ستة أطباق بتري تمت تغطيتها. يحتوي أحدها على الماء، وتحتوي الأخرى على محاليل سكر بمولاريّة مختلفة بحد أقصى 1.0 mol/L. ثم قيست أطوال الشرائح بدقة باستخدام ورقة تمثيل بياني ترى من خلال قاع الأطباق. وقيس متوسط النسبة المئويّة للتغيّر في طول الشرائح بعد 6 ساعات.

أ. ما أهمية استخدام نسيج جذر الشمندر الطازج بدلًا من أنسجة جذر الشمندر المثلجة في هذه التجربة؟

ب. ما أهمية غمر شرائح جذر الشمندر مباشرة بعد قطعها؟

ج. اقترح سبب قياس الطول وليس الحجم.

د. لماذا أضيفت شريحتان على الأقل من العينة إلى كل طبق؟

هـ. لماذا تركت الأطباق مغطاة؟

و. اقترح ميزة **واحدة** لقياس التغيّر في الطول بدل التغيّر في الكتلة للشرائح في التجربة.

ز. اقترح ميزة **واحدة** لقياس التغيّر في الكتلة بدل التغيّر في الطول.

النقل النشط

غالبًا ما تكون بعض الأيونات مثل أيونات البوتاسيوم والكلوريد أكثر تركيزًا بمقدار 10-20 مرة داخل الخلايا مقارنة بخارجها. بمعنى آخر، يوجد منحدر تركيز بحيث يكون التركيز أقل خارج الخلية، والتركيز أعلى بداخلها. وبما أن الأيونات داخل الخليّة مصدرها أصلًا من المحلول الخارجي، فلا يمكن أن يكون الانتشار هو السبب في وجود المنحدر، لأن الأيونات تنتشر من التركيز العالي إلى التركيز المنخفض. لذلك يجب أن تتراكم الأيونات بعكس منحدر التركيز.

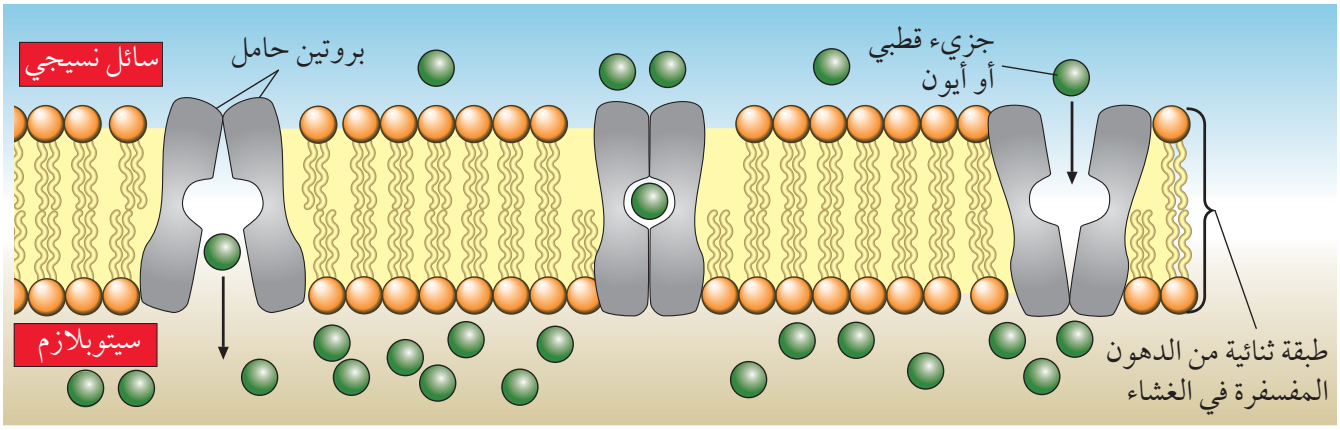
وبالإشارة إلى ما ذكر أعلاه، تسمى العمليّة المسؤولة **النقل النشط** Active transport، والتي تتم بوساطة بروتينات حاملة تسمّى المضخات Pumps، كل منها متخصص بنقل نوع معيّن من الجزيئات أو الأيونات؛ وعلى العكس من الانتشار المسهّل، يتطلب النقل النشط طاقة، لأن الحركة تحدث عكس منحدر التركيز. ويوفر غالبًا هذه الطاقة جزيء ATP (أدينوسين ثلاثي الفوسفات) الذي ينتج أثناء التنفس داخل الخليّة. تُستخدم الطاقة لجعل البروتين الحامل يغيّر من شكله، لينقل الجزيئات أو الأيونات عبر الغشاء في هذه العمليّة (الشكل ٥-١٣). كمثال على بروتين حامل يُستخدم للنقل النشط **مضخة صوديوم-بوتاسيوم** Sodium-potassium pump ($Na^+ - K^+$ pump) التي تتضح في الشكل ٥-١٤. لقد عثر على هذه المضخات في غشاء سطح الخليّة في جميع الخلايا الحيوانيّة، وهي تعمل في معظم الخلايا طوال الوقت، ويقدر أنها تستهلك في المتوسط 30% من طاقة الخليّة (70% في الخلايا العصبيّة).

دور مضخة صوديوم-بوتاسيوم هو أنها تضخ ثلاثة أيونات صوديوم إلى خارج الخليّة وتسمح في الوقت نفسه بدخول أيونَي بوتاسيوم إلى الخليّة مع استهلاك جزيء ATP. فكل من أيونات الصوديوم والبوتاسيوم موجب الشحنة، وكمحصلة نهائية يصبح داخل الخليّة سالبًا أكثر مقارنة بخارجها، ويتكوّن فرق جهد Potential difference عبر الغشاء.

مصطلحات علمية

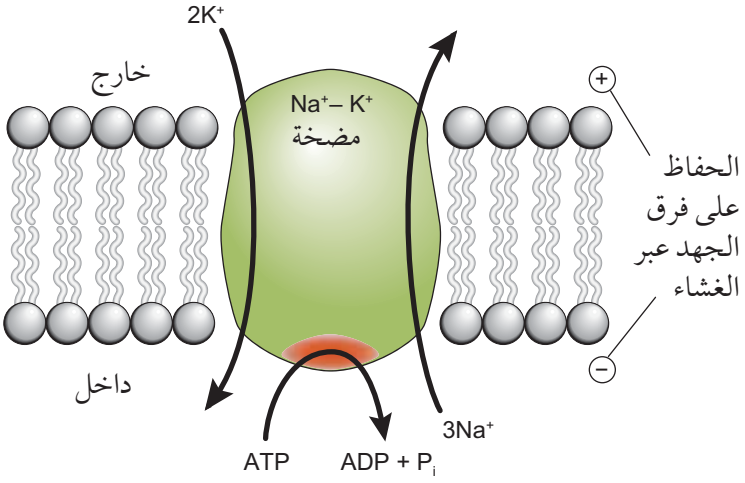
النقل النشط Active transport: حركة الجزيئات أو الأيونات بوساطة بروتينات ناقلة عبر غشاء الخليّة بعكس منحدر التركيز باستخدام طاقة من ATP.

مضخة صوديوم-بوتاسيوم Sodium-potassium pump ($Na^+ - K^+$ pump): بروتين غشائي (أو بروتينات) تنقل أيونات الصوديوم إلى خارج الخليّة وأيونات البوتاسيوم إلى داخلها باستخدام ATP.



الشكل ٥-١٣ التغيرات في شكل البروتين الحامل أثناء النقل النشط. يتم هنا ضخ الجزيئات أو الأيونات إلى داخل الخليّة عكس منحدر التركيز (قارن مع الشكل ٥-٦).

يبيّن الشكل ٥-١٤ موقع مستقبل ATP على السطح الداخلي للمضخة (يبدو بالأحمر في الرسم التخطيطي). يعمل موقع المستقبل كإنزيم ATPase لتحقيق التحلل المائي لجزيء ATP إلى ADP (أدينوسين ثنائي الفوسفات) والفوسفات لإطلاق الطاقة.



الشكل ٥-١٤ مضخة صوديوم – بوتاسيوم

لذلك يمكن تعريف النقل النشط على أنه طريقة نقل مستهلكة للطاقة تنتقل فيها الجزيئات والأيونات عبر الغشاء عكس منحدر التركيز (من التركيز الأقل إلى التركيز الأعلى) حيث يوفر ATP الطاقة من تنفس الخليّة. كما يمكن أن يحدث النقل النشط داخل الخليّة أو خارجها.

النقل النشط مهم لإعادة الامتصاص في الكلية، حيث يجب إعادة امتصاص بعض الجزيئات والأيونات المفيدة إلى مجرى الدم بعد ترشحها Filtration في أنيبيبات الكلية. وهو أيضًا يشارك في امتصاص بعض نواتج الهضم في الأمعاء. ويستخدم النبات النقل النشط لتفريغ السكر من الخلايا التي تقوم بعمليّة التمثيل الضوئي في الأوراق إلى نسيج اللحاء ونقله إلى بقيّة أنحاء النبات، ولنقل الأيونات غير العضويّة من التربة إلى الشعيرات الجذريّة.

الإدخال الخلوي والإخراج الخلوي

سبق أن درست عن الطرائق التي يمكن فيها للجزيئات أو الأيونات المفردة عبور الأغشية. لكن الخلايا تحتاج أحيانًا إلى نقل مواد ذات حجوم كبيرة عبر أغشية سطح الخلية، وتتطلب آليات نقل مختلفة عن الآليات التي درستها. وتشمل هذه المواد جزيئات كبيرة مثل البروتينات والسكريات المتعددة، وأجزاء من الخلايا أو حتى خلايا كاملة. ونتيجة لذلك تستخدم الخلايا آليات النقل الحويصلي Bulk transport لإدخال كميات كبيرة من المواد إلى الخلايا أو إخراجها منها عن طريق الحويصلات أو الفجوات.

يسمّى النقل الحويصلي للمواد إلى داخل الخلايا **الإدخال الخلوي** **Endocytosis**، ويسمّى النقل الحويصلي للمواد إلى خارج الخلايا **الإخراج الخلوي** **Exocytosis**. وتحتاج هاتان العمليتان إلى الطاقة.

مصطلحات علمية

الإدخال الخلوي
Endocytosis: النقل الخلويّ الكليّ للسوائل (الشرب الخلوي) أو المواد الصلبة (البلعمة) إلى الخليّة، عن طريق انثناء غشاء سطح الخليّة إلى الداخل مشكلًا حويصلات تحتوي على المواد. والإدخال الخلوي عمليّة نشطة تحتاج إلى طاقة ATP.

الإخراج الخلوي
Exocytosis: حركة كتل من السوائل أو المواد الصلبة إلى خارج الخليّة، عن طريق اندماج حويصلات تحتوي على المادة مع غشاء سطح الخليّة. والإخراج الخلوي عمليّة نشطة تحتاج إلى طاقة ATP.

مصطلحات علمية

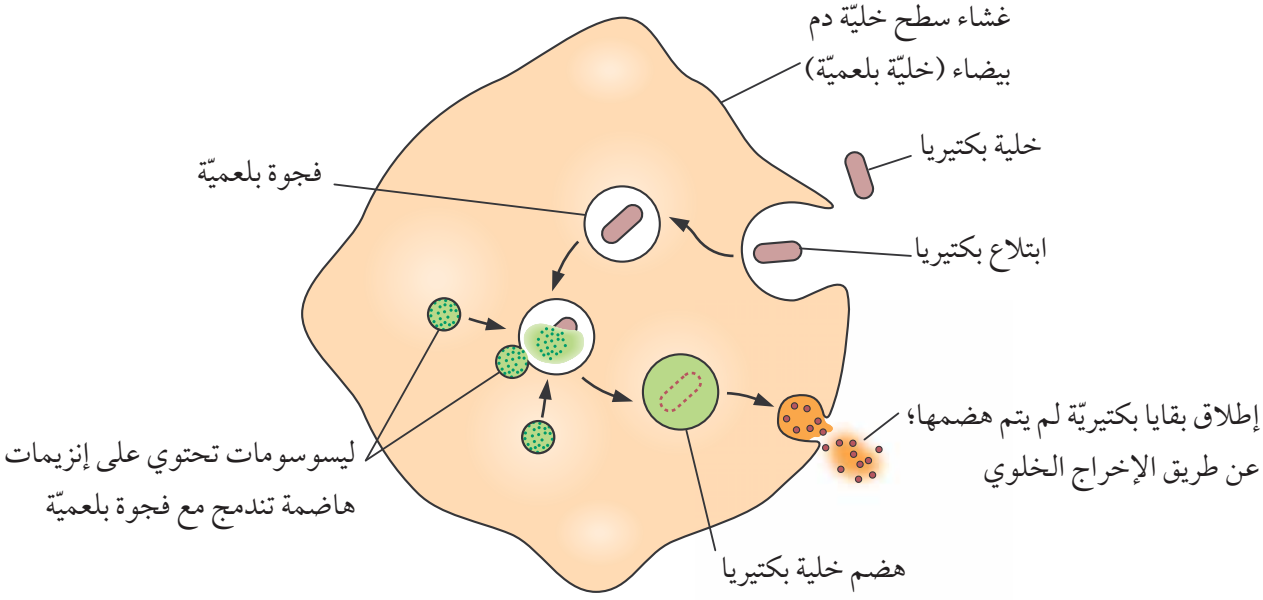
الخلايا البلعميّة

Phagocytes: نوع من الخلايا يبتلع (يأكل) ويدمر مسببات الأمراض أو خلايا الجسم التالفة بعمليّة تسمّى البلعمة. الخلايا البلعميّة هي نوع من خلايا الدم البيضاء.

الإدخال الخلوي

يبتلع غشاء سطح الخليّة في الإدخال الخلوي المادة مكوّنًا كيسًا صغيرًا (يسمّى أيضًا حويصلة Vesicle أو فجوة Vacuole). ويكون الإدخال الخلوي على شكلَين:

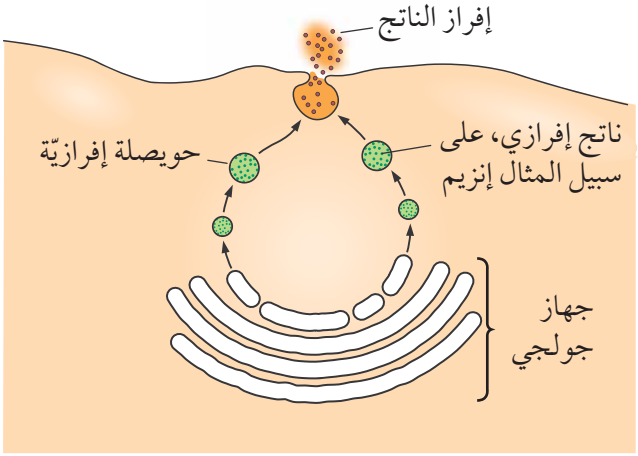
- البلعمة Phagocytosis أو «الأكل الخلوي»، وهي التهام كتل من مادة صلبة، وتسمى الخلايا المتخصصة بذلك **الخلايا البلعميّة Phagocytes**، وتسمى العمليّة البلعمة، كما تسمّى الفجوات بالفجوات البلعميّة Phagocytic vacuoles. ومثال على ذلك، ابتلاع خلايا الدم البيضاء للبكتيريا (الشكل ٥-١٥).
- الشرب الخلوي Pinocytosis وهو أخذ السوائل بكميات كبيرة. وغالبًا ما تكون الفجوات أو الحويصلات المتكوّنة صغيرة جدًا، وتسمّى العمليّة في هذه الحالة الشرب الخلوي الدقيق Micropinocytosis.



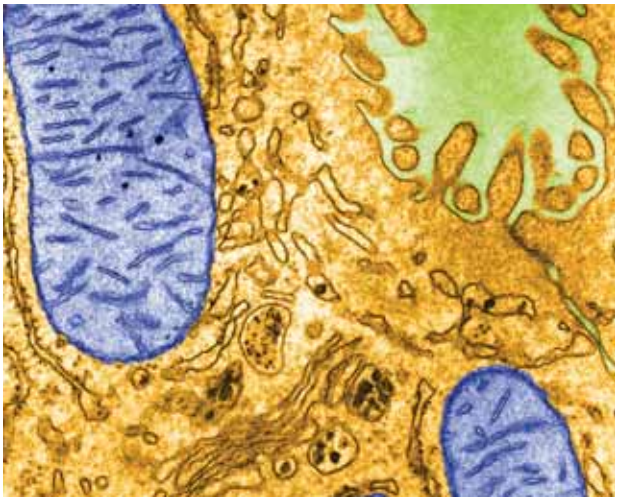
الشكل ٥-١٥ مراحل عمليّة بلعمة بكتيريا بواسطة خلية دم بيضاء.

الإخراج الخلوي

الإخراج الخلوي عكس الإدخال الخلوي، وهو العمليّة التي تُزال فيها المواد من الخلايا (الشكل ٥-١٦)، ومن الأمثلة عليه، إفراز الإنزيمات الهاضمة من خلايا البنكرياس (الصورة ٥-٤). الحويصلات الإفرازيّة من جهاز جولجي تحمل الإنزيمات إلى غشاء سطح الخليّة لتفرز محتوياتها في الخارج. وتستخدم الخلايا النباتيّة الإخراج الخلوي لبناء جدارها الخلوي.



الشكل ٥-١٦ الإخراج الخلوي في خليّة إفرازيّة. إذا كان الناتج المفرز بروتينًا، فغالبًا ما يشارك جهاز جولجي في تعديل البروتين كيميائيًا قبل إفرازه، كما في حالة إفراز البنكرياس للإنزيمات الهاضمة.



الصورة ٥-٤ صورة مجهرية إلكترونية (النافذ) لخليّة بنكرياس عنيبيّة تفرز البروتينات خارج الخليّة الظاهر باللون الأخضر. وتبدو حويصلات جولجي (الحويصلات الإفرازيّة) بالمحتويات ذات الصبغة الداكنة وهي تنتقل من جهاز جولجي إلى غشاء سطح الخليّة. وتظهر الميتوكندريا باللون الأزرق.

سؤال

(١١) يوجد عدد كبير من الميتوكوندريا في خلايا البنكرياس العنيبيّة Pancreatic acinar cells. اقترح سببًا لهذا (انظر الصورة ٥-٤).

ملخّص

التركيب الأساسي للغشاء: مكون من طبقة ثنائية من الدهون المفسفرة بسماكة 7 nm تحتويان على جزيئات بروتين. يوصف التركيب بأنه فسيفسائي سائل.
تمثل الطبقة الثنائية للدهون المفسفرة حاجزًا لمعظم المواد الذائبة في الماء، لأن داخل الغشاء كاره للماء.
الكوليسترول ضروري لسيولة الأغشية واستقرارها.
بعض البروتينات ناقلة، تنقل الجزيئات أو الأيونات عبر الغشاء. وهي إمّا أن تكون بروتينات قنويّة أو بروتينات حاملة. للبروتينات القنويّة شكل ثابت، والبروتينات الحاملة تغيّر شكلها. تعمل بعض البروتينات كإنزيمات.
تشكل الدهون السكريّة والبروتينات السكريّة مستقبلات؛ على سبيل المثال، للهرمونات والنواقل العصبيّة. وتشكل الدهون السكريّة والبروتينات السكريّة أيضًا علامات Markers تعرّف الخلايا على بعضها البعض.
تؤدّي الأغشية دورًا مهمًا في التأشير الخلوي، وهي الوسيلة التي تتواصل فيها الخلايا مع بعضها البعض.
يتحكم غشاء سطح الخليّة في التبادل بين الخليّة وبيئتها المحيطة. تحدث بعض التفاعلات الكيميائيّة على أغشية العضيات داخل الخلية، كما في التمثيل الضوئي والتنفس.
الانتشار هو محصلة الحركة للجزيئات أو الأيونات من المنطقة ذات التركيز الأعلى إلى المنطقة ذات التركيز الأقل. ينتقل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون عبرالأغشية بالانتشار. يحدث انتشار الأيونات والجزيئات القطبيّة عبر الأغشية عن طريق البروتينات الناقلة. تسمّى هذه العمليّة الانتشار المسهّل.
ينتقل الماء من المناطق ذات جهد الماء الأعلى إلى المناطق ذات جهد الماء الأقل. عندما ينتقل الماء من المناطق ذات جهد الماء الأعلى إلى المناطق ذات جهد الماء الأقل عبر غشاء منفذ جزئيًا، مثل غشاء سطح الخليّة، يسمّى هذا الانتشار الأسموزية.
إضافة المذاب تقلل من جهد الماء. والضغط باتجاه المحلول يزيد من جهد الماء.
في المحاليل المخففة، تنفجر الخلايا الحيوانيّة مع انتقال الماء إلى السيتوبلازم من المحلول. في المحاليل المخففة لا تنفجر الخلايا النباتيّة، لأن جدار الخليّة يوفر مقاومة تمنعها من التمدد. في المحاليل المركزة تتكمش الخلايا الحيوانيّة، بينما في الخلايا النباتيّة ينكمش البروتوبلاست بعيدًا عن جدار الخليّة في عمليّة تسمّى البلزمة.
تنتقل بعض الأيونات والجزيئات عبر الأغشية عن طريق النقل النشط، عكس منحدر التركيز. وهذا يحتاج إلى بروتين حامل وATP لتوفير الطاقة. يتطلب الإخراج الخلوي والإدخال الخلوي تكوّن حويصلات أو فجوات لنقل كميات أكبر من المواد على التوالي من الخلايا أو إلى الخلايا بالنقل الحويصلي. يوجد نوعان من الإدخال الخلوي هما الأكل الخلوي والشرب الخلوي.

أسئلة نهاية الوحدة

١ ما الجزيئات الأكثر وفرة في أغشية سطح الخلايا النباتية؟

أ. الكوليسترول
ب. الدهون السكريّة
ج. الدهون المفسفرة
د. البروتينات

٢ أين توجد أجزاء الكربوهيدرات من الدهون السكريّة والبروتينات السكريّة في أغشية سطح الخليّة؟

أ. سطحا غشاء الخلية الداخلي والخارجي
ب. السطح الداخلي للغشاء
ج. داخل الغشاء
د. السطح الخارجي للغشاء

٣ في مسار التأشير الخلوي، أي من أنواع البروتين الآتية يعمل كمفتاح لإطلاق المرسال الثاني؟

أ. الإنزيم
ب. البروتين السكري
ج. البروتين G
د. المستقبل

٤ يتمثل أحد أدوار الكوليسترول في الأغشية في:

أ. التعرف على الخلية
ب. مستقبل التأشير الخلويّ
ج. التحكم في السيولة
د. قناة محبة للماء

٥ أ. صف ما يحدث إذا وضعت خليّة نباتيّة في محلول جهده المائي أعلى من الخليّة. استخدم المصطلحات العلمية الآتية في إجابتك:

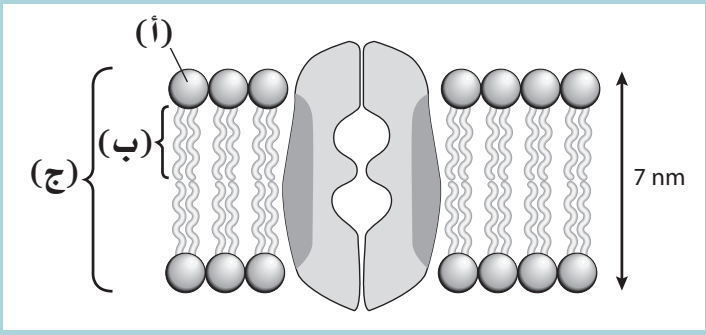
جدار الخليّة، منفذ كليًا، منفذ جزئيًا، غشاء سطح الخليّة، فجوة مركزية، تونوبلاست أو غشاء الفجوة، سيتوبلازم، جهد الماء، ممتلئة، أسموزية، بروتوبلاست، اتزان.

ب. صف ما يحدث إذا وضعت خليّة نباتيّة في محلول جهده المائي أقل من الخليّة. استخدم المصطلحات العلمية الآتية في إجابتك:

جدار الخليّة، منفذ كليًا، منفذ جزئيًا، غشاء سطح الخليّة، فجوة مركزية، تونوبلاست أو غشاء الفجوة، سيتوبلازم، جهد الماء، البلزمة الابتدائية، متبلزمة، أسموزيّة، بروتوبلاست، اتزان.

تابع

٦ يبيّن الرسم أدناه جزءًا من غشاء يحتوي على قناة بروتينية.



أ. حدد مسميات الأجزاء **(أ)** ، و **(ب)**، و **(ج)**.

ب. لكل ممّا يأتي، حدّد ما إذا كان المكوّن محبًا للماء أم كارهًا له:

١. (أ)

٢. (ب)

٣. الجزء داكن التظليل من البروتين

٤. الجزء خفيف التظليل من البروتين

ج. اشرح كيف ستتحرك الأيونات عبر البروتين القنوي.

د. اذكر **سمتين** تشترك فيهما البروتينات القنويّة والبروتينات الحاملة في الغشاء، إلى جانب كونهما بروتينات.

هـ. اذكر اختلافًا تركيبيًا **واحدًا** بين البروتينات القنويّة والبروتينات الحاملة.

و. احسب مقدار تكبير الرسم. وضّح خطوات الحل.

٧ انسخ الجدول أدناه وضع علامة ✓ أو علامة ✗ في كل خانة وفق المناسب:

العمليّة	استخدام الطاقة على شكل ATP	استخدام البروتينات	متخصصة	تتحكم بها الخليّة
الانتشار				
الأسموزيّة				
الانتشار المسهّل				
النقل النشط				
الإدخال الخلوي والإخراج الخلوي				

تابع

٨ انسخ الجدول أدناه على دفترك وأكمله لمقارنة الجدران الخلوية بالأغشية:

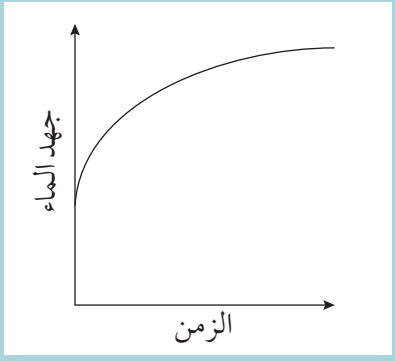
الميزة	جدار الخليّة	غشاء الخليّة
هل تقاس السماكة عادة بوحدات nm أم µm؟		
الموقع في الخليّة		
النفاذيّة		
سائل أم صلب		

أفعال إجرائية

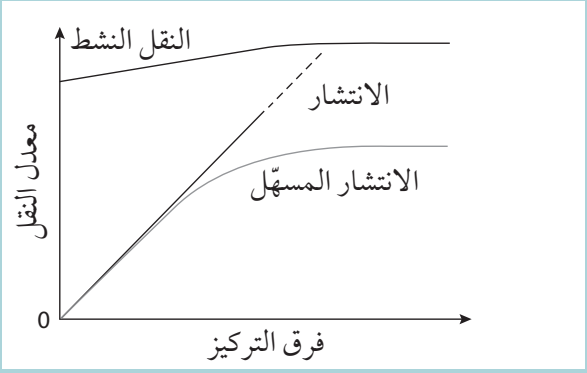
قارن Compare: تعرّف/ علق على أوجه التشابه و/ أو الاختلاف.

٩ وضع نسيج نباتي في ماء نقي في الزمن صفر، وتم قياس معدل دخول الماء إلى النسيج على أنه التغيّر في جهد الماء بمرور الزمن. يبيّن التمثيل البياني الآتي نتائج هذا الاستقصاء.

صف النتائج وفسرها.



١٠ يتأثر معدل حركة الجزيئات أو الأيونات عبر غشاء الخليّة بالتركيز النسبي للجزيئات أو الأيونات على جانبَي الغشاء. يبيّن التمثيل البياني أدناه تأثير فرق التركيز على ثلاث عمليات نقل: الانتشار، الانتشار المسهّل، النقل النشط.



أ. **بالإشارة إلى التمثيلات البيانيّة**، اذكر ما تشترك به عمليات النقل **الثلاث**.

ب. صف معدلات النقل التي تتم ملاحظتها عندما يكون فرق التركيز صفرًا.

ج. اشرح معدلات النقل التي تتم ملاحظتها عندما يكون فرق التركيز صفرًا.

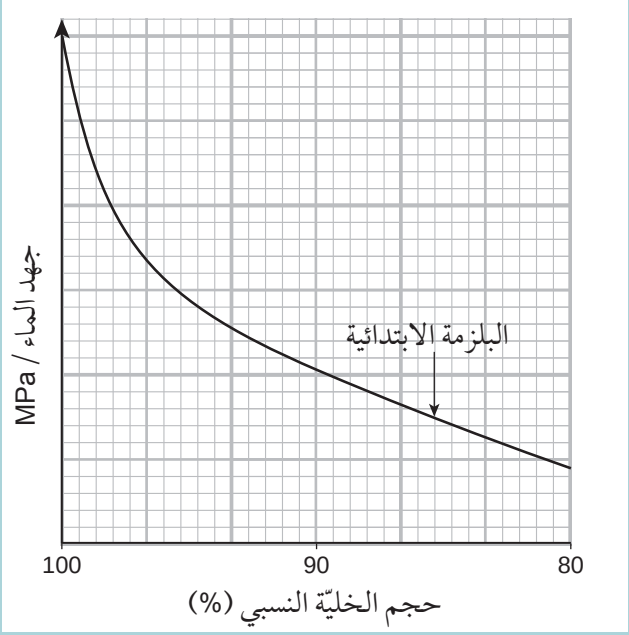
تابع

د. ١. أي عملية من عمليات النقل ستتوقف إذا أضيف مثبط تنفّسي Respiratory inhibitor؟

٢. اشرح إجابتك.

هـ. اقترح تفسيرًا للاختلاف بين التمثيلين البيانيين للانتشار والانتشار المسهّل.

١١ عندما تكسب الخليّة الماء أو تفقده، يتغيّر حجمها. يبيّن التمثيل البياني التغيّرات في جهد الماء (Ψ) لخليّة نباتيّة مع تغيّر حجمها نتيجة اكتساب الماء أو فقده (لاحظ أن 80% من الحجم النسبي للخليّة يعني أن الخليّة والبروتوبلاست قد انكمشا إلى 80% من حجم الخليّة النسبي 100%).



أ. ما هو البروتوبلاست؟

ب. ١. حدّد حجم الخليّة النسبي عندما تكون الخليّة في أقصى درجة الامتلاء.

٢. صف ما يحدث داخل الخليّة مع زيادة الحجم النسبي للخليّة.

ج. يبيّن التمثيل البياني نقطة البلزمة الابتدائية.

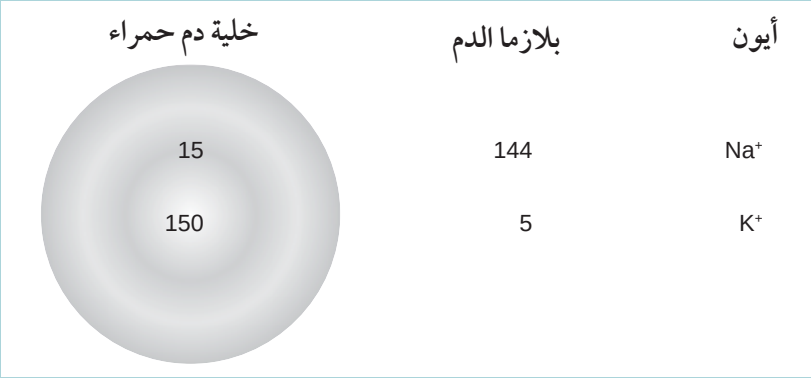
١. حدّد حجم الخليّة النسبي عند نقطة البلزمة الابتدائية.

٢. اذكر معنى المصطلح العلمي **نقطة البلزمة الابتدائية**.

٣. صف ما يحدث للخليّة بين نقطة البلزمة الابتدائية والنقطة التي انكمشت (تقلصت) فيها إلى الحجم النسبي 80%.

تابع

١٢ يبيّن الرسم التخطيطي التركيز بوحدات mmol/L لأيونَين مختلفَين في خليّة الدم الحمراء لإنسان وفي البلازما خارج الخليّة.



أ. اشرح سبب عدم إمكانية حدوث هذه التراكيز نتيجة للانتشار.

ب. اشرح كيف أمكن تحقيق هذه التراكيز.

ج. إذا تم تثبيط تنفس خلايا الدم الحمراء، فسيلاحظ أن تراكيز أيونات البوتاسيوم وأيونات الصوديوم داخل الخلايا ستتغير تدريجيًا حتى تصبح في حالة اتزان مع البلازما. اشرح هذه الملاحظة.

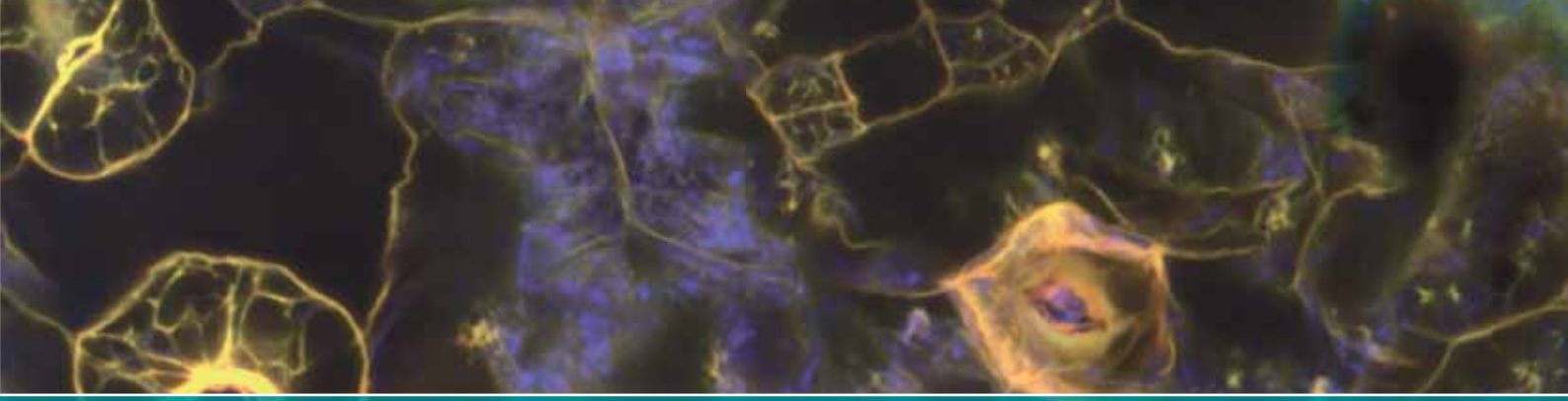
قائمة تقييم ذاتي

بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول كالآتي:

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أصف النموذج الفسيفسائي السائل لتركيب الغشاء مع الإشارة إلى التفاعلات الكارهة للماء والمحبة للماء التي تفسر تكوين الطبقة الثنائية للدهون المفسفرة وترتيب البروتينات فيها.	١–٥			
أصف ترتيب الكوليسترول والدهون السكريّة والبروتينات السكريّة في غشاء سطح الخلية.	١–٥			
أصف أدوار الدهون المفسفرة والكوليسترول والدهون السكريّة والبروتينات والبروتينات السكريّة في غشاء سطح الخلية، مع الإشارة إلى الاستقرار والسيولة والنفاذيّة والنقل (البروتينات الحاملة والبروتينات القنوية) والتأشير الخلوي (مستقبلات سطح الخليّة) وتمييز الخلايا (أنتيجينات سطح الخلية).	٢–٥			

تابع

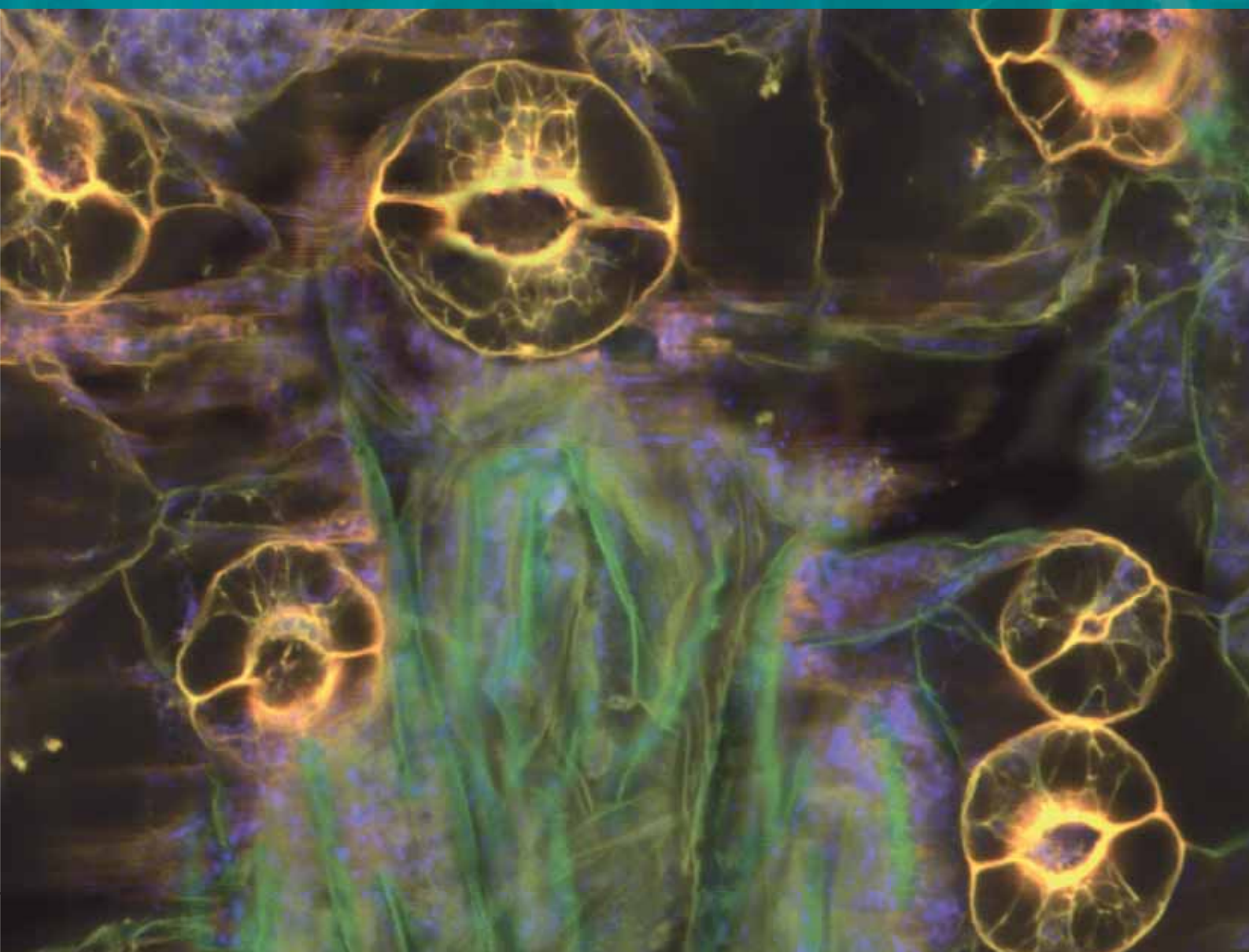
أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
ألخص المراحل الرئيسيّة للتأشير الخلوي التي تؤدي إلى استجابات محددة: • إفراز مواد كيميائيّة معيّنة (الربائط) من الخلايا. • نقل الربائط إلى الخلايا المستهدفة. • ارتباط الربائط بمستقبلات سطح الخليّة على الخلايا المستهدفة.	٣-٥			
أصف وأشرح عمليات: الانتشار البسيط، والانتشار المسهل، والأسموزيّة، والنقل النشط، والإدخال الخلوي، والإخراج الخلوي.	٤-٥			
أستقصي الانتشار البسيط والأسموزيّة باستخدام أنسجة نباتيّة ومواد غير حيّة، بما في ذلك أنابيب الديلسة والآجار.	٤-٥			
أوضح المبدأ بأن نسبة مساحة السطح إلى الحجم تتناقص مع زيادة الحجم عن طريق حساب مساحة السطح والحجم لأشكال بسيطة ثلاثيّة الأبعاد.	٤-٥			
أستقصي تأثير التغير في نسبة مساحة السطح إلى الحجم على الانتشار باستخدام كتل آجار بقياسات مختلفة.	٤-٥			
أستقصي تأثير غمر أنسجة النبات في محاليل مختلفة الجهد المائي، مستخدمًا النتائج لتقدير الجهد المائي للأنسجة.	٤-٥			
أشرح حركة الماء بين الخلايا والمحاليل من حيث جهد الماء، وأشرح التأثيرات المختلفة لحركة الماء على الخلايا النباتيّة والخلايا الحيوانيّة (لا يتوقع معرفة جهد المذاب وجهد الضغط).	٤-٥			



الوحدة السادسة

النقل في النباتات

Transport in plants



أهداف التعلّم

٦-١ يرسم رسمًا تخطيطيًا سطحيًا لمقاطع عرضيّة في الساق، والجذر، والأوراق لنباتات عشبيّة ثنائية الفلقة من الشرائح المجهريّة والصور المجهريّة الضوئية.

٦-٢ يصف توزيع الخشب واللحاء في مقاطع عرضيّة في الساق، والجذر، والأوراق لنباتات عشبيّة ثنائية الفلقة.

٦-٣ يرسم ويسمّي عناصر الوعاء الخشبي وعناصر الوعاء الغربالي للحاء والخلايا المرافقة من شرائح مجهريّة وصور مجهريّة ضوئية وصور مجهريّة إلكترونيّة.

٦-٤ يربط تركيب عناصر الوعاء الخشبي وعناصر الوعاء الغربالي للحاء والخلايا المرافقة بوظائفها.

٦-٥ يذكر أن بعض أيونات الأملاح والمركبات العضوية يمكن أن تنتقل عبر النبات مذابة في الماء.

٦-٦ يصف نقل الماء من التربة إلى الخشب عبر:
- الممر خارج الخلوي، بما في ذلك اللجنين والسليلوز.
- الممر الخلوي الجماعي، بما في ذلك البشرة الداخليّة وشريط كاسبري والسوبرين.

٦-٧ يشرح أن عملية النتح تتضمن تبخر الماء عن الأسطح الداخليّة للأوراق متبوعًا بانتشار الماء إلى الغلاف الجوي.

٦-٨ يشرح كيف أن الرابطة الهيدروجينيّة لجزيئات الماء تشارك في انتقال الماء عبر الخشب بفعل التماسك-الشد في قوة السحب بالنتح وقوة التلاصق مع السليلوز في جدران الخلايا.

٦-٩ يرسم رسومًا تخطيطية مشروحة لمقاطع عرضيّة لأوراق نباتات البيئة الجافة مع كتابة مسمياتها ليشرح كيفية مناسبة تراكيبها للتقليل من فقد الماء عن طريق النتح.

٦-١٠ يذكر أن المواد العضوية الناتجة من التمثيل الغذائي المذابة في الماء، مثل السكروز والأحماض الأمينيّة، تنتقل من المصدر إلى المصب عبر الأنابيب الغربالية للّحاء.

٦-١١ يشرح كيف تنقل الخلايا المرافقة نواتج التمثيل الغذائي إلى الأنابيب الغربالية للّحاء، مع الإشارة إلى مضخة البروتون والبروتينات الناقلة المشتركة.

٦-١٢ يشرح التدفق الكمي في الأنابيب الغربالية للّحاء مع منحدر الضغط المائي من المصدر إلى المصب.

قبل أن تبدأ بدراسة الوَحدة

- درست في الوحدة الخامسة تأثير الزيادة في النمو (القياس) على نسبة مساحة السطح إلى الحجم لتركيب ما مثل الخليّة.
- كيف تتغيّر نسبة مساحة السطح إلى الحجم مع الزيادة في النمو (القياس)؟
- كيف يمكن لشكل تركيب مثل ورقة نبات أو خليّة بها خملات دقيقة التأثير على النسبة؟
- بحسب إجاباتك على هذه الأسئلة، اشرح سبب احتياج الكائنات الحيّة الكبيرة متعددة الخلايا مثل النباتات والحيوانات إلى أجهزة نقل.
- ما الميزات التي تتوقع أن تتصف بها أجهزة النقل هذه (على سبيل المثال، تركيبها وكيفيّة عملها)؟

العلوم ضمن سياقها

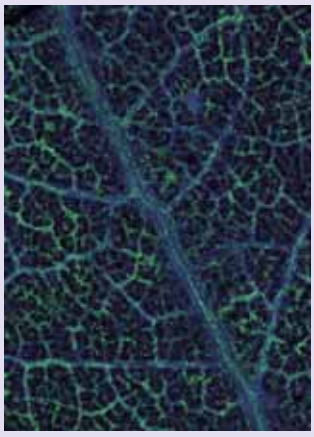
هل ينمو الذهب على الأشجار؟

وجد العلماء الذين يدرسون كيفية نقل النبات للمواد عبر مسافات كبيرة، أن أشجار الكافور (الأوكالبتوس Eucalyptus) مثيرة للاهتمام لسببَين: الأول، يمكن أن تنمو أشجار الكافور إلى ارتفاعات كبيرة. وتنمو عادة إلى علو يزيد عن 60 مترًا، وأعلى ارتفاع لشجرة كافور حيّة هو 100.5 متر. والسبب الثاني، تتركز الأوراق في الجزء العلوي من الشجرة (الصورة ٦-١). وعلى الأوراق تزويد بقية الشجرة بالغذاء الجاهز، بما في ذلك الجذور الممتدّة تحت سطح الأرض، والتي بدورها تزود الأوراق بالماء. وهذا يعني أن أي نظريّة حول كيفيّة نقل النباتات للغذاء الجاهز والماء يجب أن تفسر كيف يمكن أن يحدث هذا النقل عبر المسافات الطويلة جدًا من خلال الأنابيب الدقيقة لجهاز النقل. على سبيل المثال، يجب أن ينتقل السكر عبر أنابيب لا يزيد قطرها عن قطر شعرة الإنسان. وهي عمليّة ليست سهلة.

أظهرت دراسة حديثة عن النقل في شجر الكافور كشفًا إضافيًا غير متوقع. فقد اكتشف علماء من وكالة العلوم الوطنيّة الأستراليّة CSIRO أن جذور شجر الكافور التي تنمو فوق الصخور التي تحتوي على ذهب، تمتص كميات ضئيلة من الذهب وتنقلها إلى جميع أجزاء النبات. فالذهب مادة سامة للخلايا النباتيّة، لكن الأشجار تمكنت من تجنب هذه المشكلة عن طريق ترسيب الذهب في بلورات أكسالات الكالسيوم Calcium oxalate غير القابلة للذوبان في الأوراق والقلف (الصورة ٦-٢).

وفّرت العيّنات المنتظمة من أوراق أشجار الكافور بحثًا عن الذهب المترسب فيها، طريقة جديدة في العثور على رواسب الذهب في المناطق الأستراليّة النائية. فحقيقة أن جذور الكافور قادرة على اختراق التربة حتى 40 مترًا

الصورة ٦-١ تتركز الأوراق في الجزء العلوي من شجرة الكافور.



الصورة ٦-٢ تظهر جسيمات الذهب في ورق الكافور بلون أخضر في هذه الصورة.

تحت سطح الأرض بحثًا عن الماء، تفيد كثيرًا المنقبين في التنقيب عن الذهب. وهي توفر الكثير على شركات التنقيب في ضوء ارتفاع كلفة الحفر في التضاريس الوعرة التي تجعل عمليات الاستكشاف صعبة. ومن المحتمل أن تطبق هذه الطريقة أيضًا في البحث عن معادن أخرى مثل النحاس والزنك.

أسئلة للمناقشة

تم اكتشاف غابات واسعة من أشجار الكافور الضخمة في أستراليا، قُطع معظمها واستُهلك خشبها في أعمال البناء. وقد تمّ زرع أشجار جديدة في بعض المناطق بهدف الاستفادة من أخشابها. فالغابات في جميع أنحاء العالم آخذة في الانحسار.

- ما العوامل المسؤولة عن انحسار الغابات، غير تلك المرتبطة بقطع الأشجار للاستفادة من الخشب؟
- كيف يمكن الحفاظ على مناطق الغابات المتبقيّة على الأرض؟

٦-١ تركيب السيقان والجذور والأوراق وتوزيع نسيجَي الخشب واللحاء

لقد درست أن النباتات تحتاج إلى الماء وغاز ثاني أكسيد الكربون والضوء لتصنع غذاءها بعمليّة التمثيل الضوئي. فالأجزاء الرئيسيّة المسؤولة عن التمثيل الضوئي هي الأوراق، والتي توفر تبادل الغازات وامتصاص الضوء؛ في حين تمتص الجذور الممتدّة تحت سطح الأرض الماء والأملاح المعدنيّة.

وحيث إن المواد التي تصنعها الأوراق، والمواد التي تمتصها الجذور ضروريّة لجميع خلايا النبات، يتعيّن وجود طريقة توفر النقل عبر المسافات الطويلة.

سؤال

١ السكر المنقول في النبات والذي يصنع في الأوراق هو السكر الثنائي السكروز.

أ. عرّف السكر الثنائي (الوحدة الثانية).

ب. ما السكريات الأحاديّة المستخدمة لبناء السكروز (الوحدة الثانية)؟

ج. أي من أيزوميرات Isomers الجلوكوز يستخدم لتكوين السليلوز (الوحدة الثانية)؟

د. أي من أيزوميرات الجلوكوز يستخدم لتكوين النشا (الوحدة الثانية)؟

هـ. في أي مكان في النبات تكون عمليّة صنع السليلوز ضروريّة أكثر؟ ولماذا؟

مصطلحات علمية

الجهاز الوعائي Vascular system: جهاز يتكوّن من أنابيب، أو أوعية أو تجاويف، مملوءة بالسوائل، ويستخدم عادة للنقل لمسافات – طويلة في الكائنات الحيّة. على سبيل المثال، الجهاز الدوري في الإنسان والحيوانات والجهاز الوعائي من الخشب واللحاء في النباتات.

وعائي Vascular: مصطلح يشير إلى الأنابيب أو الأوعية (من اللاتينيّة vascul وتعني وعاء Vessel).

الجهاز الوعائي: الخشب واللحاء

ينقل **الجهاز الوعائي Vascular system** المواد الذائبة في الماء إلى جميع أجزاء النبات. يشير المصطلح **وعائي Vascular** إلى الأنابيب أو الأوعية؛ إذ توجد الأجهزة الوعائية في العديد من الكائنات الحيّة متعددة الخلايا مثل النباتات والحيوانات. يحتوي الجهاز الوعائي في النباتات على نوعين من الأنسجة هما **الخشب Xylem** و **اللحاء Phloem** ويسميان معًا **النسيج الوعائي Phloem**.

تنقل أوعية الخشب السائل المسمى عصارة الخشب Xylem sap، والتي تتكوّن بشكل رئيسي من الماء والأيونات غير العضويّة (الأملاح المعدنيّة). تتحرك عصارة الخشب في اتجاه واحد فقط، من الجذور إلى باقي أجزاء النبات.

يتكوّن نسيج اللحاء من أنابيب غربالية Sieve tubes تنقل عصارة اللحاء، والمواد الناتجة من عمليّة التمثيل الضوئي من الأوراق إلى بقيّة أجزاء النبات. كما يمكنها أن تنقل المواد من أعضاء التخزين إلى أجزاء أخرى من النبات. وهكذا تنتقل عصارة اللحاء في مختلف الاتجاهات عبر أنابيب مختلفة من اللحاء.

استقصاء أعضاء وأنسجة الجهاز الوعائي في النبات

السيقان والأوراق والجذور هي الأعضاء الرئيسيّة التي تسهم في النقل في النبات.

ويمكن دراسة تركيب السيقان والأوراق والجذور بسهولة باستخدام شرائح جاهزة أو صورًا مجهرية إلكترونية لمقاطع عرضية لهذه الأعضاء.

ويمثل الرسم التخطيطي السطحي Plan diagram بقوة التكبير المتوسطة وتفاصيل Details لمجموعات من الخلايا بقوة التكبير الكبرى كما تشاهد بالمجهر، طريقة مفيدة لفهم تركيب الأعضاء وتوزيع الخشب واللحاء.

ستحتاج عند عمل رسوم من العينات بالمجهر إلى اتّباع النصائح الواردة في المهارات العملية ٦-١.

ثنائيات الفلقة (ذوات الفلقتين)

قد تكون النباتات الزهريّة أحاديّة الفلقة أو **ثنائيّة الفلقة Dicotyledons**، ولكل فئة خصائصها المميزة. على سبيل المثال، تكون أوراق النباتات أحاديّة الفلقة، كالأعشاب، طويلة ورفيعة، وتكون أوراق النباتات ثنائيّة الفلقة ذات نصل عريض وأعناق رفيعة. وتكون آليات النقل متماثلة في كلا الفئتَين، مع وجود اختلافات في توزيع أوعية الخشب واللحاء في الجذور والسيقان والأوراق.

مصطلحات علمية

الخشب Xylem: نسيج يحتوي على أنابيب تسمّى أوعية، وأنواع أخرى من الخلايا، ويقوم بنقل الماء والأملاح المعدنيّة عبر النبات ويوفر لها الدعامة.

اللحاء Phloem: نسيج يحتوي على أنابيب تسمّى الأنابيب الغربالّية Sieve tubes، وأنواع أخرى من الخلايا، وهو مسؤول عن نقل المواد الذائبة العضويّة (المواد الناتجة من التمثيل الغذائي Assimilates) عبر النبات مثل السكروز.

النسيج الوعائي Vascular tissue: نسيج نباتي يتكوّن بشكل رئيسي من الخشب واللحاء، لكنه يحتوي أيضًا على خلايا سكلرنشيميّة Sclerenchyma وبرنشيميّة Parenchyma.

ثنائيّة الفلقة (ذات الفلقتين) Dicotyledon: يمكن أن تكون النباتات الزهريّة أحاديّة الفلقة أو ثنائيّة الفلقة. تحتوي بذور النباتات ثنائية الفلقة على جنين مكوّن من فلقتَين (أوراق البذرة)، وللنبات البالغ أوراق ذات نصل وعنق.

مهارات عملية ٦-١

رسوم بيولوجية كما تشاهد بالمجهر الضوئي

الأدوات والأجهزة

سوف تحتاج إلى الأدوات والأجهزة الآتية:

- قلم رصاص حاد HB. لا تستخدم قلم حبر جاف أو أقلامًا ملوّنة
- مبراة
- ممحاة
- مسطرة (لرسم الخطوط التي تشير إلى المسميات)
- ورقة بيضاء
- عدسة مكبرة

كي يكون رسمك جيدًا (قواعد تقنية الرسم الجيد):

- استخدم القلم الحاد دائمًا.
- ارسم خطوطًا واضحة ومتصلة من دون أي تداخل.
- **لا** تظلل الرسم.
- استخدم نسبًا وملاحظات دقيقة، ولا تعتمد على الكتاب المدرسي كمرجع لك.
- ارسم رسمًا كبيرًا بما يكفي. وإذا كنت ترسم الكائن الحي أو النسيج بأكمله، فيجب أن يغطي عادة أكثر من نصف المساحة المتاحة على الصفحة. تُرسم الخلايا المفردة عادة بقوة التكبير الكبرى بقطر يتراوح بين سنتيمترا واحد أو عدة سنتيمترات.
- إذا أخطأت، فاستخدم ممحاة جيدة تزيل الخطوط نهائيًا.

تابع

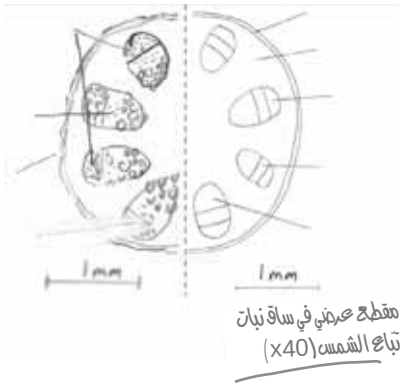
الرسم بقوة التكبير المتوسطة (انظر الشكل ٦-١)

- **لا** ترسم خلايا مفردة.
- ارسم جميع الأنسجة محاطة بالكامل بخطوط.
- ارسم التوزيع الصحيح للأنسجة.
- يمكن رسم جزء تمثيلي للمقطع (على سبيل المثال نصف المقطع العرضي).

مثال على رسم تخطيطي سطحي بقوة التكبير المتوسطة لمقطع في ساق نبات **تبّاع الشمس** *Helianthus* كما يُرى في الشكل ٦-١.

الرسم بقوة التكبير الكبرى

- ارسم بضع خلايا ممثلة فقط.
- ارسم جدار الخليّة لجميع الخلايا النباتيّة.
- **لا** ترسم النواة على شكل بقعة داكنة.



الشكل ٦-١ يظهر الجانب الأيمن من هذا الرسم بقوة التكبير المتوسطة أمثلة على تقنية الرسم الجيد. في حين يظهر الجانب الأيسر العديد من الأخطاء التي يجب تجنبها.

كي يكون رسمك جيدًا

- استخدم قلمًا حادًا دائمًا.
- اكتب مسمى جميع التراكيب ذات الصلة. اكتب أيضًا العنوان، ووضّح ماهية العيّنة، ثم حدّد المقياس المناسب لها.
- حدّد الأجزاء بشكل صحيح.
- استخدم مسطرة لرسم خطوط المسميات وخط المقياس.
- يجب أن تنتهي خطوط المسميات تمامًا عند التركيب حيث ستكتب المسميات. لا تستخدم رؤوس الأسهم.
- رتّب خطوط المسميات بدقة، وتأكد من أنها **لا** تتراكم فوق بعضها.
- يجب كتابة المسميات بشكل أفقي، كما في هذا الكتاب.
- أضف التعليقات Annotate على الرسم عند الضرورة. ويعني التعليق كتابة ملاحظات قصيرة بجوار المسميات لوصف أو شرح ميزات بيولوجية.

التكبير

التكبير هو مقدار تكبير (أو تصغير) الرسم مقارنة مع العيّنة. يمكن حسابه باستخدام الصيغة الآتية:

$$\text{مقدار التكبير} = \frac{\text{القياس المشاهد}}{\text{القياس الحقيقي}}$$

١. قِس بين نقطتَين مناسبتَين من الرسم. سيبيّن ذلك القياس المشاهد.

٢. قِس بين النقطتَين من العيّنة نفسها باستخدام مقياس **شبكة العدسة العينيّة Eyepiece graticule**، لتحصل على القياس الحقيقي.

٣. اقسم القياس 1 على القياس 2. احرص على استخدام الوحدات نفسها (قد تحتاج إلى التحويل بين mm و µm).

خط المقياس

خط المقياس خط مرسوم أسفل رسم العيّنة، ويمثل طول قسم معين للعينة. على سبيل المثال، إذا تم تكبير العيّنة 400 مرة، فإن خط المقياس بطول 40 mm في الجزء السفلي من الرسم سيمثل مسافة أصغر بمقدار 400 مرة من تلك التي في العيّنة. 400 مرة أصغر من 40 mm يساوي 40/400، والذي يساوي 0.1 mm أو 100 µm. لذلك سيكتب خط المقياس 100 µm.

قياس الخلايا والأنسجة والأعضاء

سيتيح استخدام مقياس شبكة العدسة العينيّة و**مقياس المنضدة Stage micrometer** أخذ قياسات للخلايا والأنسجة والأعضاء. وسيساعدك على عرض الأنسجة بنسبها الصحيحة.

سؤال

(٢) انظر إلى الشكل ٦-١. ضع قائمة بأخطاء تقنية الرسم والتي يمكنك رصدها في النصف الأيسر منه.

الرسوم التخطيطيّة السطحية بقوة التكبير المتوسطة

تظهر الصور من ٦-٣ إلى ٦-٥ والأشكال من ٦-٢ إلى ٦-٤ مقاطع عرضيّة نموذجيّة لساق، وجذر، وورقة نبات ثنائي الفلقة. وفي كل حالة، تظهر الصور المقاطع العرضية كما تشاهد بالمجهر الضوئي من شريحة جاهزة، وتتبعها الرسوم التخطيطية بقوة التكبير المتوسطة للنسيج نفسه، ويعرض الشكل ٦-٥ رسمًا تخطيطيًا لمقطع عرضي في ساق نموذجي لنبات ثنائي الفلقة. والأنسجة الرئيسيّة التي يجب التركيز عليها هي الخشب واللحاء (النسيج الوعائي). ومع ذلك، من المفيد معرفة القليل عن الأنسجة الأخرى أيضًا، لأنها ستساعد في تنفيذ الرسوم التخطيطية السطحية بقوة التكبير المتوسطة، وستفيدك لاحقًا عند دراسة حركة المواد عبر النبات.

- يصطبغ اللحاء عادة باللون الأخضر ويحتوي على خلايا صغيرة، ويصطبغ الخشب عادة باللون الأحمر ويحتوي على عدد قليل من الأوعية الكبيرة.
- يوجد الخشب واللحاء في السيقان والأوراق في تراكيب تسمى **حزم وعائيّة Vascular bundles**، والتي تحتوي أيضًا على أنواع أخرى من الخلايا. ويوجد الخشب واللحاء في مركز الجذر.
- البشرة عبارة عن طبقة واحدة من الخلايا تغطي النبات من الخارج.
- معظم الخلايا الموجودة خارج النسيج الوعائي هي خلايا **برنشيميّة Parenchyma**. وهي تحتوي على جدران خلويّة صلبة وتختلف في حجمها، وقد ترى النوى في بعضها. تسمّى المنطقة الخارجيّة من السيقان والجذور القشرة Cortex، وهي تتكوّن بشكل رئيسي من خلايا برنشيميّة.
- يوجد في بعض الأحيان مناطق من الخلايا شبيهة بالبرنشيمية لها جدران أكثر سماكة توفّر المزيد من الدعم تسمّى خلايا **كولنشيميّة Collenchyma**. وتوجد هذه الخلايا حول الجزء الخارجي من السيقان تحت **البشرة Epidermis**، وفي العرق الأوسط للأوراق.
- ستتعرّف دور **البشرة الداخليّة Endodermis** عند دراسة النقل، وهي بسماكة خليّة واحدة مثل البشرة.
- للحزم الوعائيّة في السيقان غطاء من الألياف، تزيد من قوة الساق تسمى **سكلرنشيميّة Sclerenchyma**. وتصطبغ عادة باللون الأحمر مثل نسيج الخشب. وتحتوي على مادة مقويّة تسمّى **اللجنين Lignin**.

مصطلحات علمية

مقياس المنضدة Stage micrometer: مقياس صغير جدًا، محفور على شريحة مجهرية ومرسوم بدقة بأبعاد معروفة.

شبكة العدسة العينيّة Eyepiece graticule: مقياس صغير يوضع في العدسة العينية للمجهر.

حزمة وعائيّة Vascular bundle: أنبوب من النسيج الوعائي يمتد طوليًا في النبات، ويختلف ترتيب الأنسجة مثل الخشب واللحاء والإسكلرنشيمي، في الحزم الوعائية في النباتات والأعضاء المختلفة.

البرنشيمي Parenchyma: نسيج النبات الأساسي، يستخدم عادة كنسيج رابط بين تراكيب أكثر تخصصًا، وهو نشط أيضيًا، وقد يؤدي مجموعة من الوظائف مثل تخزين الغذاء والدعم. وتؤدّي الخلايا البرنشيميّة أيضًا دورًا مهمًا في حركة الماء والنواتج الغذائيّة في الخشب واللحاء.

مصطلحات علمية

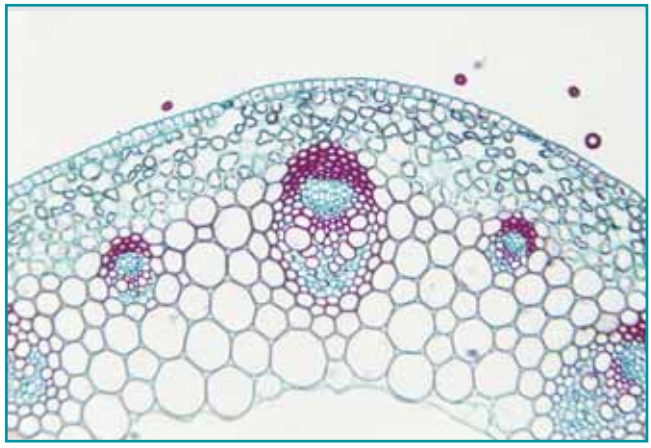
الكولنشيمي Collenchyma: تحتوي فيه الخلايا على زوايا سليلوزية مكثفة، الأمر الذي يوفر دعمًا إضافيًا، كما في عروق الأوراق وزوايا السيقان المربعة، ويظهر النسيج على شكل أشرطة ثلاثيّة الأبعاد (كما في سيقان أوراق الكرفس).

بشرة Epidermis: الطبقة الخارجيّة من الخلايا التي تغطي جسم النبات أو الحيوان، وهي تتكوّن في النباتات من طبقة واحدة من الخلايا، وقد تكون مغطاة بطبقة شمعية (الكيوتيكل) Cuticle، الذي يوفر حماية إضافيّة ضد فقدان الماء والمرض.

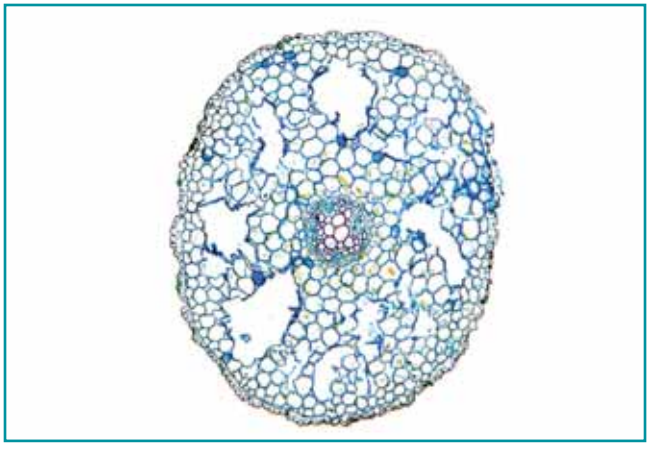
بشرة داخلية Endodermis: طبقة من الخلايا تحيط بالنسيج الوعائي في النباتات، وتظهر بوضوح في الجذور.

السكلرنشيمي Sclerenchyma: نسيج نباتي يتكوّن من خلايا ذات جدران سميكة تؤدي وظيفة ميكانيكيّة بحتة (التقوية والدعم)، تصبح جدران الخلية عادة متغلظة باللجنين، والخلايا الناضجة تموت من دون أن تترك أية محتويات مرئيّة، وتأخذ العديد من الخلايا الإسكلرنشيميّة شكل الألياف.

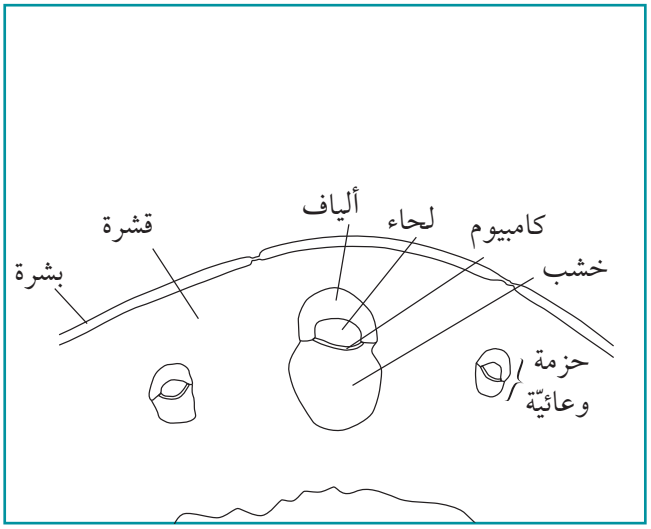
لجنين Lignin: مادة صلبة يكوّنها النبات وتستخدم لتقوية جدران أنواع معيّنة من الخلايا، لا سيما الأوعية الخشبيّة والخلايا الإسكلرنشيميّة، وهي المادة الرئيسيّة في الخشب.



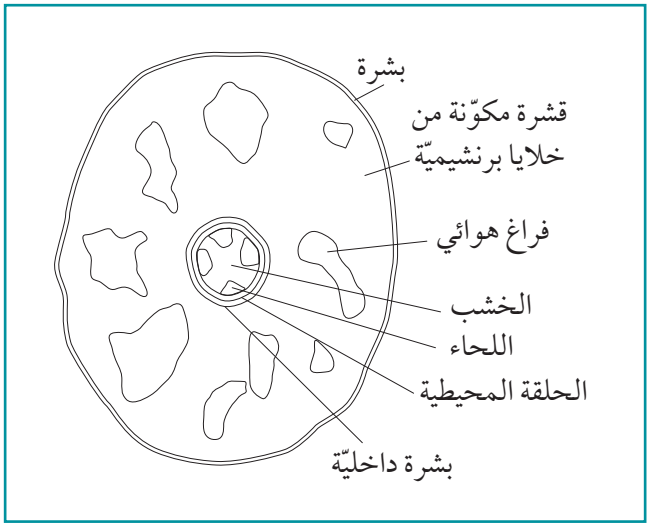
الصورة ٦-٣ صورة مجهرية ضوئية لجزء من مقطع عرضي في ساق حديث النمو من نبات حوذان *Ranunculus* (x 60).



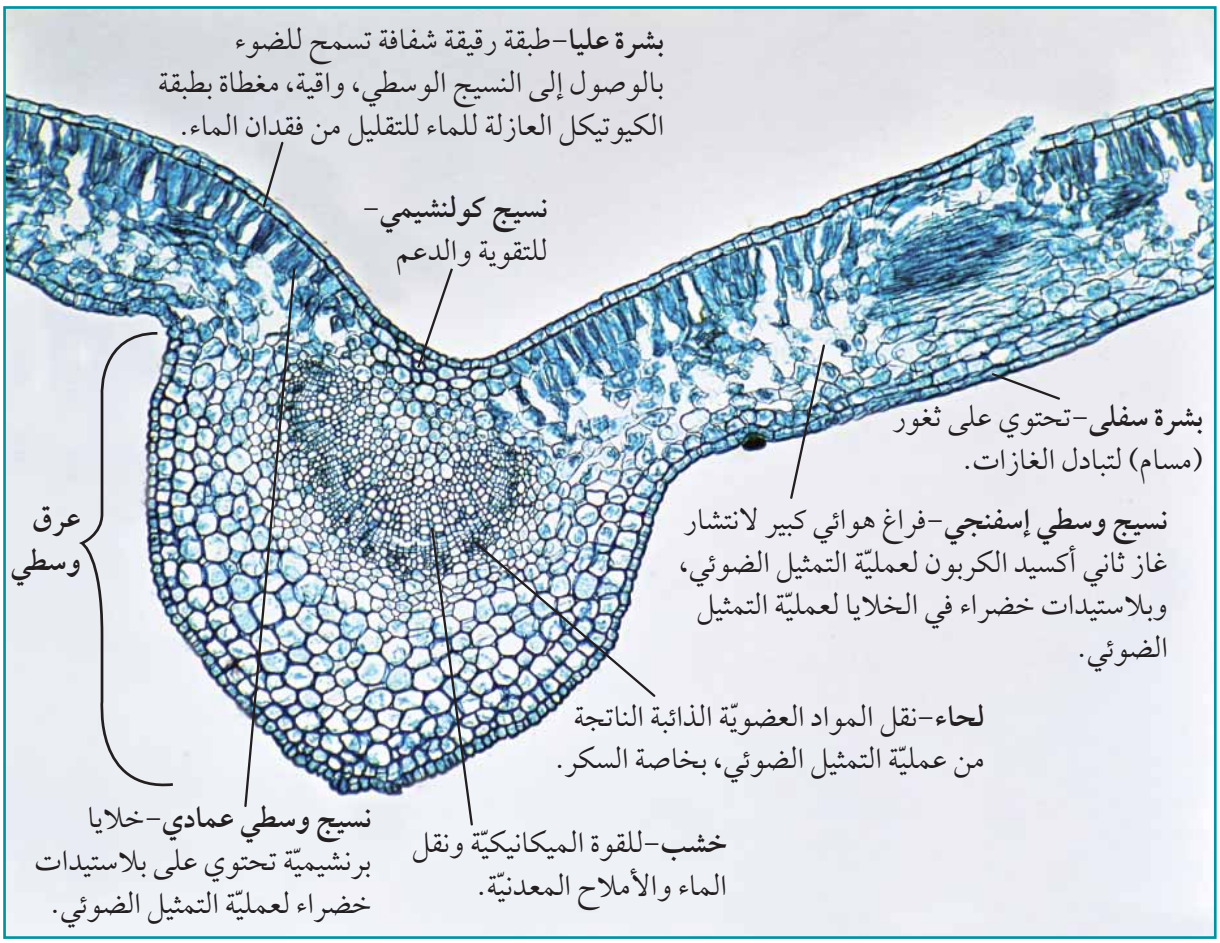
الصورة ٦-٤ صورة مجهرية ضوئية لمقطع عرضي في جذر نبات الحوذان *Ranunculus* (x 35).



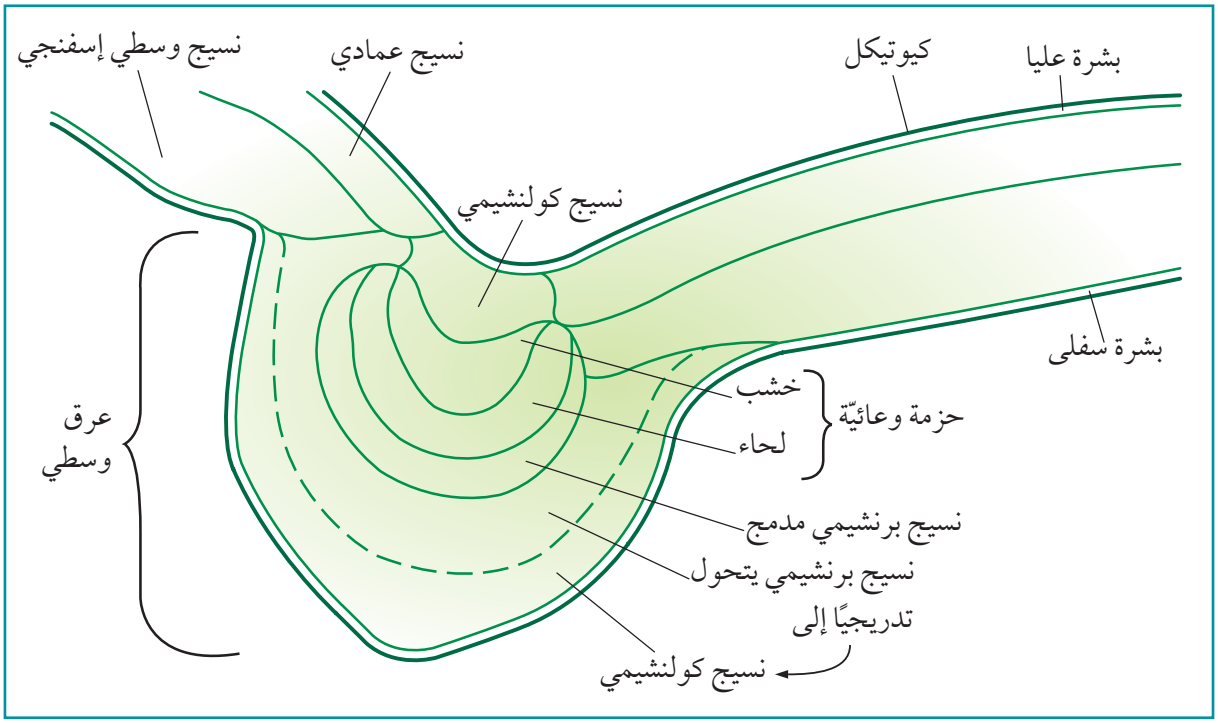
الشكل ٦-٢ الرسم التخطيطي السطحي لساق نبات الحوذان المبيّن في الصورة ٦-٣ بقوة التكبير المتوسطة .



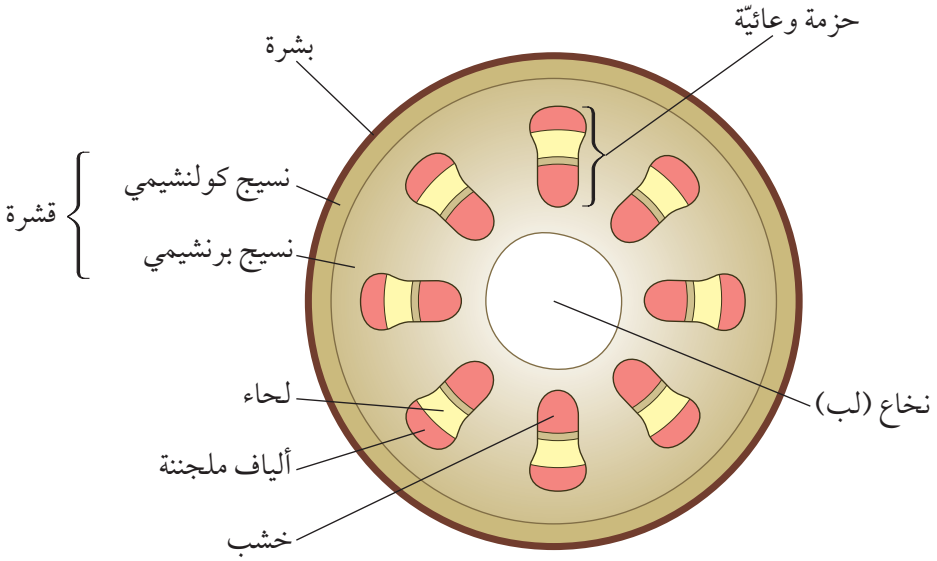
الشكل ٦-٣ الرسم التخطيطي السطحي لجذر نبات الحوذان المبيّن في الصورة ٦-٤ بقوة التكبير المتوسطة.



الصورة ٦-٥ صورة مجهرية ضوئية لمقطع عرضي في عرق ورقة نبات ثنائي الفلقة ليجوستروم *Ligustrum*، الحناء Previt (X 50)، كتبت مسميات الأنسجة بالخط الداكن.



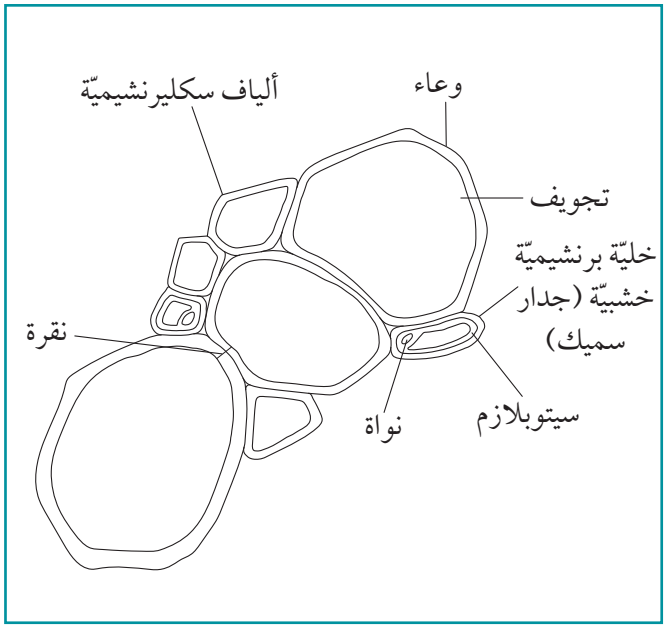
الشكل ٦-٤ رسم تخطيطي سطحي لمقطع عرضي في ورقة نبات الحناء المبيّنة في الصورة ٦-٥.



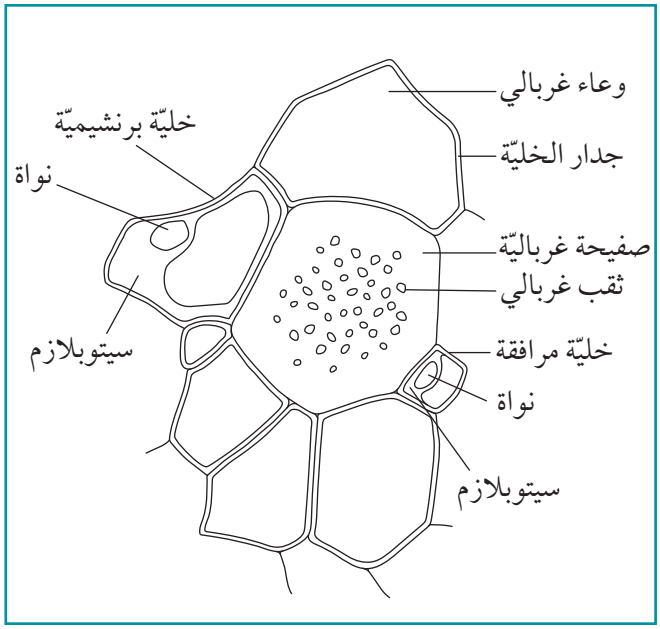
الشكل ٦-٥ مقطع عرضي في ساق حديث النمو من نبات تبّاع الشمس (*Helianthus*) يبيّن توزيع الأنسجة. تبّاع الشمس نبات ثنائي الفلقة.

رسوم تخطيطيّة تفصيليّة بقوة التكبير الكبرى

تذكر عند رسم خلايا بقوة التكبير الكبرى القواعد التي وردت في المهارات العمليّة ٦-١. يجب التركيز على رسم خليتَين أو ثلاث خلايا ممثلة للنسيج المحدّد بدقة، بدلًا من محاولة رسم خلايا كثيرة لجعلها تبدو مثل العيّنة الموجودة على الشريحة أو في الصورة المجهريّة. يبيّن الشكلان ٦-٦ و ٦-٧ رسمَين بقوة التكبير الكبرى للخشب واللحاء في مقطع عرضي.



الشكل ٦-٦ رسم تخطيطي تفصيلي بقوة التكبير الكبرى للخشب كما يشاهد من خلال مقطع عرضي. تبدو في الرسم ثلاثة أوعية كبيرة.



الشكل ٦-٧ رسم تفصيلي بقوة التكبير الكبرى للحاء كما يشاهد من خلال مقطع عرضي.

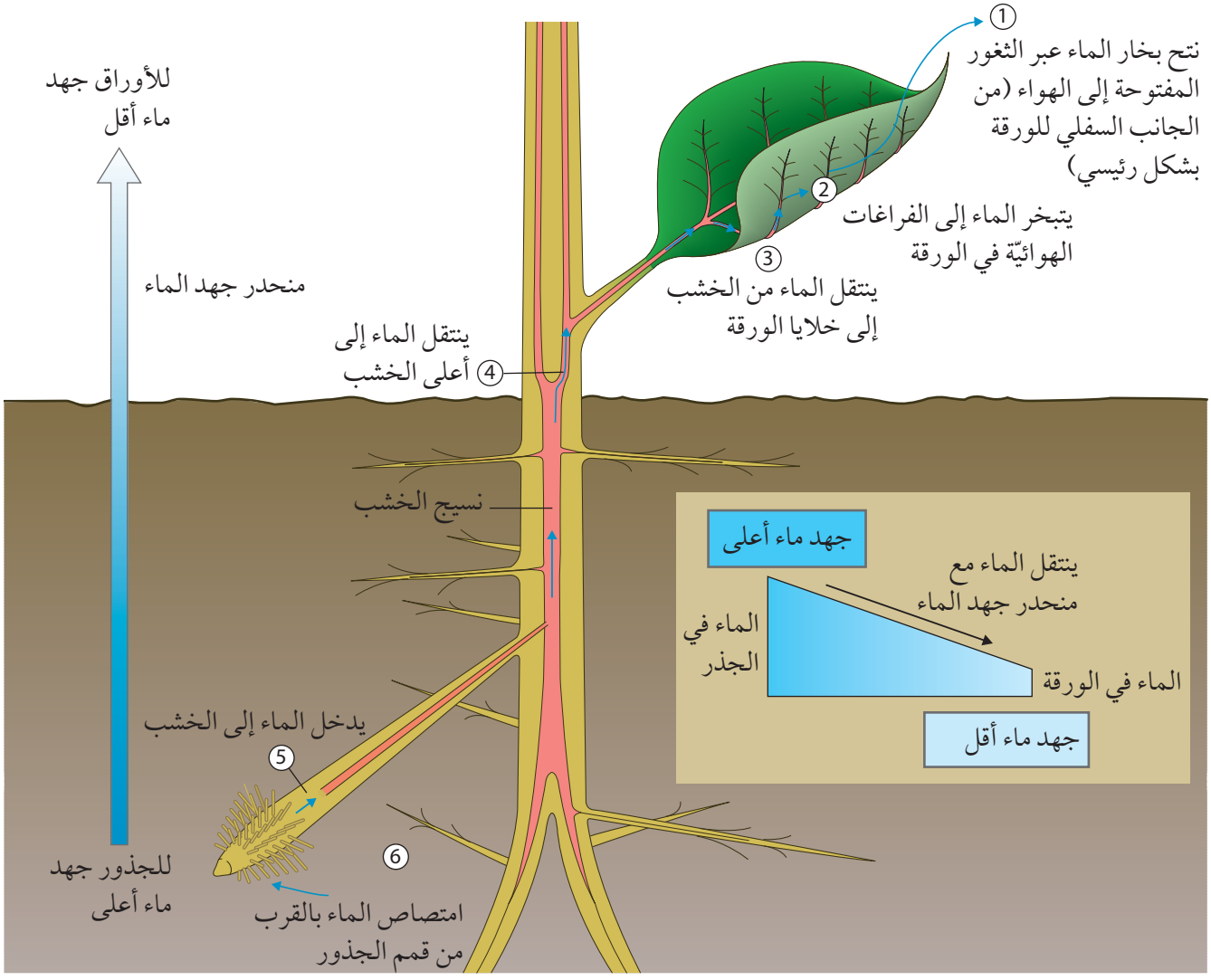
٦-٢ نقل الماء

مصطلحات علمية

النتح Transpiration: فقدان بخار الماء من النبات إلى البيئة المحيطة، ويحدث غالبًا عبر الثغور في الأوراق.

يبيّن الشكل ٦-٨ المسار الذي يسلكه الماء أثناء انتقاله في النبات. تذكّر أن الماء ينتقل من المنطقة ذات جهد الماء العالي إلى المنطقة ذات جهد الماء المنخفض، كما درست في الوحدة الخامسة. ويتحرك الماء في النبات بفعل تبخره من الأوراق.

تتسبّب طاقة الشمس بتبخر الماء من الأوراق في عمليّة تسمّى **النتح Transpiration**، فينخفض جهد الماء في الأوراق، ويكوّن منحدر تركيز لجهد الماء في النبات. ينتقل الماء مع هذا المنحدر من التربة إلى النبات. ثم ينتقل عبر الجذور وصولًا إلى نسيج الخشب في مركز الجذر. وعندما يصبح الماء داخل نسيج الخشب، فإنه ينتقل صعودًا عبر الجذور إلى الساق ومنه إلى الأوراق.

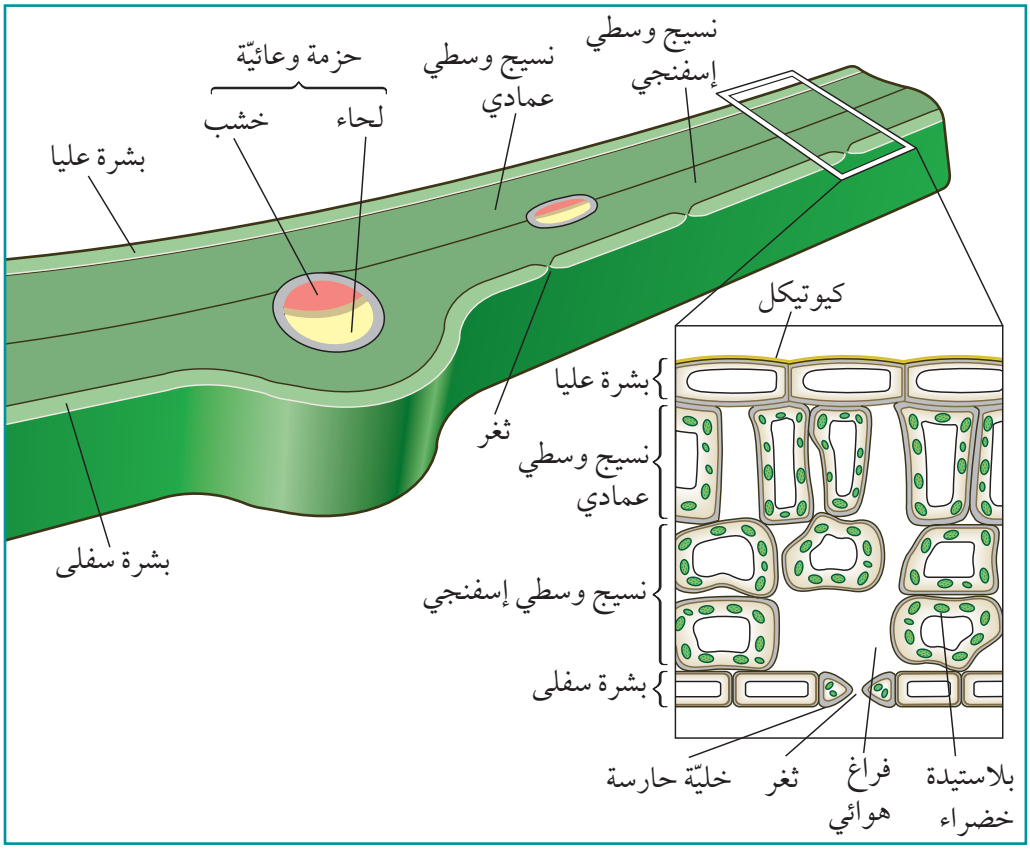


الشكل ٦-٨ نظرة عامة على انتقال الماء في النبات. ينتقل الماء مع منحدر جهد الماء من التربة إلى الهواء. تبدأ العمليّة بفقد بخار الماء من الأوراق، وتتبّع التسلسل من 1 إلى 6 المبين في الرسم التخطيطي.

انتقال الماء من الأوراق إلى الغلاف الجوي- النتح

تبيّن الصورة ٦-٥ والشكلان ٦-٤ و ٦-٩ تركيب ورقة نبات ثنائي الفلقة. تحاط الخلايا داخل الورقة - **النسيج الوسطي Mesophyll** - بالكثير من الفراغات الهوائية. وتكون جدران خلايا النسيج الوسطي رطبة، حيث يتبخر بعض الماء إلى الفراغات الهوائيّة (الشكل ٦-١٠)، وبالتالي يصبح الهواء داخل الورقة مشبعًا عادة ببخار الماء.

يكون الهواء داخل الورقة على اتصال مباشر مع الهواء خارجها عبر ثقوب صغيرة تسمى **ثغور Stomata** (مفردها **ثغر Stoma**). ويوجد عادة منحدر في جهد الماء بين الهواء داخل الورقة (جهد ماء مرتفع) والهواء خارجها (جهد ماء منخفض). وينتشر بخار الماء خارجًا من الورقة مع المنحدر، بما يسمّى النتح Transpiration. تفتح الثغور أثناء النهار وتغلق في الليل، لذا يحدث معظم النتح أثناء النهار.



الشكل ٦-٩ تركيب ورقة نبات ثنائي الفلقة. يدخل الماء إلى الورقة على شكل ماء سائل في أوعية الخشب، وينتشر خارجًا على شكل بخار ماء عبر الثغور.

مصطلحات علمية

النسيج الوسطي Mesophyll: منطقة الورقة الواقعة بين البشرة العليا والبشرة السفلى. ويكون للنسيج الوسطي في النباتات ثنائيّة الفلقة طبقتان: طبقة النسيج الوسطي العمادي وهي الطبقة الأقرب إلى السطح العلوي، وطبقة النسيج الوسطي الإسفنجي الأقرب إلى السطح السفلي. تكون خلايا طبقة النسيج الوسطي العمادي على شكل أعمدة، وتشكل طبقة التمثيل الضوئي الرئيسيّة، في حين تحتوي طبقة النسيج الإسفنجي على فراغات هوائيّة كبيرة بين الخلايا لتبادل الغازات.

الثغر Stoma (جمعها ثغور Stomata): مسام/ فتحة في غشاء الأوراق، يحيط به زوج من الخلايا الحارسة Guard cells، (حارستان)، وهو ضروري لتبادل الغازات بكفاءة.

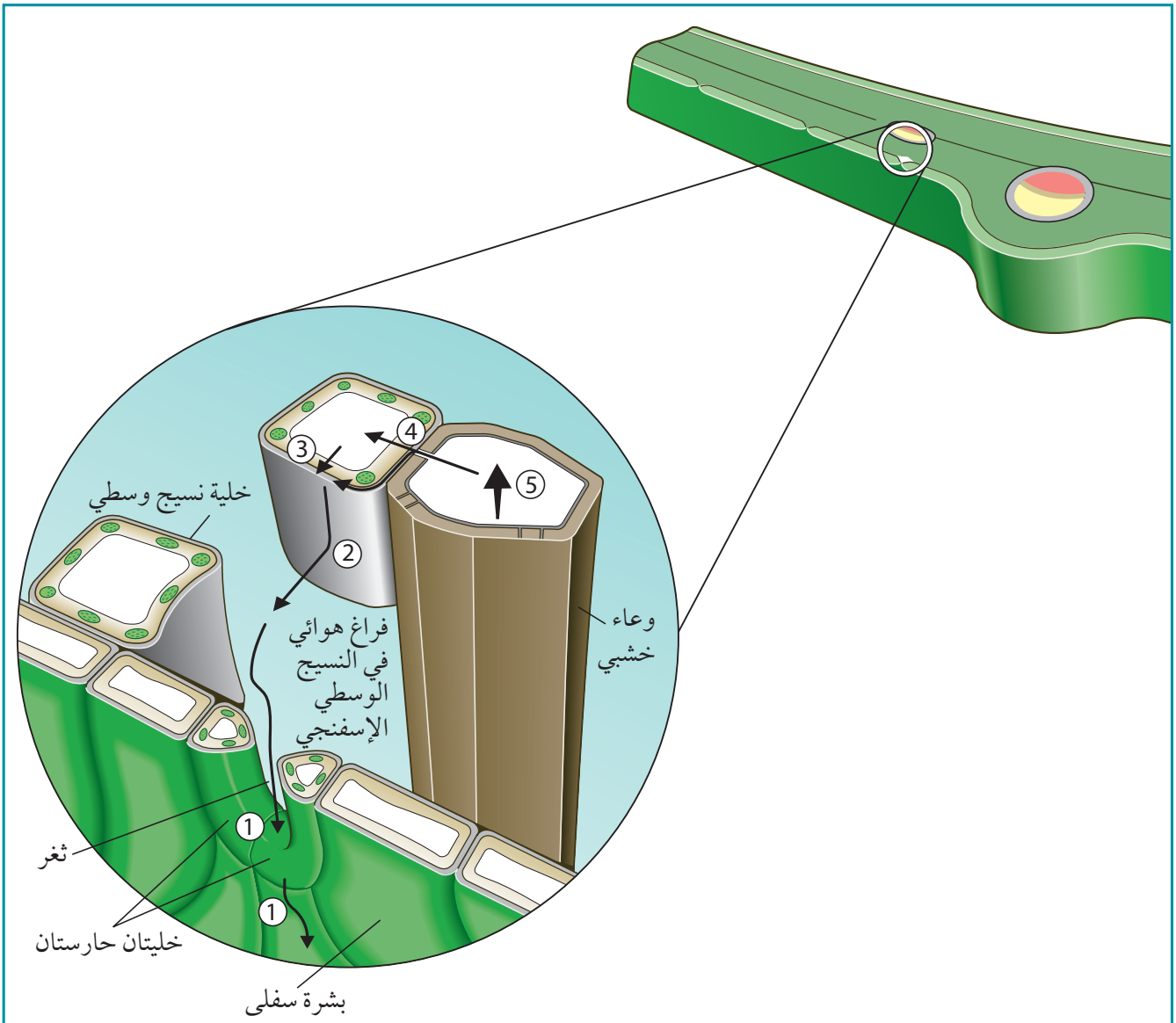
أسئلة

(٣) توجد معظم الثغور عادة في البشرة السفلى للأوراق. اقترح سبب ذلك.

(٤) اقترح كيف يمكن أن تؤدي العوامل الآتية إلى زيادة معدل النتح:

أ. زيادة في سرعة الرياح.

ب. ارتفاع في درجة الحرارة.



1. ينتشر بخار الماء من الفراغ الهوائي عبر الثغر المفتوح في عمليّة تسمّى النتح. ويُحمل بعيدًا عن سطح الورقة بفعل حركة الهواء ، الأمر الذي يقلل من جهد الماء في الورقة.
2. يتبخر الماء من جدار خلايا النسيج الوسطي إلى الفراغ الهوائي.
3. ينتقل الماء خارجًا من خلايا النسيج الوسطي إلى جدران الخلايا.
4. يترك الماء الوعاء الخشبي عبر قناة صغيرة تسمّى النقرة Pit. وقد يدخل إلى خلايا النسيج الوسطي أو يبقى في جدار خلايا النسيج الوسطي.
5. يتحرك الماء إلى الأعلى في أوعية الخشب ليحل محل الماء المفقود من الورقة.

الشكل ٦ - ١٠ انتقال الماء في الورقة بسحب الماء عبر النبات نتيجة النتح.

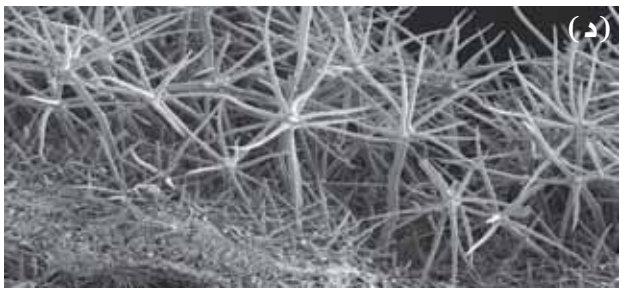
نباتات البيئة الجافة

نباتات البيئة الجافة Xerophytes تعيش في الأماكن التي بها نقص في الماء. للعديد من أوراق هذه النباتات تكيّفات خاصة تقلّل من فَقد الماء إلى الحد الأدنى. تبيّن الصورة ٦-٦ أمثلة على ذلك.

(أ) صورة مجهرية إلكترونية (الماسح) لمقطع عرضي في جزء من ورقة ملتفة من عشبة المرام *Ammophila arenaria*. ينمو العشب على الكثبان الرمليّة حيث الظروف شديدة الجفاف. يمكن أن تلتف الأوراق بسبب انكماش خلايا مفصليّة خاصة، الأمر الذي يجعل طبقة **الكيوتيكل Cuticle** السميكة والعازلة للماء مكشوفة للهواء خارج الورقة. تحتوي الكيوتيكل على مادة دهنيّة عازلة للماء نسبيًا تسمى كيوتين *Cutin*. توجد الثغور فقط في البشرة العليا، ولذلك تفتح في المساحة المغلقة الرطبة في منتصف «اللفة». تساعد الشعيرات في حجز طبقة من الهواء الرطب قريبًا من سطح الورقة بما يقلل من شدة منحدر الانتشار لبخار الماء.

(ب) التين الشوكي أبونتيا *Opuntia* صبّار ذو سيقان مسطحة تقوم بعمليّة التمثيل الضوئي وتخزن الماء. له أشواك للتقليل من مساحة السطح الذي يحدث منه النتح، ويحمي النبات من أن تلتهمه الحيوانات.

(ج) صورة مجهرية إلكترونية (الماسح) بألوان زائفة لإبرة من شجرة التنوب سيتكا *Sitka* (x1265). وهي شجرة كبيرة موطنها كندا وألاسكا، أوراقها على شكل إبر لتقلل إلى حد كبير من مساحة سطح فَقد الماء. وهي أيضًا مغطاة بطبقة من الشمع العازلة للماء، ولها ثغور غائرة، كما هو موضح.



(د) صورة مجهرية إلكترونية (الماسح) لمقطع عرضي في ورقة نبات الأذينة البلياريّة *Phlomis italica* تظهر شعيراتها (x20). والشعيرات تراكيب دقيقة تشبه الشعر تعمل حاجزًا لمنع فقد الماء مثل شعيرات عشب المرام. والأذينة البلياريّة شجيرة صغيرة تعيش في المواطن الجافة في مناطق البحر الأبيض المتوسط من أوروبا وشمال أفريقيا.

(هـ) صورة لنبات الضجع في سلطنة عمان، ولاية دماء والطائيين. لها سيقان منتفخة وعصارية تخزن الماء وتقوم بعملية التمثيل الضوئي. السيقان مغطاة بالشمع، الذي يقلل من فقدان الماء.

الصورة ٦-٦ بعض التكيفات في نباتات البيئة الجافة.

مصطلحات علمية

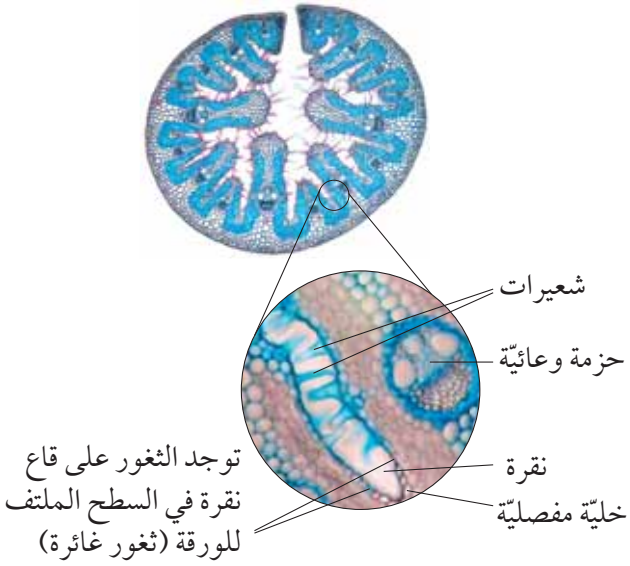
نبات بيئة جافة Xerophyte: نبات ينمو في ظروف نقص الماء.

كيوتيكل Cuticle: طبقة تفرزها البشرة فتغطيها. وهي تتكوّن في النباتات من مادة دهنيّة تسمّى كيوتين، تساعد على توفير الحماية من فَقد الماء والعدوى.

مهارات عملية ٦-٢

رسم مقطع عرضي في عشبة المرام بالمجهر الضوئي

يمكنك دراسة تركيب ورقة نبات بيئة جافة بملاحظة مقطع عرضي في ورقة عشبة المرام *Ammophila arenaria* (الصورة ٦-٧). استخدم المجهر الضوئي ونفذ رسمًا تخطيطيًا مشروحًا بقوة التكبير المتوسطة لجزء تمثيلي من الورقة مع كتابة المسميات. يمكن أيضًا تنفيذ رسم تفصيلي بقوة التكبير الكبرى لخصائص مختارة من نبات بيئة جافة. لاحظ أن الثغور الغائرة والخلايا المفصليّة على السطح الداخلي (البشرة العليا) توجد في قاع أخاديد الورقة. للبشرة العليا أيضًا شعيرات؛ لاحظ أيضًا أن السطح الخارجي (البشرة السفلى) لا يحتوي على ثغور، وتغطيه طبقة كيوتيكل سميكة.



الصورة ٦-٧ صورة مجهرية ضوئية بقوة التكبير المتوسطة لمقطع عرضي في ورقة عشبة المرام الملتفة، وتظهر أيضًا بقوة التكبير الكبرى تفصيلًا لجزء من الورقة.

أسئلة

٥ حدّد ست ميزات لأوراق نباتات البيئة الجافة من خلال الصورتَين ٦-٦ و ٦-٧، واشرح كيف تساعد كل ميزة للنبات في الحفاظ على الماء. انقل الجدول المقابل، ولخّص إجابتك باستخدام العناوين الموضحة فيه.

ميزة أوراق نبات بيئة جافة	كيف تساعد في الحفاظ على الماء؟	مثال (اسم النبات)

انتقال الماء من الخشب عبر الورقة

عندما يتبخر الماء من جدران خلايا النسيج الوسطي، فإنه يتم تعويضه عن طريق أوعية الخشب في الورقة. حيث ينتقل الماء باستمرار من هذه الأوعية عبر أجزاء جدران الوعاء الخشبي غير المغطاة باللجنين. ثم يتحرك الماء مع منحدر جهد الماء من خليّة إلى أخرى في الورقة على امتداد مسارَين محتملَين. ينتقل الماء في المسار الأول المسمّى **الممر الخلوي الجماعي Symplast pathway** من خليّة إلى أخرى عبر الروابط البلازميّة؛ وينتقل الماء في المسار الثاني المسمّى **الممر خارج الخلوي Apoplast pathway** عبر جدران الخلايا. سيعرض الممر خارج الخلوي والممر الخلوي الجماعي بمزيد من التفصيل لاحقًا في هذه الوحدة.

تركيب الخشب

معرفة تركيب نسيج الخشب ضرورية لفهم كيفيّة انتقال الماء إلى الخشب من الجذور، ثم إلى أعلى الساق وإلى الأوراق.

يتكوّن الخشب من نسيج الخشب، ويحتوي على أكثر من نوع واحد من الخلايا، وأكثرها أهمية في النقل هي **عناصر الأوعية الخشبيّة Xylem vessel elements**. يبدأ تكوين الوعاء الخشبي من خليّة نباتيّة طبيعية، تترسب على جدرانها لاحقًا مادة اللجنين، وهي مادة صلبة وقوية جدًا وعازلة للماء. ومع تراكم اللجنين حول الخلايا، تموت محتويات الخلية تاركة مساحة فارغة تمامًا، أو تجويفًا في الداخل.

تكون عناصر الأوعية الخشبيّة ممتدة، وتصطف لترتبط نهاية كل منها بالأخرى. بعد ذلك تتفكك الجدران العرضية تمامًا مكوّنة أنبوبًا طويلًا متصلًا غير حي يمر عبر النبات. يسمى **الوعاء الخشبي Xylem vessel**، وقد يصل طوله لعدة أمتار، ويوجد العديد منه في الخشب.

هناك تعقيد آخر، ففي تلك الأجزاء من جدران الخلايا الأصليّة حيث توجد مجموعات الروابط البلازميّة، لا تترسب عليها مادة اللجنين. تبدو هذه المناطق غير الملجننة كأنها «فراغات» في الجدران السميكة لأوعية الخشب، تسمّى النقر Pits. وتلك النقر هي ثقوب غير مفتوحة، لأنها ما زالت تحتوي على جدار الخليّة الأصليّة غير السميك والمحتوي على السليلوز. ترتبط النقر في الخليّة الواحدة مع تلك التي في الخلايا المجاورة، كالذي تقوم به الروابط البلازميّة، لذا يمكن أن ينتقل الماء بحرّية من خليّة إلى أخرى (الشكل ٦-١٢). وهذا ضروري، لأنه يعني أن الماء يمكن أن ينتقل من وإلى الأوعية الخشبيّة، على الرغم من وجود اللجنين العازل للماء.

ونتيجة لقوة اللجنين التي تعيق الضغط والتمدد، يؤدي الخشب وظيفة مهمة في الدعم فضلًا عن كونه نسيج نقل. وترتبط الميزات الميكانيكيّة لأوعية الخشب ارتباطًا وثيقًا بوظيفتها.

توضح الصورتان ٦-٨ و ٦-٩ والشكلان ٦-١١ و ٦-١٢ التركيب النموذجي للأوعية الخشبية.

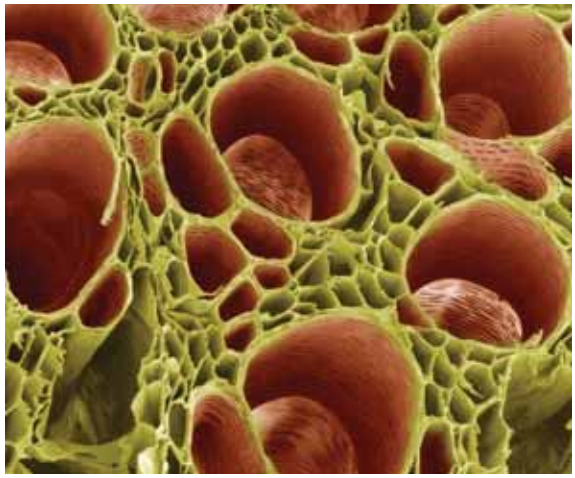
مصطلحات علمية

الممر الخلوي الجماعي Symplast pathway: النظام الحي للبروتوبلاست المترابط والممتد عبر النبات، ويستخدم كمسار نقل للماء والمواد الذائبة من خلال ارتباط الخلايا مع بعضها البعض عبر الروابط البلازميّة.

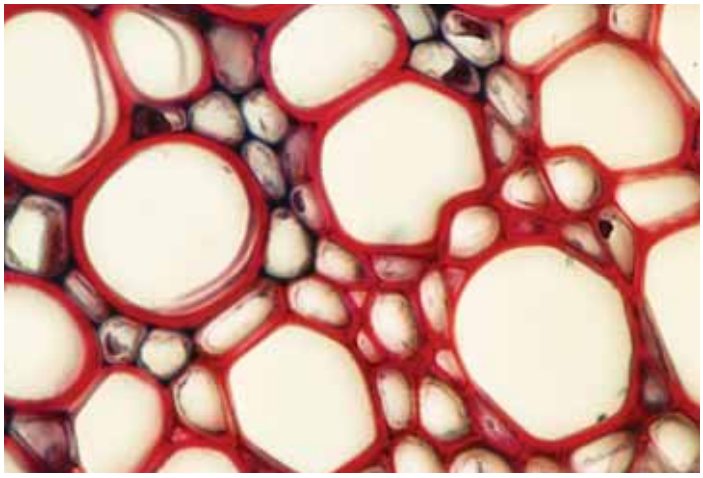
الممر خارج الخلوي Apoplast pathway: النظام غير الحي لجدران الخلايا المترابطة والممتد عبر النبات، ويستخدم كمسار نقل للماء والأملاح المعدنيّة.

عنصر الوعاء الخشبي Xylem vessel element: خليّة ميتة ملجننة توجد في نسيج الخشب متخصصة بنقل الماء والدعم؛ تتفكك الجدران العرضية وتشكل مع العناصر المجاورة أنابيب طويلة تسمّى الأوعية الخشبيّة.

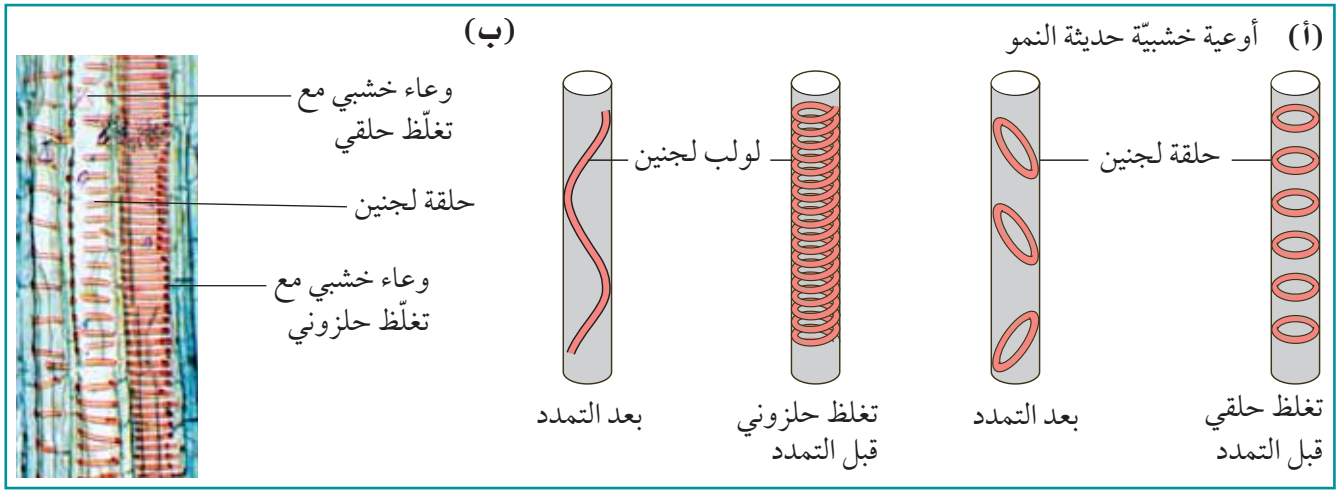
الوعاء الخشبي Xylem vessel: أنبوب ميت فارغ ذو جدران ملجننة، ينتقل عبره الماء في النباتات، ويتكوّن من اصطفاف عناصر الأوعية الخشبيّة بعضها فوق بعض (عموديًا) حيث تتصل نهاية كل منها بالأخرى.



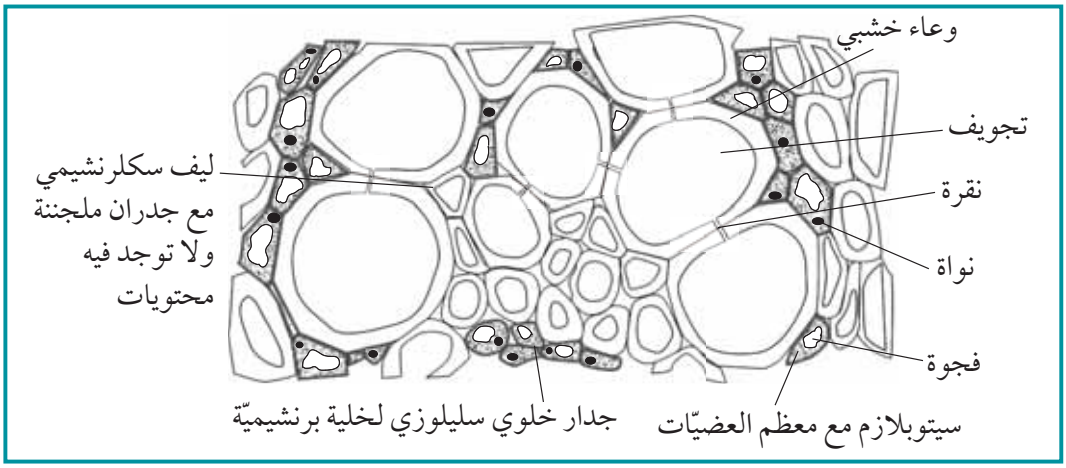
الصورة ٦-٨ صورة مجهرية إلكترونية (الماسح) لأوعية خشبيّة ناضجة تظهر نمطًا شبكيًا **Reticulate** (شبيه بالشبكة) من اللجنين **(x130)**.



الصورة ٦-٩ صورة مجهرية ضوئية للخشب كما يُرى من خلال مقطع عرضي. اللجنين مصبوغ بالأحمر. ترى خلايا برنشيميّة صغيرة بين الأوعية الخشبيّة **(x120)**.



الشكل ٦-١١ تركيب نسيج الخشب. (أ) رسوم تخطيطيّة تبيّن بعض الأنواع المختلفة من التغلظ في أوعية الخشب الحديثة. يمكن أن تمتد الأوعية الحديثة (الخشب الأولي) طوليًا. (ب) صورة مجهرية ضوئية من نسيج الخشب كما تشاهد من خلال مقطع طولي **(x100)**. اللجنين مصبوغ بالأحمر. تبيّن المقاطع الطوليّة طبيعة الأوعية الشبيهة بالأنبوبة.



الشكل ٦-١٢ رسم تخطيطي للخشب من الصورة ٦-٨

انتقال الماء عبر الخشب من الجذر إلى الورقة

يؤدي فقدان الماء من أوعية الخشب في الورقة إلى حدوث الشد Tension في الماء المتبقي في أوعية الخشب (يصبح جهد الماء في الجزء العلوي من الوعاء الخشبي أقل من جهد الماء في الجزء السفلي). ويسبّب الشد انتقال الماء إلى أعلى الأوعية الخشبيّة، فتمتلئ به، بالطريقة نفسها التي يتم فيها انتقال الماء إلى فمك عبر ماصة الشرب.

ونتيجة لزيادة الشد الذي تسببه قوة السحب عبر ماصة الشرب، تنهار جدرانها إلى الداخل. ويحدث الأمر نفسه مع الأوعية الخشبيّة إذا لم تكن جدرانها قويّة ملجننة لمنعها من الانهيار. الشد، هو في الواقع ضغط سالب، يماثل سحب الماء.

يتم انتقال الماء والأملاح المعدنيّة إلى الأعلى عبر أوعية الخشب بالتدفق الكمي. وهذا يعني أن جميع جزيئات الماء، بالإضافة إلى أي مواد ذائبة، تنتقل معًا بالسرعة نفسها، مثل الماء في النهر. ويختلف هذا عن الانتشار، حيث الأنواع المختلفة من الجزيئات أو الأيونات تنتقل بسرعات واتجاهات مختلفة وفقًا لمنحدر انتشارها. ينتج من الرابطة الهيدروجينية بين جزيئات الماء جذب الجزيئات بعضها لبعض، مما يساعدها على التدفق الكمي في نسيج الخشب، ويسمّى هذا التجاذب بالتماسك Cohesion. كما تنجذب جزيئات الماء أيضًا إلى السليلوز واللجنين في جدران الأوعية الخشبيّة، والتي هي محبة للماء، ويسمّى هذا التجاذب بالتلاصق Adhesion. يساعد التماسك والتلاصق في الحفاظ على انتقال الماء في الأوعية الخشبيّة على شكل عمود متواصل. كما أن الخلايا الميتة والفارغة تمامًا تساعد على ذلك، من خلال عدم وجود بروتوبلازم يعيق النقل.

يتوقف الماء عن الانتقال إلى الأعلى إذا تشكلت فقاعة هواء في عمود الماء، وهذا الأمر يسمّى الحاجز الهوائي. ويساعد القطر الصغير للأوعية الخشبيّة في منع حدوث مثل هذه الانقطاعات. كما تسمح النُقر في جدران الأوعية الخشبيّة للماء بالانتقال من وعاء إلى وعاء مجاور، وبالتالي تجاوز هذا الحاجز الهوائي، إذ لا يمكن أن تمر فقاعات الهواء عبر النقر، لأنه –وكما ذكر سابقًا– يوجد جدار سليلوزي في هذه النقر. والنقر أيضًا مهمة لأنها تسمح للماء بالانتقال إلى الأوعية الخشبيّة ومنها إلى الخلايا الحيّة المحيطة بها.

أسئلة

٦ اشرح كيف أدّت كل من الميزات الآتية إلى تكيّف الأوعية الخشبيّة مع وظيفتها في نقل الماء من الجذور إلى الأوراق.

أ. عدم وجود محتويات الخليّة.

ب. عدم وجود جدران عرضية في عناصر أوعية الخشب المفردة.

ج. قطر ضيق (بين 0.01 mm و 0.2 mm)

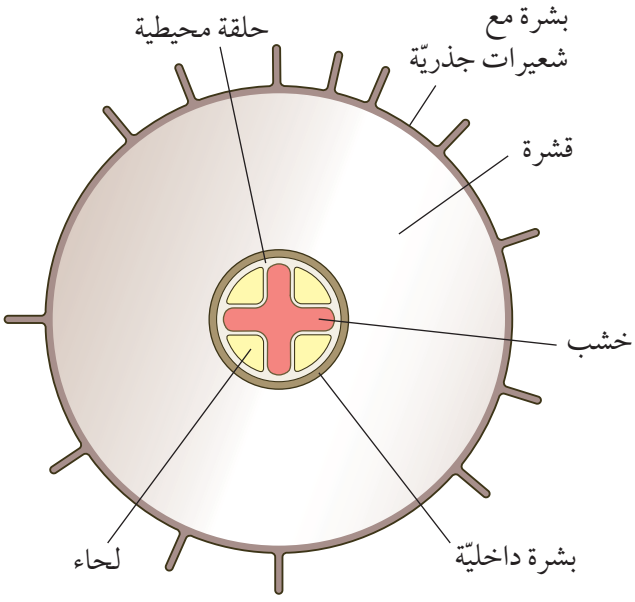
د. جدران ملجننة

هـ. وجود النقر

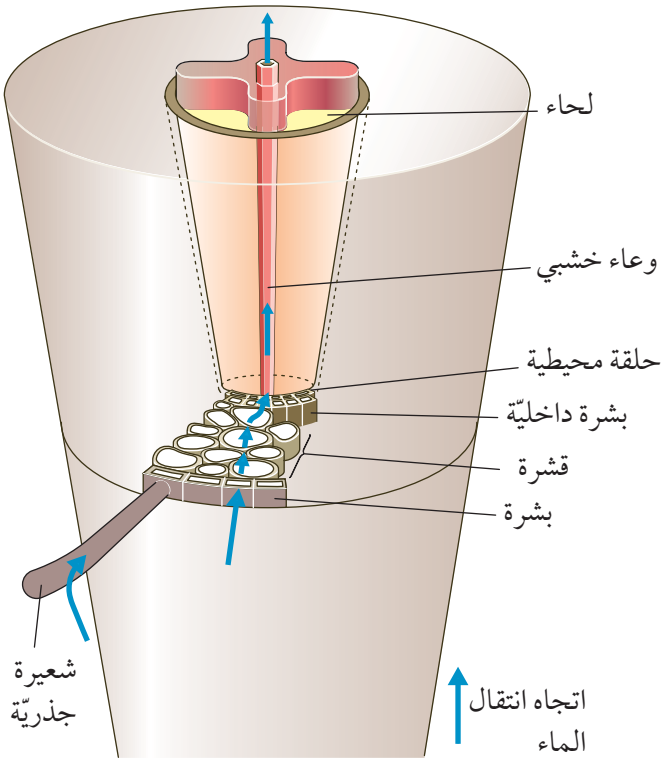
٧ تسمّى النظريّة المقبولة عن انتقال الماء عبر الخشب نظريّة التماسك–الشد. وهي تعتمد إلى حد كبير على ما يسمّى قوة السحب بالنتح (القوة السالبة). اشرح بإيجاز استخدام المصطلحين العلميين: التماسك–الشد، قوة السحب بالنتح.

انتقال الماء عبر الجذر من الشعيرات الجذريّة إلى الخشب

يبيّن الشكلان ٦-١٣ و ٦-١٤ مقاطع طوليّة في جذر حديث النمو. تظهر الأوعية الخشبيّة في مركز الجذر، على العكس من ترتيبها في الساق، حيث تترتب في حلقة هي أقرب إلى الخارج. تمتص الشعيرات الجذريّة الموجودة على السطح الخارجي للجذر والتي تنمو من البشرة، الماء، فتزيد هذه الشعيرات من مساحة سطح الامتصاص للماء (وللأيونات المعدنيّة). وينتقل الماء بعد دخول الشعيرات الجذريّة إلى قشرة الجذر، ثم إلى الخشب في مركز الجذر. ويحدث ذلك لأن جهد الماء داخل الأوعية الخشبيّة أقل من جهد الماء في الشعيرات الجذريّة. لذلك ينتقل الماء عبر الجذر مع منحدر جهد الماء.



الشكل ٦-١٣ مقطع طولي في جذر نبات ثنائي الفلقة حديث النمو يبيّن توزيع الأنسجة.



الشكل ٦-١٤ مسار انتقال الماء من الشعيرة الجذريّة إلى الخشب.

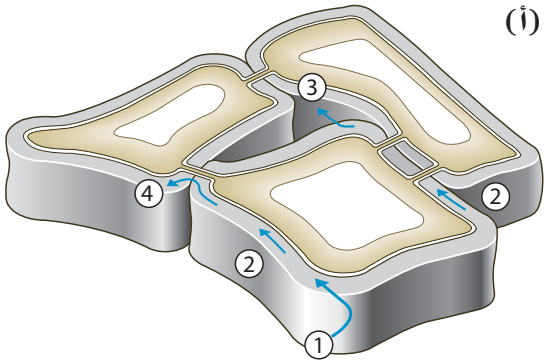
كما درست سابقًا، يسلك الماء مسارَين عبر القشرة: مسار الممر الخلوي الجماعي، ومسار الممر خارج الخلوي. ويمكن أن تبدل جزيئات الماء المفردة مسارها عشوائيًا من مسار إلى آخر في أي وقت.

تحاط خلايا القشرة، مثل جميع الخلايا النباتيّة، بجدران خلويّة تحتوي على عدة طبقات من ألياف السليلوز المتقاطعة بعضها مع بعض. ويمكن أن يتسرب الماء إلى داخل هذه الجدران كما يتسرب في ورقة النشاف، كما يمكن أن ينتقل الماء عبر الجذر من جدار خليّة إلى جدار خليّة أخرى من دون أن يدخل سيتوبلازم خلايا القشرة. وهذا ما يمثل الممر خارج الخلوي (الشكل ٦-١٥ أ).

الاحتمال الآخر أن ينتقل الماء إلى السيتوبلازم أو إلى فجوة خليّة قشرة بالأسموزيّة، ثم إلى الخلايا المجاورة من خلال الارتباط الداخلي بالروابط البلازميّة. وهذا ما يمثل الممر الخلوي الجماعي (الشكل ٦-١٥ ب).

عندما يصل الماء إلى البشرة الداخليّة (الشكل ٦-١٣ و ٦-١٤)، يكون الممر خارج الخلوي مسدودًا. تتكوّن البشرة الداخليّة مثل البشرة الخارجيّة من طبقة واحدة من الخلايا (الصورة ٦-١٠). وهي تحيط بالنسيج الوعائي في السيقان والجذور.

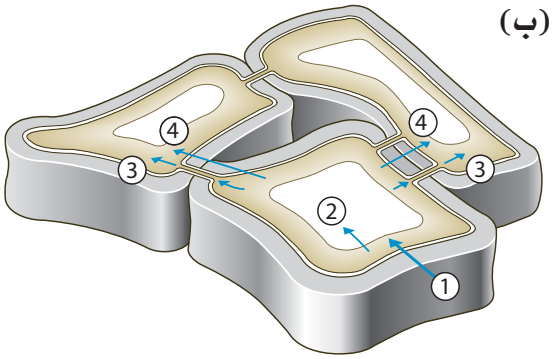
(أ)



الممر خارج الخلوي

1. يدخل الماء إلى جدار الخليّة.
2. ينتقل الماء عبر جدار الخليّة.
3. قد ينتقل الماء من جدار الخليّة إلى جدار خليّة أخرى عبر الفراغات بين الخلايا.
4. قد ينتقل الماء مباشرة من جدار خليّة إلى جدار خليّة أخرى.

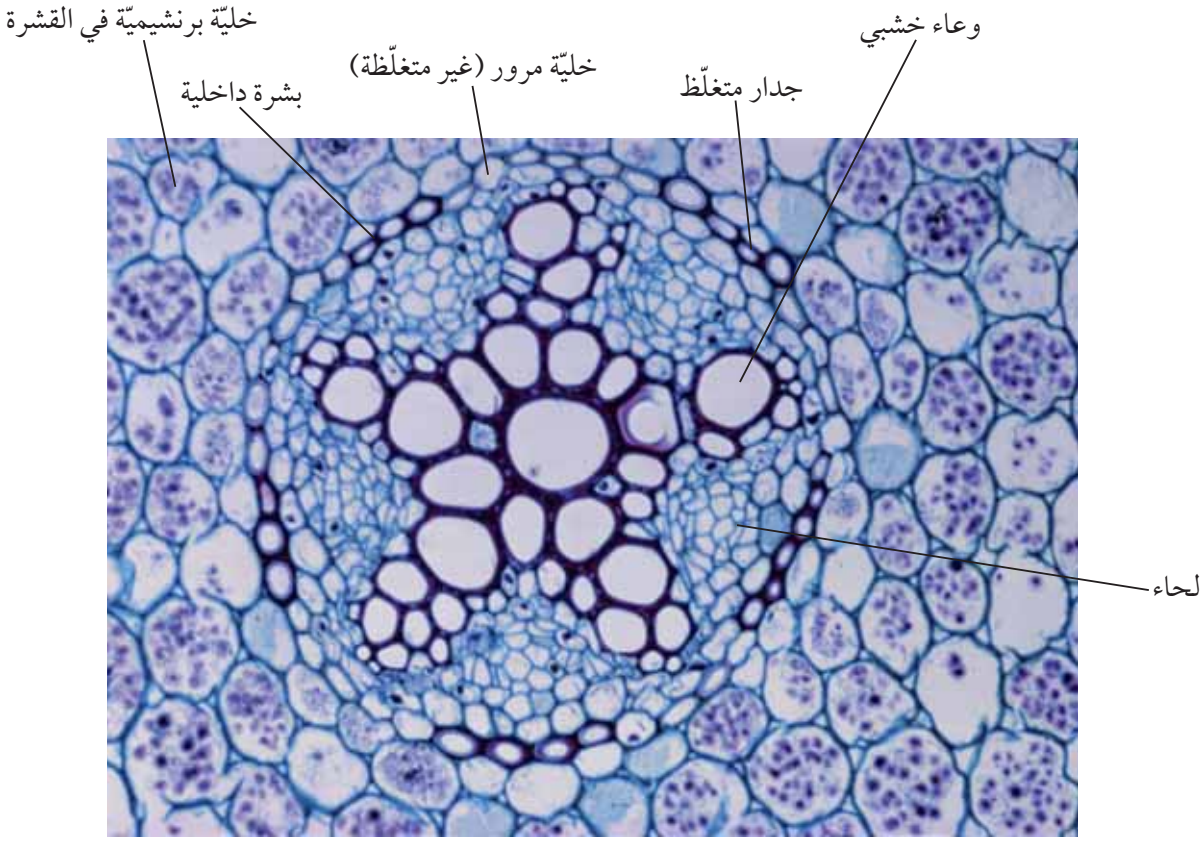
(ب)



الممر الخلوي الجماعي

1. يدخل الماء إلى السيتوبلازم بالأسموزيّة عبر غشاء سطح الخليّة المنفذ جزئيًا.
2. ينتقل الماء إلى العصارة في الفجوة المركزية بالأسموزيّة عبر التونوبلاست.
3. قد ينتقل الماء من خليّة إلى أخرى عبر الروابط البلازميّة.
4. قد ينتقل الماء من خليّة إلى أخرى عبر أغشية سطح الخليّة المجاورة وجدران الخليّة.

الشكل ٦-١٥ (أ) الممر خارج الخلوي و (ب) الممر الخلوي الجماعي لانتقال الماء من الشعيرات الجذريّة إلى الخشب.

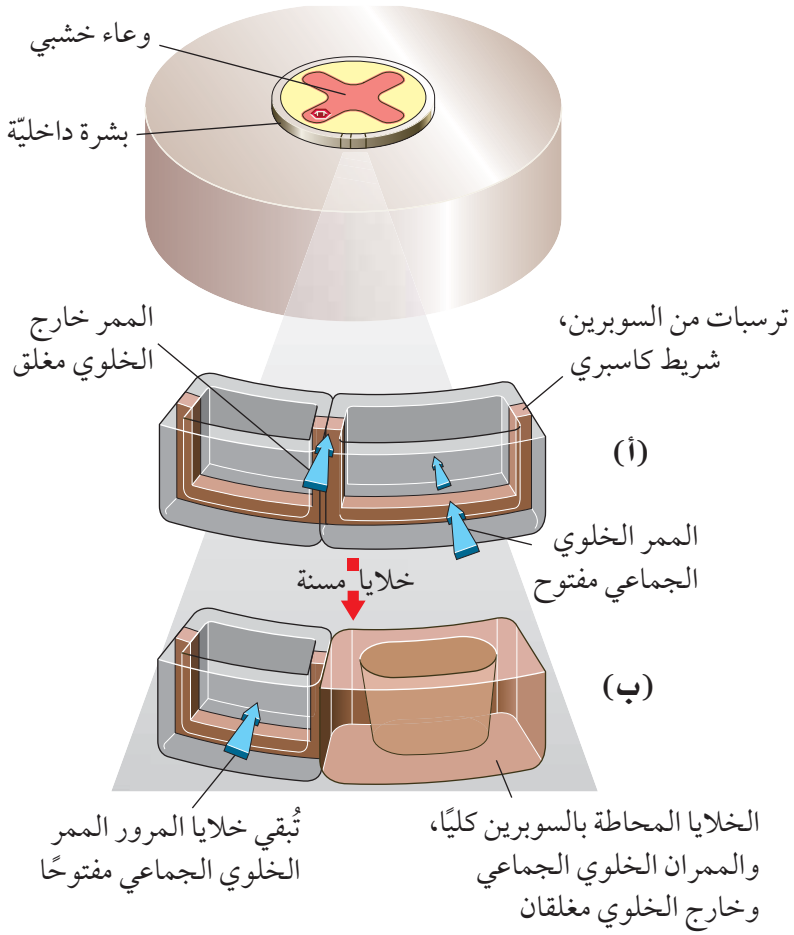


الصورة ٦-١٠ صورة مجهرية ضوئية لجزء من مقطع عرضي في جذر نبات ثنائي الفلقة تظهر فيه البشرة الداخليّة بجدرانها المتغلظة. لاحظ أيضًا خلايا المرور التي تسمح بمرور الماء (x250).

تحتوي الخلايا في البشرة الداخليّة على شريط شمعي غليظ عازل للماء من مادة السوبرين Suberin في جدرانها الخلويّة (الشكل ٦-١٦). يسمّى هذا الشريط شريط كاسبري Casparian strip، وهو يحيط بالخليّة. يمنع هذا الشريط انتقال الماء عبر الممر خارج الخلوي. لذا فإن الطريق الوحيد للماء القادم عبر القشرة لعبور البشرة الداخليّة هو الأجزاء غير المتغلّظة من الجدران في سيتوبلازم خلايا البشرة الداخليّة. ومع تقدم خلايا البشرة الداخليّة في السن تصبح ترسبات السوبرين أكثر كثافة بحيث لا يمكن للماء دخول هذه الخلايا، باستثناء بعض الخلايا التي تسمى خلايا المرور Passage cells.

تبقى خلايا المرور محتفظة بشريط كاسبري، لكن يمكن للماء الاستمرار في المرور عبر الممر الخلوي الجماعي. ويعتقد أن هذا الترتيب يوفر للنبات تحكمًا في نوعيّة الأيونات المعدنيّة التي تمر إلى الأوعية الخشبيّة، حيث يجب أن يمر كل شيء عبر أغشية سطح الخليّة.

يستمر الماء بعد عبوره البشرة الداخليّة بالانتقال مع المنحدر نحو الأوعية الخشبيّة من خلال الممر الخلوي الجماعي أو الممر خارج الخلوي. ينتقل الماء إلى الأوعية الخشبيّة عبر النقر أو الأماكن غير الملجننة من جدرانها. وينتقل بعد ذلك إلى الأعلى عبر الأوعية باتجاه الأوراق، كما وصف سابقًا.



الشكل ٦-١٦ تمنع ترسبات السوبرين في البشرة الداخليّة مرور الماء عبر الممر خارج الخلوي. (أ) يشكل السوبرين في الجذر الحديث أشرطة في جدران الخليّة تسمّى أشرطة كاسبري. يبقى الممر الخلوي الجماعي مفتوحًا. (ب) تصبح الخلايا بأكملها في الجذر المسن محاطة بالسوبرين، الأمر الذي يغلق الممر الخلوي الجماعي أيضًا، وتكون عندها خلايا المرور فقط منفذة للماء.

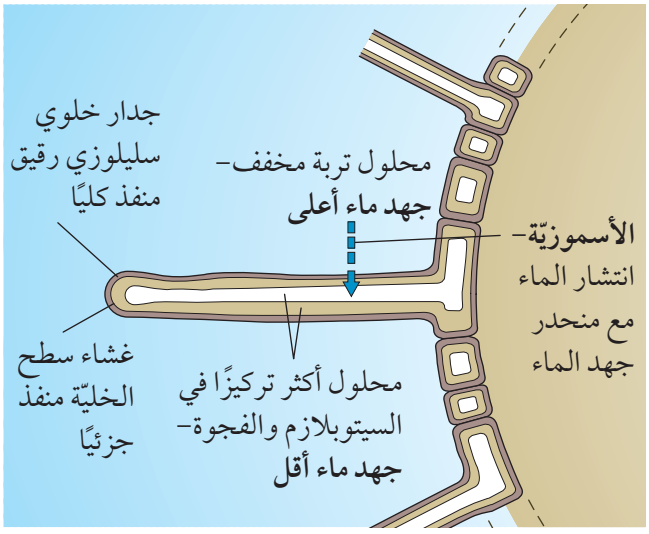
انتقال الماء من التربة إلى الشعيرات الجذريّة

تبيّن الصورة ٦-١١ نمو جذر حديث في التربة. تكون قمة الجذر مغطاة من طرفها بقلنسوة الجذر Root cap وهو غطاء قوي وواقٍ وغير منفذ للماء. ويمكن رؤية العديد من التراكيب الشبيهة بالشعيرات فوق موقع قمة الجذر مباشرة. وتسمّى هذه التراكيب بالشعيرات الجذريّة Root hairs، وهي امتدادات لبعض خلايا بشرة الجذر. تمتد الشعيرات الجذريّة بين جسيمات التربة إلى مسافات طويلة، حيث تمتص الماء والأيونات المعدنيّة.

ينتقل الماء إلى الشعيرات الجذريّة بالأسموزيّة مع منحدر جهد الماء (الشكل ٦-١٧). وبالرغم من أن ماء التربة يحتوي على بعض الأيونات غير العضويّة إلّا أنه يُعدّ محلولًا مخففًا نسبيًا وله جهد ماء عالٍ. ومع ذلك، يحتوي السيتوبلازم وعصارة الخليّة داخل الشعيرات الجذريّة على كميات كبيرة من الأيونات غير العضويّة والمواد العضويّة مثل البروتينات والسكريات الذائبة فيها، لهذا يكون جهدها المائي منخفضًا نسبيًا. لذلك ينتشر الماء مع منحدر جهد الماء، عبر غشاء سطح الخليّة المنفذ جزئيًا، إلى السيتوبلازم والفجوة في خليّة الشعيرة الجذريّة.

يوفر العدد الكبير من الشعيرات الجذريّة الدقيقة مساحة سطح كبيرة تلامس التربة المحيطة بالجذر، وتزيد بالتالي من معدل امتصاص الماء. والشعيرات الجذريّة مهمة أيضًا لامتصاص الأيونات المعدنيّة مثل النترات والمغنيسيوم.

الصورة ٦-١١ جذر صغير لنبات الفجل *Raphanus* يظهر قلنسوة الجذر والشعيرات الجذرية.



الشكل ٦-١٧ امتصاص الماء والأيونات المعدنية بواسطة خليّة الشعيرة الجذرية.

٦-٣ نقل نواتج التمثيل الغذائي

المواد الناتجة من التمثيل الغذائي Assimilates هي المركبات الكيميائيّة التي يصنعها النبات بنفسه في عمليّة التمثيل الغذائي. ويعرّف التمثيل الغذائي Assimilation في النباتات بأنه مجموعة العمليات التي يحوّل بها النبات المواد غير العضويّة إلى مركبات عضويّة. ومن الأمثلة على التمثيل الغذائي عمليّة التمثيل الضوئي التي يتحول فيها غاز ثاني أكسيد الكربون والماء باستخدام الطاقة إلى مواد عضوية مذابة مثل السكريات. ومن الأمثلة أيضًا استخدام النيترات Nitrates الممتصة من التربة للمساعدة في بناء الأحماض الأمينيّة. والسكروز والأحماض الأمينيّة من نواتج التمثيل الغذائي الشائعة والتي تنتقل عبر مسافات طويلة في اللحاء.

يتم نقل نواتج التمثيل الغذائي من **المصادر Sources** إلى **المصبات Sinks** عبر اللحاء. المصدر هو المكان الذي توجد فيه المادة الناتجة من التمثيل الغذائي، والمصب هو المكان الذي تنتقل إليه تلك المادة للنمو والتطوّر أوالتخزين. من المصادر الشائعة الأوراق وأعضاء التخزين مثل الدرنات. ومن المصبات الشائعة البراعم والأزهار والفاكهة والجذور وأعضاء التخزين.

سؤال

(٨) اذكر مثالًا على جزيء عضوي يحتوي على:

أ. نيتروجين ب. فسفور ج. كبريت

تركيب اللحاء

لقد درست أن اللحاء ينقل المواد العضوية الناتجة من عمليات التمثيل الغذائي، ويبدو موقع اللحاء في النبات في الأشكال ٦-٢ إلى ٦- ٥ و ٦-٩ إلى ٦-١٣ والصور ٦-٤ و ٦-٥ و ٦-١٠.

يتكوّن نسيج اللحاء من عدة أنواع من الخلايا، أكثرها أهميّة للنقل **عناصر الأنبوب الغربالي Sieve tube elements والخلايا المرافقة Companion cells** (الصورتان ٦-١٢ و ٦-١٣ والأشكال ٦-١٩ إلى ٦-٢١).

عناصر الأنبوب الغربالي والأنابيب الغربالّية

يحتوي اللحاء على أنابيب تسمّى **الأنابيب الغربالّية Sieve tubes** التي تكوّنت من خلايا تسمّى عناصر الأنبوب الغربالي. وتتكوّن الأنابيب الغربالّية من خلايا حيّة على عكس الأوعية الخشبيّة. يبيّن الشكل ٦-١٨ رسمًا تخطيطيًا لتركيب الأنبوب الغربالي والخلايا المرافقة له. ويبيّن الشكلان ٦-١٩ و ٦-٢٠ رسمَين تخطيطيَّين يعتمدان على الصورتَين ٦-١٢ و ٦-١٣.

مصطلحات علمية

المصدر Source: موقع في النبات يوفر الغذاء لجزء آخر من النبات.

المصب Sink: موقع في النبات يستقبل الغذاء من المصدر.

عنصر الأنبوب الغربالي Sieve tube element: خليّة في نسيج اللحاء ذات جدران سليلوزيّة غير مغلّظة وسيتوبلازم قليل جدًا ولا تحتوي على نواة، ولها جدران نهائيّة مثقبة تكوّن الصفائح الغربالّية التي تنتقل عبرها العصارة الخلويّة المحتوية على السكروز.

الخليّة المرافقة Companion cell: خليّة ذات جدار سليلوزي مغلّظ وسيتوبلازم كثيف له ارتباط وثيق مع عنصر الأنبوب الغربالي في اللحاء حيث يرتبطان مباشرة عبر الروابط البلازميّة. وتكوّن الخليّة المرافقة والأنبوب الغربالي وحدة وظيفيّة.

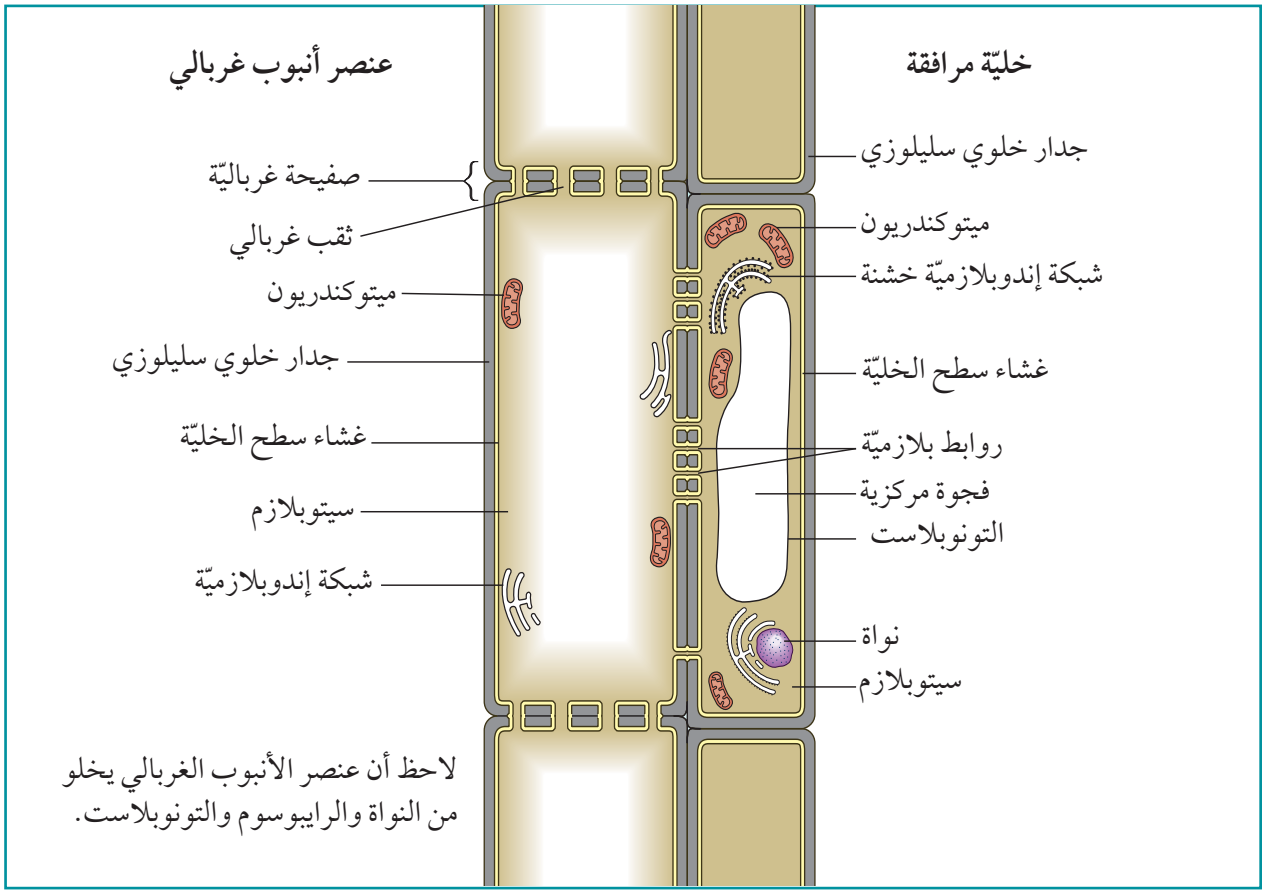
الأنبوب الغربالي Sieve tube: أنبوب يتكوّن من اصطفاف عناصر الأنبوب الغربالي فوق بعضها واتصال جدرانها العرضية.

تأخذ عناصر الأنبوب الغربالي شكلًا طوليًا، ترتبط فيه الخلايا عموديًا عند الجدران العرضية مكونة أنبوبًا متواصلًا. ولعناصر الأنبوب الغربالي (كما في الخليّة النباتيّة النموذجيّة) جدار خلوي يحتوي على سليلوز، وغشاء سطح الخليّة وسيتوبلازم به شبكة إندوبلازميّة وميتوكندريا. ومع ذلك، تكون كميّة السيتوبلازم قليلة بشكل كبير وتشكل فقط طبقة رقيقة داخل جدار الخليّة. ولا توجد نواة، ولا توجد رايبوسومات.

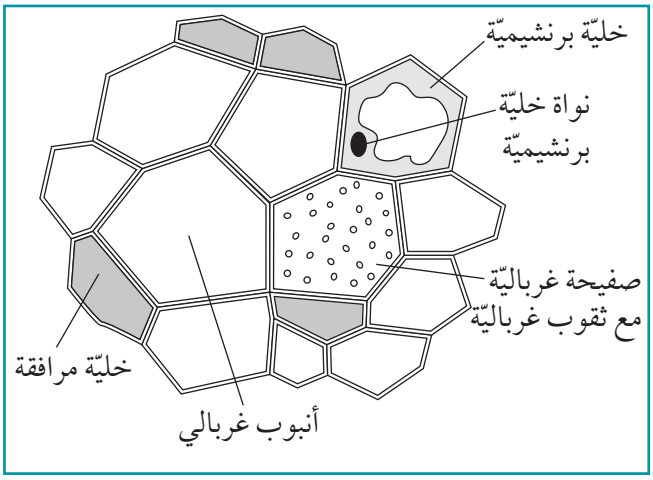
الميزة الملفتة للانتباه في عناصر الأنبوب الغربالي هي الجدران العرضية حيث تتشكل صفيحة غربالية Sieve plate عند التقاء الجدران العرضية لأنبوبين غربالييَّن. تتكوّن الصفيحة الغربالية من جدران كلا الخليتَين وتكون مثقبة بثقوب كبيرة يسهل رؤيتها بالمجهر الضوئي الجيد. وهذه الثقوب تكون مفتوحة بحيث تشكل حاجزًا صغيرًا لتدفق السوائل من خلالها.

يجاور كل عنصر أنبوب غربالي خليّة مرافقة واحدة على الأقل. وللخلايا المرافقة تركيب خليّة نباتيّة نموذجيّة، يحتوي جداره الخلوي على سليلوز وغشاء سطح الخليّة، وسيتوبلازم، وفجوة صغيرة ونواة. لكن عدد الميتوكندريا والرايبوسومات أكثر من الطبيعي، والخلايا نشطة أيضيًا.

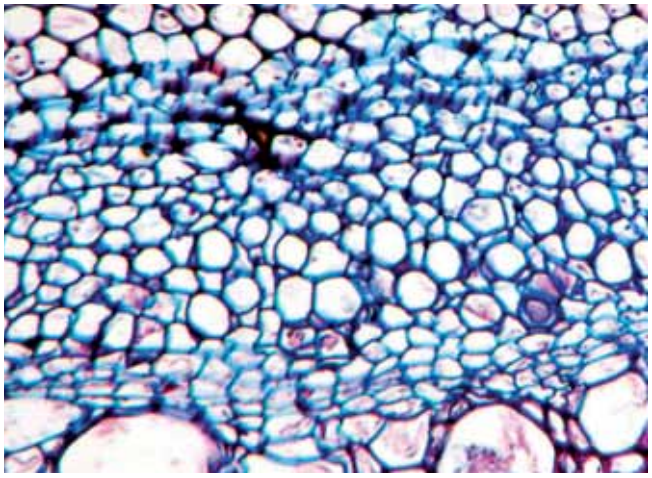
ترتبط الخلايا المرافقة وظيفيًا ارتباطًا وثيقًا مع عناصر الأنبوب الغربالي المجاورة، بحيث يُعَدّان وحدة وظيفيّة واحدة. حيث تمر العديد من الروابط البلازميّة عبر جدرانها، لتكوّن اتصالًا مباشرًا بين سيتوبلازم الخليّة المرافقة وعنصر الأنبوب الغربالي.



الشكل ٦-١٨ عنصر الأنبوب الغربالي في اللحاء وخليته المرافقة.

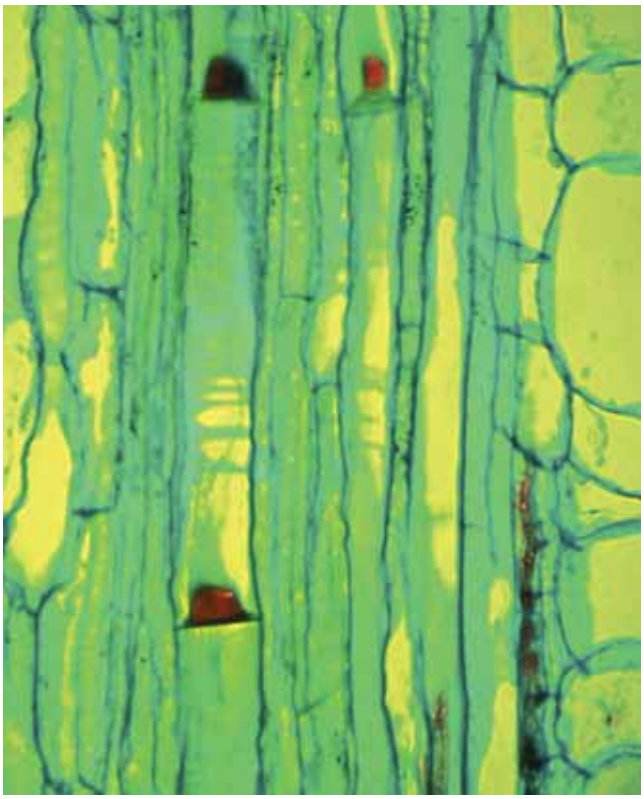


الشكل ٦-١٩ عنصر الأنبوب الغربالي في اللحاء وخليته المرافقة من خلال مقطع عرضي.



الصورة ٦-١٢ صورة مجهرية ضوئية للحاء من خلال مقطع عرضي (x300).

الشكل ٦-٢٠ رسم تخطيطي لتركيب اللحاء من خلال مقطع طولي.



الصورة ٦-١٣ صورة مجهرية ضوئية للحاء من خلال مقطع طولي (x200). المثلثات الحمراء عبارة عن رقع من الكالوز تكوّنت عند الصفيحة الغربالّية بين عناصر الأنبوب الغربالي لإصلاح الضرر الحاصل نتيجة القطع. يمكن رؤية الخلايا المرافقة مع السيتوبلازم الأكثر كثافة، إلى جانب عناصر الأنبوب الغربالي. تظهر بعض الخلايا البرنشيميّة في أقصى اليمين.

محتويات أنابيب اللحاء الغربالية

يسمّى السائل الموجود داخل أنابيب اللحاء الغربالية عصارة اللحاء أو العصارة الغذائيّة. يبيّن الجدول ٦-١ مكوّنات العصارة في نبات الخروع *Ricinus communis*.

سؤال

(٩) أيّ المواد الواردة في الجدول ناتجة من التمثيل الغذائي في النبات؟

المادة المذابة	التركيز $mol/L\ dm^{-3}$
سكروز	250
أيونات بوتاسيوم	80
أحماض أمينيّة	40
أيونات الكلوريد	15
أيونات الفوسفات	10
أيونات المغنيسيوم	5
أيونات الصوديوم	2
ATP	0.5
أيونات النترات	0
مواد النمو النباتيّة (الهرمونات) (على سبيل المثال، الأكسين، السيتوكينين)	تراكيز ضئيلة

الجدول ٦-١ مكوّنات عصارة اللحاء.

كيف يحدث النقل في الأنابيب الغربالية؟

تنتقل عصارة اللحاء، مثل عصارة الخشب، عن طريق التدفق الكمي. ينقل التدفق الكمي المواد الذائبة العضويّة بمعدل متر واحد في الساعة في المتوسط، أي أسرع 10 000 مرة من الانتشار. وتكون الحركة سالبة في الأوعيّة الخشبيّة، بمعنى أنها لا تحتاج إلى طاقة من النبات، وإنما من الشمس فقط. لكن هذا لا ينطبق على اللحاء، فلتكوين فروق الضغط اللازمة للتدفق الكمي في اللحاء، يحتاج النبات إلى استخدام طاقة. لذلك تكون عمليّة النقل في اللحاء عمليّة نشطة، على العكس من النقل السالب في الخشب.

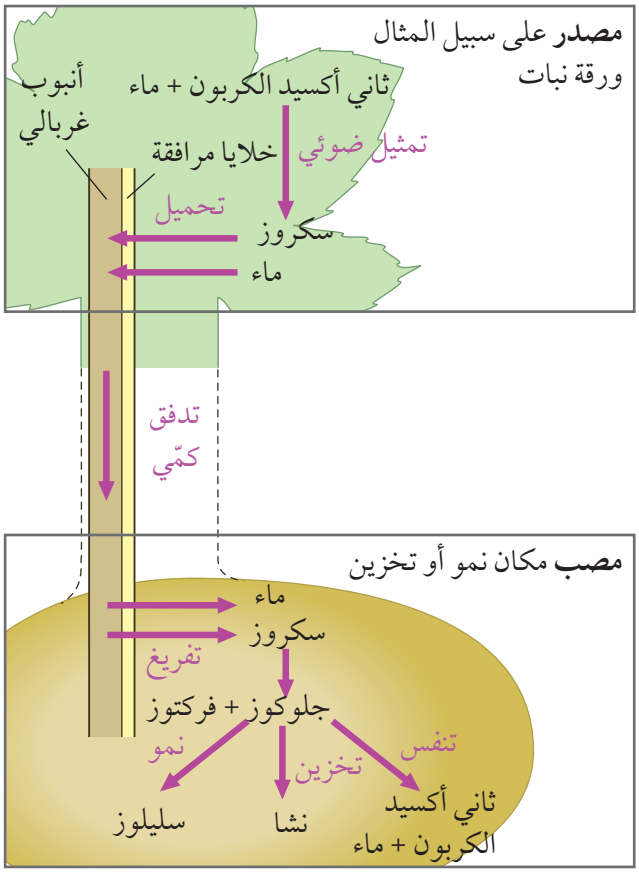
يتكون فرق الضغط في اللحاء عن طريق التحميل النشط إلى عناصر الأنبوب الغربالي من المصدر (المصدر حيث يبدأ السكروز رحلته). ويكون المصدر عادة ورقة نبات تقوم بعمليّة التمثيل الضوئي، أو عضو تخزين. ويسمّى المكان الذي ينتقل إليه السكروز من اللحاء المصب - على سبيل المثال - الجذور.

تحميل تركيز عالٍ من السكروز إلى عنصر الأنبوب الغربالي يخفض من جهد الماء في العصارة بداخله. لذلك يدخل الماء عنصر الأنبوب الغربالي متحركًا مع منحدر جهد الماء عن طريق الأسموزيّة. ويسبّب هذا الأمر تزايد الضغط في عنصر الأنبوب الغربالي. ويشار إلى هذا الضغط بالضغط المائي Hydrostatic pressure، أو ضغط الضخ، لذلك ينشأ فرق في الضغط بين المصدر والمصب. ويسبّب فرق الضغط هذا التدفق الكمي للماء والمواد الذائبة عبر الأنابيب الغربالية من مكان الضغط العالي إلى مكان الضغط المنخفض (الصورة ٦-١٤).

ويتم تفريغ السكروز من الأنابيب الغربالية إلى المصب، فيتبعه الماء عن طريق الأسموزيّة. ومع فقدان الماء من الأنبوب يقل الضغط بداخله، الأمر الذي يحافظ على منحدر الضغط المائي. يلخص الشكل ٦-٢١ التدفق الكمي من المصدر إلى المصب.

يمكن أن تكون المصبات في أي مكان في النبات سواء فوق الأوراق التي تقوم بعمليّة التمثيل الضوئي أو أسفلها. وهكذا تتدفق العصارة إلى الأعلى والأسفل في اللحاء (على عكس الخشب حيث يكون التدفق دائمًا إلى الأعلى). قد تتدفق عصارة اللحاء في أي حزمة وعائيّة إلى الأعلى في بعض الأنابيب الغربالية وإلى الأسفل في أنابيب أخرى، لكن يمكنها التدفق في اتجاه واحد في أي أنبوب غربالي معيّن في الوقت نفسه.

الصورة ٦-١٤ تحتوي عصارة اللحاء لسكر القيقب *Acer saccharum* على تركيز عالٍ من السكر الذي يحضّر منه شراب القيقب **Maple syrup**. يتم إدخال صنبور في كل شجرة لتجري العصارة خارجًا تحت ضغطها الخاص عبر الأنابيب البلاستيكيّة.



الشكل ٦-٢١ المصدر والمصب والتدفق الكمي في اللحاء.

سؤال

(١٠) أيّ ممّا يأتي مصادر وأيّها مصبات؟

أ. غدد رحيقيّة في زهرة.

ب. ثمرة نامية.

ج. نسيج التخزين في درنة بطاطس (عضو تخزين) عندما تبدأ البراعم بالنمو.

د. درنة بطاطس خلال تكونها.

تحميل السكروز في اللحاء

يتم إنتاج السكريات بعملية التمثيل الضوئي التي تجري في البلاستيدات الخضراء لخلايا النسيج الوسطي في الورقة ويتم استخدام بعض السكريات لتكوين السكروز.

ينتقل السكروز، في محلول (مذابًا في الماء)، من خلايا النسيج الوسطي عبر الورقة إلى نسيج اللحاء. وقد ينتقل عن طريق الممر الخلوي الجماعي، منتقلًا من خليّة إلى أخرى عبر الروابط البلازميّة، أو قد ينتقل عبر الممر خارج الخلوي على امتداد جدران الخلايا.

من المعروف أن الخلايا المرافقة وعناصر الأنابيب الغربالية تعمل معًا. يتم تحميل السكروز إلى الخليّة المرافقة عن طريق النقل النشط، ويبيّن الشكل ٦-٢٢ كيف يحدث هذا. تُضخ أيونات الهيدروجين (البروتونات، H^+) خارج الخلايا المرافقة إلى جدارها عن طريق مضخة البروتون باستخدام ATP مصدرًا للطاقة. ومضخات البروتون هي بروتينات توجد في غشاء سطح الخليّة، تولّد فائضًا كبيرًا من أيونات الهيدروجين في الممر خارج الخلوي خارج الخليّة المرافقة. ويمكن أن تعود أيونات الهيدروجين إلى الخليّة بواسطة الانتشار السلبي مع منحدر تركيزها، ومن خلال بروتين يعمل كحامل لكل من أيونات الهيدروجين وجزيء السكروز في الوقت نفسه. وهو يسمّى الناقل المشترك Co-transporter لأنه يحمل مادتَين في آن واحد. يحمل الناقل المشترك جزيئات السكروز إلى الخليّة المرافقة بعكس منحدر تركيز السكروز، لكن مع اتجاه منحدر تركيز أيونات الهيدروجين. يعمل الناقل المشترك فقط عندما تتحرك أيونات الهيدروجين وجزيئات السكروز عبره معًا. تنتقل جزيئات السكروز بالانتشار من الخلية المرافقة إلى الأنبوب الغربالي عبر الروابط البلازميّة التي تربط الخليّة المرافقة بالأنبوب الغربالي (الممر الخلوي الجماعي).

أسئلة

(١١) السكروز قابل للذوبان في الماء بدرجة عالية، وهو أيضًا غير نشط أيضيًا. اقترح كيف تجعله هاتان الخاصيتان سكرًا مناسبًا لينتقل عبر مسافة طويلة.

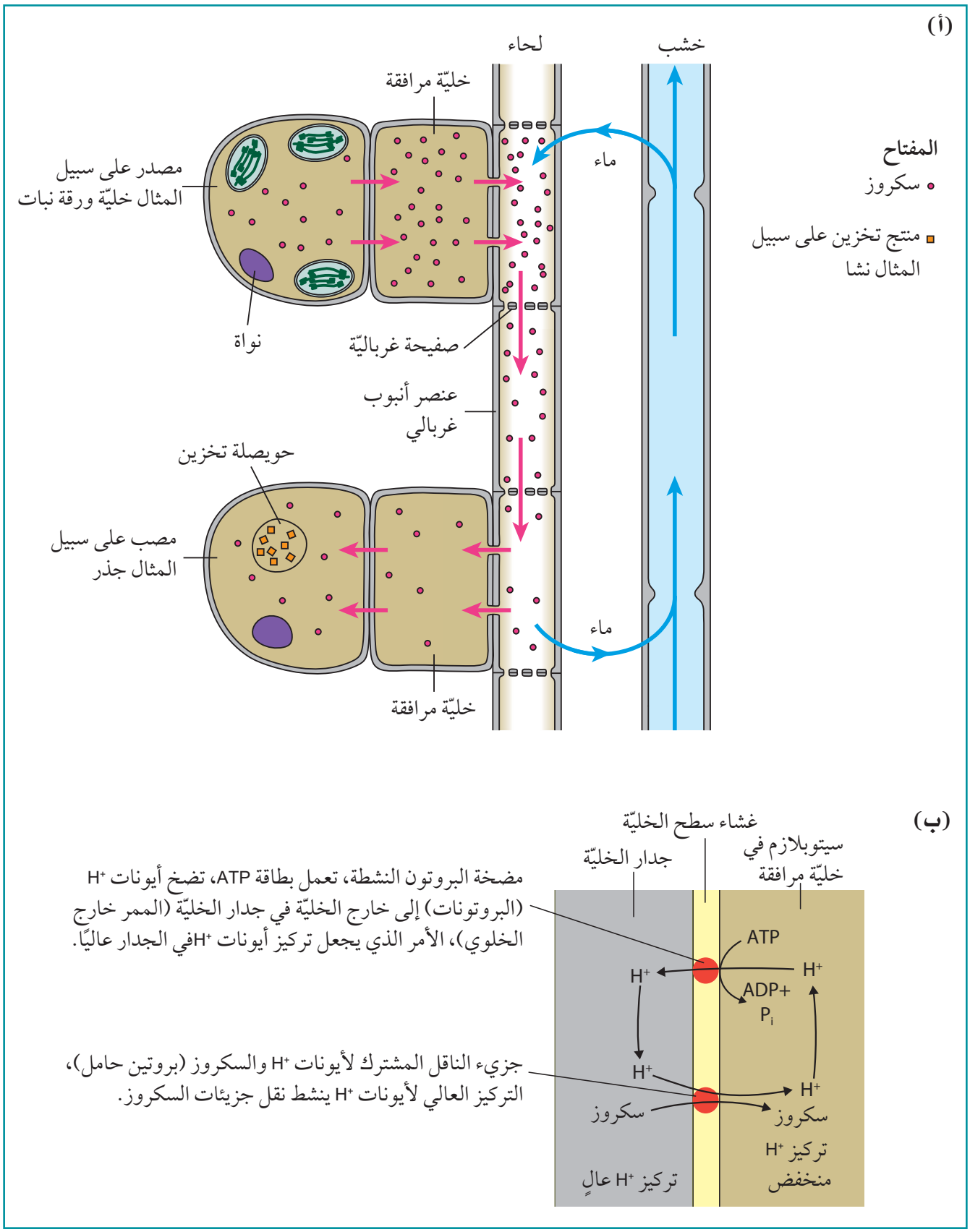
(١٢) تبيّن الصورة ٦-١٣ عنصر أنبوب غربالي «بمثلثات» من الكالوز مصبوغة بالأحمر في كل نهاية. تشير هذه المثلثات إلى مواقع الصفائح الغربالية (يترسب سكر الكالوز Callose فقط عند قطع اللحاء أثناء تحضير العيّنة، ولا يوجد بشكل طبيعي في اللحاء الحي).

أ. بافتراض أن مقدار تكبير الصورة المجهرية هو x200. احسب طول عنصر الأنبوب الغربالي. وضح خطوات الحل.

ب. ١. احسب عدد الصفائح الغربالية لكل متر، والتي يتعيّن على جزيئات السكروز عبورها إذا كانت تنتقل في الأنبوب الغربالي المحدد في الجزئية (أ). وضح خطوات الحل (افترض أن جميع عناصر الأنبوب الغربالي لها القياس نفسه الذي قيس في الصورة ٦-١٣).

٢. ما ميزة الصفائح الغربالية التي تتيح للمواد العبور من خلالها؟

ج. تتراوح معدلات التدفق في الأنابيب الغربالية من $0.3\ mh^{-1}$ إلى $1.5\ mh^{-1}$ بمتوسط $1\ mh^{-1}$ تقريبًا. إذا كان معدل التدفق في الأنبوب الغربالي الظاهر في الصورة ٦-١٣ يساوي $1\ mh^{-1}$، فما الوقت الذي يستغرقه جزيء السكروز للانتقال عبره؟ وضح خطوات الحل.



الشكل ٦-٢٢ تحميل اللحاء: (أ) إحدى الطرائق الممكنة التي يتم خلالها تحميل السكروز وتكوين منحدر ضغط مائي. (ب) تفاصيل نظام النقل المشترك لأيونات H^+– السكروز.

ملخّص

تحتاج النباتات إلى أنظمة نقل لمسافات طويلة.
ينتقل الماء والأملاح المعدنيّة في النبات عبر أوعية الخشب. انتقال الماء في النبات عمليّة سالبة ينتقل فيها الماء مع منحدر جهد الماء من التربة إلى الهواء.
مصدر الطاقة لهذه العمليّة هو الشمس، فهي تسبّب تبخر الماء من الجدران الرطبة لخلايا النسيج الوسطي في الأوراق إلى الفراغات الهوائيّة في الورقة. ومن هناك ينتشر بخار الماء إلى خارج الورقة عبر الثغور في عمليّة النتح. يؤدي فَقد الماء هذا إلى وجود منحدر في جهد الماء في جميع أجزاء النبات (من جهد الماء المرتفع في التربة إلى الجهد المنخفض في الأوراق).
النباتات التي تكيفت للعيش في الأماكن قليلة الإمداد بالماء تسمّى نباتات البيئة الجافة. لهذه النباتات تكيفات تساعدها على تقليل معدل فَقد بخار الماء من أوراقها.
ينتقل الماء في الورقة إما عبر جدران الخلايا (الممر خارج الخلوي) أو عبر سيتوبلازم الخلايا (الممر الخلوي الجماعي).
تنتقل أيونات الماء والأملاح المعدنيّة (عصارة الخشب) إلى أعلى الأوعية الخشبيّة بالتدفق الكمي. تعتمد الحركة على تماسك جزيئات الماء بعضها ببعض وتلاصق جزيئات الماء مع جدران الأوعية. يكون الماء في الأوعية الخشبيّة عرضة للشد نتيجة لفقد الماء من الأوراق بالنتح. لذا يسحب الماء إلى أعلى الأوعية، في عمليّة تسمّى قوة السحب بالنتح.
يدخل الماء النبات عبر الشعيرات الجذريّة بالأسموزيّة. يعبر الماء الجذر إما من خلال الممر خارج الخلوي أو الممر الخلوي الجماعي. وهو يدخل الأوعية الخشبيّة في مركز الجذر.
يحدث نقل المواد الذائبة العضويّة، مثل السكروز والأحماض الأمينيّة، عبر الأنابيب الغربالية إلى اللحاء الحي. تنتقل عصارة اللحاء عن طريق التدفق الكمي من مكان يسمّى المصدر إلى مكان يسمّى المصب.
ينتج السكروز في المصدر (على سبيل المثال الأوراق التي تقوم بعمليّة التمثيل الضوئي) ويستخدم في المصب (على سبيل المثال زهرة أو عضو تخزين)، يحدث التدفق الكمي نتيجة للفروق في الضغط المائي بين المصدر والمصب. يؤدي التحميل النشط للسكروز في الأنابيب الغربالية عند المصدر إلى دخول الماء بالأسموزيّة، مكوّنًا ضغطًا مائيًا عاليًا في الأنابيب الغربالية. يمكن أن تنتقل عصارة اللحاء في اتجاهات مختلفة في أنابيب غربالية مختلفة.
تظهر كلّ من الأوعية الخشبيّة والأنابيب الغربالية ميزات تركيبيّة فريدة، تتكيّف مع أدوارها في النقل.

أسئلة نهاية الوحدة

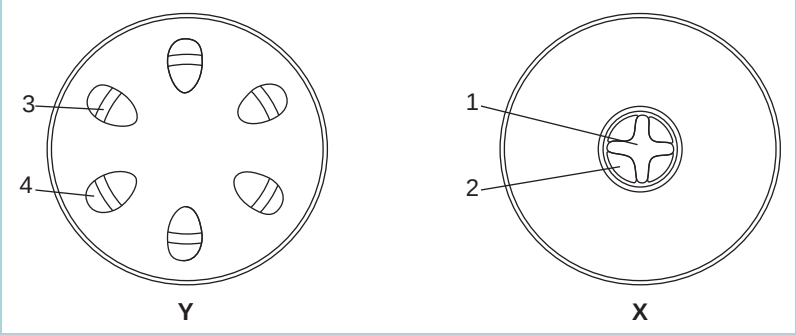
١ إذا جرى تحميل السكروز بواسطة النقل النشط في خليّة مرافقة، فأي مزيج من التغيّرات يحدث في سيتوبلازم الخليّة المرافقة؟

	جهد الماء	تركيز أيونات الهيدروجين
أ	يقل	يقل
ب	يقل	يزيد
ج	يزيد	يقل
د	يزيد	يزيد

٢ أيّ من البدائل الآتية يصف ضغط نوعَي العناصر بشكل صحيح؟

	الضغط	
	عنصر الوعاء الخشبي	عنصر أنبوب اللحاء الغربالي
أ	سالب	سالب
ب	سالب	موجب
ج	موجب	سالب
د	موجب	موجب

٣ يبيّن الشكل رسومًا تخطيطيّة لمقاطع عرضيّة لعضوَين نباتيَّين X، Y يحتويان على نسيج وعائي. أيّ من البدائل الآتية يحدّد الأنسجة بشكل صحيح؟



	X	Y
أ	1 اللحاء	4 اللحاء
ب	2 اللحاء	3 اللحاء
ج	1 الخشب	4 الخشب
د	2 الخشب	3 الخشب

تابع

٤ لا يمكن أن يحدث انتقال الماء من الشعيرة الجذريّة إلى الخشب بالكامل عن طريق الممر خارج الخلوي بسبب الخلايا الموجودة في:

أ. القشرة.

ب. البشرة الداخليّة.

ج. البشرة.

د. الحلقة المحيطية.

٥ اشرح كيف ينتقل الماء من:

أ. التربة إلى الخليّة الشعريّة

ب. خليّة قشرة الجذر إلى أخرى

ج. وعاء خشبي إلى خليّة نسيج وسطي في الورقة

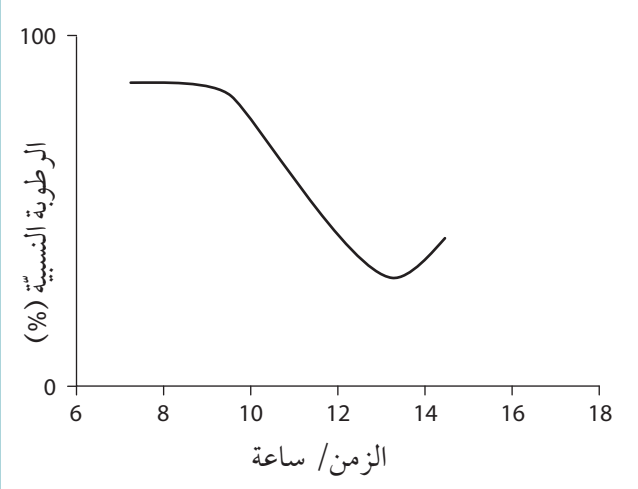
٦ رتب ما يأتي تبعًا لجهد الماء استخدم الرمز > ليعني «أكبر من»:

هواء غلاف جوي جاف **خليّة نسيج وسطي** **خليّة شعيرة جذريّة**

محلول ترابي **محتويات وعاء خشبي**

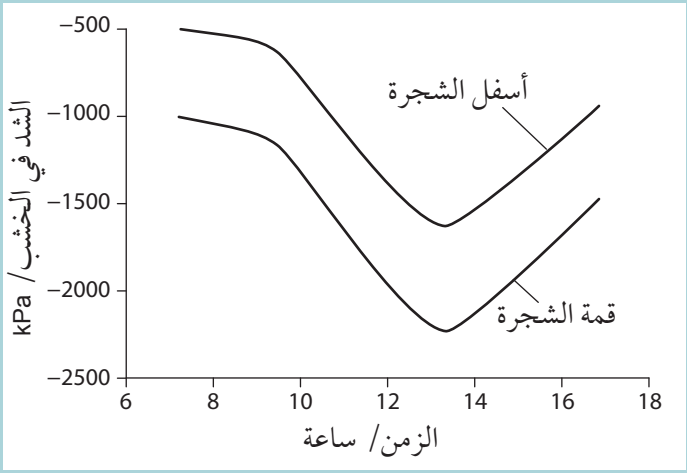
٧ يبيّن الشكل (أ) التغيّرات في الرطوبة النسبيّة للغلاف الجوي خلال ساعات النهار ليوم واحد (24 ساعة). يبيّن الشكل (ب) التغيّرات في الشد في الخشب لشجرة ما خلال الفترة نفسها. يقاس الشد بوحدات ضغط تسمّى كيلوباسكال (kPa)، ومع زيادة الشد في الخشب يصبح الضغط بوحدة kPa سالبًا بشكل متزايد.

(أ)



تابع

(ب)

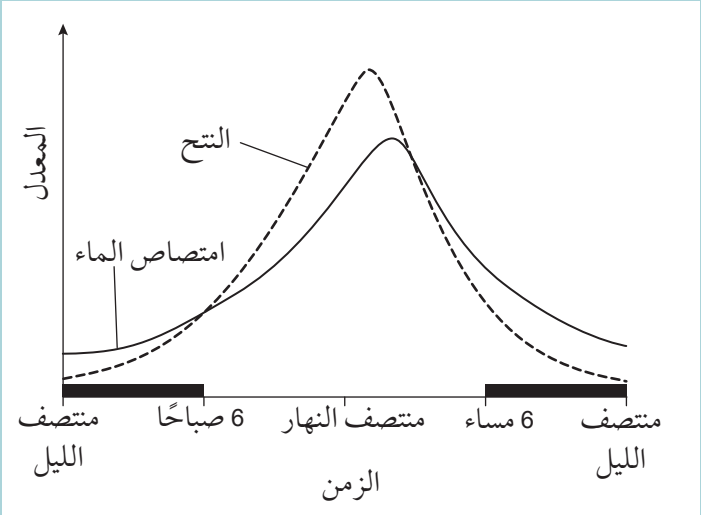


أ. صف واشرح العلاقة بين الرطوبة النسبيّة والشد في الخشب.

ب. صف واشرح الاختلافات التي تلاحظها في الشد في الخشب بين قمة الشجرة وأسفلها.

٨ استخدمت أداة دندروغرام Dendrogram لقياس التغيّرات الطفيفة في قطر جذع الشجرة. تبيّن الأداة عادة أن قطر جذع الشجرة يكون منخفضًا أثناء ساعات النهار وكبيرًا أثناء ساعات الليل. اقترح تفسيرات لهذه الملاحظات.

٩ يبيّن التمثيل البياني أدناه العلاقة بين معدل النتح ومعدل امتصاص الماء لنبات معيّن.



أ. عرّف مصطلح النتح.

ب. اقترح العاملَين البيئيَّين الأكثر احتمالًا ليكونا مسؤولَين عن التغيّرات في معدل النتح المبيّن في التمثيل البياني.

ج. صف واشرح العلاقة بين معدل النتح ومعدل امتصاص الماء المبيّن في التمثيل البياني.

تابع

١٠ اشرح كيف يؤدي التحميل النشط للسكروز في الخلايا المرافقة إلى الملاحظات الآتية:

أ. يحتوي سيتوبلازم الخلايا المرافقة على رقم هيدروجيني pH عالٍ نسبيًا يبلغ 8 pH تقريبًا.

ب. الجزء الداخلي من الخلايا المرافقة له شحنة سالبة نسبة إلى الخارجي (يوجد فرق في الجهد الكهربائي عبر غشاء سطح الخليّة، مع جهد بحدود 150 mV- على الجانب الداخلي).

ج. يوجد ATP بكميات كبيرة نسبيًا داخل الخلايا المرافقة.

١١ يحدث انتقال للمواد الذائبة العضويّة بين المصادر والمصبات.

أ. اشرح باختصار الظروف التي يمكن فيها أن:

١. تكون البذرة مصبًا.

٢. تكون البذرة مصدرًا.

٣. تكون الورقة مصبًا.

٤. تكون الورقة مصدرًا.

٥. يكون عضو التخزين مصبًا.

٦. يكون عضو التخزين مصدرًا.

ب. اقترح دورَين محتملَين للجلوكوز في كل من المصبَّين الآتيَين:

١. عضو تخزين.

٢. برعم نامٍ.

قائمة تقييم ذاتي

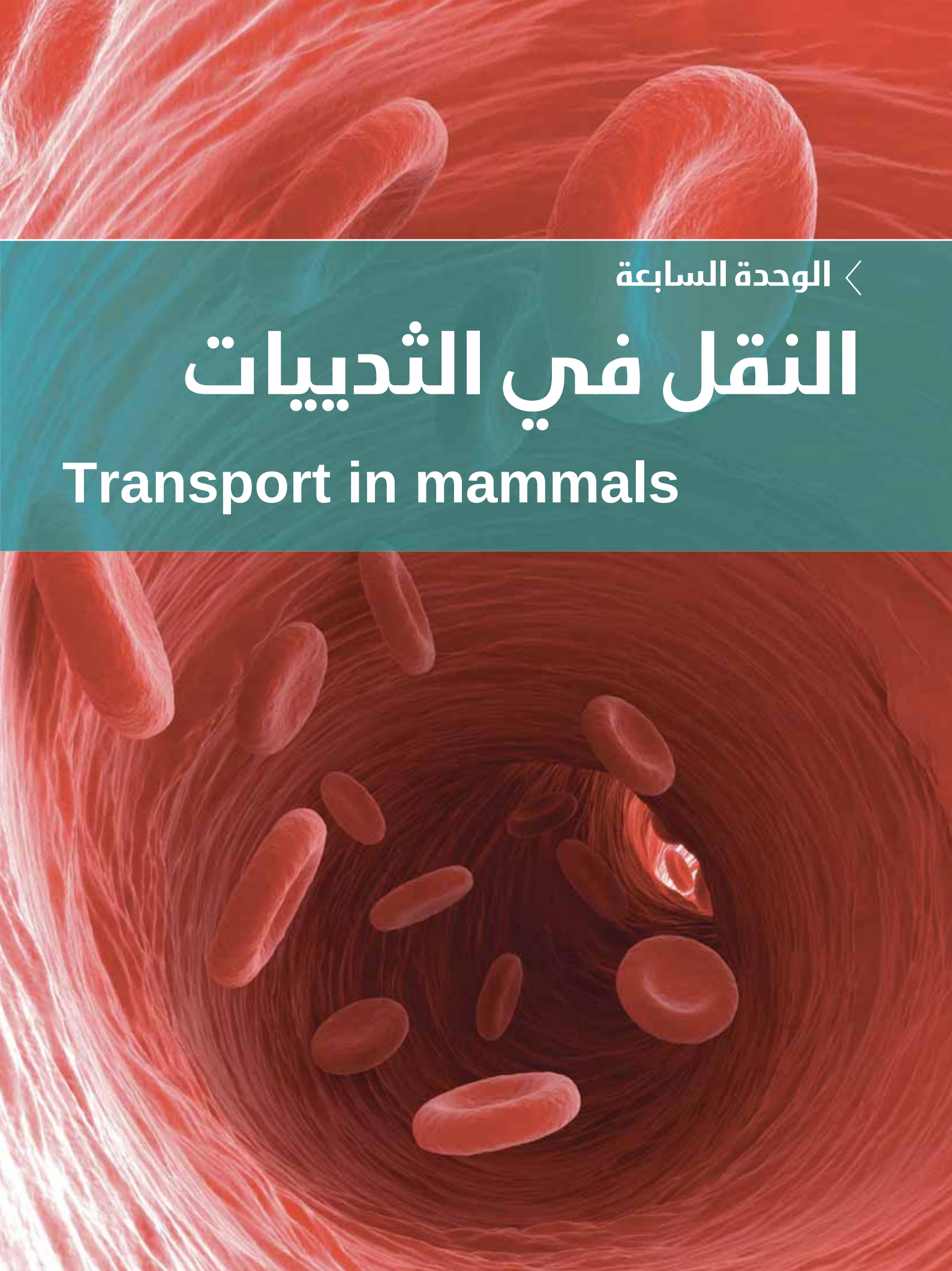
بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول كالآتي:

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أرسم رسمًا تخطيطيًا سطحيًا لمقاطع عرضيّة في الساق، والجذر، والأوراق لنباتات عشبيّة ثنائية الفلقة من الشرائح المجهريّة والصور المجهريّة الضوئية.	٦-١،			
أصف توزيع الخشب واللحاء في مقاطع عرضيّة في الساق، والجذر، والأوراق لنباتات عشبيّة ثنائية الفلقة.	٦-١			
أرسم وأسمّي عناصر الوعاء الخشبي وعناصر الوعاء الغربالي للحاء والخلايا المرافقة من شرائح مجهريّة وصور مجهريّة ضوئية وصور مجهريّة إلكترونيّة.	٦-١			
أربط تركيب عناصر الوعاء الخشبي وعناصر الوعاء الغربالي للحاء والخلايا المرافقة بوظائفها.	٦-٢			
أذكر أن بعض أيونات الأملاح والمركبات العضوية يمكن أن تنتقل عبر النبات مذابة في الماء.	٦-٢			
أصف نقل الماء من التربة إلى الخشب عبر: • الممر خارج الخلوي، بما في ذلك اللجنين والسليلوز. • الممر الخلوي الجماعي، بما في ذلك البشرة الداخليّة وشريط كاسبري والسوبرين.	٦-٢			
أشرح أن عملية النتح تتضمن تبخر الماء من الأسطح الداخليّة للأوراق متبوعًا بانتشار الماء إلى الغلاف الجوي.	٦-٢			
أشرح كيف أن الرابطة الهيدروجينيّة لجزيئات الماء تشارك في انتقال الماء عبر الخشب بفعل التماسك-الشد في قوة السحب بالنتح وقوة التلاصق مع السليلوز في جدران الخلايا.	٦-٢			
أرسم رسومًا تخطيطية مشروحة لمقاطع عرضيّة لأوراق نباتات البيئة الجافة مع كتابة مسمياتها لأشرح كيفية مناسبة تراكيبها للتقليل من فقد الماء عن طريق النتح.	٦-٢			

تابع

بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول كالآتي:

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أذكر أن المواد العضوية الناتجة من التمثيل الغذائي المذابة في الماء، مثل السكروز والأحماض الأمينيّة، تنتقل من المصدر إلى المصب عبر الأنابيب الغربالية للّحاء.	٣-٦			
أشرح كيف تنقل الخلايا المرافقة نواتج التمثيل الغذائي إلى الأنابيب الغربالية للّحاء، مع الإشارة إلى مضخة البروتون والبروتينات الناقلة المشتركة.	٣-٦			
أشرح التدفق الكمي في الأنابيب الغربالية للّحاء مع منحدر الضغط المائي من المصدر إلى المصب.	٣-٦			



الوحدة السابعة

النقل في الثدييات

Transport in mammals

أهداف التعلّم

٧-١ يتعرّف على الشرايين والأوردة والشعيرات الدمويّة من الشرائح المجهريّة والصور المجهريّة الضوئية والصور المجهريّة الإلكترونيّة، ويرسم رسومًا تخطيطيّة سطحية توضح تركيب الشرايين والأوردة في المقطع العرضي والمقطع الطولي.

٧-٢ يشرح كيف يرتبط تركيب الشرايين المرنة (مثل الشريان الأبهر والشريان الرئوي)، والشرايين العضلية، والشُرينات، والشعيرات الدمويّة، والوُرَيّدات، والأوردة (مثل الوريد الأجوف، والوريد الرئوي) بوظائفها.

٧-٣ يذكر وظائف السائل النسيجي ويصف تكوينه في شبكة الشعيرات الدمويّة.

٧-٤ يتعرّف ويرسم خلايا الدم الحمراء والخلايا وحيدة النواة والخلايا المتعادلة والخلايا اللمفاويّة، باستخدام الشرائح المجهريّة والصور المجهريّة الضوئية والصور المجهريّة الإلكترونيّة.

٧-٥ يذكر أن الماء هو المكوّن الرئيسي للدم والسائل النسيجي، ويربط خصائص الماء بدوره في النقل في الثدييات مقتصرًا على عمله كمذيب وعلى السعة الحراريّة النوعيّة العالية.

٧-٦ يصف دور خلايا الدم الحمراء في نقل غازي الأكسجين وثاني أكسيد الكربون مع الإشارة إلى دور كل من:

- الهيموجلوبين
- كربونيك أنهيدريز
- تكوين حمض الهيموجلوبينيك
- تكوين الكاربامينوهيموجلوبين.

٧-٧ يصف انتقال الكلوريد ويشرح أهميته.

٧-٨ يصف دور البلازما في نقل ثاني أكسيد الكربون.

٧-٩ يصف ويشرح منحنى انفكاك الأكسجين من هيموجلوبين شخص بالغ.

٧-١٠ يشرح أهميّة منحنى انفكاك الأكسجين عند الضغط الجزئي للأكسجين الموجود في الرئتَين وفي أنسجة الجسم الأخرى.

٧-١١ يصف تأثير بور ويشرح أهميته.

٧-١٢ يصف التركيب الخارجي والتركيب الداخلي لقلب الثدييات.

٧-١٣ يشرح الاختلافات في سمك جدران:

- الأُذينَين والبُطينَين
- البُطين الأيسر والبُطين الأيمن.

٧-١٤ يصف الدورة القلبية، مع الإشارة إلى العلاقة بين تغيّرات ضغط الدم أثناء الانقباض والانبساط وفتح الصمامات وإغلاقها.

٧-١٥ يشرح أدوار العقدة الجيبيّة الأُذينيّة والعقدة الأُذينيّة البُطينيّة وألياف بوركنجي في الدورة القلبية (لا يتوقع معرفة التحكم العصبي والهرموني).

قبل أن تبدأ بدراسة الوحدة

- كوّن مع مجموعتك قائمتين لـ:
  - أنواع الأوعية الدمويّة المختلفة في الجهاز الدوري للثدييات.
  - مكوّنات الدم المختلفة.
- اكتب **حقيقتين** عن كل مكوّن في كل قائمة–على سبيل المثال، وظيفته، وتناسب التركيب مع أداء الوظيفة.

كن مستعدًا لتشارك زملاءك الأفكار.

العلوم ضمن سياقها

القلوب الاصطناعيّة

تتسبب أمراض القلب والأوعية الدمويّة Cardiovascular diseases سنويًا، بوفاة ما يقارب 18 مليون شخص في مختلف أنحاء العالم أكثر من أي مرض آخر، وتحدث معظم هذه الوفيات نتيجة لفشل القلب في أداء عمله بشكل طبيعي. تتوافر في بلدان كثيرة المساعدات الطبيّة للأشخاص الذين يعانون قصورًا في القلب، تتراوح بين العلاج بالأدوية وجراحة القلب الكبرى. لكن وحتى وقت قريب، كان الأمل الوحيد لبعض مرضى القلب يتمثل بزراعة قلب، إلّا أن عدد الأشخاص الذين يحتاجون إلى قلب جديد يفوق بكثير عدد القلوب المتاحة للزرع. لذا ينتظر الكثيرون من مرضى القلب سنوات طويلة لزراعة قلب، والعديد منهم قد يتوفون قبل الحصول على قلب جديد.

كان بيتار بيليك Petar Bilik (اسم مستعار) يعاني ضعفًا في عمل عضلة كلا البطينين لقلبه حيث كانت حياته متوقفة على قدرة قلبه على الخفقان.

وظلّ بيتار متأملًا في إجراء عملية زرع قلب جديد إلى أن تمكّن مهندسو الطب الحيوي من تطوير جهاز ضخ يسمّى «القلب الاصطناعي الكامل Total artificial heart» (الصورة ٧-١). تمت إزالة قلب بيتار بالكامل ووضع مكانه قلب اصطناعي، وتمكن من العودة إلى منزله في غضون أسابيع قليلة من الجراحة. كان الهدف من زراعة القلب الاصطناعي هو أن يظل على قيد الحياة ريثما يتأمن له القلب الطبيعي، إلّا أن بعض المرضى كتبت لهم الحياة مع هذا القلب ما يقارب 5 سنوات، ولكن العيش بقلب كهذا ليس بالأمر السهل. فالقلب الاصطناعي يحتاج إلى مصدر طاقة، لذا يزوّد المريض غالبًا ببطاريّة يحملها في حقيبة ظهر.

يواصل مهندسو الطب الحيوي إحراز تقدم في تطوير أنواع جديدة من القلوب الاصطناعية تعمل لمدة أطول، وربما تكفي لأن يعيش المريض حياة طويلة من دون أن يحتاج إلى زراعة قلب طبيعي. صممت القلوب الاصطناعيّة الأولى لتناسب حجم الرجل البالغ، وتتوافر الآن قلوب أصغر تناسب النساء والأطفال.

الصورة ٧-١ القلب الاصطناعي

أسئلة للمناقشة

في رأيك، ما هي مزايا وعيوب استخدام القلب الاصطناعي بدلًا من زراعة قلب طبيعي لعلاج شخص يعاني قصورًا في عضلات قلبه؟

٧-١ الأوعية الدمويّة

يبيّن الشكل ٧–١ مواقع الأوعية الدمويّة الرئيسيّة في جسم الإنسان، وهناك ثلاثة أنواع رئيسية من الأوعية الدموية تكوّن الجهاز الدوري، ويبيّن الشكل ٧–٢ مقطعًا عرضيًا لهذه الأوعية. تسمّى الأوعية التي تحمل الدم بعيدًا عن القلب **الشرايين** Arteries، وتسمّى الأوعية التي تحمل الدم باتجاه القلب **الأوردة** Veins. والشرايين الصغيرة تسمى **الشُرينات** Arterioles والأوردة الصغيرة تسمى **الوُرَيّدات** Venules والأوعية الدقيقة التي تربط بين الشُرينات والوُرَيّدات وتحمل الدم قريبًا من كل خلية بالجسم، تسمّى **الشعيرات الدمويّة** Capillaries.

مصطلحات علمية

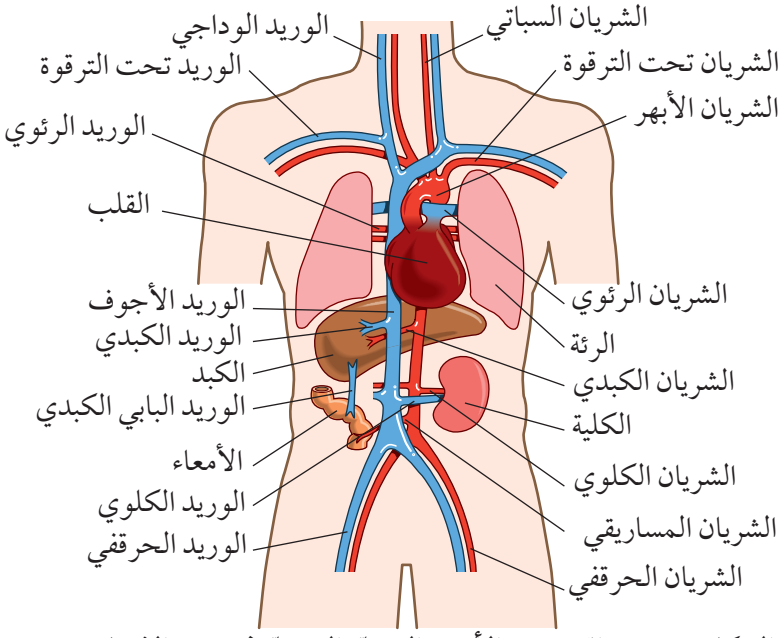
الشريان Artery: وعاء دموي جدرانه سميكة قويّة ينقل الدم ذا الضغط المرتفع بعيدًا عن القلب.

الوريد Vein: وعاء دموي جدرانه رقيقة نسبيًا ينقل الدم ذا الضغط المنخفض ليعيده إلى القلب.

الشُرين Arteriole: شريان صغير.

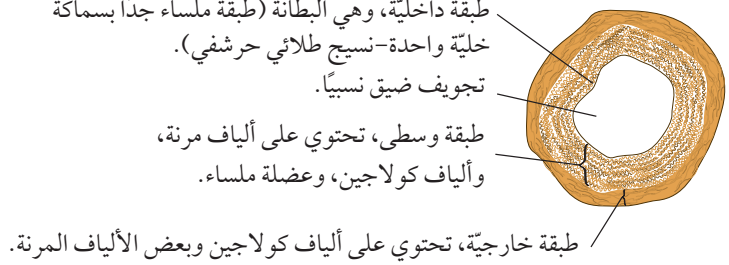
الوُرَيّد Venule: وريد صغير.

الشعيرة الدمويّة Capillary: أصغر وعاء دموي، ينقل الأكسجين والمواد الغذائيّة إلى خلايا أنسجة الجسم، كما ينقل الفضلات بعيدًا عنها.



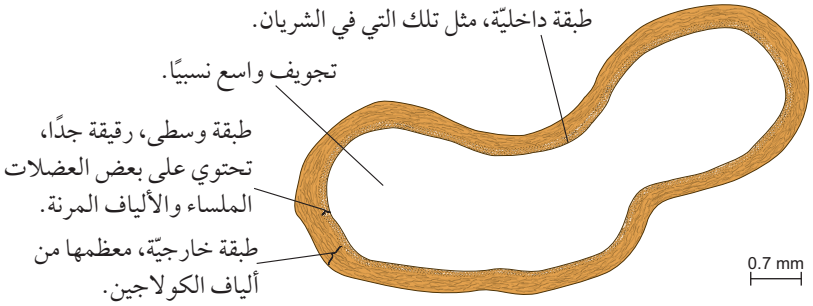
الشكل ٧-١ مواقع بعض الأوعية الدمويّة الرئيسيّة في جسم الإنسان.

مقطع عرضي في شريان

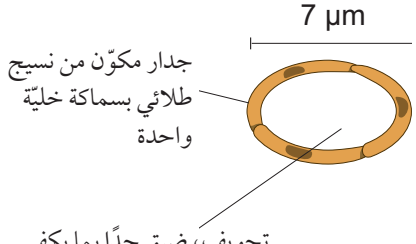


يختلف تركيب الشرايين في أجزاء الجسم المختلفة. تحتوي الطبقة الوسطى من الشرايين القريبة من القلب على عدد كبير من الألياف المرنة، كما في المقطع العرضي. وتحتوي الطبقة الوسطى من الشرايين في أجزاء أخرى من الجسم على القليل من الأنسجة المرنة وعدد أكبر من العضلات الملساء.

مقطع عرضي في وريد



مقطع عرضي في شعيرة دمويّة



الشكل ٧-٢ الأنسجة المكوّنة لجدران الشرايين والشعيرات الدمويّة والأوردة.

الشرايين والشُرينات

تنقل الشرايين الدم تحت ضغط مرتفع وبسرعة إلى الأنسجة. فجدران الشرايين قوية ومرنة بدرجة كبيرة، والدم الخارج من القلب يكون تحت ضغط مرتفع جدًا. ولذلك يبلغ ضغط الدم في الشريان الأبهر 120 mmHg تقريبًا، أو 16 kPa. كما أن تركيب جدران الشرايين وسماكتها يجعلها تتحمّل هذا الضغط المرتفع للدم.

تتكوّن جدران الشرايين والأوردة من ثلاث طبقات (الشكل ٧-٢ و الصورة ٧-٢):

- طبقة داخليّة، تسمى **البطانة Endothelium** وهي طبقة من خلايا مسطحة (**نسيج طلائي حرشفيّ Squamous epithelium**)، تترتب مع بعضها البعض على شكل قطع أحجية الصور Jigsaw puzzle، بالإضافة إلى طبقة من ألياف مرنة. وتكون ملساء جدًا، الأمر الذي يقلل الاحتكاك أثناء تدفق الدم.
- طبقة وسطى تحتوي على ألياف من **عضلة ملساء Smooth muscle** وألياف الكولاجين وألياف مرنة.
- طبقة خارجيّة تحتوي على ألياف مرنة وألياف الكولاجين.

للشرايين جدران أسمك من أي وعاء دموي آخر. فالشريان الأبهر، وهو الشريان الأكبر، ويبلغ إجمالي قطره 2.5 cm بالقرب من القلب، وسماكة جداره 2 mm تقريبًا.

مصطلحات علمية

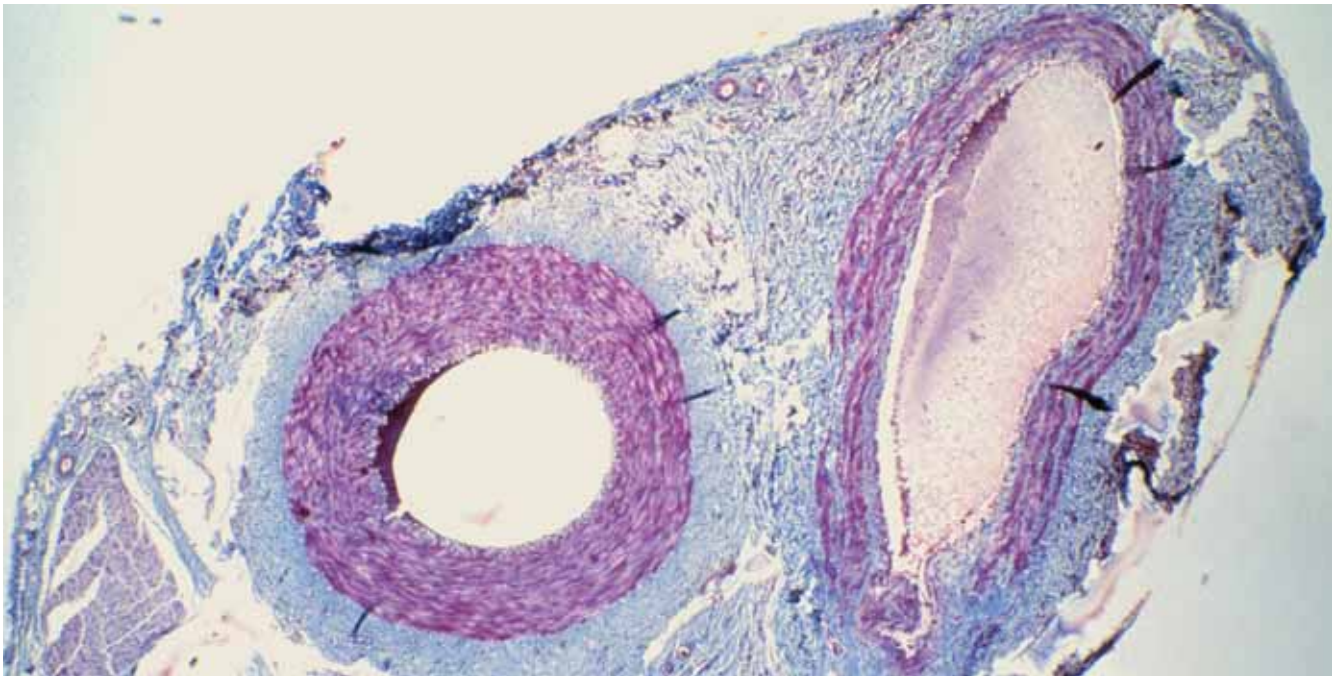
البطانة Endothelium: نسيج يبطن السطح الداخلي لتركيب ما مثل الوعاء الدموي.

نسيج طلائي حرشفيّ Squamous epithelium: طبقة واحدة أو عدة طبقات من خلايا رقيقة مسطحة تكوّن بطانة بعض التراكيب المجوّفة، كما هو الحال في الأوعية الدمويّة والحويصلات الهوائيّة.

عضلة ملساء Smooth muscle: نوع من العضلات التي يمكنها الانقباض بثبات على مدى فترات طويلة من الزمن.

مهم

لا يزال ضغط الدم يقاس بالوحدات القديمة mmHg على الرغم من أن وحدة القياس العالميّة هي kPa. يشير الاختصار mmHg إلى «مليمترات من الزئبق»، ويدل على المسافة التي يُدفع فيها عمود من الزئبق إلى أعلى ذراع أنبوبة على شكل حرف U. 1mmHg تعادل 0.13 kPa تقريبًا.



الصورة ٧-٢ صورة مجهرية ضوئية لوريد (إلى اليمين) وشريان (إلى اليسار) (x110).

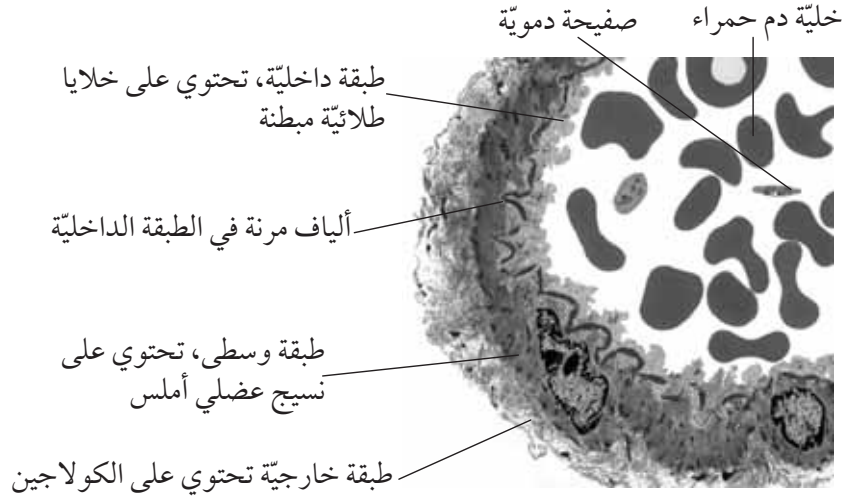
ويوفر تركيب الجدار قوة ومرونة كبيرتين للشريان. فالطبقة الوسطى هي جزء الجدار الأكثر سماكة، وتحتوي على مقدار كبير من الألياف المرنة. تتيح هذه الألياف للجدار التمدد عند تدفق الدم تحت الضغط المرتفع. وتحتوي الطبقة الوسطى في الشرايين البعيدة عن القلب على القليل من الألياف المرنة، لكنها تحتوي على الكثير من الألياف العضلية.

تسمى الشرايين التي تحتوي على الكثير من النسيج المرن في الطبقة الوسطى – مثل الشريان الأبهر – **الشرايين المرنة** **Elastic arteries**. وتتيح المرونة لهذه الشرايين التمدد بما يمنع انفجارها، وتساعد في الحفاظ على ضغط الدم المرتفع. يضخ الدم من القلب على شكل نبضات، فهو يندفع خارج القلب تحت ضغط مرتفع بفعل انقباض عضلات البطينين، ويتباطأ اندفاعه مع انبساطهما. وتتمدد جدران الشرايين عند اندفاع الدم تحت الضغط المرتفع فيها، ثم ترتد إلى الداخل مع انخفاض ضغط الدم. ويسهم الارتداد بدفع الدم الذي يجري بضغط منخفض، حيث يكون التأثير الكلي هو جريان الدم بسلاسة.

ومع تفرع الشرايين إلى أوعية دمويّة صغيرة، تزداد نسبة العضلات في جدرانها، وتقل نسبة النسيج المرن، فتسمى عندها **شرايين عضليّة** **Muscular arteries**. تحمل الشرايين العضليّة الدم من الشريان المرن إلى وجهته النهائيّة. العضلات الملساء الموجودة في الشرايين العضليّة قادرة على الانقباض ببطء وثبات لتغيّر من القطر الداخلي للشريان، وتنظم بالتالي حجم الدم الذي يمكن أن يتدفق فيه (الصورة ٧-٣).

تتفرع الشرايين العضليّة إلى أوعية أصغر تسمّى الشُرَينات، والتي تحتوي على عضلات ملساء كثيرة في جدرانها. ويوفر ضيق تجويفها مقاومة لتدفق الدم، بما يسبّب تباطؤ جريانه، ويوفر بالتالي وقتًا إضافيًا لتبادل الغازات والمواد الغذائيّة أثناء تدفق الدم عبر الشعيرات الدمويّة في الأنسجة.

تتصل بالشرينات أعصاب تنقل إليها الإشارات العصبيّة من الدماغ والتي تسبب انقباض جدرانها العضليّة، وبالتالي تضيّقها وهذا يسمّى **تضيّق الأوعية** **Vasoconstriction**. ويفيد هذا التضيّق في تقليل تدفق الدم إلى مكان معين، وتحويله إلى أنسجة أخرى. عندما تنبسط العضلات، يتسع قطر الشُرين بما يسمّى **توسّع الأوعية** **Vasodilation**. وأيضًا يمكن أن تستجيب العضلات الملساء للهرمونات في الدم.



الصورة ٧-٣ صورة مجهرية إلكترونية (النافذ) لجزء من شريان (800 x)

مصطلحات علمية

الشرايين المرنة
Elastic arteries: شرايين كبيرة نسبيًا تحتوي على الكثير من الأنسجة المرنة والقليل من الأنسجة العضلية في جدرانها.

الشرايين العضليّة
Muscular arteries: الشرايين الأقرب إلى الوجهة النهائيّة للدم، وتحتوي في جدرانها على عضلات ملساء أكثر، ما يتيح لها التَضَيُّقَ والتوسع.

تضيّق الأوعية
Vasoconstriction: تضيّق في الشريان العضلي أو الشريّن ناجم عن انقباض العضلات الملساء في جدرانه.

توسّع الأوعية
Vasodilation: توسّع في الشريان العضلي أو الشريّن ناجم عن انبساط العضلات الملساء في جدرانه.

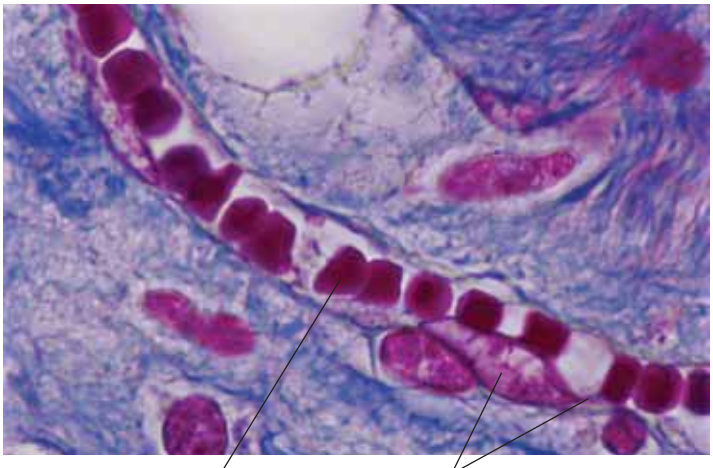
الشعيرات الدمويّة

تستمر الشُّرينات في التفرع حتى تكوّن في النهاية الشعيرات الدموية، والتي هي أصغر الأوعية الدموية. تنقل الشعيرات الدمويّة الدم إلى أقرب ما يكون لجميع الخلايا، فيسمح ذلك بانتقال المواد بسرعة بين الخلايا والدم. وتشكل الشعيرات الدمويّة شبكة من الأوعية خلال كل نسيج في الجسم، ما عدا الدماغ والقرنيّة والغضاريف.

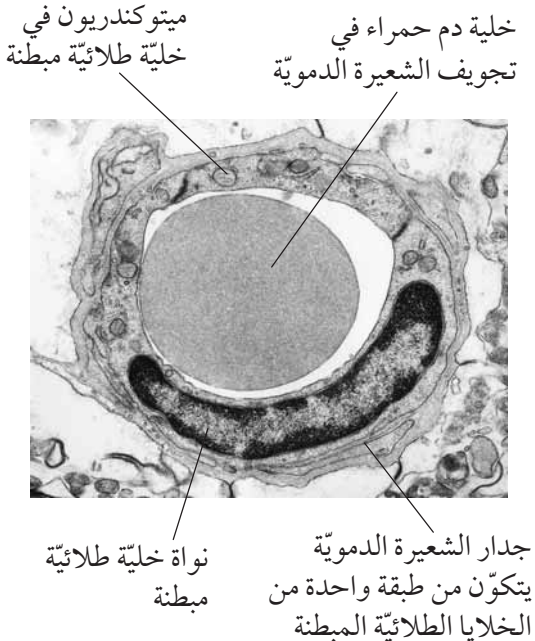
يبلغ قطر الشعيرة الدمويّة في الإنسان 7 µm تقريبًا، وهو الحجم نفسه لخليّة الدم الحمراء (الصورتان ٧-٤ و ٧-٥). وجدران الشعيرات الدمويّة رقيقة جدًا لأنها تتكون من طبقة واحدة من خلايا البطانة. فعند اندفاع خلايا الدم الحمراء الحاملة للأكسجين داخل الشعيرات الدموية تعمل الشعيرات على إيصالها إلى مسافة أقل من 1 µm عن الخلايا خارج الشعيرات الدموية التي تحتاج إلى الأكسجين.

في معظم الشعيرات الدمويّة توجد فجوات ضيقة بين الخلايا التي تكوّن النسيج الطلائي المبطن. وهذه الفجوات مهمة، إذ تسمح لبعض مكوّنات الدم بالتسرّب إلى الفراغات بين الخلايا في جميع أنسجة الجسم. وعندما تتفرع الشرايين إلى شرينات ثم شعيرات دموية، تزداد بشكل كبير المساحة المقطعية التي يتدفق الدم خلالها، مما يسبب إبطاء معدل التدفق.

ومع وصول الدم إلى الشعيرات الدمويّة، يكون قد فقد معظم الضغط الذي كان عليه في الأصل بفعل انقباض البطينين. ويستمر ضغط الدم في الانخفاض أثناء مروره عبر الشعيرات الدمويّة. ويمكن أن يصل ضغط الدم عند دخوله الشعيرة الدمويّة من الشريّن إلى 35 mmHg أو 4.7 kPa. وعند وصوله إلى نهاية الشعيرات الدمويّة يكون ضغطه قد انخفض إلى 10 mmHg أو 1.3 kPa. يوفر الضغط المنخفض ومعدل التدفق زمنًا إضافيًا لتبادل الغازات والعناصر الغذائية في شبكة الشعيرات الدموية.



الصورة ٧-٤ صورة مجهرية ضوئية لشعيرة دمويّة تحتوي على خلايا دم حمراء (الأحمر الغامق) (x900). خلايا النسيج الطلائي المبطن رقيقة جدًا، إلّا إذا وجدت نواة (الأحمر) فتزيد من حجمها.



الصورة ٧-٥ صورة مجهرية إلكترونية (النافذ) لمقطع عرضي في شعيرة دمويّة صغيرة (x4500 تقريبًا).

سؤال

١ اقترح سبب عدم وجود شعيرات دمويّة في قرنيّة العين. كيف تحصل القرنيّة على الأكسجين والمواد الغذائيّة؟

الأوردة والوُرَيّدات

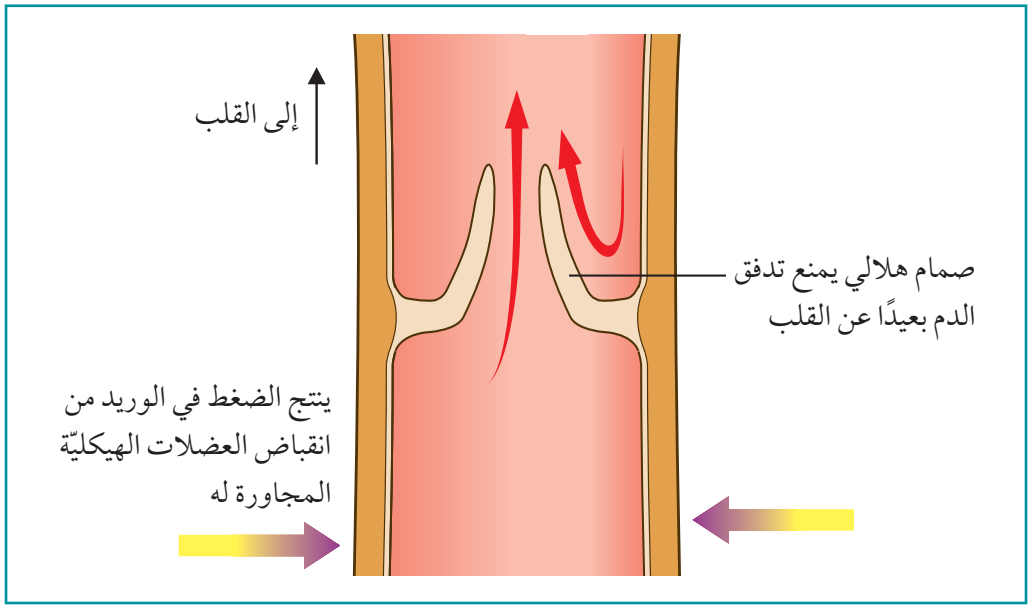
عند خروج الدم من شبكة الشعيرات الدموية، تندمج فيما بينها تدريجيًا لتشكل أوعية أكبر هي الوُرَيّدات؛ والتي بدورها تندمج معًا لتشكل الأوردة. وتعمل الأوردة على إعادة الدم إلى القلب.

عندما يصل الدم إلى الوريد، يكون ضغطه منخفضًا جدًا، بحيث يبلغ ضغط الدم الوريدي عند الإنسان 5 mmHg أو أقل. هذا الضغط المنخفض جدًا يعني أن الأوردة لا تحتاج إلى الجدران السميكة. ويتكون جدار الوريد من ثلاث طبقات كما في الشريان، لكن الطبقة الوسطى تكون رقيقة، وتحتوي على القليل من الألياف المرنة والألياف العضليّة.

لإعادة الدم إلى القلب، من الضروري التغلب على ضغط الدم المنخفض في الأوردة، بخاصة في الساقين. تمتد العديد من أوردة الساقين بجوار العضلات، لذا يضغط انقباض هذه العضلات على الأوردة، الأمر الذي يزيد من الضغط داخلها ليدفع الدم عبرها. ولمنع عودة الدم إلى الوراء بفعل هذا الضغط، تحتوي الأوردة هنا على **صمامات هلالية** **Semilunar valves** تتكوّن من بطانة الوريد (الشكل ٧-٣).

مصطلحات علمية

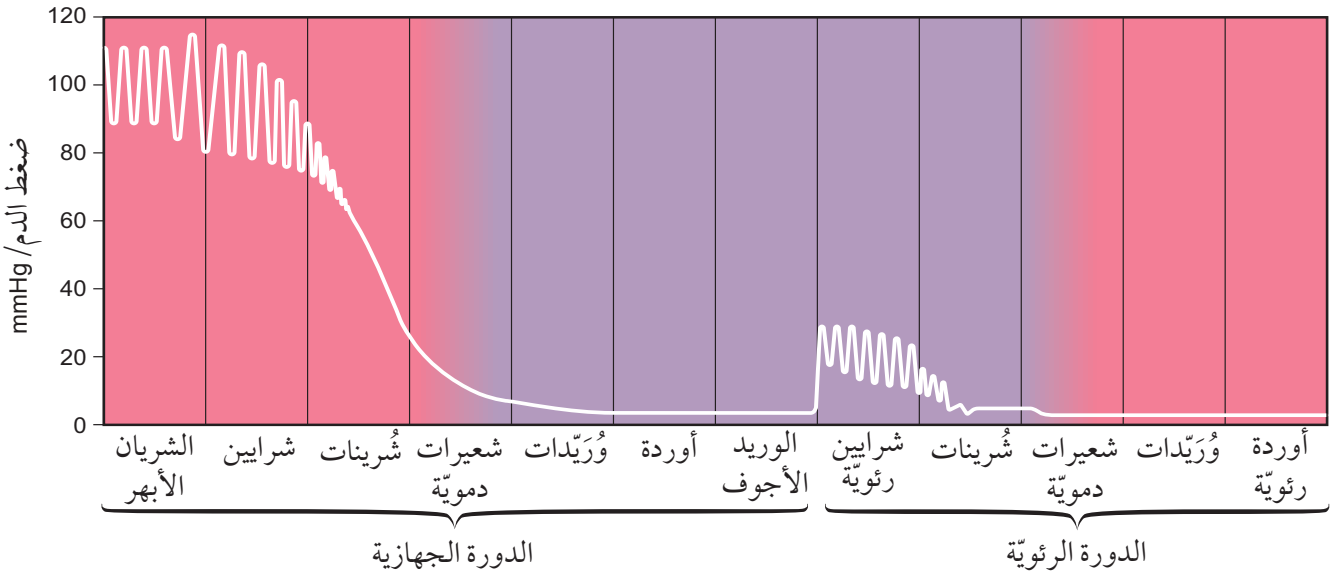
صمام هلالي
Semilunar valve:
صمام على شكل الهلال، مثل ذلك الموجود في الأوردة وبين البطينين والشرايين.



الشكل ٧-٣ مقطع طولي في جزء من وريد.

ضغط الدم في الجهاز الدوري

تعرّفت كيف يخرج الدم من القلب تحت ضغط مرتفع، ثم ينخفض ضغطه تدريجيًا مع جريانه عبر الشرايين العضليّة ثم الشُرينات فالشعيرات الدمويّة ومنها إلى الوُرَيّدات ثم إلى الأوردة الكبيرة. يحدث هذا في كل من الدورة الجهازية والدورة الرئوية للدم في الجهاز الدوري. يكون ضغط الدم الخارج من القلب أعلى بكثير في الدورة الجهازية منه في الدورة الرئوية. يبيّن الشكل ٧-٤ هذه التغيّرات في ضغط الدم.



الشكل ٧-٤ ضغط الدم في مناطق مختلفة من الجهاز الدوري في الإنسان.

(٢) اقترح أسبابًا لكل مما يأتي:

أ. الضغط الوريدي الطبيعي في القدمين 25 mmHg تقريبًا. عندما يقف جندي في حالة التأهب بدون حراك، يرتفع ضغط الدم في قدميه بسرعة كبيرة إلى 90 mmHg تقريبًا.

ب. عندما تستنشق الهواء أثناء التنفس – أي عندما يزداد حجم التجويف الصدري – ينتقل الدم عبر الأوردة باتجاه القلب.

(٣) باستخدام الرسم البياني في الشكل ٧-٤ صف واشرح بكلماتك الخاصة كيف يتغيّر ضغط الدم في أجزاء الجهاز الدوري المختلفة.

(٤) **أ.** كوّن جدولًا يقارن بين تركيب الشرايين والأوردة والشعيرات الدمويّة. ضمّن إجابتك كلًا من أوجه التشابه وأوجه الاختلاف، واذكر أسباب أوجه الاختلاف التي ذكرتها.

ب. قارن جدولك مع زملائك:

- هل مسميات الصفوف والأعمدة نفسها؟ إذا لم تكن كذلك، أيها برأيك هي الأفضل؟ ولماذا؟
- هل فكر أحد زملائك في وجه تشابه أو وجه اختلاف لم تفكر فيه؟
- من منكم كتب أفضل الأسباب؟ ما معايير التفاضل هنا؟

إذا كنت تعتقد أنه يمكنك تحسين جدولك، فقم بإجراء التعديلات عليه.

٢-٧ السائل النسيجي

مصطلحات علمية

البلازما Plasma: المكوّن السائل من الدم، تسبح فيه خلايا الدم. وهو يحمل عددًا كبيرًا جدًا من المواد الذائبة.

بروتينات البلازما Plasma proteins: مجموعة متنوّعة من البروتينات الذائبة في بلازما الدم، لكل منها وظيفته الخاصة، وكثير منها يصنع في الكبد.

السائل النسيجي Tissue fluid: سائل عديم اللون تقريبًا يملأ الفراغات بين خلايا الجسم، وهو يتكوّن من السائل الذي يتسرّب من الشعيرات الدمويّة.

يتكوّن الدم من خلايا تطفو في سائل أصفر باهت يسمّى **البلازما Plasma**. وتتكون معظم بلازما الدم من الماء، مع مجموعة من المواد الذائبة فيه. حيث تتضمن هذه المواد الذائبة مواد غذائيّة مثل الجلوكوز وفضلات مثل اليوريا التي يتم نقلها من مكان إلى آخر في الجسم. كما تشمل المواد الذائبة أيضًا **بروتينات البلازما Plasma proteins**، والتي تبقى في الدم طوال الوقت.

عندما يتدفق الدم عبر الشعيرات الدموية داخل الأنسجة، تتسرب بعض البلازما عبر الفجوات بين خلايا جدران الشعيرات الدموية، وتتدفق بسلاسة لتملأ الفراغات بين خلايا الأنسجة. ويقدّر أن سدس جسم الإنسان يتكوّن من فراغات بين الخلايا، والتي تمتلئ بالبلازما المتسربة، والتي تسمى **السائل النسيجي Tissue fluid**.

يطابق السائل النسيجي تقريبًا في تركيبه بلازما الدم، إلا أنه يحتوي على عدد أقل بكثير من جزيئات البروتين مقارنة ببلازما الدم، لأن هذه الجزيئات كبيرة جدًا بحيث لا يمكنها التسرب بسهولة عبر بطانة الشعيرة الدمويّة. كما لا تستطيع خلايا الدم الحمراء العبور لكونها كبيرة جدًا، لذلك لا توجد خلايا دم حمراء في السائل النسيجي، لكن يمكن لبعض خلايا الدم البيضاء أن تمر بصعوبة عبر فجوات خلايا البطانة وتتحرك بسهولة في السائل النسيجي.

حجم السائل الذي يتسرب من الشعيرة الدمويّة ليكوّن السائل النسيجي هو نتاج قوتين متعاكستين. فعند الطرف الشرياني من شبكة الشعيرات الدموية يكون ضغط الدم داخل الشعيرة الدمويّة كافيًا لدفع السائل خارجًا إلى الأنسجة. لكن مع وجود تركيز البروتينات الذائبة في بلازما الدم أكبر منه في السائل النسيجي، الأمر الذي يسبّب منحدرًا لجهد الماء من السائل النسيجي إلى بلازما الدم. وهكذا تكون محصلة الحركة للماء هي الانتقال من الشعيرات الدمويّة إلى السائل النسيجي (الشكل ٧-٥).

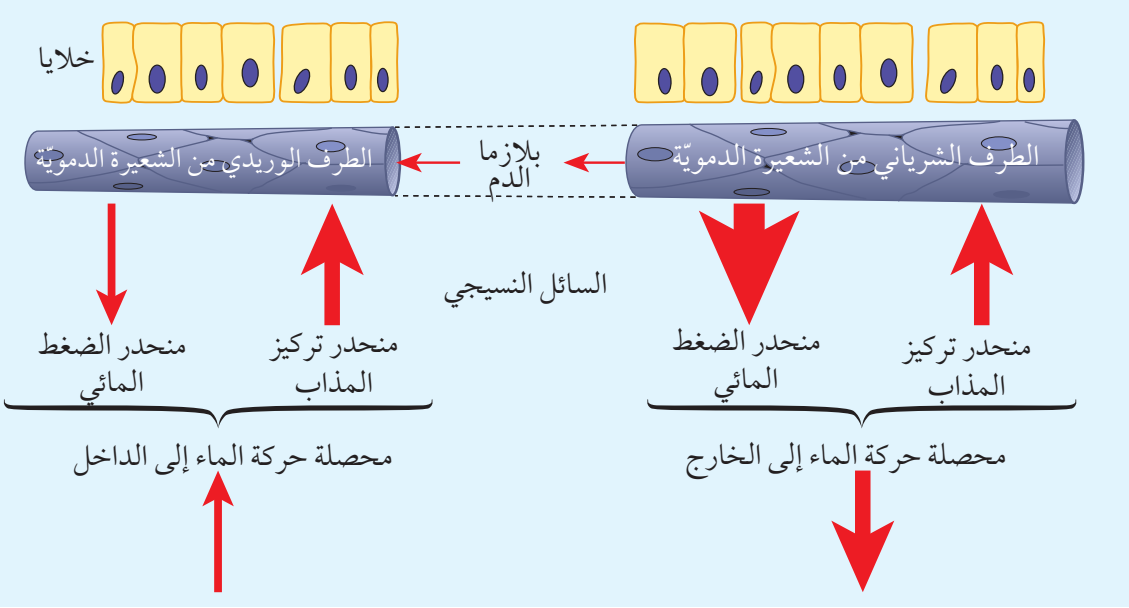
وعند الطرف الوريدي من شبكة الشعيرات الدمويّة، يكون ضغط الدم داخل الشعيرة الدمويّة أقل، مما يؤدي إلى ميلان أقل لإخراج الماء من الشعيرات الدمويّة إلى الأنسجة. ولا يزال منحدر جهد الماء الناتج من الفرق في تركيز البروتينات الذائبة يماثل ذلك الموجود عند الطرف الشرياني. وهكذا، تكون محصلة الحركة للماء هي الانتقال من السائل النسيجي عائدًا إلى الشعيرة الدمويّة.

وبشكل عام، يتدفق السائل إلى خارج الشعيرات الدمويّة أكثر مما يدخل إليها، لذا تكون هناك محصلة فقدان السائل من الدم أثناء تدفقه عبر شبكة الشعيرات الدمويّة (الشكل ٧-٥).

إذا كان ضغط الدم مرتفعًا جدًا، يدفع مقدارًا كبيرًا من السائل إلى خارج الشعيرات الدمويّة، وقد يُحتبَس في الأنسجة. ويسمّى احتباس السوائل الوذمة Oedema. إحدى وظائف الشُرينات تقليل ضغط الدم الذي يدخل إلى الشعيرات الدمويّة لتجنب حدوث الوذمة.

يشكل السائل النسيجي البيئة المناسبة لكل خليّة في الجسم، ويتم تبادل المواد بين الخلايا والدم عبر السائل النسيجي. تحدث في الجسم عمليات كثيرة للحفاظ على مكوّنات السائل النسيجي عند مستوى ثابت، الأمر الذي

يوفر بيئة مثاليّة لنشاط الخلايا. وتُسهم هذه العمليات في الحفاظ على ثبات البيئة الداخليّة أو الاتزان الداخلي Homeostasis، وتشمل تنظيم تركيز الجلوكوز والماء والرقم الهيدروجيني pH وفضلات الأيض ودرجة الحرارة.



الشكل ٧-٥ حركة السائل إلى داخل الشعيرة الدمويّة وإلى خارجها.

(٥) يبيّن الجدول ٧-١ النفاذيّة النسبيّة لمواد مختلفة عبر جدران الشعيرة الدمويّة في عضلة. أعطيت نفاذيّة الماء في الجدول القيمة 1، وأعطيت القيم الأخرى نسبة تتناسب مع ذلك.

استخدم المعلومات في الجدول، ومعرفتك السابقة، لتناقش ما إذا كان هناك صلة بين الكتلة الجزيئيّة النسبيّة (RMM- Relative Molecular Mass) للمادة ونفاذيّة جدران الشعيرة الدمويّة. كيف تشرح هذه الصلة إن وجدت؟

المادة	الكتلة الجزيئيّة النسبيّة	نفاذيّة جدران الشعيرة الدمويّة
الماء	18	1.00
أيونات الصوديوم	23	0.96
اليوريا	60	0.8
الجلوكوز	180	0.6
الهيموجلوبين	68000	0.01
الألبومين	69000	0.00001

الجدول ٧-١ النفاذية النسبية لجدران الشعيرات الدموية في عضلة.

(٦) الألبومين Albumin هو بروتين البلازما الأكثر وفرة. اقترح سببًا لأهمية أن تكون جدران الشعيرة الدمويّة غير منفذة للألبومين.

(٧) ينتج مرض كواشيوركور Kwashiorkor disease من نظام غذائي يحتوي على نسبة منخفضة جدًا من البروتين، فيكون تركيز البروتينات في بلازما الدم أقل بكثير من الطبيعي. من أعراض مرض كواشيوركور الوذمة بسبب احتباس سوائل الجسم. اقترح كيف يحدث ذلك.

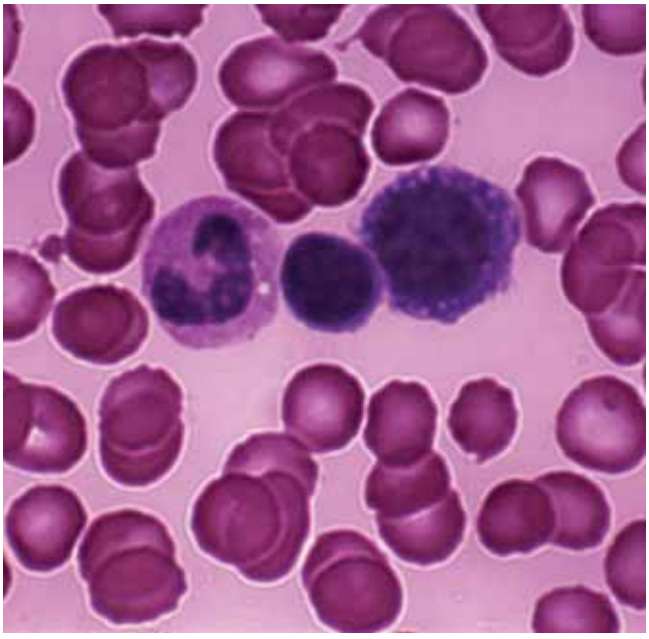
٣-٧ الدم

يحتوي جسم الإنسان تقريبًا على 5 L من الدم، بكتلة تبلغ 5 kg تقريبًا. ويوجد معلقًا في بلازما الدم نحو 2.5×10^{13} من خلايا الدم الحمراء Red blood cells و 5×10^{11} من خلايا الدم البيضاء White blood cells و 6×10^{12} من الصفائح الدمويّة Platelets (قطع صغيرة من الخلايا لا تحتوي على نواة) (الشكل ٧-٦ والصورتان ٧-٦ و ٧-٧).

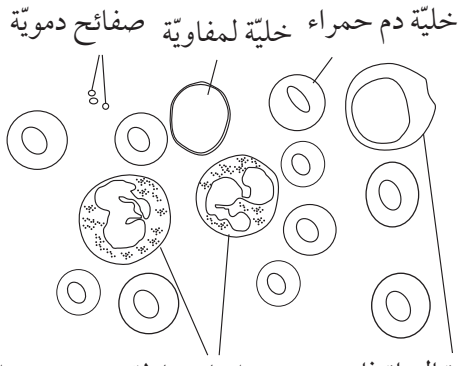
بلازما الدم سائل أصفر باهت، تتكون أغلبها من الماء بنسبة 95%، تذوب فيها مواد مختلفة، تنتقل مع الدم من جزء إلى آخر في الجسم. على سبيل المثال، ينتقل الجلوكوز في بلازما الدم من الأمعاء الدقيقة إلى الكبد، ومن الكبد إلى جميع خلايا الجسم الأخرى. وتنتقل اليوريا من الكبد إلى الكليتَين. وخصائص الماء كمذيب تجعله مثاليًا لهذا الدور.

وبالإضافة إلى نقل المواد في المحلول، تنقل بلازما الدم الحرارة في جميع أنحاء الجسم. تذكّر أن للماء سعة حراريّة نوعيّة عالية تمكّنه من امتصاص الكثير من الطاقة الحرارية دون أن ترتفع درجة حرارته كثيرًا.

وحيث إن السائل النسيجي يتكوّن من بلازما الدم، فإنه يحتوي أيضًا على نسبة عالية من الماء. تساعد السعة الحراريّة النوعيّة العالية للماء في السائل النسيجي في الحفاظ على درجة حرارة ثابتة نسبيًا في كل الجسم.



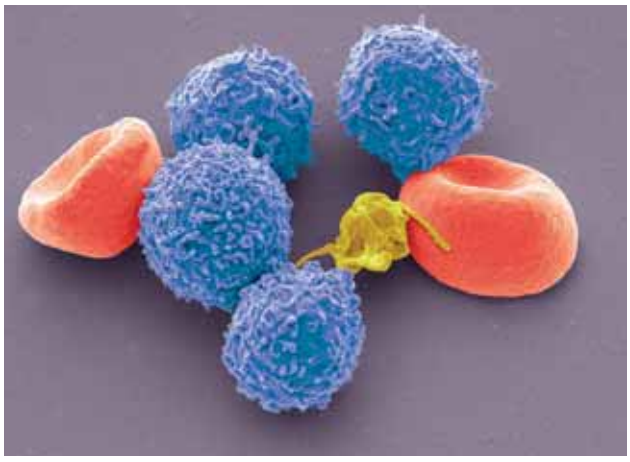
الصورة ٧-٦ صورة مجهرية ضوئية لدم الإنسان. تم صبغها بحيث بدت نوى الخلايا باللون البنفسجي الداكن (x1600).



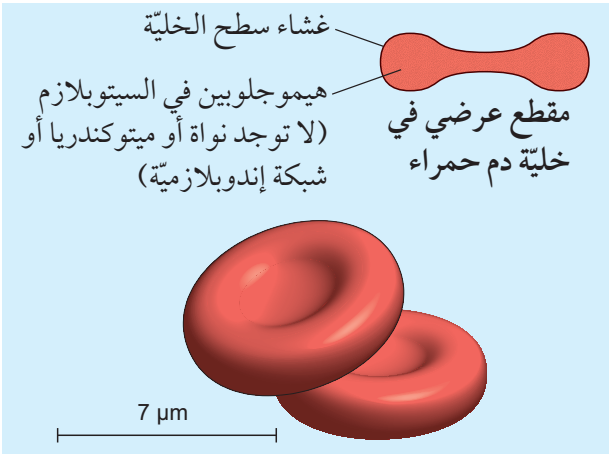
الشكل ٧-٦ رسم تخطيطي لأنواع الخلايا كما كانت تشاهد في مسحة دم مصطبغة.

خلايا الدم الحمراء

يعود اللون الأحمر لخلايا الدم الحمراء (الصورة ٧-٧ والشكل ٧-٧) إلى احتوائها على الهيموجلوبين Haemoglobin، وهو بروتين كروي، ينقل الأكسجين من الرئتَين إلى أنسجة الجسم الأخرى، كما ستدرس ذلك لاحقًا بالتفصيل.



الصورة ٧-٧ صورة مجهرية إلكترونية (الماسح) بألوان زائفة لدم إنسان. جرى تلوين خلايا الدم الحمراء بالأحمر. وخلايا الدم البيضاء بالأزرق والصفائح الدموية بالأصفر (x5000).



الشكل ٧-٧ خلايا الدم الحمراء.

لتركيب خليّة الدم الحمراء ميزات خاصة عديدة:

- لخلايا الدم الحمراء شكل قرصيّ مقعر الوجهَين، يكسب الخلية زيادة في نسبة مساحة سطحها إلى حجمها، الأمر الذي يعني انتشار الأكسجين بسهولة وبسرعة من وإلى الخلية.
- لخلايا الدم الحمراء حجم صغير جدًا إذ يبلغ قطر الواحدة منها 7 µm تقريبًا، مقارنة مع قطر خليّة الكبد المتوسطة 40 µm. ويعني هذا الحجم الصغير أن جميع جزيئات الهيموجلوبين داخل الخليّة قريبة من غشاء سطحها، مما يمكّنها من تبادل الأكسجين بسرعة مع السائل خارج الخليّة. ويعني الحجم الصغير أيضًا أن خلايا الدم الحمراء بإمكانها المرور داخل الشعيرات الدمويّة الضيقة البالغ عرضها 7 µm فقط، بحيث يصبح الأكسجين قريبًا ما أمكن من الخلايا التي تحتاج إليه.
- خلايا الدم الحمراء مرنة جدًا. تكون بعض الشعيرات الدمويّة أضيق من قطر خليّة الدم الحمراء، ومع ذلك يمكن لخلايا الدم الحمراء أن تمر داخلها. وما يسهل مرورها داخل الشعيرات هو الهيكل الخلوي المتخصص فيها، والذي يتكوّن من شبكة من ألياف البروتين التي تسمح لها بتغيير شكلها لتسهيل مرورها؛ ويمكّنها من أن تعود إلى الشكل الطبيعي المقعر الوجهين.
- لا تحتوي خلايا الدم الحمراء على نواة أو ميتوكندريا أو شبكة إندوبلازميّة، ما يعني توافر مساحة داخلية أكبر لاحتواء عدد كبير من جزيئات الهيموجلوبين، مما يزيد من كميّة الأكسجين التي يمكن أن تحملها خليّة الدم الحمراء الواحدة.

لا تعيش خلايا الدم الحمراء طويلًا. فالخلايا القديمة تتحطم في الكبد، أما الخلايا الجديدة فتتكون باستمرار في نخاع العظم.

(٨) بافتراض وجود 2.5×10^{13} خليّة دم حمراء في جسم الإنسان، ومتوسط عمر خليّة الدم الحمراء 120 يومًا، وأن العدد الكلّي لخلايا الدم الحمراء يبقى ثابتًا، احسب متوسط عدد خلايا الدم الحمراء الجديدة التي يجب إنتاجها يوميًا في نخاع العظم.

(٩) أي من الوظائف الآتية يُحتمل أن تقوم بها خليّة الدم الحمراء، وأي منها لا يمكن أن تقوم بها؟ برّر إجابتك في كل حالة:

أ. بناء البروتين. ب. انقسام الخليّة.

ج. بناء الدهون. د. النقل النشط.

مصطلحات علمية

الخليّة المتعادلة
Neutrophil: نوع من خلايا الدم البيضاء البلعمية، تحتوي على نواة مفصصة وسيتوبلازم حُبيبي.

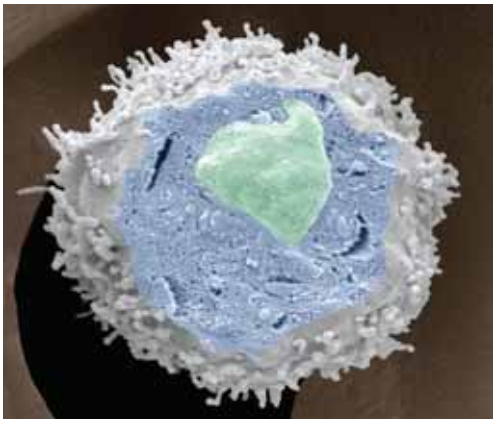
الخليّة وحيدة النواة
Monocyte: إحدى أنواع خلايا الدم البيضاء، الأكبر حجمًا، نواتها على شكل كلية. يمكنها مغادرة الدم والتمايز إلى نوع من الخلايا البلعمية، هو الخلايا البلعمية الكبيرة Macrophages.

الخليّة اللمفاويّة
Lymphocyte: خليّة دم بيضاء تحتوي على نواة تحتل كل الخليّة تقريبًا، وهي تستجيب للأنتيجينات وتساعد في تدميرها أو تدمير التراكيب التي تحملها.

خلايا الدم البيضاء

تتكوّن خلايا الدم البيضاء، مثل خلايا الدم الحمراء، في نخاع العظم. ويسهل تمييزها عن خلايا الدم الحمراء في صورة مجهرية للأسباب الآتية:

- تحتوي خلايا الدم البيضاء على نواة تأخذ أشكالًا مختلفة وفقًا لنوعها.
- معظم خلايا الدم البيضاء أكبر حجمًا من خلايا الدم الحمراء، على الرغم من أن نوعًا واحدًا منها وهو الخلايا اللمفاويّة يكون أصغر بقليل (الصورة ٧-٨).
- خلايا الدم البيضاء تكون إما كرويّة أو غير منتظمة الشكل، وليست قرصية ومقعرة الوجهَين (الصورة ٧-٧).



الصورة ٧-٨ صورة مجهرية إلكترونية (الماسح) بألوان زائفة لمقطع في خليّة دم بيضاء لمفاوية (x6000).

يوجد العديد من أنواع خلايا الدم البيضاء، التي لها وظائف متنوّعة على الرغم من كونها جميعًا تختص بمكافحة المرض. ويمكن تصنيفها في مجموعتَين رئيسيتَين: الخلايا البلعمية والخلايا اللمفاويّة.

الخلايا البلعمية Phagocytes خلايا تدمّر الكائنات الحيّة الدقيقة الغازية بابتلاعها عن طريق عملية البلعمة Phagocytosis. ويسمّى النوع الأكثر شيوعًا من الخلايا البلعمية، **الخلايا المتعادلة Neutrophils**، والتي يمكن تمييزها عن طريق نواتها المفصصة والسيتوبلازم الحُبيبي. النوع الثاني هو **الخلايا وحيدة النواة Monocytes** (الشكل ٧-٦)، وتكون نواتها على شكل كلية.

الخلايا اللمفاويّة Lymphocytes تدمر الكائنات الحيّة الدقيقة، ولكن ليس عن طريق البلعمة. إذ تفرز بعض هذه الخلايا مواد كيميائيّة تسمّى الأجسام المضادة Antibodies، تلتصق بالخلايا الغازية وتدمرها. وهي أصغر حجمًا من معظم الخلايا البلعمية، وتحتوي على نواة كروية كبيرة وقليل من السيتوبلازم.

مهارات عملية ٧-١

ملاحظة الأوعية الدمويّة وخلايا الدم ورسمها

عليك التدرُّب على استخدام الشرائح المجهريّة الجاهزة لتحديد مقاطع الشرايين والأوردة. يمكنك استخدام الرسوم التخطيطية السطحية لتوضيح طبقات الأنسجة المختلفة في جدران الأوعية الدمويّة. ارجع إلى مهارات عمليّة ٦-١ في الوحدة السادسة لتتذكر كيفيّة تنفيذ الرسم التخطيطي السطحي.

يمكنك أيضًا استخدام شرائح جاهزة وصور مجهرية إلكترونية وضوئية لملاحظة خلايا الدم ورسمها: خلايا الدم الحمراء، والخلايا المتعادلة، والخلايا اللمفاويّة. ستحتاج في حالة مشاهدة شريحة مجهرية جاهزة إلى استخدام قوة التكبير الكبرى، وستكون رسومك بتفاصيل قوة التكبير الكبرى، فتبيّن تراكيب الخلايا المفردة. انظر مرة أخرى إلى مهارات عمليّة ٦-١ للحصول على إرشادات عن الرسوم التفصيليّة بقوة التكبير الكبرى، وبعض الأمثلة.

(لمزيد من المعلومات انظر الاستقصاء العملي ٧-١ و ٧-٢ الوارد في كتاب التجارب العمليّة والأنشطة).

الهيموجلوبين

الدور الرئيسي للجهاز الدوري هو نقل الأكسجين من أسطح تبادل الغازات للحويصلات الهوائية في الرئتين إلى جميع أنسجة الجسم. تحتاج خلايا الجسم إلى التزوّد المستمر بالأكسجين ليمكنها القيام بعمليّة التنفس الهوائي. ينقل الجهاز الدوري الأكسجين في الجسم عبر خلايا الدم الحمراء بالارتباط مع بروتين الهيموجلوبين.

يتكوّن كل جزيء هيموجلوبين من أربعة جزيئات عديدة الببتيد، يحتوي كل جزيء منها على مجموعة هيم واحدة. يمكن أن ترتبط كل مجموعة هيم مع جزيء أكسجين O_2 واحد. وهكذا، يمكن أن يرتبط كل جزيء هيميوجلوبين مع أربعة جزيئات أكسجين (ثماني ذرات أكسجين).

$$\underset{\text{هيموجلوبين}}{Hb} + \underset{\text{أكسجين}}{4O_2} \rightleftharpoons \underset{\text{أوكسيهيموجلوبين}}{HbO_8}$$

سؤال

(١٠) في الإنسان البالغ السليم، يوجد 150 g تقريبًا من الهيموجلوبين في كل 1 L من الدم.

أ. يمكن أن يرتبط 1 g من الهيموجلوبين النقي مع 1.3 mL من الأكسجين عند درجة حرارة الجسم. احسب كميّة الأكسجين التي يمكن نقلها في 1 L من الدم.

ب. تكون ذوبانية الأكسجين في الماء في درجة حرارة الجسم 0.025 mL تقريبًا من الأكسجين لكل 1 mL من الماء. بافتراض أن معظم بلازما الدم ماء، ما مقدار الأكسجين الذي يمكن نقله في 1 L من الدم إذا لم يوجد هيموجلوبين.

مصطلحات علمية

الضغط الجزئيّ
Partial pressure:
مقياس لتركيز غاز ما.

منحنى انفكاك الأكسجين

يجب أن يكون الجزيء الذي ينقل الأكسجين في الجسم من مكان إلى آخر قادرًا على التقاط الأكسجين من الرئتَين بكفاءة. كما يجب أن يكون قادرًا على إطلاق الأكسجين داخل أنسجة الجسم، ويؤدي الهيموجلوبين هاتَين المهمتَين بكفاءة عالية.

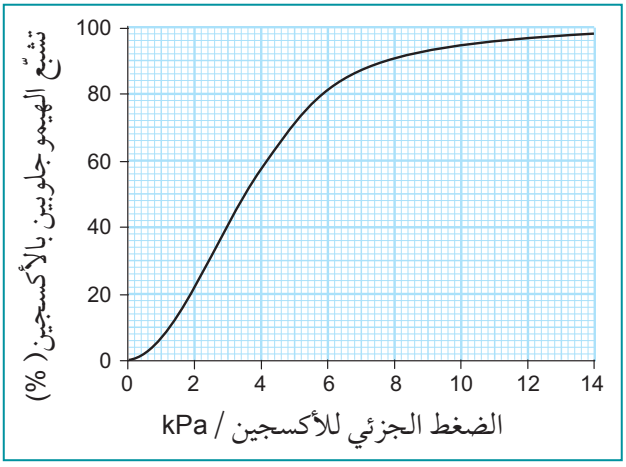
لاستقصاء سلوك الهيموجلوبين، تُستخلص عيّنات هيموجلوبين من الدم، وتعرّض لتراكيز مختلفة أو **ضغوط جزئيّة** **Partial pressures** من الأكسجين. ثم تقاس كميّة الأكسجين التي ترتبط بكل عيّنة من الهيموجلوبين، وتعطى الكميّة القصوى من الأكسجين التي يمكن أن ترتبط بها العيّنة القيمة 100%، وعيّنة الهيموجلوبين التي ترتبط بالكمية القصوى

من الأكسجين تكون مشبعة. ويتم التعبير عن كميّات الأكسجين التي ترتبط بها العيّنات المتماثلة من الهيموجلوبين عند الضغوط الجزئيّة المنخفضة من الأكسجين كنسبة مئويّة من هذه القيمة القصوى، تسمى **نسبة التشبع** **Percentage saturation**. يبيّن الجدول ٧-٢ مجموعة من النتائج لمثل هذا الاستقصاء.

الضغط الجزئي للأكسجين kPa/	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
النسبة المئوية لتشبع الهيموجلوبين	8.5	24.0	43.0	57.5	71.5	80.0	85.5	88.0	92.0	94.0	95.5	96.5	97.5	98.0

الجدول ٧-٢ تأثير الضغط الجزئي للأكسجين على النسبة المئوية لتشبع الهيموجلوبين بالأكسجين.

يمكن تمثيل نسبة التشبع لكل عيّنة مقابل الضغط الجزئي للأكسجين بيانيًا للحصول على المنحنى المبيّن في الشكل ٧-٨، والذي يسمّى **منحنى الانفكاك** **Dissociation curve**.



الشكل ٧-٨ منحنى انفكاك الأكسجين.

يبيّن المنحنى أن نسبة تشبع الهيموجلوبين تكون منخفضة جدًا عند الضغوط الجزئيّة المنخفضة من الأكسجين، وهذا يعني أن الهيموجلوبين يرتبط فقط مع كميّة قليلة جدًا من الأكسجين. تكون نسبة تشبع الهيموجلوبين عند الضغوط الجزئيّة المرتفعة من الأكسجين، مرتفعة جدًا، ويرتبط مع كميات كبيرة من الأكسجين.

فكّر في الهيموجلوبين الموجود داخل خلية دم حمراء في شعيرة دمويّة في الرئتَين. حيث يكون الضغط الجزئي للأكسجين مرتفعًا لذا يكون هذا الهيموجلوبين مشبعًا بالأكسجين بنسبة 95%-97%. وهذا يعني أن يكون على الأغلب كل جزيء هيموجلوبين مرتبط بالمجموعة الكاملة من ذرات الأكسجين الثماني، ولكن في العضلة يزداد استهلاك الأكسجين، فينخفض الضغط الجزئي للأكسجين، الأمر الذي يؤدي إلى إطلاق الهيموجلوبين لنحو ثلاثة أرباع الأكسجين الذي يحمله لتزويد خلايا العضلة، ويعود إلى الرئتين بربع الأكسجين تقريبًا (20-25%).

مصطلحات علمية

نسبة التشبع **Percentage saturation**: مدى ارتباط الهيموجلوبين في الدم مع الأكسجين وتُحسب كنسبة مئوية من أقصى كميّة يمكن أن يرتبط بها.

منحنى الانفكاك **Dissociation curve**: تمثيل بياني يبيّن نسبة تشبع صبغة (مثل الهيموجلوبين) بالأكسجين، مقابل الضغط الجزئي للأكسجين.

المنحنى على شكل S

يمكن أن يفسّر منحنى انفكاك الأكسجين بسلوك جزيء الهيموجلوبين عند ارتباطه بجزيئات الأكسجين أو فقدانه لها. وترتبط جزيئات الأكسجين مع ذرات الحديد في مجموعات الهيم لجزيء الهيموجلوبين. تذكّر أن كل جزيء هيموجلوبين يحتوي على أربع مجموعات هيم. عندما يرتبط جزيء أكسجين مع مجموعة هيم واحدة، يتغيّر

الشكل الثلاثي الأبعاد 3D لجزيء الهيموجلوبين قليلاً. تغيّر الشكل هذا يجعل من السهل على جزيء أكسجين ثان الارتباط مع مجموعة هيم ثانية. وهذا بدوره يسهل ارتباط جزيء أكسجين ثالث مع مجموعة هيم ثالثة. ثم يصبح الأمر أسهل لارتباط جزيء الأكسجين الرابع والأخير.

يعكس شكل منحنى انفكاك الأكسجين الطريقة التي ترتبط بها جزيئات الأكسجين مع جزيئات الهيموجلوبين. بحيث يرتبط جزيء أكسجين واحد في المتوسط مع كل جزيء هيموجلوبين عند الوصول إلى ضغط جزئي للأكسجين بحدود 2 kPa. وعند ارتباط جزيء الأكسجين هذا، يصبح من السهل على جزيئي الأكسجين الثاني والثالث على التوالي الارتباط أيضًا، لذا يرتفع المنحنى بشكل حاد جدًا. وأيّ تغيّر طفيف في الضغط الجزئي للأكسجين فوق هذا الجزء من المنحنى يسبّب تغيّرًا كبيرًا جدًا في كميّة الأكسجين التي يحملها الهيموجلوبين.

أسئلة

(١١) استخدم منحنى انفكاك الأكسجين في الشكل ٧–٨ للإجابة عن الأسئلة الآتية:

أ. ١. يبلغ الضغط الجزئي للأكسجين في الحويصلات الهوائيّة في الرئة 12 kPa تقريبًا. ما نسبة تشبّع الهيموجلوبين في الشعيرات الدمويّة في الرئتَين؟

٢. إذا ارتبط 1 g من الهيموجلوبين المشبّع كليًا مع 0.0013 L من الأكسجين، فما كميّة الأكسجين التي سترتبط مع 1 g من الهيموجلوبين في الشعيرات الدمويّة في الرئتَين؟

ب. ١. يبلغ الضغط الجزئي للأكسجين في عضلة تتنفس بنشاط 2 kPa تقريبًا. ما نسبة تشبّع الهيموجلوبين في الشعيرات الدمويّة في هذه العضلة؟

٢. ما كميّة الأكسجين التي ترتبط مع 1 g من الهيموجلوبين في الشعيرات الدمويّة في هذه العضلة؟

(١٢) كوّن مع زميلك قائمة بالطرائق التي تجعل تركيب الهيموجلوبين يتناسب مع وظيفته كجزيء ناقل للأكسجين في الدم.

ثم استخدم القائمة لكتابة شرح كامل، لكن بإيجاز، كيف أن تركيب الهيموجلوبين يساعده في أداء وظائفه.

تأثير بور

إن كميّة الأكسجين التي يحملها الهيموجلوبين لا تتأثر فقط بالضغط الجزئي للأكسجين، ولكن أيضًا بالضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون.

ينتج ثاني أكسيد الكربون باستمرار من تنفس الخلايا، وهو ينتشر من الخلايا إلى بلازما الدم، حيث ينتشر بعضه إلى خلايا الدم الحمراء.

$$CO_2 + H_2O \underset{\text{إنزيم كربونيك أنهيدريز}}{\rightleftharpoons} H_2CO_3$$

ثاني أكسيد الكربون — ماء — حمض الكربونيك

يتفكك حمض الكربونيك:

$$H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$$

حمض الكربونيك — أيون هيدروجين — أيون كربونات هيدروجينية

مصطلحات علمية

كربونيك أنهيدريز

Carbonic anhydrase:

إنزيم يوجد في سيتوبلازم خلايا الدم الحمراء يحفز التفاعل بين ثاني أكسيد الكربون و الماء لتكوين حمض الكربونيك.

يوجد في سيتوبلازم خلايا الدم الحمراء إنزيم **كربونيك أنهيدريز Carbonic anhydrase**، الذي يحفز التفاعل الآتي:

يرتبط الهيموجلوبين بسهولة مع أيونات الهيدروجين مكوّنًا حمض هيموجلوبينيك، Haemoglobinic acid، HHb. وهو في الوقت نفسه يطلق الأكسجين الذي يحمله.

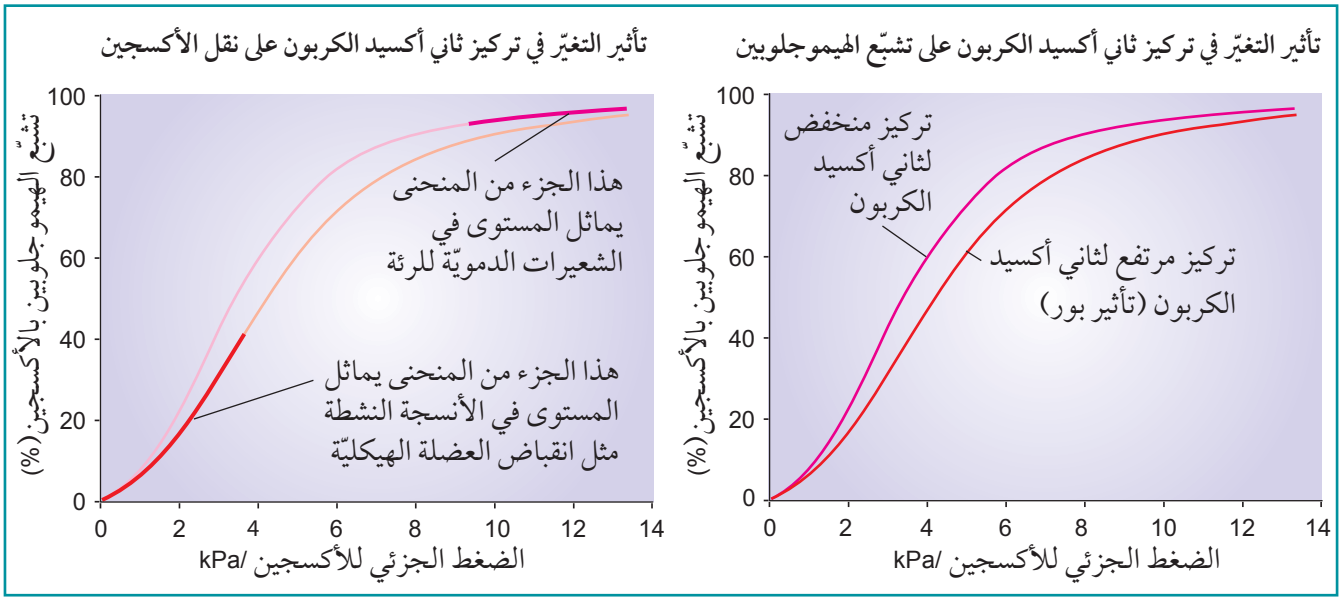
ومحصلة ما ينتج من هذا التفاعل لها شقان:

- يزيل الهيموجلوبين أيونات الهيدروجين الزائدة من سيتوبلازم خلايا الدم الحمراء. عندما يتفكك حمض الكربونيك ينتج تركيز عال من أيونات الهيدروجين، الأمر الذي يخفض الرقم الهيدروجيني pH، وإذا تركت أيونات الهيدروجين في السيتوبلازم، فسيصبح الدم حمضيًا جدًا. لكن عند ارتباط الهيموجلوبين بأيونات الهيدروجين – الأمر الذي يعني إزالتها من السيتوبلازم – يرتفع الرقم الهيدروجيني pH للدم إلى وضعه الطبيعي القريب من التعادل، وبهذا يعمل الهيموجلوبين كمحلول منظم Buffer solution للدم.
- يؤدي وجود ضغط جزئي مرتفع لثاني أكسيد الكربون إلى إطلاق الهيموجلوبين للأكسجين، وهذا يسمّى **تأثير بور Bohr effect**، تيمّنًا باسم العالم كريستيان بور Christian Bohr الذي اكتشفه عام ١٩٠٤م، وهو أمر بالغ الأهميّة. وقد عثر على تراكيز مرتفعة من ثاني أكسيد الكربون في أنسجة الجسم النشطة، التي تحتاج إلى الأكسجين. هذه التراكيز المرتفعة من ثاني أكسيد الكربون تجعل الهيموجلوبين يطلق الأكسجين الذي يحمله بسهولة.

إذا تم رسم منحنى انفكاك الأكسجين عند ضغط جزئي مرتفع لثاني أكسيد الكربون فإنه يبدو مثل المنحنى السفلي الظاهر على كلا الرسمَين البيانيين في الشكل ٧-٩. إذ يلاحظ مع ارتفاع الضغط الجزئي (التركيز) لثاني أكسيد الكربون يقل تشبع الهيموجلوبين بالأكسجين، أي أن الأكسجين يتحرر بسهولة من الأوكسيهيموجلوبين، وهذا ما يحدث عند انقباض العضلات الهيكلية بنشاط زائد. لذلك، يكون منحنى تأثير بور أسفل المنحنى «الطبيعي» وإلى يمينه.

مصطلحات علمية

تأثير بور Bohr effect: انخفاض في ألفة (انجذاب) الهيموجلوبين للأكسجين عند وجود ثاني أكسيد الكربون.



الشكل ٧-٩ منحنيا انفكاك الأكسجين عند ضغطَين جزئيَّين مختلفين لثاني أكسيد الكربون. انحراف المنحنى إلى اليمين عندما يتعرض الهيموجلوبين إلى تركيز مرتفع من ثاني أكسيد الكربون يسمّى تأثير بور.

انتقال الكلوريد

تنتشر أيونات الكربونات الهيدروجينيّة (HCO_3^- hydrogencarbonate) والتي تتكون في سيتوبلازم خلايا الدم الحمراء نتيجة لتأثير إنزيم كربونيك أنهيدريز على ثاني أكسيد الكربون، من الخلايا إلى بلازما الدم. لهذه الأيونات شحنة سالبة، ولموازنة حركتها، تتحرك أيونات الكلوريد (ذات الشحنة السالبة أيضًا) من بلازما الدم إلى داخل خلايا الدم الحمراء كما في الشكل ٧-١٠، بما يسمّى **انتقال الكلوريد Chloride shift**. إذا لم يحدث انتقال الكلوريد، فستنتج شحنة كلية موجبة داخل كريات الدم الحمراء بفعل تراكم أيونات الهيدروجين الناتجة من تفكك حمض الكربونيك. لا يمكن لأيونات الهيدروجين مغادرة الخليّة، لأن غشاء الخليّة غير منفذ لها، لذلك، يساعد تدفق أيونات الكلوريد في منع أن تصبح الشحنات داخل الخلية موجبة كلية.

مصطلحات علمية

انتقال الكلوريد
Chloride shift: تدفق أيونات الكلوريد من بلازما الدم إلى خلايا الدم الحمراء لموازنة حركة أيونات الكربونات الهيدروجينيّة من خلايا الدم الحمراء إلى بلازما الدم.

نقل ثاني أكسيد الكربون

ينتشر ثاني أكسيد الكربون في جميع أنحاء الجسم كفضلات ناتجة من تنفس الخلايا. إذ ينقل الدم ثاني أكسيد الكربون من الخلايا إلى الرئتَين، حيث ينتشر إلى داخل الحويصلات الهوائيّة، وذلك بثلاث طرائق:

على شكل أيونات الكربونات الهيدروجينيّة في بلازما الدم

يصف تأثير بور المذكور سابقًا طريقة واحدة يُنقل بها ثاني أكسيد الكربون في الدم. حيث تمثل أيونات الكربونات الهيدروجينيّة HCO_3^- (بيكربونات) أحد نواتج تفكك ثاني أكسيد الكربون المذاب. تنتشر معظم أيونات الكربونات الهيدروجينيّة من خلايا الدم الحمراء إلى بلازما الدم، حيث تنقل ذائبة في البلازما. وينقل 85% تقريبًا من ثاني أكسيد الكربون بهذه الطريقة.

على شكل جزيئات ثاني أكسيد الكربون الذائبة في بلازما الدم

يبقى بعض ثاني أكسيد الكربون على شكل جزيئات ثاني أكسيد الكربون، وبعضها يذوب في بلازما الدم. ينقل 5% تقريبًا من مجموع ثاني أكسيد الكربون بهذا الشكل.

على شكل كاربامينوهيموجلوبين

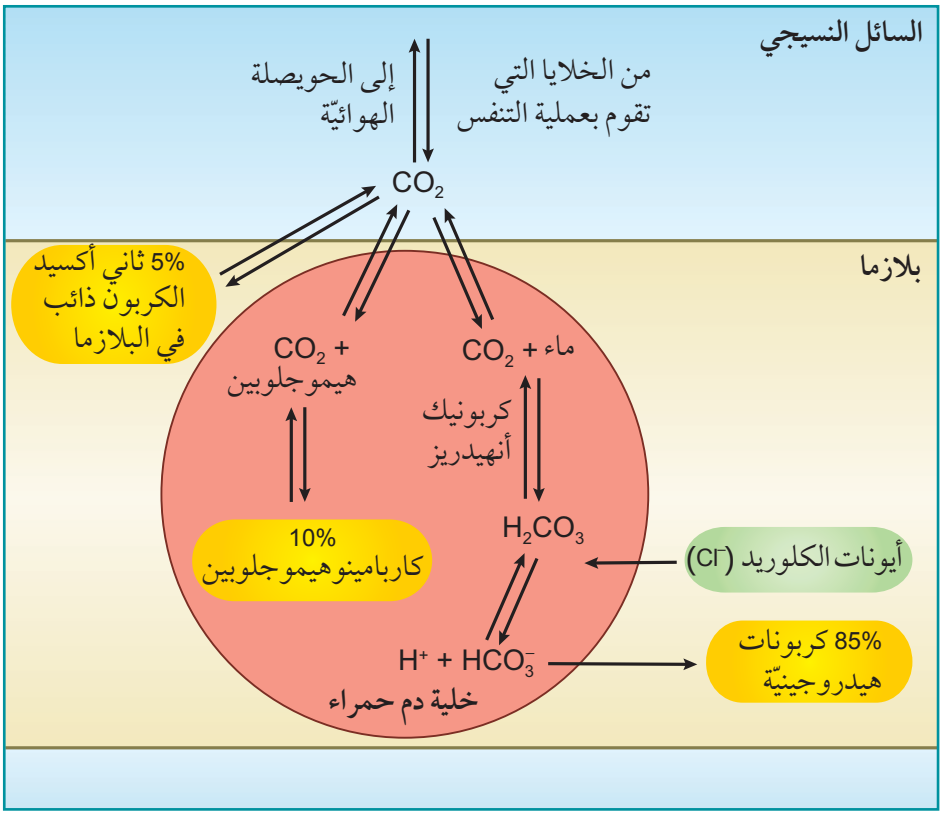
تنتشر جزيئات أخرى من ثاني أكسيد الكربون في خلايا الدم الحمراء، لكنها لا تخضع للتفاعل المحفز بواسطة إنزيم كربونيك أنهيدريز، وبدلًا من ذلك ترتبط مباشرة مع مجموعات الأمين الطرفيّة ($-NH_2$) لبعض جزيئات الهيموجلوبين. ويسمّى المركب الناتج **كاربامينوهيموجلوبين Carbaminohaemolobin**. وينقل 10% تقريبًا من ثاني أكسيد الكربون بهذه الطريقة (الشكل ٧-١٠).

مصطلحات علمية

كاربامينوهيموجلوبين
Carbaminohaemoglobin: مركب يتكوّن من ارتباط ثاني أكسيد الكربون مع الهيموجلوبين.

عندما يصل الدم إلى الرئتَين تنعكس التفاعلات الموصوفة أعلاه. ونتيجة لوجود تركيز منخفض نسبيًا من ثاني أكسيد الكربون في الحويصلات الهوائيّة مقارنة مع تركيزه في الدم، ينتشر ثاني أكسيد الكربون من الدم إلى الهواء في الحويصلات الهوائيّة. وهذا يحفز بدوره ثاني أكسيد الكربون الموجود في الكاربامينوهيموجلوبين لمغادرة خلايا الدم الحمراء، وإعادة ارتباط الكربونات الهيدروجينيّة وأيونات الهيدروجين لتُسهما في تشكيل جزيئات ثاني أكسيد

الكربون مرة أخرى. نتيجة لذلك تصبح جزيئات الهيموجلوبين حرة لترتبط بالأكسجين، فتكون على استعداد لبدء دورة أخرى في الجسم.



الشكل ٧-١٠ نقل ثاني أكسيد الكربون في الدم. ينقل الدم جزءًا من ثاني أكسيد الكربون على شكل ثاني أكسيد الكربون ذائب في البلازما. وينقل جزءًا آخر على شكل أيونات الكربونات الهيدروجينيّة ذائبة في البلازما، كما يرتبط جزء آخر بالهيموجلوبين في خلايا الدم الحمراء. ونتيجة لانتشار أيونات الكربونات الهيدروجينية السالبة إلى خارج خلايا الدم الحمراء، تقوم أيونات الكلوريد السالبة بالانتشار إلى داخل خلية الدم الحمراء لموازنة أيونات الهيدروجين الموجبة التي تبقى داخل خلايا الدم الحمراء.

سؤال

(١٣) العبارات الآتية إجابات عن أسئلة كتبها الطلبة على ورقة الامتحان. اشرح الخطأ في كل عبارة.

أ. يطلق أوكسيهيموجلوبين تدريجيًا أكسجينه عند انتقاله من الرئتَين إلى العضلات.

ب. جدران الشرايين القوية تمكنها من ضخ الدم إلى جميع أجزاء الجسم.

ج. ترتبط كل خليّة دم حمراء مع ثماني ذرات من الأكسجين.

د. لخلايا الدم الحمراء مساحة سطح كبيرة لذا يمكن أن ترتبط بكميات كثيرة من جزيئات الأكسجين.

هـ. ينتقل معظم ثاني أكسيد الكربون ذائبًا في بلازما الدم.

٤-٧ القلب

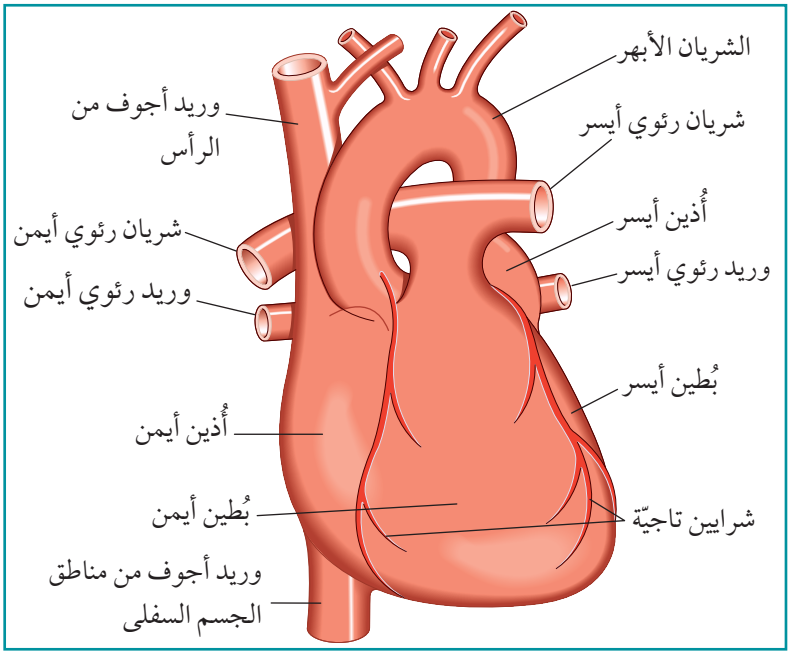
مصطلحات علمية

العضلة القلبيّة
Cardiac muscle: نوع العضلات التي تتكون منها جدران القلب.

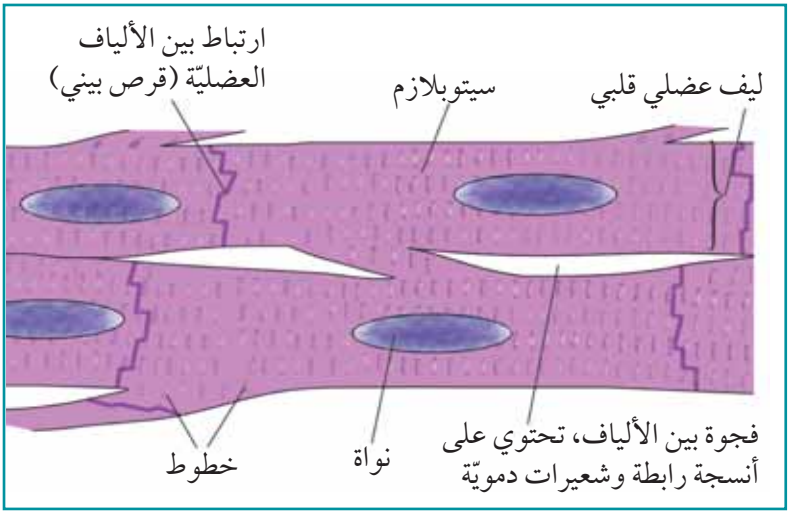
تبلغ كتلة قلب الإنسان البالغ نحو 300 g ويعادل حجمه قبضة يد (الصورة ٧-٩). وهو بمثابة كيس عضلي ممتلئ بالدم. يبيّن الشكل ٧-١١ مظهر قلب الإنسان كما يبدو من الجهة الأمامية للجسم.

تسمّى العضلة التي يتكوّن منها القلب **العضلة القلبيّة Cardiac muscle**. وهي تتكوّن من خلايا مترابطة بإحكام شديد من خلال ارتباط أغشية سطح الخلايا مع بعضها البعض (الشكل ٧-١٢)، وهذا يسمح لموجات التنبيه الكهربائية للمرور بسهولة بينها.

الصورة ٧-٩ قلب الإنسان. توجد الأوعية الدمويّة في الصورة تحت سطح القلب مباشرة، وقد حقنت بهلام يحتوي على صبغة. كما عولجت عضلة القلب لتبدو شفافة حتى عمق 2 mm للتمكن من رؤية الأوعية الدمويّة.



الشكل ٧-١١ رسم تخطيطي للتركيب الخارجي لقلب الإنسان كما يشاهد من الجهة الأمامية.



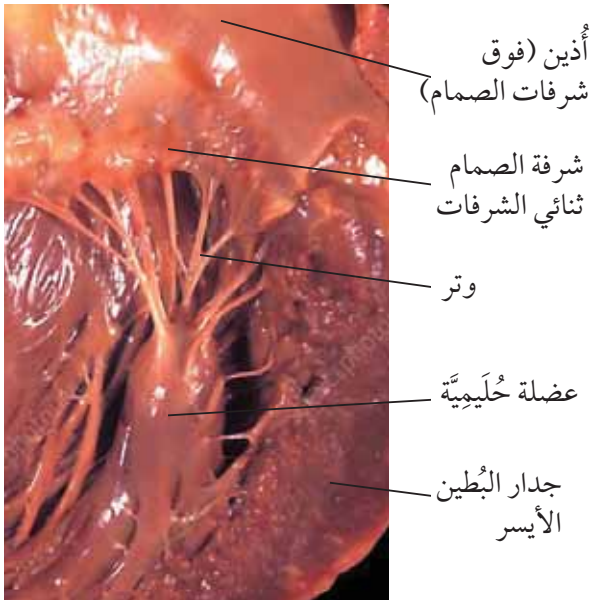
الشكل ٧-١٢ رسم تخطيطي لتركيب عضلة القلب.

تتفرع **الشرايين التاجيّة** Coronary arteries على سطح القلب من الشريان الأبهر، وتوصل الدم المؤكسج إلى عضلة القلب نفسها (الصورة ٧-٩).

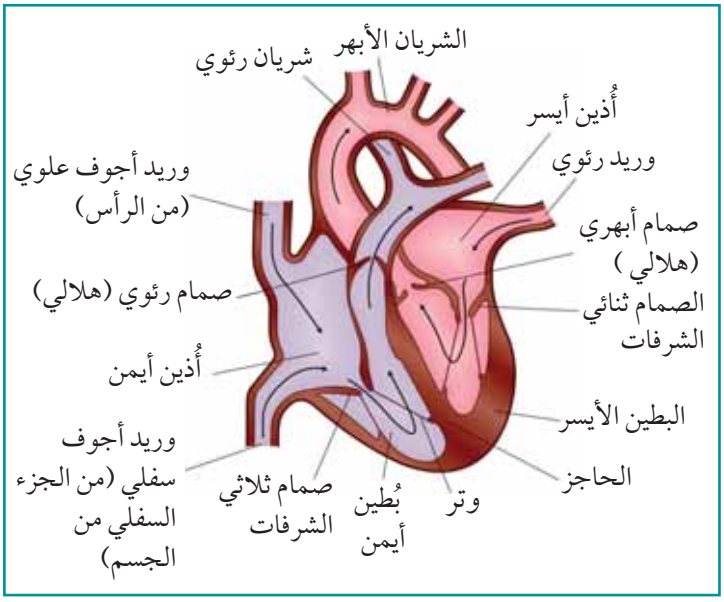
تبيّن الصورة ٧-١٠ والشكل ٧-١٣ المنظر الداخلي للقلب. يجب أن تكون قادرًا على تحديد **الأُذين** Atrium، و**البُطين** Ventricle على كل جانب من القلب. يفصل **الحاجز** Septum بين الجانب الأيسر والجانب الأيمن من القلب. وتوجد **الصمامات الأُذينيّة البُطينيّة** Atrioventricular valves بين الأُذينَين والبُطينَين.

ينتقل الدم غير المؤكسج من الوريد الأجوف إلى الأُذين الأيمن، ثم ينتقل عبر **الصمام ثلاثي الشرفات** Tricuspid valve إلى البُطين الأيمن، ليضخ إلى الشريان الرئوي.

ينتقل الدم المؤكسج من الوريد الرئوي إلى الأُذين الأيسر، ثم ينتقل عبر **الصمام ثنائي الشرفات** Bicuspid valve إلى البُطين الأيسر، ليضخ في الشريان الأبهر.



الصورة ٧-١٠ مقطع في جزء من الجانب الأيسر من القلب.



الشكل ٧-١٣ رسم تخطيطي لقطاع في القلب

مصطلحات علمية

الشرايين التاجيّة Coronary arteries: شرايين تتفرّع من الشريان الأبهر وتنتشر على جدران القلب لتزوّد عضلة القلب بالمواد الغذائيّة والأكسجين.

الأُذين Atrium: إحدى حجرات القلب تتلقى الدم ذا الضغط المنخفض من الأوردة.

البُطين Ventricle: إحدى حجرات القلب تتلقى الدم من الأُذين لتدفعه إلى الشرايين.

الحاجز Septum: طبقة نسيجيّة تفصل بين جانبَي القلب الأيسر والأيمن.

الصمام الأذيني البطيني Atrioventricular valve: صمام بين كل أذين وبطين يغلق عند انقباض البُطينين فيمنع رجوع الدم إلى الأُذينين.

الصمام ثلاثي الشرفات Tricuspid valve: الصمام الأذيني البطيني عند الجانب الأيمن من القلب.

الصمام ثنائي الشرفات Bicuspid valve: الصمام الأُذيني البُطيني الموجود عند الجانب الأيسر من القلب.

الدورة القلبيّة

مصطلحات علمية

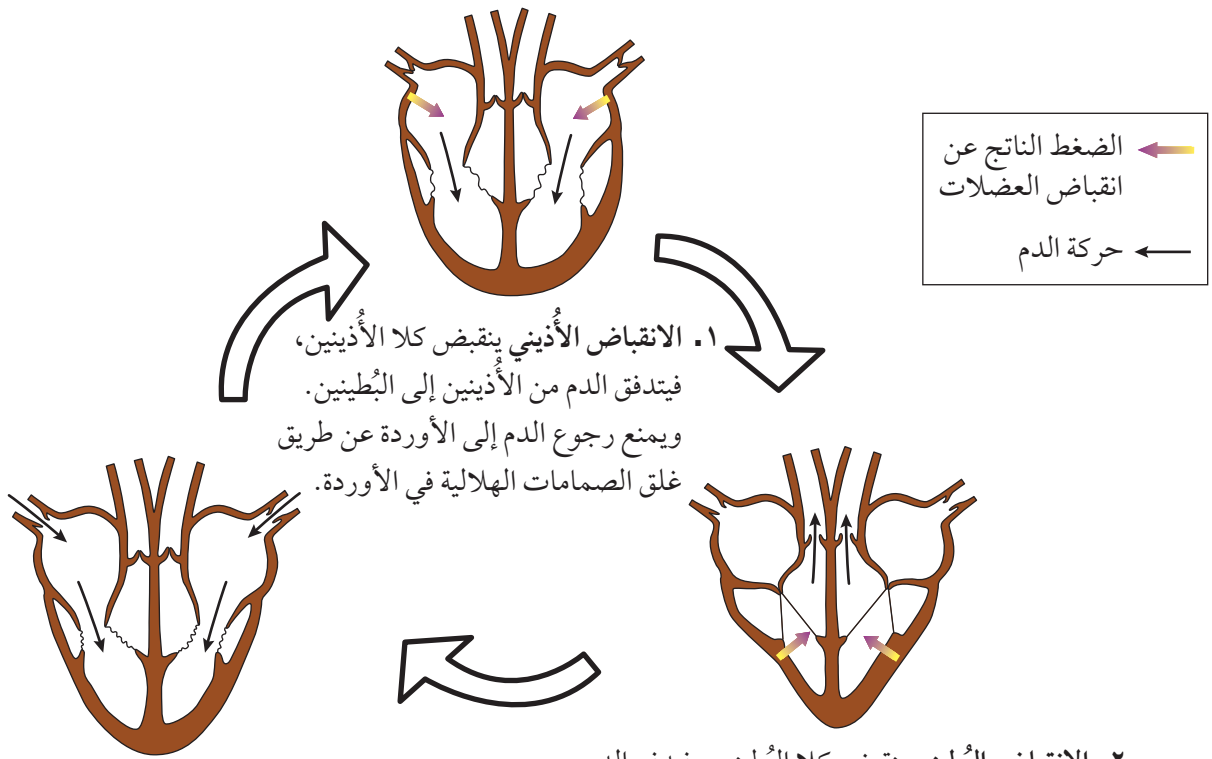
الدورة القلبية
Cardiac cycle: سلسلة الأحداث التي تحدث خلال نبضة قلبية واحدة.

الانقباض الأُذيني
Atrial systole: المرحلة من الدورة القلبية التي تنقبض فيها عضلات جدران الأُذينين.

ينبض القلب بمعدل 70 مرة تقريبًا في الدقيقة. تسمى سلسلة الأحداث التي يمر فيها القلب لينبض نبضة واحدة **الدورة القلبية Cardiac cycle**. يبيّن الشكل ٧-١٤ ثلاث مراحل يمر فيها القلب خلال نبضة قلبية واحدة، تؤدي خلالها الصمامات أدوارًا مهمة.

يمكن وصف الدورة بدءًا من أي مرحلة، كونها دورة مستمرة، ويمكن البدء من الوقت الذي يكون فيه القلب ممتلئًا بالدم وجدران الأُذينين منقبضة، وهي مرحلة **الانقباض الأُذيني Atrial systole**. لا يكون الضغط الناتج من هذا الانقباض كبيرًا لأن الجدران العضليّة للأُذينين رقيقة، فهي كافية فقط لدفع الدم في الأُذينين إلى الأسفل باتجاه الصمامات الأُذينيّة البُطينيّة ومنها إلى البُطينين. ولا يرتد هذا الدم من الأُذينين إلى الأوردة الرئويّة أو الوريد الأجوف إذ تمنع صماماتها الهلالية رجوع الدم.

ينقبض الأُذينان لمدة 0.1 من الثانية، فيتبعه ما يسمّى **الانقباض البُطيني Ventricular systole**. حيث تضغط الجدران العضليّة السميكة للبُطينين إلى الداخل على الدم فتزيد من ضغطه وتدفعه إلى خارج القلب. وحين يصبح الضغط في البُطينين أعلى من الضغط في الأُذينين، يدفع فرق الضغط الصمامات الأُذينيّة البُطينيّة إلى الإغلاق،



١. **الانقباض الأُذيني** ينقبض كلا الأُذينين، فيتدفق الدم من الأُذينين إلى البُطينين. ويمنع رجوع الدم إلى الأوردة عن طريق غلق الصمامات الهلالية في الأوردة.

٢. **الانقباض البُطيني** ينقبض كلا البُطينين، فيدفع الدم المنضغط في البُطينين الصمامات الأُذينيّة البُطينيّة إلى الإغلاق. كما تُدفع الصمامات الهلالية في الشريان الأبهر والشريان الرئوي لتفتح، فيتدفق الدم من البُطينين إلى الشرايين.

٣. **الانبساط البُطيني** ينبسط الأُذينان والبُطينان، فتُدفع الصمامات الهلالية في الشريان الأبهر والشريان الرئوي لتغلق. ثم يتدفق الدم من الأوردة عبر الأُذينين إلى البُطينين.

الشكل ٧-١٤ الدورة القلبية. توضح ثلاث مراحل فقط من هذه العملية المستمرة.

مصطلحات علمية

الانقباض البُطيني
Ventricular systole: المرحلة من دورة القلب التي تنقبض فيها عضلات جدران البُطينين.

الانبساط البُطيني
Ventricular diastole: المرحلة من دورة القلب التي تنبسط فيها عضلات جدران القلب.

الأمر الذي يمنع رجوع الدم إلى الأُذينين، ويسمح بتدفقه إلى الأعلى في الشريان الأبهر والشريان الرئوي، الأمر الذي يؤدي إلى فتح الصمامات الهلالية في هذه الأوعية.

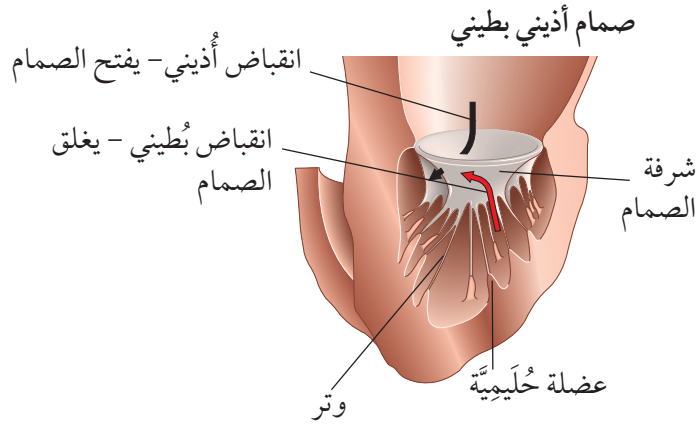
يستمر الانقباض البُطيني 0.3 ثانية تقريبًا، ثم تنبسط العضلة لتبدأ مرحلة **الانبساط البطيني** **Ventricular diastole**. وعند انبساط عضلات البطينين ينخفض فيهما الضغط، الأمر الذي يسبّب رجوع الدم الذي تم دفعه في الشرايين إلى البُطينين، ولكن الصمامات الهلالية تغلق بسرعة بفعل امتلاء شرفاتها بالدم فتحول دون رجوعه.

أثناء مرحلة الانبساط، تنبسط عضلة القلب بشكل كامل، ويتدفق الدم من الأوردة إلى الأُذينين. يكون الدم تحت ضغط منخفض جدًا، لكن الجدران الرقيقة للأُذينين تتمدد بسهولة، وتكون مقاومتها لتدفق الدم ضعيفة جدًا. يسيل بعض الدم باتجاه البُطينين عبر الصمامات الأُذينيّة البُطينيّة، وتنقبض عندها عضلة الأُذينين لتدفع الدم بقوة إلى أسفل في البُطينين، فتبدأ الدورة بأكملها مرة أخرى.

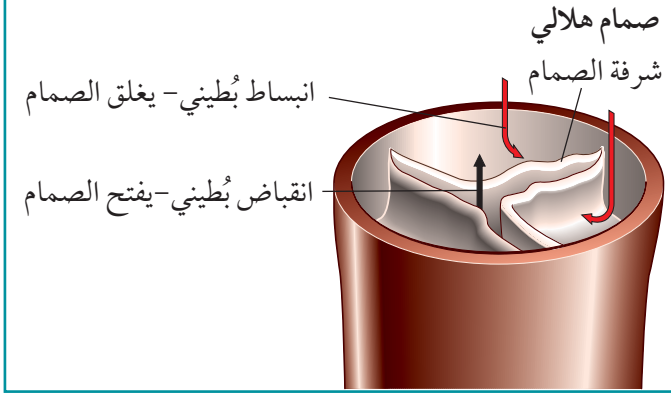
يبيّن الشكل ٧-١٥ كيفية عمل الصمامات الأُذينيّة البُطينيّة والصمامات الهلالية. ويبيّن الشكل ٧-١٦ تغيّرات الضغط في الجانب الأيسر من القلب أثناء دورة قلبيّة واحدة.

جدران البُطينين أكثر سماكة من جدران الأُذينين، لأن البُطينين يحتاجان إلى إحداث قوة كبيرة عند انقباضهما لدفع الدم من القلب إلى جميع أجزاء الجسم. يجب أن تكون قوة انقباض البُطين الأيمن صغيرة نسبيًا، لأنه يدفع الدم إلى

يكون ضغط الدم في الأذينين أثناء **الانقباض الأُذيني** أعلى من ضغطه في البُطينين، ما يدفع الصمامات الأُذينيّة البُطينيّة لتفتح. ويكون ضغط الدم في البُطينين أثناء **الانقباض البُطيني** أعلى من ضغطه في الأُذينين. ويندفع ضغط الدم نحو الأعلى إلى شرفات الصمامات الأُذينيّة البُطينيّة ويتسبب في غلقها. انقباض العضلات الحُلَيمِيَّة المتصلة بالصمامات عن طريق الأوتار يمنع دفع الصمامات الأُذينيّة البُطينيّة من الداخل إلى الخارج باتجاه الأذين.



يدفع الدم أثناء **الانقباض البُطيني** الصمامات الهلالية لتفتح. وأثناء **الانبساط البُطيني** حيث يكون ضغط الدم في الشرايين أعلى منه في البُطينين، فيدفع ضغط الدم شرفات الصمامات الهلالية لتغلق.

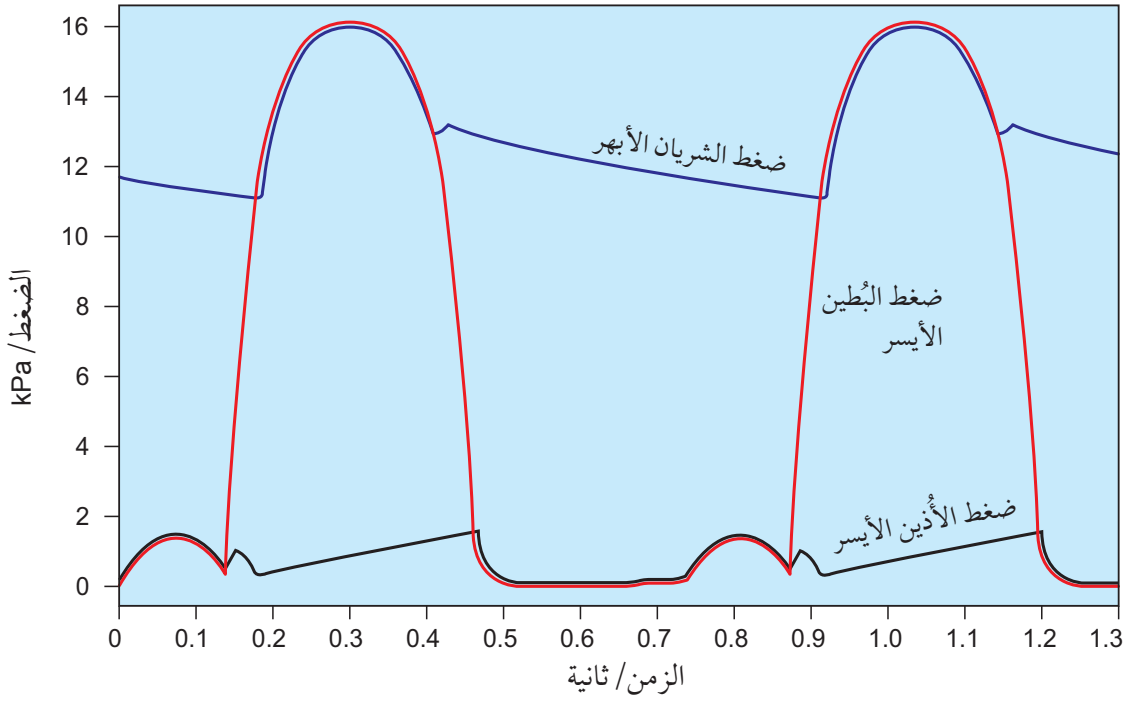


الشكل ٧-١٥ كيفية عمل صمامات القلب.

الرئتين فقط، وهما قريبتان جدًا من القلب. فإذا كان الضغط الناتج من الانقباض مرتفعًا جدًا، فستتلف الشعيرات الدمويّة الرئويّة، ويتراكم السائل النسيجي في الرئتَين، ما يعيق تبادل الغازات.

يجب أن ينقبض البطين الأيسر بقوة كافية لدفع الدم إلى جميع أجزاء الجسم. لكن الضغط الذي يمكن أن يولده البُطين الأيسر يكون مرتفعًا في معظم الأحيان بالنسبة إلى معظم أعضاء الجسم، من هنا تؤدي الشُرينات دورًا مهمًا في خفض هذا الضغط قبل أن يتدفق في الشعيرات الدمويّة. فأثناء ممارسة التمارين الرياضية وعندما تعمل العضلات بجهد أكبر، تتمدد الشُرينات التي تزودها بالدم لتزيد من تدفق الدم إليها. يجب أن يكون البُطين الأيسر قادرًا على إحداث ما يكفي من القوة لضمان استمرار وصول الدم الكافي إلى أعضاء الجسم الأخرى. لهذا، تكون سماكة الجدران العضليّة للبُطين الأيسر أكبر بكثير من تلك التي للبُطين الأيمن.

يبيّن الشكل ٧- ١٦ تغيّرات الضغط في الجانب الأيسر من القلب والشريان الأبهر أثناء دورتَين قلبيتَين متتاليتَين. يمكن ملاحظة أن الضغط الذي أحدثه البُطين الأيسر يفوق بكثير الضغط في الأُذين الأيسر.



الشكل ٧-١٦ تغيّرات الضغط في الجانب الأيسر من القلب أثناء الدورة القلبيّة.

سؤال

(١٤) حدّد من الشكل ٧-١٦ الزمن الذي تحدث فيه كل مرحلة من مراحل الدورة القلبية المبينة في الشكل ٧-١٤.

(١٥) يمكن أن تضعف صمامات القلب وتفشل في الغلق بكفاءة. اقترح كيف يؤثر ذلك على وظيفة القلب وصحة الإنسان.

تنظيم نبض القلب

تختلف عضلة القلب عن عضلات جميع مناطق الجسم الأخرى من حيث إنها **عضليّة المنشأ Myogenic**. وهذا يعني أنها تنقبض وتنبسط تلقائيًا، ولا تحتاج إلى تلقي إشارات عصبيّة لتنقبض. فإذا زرعت خلايا عضليّة قلبيّة في محلول دافئ مؤكسج يحتوي على مواد غذائيّة، فإنها تنقبض وتنبسط تلقائيًا بشكل إيقاعي.

ولكن، لا تنقبض الخلايا العضلية القلبية المفردة تلقائيًا بإيقاعاتها الخاصة فهي تحتاج إلى الانقباض بالتنسيق مع الخلايا المجاورة. ولو حدث ذلك، لانقبض بعض أجزاء من القلب بتسلسل يختلف عن الأجزاء الأخرى، ولَحدث اضطراب للدورة القلبية وتوقف القلب عن العمل كمضخة، لذلك فإن للقلب آلية تنظيم واتساقًا مدمجًا خاصًا به، يمنع من حدوث هذا الاضطراب.

تبدأ الدورة القلبيّة من بقعة متخصصة من العضلة القلبية في جدران الأُذين الأيمن تسمّى **العقدة الجيبيّة الأُذينيّة Sinoatrial node** أو اختصارًا **SAN**، وغالبًا ما تسمّى صانع الخطو Pacemaker. تولد الخلايا العضليّة في العقدة الجيبية الأذينية إيقاع النبضات المنتظمة لجميع الخلايا الأخرى للعضلة القلبيّة. ويكون إيقاعها الطبيعي في الانقباض أسرع قليلًا من إيقاع أي جزء في عضلة القلب. وتتولد موجة من النشاط الكهربائي في كل مرة تنقبض فيها عضلات SAN، إذ تنتشر بسرعة في كافة جدران الأُذين. وتستجيب العضلة القلبيّة في جدران الأُذين لموجة التنبيه هذه بالانقباض بالانتظام نفسه لانقباض خلايا SAN. وبالتالي، تنقبض كل العضلة في كلا الأُذينين معًا تقريبًا.

عرفت أن عضلة البُطينين لا تنقبض إلّا بعد انقباض عضلة الأُذينين (يمكنك تخيل ما سيحدث إذا انقبضت جميعها في الوقت نفسه). هذا التأخير سببه ميزة في القلب تؤخر مرور موجة التنبيه من الأُذينين إلى البُطينين لفترة وجيزة. توجد حزمة من الألياف بين الأُذينين والبُطينين لا توصل موجة التنبيه. وهذا يعني أن موجة التنبيه لا تستطيع المرور مباشرة في جدران البُطينين عند انتشارها من صانع الخطو في جدران الأُذينين. وبالتالي يكون الطريق الوحيد (للوصول إلى جدران البطينين) من خلال بقعة من ألياف موصلة توجد في الحاجز تسمّى **العقدة الأُذينيّة البُطينيّة Atrioventricular node** أو اختصارًا **AVN** (الشكل ٧-١٧). تلتقط **AVN** موجة التنبيه عند انتشارها عبر الأُذينين، وتمررها بعد تأخير بحدود 0.1 ثانية إلى حزمة من الألياف الموصلة تسمّى **ألياف بوركنجي Purkinje fibers**، والذي يمتد مع الحاجز بين البُطينين. تنقل ألياف بوركنجي موجة التنبيه بسرعة كبيرة إلى قاعدة الحاجز، وينتشر منها إلى الخارج وإلى الداخل عبر جدران البُطينين. ونتيجة لذلك، تنقبض العضلة القلبيّة في هذه الجدران من الأسفل إلى الأعلى، ضاغطة الدم إلى الأعلى صعودًا إلى داخل الشرايين.

مصطلحات علمية

عضليّة المنشأ
Myogenic: مصطلح يصف الأنسجة العضليّة التي تنقبض وتنبسط حتى عند عدم وجود تحفيز من العصب.

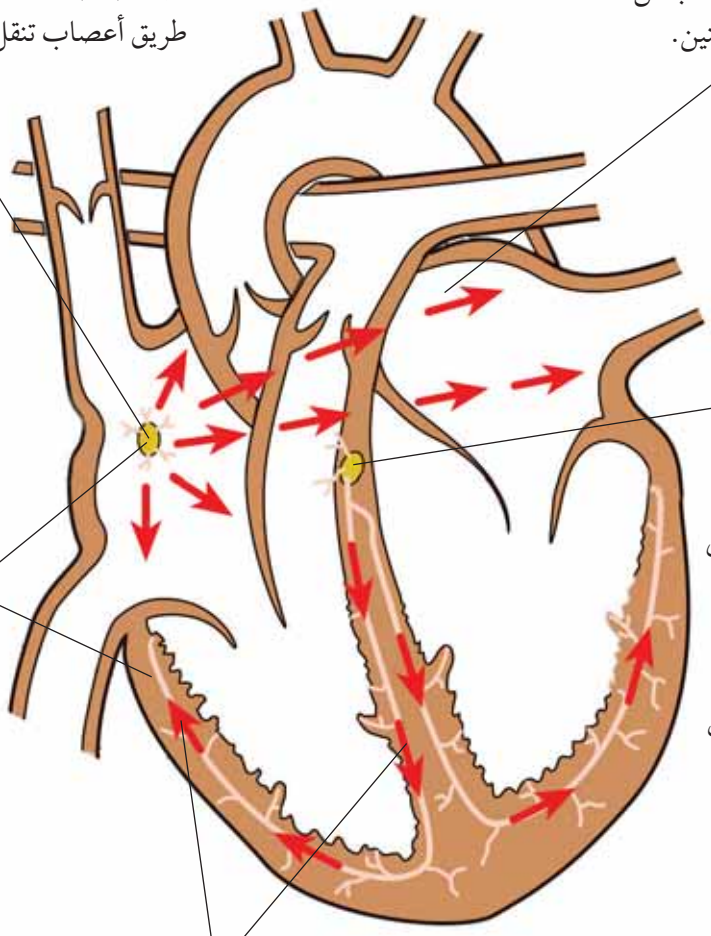
العقدة الجيبيّة الأُذينيّة
Sinoatrial node (SAN): بقعة من العضلة القلبيّة في الأُذين الأيمن من القلب، تنقبض وتنبسط بإيقاع يحدد نمط بقية عضلة القلب.

العقدة الأُذينيّة البُطينيّة
Atrioventricular node (AVN): بقعة من الألياف في حاجز القلب تنقل موجة التنبيه من جدران الأُذينين إلى ألياف بوركنجي.

ألياف بوركنجي
Purkinje fibers: حزمة من الألياف توصل موجة التنبيه نزولًا عبر حاجز القلب إلى قاعدة (قمة) البُطينين.

١. تبدأ كل دورة قلبيّة في الأُذين الأيمن. توجد بقعة صغيرة من النسيج العضلي في جدار الأُذين الأيمن تسمّى العقدة الجيبية الأذينية (SAN) أو صانع الخطو، والتي تنقبض وتنبسط ذاتيًا طوال الوقت. وهي لا تحتاج إلى إشارة عصبيّة لتبدأ عملها، لذا يقال إنها ذات منشأ عضلي – أي أنها «تبدأ بالعضلة».يتم تنظيم عمل (SAN) عن طريق أعصاب تنقل إشارات عصبية من الدماغ.

٢. ينتج من انقباض العضلة في (SAN) موجة تنبيه كهربائيّة تمتد عبر العضلة في أذيني القلب، تسبّب انقباض العضلة في جدران الأُذينين.



٣. تمتد موجة التنبيه وتصل إلى بقعة أخرى من الخلايا تسمى العقدة الأُذينيّة البُطينيّة (AVN)، والتي تمثل الطريق الوحيد الذي تمر فيه موجة التنبيه الكهربائي نزولًا إلى البُطينين. تؤخر هذه العقدة النبضة لجزء من الثانية، قبل أن تتابع سيرها إلى أسفل في البُطينين. ويعني هذا التأخير أن البُطينين يستقبلان الإشارة للانقباض بعد أن يستقبلها الأُذينان.

٤. تنتقل موجة التنبيه بسرعة إلى الأسفل عبر حاجز القلب على امتداد ألياف بوركنجي. وتمتد موجة التنبيه إلى الأعلى عبر جدران البُطينين، فينقبضان.

٥. ينبسط البُطينان عند ذلك، ثم تنقبض العضلة في (SAN) مرة أخرى، لتبدأ هذه السلسلة من انتقال موجات التنبيه الكهربائية من جديد.

الشكل ٧-١٧ كيفية انتقال موجات التنبيه الكهربائيّة عبر القلب.

ملخّص

ينتقل الدم من القلب إلى الشرايين، ويمر عبر الأنسجة في الشعيرات الدمويّة، ويعود إلى القلب عبر الأوردة. ينخفض ضغط الدم تدريجيًا مع مروره على امتداد هذا الجهاز.

للشرايين جدران سميكة مرنة، تتيح لها تحمل ضغوط الدم المرتفعة وتخفيف تدفق الدم النابض. الشُرينات تساعد في خفض ضغط الدم والتحكم في كميّة الدم المتدفقة إلى الأنسجة المختلفة. الشعيرات الدمويّة واسعة فقط بما يكفي لمرور خلايا الدم الحمراء، جدرانها رقيقة جدًا لتسمح بمرور المواد بكفاءة وسرعة بين الدم والخلايا. للأوردة جدران أرقّ من جدران الشرايين، وصمامات تساعد الدم عند الضغط المنخفض على التدفق مرة أخرى إلى القلب.

تتسرّب بلازما الدم من الشعيرات الدمويّة لتكوّن السائل النسيجي.

خلايا الدم الحمراء خلايا صغيرة نسبيًا مقعرة الوجهَين ولا تحتوي على نواة. والسيتوبلازم فيها ممتلئ بالهيموجلوبين.

تحمل خلايا الدم الحمراء الأكسجين باتحاده مع الهيموجلوبين.

يلتقط الهيموجلوبين الأكسجين عند ضغوط جزئيّة (تراكيز) مرتفعة من الأكسجين في الرئتَين، ويطلقه عند ضغوط جزئيّة منخفضة من الأكسجين في أنسجة الجسم. يعرف التمثيل البياني الذي يبيّن النسبة المئويّة لتشبع الهيموجلوبين بالأكسجين عند ضغوط جزئيّة مختلفة من الأكسجين باسم منحنى انفكاك الأكسجين.

يحدث عند التراكيز المرتفعة من ثاني أكسيد الكربون انتقال (انزياح) لمنحنى الانفكاك إلى الأسفل وإلى اليمين، ليبيّن أن الهيموجلوبين يطلق الأكسجين بسهولة أكبر عندما يكون تركيز ثاني أكسيد الكربون مرتفعًا، وهذا يعرف باسم تأثير بور.

يتكوّن قلب الثدييات من أربع حجرات: أُذين أيمن وأُذين أيسر وبُطين أيمن وبُطين أيسر. الجانب الأيمن من القلب مفصول عن الجانب الأيسر بجدار من نسيج يسمّى الحاجز. الجدران العضليّة للأُذينين رقيقة ولا تنتج ضغطًا كبيرًا عندما تنقبض. جدران البُطينين بها عضلات أكثر وتنتج ضغطًا كافيًا لدفع الدم إلى الرئتَين من البُطين الأيمن وإلى مختلف أجزاء الجسم من البُطين الأيسر. لذلك يكون جدار البُطين الأيسر أكثر سماكة ويحتوي على عضلات أكثر من جدار البُطين الأيمن.

الدورة القلبيّة عمليّة مستمرة، ولكن يمكن تتبعها في ثلاث مراحل: (١) الانقباض الأُذيني (انقباض الأُذينين) ويدفع الدم للتدفق إلى البُطينين من الأُذينين. وغلق الصمامات في الأوردة يمنع رجوع الدم إلى الأوردة. (٢) الانقباض البُطيني (انقباض البُطينين) يدفع الدم في الشرايين بقوة تفتح الصمامات الهلالية. يمنع الدم من الرجوع إلى الأُذينين بفعل ضغط يغلق الصمامات الأُذينيّة البُطينيّة. (٣) في حالة الانبساط (انبساط عضلة القلب)، تغلق الصمامات الهلالية، فتمنع رجوع الدم من الشرايين إلى البُطينين. يتدفق الدم إلى الأُذينين والبُطينين من الأوردة.

ينشأ نبض القلب من العقدة الجيبيّة الأُذينيّة أو صانع الخطو، والقادرة على الانقباض بانتظام تلقائيًا. تنتشر موجة من التنبيه عبر الأُذينين لذا تنقبض جميع خلايا العضلة القلبيّة في الأُذينين معًا. لا يمكن أن تنتشر موجة التنبيه إلى البُطينين مباشرة بسبب حزمة من نسيج غير موصل. ومع ذلك، تمرر العقدة الأُذينيّة البُطينيّة في الحاجز الموجّه إلى ألياف بوركنجي، الأمر الذي يسبب انقباض البُطينين من قاعدة البطينين صعودًا بعد فترة قصيرة من انقباض الأُذينين، وهذا أمر مهم لأنه يدفع الدم من البُطينين إلى الأعلى حيث الشرايين.

أسئلة نهاية الوحدة

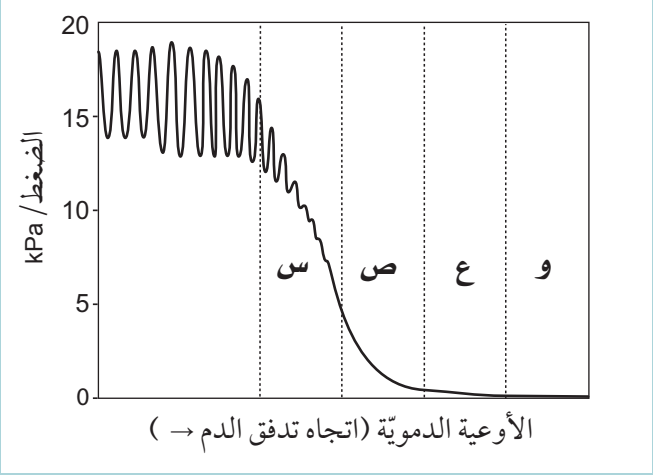
١ أين يبدأ نبض القلب عند الثدييات؟

أ. العقدة الأُذينيّة البُطينيّة
ب. الأُذين الأيسر
ج. ألياف بوركنجي
د. العقدة الجيبية الأذينية

٢ ما الذي يسبّب إغلاق الصمام ثنائي الشرفات أثناء الانقباض البُطيني؟

أ. ضغط الدم المرتفع في الأُذين الأيسر عنه في البُطين الأيسر.
ب. ضغط الدم المرتفع في البُطين الأيسر عنه في الأُذين الأيسر.
ج. انقباض العضلات في الحاجز.
د. انقباض العضلات في الصمام.

٣ يبيّن التمثيل البياني التغيّر في ضغط الدم مع تدفق الدم عبر الأوعية الدمويّة في الدورة الدمويّة الجهازية للإنسان.



أي من الآتي يحدّد بشكل صحيح الأوعية المسماة (س، ص، ع، و)؟

	س	ص	ع	و
أ	شريان	شُعيرة دمويّة	شُرين	وُرَيّد
ب	شُرين	شريان	وُرَيّد	شُعيرة دمويّة
ج	شريان	شُرين	شُعيرة دمويّة	وُرَيّد
د	وُرَيّد	شُعيرة دمويّة	شُرين	شريان

تابع

٤ تبيّن الصورة المجهريّة شريانًا ووريدًا.

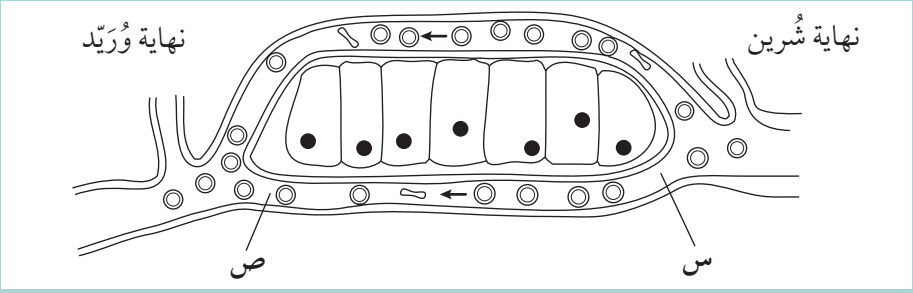
أي صف يحدّد ويصف الشريان والوريد بشكل صحيح؟

	س	ص	الوصف
أ	شريان	وريد	للشريان جدران سميكة وللوريد جدران رقيقة.
ب	شريان	وريد	للشريان طبقة وسطى رقيقة وللوريد طبقة وسطى سميكة.
ج	وريد	شريان	للشريان طبقة وسطى سميكة وللوريد طبقة وسطى رقيقة.
د	وريد	شريان	للشريان جدران رقيقة وللوريد جدران سميكة.

٥ ينتقل ثاني أكسيد الكربون في الدم بأشكال مختلفة.

أ. صف كيف تصل جزيئات ثاني أكسيد الكربون إلى خلايا الدم الحمراء من أنسجة الجسم الأخرى.

ب. يبيّن الرسم التخطيطي أدناه جزءًا من شبكة شُعيرات دمويّة وبعض خلايا النسيج المحيط.



اذكر **ثلاث** طرائق يختلف بها الدم عند (ص) عن الدم عند (س)، من غير تركيز ثاني أكسيد الكربون.

ج. يحفز إنزيم في خلايا الدم الحمراء التفاعل بين ثاني أكسيد الكربون والماء عند تدفق الدم عبر أنسجة الجسم.

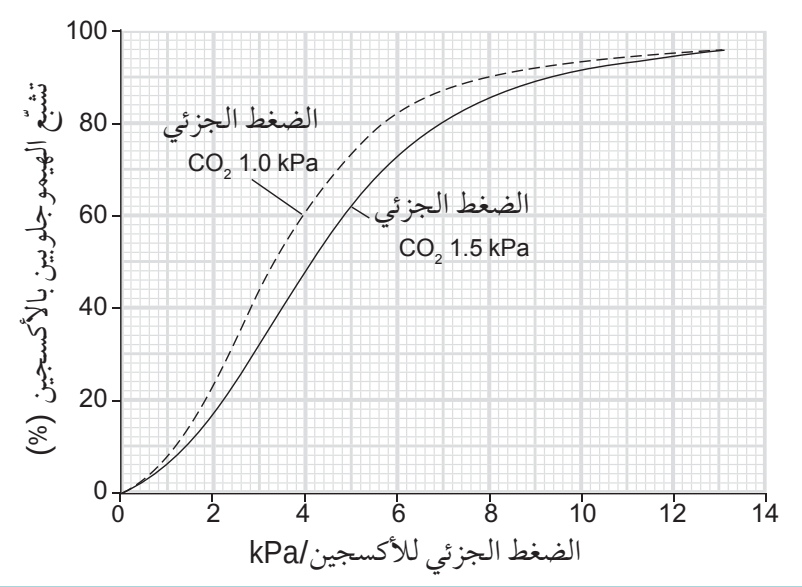
$$CO_2 + H_2O \xrightarrow{\text{إنزيم}} H_2CO_3 \longrightarrow H^+ + HCO_3^-$$

١. سمّ الإنزيم الذي يحفز هذا التفاعل.

٢. اشرح أهميّة هذا التفاعل في نقل ثاني أكسيد الكربون.

تابع

د. يبيّن التمثيل البياني تأثير تركيز زيادة ثاني أكسيد الكربون على منحنى انفكاك الأكسجين.



١. اكتب النسبة المئويّة لتشبّع الهيموجلوبين بالأكسجين عند الضغط الجزئي للأكسجين 5 kPa عندما يكون الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون:

1.0 kPa

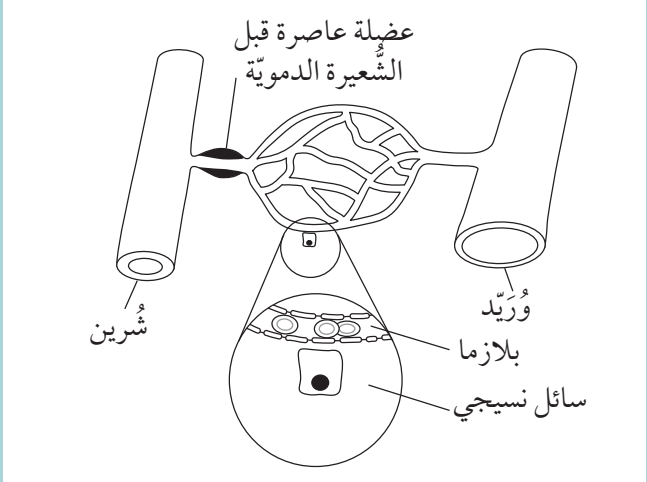
1.5 kPa

٢. تنخفض نسبة تشبّع الهيموجلوبين بالأكسجين مع زيادة الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون. اشرح كيف يحدث ذلك.

٣. سمّ تأثير زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون على منحنى انفكاك الأكسجين.

٤. اشرح أهميّة تأثير ثاني أكسيد الكربون على الهيموجلوبين كما هو مبيّن في التمثيل البياني.

٦ يبيّن الشكل جزءًا من الدورة الدمويّة في أنسجة الثدييات. تم تكبير الجزء المركزي لتوضيح شعيرة دمويّة وخليّة تتزوّد منها بالمواد.



تابع

أ. فسر السبب في أن جدار الشريان أكثر سماكة من جدار الوريد؟

ب. اقترح **دورًا** للعضلة العاصرة قبل الشُّعيرة الدمويّة المبيّنة في الشكل.

ج. بالإشارة إلى الشكل، صف دور الشُّعيرات الدمويّة في تكوين السائل النسيجي.

د. صف **ثلاثة** اختلافات بين البلازما والسائل النسيجي.

٧ يبيّن الشكل ٧-١٦ تغيّرات الضغط في الأُذين الأيسر والبُطين الأيسر والشريان الأبهر خلال دورتَين قلبيتَين. انقل الرسم التخطيطي على دفترك.

أ. ١. ما المدة التي تستغرقها نبضة قلبية واحدة (دورة قلبيّة واحدة)؟

٢. ما معدل نبضات القلب المبيّنة على الرسم التخطيطي، بالنبضات في الدقيقة؟

ب. يؤدي انقباض العضلات في جدران البُطين إلى ارتفاع الضغط داخل البُطين. وينخفض الضغط مرة أخرى عندما تنبسط العضلات. حدّد على نسختك من الرسم التخطيطي الفترات الآتية:

١. الزمن الذي يكون فيه البُطين منقبضًا (الانقباض البُطيني).

٢. الزمن الذي يكون فيه البُطين منبسطًا (الانبساط البُطيني).

ج. يؤدي انقباض العضلات في جدران الأُذين إلى ارتفاع الضغط بداخله. ويرتفع هذا الضغط أيضًا عندما يتدفق الدم من الأوردة في الأُذين، بينما تنبسط جدران الأُذين. حدّد على نسختك من الرسم التخطيطي الفترات الآتية:

١. الزمن الذي يكون فيه الأُذين منقبضًا (الانقباض الأُذيني).

٢. الزمن الذي يكون فيه الأُذين منبسطًا (الانبساط الأُذيني).

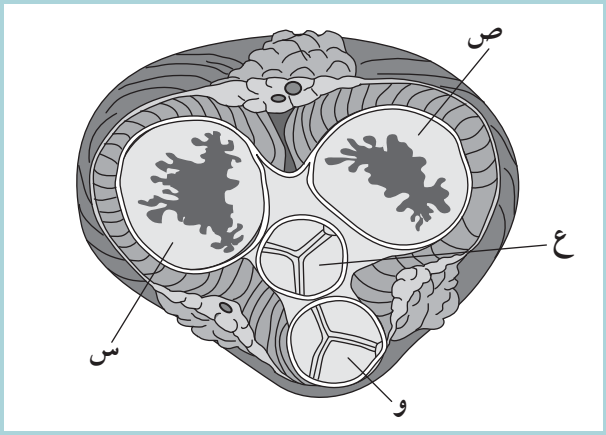
د. تفتح الصمامات الأُذينيّة البُطينيّة عندما يكون ضغط الدم في الأُذينين أكبر من ضغطه في البُطينين. وتغلق عندما يكون ضغط الدم في البُطينين أكثر من ضغطه في الأُذينين. حدّد على رسمك التخطيطي نقاط المواقع التي ستفتح وتغلق فيها هذه الصمامات.

هـ. يعتمد فتح الصمامات الهلالية في الشريان الأبهر وإغلاقها بطريقة مماثلة على الضغط النسبي في الشريان الأبهر والبُطينين. حدّد على رسمك التخطيطي نقاط المواقع التي ستفتح وتغلق فيها هذه الصمامات.

و. يوجد في جدران البُطين الأيمن عضلات أقل بكثير من البُطين الأيسر، ويحدث ربع الضغط تقريبًا الذي يحدثه الجانب الأيسر من القلب. ارسم على رسمك التخطيطي خطًا يمثل الضغط المحتمل داخل البُطين الأيمن خلال 1.3 ثانية المبيّنة.

تابع

٨ يبيّن الرسم التخطيطي أدناه مقطعًا عرضيًا في القلب عند مستوى الصمامات.



أ. ١. انقل اللوحة الانسيابيّة الآتية على دفترك وأكملها لتبيّن مسار الدم في القلب:

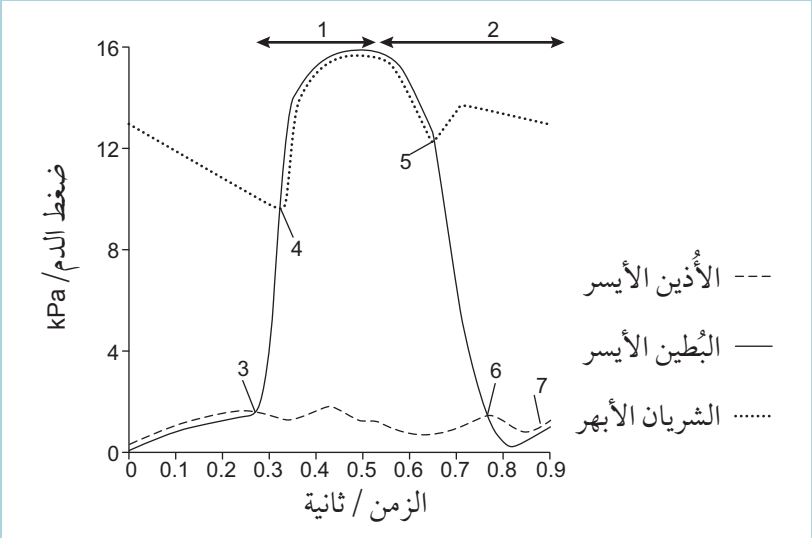
الوريد الأجوف ← الأُذين الأيمن ← صمام (س) ← ☐ ← صمام (و)

صمام (و) ← شريان رئوي ← رئتان ← ☐ ← أُذين أيسر

أُذين أيسر ← صمام (ص) ← البُطين الأيسر ← صمام (ع) ← الشريان الأبهر

٢. اشرح كيف يضمن الصمامان (س)، (ص) تدفق الدم في اتجاه واحد في القلب.

ب. تصف الدورة القلبيّة الأحداث التي تحصل خلال نبضة قلبية واحدة. يبيّن الشكل الآتي التغيّرات في ضغط الدم التي تحدث في الأذين الأيسر والبطين الأيسر والشريان الأبهر أثناء نبضة قلبية واحدة.



تابع

انقل الجدول أدناه على دفترك وأكمله. طابق كل حدث أثناء الدورة القلبيّة مع الرقم المناسب من 1 إلى 7 على الرسم التخطيطي. **عليك وضع رقم واحد فقط في كل خانة**. يمكنك استخدام كل رقم مرة واحدة أو أكثر من مرة أو عدم استخدامه **مطلقًا**.

كتبت الإجابة الأولى لمساعدتك.

الحدث أثناء الدورة القلبيّة	الرقم
يفتح الصمام الأُذيني البُطيني (ثنائي الشرفات)	6
الانقباض البطيني	
يغلق الصمام الهلالي (الأبهري)	
ينبسط كلا البُطين الأيسر والأُذين الأيسر	
يفتح الصمام الهلالي (الأبهري)	

ج. اشرح دور كل من العقدة الجيبيّة الأُذينيّة والعقدة الأُذينيّة البُطينيّة وألياف بوركنجي أثناء نبضة قلبية واحدة.

قائمة تقييم ذاتي

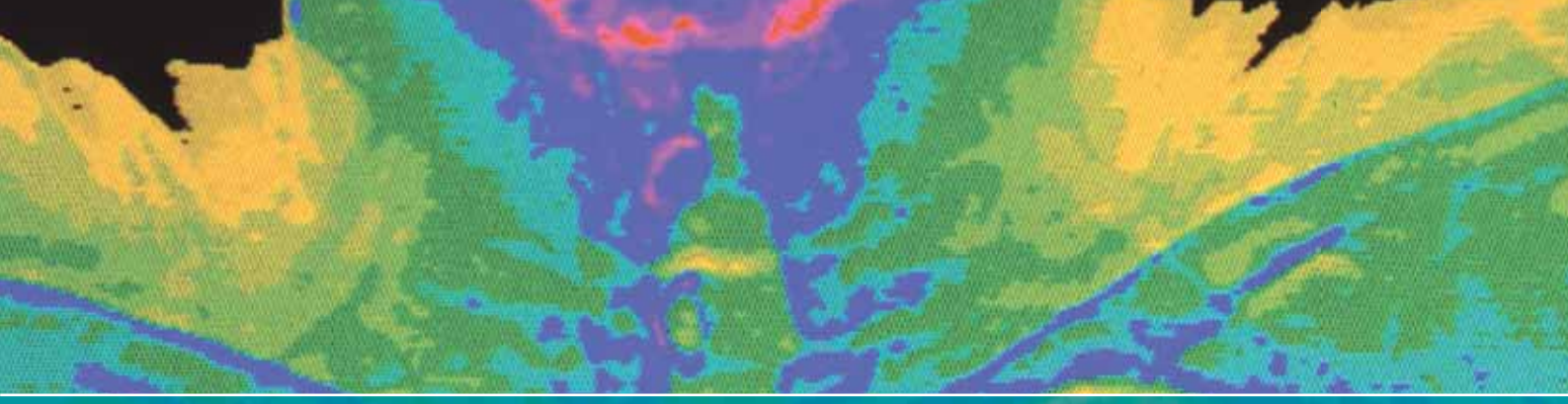
بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول كالآتي:

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أتعرّف على الشرايين والأوردة والشعيرات الدمويّة من الشرائح المجهريّة والصور المجهريّة الضوئية والصور المجهريّة الإلكترونيّة، وأرسم رسومًا تخطيطيّة سطحية توضح تركيب الشرايين والأوردة في المقطع العرضي والمقطع الطولي.	٧-١			
أشرح كيف يرتبط تركيب الشرايين المرنة (مثل الشريان الأبهر والشريان الرئوي)، والشرايين العضلية، والشُرينات، والشعيرات الدمويّة، والوُرَيّدات، والأوردة (مثل الوريد الأجوف، والوريد الرئوي) بوظائفها.	٧-١			
أذكر وظائف السائل النسيجي وأصف تكوينه في شبكة الشعيرات الدمويّة.	٧-٢			
أتعرّف وأرسم خلايا الدم الحمراء والخلايا وحيدة النواة والخلايا المتعادلة والخلايا اللمفاويّة، باستخدام الشرائح المجهريّة والصور المجهريّة الضوئية والصور المجهريّة الإلكترونيّة.	٧-٣			
أذكر أن الماء هو المكوّن الرئيسي للدم والسائل النسيجي، وأربط خصائص الماء بدوره في النقل في الثدييات مقتصرًا على عمله كمذيب وعلى السعة الحراريّة النوعيّة العالية.	٧-٣			
أصف دور خلايا الدم الحمراء في نقل غازَي الأكسجين وثاني أكسيد الكربون مع الإشارة إلى دور كل من: • الهيموجلوبين • كربونيك أنهيدريز • تكوين حمض الهيموجلوبينيك • تكوين الكاربامينوهيموجلوبين.	٧-٣			
أصف انتقال الكلوريد وأشرح أهميته.	٧-٣			
أصف دور البلازما في نقل ثاني أكسيد الكربون.	٧-٣			
أصف وأشرح منحنى انفكاك الأكسجين من هيموجلوبين شخص بالغ.	٧-٣			

تابع

بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول كالآتي:

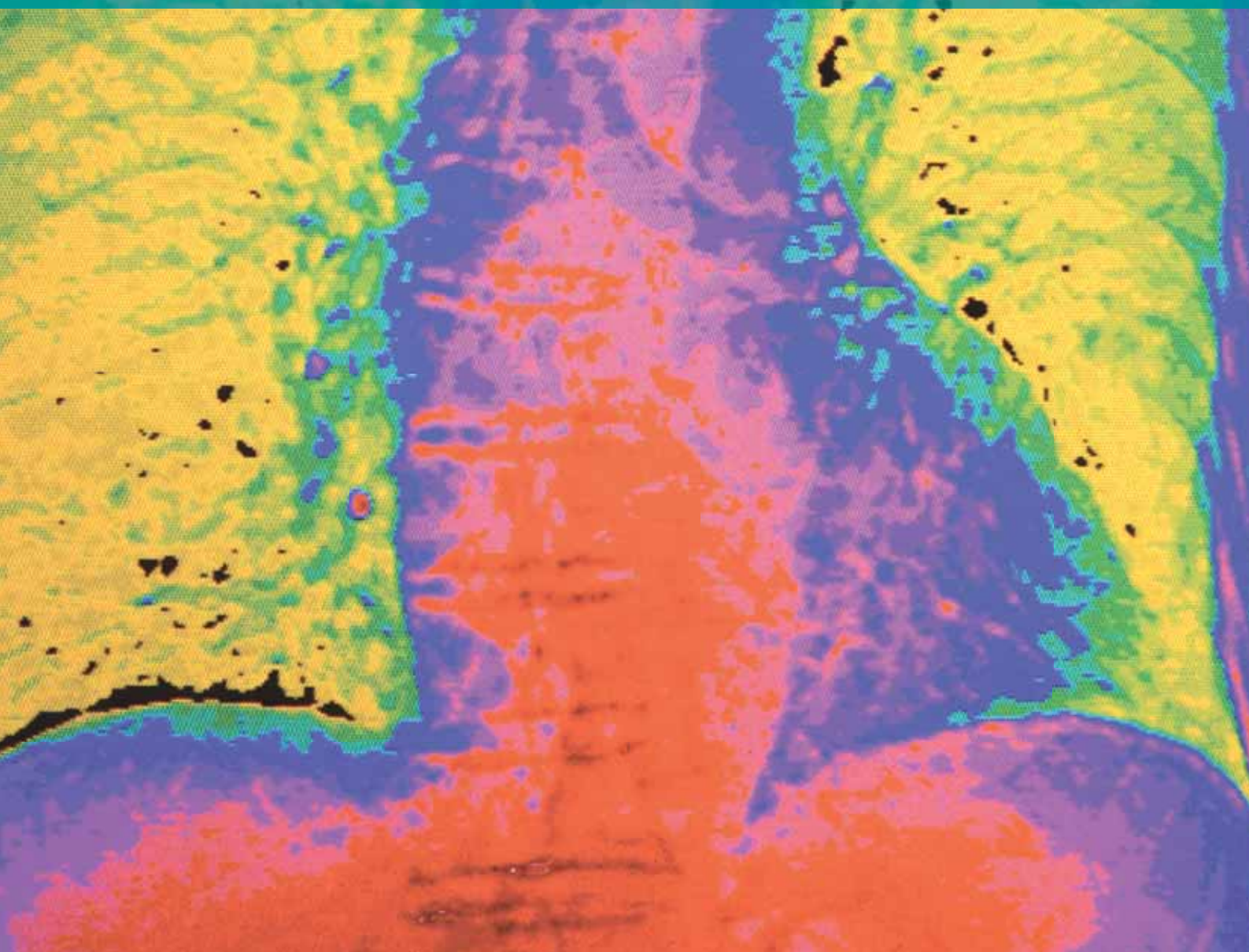
أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أشرح أهميّة منحنى انفكاك الأكسجين عند الضغط الجزئي للأكسجين الموجود في الرئتَين وفي أنسجة الجسم الأخرى.	٣-٧			
أصف تأثير بور وأشرح أهميته.	٣-٧			
أصف التركيب الخارجي والتركيب الداخلي لقلب الثدييات.	٤-٧			
أشرح الاختلافات في سمك جدران: • الأُذينَين والبُطينَين • البُطين الأيسر والبُطين الأيمن.	٤-٧			
أصف الدورة القلبية، مع الإشارة إلى العلاقة بين تغيّرات ضغط الدم أثناء الانقباض والانبساط وفتح الصمامات وإغلاقها.	٤-٧			
أشرح أدوار العقدة الجيبيّة الأُذينيّة والعقدة الأُذينيّة البُطينيّة وألياف بوركنجي في الدورة القلبية (لا يتوقع معرفة التحكم العصبي والهرموني).	٤-٧			



الوحدة الثامنة

تبادل الغازات

Gas exchange



أهداف التعلّم

٨-١ يتعرّف على القصبة الهوائيّة والشعب الهوائيّة والشعيبات الهوائيّة والحويصلات الهوائيّة في الشرائح المجهريّة والصور المجهريّة الضوئية والصور المجهريّة الإلكترونيّة، ويرسم رسومًا تخطيطيّة سطحية لمقاطع عرضيّة في جدران القصبة الهوائيّة والشعبة الهوائيّة.

٨-٢ يصف وظيفة وتوزيع الغضاريف والعضلات الملساء في جهاز تبادل الغازات.

٨-٣ يلخص توزيع الخلايا الطلائيّة المهدبة والخلايا الكأسيّة والمخاط، ويصف وظائفها في الحفاظ على صحة جهاز تبادل الغازات.

٨-٤ يصف تكيف الحويصلة الهوائيّة الذي يعزز تبادل الغازات، بالإشارة إلى الألياف المرنة والنسيج الطلائي الحرشفي وشبكة الشعيرات الدمويّة المحيطة.

٨-٥ يتعرّف على الغضاريف والنسيج الطلائي المهدب والخلايا الكأسيّة والنسيج الطلائي الحرشفي في الحويصلة الهوائيّة، والعضلات الملساء والشعيرات الدمويّة في الشرائح المجهريّة والصور المجهريّة الضوئية والصور المجهريّة الإلكترونيّة.

٨-٦ يصف تبادل الغازات بين الهواء في الحويصلات الهوائيّة والدم في الشعيرات الدمويّة، متضمنًا الحفاظ على منحدرات التركيز.

قبل أن تبدأ بدراسة الوحدة

تتناول هذه الوحدة جهاز تبادل الغازات في الثدييات. يتكوّن هذا الجهاز من مجموعة من الأعضاء والأنسجة والخلايا التي تعمل معًا لنقل الهواء إلى داخل الرئتَين وإلى خارجهما حيث يتم تبادل الغازات مع الدم. لا تحتوي العديد من الكائنات الحيّة على تراكيب متخصصة لتبادل الغازات.

ناقش مع مجموعتك سبب حاجة الثدييات إلى جهاز معقد لتبادل الغازات.

العلوم ضمن سياقها

فحص الممرات الهوائيّة

يستخدم الجراح في الصورة ٨-١أ منظارًا داخليًا Indoscope لفحص الممرات الهوائيّة بحثًا عن أي انسداد أو ورم. المناظير الداخليّة هي أنابيب مرنة تحتوي في أحد طرفَيها على مصدر ضوء وكاميرا، وتستخدم في كثير من الفحوصات الروتينيّة لتجاويف الجسم. يسمّى نوع المنظار الداخلي المستخدم في فحص الممرات الهوائيّة والرئتَين منظار القصبات الهوائيّة Bronchoscope.

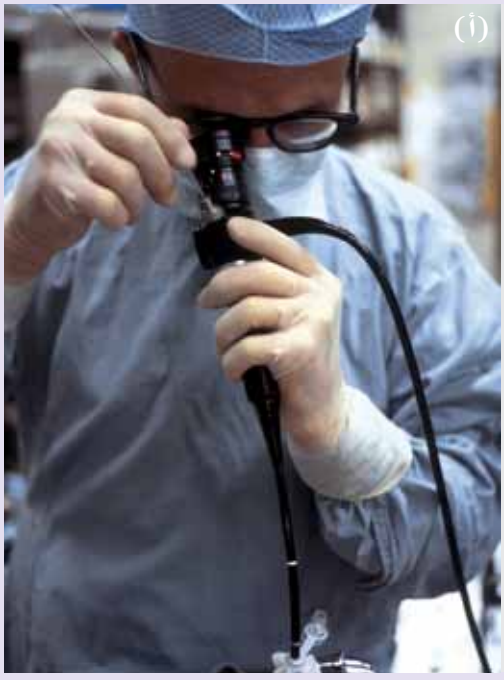
يُدخل الجرّاح منظار القصبات الهوائيّة عبر الأنف أو الفم، ليمر من خلال الحبال الصوتيّة في الحنجرة، وينزل إلى القصبة الهوائيّة ثم إلى إحدى الشعبتين الهوائيتين. ويمكن للآخرين، بمن فيهم المريض، رؤية أي انسدادات أو تلف في الممرات الهوائيّة على شاشة المراقبة إذا كان المنظار مزودًا بكاميرا فيديو.

توضح الحالة في الصورة ٨-١ب وجود منطقة بيضاء عند قاعدة القصبة الهوائيّة تدل على أنها منطقة أنسجة ملتهبة. وقد يشتبه الجرّاح بسرطان الرئة إذا كان المريض مدخنًا. ويمكنه استخدام منظار القصبات الهوائيّة في استئصال خزعة صغيرة من الأنسجة من هذه المنطقة، وإرسالها إلى المختبر لتحليلها ومعرفة ما إذا كانت الخلايا سرطانيّة.

أسئلة للمناقشة

يعمل الجرّاح الذي يستخدم منظار القصبات الهوائيّة في قسم طب الجهاز التنفسي Department of Respiratory Medicine داخل المستشفى. والعديد من الخدمات الصحيّة تهدف إلى تقديم اختبارات الكشف أو المسح Screening tests لعدّة أمراض منها سرطان الرئة.

ناقش ما إذا كان إجراء اختبارات كشف الأمراض إلزاميًا لأولئك المعرّضين لخطر الإصابة بأمراض معيّنة.



الصورة ٨-١ (أ) جرّاح يستخدم منظار القصبات الهوائيّة لمشاهدة ما في داخل الممرات الهوائيّة. (ب) منظر من خلال منظار القصبات الهوائيّة لقاعدة القصبة الهوائيّة عند تفرعها إلى شعبتَين هوائيتَين. المنطقة البيضاء هي التهاب في الأنسجة المبطنة للقصبة الهوائيّة.

٨-١ الرئتان

يربط جهاز تبادل الغازات عند الإنسان الجهاز الدوري مع الغلاف الجوي، ويتناسب تركيبه مع الوظائف الآتية:

- تنظيف الهواء الذي يدخل الجسم أثناء التنفس وتدفئته.
- زيادة مساحة سطح انتشار الأكسجين وثاني أكسيد الكربون بين الدم والغلاف الجوي.
- تقليل مسافة هذا الانتشار.
- الحفاظ على منحدرات التركيز الكافية لهذا الانتشار.

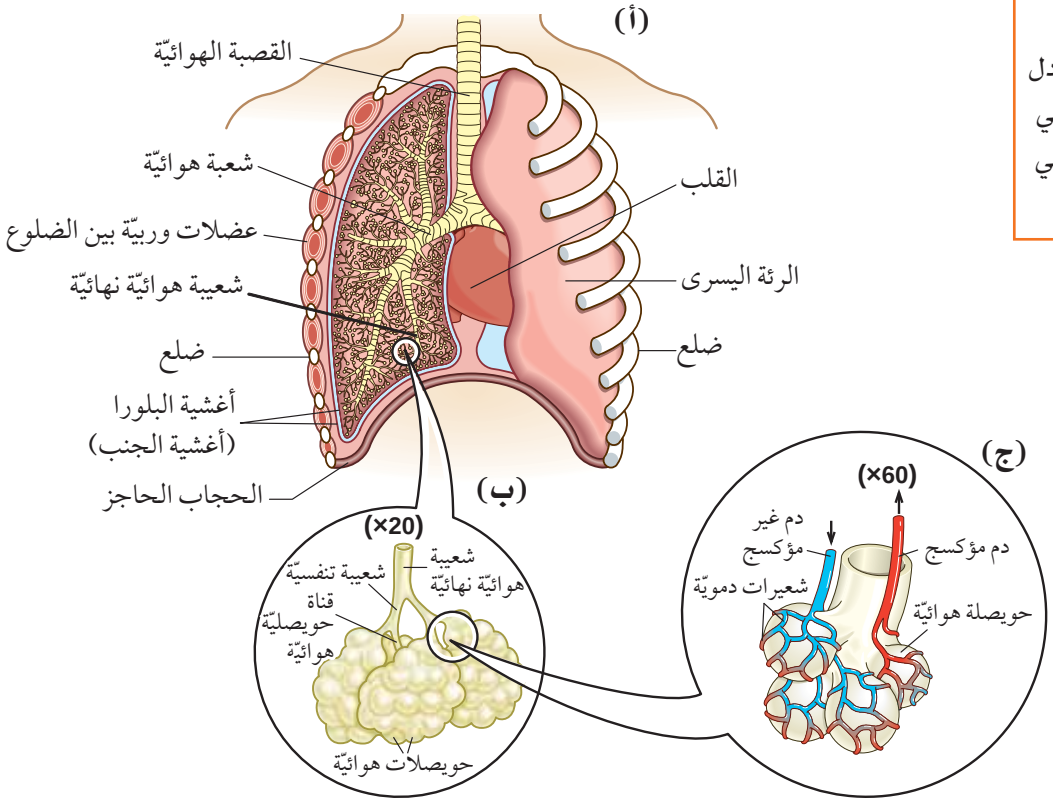
تحتاج معظم الكائنات الحيّة إلى التزوّد بالأكسجين للتنفس. ينتشر الأكسجين في الكائنات الحيّة أحاديّة الخليّة مباشرة عبر غشاء سطح الخليّة من السائل الموجود خارج الخلايا إلى السيتوبلازم. ولكن معظم الخلايا في الكائنات الحيّة متعددة الخلايا، كالإنسان، توجد على مسافة بعيدة من البيئة الخارجيّة التي تتزوّد منها بالأكسجين. لذلك، للكائنات الحيّة متعددة الخلايا **سطح تبادل غازات** **Gas exchange surface** متخصص، يمكن أن ينتشر عبره الأكسجين من البيئة المحيطة إلى داخل الجسم، في حين ينتشر ثاني أكسيد الكربون إلى خارج الجسم.

مصطلحات علمية

سطح تبادل غازات Gas exchange surface: أي جزء من جسم الكائن الحي يسمح بانتقال الغازات بين البيئة المحيطة والجسم. يحدث تبادل الغازات عبر سطح جسم بعض الكائنات الحيّة التي تتصف بنسبة مساحة السطح إلى الحجم كبيرة. فالكائنات الحيّة ذات النسب الصغيرة لديها أسطح متخصصة لتبادل الغازات مثل الرئتَين في الثدييات والخياشيم في الأسماك.

تركيب الرئتَين

توجد الرئتان في التجويف الصدري محاطة بأغشية البلورا (أغشية الجنب) pleural membranes، التي تحيط بحيز محكم الإغلاق. يحتوي هذا الحيّز على كميّة صغيرة من السوائل تمنع الاحتكاك عند تهوية الرئتين بفعل حركة الحجاب الحاجز والضلوع.



الشكل ٨-١ (أ) القصبة الهوائيّة والرئتان عند الإنسان. يمر الهواء عبر (أ) القصبة الهوائيّة والشعبتَين الهوائيتَين ليزوّد العديد من الشعيبات الهوائية المتفرعة (ب) التي تنتهي بالحويصلات الهوائيّة (ج) حيث يحدث تبادل للغازات بين هواء الحويصلات الهوائيّة والدم في الشعيرات الدمويّة الرئويّة. تبلغ مساحة سطح تبادل الغازات $70\text{-}75\ m^2$، داخل التجويف الصدري الذي تصل سعته إلى 5 L تقريبًا.

عند الإنسان تمثل **الحويصلات الهوائيّة** **Alveoli** (مفردها حويصلة هوائيّة **Alveolus**) في الرئتَين سطح تبادل الغازات (يبيّن الشكل ٨–١ توزيع الحويصلات الهوائيّة في الرئتين وتركيبها).

وعلى الرغم من أن الحويصلة الهوائيّة صغيرة الحجم، إلّا أن الحويصلات الهوائيّة بمجموعها تشكل مساحة سطح كبيرة، قد تصل في الإنسان البالغ إلى 70-75 m^2. وهذا يعني أن عددًا كبيرًا من جزيئات الأكسجين وثاني أكسيد الكربون يمكن أن تنتشر عبر السطح في أي لحظة، ليوفر معدل تبادل غازات مرتفع. ومساحة السطح الكبيرة ضروريّة أيضًا لأن الأكسجين غير قابل للذوبان في الماء بشكل كبير.

القصبة الهوائيّة والشعبتان الهوائيتان والشعيبات الهوائيّة

يتم إمداد الرئتين بالهواء الذي يمر عبر نظام متفرع من الممرات الهوائية (الجدول ٨–١). الممر الممتد من الحنجرة إلى الرئتَين هو **القصبة الهوائيّة** **Trachea**. يتفرع من قاعدة القصبة الهوائيّة **شعبتان هوائيتان** **Bronchi** (مفردها شعبة هوائيّة Bronchus)، تتفرعان بدورهما على نطاق واسع لتكوين «شجرة» من الشعب الهوائيّة في كل رئة. وتتفرع كل شعبة هوائيّة عدة مرات لتكوّن **شعيبات هوائيّة** **Bronchioles** أصغر فأصغر. ثم تتفرع الشعيبات الهوائية النهائيّة لتكوين شعيبات هوائية تنفسيّة أضيق منها تزود القناة الحويصليّة بالهواء. يُبقي **غضروف** **Cartilage** في القصبة الهوائية والشعبتَين الهوائيتَين هذه الممرات الهوائيّة مفتوحة ومقاومتها لضغط الهواء منخفضة، ويمنع انهيار أو انفجار هذه الممرات مع تغيّر ضغط الهواء أثناء التنفس. في القصبة الهوائيّة ترتيب منتظم من الحلقات الغضروفيّة على شكل حرف C، وتحتوي الشعبتان الهوائيتان على صفائح غضروفيّة غير منتظمة. قارن الصورتَين للقصبة الهوائيّة (الصورتان ٨–٢أ و ٨–٦) مع الصورتين للشعب الهوائيّة (الصورتان ٨–٢ب و ٨–٧).

يبين الجدول ٨–١ التركيب المختلف للممرات الهوائية المختلفة.

الممر الهوائي	العدد	القطر بالتقريب	الغضروف	الخلايا الكأسيّة	العضلات الملساء	الأهداب	موقع لتبادل الغازات
القصبة الهوائيّة	1	1.8 cm	نعم	نعم	نعم	نعم	لا
شعبة هوائيّة	2	1.2 cm	نعم	نعم	نعم	نعم	لا
شعيبة هوائيّة نهائيّة	48 000	1.0 mm	لا	لا	نعم	نعم	لا
شعيبة هوائيّة تنفسيّة	300 000	0.5 mm	لا	لا	لا	قليل	لا
قناة حويصليّة	9×10^6	400 µm	لا	لا	لا	لا	نعم
حويصلات هوائيّة	3×10^9	250 µm	لا	لا	لا	لا	نعم

الجدول ٨-١ تركيب الممرات الهوائيّة من القصبة الهوائيّة إلى الحويصلة الهوائيّة. تبدو الممرات الهوائيّة المختلفة كما في الشكل ٨-١.

مصطلحات علمية

حويصلة هوائيّة
Alveolus: كيس هوائي صغير في الرئتَين يتكوّن من طبقة واحدة من نسيج طلائي حرشفي وبعض الألياف المرنة. وتحاط كل حويصلة هوائيّة بشعيرات دمويّة تنقل الدم من الشريان الرئوي إلى الوريد الرئوي.

القصبة الهوائيّة
Trachea: تركيب يشبه الأنبوبة يمتد من الحنجرة إلى الشعبتَين الهوائيتَين، ينتقل فيها الهواء إلى داخل الرئتَين وخارجهما.

شعبة هوائية
Bronchus: فرع رئيسي من القصبة الهوائيّة يمتد إلى الرئتَين.

شُعيبة هوائيّة
Bronchiole: فرع مجهري من الشعبة الهوائيّة يؤدي إلى الحويصلات الهوائيّة.

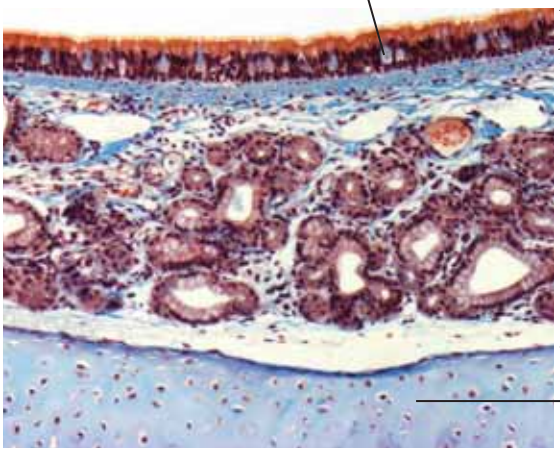
الغضروف
Cartilage: نوع من النسيج الهيكلي قوي ومرن يدعم الحنجرة والقصبة الهوائيّة والشعبتَين الهوائيتَين في جهاز تبادل الغازات. يوجد الغضروف أيضًا في المفاصل بين العظام وفي الأذن الخارجيّة.

الصورة ٨-٢ (أ) صورة مجهرية ضوئية لجزء من القصبة الهوائيّة من خلال مقطع عرضي (x65). تتكوّن البطانة من نسيج طلائي مهدب يرتكز على غشاء قاعدي من ألياف بروتينيّة. يوجد بين الخلايا المهدبة خلايا كأسيّة (مصبوغة بالأزرق) ويوجد في أسفل النسيج الطلائي منطقة من أنسجة رخوة تحتوي أوعية دمويّة وغددًا مخاطيّة. تدعم القصبة بأكملها بحلقات غضروفيّة على شكل حرف C. ويبدو جزء من الحلقة الغضروفيّة على شكل طبقة سميكة تمتد عبر الجزء السفلي من الصورة.

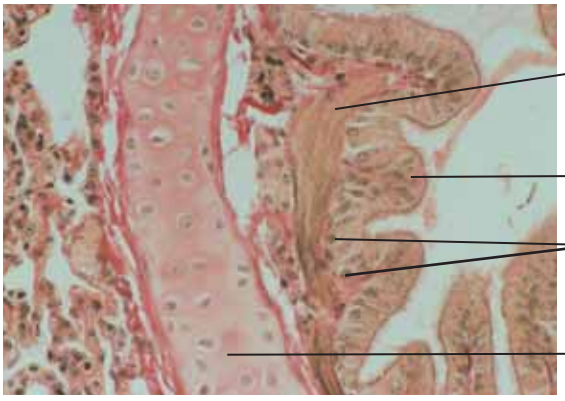
(ب) صورة مجهرية ضوئية لجزء من الشعبة الهوائيّة من خلال مقطع عرضي (x300). بين الخلايا الطلائيّة المهدبة. يوجد عدد أقل من الخلايا الكأسيّة في كل cm^2 مقارنة بالقصبة الهوائيّة، كما أن الخلايا الطلائية أقل طولًا. ويوجد في أسفل النسيج الطلائي ألياف مرنة. وتدعم الشعبة الهوائية كتلٌ غضروفيّة لا حلقات غضروفيّة، إذ يمكن رؤية جزء من إحداها، وتبدو أيضًا مصبوغة بالوردي، وهي تمتد من الجزء العلوي للصورة إلى الجزء السفلي.

(ج) صورة مجهرية ضوئية لشعيبة هوائيّة صغيرة من خلال مقطع عرضي (x135). يحيط بالنسيج الطلائي عضلات ملساء، وهي تفتقر إلى الغضروف، وحول الشعيبة الهوائية بعض الحويصلات الهوائيّة. في أنسجة جدران الممرات الهوائيّة للرئة الحيّة لا توجد طيات، إنما مع انقباض العضلات الملساء عند الوفاة تحدث هذه الطيات التي يمكن رؤيتها.

(أ)



(ب)



(ج)

١) احسب القياس الحقيقي (العرض) لمناطق الغضروف في القصبة الهوائيّة والشعبة الهوائيّة (الصورتان ٨- ٢أ و ٨- ٢ب). اكتب المعادلة التي تستخدمها، ووضح خطوات الحل وعبّر عن إجابتك لأقرب ميكرومتر.

٢) **أ.** استفد من الصورة ٨-٢ج في وصف مظهر العضلات الملساء في الشعيبة الهوائيّة.

ب. اشرح دور العضلات الملساء في جهاز تبادل الغازات.

٣) اشرح سبب وجود حويصلات هوائيّة كثيرة في الرئتَين.

٨-٢ تدفئة وتنظيف الهواء

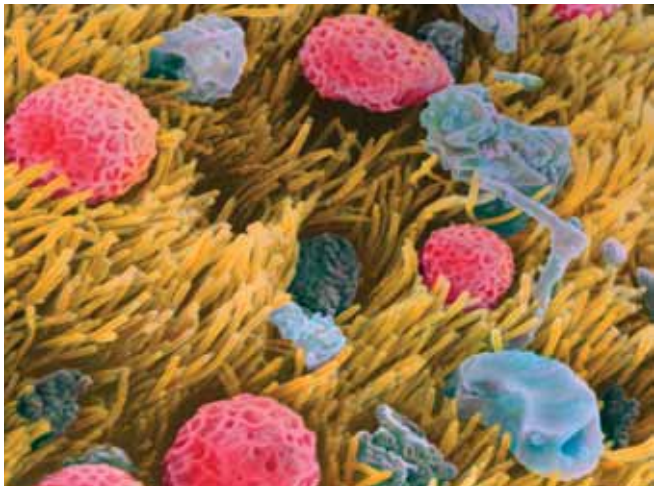
عندما يتدفق الهواء عبر الأنف والقصبة الهوائية، يتم تدفئته إلى درجة حرارة الجسم وترطيبه بالتبخر من البطانة، فيحمي بالتالي الأسطح الحساسة داخل الرئتَين من الجفاف. والحماية ضروريّة أيضًا من المواد التي يحملها الهواء والتي قد تتضمن الغبار والرمل وحبوب اللقاح وأبواغ الفطريات والبكتيريا والفيروسات، وجميعها تهديدات محتملة لقدرة الرئة على أداء وظائفها كما يجب. تلتقط الشعيرات داخل الأنف والمخاط الذي يبطن الممرات الأنفية والممرات الهوائيّة الأخرى الجسيمات الأكبر من 5-10 µm تقريبًا.

في القصبة الهوائية والشعبتين الهوائيتين يتم إفراز المخاط من **الخلايا الكأسيّة Goblet cells** في **النسيج الطلائي المهدب Ciliated epithelium** (الصور من ٨-٢ إلى ٨-٤ والشكل ٨-٢).

مصطلحات علمية

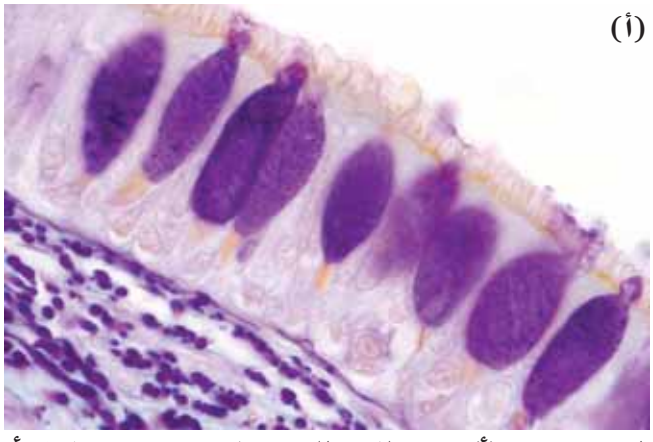
الخليّة الكأسيّة Goblet cell: خليّة على شكل الكأس تفرز المخاط. توجد الخلايا الكأسيّة في أجزاء النسيج الطلائي المهدب في جهاز تبادل الغازات وأجهزة أخرى، مثل الجهاز التناسلي والجهاز الهضمي.

النسيج الطلائي المهدب Ciliated epithelium: نسيج طلائي يحتوي بشكل رئيسي على خلايا مهدبة، وقد يحتوي على خلايا كأسيّة.

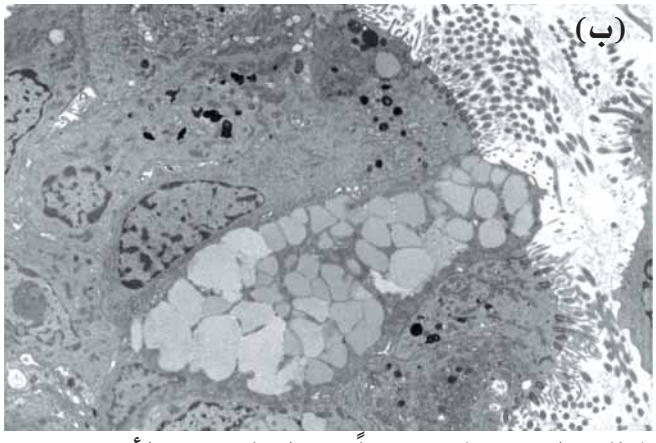


الصورة ٨-٣ صورة مجهرية إلكترونية بألوان زائفة لسطح القصبة الهوائيّة تبيّن أعدادًا كبيرة من الأهداب (بالأصفر) مغطاة بحبوب اللقاح (بالوردي) والغبار (بالأزرق) التي يتم استنشاقها (x2000).

(أ)



(ب)



الصورة ٨-٤ (أ) نسيج طلائي للقصبة الهوائيّة مع عدة خلايا كأسيّة (باللون البنفسجي) تفرز مخاطًا على السطح تدفعه الأهداب. النسيج أسفل النسيج الطلائي (أسفل اليسار) يحتوي على ألياف مرنة كثيرة (x550). (ب) صورة مجهرية إلكترونية (النافذ) لنسيج طلائي للشعبة الهوائيّة. في الوسط مقطع من خليّة كأسيّة، يمتلئ الجزء العلوي منها بكتل من المخاط، ويحدث إخراج خلوي إلى التجويف على اليمين. وفي نهاية الخلية الكأسيّة (أسفلها) نواة مثلثة الشكل. وعلى جانبي الخلايا الكأسيّة خلايا طلائيّة مهدبة (x1300).

مصطلحات علمية

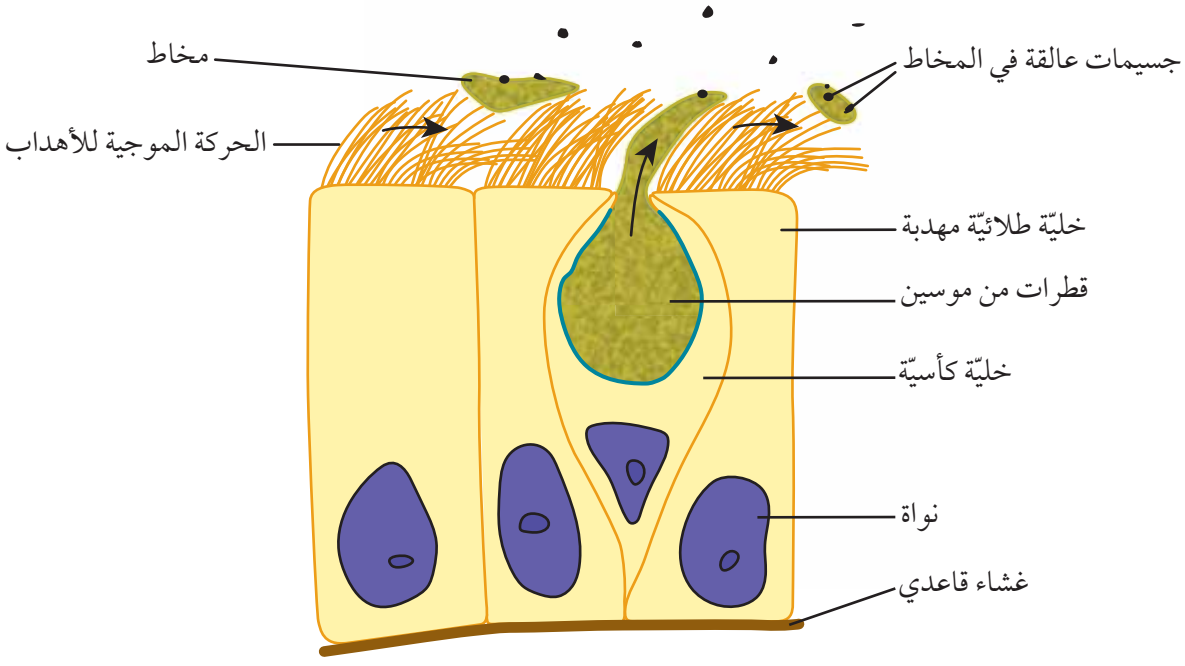
موسين Mucin: أي بروتين سكري يشكل جزءًا من المخاط الذي تفرزه الخلايا الكأسيّة والغدد المخاطيّة.

ويكون الجزء العلوي من كل خليّة كأسيّة منتفخًا بفعل قطرات **موسين Mucin** التي تفرزها الخلية. فالمخاط محلول غروي من الموسين يتكوّن من بروتينات سكريّة مع العديد من سلاسل الكربوهيدرات التي تجعله لزجًا وقادرًا على التقاط الجسيمات في الهواء المستنشق. تحتوي بقيّة الخليّة على جهاز جولجي وشبكة إندوبلازمية خشنة وميتوكندريا ونواة، أما الجزء السفلي من الخليّة فيكون رقيقًا وهو بذلك يشبه الكأس. يُفرز المخاط أيضًا من غدد مخاطيّة توجد أسفل النسيج الطلائي. ويمكن أن تذوب بعض الملوثات الكيميائيّة مثل ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد النيتروجين في المخاط مكوّنة حمضًا يهيّج بطانة الممرات الهوائيّة.

توجد بين الخلايا الكأسية خلايا طلائيّة مهدبة، وبفعل حركة الأهداب الموجية المستمرة يندفع المخاط إلى الأعلى باتجاه الحنجرة بسرعة 1cm/min تقريبًا (الشكل ٨-٢)، وعندما يصل إلى الجزء العلوي من القصبة الهوائيّة يتم عادة ابتلاعه، وبالتالي تُبتلع مسببات الأمراض ليتم تدميرها بفعل حموضة المعدة.

تحاط الشعيبات الهوائيّة بعضلات ملساء، يمكن أن تنقبض وتنبسط للتحكم في قطر هذه الممرات الهوائيّة الدقيقة. تنبسط هذه العضلات أثناء ممارسة التمارين الرياضيّة لتسمح بتدفق أكبر للهواء في الممرات الهوائيّة.

تحمي خلايا الدم البيضاء البلعمية الكبيرة، أسطح الممرات الهوائيّة، حيث تلتهم الجسيمات الصغيرة مثل البكتيريا وجسيمات الغبار الدقيقة. وأثناء العدوى، تدعم الخلايا البلعميّة الأخرى التي تغادر الشعيرات الدمويّة الخلايا البلعمية الكبيرة للمساعدة في إزالة مسببات الأمراض.



الشكل ٨-٢ الحركة الموجية للأهداب تدفع المخاط الذي تفرزه الخلايا الكأسيّة إلى مؤخرة الحنجرة.

٨-٣ الحويصلات الهوائيّة

مصطلحات علمية

ألياف مرنة

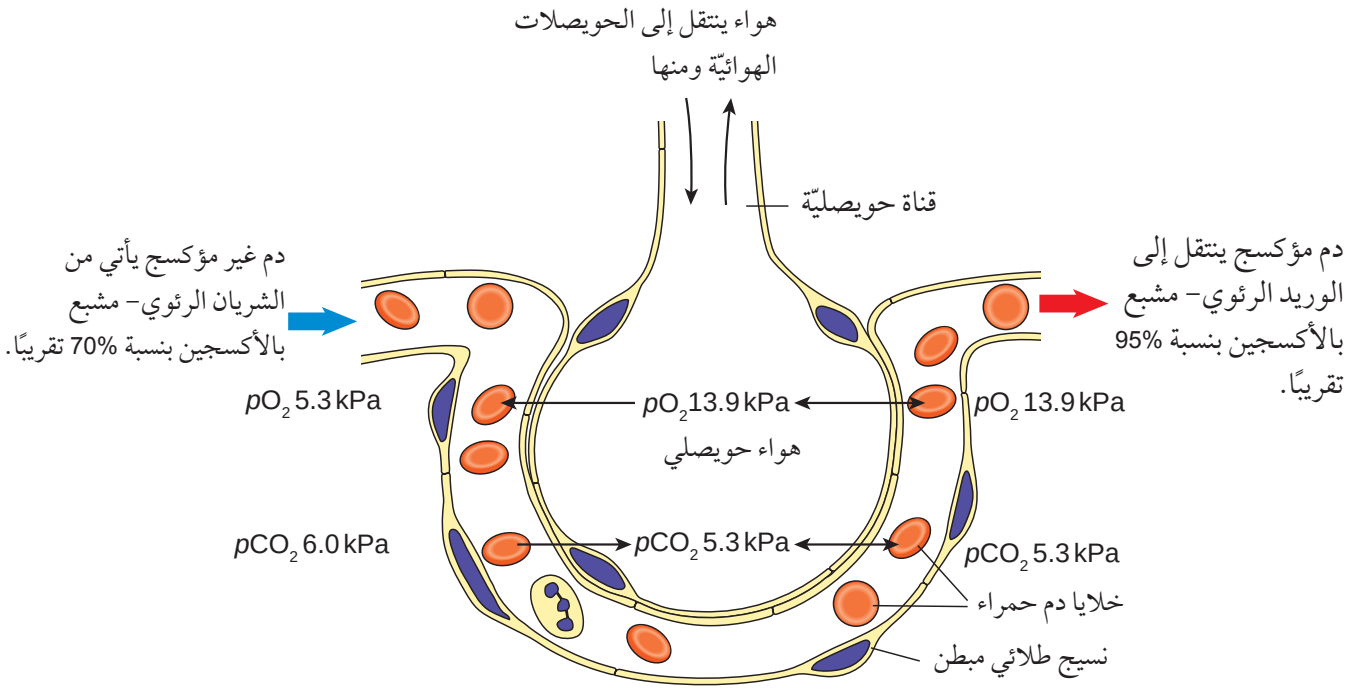
Elastic fibers: حزم من ألياف بروتين الإيلاستين Elastin قادرة على التمدد والارتداد مثل الشريط المطاطي. ويمكنها التمدد إلى ضعف طولها قبل أن تتقطع.

توجد الحويصلات الهوائيّة في نهاية المسار بين الغلاف الجوي ومجرى الدم (الصور ٨-٢ج، ٨-٥، ٨-٧). تحتوي جدران الحويصلة الهوائيّة على **ألياف مرنة** **Elastic fibers** تتمدد أثناء الشهيق وترتد أثناء الزفير الأمر الذي يساعد في دفع الهواء إلى الخارج. وتتيح المرونة تمدد الحويصلات الهوائيّة تبعًا لحجم الهواء المستنشق. فعندما تكون الحويصلات بأقصى تمدد لها أثناء التمارين الرياضيّة، تزداد مساحة السطح المتاحة للانتشار، وعندما ترتد الألياف المرنة أثناء الزفير، يدفع الهواء إلى الخارج بكفاءة. وتحتوي الجدران أيضًا على بعض ألياف الكولاجين لتوفر الدعم للمساعدة في منع انفجار الحويصلات.

جدران الحويصلات الهوائيّة رقيقة جدًا، يتكوّن كل منها من طبقة واحدة من الخلايا الطلائيّة الحرشفيّة تشبه البيض المقلي. والنواة تشبه المح، وتحاط بطبقة رقيقة من السيتوبلازم تبلغ سماكتها 25 nm فقط. ولا تزيد سماكة أي جزء من الخليّة عن 0.5 µm. تكون الشعيرات الدمويّة ملتفة بإحكام على جدران الحويصلات الهوائيّة، ومبطنة بخلايا طلائيّة رقيقة جدًا. تنتشر جزيئات الأكسجين وثاني أكسيد الكربون بسرعة بين الهواء والدم لأن المسافة قصيرة جدًا.

تذكّر أن الانتشار هو محصلة الحركة للجزيئات أو الأيونات مع منحدر التركيز. لذا، يجب الحفاظ على فرق منحدر كبير لكي يحدث تبادل الغازات بسرعة، وهو ما يحدث عن طريق التنفس وحركة الدم. يوفر التنفس الهواء النقي للرئتَين مع تركيز مرتفع نسبيًا من الأكسجين وتركيز منخفض نسبيًا من ثاني أكسيد الكربون. ويأتي الدم إلى الرئتَين مع تركيز منخفض من الأكسجين وتركيز عالٍ من ثاني أكسيد الكربون مقارنة بالهواء في الحويصلات الهوائيّة. لذا ينتشر الأكسجين مع منحدر تركيزه من الهواء في الحويصلات الهوائيّة إلى الدم، وينتشر ثاني أكسيد الكربون مع منحدر تركيزه في الاتجاه المعاكس. يتدفق الدم باستمرار من وإلى الرئتين، لذا، مع مغادرة الدم المؤكسج، يدخل المزيد من الدم غير المؤكسج للحفاظ على منحدر التركيز مع كل نفس جديد (الشكل ٨-٣).

الصورة ٨-٥ صورة مجهرية إلكترونية (النافذ) بألوان زائفة لبطانة الحويصلة الهوائيّة. تملأ خلايا الدم الحمراء الشعيرات الدمويّة (بالأصفر)، وهي مفصولة عن الهواء (بالأزرق) بطبقة رقيقة من الخلايا (بالوردي) (x2500).



الشكل ٨-٣ تبادل الغازات بين الهواء في الحويصلات الهوائيّة والدم في الشعيرات الدمويّة الرئويّة. لاحظ وجود فرق كبير في منحدر التركيز (الضغط) للأكسجين مقارنة بثاني أكسيد الكربون. ارجع إلى الموضوع المتعلق بنقل ثاني أكسيد الكربون في الوحدة السابعة لمعرفة سبب منحدر التركيز (الضغط) المنخفض.

٤ استخدم الصورة ٨- ٤أ لتنفيذ رسم تخطيطي للنسيج الطلائي في القصبة الهوائيّة، ثم ضع عليه المسميات. بيّن على الرسم العمق الفعلي للنسيج الطلائي، وضّح كيفيّة حسابه.

٥ تحاط الخلايا الكأسيّة في جهاز تبادل الغازات بخلايا طلائيّة مهدبة. وهي توجد أيضًا في الأمعاء الدقيقة محاطة بخلايا مع خملات. ما أوجه التشابه وأوجه الاختلاف بين الأهداب والخملات؟

٦ صف التفاصيل التي يمكن رؤيتها في خليّة طلائيّة مهدبة بالمجهر الإلكتروني النافذ، ولا يمكن رؤيتها بقوة التكبير الكبرى في المجهر الضوئي.

٧ **أ.** صف مسار جزيء الأكسجين أثناء مروره من الغلاف الجوي إلى الدم في الرئتَين.

ب. اشرح مناسبة تركيب الحويصلات الهوائيّة مع تبادل الغازات.

٨ **أ.** اشرح ميزة القدرة على تعديل قطر الشعيبات الهوائيّة.

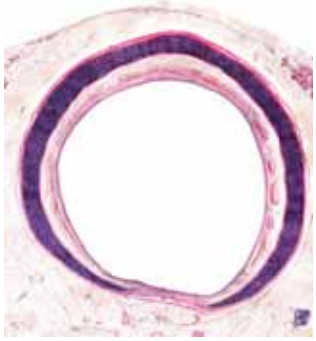
ب. كم مرة يعبر جزيء الأكسجين سطح غشاء الخليّة أثناء انتقاله من الهواء إلى خليّة دم حمراء؟ اشرح إجابتك.

٩ لابد من استخدام المجهر الإلكتروني لتأكيد إحاطة كل حويصلة هوائيّة بخلايا طلائيّة. اشرح السبب.

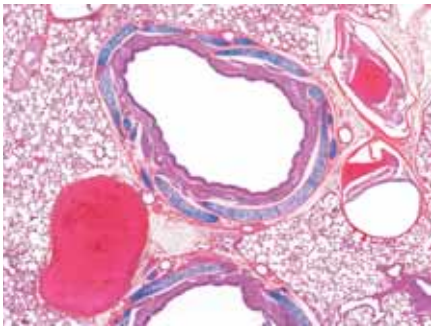
مهارات عملية ٨-١

تنفيذ رسوم من شرائح جاهزة

يقدم النشاط العملي ٦-١ في الوحدة السادسة إرشادات عامة لتنفيذ رسوم بيولوجية. اقرأ المواضيع المرتبطة بذلك النشاط قبل الإجابة عن السؤال ١٠ هنا.



الصورة ٨-٦ مقطع عرضي في القصبة الهوائيّة. الجزء الأمامي الأعلى من العنق. ويبدو في الجزء الخلفي من القصبة الهوائيّة بين نهايتَي الحلقة الغضروفيّة غير المكتملة حزام من العضلات الملساء (x4).



الصورة ٨-٧ مقطع في أنسجة الرئة يبيّن مقطعًا عرضيًا في شعبة هوائيّة، ومقاطع عرضيّة لثلاثة أوعية دمويّة وعدة حويصلات هوائيّة (x8).

(١٠) قبل البدء تذكّر طريقة تنفيذ الرسوم التخطيطيّة السطحية. استخدم الصورتَين ٨-٦ و ٨-٧ لتنفذ رسم تخطيطي بقوة التكبير المتوسطة لجدران:

أ. القصبة الهوائيّة.

ب. شعبة هوائيّة.

اكتب مسميات الرسوم التخطيطية السطحية لتحديد الأنسجة. اكتب تعليقًا على الرسوم التخطيطية السطحية يبيّن مظهر الأنسجة.

(لمزيد من المعلومات انظر الاستقصاء العملي ٨-١ الوارد في كتاب التجارب العمليّة والأنشطة)

ملخّص

تحتوي الكائنات الحيّة متعددة الخلايا غالبًا على أسطح متخصصة لتبادل الغازات بين أجسامها والبيئة المحيطة. تمثل الحويصلات الهوائيّة في الرئتَين أسطح تبادل الغازات في الثدييات.

يمر الهواء في رئتَي الإنسان عبر القصبة الهوائيّة، ثم عبر نظام من الممرات الهوائيّة المتفرعة وصولًا إلى الحويصلات الهوائيّة. ويبطن الممرات الهوائيّة نسيج طلائي مهدب وخلايا كأسيّة تفرز المخاط. يحمي النسيج الطلائي الحويصلات الهوائيّة عن طريق دفع المخاط باتجاه الحنجرة حيث يتم بلعه. في القصبة الهوائيّة حلقات غضروفيّة غير مكتملة على شكل حرف C، وفي الشعبتَين الهوائيّتَين كتل غضروفيّة غير منتظمة الشكل لإبقاء الممرات الهوائيّة مفتوحة، وبالتالي التقليل من مقاومة تدفق الهواء. تنقبض العضلات الملساء في الممرات الهوائيّة وتنبسط للتحكم في قطر الممرات الهوائيّة.

يبطن الحويصلات الهوائيّة نسيج طلائي حرشفي يوفر مسافة انتشار قصيرة لتبادل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون. وتوفر شعيرات دموية كثيرة تحيط بأسطح تبادل الغازات إمدادًا جيدًا بالدم للحويصلات الهوائيّة. يحافظ استمرار تدفق الدم وتهوية الرئتَين على وجود منحدر تركيزَي الأكسجين وثاني أكسيد الكربون بين الدم والهواء. ويساعد ارتداد الألياف المرنة في جدران الحويصلات الهوائيّة على إخراج الهواء أثناء الزفير.

أسئلة نهاية الوحدة

١ توجد التراكيب الآتية في جدران جهاز تبادل الغازات.

١. أهداب
٢. ألياف مرنة
٣. خلايا كأسيّة
٤. خلايا عضليّة ملساء
٥. خلايا طلائيّة حرشفيّة

أي من هذه التراكيب توجد في جدار الحويصلات الهوائيّة؟

أ. ١، ٣
ب. ١، ٢، ٣
ج. ٢، ٥
د. ٤، ٥

٢ أي التراكيب الآتية تحتوي على غضروف؟

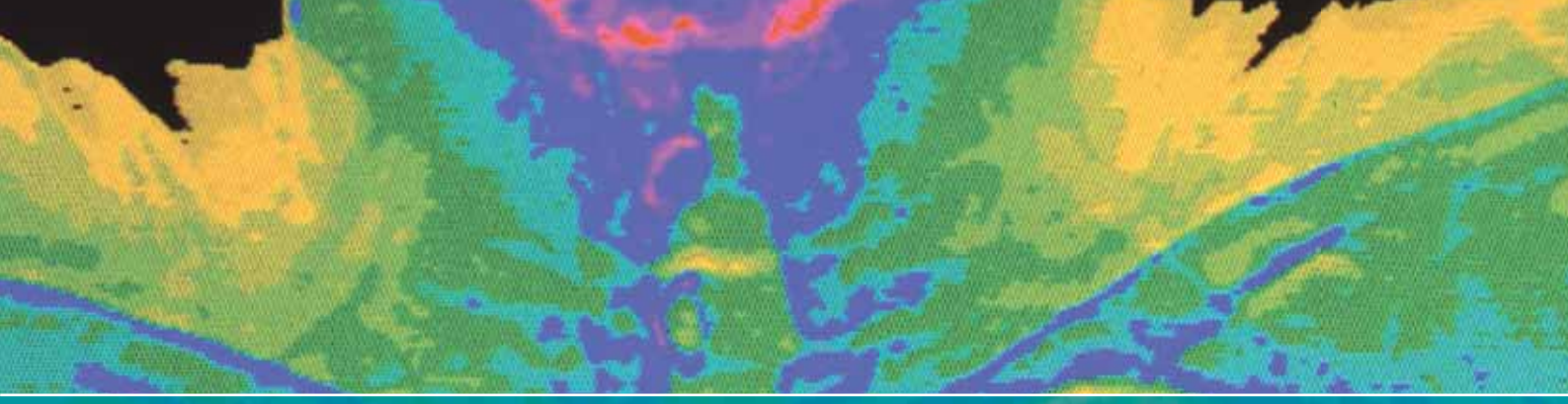
أ. الحويصلة الهوائيّة
ب. الشعيبة الهوائية
ج. الشعيرة الدمويّة
د. القصبة الهوائيّة

٣ أي ممّا يأتي **ليس** وظيفة للألياف المرنة في جهاز تبادل الغازات؟

أ. الانقباض لتقليل حجم الحويصلات الهوائيّة أثناء الزفير.
ب. الارتداد لدفع الهواء خارج الحويصلات الهوائيّة أثناء الزفير.
ج. التمدد لاستيعاب المزيد من الهواء في الحويصلات الهوائيّة أثناء التنفس العميق.
د. التمدد لزيادة مساحة سطح الحويصلات الهوائيّة لتبادل الغازات.

٤ أيّ ممّا يأتي هو الوصف الأفضل لعملية تبادل الغازات في الرئتَين؟

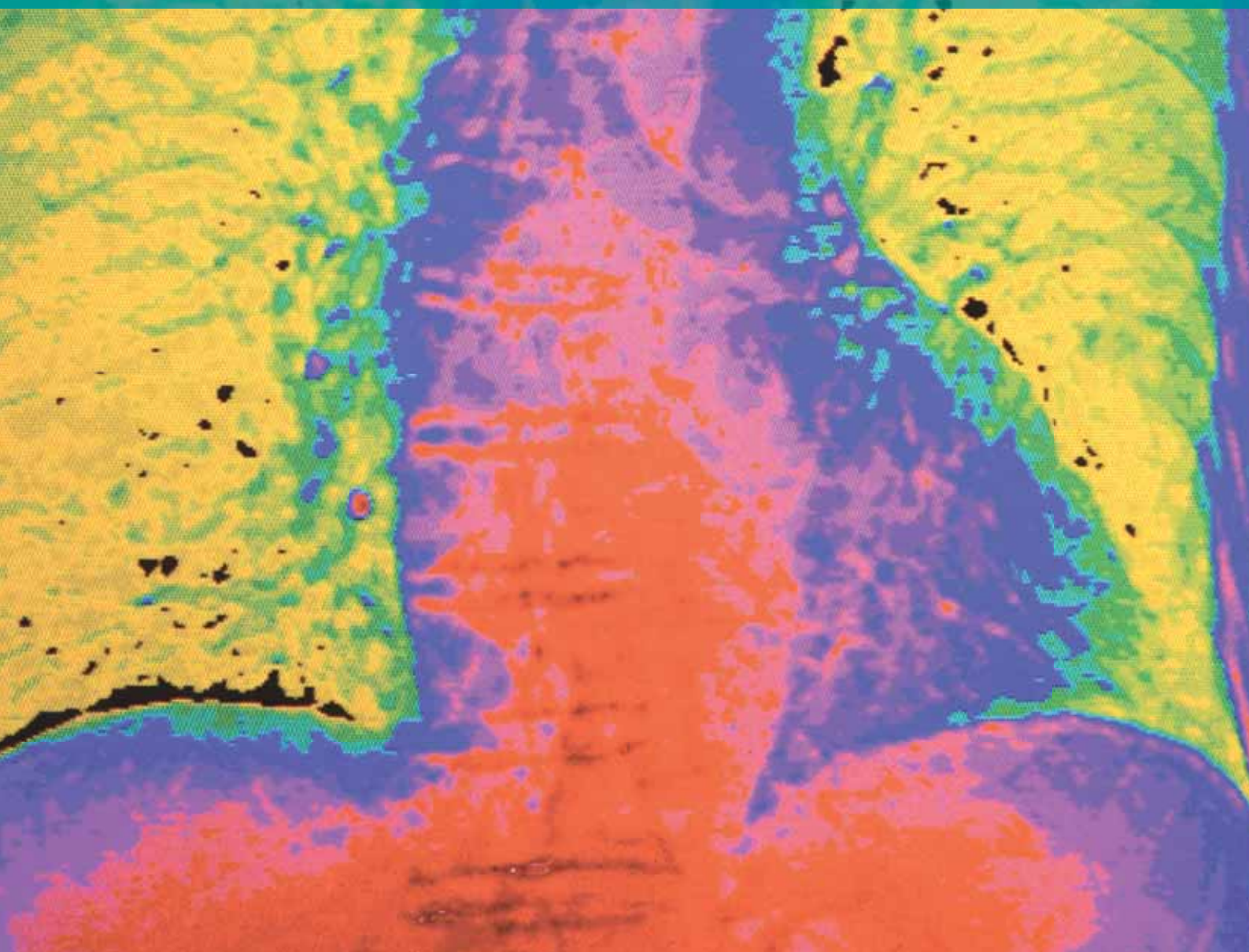
أ. ينتقل الهواء إلى الحويصلات الهوائيّة ومنها أثناء التنفس.
ب. ينتشر ثاني أكسيد الكربون من الدم غير المؤكسج في الشعيرات الدمويّة إلى الهواء في الحويصلات الهوائيّة.
ج. ينتشر الأكسجين وثاني أكسيد الكربون مع منحدر التركيز بين الدم والهواء في الحويصلات الهوائيّة.
د. ينتشر الأكسجين من الهواء في الحويصلات الهوائيّة إلى الدم غير المؤكسج.



الوحدة الثامنة

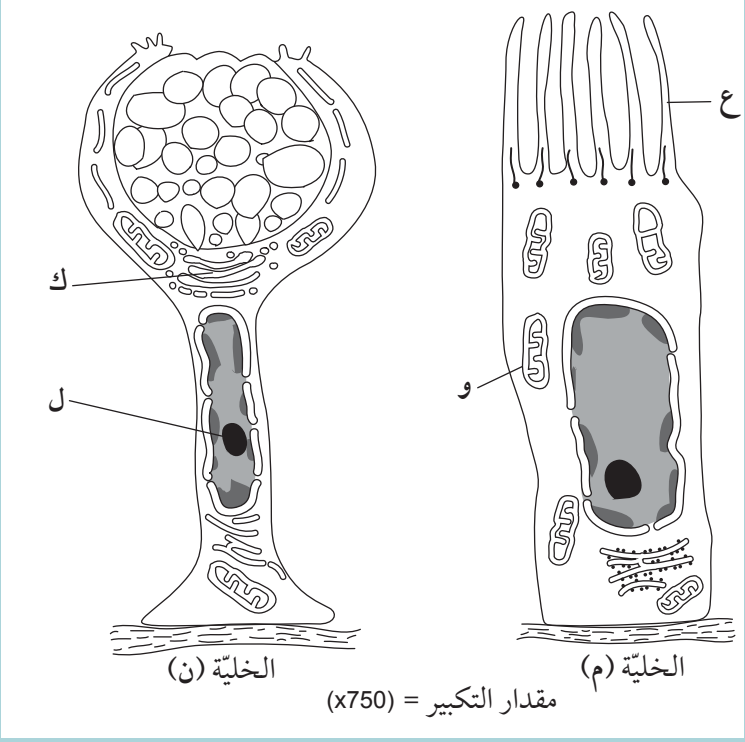
تبادل الغازات

Gas exchange



تابع

٦ يبيّن الرسم التخطيطي خليتَين من بطانة القصبة الهوائيّة.



مقدار التكبير = (x750)

أ. اكتب مسميات:

١. الخليتان (م، ن).

٢. التراكيب (ع، و، ك، ل).

ب. اشرح:

١. لماذا تحتوي الخليّة (م) على عدد كبير من التركيب (و)؟

٢. دور التركيب (ك) في الخليّة (ن).

ج. مقدار تكبير الرسم التخطيطي يساوي (x750).

احسب الطول الفعلي للخليّة (م).

- اكتب المعادلة التي ستستخدمها.
- استخدم المعادلة لحساب الطول الفعلي.
- اكتب إجابتك لأقرب ميكرومتر.

د. صف أدوار الخليتَين (م، ن) في جهاز تبادل الغازات.

٧ **أ.** أكمل الجدول لمقارنة القصبة الهوائيّة مع الشعيبة التنفسيّة وأكمله مستخدمًا (✓) للإشارة إلى أن التركيب موجود، و (✗) للإشارة إلى أن التركيب غير موجود.

التركيب	القصبة الهوائيّة	الشعيبة التنفسيّة
العضلات الملساء		
النسيج الطلائي المهدب		
الغدد المخاطيّة		
الغضروف		
الألياف المرنة		

ب. صف كيف تتم حماية الحويصلات الهوائيّة من العدوى.

ج. اشرح وظائف الألياف المرنة والعضلات الملساء في جهاز تبادل الغازات.

٨ يبقى تركيب الهواء في الحويصلات الهوائيّة ثابتًا إلى حد ما على الرغم من تبادل الغازات مع الدم في الشعيرات الدمويّة المحيطة بالحويصلات الهوائيّة. يبيّن الجدول الضغوط الجزئيّة للأكسجين وثاني أكسيد الكربون في أربعة أماكن في جسم الإنسان.

المكان في جسم الإنسان	الضغط الجزئي للأكسجين kPa	الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون kPa
الدم غير المؤكسج الداخل إلى الشعيرات الدمويّة حول الحويصلات الهوائيّة	5.3	6.0
الهواء في الحويصلات الهوائيّة	13.9	5.3
الدم المؤكسج الداخل إلى الشعيرات الدمويّة في أنسجة الجسم	13.3	≤ 5.3
السائل النسيجي حول خلايا الجسم	5.3	≥ 6.0

أ. استخدم المعلومات الواردة في الجدول لوصف عمليّة تبادل الغازات بين:

١. الهواء في الحويصلات الهوائيّة والدم غير المؤكسج.

٢. الدم المؤكسج وأنسجة الجسم.

ب. اشرح سبب بقاء مكوّنات الهواء في الحويصلات الهوائيّة ثابتًا إلى حدّ ما.

ج. اقترح **ثلاث** طرائق يستجيب فيها جهاز تبادل الغازات لمتطلبات التمارين الرياضيّة.

قائمة تقييم ذاتي

بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول كالآتي:

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أتعرّف على القصبة الهوائيّة والشعب الهوائيّة والشعيبات الهوائيّة والحويصلات الهوائيّة في الشرائح المجهريّة والصور المجهريّة الضوئية والصور المجهريّة الإلكترونيّة، وأرسم رسومًا تخطيطيّة سطحية لمقاطع عرضيّة في جدران القصبة الهوائيّة والشعبة الهوائيّة.	٨-١			
أصف وظيفة وتوزيع الغضاريف والعضلات الملساء في جهاز تبادل الغازات.	٨-١			
ألخص توزيع الخلايا الطلائيّة المهدبة والخلايا الكأسيّة والمخاط، وأصف وظائفها في الحفاظ على صحة جهاز تبادل الغازات.	٨-١			
أصف تكيف الحويصلة الهوائيّة الذي يعزز تبادل الغازات، بالإشارة إلى الألياف المرنة والنسيج الطلائي الحرشفي وشبكة الشعيرات الدمويّة المحيطة.	٨-١، ٨-٣			
أتعرّف على الغضاريف والنسيج الطلائي المهدب والخلايا الكأسيّة والنسيج الطلائي الحرشفي في الحويصلة الهوائيّة، والعضلات الملساء والشعيرات الدمويّة في الشرائح المجهريّة والصور المجهريّة الضوئية والصور المجهريّة الإلكترونيّة.	٨-٢			
أصف تبادل الغازات بين الهواء في الحويصلات الهوائيّة والدم في الشعيرات الدمويّة، متضمنًا الحفاظ على منحدرات التركيز.	٨-٣			

مصطلحات

الأفعال الإجرائية

احسب Calculate: استخلص، من الحقائق المعطاة، المعلومات أو الأرقام.

اذكر State: عبّر بكلمات واضحة.

اشرح أو فسِّر Explain: اعرض الأهداف أو الأسباب/اجعل العلاقات بين الأشياء واضحة/توقّع لماذا و/أو كيف، وادعم إجابتك بأدلّة ذات صلة.

اقترح Suggest: طبّق المعرفة والفهم على المواقف التي تتضمّن مجموعة من الإجابات الصحيحة من أجل تقديم المقترحات

حدّد Identify: سمِّ، اختر، تعرّف.

صِف Describe: قدّم الخصائص والميزات الرئيسية.

علّق comment: أعطِ رأيًا مستنيرًا.

عرّف Define: ضع الخطوط العريضة أو النقاط الرئيسية.

قدّم Give: استخرج إجابة من مصدر معيّن أو من الذاكرة.

قوِّم Assess: أصدر حكمًا مفيدًا أو مستنيرًا.

قارن Compare: حدّد أوجه التشابه و/أو الاختلاف معلّقًا عليها.

لخص Outline: ضع الخطوط العريضة أو النقاط الرئيسية.

بيّن أنّ (Show that): قدّم دليلًا منظّمًا يؤدّي إلى نتيجة معينة.

ناقش Discuss: اكتب حول الموضوع بطريقة منظمة.

مصطلحات علمية

الإخراج الخلوي Exocytosis: حركة كتل من السوائل أو المواد الصلبة إلى خارج الخليّة، عن طريق اندماج حويصلات تحتوي على المادة مع غشاء سطح الخليّة. والإخراج الخلوي عمليّة نشطة تحتاج إلى طاقة ATP. (ص ٣٩)

الإدخال الخلوي Endocytosis: النقل الخلويّ الكليّ للسوائل (الشرب الخلوي) أو المواد الصلبة (البلعمة) إلى الخليّة، عن طريق انثناء غشاء سطح الخليّة إلى الداخل مشكلًا حويصلات تحتوي على المواد. والإدخال الخلوي عمليّة نشطة تحتاج إلى طاقة ATP. (ص ٣٩)

الأُذين Atrium: إحدى حجرات القلب تتلقى الدم ذا الضغط المنخفض من الأوردة. (ص ١٠٦)

الأسموزيّة Osmosis: محصلة الانتشار لجزيئات الماء من منطقة ذات جهد ماء أعلى إلى منطقة ذات جهد ماء أقل من خلال غشاء منفذ جزئيًا. (ص ٣٢)

ألياف بوركنجي Purkinje fibers: حزمة من الألياف توصل موجة التنبيه نزولًا عبر حاجز القلب إلى قاعدة (قمة) البُطينين. (ص ١١٠)

ألياف مرنة Elastic fibers: حزم من ألياف بروتين الإيلاستين Elastin قادرة على التمدد والارتداد مثل الشريط المطاطي. ويمكنها التمدد إلى ضعف طولها قبل أن تنقطع. (ص ١٢٩)

الأنبوب الغربالي Sieve tube: أنبوب يتكوّن من اصطفاف عناصر الأنبوب الغربالي فوق بعضها واتصال جدرانها العرضية. (ص ٧١)

الانبساط البُطيني Ventricular diastole: المرحلة من دورة القلب التي تنبسط فيها عضلات جدران القلب. (ص ١٠٨)

الانتشار Diffusion: محصلة الحركة للجزيئات أو الأيونات من المنطقة ذات التركيز الأعلى إلى المنطقة ذات التركيز الأقل، نتيجة الحركة العشوائيّة للجسيمات (الجزيئات والأيونات). (ص ٢٧)

الانتشار المسهّل (الميسر) Facilitated diffusion: انتشار مادة بوساطة بروتين ناقل (بروتين قنوي أو بروتين حامل) في غشاء الخلية. يوفر البروتين مناطق محبة للماء التي تسمح للجزيء أو الأيون بالمرور عبر الغشاء، والتي بدونه يكون لها أقل نفاذية. (ص ٣٠)

انتقال الكلوريد Chloride shift: تدفق أيونات الكلوريد من بلازما الدم إلى خلايا الدم الحمراء لموازنة حركة أيونات الكربونات الهيدروجينيّة من خلايا الدم الحمراء إلى بلازما الدم. (ص١٠٣)

الانقباض الأُذيني Atrial systole: المرحلة من الدورة القلبية التي تنقبض فيها عضلات جدران الأُذينين. (ص ١٠٧)

الانقباض البُطيني Ventricular systole: المرحلة من دورة القلب التي تنقبض فيها عضلات جدران البُطينين. (ص ١٠٨)

البرنشيمي Parenchyma: نسيج النبات الأساسي، يستخدم عادة كنسيج رابط بين تراكيب أكثر تخصصًا، وهو نشط أيضيًا، وقد يؤدي مجموعة من الوظائف مثل تخزين الغذاء والدعم. وتؤدّي الخلايا البرنشيميّة أيضًا دورًا مهمًا في حركة الماء والنواتج الغذائيّة في الخشب واللحاء. (ص ٥٥)

البروتوبلاست Protoplast: المحتويات الحيّة للخليّة النباتيّة، بما في ذلك غشاء سطح الخليّة، باستثناء جدار الخليّة. (ص ٣٥)

بروتينات البلازما Plasma proteins: مجموعة متنوّعة من البروتينات الذائبة في بلازما الدم، لكل منها وظيفته الخاصة، وكثير منها يصنع في الكبد. (ص ٩٤)

البروتين القنوي Channel protein: بروتين غشائي له شكل ثابت يحتوي على مسامّ ممتلئ بالماء يمكن من خلاله للأيونات أو الجزيئات المنتقاة والمحبة للماء المرور بالانتشار المسهّل أو النقل النشط. (ص ٣٠)

البروتين الحامل Carrier protein: بروتين غشائي يغيّر شكله ليسمح بمرور أيونات أو جزيئات معيّنة إلى داخل الخليّة أو خارجها بالانتشار المسهّل أو النقل النشط. (ص ٣٠)

بشرة Epidermis: الطبقة الخارجيّة من الخلايا التي تغطي جسم النبات أو الحيوان، وهي تتكوّن في النباتات من طبقة واحدة من الخلايا، وقد تكون مغطاة بطبقة شمعية (الكيوتيكل) Cuticle، الذي يوفر حماية إضافيّة ضد فقدان الماء والمرض. (ص ٥٥)

بشرة داخليّة Endodermis: طبقة من الخلايا تحيط بالنسيج الوعائي في النباتات، وتظهر بوضوح في الجذور. (ص ٥٥)

البطانة Endothelium: نسيج يبطن السطح الداخلي لتركيب ما مثل الوعاء الدموي. (ص ٨٩)

البُطين Ventricle: إحدى حجرات القلب تتلقى الدم من الأُذين لتدفعه إلى الشرايين. (ص ١٠٦)

البلازما Plasma: المكوّن السائل من الدم، تسبح فيه خلايا الدم. وهو يحمل عددًا كبيرًا جدًا من المواد الذائبة. (ص ٩٤)

البلزمة Plasmolysis: فقدان الماء من خليّة نباتية أو بدائيّة النواة إلى النقطة التي ينكمش فيها البروتوبلاست بعيدًا عن جدار الخليّة. (ص ٣٥)

البلزمة الابتدائية Incipient plasmolysis: النقطة التي يكون عندها بدء حدوث البلزمة عندما تبدأ الخليّة النباتيّة أو الخليّة بدائيّة النواة بفقد الماء. عند هذه النقطة لا يضع البروتوبلاست أي ضغط على جدار الخليّة. (ص ٣٥)

تأثير بور Bohr effect: انخفاض في ألفة (انجذاب) الهيموجلوبين للأكسجين يحدث عند وجود ثاني أكسيد الكربون. (ص ١٠٢)

التأشير الخلوي Cell signalling: الآليات الجزيئيّة التي تكشف بها الخلايا عن المنبهات الخارجيّة وتستجيب لها، بما في ذلك التواصل بين الخلايا. (ص ٢٦)

التحويل Transduction: يحدث أثناء التأشير الخلوي. وهو عمليّة تحويل الإشارة الأصلية إلى رسالة سيتم نقلها. (ص ٢٦)

تضيّق الأوعية Vasoconstriction: تضيّق في الشريان العضلي أو الشريّن ناجم عن انقباض العضلات الملساء في جدرانه. (ص ٩٠)

توسّع الأوعية Vasodilation: توسّع في الشريان العضلي أو الشريّن ناجم عن انبساط العضلات الملساء في جدرانه. (ص ٩٠)

الثغر Stoma (جمعها ثغور Stomata): مسام /فتحة في غشاء الأوراق، يحيط به زوج من الخلايا الحارسة Guard cells (حارستان)، وهو ضروري لتبادل الغازات بكفاءة. (ص ٦٠)

ثنائيّة الفلقة (ذات الفلقتين) Dicotyledon: يمكن أن تكون النباتات الزهريّة أحاديّة الفلقة أو ثنائيّة الفلقة. تحتوي بذور النباتات ثنائية الفلقة على جنين مكوّن من فلقتَين (أوراق البذرة)، وللنبات البالغ أوراق ذات نصل وعنق. (ص ٥٣)

الجهاز الوعائي Vascular system: جهاز يتكوّن من أنابيب، أو أوعية أو تجاويف، مملوءة بالسوائل، ويستخدم عادة للنقل لمسافات طويلة في الكائنات الحيّة. على سبيل المثال، الجهاز الدوري في الإنسان والحيوانات والجهاز الوعائي من الخشب واللحاء في النباتات. (ص ٥٢)

جهد الماء Water potential: مقياس لميل الماء إلى الانتقال من مكان إلى آخر. ينتقل الماء من المحلول ذي جهد الماء الأعلى إلى المحلول ذي جهد الماء الأقل. يقل جهد الماء بإضافة المذاب، ويزيد بتأثير الضغط. رمز جهد الماء هو Ψ أو Ψ_w. (ص ٣٣)

الحاجز Septum: طبقة نسيجيّة تفصل بين جانبَي القلب الأيسر والأيمن. (ص ١٠٦)

حزمة وعائيّة Vascular bundle: أنبوب من النسيج الوعائي يمتد طوليًا في النبات، ويختلف ترتيب الأنسجة مثل الخشب واللحاء والإسكلرنشيمي، في الحزم الوعائية في النباتات والأعضاء المختلفة. (ص ٥٥)

حويصلة هوائيّة Alveolus: كيس هوائي صغير في الرئتَين يتكوّن من طبقة واحدة من نسيج طلائي حرشفي وبعض الألياف المرنة. وتحاط كل حويصلة هوائيّة بشعيرات دمويّة تنقل الدم من الشريان الرئوي إلى الوريد الرئوي. (ص ١٢٥)

الخشب Xylem: نسيج يحتوي على أنابيب تسمّى أوعية، وأنواع أخرى من الخلايا، ويقوم بنقل الماء والأملاح المعدنيّة عبر النبات ويوفر لها الدعامة. (ص ٥٢)

الخلايا البلعميّة Phagocytes: نوع من الخلايا يبتلع (يأكل) ويدمر مسببات الأمراض أو خلايا الجسم التالفة بعمليّة تسمّى البلعمة. الخلايا البلعميّة هي نوع من خلايا الدم البيضاء. (ص ٤٠)

الخليّة الكأسيّة Goblet cell: خليّة على شكل الكأس تفرز المخاط. توجد الخلايا الكأسيّة في أجزاء النسيج الطلائي المهدب في جهاز تبادل الغازات وأجهزة أخرى، مثل الجهاز التناسلي والجهاز الهضمي. (ص ١٢٧)

الخليّة اللمفاويّة Lymphocyte: خليّة دم بيضاء تحتوي على نواة تحتل كل الخليّة تقريبًا، وهي تستجيب للأنتيجينات وتساعد في تدميرها أو تدمير التراكيب التي تحملها. (ص ٩٨)

الخليّة المتعادلة Neutrophil: نوع من خلايا الدم البيضاء البلعمية، تحتوي على نواة مفصصة وسيتوبلازم حُبيبي. (ص ٩٨)

الخليّة المرافقة Companion cell: خليّة ذات جدار سليلوزي مغلّظ وسيتوبلازم كثيف له ارتباط وثيق مع عنصر الأنبوب الغربالي في اللحاء حيث يرتبطان مباشرة عبر الروابط البلازميّة. وتكوّن الخليّة المرافقة والأنبوب الغربالي وحدة وظيفيّة. (ص ٧١)

خلايا النسيج الوسطي Mesophyll: منطقة الورقة الواقعة بين البشرة العليا والبشرة السفلى. ويكون للنسيج الوسطي في النباتات ثنائيّة الفلقة طبقتان: طبقة النسيج الوسطي العمادي وهي الطبقة الأقرب إلى السطح العلوي، وطبقة النسيج الوسطي الإسفنجي الأقرب إلى السطح السفلي. تكون خلايا طبقة النسيج الوسطي العمادي على شكل أعمدة، وتشكل طبقة التمثيل الضوئي الرئيسيّة، في حين تحتوي طبقة النسيج الإسفنجي على فراغات هوائيّة كبيرة بين الخلايا لتبادل الغازات. (ص ٦٠)

الخليّة وحيدة النواة Monocyte: إحدى أنواع خلايا الدم البيضاء، الأكبر حجمًا، نواتها على شكل كلية. يمكنها مغادرة الدم والتمايز إلى نوع من الخلايا البلعمية، هو الخلايا البلعمية الكبيرة Macrophages. (ص ٩٨)

الدورة القلبية Cardiac cycle: سلسلة الأحداث التي تحدث خلال نبضة قلبية واحدة. (ص ١٠٧)

الربيطة Ligand: جزيء تأشير حيوي يرتبط بجزيء آخر مثل مستقبل غشاء سطح الخليّة، أثناء التأشير الخلوي. (ص ٢٦)

السائل النسيجي Tissue fluid: سائل عديم اللون تقريبًا يملأ الفراغات بين خلايا الجسم، وهو يتكوّن من السائل الذي يتسرّب من الشعيرات الدمويّة. (ص ٩٤)

سطح تبادل غازات Gas exchange surface: أي جزء من جسم الكائن الحي يسمح بانتقال الغازات بين البيئة المحيطة والجسم. يحدث تبادل الغازات عبر سطح جسم بعض الكائنات الحيّة التي تتصف بنسبة مساحة السطح إلى الحجم كبيرة. فالكائنات الحيّة ذات النسب الصغيرة لديها أسطح متخصصة لتبادل الغازات مثل الرئتَين في الثدييات والخياشيم في الأسماك. (ص ١٢٤)

السكلرنشيمي Sclerenchyma: نسيج نباتي يتكوّن من خلايا ذات جدران سميكة تؤدي وظيفة ميكانيكيّة بحتة (التقوية والدعم)، تصبح جدران الخلية عادة متغلظة باللجنين، والخلايا الناضجة تموت من دون أن تترك أية محتويات مرئيّة، وتأخذ العديد من الخلايا الإسكلرنشيميّة شكل الألياف. (ص ٥٥)

الشرايين التاجيّة Coronary arteries: شرايين تتفرّع من الشريان الأبهر وتنتشر على جدران القلب لتزوّد عضلة القلب بالمواد الغذائيّة والأكسجين. (ص ١٠٦)

الشرايين العضليّة Muscular arteries: الشرايين الأقرب إلى الوجهة النهائيّة للدم، وتحتوي في جدرانها على عضلات ملساء أكثر، ما يتيح لها التَضَيُّقَ والتوسع. (ص ٩٠)

الشرايين المرنة Elastic arteries: شرايين كبيرة نسبيًا تحتوي على الكثير من الأنسجة المرنة والقليل من الأنسجة العضلية في جدرانها. (ص ٩٠)

الشريان Artery: وعاء دموي جدرانه سميكة قويّة ينقل الدم ذا الضغط المرتفع بعيدًا عن القلب. (ص ٨٨)

الشُرين Arteriole: شريان صغير. (ص ٨٨)

شعبة هوائية Bronchus: فرع رئيسي من القصبة الهوائيّة يمتد إلى الرئتَين. (ص ١٢٥)

شُعيبة هوائيّة Bronchiole: فرع مجهري من الشعبة الهوائيّة يؤدي إلى الحويصلات الهوائيّة. (ص ١٢٥)

الشعيرة الدمويّة Capillary: أصغر وعاء دموي، ينقل الأكسجين والمواد الغذائيّة إلى خلايا أنسجة الجسم، كما ينقل الفضلات بعيدًا عنها. (ص ٨٨)

الصمام الأذيني البطيني Atrioventricular valve: صمام بين كل أذين وبطين يغلق عند انقباض البُطينين فيمنع رجوع الدم إلى الأُذينين. (ص ١٠٦)

الصمام ثلاثي الشرفات Tricuspid valve: الصمام الأذيني البطيني عند الجانب الأيمن من القلب. (ص ١٠٦)

الصمام ثنائي الشرفات Bicuspid valve: الصمام الأُذيني البُطيني الموجود عند الجانب الأيسر من القلب. (ص ١٠٦)

صمام هلالي Semilunar valve: صمام على شكل الهلال، مثل ذلك الموجود في الأوردة وبين البطينين والشرايين. (ص ٩٢)

الضغط الجزئيّ Partial pressure: مقياس لتركيز غاز ما (ص ٩٩).

العقدة الأُذينيّة البُطينيّة (AVN) Atrioventricular node: بقعة من الألياف في حاجز القلب تنقل موجة التنبيه من جدران الأُذينين إلى ألياف بوركنجي. (ص ١١٠)

العقدة الجيبيّة الأُذينيّة (SAN) Sinoatrial node: بقعة من العضلة القلبيّة في الأُذين الأيمن من القلب، تنقبض وتنبسط بإيقاع يحدد نمط بقية عضلة القلب. (ص ١١٠)

عنصر الأنبوب الغربالي Sieve tube element: خليّة في نسيج اللحاء ذات جدران سليلوزيّة غير مغلّظة وسيتوبلازم قليل جدًا ولا تحتوي على نواة، ولها جدران نهائيّة مثقبة تكوّن الصفائح الغربالية التي تنتقل عبرها العصارة الخلويّة المحتوية على السكروز. (ص ٧١)

عنصر الوعاء الخشبي Xylem vessel element: خليّة ميتة ملجننة توجد في نسيج الخشب متخصصة بنقل الماء والدعم؛ تتفكك الجدران العرضية وتشكل مع العناصر المجاورة أنابيب طويلة تسمّى الأوعية الخشبيّة. (ص ٦٤)

عضليّة المنشأ Myogenic: مصطلح يصف الأنسجة العضليّة التي تنقبض وتنبسط حتى عند عدم وجود تحفيز من العصب. (ص ١١٠)

العضلة القلبيّة Cardiac muscle: نوع العضلات التي تتكون منها جدران القلب. (ص ١٠٥)

عضلة ملساء Smooth muscle: نوع من العضلات التي يمكنها الانقباض بثبات على مدى فترات طويلة من الزمن. (ص ٨٩)

الغضروف Cartilage: نوع من النسيج الهيكلي قوي ومرن يدعم الحنجرة والقصبة الهوائيّة والشعبتَين الهوائيتَين في جهاز تبادل الغازات. يوجد الغضروف أيضًا في المفاصل بين العظام وفي الأذن الخارجيّة. (ص ١٢٥)

القصبة الهوائيّة Trachea: تركيب يشبه الأنبوبة يمتد من الحنجرة إلى الشعبتَين الهوائيتَين، ينتقل فيها الهواء إلى داخل الرئتَين وخارجهما. (ص ١٢٥)

كاربامينوهيموجلوبين Carbaminohaemoglobin: مركب يتكوّن من ارتباط ثاني أكسيد الكربون مع الهيموجلوبين. (ص ١٠٣)

كربونيك أنهيدريز Carbonic anhydrase: إنزيم يوجد في سيتوبلازم خلايا الدم الحمراء يحفز التفاعل بين ثاني أكسيد الكربون و الماء لتكوين حمض الكربونيك. (ص ١٠١)

الكولنشيمي Collenchyma: تحتوي فيه الخلايا على زوايا سليلوزية مكثفة، الأمر الذي يوفر دعمًا إضافيًا، كما في عروق الأوراق وزوايا السيقان المربعة، ويظهر النسيج على شكل أشرطة ثلاثيّة الأبعاد (كما في سيقان أوراق الكرفس). (ص ٥٥)

الكوليسترول Cholesterol: جزيء دهني صغير له رأس محب للماء وذيل كاره للماء، وهو مكوّن رئيسي للأغشية. وجود الكوليسترول شائع بشكل خاص في الخلايا الحيوانيّة، وهو يكسب الغشاء المرونة والثبات ويقلل من سيولته. (ص ٢٤)

كيوتيكل Cuticle: طبقة تفرزها البشرة فتغطيها. وهي تتكوّن في النباتات من مادة دهنيّة تسمّى كيوتين، تساعد على توفير الحماية من فَقد الماء والعدوى. (ص ٦٢)

لجنين Lignin: مادة صلبة يكوّنها النبات وتستخدم لتقوية جدران أنواع معيّنة من الخلايا، لا سيما الأوعية الخشبيّة والخلايا الإسكليرنشيميّة، وهي المادة الرئيسيّة في الخشب. (ص ٥٥)

اللحاء Phloem: نسيج يحتوي على أنابيب تسمّى الأنابيب الغربالية Sieve tubes، وأنواع أخرى من الخلايا، وهو مسؤول عن نقل المواد الذائبة العضويّة (المواد الناتجة من التمثيل الغذائي Assimilates) عبر النبات مثل السكروز. (ص ٥٢)

المصب Sink: موقع في النبات يستقبل الغذاء من المصدر. (ص ٧١)

المصدر Source: موقع في النبات يوفر الغذاء لجزء آخر من النبات. (ص ٧١)

مضخة صوديوم-بوتاسيوم Sodium–potassium pmup (Na⁺– K⁺ pump): بروتين غشائي (أو بروتينات) تنقل أيونات الصوديوم إلى خارج الخليّة وأيونات البوتاسيوم إلى داخلها باستخدام ATP. (ص ٣٨)

مقياس شبكة العدسة العينيّة Eyepiece graticule: مقياس صغير يوضع في العدسة العينية للمجهر. (ص ٥٤)

مقياس المنضدة Stage micrometer: مقياس صغير جدًا، محفور على شريحة مجهرية ومرسوم بدقة بأبعاد معروفة. (ص ٥٤)

الممر خارج الخلوي Apoplast pathway: النظام غير الحي لجدران الخلايا المترابطة والممتد عبر النبات، ويستخدم كمسار نقل للماء والأملاح المعدنيّة. (ص ٦٤)

الممر الخلوي الجماعي Symplast pathway: النظام الحي للبروتوبلاست المترابط الممتد عبر النبات، ويستخدم كمسار نقل للماء والمواد الذائبة. من خلال ارتباط الخلايا مع بعضها البعض عبر الروابط البلازميّة. (ص ٦٤)

منحنى الانفكاك Dissociation curve: تمثيل بياني يبيّن نسبة تشبع صبغة (مثل الهيموجلوبين) بالأكسجين، مقابل الضغط الجزئي للأكسجين. (ص ١٠٠)

موسين Mucin: أي بروتين سكري يشكل جزءًا من المخاط الذي تفرزه الخلايا الكأسيّة والغدد المخاطيّة. (ص ١٢٨)

نبات بيئة جافة Xerophyte: نبات ينمو في ظروف نقص الماء. (ص ٦٢)

النتح Transpiration: فقدان بخار الماء من النبات إلى البيئة المحيطة، ويحدث غالبًا عبر الثغور في الأوراق. (ص ٥٩)

نسبة التشبع Percentage saturation: مدى ارتباط الهيموجلوبين في الدم مع الأكسجين وتُحسب كنسبة مئوية من أقصى كميّة يمكن أن يرتبط بها. (ص ١٠٠)

نسيج طلائي حرشفيّ Squamous epithelium: طبقة واحدة أو عدة طبقات من خلايا رقيقة مسطحة تكوّن بطانة بعض التراكيب المجوّفة، كما هي الحال في الأوعية الدمويّة والحويصلات الهوائيّة. (ص ٨٩)

النسيج الطلائي المهدب Ciliated epithelium: نسيج طلائي يحتوي بشكل رئيسي على خلايا مهدبة، وقد يحتوي على خلايا كأسيّة. (ص ١٢٧)

النسيج الوسطي Mesophyll: منطقة الورقة الواقعة بين البشرة العليا والبشرة السفلى. ويكون للنسيج الوسطي في النباتات ثنائيّة الفلقة طبقتان: طبقة النسيج الوسطي العمادي وهي الطبقة الأقرب إلى السطح العلوي، وطبقة النسيج الوسطي الإسفنجي الأقرب إلى السطح السفلي. تكون خلايا طبقة النسيج الوسطي العمادي على شكل أعمدة، وتشكل طبقة التمثيل الضوئي الرئيسيّة، في حين تحتوي طبقة النسيج الإسفنجي على فراغات هوائيّة كبيرة بين الخلايا لتبادل الغازات. (ص ٦٠)

النسيج الوعائي Vascular tissue: نسيج نباتي يتكوّن بشكل رئيسي من الخشب واللحاء، لكنه يحتوي أيضًا على خلايا سكلرنشيمية Sclerenchyma وبرنشيميّة Parenchyma. (ص ٥٢)

النقل النشط Active transport: حركة الجزيئات أو الأيونات بوساطة بروتينات ناقلة عبر غشاء الخليّة بعكس منحدر التركيز باستخدام طاقة من ATP. (ص ٣٨)

النموذج الفسيفسائي السائل Fluid mosaic model: النموذج المقبول حاليًا لتركيب الغشاء، وفيه تكون جزيئات البروتين حرة الحركة في طبقتي الدهون المفسفرة. (ص ٢١)

الوريد Vein: وعاء دموي جدرانه رقيقة نسبيًا ينقل الدم ذا الضغط المنخفض ليعيده إلى القلب. (ص ٨٨)

الوُرَيّد Venule: وريد صغير. (ص ٨٨)

وعائي Vascular: مصطلح يشير إلى الأنابيب أو الأوعية (من اللاتينيّة vascul وتعني وعاء Vessel). (ص ٥٢)

الوعاء الخشبي Xylem vessel: أنبوب ميت فارغ ذو جدران ملجننة، ينتقل عبره الماء في النباتات، ويتكوّن من اصطفاف عناصر الأوعية الخشبيّة بعضها فوق بعض (عموديًا) حيث تتصل نهاية كل منها بالأخرى. (ص ٦٤)

شكر وتقدير

يتوجه المؤلفون والناشرون بالشكر الجزيل إلى جميع من منحهم حقوق استخدام مصادرهم أو مراجعهم. وبالرغم من رغبتهم فى الإعراب عن تقديرهم لكل جهد تم بذله، وذكر كل مصدر تم استخدامه لإنجاز هذا العمل، إلا أنه يستحيل ذكرها وحصرها جميعًا. وفي حال إغفالهم لأي مصدر أو مرجع فإنه يسرهم ذكره في النسخ القادمة من هذا الكتاب.

Images in order of appearance:

SPL/Getty Images; David Mccarthy/SPL; Don W. Fawcett/SPL; J.C. Revy, ISM/SPL; Don W. Fawcett/SPL; Moment/Getty Images; Dea/Random/Getty Images; © Copyright CSIRO Australia, from article ‹Gilding the gumtree - scientists strike gold in leaves›, October 2013; Dr Keith Wheeler/SPL; Biophoto Associates/SPL; Power and Syred/SPL; Sinclair Stammers/SPL; Power and Syred/SPL (x2); Geoff Jones; Unknown source; Dr Keith Wheeler/Getty Images; Biophoto Associates/SPL (x2); Dr Jeremy Burgess/ SPL; Dr Keith Wheeler/SPL; Biophoto Associates/SPL; Bill Brooks/Alamy Stock Photo; Spanteldotru/Getty Images; Dpa picture alliance/Alamy Stock Photo; CNRI/SPL; Steve Gschmeissner/SPL; Ed Reschke/Getty Images; Dennis Kunkel Microscopy/SPL; Steve Allen/SPL; Steve Gschmeissner/SPL/Getty Images; Steve Gschmeissner/SPL; SPL/Getty Images; CNRI/SPL; John Greim/Getty Images; RGB Ventures/SuperStock/ Alamy Stock Photo; BSIP/Getty Images; STEVE GSCHMEISSNER/ SPL; John Adds; Biophoto Associates/SPL; Eddy Gray/SPL; JOSE CALVO/SPL; CNRI/SPL/Getty Images; Microscape/SPL; Jose Calvo/SPL

SPL = SCIENCE PHOTO LIBRARY

تم بحمد الله

الأحياء - كتاب الطالب

يساعد البحث المكثف على تلبية الاحتياجات الحقيقة للطلبة الذين يدرسون مادة الأحياء. حيث تضمن الأسئلة الواردة في نهاية كل وحدة الشعور بالثقة أثناء عملية التقييم، وفرصًا أكثر للتفكير، و تساعد قوائم المراجعة الخاصة بالتقييم الذاتي؛ على أن تصبح مسؤولاً عن عملية التعلم.

يؤمّن كتاب الطالب مجموعة من أسئلة الاستقصاء، مثل الأنشطة العملية وأسئلة المناقشة، والتي تساعدك على تطوير مهارات القرن الحادي والعشرين.

- بعض الميزات مثل «قبل أن تبدأ بدراسة الوحدة»، والملخصات، وكيفية التعلم النشط، وبناء المهارات، تمنح فرصًا للتفكير.
- ميزات «العلوم ضمن سياقها»، من تفسير الأفكار ضمن سياق العالم الواقعي، إضافة إلى مناقشة المفاهيم مع الطلبة الآخرين.
- تعمل الأسئلة ذات الجزئيات المتعددة الموجودة في نهاية كل وحدة على التحضير لخوض الامتحانات بثقة.
- تساعد أسئلة الاستقصاء، مثل الأنشطة العملية والعمل ضمن مجموعات، وأسئلة المناقشة، على تطوير مهارات القرن الحادي والعشرين.

يشمل منهج الأحياء للصف الحادي عشر من هذه السلسلة أيضًا:

- كتاب التجارب العملية والأنشطة
- دليل المعلّم

www.moe.gov.om

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS