الأحياء

كتاب الطالب

المستوى الثاني عشر

BIOLOGY
STUDENT BOOK

GRADE
12

الفصل الدراسي الأول
FIRST SEMESTER
2020 - 2021

(نسخة تجريبية - Trial version)

© وزارة التعليم والتعليم العالي في دولة قطر

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 وزارة التعليم والتعليم العالي في دولة قطر.

تمّ إعداد الكتاب بالتّعاون مع شركة تكنولاب.

التأليف: فريق من الخبراء بقيادة الدكتور توم سو وبالتّعاون مع شركة باسكو العلميّة.

التّرجمة: مطبعة جامعة كامبريدج.

الطبعة التجريبية 2021-2020 م

النشيد الوطني

قَسَـمًا بِمَـنْ رَفَـعَ السَّـمَاءْ قَسَـمًا بِمَـنْ نَشَـرَ الضِّـيَاءْ
قَطَـرٌ سَتَبْـقَى حُـرَّةً تَسْمُـو بِـرُوحِ الأَوْفِـيَـاءْ
سِـيرُوا عَـلَى نَـهْـجِ الأُلَـى وَعَـلَى ضِيَـاءِ الأَنْبِـيَاءْ
قَطَـرٌ بِقَـلْـبِي سِـيرَةٌ عِـزٌّ وَأَمْجَـادُ الإِبَـاءْ
قَطَـرُ الرِّجَـالِ الأَوَّلِـين حُمَـاتُنَـا يَـوْمَ النِّـدَاءْ
وَحَمَـائِـمٌ يَـوْمَ السَّـلاَمْ جَـوَارِحٌ يَـوْمَ الفِـدَاءْ

المراجعة والتّدقيق العلميّ والتّربويّ

إدارة تقييم الطلبة

خبرات تربويّة وأكاديميّة من المدارس

الإشراف العلميّ والتربويّ

إدارة المناهج الدّراسيّة ومصادر التّعلّم

الأحياء

المقدّمة

يعدّ كتاب الطّالب مصدرًا مثيرًا لاهتمام الطلّاب من ضمن سلسلة كتب العلوم لدولة قطر، فهو يستهدف جميع المعارف والمهارات الّتي يحتاجون إليها للنّجاح في تنمية المهارات الحياتيّة وبعض المهارات في الموادّ الأخرى.

وبما أنّنا نهدف إلى أن يكون طلّابنا مميّزين، نودّ منهم أن يتّسموا بما يأتي:

- البراعة في العمل ضمن فريق.
- امتلاك الفضول العلميّ عن العالم من حولهم، والقدرة على البحث عن المعلومات وتوثيق مصادرها.
- القدرة على التّفكير بشكلٍ ناقدٍ وبنّاء.
- الثّقة بقدرتهم على اتّباع طريقة الاستقصاء العلميّ، عبر جمع البيانات وتحليلها، وكتابة التّقارير، وإنتاج الرّسوم البيانيّة، واستخلاص الاستنتاجات، ومناقشة مراجعات الزّملاء.
- الوضوح في تواصلهم مع الآخرين لعرض نتائجهم وأفكارهم.
- التّمرّس في التّفكير الإبداعيّ.
- التّمسّك باحترام المبادئ الأخلاقيّة والقيم الإنسانيّة.

يتجسّد في المنهج الجديد العديد من التّوجّهات مثل:

- تطوير المنهج لجميع المستويات الدّراسيّة بطريقة متكاملة، وذلك لتشكيل مجموعة شاملة من المفاهيم العلميّة الّتي تتوافق مع أعمار الطّلاب، والّتي تسهم في إظهار تقدّمهم بوضوح.
- مواءمة محتوى المصادر الدّراسيّة لتتوافق مع الإطار العامّ للمنهج الوطنيّ القطريّ بغية ضمان حصول الطّلّاب على المعارف والمهارات العلميّة وتطوير المواقف (وهو يُعرف بالكفايات) ممّا يجعل أداء الطّلاب يصل إلى الحدّ الأقصى.
- الانطلاق من نقطة محوريّة جديدة قوامها مهارات الاستقصاء العلميّ، ما أسّس للتّنوّع في الأنشطة والمشاريع في كتاب الطّالب.
- توزّع المعرفة والأفكار العلميّة المخصّصة لكلّ عام دراسيٍّ ضمن وحدات بطريقة متسلسلة مصمّمة لتحقيق التّنوّع والتّطوّر.

- تعدّد الدّروس في كلّ وحدة، بحيث يعالج كلّ درس موضوعًا جديدًا، منطلقًا ممّا تمّ اكتسابه في الدّروس السّابقة.
- إتاحة الفرصة للطّلّاب، في كلِّ درسٍ، للتّحقّق الذّاتيّ من معارفهم ولممارسة قدرتهم على حلّ المشكلات.
- احتواء كلّ وحدة على تقويم للدّرس وتقويم الوحدة الّتي تمكِّن الطّلّاب والأهل والمدرّسين من تتبّع التّعلّم والأداء.

العلوم مجموعة من المعارف الّتي تشمل الحقائق والأشكال والنّظريّات والأفكار. ولكنَّ العالِم الجيّد يفهم أنّ «طريقة العمل» في العلوم أكثر أهمّيّة من المعرفة الّتي تحتويها.

سوف يساعد هذا الكتاب الطُّلّاب على تقدير جميع هذه الأبعاد واعتمادها ليصبحوا علماء ناجحين وليواجهوا مجموعة واسعة من التّحدّيات في حياتهم المهنيّة المستقبليّة.

مفتاح كفايات الإطار العام للمنهج التّعليمي الوطني لدولة قطر

- الاستقصاء والبحث
- التّعاون والمشاركة
- التّواصل
- التّفكير الإبداعيّ والناقد
- حلّ المشكلات
- الكفاية العددية
- الكفاية اللغويّة

الصّفّ 12

الفصل الدّراسي 1

الأحياء

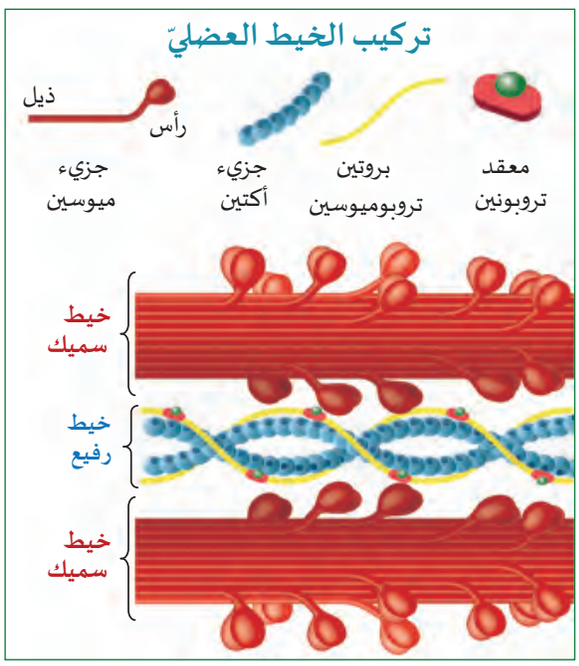
ماذا ستتعلّم من هذا الكتاب

إن فهم عمل جسم الإنسان هو هدف مهمّ في علم الأحياء. هناك الكثير من التطبيقات العملية، مثل تدريب اللياقة البدنية وعلاج الإصابات، وتطوير الأدوية الجديدة. سنرى في هذه الوحدة كيف تعمل أجهزة الجسم المختلفة على مستويين: مستوى العين المجردة، وفيه نفحص الأعضاء وأجهزة الأعضاء بما فيها العضلات البشرية وجهاز الدوران. والمستوى المجهريّ وندرس فيه الكيمياء الحيوية والبنية الخلوية لهذه الأجهزة. ثم سندرس كيف تؤدّي النباتات وظائف النقل، مع الجهاز الدورانيّ الذي يختلف عن الحيوانات.

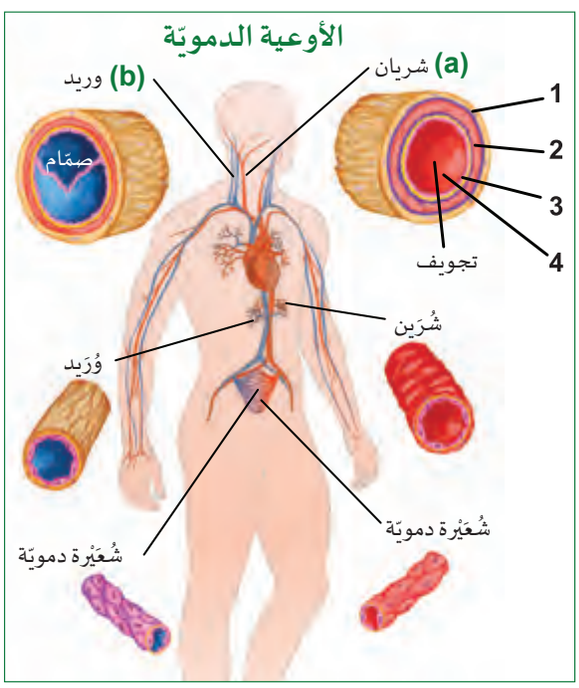
يبدأ هذا الفصل بنظام الحركة لدى الإنسان بما في ذلك العضلات والهيكل العظمي. تصنع العضلات القوة بالانقباض. تعمل أزواج العضلات معًا لتدوير المفاصل التي تتكون من العظام والأربطة. داخليًا، تحتوي العضلات على ألياف مصنوعة من تراكيب يمكن أن ينقبض وتنبسط (القطع العضلية).

تتكوّن القطع العضلية من خيوط البروتين المنزلق: الأكتين والميوسين. تستكشف الوحدة الثانية من الفصل الدراسي الأول الجهاز الدورانيّ. ينقل الدم الأكسجين من الرئتين الجسم ويزيل ثاني أكسيد الكربون من الدم في الجسم من خلال الرئتين. هناك الجهاز القلبي الوعائي الذي يربط القلب بجميع الأنسجة في الجسم، والجهاز اللمفاوي الذي ينقل السائل اللمفاوي.

موضوعنا الأخير في الفصل الأول هو أجهزة النقل في النباتات الوعائية. تفتقر النباتات إلى القلب لذا، يجب أن تتحرّك السوائل والمغذيات بوساطة آليات أخرى. يتم نقل الماء عبر أنسجة الخشب وتنتقل السكريات عبر أنسجة اللحاء.



تنزلق خيوط الأكتين الرفيعة على خيوط الميوسين السميكة.

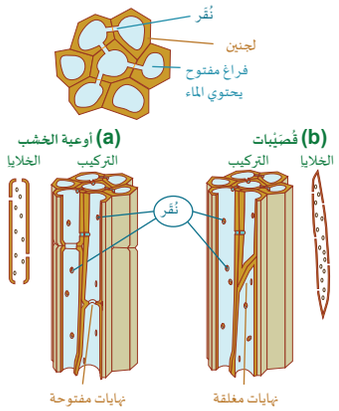


قطر الأوعية الدموية يعتمد على الموقع في الجسم. (a) تنقل الشرايين الدم من القلب. (b) تعيد الأوردة الدم إلى القلب.

بعض أقسام هذا الكتاب

الرّسوم التّوضيحيّة

المفاهيم المهمّة، والبيانات، والأمثلة على كلّ فكرة جديدة، مقدّمة برسوم توضيحيّة مفصّلة وبالكلمات، أيضًا.



أسئلة للمناقشة

لماذا توجد العضلات الهيكليّة في أزواج؟

تتيح الأسئلة للمناقشة الفرصة لصفّك كي يتحدّث الطّلّاب عن المفاهيم والمعلومات الجديدة

شريط الأفكار المهمّة

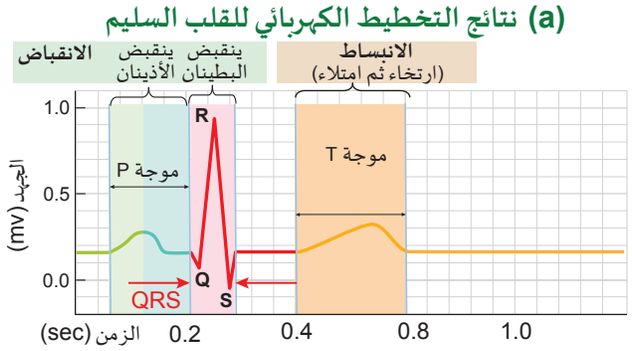
تحدّد الأفكار النّقاط الأساس، وتذكّر بها.

ATP هو مصدر الطاقة لانقباضات العضلات. ويتمّ إنتاجه من خلال مسارات متعددة.

تطبيقات رياضيّة

العلاقات الكمّيّة مقدّمة برسوم بيانيّة واضحة مع أمثلة ذات صلة بكلّ مفهوم.

(a) نتائج التخطيط الكهربائي للقلب السليم



العلم والعلماء

إنّ معرفتنا بالعلوم قد تطوّرت على مدى ما يزيد عن ثلاثة آلاف سنة. توفّر هذه القصص النّظرة الثّاقبة والإلهام من الجانب الإنسانيّ للعلوم والتكنولوجيا.

إضاءة على عالم

الدكتور ويليام ديفريز – 1943

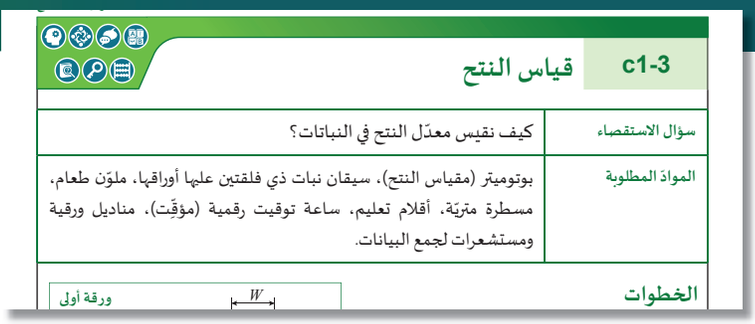
شكل 2-49 الدكتور ويليام ديفريز في مكتبه.

ولد وليام ديفريز في 19 ديسمبر 1943 في بروكلين، نيويورك. والده هو هنري ديفريز، مهاجر هولندي مات في القتال أثناء الحرب العالمية الثانية. عندما تزوجت والدته مرة أخرى انتقل إلى ولاية يوتا وانضمّ مع والدته إلى عائلة كبيرة. أثبت وليام في المدرسة الثانوية أنّه رياضي وباحث. درس في جامعة يوتا عن طريق منحة دراسية وتخرّج بدرجة بكالوريوس في علم الأحياء الجُزَيْئي وعلم الوراثة في العام 1966. ثم درس في مدرسة الطب وحصل على شهادة في الطب MD في العام 1970.

عمل ديفريز أثناء دراسته الطب في كثير من الوظائف للمساعدة في دفع النفقات. واحدة من هذه الوظائف كانت مراقبة شفاءالحيوانات بعد زرع الأجهزة الجراحية فيها. كان هذا في العام نفسه الذي

الأنشطة

تدريب على العمل المخبري ومشاريع بحثيّة، وأنشطة أخرى تضيف معنى للأفكار الجديدة، وتنمّي القدرة على التّطبيقيّ العمليّ.

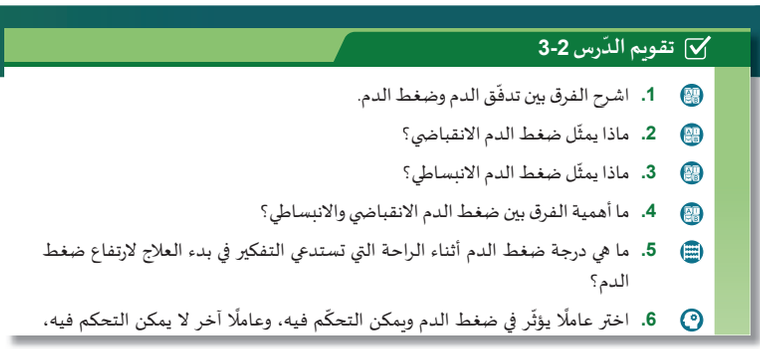


c1-3 قياس النتح

سؤال الاستقصاء	كيف نقيس معدّل النتح في النباتات؟
الموادّ المطلوبة	بوتوميتر (مقياس النتح)، سيقان نبات ذي فلقتين علها أوراقها، ملوّن طعام، مسطرة مترية، أقلام تعليم، ساعة توقيت رقمية (مؤقِّت)، مناديل ورقية ومستشعرات لجمع البيانات.
الخطوات	ورقة أولى W

تقويم الدّرس

يوجد في نهاية كلّ درس تقويم، يحتوي على أسئلة تغطّي مفاهيم الدّرس ومعلوماته.

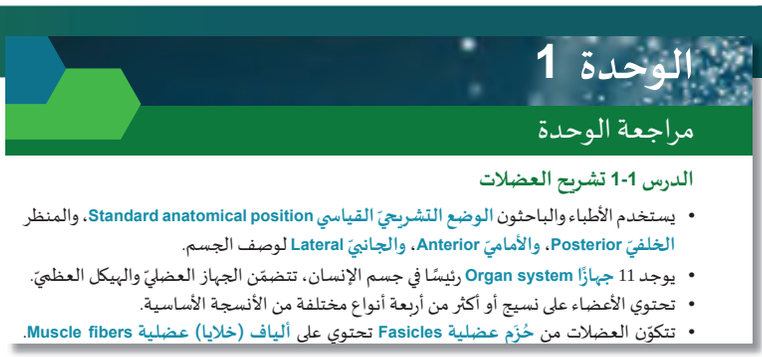


تقويم الدّرس 3-2

1. اشرح الفرق بين تدفّق الدم وضغط الدم.
2. ماذا يمثّل ضغط الدم الانقباضي؟
3. ماذا يمثّل ضغط الدم الانبساطي؟
4. ما أهمية الفرق بين ضغط الدم الانقباضي والانبساطي؟
5. ما هي درجة ضغط الدم أثناء الراحة التي تستدعي التفكير في بدء العلاج لارتفاع ضغط الدم؟
6. اختر عاملًا يؤثّر في ضغط الدم ويمكن التحكّم فيه، وعاملًا آخر لا يمكن التحكم فيه،

مراجعة الوحدة

ملخّص قصير في نهاية كلّ وحدة يوفّر مرجعًا سريعًا للأفكار الرّئيسة والمفردات.



الوحدة 1

مراجعة الوحدة

الدرس 1-1 تشريح العضلات

- يستخدم الأطباء والباحثون الوضع التشريحيّ القياسي Standard anatomical position، والمنظر الخلفيّ Posterior، والأماميّ Anterior، والجانبيّ Lateral لوصف الجسم.
- يوجد 11 جهازًا Organ system رئيسًا في جسم الإنسان، تتضمّن الجهاز العضليّ والهيكل العظميّ.
- تحتوي الأعضاء على نسيج أو أكثر من أربعة أنواع مختلفة من الأنسجة الأساسية.
- تتكوّن العضلات من حُزَم عضلية Fasicles تحتوي على ألياف (خلايا) عضلية Muscle fibers.

تقويم الوحدة

لكلّ وحدة مجموعة من أسئلة الاختيار من متعدّد، وظيفتها التّحضير لاختبار معياريّ.

تقويم الوحدة

تحضير للاختبار

1. أيٌّ مما يأتي ليس من مكوّنات دم الإنسان؟
   a. خلايا الدم البيضاء
   b. البلازما
   c. الصفائح الدموية
   d. خلايا الدم الحمراء ذات النواة

تقويم الوحدة

مسائل نوعيّة ذات إجابات قصيرة، توفّر ثلاثة مستويات من التّحدّي في نهاية كلّ وحدة.

تقويم الوحدة

الدرس 1-3 النتح

14. ارسم مخطّطًا بسيطًا لوعاء الخشب وعيّن عليه اللجنين والنُّقَر.
15. اذكر ثلاثة أوجه تشابه وثلاثة أوجه اختلاف بين أنسجة الخشب وأنسجة اللِحاء.
16. اذكر ثلاثة عوامل رئيسة تُسهم في جهد الماء في النباتات.
17. صف وظيفة واحدة للبشرة الداخلية في الحزم الوعائية.
18. اشرح فوائد العدد القليل من الثغور ومساوئه بالنسبة إلى النباتات التي تعيش في مناخ

مخطّط المادّة

الوحدة 1

العضلات والحركة

إنّ العضلات المسؤولة عن الحركة هي تراكيب في الكائنات متعدّدة الخلايا، ويحتوي جسم الإنسان على أكثر من 650 عضلة يتراوح حجمها بين عضلات الساق الكبيرة والعضلات الدقيقة التي تحرّك الجفون. تتناول هذه الوحدة تركيب العضلات وقدرتها على التمدّد والانقباض استجابةً لإشارات عصبيّة. تبدأ الوحدة بوظيفة العضلات وتنتهي بالبنية المجهرية لشعيرات الأكتين والميوسين داخل الألياف العضلية الفردية.

الوحدة 2

الجهاز الدّورانيّ

الفقاريّات، مثل البشر، لها جهاز قلبي وعائي مُغلق يحتوي على الدم داخل شبكة من الأوعية الدموية تضمّ شرايين وأوردة، يتم ضخ الدم عن طريق القلب. حتّى متوسط العمر، يدقّ قلبك 2.5 مليار مرة، يضخّ القلب فيها دمًا يكفي لملء ثلاث ناقلات نفط كبيرة. تمتلك الثدييات ذوات الفكين أيضًا جهازًا لمفاويًا يدور فيه سائل اللمف، وهو سائل يختلف عن الدم، ويعمل أيضًا كجزء من جهاز المناعة.

الوحدة 3

النقل في النباتات

النباتات مثل الأشجار لها جسد ممتدّ ومتفرّع والتي تتطلّب جهازًا لنقل الماء والمواد الغذائية لمسافات أطول مقارنة بالحيوانات. طوّرت النباتات الوعائية اثنان من التراكيب المتخصصة. في المقام الأول، نسيج الخشب الذي ينقل الماء مع بعض المعادن والأيونات المذابة. ويتحرّك الماء صعودًا من الجذور من خلال السيقان، وإلى الأوراق حيث يتبخّر من خلال عملية النتح. ينقل اللحاء السكريات والهرمونات النباتية من مصادرها في الأوراق إلى المصبّات في مناطق النموّ، وتراكيب التخزين، والتراكيب التناسلية مثل الثمار والزهور. تسمى عملية نقل العصارة في اللحاء نقل الغذاء.

جدول المحتويات

الوحدة 1

العضلات والحركة 2

الدّرس 1-1 تشريح العضلات 4

الدّرس 1-2 الخصائص الوظيفية للعضلات 18

الوحدة 2

الجهاز الدّورانيّ 34

الدّرس 2-1 الدم واللمف 36

الدّرس 2-2 الجهاز القلبي الوعائيّ 55

الدّرس 2-3 أمراض القلب والأوعية الدموية والوقاية منها 63

الوحدة 3

النقل في النباتات 84

الدّرس 3-1 النتح 86

الدّرس 3-2 نقل الغذاء 107

الوحدة 1
العضلات والحركة
Muscles and Movement

في هذه الوحدة

B1207

الدرس 1-1: تشريح العضلات

الدرس 1-2: الخصائص الوظيفية للعضلات

الوحدة 1

مقدّمة الوحدة

تتكيَّف كلّ الكائنات الحيّة مع البيئة التي تعيش فيها: فالبشر يجيدون السباحة كالدلافين، إلّا أنّ الدلفين المتوسّط يستطيع أن يسبح أسرع بمعدل مرَّتين ونصف من الرقم القياسي العالمي الذي حقَّقه الإنسان في السباحة. وعند القفز من الماء، يمكن لدلفين أن يكون أسرع بخمس مرّات من أسرع عدّاء. ما سبب ذلك، لا سيّما وأنَّ الدلافين لا تصنَّف من الأسماك، بل هي من الثدييّات مثل الإنسان تمامًا؟

تمتلك الدلافين بنية عضلية وعظمية مختلفة عن الإنسان، فأنسجتها العظمية والعضلية مرتّبة بشكل انسيابيّ فريد. وفي ما يختلف عن الأسماك، فإنَّ ذيل الدلفين الأفقي يتحرّك صعودًا ونزولًا، فيدفع الحيوان إلى الأمام. أمّا عظام ذراع الإنسان وعضلاته فتكون قادرة على دفعه إلى الأمام فقط عن طريق شدّ الماء بضرباتها مستعينةً بحركة الساقين والركل بالقدمين معًا مقلّدة في ذلك حركة الدلفين.

إنّ العضلات المسؤولة عن الحركة هي تراكيب في الكائنات متعدّدة الخلايا، ويحتوي جسم الإنسان على أكثر من 650 عضلة يتراوح حجمها بين عضلات الساق الكبيرة والعضلات الدقيقة التي تحرّك الجفون. تتناول هذه الوحدة تركيب العضلات وقدرتها على التمدّد والانقباض استجابةً لإشارات عصبيّة.

الأنشطة والتّجارب

a1-1 دراسة الأنسجة العضلية

b1-1 أزواج العضلات والحركة

الدرس 1-1

تشريح العضلات
Muscle Anatomy

لكي نفهم العضلات وآليّة عملها يجب علينا دراستها على مستويين: على مستوى الجهاز العضلي ككلّ وعلى مستوى العضلة الواحدة كعضو مفرد. يبدأ الدرس بكيفية عمل العضلات الهيكلية لتحريك الجسم.

يرجع تاريخ فهم التفاعل بين العضلات والهيكل العظمي إلى قدماء المصريين، وكان ذلك أيضًا موضوع دراسة طبية أعمق لدى العلماء المسلمين في القرن الرابع عشر.

يُعدُّ أندرياس فيساليوس Andreas Vesalius واحدًا من أوائل الذي أصدروا كتبًا تقدّم شرحًا مفصّلًا لكلّ عظم وعضلة في الجسم. وفي العام 1543 نشر كتابه De humani corporis fabrica (**الشكل 1-1**) الذي تضمّن رسومًا توضيحية للعظام والعضلات مع أسماء لاتينيّة لا تزال مستخدمة حتى اليوم، مثل femur (الفخذ) و humerus (العضد).

شكل 1-1 قام فيساليوس بتسمية العضلات والعظام ووصفها في العام 1543.

المفردات

Muscle tissue	النسيج العضلي
Connective tissue	النسيج الضام
Tendon	الوتر
Ligament	الرباط
Epithelial tissue	النسيج الطلائي
Nervous tissue	النسيج العصبي
Organ system	الجهاز
Muscle group	المجموعة العضلية
Fascicle	الحزمة العضلية
Muscle fiber	الليف العضلي
Actin	الأكتين
Myosin	الميوسين
Sarcomere	القطعة العضليّة
Skeletal muscle	العضلة الهيكلية
Cardiac muscle	العضلة القلبية
Smooth muscle	العضلة الملساء
Striations	الخطوط
Origin	المنشأ
Insertion	المغرس
Antagonistic pair	زوج العضلات المتضادّة
Agonist	الناهضة
Antagonist	المناهضة

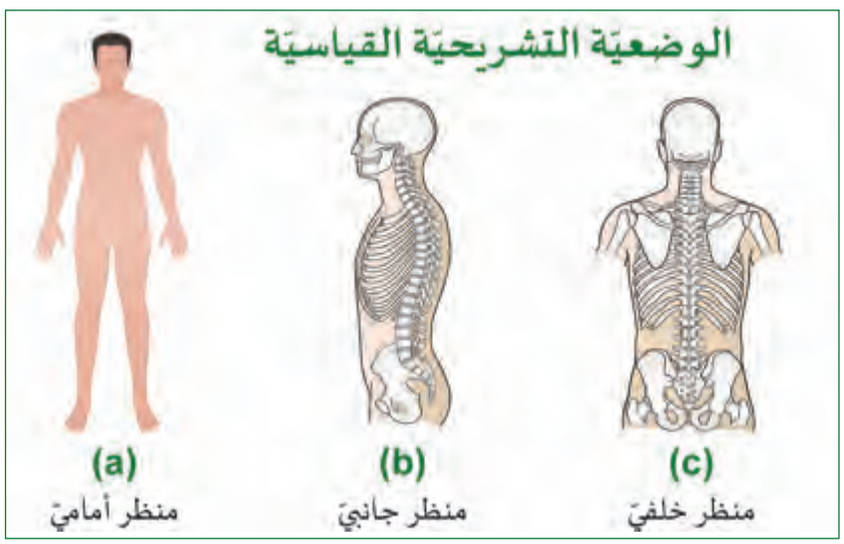
مخرجات التّعلُّم

B1207.1 يشرح كيف يسبّب انقباض وانبساط أزواج العضلات المتضادّة الحركة.

فهم لغة التشريح

افترض، لا قدّر الله، أنّ إحدى العضلات التي تربط معصمك الأيسر بساعدك الأيسر قد تضرّرت. إنّك ستشعر بألم في العضلات الموجودة في الجانب نفسه من ذراعك، مثل راحة يدك. كيف يمكنك أن تحدّد للطبيب مكان الألم لئلّا يقع أيّ سوء فهم؟

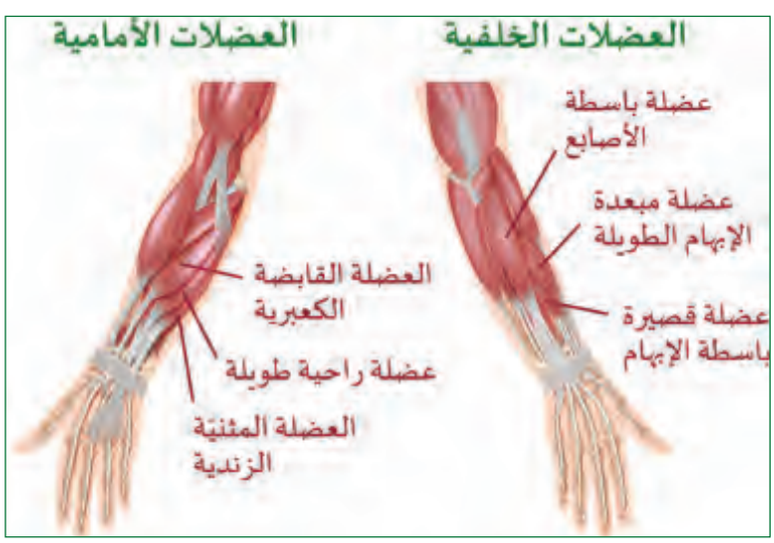
كيف يحدّد الأطباء والباحثون المواضع على جسم الإنسان ليتواصلوا بشأنها؟



شكل 1-2 الوضعية التشريحية القياسية هي (a) منظر أمامي، (b) منظر جانبي، والسطح المعاكس للأمامي هو (c) منظر خلفي.

نستخدم جهات الشمال والجنوب والشرق والغرب لوصف الاتجاهات على خارطة. ويستخدم الأطباء والباحثون الوضع التشريحي القياسي، وهو انتصاب قامة الإنسان في وضع مستقيم، حيث تكون الساقان متباعدتين قليلًا، والقدمان مسطّحتين على الأرض ومتجهتين إلى الأمام (**الشكل 1-2a**)، وراحتا اليدين على الجانبين، والإبهامان يشيران بعيدًا عن الجسم، ويُظهر السطح الأمامي الوجه والراحتين والبطن (**الشكل 1-2a**). أما السطح الجانبي فيُظهر الجسم من أحد جانبيه. (**الشكل 1-2b**). ويُظهر السطح الخلفي، أو الظهر، جسمك من الخلف ولوحَي الكتف وعَقِبَي قدميك (**الشكل 1-2c**).

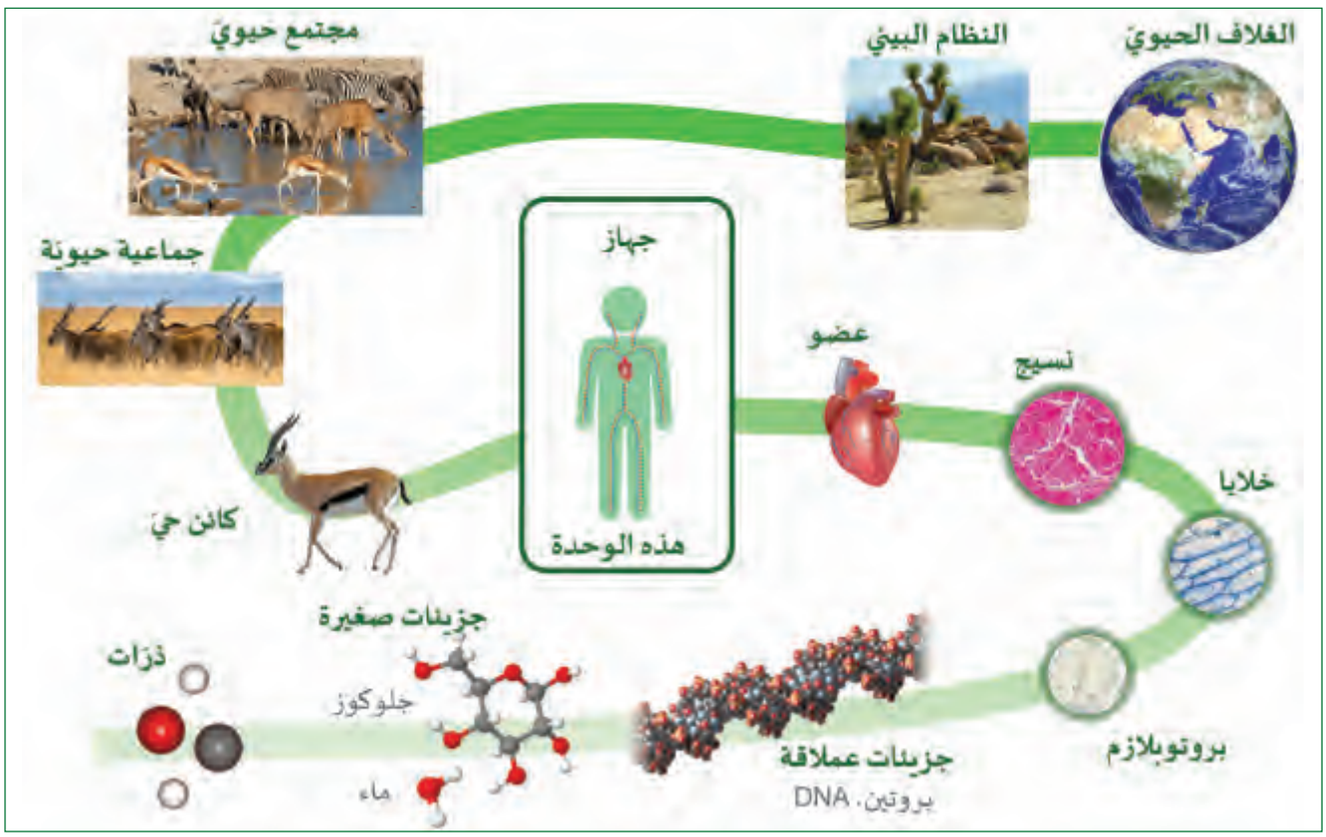
يستطيع الرسغان والساعدان القيام بحركات معقّدة للغاية. وتتطلّب كل حركة زوجًا مستقلًا واحدًا على الأقلّ من العضلات. تظهر في **الشكل 1-3** عضلات الرسغ من الجهة الأمامية ومن الجهة الخلفية. لاحظ أن العضلات مختلفة. أيّ ضرر يصيب العضلة القابضة الكعبرية سوف يسبّب الألم في جانب راحة اليد كما تظهره هذه العضلة في المنظر الأمامي.



شكل 1-3 (إثرائي) عضلات الساعد.

مستويات التنظيم في الكائنات الحيّة

يمثّل الطيف الحيوي مستويات التنظيم المختلفة في الكائنات الحية بدءًا من الذرّات والجزيئات العملاقة مثل البروتينات وDNA. وبالرغم من أنَّ هذه الجزيئات ليست حية إلّا أنها الأساس الذي بُنيت عليه الحياة.



شكل 1-4 تنظيم الكائنات الحية.

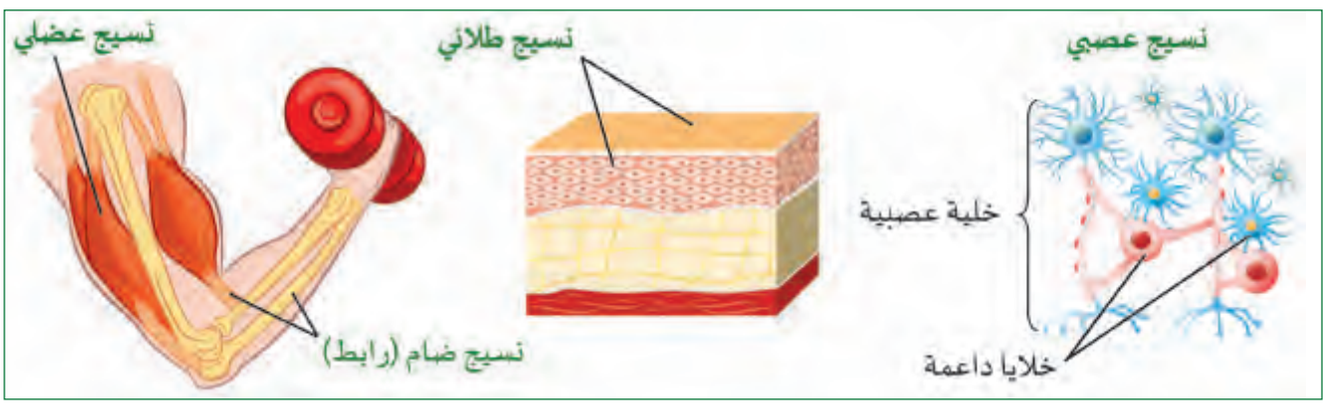
الخلايا Cells: تُعدُّ الخلية وحدة البناء والتركيب في أجسام الكائنات الحية. يحتوي جسم الإنسان العادي على أكثر من تريليون خلية تتضمّن عدّة أنواع رئيسة من الخلايا، كخلايا الدم وخلايا العضلات والخلايا العصبية.

الأنسجة Tissues: تنتظم الخلايا المتشابهة التي تؤدّي وظيفة واحدة في مجموعات مترابطة تُسمّى «أنسجة». وتحتوي أجسام الحيوانات أربعة أنواع رئيسة من الأنسجة، هي: الطلائي، والضامّ، والعضلي، والعصبي. وعلى سبيل المثال، فإنّ النسيج العضلي ينتظم في حُزَم من الألياف التي تحتوي على عدد كبير من الخلايا العضلية المتشابهة.

الأعضاء Organs: هي تراكيب داخليّة متخصّصة تؤدّي وظائف معيّنة في جميع الكائنات الحيّة المعقّدة، كالثدييات والأسماك والطيور والزواحف. تتكوّن الأعضاء من أنواع مختلفة من الأنسجة. ومثال ذلك المعدة التي هي عضو متخصّص في هضم الطعام. تتكوّن المعدة من عدة أنواع من الأنسجة، بما في ذلك الخلايا الطلائية التي تفرز الحمض، والعضلات الملساء وبطانة المعدة. وقد تكون العضلة الواحدة أيضًا عضوًا. ويحتوي جسم الإنسان على 650 عضلة منفردة.

أنواع الأنسجة الأوَّليَّة

هناك أربعة أنواع من الأنسجة الأولية في البشر والحيوانات الأخرى ذات التركيب المعقّد، وهي الأنسجة الطلائية، والضامّة (الرابطة)، والعضلية، والعصبية (**الشكل 1-5**). يتكوّن كلّ عضو في الجهاز من واحد أو أكثر من هذه الأنواع الأربعة من الأنسجة.



شكل 1-5 أنواع الأنسجة الأربعة الأوّليّة.

تغطي **الأنسجة الطلائية Epithelial tissues** الجزء الخارجي من الأعضاء والتراكيب في الجسم. وتُبطّن هذه الأنسجة أيضًا التجاويف الداخلية للجسم وبعض الأعضاء بطبقة واحدة أو بطبقات متعدّدة من الخلايا. يحتوي الجلد وبطانة الفم وبطانة المعدة والمريء على أنواع مختلفة من الأنسجة الطلائية.

تربط **الأنسجة الضامّة Connective tissues** الأعضاء الأخرى في الجسم وتدعمها. يتكوّن النسيج الضامّ من خلايا حيّة منتشرة في وسط غير حيّ يمكن أن يتكوّن من موادّ صلبة كثيفة وليفية أو من سائل أو هلام رَخْو. إنَّ الدم الذي يجري في الأوردة والشرايين هو من الأنسجة الضامّة السائلة. أمّا **الأوتار Tendons** فهي من الأنسجة المتينة والمرنة التي تربط العضلات بالعظام. **والأربطة Ligaments** هي أشرطة من نسيج ضامّ مرن يثبّت المفاصل ويفصل العظام بعضها عن بعض لمنع الاحتكاك. تحتوي الأنسجة الضامّة أيضًا على موادّ غير عضوية، مثل الكالسيوم والفسفور .

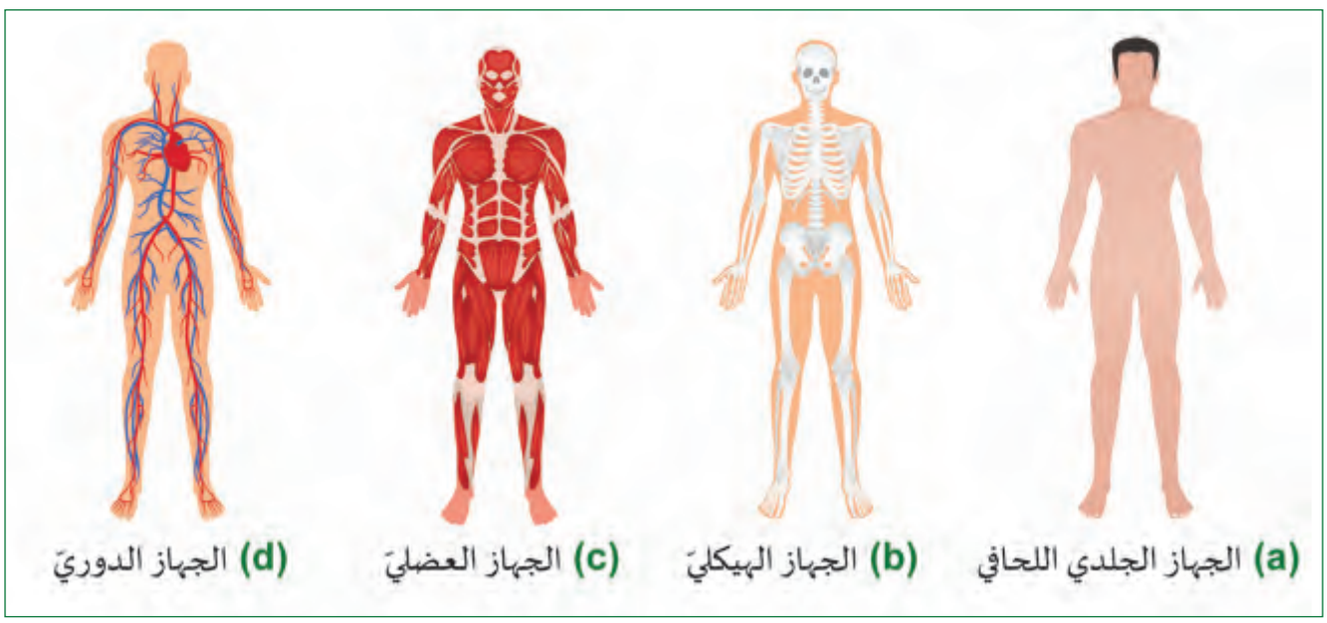
تتكوّن **الأنسجة العضلية Muscle tissues** من خلايا عضلية يمكن أن تنقبض استجابة لإشارات عصبية. وتُنتج هذه الأنسجة حركة وقوى لتحريك الجسم وضخّ الدم وتحريك الطعام داخل الجهاز الهضمي. سوف تصف هذه الوحدة أنواع الأنسجة العضلية بمزيد من التفصيل في الصفحات التالية.

تتكوّن **الأنسجة العصبية Nerve tissues** من خلايا تكوّن إشارات كهروكيميائية، وتنقلها بين مناطق الجسم: من الدماغ إلى العضلات مثلًا. إنّ الخلايا العصبية هي المكوّن الأساسي في النسيج العصبي. وهناك أيضًا خلايا أخرى في النسيج العصبي تدعم وظائف الخلايا العصبية.

أجهزة جسم الإنسان

الجهاز Organ system هو مجموعة من الأعضاء تعمل معًا لأداء وظيفة عامّة في جسم الكائن الحي، مثل هضم الطعام. وتمتلك النباتات والحيوانات فقط أجهزة حقيقية. يُظهر **الشكلان 1-6** و **1-7** عشرة من الأجهزة الرئيسة في جسم الإنسان.

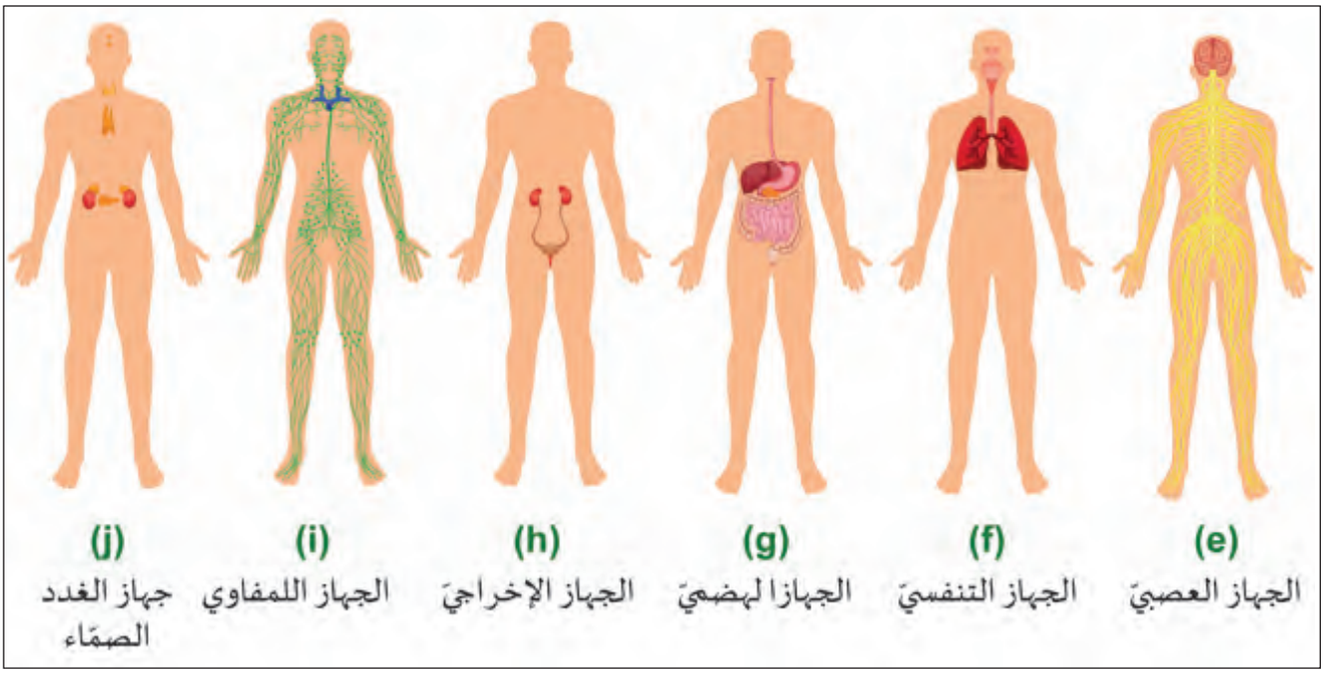
ومن المهمّ أن نعرف أنّ كلّ جهاز يتكامل في عمله مع الأجهزة الأخرى: فالجهاز العضلي يعتمد على الأكسجين الذي يتمّ نقله بوساطة الدم في الجهاز الدوري. ومن جهة أخرى، فإنَّ الجهاز الدوري يتبادل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون من خلال الجهاز التنفّسي.



شكل 1-6 أجهزة جسم الإنسان.

	المكونات	الوظائف
a) الجهاز الجلدي اللحافي	الجلد، الشعر، الأظافر، الغدد العرقية والدهنية	حماية الجسم من الجراثيم والأشعة فوق البنفسجية والمساعدة في تنظيم درجة حرارته.
b) الجهاز الهيكليّ	العظام، الغضاريف، الأربطة، الأوتار	دعم الجسم، وحماية الأعضاء، والحركة، وتخزين المعادن، وتكوين خلايا الدم
c) الجهاز العضليّ	العضلات الهيكليّة، والملساء، والقلبية	الحركة الإرادية، دوران الدم، حركة الطعام في داخل الجهاز الهضمي
d) الجهاز الدوريّ	القلب، الأوعية الدموية، الدم	نقل الموادّ الغذائية والأكسجين والهرمونات، و نقل الفضلات، والدفاع ضد مسبّبات المرض، وتنظيم درجة حرارة الجسم

أجهزة جسم الإنسان



شكل 1-7 أجهزة جسم الإنسان.

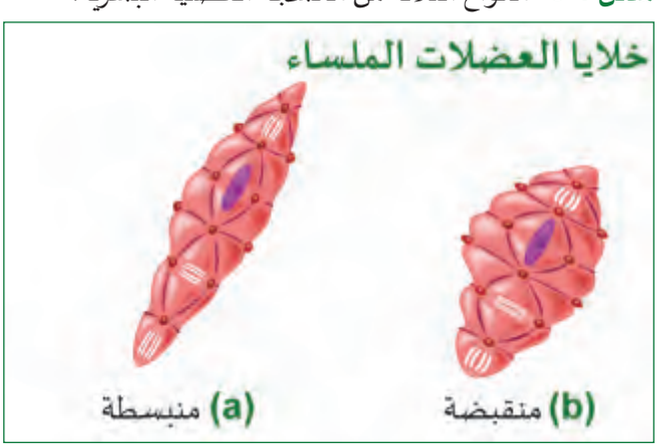
	المكونات	الوظائف
e) الجهاز العصبيّ	الدماغ، الحبل الشوكي، الأعصاب	المحافظة على الاتزان الداخلي للجسم، التحكّم في استجابة الجسم للمنبّهات الخارجية والداخلية
f) الجهاز التنفسيّ	الأنف، الجيوب الأنفيّة، البلعوم، الحنجرة، القصبة الهوائية، الرئتان	تزويد الجسم بالأكسجين والتخلّص من ثاني أكسيد الكربون
g) الجهاز الهضميّ	الفم، المريء، المعدة، الأمعاء الدقيقة، الأمعاء الغليظة	هضم الطعام وامتصاصه
h) الجهاز الإخراجيّ	الكليتان، المثانة البولية، الإحليل، الجلد، الرئتان	المحافظة على الاتزان الداخلي للجسم، التخلّص من فضلات الأَيْض
i) الجهاز اللمفاوي	الغدة الزعترية، الطحال، اللوزتان، العُقَد اللمفاوية، الأوعية اللمفاوية، نخاع العظم	الاستجابة المناعية للجراثيم، تكوين سوائل الأنسجة
j) جهاز الغدد الصمّاء	تحت المهاد، الغدّة النخامية، الغدّة الدرقية، الغدد جارات الدرقية، الغدّة الكظرية، البنكرياس، المبيضان والخصيتان	المحافظة على الاتزان الداخلي للجسم عبر تنظيم الأَيْض، تنظيم النموّ والتطوّر والتكاثر

أنواع العضلات ووظائفها

يوجد في الإنسان ثلاثة أنواع من العضلات. ولكلّ نوع من الأنواع الثلاثة تركيب نسيجي مختلف ووظيفة مختلفة، ما يمكّن العضلات من العمل في أماكن مختلفة من الجسم. أحد الاختلافات بين العضلات هو أن يكون نشاطها إراديًا أو لاإراديًا. الحركات الإرادية هي تلك التي يتم التحكّم فيها بادراك مثل الركض وتحريك الذراع. ويتمّ التحكم في الوظائف اللاإرادية من قبل الجسم من دون أن تكون أنت مدركًا لذلك.

- **العضلات الهيكلية Skeletal muscles** ترتبط بالعظام، وهي مسؤولة عن حركة الجسم ودعمه. وتعمل في الحركات الإرادية والأفعال المنعكسة على حدّ سواء (**الشكل a8-1**). تشكّل خلايا العضلات الهيكلية أليافًا طويلة ينتظم بعضها بجانب بعض وتقصر عندما تنقبض.
- **العضلة القلبية Cardiac muscle** (**الشكل b8-1**) توجد في القلب، وتعمل بشكل لا إرادي لضخّ الدم. تشبه عضلة القلب العضلات الهيكلية، ولكن أليافها أقصر، وتشكّل شبكة ذات فراغات بين الخلايا. تتفاعل الألياف لتنقبض في الوقت نفسه لأنها مترابطة كهربائيًا.
- **العضلات الملساء Smooth muscle** مغزلية الشكل وتُستخدم لاإراديًا لتحريك الموادّ عبر الجهاز الهضمي. وهي توجد أيضًا في جُدُر الأوعية الدموية والمثانة والمريء، وتنتظم الخلايا في العضلات الملساء على زوايا تتيح لها القدرة على الانقباض بأبعاد مختلفة (**الشكل c8-1**).

شكل 1-8 الأنواع الثلاثة من الأنسجة العضلية البشرية.

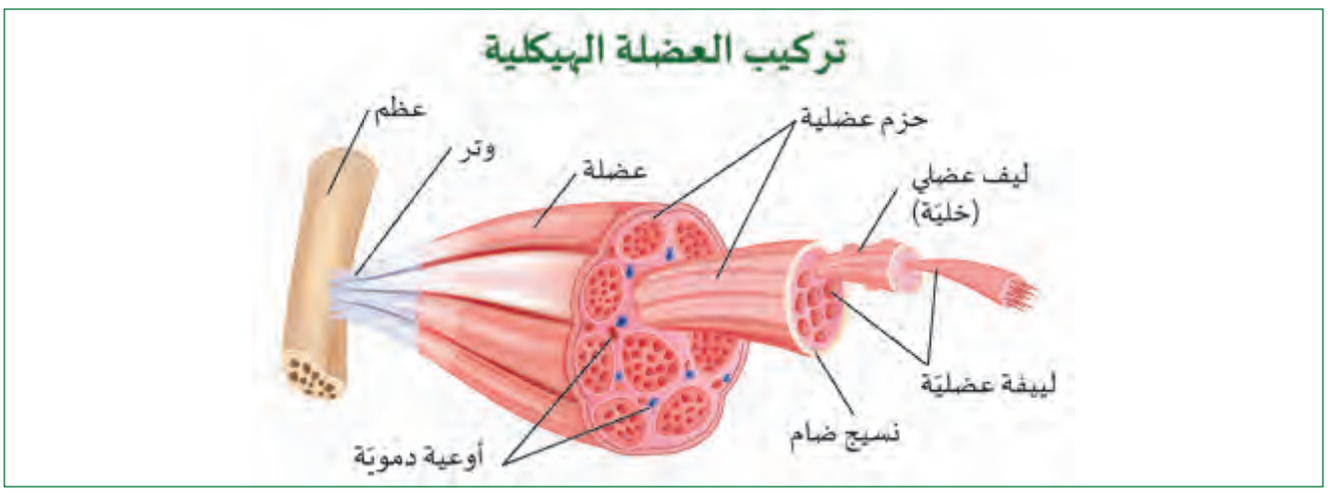


شكل 1-9 (a) خلية عضلية ملساء منبسطة (b) خلية منقبضة.

تختلف خصائص النسيج العضلي وفقًا للاختلاف في ترتيب الألياف. فعندما نقطع النسيجين الهيكلي والقلبي بالعرض نلاحظ أن فيهما **خطوطًا Striations**. تتراكب مناطق **القطع العضلية Sarcomeres** في هذين النسيجين لأنّ أليافهما متوازية. أما خيوط العضلات الملساء فهي قصيرة وبلا محاذاة (**الشكل 1-9**).

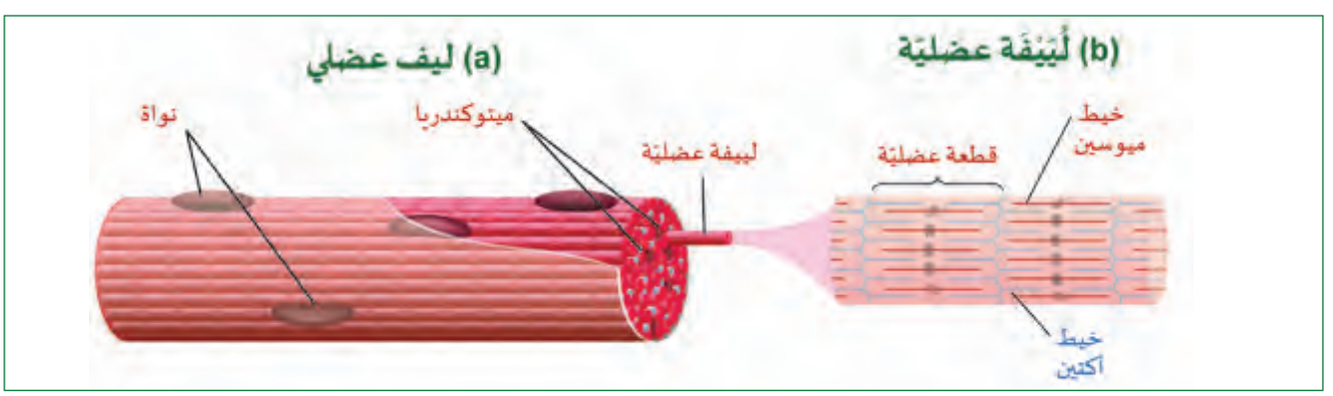
تركيب العضلة الهيكلية

النسيج العضلي عبارة عن تركيب معقّد من ألياف في داخل ألياف كما هو موضّح في **الشكل 1-10**. تتكوّن العضلة الواحدة من عدة **حُزَم عضلية Fascicles** تحتوي على نسيج عضلي مُحاط بنسيج ضامّ. وتتكوّن كلّ حزمة عضلية من عدد من الخلايا العضلية التي تُسمّى **الألياف العضلية Muscle fibers**، وقد سُمّيت بهذا الأسم لشكلها الرفيع الطويل.



شكل 1-10 التركيب الداخلي لعضلة هيكلية.

كلّ ليف عضلي مكوّن من حزمة من تراكيب طولية أو عَصَوية تُسمّى **اللُيَيْفات العضلية Myofibrils** (**الشكل 1-11a**). وتمتدّ اللُيَيْفات العضلية في العضلات الهيكلية على طول الخلايا، وينتظم بعضها مع بعض بالتوازي. وتكون اللُيَيْفات العضلية معبّأة في داخل الليف العضلي بكثافة، فتظهر المئات أو الآلاف منها في كلّ خلية.



شكل 1-11 (a) التركيب الداخلي لخلية عضلية منفردة، أو ليف عضلي، و(b) تركيب لُيَيْفة عضلية.

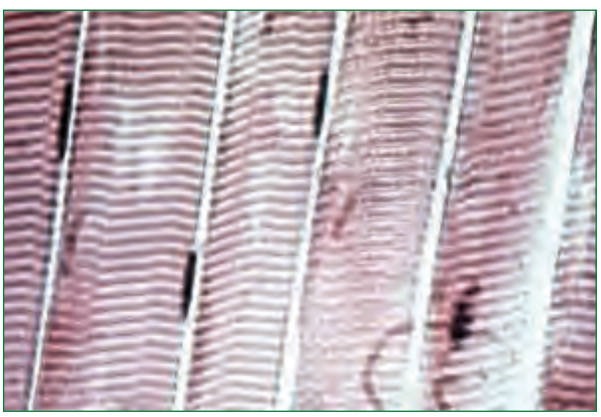
تتكوّن اللُيَيْفات العضلية من نوعين من خيوط البروتين تُسمّى **الأكتين Actin والميوسين Myosin** (**الشكل 1-11b**). تنزلق هذه الخيوط بعضها على بعض مثل الأصابع المتشابكة عندما تتمدّد العضلة أو تنقبض. تسمّى المناطق في داخل الخلايا العضلية التي تنتظم فيها اللُيَيْفات بشكل متواتر تتداخل فيه خيوط الأكتين والميوسين **القطع العضلية Sarcomeres**. القطع العضلية هي الوحدات الوظيفية للخلايا العضلية وهي التي تتمدّد وتنقبض مسبّبة انقباض العضلة وانبساطها.

a1-1 دراسة الأنسجة العضلية

سؤال الاستقصاء	كيف نميّز بين أنواع الأنسجة العضلية تحت المجهر؟
الموادّ المطلوبة	مجهر، شرائح جاهزة للأنسجة العضلية الهيكلية والقلبية والملساء.

الخطوات

1. يمكنك العمل مع زميل بناءً على عدد المجاهر المتوافرة في المختبر.
2. افحص الأنواع الثلاثة من الأنسجة العضلية تحت قوّة التكبير الصغرى والكبرى (**الشكل 1-12**).
3. ارسم كلّ نوع من الأنسجة في المساحة المخصّصة، واذكر اسمه.
4. لخّص ملاحظاتك في جدول مثل الجدول الآتي:



شكل 1-12 صورة مجهرية لليفات عضلية (1000^{x}).

نوع النسيج	وصف الخلية	الوظيفة	الموقع

الأسئلة

a. ما التراكيب الظاهرة في الأنسجة الثلاثة تحت قوّة التكبير الصغرى والكبرى للمجهر؟

b. هل هناك طريقة لمعرفة العضلات التي كانت مصدر هذا النسيج؟ وضّح إجابتك.

ابحث في مرض يصيب النسيج العضلي

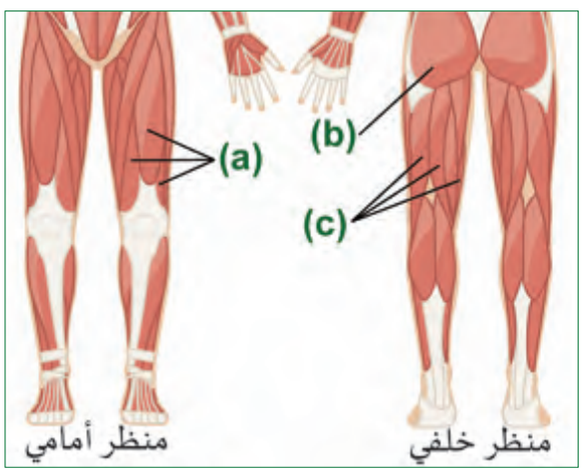
عند تشخيص الأمراض التي تصيب العضلات، يتمّ أخذ خزعات من العضلات، وتُفحص أنسجتها بالمجاهر. ابحث في أحد الأمراض الآتية: ضمور العضلات الدوشيني (Duchenne muscular dystrophy)، مرض دودة الخنزير (trichinosis)، داء المقوّسات (toxoplasmosis)، الوهن العضلي الوبيل (myasthenia gravis)، التهاب العضلات (polymyositis)، التهاب الجلد العضلي (dermatomyositis)، التصلّب الجانبي الضموري (مرض ALS أو Lou Gehrig) ، أو رَنَح فريدريك (Friedreich ataxia). لخّص بحثك في صفحة واحدة موضحًا سبب المرض وتأثيره في أنسجة العضلات. وثّق المصادر المرجعية لبحثك.

انتظام العضلات الهيكلية في أزواج أو مجموعات

تتكوّن **المجموعة العضلية Muscle group** من العضلات التي تتناسق لأداء وظيفة معينة (**الشكل 1-13**). يمكن أن يسبّب انقباض عضلة واحدة في الفخذ رفع الساق، أو تديرها عضلات أخرى من المجموعة العضلية نفسها، في الوقت الذي تساعد فيه عضلة أخرى على إنزالها. تنتظم العضلات أو مجموعات العضلات عمومًا في أزواج متقابلة.

تنتظم عضلات الجسم في مجموعات تعمل معًا لأداء وظيفة محددة.

يستخدم المَشْيُ الكثير من المجموعات العضلية. تُسمّى العضلات القوية الموجودة على السطح الأمامي لفخذك «رباعيَّة الرؤوس» (**الشكل 1-13a**). والعضلات الموجودة في الخلف هي أربع عضلات: الألوية الكبرى (**الشكل 1-13b**)، والثلاثة المأبضيّة (**الشكل 1-13c**). الألوية الكبرى هي أكبر عضلة في جسمك، وتسمح لك بالحفاظ على التوازن وصعود السلالم.



شكل 1-13 مجموعات عضلية في الرِجل.

ترتبط العضلات الهيكلية بعظمة ثابتة من أحد طرفيها وعظمة متحرّكة من طرفها الآخر. تُسمّى نهاية العضلة المرتبطة بعظمة ثابتة **منشأ العضلة Muscle origin**. تُسمّى نهاية العضلة المرتبطة بعظمة متحرّكة **مغرس العضلة Muscle insertion**. يوضّح **الشكل 1-14** أنّ رباعيّة الرؤوس (الأمامية) والعضلات المأبضيّة (الخلفية) منشأهما في عظمة الحوض ومغرسهما في عظمة القصبة.

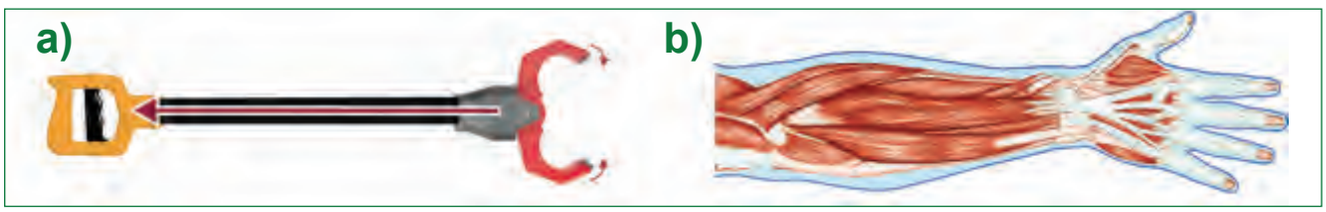
شكل 1-14 (a) منشأ عضلات الفخذ الأمامية والخلفية في عظمة الحوض و (b) مغرسهما في عظمة القصبة المتحركة.

طريقة عمل أزواج العضلات الهيكلية

تقوم لعبة المخلب الآليّة (**الشكل 1-15a**) بعمل يشبه اليد عند مسك الأشياء أو إفلاتها، حيث يُغلق ماسِكا المخلب عن طريق سحب المقبض، وكي يُفتح الماسِكان، تنتج النوابض الداخلية قوّة معاكسة. تقوم الآلة بفعل واحد للإمساك بالأشياء، وبفعل آخر مختلف لإفلاتها.

لماذا توجد العضلات الهيكليّة في أزواج؟

فيمَ تشبه الآلة الرافعة الذراع؟



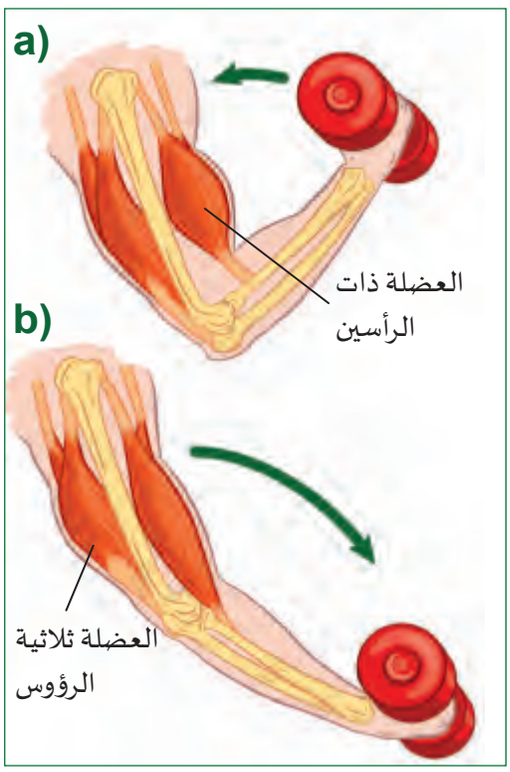
شكل 1-15 (a) مخلب روبوتي و(b) ذراع الإنسان وعضلات اليد.

عندما تنقبض العضلات فإنها تنتج قوّة تسبب دوران العظام حول المفاصل. وفي ما يشبه عمل الآلة الرافعة، تعتمد الحركة الناتجة على مكان ارتباط العضلات بالنسبة إلى نقطة ارتكاز المفصل.

تعمل العضلات الهيكليّة في أزواج، وتستخدم العظام كآلات رافعة: عندما تنقبض عضلة تنبسط الأخرى.

لفهم عمل العضلات الهيكليّة، لا بدَّ من أن نفهم أن العضلات تنتج قوى عندما تنقبض فقط. لذا، فإنَّ الأمر يتطلَّب وجود عضلات منفصلة للفتح والإغلاق. تحتوي الذراع البشرية على مجموعة من العضلات تنتج قوّة لإغلاق اليد، وعلى مجموعة أخرى من العضلات تنتج قوة أخرى لفتح اليد. وعندما تفعل مجموعتان عضليتان فعلَيْن متعاكسَيْن مثل هذين، فإنَّهما يُعرفان **بزوج العضلات المتضادّة Antagonistic pair**.

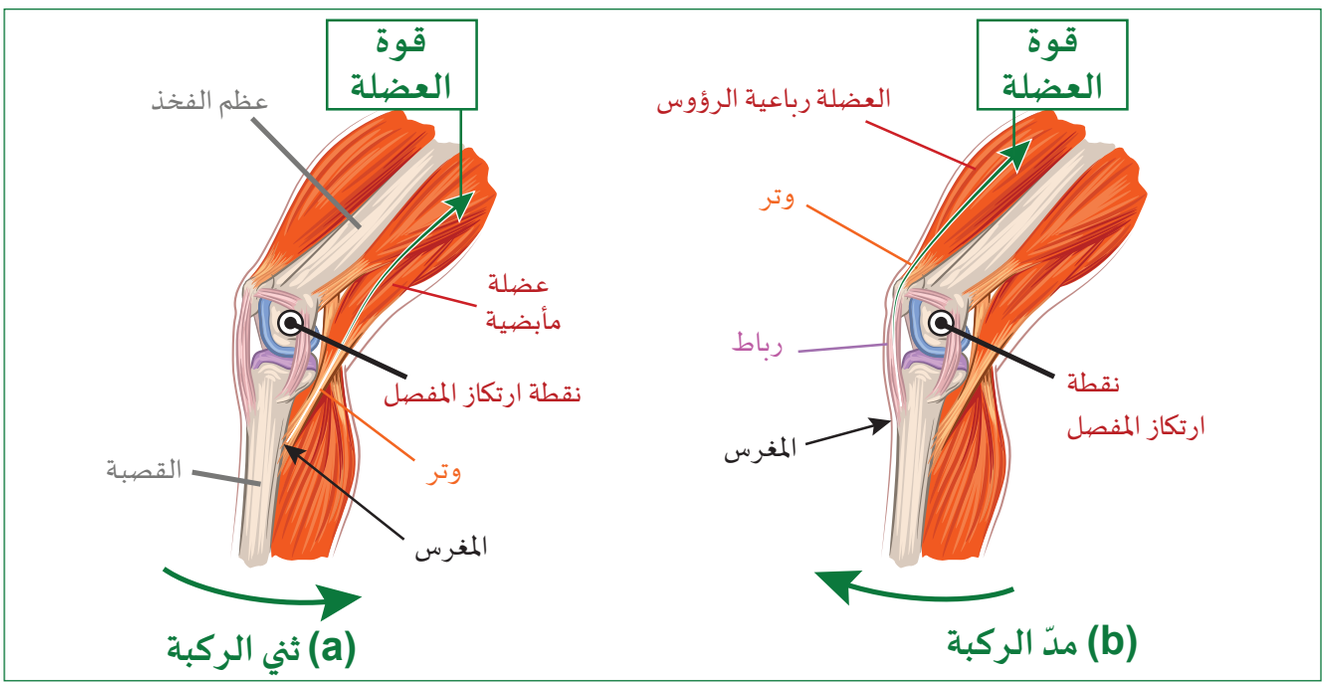
ويوجد مثال جيّد على زوج العضلات المتضادّة، هو العضلة ذات الرأسين، والعضلة ثلاثيّة الرؤوس في أعلى الذراع (**الشكل 1-16**). فإذا قمت برفع وزن، فسوف تنقبض العضلة ذات الرأسين لإنتاج قوّة الرفع (**الشكل 1-16a**)، ويتمّ سحب الساعد واليد إلى أعلى. ولإعادة الوزن إلى أسفل، تنقبض العضلة ثلاثية الرؤوس (**الشكل 1-16b**)، بينما تنبسط العضلة ذات الرأسين وتتمدّد، لكنها لا تنتج قوة في أثناء تمدّدها.



شكل 1-16 (a) العضلة ذات الرأسين و(b) العضلة ثلاثية الرؤوس ترفعان وزنًا تمسك به باليد.

عمل أزواج العضلات

تُسمّى العضلة المسؤولة الأولى عن الانقباض المسبّب للحركة **العضلة الناهضة Agonist**. ولِثَنْيِ ركبتك استعدادًا لركل كرة، تنقبض العضلات المأبضيّة على الجزء الخلفي للفخذ (**الشكل 1-17a**). فالعضلات المأبضيّة تكون هي العضلات الناهضة لِثَنْيِ الركبة.



شكل 1-17 المجموعات العضلية الرئيسة المشاركة في ركل الكرة.

تُسمّى العضلة التي تعاكس عمل العضلة الناهضة بالعضلة **المناهضة Antagonist**. لذا، فعند ثَنْيِ ركبتك، يجب أن تتمدّد عضلة الفخذ رباعية الرؤوس الأمامية، فهذه العضلة هي المناهضة لِثَنْيِ الركبة.

ويتمّ عكس أدوار العضلات عند ركل الكرة، فعند الركل تتمدّد الركبة (**الشكل 1-17b**). وبالنسبة إلى حركة مدّ الركبة، فإنّ العضلة رباعيّة الرؤوس هي العضلة الناهضة، أمّا العضلة المأبضيّة فهي العضلة المناهضة.

تقوم العضلات المناهضة بدورين مختلفين هما:

1. المحافظة على وضعيّة الجسم أو الأطراف، كالوقوف في وضع مستقيم. وللحفاظ على الوضعيّة تنتج العضلات الناهضة والمناهضة قوى يوازن بعضها بعضًا لتمنع المفصل من الدوران.
2. تتحكّم العضلة المناهضة في الحركات السريعة. فحركة الركل السريعة تستخدم عضلة الفخذ رباعية الرؤوس لإنتاج قوّة الركل الرئيسة، ولكنَّ العضلات المأبضيّة تنتج أيضًا قوى للتحكّم في رباعية الرؤوس في أثناء الحركة.

حرّك ساقك إلى أعلى ثمّ إلى أسفل وأنت جالس على كرسي. تحسّس العضلات الموجودة في أعلى وأسفل فخذك. هل يمكنك تحديد العضلات الناهضة والمناهضة في كلّ حركة؟

b1-1 أزواج العضلات والحركة

سؤال الاستقصاء	كيف تعمل عضلات الأجنحة في الدجاجة.
الموادّ المطلوبة	قفّازات بلاستيكية طبية، جناح دجاجة نيّء طازج، طبق أو صينية من الستيروفوم، ملقط، مقصّ تشريح، مسبار تشريح

الخطوات

1. احصل على جناح دجاجة نيّء طازج (**الشكل 1-18**) واتبع التعليمات الأكثر تفصيلًا في ورقة العمل.
2. في أثناء ملاحظة كلّ نسيج أو تركيب، أضف اسمه ووصفه إلى العمود المناسب في الجدول المعطى لك.
3. اكتب الجلد الذي يغطّي الجناح على أنّه النسيج الأوّل في الجدول. أهو طريّ أم قاسٍ؟
4. قصّ الجلد واسلخه. انظر تحت غطاء الجلد بحثًا عن أوعية دموية.

شكل 1-18 تشريح جناح الدجاج.

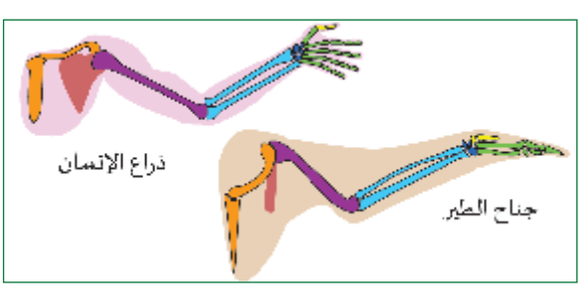
5. حدّد على المخطّط العضلات (اللحمية الوردية) وكرات الدهون (الصفراء أو البيضاء ذات الملمس الناعم جدًّا).
6. تربط الأوتار العضلات بالعظام وتكون في العادة متينة ولامعة وذات لون أبيض. اقطع الأوتار لتكشف العظام.
7. افصل العظام، ثم حدّد الأربطة (أنسجة خيطية تربط العظام بعضها ببعض).
8. يوجد الغضروف (الأبيض المطّاطي) بين العظام أو في المفصل الكروي، حيث يرتبط الجناح ببقية أعضاء الجسم.
9. تأكّد من تنظيف مكان التشريح بحسب الإرشادات، أجب عن جميع الأسئلة الآتية:

الأسئلة

بمساعدة الشكل والعيّنة التي أمامك، قارن تركيب جناح الدجاج وحركته بذراع الإنسان.

a. ما أوجه التشابه؟

b. ما أوجه الاختلاف؟



شكل 1-19 مقارنة تركيب جناح الطير وذراع الإنسان

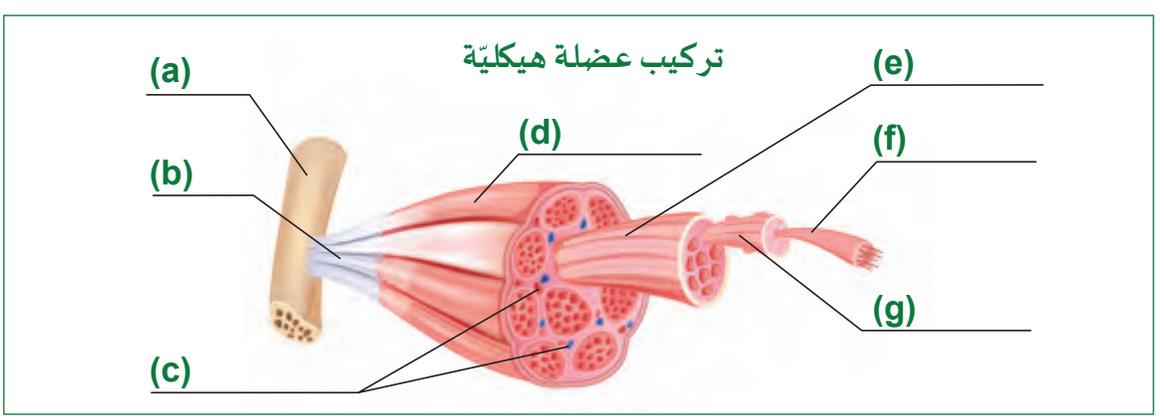
تقويم الدّرس 1-1

1. أيٌّ الآتي يصف الأنسجة بأفضل صورة؟
   a. مجموعة من الخلايا
   b. نوع من العضلات
   c. تركيب مميّز من خلايا متماثلة تؤدّي وظيفة مشتركة
   d. تركيب مميّز من خلايا مختلفة تؤدّي وظائف متعدّدة

2. أيٌّ من الآتي يصف الحزمة العضلية بأفضل صورة؟
   a. نواة الخلية العضلية
   b. مجموعة من الخلايا العضلية تعمل معًا
   c. حزمة من اللُيَيْفات العضلية في داخل خلية عضلية
   d. نسيج ضامّ بين العظام والعضلات

3. أيٌّ من الآتي ليس جزءًا من الجهاز العضلي للإنسان؟
   a. الرباط
   b. الشُعَيْرات الدموية
   c. رباعيّة الرؤوس
   d. الوتر

4. حدّد كلّ تركيب في المخطّط الآتي لعضلة هيكليّة.



5. كيف نعرف أن أجهزة جسم الإنسان لا تعمل منفردة؟ استخدم الجهاز الدوري والجهاز الهضمي وجهاز الإخراج لتوضيح إجابتك.

6. اذكر أسماء الأنواع الثلاثة للخلايا العضلية، وحدّد مكانها في جسم الإنسان.

7. وضّح العلاقة بين أزواج المصطلحات الآتية:
   a. عضلة ناهضة وعضلة مناهضة
   b. منشأ العضلة ومغرس العضلة

الدرس 1-2

الخصائص الوظيفية للعضلات

Physiology of Muscle

يمكنك أن تدرك مدى قدرة الإنسان على أداء حركات متنوّعة رائعة من مشاهدتك لأداء بهلوان أو لاعب جمباز (**الشكل 1-20**). يتدرّب الرياضيّون لسنوات استعدادًا للعروض أو المسابقات: التدريب الذي يتلقّاه لاعب الجمباز ليس هو نفسه الذي يتلقّاه العدّاء، غير أنّ لديهما العضلات نفسها في جسميهما. ما الذي يغيّر في حركة العضلات على مستوى الخليّة والنسيج والعضو؟

يصف هذا الدرس عمل العضلات، ويؤكد ضرورة الحفاظ عليها.

شكل 1-20 العضلات في أثناء عملها.

مخرجات التّعلُّم

B1207.2 يذكر أن الألياف العضلية تحتوي على العديد من اللُيَيْفات العضلية، وأن كل ليفة عضلية تتكون من قطع عضلية منقبضة.

B1207.3 يشرح كيفية حدوث انقباض في العضلات الهيكلية عن طريق انزلاق خيوط الأكتين والميوسين، التي تنطوي على التحلل المائي لأدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP) وتكوّن الجسور المستعرضة.

المفردات

Sliding filament theory	نظرية الخيوط المنزلقة
Tropomyosin	التروبوميوسين
Troponin	التروبونين
Cross - bridge	الجسر المستعرض
Z Line	خط Z
M Line	خط M
Sarcoplasmic reticulum	الشبكة البلازمية العضلية
Creatine phosphate	فوسفات الكرياتين
Glycogen	الجلايكوجين
Myoglobin	الميوجلوبين
Isotonic contraction	الانقباض متساوي الجهد
Isometric contraction	الانقباض متساوي القياس
Elasticity	المرونة
Contractility	الانقباض
Excitability	الاستثارة
Atrophy	الضمور

أنواع العضلات (إثرائي)

لماذا يكون بعض لحم الدجاج المطبوخ أبيض وبعضه الآخر داكنًا؟

تكون شريحة اللحم المقطوعة على امتداد الألياف قاسية بعد الطهي، أمّا الشريحة المقطوعة بشكل عرضي فتكون طريّة. لماذا تأخذ اللحوم، مثل لحوم البقر والدجاج، اتجاهًا معيّنًا؟

عندما تأكل الدجاج، تلاحظ وجود نوعين من اللحم، يسمَّيان في الغالب «اللحم الأبيض» و«اللحم الداكن». يوجد اللحم الداكن في ساق الدجاجة وفخذها (**الشكل 1-21a**)، ويوجد اللحم الأبيض في صدرها (**الشكل 1-21b**). هذان النوعان من اللحم يوجدان في الدجاج الداجن فقط، أمّا الطيور البريّة، مثل البطّ، فيكون لحم الصدر فيها داكنًا، ولا يوجد فيها لحم أبيض.

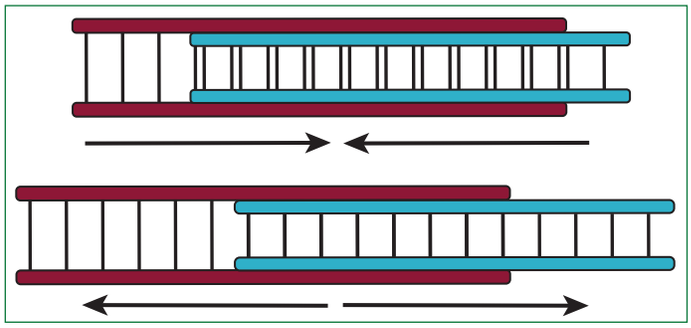
شكل 1-21 اللحم الداكن (a) والأبيض (b) في الدجاج المطهوّ.

يمكن تفسير ما سبق بوجود عضلات سريعة الانقباض Fast twitch وعضلات بطيئة الانقباض Slow twitch في الدجاج، كما في الحيوانات الأخرى. يتكوّن اللحم الداكن في أرجل الدجاج بشكل رئيس من عضلات بطيئة الانقباض تتّصف بمتانة وقدرة تحمُّل جيّدتين، وهو ما يناسب الدجاج الذي يستخدم أرجله للوقوف والمشي. وعضلة الصدر في الطيور هي العضلة الرئيسة التي تمنح القوّة للجناحين. ولأنَّ الدجاج الداجن لا يطير، فإنّ عضلات الصدر لديه لا تحصل على تمرين كبير. ونتيجة لذلك، تحتوي هذه العضلات في الغالب على عضلات سريعة الانقباض، فتعطي اللحم الأبيض. وفي البطّ البري الذي يطير في معظم الأحيان، فإنَّ لحم الصدر يكون داكنًا وليفيًا بفعل التمرين المستمر.

يمكن أن يعطينا شكل الطعام بعض المعرفة عن تركيب العضلات: شريحة لحم البقر الموضّحة في **الشكل 1-22a** مكوّنة من ألياف عضليّة طويلة، تمتدّ باتجاه السهم. ويصعب قطع هذه الألياف لمتانتها، وهذا يفسّر عدم تقديم شرائح اللحم المُعدَّة بهذا الشكل. وبدلًا من ذلك، تُقطَّع شرائح اللحم على عرض اتجاه الألياف (**الشكل 1-22b**)، إلى أنْ تصبح الألياف قطعًا صغيرة يسهل مضغها.

شكل 1-22 تتكوّن شريحة اللحم من ألياف عضلية.

نظريّة الخيوط المنزلقة للانقباض



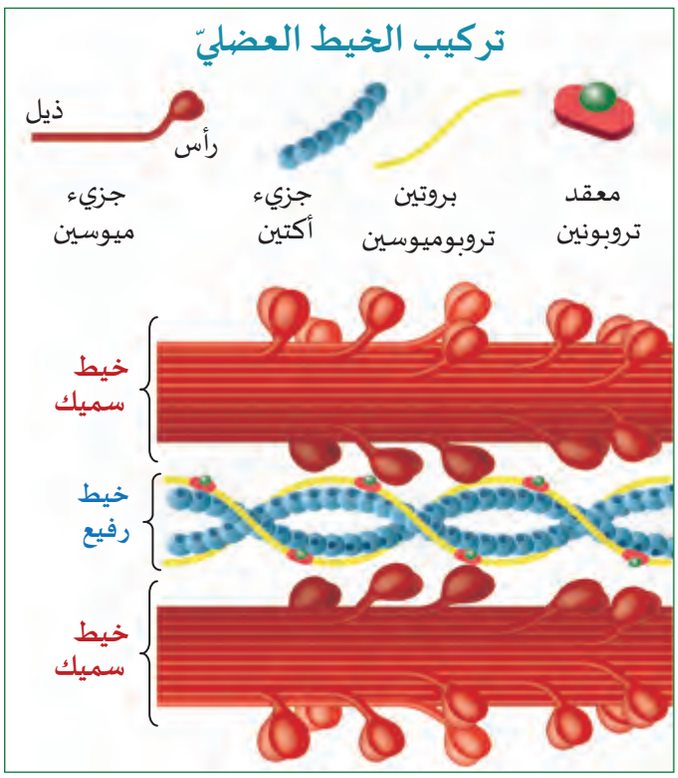
شكل 1-23 السلّم الممتدّ.

كيف تمتدّ الأجهزة الميكانيكية، مثل مقابض حقائب السفر والسلالم الممتدّة والأسطوانات الهيدروليكية؟ وكيف تقصر؟

ما الآليات المتّبعة؟

ينبسط السلّم الممتدّ أو ينقبض عندما ينزلق سلّماه المتوازيان أحدهما على الآخر (**الشكل 1-23**). وتعمل العضلات بالطريقة نفسها.

تنصّ **نظرية الخيوط المنزلقة Sliding filament theory** لانقباض العضلات على أنّ الخلايا العضليّة تحتوي على خيوط دقيقة ينزلق بعضها على بعض. تتكوّن الخيوط من بروتينات الميوسين والأكتين المرتّبة بشكل متناوب. تشتمل خيوط الميوسين السميكة على جزيئات ميوسين كثيرة مصطفّة، من رأس كلّ جُزَيْء إلى ذيل الجُزَيء التالي.



شكل 1-24 تنزلق خيوط الأكتين الرفيعة على خيوط الميوسين السميكة.

تتكوّن الخيوط الرفيعة من خيطين لولبيين طويلين من الأكتين وبوليمر آخر من البروتينات المنظّمة يُسمّى **تروبوميوسين Tropomyosin**. تلتفّ خيوط التروبوميوسين حول خيوط الأكتين بحيث تمنع خيوط الميوسين من الالتصاق بخيوط الأكتين المجاورة (**الشكل 1-24**)، ما يحول دون انقباض العضلة، إلى حين وصول الإشارة المناسبة. تُطمر في الأخدود بين جُزَيْئَي التروبوميوسين معقّدات بروتينية متباعدة بانتظام تسمى **تروبونين Troponin**. يشكل التروبونين نقاط ارتباط الكالسيوم.

تنقبض العضلة ببناء **جسور مستعرضة Cross-bridges** بين خيوط الأكتين والميوسين. يتكوّن الجسر المستعرض عندما يرتبط جُزَيْء من الأكتين برأس من الميوسين مكوّنًا الأكتوميوسين، وفي العضلة المنبسطة، يغلق تروبوميوسين مواقع ارتباط الجسور المستعرضة، فلا يحدث الانقباض.

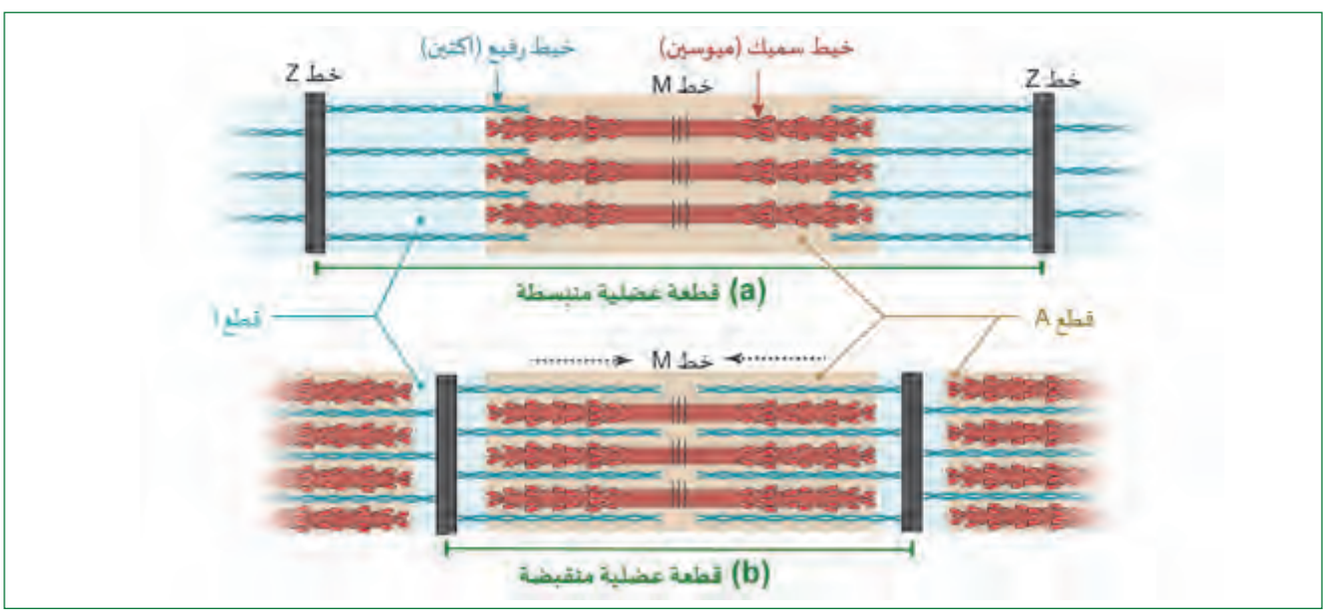
الآليّة الجُزَيْئيّة لانقباض العضلات

تُفسر نظريّة الخيوط المنزلقة كيف تقصر القطع العضلية مسبّبة انقباض العضلة (**الشكل 1-25**).

- تحدّد **خطوط Z lines Z** طول كلّ قطعة عضلية. تُحدّد خطوط Z أحد طرفَي الخيوط الرفيعة ويتحرّك بعضها نحو بعض في أثناء الانقباض.
- **خط M line M** يتكوّن حيث تصطفّ مراكز الخيوط السميكة. يبقى خط M ثابتًا في أثناء الانقباض.

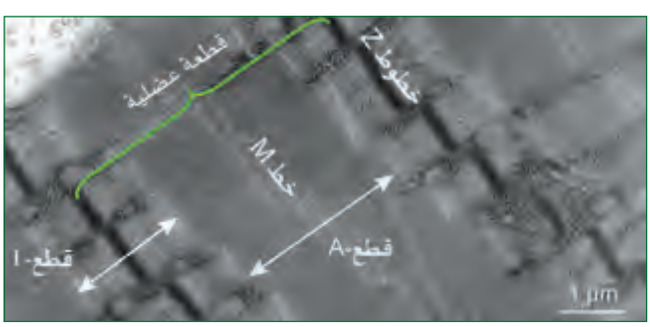
a. عندما تنبسط العضلة، تُشدّ الخيوط الرفيعة المثبّتة إلى خطوط Z بعيدًا من خطّ M كما يظهر في **الشكل 1-25a**. تتمدّد القطع I لأنها مناطق مكوّنة فقط من خيوط رفيعة (الأكتين). أما القطع A فتبقى من دون تغيير لأنّ طول الخيوط السميكة لا يتغيّر.

b. عندما تنقبض العضلة، تشدّ الخيوط الرفيعة خطوط Z نحو خطّ M فتنكمش القطع I. تصبح القطع A متقاربة، لكنَّ طولها يبقى هو نفسه (**الشكل 1-25b**). لاحظ أنّ أطوال الخيوط البروتينية، الأكتين والميوسين، لا تتغيّر في أثناء انقباض العضلة وانبساطها، بل تبقى ثابتة. ولاحظ أيضًا أن موقع الخطّ M يبقى مركّزًا في وسط القطعة العضليّة، ولكنّ الخطين Z اللذين يحصران القطعة العضليّة من الجانبين يتقاربان في أثناء انقباض العضلة ويتباعدان في أثناء انبساطها.



شكل 1-25 (a) قطع عضلية منبسطة و(b) قطع عضلية منقبضة.

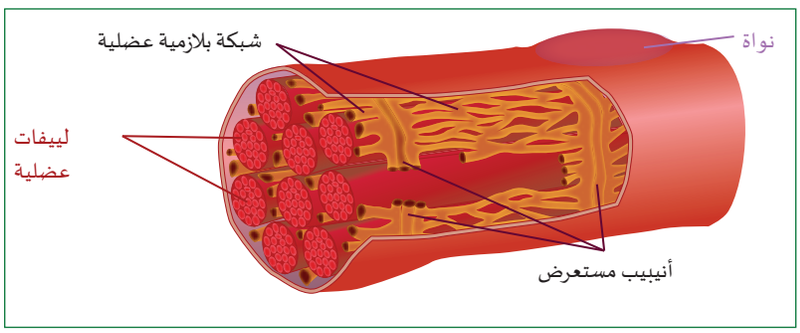
يظهر في **الشكل 1-26** صورة مجهرية إلكترونية للقطع العضلية. يمكنك أن ترى بوضوح خطوط Z وM . تشمل القطعة I المناطق الفاتحة إلى كلّ جانب من الخطّ Z. في مركز القطعة A ترى الخطّ M. هذه الخلية العضلية منبسطة لأنّ القطع I تبدو عريضة نسبيًّا.



شكل 1-26 تكون خطوط M في المقاطع العرضيّة للعضلات في منتصف القطع العضلية. تحدّد خطوط Z طول تلك القطع.

ازدواج الاستثارة – الانقباض

الليف العضلي (الخلية العضلية) أطول بكثير من الخلية العادية. ولضمان انقباض الخلية كلّها في الوقت نفسه، يوجد تركيب في الخلايا العضلية يُسمّى **الشبكة البلازمية العضلية Sarcoplasmic reticulum** (SR)، وهي شبكة من الأنيبيبات تمتدّ من الغشاء الخلوي لكلّ ليف عضليّ ليصل بين مختلف اللُيَيْفات العضلية (**الشكل 1-27**). تحتوي خلايا عضلة القلب وخلايا العضلات الهيكلية أيضًا على تراكيب إضافية تُسمّى «الأنيبيبات المستعرضة» (أنيبيبات t-).



شكل 1-27 التركيب الداخلي لخلية عضلية..

تختزن الشبكة البلازمية العضلية أيونات الكالسيوم (Ca^{2+})، وتتحكّم بروتينات ناقلة في حركة هذه الأيونات من وإلى السيتوسول المحيط باللُيَيْفات العضلية.

1. عندما يرسل الدماغ إشارة للانقباض، تنتقل إشارة عصبية بسرعة على امتداد الأنيبيبات المستعرضة في جميع أنحاء الليف العضلي (استثارة).
2. تحفز الإشارة الكهربائية إطلاق أيونات Ca^{2+} من مخازن الكالسيوم في جميع أنحاء الليف العضلي.
3. يتسبَّب الإطلاق المتزامن لأيونات Ca^{2+}، في انقباض جميع اللُيَيْفات العضلية في الخلية في الوقت نفسه (انقباض).
4. عندما تتوقّف استثارة الخلية العصبية، تضخّ بروتينات النقل النشط أيونات Ca^{2+} إلى الشبكة البلازمية العضلية ثانية، فيتوقّف الانقباض.

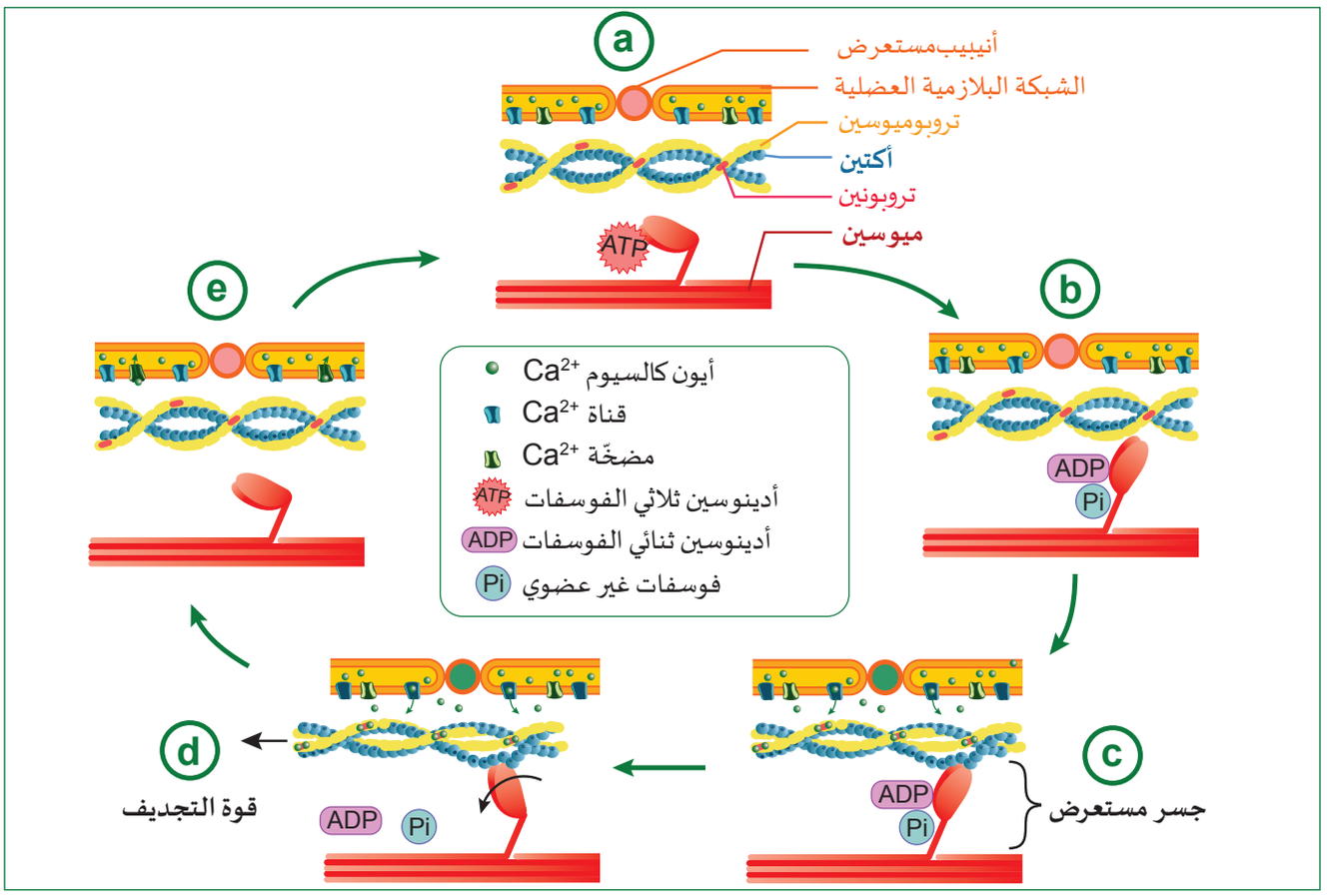
مرض الخلايا العصبيّة الحركية

التصلّب الجانبي العضلي الضموريّ (ALS) هو أحد الأمراض المتعدّدة التي تعترض تحكّم الخلايا العصبية في العضلات الإرادية. وتشمل أعراض (ALS) تصلّب العضلات وارتعاشها، وضعفًا متدرّجًا متفاقمًا ينتهي بالموت بسبب تناقص حجم العضلات. لكنَّ سبب المرض لا يزال مجهولًا، وبالتالي فلا يوجد علاج معروف له. وقد عانى د. ستيفن هوكينج، الفيزيائي وعالم الكونيات الشهير، من هذا المرض في معظم حياته المهنية.

- ابحث في آليّة المرض، وفي الأمراض العصبيّة الحركيّة ذات الصلة.
- الخلايا العصبيّة الحركية هي أطول خلايا الجسم. كيف يمكن أن يسبّب طولُها التصلّبَ الجانبيّ العضليّ الضموري؟
- من الذي يقوم بأبحاث قد تتوصّل إلى علاج للمرض؟

دور ATP في انقباض الليف العضلي

تتطلّب الخلايا العضلية المنقبضة مقدارًا هائلًا من الطاقة. وتأتي هذه الطاقة من التحلّل المائي لجُزَيْ ATP ($ATP \rightarrow ADP + P_i$) على رأس كلّ جُزَيْء من الميوسين.



شكل 1-28 دورة انقباض أكتين – ميوسين.

يبيّن **الشكل 1-28** الدورة الكاملة لانقباض العضلات وانبساطها.

a. عند بدء الانقباض، يتمّ تنشيط الميوسين بوساطة ATP.

b. يتحلّل ATP على رأس جُزَيْء الميوسين، وتنطلق الطاقة مسبّبةً انتصاب رأس الميوسين إلى الخلف.

c. تسبّب إشارة عصبية، تنتقل في الأنيبيب المستعرض، فتح قنوات Ca^{2+} في الشبكة البلازمية العضلية. وترتبط أيونات Ca^{2+} بالتروبونين؛ ما يغيّر شكل التروبوميوسين. ويؤدّي ذلك إلى كشف موقع ارتباط الميوسين على الأكتين، فيجذب رأس الميوسين مشكّلًا جسرًا مستعرضًا بين الميوسين والأكتين.

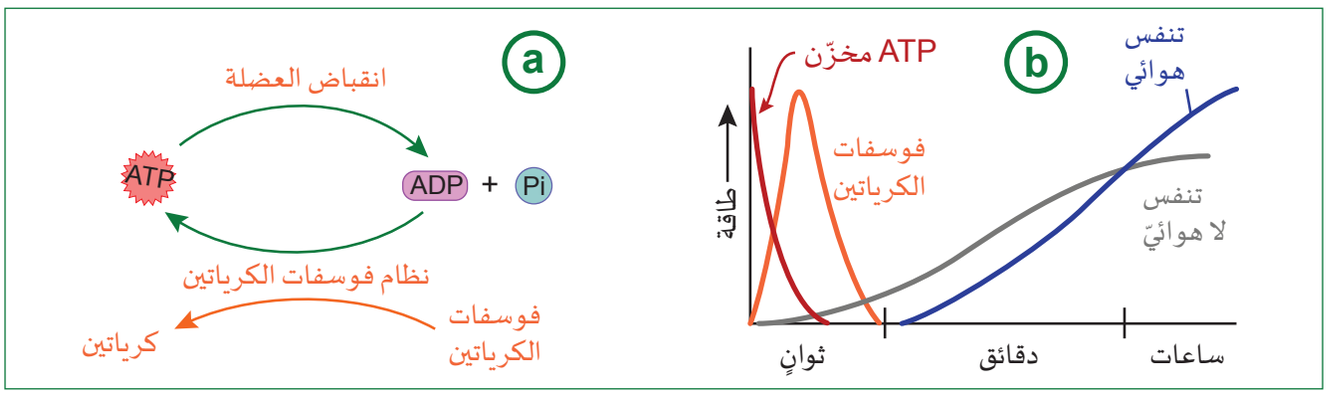
d. يطلق رأس الميوسين ADP و P_i، ما يتسبَّب في تغيير شكله، ودفع خيط الأكتين مسبّبًا الانقباض. تعرف هذه الحركة باسم **قوّة التجديف power stroke**. ويتسبّب حدوث الآلاف من هذه التفاعلات في تحرّك خيوط الأكتين باتجاه خطوط M. تتكرّر الخطوات a → d ما دام الكالسيوم موجودًا.

e. مع انتهاء الإشارة العصبيّة، تُضخّ أيونات الكالسيوم بالنقل النشط الى الشبكة البلازمية العضلية فينبسط الميوسين.

مصادر الطاقة للعضلات

تحتوي العضلة في حالة الراحة على ATP يكفي لبضعة انقباضات. ولتجديد الطاقة المخزونة اللازمة لإطالة النشاط، تستخدم العضلة آليَّتَيْن أُخْرَيَيْن.

1. تعطي جُزَيْئات **فوسفات الكرياتين Creatine phosphate (CP)** الفوسفات لتحويل ADP إلى ATP بوساطة الإنزيم كرياتين فوسفوكينيز، وهذا يشكّل طريقة سريعة لتجديد ATP (**الشكل 1-29a**).
2. يتحلّل **الجلايكوجين Glycogen** إلى جلوكوز لإنتاج ATP، إما بمسار التنفّس الهوائي أو بمسار التنفّس اللاهوائي. وكلا هذين المسارين أبطأ من فوسفات الكرياتين. يبين **الشكل 1-29b** كيفية تداخل آليات الطاقة المختلفة في مقاييس زمنية مختلفة.



شكل 1-29 مصادر الطاقة للخلايا العضلية.

ATP هو مصدر الطاقة لانقباضات العضلات، ويتمّ إنتاجه من خلال مسارات متعددة.

يوجد نوعان أساسيان من الخلايا العضلية: الألياف ذات الانقباض البطيء Slow twitch fibers التي تنقبض ببطء، لكنّ لديها قدرة تحمّل كبيرة. تحتوي العضلات ذات الانقباض البطيء على أوعية دموية كثيرة، ويمكنها تجديد الأكسجين بسرعة. ويعود اللون الأحمر للعضلة ذات الانقباض البطيء إلى **الميوجلوبين Myoglobin**، وهو بروتين أحمر يحمل الأكسجين ويخزنه في النسيج العضلي. وتقاوم الأليافُ ذات الانقباض البطيء التعبَ لأنها غنية بالميوجلوبين.

الألياف ذات الانقباض السريع Fast twitch fibers ألياف باهتة اللون أو ذات لون أبيض، ويبلغ قطرها ضعف قطر الألياف ذات الانقباض البطيء. يمكن أن تنقبض الألياف ذات الانقباض السريع انقباضات أقوى، لكنّ مقدار الميوجلوبين فيها أقلّ، فتتعب بسرعة. تعتمد هذه الألياف إلى حدّ كبير على فوسفات الكرياتين والتنفّس اللاهوائي. وكلا مساري الأكسدة والتحلّل السكري يمكن أن يستخدما الجلايكوجين المخزون كمصدر أولي للطاقة.

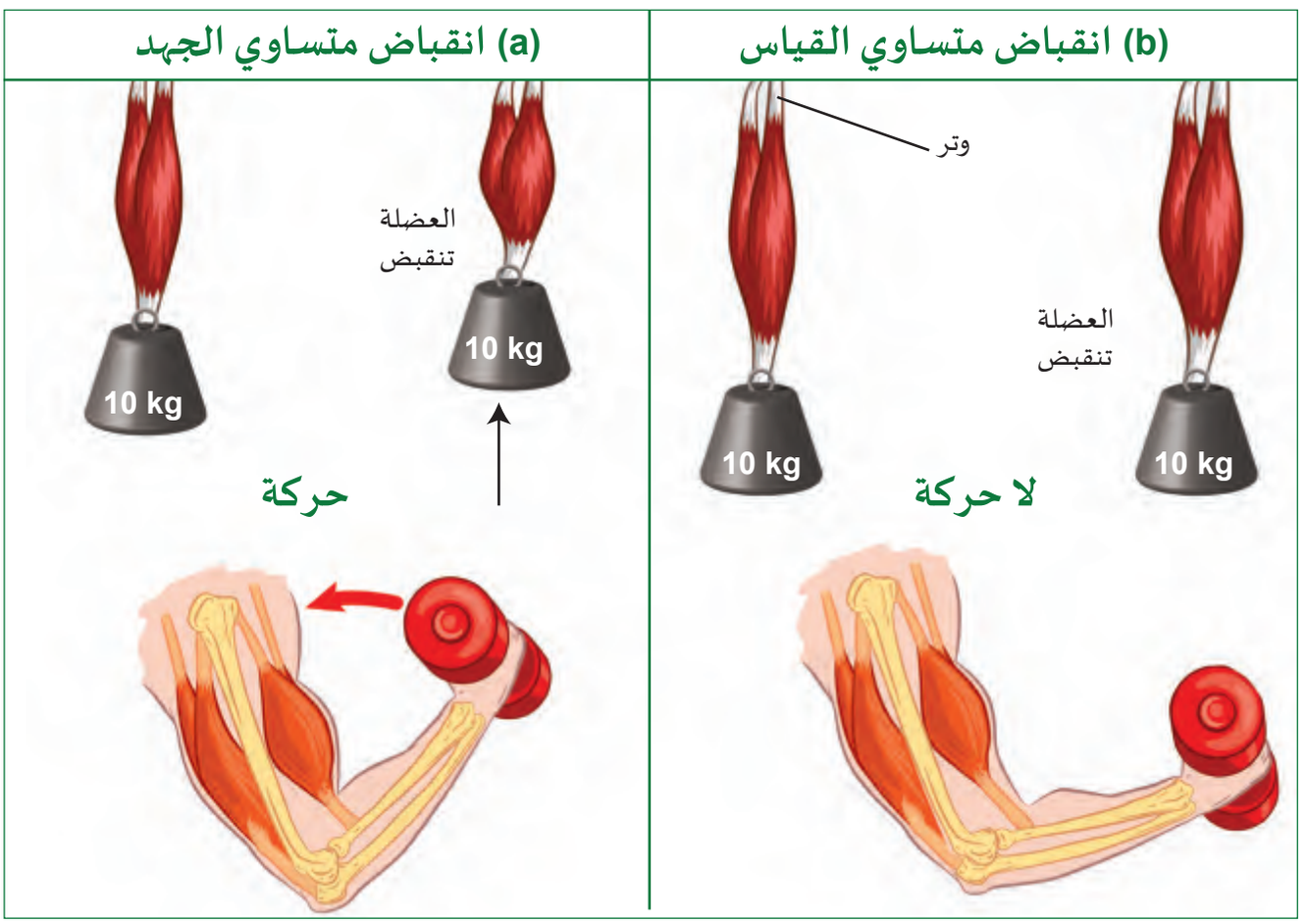
تتباين عضلات الإنسان بشكل كبير في مزجها بين العضلات ذات الانقباض البطيء والعضلات ذات الانقباض السريع. إذا كنت جرَّبت انقباضات العين المتكرّرة، فذلك يعود إلى أنَّ في الجفن عضلة سريعة الانقباض. عضلات الساقين بطيئة الانقباض، وهي قادرة على تكرار الانقباضات لعدة ساعات.

أنواع الانقباضات العضلية

تولّد جميع العضلات قوًى من خلال الانقباض. وفي الغالب، فإن القوى تنتج في العضلات الهيكلية عملًا مقصودًا أو عملًا إراديًا.

الانقباضات متساوية الجهد Isotonic contractions، وتحدث عندما تنتج قوة العضلة حركة. انقباض العضلة ذات الرأسين لرفع وزن يُمثَّل في (**الشكل 1-30a**). في هذه الحالة تقصر العضلة لتولّد جهدًا يكفي لتحريك الثقل.

الانقباضات متساوية القياس Isometric contractions، وتحدث عندما تنتج العضلة قوّة بدون حركة. في الانقباض متساوي القياس، تبقى العضلة بالطول نفسه لحمل الثقل في الموضع نفسه (**الشكل 1-30b**).



شكل 1-30 (a) تستخدم الانقباضات متساوية الجهد لتحريك الأثقال. (b) في الانقباضات متساوية القياس تنقبض العضلة، لكنها لا تقصر.

تخيّل جميع العضلات المختلفة التي تعمل فقط لإبقائك جالسًا على المقعد في وضع مستقيم. يعتمد الجلوس في وضع مستقيم على عضلات في ظهرك وكتفيك ووركيك وبطنك. وللحفاظ على وضع الجسم، تبقى عضلات كثيرة منقبضة بشكل متساوي القياس. إنّ الانقباضات متساوية الجهد ومتساوية القياس قد تكون إراديّة أو لا إراديّة. وبذلك تتمكّن من تأدية الكثير من الأعمال ، ومنها الجلوس، التي تتضمن أفعالًا لاإرادية، ما يعني أنّها تحدث بدون تحكّم واعٍ. والتوسّع المنتظم للرئتين والنبض المستمر للقلب أمثلة أخرى على أفعال لاإراديّة للعضلات.

خصائص النسيج العضلي

تتّصف العضلات الهيكلية في جسم الإنسان، وهي أكثر من 650 عضلة، بثلاث خصائص مشتركة: المرونة، والانقباض، والاستثارة.

المرونة Elasticity هي قدرة العضلة على الانقباض والقصر، ثم الاستطالة والانبساط للعودة إلى شكلها الأصلي.

الانقباض Contractility هو الخاصّية التي تسمح لجميع العضلات بالتصلّب أوالقصر. يسمح الانقباض للنسيج العضلي بسحب نقاط اتصالها بالعظام وبذل القوى. وكلا المرونة والانقباض في العضلة يشهان أفعال تمدّد الأربطة المطاطية.

تصف **الاستثارة Excitabilty** خاصيّة استجابة الخلايا العضلية للإشارات الكهروكيميائية من الخلايا العصبية. يمكن أن تنشر كلّ الخلايا العضلية إشارات كهروكيميائية على امتداد أغشيتها، وتنقلها إلى الخلايا المجاورة.

تتناقص هذه الخصائص في حالة **ضمور Atrophy** العضلات. والضمور هو إضعاف العضلات وتقليل حجمها بفعل المرض وقلّة الاستخدام والشيخوخة (**الشكل 1-31 يسار**). من المهمّ الحفاظ على مرونة الخلايا العضلية وانقباضها واستثارتها لتجنّب الضمور (**الشكل 1-31 يمين**).

شكل 1-31 الضمور هو تغيّر في الحجم بفعل المرض أو الشيخوخة، أو قلّة الاستخدام الذي يغيّر مظهر العضلة وكيفية عملها على المستوى الخلوي.

ضمور العضلات مشكلة رئيسة لدى رواد الفضاء العائدين من الفضاء والناس الذين يتعافون من الإصابات. ما الذي يسبّب ضمور العضلات؟

ما التغيّرات التي تحدث على المستوى الخلوي؟ كيف تؤثر التغيرات في المستوى الخلوي في العضلة كلّها؟

أيُّ أنواع من ضمور العضلات يمكن منعها أو معالجتها؟

يعتمد مقدار القوّة التي يولّدها انقباض العضلة على عدّة عوامل، أحدها طول العضلة الذي لا يتغيّر في الضمور.وتشمل العوامل الأخرى مساحة المقطع العرضي للعضلة وسرعة القِصر (الانقباض). كلا العاملين الأخيرين يقلّان في العضلات الضامرة.

تقويم الدّرس 1-2

1. أرسم لُيَيْفة عضلية، مبيّنًا عليها المفردات الآتية:
   - a. أكتين.
   - b. خط M.
   - c. ميوسين.
   - d. قطعة عضلية.
   - e. خط Z.

2. أيٌّ مما يأتي مصدر طاقة لانقباض العضلة الذي ينتج ATP من ADP بدون جلوكوز؟
   - a. التنفّس الهوائي.
   - b. التنفّس اللاهوائي.
   - c. نظام فوسفات الكرياتين.
   - d. الشبكة البلازمية العضلية.

3. ما وظيفة أيونات الكالسيوم (Ca^{2+}) في سياق آليّة انقباض العضلات؟
   - a. ترتبط بالميوسين، وتبدأ قوّة التجديف.
   - b. تنشط رأس الميوسين لينحني إلى الخلف.
   - c. تنشط تجديد ATP من ADP و P_i.
   - d. ترتبط بالتروبونين، وتفتح مواقع ارتباط الأكتين عن طريق تحريك التروبوميوسين.

4. عبّر عن نظرية الخيوط المنزلقة بجملة واحدة.

5. استخدم الكلمات التي في داخل الإطار لتُعرّف بشكل صحيح كلّ حرف ظاهر في **الشكل 1-32**.

أكتين.

ADP و P_i.

أيونات الكالسيوم.

الشبكة البلازمية العضلية.

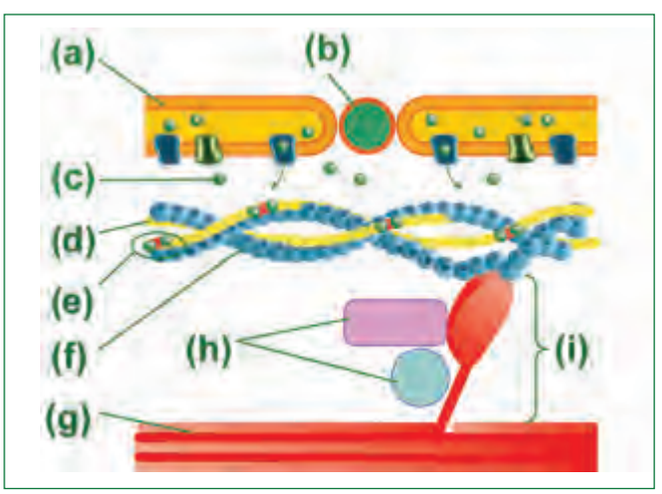
أنيبيب t-.

جسر مستعرض.

ميوسين.

تروبوميوسين.

تروبونين.



شكل 1-32 نظرية الخيوط المنزلقة.

إضاءة على عالم

ليوناردو دا فينشي 1519 – 1452

شكل 1-33 ليوناردو دا فينشي.

ولد ليوناردو دا فينشي (**الشكل 1-33**) في 15 أبريل 1452 بالقرب من مدينة فينشي، إيطاليا. بدأ حياته متدرّبًا لدى النحّات والرسام أندريا دل فروشيو في فلورنسا. وبحلول العام 1478، أصبح رسّامًا محترفًا. وفي العام 1483، انتقل إلى ميلانو للعمل مهندسًا ونحاتًا ورسامًا ومهندسًا معماريًا. بعد عودته إلى فلورنسا، رسم عدة لوحات، بما فيها واحدة من أكثر اللوحات شهرة في العالم، «الموناليزا». رسم دافينشي في عدة مدن إيطالية حتى العام 1517، حيث انتقل إلى قلعة كلوس في فرنسا، وتوفي فيها في 2 مايو 1519.

بسبب لوحاته الشهيرة، عُدَّ دافينشي في المقام الأول فنانًا. لكنّ آلاف الصفحات من دفاتر ملاحظاته الأصلية تكشف أنه كان يتمتّع ببراعة العقل العلمي. لقد كتب ورسم ودرس علم التشريح من أجل رسم شكل الجسم البشري بدقّة أكبر. كانت مخطّطاته ورسوماته التفصيلية ذات طبيعة علمية دقيقة. وقد أظهرت مؤلفاته فهمًا عميقًا للهيكل العظمي والعضلات في كلّ من الحيوانات والإنسان، حتى إنها شملت فيزياء الشمس والظلّ (**الشكل 1-34**). وبيّنت رسوماته التوضيحية فهمًا لكيفية عمل الجسم.

لم يتمّ مطلقًا تحديد بداية قيام ليوناردو بأعمال التشريح. وبحلول تسعينيّات القرن الخامس عشر، نمت دراسته لعلم التشريح كحقل بحث مستقلّ. لقد تمعّن جيدًا في جميع تفاصيل العظام والعضلات والأنسجة. وعلى مدى العشرين سنة التالية، عمل دا فينشي على طاولة التشريح في ميلانو، وفي مستشفيات فلورنسا وروما وبافيا. وتشير الأرقام إلى أنه أنجز 30 تشريحًا على الأقلّ لجُثَثٍ بشرية.

شكل 1-34 رسم لليوناردو دا فينشي يوضّح دراسة لعضلات الحصان.

الوحدة 1

مراجعة الوحدة

الدرس 1-1 تشريح العضلات

- يستخدم الأطباء والباحثون **الوضع التشريحيّ القياسي Standard anatomical position**، والمنظر **الخلفيّ Posterior**، **والأماميّ Anterior**، **والجانبيّ Lateral** لوصف الجسم.
- يوجد 11 **جهازًا Organ system** رئيسًا في جسم الإنسان، تتضمّن الجهاز العضليّ والهيكل العظميّ.
- تحتوي الأعضاء على نسيج أو أكثر من أربعة أنواع مختلفة من الأنسجة الأساسية.
- تتكوّن العضلات من **حُزَم عضلية Fasicles** تحتوي على **ألياف (خلايا) عضلية Muscle fibers**. يحتوي الليف العضلي على **لُيَيْفات عضلية Myofibrils** مكوّنة من مناطق انقباض تُسمّى **القطع العضلية Sarcomeres**.
- **العضلات الهيكليَّة Skeletal muscle**، **والقلبيّة Cardiac muscle**، **والملساء Smooth muscle** هي ثلاثة أنواع من عضلات الفقاريّات.
- تؤدي **المجموعة العضلية Muscle group** وظيفة واحدة، أو حركة واحدة للجسم.
- تربط **الأوتارُ Tendon** العضلات بالعظام، وترتبط العظام في المفاصل بوساطة **الأربطة Ligament**.
- تعمل العضلات في أزواج متضادة بكونها **ناهضة Agonist**، أو **مناهضة Antagonist**.
- طرف العضلة الذي يرتبط بعظم ثابت يُسمّى **منشأ العضلة Origin**، ويُسمّى الطرف الذي يرتبط بعظم متحرّك **مغرس العضلة Insertion**.

الدرس 1-2 الخصائص الوظيفية للعضلات

- تشرح نظريّة **الخيوط المنزلقة Sliding filament theory** كيف يعمل **الأكتين Actin والميوسين Myosin** على انقباض الليف العضليّ بتحكّم من **التروبوميوسين Tropomyosin والتروبونين Troponin**.
- تنقبض القطع العضلية بين **خطوط Z Z lines وخطوط M M lines**.
- تحفز الخلايا العصبية الحركية إطلاق أيونات Ca^{2+} من **الشبكة البلازمية العضلية (SR) Sarcoplasmic reticulum** لبدء انقباض العضلة.
- ينزلق الأكتين والميوسين أحدهما على الآخر من خلال **جسر مستعرض Cross – bridge**.
- تتوافر الطاقة لانقباض العضلات من التحلّل المائي لجزيئات ATP إلى ADP و P_i.
- تُخزن كمية قليلة من ATP في العضلات، تتجدَّد بسرعة من خلال **فوسفات الكرياتين Creatine phosphate**. يجدّد التنفّس الهوائي والتنفّس اللاهوائي ATP في العضلات بمعدل أبطأ.
- يوجد نوعان من الخلايا العضلية: **سريعة الانقباض Fast twitch وبطيئة الانقباض Slow twitch**.
- تنتج **الانقباضات متساوية الجهد Isotonic contractions** قوّة وتغيّرًا في طول العضلة. وتنتج **الانقباضات متساوية القياس Isometric contractions** قوّة، وتحافظ على طول ثابت.
- تشمل خصائص الأنسجة العضلية: **المرونة Elasticity**، **والانقباض Contractility**، **والاستثارة Excitabilty**.

تقويم الوحدة

تحضير للاختبار

1. أيٌّ سطح في الوضع التشريحي القياسي يبيّن مفصل المرفق؟
   a. الأمامي.
   b. الخلفي.
   c. الجانبي.
   d. الدماغي.

2. أيٌّ العبارات الآتية غير صحيحة؟ (اختر اثنتين)
   a. يتكوّن النسيج فقط من خلايا حيّة متشابهة.
   b. يوجد ثلاثة أنواع من الأنسجة العضلية في الفقاريّات.
   c. تتكوّن الأعضاء من نوع واحد من الأنسجة أو أكثر.
   d. لدى الإنسان ثلاثة أجهزة: الأعضاء الداخلية، الأعصاب/ الدماغ، العضلات/ الهيكل العظمي.

3. أيٌّ جهاز يعمل مباشرة مع العضلات للبدء بحركة إرادية؟
   a. الجهاز التنفسي.
   b. الجهاز العصبي.
   c. الجهاز الدوري.
   d. الجهاز اللحافي.

4. لماذا ترتبط العضلات بالعظام؟ يُتوقَّع أكثر من إجابة صحيحة.
   a. يمكن أن تولّد العضلات قوًى إذا كان أحد الطرفين مثبّتًا بالعظم.
   b. يمكن للعضلات المنقبضة تغيير اتجاه القوى.
   c. يمكن للعضلات المنبسطة سحب العظام في اتجاه معاكس.
   d. تعمل العظام كروافع لتوجيه عمل القوى.

5. أيٌّ من التراكيب الآتية يوجد في كلّ من جناح الدجاجة وذراع الإنسان؟ اختر كلّ الإجابات الصحيحة.
   a. الأوعية الدموية.
   b. الأوتار.
   c. عظم العضد.
   d. عظم الفخذ.

6. أيٌّ من الآتي مثال على الانقباض متساوي القياس؟
   a. هزّ الكتفين.
   b. قضم تفاحة.
   c. حبس النَفَس.
   d. تحريك الحاجبين.

7. ما الوحدة الأساسية للانقباض في العضلة الهيكلية؟
   a. الليف العضلي.
   b. اللُيَيْفة العضلية.
   c. الخيط العضلي.
   d. القطعة العضلية.

8. لماذا تكون العضلات في الدجاج داكنة اللون في موضع، وفاتحة في موضع آخر؟
   a. تحتوي العضلات الداكنة على مقدار أقلّ من الميوجلوبين في أليافها ذات الانقباض السريع.
   b. تكون خيوط البروتين التي تكوّن الخلايا العضلية الداكنة مخطَّطةً.
   c. تحتوي على ألياف عضلية مخطّطة تغيّر مظهرها.
   d. تحتوي العضلة ذات اللون الفاتح على عدد قليل جدًا من الألياف الحمر ذات الانقباض السريع.

9. ما التراكيب التي تحتوي على عضلات ملساء؟
   a. بطانة المعدة.
   b. تجويف الأوعية الدموية.
   c. المريء.
   d. جميع ما سبق.

10. فيمَ يختلف نسيج العضلة القلبية عن نسيج العضلة الهيكلية؟
   a. توجد فراغات بين خلايا نسيج العضلة القلبية.
   b. العضلة الهيكلية مخطّطة، أمّا العضلة القلبية فهي غير مخطّطة.
   c. تعمل العضلة القلبية إراديًا، أمّا العضلة الهيكلية فهي تعمل لاإراديًا.
   d. تحتوي كلّ خلية في العضلة القلبية على عدد أكبر من النُوى.

11. ما أفضل شرح لدور الميوسين في نظرية الخيوط المنزلقة؟
   a. الميوسين خيوط رفيعة تسحب التروبوميوسين.
   b. تكوّن رؤوس الميوسين جسورًا مستعرضة ترتبط بالأكتين لسحبه.
   c. الميوسين خيوط سميكة تستخدم رؤوسها في دفع تروبونين بعيدًا.
   d. يتناوب الميوسين عند خطوط M لتحريك الأكتين نحو خطوط Z.

12. ما الذي يمدّ العضلات بالطاقة بأسرع ما يمكن؟
   a. ATP المخزّن.
   b. فوسفات الكرياتين.
   c. التنفّس الهوائي.
   d. التنفّس اللا هوائي.

13. ما النشاط الذي يُطلق جميع الانقباضات العضلية؟
   a. التحلل المائي لـ ATP.
   b. إطلاق أيونات الكالسيوم.
   c. ارتباط رأس الميوسين بخيوط الأكتين.
   d. إطلاق ADP و P_i.

أسئلة الإجابات القصيرة

الدرس 1-1 تشريح العضلات

14. ارسم مخطّطًا لزوج من العضلات في الوحدة.

a. أذكر اسم كلّ عضلة.

b. بيّن، باستخدام الأسهم، كيف تتحرّك العضلتان.

15. اذكر مثالًا عن نشاط يدفع العضلة إلى الانقباض مع الحفاظ على طولها من دون تغيير.

16. اذكر مثالين على أنسجة ضامة، وصف دور كلّ منهما في عمل العضلات الهيكلية والعظام.

17. استفد من الإنترنت أو المكتبة في البحث عن مجموعة عضلية أو زوج من العضلات في الرأس أو اليد أو القدم، كي:

a. تشرح ما تفعله المجموعة أو الزوج.

b. تحدّد العضلة الناهضة.

c. تحدّد العضلة المناهضة.

18. اذكر فرقين بين العضلات القلبية والعضلات الهيكلية والعضلات الملساء.

19. فيمَ تختلف وظيفتا الأوتار والأربطة؟

20.* صف العضلات الناهضة والعضلات المناهضة لحركة الرسغ إلى أعلى، ثم إلى أسفل.

الدرس 1-2 الخصائص الوظيفية للعضلات

21. أكتب جملة أو جملتين لوصف أوجه الشبه بين عمل السلم الممتدّ وعمل الأكتين والميوسين في العضلة.

22. أرسم مخطّطًا يبيّن كيفية تناوب خيوط الأكتين والميوسين في التركيب لينزلقا معًا.

a. حدّد القطعة العضلية

b. عيّن خط M وخطوط Z.

c. اشرح ما يحدث للقطع A و I وعيّنهما على المخطّط.

23.* أيُّ حيوان لديه طبيعيًّا عضلات داكنة أكثر، مقارنة بالعضلات الفاتحة: الفهد أم سمكة القاع المسطّحة؟ فسّر إجابتك.

24. صف وظائف كلّ من (a) و(b) في المخطّط المقابل في أثناء عملية انقباض العضلة وانبساطها.

25. أرسم مخطّطًا يوضّح شكل رأس الميوسين مع ATP، وشكله مع ADP و P_i. استخدم مخطّطك لتشرح في جملة أو جملتين كيف تُنتَج قوّة الانقباض.

26. ابحث عن سبب أهمية صحّة العضلات للحفاظ على وظيفة المفاصل، ثم اختر جانبًا للمناقشة والدعم في ملخّص من صفحة واحدة. ما الأكثر تسبّبًا في الضرر للمفاصل: رياضات الاحتكاك الجسدي، أم الشيخوخة، أم المرض؟

27. أيٌّ من آليات الطاقة الأربع يمكن أن تعطي معظم الطاقة لانقباض العضلات بعد 20 ثانية من تمرين مستمرّ؟

28. صف عملًا يتضمّن انقباضًا متساوي القياس للعضلة.

29. صف نتيجة محتملة مرتبطة بالعضلات لمرض يقلّل من كمّية أيونات الكالسيوم في الجسم.

صمّم نموذجًا

صمّم نموذجًا عاملًا لذراع أو ساق أو يد باستخدام موادّ بناء أو موادّ حرفية بسيطة. تأكّد من أن نموذجك يلبّي المتطلّبات الآتية:

- **a.** يمثّل النموذج على الأقل زوجَيْن من العضلات يعمل أحدهما عكس الآخر.
- **b.** يشتمل النموذج على مفصل، مثل مفصل جسميّ واحد أو أكثر.
- **c.** لا يكون النموذج ثابتًا في مكانه، لكن يمكنه، عند تنشيط العضلات، عرض الفعل أو الحركة الصحيحة عند المفصل.
- **d.** يشتمل النموذج على مفتاح يبيّن أسماء العضلات والعظام والمفاصل والتركيب الذي يمثّله هذا المفتاح.

الوحدة 2
الجهاز الدّورانيّ
The Circulatory System

في هذه الوحدة

الدرس 2-1: الدم واللمف

الدرس 2-2: الجهاز القلبي الوعائي

الدرس 2-3: أمراض القلب والأوعية الدمويّة والوقاية منها

B1201
B1202
B1203
B1204
B1205
B1206

الوحدة 2

مقدّمة الوحدة

تمتلك الحيوانات أنواعًا مختلفة من الأجهزة الدورانية: الحيوانات اللافقارية، بما فيها الحشرات، لها جهاز دوراني مفتوح، وفيه سائل لمف دموي hemolymph يحيط بالأعضاء من دون شرايين أو أوردة. أمّا الفقاريات كالإنسان فتمتلك جهازًا قلبيًا وعائيًا cardiovascular system يحتوي على الدم داخل شبكة من الأوعية الدموية تضمّ شرايين وأوردة.

يضخّ القلب الدم في كلّ الفقاريات بشكل نشط، غير أن القلب يختلف في طوائف الفقاريات المختلفة: قلب الأسماك يتكوّن من حجرتين، أمّا قلب الحيوانات البرمائية فيتكوّن من ثلاث حجرات، ويتكوّن القلب في الطيور والثدييات من أربع حجرات. تبلغ دقّات قلب الإنسان منذ ولادته حتى متوسّط عمره ما يقرب من 2.5 مليار مرة، يضخّ القلب فيها دمًا يكفي لملء ثلاث ناقلات نفط كبيرة.

تمتلك الثدييات ذوات الفكين أيضًا جهازًا لمفاويًا lymphatic system يدور فيه سائل اللمف، وهو سائل يختلف عن الدم. ستتعلّم في هذه الوحدة الجهاز الدوراني في الإنسان الذي يتكوّن من الجهاز القلبي الوعائي الذي ينقل الدم، والجهاز اللمفاوي الذي ينقل سائل اللمف.

الأنشطة والتّجارب

2-1 تصميم نموذج لدم الإنسان

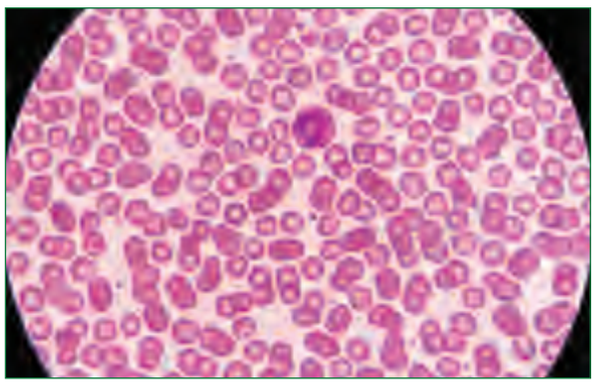
2-3 قياس ضغط الدّم

الدرس 2-1

الدّم واللّمف

Blood and Lymph

تحتوي جميع الفقاريّات، بما في ذلك الإنسان، على الدم واللمف. يحتوي دم الإنسان على خلايا دم حمراء بلا أنوية. لا يحتوي اللمف على خلايا دم حمراء ويجري في أوعية مختلفة.



شكل 2-1 خلايا الدم الحمراء في الإنسان ليس لها أنوية.

مخرجات التّعلُّم

B1201.1 يُعد قائمة بمكونات الدم الرئيسة.

B1201.2 يشرح كيف تتلاءم خلايا الدم الحمراء لنقل الأكسجين من الرئتين إلى الأنسجة.

B1201.3 يصف كيف يتم نقل ثاني أكسيد الكربون في الدم من الأنسجة إلى الرئتين، بما في ذلك دور إنزيم كربونيك أنهيدريز.

B1201.4 يشرح ويقيّم تأثير تركيز ثاني أكسيد الكربون في الارتباط وإطلاق الأكسجين من الهيموجلوبين في خلايا الدم الحمراء، بما في ذلك تأثير بور.

B1202.1 يذكر تداعيات إصابة أحد الأوعية الدموية، بما في ذلك التشنج الوعائي، وتشكّل سدادة الصفائح الدموية وتشكّل الجلطة.

B1202.2 يصف مراحل تجلط الدم (الأحداث المتعاقبة في التخثر)، ويشرح الأدوار الوقائية لتخثر الدم

B1203.1 يميّز بين السائل النسيجي واللمف.

B1203.2 يصف تكوّن السائل النسيجي من الدم وتكوّن اللمف من السائل النسيجي.

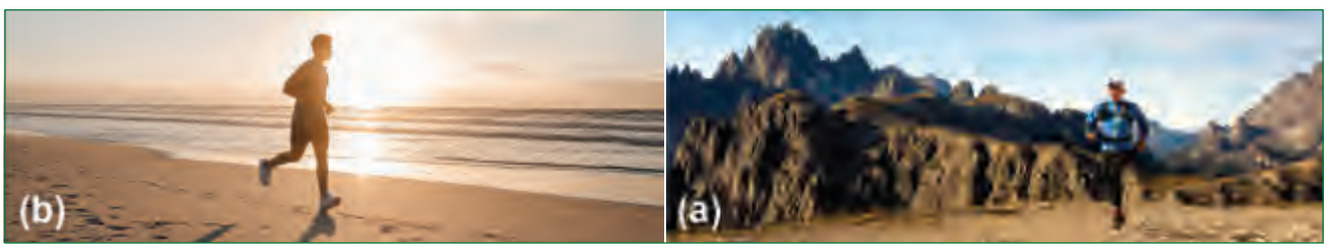
المفردات

Plasma	البلازما
Platelets	الصفائح الدموية
Hemoglobin	الهيموجلوبين
Bohr shift	تأثير بور
Carbonic anhydrase	كربونيك أنهيدريز
Hemostasis	وقف نزف الدم (الإرقاء)
Vascular spasm	التشنّج الوعائي
Platelet plug	سدّادة الصفائح الدموية
Fibrin	الفايبرين
Scab	قشرة الجرح (الجُلبة)
Clotting cascade	الأحداث المتعاقبة في التخثّر
Cardiovascular system	الجهاز القلبي الوعائي
Lymphatic system	الجهاز اللمفاوي
Lymph vessel	الوعاء اللمفاوي
Lymph node	العقدة اللمفاوية
Interstitial fluid (ISF)	السائل البيني (النسيجي)
Lymph	اللمف
Thalassemia	الثلاسيميا

الدم والأداء الرياضي

لماذا يتدرّب بعض رياضيي النخبة في مناطق مرتفعة؟

فرضت الفيفا في العام 2007 حظرًا على إقامة مباريات كرة القدم الدولية على ارتفاع أكثر من2500 م فوق مستوى البحر، معللةً ذلك بمخاوف على صحّة اللاعبين ووجود ميزة «غير عادلة» للفرق المحلية المتكيّفة مع الارتفاعات العالية.



شكل 2-2 التدريب في المناطق المرتفعة والتنافس في المناطق المنخفضة.

يحفز مستوى الأكسجين المنخفض في المناطق المرتفعة الجسم على إنتاج المزيد من خلايا الدم الحمراء. يُعدُّ تركيز خلايا الدم الحمراء المرتفع ميزة عند التنافس في الأماكن المنخفضة، حيث تتوافر كميات أكبر من الأكسجين (**الشكل 2-b2**) ، لذلك، فإنّنا نجد أن كثيرًا من رياضيي التحمّل يتدرّبون في أماكن مرتفعة (**الشكل 2-a2**).

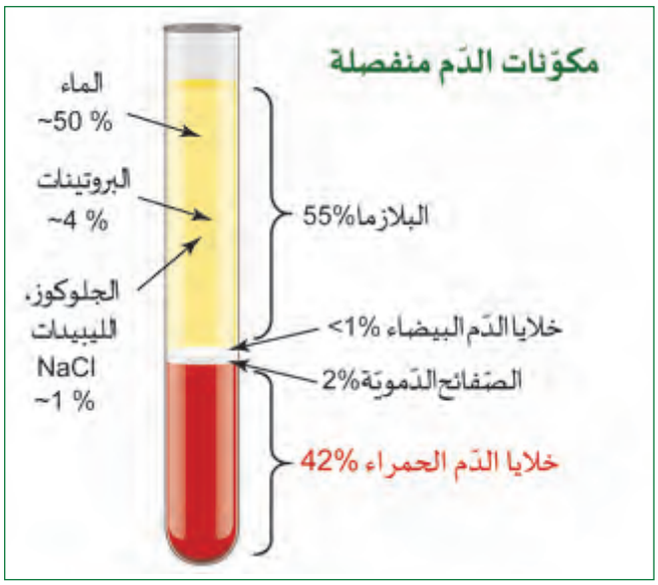
شكل 2-3 مريض ينقل إليه الدم.

يُعدُّ نقل الدم إجراءً طبيًّا يتلقّى فيه الشخص الدم من مصدر خارجي (**الشكل 2-3**). تُنقِذ عمليات نقل الدم الأرواح في حالات الإصابة أو أثناء الجراحة. يتبرّع كثير من الناس الكرماء بالدم ليكون ذلك مصدرًا لعمليّات نقل الدم. ويقوم الجسم السليم بتجديد الدم المفقود في غضون أسابيع قليلة.

يستخدم بعض الرياضيين إجراءً غير مشروع يسمّى **«نقل الدم الذاتي» Autologous transfusion**، حيث يتمّ جمع الدم من الرياضيّ في منطقة مرتفعة، ويُخزن ثم ينقل ويُعطى للرياضيّ نفسه قبل المنافسة (**الشكل 2-3**). تُعدُّ عمليات نقل الدم الذاتي طريقة **لتنشيط الدم Blood doping**. يتضمّن تنشيط الدم عدّة طرائق غير مشروعة للتفوّق عن طريق تغيير مستوى الهيموجلوبين، وهو البروتين الذي يحمل الأكسجين في خلايا الدم الحمراء.

من الطرائق الأخرى غير المشروعة والشائعة لتنشيط الدم حقن البروتين المعروف باسم **الإريثروبويتين Erythropoetin** (EPO). والإريثروبويتين هو هرمون طبيعيّ يحفز إنتاج خلايا الدم الحمراء. يوجد أيضًا إريثروبويتين اصطناعي، وهو يُستخدم في الطبّ لعلاج مرضى فقر الدم. يَحقن الرياضيون أنفسهم بـEPO لزيادة إنتاج خلايا الدم الحمراء. ومن الجدير بالذكر أنّ كلّ اتحادات أنواع الرياضات الكبرى قد منعت إجراء هذا الحقن لأنّ زيادة عدد خلايا الدم الحمراء عن المعدل الطبيعي قد يؤدّي إلى أزمة قلبية أو سكتة دماغية.

مكوّنات دم الإنسان



شكل 2-4 مكوّنات الدّم.

الدم هو محلول ومستعلق غرويّ في آن معًا. تشكّل بلازما الدم % 55 من الدم. تُعدُّ البلازما محلولًا مائيًّا لكونها تحتوي على الكثير من الموادّ الصلبة والأملاح والسكّريات والغازات الذائبة (**الشكل 2-4**). والدم هو مستعلق لأنَّ خلايا الدم الحمراء والبيضاء والصفائح الدموية معلّقة في البلازما. تكوّن هذه الجسيمات الثلاثة % 45 من الدم تقريبًا. الدم محلول غروي لأنه يحتوي على كثير من البروتينات المنتشرة في البلازما من غير أن تكون ذائبة فيه. يؤدّي الدم وظائف حيوية متعدّدة في جسم الإنسان، منها:

1. نقل الموادّ الغذائية والغازات من الخلايا وإليها.
2. توزيع الهرمونات عبر أنحاء الجسم المختلفة.
3. تخليص الأنسجة من الفضلات الأيضية ونقلها إلى أعضاء الإخراج للتخلّص منها.
4. وقف نزف الدم بعد الإصابة (الإرقاء).
5. تزويد الجسم بالمناعة ضد مسبّبات الأمراض.
6. المساعدة في التنظيم الحراري للجسم.

خلايا الدم الحمراء هي المكوّن الرئيس في الدم (الشكل **a5-2**). سوف نرى لاحقًا أن وظائفها الأولية هي نقل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون.

تحتوي الصفائح الدموية على بروتين خاص يمكنه إصلاح الأضرار التي تحدث في جُدُر الأوعية الدموية (**الشكل b5-2**). من دون هذه الخلايا لا تلتئم الكدمات والجروح. يؤدّي كلّ نوع من أنواع خلايا الدم البيضاء الخمسة وظيفة وقائية في جهازنا المناعي (**الشكل c5-2**). سنناقش وظيفة كل نوع من خلايا الدم البيضاء في الوحدة 7.

شكل 2-5 (a) خلايا الدم الحمراء، و(b) الصفائح الدمويّة، و(c) خلايا الدم البيضاء.

1-2 تصميم نموذج لدم الإنسان

سؤال الاستقصاء	ما مكوّنات الدّم؟ وكيف يمكن فصلها؟
الموادّ المطلوبة	مجاهر، شرائح مسحات الدم، أنابيب اختبار ذات أغطية ملولبة، قموع، حامل أنابيب الاختبار، عيّنات دم اصطناعي، مقصّ، زجاجة مشروب غازي، خيط متين، قلم تعليم، مسطرة مترية.

الخطوات - اليوم 1

1. اعملْ ضمن فريق، اطلب من الزميل الأوّل إعداد جهاز للطرد المركزي من زجاجة المشروب الغازي وفقًا لتوجيهات ورقة العمل.
2. يجب أن يقوم الزميل الثّاني بإعداد وتسمية أنابيب الاختبار لثلاث عيّنات دم لمرضى مُسمّاة A وB وC.
3. اخرجْ من غرفة الصف أو إلى مكان آمن، وقمْ بتدوير كلّ عيّنة دم باستخدام جهاز الطرد المركزيّ لمدة 90 ثانية. عندما يتمّ تدوير جميع العيّنات، ضعْها بعناية على حامل الأنابيب حتى الصباح، وامضِ إلى ملاحظة شرائح الدّم.

الخطوات - اليوم 2

1. سجّلْ جميع الملاحظات على عيّنات الدم المدوّرة في الجدول 1 من ورقة العمل.
2. قِسْ بالمسطرة كلّ طبقة إلى أقرب ملليمتر من أسفل أنبوب الاختبار.
3. قدِّر النسبة المئويّة لخلايا الدم الحمراء بحسب ارتفاع طبقة RBC وقسمته على الارتفاع الكلّي لكلّ الطبقات مجتمعة.
4. قدِّر النسبة المئويّة للبلازما بحسب ارتفاع طبقة البلازما والقسمة على الارتفاع الكلّي لكلّ الطبقات مجتمعة.
5. نظِّفْ أنابيب الاختبار الخاصّة بك وفقًا لتعليمات المعلّم.
6. استخدمْ هذه القيم وسجلّات المرضى وجدول البيانات المقدّم لتحديد صحّة كلّ مريض.

الملخّص

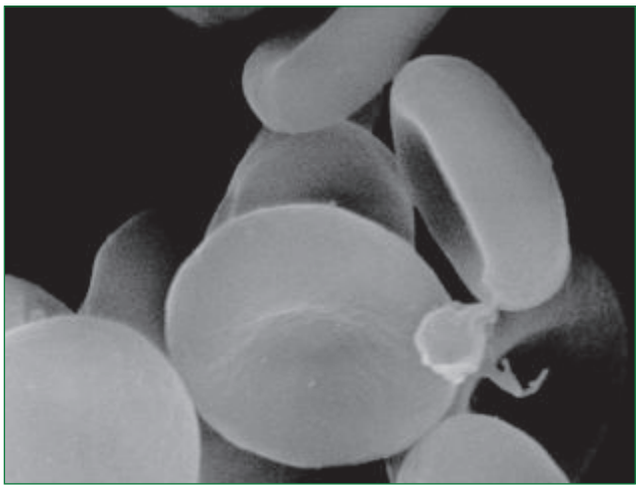
اجمع بيانات عيّنة الدم لجميع الطلاب في الصفّ، واستكمل جميع التحليلات والأسئلة على ورقة العمل الخاصّة بك.

طوّرْ نموذجك

أمعن النظر في خصائص كلّ مكوّن من مكوّنات الدّم. استخدم الأدوات الحِرفيّة، أو الموادّ المنزليّة أو الأطعمة لإنشاء نموذج أكثر اكتمالًا من مكوّنات الدّم التي سوف تنتج طبقات أكثر دقّة.

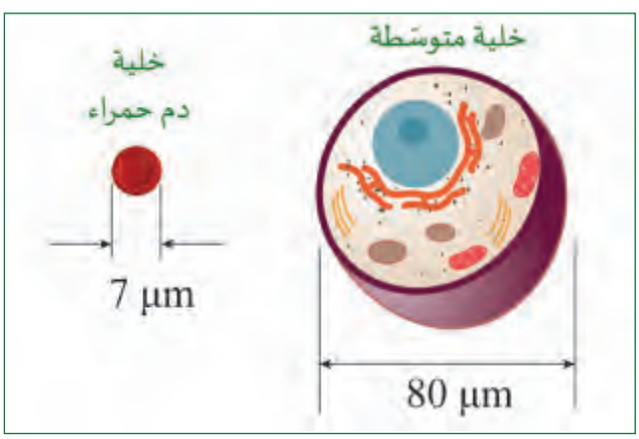
خلايا الدّم الحمراء

تُشكّل خلايا الدم الحمراء معظم المكوّنات الخلوية للدم؛ ولذلك، فإنَّ الدم يبدو أحمر اللون (**الشكل 2-6**). تعمل خلايا الدم الحمراء على نقل الأكسجين وتساعد في نقل غاز ثاني أكسيد الكربون. وقد تكيَّفت لأداء هذه المهمة بعدة طرائق، نذكر منها:



شكل 2-6 خلايا الدّم الحمراء (RBCs) (SEM، 8400x).

1. يبلغ عدد خلايا الدم الحمراء (5-6) مليون/ مايكروليتر مشكّلةً ما نسبته 70 % إلى 84 % من مجموع خلايا الجسم كلّه.
2. شكلها مسطح ومقعرة الوجهين في الوسط لتوفير مساحة سطحية أكبر لتبادل الغازات (**الشكل 2-6**).
3. مرنة وصغيرة الحجم، يبلغ قطرها 7 مايكروميتر (**الشكل 2-7**)، ما يسمح لها بالمرور من خلال الشعيرات الدموية الضيقة.



شكل 2-7 خلايا الدّم الحمراء صغيرة مقارنة بخلايا الجسم الأخرى.

4. **الهيموجلوبين Hemoglobin** هو بروتين متخصّص ينقل الأكسجين. وإذا استبعدنا الماء، فإنّ الهيموجلوبين يشكّل 95 % من خلية الدم الحمراء. تحتوي خلية الدم الحمراء الواحدة على 270 مليون جزيء هيموجلوبين.
5. عندما تنضج كريات الدم الحمراء، فإنّها تفقد الكثير من عضياتها الداخلية كالنواة والشبكة الأندوبلازمية والميتوكندريا (**الشكل 2-7**) وذلك لإفساح المجال للمزيد من جزيئات الهيموجلوبين. من دون الميتوكندريا تلجأ خلايا الدم الحمراء إلى التنفّس اللاهوائي (التخمّر اللبني) لتحصل على الطاقة اللازمة.

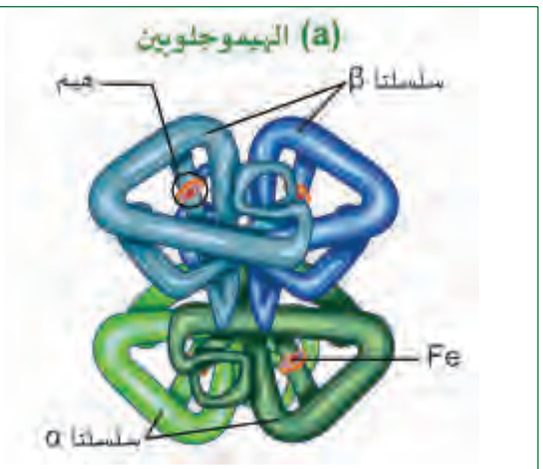
لا تحتوي خلايا الدّم الحمراء على أنوية أو ميتوكندريا أو شبكة إندوبلازميّة ER، ولا تنقسم لتتضاعف.

يجعل فقدان العضيات خلايا الدم الحمراء تفتقر إلى الآليات الخلوية المسؤولة عن بناء البروتينات والتضاعف. تعيش خلايا الدم الحمراء 120 يومًا تقريبًا. ويُقدّر أن الشخص يفقد 3 ملايين خلية دم حمراء ويعوّضها في كل ثانية.

يتمّ إنتاج خلايا الدم في نخاع العظم الأحمر عن طريق خلايا كاملة القدرة. تتطوّر هذه الخلايا إمّا إلى خلايا دم بيضاء أو إلى خلايا دم حمراء أو إلى صفائح دموية، أو إلى شيء آخر عند تمايزها.

الهيموجلوبين وتبادل الغازات

إنّ وظيفة جزيء الهيموجلوبين هي الارتباط بالأكسجين وحمله ونقله من الرئتين وإطلاقه في أنسجة الجسم. الهيموجلوبين هو بروتين كرويّ كبير يتكوّن من أربع وحدات فرعيّة تتألّف من سلسلتَيْ ألفا جلوبين وسلسلتَيْ بيتا جلوبين، حيث تكون سلسلة ألفا أصغر قليلًا (141 حمضًا أمينيًا) من سلسلة بيتا (146 حمضًا أمينيًا). يحتوي كلّ جلوبين على مجموعة هيم *heme* (**الشكل 2-8a**)، وهو مركّب عضوي يحتوي على ذرّة حديد، ويمثّل الحديد في جزيئات الهيموجلوبين ما يقرب من 70 % من الحديد الكلي في جسم الأنسان. يمكن لكلّ مجموعة هيم أن تربط جزيء أكسجين واحدًا (O_2). لذا، يمكن لجزيء الهيموجلوبين أن يحمل أربعة جزيئات من الأكسجين (**الشكل 2-8b**).



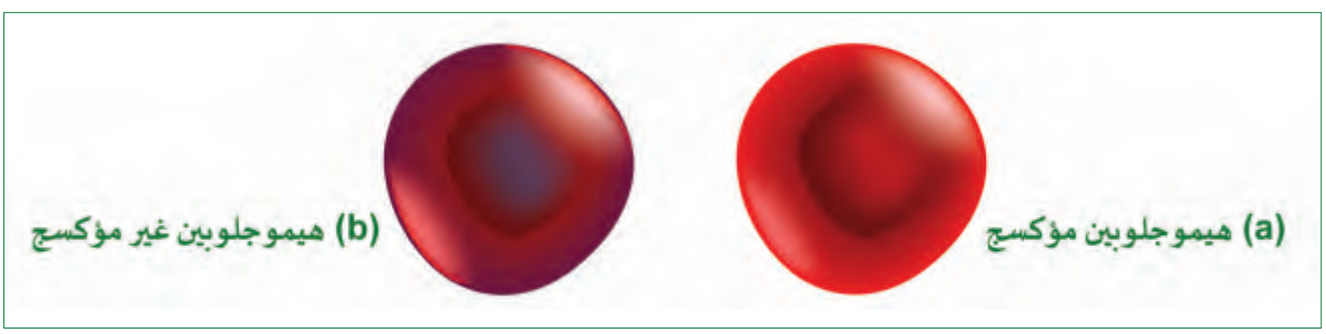
(b)

$Hb + 4O_2 \rightleftarrows HbO_8$

هيموجلوبين غير مؤكسج (عند الأنسجة) + أكسجين ⇄ هيموجلوبين مؤكسج (عند الرئتين)

شكل 2-8 (a) في الهيموجلوبين أربعة جلوبين، واحد على كل زاوية. يحيط كل جزيء جلوبين بمجموعة هيم. (b) يتفاعل جزيء الهيموجلوبين مع أربعة من جزيئات الأكسجين لتكوين الهيموجلوبين المؤكسج.

إنّ تفاعل الأكسجين مع الهيموجلوبين انعكاسي (**الشكل 2-8b**). في الرئتين يكون تركيز الأكسجين أعلى ممّا هو في الدم، فيميل التفاعل إلى تكوين HbO8 لزيادة تركيز الأكسجين في الدم، ويكون لون خلايا الدم الحمراء المؤكسجة أحمر زاهيًا (**الشكل 2-9a**).



شكل 2-9 (a) الهيموجلوبين المؤكسج يحوّل لون خلايا الدّم الحمراء إلى اللون الأحمر الزاهي. (b) عندما تفقد الأكسجين يصبح لون خلايا الدم الحمراء غامقًا.

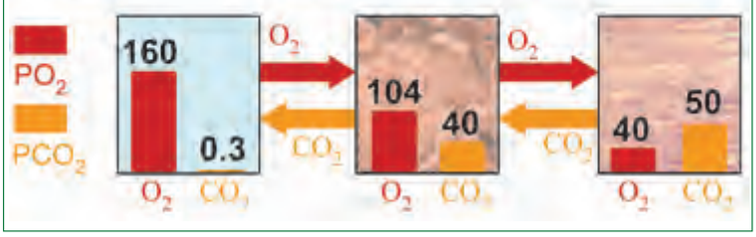
يكون تركيز الأكسجين في الأنسجة أقلّ من تركيزه في الدم. لذا، فإنَّ التفاعل ينعكس لصالح التفكّك: $HbO_8 \rightarrow Hb + 4O_2$، فينطلق الأكسجين ليتمّ استخدامه من قبل الخلايا. تتحوّل خلايا الدم الحمراء إلى اللون الأحمر-الأرجواني عندما تصبح غير مؤكسجة في الأوردة كما هو موضّح في (**الشكل 2-9b**).

نقل الأكسجين ومنحنى تفكّك الهيموجلوبين

تنتشر الغازات، مثل المذابات الأخرى، مع منحدر التركيز كما هو موضّح في **الجدول 1-2**. يُقاس تركيز O_2 وCO_2 بالضغط الجزئي (partial pressure) PO_2 وPCO_2 بوحدات ملليمتر زئبق mm Hg.

الضغط الجزئي للأكسجين في الهواء الخارجي PO_2 هو (160 mmHg) أمّا الضغط الجزئي لثاني اكسيد الكربون PCO_2 فهو (0.3 mmHg) .

	الحويصلات الهوائية	الدم	الأنسجة عند الراحة
PO_2	160	104	40
PCO_2	0.3	40	50



الجدول 1-2 تركيز O_2 و CO_2 في الحويصلات الهوائية، والدم، وأنسجة الجسم عند الراحة.

- PO_2 الطبيعي للدم 104 و PCO_2 الخاص به 40.
- PO_2 أنسجة الجسم الطبيعي أقلّ من 40 وPCO_2 الخاصّ بها أكثر من 50.

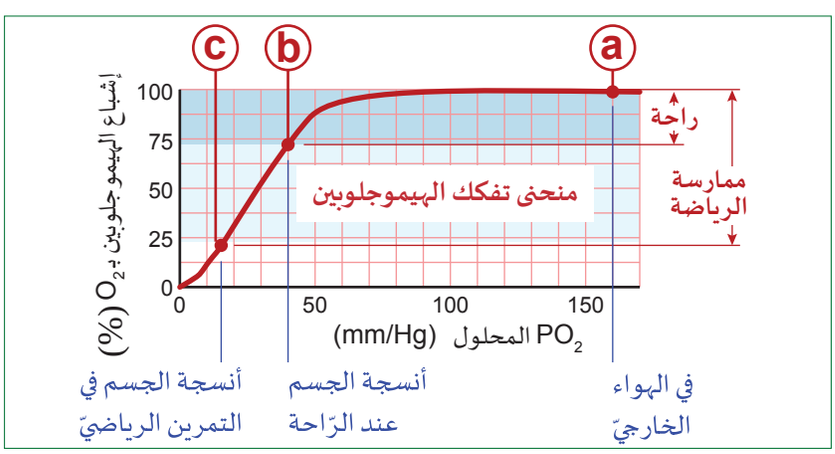
يسهّل منحدر الضغط انتشار الـO_2 من الهواء في الحويصلات الهوائية (الرئتين) إلى الدم وأنسجة الجسم، أمّا منحدر الضغط المقابل فيسهّل انتشار CO_2 من أنسجة الجسم إلى الدم ثم إلى الهواء في الحويصلات الهوائية ليخرج بعد ذلك من الرئتين بالزفير.

يمثّل **الشكل 2-10** منحنى تفكّك الهيموجلوبين. يُظهر المنحنى العلاقة بين PO_2 ومستوى إشباع الهيموجلوبين بالأكسجين. ويمكن أن نستنتج منه ما يأتي:

a. في الرئتين، يكون (PO_2 = 100 mmHg) ويصبح الهيموجلوبين مشبعًا بالأكسجين بنسبة 100 %.

b. عند الأنسجة، يكون (PO_2 = 40 mm Hg). تنخفض نسبة إشباع الهيموجلوبين بالأكسجين إلى 70%، فيتحرّر الأكسجين.

c. تستهلك التمارين الرياضية الأكسجين في الأنسجة حتى يصبح PO_2<20 mm Hg، فيطلق الهيموجلوبين كمّية أكبر من الأكسجين لأنّ نسبة إشباع الهيموجلوبين بالأكسجين تكون 20 % فقط.



شكل 2-10 منحنى تفكّك الهيموجلوبين.

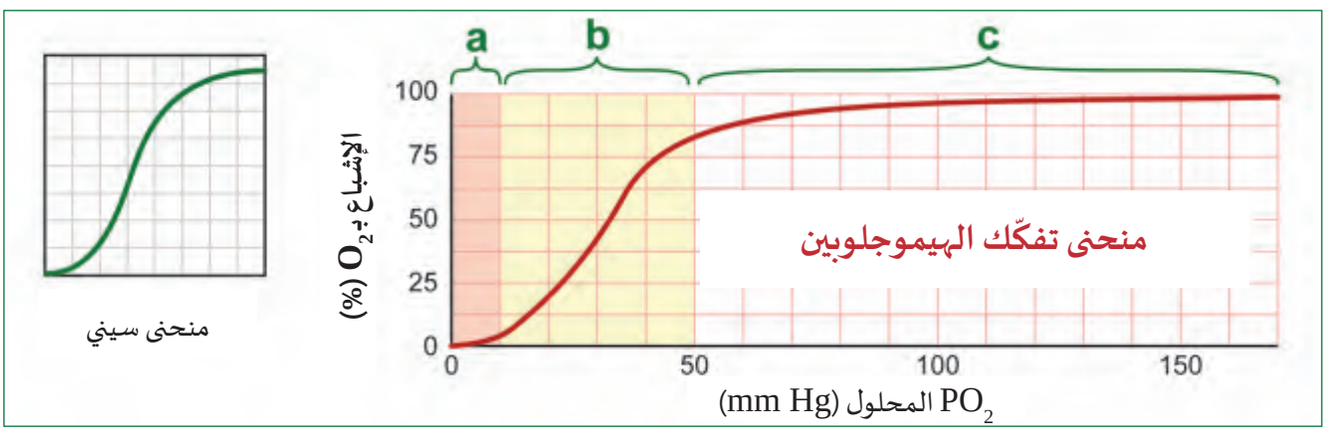
فهم منحنى تفكّك الهيموجلوبين

منحنى تفكّك الهيموجلوبين له شكل سينيّ، ما يعني أن مَيْله ليس ثابتًا (الشكل **2-11**).

a. في الجزء الأول من المنحنى (PO_2<10 mmHg) يكون المَيْل صغيرًا ومعدّل ارتباط Hb بالأكسجين بطيئًا.

b. في الجزء الثاني (PO_2<50 mmHg) يزداد المَيْل، ما يعني أنّ ارتباط Hb بـ O_2 يزداد.

c. في الجزء الأخير من المنحنى (PO_2>50 mm Hg)، تكون نسبة إشباع Hb مرتفعة ومعدّل ارتباط الهيموجلوبين بالأكسجين يبقى ثابتًا تقريبًا، وذلك واضح من المَيْل.

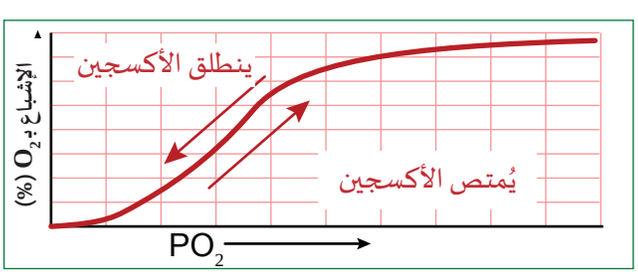


شكل 2-11 تفسير منحنى تفكك الهيموجلوبين.

إنّ قابلية الارتباط بالأكسجين ترجع إلى الخصائص الجزيئية لبروتين الهيموجلوبين. حيث أنّ ارتباط جزيء الأكسجين الأول يسبب تغييرات في بنية الهيموجلوبين، ممّا يكشف مواقع ربط إضافية للأكسجين، وهذا يسرّع ربط جزيئات الأكسجين الأخرى بالهيموجلوبين وتعرف هذه الظاهرة **بالارتباط التعاوني cooperative binding**.

- تزيد قابلية ارتباط الهيموجلوبين بالأكسجين عندما يكون PO_2 مرتفعًا في السائل المحيط. لذلك يرتبط الهيموجلوبين بالأكسجين في الرئتين بسهولة ويصل إلى الإشباع.
- تنخفض قابلية ارتباط الهيموجلوبين بالأكسجين عندما يكون PO_2 منخفضًا في السائل المحيط. في أنسجة الجسم، يكون PO_2 منخفضًا، لذا، فإنّ إشباع الهيموجلوبين بالأكسجين ينخفض، وهذا يسبّب تحرّر الأكسجين من الهيموجلوبين في الأنسجة.

يمكننا معرفة اتجاه نقل الأكسجين من وإلى الهيموجلوبين من منحنى تفكّك الهيموجلوبين. يزداد امتصاص الأكسجين بزيادة قيم PO_2، ويزداد إطلاق الأكسجين بانخفاض قيم PO_2.



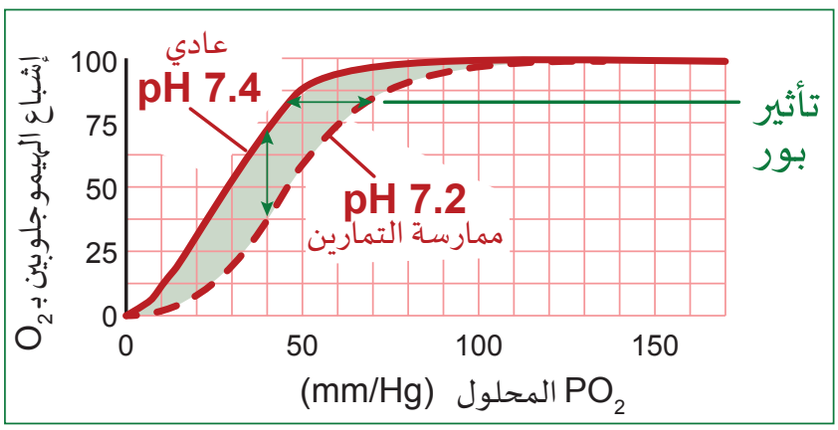
شكل 2-12 تدفق الأكسجين إلى ومن الهيموجلوبين .

الاستجابة الفسيولوجية: تأثير بور

يستخدم الجسم درجة حموضة الدم pH كإشارة كيميائية لإطلاق المزيد من O_2 من الهيموجلوبين أثناء التمارين الرياضية.

a. عند درجة حموضة الدم الطبيعية pH = 7.4 ، يحتفظ الهيموجلوبين بـ 70 % O_2 في أنسجة الجسم مع PO_2 = 40 mm Hg.

b. تنتج التمارين الرياضية ثاني أكسيد الكربون الذي يتحوّل إلى حمض الكربونيك الذي يخفض درجة حموضة الدم pH إلى 7.2. عندما يكون pH الدم 7.2، يتحرّك منحنى تفكّك الهيموجلوبين إلى الأسفل وإلى اليمين (**الشكل 2-13**).



شكل 2-13 منحنى تفكّك الهيموجلوبين في الدم عند أرقام هيدروجينيّة مختلفة.

c. الهيموجلوبين الذي يمرّ عبر الأنسجة مع PO_2 = 40 mmHg يحتفظ الآن بـ 40 % O_2 فقط. الـ 30 % من الأكسجين الفائضة (40 % - 70 %) تتحرّر في الأنسجة. تُسمّى ظاهرة تحرّك منحنى الإشباع بسبب درجة الحموضة **تأثير بور Bohr shift**. يزيد تأثير بور بشكل كبير من كفاءة نقل الأكسجين أثناء التمرين.

العوامل الأخرى التي يمكن أن تسبّب تأثير بور تجملها كلمة (CADET)، والتي تعني ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، وزيادة الحموضة (Acidity)، وإنتاج مركب (2,3-DPG)، والتمارين الرياضية (Exercise)، وزيادة درجة الحرارة (Temperature). ترتبط جميع هذه العوامل بعضها ببعض من خلال التنفّس الهوائي.

يمتاز المركّب (2,3-diphosphoglycerate) 2,3-DPG بالانجذاب العالي نحو الهيموجلوبين غير المؤكسج (في أنسجة الجسم) أكثر من الهيموجلوبين المؤكسج (في الرئتين). تؤدّي الزيادة في 2,3-DPG إلى تحرير المزيد من الأكسجين من الهيموجلوبين عبر تقليل انجذاب الهيموجلوبين للأكسجين. تُنتَج سلائف 2,3-DPG عن طريق تحلّل السكر. إنّ إنتاج 2,3-DPG هي طريقة أخرى للجسم لحفز الهيموجلوبين على إطلاق المزيد من الأكسجين أثناء النشاط الخلوي المرتفع.

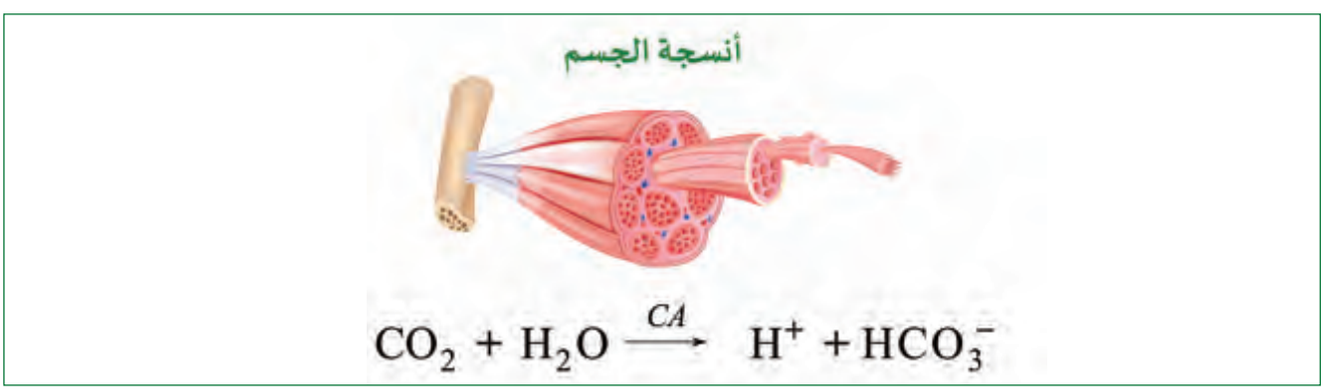
الاستجابة التكيّفيّة للهيموجلوبين لضغوط الأكسجين الجزئية المختلفة هي حيوية ولها ضرورة فسيولوجية للحياة. في بعض الحالات الطبية مثل أمراض الانسداد الرئوي والعيش على مرتفعات عالية، ينقص PO_2 في الرئتين من 100 mm Hg إلى 70 mm Hg. ومع ذلك، فإن تشبع الهيموجلوبين ينخفض بنسبة 3 % فقط ليصبح 97 %.

نقل ثاني أكسيد الكربون

غاز CO_2 هو غاز صغير الحجم، غير ذائب في الماء، وهو سام يجب التخلّص منه باستمرار. ينتقل غاز CO_2 في الجسم وفقَ منحدر تركيزه عن طريق الدم من ضغط جزئي عالٍ في الأنسجة (PCO2 > 50mmHg) إلى منخفض في الرئتين (PCO_2 = 0.3mmHg). إلاّ أنّ ذائبية CO_2 القليلة في الماء تحدُّ من انتشاره في بلازما الدم. لذا، فإننا نجد أنّ جسم الأنسان قد طوّر آليات مختلفة لنقل غاز CO_2. يتمّ نقل غاز CO_2 بثلاث طرائق: 5-7 % منه ذائب في البلازما، 10 % منه مرتبط بالهيموجلوبين، و85 % منه ذائب في البلازما على شكل أيونات البايكربونات.

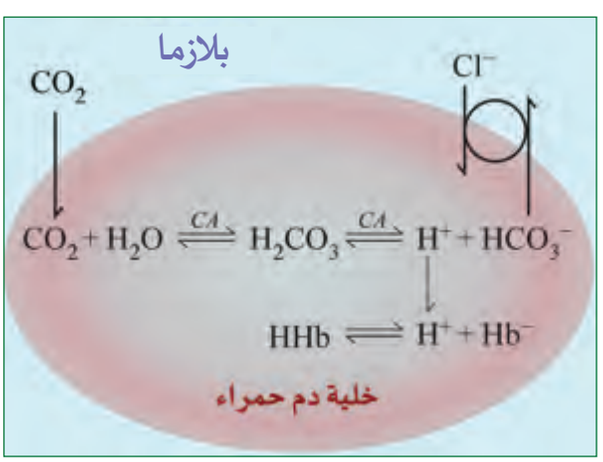
في أنسجة الجسم ينتشر CO_2 من خلايا الجسم إلى البلازما ومن ثم إلى داخل خلايا الدم الحمراء. تحتوي خلايا الدم الحمراء على إنزيم **كاربونيك انهايدريز (Carbonic anhydrase CA)**. يعمل إنزيم الكربونيك انهايدريز على تسريع التفاعل بين CO_2 والماء لتكوين حمض الكربونيك (H_2CO_3) والذي يتفكّك إلى H^+ وبايكربونات (HCO_3^-) (**الشكل 2-14**).

$$CO_2 + H_2O \overset{CA}{\rightleftharpoons} H_2CO_3 \overset{CA}{\rightleftharpoons} H^+ + HCO_3^-$$



شكل 2-14 التفاعلات التي يحفزها الإنزيم كربونيك انهايدريز (CA)

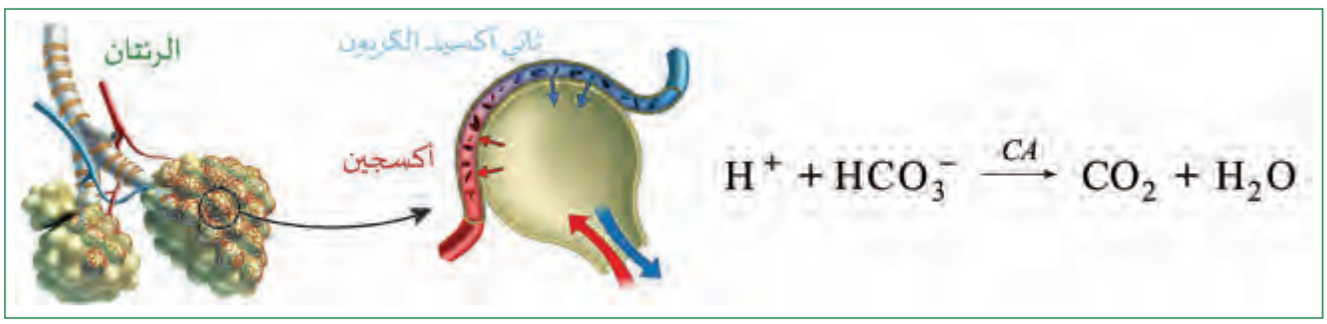
أيونات البايكربونات ذائبة في الماء، وتنتشر بسهولة خارج خلايا الدم الحمراء إلى البلازما. وللمحافظة على الاتزان الكهربائي لخلايا الدم الحمراء، فإنّ أيونات الكلوريد (Cl^-) تنتشر في خلايا الدم الحمراء متبادلة مع HCO_3^- المواقع في ظاهرة تُعرف **بإزاحة الكلوريد** (انظر **الشكل 2-15**). لا تستطيع أيونات الهيدروجين H^+ البقاء في البلازما لأنّ ذلك سيزيد حموضة الدم، فيتمّ ربطها بجزيئات الهيموجلوبين.



شكل 2-15 إزاحة الكلوريد.

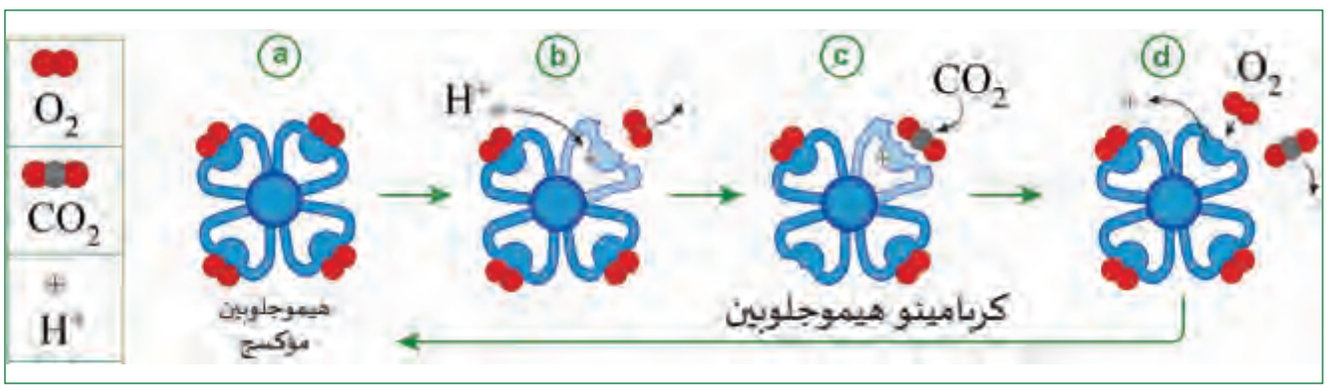
إزالة ثاني أكسيد الكربون من الرئتين

انخفاض تركيز ثاني أكسيد الكربون في الرئتين يدفع إنزيم CA لتسريع التفاعل في الاتجاه المعاكس. يعود أيون البايكربونات إلى خلايا الدم الحمراء بالتبادل مع أيون الكلور ويتم عكس ظاهرة إزاحة الكلوريد. ينفصل أيون H^+ عن الهيموجلوبين ويرتبط بأيون البيكربونات ليشكّل حمض الكربونيك. يكسر الإنزيم CA حمض الكربونيك إلى CO_2 وH_2O (**الشكل 2-16**). ثم ينتقل ثاني أكسيد الكربون من خلايا الدم الحمراء مع منحدر التركيز إلى الهواء الموجود في الحويصلات الهوائية ثمّ إلى الزفير.



شكل 2-16 نقل CO_2 من خلال بايكربونات في الرئتين.

ترتبط دورة CO_2 وأيون الكربونات HCO_3^- ارتباطًا وثيقًا بتأثير بور. عند ممارسة الرياضة، يزداد معدل التنفّس الخلوي ويزداد بالتالي معدّل إنتاج CO_2. يقوم إنزيم CA بتحويل CO_2 إلى بايكربونات وH^+ فيصبح الدم أكثر حموضة وتنخفض pH الدم. يعمل الدم على معادلة الحموضة عن طريق التخلص من H^+ الزائدة عن طريق ربطها بالهيموجلوبين.



شكل 2-17 تأثير هالدين.

إنّ ارتباط أيونات H^+ بالهيموجلوبين يؤدّي إلى تغييرات في هيكل بروتين الهيموجلوبين (**الشكل 2-17b**)، ما يقلّل من انجذابه للأكسجين مسبّبًا تأثير بور. وبدلًا من الأكسجين، يبدأ الهيموجلوبين بالارتباط بثاني أكسيد الكربون (**الشكل 2-17b**) لتشكيل مركّب معقّد يُسمّى كاربامينو هيموجلوبين. هذه الظاهرة تعرف باسم **تأثير هالدين**. كاربامينو هيموجلوبين مسؤول عن حمل 10 % من CO_2 تقريبًا.

عندما يصل الدم إلى الرئتين، ينفصل ثاني أكسيد الكربون عن الهيموجلوبين (**الشكل 2-17c**). بمجرد فصل H^+ وCO_2، يستعيد الهيموجلوبين قدرته على الارتباط بالأكسجين مرة أخرى (**الشكل 2-17a**).

الصفائح الدموية والإرقاء

الصفائح الدموية هي قطع من خلايا دموية موجودة دائمًا في الدم. لا تصبح الصفائح نشطة إلّا عندما تحتاج جُدُر الأوعية الدموية إلى الترميم. تُسمّى عملية وقف نزيف الدم مؤقّتًا لإصلاح ضرر **الإرقاء Hemostasis**، أو تخثّر الدم.

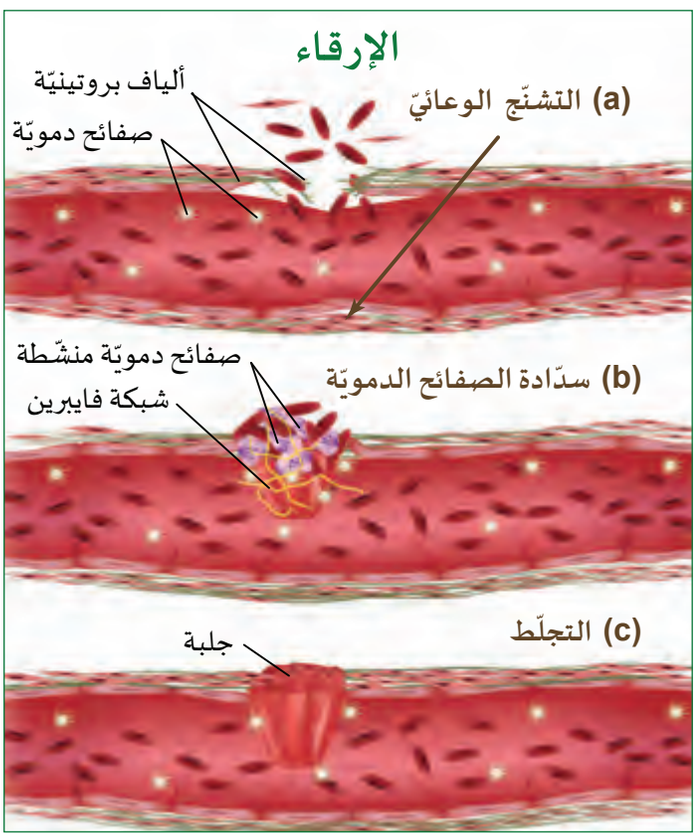
الإرقاء هو عملية من ثلاث خطوات، وهو ينطلق عندما تلامس بلازما الدم ألياف البروتين التركيبي على السطح الخارجي للأوعية الدموية.

الخطوات الثلاث للإرقاء هي:

a. **التشنّج الوعائي Vascular Spasm**، وهو تقلّص فوري للعضلات الملساء في الأوعية الدموية لتصغير قطر الوعاء وتقليل تدفّق الدم (**الشكل 2-18a**).

b. يحدث التكوين المؤقّت لسدّادة **الصفائح الدموية Platelet plug** لأنّ الصفائح الدموية المنشَّطة تصبح لزجة، فتتجمّع على شكل كتلة مع ألياف بروتينية متكوّنة حديثًا تُسمّى **الفايبرين Fibrin** لإبطاء تسرّب الدم (**الشكل 2-18b**).

c. في مرحلة التجلّط، تتجمّد السدّادة التي تنتج عن شبكة أشدّ متانةً (**الشكل 2-18c**).



شكل 2-18 يشمل الإرقاء (a) التشنّج الوعائي، (b) تكوين سدّادة الصفائح الدمويّة، (c) التجلّط.

تتكوّن الشبكة التي تتكوّن حول سدّادة الصفائح الدموية لصنع جلطة (خثرة) دموية من بروتين الفايبرين (**الشكل 2-18b**). وفي الوقت الذي تتصلّب فيه الشبكة، يُحوّل الجزء السائل من الدم سدّادة الصفائح الدموية إلى مادة جيلاتينية تبقى مدة طويلة لضمان استقرار الخثرة. وتبدأ عملية شفاء الأنسجة.

هل أصبت في السابق بجرح استغرق وقتًا طويلا ليكوّن جلبة؟ لماذا يؤثر عمق الإصابة في طول المدة التي يستغرقها شفاؤها؟

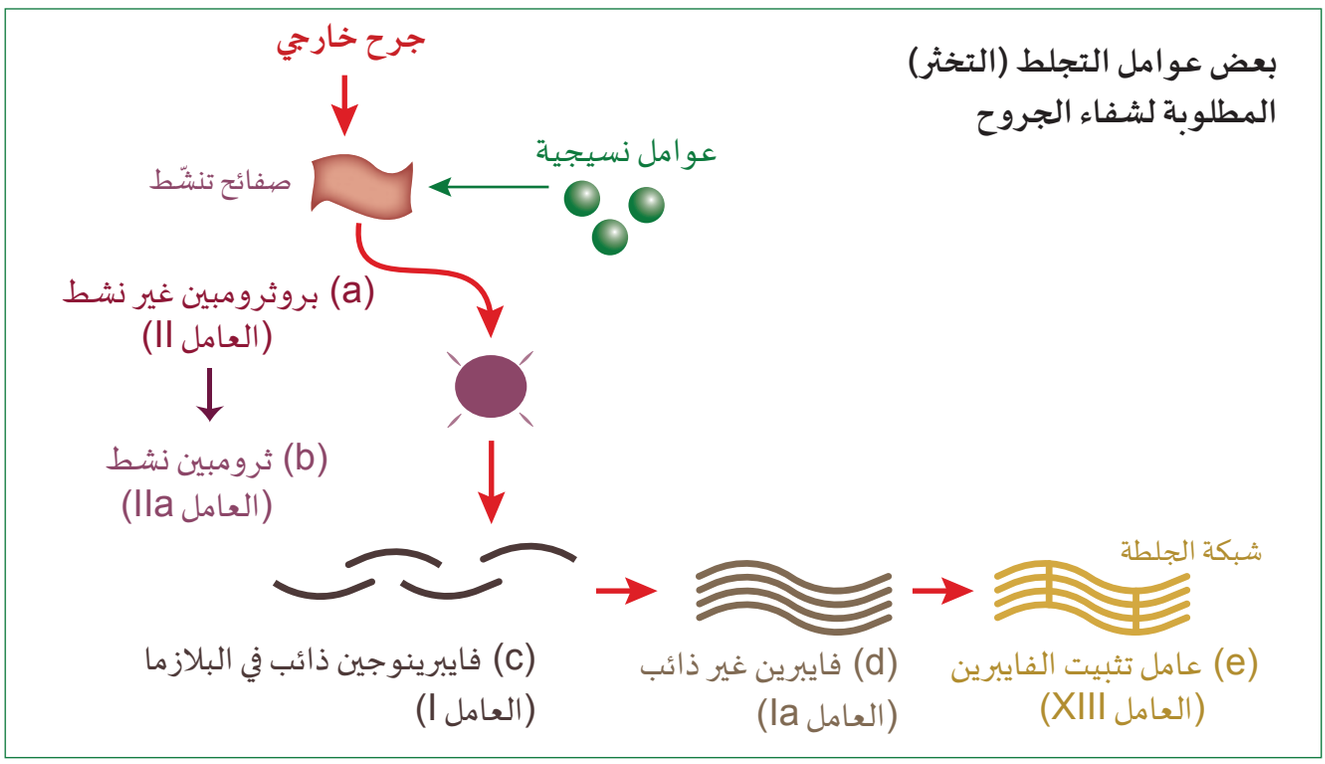
d. تتحوّل المادة الجلاتينية ومادّة الجلطة عند تعرّضهما للهواء إلى **جلبة (قشرة الجرح) Scab** واقية.

يحدث الإرقاء من خلال أحد مسارين: تَلَف الوعاء الذي قد تسبّبه صدمة خارجية، أو عندما تتمزّق بطانة الوعاء نتيجة عوامل داخلية، مثل المرض أو العمر أو ضعف الدورة الدموية بسبب الجلوس طوال الوقت.

الأحداث المتعاقبة في التخثّر

الجروح التي تثقب الجلد تسبّب الجلطات عبر سلسلة محدّدة جدًا من التفاعلات الكيميائية المعروفة باسم **الأحداث المتعاقبة في التخثّر Clotting cascade**. وهي تُسمّى كذلك لأنها سلسلة متتالية، ذلك أنَّ حدوث كلّ تفاعل يؤدّي إلى انطلاق التفاعل التالي. يعتمد التجلّط على زيادة كمية كلّ مركّب موجود أصلًا في الدم بكميّة صغيرة جدًا إلى كميات كبيرة لمنع خسارة الدم بشكل كارثي قد تؤدّي إلى الوفاة، فيتمّ التحكّم في الأحداث المتعاقبة بشكل كبير وهي تخضع للتنظيم عبر آلية تغذية راجعة موجبة.

هناك اثنا عشر عاملًا معروفًا للتخثّر تفرزها الصفائح الدموية أو الكبد، وتنطلق بترتيب معيّن لإنتاج الأحداث المتعاقبة في التخثّر. تظهر بعض هذه العوامل مع أسمائها وأرقامها الرومانية الأصلية في **الشكل d-a19-2**.



شكل 2-19 خطوات الأحداث المتعاقبة في التخثر.

يمكن تلخيص الأحداث المتعاقبة في التخثّر بأربع خطوات:

1. يتمّ تنشيط الصفائح الدموية بعوامل نسيجية (tissue factors TF).
2. تعمل الصفائح الدموية النشطة على تحويل البروثرومبين إلى ثرومبين نشط من خلال سلسلة من التفاعلات.
3. يُنشِّط الثرومبين ببتيدات الفايبرينوجين الصغيرة التي يتمّ تجميعها بعد ذلك في خيوط الفايبرين عديد الببتيد الطويلة لتكوين شبكة بروتينية.
4. يجب أن تتحلّل الجلطات في نهاية المطاف لاستعادة تدفّق الدم الطبيعي. يتمّ ذلك بمساعدة الإنزيمات التي تستهدف البروتينات المختلفة في الجلطة.

الدورة الدموية والدورة اللمفاوية

يتكوّن **الجهاز الدوراني Circulatory system** فعليًّا من جهازين فرعيين، **الجهاز القلبي الوعائي Cardiovascular system**، **والجهاز اللمفاوي Lymphatic system**. يتكوّن الجهاز القلبي الوعائي من القلب والأوعية الدموية فقط، وسيتم تناوله في الدرس التالي. أمّا الجهاز اللمفاوي فهو مسؤول عن حركة ذات اتجاه واحد للسائل من أوعية منفصلة في الأنسجة المحيطة إلى الجهاز القلبي الوعائي.

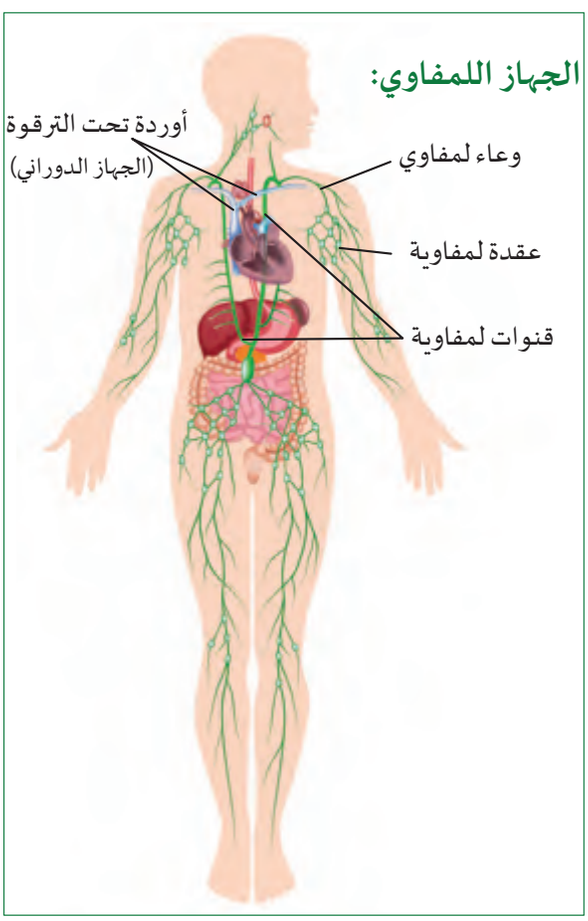
ماهي أجهزة الجسم الثلاثة الأخرى المرتبطة بوظيفة الجهاز اللمفاوي؟

للجهاز اللمفاوي ثلاث وظائف:

1. إعادة السوائل والبروتينات التي تمّ ترشيحها إلى الدم باستخدام الأوعية اللمفاوية وحركات الجسم.
2. احتجاز وتدمير مسبّبات الأمراض الموجودة في الدم.
3. نقل الدهون الممتصّة في الأمعاء الدقيقة إلى الدم.

يتكوّن الجهاز اللمفاوي من **أوعية لمفاوية lymph vessels** وقنوات لمفاوية وأعضاء لمفاوية تشمل العقد اللمفاوية والطحال والغدة الزعترية واللوزتين (**الشكل 2-20**). تنقل الأوعية سوائل، ولكنها تختلف عن الشعيرات الدموية. للأوعية اللمفاوية نهايات مغلقة وهي تحتوي على صمامات تضمن حركة السائل باتجاه واحد. يدور اللمف في الجسم بتأثير انقباض العضلات الهيكلية وانبساطها.

لا تستطيع الشعيرات الدموية الصغيرة أن تنقل كميات كبيرة من السائل النسيجي. لذلك، فإنَّ الأوعية اللمفاوية تحمل السائل إلى قنوات تفرغه تحت الترقوة في الوريدين الأيمن والأيسر. يعمل الجهاز اللمفاوي على إعادة 15% من السائل النسيجي إلى مجرى الدم لئلّا يتراكم ويسبّب حالة مرضية تُسمّى الاستسقاء (Edema). يحتوي اللمف أيضًا على خلايا الدم البيضاء والدهون والفيتامينات الدهنية.



شكل 2-20 تجمع الأوعية اللمفاوية السوائل من الأنسجة المحلية في العُقَد، وتنقلها إلى أعلى عبر قنوات تؤدّي إلى وريدين تحت الترقوة.

السائل النسيجي (ISF)

يُسمّى السائل الخارج خلوي الذي يتوزّع بين خلايا الجسم **السائل النسيجي (ISF) Interstitial fluid**. يشبه السائل النسيجي بلازما الدم، لكنه يحتوي على جزيئات بروتين أقلّ، وليس فيه خلايا دم حمراء. يملأ السائل النسيجي الفراغات التي تحيط بالشعيرات الدموية بين الأنسجة.

يرشح السائل النسيجي(ISF) من الأوعية الدموية لتوفير المواد اللازمة لخلايا الجسم وإزالة الفضلات.

السائل النسيجي هو البيئة الداخلية للجسم، وهو البيئة الخارجية لخلايا الجسم، لأن السائل النسيجي يملأ الفراغات حول الشعيرات الدموية. يمدُّ هذا السائل تلك الخلايا بما تحتاج إليه، ويعمل على نقل الفضلات منها.

يجب المحافظة على مكونات السائل النسيجي ثابتة وذلك لضمان استمراريته في تأدية وظائفه المهمة. إن الاختلال في اتزان البيئة الداخلية للجسم يؤدي إلى حدوث الأمراض.

يتكوّن السائل النسيجي من السائل المنتشر إلى خارج مجرى الدم تحت تأثير قوّتين متضادتَيْن هما ضغط الدم والضغط الأسموزي (**الشكل 2-21**).

- يعرف ضغط الدم بأنه ضغط الدم الهيدروستاتيكي على جُدُر الأوعية الدموية.

  يعمل ضغط الدم على دفع الماء والمواد المذابة من مجرى الدم إلى السائل النسيجي.
- الضغط الأسموزي هو الضغط المطلوب لوقف الخاصية الأسموزية. يزداد هذا الضغط مع ازدياد تركيزات الأملاح والبروتينات والمواد الأخرى في المحلول.

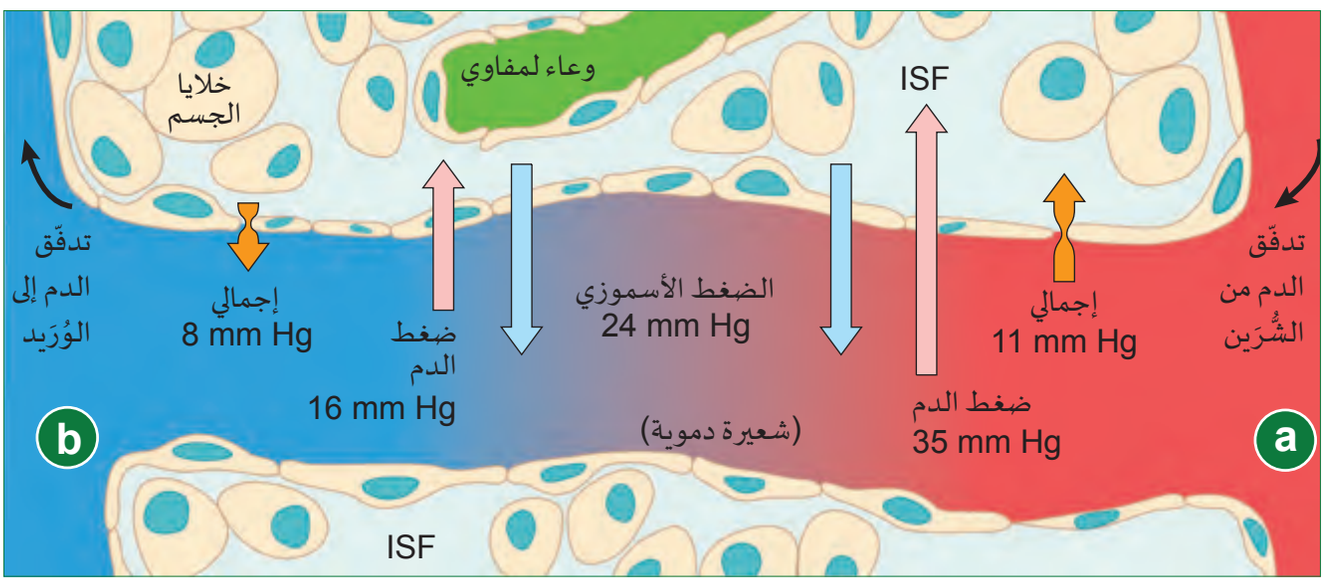
شكل 2-21 تدفق السوائل في ومن خلال الجدران الشعرية.

إنّ الضغط الأسموزي للدم له قيمة ثابتة تقريبا بسبب وجود بروتينات البلازما الكبيرة مثل الفايبرينوجين التي لا تترك مجرى الدم.

في حين أنّ قيمة ضغط الدم ليست ثابتة. إنّ ضغط الدم في الجانب الشرياني للشعيرات الدموية أعلى مما هو عليه في الجانب الوريدي للشعيرات، كما هو مبين في **الشكل 2-21**. إن الفرق في قيم ضغط الدم والضغط الأسموزي هو الذي يحدد اتجاه حركة السوائل بين الدم والسائل النسيجي.

تبادل المواد بين الدم وخلايا الجسم من خلال السائل النسيجي

- في الجانب الشرياني للشعيرات الدموية يكون ضغط الدم أعلى من الضغط الأسموزي. يندفع الماء والموادّ الذائبة كالأكسجين والجلوكوز والأملاح خارج مجرى الدم إلى السائل النسيجي. وتخرج أيضًا الأحماض الأمينية والأحماض الدهنية والهرمونات وبعض خلايا الدم البيضاء إلى السائل النسيجي (**الشكل 2-22a**).

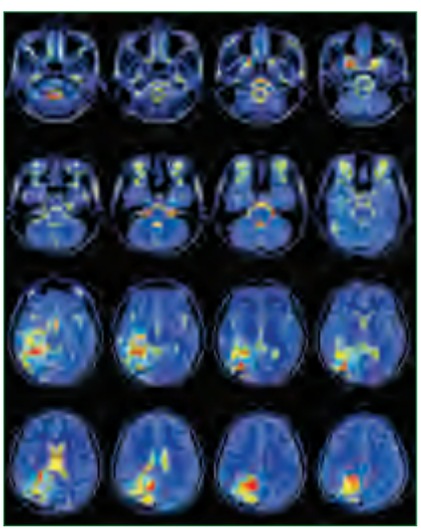


شكل 2-22 (a) يسحب السائل النسيجي الماء والموادّ من الجانب الشرياني للشعيرات الدموية. (b) تتمُّ إعادة امتصاص السائل من جانبها الوريدي.

- أمّا في الجانب الوريدي من الشعيرات الدموية، فإنَّ ضغط الدم يكون أدنى من الضغط الأسموزي، فيعود الماء وبعض المذابات الذائبة، بما فيها CO_2 والفضلات كاليوريا من السائل النسيجي إلى مجرى الدم (**الشكل 2-22b**).

السائل النسيجي في الدماغ

يحتوي الدماغ على ما يقدّر بـ 86 مليار خلية عصبية محاطة كلها بالسائل النسيجي. تحاول الأبحاث حاليًا استقصاء وجود رابط بين مرض الزهايمر والسائل النسيجي في الدماغ. وتشكّل تراكيب تُسمّى لويحات أميلويد-بيتا (AB) إشارة إلى مرض الزهايمر. تذوب المركّبات التي ستتحول إلى لويحات أميلويد في السائل النسيجي. يدور السائل النسيجي في الدماغ بأكبر قوة أثناء النوم. ويرى الباحثون أن إزالة الفضلات من الخلايا العصبية عن طريق السائل النسيجي ودورات النوم يمكن أن تؤدّي دورًا مهمًا في التطور السريري للمرض.

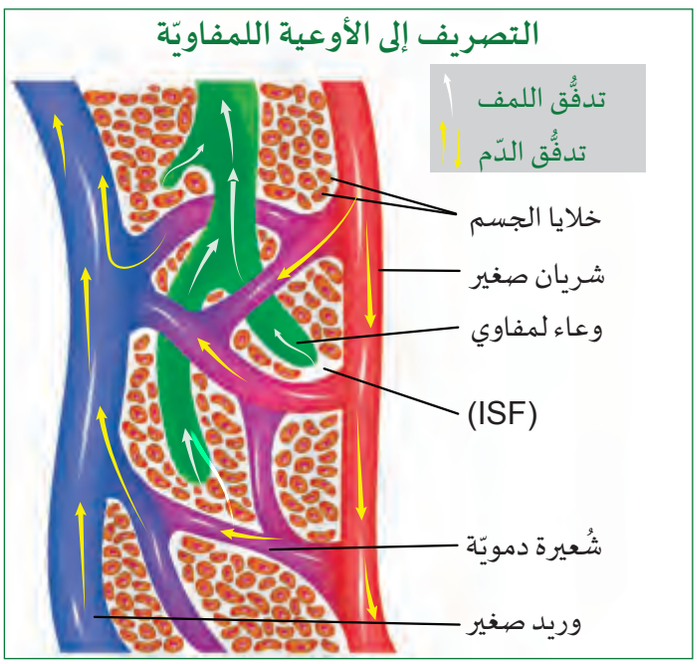


شكل 2-23 المسح بوساطة الرنين المغناطيسي لدماغ إنسان يمكنه كشف لويحات الأميلويد.

تكون اللمف

يتسرّب كل يوم 4-8 L من البلازما وبعض بروتينات الدم من الشعيرات الدموية إلى الأنسجة المحيطة. تتمُّ إعادة امتصاص 85 % من ISF تقريبًا من الجانب الوريدي للشُعَيْرات الدموية، أمّا 15 % المتبقية فتدخل إلى الأوعية اللمفاوية لتعود إلى مجرى الدم عبر القنوات اللمفاوية (**الشكل 2-24**).

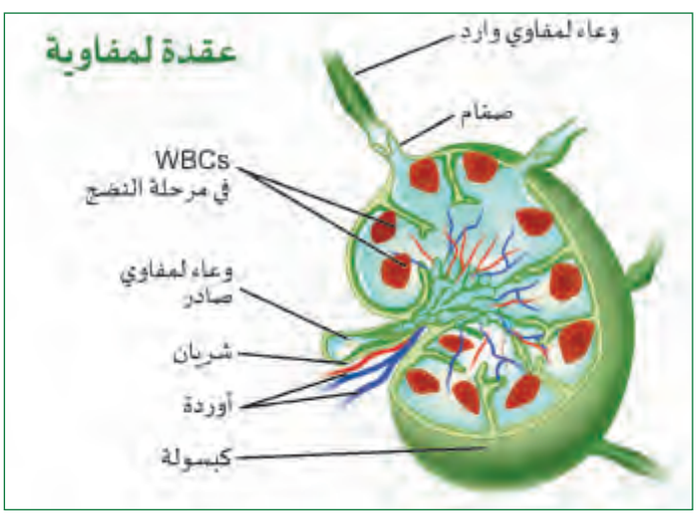
تُسمّى النسبة الضئيلة المأخوذة من السائل النسيجي عن طريق الأوعية اللمفاوية «**اللمف**» **Lymph**. إنّ تركيب اللمف مطابق تقريبًا لتركيب السائل النسيجي، فكأنّه بلازما مُعادة التدوير. تستعيد الأوعية اللمفاوية هذا السائل الراشح والبروتينات وتعيدهما إلى الجهاز القلبي الوعائي. تقوم البروتينات الراشحة من السائل النسيجي إلى الجهاز اللمفاوي بدور حاسم، فهي تُبقي الضغط الأسموزي للسائل النسيجي أقلّ من ضغط الدم على الجانب الشرياني للشعيرات الدموية، ما يسمح بانتقال الماء والمواد الضرورية من الدم إلى السائل النسيجي.



شكل 2-24 حوالي 15 % من السائل النسيجي يدخل الأوعية اللمفاوية ليصبح لمفًا يعود إلى مجرى الدم ومنه إلى القلب.

سحب السوائل والبروتينات عن طريق الجهاز اللمفاوي يحافظ على الضغط الأسموزي للسائل النسيجي أقلّ من الدم.

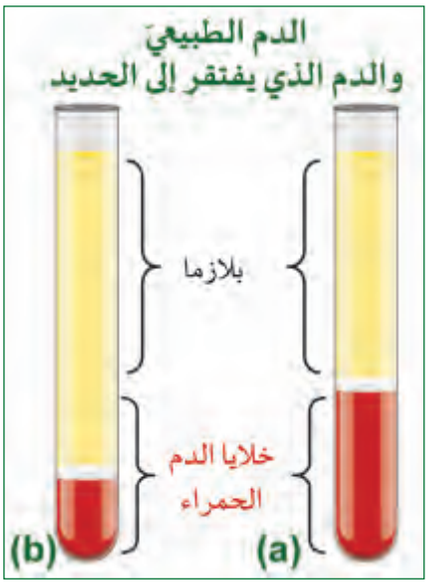
يزداد حجم الأوعية اللمفاوية تدريجيًا حتى تصل إلى تراكيب موضعية على شكل حبة الفاصوليا. هذه التراكيب تُسمّى «العُقد اللمفاوية» (**الشكل 2-25**). تساعد العُقد اللمفاوية على حمايتنا من المرض عن طريق تصفية البكتيريا وجسيمات أخرى غير مرغوب فيها من اللمف. تقوم خلايا دم بيضاء خاصة بهذه المهمة عندما يمرّ اللمف عبر كلّ عُقدة. تساعد خلايا الدم البيضاء على حماية الجسم من الإصابة، وستجري مناقشة ذلك في الوحدة 7.



شكل 2-25 تعمل العقد اللمفاوية على تصفية اللمف وتطلق خلايا دم بيضاء ناضجة للحماية من العدوى.

اضطرابات الدم

يعاني الشخص المصاب بفقر الدم ضيقًا في التنفّس، فيصبح غير قادر على أداء النشاط البدني الطبيعي، لأنّ دمه لا يحتوي على عدد كافٍ من خلايا الدم الحمراء (**الشكل 2-26**). السبب الأكثر شيوعًا لفقر الدم هو النظام الغذائي الذي يفتقر إلى الحديد (Fe). الحديد ضروري لإنتاج الهيموجلوبين(Hb) ولا يمكن تصنيعه في الجسم. لذلك، فإنّ تناول أطعمة غنية بالحديد مثل المحار والسبانخ والفاصوليا واللحوم الحمراء الخالية من الدهون والبروكولي والتوفو يدعم إنتاج خلايا الدم الحمراء. أمّا المكمّلات الغذائية فهي علاج نموذجي ما لم يكن سبب فقر الدم وراثيًا.

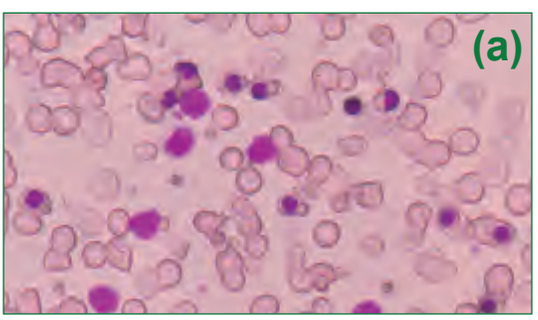


شكل 2-26 (a) دم شخص سليم و(b) دم شخص مصاب بفقر الدم.

لماذا يُعدُّ الحديد ضروريًا للوقاية من فقر الدم؟

تظهر الجينات المسؤولة عن تكوين سلاسل الهيموجلوبين اختلافات محدودة بين الجماعات البشرية. لا تؤثّر معظم التباينات الوراثية في الوظائف، لكنّ بعضها مهمّ جدًا. وعلى سبيل المثال، فإنَّ طفرة نقطية في أحد جينات الهيموجلوبين تؤدي إلى تغيير شكل خلايا الدم الحمراء لتصبح منجلية الشكل مسبّبة بذلك مرض فقر الدم المنجلي Sickle cell disease. يقلّل فقر الدم المنجلي من كفاءة خلايا الدم الحمراء وقدرتها على نقل الأكسجين. تنتشر هذه الطفرة لدى جماعات بشرية معينة، ما يعطيها أفضلية لمقاومة مرض الملاريا، فالطفيليات التي تسبّب مرض الملاريا تقضي جزءًا من دورة حياتها داخل خلايا الدم الحمراء، ولكنها لا تستطيع أن تعيش في الخلايا المنجلية.

يحتوي الهيموجلوبين السليم على كميات متساوية من كلا البروتينين ألفا جلوبين وبيتا جلوبين. فإذا كان أحد هذين البروتينين موجودًا بكميات غير كافية أو كان مفقودًا، فإنَّ هذا يسبّب حالات طبية تُسمّى **الثلاسيميا Thalassemia**. معظم حالات الثلاسيميا تنتج عن وراثة طفرة متنحّية ينتج عنها نقصان كمية الهيموجلوبين في خلايا الدم الحمراء ونقص في عمرها. الطفرات الأكثر خطورة في جين البيتا جلوبين قد تؤدي إلى انخفاض إنتاج بروتين البيتا جلوبين أو توقّفه. تسبّب هذه الحالة فقر الدم أو الموت للأطفال حديثي الولادة، وسيتطلب ذلك نقل الدم مدى الحياة لمن ينجو. الطفرات المسبّبة للثلاسيميا شائعة في دول البحر الأبيض المتوسّط، والشرق الأوسط، والمناطق الاستوائية في أفريقيا وآسيا وأمريكا الجنوبية.



شكل 2-27 (a) الهيموجلوبين Hb غير الطبيعي في الدم يسبّب الثلاسيميا، ما يستدعي (b) عمليات نقل الدم.

تقويم الدّرس 2-1

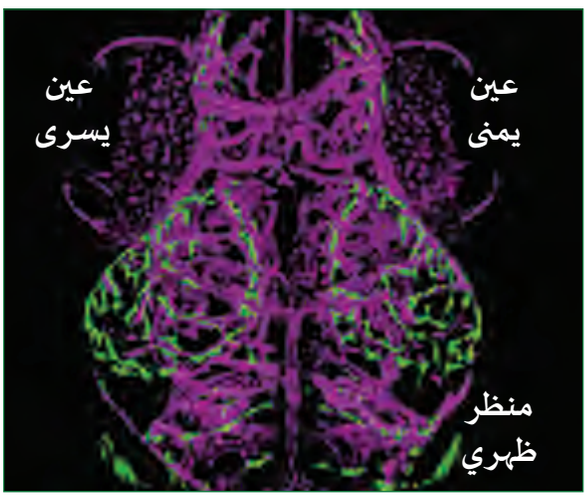
1. عدِّد مكونات دم الإنسان وصِفها.
2. استخدم السؤال السابق لإنشاء مخطّطٍ دائريٍ يعكس نسبة كلّ مكوّن في عيّنة الدم بشكل صحيح. يمكنك استخدام منقلة أو برنامج كمبيوتر لإنشاء الرسم البياني.
3. ما هي أنواع خلايا الدم الرئيسة؟ حدّد وظائفها.
4. حدّد وظيفتين للهيموجلوبين، ووضّح أهميتهما للجسم بجملة قصيرة أو جملتين.
5. اذكر ثلاثة اختلافات بين خلية دم حمراء وخلية حقيقية النواة نموذجية.
6. وضّح كيف يساعد فقدان عضيات كالميتوكندريا خلايا الدم الحمراء على أداء وظائفها الرئيسة بفعالية.
7. * ارسم تركيب الهيموجلوبين.
   a. عيّن ذرّة الحديد ولوِّنها باللون البرتقالي.
   b. ميِّز بين سلسلة بروتين ألفا وسلسلة بروتين بيتا باستخدام لونين مختلفين واكتب اسميهما.
8. ما هو الجزء من جسم الأنسان الذي فيه نسبة إشباع الهيموجلوبين تساوي 70 % تقريبًا؟
9. * أيُّهما أعلى: تركيز ثاني أكسيد الكربون في الدم أم تركيز ثاني أكسيد الكربون في أنسجة الجسم؟ قدِّم شرحًا موجزًا.
10. وضّح الفرق بين تأثير بور وتأثير هالدين.
11. ما هي الخطوات الثلاث للإرقاء؟ صف بإيجاز كلّ خطوة.
12. * قم بإعداد مخطّط انسيابي بسيط للأحداث المتعاقبة في التخثّر. ضمّن مخطَّطك دور كلّ من الموادّ أدناه.
    a. البروثرومبين
    b. الثرومبين
    c. الفايبرينوجين
    d. الفايبرين
13. * اذكر ثلاثة أوجه تشابه وثلاثة اختلافات بين الجهاز القلبي الوعائي والجهاز اللمفاوي.
14. اذكر ثلاثة سوائل مهمّة في الجسم، وصِف مساراتها على مستوى الشُعَيْرات الدموية.
15. ابحث في العلاقة بين مرض الخلية المنجليّة والثلاسيميا. ما المشترك بين المرضَيْنِ الوراثيين؟

الدرس 2-2

الجهاز القلبي الوعائي
The Cardiovascular System

يستخدم الجهاز القلبي الوعائي في جميع الفقاريّات الدم لنقل المواد الغذائية والغازات والفضلات. يتكوّن قلب السمكة من حجرتين، وتتكوّن قلوب البرمائيّات والزواحف من ثلاث حجرات. أمّا قلوب الطيور والثدييّات فتتكوّن من أربع حجرات.

أسماك الزيبرا نموذج عن الكائنات الحية التي يستخدمها كثير من العلماء الذين يدرسون الجهاز الدوراني، لأنَّ أجسام هذه الحيوانات شفّافة، ما يجعل ملاحظة الجهاز الدوراني سهلًا للغاية، لا سيَّما وأنَّ البحث يجب أن يتمّ في الكائنات الحية.



شكل 2-28 الدورة الدموية (أرجواني) في دماغ جنين أسماك الزيبرا.

مخرجات التّعلُّم

B1204.1 يصف مراحل الدورة القلبية بما في ذلك الانبساط والانقباض.

B1204.2 يشرح أدوار العقدة الجيبية الأذينية، والعقدة الأذينية البطينية، وحزمة هيس، وألياف بيركنجي في بدء نبضات القلب وضبطها.

B1204.3 يعرّف تخطيط القلب الكهربي (ECG) كاختبار يستخدم للتحقق من الإيقاع والنشاط الكهربي للقلب، ويتم بربط مستشعرات بالجلد وتسجيل النشاط الكهربي للقلب أثناء نبضه.

B1204.4 يربط مراحل الدورة القلبية بتتبع تخطيط القلب الكهربي (ECG) الطبيعي.

المفردات

Lumen	التجويف
Cardiac cycle	الدورة القلبية
Diastole	الانبساط
Systole	الانقباض
Sinoatrial node	العُقدة الجيبية الأذينية
Atrioventricular node (AV node)	العُقدة الأُذَيْنية البُطَيْنية
Bundle of His	حزمة هيس
Purkinjie fibers	ألياف بيركنجي
Electocardiogram (ECG)	تخطيط القلب الكهربائي
Fibrillation	الرجفان
Defibrillator	مزيل الرجفان

التمرين الرياضيّ وصحّة القلب

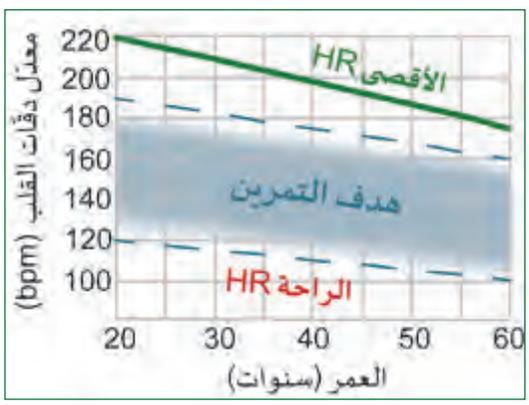
كيف يؤثّر النشاط الذي نقوم به في صحة القلب؟

كيف يمكننا معرفة ما إذا كان جهازنا القلبي الوعائي سليمًا؟

يضخّ قلب الإنسان 7500 لتر من الدم تقريبًا في الجسم العادي في يوم واحد فقط، فهو يضخّ 5 لترات في الدقيقة عندما يكون الجسم في وضعيّة الراحة ويضخّ القلب بما يعادل 70 mL/beat.

يدقّ القلب في الجسم السليم حوالي 108,000 مرّة في اليوم الواحد. وبالمقابل، فقد يدقّ القلب في شخص لا يملك اللياقة البدنية 130,000 مرّة أو أكثر. ممّا يزيد من عمل القلب بنسبة % 20 في كلّ لحظة من كلّ يوم.

يساعد التمرين على تقوية قلبك كما يقوي أية عضلة أخرى. ليس من الضروري أن يدق القلب القوي نفس عدد المرات لضخ الكمية نفسها من الدم عبر الجسم. لذا، فإنّ معدّل دقّات قلبك (Heart rate, HR) يُعدُّ مقياسًا جيدًا لمستوى لياقتك. كلّما كان التمرين صعبًا دقَّ قلبك بسرعة أكبر لتزويد عضلاتك بالأكسجين. يجب على شخص في سنّ العشرين ممارسة الرياضة للحفاظ على معدّل دقّات القلب بين 120 و160 دقّة في الدقيقة (beat per minute, bpm) (**الشكل 2-29**).



شكل 2-29 يختلف معدل ضربات القلب باختلاف العمر ومستوى اللياقة البدنية.

يختلف معدّل دقّات قلب الإنسان باختلاف العمر أيضًا: إنَّ معدّل دقّات قلب الوليد السليم عندما يكون هادئًا ومرتاحًا هو 120 bmp تقريبًا. ومع نمو الطفل، ينخفض HR قليلًا حتى سنّ البلوغ، ثم يزداد تدريجيًّا مع تقدّم العمر (**الشكل 2-29**).

يتراوح الحدّ الأقصى لمعدّل دقّات القلب عادةً من 200 إلى 220 bmp، على الرغم من وجود حالات قصوى يصل فيها إلى مستويات أعلى. مع تقدّم العمر تنخفض القدرة على الوصول إلى bmp أعلى. يمكنك تقدير الحدّ الأقصى لمعدّل دقّات قلبك عن طريق طرح عمرك من 220 bpm. فمعدّل دقّات القلب الأقصى المقدّر لشخص عمره 40 عامًا مثلًا هو 180 bpm، ويكون عند شخص آخر عمره 60 عامًا 160 bmp تقريبًا. يمكن قراءة معدّل دقّات القلب بقياس النبض على العنق، أو المعصم، أو أطراف الأصابع. تُعدُّ المستشعرات الرقمية الموثوقة التي تراقب التغيّرات في HR أدوات مفيدة (**الشكل 2-30**).

شكل 2-30 يمكن للمستشعرات قياس معدّل دقات القلب بوحدة bmp.

الجهاز القلبي الوعائي

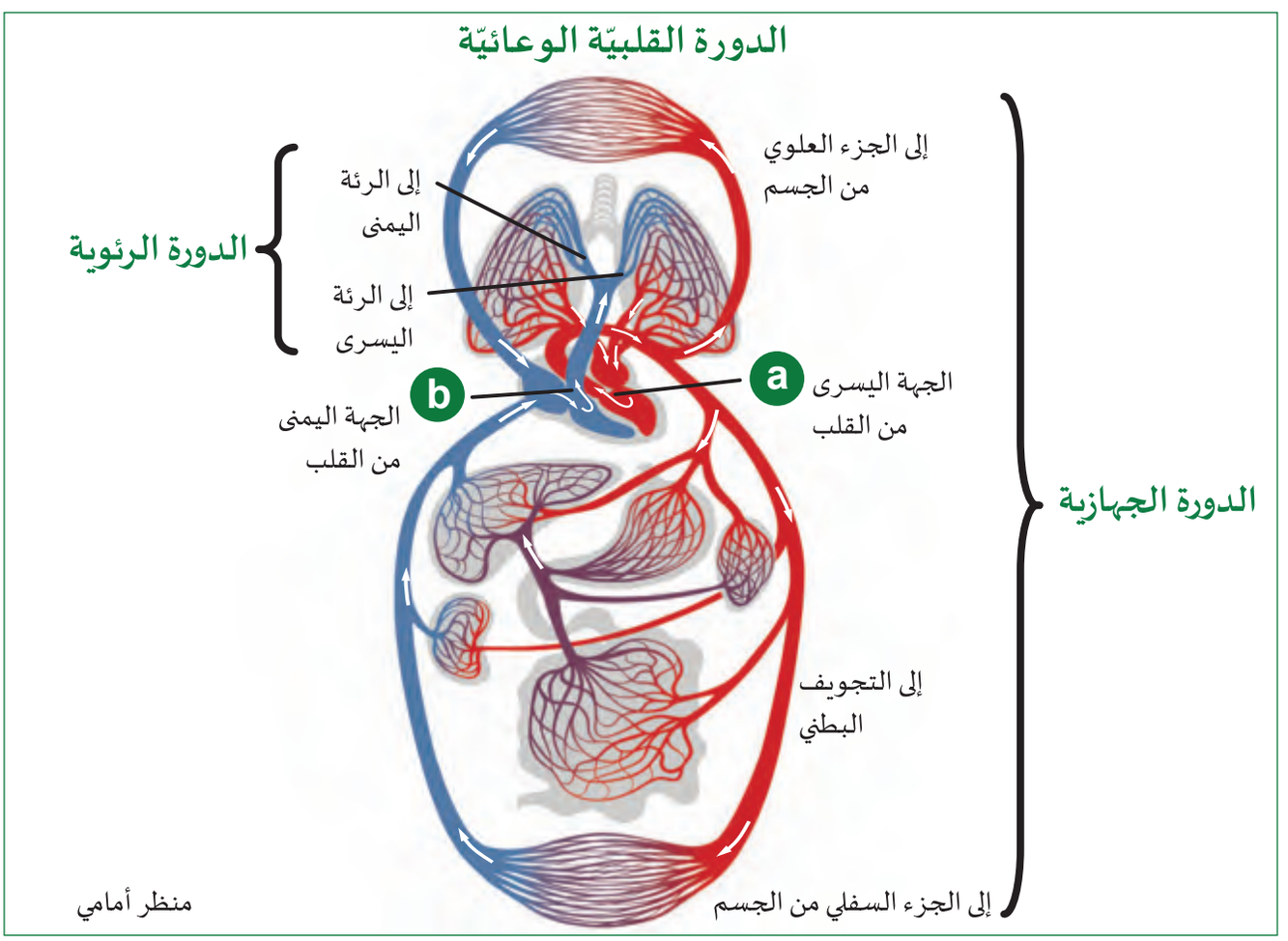
يتكوّن الجهاز القلبي الوعائي في الإنسان من القلب والأوعية الدموية التي تنقل الدم. تشمل الموادّ التي ينقلها هذا الجهاز خلايا وقطعًا من الخلايا، ومواد غذائية، وغازات، ومعادن ذائبة، وهرمونات، وفضلات. يستخدم القلب مسارَيْن مختلفَيْن لدوران الدم (**الشكل 2-31**).

الدورة الدموية الرئوية (الصغرى)

يترك الدمُ المتّجه إلى الرئتين لتبادل الغازات القلبَ من جانبه الأيمن، ويعود مباشرة إلى جانبه الأيسر محمّلًا بالأكسجين من جديد (**الشكل 2-31b**). هذه الدورة أقصر بكثير من الدورة الأخرى. حجم الدم في هذه الدورة هو % 10 تقريبًا من الدورة الدموية الكليّة، وأوعيتها الدموية أرقّ.

الدورة الدموية الجهازية (الكبرى)

ينتقل الدم إلى جميع أنحاء الجسم في مسار واحد (**الشكل 2-31a**): يضخّ الجانب الأيسر من القلب الدم إلى بقية الجسم. يترك الدم الشريان الأبهر، وينتقل في كلا الاتجاهين، صعودًا إلى الدماغ ونزولًا إلى البطن والأطراف السفليّة من خلال شرايين كبيرة ومرنة.



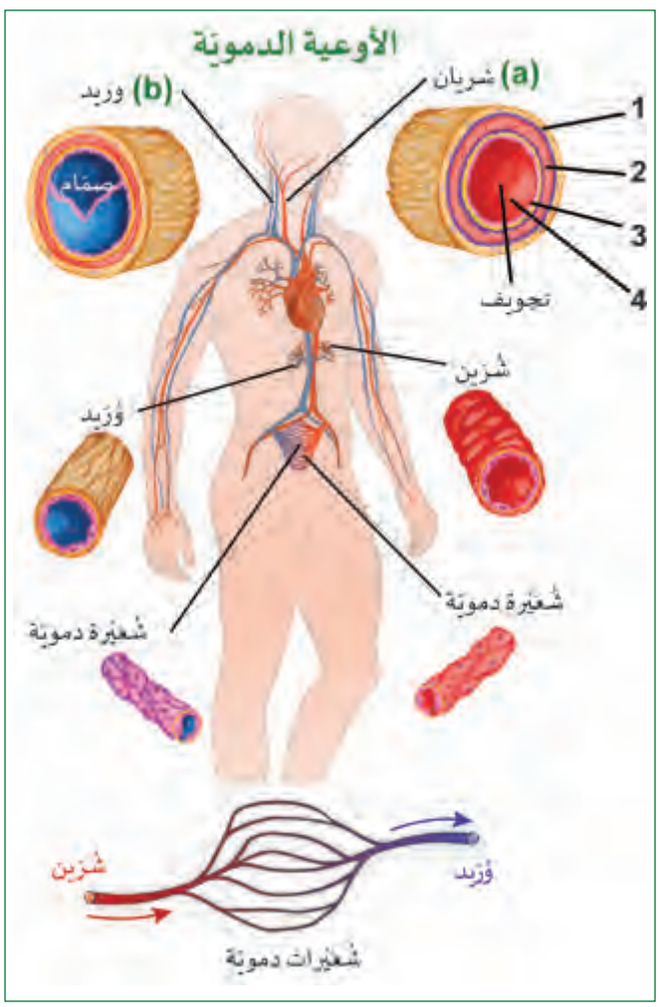
شكل 2-31 (a) تبدأ الدورة الدموية الجهازية من الجانب الأيسر من القلب الذي يضخّ الدم المؤكسج إلى جميع أعضاء الجسم باستثناء الرئتين. (b) يضخّ الجانب الأيمن من القلب الدم غير المؤكسج إلى الرئتين.

خصائص الأوعية الدموية

تنقل ثلاثة أنواع رئيسة من الأوعية الدموية الدم إلى أنحاء الجسم. يختلف كلّ نوع في التركيب اختلافًا بسيطًا كما هو موضّح في **الشكل 2-32**. يعتمد قُطر جميع الأوعية على المسافة من القلب وتغيّر ضغط الدم. إنّ الحفاظ على صحّة الأوعية أمر مهمّ للغاية للدورة القلبية الوعائية.

الشرايين والشُرَيْنات

تحمل الشرايين الدم بعيدًا عن القلب (**الشكل a32-2**). وتغطي جُدُرَ الشرايين أليافٌ بروتينية متينة ومرنة (1) مما يسمح للشرايين بتحمّل الضغط الناتج من عمل القلب (~120 mm Hg). تحيط بطانة من نسيج عضلي أملس (2) بطبقة رقيقة من الخلايا الطلائية (3). الأنبوب المركزي الذي يجري الدم في داخله هو **التجويف (4) Lumen**. الشُرَيْنات هي شرايين أصغر وبدون طبقات مرنة، وهي تتفرّع أكثر لتشكيل الشُعَيْرات الدموية.



شكل 2-32 قطر الأوعية الدموية يعتمد على الموقع في الجسم. (a) تنقل الشرايين الدم من القلب. (b) تعيد الأوردة الدم إلى القلب.

الأوردة والوُرَيْدات

الأوردة هي أوعية كبيرة تعيد الدم إلى القلب (**الشكل b32-2**). وهي تتكوّن من الطبقات الثلاث للأنسجة نفسها مثل الشرايين، ولكنْ من دون الألياف المرنة. ضغط الدم في الأوردة أقلّ من الشرايين (~5 mm Hg). لذا، فليست هناك حاجة إلى الجُدُر السميكة جدًا. تحتوي الأوردة على صمّامات لمنع تدفّق الدم بالاتجاه المعاكس بتأثير الجاذبية. تتجمّع الشُعَيْرات الدموية لتكوين الوُرَيْدات، وتتجمع الوُرَيْدات لتكوّن الأوردة.

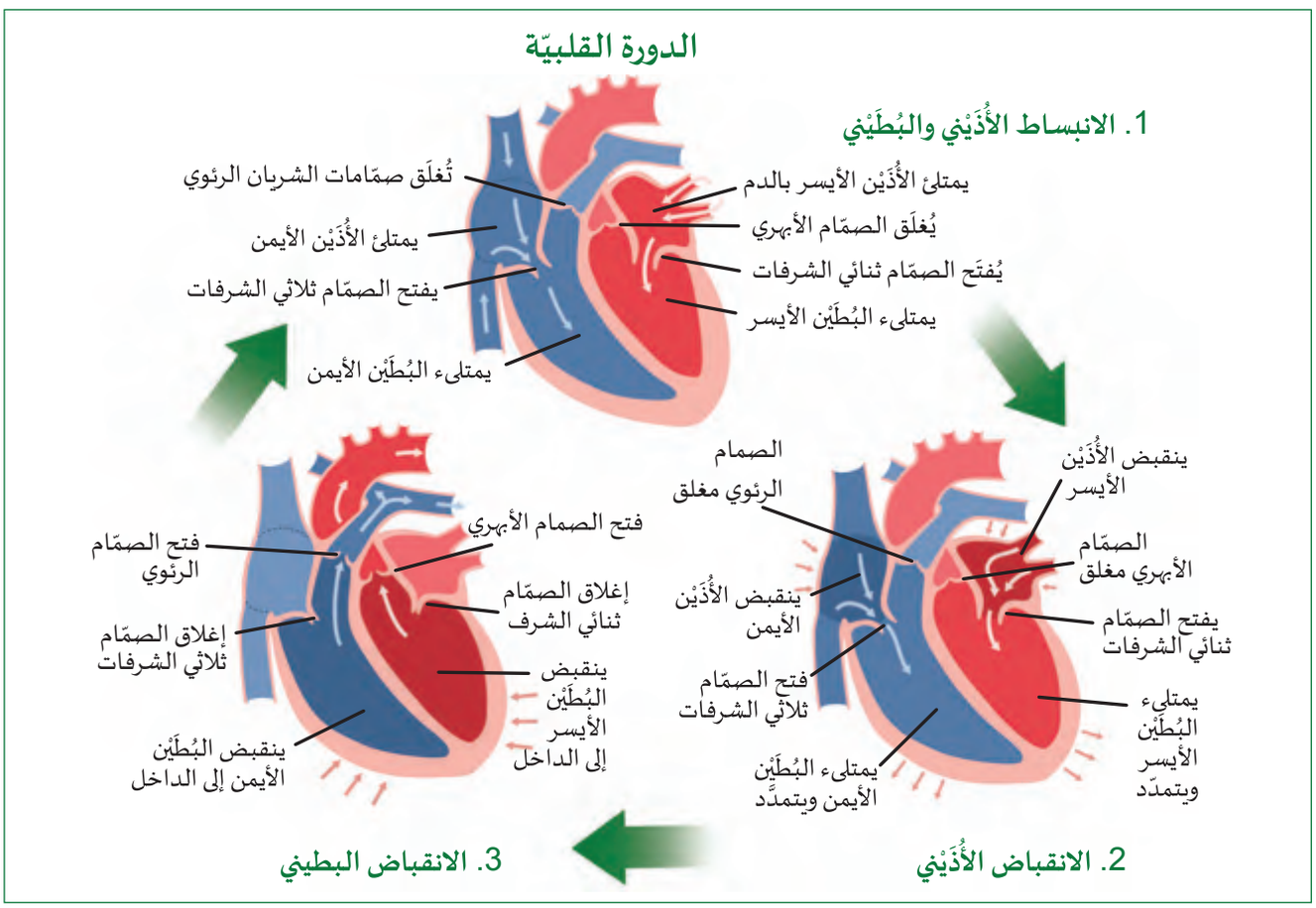
الشرايين والأوردة والشُعَيْرات الدموية هي ثلاثة أنواع من الأوعية الدموية التي تنقل الدم عبر الجسم.

الشُعَيْرات الدموية

تتكون جدر الشعيرات الدموية من طبقة واحدة من الخلايا يبلغ سمكها 7 µm. تربط الشُعَيْرات الدموية الشرايين بالأوردة، وتوزّع الدم على الخلايا الفردية. يتسع تجويف الشعيرات الدموية لمرور خلية دم واحدة فقط. تمرّ الشُعَيْرات الدموية في كلّ عضو في الجسم حاملةً الأكسجين والموادّ الغذائية وغيرها من الجُزَيْئات إلى الخلايا ومزيلةً ثاني أكسيد الكربون والفضلات منها.

الدورة القلبيّة

تشرح **الدورة القلبية Cardiac cycle** التسلسل الكامل للأحداث في القلب من بداية دقّةٍ إلى بداية الدقّة التالية. تُسمّى مرحلة الاسترخاءالتي يمتلىء فيها القلب بالدم **الانبساط Diastole**. ثم تمرّ الحجرات بفترة تقلّص تُسمّى **الانقباض Systole** لضخّ الدم إلى الجسم.



شكل 2-33 يكرّر القلب الدورة القلبية 70 مرة في الدقيقة تقريبًا.

تتضمّن كلّ دقة من دقّات القلب انقباضًا وانبساطًا، ولكنّها تحدث على مراحل، كما يظهر في **الشكل 2-33**.

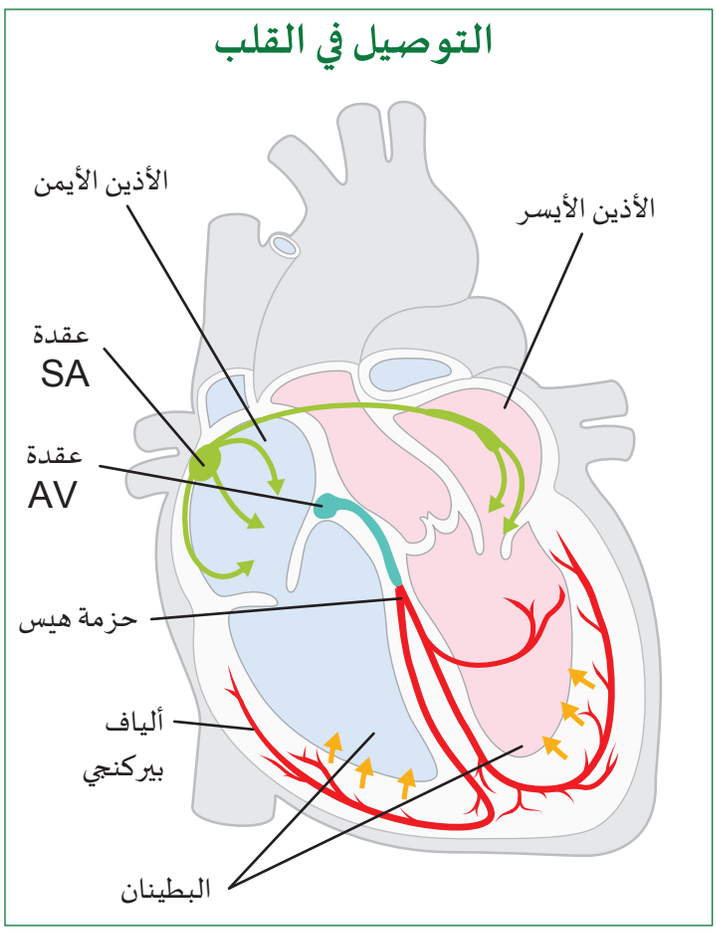
1. في بداية الدورة، يكون الصمّام الرئوي والصمّام الأبهريّ مغلقَيْن، ويكون الصمّام ثلاثي الشرفات والصمام ثنائي الشرفات مفتوحَيْن. ينبسط القلب ويتمدّد، فيدخل الدم إلى الأذينين ثم إلى البطينين على جانبَيْ القلب وتستمرّ مرحلة الانبساط الكليّ 0.4 sec تقريبًا.
2. يتمّ تحفيز العضلات في جُدُر الأُذَيْنين للانقباض بقوّة كافية لإرسال الدم إلى البُطَيْنَيْن من خلال الصمّامين ثلاثي وثنائي الشرفات. يُسمّى هذا الانقباض الانقباض الأُذَيْني *atrial systole* وتستغرق هذه المرحلة 0.1 sec.
3. ينقبض البُطَيْنان في مرحلة الانقباض البُطَيْني *ventricular systole*. تضغط عضلات جداريهما الدم إلى الداخل، فيُغلَق الصمّامان ثلاثي وثنائي الشرفات. ويُفتح كلا الصمّامين الرئوي والأبهري. تستغرق هذه المرحلة 0.3 sec ويُجبَر الدم على التدفّق خارج كلتا الحجرتين.

المسارات الكهربائية في القلب

لا تحتاج عضلة القلب إلى سيالات عصبية من الدماغ لتحفيز انقباضها. وإذا تمّ إمدادها بالموادّ الغذائية والأكسجين، فإنّها تنقبض من تلقاء نفسها. ومع ذلك، ولضمان ضخّ الدم بكفاءة، يجب أن تكون الانقباضات منسّقة بين أجزاء القلب المختلفة. ويوجد المنبّه الذي يحافظ على دقّات القلب في الأُذَيْن الأيمن. إنّه **العقدة الجَيْبيّة الأُذَيْنية Sinoatrial node** (SA node)، وهي كتلة من نسيج قلبي متخصّص في جدار الأُذَيْن الأيمن. تؤسّس هذه الكتلة تردّدًا أساسيًّا يدقّ القلب وفقًا له في كلّ دورة قلبية (**الشكل 2-34**).

كما هو الحال في كلّ الخلايا، فإنّ السيتوبلازم في خلايا عضلة القلب له شحنةٌ سالبةٌ بالمقارنة مع محيطها. تبدأ كلّ دقة قلب بخلايا متخصّصة في العقدة الجيبية الأُذَيْنية.

1. العُقدة الجَيْبية الأُذَيْنية (SA node)، أو الناظمة القلبية، تبدأ بتفريغ كهربائي لكلّ الألياف العضلية المجاورة للأُذَيْن. تجتاح الموجة الصغيرة من التيّار عضلات الأُذَيْنين، فينقبضان.
2. عندما يصل هذا التيّار إلى منطقة معزولة من نسيج ضامّ بين الأُذَيْنين والبُطَيْنين، تلتقطه **العُقدة الأُذَيْنية البُطَيْنية Atrioventricular node** (AV node). تؤخّر العُقدة AV التيّار عن عضلات البُطَيْنين لكي ينقبضا بعد الأُذَيْنين.
3. يتمّ توصيل العُقدة الأُذَيْنية البُطَيْنية بكلا البطينين بحزمة خاصّة من ألياف عضلية قلبية في الجدار الذي يفصل بين الحجرات الأربع، وتُعرف تلك الحزمة باسم **حزمة هيس Bundle of His**. تمتدّ الحزمة نزولًا في الجدار إلى سلسلة من الألياف المتفرّعة التي تخترق جُدُر كلا البطينين وتُسمّى **ألياف بيركنجي Purkinje fibers**. تضمن هذه الألياف الاندفاعات الكهربائية في ألياف عضلات البطينين لينقبضا إلى أعلى.
4. أثناء إعادة شحن العُقدة الجيبية الأذينية، تسترخي عضلات القلب (الانبساط) وتتمّ إعادة ملء كل الحجرات بالدم.

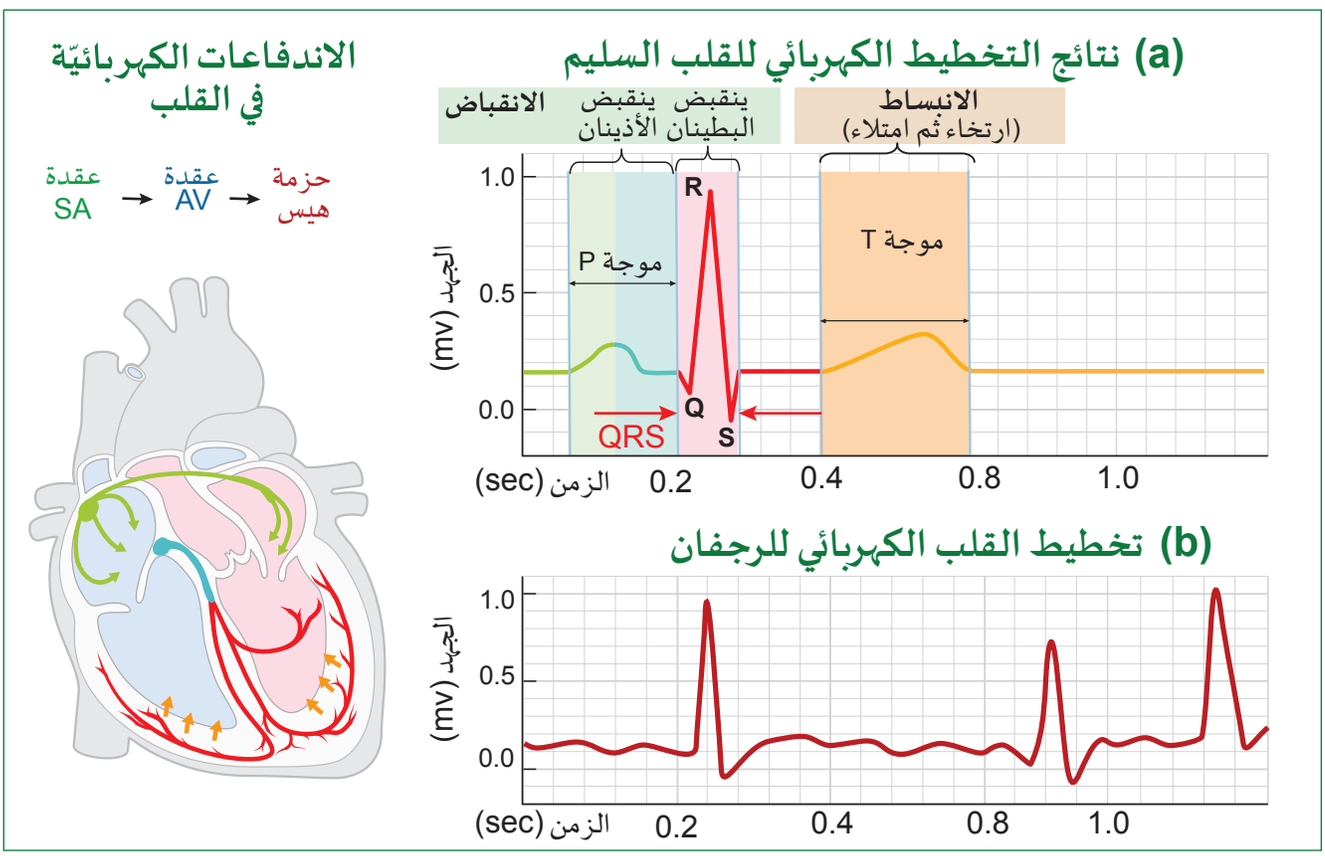


شكل 2-34 عقدة SA وعقدة AV يتحكّمان في إيقاع الأُذَيْنين والبُطَيْنين..

تخطيط القلب الكهربائي والدورة القلبية

يمكن الكشف عن النشاط الكهربائي للقلب وإيقاعه بوساطة أقطاب كهربائية توضع على السطوح المتقابلة للصدر والأطراف. يُعطي تحليل **تخطيط القلب الكهربائي Electrocardiogram** (ECG أو EKG) فكرة عن صحة القلب أو يُحدّد مدى الضرر بعد ذبحة صدرية. إنّ موت أيّ جزء من عضلة القلب سيمنع انتقال التيار في ذلك النسيج، فتتغيّر نتائج الـ ECG.

تستغرق الدورة القلبية في القلب السليم 0.8 sec تقريبًا، ويستغرق الانبساط الكلّي للحجرات 0.4 sec تقريبًا. إنّ تقسيم انتشار النشاط الكهربائي في القلب إلى فترات زمنية من 0.2 sec يكشف عن ثلاث موجات محدّدة تشكّل الـ ECG. وتتوافق هذه الأشكال الموجيّة مع الاستثارة الكهربائية والانبساط لجُدُر حجرات القلب(**الشكل 2-35**).



شكل 2-35 تتوافق أشكال الموجات التي يظهرها التخطيط الكهربائي للقلب (ECG) مع الاندفاعات الكهربائية التي تنظّم الانقباض، بحيث ينقبض البُطَيْنان بعد الأُذَيْنين. يمكن تفسير أشكال الموجات لتشخيص مشاكل القلب الكهربائية أو الميكانيكية.

الإشارات الكهربائية في البُطَيْنين قد تصبح غير منتظمة. وإذا حدث ذلك، فإنّ عضلات القلب يمكن أن تقع في حالة من الإيقاع غير المنتظم تسمى **الرجفان Fibrillation** (**الشكل 2-35b**)، فيتوقّف تدفّق الدم. إذا لم تتمّ إعادة القلب إلى الإيقاع الطبيعي، فإنّ الرجفان في البطينين يكون دائمًا مميتًا، ويسبّب 25 % من جميع الوفيات تقريبًا. المطارات والطائرات وسيّارات الإسعاف وغرف الطوارئ وكثير من الأماكن العامة مجهّزة **بمزيل الرجفان Defibrillator**. هذه الأجهزة يمكن أن تعطي القلب رجّة من التيّار المباشر لاستعادة إيقاعه الطبيعي وإنقاذ حياة المريض.

تقويم الدّرس 2-2

1. ما المكوّنان الرئيسان للجهاز القلبي الوعائي؟
2. * كيف ينقسم الجهاز القلبي الوعائي ليتدفّق الدم إلى الرئتين وإلى الجسم؟ ارسم مخطّطًا بسيطًا وعيّن أجزاء المسارَيْن.
3. ما الفرق بين الشُرَيْن والوُرَيد؟ وكيف يتغيّر قُطر الأوعية الدموية في الجهاز الدوراني؟
4. تُعدّ صمّامات القلب ضرورية لوظائف القلب والأوعية الدموية.
   a. اذكر أسماء الصمّامات الأربعة وحدّد مواقعها.
   b. ما الصمامات التي تؤدّي دورًا أثناء ضخّ الدم غير المؤكسج من القلب؟
   c. ما الصمّامات التي تساعد على التحكّم في الدم المؤكسج؟
   d. ابدأ من الأُذَيْن الأيسر، واذكر بالترتيب أسماء الصمّامات التي يتدفّق الدم عبرها في الدورة الدموية الجهازية.

قم بتغيير المصطلح أو المصطلحات في كلّ جملة أدناه لجعلها صحيحة.

5. يعود الدم غير المؤكسج إلى القلب عبر **الشرايين**.
6. يُمنع التدفّق العكسي للدم في الأوردة واللمف بوساطة **الشُعَيْرات الدموية**.
7. يتدفّق الدم المؤكسج إلى الأُذَيْن **الأيمن** من خلال الصمّام **ثلاثي الشرفات**.
8. ترسل الأوردة الرئوية الدم إلى **الجسم**.
9. الدورة القلبية سلسلة من الأحداث التي تحدث في القلب، وتستغرق **70 ثانية** تقريبًا.
10. صمّم مخطّطًا انسيابيًا بسيطًا يوضح كيفية توصيل القلب للتدفّعات الكهربائية أثناء الدورة القلبية. استخدم هذه المصطلحات في مخطّطك: العقدة الأُذَيْنية البُطَيْنية، حزمة هيس، العضلة القلبية في الأُذَيْن والعضلة القلبية في البُطَيْنين، ألياف بيركنجي، وعقدة SA. رقّم كلّ خطوة وحدّد موقع كلّ نسيج.
11. عرّف تخطيط القلب الكهربائي (ECG)، ثمّ وضح الهدف من إجرائه.
12. * عندما يبدأ تخطيط القلب الكهربائي، هل ينتج ثلاثة أشكال موجيّة ثم يتوقّف؟ وضّح إجابتك.

الدرس 2-3

أمراض القلب والأوعية الدمويّة والوقاية منها

Cardiovascular Disease and Prevention

تُظهِر بيانات منظّمة الصحّة العالمية (WHO) أنّ أمراض القلب والأوعية الدموية (CVD) هي السبب الأوّل للوفاة في العالم. وقد توفّي ما يُقارب 18 مليون شخص بسبب أمراض القلب والأوعية الدموية في العام 2016. وكانت 85 % من هذه الوفيات بسبب ذبحة صدرية أو سكتة دماغية. يمكن الوقاية من معظم أمراض القلب والأوعية الدموية من خلال تحديد عوامل الخطر المسبّبة لها، مثل النظام الغذائي غير الصحي والتدخين والخمول الجسدي، ويجب تغيير هذه العادات على الفور.

شكل 2-36 انسداد مجرى الدم في الشريان.

مخرجات التّعلُّم

B1205.1 يشرح ضغط الدم، ويصف كيف يتم قياسه.

B1205.2 يذكر بعض العوامل التي تؤثر في ضغط الدم، ويشرح كيف يؤثر كل منها.

B1206.1 يصف أمراض القلب والأوعية الدموية، بما في ذلك عملية تصلب الشرايين وزيادة المخاطر التي تنتج من ارتفاع ضغط الدم.

B1206.2 يعرف أن خطر الإصابة بأمراض القلب والأوعية الدموية (CVD) هو جزئيًا وراثيًا يعتمد على نمط الحياة.

B1206.3 يشرح طرق الحد من مخاطر أمراض القلب والأوعية الدموية (CVD) بما في ذلك اتباع نظام غذائي صحي، والحد من السمنة، وتنظيم ضغط الدم، والتوقف عن التدخين / عدم التدخين، وممارسة التمارين الرياضية.

المفردات

Blood Flow	تدفق الدم
Blood Pressure (BP)	ضغط الدم
Systolic Pressure	الضغط الانقباضي
Diastolic pressure	الضغط الانبساطي
Sphygmomanometer	مقياس ضغط الدم
Stethoscope	سمّاعة الطبيب
Cardiovascular disease	مرض القلب والأوعية الدموية
Hypertension	ارتفاع ضغط الدم
Atherosclerosis	تصلّب الشرايين
Thrombus	الخثرة
Stroke	السكتة الدماغية
Complete blood count	العد الدموي الشامل

التحكُّم في معدّل دقّات القلب

هل يمكنك التحكُّم في مستويات توتّرك؟

إذا سبق لك أن شاهدت فيلمًا مخيفًا، فمن المحتمل أن تكون قد شعرت بزيادة معدّل دقّات قلبك. يمثل الخوف العامل المحفز للفعل المنعكس «الكَرّ أو الفَرّ» الذي يزيد من معدّل دقّات القلب استعدادًا للمواجهة أو الهرب. والعكس صحيح أيضًا، فالاسترخاء يسبّب انخفاض معدّل دقّات القلب.الفرق شاسع في كلتا الحالتين، فقد يزداد معدّل دقّات القلب من 70 نبضة في الدقيقة في وقت الراحة إلى 140 نبضة أو أكثر في الدقيقة تحت ظروف الإجهاد أو ممارسة التمارين الشاقّة.

تسبّب كلّ دقّة من دقّات قلبك زيادة الضغط في الأوعية الدموية ثم ينخفض ثانية. يسبّب تغيّر ضغط الدم انقباض الأوعية الدموية وانبساطها. يُسمّى التمدّد والانقباض اللذان ينتظمان الأوعية الدموية مع كلّ دقة قلب «معدل النبض» *Pulse rate*. معدّل دقّات قلبك هو عدد المرّات التي يدقّ فيها قلبك في الدقيقة، وهو يساوي معدّل النبض.

معدّل دقّات قلبك أثناء الراحة هو المعدّل الذي يدقّ به قلبك أثناء استرخاء الجسم وراحته. يتراوح معدّل دقّات القلب لدى البشر بين 45 و90 دقَّة في الدقيقة.

تُستخدم صيغة كارفونن formula Karvonen من قبل الأطباء والمدرّبين الرياضيين لحساب الحدّ الأقصى لمعدّل دقّات القلب. لاحظ اختلاف الصيغة بين الرجال والنساء ووفقًا للأعمار.

شكل 2-37 عند التوتّر، راقب معدّل دقّات قلبك (HR) عند نقطة نبض. قِس النبض بإصبعين على معصمك... أو استخدم الساعة الذكيّة.

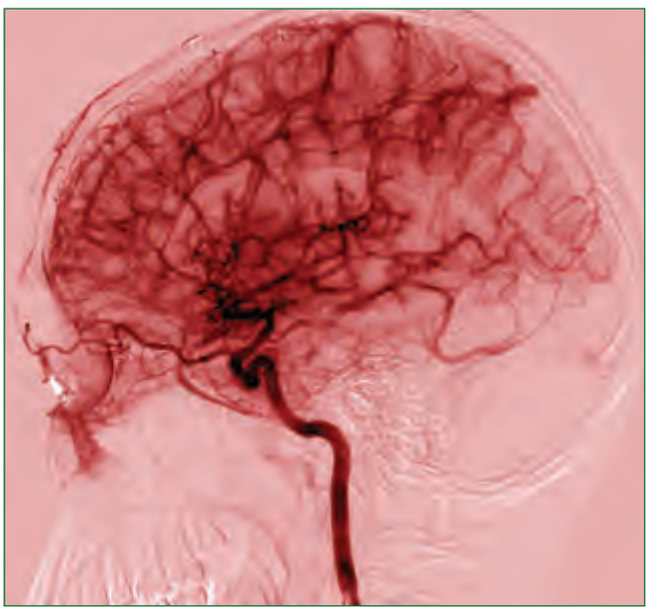
شكل 2-38 إذا توتّرت، فاجلس لبعض الوقت لخَفْض معدّل دقّات قلبك (HR) والاسترخاء.

الرجال	$MHR = 207 - 0.67a$	MHR: الحدّ الأقصى لمعدّل دقّات القلب (دقّة/ دقيقة)
النساء	$MHR = 207 - 0.88a$	a: العمر (سنوات)

للياقة البدنية تأثير كبير في معدّل دقّات القلب أثناء الراحة. كلّما كان الرياضي أكثر لياقةً انخفض معدّل دقّات قلبه وقت الراحة. تؤدّي الخيارات السيِّئة، مثل التدخين وقلّة الحركة، إلى ارتفاع معدّل دقّات القلب، وهذا يضرّ بالصحة.

تدفّق الدم وضغط الدم

يُعرّف **تدفّق الدم Blood Flow** في الطبّ على أنّه كميّة الدم الذي يجري في الأوعية الدموية في فترة زمنية معيّنة. وحدة القياس النموذجية هي لتر لكلّ دقيقة. تحافظ عملية ضخّ الدم التي يقوم بها القلب على تدفّق الدم إلى جميع المناطق الدقيقة في الجسم، بما في ذلك الدماغ (**الشكل 2-39**).



شكل 2-39 يستقبل دماغنا الدم من القلب عن طريق أوعية كبيرة في الرقبة.

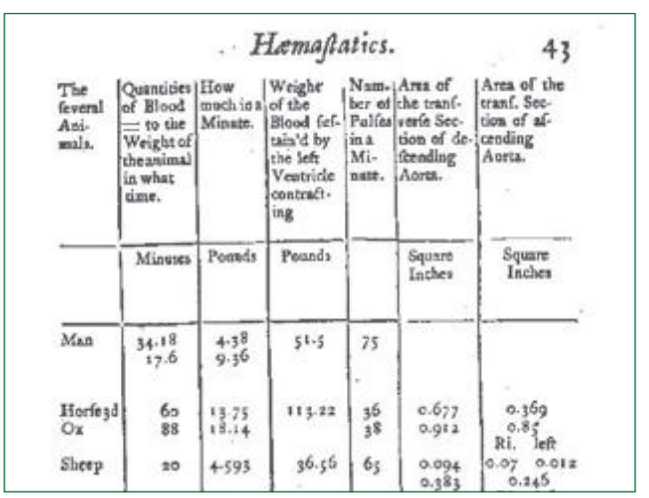
تتدفّق السوائل عندما يكون هناك فرق في الضغط، فتتدفّق من منطقة الضغط الأعلى إلى منطقة الضغط الأقلّ. تعتمد كميّة التدفّق على فرق الضغط ومقاومة الأوعية الدموية. تزداد مقاومة الأوعية الدموية لجريان الدم فيها بازدياد طولها ونقصان قطرها.

يَمْنَحُ **ضغط الدم Blood pressure** (BP) القوّة اللازمة لتحريك الدم. طبيًا، يعرف ضغط الدم بأنه الضغط الأعلى في الشرايين وليس الضغط الأدنى في الأوردة. ولأنَّ الجهاز الدوراني مُغلق، فإنَّ السائل في الشرايين الأقرب إلى القلب يكون تحت الضغط الأعلى (120 mm Hg~)، في الوقت الذي يكون فيه السائل في الأوردة الرئوية تحت الضغط الأدنى (8 mm Hg~). إنّ اختلاف الضغط بين الشرايين والأوردة هو ما يسبّب تدفّق الدم؛ والحفاظ على هذا الاختلاف هو الوظيفة الرئيسة للقلب.

ضغط الدم هو الأعلى في الشرايين القريبة من القلب (120 mm Hg~) وهو الأدنى في الأوردة الرئوية (8 mm Hg~).

قد يكون ستيفن هالز *Stephan Hales* هو من قام بالقياسات الأولى لضغط الدم، وكان ذلك في العام 1733. أدخل هالز أنابيب نحاسيّة رقيقة في شرايين الحيوانات وقام بقياس الارتفاع الذي بلغه الدم في أنابيب زجاجية.

وقد قام بتسجيل الكثير من القياسات الأخرى، غير أن وحدات المليمتر زئبق (mmHg) لا تزال تستخدم في قياس الضغط حتى اليوم (**الشكل 2-40**).



Hæmaſtatics. 43

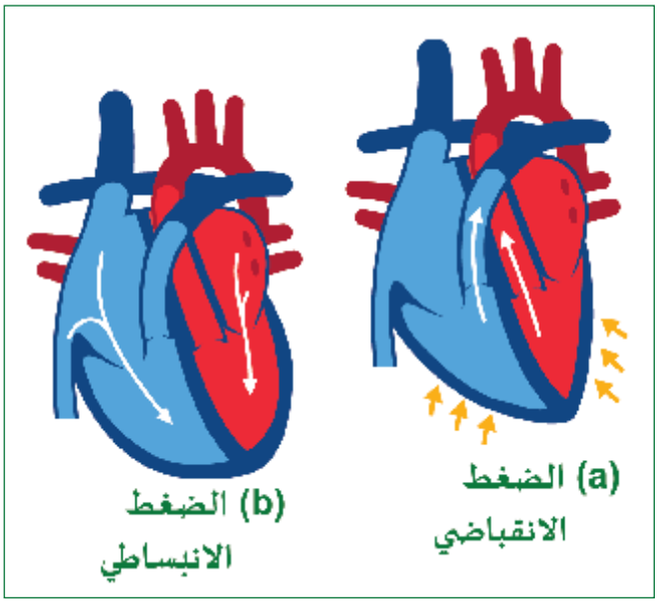
The ſeveral Animals.	Quantities of Blood = to the Weight of the animal in what time.	How much in a Minute.	Weight of the Blood ſuſtain'd by the left Ventricle contracting	Number of Pulſes in a Minute.	Area of the tranſverſe Section of deſcending Aorta.	Area of the tranſ. Section of aſcending Aorta.
	Minutes	Pounds	Pounds		Square Inches	Square Inches
Man	34.18 17.6	4.38 9.36	51.5	75		
Horſe	60	13.75	113.22	36	0.677	0.369
Ox	88	18.14		38	0.912	0.85 Ri. left
Sheep	20	4.593	36.56	63	0.094 0.383	0.07 0.012 0.245

شكل 2-40 بيانات Hales في كتابه Haemastatics المجلّد الثاني، 1740.

ضغط الدم

تتكوّن قيم ضغط الدم من رقمين. الرقم الأعلى هو **الضغط الانقباضي Systolic pressure** وهو أعلى ضغط أثناء الانقباض البُطَيْني في القلب (**الشكل 2-41**). أمّا الرقم الأصغر فهو **الضغط الانبساطي Diastolic pressure** أو ضغط الدم أثناء انبساط عضلة القلب بين دقّاته. الفرق بين هذين الضغطين يُسمّى «ضغط النبض»، وهو مؤشّر على مدى جودة عمل قلبك (**الشكل 2-41**).

يبيّن الجدول في **الشكل 2-42** ضغط الدم عند الراحة والاسترخاء.



شكل 2-41 (a) الضغط الانقباضي و(b) الضغط الانبساطي.

قراءة ضغط الدم

120 ← الضغط الانقباضي

80 ← الضغط الانبساطي

تفسير ضغط الدم		
	الانقباضي	الانبساطي
الطبيعي	< 120	< 80
مرتفع	120 - 129	> 80
ارتفاع ضغط الدم	130 - 170	80 - 110
أزمة ارتفاع ضغط الدم	> 170	> 120

شكل 2-42 ضغط الدم هو الضغط الانقباضي الأعلى على الضغط الانبساطي الأدنى. الضغط المرتفع علامة على سوء صحة القلب.

يظهر في (**الشكل 2-43**) أن تقنيّة قياس ضغط الدم تتضمّن سوارًا قابلًا للنفخ ومقياسًا للضغط. يتمّ لفّ السوار حول أعلى الذراع، ثم يُنفخ لإيقاف تدفّق الدم. وعندما يتمّ تحرير الضغط ببطء، يحدث اضطراب في حركة خلايا الدم وتصدر أربعة أصوات مميّزة، ثم يتبعها سكون. تُستخدم سمّاعة الطبيب لتضخيم الأصوات، وهذا يساعد الطبيب أو الممرّضة على ملاحظة الضغط.

شكل 2-43 قياس ضغط الدم بوساطة سمّاعة الطبيب التي تضخّم الأصوات، ما يجعل تمييز التغيّرات أسهل.

3-2 قياس ضغط الدم

سؤال الاستقصاء	كيف يتغيّر ضغط الدم بحسب الوضعية أو النشاط؟
الموادّ المطلوبة	مستشعر ضغط الدم وجهاز جمع البيانات، كرسيّ.

الخطوات

1. حدّد الأسلوب الذي سيستخدمه فريقك لقياس ضغط الدم (BP). تُظهِر الصورة قراءةً رقمية، ولكنْ قد يكون لجهازك تعليمات مختلفة.
2. يختلف ضغط الدم اختلافًا كبيرًا إذا كانت طريقة القياس غير متقنة. تُظهِر الصورة الوضعية الصحيحة للذراع حيث يكون الساعد منبسطًا ومسطّحًا على طاولة مع فتح اليد.

شكل 2-44 قياس ضغط الدم أثناء الجلوس وفتح اليد.

3. باستخدام التوجيهات الواردة في ورقة العمل، تناوب مع شريكك على قياس BP في وضعيات أخرى لكي تريح ذراعك، ولكن لا ينبغي تغيير الذراع ما لم يكن ذلك ضروريًّا.

التحليل والأسئلة

a. استخدم توصيات BP الواردة في ورقة العمل. قارن بين ضغط دمك في وضعية الجلوس والضغط الطبيعي. هل كان ضغط دمك عند الراحة ضمن المعدل الطبيعي؟ إذا لم يكن كذلك، فهل تُعدُّ مجموعة واحدة من البيانات مثيرة للقلق؟ وضّح.

b. هل يمكن أن يكون لدى الشباب ضغط دم مرتفع؟ وضّح.

c. قارن بين BP الخاص بك عند الراحة وبعد النشاط. ما النمط الذي تلاحظه؟

صمّم ونفّذ تجربتك الخاصّة

اختر إحدى التجارب الآتية لتنفيذها مع شريك.

a. ما الوقت الذي يحتاج إليه ضغط دمك ليعود إلى مستواه عند الراحة بعد النشاط؟ توقّع الوقت، وقم بإجراء تجربة لقياس ذلك.

b. كيف تتأكّد من أنّ ضغط الدم يتأثّر بالإجهاد؟ اقترح تجربة عادلة يمكن من خلالها جمع بيانات حول هذا السؤال.

العوامل المؤثّرة في ضغط الدم

هناك عدّة عوامل تؤثّر في ضغط الدم الطبيعي. تشمل العوامل التي لا يمكن السيطرة عليها كالشيخوخة، وجنس الفرد، والعوامل الوراثية.

الشيخوخة: يختلف ضغط الدم الانقباضي مع تقدّم العمر، حيث تصبح الأوعية الدموية متصلّبة وسريعة العطب. تقلّ مرونة الشريان الأبهر، فيرتفع ضغط الدم وينخفض إنتاج خلايا الدم؛ لذلك،يقوم القلب بضخّ المزيد من الدم للحفاظ على أكسجة الجسم. في فترة الشيخوخة، تموت بعض الخلايا في العُقدة الجيبية الأُذَيْنية التي تنظّم معدّل دقّات القلب ولا يتمّ تعويضها، وتنمو الرواسب الدهنية والأنسجة الليفية على القلب، وتصبح الصمامات أكثر صلابة.

الجنس: تتميّز النساء بضغط دم انقباضي أقلّ مما هو لدى الرجال. إنّ سبب هذا الفرق غير معروف، ولكن هرمون التستوستيرون ولُزوجَة الدم عند الرجال قد يكونان من الأسباب التي تُحدث هذا الفرق. عند بلوغ الرجال والنساء الـ 60 يقلّ تأثير الجنس في ضغط الدم.

الوراثة: من المعروف أنّ بعض أمراض القلب موروثة. يؤدّي ضغط الدم العالي بسبب الكوليسترول المرتفع إلى نوبات قلبية في سنّ مبكرة جدًا. ويمكن أن تسبّب الطفرات الموروثة أيضًا إيقاعًا غير طبيعي في القلب وأمراضًا في عضلة القلب.

ضغط الدم هو نتيجة عوامل يمكننا التحكم في بعضها ونعجز عن التحكّم في بعضها الآخر.

وضعية الجسم وممارسة الرياضة والوقاية تُعدّ من عوامل ضغط الدم التي يمكن التحكّم فيها.

حجم سوار جهاز قياس ضغط الدم: يسبّب السوار الصغير جدًا ارتفاعًا زائفًا في ضغط الدم.

وضعية الجسم: يكون ضغط الدم أقلّ عند قياسه في وضعية الاستلقاء، وأعلى عند قياسه في وضعية الجلوس أو الوقوف. الاستلقاء يعني أنَّ القلب لا يعمل بصعوبة لضخّ الدم، لأنّ الرأس والأعضاء تكون في مستوى القلب نفسه.

ممارسه الرياضة: أثناء ممارسة الرياضة، يزداد النبض ويرتفع ضغط الدم. ولكنْ، عندما تكون عضلات القلب قوية، فإنَّ ذلك يحتاج إلى دقّات أقلّ لإنتاج ضغط الدم نفسه.

الأدوية: يمكن لقائمة طويلة من الوصفات الطبية والأدوية التي لا تستلزم وصفة طبّية أن ترفع ضغط الدم، فهي تجعل القلب يعمل بجهد أكبر، ومنها الكافيين، ومزيلات الاحتقان، وأدوية الصداع، والمكمّلات العشبية والستيرويدات.

المرض: يمكن منع قصور الصمّامات ومرض الشريان التاجي بالتشخيص المبكر. ويمكن معالجتهما باعتماد نظام غذائي جيّد وممارسة الرياضة والأدوية.

أمراض القلب والأوعية الدموية

أمراض القلب والأوعية الدموية هي القاتل الأوّل للرجال والنساء. هناك عدّة أشكال من **أمراض القلب والأوعية الدموية Cardiovascular disease** (CVD). يُظهر الشكل **الشكل 2-45** أمراض القلب والأوعية الدموية الأكثر شيوعًا.

a. مرض الشريان الأبهر (تمدّد الأوعية الدموية aneurysm): هو تضخّم منطقة في الشريان الأبهر.

b. اضطراب النظم القلبي Arrhythmia: هو إيقاع كهربائي غير منتظم.

c. مرض العضلة القلبية (اعتلال عضلة القلب cardiomyopathy): هو مرض في جدار عضلة القلب.

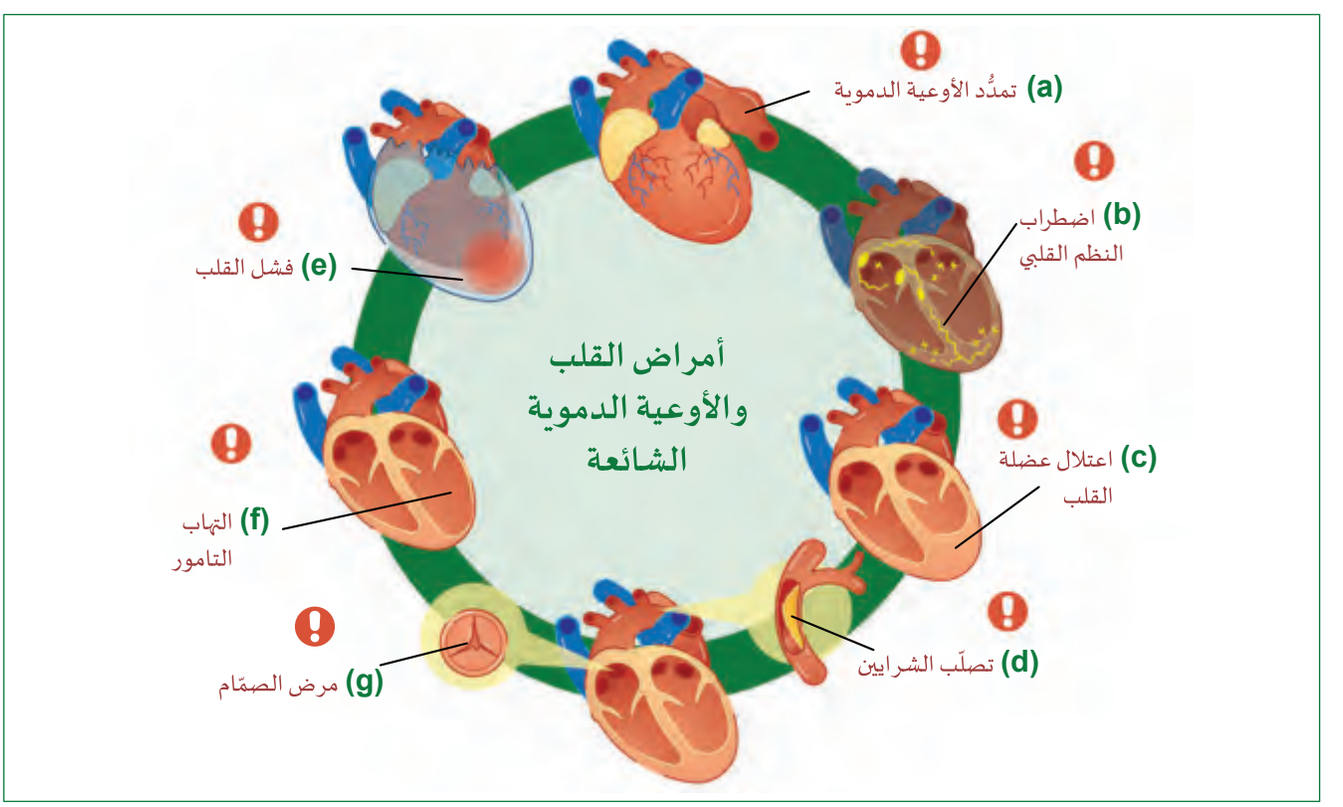
d. مرض الشريان التاجي (تصلّب الشرايين Atherosclerosis): هو تراكم الرواسب الدهنية على الجُدُر الداخلية للشرايين.

e. فشل القلب: هو ضخّ الحجرات بشكل غير فعّال.

f. التهاب التامور Pericarditis: هو التهاب النسيج المحيط بالقلب.

g. مرض الصمّام: هو تَلَفٌ أو عَيْبٌ في صمّام واحد أو أكثر من صمّامات القلب.

استخدم الإنترنت لتتعرّف إلى أمراض القلب والأوعية الدموية الوراثية، ثم حدّد من هذه الأمراض ما يمكن الوقاية منه.



شكل 2-45 سبعة أمراض قلبية شائعة.

معرفة تاريخ عائلتك المرضي أمر مهمّ، لكنّ تقليل مخاطر معظم أمراض القلب والأوعية الدموية أمر يمكنك السيطرة عليه. يمكن أن تنشأ الأمراض القلبية الوعائية في أيّ عمر من الأعمار، لكنَّ الخطر يزداد بشكل كبير مع خيارات أنماط الحياة السيّئة.

ارتفاع ضغط الدم

يجب أن يكون الحفاظ على قلب سليم هدفًا لكلّ إنسان. لا أحد يريد أن يعاني آثار أمراض القلب والأوعية الدموية. في حالات كثيرة يمكن الوقاية من الكثير من هذه الأمراض المهدّدة للحياة عن طريق اتخاذ قرارات حكيمة في ما يتعلّق بنمط الحياة. ارتفاع ضغط الدم هو المؤشّر الأوّل على مشكلات القلب والأوعية الدموية.

يجب أن يكون ضغط الدم أثناء الجلوس أقلّ من 120/80.

لا يعرف الأطباء جميع الأسباب التي تؤدّي إلى **ارتفاع ضغط الدم Hypertension** الذي يُطلَق عليه في الغالب اسم «القاتل الصامت» لا سيّما وأنَّ الأشخاص الذين يعانون ارتفاع ضغط الدم قد لا يتعرّفون إلى أعراضه. بعض أسباب ارتفاع ضغط الدم وراثيّة. يمكن لفحوصات الدم السنوية ومراقبة الضغط أن تنبئك بالمخاطر وتدلّك إلى العلاجات الملائمة. تزيد بعض السلوكيات من المخاطر وبعضها الآخر يقلّل منها.

الاختيارات التي تقلّل من خطر ارتفاع ضغط الدم

التمارين المنتظمة: 30 - 20 دقيقة يوميًا من التمارين الرياضية التي تزيد من معدّل دقّات قلبك إلى ما فوق 140 دقّة في الدقيقة تقوّي القلب.

فقدان الوزن: الأشخاص الذين لديهم مؤشّر كتلة الجسم ضمن النطاق الطبيعي هم أقلّ تعرّضًا لارتفاع ضغط الدم.

نظام غذائي منخفض الدهون: تناولِ الأطعمة الغنية بالبروتينات والكربوهيدرات المعقّدة وتجنّبْ زيادة الدهون والسكّر.

تناول الملح باعتدال: لا تُضف الملح إلى طعامك، فمعظم الأطعمة تحتوي على كميّة كافية من الملح بشكل طبيعي.

توقّف عن التدخين: إذا كنت تدخّن، فإنَّ أفضل ما يمكن أن تفعله من أجل صحّتك هو ترك هذه العادة السيئة.

الاختيارات التي تزيد من خطر ارتفاع ضغط الدم

قلّة الحركة: تصبح عضلات قلبك والجهاز الدوراني لديك ضعيفة ما لم يُتح لها ممارسة نشاط عالٍ.

السمنة: الدهون الزائدة في الجسم ترتبط ارتباطًا وثيقًا بارتفاع ضغط الدم بأمراضٍ أخرى.

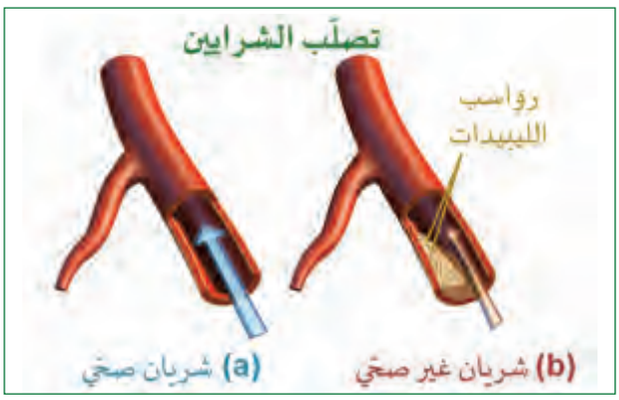
الأطعمة الدهنية والوجبات «السريعة»: تسد الدهون الزائدة في الأطعمة الدهنية والوجبات السريعة الشرايين بترسبات دهنية تحد من تدفق الدم، بعض الوجبات السريعة غنية بالسكر.

الكثير من الملح: كميّة الملح أعلى من 6 جرامات يوميًا للشخص الراشد تزيد من مخاطر ارتفاع ضغط الدم.

التدخين: يرفع النيكوتين ضغط الدم ويسبّب ضيق الشرايين وتصلّب جُدُرها.

علاقة تصلّب الشرايين بارتفاع ضغط الدم والذبحات الصدريّة

ماذا يفعل جسمك بالأطعمة الدهنيّة مثل البطاطس المقلية؟ الليبيدات هي دهون تُطلِق 9 kcal/g أكثر من ضعف الطاقة التي تطلقها الكربوهيدرات 4 kcal/g.



شكل 2-46 (a) يتدفق الدم بسهولة في الشرايين الصحية. (b) تقلل الرواسب الدهنية من تدفق الدم ويمكن أن تسبب انسدادًا كاملًا للشريان.

يتمّ تحويل بعض الدهون التي تتناولها على الفور إلى جزيئات يمكن توليد الطاقة منها، ويتمّ توزيعها عن طريق الدم. إذا لم يستخدم جسمك كلّ هذه الجزيئات التي في الدم، فإنَّ الليبيدات الزائدة تبقى معلّقة في دمك إلى أن يتمّ جمعها وخَزْنها على شكل دهون في الجسم. عندما تتلاصق الليبيدات الزائدة تتجمّع على الجُدُر الداخلية للشرايين، وتؤدّي بالتالي إلى **تصلّب الشرايين Atherosclerosis**. تقلّص هذه الحالة من تدفّق الدم، وترفع من ضغطه، ويمكن أن تسبّب ذبحة صدرية (**الشكل 2-46**).

تحدث الذبحات الصدرية عندما يصبح أحد الشرايين المغذية لعضلة القلب مسدودة تمامًا. في بعض الأحيان، يكون الانسداد بسبب الرواسب الدهنية. وفي بعض الحالات، تنتج عوامل التخثّر العادية في الدم كثيرًا من الصفائح الدموية وتكوّن خثرة. **الخَثْرة Thrombus** عبارة عن تجلّط دموي غير طبيعي في وعاء رئيس في أحد الأطراف أو القلب أو الدماغ. يمكن أن يكون الترسّب الدهني أو الخَثْرة الكبيرة أو المتحرّكة بالقرب من القلب مميتةً. إذا لم يحصل جزء من القلب على الأكسجين، فقد تتوقّف دقّاته. أما في الدماغ فتقتل الخَثْرة الأنسجة العصبية فيه وتؤدّي إلى **السكتة الدماغية Stroke** .

تمّ إثبات الارتباط بين ارتفاع مستويات الكوليسترول في الدم وأمراض الشرايين التاجيّة. فإذا كان الكبد ينتج الكوليسترول ونتناول نحن الأطعمة الدهنية، فإن ذلك يؤدّي إلى دوران الدم وتراكم الفائض فيه.

شكل 2-47 الوجبات السريعة والبطاطس المقلية غنية بالدهون المشبعة ويجب تجنبها.

إنّ تصلّب الشرايين نوع واحد من أمراض القلب والأوعية الدموية ويمكن الوقاية منه عن طريق الحدّ من تناول الدهون يوميًا في الوجبات (**الشكل 2-47**). يحتاج معظم البالغين إلى 20-35 % من الدهون يوميًا، ولكنْ يجب أن تكون نسبة الدهون المشبعة أقلّ من 10 % ولا تكون غنيّة بالكولسترول.

تشير البحوث إلى أن استخدام الدهون الجيدة الموجودة في المكسّرات والأسماك وزيت الزيتون عوضًا عن الدهون المشبعة من منتجات الألبان واللحوم الحمراء وزيت النخيل يقلّل من مخاطر المرض بشكل ملحوظ.

النظام الغذائي وممارسة الرياضة وفقدان الوزن

إنّ ممارسةُ الرياضة بانتظام واتباعُ نظام غذائي صحّي يمكنها أن تحسن عمل القلب والأوعية الدموية.

للحفاظ على وزن صحّي، يجب أن يكون العدد الكلي للسعرات الحرارية التي تتناولها مساويا للسعرات الحرارية التي تستهلكها. وهذا ما يُسمّى «مجموع إنفاق الطاقة اليومي» Total daily energy expenditure (TDEE). يتمّ تحويل الفائض من السعرات الحرارية الذي يزيد عن TDEE الخاصّ بك إلى دهون، فيزداد وزنك.

افترض أنك تريد إنقاص وزنك. ما الخطوات التي يجب اتخاذها؟ ما هو الوزن المعقول الذي تريد الوصول إليه؟ تذكّر هذا الرقم: 7,700 kcal. لتخسر كيلوجرامًا واحدًا في أسبوع واحد، فإنك تحتاج إلى تناول 7,700 kcal أقلّ ممّا ينفقه جسمك خلال الأسبوع. قد يقترح الطبيب أحد أهداف فقدان الوزن أدناه.

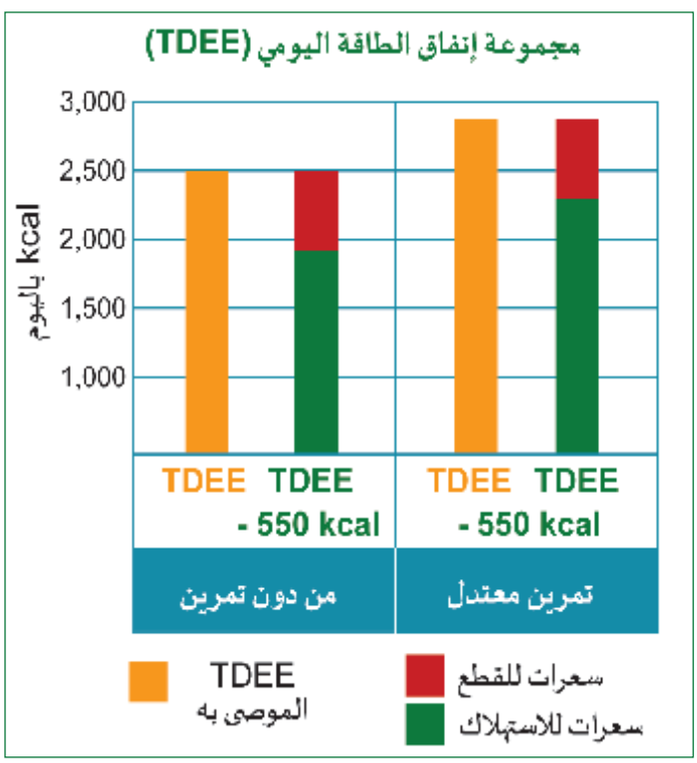
فقدان الوزن الآمن: (0.5 - 1 kg) في الأسبوع، أو إنقاص السعرات الحرارية = (3,850 - 7,700 kcal)

فقدان الوزن الشديد: (> 1 kg) في الأسبوع أو تقليل في السعرات الحرارية (> 7,700 kcal).

هناك طريقتان لإنقاص السعرات الحرارية: تناوُلُ كميات أقلّ من الطعام أو ممارسة الرياضة أكثر. يحتاج معظم الناس إلى كليهما. الهدف الآمن هو 550 kcal / يوم.

$$\frac{7{,}700\ \text{kcal}}{\text{أسبوع}} \times \frac{\text{أسبوع}}{7\ \text{أيام}} = \frac{\mathbf{550\ kcal}}{\mathbf{يوم}}$$

يتناول حامد 2,700 kcal في اليوم، ومجموع إنفاق الطاقة اليومي (TDEE) له 2,500 kcal. يتخطّى حامد TDEE بمقدار 200 kcal/day. ولبلوغ هدف خسارة الوزن، فإنّ عليه خفض 750 kcal/day كي يصل الإنفاق إلى 1,950 kcal في اليوم. إن القليل من الناس لديهم قوّة الإرادة لتناول الطعام أقلّ بـ 28 % ولعدة أسابيع.



شكل 2-48 مقارنة مجموع إنفاق الطاقة اليومي (TDEE(kcal مع ممارسة التمارين الرياضية وبدونها.

يغيّر التمرينُ الأَيْض ليستخدم الجسم الطاقة بمعدل أسرع.

إذا أضاف حامد تمرينًا معتدلًا إلى نظامه الغذائي الجديد، فإنّ TDEE يصبح 2,875 kcal بدلًا من 2,500 kcal كما يوضّح **الشكل 2-48**. عن طريق طرح الـ 550 kcal التي يجب إزالتها ليخسر الوزن، يتبقى لحامد 2,325 kcal ليتناولها ولا يزال يحقّق هدفه الأسبوعي لفقدان الوزن. يوضّح هذا الحساب أهمية التمرين لفقدان الوزن. مع ممارسة الرياضة، كثير من الناس الذين يحتاجون إلى نظام غذائي يمكنهم تناول المزيد من الطعام يوميًا، ويخسرون الوزن، ولا يشعرون بالحرمان.

الفحوصات السنوية وتحليل الدم لمراقبة الصحة

ثلاثة اختبارات شائعة تساعد الأطباء على تتبّع واكتشاف تغيّرات الجهاز الدوراني مع تقدمنا في العمر: معدّل دقّات القلب وضغط الدم **والعدّ الدمويّ الشامل Complete blood count** (CBC). العدّ الدموي الشامل هو مجموعة معيارية من اختبارات الدم التشخيصية للكشف عن حالة صحية أو مراقبتها. ما لم يجد الطبيب معدّل دقّات القلب أو ضغط الدم غير طبيعي في الفحص السنوي، فإنّ معظم الشباب لن يقوموا بإجراء فحوصات للدم في غياب أيّة أعراض أو مرض.

إذا كنت قد أجريت اختبارات دم من قبل، فأنت تعرف أنه يمكن أن يكون مقلقًا وغير مريح. التعرّف إلى بعض نتائج فحوصات الدم يمكن أن يُساعدك على أن تصبح أكثر دراية بالصحة.

يتكوّن CBC الروتيني من 5 اختبارات وقياسات مختلفة لكلّ نوع من خلايا الدم، بالإضافة إلى عدد خلايا الدم الحمراء في كل µL من الدم. إذا طُلب منك الصيام قبل إجراء اختبارات الدم، فإنَّ طبيبك ينظر بإمعان إلى موادّ أخرى مثل الصوديوم (Na) أو الكالسيوم (Ca) أو الدهون الكلية في لوحة الدهون lipid panel. حافظ على المعدل الكلّي للكولسترول ليكون أقلّ من 200 mg/dl فيبقى قلبك سليمًا. استخدم البيانات في **الجدول 2-1** لتذكير أحد أفراد الأسرة أو لتثقيف نفسك.

الجدول 2-2 اختبارات الدم الشائعة والنتائج الطبيعية.

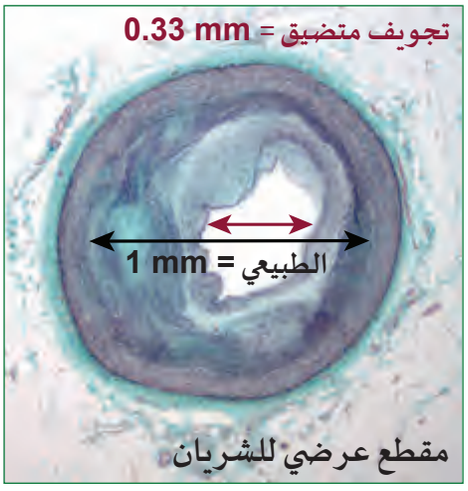
اختبار CBC	النتائج الطبيعيّة	
	ذكر راشد	أنثى راشدة
RBC	4.32 - 5.72 مليون خليّة/µL	3.90 - 5.03 مليون خليّة/µL
WBC	5,000 - 10,000 خليّة/µL	4,500 - 11,000 خليّة/µL
الصفائح الدمويّة	135,000 - 317,000/µL	157,000 - 371,000/µL
Hb	132 - 166 g/L	116 - 150 g/L
الهيماتوكريت (RBC: الدم)	38.3 - 48.6%	35.5-44.9%
لوحة الدهون	**ذكر راشد**	**أنثى راشدة**
بروتين دهني منخفض الكثافة (LDL)	< 100 mg/dl	< 100 mg/dl
بروتين دهني عالي الكثافة (HDL)	> 40 mg/dl	> 40 mg/dl
الجليسريدات الثلاثيّة Triglycerides	< 150 mg/dl	< 150 mg/dl
الكوليسترول الكلّي	< 200 mg/dl	< 200 mg/dl

تقويم الدّرس 2-3

1. اشرح الفرق بين تدفّق الدم وضغط الدم.
2. ماذا يمثّل ضغط الدم الانقباضي؟
3. ماذا يمثّل ضغط الدم الانبساطي؟
4. ما أهمية الفرق بين ضغط الدم الانقباضي والانبساطي؟
5. ما هي درجة ضغط الدم أثناء الراحة التي تستدعي التفكير في بدء العلاج لارتفاع ضغط الدم؟
6. اختر عاملًا يؤثّر في ضغط الدم ويمكن التحكّم فيه، وعاملًا آخر لا يمكن التحكم فيه، واشرح السبب.
7. * اشرح بكلماتك الخاصّة سبب كلٍّ من أمراض القلب والأوعية الدموية الآتية. ما المجال الذي يؤثّر فيه؟ أهو وراثيّ أم يمكن السيطرة عليه؟
   a. مرض عضلة القلب (اعتلال عضلة القلب cardiomyopathy)
   b. مرض الشريان الأبهر (تمدّد الأوعية الدموية aneurysm)
   c. مرض الصمّام
   d. تصلّب الشرايين
8. اذكر ثلاثة سلوكيّات تزيد من خطر الإصابة بارتفاع ضغط الدم.
9. * اشرح علاقة المصطلحات الآتية بعضها ببعض: تصلّب الشرايين وضغط الدم والسكتة الدماغية.

افحص المقطع العرضي للشريان الظاهر في الصورة وأجب عن الأسئلة الآتية:

10. ما هو مرض القلب والأوعية الدموية الذي يمثّله المقطع العرضي؟
11. استخدم القياسات في صورة الشريان لإعطاء قيمة تقريبية لـ:
    a. مساحة التجويف الطبيعية
    b. مساحة التجويف المتبقية
    c. مساحة التجويف التالفة



12. ماذا يحدث لهذا المريض إذا تُرك من دون علاج، إذا كان هذا الشريان موجودًا:
    a. على القلب؟
    b. في الدماغ؟

إضاءة على عالم

الدكتور ويليام ديفريز – 1943

شكل 2-49 الدكتور ويليام ديفريز في مكتبه.

ولد وليام ديفريز في 19 ديسمبر 1943 في بروكلين، نيويورك. والده هو هنري ديفريز، مهاجر هولندي مات في القتال أثناء الحرب العالمية الثانية. عندما تزوجت والدته مرة أخرى انتقل إلى ولاية يوتا وانضمَّ مع والدته إلى عائلة كبيرة. أثبت وليام في المدرسة الثانوية أنّه رياضي وباحث. درس في جامعة يوتا عن طريق منحة دراسية وتخرّج بدرجة بكالوريوس في علم الأحياء الجُزَيْئي وعلم الوراثة في العام 1966، ثم درس في مدرسة الطب وحصل على شهادة في الطب MD في العام 1970.

عمل ديفريز أثناء دراسته الطب في كثير من الوظائف للمساعدة في دفع النفقات. واحدة من هذه الوظائف كانت مراقبة شفاءالحيوانات بعد زرع الأجهزة الجراحية فيها. كان هذا في العام نفسه الذي قام فيه دكتور دينتون كولي الذي كان طبيبًا في هيوستن بأول محاولة لعملية زرع قلب اصطناعي إلى حين العثور على قلب بشري ملائم. بعد تسع سنوات من التدريب الجراحي في مكان آخر، أصبح الدكتور ديفريز يجري عدة عمليات قلب مفتوح أسبوعيًا. قرّر العودة إلى يوتا، وبدأ العمل مع الدكتور روبرت جارفيك، مخترع «القلب الاصطناعي».

تمّت الموافقة في العام 1982 على استخدام القلب الذي استخدم قبل ذلك في الحيوانات. أحد أجهزة الدكتور جارفيك، كان جارفيك -7، وهو عبارة عن مضخّة مصنوعة من التيتانيوم والبلاستيك الصلب مسيّرًا بوساطة ضاغط خارجي للهواء مع أنبوبين يدفعان الهواء إلى الجسم من خلال شقوق في البطن. وقد تمّ تنفيذ العملية من قبل فريق جراحي برئاسة ويليام ديفريز في جامعة يوتا.

شكل 2-50 القلب الاصطناعي الكامل الطري (sTAH).

اختير أوّل مريض للزرع بعناية، وهو طبيب الأسنان الدكتور بارني كلارك، وكان متفهّمًا لمخاطر تلك العملية. تعافى كلارك من الجراحة مدة 112 يومًا فقط، وقد فتحت هذه الجراحة الرائدة الطريق أمام تطوير المزيد من الأجهزة الناجحة. اليوم، تمَّ تحسين المواد المستخدمة في الصمّامات والقلوب الاصطناعية بشكل كبير، ما جعلها قادرة على أن تمدّ في حياة المرضى حتى 5 سنوات (**الشكل 2-50**).

الوحدة 2

مراجعة الوحدة

الدرس 2-1 الدم واللمف

- يتكوّن دم الإنسان من **بلازما Plasma** مائية تحتوي على ثلاثة أنواع من خلايا الدم: خلايا الدم الحمراء وخلايا الدم البيضاء **والصفائح الدموية Platelets** .
- تحتوي خلايا الدم الحمراء على عديد الببتيد **الهيموجلوبين Hemoglobin** لربط الأكسجين وثاني أكسيد الكربون أثناء دوران الدم.
- يبيّن تأثير بور أنّ ثاني أكسيد الكربون وأيونات الهيدروجين تحدّد مقدار انجذاب الهيموجلوبين للأكسجين، أما تأثير هالدين فيؤكّد أنّ التغيّر في تراكيز الأكسجين يحدّد انجذاب الهيموجلوبين لثاني أكسيد الكربون.
- **الإرقاء Hemostasis** هو تجلّط الدم بعد **التشنّج الوعائي Vascular spasm**، وذلك عندما يتمّ تشغيل عوامل بروتينية محدّدة مثل **الفايبرين Fibrin** لإنتاج **سدّادة الصفائح الدموية Platelet plug** في الأوعية الدموية المقطوعة لإبطاء فقدان الدم.
- تتشكّل الجلبة **(القشرة) Scab** عندما تتصلّب الجلطة.
- يزيد اثنا عشر عاملًا من عوامل الدم المختلفة من الأحداث المتعاقبة لتخثّر الدم بشكل كبير، ويتمّ ترميم الجروح بسرعة.
- يتكوّن **الجهاز القلبي الوعائي Cardiovascular system** من القلب والأوعية الدموية التي تتآزر مع **الجهاز اللمفاوي Lymphatic system** للحفاظ على **السائل البيني (النسيجي) Interstitial fluid** المحيط بالخلايا مؤكسجًا ومزودًا بالمواد الغذائية.
- يقوم الجهاز اللمفاوي بتدوير **اللمف Lymph** في شبكة من الأوعية، حيث يتمّ ترشيح المواد الغريبة عن طريق العُقَد المتّصلة بالقنوات بالقرب من القلب حيث تصبّ هذه السوائل المصفّاة مرّة أخرى في الدم.
- فقر الدم ومرض الخلية المنجلية **والثلاسيميا Thalassemia** هي اضطرابات في الدم بسبب نقص في خلايا الدم أو الهيموجلوبين.

الدرس 2-2 الجهاز القلبي الوعائي

- يتكوّن الجهاز القلبي الوعائي من مسارين لنقل الدم، أحد المسارين إلى الرئتين والآخر إلى بقيّة الجسم.
- يساعد تركيبُ الأوعية الدموية في الجسم الدمَ الذي تحمله الشرايين والأوردة والشعيرات الدموية على الانتقال في **تجويف Lumen** مركزي.
- **الدورة القلبية Cardiac cycle** هي تسلسل لأحداث في القلب، من بداية دقّة إلى بداية الدقّة التالية، وتتكوّن من ثلاث خطوات.
- أثناء **الانبساط Diastole** الأُذَيْني والبُطَيْني تنبسط عضلات القلب في جميع الحجرات.

- **الانقباض Systole** الأُذَيْني يرسل الدم عبر الصمّامات لكلا البُطَيْنَيْن ويتمّ إطلاقه بوساطة **العُقدة الجيبية الأُذَيْنية SA node**، أو ناظم القلب في الأُذَيْن الأيسر.
- عندما يتمّ التقاط هذا التيار عن طريق أنسجة معزولة بين الحجرات عبر العُقدة الأُذَيْنية البُطَيْنية، يتأخّر التيّار قليلًا، فينقبض البُطَيْنان (الانقباض البُطَيْني) بعد انقباض الأُذَيْنين.
- تنتقل موجة التيار من العُقدة الأُذَيْنية البُطَيْنية (العقدة AV) إلى **حزمة هيس Bundle of His** ثمَّ إلى **ألياف بيركنجي Purkinje fibers** لدفع جُدُر البُطَيْنين إلى الانقباض نحو الأعلى وإلى الداخل، فيخرج الدم من القلب.
- **تخطيط القلب الكهربائي Electrocardiogram** هو اختبار تشخيصي يُظهِر موجات من الاستثارة الكهربائية والانبساط في جُدُر القلب أثناء الدورة القلبية.
- إذا أصبحت إشارات البُطَيْن الكهربائية غير منتظمة في حالة **الرجفان Fibrillation**، يصبح الموت وشيكًا؛ ولذلك، فإنّ الكثير من الأماكن العامّة لديها **أجهزة إزالة الرجفان Defibrillators** لصدم القلب واستعادة تدفّق الدم مؤقّتًا إلى حين وصول المساعدة.

الدرس 2-3 أمراض القلب والأوعية الدمويّة والوقاية منها

- **تدفّق الدم Blood flow** هو كميّة الدم الجارية في أحد الأوعية الدموية في فترة زمنية محدّدة. يتباطأ التدفّق بحسب سُمْك الدم أو قطر الوعاء أو طوله بسبب المقاومة.
- **ضغط الدم Blood pressure**، أو القوّة على وحدة مساحة على جُدُر الأوعية، وهي تتأثّر بالجاذبية ومقاومة الأوعية، ويمكن قياس الضغط **بمقياس ضغط الدم Sphygmomanometer وسمّاعة الطبيب Stethoscope**.
- ضغط الدم هو نسبة **الضغط الانقباضي Systolic pressure** على **الضغط الانبساطي Diastolic pressure**، الضغط الانقباضي هو الضغط الأقصى الناتج عن انقباض البُطَيْن. الضغط الانبساطي هوالضغط الناتج عن انبساط جميع الحجرات.
- أحد **أمراض القلب والأوعية الدموية Cardiovascular disease** هو **تصلّب الشرايين Atherosclerosis** الذي يسبّب ارتفاع **ضغط الدم Hypertension**.
- يمكن لجلطة دموية متحرّكة، أو **خَثْرة Thrombus** أن تسبّب ذبحة صدرية أو **سكتة دماغية Stroke**.
- يمكن تشخيص أو مراقبة أمراض القلب والأوعية الدموية عبر الفحوصات السنوية واختبارات الدم مثل **اختبار الكوليسترول Cholesterol test**.

تحضير للاختبار

1. أيٌّ مما يأتي ليس من مكوّنات دم الإنسان؟
   a. خلايا الدم البيضاء
   b. البلازما
   c. الصفائح الدموية
   d. خلايا الدم الحمراء ذات النواة

2. أيٌّ من الآتي من خصائص خلايا الدم الحمراء؟ يمكن اختيار أكثر من إجابة.
   a. لها شكل كعكة محلّاة مع نواة، ولكن بدون ثقب
   b. تحتوي على الميتوكندريا
   c. تُنتَج في نخاع العظم
   d. تتَّسع لبروتين هيموجلوبين واحد في داخلها

3. لماذا يجب أن تكون الهياكل الخلوية لخلايا الدم الحمراء مرنة؟
   a. الهيموغلوبين يغيّر شكله.
   b. تحتاج خلايا الدم الحمراء إلى النموّ والتطوّر.
   c. تحتاج خلايا الدم الحمراء إلى أن تمرّ في الشعيرات الدموية الدقيقة.
   d. أليافها قاسية وصلبة تسبّب جلطات الدم.

4. كيف يقارن PO_2 في الهواء مع PO_2 في الدم؟
   a. PO_2 في الهواء والدم متشابهان.
   b. PO_2 في الهواء أعلى منه في الدم.
   c. PO_2 في الهواء أدنى منه في الدم.
   d. PO_2 في الدم أعلى منه في الهواء أثناء التمرين الرياضي، ولكنه أدنى منه في الهواء عند الراحة.

5. أيٌّ ممّا يأتي ليس جزءًا من الإرقاء؟
   a. تكوين الصفائح الدموية
   b. إنتاج الفايبرين من الفايبرينوجين
   c. التشنّج الوعائي
   d. الأحداث المتعاقبة في التخثّر

6. أيٌّ من السوائل الآتية مسؤول عن التبادل المباشر للمواد الغذائية والفضلات من خلايا الجسم وإليها؟
   a. اللمف
   b. الدم
   c. البلازما
   d. السائل النسيجي

7. أيٌّ مما يأتي ليس من وظائف الجهاز الدوراني؟

a. ربط الأكسجين بالهيموجلوبين

b. نقل ثاني أكسيد الكربون في الشرايين إلى القلب

c. إطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون في الرئتين

d. نقل غاز الأكسجين الذي يتمّ ضخّه من الأُذَيْن الأيسر إلى الجسم.

8. ما هو أفضل وصف لتسلسل الأحداث في دورة القلب؟

a. ينتقل من الانبساط إلى الانقباض.

b. يحدث من بداية دقة إلى بداية دقة القلب التالية.

c. يشمل الانقباض البُطَيْني قبل الانقباض الأُذَيْني.

d. يتكرَّر كل 70 ثانية.

9. لماذا تُعرف العُقْدة الجيبية الأُذَيْنية أيضًا باسم "ناظمة القلب"؟

a. لا يمكن للقلب أن يطلق تدفّعات كهربائية بدونها.

b. تحدّد وتيرة انقباض كلّ بُطَيْن.

c. تقع بين الجانب الأيسر والأيمن من القلب.

d. تتواصل مع حزمة هيس.

10. ما شكل الموجة في مخطّط القلب الكهربائي التي تتوافق مع انقباض البُطَيْنَيْن؟

a. موجة P

b. موجة R

c. موجة QRS

d. موجة T

11. أي ممّا يأتي يولّد مقاومة في الأوعية الدموية؟

a. قطر الوعاء

b. طول الوعاء

c. سُمْك الدم

d. كلّ ما ذُكِر

12. ما هي قراءة ضغط الدم التي تستدعي الاتصال بخدمات الطوارئ؟

a. 100/80

b. 150/70

c. 180/110

d. 120/80

13. أيٌّ ممّا يأتي يمكن أن يقي من أمراض القلب والأوعية الدموية؟

a. التدخين

b. فقدان الوزن

c. التمرين الرياضي

d. تناول الأطعمة الغنية بالكوليسترول

أسئلة الإجابات القصيرة

الدرس 2-1 الدم واللمف

14. ارسم دمًا في أنبوب اختبار وأكمل كل جزء أدناه.

a. أظهر النسب التقريبية من خلايا الدم الحمراء، وخلايا الدم البيضاء، والصفائح الدموية والبلازما

b. ما هي الموادّ الذائبة في البلازما؟

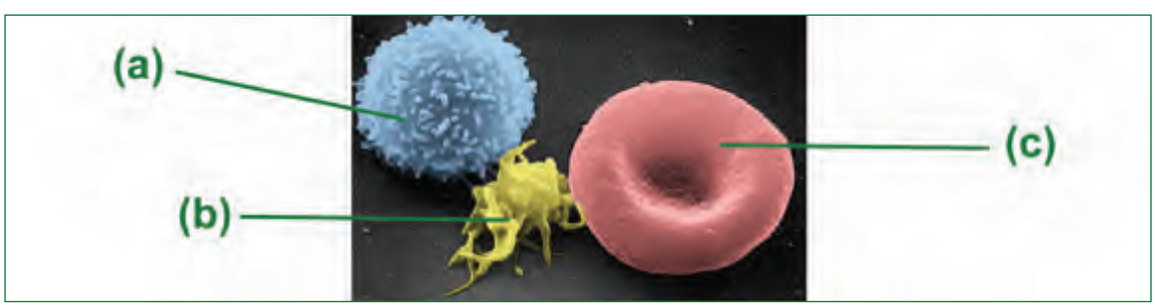
c. ما هي المادّة التي يمكن أن تتجمّع في الدم وتسبّب مشكلات صحية؟

d. ما هو المكوّن المسؤول عن الإرقاء؟

e. ما هي الخلية التي تحتوي على الهيموجلوبين؟

f. ما هي الخلايا الموجودة في العقد اللمفاوية أيضًا والتي تساعد جهازك المناعي؟

15. اذكر اسم كلّ نوع من خلايا الدم في صورة المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) أدناه.



16. رتّب خلايا الدم الثلاث بحسب الحجم، بيّن أنَّ انخفاض تعداد أيٍّ منها يُشير إلى وجود مشكلة صحية.

17.* اشرح كيف يمكن فصل مكوّنات الدم. أعطِ سببين لذلك.

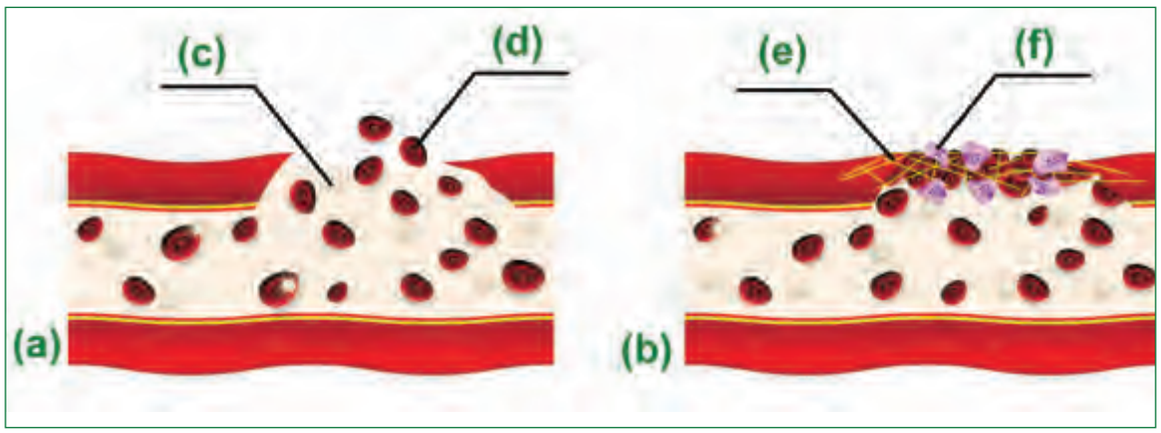
18. لماذا يتغيّر لون خلايا الدم الحمراء بشكل طفيف أثناء دورانها؟

19. صف كيف يتغيّر إشباع الهيموجلوبين بالـ O_2 من الرئتين إلى أنسجة الجسم.

20. ما التفاعل الكيميائي الذي يحدث في الدم لإزالة ثاني أكسيد الكربون من أنسجة الجسم. وما التفاعل العكسي الذي يساعد على إخراج ثاني أكسيد الكربون من الدم إلى الرئتين. تأكّد من أن تشمل التفاعلات كلّ حافز يستخدمه الجسم فيها.

21. بحسب تأثير بور، ما تأثير انخفاض pH الدم في تفكّك الأكسجين من الهيموجلوبين؟

22. ادرس الشكل في الأسفل بعناية ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.



a. ماذا يحدث للوعاء الدموي (a) للتقليل من خسارة الدم؟ أجب بإيجاز.

b. ما هي الخطوة التالية المفقودة في الصورة؟ ارسم مخطّطًا بسيطًا باستخدام أقلام ملوّنة واذكر اسم التركيب المهمّ الذي يتشكّل.

c. يتمّ تنشيط التراكيب (c) لتصبح (f) من خلال عوامل الأحداث المتعاقبة للتخثّر. اذكر هذه العوامل.

d. التراكيب (e) هي عديدة الببتيدات تنشط لتشكيل شبكة مستقرّة بتأثير من عوامل الأحداث المتعاقبة في التخثّر. ارسم مخطّطًا انسيابيًا بسيطًا يتضمّن العوامل البروتينية الثلاثة التي تتجمّع.

***23.** ميِّز بين ثلاثة سوائل مهمّة للجسم في الجهاز الدوراني. اذكر أسماءها وحدّد وظيفة كُلّ منها وحدد العلاقة فيما بينها.

***24.** استخدم رسمًا للعُقدة اللمفاوية لإظهار:

a. انتقال اللمف من خلالها

b. ما يحدث داخلها

c. المكان الذي قد يذهب إليه اللمف بعدها.

***25.** فيمَ يتشابه تدفّق اللمف وتدفّق الدم؟ وفيمَ يختلفان؟

26. ما تأثير انخفاض نسبة الحديد في الدم على الصحة؟ وكيف يمكن معالجة هذه المشكلة بسهولة؟

***27.** لماذا تتطلّب الطفرة في الهيموجلوبين من مرضى فقر الدم المنجلي أو الثلاسيميا إجراء عدّة عمليات نقل للدم؟

الدرس 2-2 الجهاز القلبي الوعائي

*28. فيمَ يختلف إيقاع القلب في دقة طبيعية عن الرجفان؟

*29. ضع قائمة بترتيب الأحداث المهمّة التي تحدث أثناء الانبساط الأُذَيْني والانبساط البُطَيْني.

**30. يوضّح المخطّط دورة قلبية وشكل الموجة ECG التابعة لها في مراحل خمس من (1) إلى (5).
أشكال الموجات في ECG يُرمز إليها بالحروف A و B و C.

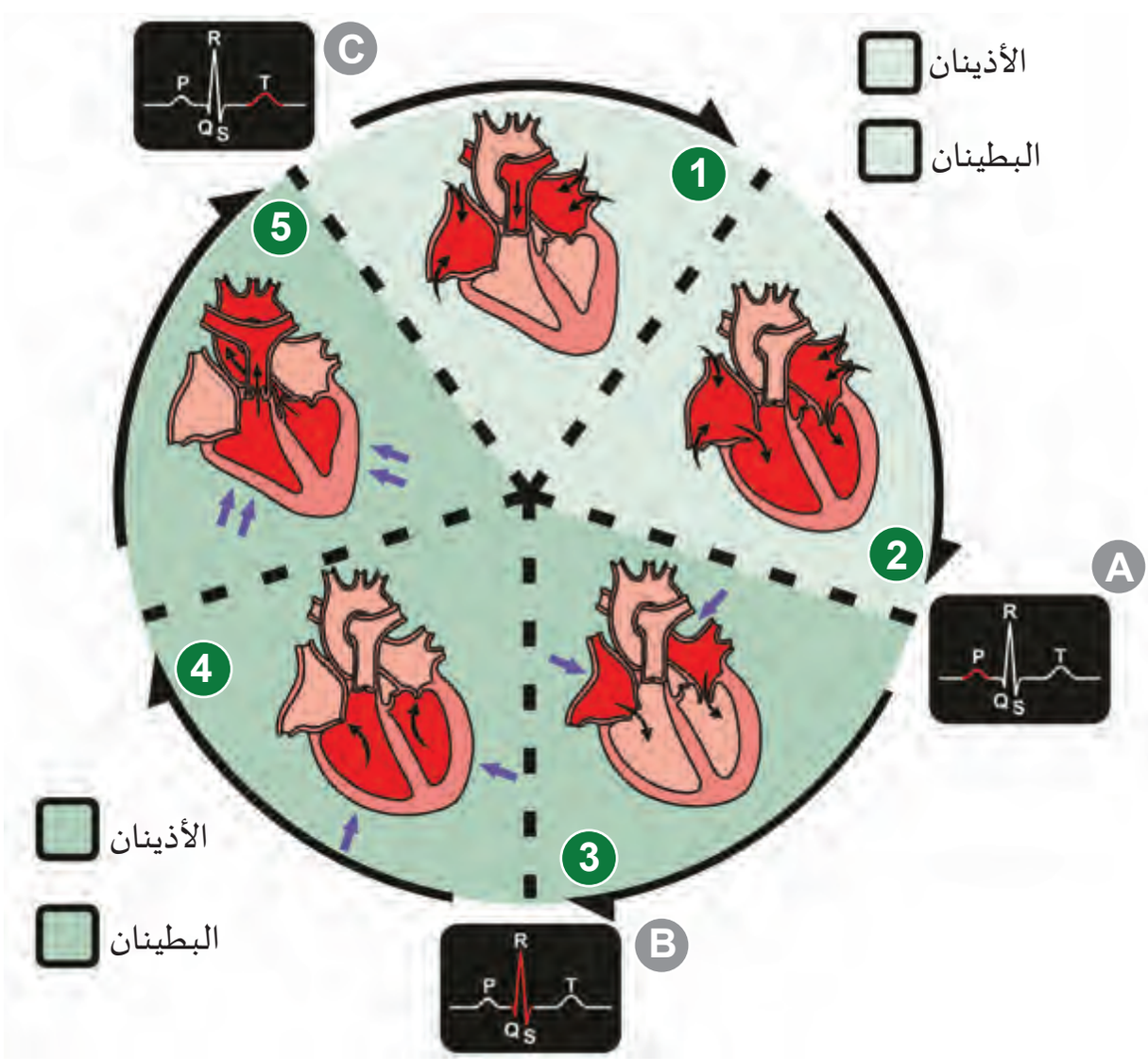
a. استخدم مفتاح اللون لتوضيح الأُذَين أو البُطَيْن الذي يكون في حالة انقباض أو انبساط.

b. ماذا تمثّل الأسهم السودُ في داخل القلب؟

c. ماذا تمثّل الأسهم الأرجوانية؟

d. ما هي المراحل المرقّمة التي يمكن تلخيصها في مرحلة واحدة؟

e. اشرح باختصار ما يمثّله كل شكل موجي.



الدّرس 2-3 أمراض القلب والأوعية الدموية والوقاية منها

31.* لماذا يختلف ضغط الدم عند الاستلقاء عن الضغط عند الجلوس أو الوقوف؟

32.* صغ فرضيّة حول تأثير تغيير قطر الأوعية الدموية في ضغط الدم، واقترح طريقة لاختبار سائل معين نفسه باستخدام الماصّات.

33.* إذا كنت بحاجة لشرح قراءات ضغط الدم وأهميتها لصحة شخصٍ يبلغ من العمر 60 عامًا أو أكثر، فما النصائح الثلاث التي تقدّمها له؟

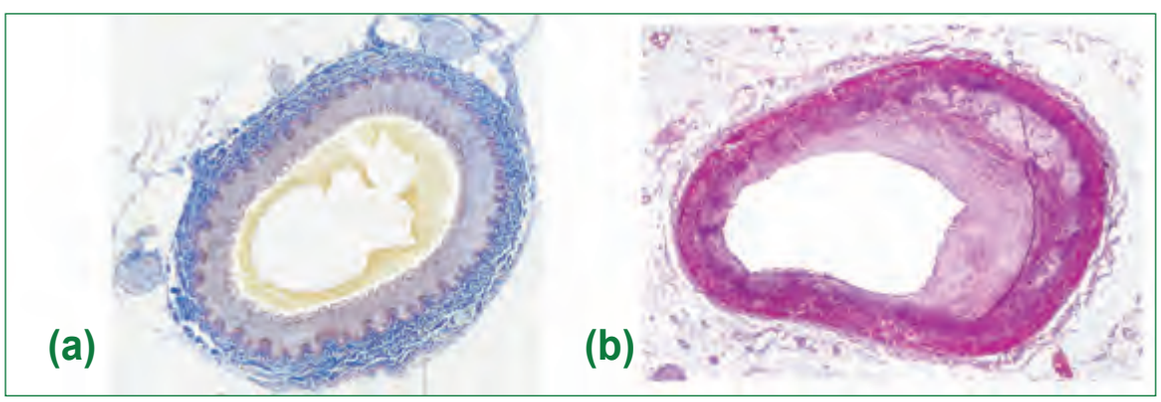
34. يمكن أن تكون الخَثْرة مميتة:

a. عرف الخثرة.

b. كيف تتكوّن؟

c. لماذا يتغير تأثيرها بتغيّر موقعها في الجسم؟

35. حدّد، وصف الاختلافات بين التركيب (a) والتركيب (b). أعطِ سببين محتملين للاختلافات.



مشروع البحث

ابحث عن مرض قلبي وعائي شائع. في عرضك النهائي، ضمّن بحثك جميع المعلومات أدناه. تأكّد من ذكر مراجعك.

a. ما الذي يسبّب المرض؟ أهو موروث أم مُكتسَب؟

b. هل يمكن الوقاية منه؟ إذا كان ذلك ممكنًا، فما الذي يجب القيام به؟

c. كيف يتمّ علاجه؟

d. صمّم جدولًا يعرض بعض الإحصاءات التي جمعتها. على سبيل المثال: هل المرض شائع في قطر أو الجزيرة العربية أو في جميع أنحاء العالم؟ أهو أكثر شيوعًا لدى الذكور أم الإناث؟ هل له صلة بالعمر؟

e. ما هي المنظّمات التي يمكنك العثور عليها عبر الإنترنت التي تمدّنا بمعلومات عن المرض؟ عدّد المواقع الرئيسة.

الوحدة 3
النقل في النباتات
Transport in Plants

في هذه الوحدة

الدرس 3-1: النتح B1219

الدرس 3-2: نقل الغذاء B1220

الوحدة 3

مقدّمة الوحدة

تمتلك جميع الكائنات الحية العليا كالحيوانات والنباتات أجهزة متخصّصة لنقل الماء والمعادن والموادّ الغذائية. إلاّ أن النباتات ليس لديها نسيج ضامّ متخصّص كالدم لنقل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون. لذا، فإنَّ الخلايا والأنسجة النباتية تعتمد على الاتصال المباشر بين الغازات والأغشية الخلوية.

تأخذ الحيوانات والنباتات الماء؛ غير أن آليّة إدخال الماء ونقله تختلف بين الحيوانات والنباتات. إنّ توازن الماء في الحيوانات عملية نَشِطة تستخدم تراكيب متخصّصة، مثل الكلى والأوعية الدموية. تعتمد النباتات في نقل الماء على نظام أُحاديّ الاتجاه، يتكوّن من خلايا متّصلة ميّتة تنقل الماء إلى الأوراق ليتبخّر من أسطحها بعملية النتح.

تحصل النباتات على الطاقة من خلال امتصاص ضوء الشمس، وتقوم بتثبيت الكربون لإنتاج السكّريات. تتضمّن حركة السكّريات وخزنها في النباتات عملية تُسمّى «نقل الغذاء»، وتختلف هذه العملية عن النظام المُستخدَم لنقل الماء.

الأنشطة والتّجارب

a1-3 ملاحظة الحُزَم الوعائيّة

b1-3 إعداد طبعة ورقة

c1-3 قياس النتح

الدرس 3-1
النتح
Transpiration

ينتقل الماء من الجذور إلى الأوراق في كلّ نباتات الأرض بدون نظام ضخّ نَشِط، حيث تعتمد النباتات على الشمس وخصائص الماء، مثل التوتّر السطحي والخاصّيّة الشعريّة لرفع الماء. طوّرت النباتات أنسجة وعائية متخصّصة في النقل، كما هو ظاهر في **الشكل 3-1**.

يحدث فقدان الماء عن طريق التبخّر من الأوراق في معظم النباتات بعملية تُسمّى «النتح». سوف نتوصّل في هذا الدرس إلى أنّ النتح هو جزء أساسي من آليّة نقل الماء. ومع ذلك، فإنَّ فقدان الكثير من الماء قد يؤدّي إلى جفاف الأنسجة النباتية. وقد طوّرت النباتات المتكيّفة مع مناخات متنوّعة استراتيجيّات مختلفة لإدارة الماء.

مخرجات التّعلُّم

B1219.1 يتعرّف إلى نسيج الخشب ونسيج اللحاء (حزم وعائية في ساق وجذور وأوراق النباتات) ويصف الخصائص الرئيسة لكليهما.

B1219.2 يصف حركة الماء في تيار النتح في النباتات.

B1219.3 يصف حركة المعادن الذائبة في نسيج الخشب.

B1219.4 يستقصي العوامل التي تؤثر في معدل عملية النتح في النباتات.

شكل 3-1 سيقان الكرفس تحتوي على أنسجة وعائية متخصصة بالنقل بين الجذور والأوراق مرتبة على شكل أقواس.

المفردات

Xylem	الخشب
Phloem	اللحاء
Transpiration	النتح
Translocation	نقل الغذاء
Phloem sap	عصارة اللحاء
Vascular bundle	الحزمة الوعائية
Symplast	الممر الخلوي جماعي
Plasmodesmata	الروابط البلازمية
Apoplast	الممر الخارج خلوي
Xylem vessel	الوعاء الخشبي
Lignin	اللجنين
Xylem vessel element	خلية وعاء الخشب
Casparian strip	شريط كاسبر
Stomata	الثغور

خصائص الماء الفريدة

ما هي خصائص الماء التي تجعله مهمًا للنباتات؟

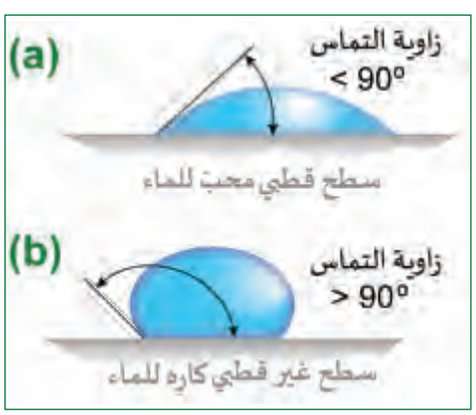
الماء مركب قطبي يحمل شحنات جزئية موجبة وسالبة. تنجذب هذه الشحنات الجزئية إلى الشحنات المعاكسة لها على جزيئات الماء الأخرى أو على الأسطح القطبية مشكلة الروابط الهيدروجينية (**الشكل 2-3**).

شكل 2-3 الروابط الهيدروجينية والتوتر السطحي.

إحدى نتائج الروابط الهيدروجينية هي التّوتّر السطحي. يشدّ التوتّر السطحي جزيئات الماء على الأسطح المائية بعضها إلى بعض فيجعل القطرات تنكمش وتتكوّر. إنّ للماء تّوتّرًا سطحيًا مرتفعًا نسبيًا مقارنة بالموادّ التي لا تحتوي على روابط هيدروجينية (**الشّكل 3-3**).

شكل 3-3 يسبّب التّوتّر السطحي تكوّر قطرات الماء.

تؤثّر الروابط الهيدروجينية في كيفية تماس الماء بسطح معين. السطح القطبي المحبّ للماء، كالسطح الزجاجي النظيف، يجذب جزيئات الماء ويكوّن زاوية تماس أصغر من 90° كما يظهر في **الشكل 3-a4**. أما السطح غير القطبي والكاره للماء، كالشمع، فهو ينفر من الماء مكوّنًا زاوية تماس أكبر من 90° كما يظهر في **الشكل 3-b4**.



شكل 4-3 اتصال الماء بالأسطح القطبية وغير القطبية.

كون الجليد أقلّ كثافة من الماء أمر حيوي للحياة على الأرض. ولو كان العكس صحيحًا لكانت المحيطات قد تجمّدت منذ فترة طويلة من الأسفل إلى الأعلى، لماذا يكون الجليد أقلّ كثافة من الماء السائل؟

احتياجات النباتات للنقل

تختلف النباتات عن الحيوانات في أوجه مهمّة تجعل احتياجات النقل لدى النباتات مختلفة عن الحيوانات.

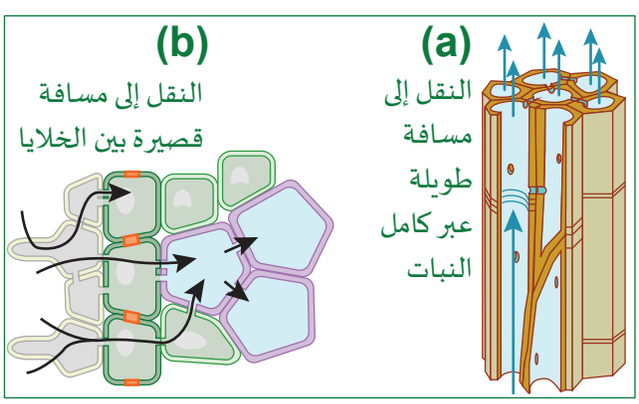
1. تستخدم النباتات ضوء الشمس مصدرًا أساسيًّا للطاقة بدلًا من تناول الطعام وهضمه.
2. تصنع النباتات الجزيئات العضوية الخاصّة بها في عملية البناء الضوئي مستخدمةً غاز ثاني أكسيد الكربون مصدرًا أساسيًّا للكربون.

للنباتات أشكال متفرّعة ممتدّة تزيد من مساحتها السطحية لتمكّنها من امتصاص معظم أشعة الشمس والموادّ الغذائية، على عكس الحيوانات التي تكون أجسامها متراصّة لتقلّل من مساحتها السطحية، إنّ تفرّع أجسام النباتات وامتدادها يجعلها بحاجة إلى أجهزة نقل ممتدّة.

شكل 3-5 أشكال أجسام النباتات والحيوانات.

- يتمّ امتصاص الماء والأملاح المعدنية والأيونات في الجذور، ويجب نقلها مسافات طويلة إلى الأوراق. تستخدم النباتات أوعية تُسمّى «الخشب» لنقل الماء والأيونات الذائبة. وتستخدم الخلايا النباتية المتخصّصة والتراكيب الخلوية عمليات النقل النشط والنقل السلبي معًا لهذه الغاية (**الشكل 3-a6**).
- يجب نقل السكر الناتج عن عملية البناء الضوئي وجزيئات حيوية أخرى من الأوراق إلى الخلايا النباتية الأخرى، حيث يتمّ خزنها أو استهلاكها. تنقل مجموعة ثانية من الأنسجة الوعائية تُسمّى «اللحاء» عصارة سائلة تحتوي على سكّروز وهرمونات نباتية وموادّ ذائبة أخرى.

تتمتّع النباتات أيضًا بآليات نقل لمسافات قصيرة المدى لنقل الماء والموادّ الغذائية بين الخلايا المجاورة (**الشكل 3-b6**). تمتلك الخلايا النباتية جُدُرًا خلوية سميكة، لذلك، فإنّ على الماء والموادّ الغذائية أن تتحرّك عبر تراكيب خاصّة تخترق الجدار الخلويّ. تمتلك الأنواع المختلفة من الخلايا النباتية تراكيب مختلفة باختلاف أنواع الخلايا النباتية للنقل من خلية إلى أخرى.



شكل 3-6 أنواع النقل في النباتات.

إن الأوراق هي التراكيب النباتية النشطة التي تتبادل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون مع البيئة. الأوراق لها نسبة مساحة سطحية إلى الحجم كبيرة جدًا، غير أنها تتنفّس بمعدّل أبطأ بكثير من معدل تنفّس الحيوانات. إنّ معدّل التنفّس المنخفض ومساحة السطح العالية يعنيان أنّ الانتشار البسيط عبر الخلايا كافٍ لنقل O_2 و CO_2.

الخشب واللحاء هي أنسجة النقل في النباتات

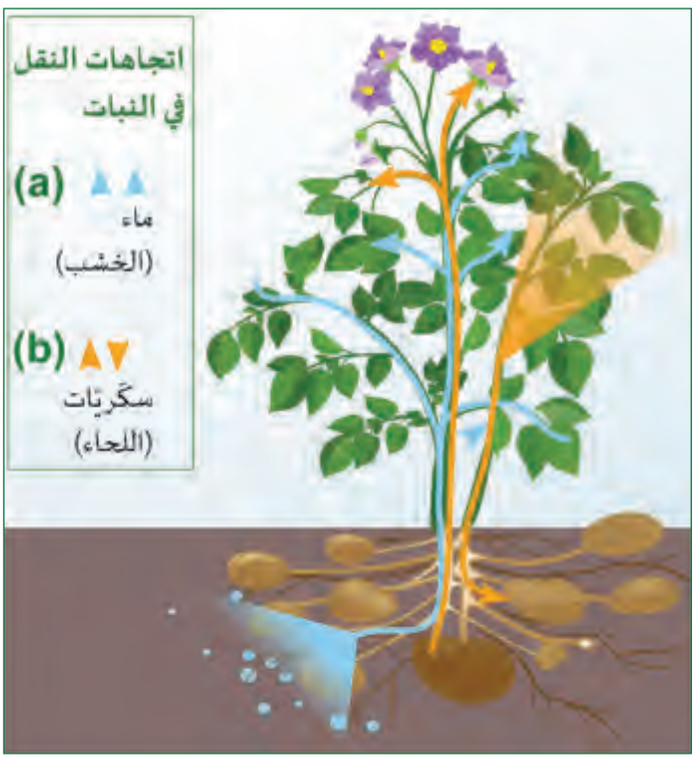
الأنسجة الوعائية هي الأنسجة المستخدمة في نقل السوائل إلى مسافات طويلة. هناك نوعان منفصلان من الأنسجة الوعائية في نباتات اليابسة (**الشكل 3-7**) لنقل الماء والعصارة، النباتات المائية متعدّدة الخلايا، كالأعشاب البحرية والزنابق المائية، تمتلك أيضًا أنسجة وعائية.

الخشب Xylem

ينقل نسيج الخشب الماء والمعادن الذائبة من الجذور إلى السيقان والأوراق. 99% من الماء يتبخّر من الأوراق أو السيقان بعملية تُعرف باسم **النتح Transpiration** (**الشكل 3-7a**).

اللحاء Phloem

ينقل نسيج اللحاء الموادّ الذائبة في **عصارة اللحاء Phloem sap** كما هو ظاهر في **الشكل 3-7b**. تحتوي عصارة اللحاء على سكّريات وأحماض أمينية وهرمونات، ويمكنها أيضًا أن تتحرّك في عدة اتجاهات بين الأوراق والجذور وتراكيب التخزين كالدَرَنات. إنّ عملية نقل عصارة اللحاء تُسمّى **نقل الغذاء Translocation**. نقل الغذاء هو موضوع الدرس **3-2**.



شكل 3-7 (a) يتحرّك الماء والمعادن إلى الأعلى في الخشب و(b) تنتقل السكّريات في اللحاءفي اتجاهات متعدّدة.

تستخدم النباتات الوعائية عملية النتح لتوزيع الماء وعملية "نقل الغذاء" لنقل عصارة اللحاء.

على عكس أجسامنا، فإنّ النباتات لا تحتاج إلى أجهزة لتبادل الأكسجين (O_2) وثاني أكسيد الكربون (CO_2). تنتشر هذه الغازات من الهواء والسوائل مباشرة إلى الخلايا في الجذور والسيقان والأوراق.

الكهرمان هو عصارة لحاء متحجّرة

تُنتِج أشجار الصنوبر عصارة لزجة تتسرّب من الفروع المُصابة. يمكن أن تتصلّب هذه العصارة، ويمكن أن تلتصق بها الحشرات قبل تصلّبها. الكهرمان (العنبر) هو عصارة لحاء أشجار الصنوبر المتحجّرة، وهو يحتوي في الغالب على حشرات من أزمنة قديمة (**الشكل 3-8**). ويمكن صقل الكهرمان أيضًا واستخدامه في صناعة المجوهرات.

شكل 3-8 الكهرمان (العنبر) : عصارة اللحاء المتحجّرة.

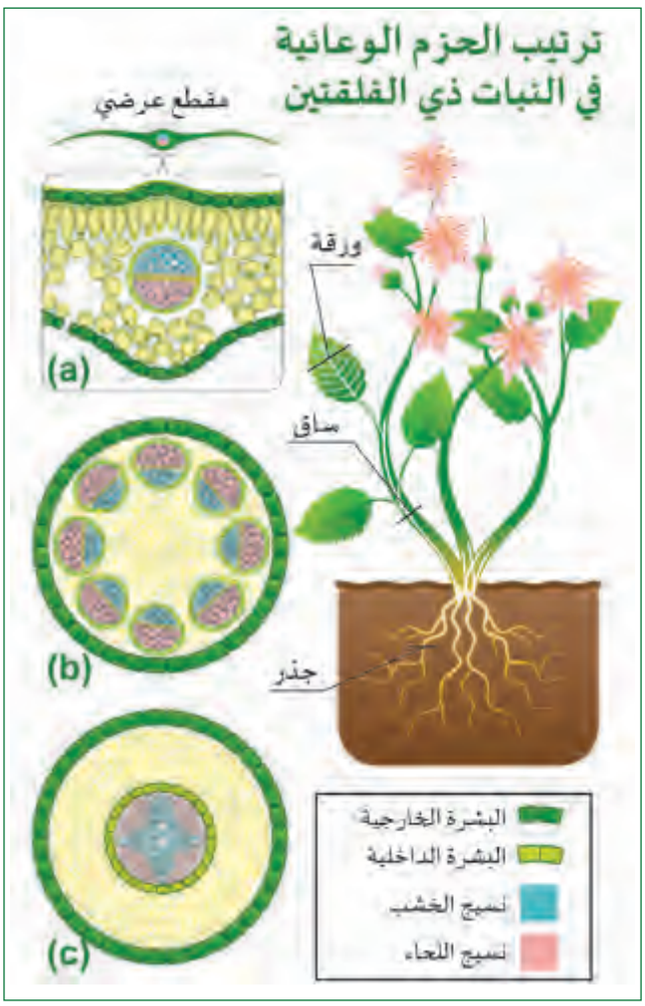
الحُزَم الوعائية في الجذور والسيقان والأوراق

تُقسم النباتات الزهرية إلى مجموعتين رئيستين، هما: ذوات الفلقتين وذوات الفلقة الواحدة. تتميز النباتات ذات الفلقتين بوجود عروق متفرّعة في أوراقها. أما النباتات أحادية الفلقة مثل الذرة و الأعشاب فتكون عروق أوراقها متوازية كما في الشكل **3-9** .

شكل 3-9 أوراق نباتات ذات فلقة واحدة ونباتات ذات فلقتين.

يستخدم الإنسان النباتات ذات الفلقتين كمصدر للأخشاب والخُضر والثمار. تتشابه الأنسجة الوعائية في المجموعتين، غير أن ترتيبها يختلف بينهما. سندرس في هذه الوحدة النباتات ذات الفلقتين.

تجمع النباتات الوعائية جهازَي النقل معًا في **الحُزَم الوعائية Vascular bundles**. تحتوي الحُزَم الوعائية في الغالب على الخشب واللحاء داخل طبقة واحدة من الخلايا تسمى البشرة الداخلية *Endodermis* **(الشكل 3-10)**.

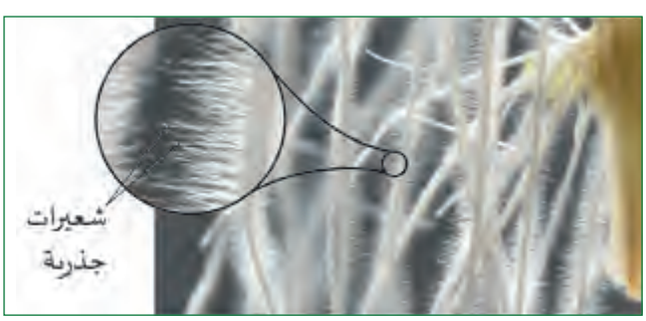


شكل 3-10 مقاطع عرضية لنبات ذي فلقتين (a) الورقة، (b) الساق، (c) الجذر، وهي تظهر ترتيب الحزم الوعائية.

تترتّب الحُزَم الوعائية بشكل مختلف في الأوراق والسيقان والجذور.

- في الورقة، ينتقل الماء في الخشب بالقرب من السطح العلوي وتتحرّك عصارة اللحاء على طول الجانب السفلي.
- في الساق الخضراء الليّنة، تُشكِّل مجموعة الحُزَم الوعائية حلقة مجاورة للبشرة. يكون نسيج الخشب بعيدًا عن السطح للتقليل من خسارة الماء.
- في جذور النبات ذي الفلقتين تشكّل أنسجة النقل حزمة وعائية واحدة في مركزها. يظهر نسيج الخشب على شكل نجمة في المقطع العرضي للجذر.

يدخل الماء من سطح الجذور إلى داخلها بالخاصّيّة الأسموزيّة عبر غشاء شبه مُنفِذ يحيط بالخلايا الجذرية. تسهم شُعَيْرات دقيقة جدًا على سطح كلّ جذر في امتصاص الماء من التربة **(الشكل 3-11)**. كل شُعَيْرة جذرية هي خلية واحدة تمتدّ بين حُبَيْبات التربة.



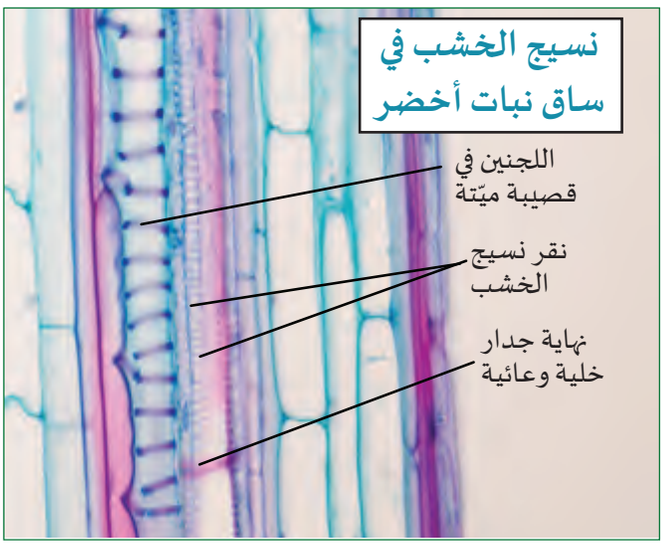
شكل 3-11 الشُعَيْرات الجذرية.

دور نسيج الخشب في النقل لمسافات طويلة

للخشب وظيفتان رئيستان:

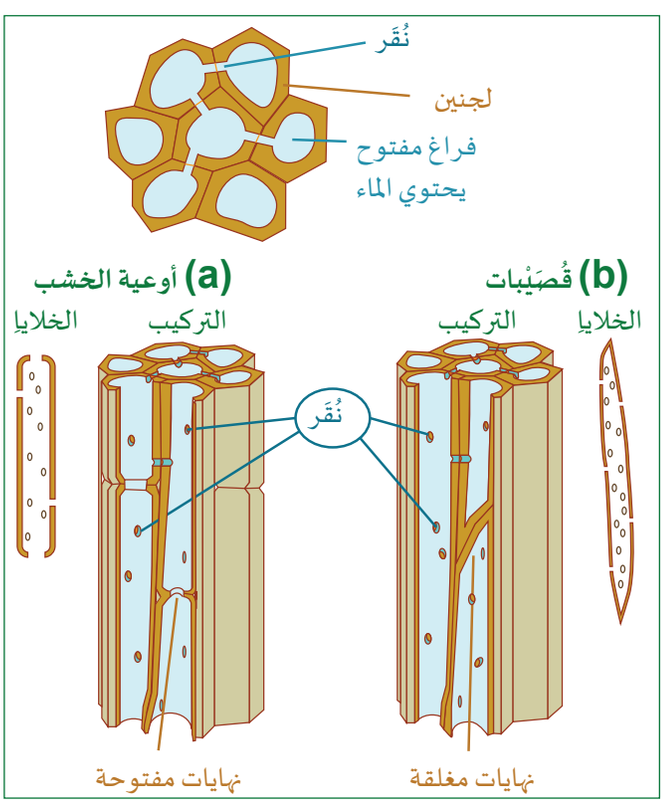
1. يمنح الخشبُ الصلابةَ والمتانةَ للنبات.
2. الخشب هو التركيب الرئيس لنقل الماء داخل النبات إلى مسافات طويلة.

تُصنع جُدُر خلايا الخشب من السليلوز وبوليمر آخر من السكريات متين ومقاوم للماء يُسمّى «اللجنين». تتشابك ألياف اللجنين لتشكّل تراكيب قوية بأشكال مختلفة مثل الشكل الحلقي والشكل اللولبي داخل الوعاء المركزي المفتوح. والجدير بالذكر أن الخشب العادي المستخدم في الأثاث هو نسيج الخشب أصلًا.



شكل 3-12 وعاء خشبي في ساق نبات أخضر.

هناك نوعان رئيسان من خلايا النقل في نسيج الخشب، وهما الأوعية والقصيبات. تتكوّن **الأوعية Vessels** من خلايا فردية تُسمّى **الخلايا الوعائية Vessel elements**، تتّصل هذه الخلايا بعضها ببعض في نهاياتها. عندما ينضج الخشب تموت الخلايا المكوّنة له وتتحلّل أطرافها المتّصلة لتشكّل أنبوبًا مجوّفًا سيشكل فيما بعد ممرًّا للماء. ينتقل الماء بين الخلايا الوعائية من خلال النُّقَر أيضًا، وهي ثقوب صغيرة في اللجنين. للأوعية الخشبية قُطْرٌ مساوٍ لقُطر شعرة الإنسان، ويبلغ طولها من 5 cm إلى 10 m. الأوعية هي التراكيب الأساسية في خشب النباتات الزهرية.



شكل 3-13 أوعية الخشب (a) و (b) القصيبات مع النقر على كليهما.

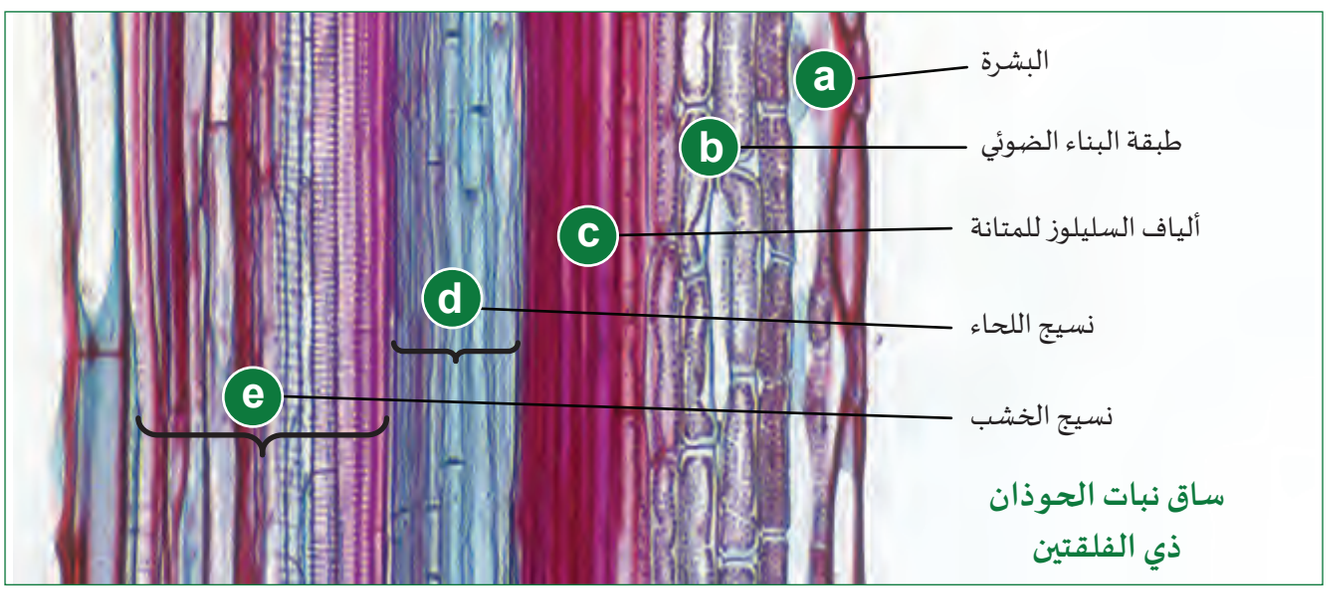
أمّا القُصيبات Tracheids فهي ذات نهايات مدبّبة ومغلقة ومتداخلة، وهي أقصر وأدقّ من الأوعية. تتصل خلايا القصيبات بعضها ببعض من خلال آلاف النُّقَر كما هو موضّح في **الشكل 3-13**. يتحرّك الماء في القصيبات بسهولة على طول الخلية وبين الخلايا المجاورة من خلال النُّقَر. القصيبات هي التراكيب الأولية لنسيج الخشب في النباتات غير الزهرية، مثل الصنوبريات.

تكون خلايا الخشب من كلا النوعين حيّة عندما تطوّر جُدُرها السميكة وتكوّن النُّقَر. بعد ذلك تموت الخلايا تاركةً تركيبًا فارغًا يمكنه نقل الماء.

الأنسجة الوعائية في ساق النبات

إنّ تحديد الأنسجة النباتية المختلفة بدقّة تحت المجهر يشكّل تحدّيًا، لأنّ الأنسجة كلّها تبدو متشابهة. يستخدم علماء الأحياء صبغات لتلوين الأنسجة وتمييز بعضها من بعض. يوضّح **الشكل 3-14** مقطعًا طوليًّا من ساق نبات. تمَّ صبغ نسيج اللحاء باللون الأزرق ونسيج الخشب باللون الأحمر. نلاحظ، بدءًا من الطبقة الخارجية للساق:

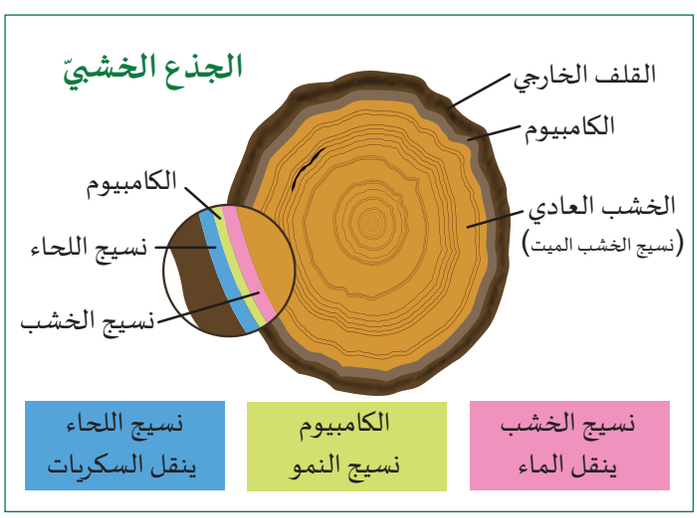
a. البشرة
b. طبقة من خلايا البناء الضوئي الكلوروفيلية.
c. طبقة من ألياف السليلوز للمتانة.
d. نسيج اللحاء (باللون الأزرق).
e. نسيج الخشب إلى الجهة الداخلية من نسيج اللحاء (باللون الأحمر).



شكل 3-14 مقطع طولي من ساق نبات الحوذان (*Ranunculus sp*).

الحوذان هو نبات بري سنوي يموت في كل موسم وينمو مرّة أخرى من البذور التي تساقطت منه. ولأنَّ ساق الحوذان لا تعيش طويلًا، فإنَّها تحتوي على أنسجة أقلّ ممّا هي في الجذع الخشبي.

توجد في الجذوع الخشبية طبقة من نسيج مولّد تُسمّى «الكامبيوم» بين نسيجَي الخشب واللحاء والتي تنقسم موسميًا لتعطي خشبًا جديدًا ولحاءً جديدًا، وتعمل بالتالي على زيادة قطر الجذع(**الشكل 3-15**).



شكل 3-15 يُظهر الجذع الخشبي الكامبيوم الذي يفصل اللحاء عن الخشب.

a1-3 ملاحظة الحُزَم الوعائيّة

سؤال الاستقصاء	كيف تختلف مواقع الحُزَم الوعائية في أجزاء النبات ذي الفلقتين؟
الموادّ المطلوبة	مجهر إسقاط أو مجهر ضوئي، شرائح جاهزة لمقاطع عرضية من جذور نبات ذي فلقتين، ساق نبات ذي فلقتين، أنسجة أوراق نبات ذي فلقتين، مقاطع طولية من ساق نبات ذي فلقتين، أقلام رصاص، مسطرة مترية.

الخطوات

1. اعتمادًا على عدد المجاهر، يمكنكم العمل معًا في مجموعات ثنائية أو متعدّدة.
2. قبل استخدام المجهر، قمْ بمراجعة الإرشادات في ورقة العمل لرسم مقاطع الأنسجة المجهرية.
3. استخدم ورقة العمل واتبع التعليمات الأساسية.
   a. لاحظ كلّ شريحة مُعدّة تحت التكبير المعطى وارسمها.
   b. حدّد نوع النبات والعضو الذي أُخذت منه العيّنة ونوع المقطع في كلّ رسم.
   c. حدِّد موقع التركيب أو النسيج المطلوب واكتب اسمه على كلّ رسم بقلم الرصاص.

شكل 3-16 (الأعلى) العدسات العينية في المجهر الضوئي.

4. شارك زميلًا واحدًا أو أكثر في رسوماتك قبل تقديم عملك. وإذا لزم الأمر، قم بإعادة فحص مقاطع الأنسجة، وصحّح كلّ الأخطاء، أو ضَمِّن عملك المزيد من التفاصيل.
5. أجب عن كلّ الأسئلة الواردة في ورقة العمل قبل تقديم عملك.

الأسئلة

a. عرّف الحُزم الوعائية، واذكر مكان وجودها؟

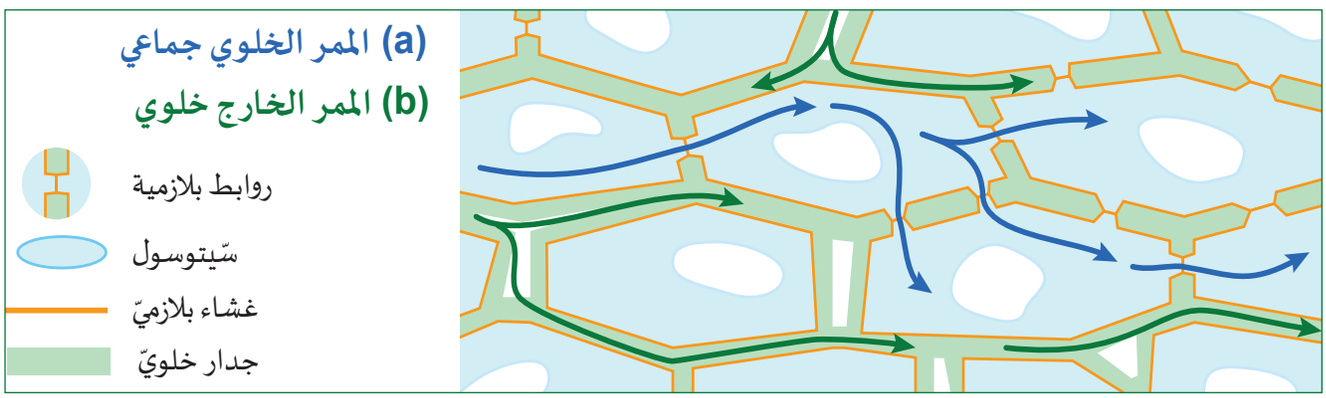
b. فيمَ يختلف شكل نسيج اللحاء عن نسيج الخشب في المقطع العرضي من جذر النبات ذي الفلقتين؟

c. وضّح كيف يتغيّر موقع الخشب مع انتقال الماء من الجذور إلى السيقان ثم إلى الأوراق.

d. اقترح تفسيرًا لموقع الخشب في الجذور والسيقان.

النقل لمسافات قصيرة بين الخلايا النباتية

في الجذور على وجه الخصوص، يجب أن يعبر الماء والمواد الذائبة فيه الجدار الخلوي ليمرّ بين الخلايا ويصل إلى الخشب. تستخدم النباتات ممرَّيْنِ متوازيَيْن للنقل لمسافات قصيرة (الشكل **3-17**). يربط الممرّ الأوّل سيتوسول الخلية الأولى بسّيتوسول الخلية المجاورة. أما المسار الثاني، فيكون من خلال الجدر الخلوية والفراغات بين الخلايا.



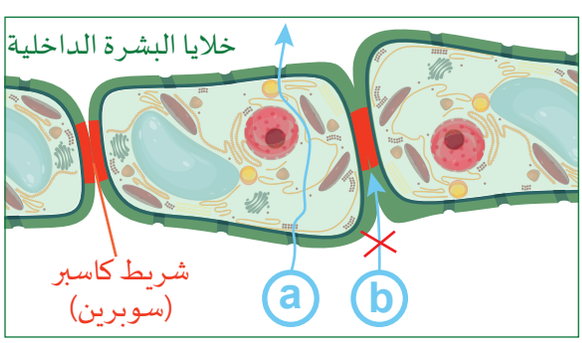
شكل 3-17 مسارا النقل (a) الخلوي جماعي و(b)الخارج خلوي.

الممرّ الخلوي جماعي

يُمثّل **الممرّ الخلوي جماعي Symplast** الجانب الداخلي من الغشاء البلازميّ. ينتشر الماء والموادّ الذائبة الصغيرة بحرّية في الممرّ الخلوي جماعي. تُسمّى الفتحات الصغيرة في الجدار الخلويّ التي تربط الممرّات الخلوية المتجاورة **الروابط البلازمية Plasmodesmata** وهي تربط المحتوى الخلوي للخلايا المتجاورة بعضه ببعض (**الشكل 3-a17**). ينتقل الماء والجزيئات الصغيرة والأيونات عبر الروابط البلازمية بالنقل السلبي. أما الجزيئات الأكبر مثل الهرمونات فتنتقل من خلية إلى أخرى بعملية النقل النشط.

الممرّ الخارج خلوي

الممرّ الخارج خلوي Apoplast هو المنطقة التي توجد خارج الغشاء الخلوي. الجدار الخلويّ وجميع الفراغات خارج الخلوية هي جزء من الممرّ الخارج خلوي. يمكن أن ينتقل الماء والأيونات الذائبة وثاني أكسيد الكربون أيضًا عبر الممرّ الخارج خلوي. الموادّ التي تنتقل عبر الممرّ الخارج خلوي لا تعبر أغشية الخلايا إلّا نادرًا (**الشكل 3-b17**).



شكل 3-18 يُبقي شريط كاسبر الممرّ الخلوي جماعي مفتوحًا (a) ويسدّ الممرّ الخارج خلوي (b).

تتكوّن الجُدُر الخلويّة النباتية من طبقات متشابكة من ألياف السليلوز. يتسرّب الماء في الفراغات بين الألياف بطريقة مشابهة لامتصاص الورقة للماء باستثناء خلايا البشرة الداخلية. تترسّب على جُدُر هذه الخلايا مادة شمعية غير منفذة للماء تُسمّى «السوبرين» suberin وتنتشر في جميع الجهات ما عدا الجهة المواجهة للقشرة ولأوعية الخشب مكوّنةً ما يعرف **بشريط كاسبر Casparian strip**. يعمل شريط كاسبر على منع مرور الماء عبر الممرّ الخارج خلوي في هذه الخلايا (**الشكل 3-18**).

نقل الماء يبدأ من الشُعَيْرات الجذرية

تسهم تراكيب متعدّدة والممرّان الخارج خلوي والخلوي جماعي في امتصاص الماء بوساطة الجذور (**الشكل 3-19**). ويمكن أن يدخل الماء أوعية الخشب من خلال كلا الممرَّيْن الخارج خلوي والخلوي جماعي.

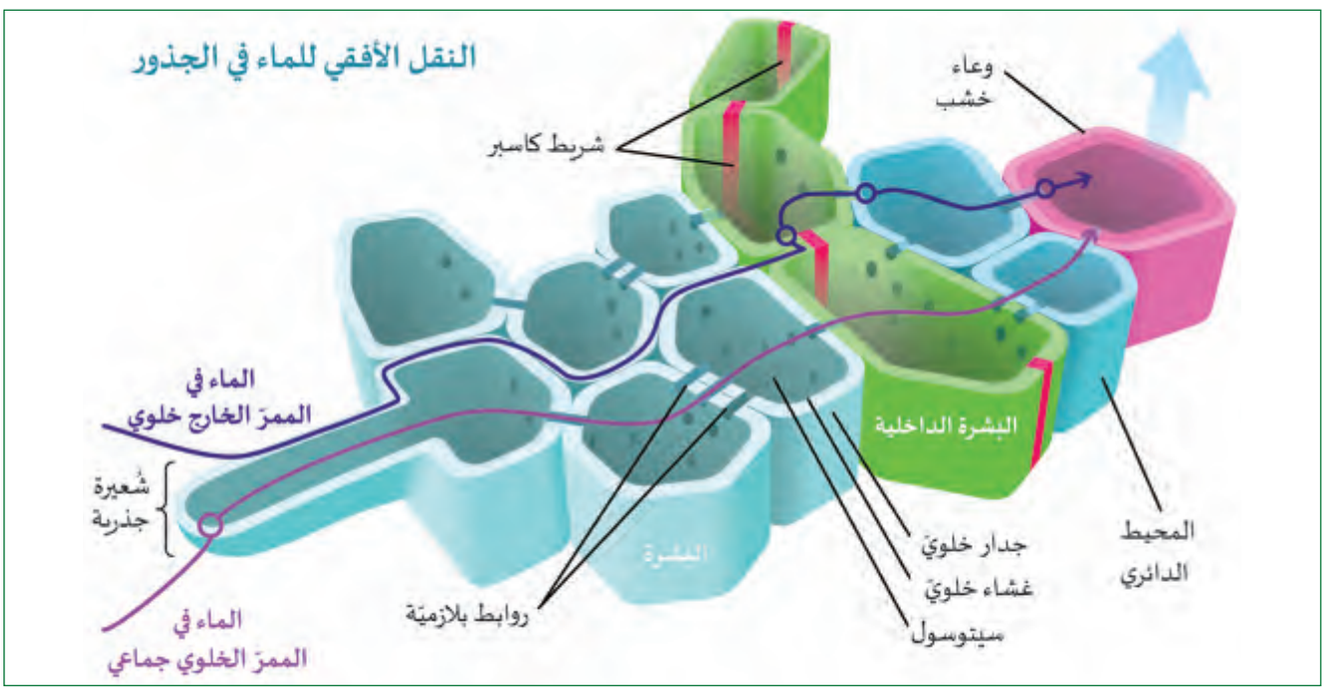
من الممرّ الخارج خلوي إلى الخشب

تحتوي أسطح الجذور المتماسّة مع التربة على ملايين الشعيرات الجذرية التي تزيد المساحة السطحية لامتصاص الماء. تتميّز الشعيرات الجذرية بجُدُر خلوية رقيقة تسهّل مرور الماء والمعادن عبر الآليّة الآتية:

1. ينتشر الماء مباشرة بالخاصية الأسموزية عبر الجُدُر الخلوية للشُعَيْرات الجذرية الممتدَّة من البشرة في الجذر.
2. ينتقل الماء من خلال الممرّ الخارج خلوي حتى يصل إلى البشرة الداخلية.
3. يمنع شريط كاسبر الموجود في خلايا البشرة الداخلية الماء من الدخول مباشرة الى أوعية الخشب من المسار الخارج خلوي، فتتمّ إعادة توجيه الماء إلى المسار الخلوي جماعي ليمرّ إلى وعاء الخشب.

من الممرّ الخلوي جماعي إلى نسيج الخشب

1. يدخل الماء من خلال أغشية الشُعَيْرات الجذرية. تقوم الأغشية شبه المنفذة بشكل اختياري بترشيح الموادّ الذائبة قبل الدخول إلى السيتوسول.
2. ينتقل الماء بسرعة من خلية إلى أخرى عبر الروابط البلازمية.
3. يصل الماء إلى نسيج الخشب من خلال السيتوسول متجاوزًا شريط كاسبر.



شكل 3-19 تمتصّ الجذور الماء والمعادن التي تنتقل، إما من خلال (a) الممر الخارج خلوي، وإمّا من خلال(b) الممرّ الخلوي جماعي عبر الروابط البلازمية.

النتح

يُشكّل الماء عمودًا متصلًا يمتدُّ في أوعية الخشب من الجذور إلى الأوراق. في نهاية هذه السلسلة يخرج الماء من النبات من خلال الأوراق بعملية النتح. تعمل طاقة الشمس على زيادة حرارة الماء في الأوراق، فيتبخّر الماء من الفراغات الهوائية بين الخلايا، ويخرج على شكل بخار ماء من الثغور، وهي فتحات في البشرة العليا والبشرة السفلى للورقة.

يوضّح **الشكل 3-20** المقطع العرضي لورقة نبات التمر حنّة وتظهر فيه الحزمة الوعائية في وسط الصورة.

شكل 3-20 صورة مأخوذة بالمجهر الضوئي لمقطع عرضي من ورقة نبات التمر حنة ذي الفلقتين (100X).

لاحظ وفرة الفراغات الهوائية في النسيج المتوسّط *mesophyll* في الورقة. هذه الفراغات الهوائية هي موقع تبادل غازيّ CO_2 و O_2. وتسمح الفراغات الهوائية أيضًا بتبخّر الماء بسرعة من الخلايا المبطّنة لها.

تتّصل الفراغات الهوائية بالمحيط الخارجي عبر الآلاف من الفتحات الدقيقة التي تُسمّى **الثغور Stomata** (**الشكل 3-21**). توجد الثغور في معظم النباتات على السطحين العلوي والسفلي من الورقة على حدّ سواء.

تحتوي النباتات التي تعيش في بيئات شديدة الجفاف على ثغور أقلّ من النباتات التي تعيش في المناخات المعتدلة، وتكون الثغور في النباتات الصحراوية أصغر نسبيًا. يساعد هذان التكيّفان في الحدّ من فقدان الماء من النبات، لكنه يقلّل أيضًا من قدرة الحصول على ثاني أكسيد الكربون. في كثير من الأنواع الصحراوية تبقى الثغور مغلقة طوال اليوم تحت الشمس الحارّة، وتُفتح الثغور ليلًا، فتخزن النباتات ثاني أكسيد الكربون في أحماض عضوية لتستهلكه في اليوم التالي في عملية البناء الضوئي.

شكل 3-21 أوراق السبانخ لديها ثغور أكثر في سطحها السفلي مقارنة بسطحها العلوي.

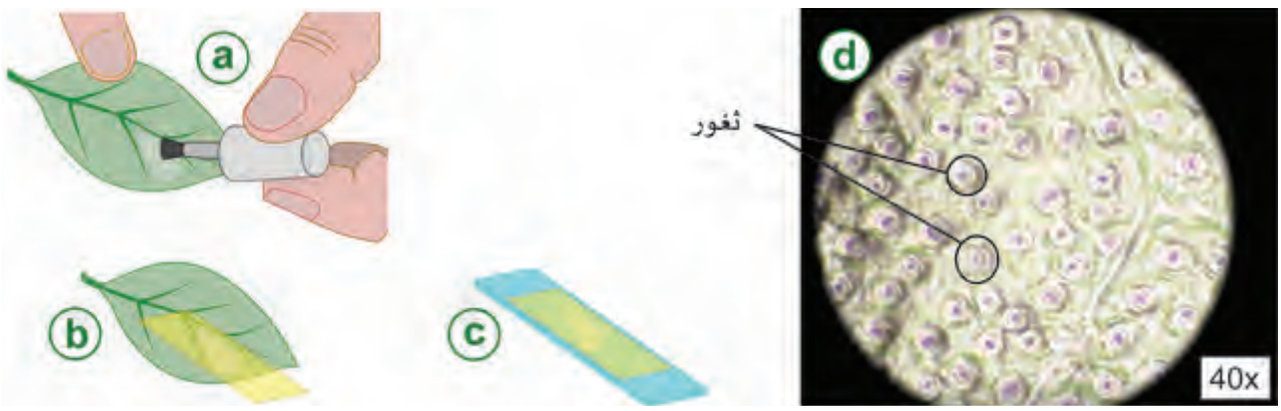
عدد الثغور الموجودة في الأوراق الأحفورية يشكّل دليلًا على مستويات CO_2 في الغلاف الجوي للأرض في الأزمنة الماضية. عندما يكون الجوّ غنيًا بثاني أكسيد الكربون، تتكيّف النباتات بأن يكون فيها عدد أقلّ من الثغور. لذا، فإنَّ الثغور القليلة هي إحدى التكيّفات لتقليل خسارة الماء.

تحت أية ظروف يتكيّف النبات ليكون لديه ثغور أكثر أو أقلّ على الأوراق؟

b1-3 إعداد طبعة ورقة

سؤال الاستقصاء	كيف تأخذ النباتات الهواء؟ وكيف تطلق النباتات الأكسجين؟
الموادّ المطلوبة	أوراق نبات طازجة، مجهر مع عدسة عينية ذات قوة تكبير 40x وشبكة، طلاء أظفار مع فرشاة، شريط بلاستيكي رقيق، شرائح مجهرية نظيفة.

تحتوي أسطح الأوراق على تراكيب فيها فتحات صغيرة تُسمّى «الثغور». هذه الفتحات يمكن أن تُفتح أو تُغلق، ما يسمح للنبات بتبادل الغازات والحدّ من فقدان الماء أيضًا. تصعب رؤية الثغور على الورقة بالعين المجرّدة، ولكنّ طبع الأوراق على سطح آخر يتيح لك ملاحظة هذه التراكيب بسهولة.



شكل 3-22 ملاحظة الثغور على ورقة نبات.

الخطوات

a. قم بوضع طبقة رقيقة من طلاء الأظفار الشفّاف غير الملوّن على بقعة بطول 1 cm على سطح ورقة نبات، واترك الطلاء حتى يجفّ تمامًا لمدة 15-10 دقيقة على الأقلّ.

b. عندما يجفّ الطلاء، خذ قطعة من شريط بلاستيكي لاصق وشفّاف، وألصِقه بلطف على الورقة فوق طلاء الأظفار. اضغط على الشريط بأطراف الأصابع.

c. ارفع بلطف وانقل طبعة الورقة إلى شريحة مجهرية.

d. لاحظ الطبعة عند التكبير 40x. عُدَّ الثغور في الشبكة على كلٍّ من السطح العلويّ من الورقة والسطح السفليّ.

الأسئلة

a. ما نوع النبات الذي استخدمته؟ ما بيئته المحلية؟

b. احسب كثافة الثغور بالمليمتر المربّع على السطح العلويّ من الورقة وعلى السطح السفليّ. هل القيم متشابهة؟

c. قدّر الجزء من مساحة الورقة الجاهز لتبادل الغازات. ستحتاج إلى تقدير مساحة فتحة كلّ ثغر.

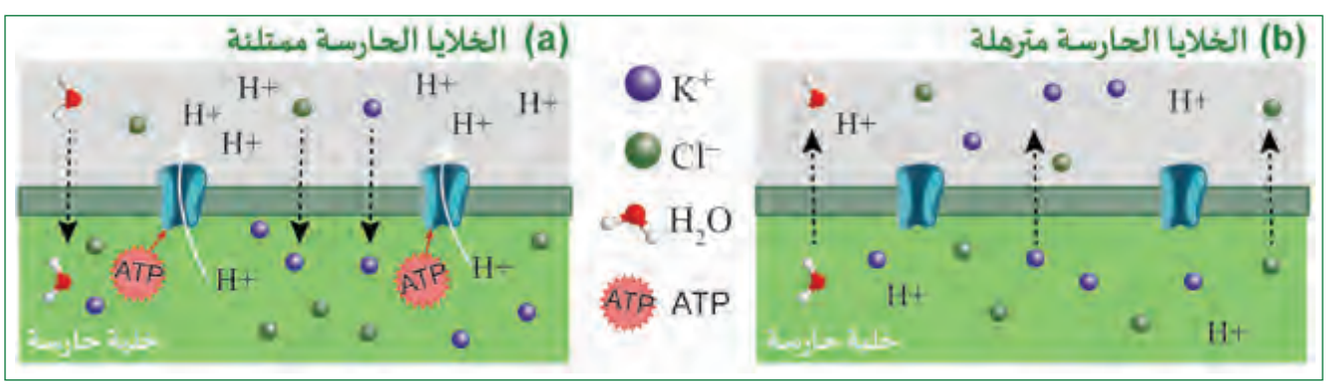
آلية عمل الثغور

تعمل النباتات بشكل نشط على فتح الثغور وإغلاقها للتحكّم في نقل الماء. في النهار، تحفز طاقة ضوء الشمس الإلكترونات في الكلوروفيل، فتمتلىء فجوات الخلايا الحارسة بالماء وتُفتح الثغور (**الشكل a23-3**). في الليل تفقد الخلايا الحارسة الماء وتنكمش، فتُغلق الثغور (**الشكل b23-3**).

شكل 3-23 (a) الخلايا الحارسة ممتلئة و الثغور مفتوحة في النهار. (b) في الليل تصبح الخلايا الحارسة مترهّلة، وتُغلق الثغور لمنع فقدان الماء.

تؤدّي حركة الماء من الخلايا الحارسة وإليها إلى فتح الثغور وإغلاقها. تكون الخلايا الحارسة في الغالب مترهّلة ويكون الثغر عند ذلك مغلقًا. تنتقل الخلايا الحارسة إلى الشكل الممتلىء (الثغر مفتوح) عن طريق الامتلاء بالماء.

في النهار، تحفز مستقبلات الضوء «الفوتوتروبين» في الخلايا الحارسة الضخّ النشِط لأيونات H^+ إلى خارج الخلايا الحارسة باستخدام ATP (**الشكل a24-3**)، ما يجعل السيتوسول أكثر سالبية مقارنة بالخارج أو يختلّ الاتزان الكهروكيميائي، فتدخل أيونات K^+ إلى داخل الخلايا الحارسة لإعادة الاتزان الكهروكيميائي. تقوم هذه الأيونات بجذب أيونات Cl^-. تزيد الأيونات تركيز الملح في سيتوسول الخلية الحارسة، فيتدفّق الماء إلى السيتوسول بفعل الخاصّيّة الأسموزيّة. هذا يجعل الخلايا الحارسة تمتلئ وتفتح الثغور.



شكل 3-24 عملية فتح الثغور وإغلاقها.

في الليل، تقوم مستقبلات الفوتوتروبين في الخلية الحارسة بإيقاف الضخّ النشِط لأيونات H^+. تنتشر أيونات H^+ و K^+ و Cl^- مرّة أخرى إلى حدّ التوازن في التركيز عبر الغشاء. يتدفّق الماء مرّة أخرى إلى خارج الخلية الحارسة بفعل الخاصّيّة الأسموزيّة، وهذا يجعل الخلية الحارسة مترهّلة فتُغلق الثغور كما هو ظاهر في **الشكل b24-3**.

c1-3 قياس النتح

سؤال الاستقصاء	كيف نقيس معدّل النتح في النباتات؟
الموادّ المطلوبة	بوتوميتر (مقياس النتح)، سيقان نبات ذي فلقتين عليها أوراقها، ملوّن طعام، مسطرة متريّة، أقلام تعليم، ساعة توقيت رقمية (مؤقِّت)، مناديل ورقية ومستشعرات لجمع البيانات.

الخطوات

1. اعمل ضمن مجموعة من 2 إلى 4.
2. قسّم المهام في مجموعتك. يمكن القيام بقياس مساحة الورقة وإعداد البوتوميتر في الوقت نفسه.
3. اطلب من أحد أعضاء المجموعة إحضار ساق النبات الخاص بكم في طبقها. وعلى عضو ثانٍ إعداد البوتوميتر مستخدمًا التعليمات المرفقة.
4. لاحظ أوراق النبات مع إبقاء الساق المقطوعة مغمورة في الماء الملوّن.

عُدّ الأوراق وقِس طول (L) وعرض (W) كل ورقة.

- إذا كان نباتك يحتوي على أكثر من ورقة واحدة، فاختر رقمًا لكلّ ورقة وسجّل الملاحظات الخاصّة بك في **الجدول 1**.

5. قم بإعداد بوتوميتر مجموعتك وفق توجيهات معلمك.

شكل 3-25 استخدام جهاز قياس النتح لقياس معدل النتح.

صمّم تجربة

آخذًا في الاعتبار العوامل التي تؤثّر في النتح والتي تجري مناقشتها في نهاية هذا الدرس. كيف يمكنك استخدام البوتوميتر والمستشعرات لاختبار فرضيّة عن تأثيرات تلك العوامل؟ ما المتغيّرات التي يجب التحكّم فيها؟ ما المستشعرات التي يمكنها قياس المتغيّرات في تجربتك؟ ما المتغيّر المستقلّ؟ ضع قائمة بالأدوات المحتملة والخطوات. احصل على الموافقة على تجربتك قبل تنفيذها.

جهد الماء

يتحرّك الماء في نسيج الخشب إلى الأعلى مترًا واحدًا في الساعة تقريبًا، وهذا يُسمّى «التدفّق الكمّي»، وهو أسرع بآلاف المرّات من الانتشار. تتحرّك كتلة الماء إلى الأعلى عكس قوة الجاذبية بسبب الاختلافات في جهد الماء. ويعرف جهد الماء بأنه كمية الطاقة الكامنة للماء النقيّ في وحدة الحجم تحت الظروف القياسية، وهو يعكس قابلية جزيئات الماء وقدرتها على التحرّك بين محلولين مختلفَي التركيز عبر غشاء شبه منفِذ. يكون جهد الماء في الأوراق أقلّ من جهد الماء في الجذور، فيساعد الفرق في الجهد على سحب الماء إلى الأعلى.

يتحرّك الماء من الوسط ذي جهد الماء الأعلى في الجذور إلى الوسط ذي جهد الماء الأدنى في الأوراق.

يُقاس جهد الماء بوحدات الضغط (MPa). جهد الماء للهواء الجافّ يساوي 100 MPa–، أمّا جهد الماء النقيّ المنكشف على الجو فهو 0 MPa. يوضّح **الشكل 3-26** القيم النموذجية لجهد الماء في أنسجة النباتات الوعائية.

شكل 3-26 يتدفّق الماء من جهد الماء الأعلى إلى الجهد الأدنى.

تكون جزيئات الماء قطبية ويجذب بعضها بعضًا بقوى كبيرة نسبيًا. ينتج عن ذلك ثلاث خاصيات مهمة يعتمد عليها نقل الماء: الالتصاق و التماسك والتوتّر السطحي.

الالتصاق: تنجذب جزيئات الماء إلى الأسطح التي لديها جزيئات قطبية. وهذا ما يجعل سطح الماء يلتصق ويصعد على جوانب المخبار المدرج كما يظهر في **الشكل 3-27a**. تجذب أنسجة النقل النباتية جزيئات الماء بهذه الطريقة.

التماسك: تقوم جزيئات الماء الملتصقة بالأسطح بجذب جزيئات الماء المتصلة بها عن طريق خاصّية التماسك **(الشكل 3-27b)**.

التوتّر السطحي: ينتج التماسك قوة على امتداد سطح الماء تشدّ السطح بعضه إلى بعض. يسحب التوتّر السطحي الماء محوّلًا إيّاه إلى قطرات كما هو ظاهر في **الشكل 3-27c**.

شكل 3-27 أمثلة على (a) الالتصاق، و(b) التماسك، و (c) والتوتر السطحي.

جهد الماء في النباتات

يؤثّر جهد الماء في النبات بثلاث طرائق:

a. يزيد الماء المتدفّق إلى الخلايا بفعل الخاصّيّة الأسموزية الضغط الهيدروستاتيكي داخلها (**الشكل a28-3**).

b. تسبّب الخاصّيّة الأسموزيّة حركة الماء نحو الخلية التي لديها تركيز مذاب أعلى من الخلايا المجاورة أو الفراغات بين الخلوية (**الشكل b28-3**).

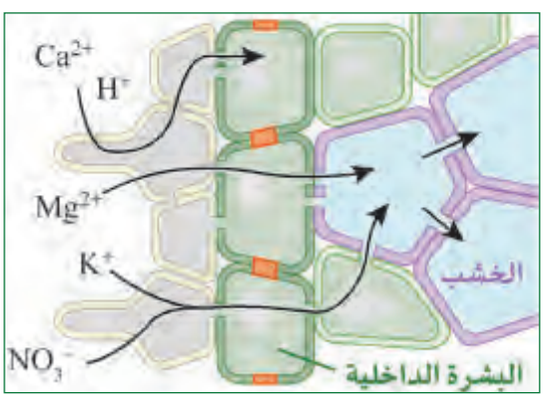
c. ينتج اتحاد الالتصاق والتماسك خاصّيّة شعرية تسحب الماء إلى الأعلى في أنبوب رفيع (**الشكل c28-3**).

شكل 3-28 إسهامات جهد الماء في النباتات.

الضغط الجذري والمعادن

تحتاج النباتات إلى بعض المعادن والمذابات، بما في ذلك الكالسيوم (Ca^{2+})، والهيدروجين (H^+)، والمغنيسيوم (Mg^{2+})، والبوتاسيوم (K^+)، والنترات (NO_3^-)، والفوسفيت (PO_3^{3-})، والفوسفات (PO_4^{3-}). يتمّ امتصاص هذه الموادّ عند إضافتها إلى التربة مع الماء من خلال الجذور، ثم تُوزّع. لذا، فإنَّ الأسمدة النباتية التي تُباع في المشاتل تحتوي على هذه المعادن والمذابات.

تدخل المعادن والأيونات من خلال الشُعَيْرات الجذرية متّبعة ممرّات الماء نفسها. وبسبب شريط كاسبر Casparian strip، فإنَّ على الماء والمعادن أن تمرّ عبر الخلايا الحية للبشرة الداخلية قبل الدخول إلى نسيج الخشب (**الشكل 3-29**). تسمح هذه الخطوة لخلايا البشرة الداخلية بالتحكّم في تدفّق الماء والمعادن.



شكل 3-29 نقل الأيونات إلى أوعية الخشب في الجذر.

في الليل، تكون الثغور مغلقة فلا يحدث النتح. تضخّ الخلايا الجذرية المعادن والأيونات في أوعية الخشب بعملية نقل نشط، فيزداد تركيز الأملاح فيها وينخفض جهدها المائي، ما يؤدي إلى جذب الماء إليها بالخاصّية الأسموزية. يبذل هذا الماء ضغطًا هيدروستاتيكيًا يُسمّى «الضغط الجذري». يمكن أن يساعد «الضغط الجذري» في دفع الماء إلى الأعلى في الخشب، إلا أن تأثيره يبقى صغيرًا إذا ما قورن بتأثير النتح.

تحديات تواجه نقل الماء في النباتات

يتمّ النقل الناجح لعُصارة الخشب من الجذور إلى الأوراق عبر التغلب على العديد من التحديات التي تواجهها النباتات.

1. تحتاج النباتات إلى تحريك الماء إلى الأعلى ضد الجاذبية في بعض الحالات إلى ارتفاع 100 m.
2. يجب أن تتمّ حركة الماء الصاعدة هذه بوساطة النقل السلبي بدون استهلاك الطاقة الخلوية.
3. يجب أن يشكّل الماء في الأوعية الخشبية عمودًا متصلًا بدون فراغات هوائية.

هناك طريقتان يمكن من خلالهما أن يُحدث الضغط تدفّقًا مستمرًا للماء.

يمكن دفع الماء إلى الأعلى من الجذور إلى الأوراق. هذا يتطلّب ضغطًا إيجابيًا في الجذور.

يمكن سحب الماء إلى أوراق الشجر عبر السيقان والجذور. هذا يتطلّب ضغطًا سلبيًا في الأوراق والسيقان.

شكل 3-30 أمثلة عن الضغط الإيجابي والضغط السلبي.

يعتمد نقل الماء في أوعية النباتات على ثلاث آليات: الضغط الجذري (root pressure)، والخاصية الشعرية (Capillary Action)، وقوة السحب السالبة الناتجة من النتح (Negative transpiration Pull).

الضغط الجذري: يُحدث الضغط الجذري ضغطًا إيجابيًا في نسيج الخشب في الجذور، ما يدفع الماء إلى مسافة أقلّ من 1 m.

الخاصّيّة الشّعريّة: وهي ميل الماء إلى الارتفاع في الأوعية الضيقة. تنشأ الخاصّيّة الشّعريّة من التماسك والالتصاق والتّوتّر السطحي. لا يتعدى ارتفاع الماء بسبب الخاصّيّة الشّعريّة مسافة 1 m.

سحب النتح: يُحدث النتح ضغطًا سلبيًا في نسيج الخشب في أوراق النباتات. يتسبّب الضغط السلبي «بالسحب» من الأوراق وهذه هي الآلية الرئيسة للحركة الصاعدة للعصارة في نسيج الخشب.

تشرح فرضيّة الشدّ والتماسك كيف يقوم الضغط السلبي الناتج عن النتح بسحب الماء من الجذور عبر السيقان إلى الأوراق (**الشكل 3-31**). يساعد الضغط الجذري والخاصّيّة الشّعريّة الضغط السلبي.

شكل 3-31 فرضية الشد والتماسك.

فرضية الشد والتماسك (1)

بسبب التّماسك والالتصاق، يشكّل الماء عمودًا متصلًا غير منقطع من الجذور إلى الأوراق. تنقل الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء الشدّ (يُسمّى أيضًا الضغط السلبي) من نهاية العمود في الأوراق إلى النهاية الأخرى في الجذور. يحدث الشدُّ في الأوراق فينسحب الماء من الجذور عبر أوعية الخشب.

a. خروج بخار الماء من خلال الثغور

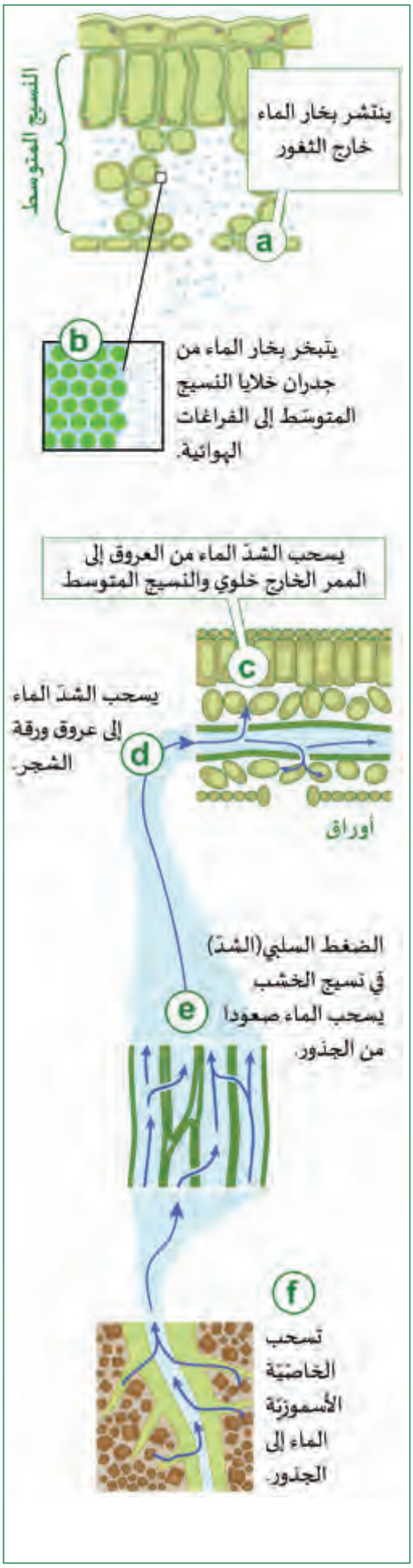
عندما تكون الثغور مفتوحة، تسخّن الشمس الطبقة الرقيقة من الماء في الممر الخارج خلوي لخلايا النسيج المتوسّط والمبطنة للفراغات الهوائية. يتبخّر الماء، وتنفصل جزيئات الماء لتشكّل بخار الماء. ينتشر بخار الماء من خلال الثغور المفتوحة مع منحدر تركيزه (**الشكل 3-32a**). تذكّر أن التبخّر هو تغيير في حالة المادة من السائل إلى الغاز (بخار).

b. التبخّر من طبقة النسيج المتوسّط يولّد الشدّ

التبخّر المستمرّ للماء يسبّب تقوس وارتداد الطبقة الرقيقة من الماء المتواجد على جدران خلايا النسيج المتوسّط إلى الخلف بين ألياف جدار الخلية. وهذا يؤدّي أيضًا إلى تمدّد السطح السائل، فيُحدث التوتّر السطحي ضغطًا سلبيًا (شدًّا) على جُزيئات الماء داخل جُدُر خلايا النسيج المتوسط. هذا الضغط السلبي يسحب الماء من السيتوسول إلى الممر الخارج خلوي (**الشكل 3-32b**). ولأنَّ عمود الماء غير منقطع، فإنَّ الضغط السلبي ينتقل إلى نسيج الخشب.

c. تسحب الخاصّيّة الأسموزيّة الماء من نسيج الخشب

تساعد الخاصّيّة الأسموزيّة في انتقال الماء من نسيج الخشب إلى خلايا الأوراق، حيث أن السيتوسول في خلايا الأوراق لديه تركيز أعلى في المذابات، وبالتالي جهد ماء أقلّ (**الشكل 3-32c**).



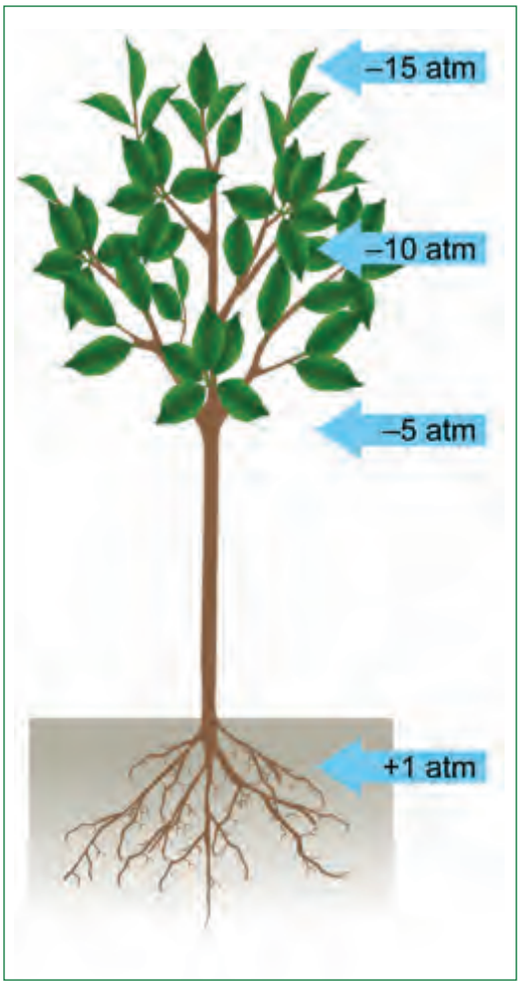
شكل 3-32 فرضية الشد والتماسك.

d. نقل الشدّ (الضغط السلبي) إلى نسيج الخشب

ينتقل الشدّ السلبي الناتج عن التبخر في الأوراق إلى الأسفل، ما يؤدي إلى سحب عمود الماء إلى الأعلى عبر أوعية الخشب (**الشكل 3-32d**). ولذا يجب أن يكون عمود الماء غير منقطع. أي انقطاع، مثل إدخال فقاعة هواء في أنابيب الخشب، سيؤدي إلى انهيار عمود الماء وتوقف انتقال الضغط السلبي وبالتالي توقف امتصاص الماء ونقله.

e. نسيج الخشب يحافظ على الضغط السلبي

ما دامت إزالة الماء من الأوراق مستمرَّة يستمر الضغط السلبي في عمود الماء في نسيج الخشب (**الشكل 3-32e**). يُحدث الضغط السلبي شدًّا يسحب الماء من الجذور (**الشكل 3-33**). تمنع حلقات اللجنين في جدر أنسجة الخشب انهيار أوعية نسيج الخشب بسبّب الضغط السلبي الضخم بالطريقة نفسها التي تعمل بها حلقات خرطوم المكنسة الكهربائية.

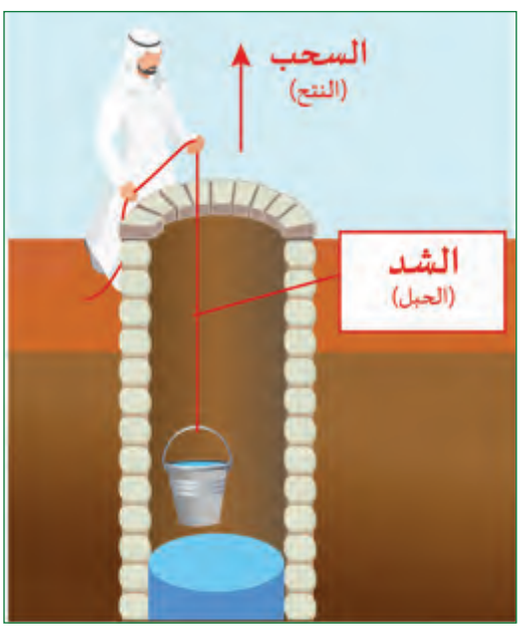


شكل 3-33 يسحب الضغط السلبي في أوراق النبات الماء إلى الأعلى.

f. تسحب الخاصّيّة الأسموزيّة الماء من التربة

يتدفّق الماء من التربة إلى الشعيرات الجذرية عن طريق الخاصّيّة الأسموزيّة (**الشكل 3-32f**). لدى السّيتوسول في خلايا الشعيرات الجذرية تركيز أعلى للمذاب، وبالتالي جهد جهد ماء أقلّ مقارنة بالماء الموجود في التربة المحيطة.

لاحظ أن فرق الضغط في أوعية نسيج الخشب بين الجذور والأوراق هو 16 atm! يمكن أن يصل هذا الفرق في بعض النباتات إلى 75 atm. هذا الفرق في الضغط يكفي لرفع الماء إلى ارتفاع أكبر من 120 m.



شكل 3-34 سحب الماء بوساطة الحبل.

يمكن مقارنة صعود الماء للأعلى في أنابيب الخشب برجل يستخدم حبلا وبكرة لسحب دلو ماء للأعلى. يمثل الرجل قوة الشد الناتجة من النتح، في حين يمثل الحبل عمود الماء المتصل. عندما يقوم الرجل بسحب الحبل، فإن قوة شد سالبة تتولد في الحبل تعمل على سحب الدلو للأعلى (**الشكل 3-34**).

العوامل البيئية المؤثّرة في النتح

يتعرّض النبات لثلاثة عوامل بيئية شائعة تؤثّر في النتح بسبب الطقس المحلّي والظروف المناخية الإقليمية: درجة الحرارة، وسرعة الرياح، والرطوبة.

درجة الحرارة

مع ارتفاع درجة الحرارة تزداد الطاقة الحركية للجزيئات ويرتفع معدل التبخّر، فيزداد النتح إلى حدّ يعتمد فيه على عدد الثغور المفتوحة (**الشكل 3-35a**).

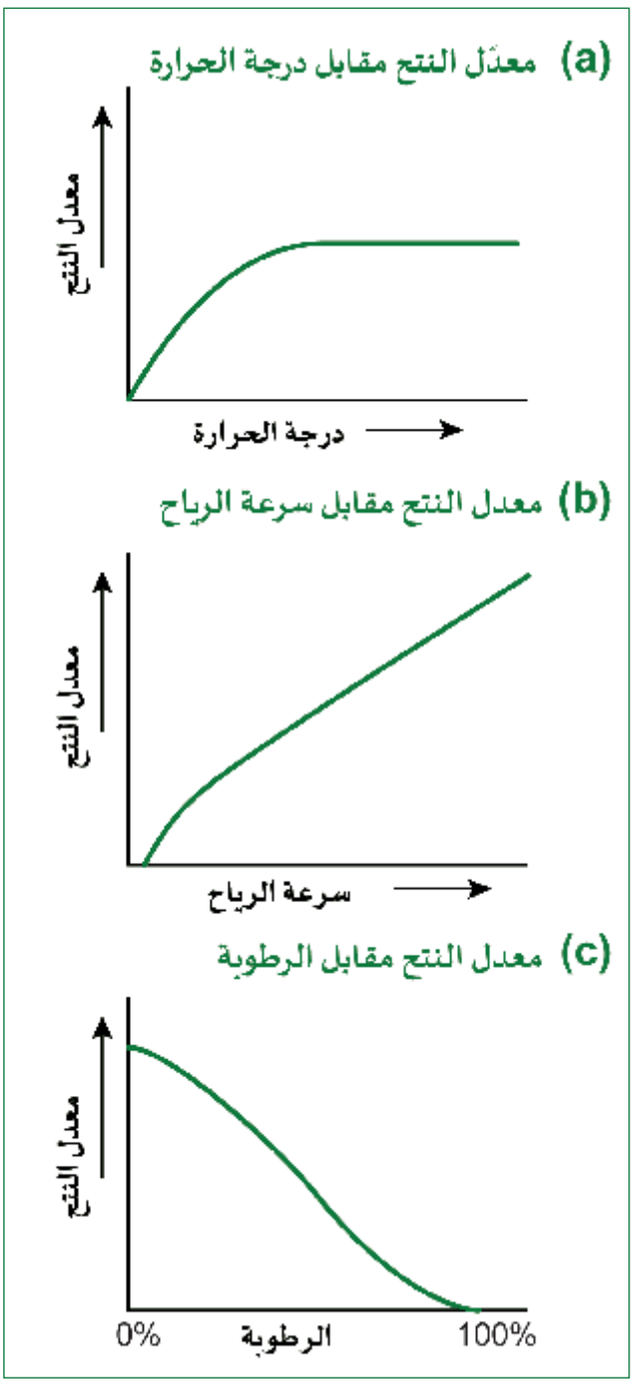
سرعة الرياح

يحمل الهواء المتحرّك الذي يهبّ على سطح ورقة النبات الهواء الرطب بعيدًا وبأسرع من الهواء الساكن. إذا كانت جميع المتغيرّات الأخرى ثابتة، فإنّ معدّل النتح يزداد مع سرعة الريح كما هو ظاهر في **الشكل 3-35b**.

الرطوبة

الرطوبة هي مقياس لكمية بخار الماء في الهواء مقارنة بالكمية القصوى (المشبعة) لبخار الماء التي يمكن أن يحملها الهواء. يعتمد معدل النتح على الفرق بين الرطوبة داخل الورقة وخارجها (**الشكل 3-35c**).

- يكون الهواء عند نسبة الرطوبة 0 % جافًّا تمامًا، ويستوعب الرطوبة بسرعة كبيرة، وهذا يؤدي إلى ارتفاع معدّل النتح.
- لا يمكن للهواء، عند نسبة الرطوبة 100 %، حمل المزيد من بخار الماء. لذا يتوقف التبخّر وينخفض معدّل النتح إلى الصفر.



شكل 3-35 المتغيّرات التي تؤثّر في النتح هي: (a) درجة الحرارة، (b) سرعة الرياح، (c) الرطوبة.

أيٌّ من هذه الأقاليم الحيوية يُسجِّل فيه أدنى متوسّط لمعدل النتح؟ اشرح العوامل المؤثرة في معدل النتح في كلّ إقليم.

(a) السافانا الأفريقية (b) الصحراء الكبرى (c) غابات الأمازون المطيرة

تقويم الدّرس 3-1

1. * اشرح الفرق بين الممرَّيْن الخلوي جماعي والخارج خلوي برسم بسيط يتضمّن المصطلحات الآتية:
   a. الممرّ الخارج خلوي
   b. الروابط البلازمية
   c. الممر الخلوي جماعي
   d. الجدار الخلويّ
2. اذكر وجهَيْ شبه لأجهزة النقل في النباتات والحيوانات، واذكر طريقتين يختلف فيهما النظامان.
3. ارسم مخطّطًا بسيطًا يُظهِر المسارَيْن المختلفَيْن اللذين يمكن أن يتّخذهما الماء في الجذر للوصول إلى نسيج الخشب، واكتب اسميهما.
4. اشرح في جملة أو جملتين سبب حاجة الخلايا في نسيج الخشب إلى النُّقَر.
5. * صمّم خارطة مفاهيم تتضمّن الفكرة الرئيسة «تدفق الماء من التربة إلى الخشب». ضمِّن الخارطة هذه المصطلحات: الممرّ الخارج خلوي، شريط كاسبر، الجدار الخلويّ، السيتوسول، البشرة الداخلية، البشرة، الشُعَيْرات الجذرية، الممرّ الخلوي جماعي، وعاء خشبي.
6. ارسم مخطّطًا باستخدام دوائر متعدّدة بأحجام مختلفة توضّح فيه تنظيم أنسجة النقل في ورقة نبات وعائي. يجب أن يحتوي المخطّط على المصطلحات: نسيج الخشب، نسيج اللحاء، البشرة الداخلية، الحزم الوعائية.
7. فيمَ يختلف نقل الماء عبر الأغشية الخلوية عن نقل الأيونات مثل أيونات البوتاسيوم (K^+)؟ اشرح.
8. * صف، في بضع جمل، شريط كاسبر، وحدِّد موقعه ووظيفته في ما يتعلّق بنقل الماء عبر الممرّ الخارج خلوي والممرّ الخلوي جماعي.
9. صف، في جملة واحدة، تأثير كلّ عامل من العوامل الآتية في معدّل النتح.
   a. درجة الحرارة العالية
   b. الرطوبة المنخفضة
   c. الكثافة المنخفضة للثغور
   d. الرياح الشديدة
10. أعطِ مثالًا على تكيّف الثغور لدى بعض النباتات الصحراوية.

الدرس 3-2

نقل الغذاء

Translocation

المقياس الزمني لحياة النباتات أبطأ مما هو عليه للحيوانات. إنّ معدّل أيض النبات البطيء يعني أنّ بعض النباتات تعيش فترة طويلة جدًا. وأقدم النباتات الحيّة المعروفة هي شجرة الصنوبر المعمّر *(Pinus longaeva)*، ويُقدّر عمرها بـ 4852 سنة (**الشكل 3-36**). ولكنَّ معدل الأيض البطيء لا يعني أنّ النباتات بسيطة، فالنباتات لها آليات داخلية معقّدة للغاية لإنتاج الغذاء ونقله وخزنه. وبدون دوران بوساطة قلب، طوّرت النباتات استراتيجيّات كيميائية حيوية معقّدة لنقل السكّريات التي ينتجها البناء الضوئي من الأوراق إلى أجزاء النبات الأخرى. يتبادر إلى أذهاننا للوهلة الأولى أن النباتات تنتج أغذية مفيدة مثل البطاطس والجزر لأجلنا فقط. لكنّ الحقيقة هي أن النباتات تستخدم هذه التراكيب لتقوم بوظيفة ثلّاجة يخزن فيها النبات الغذاء ليستخدمه في وقت لاحق.

شكل 3-36 أقدم كائن حي هو شجرة الصنوبر المعمر.

مخرجات التّعلُّم

B1220.1 يصف انتقال نواتج عملية البناء الضوئي في اللحاء.

B1220.2 يشرح دور الخلايا المرافقة في نقل نواتج البناء الضوئي.

المفردات

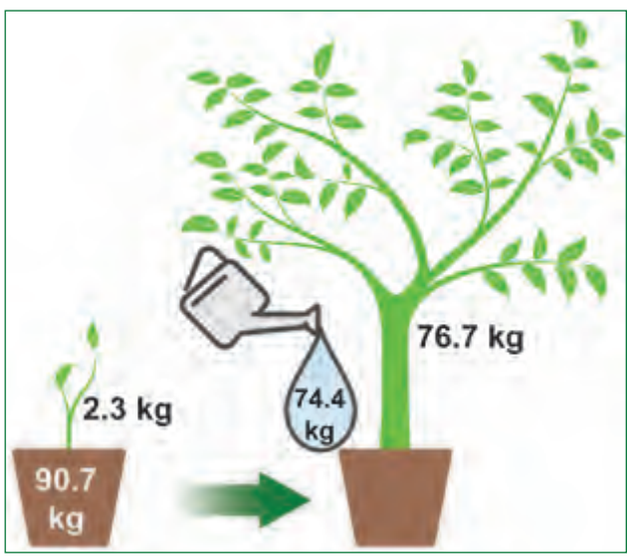
Sieve tube	الأنبوب الغربالي
Companion cells	الخلايا المرافقة
Sieve tube element	الخلية الوعائية الغربالية
Sieve plate	الصفيحة الغربالية
Sugar source	مصدر السكر
Sugar sink	مصب السكر
Active loading	التحميل النشِط
Pressure-flow theory	فرضية التدفق الكمّي

ملاحظات ووقائع ومنهج علمي

هل تأكل النباتات التراب؟

حتى العام 1650 تقريبًا، كان معظم العلماء يظنّون أن النباتات «تأكل» التراب. ويبدو هذا منطقيًا من الناحية النظرية، لأننا عندما نضع البذور في التراب ونرويها، فإنها تنمو لتصبح نباتات كبيرة. للوهلة الأولى يبدو أن النباتات تحصل على غذائها من التربة بوساطة جذورها. وقد تمّ نشر التجربة الأولى لاختبار هذا الأمر التي أجراها يوهان بابتيست فان هيلمونت Johann Baptist Van Helmont بعد وفاته في العام 1648 وتُرجمت إلى الإنجليزية في العام 1662.

جفّف فان هيلمونت التربة ووزن 90.7 kg (200 lbs) منها بعناية ثمّ وضعها في إناء كبير. وزرع فيه شتلة من شجر الصفصاف كان وزنها 2.3 kg (5 lbs) ثم غطّى الإناء بصفيحة مثقّبة من الحديد لكي لا يتطاير التراب. ترك فان هيلمونت الشجرة تنمو في الإناء مدة خمس سنوات، وكان يسقيها بحسب الحاجة. ثم استخرج التربة وجفّفها في فرن، ثم وزنها مرّة أخرى، فوجد أنّ التربة كلّها لا تزال موجودة ينقصها 2 أونصة (0.06 kg) منها. وكان وزن الشجرة 76.7 kg (169 lbs, 3oz). استنتج فان هيلمونت أنّ 74.4 kg (164 lbs) من الشجرة جاءت من الماء الذي تمّت إضافته.



شكل 3-37 كان فان هيلمونت أول من سجل نتائج تجربة كمية في علم النبات. وقد أبطل الاعتقاد الذي كان سائدًا قبل العام 1650 بأنّ النباتات تأكل التراب.

وكمعظم المعلومات التي نجدها على الإنترنت، فإنّ كثيرًا من المعلومات التي تنشر في عدد كبير من المواقع ليس واقعيًّا كثيرًا. وعلى سبيل المثال، فإنَّ التاريخ الذي جرت فيه تجربة فان هيلمونت جاء في بعض مواقع الويب أنه كان في العام 1634 أو 1648 أو 1649. ونحن نعرف أن تجربته حدثت قبل وفاته، لكن دون تحديد تاريخها.

لماذا برأيك ما يزال معظم الناس يظن بأن مادة النباتات يأتي معظمها من التربة؟

خلص فان هيلمونت إلى أن كتلة الشجرة جاءت من الماء، لكنّ تجربته لم تكن مضبوطة تمامًا. وذكر فان هيلمونت أنه لم يزن الأوراق التي سقطت أثناء نموّ الشجرة، ولم يذكر اسم نوع الصفصاف واستبعد وزن الماء في أنسجة الشجرة، ولم يلتفت إلى غاز ثاني أكسيد الكربون، على الرغم من أنّ الكتابات تثبت أنه كان يعرف أن حرق النبات يُطلق هذا الغاز.

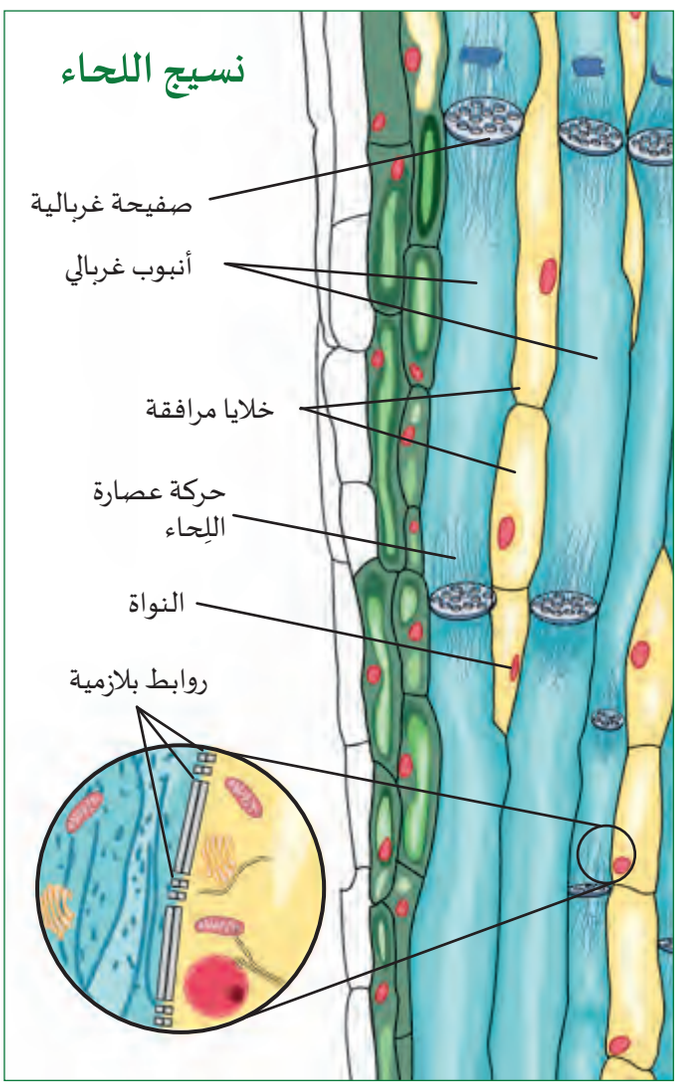
نعلم اليوم أن غاز ثاني أكسيد الكربون يتمّ تحويله كيميائيًا بوساطة النباتات إلى السكّريات من خلال البناء الضوئي. ومع ذلك، لا يمكن لمعظم خريجي الجامعات أن يشرحوا كيفية اشتقاق كتلة النبات من مركّب في الهواء!

نسيج اللِحاء

يتكوّن اللحاء مثل نسيج الخشب، من خلايا طويلة ورقيقة لنقل السوائل في الجذور والسيقان والأوراق. لكنَّ اللِحاء يختلف عن نسيج الخشب:

- خلايا اللِحاء هي نسيج حيّ، أمّا أوعية نسيج الخشب فهي خلايا ميتة.
- تعتمد عمليات نقل الغذاء من خلال اللحاء على النقل النشط، أمّا نسيج الخشب فيعتمد على الانتشار السلبيّ في أغلب الأحيان.

يتكوّن نسيج اللِحاء من عمودين من الخلايا الوعائية الغربالية المكوّنة **للأنابيب الغربالية Sieve tubes والخلايا المرافقة Companion cells**.



شكل 3-38 يشمل نسيج اللِحاء الأنابيب الغربالية والخلايا المرافقة.

الخلايا الوعائية الغربالية

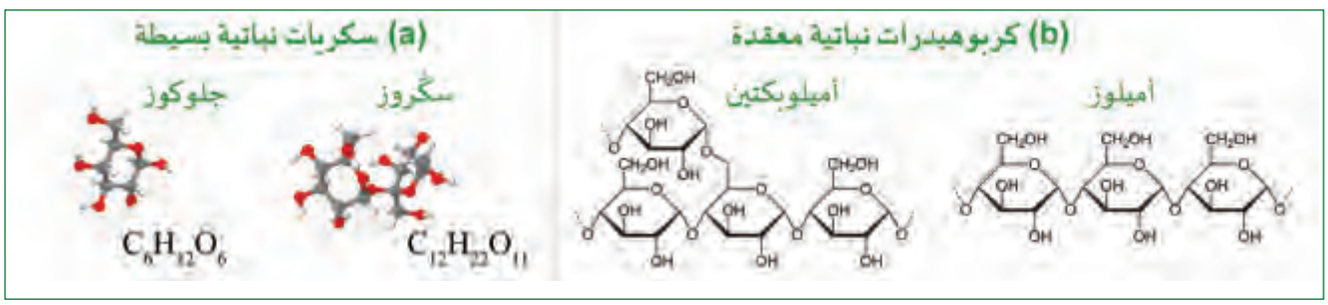
تتكوّن الأنابيب الغربالية من خلايا صغيرة تُسمّى **الخلايا الوعائية الغربالية Sieve tube elements** التي يصطفّ بعضها فوق بعض وترتبط عند نهاياتها. تمتدّ الأنابيب الغربالية من أوراق النبات عبر السيقان إلى الجذور. عند نهاية كُلّ خلية من الخلايا الوعائية الغربالية يوجد تركيب يحتوي ثقوبًا يُسمّى **«الصفيحة الغربالية» Sieve plate**. تنتقل عصارة اللِحاء عبر الصفائح الغربالية من خلية غربالية إلى أخرى.

الخلايا المرافقة

لا يمكن للخلايا الوعائية الغربالية تكوين البروتينات، لأنها لا تمتلك نوى أو رايبوسومات. لذا، فإنّ لكلّ خلية من الخلايا الوعائية الغربالية **خلية مرافقة Companion cell** أو أكثر، وتُعدُّ الخليتان، المرافقة والغربالية، وحدة واحدة. ترتبط الخلية المرافقة والخلية الوعائية الغربالية عن طريق الروابط البلازمية، وهناك تبادل حرّ للمواد العضوية القابلة للذوبان بين الخليتين كما هو ظاهر في **الشكل 3-38**. الخلايا المرافقة تضمّ كلّ العضيات الخلوية، بما في ذلك النواة. وتحتوي الخلايا المرافقة على عدد كبير من الميتوكندريا والرايبوسومات، وهي أكبر أيضًا لأنها تمدّ الخلايا الوعائية الغربالية المجاورة بالبروتينات وATP. يجب أن يدعم الأيض الغذائي في الخلية المرافقة الخلية نفسها، بالإضافة إلى الخلية الوعائية الغربالية الأكبر حجمًا.

مصادر السكّر ومصبّاته

أكثر الموادّ المذابة شيوعًا في عصارة اللحاء هو السكّر. في جميع النباتات، يتم إنتاج الجلوكوز في البناء الضوئي. يتمّ تحويل الجلوكوز إلى السَكَّروز أو غيره من السكّريّات الثنائيّة (**الشكل 3-39a**)، ثم يتمّ نقل السكروز في عصارة اللِحاء إلى خلايا نباتية أخرى، والتي تبني كربوهيدرات معقّدة، مثل الأميلوبكتين والأميلوز اللذين يكوّنان النشا (**الشكل 3-39b**).



شكل 3-39 السُكّريات النباتية هي (a) الجلوكوز والسَكَّروز، و(b) الكربوهيدرات المعقّدة للتخزين مثل الأميلوبكتين أو مركّبات الأميلوز.

تنقل النباتات السكّريات مثل السكروز في عصارة اللِحاء وتخزن الكربوهيدرات المعقّدة.

تنقل عصارة اللحاء أيضًا الأيونات والهرمونات والفيروسات وATP بالإضافة إلى السكّر .ولكنّ المواد المذابة الرئيسة هي السَكَّروز والكربوهيدرات. يسلّط هذا الدرس الضوء على السَكَّروز لشرح العملية الرئيسة في نقل الغذاء. يرى علماء الأحياء في كثير من الأحيان أن نقل الغذاء هو حركة السكَّروز من المصادر إلى المصبّات.

مصادر السكر Sugar Sources

مصدر السكر هو جزء من النبات يكون منتِجًا صافيًا للسُكَّر مثل ورقة النبات.

مصبّات السُكَّر Sugar sinks

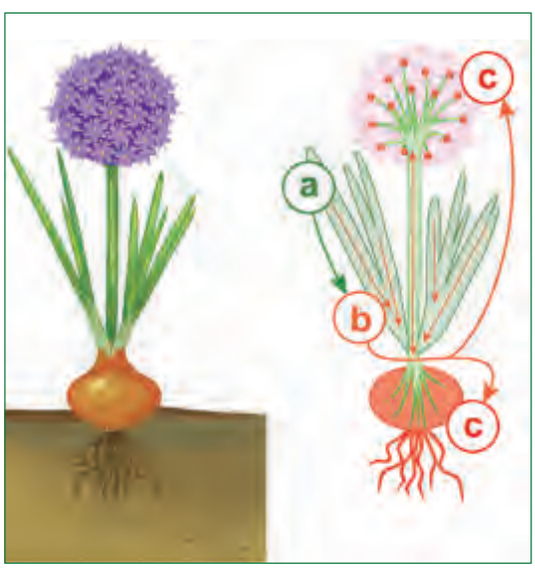
مصبّ السُكَّر هو الجزء من النبات الذي يستقبل السكَّر للطاقة أو للتخزين أو للنموّ أو للتكاثر.

إن عملية إنتاج السكّريات في النباتات ونقلها واستخدامها تتكوّن من ثلاث مراحل كما يظهر في (**الشكل 3-40**):

a. التحميل: يُنقل السكّر من المصادر في الأوراق إلى عصارة اللحاء.

b. نقل الغذاء: تُنقل عصارة اللحاء التي تحتوي على السكّر ومذابات أخرى عبر النبات من المصادر إلى المصبّات.

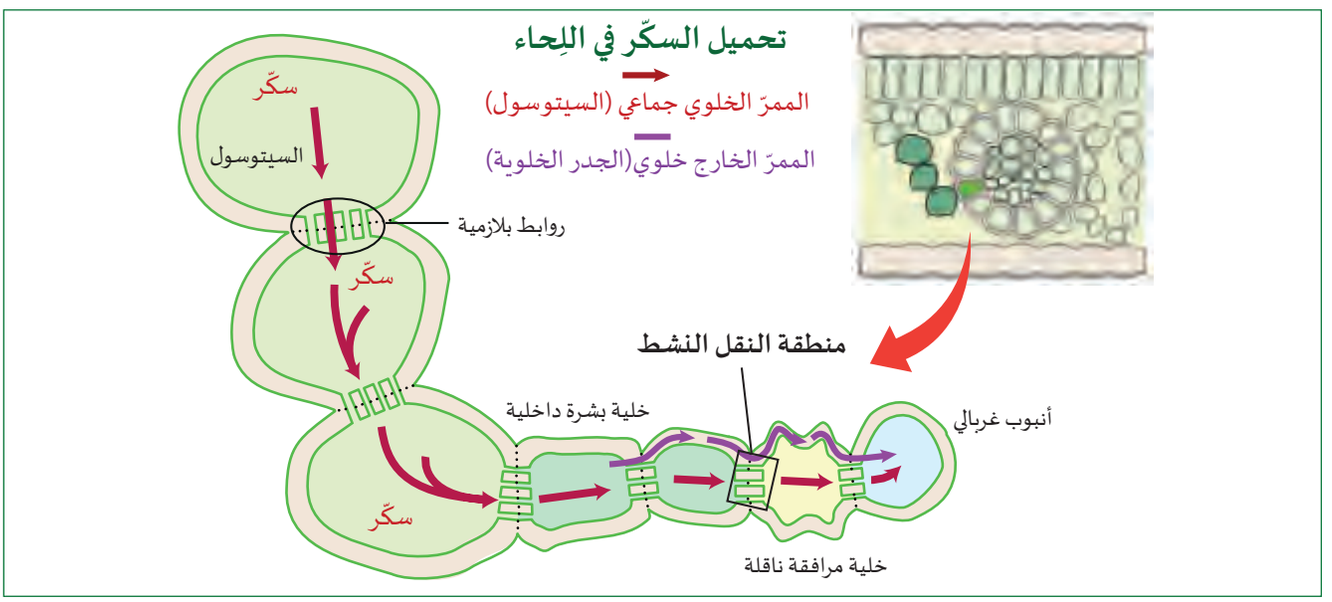
c. التفريغ: يُنقل السكّر بالنقل النشط عكس منحدر التركيز من عصارة اللحاء إلى خلايا المصب لاستخدامه في النمو أو التكاثر أو التخزين.



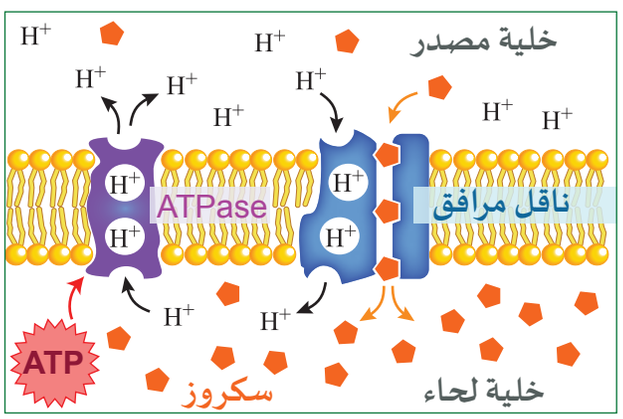
شكل 3-40 يتضمن النقل في اللحاء (a) التحميل، و (b) نقل الغذاء، و (c) التفريغ.

مصادر السكَّر والتحميل النشِط

يتمّ إنتاج السكّر أثناء عملية البناء الضوئي في النسيج المتوسّط لأوراق النبات. تربط الروابط البلازمية Plasmodesmata الخلايا المنتجة للسكَّر في الورقة بالأنابيب الغربالية (**الشكل 3-41**). بمجرّد وصول السكّر إلى حزمة وعائية، يمكن أن ينتقل السكّر عبر الممرّ الخلوي جماعي symplast أو عبر الممرّ الخارج خلوي apoplast للوصول إلى أنبوب غربالي.



شكل 3-41 إنتاج السكّر وتدفّقه في ورقة النبات.



شكل 3-42 النقل النشِط للسكَّر إلى خلايا نسيج اللِحاء.

إنّ تركيز السكّر هو الأعلى في عصارة اللِحاء، ويبلغ 30 %. **التحميل النشِط Active loading** هو عملية دفع السكَّر إلى الأنبوب الغربالي عكس منحدر التركيز. يستخدم التحميل النشِط ATP لضخّ H^+ إلى خارج خلايا اللِحاء، ما يكوّن منحدر تركيز لـ H^+ (**الشكل 3-42**) عبر أغشية الخلايا الناقلة والخلايا الغربالية.

تحتوي الخلايا المرافقة في نسيج اللحاء على عدد كبير من الميتوكندريا توفر الطاقة اللازمة للنقل النشط. لهذه الخلايا أيضًا جُدُر خلوية متعرجة، ما يزيد من مساحتها السطحية لأجل النقل.

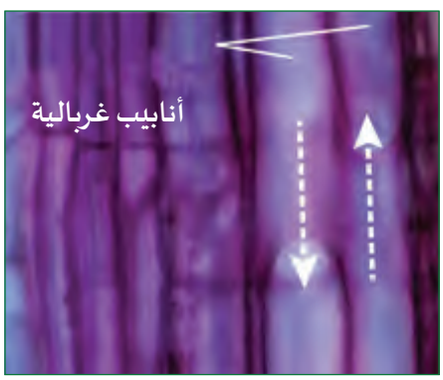
يقوم إنزيم ATPase المعروف باسم مضخة البروتونات بضخ H^+ عكس منحدر تركيزه من المسار الخلوي جماعي للخلايا الغربالية والخلايا الناقلة إلى المسار الخارج خلوي لها (**الشكل 3-42**). تراكم أيونات الهيدروجين في المسار الخارج خلوي يؤدي إلى زيادة تراكيزه فيبدأ بالعودة مع منحدر تركيزه إلى داخل الأنابيب الغربالية والخلايا الناقلة عبر قنوات بروتينية متخصصة تسمى (البروتين الناقل المرافق). حركة البروتونات مع منحدر التركيز تؤدي إلى إطلاق طاقة تستخدم في نقل جزيئات السكروز من المسار الخارج خلوي إلى المسار الخلوي جماعي للخلايا الغربالية والخلايا المرافقة.

حاجة نقل السَكَّروز إلى طاقة ATP

يتمّ جمع السكر والكربوهيدرات الأخرى وتركيزها في سيتوسول الأنابيب الغربالية للحاء. يمكن أن يتحرّك السكّر بحريَّة في أي اتجاه داخل اللحاء عبر الصفائح الغربالية. تستخدم النباتات المختلفة استراتيجيّات مختلفة لنقل السكّر من اللحاء إلى الخلايا للتنفّس الخلوي أو النموّ أو التكاثر أو التخزين (المصبّات).

- جُزيئات السكّر أكبر من أن تنتشر بسرعة عبر الأغشية في معظم النباتات الوعائية. ويتطلّب تحريك السكّر من اللحاء الى خلايا نباتية اخرى استهلاك جزيئات ATP بعملية النقل النشط.
- تعيش الأشجار زمنًا طويلًا مقارنة بمعظم النباتات، وقد تكيّفت مع طاقة أيض أقلّ. حيث يتدفّق السكَّر من عصارة اللِحاء إلى الخلايا عن طريق الانتشار في الأشجار.

يأخذ النقل في اللِحاء اتجاهات متعدّدة نتيجة تغيّر المصادر والمصبّات. وعلى سبيل المثال، فإنَّ الزهرة هي مصبّ سكّر، وقد تكون الورقة المجاورة لها مصدرًا لتلك الزهرة. قد يتمّ نقل السكّر من الأوراق الأخرى القريبة إلى أجزاء مختلفة من النبات. يمكن أن تحمل الأنابيب الغربالية المجاورة العصارة في اتجاهين متعاكسين **(الشكل 3-43)**.

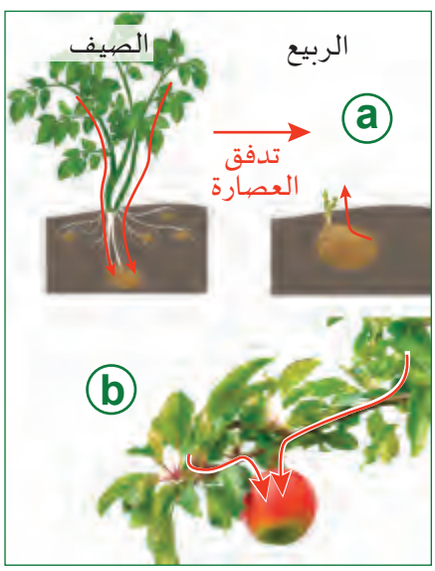


شكل 3-43 يمكن أن تنقل الأنابيب الغربالية المتجاورة الموادّ في اتجاهين متعاكسين.

النقل الموسمي في الخُضَر والثمار

اتُّخذ نبات البطاطس في فصل الصيف مثالًا: يحمل اللِحاء السكّر إلى جذوره، حيث يتمّ تحويله إلى النشا وخزنه في البطاطس. عندما يأتي الشتاء، تموت أوراق نبات البطاطس وساقه كما يظهر في **الشكل 3-44a**. في الربيع تنمو نباتات جديدة من البطاطس الأصلية. تحمل أنسجة اللِحاء الجديدة النشويات والسكّريات من الدرنات إلى قمم الأوراق والسيقان الجديدة النامية.

الثمار جزء من الدورة التناسلية للكثير من النباتات. تُغلّف الثمار البذور، وقد تكون حلوة المذاق لتشجيع الحيوانات على أكلها ونشر بذورها. تتدفّق السكّريات في موسم النموّ من الأوراق إلى الثمار كما يظهر في الشكل **3-44b**.



شكل 3-44 تدفّق العصارة في بعض النباتات الغذائية.

فرضيّة التدفّق الكمّي

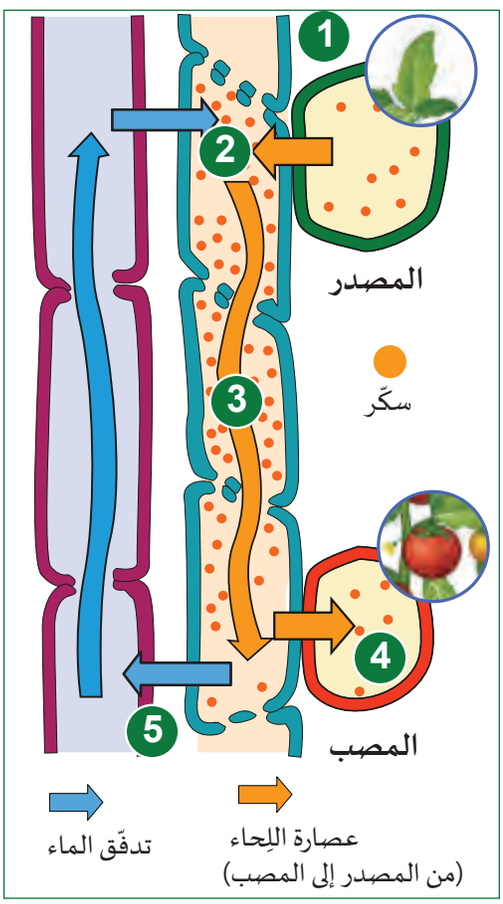
يتمّ نقل السكّر في اللِحاء غالبًا عن طريق التدفّق الكمّي، على غرار حركة الماء في نسيج الخشب.

ومع ذلك، فقد تكون المصادر والمصبّات مختلفة الأماكن، وقد تتغيّر. يجب أن يكون التدفّق في الأنابيب الغربالية قابلًا للانعكاس، على عكس التدفّق في نسيج الخشب الذي يصعد دائمًا من الجذور إلى الأوراق.

عندما تقوم النباتات بتحميل نشِط للسكّر في خلايا اللِحاء يخفض التركيز العالي للسكّر في عصارة اللحاء من جهد الماء في خلية اللحاء نسبةً إلى الخلايا المجاورة. فينتقل الماء بالخاصيّة الأسموزية من اوعية الخشب إلى الأنبوب الغربالي، ما يزيد بشكل كبير من الضغط الهيدروستاتيكي. يصبح الضغط الهيدروستاتيكي في الأنبوب الغربالي في منطقة المصدر أعلى من الضغط الهيروستاتيكي في منطقة المصب فيتدفّق السكّروز باتجاه المصبّ.

الآلية التي تحرّك العصارة في اللِحاء تُسمّى **فرضية التدفّق الكمّي Pressure-flow**.

1. **التحميل Loading:** يُحمّل السكّر بالنقل النشط في الأنابيب الغربالية عند المصدر، ممّا يقلّل من جهد الماء في الأنبوب الغربالي قرب المصدر، فيتدفّق الماء من نسيج الخشب إلى الأنبوب الغربالي بفعل الخاصّيّة الأسموزيّة.
2. **نقل الغذاء Translocation:** يُحدث انتقال الماء قرب المصدر ضغطًا هيدروستاتيكيًا إيجابيًا يُرسل عصارة اللِحاء نزولًا أو صعودًا في الأنبوب الغربالي وفقًا للفرق في الضغط.
3. **التفريغ Unloading:** يتمّ تفريغ السكّر من الطرف الآخر من الأنبوب الغربالي في المصبّ. يسحب النّقل النشط السكّر إلى المصبّ، فيقلّ التركيز في عصارة اللحاء ويرتفع جهده المائي.
4. يعود الماء إلى أوعية الخشب المجاور عن طريق الخاصية الأسموزية وهذا يخفض الضغط في اللحاء.



شكل 3-45 فرضية التدفق الكمي.

تؤكّد فرضية التدفّق الكمّي أنَّ التدفّق عبر الأنابيب الغربالية يحدث بسبب اختلاف الضغط الهيدروستاتيكي بين اجزاء الأنبوب الغربالي القريبة من المصادر والمصبّات المتصلة بذلك الوعاء.

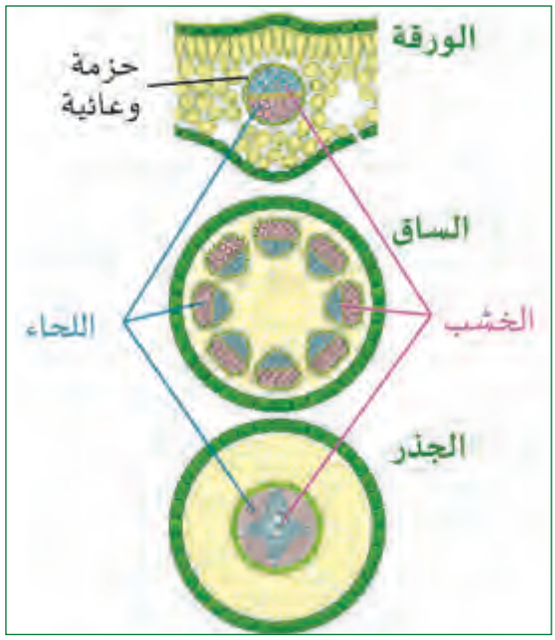
عند المصدر، تسبّب الخاصّيّة الأسموزيّة انخفاضًا في جهد الماء في الأنابيب الغربالية. فينتقل الماء من نسيج الخشب إلى اللحاء. أمّا في الأجزاء الواقعة بين المصادر والمصبّات، فيكون جهد الماء متساويًا في نسيج الخشب واللحاء. عند المصبّ، يتم تفريغ كمية كبيرة من السكر، فيصبح تركيز السكر أقلّ مما هو في الخشب ويندفع الماء إلى داخل نسيج الخشب.

مقارنة بين نقل الغذاء والنتح

يتشابه نقل الغذاء والنتح في ما يأتي:

- النتح ونقل الغذاء كلاهما ينقلان موادّ ذائبة في الماء.
- يستخدم كلاهما أنسجة وعائية تكوّن أنابيب يمكن أن يكون طولها عدّة أمتار.
- تتمّ عمليتا نقل الماء ونقل الغذاء في حزم وعائية في الجذور والسيقان والأوراق. **(الشكل 3-46).**
- يحرّك النتح ونقل الغذاء بشكل أوّليّ المذابات بفعل التدفّق الكمّي (حركة تحت تأثير فرق ضغط)، وهو أسرع بكثير من الانتشار.

يلخّص **الجدول 3-1** الاختلافات الرئيسة بين جهازَي النّقل. هناك أيضًا المزيد من الاختلافات على مستوى المذابات المنقولة.



شكل 3-46 الأنسجة الوعائية.

الجدول 3-1 الاختلافات بين نقل الغذاء والنتح.

	نقل الغذاء	النتح
نوع النسيج	اللحاء	الخشب
السائل	تحتوي عصارة اللِحاء على تركيز عالٍ من السكّر مع آثار من الأيونات والهرمونات	الماء مع تركيز منخفض من الأيونات الذائبة.
التركيب	خلايا حية، خلايا وعائية غربالية وخلايا مرافقة. هذه الخلايا لها جُدُر رقيقة ولا تقدّم دعمًا هيكليًا للنباتات.	الخلايا الوعائية في الخشب ميتة، لها جُدُر سميكة وقوية من اللجنين وتقدّم دعمًا هيكليًا.
الضغط الداخلي	الضغط إيجابي في أغلب الأحيان (دفع)	الضغط سلبيّ في أغلب الأحيان (سحب، شد)
الاتجاه	تتحرّك العصارة في جميع الاتجاهات بين المصادر والمصبات.	ينقل الماء صعودًا من الجذور إلى الأوراق.
عمليات النقل	النقل النشِط للسكّر في أغلب الأحيان، باستثناء النقل في الأشجار حيث يكون سلبيًا. ويحدث تدفّق العصارة بالنقل السلبي.	الانتشار السلبيّ للماء في أغلب الأحيان.

تقويم الدّرس 3-2

1. * ارسم مخطّطًا بسيطًا لأنبوب غربالي وخلية مرافقة له. ضع علامة على بداية الخلية الوعائية الغربالية وعلى نهايتها. عيّن الصفيحة الغربالية، وأظهر تدفّق العصارة عبرها.
2. * استخدم الإنترنت لشرح أوجه الاختلاف بين وظائف البوليمرات العضوية النباتية الآتية:
   a. السليلوز
   b. اللجنين
   c. الأميلوز
   d. الأميلوبكتين
3. باستخدام شجرة النخيل مثالًا، عرّف مصدر السكَّر ومصبّه وحدّد موقع كلّ منهما.
4. * وضّح تحميل السكروز، واذكر مكان حدوثه.
5. * متى ينتقل السكَّر عبر الممرّ الخارج خلوي؟
6. ** ابحث واشرح كيف تحصل حشرات المنّ على الطاقة من سيقان النبات الأخضر.
7. * ماذا يحدث عندما ينتج النبات سكّرًا أكثر مما تستطيع خلاياه استخدامه؟ ولماذا يتطلَّب ذلك ATP؟
8. ما الفرق بين مضخّة البروتون والناقل المرافق في أغشية الخلايا المرافقة؟
9. * في مخطَّط انسيابي بسيط، لخّص خطوات فرضيّة التدفّق الكمّي.
10. ** اختر لكل من العبارات في الأسفل ما يناسبها من المصطلحات التالية:

    * **(i)** النتح أو نقل الماء، أو **(ii)** نقل الغذاء، أو **(iii)** الاثنين معًا
    a. التدفّق في اتجاهات متعدّدة
    b. الماء
    c. نقل نشط في أغلب الأحيان
    d. نقل سلبيّ في أغلب الأحيان
    e. ضخّ البروتون
    f. الثغور
    g. أنسجة نقل من خلايا حية
    h. أنسجة نقل من خلايا ميتة

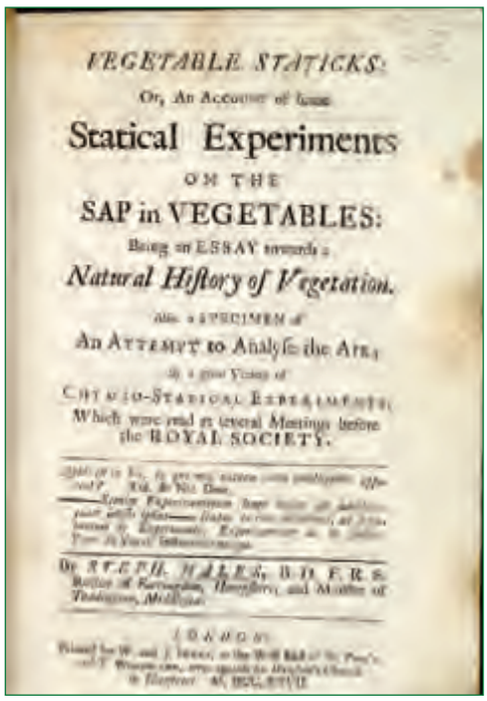
إضاءة على عالم

ستيفن هايلز 1761 – 1677

شكل 3-47 ستيفن هايلز.

وُلد ستيفن هايلز Stephen Hales في كينت، في إنجلترا لعائلة كبيرة مشهورة. عندما توفّي والده، ورث شقيقه الأكبر السير توماس هايلز منصب بارونية هايلز. تلقّى ستيفن تعليمه في جامعة كامبريدج قبل أن يصبح راعيًا لأبرشيّة محليّة. كان متزوجًا لفترة وجيزة، ولكن لم يكن لديه أطفال، ولم يتزوَّج مرة أخرى. وبدلًا من ذلك اهتمّ بالطبيعة، وصادق جيلبرت وايت Gilbert White، وقضى كلَّ صيف معه. يُشار إلى وايت أحيانًا بأنّه أول عالم بيئة في إنجلترا.

ابتداءً من العام 1727، نشر ستيفن هايلز سلسلة من المقالات. إحدى المقالات كانت بعنوان Vegetable Staticks وقد أشارت إلى دراساته حول النموّ وتبادل الغازات في النباتات. لاحظ هايلز أن الماء ينتقل من التربة إلى السيقان ثمَّ إلى الأوراق كلما فقدت الماء بالتبخّر، وقد وُصِفت العملية في وقت لاحق بأنها «النتح». في القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين، أثبتت الدراسات أن الماء يهرب من فتحات تُسمّى «الثغور». كانت الفتحات في بشرة الورقة موضع دراسة مكثّفة منذ ذلك الحين.


VEGETABLE STATICKS:
Or, An Account of some
Statical Experiments
ON THE
SAP in VEGETABLES:
Being an ESSAY towards a
Natural History of Vegetation.
An ATTEMPT to Analyse the AIR
By a great Variety of
CHEMIO-STATICAL EXPERIMENTS
Which were read at several Meetings before
the ROYAL SOCIETY.
By STEPH. HALES, D. D. F. R. S.
LONDON:

شكل 3-48 مقالات هايلز في 1727 عن إستاتيكا العصارة النباتية.

في Vegetable Staticks وصف هايلز عدّة مقاربات منطقية وعلمية. وقدّر المساحة السطحية لأوراق كلّ نبات والطول والمساحة السطحية للجذور. سمحت له هذه القياسات بتقدير تقريبي لتدفّق الماء إلى النبات، وقام بمقارنتها بكمية الماء التي يخسرها النبات من خلال الأوراق. وقد وصف أيضًا قياس «قوة العصارة». ويبدو أنه قد أشار في هذه الحالة إلى الضغط الجذري. بفضل Vegetable Staticks يُنسَب إلى هايلز ظهور النظريات الأولى لحركة الماء في النباتات، على الرغم من عدم استيعاب أيّ من هذه الأفكار في ذلك الوقت. ربّما ذاع صيت هايلز أكثر لإجرائه الكثير من قياسات ضغط الدم لدى الحيوانات.

الوحدة 3

مراجعة الوحدة

الدرس 3-1 النتح

- تتميّز النباتات بمعدّلات تنفّس أبطأ، ولكنها تحتاج إلى أجهزة نقل أطول مقارنة بالحيوانات.
- النسيجان الأساسيان المسؤولان عن النّقل هما نسيج الخشب ونسيج اللحاء الموجودان معًا في **الحزم الوعائية Vascular bundles**.
- يقوم نسيج الخشب غالبًا بنقل الماء مع بعض الأيونات الذائبة من الجذور إلى الأعلى، من خلال السيقان إلى الأوراق.
- **النتح Transpiration** هو حركة الماء في النباتات التي تنتهي بتبخّر الماء من الأوراق.
- **نقل الغذاء Translocation** هو حركة السكَّريات والجزيئات الحيوية الأكثر تعقيدًا في النباتات داخل اللحاء.
- إن **وعاء الخشب Xylem vessel** مصنوع من خلايا ميتة ذات جُدُر هيكلية من اللجنين.
- ينقل مسار **خلوي جماعي Symplast** الماء و المذابات بين الخلايا عبر فتحات في جُدُر الخلايا تُسمّى **الروابط البلازمية Plasmodesmata**.
- يتحرّك الماء والمذابات في مسار **خارج خلوي Apoplast** عبر الجدر الخلوية أو بينها خارج الأغشية الخلوية.
- يسدّ **شريط كاسبر Casparian strip** المسار الخارج خلوي بين الخلايا الجذرية ونسيج الخشب.
- **الثغور Stomata** هي تراكيب تحتوي فتحات تتحكّم في التبخّر من الأوراق.
- ينتقل الماء في نسيج الخشب من منطقة جهد الماء العالي إلى منطقة جهد الماء الأقلّ.
- الضغط السلبي الناتج من النتح يسحب الماء من الجذور تحت الأرض إلى الأعلى إلى الأوراق.

الدرس 3-2 نقل الغذاء

- تتكوّن أنسجة اللحاء من **خلايا وعائية غربالية Sieve tube element** حيّة متّصلة في نهاياتها لتشكيل **الأنابيب الغربالية Sieve tubes** مع **صفائح غربالية Sieve plates** بين الخلايا المجاورة.
- تفتقر الخلايا الوعائية الغربالية إلى بعض العضيات وتتوافر لها البروتينات وATP من **الخلايا المرافقة Companion cells**.
- يتمّ نقل السكّر ضمن **عصارة اللِحاء Phloem sap** من **المصادر Sources** إلى **المصبّات Sinks**.
- **التحميل النشِط Active loading** هو ضخّ السكَّر من خلايا المصدر إلى خلايا اللحاء من خلال النقل النشِط.
- يمكن للِحاء أن ينقل العصارة في أيٍّ من الاتجاهات.
- تشرح **فرضية التدفّق الكمّي Pressure – flow** كيف يسبِّب الضغط الهيدروستاتيكي للماء تدفّق العصارة في اللِحاء.

تقويم الوحدة

تحضير للاختبار

1. أيٌّ ممّا يأتي ليس جزءًا من النّقل لمسافات قصيرة في النباتات؟
   a. الممرّ الخارج خلوي
   b. الممرّ الخلوي جماعي
   c. الصفيحة الغربالية
   d. الروابط البلازمية

2. ما التركيب الذي يواجهه الماء أوّلًا عندما ينتقل من التربة إلى النبات؟
   a. الخلية الوعائية الغربالية
   b. الغشاء الخلوي
   c. الشعيرات الجذرية
   d. وعاء الخشب

3. أيٌّ ممّا يأتي له أقلّ تأثير في معدّل النتح؟
   a. الرطوبة
   b. درجة الحرارة
   c. كثافة الثغور
   d. التركيز في عصارة اللحاء

4. ما الذي لا يشارك في النتح؟
   a. النترات
   b. الخلية الحارسة
   c. الثغر
   d. أيونات H^+

5. ما أفضل وصف لوظيفة الروابط البلازمية ؟
   a. الضخّ النشِط للسكّريات عكسّ منحدر التركيز
   b. نقل المذابات والماء بين الخلايا المجاورة
   c. حركة الماء بين أوعية الخشب المجاورة
   d. توقّف تدفّق الماء والمذابات من خلال الممرّ الخارج خلوي

6. ما هي القوة الدافعة لنقل الماء لمسافات طويلة في النبات؟
   a. النتح
   b. الخاصّيّة الأسموزيّة
   c. الانتشار
   d. الضغط الجذري

7. إذا كان بإمكانك جعل الثغور مغلقة بشكل مستمرّ، فما هي النتيجة المباشرة المتوقّعة؟
   a. سيتمّ إيقاف إنتاج السكر.
   b. يتوقّف نقل الماء.
   c. يتعذّر إجراء عملية البناء الضوئي.
   d. تموت الخلايا الحارسة.

8. أيٌّ من الأوصاف الآتية يشبه وظيفة شريط كاسبر؟
   a. الشحم على عجلة
   b. مانع التسرّب
   c. شريط لتثبيت التراكيب معًا
   d. مضخّة لزيادة الضغط

9. أيٌّ مما يأتي لن يكون تكيّفًا جيدًا لدى نبات صحراوي؟
   a. الثغور الكبيرة التي تُدخل المزيد من ثاني أكسيد الكربون
   b. الثغور الصغيرة التي تُدخل القليل من ثاني أكسيد الكربون
   c. أوعية الخشب الكبيرة لنقل الماء بشكل أسرع
   d. المزيد من خلايا اللحاء لتخفيف محتوى السكّر في العصارة

10. أيُّ عبارتَيْن من العبارات الآتية المتعلّقة فرضية التدفّق الكمّي صحيحة؟
   a. يدخل الماء من نسيج الخشب إلى اللحاء ويرفع الضغط عند المصادر.
   b. يدخل الماء من نسيج الخشب إلى اللِحاء ويخفض الضغط عند المصادر.
   c. يتدفّق الماء من اللِحاء إلى الخشب عند المصب.
   d. يتدفّق الماء من الخشب إلى اللِحاء عند المصب.

11. أين يتمّ تحميل السكر؟
   a. مصبّات السكر
   b. خلايا أوعية الخشب
   c. خلايا النسيج المتوسط في الورقة
   d. الصفائح الغربالية بين أوعية اللحاء

12. أيٌّ من المواد الآتية يحدث لها نقل نشط في الخلايا الحارسة حتى تفتح الثغور؟
   a. النترات
   b. جزيئات السكروز
   c. أيونات الهيدروجين (H^+)
   d. أيونات البوتاسيوم (K^+)

13. ما العبارتان اللتان تشرحان التدفّق في الأنسجة الوعائية بطريقة صحيحة؟
   a. جهد الماء في نسيج الخشب هو الأدنى في الأوراق والأعلى في الجذور.
   b. جهد الماء في نسيج الخشب هو الأعلى في الأوراق والأدنى في الجذور.
   c. الضغط الهيدروستاتيكي للماء في أنبوب اللِحاء الغربالي هو الأعلى عند المصدر والأدنى عند المصبّ.
   d. الضغط الهيدروستاتيكي للماء في أنبوب اللِحاء الغربالي هو الأدنى عند المصدر والأعلى عند المصبّ.

الدرس 3-1 النتح

14. ارسم مخطّطًا بسيطًا لوعاء الخشب وعيّن عليه اللجنين والنُّقَر.

15. اذكر ثلاثة أوجه تشابه وثلاثة أوجه اختلاف بين أنسجة الخشب وأنسجة اللِحاء.

16. اذكر ثلاثة عوامل رئيسة تُسهم في جهد الماء في النباتات.

17. صف وظيفة واحدة للبشرة الداخلية في الحزم الوعائية.

18. اشرح فوائد العدد القليل من الثغور ومساوئه بالنسبة إلى النباتات التي تعيش في مناخ صحراوي.

19. اشرح وظيفة كلّ عنصر من العناصر الآتية في عملية النتح.

a. الثغور

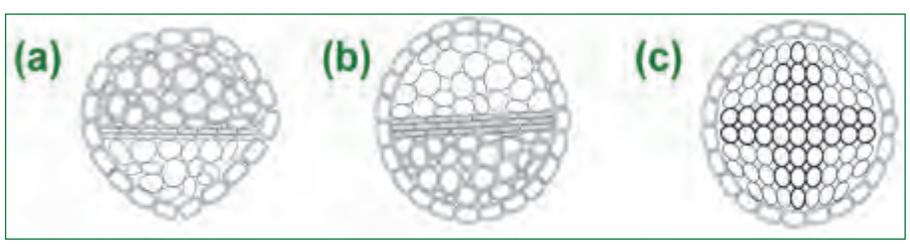
b. نُقَر الخشب

c. الخلايا الوعائية الخشبية

d. أيونات البوتاسيوم (K^+)

e. مضخّات البروتون

20. حدّد جزء النبات الذي يوجد فيه كلّ من التراكيب المسمّاة (a)،(b) و(c).



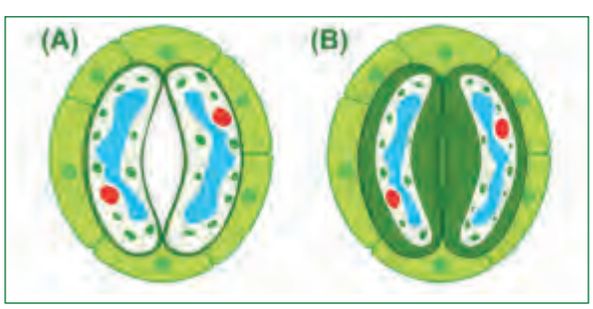
21. افحص أزواج الخلايا الحارسة في الشكل الآتي.

a. أيُّها تسمح بالنتح؟ A أو B؟

b. أيُّها تحتوي على أكبر كمية من الماء في فجواتها؟ A أو B؟

c. اشرح كيف يتحوّل الثغر A إلى الثغر B.

d. ما الظروف التي تؤدّي إلى تحوّل A إلى B؟



22. صف وظيفة الروابط البلازمية

23. صف ممرَّي النقل للمسافات القصيرة.

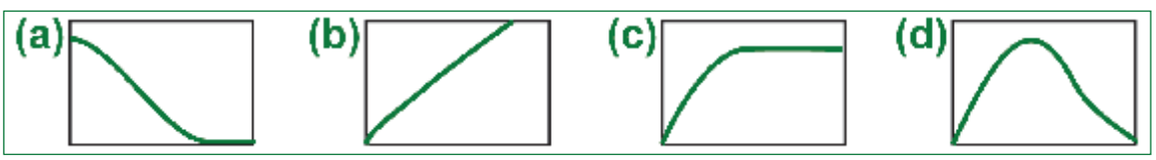
24. خذ كمثال خلية جذرية يزيد فيها النقل النشِط من تركيز الأيونات مثل Mg^{2+}.

a. ما تأثير ذلك في نقل الماء من التربة حول الخلية الجذرية ؟

b. ما هو تأثير ذلك في الضغط الهيدروستاتيكي في الخلية الجذرية؟

25.* أيٌّ من الرسوم البيانية الأربعة أعلاه يصف العلاقة:

a. بين معدّل النتح ودرجة الحرارة



b. بين معدّل النتح وسرعة الرياح

c. بين معدّل النتح والرطوبة؟

26. اختر لكل جملة أدناه، الكلمة الصحيحة من الآتي:

(كيوتين، لجنين، سليلوز)

a. مادة تترسب في جدران الخلايا النباتية وتمنع فقدان الماء.

b. مادة تترسب في جدران الخلايا النباتية وتمنحها الصلابة والدعم.

c. مادة تترسب في جدران الخلايا النباتية لكنها لا تمنع فقدان الماء.

الدرس 3-2 نقل الغذاء

27. ما هي وظيفة نسيج اللحاء؟

a. اذكر نوعَي الخلايا المختلفة في نسيج اللحاء.

b. ارسم مخطّطًا بسيطًا لكلّ نوع من الخلايا وعيّنه.

c. عيّن الحيّ منهما والميت في فترة النضوج.

28. هل يتمّ تحميل السكر في الأوراق فقط؟ اشرح.

29.* ارسم مخطّطًا بسيطًا لنبات بطاطس مع الجذور والساق والزهور والبذور والدرنة.

a. بدءًا من الموقع الصحيح، ارسم حركة قطرة ماء تنتقل عبر النبات إلى أن تخرج منه.

b. بدءًا من الموقع الصحيح، ارسم مخطَّطًا لحركة جُزيء زائد من السكَّروز ينتقل عبر النبات إلى وجهته النهائية.

c. اكتب أسماء جميع التراكيب على الرسم.

d. استخدم قلمًا أزرق أو قلم تعليم أزرق لتتّبع حركة الماء بأسهم.

e. استخدم قلمًا أحمر أو قلم تعليم أحمر لتتّبع حركة السكر بأسهم.

f. أضف مفتاح رمز اللون.

30. استخدم الإنترنت للبحث عن وظيفة حشرات المنّ ولإثبات حدوث نقل الغذاء من خلال اللِحاء. صف التجارب والاستنتاجات في بضع جمل.

31.* اشرح ما يأتي على المستوى الخلوي.

a. متى يرجّح أن تجري عملية نقل الغذاء بمعدّل أكبر؟

b. ما هي العلاقة بين مضخّات البروتون ومرافقات الناقلات في نقل الغذاء؟

c. هل يمكن لأنبوب واحد أن يعكس التدفّق لنقل السكر في الاتجاه المعاكس؟ فسّر إجابتك.

32.* صمّم خارطة مفاهيم مستخدمًا الفكرة الرئيسة «فرضية التدفّق الكمّي». استخدم المصطلحات الآتية في خارطتك: النّقل النشِط، الخلية المرافقة، منحدر التركيز، اللِحاء، الأنبوب الغربالي، السكّر، مصدر السكَّر، مصب السكَّر، وعاء الخشب.

33. أكمل الجدول لتقارن بين أنسجة النقل النباتية.

مقارنة أنسجة النقل		
الخصائص	**الخشب**	**اللحاء**
ماذا تنقل؟		
اتجاه التدفُّق		
الجدار الخلويّ: السُمْك والمتانة		
الخلايا حيّة أو ميتة		
الضغط الهيدروستاتيكي الداخلي (إيجابي/سلبيّ)		
النقل نشط أو سلبيّ		

34.* ابحث عن مثالين لعصارة اللحاء لم تتمّ مناقشتهما في الدرس. ثم أجب عن الأسئلة الآتية:

a. ما هو النبات الذي توجد فيه العصارة؟

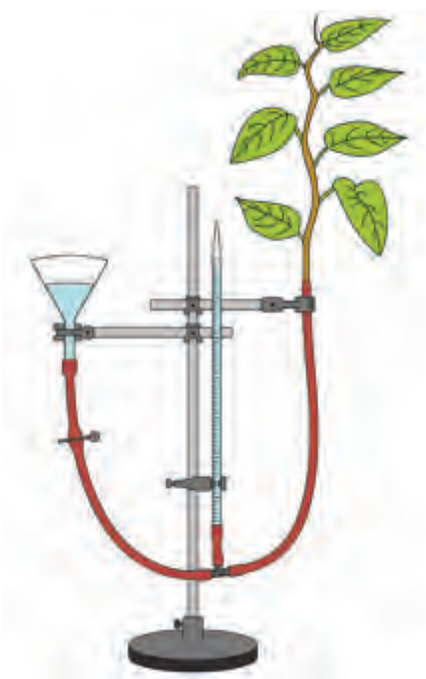
b. متى تكون مفيدة ومتى تكون ضارة؟

c. أهي مركّب صناعيٌّ أم تمَّ استخدامها في الصناعة ؟ ولماذا؟

35.* يرى بعض علماء النبات أن فرضية التدفّق الكمّي لا تزال فرضية. ابحث باستخدام الإنترنت أو المصادر الأخرى لإظهار الأدلّة التجريبية المعارضة أو نقاط الضعف التي يجب شرحها.

رابط كفاية لغوية

مقياس النتح (البوتوميتر) البسيط الظاهر في الصورة يمكن أن يُصنع من أنابيب وقمع وماصّة مدرّجة مقلوبة، ويمكن استخدام المشابك والحامل الحلقي. اكتب الخطوات لكيفية قياس معدّل النتح في النبات الظاهر في الصورة.



الشكر والتقدير

جميع الرسوم الفنية الواردة في هذا العمل صمَّمتها شركة تطوير العلوم والتكنولوجيا والهندسة والرياضيات (STEM) في الولايات المتحدة الأميركية. وهي وحدها تملك الحق القانوني لإجازة استخدام تلك الرسوم.

يشكر المؤلفون والناشرون المصادر الآتية على السماح لهم باستخدام ملكياتهم الفكرية كما أنهم ممتنون لهم لموافقتهم على نشر الصور.

RonnieChua/Shutterstock; Shyrochenko Aleksandr/Shutterstock; chrisdorney/Shutterstock; Bobx-73/ Shutterstock; Lipskiy/Shutterstock; Naskky/Shutterstock; SoleilC/Shutterstock; AlexandrN/Shutterstock; Martin Bergsma/Shutterstock; Toa55/Shutterstock; ShadeDesign/Shutterstock; Caterina Belova/Shutterstock; Pavol Kmeto/Shutterstock; A7880S/Shutterstock; Corund/Shutterstock; Shannon Serpette/Shutterstock; agsandrew/ Shutterstock; tankist276/Shutterstock; VectorPot/Shutterstock; Vector Tradition/Shutterstock; J10/Shutterstock; RomanVanur/Shutterstock; Garen Takessian/Shutterstock; Aldona Griskeviciene/Shutterstock; Fouad A Saad/ Shutterstock; hlphoto/Shutterstock; stockcreations/Shutterstock; MAHATHIR MOHD YASIN/Shutterstock; Konoplytska/Shutterstock; Eric Isselee/Shutterstock; Maksim Safaniuk/Shutterstock; LuYago/Shutterstock; Daniele Pietrobelli/Shutterstock; Tichr/Shutterstock; Vladislav Havrilov/Shutterstock; Olga Zinovskaya/ Shutterstock; Tatiana Foxy/Shutterstock; 3DSculptor/Shutterstock; Merlin74/Shutterstock; Eduard Kim/ Shutterstock; Vadim Sadovsky/Shutterstock; Janaka Dharmasena / Shutterstock; Nasky/ Shutterstock; adike/ Shutterstock; Richard Peterson/ Shutterstock; stihii/ Shutterstock; NoPainNoGain/ Shutterstock; Teguh Mujiono/ shutterstock; Improvisor/ Shutterstock; Jose Luis Calvo/ Shutterstock; Rattiya Thongdumhyu/ Shutterstock; Peter Hermes Furian/ Shutterstock; Sebastian Kaulitzki/ Shutterstock; VectorMine/ Shutterstock; bsd/ Shutterstock; Blamb/ Shutterstock; MikeMartin / Shutterstock; Photographee.eu/ Shutterstock; Jason Boyce/ Shutterstock; Maridav Eugene Onischenko/ Shutterstock; CI Photos/ Shutterstock; Sergey Nivens, Vasyl Shulga/ Shutterstock; Sea Wave, Tanya Sid/ Shutterstock; belushi/ Shutterstock; Birger Olovson, Dionisvera/ Shutterstock; sportpoint / Shutterstock; ChrisVanLennepPhoto, Jacob Lund, sattahipbeach,/Shutterstock; Catalin Grigoriu/ Shutterstock; Designua/Shutterstock; Andres Garcia Martin/Shutterstock; Cagla Acikgoz/ Victor Moussa/photoworld; Aleksey Gusev/Shutterstock; Designua/Shutterstock; Fouad A. Saad/Shutterstock; mapichai/Shutterstock; Kitnha/ Elena11 /Shutterstock; dlhca/Shutterstock; ShotStalker/Shutterstock; Sketchart/Shutterstock; tel52/Robert Adrian Hillman/ Shutterstock; rzarek/Imagine Photographer; Tomas Ragina/Shutterstock; Rainer Lesniewski/Shutterstock; Vixit/ Shutterstock; Fedor Selivanov/Shutterstock; Phil Emmerson /Shutterstock; stihii/Shutterstock; Fouad A. Saad/ Shutterstock; NASA images/Shutterstock; NickJulia/Shutterstock; ch123/Shutterstock; Cozine/ Suzanne Tucker/ Ayman Haykal /Shutterstock; Robert Adrian Hillman/Shutterstock; Sigur/ SUNISA DAENGAM/Shutterstock; Jeroen Mikkers/ Manamana /Shutterstock; duckeesue /Shutterstock; Thomas C. Altman /Shutterstock; Sara Winter /Shutterstock; MaraZe /Shutterstock; Adwo/ Tomowen Shutterstock; Rosalie Kreulen /Shutterstock; Daniel Carlson /Shutterstock; Filip Fuxa/ Fulcanelli/ Shutterstock; lembi /Shutterstock; stihii /Shutterstock; GracePhotos /Shutterstock; Mega Pixel Shutterstock; Justek16 /Shutterstock; Scottish Traveller /Shutterstock; Lori Bonati /Shutterstock; anek.soowannaphoom /Shutterstock; Lost_in_the_Midwest /Shutterstock; B Calkins / Shutterstock; AlexussK /Shutterstock; pablofdezr /Shutterstock; fischers /Shutterstock; corbac40 /Shutterstock; CROX /Shutterstock; Africa Studio /Shutterstock; Emre Terim /shutterstock; Volodymyr Goinyk /shutterstock; Johann Helgason /shutterstock; OSweetNature /shutterstock; Kathryn Snoek/ /shutterstock; Thomas C. Altman; MateusandOlivia /shutterstock; Designua /shutterstock; Rainer Lesniewski /shutterstock; Praveen Menon / shutterstock; Mark Hall /shutterstock; Konoplytska /shutterstock; Igor Alexsander /shutterstock; Zoom Team / shutterstock; Turkey Photo /shutterstock; Dexpixel /shutterstock; Dennis O&#39:Hara /shutterstock; Tetyana Dotsenko /shutterstock; Vadim Nefedoff /shutterstock; Designua /shutterstock; Sabelskaya /shutterstock; Rich Carey /shutterstock; Bill McKelvie/shutterstock; Andrey Burmakin/ kuruneko/ ZoranOrcik/shutterstock; Imagesines/ shutterstock; Diagram/shutterstock; HelloRF Zcool/ Andrey Burmakin/shutterstock; Alex Kravtsov/shutterstock; sirtravelalot/shutterstock; Suzanna Tucker/shutterstock; Graph/shutterstock; Gwoeii/shutterstock; Graph/ Oleksii Sidorov/shutterstock; sizov/ LUKinMEDIA/shutterstock; BUY THIS/shutterstock; Stock image/shutterstock; TLaoPhotography/shutterstock; TASER/shutterstock; Roger costa morera/shutterstock; Preto Perola/ HomeArt; topimages/NDT/KKulikov/shutterstock; OSTILL is Franck Camhi/ Wikipedia; Ljupco Smokovski/Alexander Kirch/Stefan Schurr/ Jonah_H/shutterstock; Brocreative/ Motion Arts; Dan Thornberg/shutterstock; faboi/ TASER; Miriam Doerr/shutterstock; Martin Frommherz/shutterstock; Bjoern Wylezich/shutterstock; Inna Bigun/ shutterstock; Steven_Mol/shutterstock; goffkein.pro/shutterstock; EugenePut/shutterstock; fotoliza/shutterstock; IDKFA/shutterstock; Yosanon Y/ VarnakovR/shutterstock; Rost9/shutterstock; Tyler Boyes/shutterstock; Dimarion/ shutterstock; Maridav/shutterstock; Dmitry Markov152/shutterstock; Charobnica/Shutterstock; Rvkamalov/ Shutterstock; Peter Hermes Furian/Shutterstock; Konstantinks/Shutterstock; Extender_01/Shutterstock; Bjoern Wylezich/Shutterstock; Miriam Doerr/Shutterstock; Martin Frommherz/Shutterstock; LuYago/Shutterstock; Orange Deer studio/Shutterstock; Bob Morse/Morse Scientific Inc.;Olga Popova/Shutterstock; Pavel Sapozhnikov/ Shutterstock; VectorMine/Shutterstock; Paramonov Alexander/Shutterstock;OSweetNature/Shutterstock; Danielz1/Shutterstock; Dafinchi/Shutterstock; Fen Deneyim/Shutterstock; Artskvortsova/Shutterstock; Nasky/ Shutterstock; Adam J/Shutterstock; Bjoern Wylezich/Shutterstock; Denis Radovanovic/Shutterstock; Ipek Morel/ Shutterstock; Nito/Shutterstock; Geza Farkas/Shutterstock; Albert Russ/Shutterstock; Orange Deer studio/ Shutterstock; Everett Collection/Shutterstock; Mega Pixel/Shutterstock; Ihor Matsiievskyi/Shutterstock; Mahathir Mohd Yasin/Shutterstock; Liveshot/Shutterstock; MTKang/Shutterstock; Andrey Kozyntsev/Shutterstock; Gab90/ Shutterstock; Olga Hofman/Shutterstock; Breck P. Kent/Shutterstock; Beker/Shutterstock; Bob Morse/Morse Scientific Inc.; Frees/Shutterstock; Concept W/Shutterstock; Volha_A./Shutterstock; Aliona Ursu/Shutterstock; StudioMolekuul/Shutterstock; John James/Shutterstock; Photo-World/Shutterstock; Bob Morse/Morse Scientific Inc.; LeysanI/Shutterstock; ADA Photo/Shutterstock; Elena Zolotukhina/Shutterstock; Bukhta Yurii/Shutterstock; Edward Olive/Shutterstock; Maxx-Studio/Shutterstock; Peter Sobolev/Shutterstock; LuYago/Shutterstock; Eduardo Estellez/Shutterstock; Shishir Gautam/Shutterstock; Josep Suria/Shutterstock; Designua/Shutterstock; Izzmain/Shutterstock; Kiran Paul/Shutterstock; Bob Morse/Morse Scientific Inc.; Sansanorth/Shutterstock; Bjoern Wylezich/Shutterstock; Henri Koskinen/Shutterstock; StudioMolekuul/Shutterstock; Humdan/Shutterstock; ibreakstock/Shutterstock; Magnetix/Shutterstock; Fouad A. Saad/Shutterstock; EDU WATANABE/Shutterstock; Kristina Vor/Shutterstock; Wantanddo/Shutterstock;