



الأحياء

كتاب الطالب
المستوى الثاني عشر

BIOLOGY
STUDENT BOOK

GRADE

12

الفصل الدراسي الأول
FIRST SEMESTER

طبعة 1446 - 2024



© وزارة التربية والتعليم والتعليم العالي في دولة قطر

يخضع هذا الكتاب لقانون حقوق الطباعة والنشر، ويخضع للاستثناء التشريعي المسموح به قانوناً ولأحكام التراخيص ذات الصلة.

لا يجوز نسخ أي جزء من هذا الكتاب من دون الحصول على الإذن المكتوب من وزارة التربية والتعليم والتعليم العالي في دولة قطر.

تم إعداد الكتاب بالتعاون مع شركة تكنولوجيا.

التأليف: فريق من الخبراء بقيادة الدكتور توم سو وبالتعاون مع شركة باسكو العلمية.

الترجمة: مطبعة جامعة كامبريدج.



حضرة صاحب السمو الشيخ تميم بن حمد آل ثاني
أمير دولة قطر

النشيد الوطني

قَسَمًا بِمَنْ رَفَعَ السَّمَاءَ	قَسَمًا بِمَنْ نَشَرَ الضِّيَاءَ
قَطْرٌ سَتَبَقَى حُرَّةً	تَسْمُو بِرُوحِ الْأَوْفِيَاءِ
سِيرُوا عَلَى نَهْجِ الْأَلَى	وَعَلَى ضِيَاءِ الْأَنْبِيَاءِ
قَطْرٌ بِقَلْبِي سِيرَةٌ	عِزٌّ وَأَمْجَادُ الْإِبَاءِ
قَطْرُ الرِّجَالِ الْأَوَّلِينَ	حُمَاتُنَا يَوْمَ النَّدَاءِ
وَحَمَائِمُ يَوْمَ السَّلَامِ	جَوَارِحُ يَوْمِ الْفِدَاءِ



وزارة التربية والتعليم والتعليم العالي
Ministry of Education and Higher Education
دولة قطر • State of Qatar

المراجعة والتدقيق العلمي والتربوي

إدارة المناهج الدراسية ومصادر التعلم

خبرات تربوية وأكاديمية من المدارس

الإشراف العلمي والتربوي

إدارة المناهج الدراسية ومصادر التعلم

يعدّ كتاب الطالب مصدراً مثيراً لاهتمام الطلاب من ضمن سلسلة كتب العلوم لدولة قطر، فهو يستهدف جميع المعارف والمهارات التي يحتاجون إليها للنجاح في تنمية المهارات الحياتية وبعض المهارات في المواد الأخرى.

وبما أننا نهدف إلى أن يكون طلابنا مميزين، 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 التفكير بشكلٍ ناقدٍ وبنّاء.
 - الثقة بقدرتهم على اتباع طريقة الاستقصاء العلميّ، عبر جمع البيانات وتحليلها، وكتابة التقارير، وإنتاج الرسوم البيانية، واستخلاص الاستنتاجات، ومناقشة مراجعات الرّملاء.
 - الوضوح في تواصلهم مع الآخرين لعرض نتائجهم وأفكارهم.
 - التّمرّس في التفكير الإبداعيّ.
 - التّمسك باحترام المبادئ الأخلاقية والقيم الإنسانية.
- يتجسّد في المنهج الجديد العديد من التّوجّهات مثل:
- تطوير المنهج لجميع المستويات الدّراسية بطريقة متكاملة، وذلك لتشكيل مجموعة شاملة من المفاهيم العلميّة التي تتوافق مع أعمار الطلاب، والتي تسهم في إظهار تقدّمهم بوضوح.
 - مواءمة محتوى المصادر الدّراسية لتتوافق مع الإطار العامّ للمنهج الوطنيّ القطريّ بغية ضمان حصول الطلاب على المعارف والمهارات العلميّة وتطوير المواقف (وهو يُعرف بالكفايات) ممّا يجعل أداء الطلاب يصل إلى الحدّ الأقصى.
 - الانطلاق من نقطة محوريّة جديدة قوامها مهارات الاستقصاء العلميّ، ما أسّس للتّنوّع في الأنشطة والمشاريع في كتاب الطالب.
 - توزّع المعرفة والأفكار العلميّة المخصّصة لكلّ عام دراسيّ 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 السابقة.

■ إتاحة الفرصة للطلّاب، في كلّ درسٍ، للتحقّق الذاتيّ من معارفهم ولممارسة قدرتهم على حلّ المشكلات.

■ احتواء كلّ وحدة على تقويم للدّرس وتقويم الوحدة التي تمكّن الطّلاب والأهل والمدرّسين من تتبّع التّعلّم والأداء.

العلوم مجموعة من المعارف التي تشمل الحقائق والأشكال والنّظريّات والأفكار. ولكنّ العالم الجيّد يفهم أنّ «طريقة العمل» في العلوم أكثر أهمّيّة من المعرفة التي تحتويها.

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

مفتاح كفايات الإطار العام للمنهج التّعليمي الوطني لدولة قطر

الاستقصاء والبحث



التّعاون والمشاركة



التّواصل



التّفكير الإبداعيّ والناقد



حلّ المشكلات



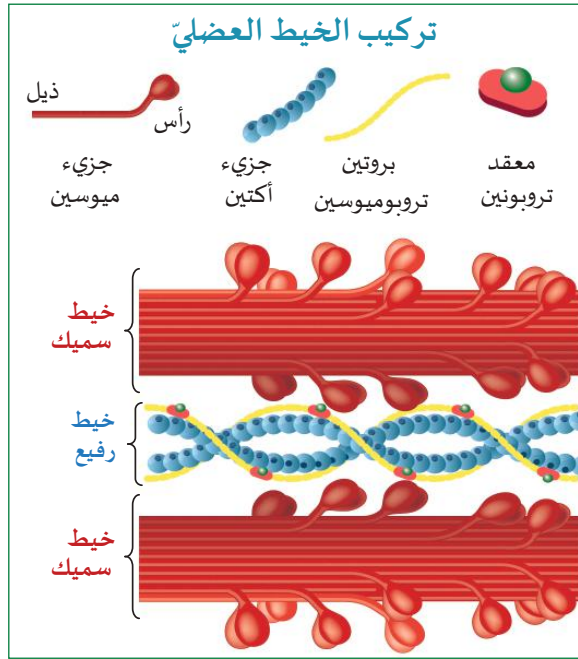
الكفاية العددية



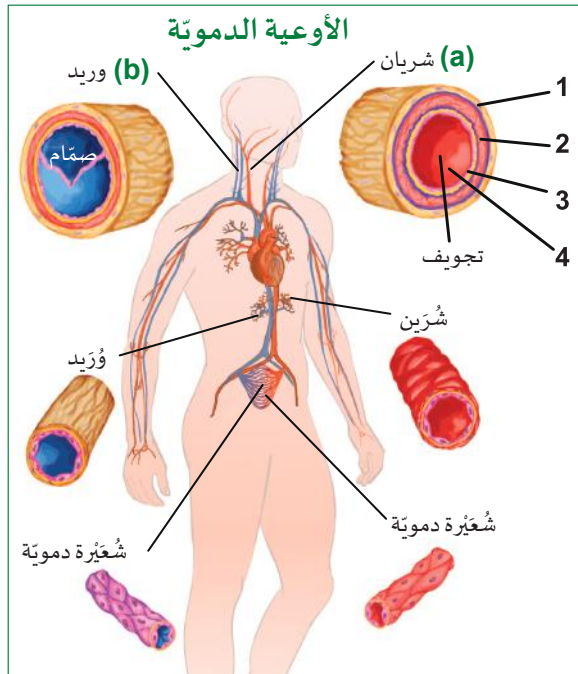
الكفاية اللغويّة



إن فهم عمل جسم الإنسان هو هدف مهم 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 والأجهزة بما فيها



تنزلق خيوط الأكتين الرفيعة على خيوط الميوسين السمكية.



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

العضلات البشرية وجهاز الدوران. والمستوى المجهرى وندرس فيه الكيمياء الحيوية والبنية الخلوية لهذه الأجهزة. ثم سندرس كيف تؤدي النباتات وظائف النقل، مع الجهاز الدوراني الذي يختلف عن الحيوانات.

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

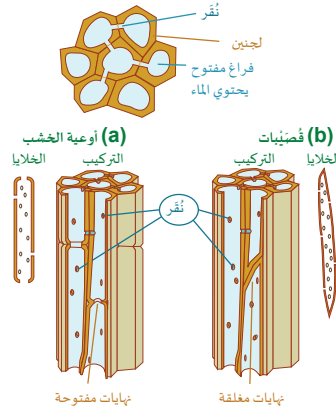
تتكوّن القطع العضلية من خيوط البروتين المنزلق: الأكتين والميوسين. تستكشف الوحدة الثانية من الفصل الدراسي الأول الجهاز الدوراني. ينقل الدم الأكسجين من الرئتين إلى الجسم ويزيل ثاني أكسيد الكربون من الدم في الجسم من خلال الرئتين. هناك الجهاز القلبي الوعائي الذي يربط القلب بجميع الأنسجة في الجسم، والجهاز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

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

بعض أقسام هذا الكتاب

الرّسوم التّوضيحية

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



لماذا توجد العضلات الهيكلية في أزواج؟

تتيح اسئلة المناقشة الفرصة
كي يتحدّث الطّلاب عن المفاهيم
والمعلومات الجديدة

شريط الأفكار المهمّة

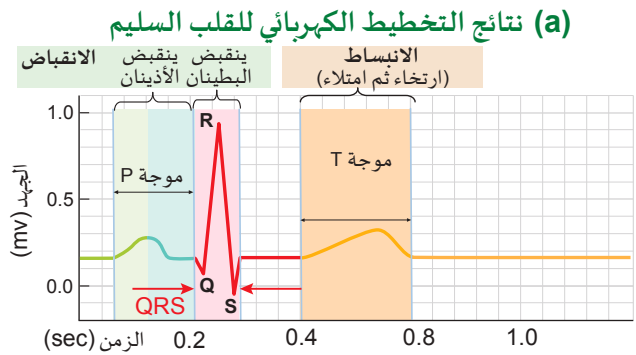
تحدّد الأفكار النّقاط
الأساس، وتذكّر بها.

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



تطبيقات رياضية

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

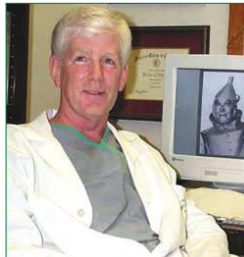


العلم والعلماء

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 49-2 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 الجزيئي 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 شفاء الحيوانات بعد زرع الأجهزة الجراحية فيها. كان هذا في العام نفسه الذي

الأنشطة ومراجعة التّقويم

الأنشطة

تدريب على العمل المخبري، ومشاريع بحثية، وأنشطة أخرى تضيف معنى للأفكار الجديدة، وتنمي القدرة على التطبيق العملي.

c1-3	قياس النتج
سؤال الاستقصاء	كيف نقيس معدل النتج في النباتات؟
المواد المطلوبة	بوتوميتر (مقياس النتج)، سيقان نبات ذي فلقين عليها أوراقها، ملون طعام، مسطرة مترية، أقلام تعليم، ساعة توقيت رقمية (مؤقت)، مناديل ورقية ومستشعرات لجمع البيانات.
الخطوات	ورقة أولى

تقويم الدّرس

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

3-2	تقويم الدّرس
1.	اشرح الفرق بين تدفق الدم وضغط الدم.
2.	ماذا يمثل ضغط الدم الانقباضي؟
3.	ماذا يمثل 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 عاملاً يؤثر في ضغط الدم ويمكن التحكم فيه، وعاملاً آخر لا يمكن التحكم فيه.

مراجعة الوحدة

ملخص قصير في نهاية كلّ وحدة يوفر مرجعاً سريعاً للأفكار الرئيسة والمفردات.

الوحدة 1	مراجعة الوحدة
الدرس 1-1 تشريح العضلات	
	• يستخدم الأطباء والباحثون الوضع التشريحي القياسي Standard anatomical position ، والمنظر الخلفي Posterior ، والامامي Anterior ، والجانب Lateral لوصف الجسم.
	• يوجد 11 جهازاً Organ system رئيساً في جسم الإنسان، تتضمن الجهاز العضلي والهيكلي العظمي.
	• تحتوي الأعضاء على نسيج أو أكثر من أربعة أنواع مختلفة من الأنسجة الأساسية.
	• تتكوّن العضلات من حزم عضلية Fasicles تحتوي على ألياف (خلايا) عضلية Muscle fibers .

تقويم الوحدة

لكلّ وحدة مجموعة من أسئلة الاختيار من متعدد، وظيفتها التحضير لاختبار معياري.

تقويم الوحدة
تحضير للاختبار
1. أيّ مما يأتي ليس من مكونات دم الإنسان؟
a. خلايا الدم البيضاء
b. البلازما
c. الصفائح الدموية
d. خلايا الدم الحمراء ذات النواة

تقويم الوحدة

مسائل نوعية ذات إجابات قصيرة، توفر ثلاثة مستويات من التّحدّي في نهاية كلّ وحدة.

تقويم الوحدة
الدرس 1-3 النتج
14. ارسم مخططاً بسيطاً لوعاء الخشب وعين عليه اللجنين والتّرقّر.
15. اذكر ثلاثة أوجه تشابه وثلاثة أوجه اختلاف بين أنسجة الخشب وأنسجة اللحاء.
16. اذكر ثلاثة عوامل رئيسة تسهم 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

1 الوحدة

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 عصبية. تبدأ الوحدة بوظيفة العضلات وتنتهي بالبنية المجهرية لخيوط الأكتين والميوسين داخل الألياف العضلية الفردية.

2 الوحدة

الجهاز الدوراني

الفقاريات، 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.

3 الوحدة

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 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. والثاني اللحاء الذي ينقل السكريات والهرمونات النباتية من مصادرها في الأوراق إلى المصبّات في مناطق النمو، وتراكيب التخزين، والتراكيب التناسلية مثل الثمار والزهور. تسمى عملية نقل العصارة في اللحاء نقل الغذاء.

1 الوحدة

2	العضلات والحركة
4	تشرح العضلات
13	الخصائص الوظيفية للعضلات

الدرس 1-1
الدرس 2-1

2 الوحدة

30	الجهاز الدوراني
32	الدم واللمف
50	الجهاز القلبي الوعائي
56	أمراض القلب والأوعية الدموية والوقاية منها

الدرس 1-2
الدرس 2-2
الدرس 3-2

3 الوحدة

76	النقل في النباتات
78	النتح
98	نقل الغذاء

الدرس 1-3
الدرس 2-3





الوحدة 1

العضلات والحركة

Muscles and Movement

في هذه الوحدة

B1207

الدرس 1-1: تشرح العضلات

الدرس 2-1: الخصائص الوظيفية للعضلات

مقدّمة الوحدة

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

تمتلك الدلافين بنية عضلية وعظمية مختلفة عن الإنسان، فأنسجتها العظمية والعضلية مرتّبة بشكل انسيابيّ فريد. وفي ما يختلف عن الأسماك، فإنّ ذيل الدلفين الأفقي يتحرّك صعودًا ونزولًا، فيدفع الحيوان إلى الأمام. أمّا عظام ذراع الإنسان وعضلاته فتكون قادرة على دفعه إلى الأمام فقط عن طريق ضرب الماء 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 عصبية.

الأنشطة والتّجارب

a1-1 دراسة الأنسجة العضلية

b1-1 أزواج العضلات والحركة

الدرس 1-1

تشرح العضلات

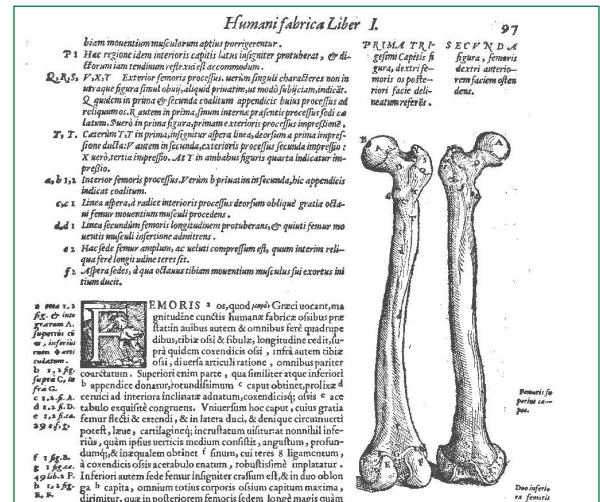
Muscle Anatomy

يرجع تاريخ فهم التفاعل بين العضلات والهيكّل 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 الذين 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 لاتينية لا تزال مستخدمة حتى اليوم، مثل femur (الفخذ) و humerus (العضد).

المفردات

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



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

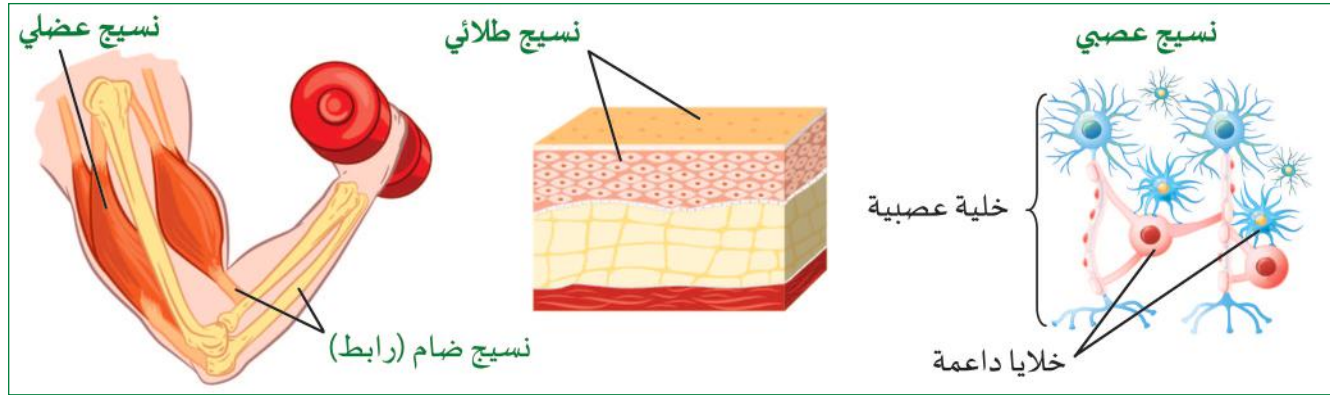
مخرجات التعلّم

B1207.1 يشح كيف يسبّب انقباض

وانبساط أزواج العضلات المتضادة الحركة.

أنواع الأنسجة الأوليّة

هناك أربعة أنواع من الأنسجة الأولية في البشر والحيوانات الأخرى ذات التركيب المعقد، وهي الأنسجة الطلائية، والضامة (الرابطة)، والعضلية، والعصبية (الشكل 1-2). يتكون كل عضو من نوع واحد أو أكثر من أنواع الأنسجة الأربعة.



شكل 1-2 أنواع الأنسجة الأربعة الأولية.

أولاً: الأنسجة الطلائية Epithelial tissues

تُغطي الأنسجة الطلائية السطوح الخارجية كالجلد، وتبطّن هذه الأنسجة التجاويف الداخلية للجسم وبعض الأعضاء بطبقة واحدة أو عدة طبقات من الخلايا.

ثانياً: الأنسجة الضامة Connective tissues

قد يتكون النسيج الضام من موادّ صلبة كثيفة كالعظام أو شبه صلبة كالغضروف، أو سائلة كالدم، كما تحتوي الأنسجة الضامة على مواد غير عضوية مثل الكالسيوم والفسفور، تربط هذه الأنسجة الأعضاء الأخرى في الجسم وتدعمها.

والأوتار Tendons أنسجة ضامة قوية مرنة تربط العضلات بالعظام. أما الأربطة Ligaments فهي أشرطة من نسيج ضامّ مرّن يثبت المفاصل ويفصل العظام بعضها عن بعض لمنع الاحتكاك.

ثالثاً: الأنسجة العضلية Muscle tissues

تتكون الأنسجة العضلية من خلايا عضلية يمكن أن تنقبض استجابة لإشارات عصبية. تُنتج هذه الأنسجة حركة وقوى لتحريك الجسم وضخّ الدم وتحريك الطعام داخل الجهاز الهضمي، وسوف تصف هذه الوحدة أنواع الأنسجة العضلية بمزيد من التفصيل في الصفحات التالية.

رابعاً: الأنسجة العصبية Nerve tissues

تتكون الأنسجة العصبية من خلايا تنتج إشارات كهروكيميائية (سيالات عصبية) تنقلها من مناطق الجسم المختلفة كالأنسجة العضلية وغيرها إلى الجهاز العصبي المركزي (الدماغ والنخاع الشوكي) وبالعكس.

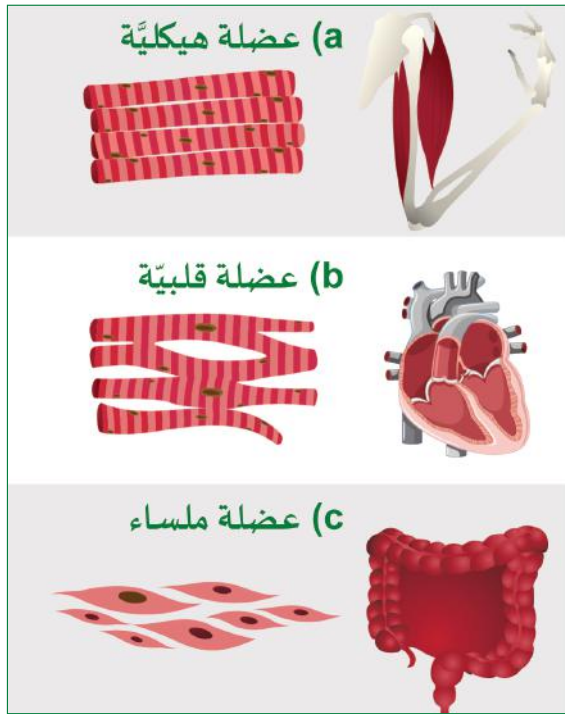
إنّ الخلايا العصبية هي المكوّن الأساسي في النسيج العصبي، وهناك أيضاً خلايا أخرى في النسيج العصبي تدعم وظائف الخلايا العصبية تسمى الخلايا الداعمة.

الجهاز العضلي

الجهاز العضلي عبارة عن مجموع عضلات الجسم ، وتتكون العضلات من مجموعة من الانسجة العضلية، تمكن العضلات الجسم من الحركة، وضخ الدم وتحريك الطعام داخل الجهاز الهضمي. ويحتوي جسم الانسان على 650 عضلة.

أنواع العضلات ووظائفها

يوجد في الإنسان ثلاثة أنواع من العضلات. ولكل نوع من الأنواع الثلاثة تركيب نسيجي مختلف ووظيفة مختلفة، ما يمكن العضلات من العمل في أماكن مختلفة من الجسم. أحد الاختلافات بين العضلات هو أن يكون نشاطها إراديًا أو لا إراديًا. الحركات الإرادية هي تلك التي يتم التحكم فيها بادراك مثل الركض وتحريك الذراع. ويتم التحكم في الوظائف اللاإرادية من قبل الجسم من دون ادراك.

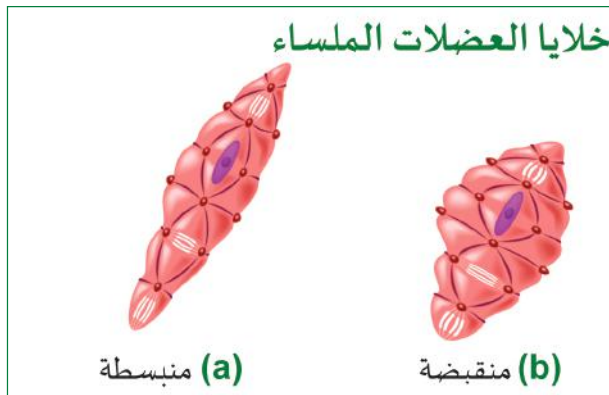


شكل 3-1 الأنواع الثلاثة من الأنسجة العضلية البشرية.

- **العضلات الهيكلية Skeletal muscles** ترتبط بالعظام، وهي مسؤولة عن حركة الجسم ودعمه. وتعمل في الحركات الإرادية والأفعال المنعكسة اللاإرادية (الشكل 3-1a). تشكّل خلايا العضلات الهيكلية أليافًا طويلة ينتظم بعضها بجانب بعض وتقتصر عندما تنقبض.

- **العضلة القلبية Cardiac muscle** (الشكل 3-1b) 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 وتعمل لا إراديًا لتحريك المواد عبر الجهاز الهضمي. وهي توجد أيضًا في جُدر الأوعية الدموية والمثانة والمريء، وتنظم الخلايا في العضلات الملساء على زوايا تتيح لها القدرة على الانقباض بأبعاد مختلفة (الشكل 3-1c).

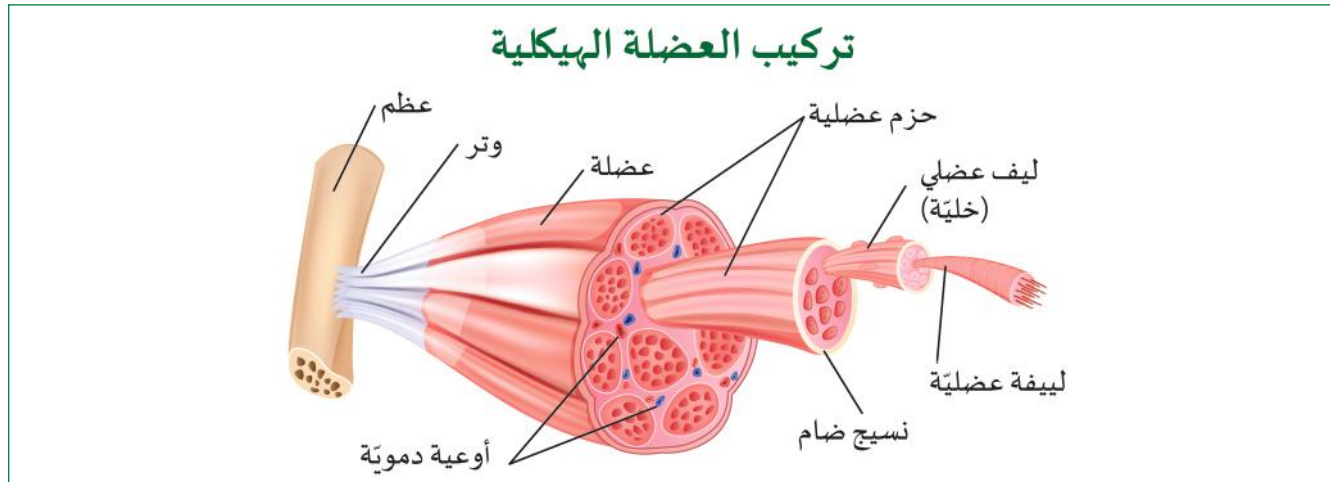


شكل 4-1 (a) خلية عضلية ملساء منبسطة (b) خلية منقبضة.

تختلف خصائص النسيج العضلي وفقًا للاختلاف في ترتيب الألياف. فعندما نفحص النسيجين الهيكلي والقلبي نلاحظ أن فيهما **خطوطاً Striations**. تتداخل مناطق **القطع العضلية Sarcomeres** في هذين النسيجين لأنّ أليافهما متوازية. أما ألياف العضلات الملساء فهي قصيرة وليست متوازية (الشكل 4-1).

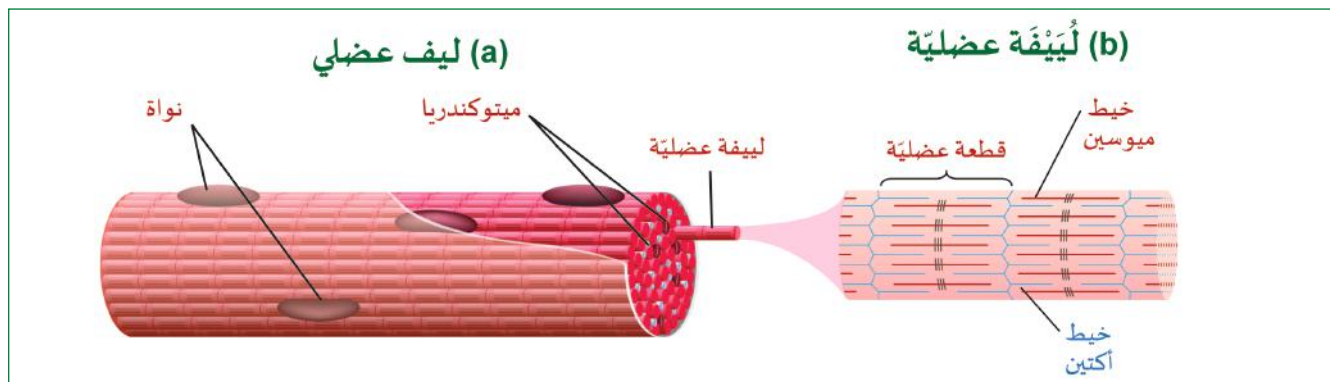
تركيب العضلة الهيكلية

النسيج العضلي عبارة عن تركيب معقد من ألياف متداخلة كما هو موضح في (الشكل 1-5) تتكوّن العضلة الواحدة من عدة **حُزَم عضلية Fascicles** تحتوي على نسيج عضلي مُحاط بنسيج ضام. وتتكوّن كلّ حزمة عضلية من عدد من الخلايا العضلية التي تُسمّى **الألياف العضلية Muscle fibers**، وقد سُمّيت بهذا الأسم لشكلها الرفيع الطويل.



شكل 1-5 التركيب الداخلي لعضلة هيكلية.

كلّ ليف عضلي مكوّن من حزمة من تراكيب طويلة أو عَصَوِيّة تُسمّى **اللييفات العضلية Myofibrils** (الشكل 1-6a). وتمتدّ اللييفات العضلية في العضلات الهيكلية على طول الخلايا، وينتظم بعضها مع بعض بالتوازي. وتكون اللييفات العضلية معبأة في داخل الليف العضلي بكثافة، فيوجد المئات أو الآلاف منها في كلّ خلية.



شكل 1-6 (a) التركيب الداخلي لخلية عضلية منفردة، أو ليف عضلي، و (b) تركيب لييفة عضلية.

تتكوّن اللييفات العضلية من نوعين من خيوط البروتين تُسمّى **الأكتين Actin** و**الميوسين Myosin** (الشكل 1-6b). تنزلق هذه الخيوط بعضها على بعض مثل الأصابع المتشابكة عندما تتمدّد العضلة أو تنقبض. يتم تنظيم اللييفات العضلية بحيث تتداخل خيوط الأكتين والميوسين في مناطق تسمى **القطع العضلية Sarcomeres**. القطع العضلية هي الوحدات الوظيفية للخلايا العضلية وهي التي تتمدّد وتنقبض مسببة انقباض العضلة وانبساطها.

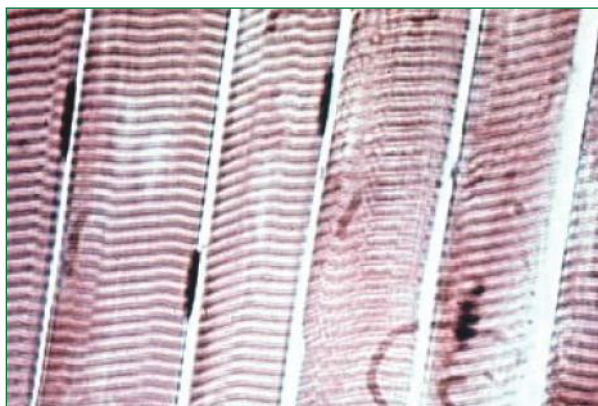


دراسة الأنسجة العضلية

a1-1

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

الخطوات



شكل 7-1 صورة مجهرية للييفات عضلية (1000X).

1. يمكنك العمل مع زميل بناءً على عدد المجاهر المتوفرة في المختبر.
2. افحص الأنواع الثلاثة من الأنسجة العضلية تحت قوة التكبير الصغرى والكبرى (الشكل 7-1).
3. ارسم كلّ نوع من الأنسجة في المساحة المخصصة، واذكر اسم النسيج.
4. لخص ملاحظاتك في جدول كالاتي:

نوع النسيج	وصف الخلية	الوظيفة	الموقع

الأسئلة

- a. ما التراكيب الظاهرة في الأنسجة الثلاثة تحت قوة التكبير الصغرى والكبرى للمجهر؟
- b. هل هناك طريقة لمعرفة العضلات التي أخذ منها النسيج؟ وضّح إجابتك.

ابحث في مرض يصيب النسيج العضلي



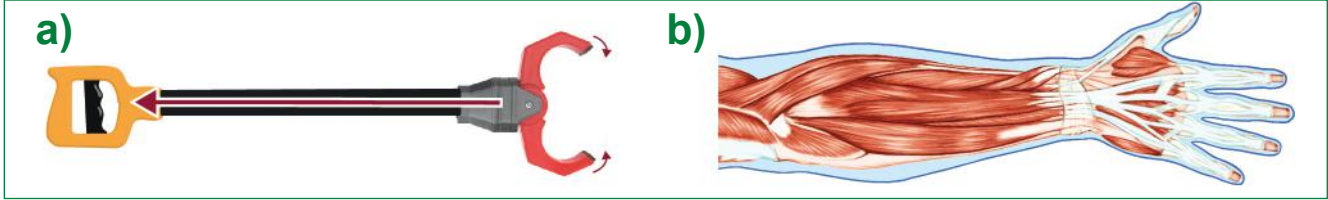
عند تشخيص الأمراض التي تصيب العضلات، يتم أخذ خزعات من العضلات، وتُفحص أنسجتها بالمجاهر. ابحث في أحد الأمراض الآتية: ضمور العضلات الدوشيني (Duchenne muscular dystrophy)، مرض دودة الخنزير (trichinosis)، داء المقوسات (toxoplasmosis)، الوهن العضلي الوبيل (myasthenia gravis)، التهاب العضلات (polymyositis)، التهاب الجلد العضلي (dermatomyositis)، التصلب الجانبي الضموري (مرض ALS أو Lou Gehrig)، أو رنح فريدريك (Friedreich ataxia). لخص بحثك في صفحة واحدة موضحاً سبب المرض وتأثيره في أنسجة العضلات. وثّق مصادر بحثك.

طريقة عمل أزواج العضلات الهيكلية

لماذا توجد العضلات
الهيكلية في أزواج؟
فيم تشبه الآلة الرافعة
الذراع؟



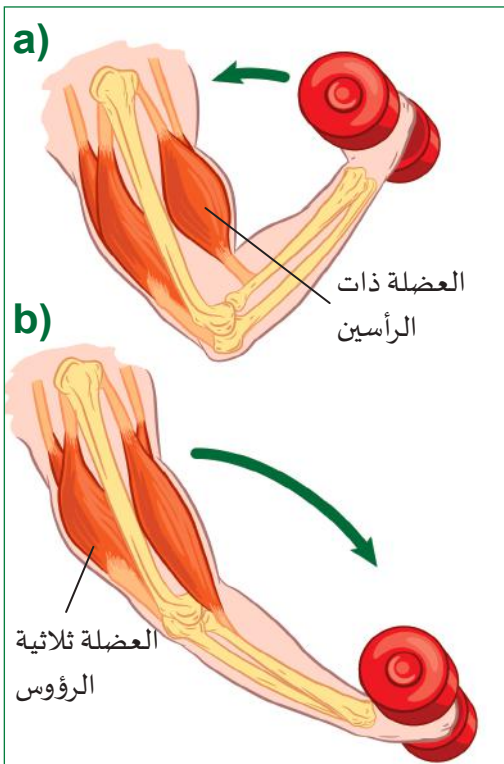
تتحرك لعبة المخلب الآلية (الشكل 8-1a) بحركة تشبه حركة اليد عند مسك الأشياء أو إفلاتها، حيث يغلق المخلب عن طريق سحب المقبض، ويفتح المخلب عن طريق قوة معاكسة تنتج من النوابض الداخلية. تقوم الآلة بفعل واحد للإمساك بالأشياء، وبفعل آخر مختلف لإفلاتها.



شكل 8-1 (a) مخلب آلي و (b) ذراع الإنسان وعضلات اليد.

عندما تنقبض العضلات فإنها تنتج قوة 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 الهيكلية في أزواج، وتستخدم العظام كألات رافعة: عندما تنقبض عضلة تنبسط الأخرى.



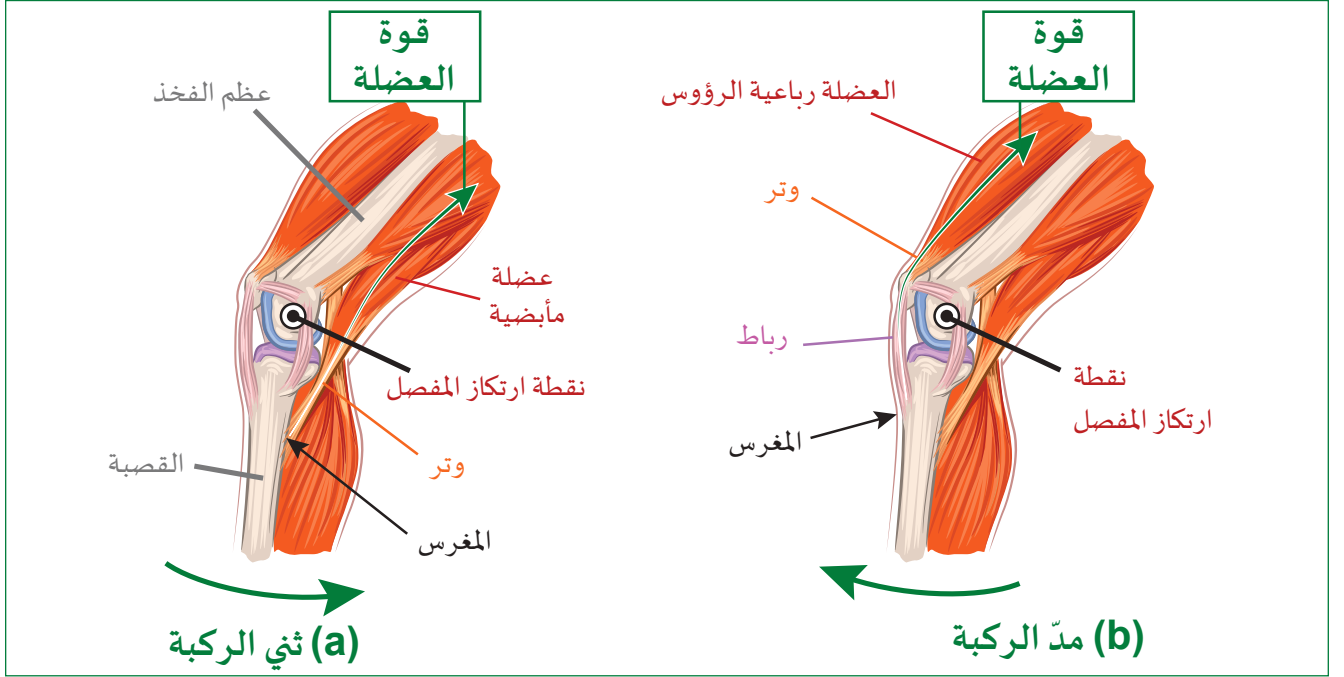
شكل 9-1 (a) العضلة ذات الرأسين و (b) العضلة ثلاثية الرؤوس ترفعان وزناً تمسك به باليد.

لفهم عمل العضلات الهيكلية، لا بدّ من معرفة أن العضلات تنتج قوى عندما تنقبض فقط. لذا، فإن الأمر يتطلب وجود عضلات منفصلة للفتح والإغلاق. تحتوي الذراع البشرية على مجموعة من العضلات تنتج قوة لإغلاق اليد، وعلى مجموعة أخرى من العضلات تنتج قوة لفتح اليد. وعندما تفعل مجموعتان عضليتان فعلين متعاكسين، فإنهما يُعرفان **بزوج العضلات المتضادة Antagonistic pair**.

ويوجد مثال جيّد على زوج العضلات المتضادة، هو العضلة ذات الرأسين، والعضلة ثلاثية الرؤوس في أعلى الذراع (الشكل 9-1). فإذا قمت برفع وزن، فسوف تنقبض العضلة ذات الرأسين لإنتاج قوة الرفع (الشكل 9-1a)، ويرتفع الساعد واليد إلى أعلى. ولإعادة الوزن إلى أسفل، تنقبض العضلة ثلاثية الرؤوس (الشكل 9-1b)، بينما تنبسط العضلة ذات الرأسين وتمتدّد، لكنها لا تنتج قوة أثناء تمديدّها.

عمل أزواج العضلات

تُسمى العضلة المسببة للحركة من خلال انقباضها **العضلة الناهضة Agonist**. ولتُثني ركبتيك استعدادًا لركل كرة، تنقبض العضلات المأبضية على الجزء الخلفي للفخذ (الشكل 10-1a). فالعضلات المأبضية تكون هي العضلات الناهضة لِثني الركبة.



شكل 10-1 المجموعات العضلية الرئيسية المشاركة في ركل الكرة.

تُسمى العضلة التي تعاكس عمل العضلة الناهضة بالعضلة **المناهضة Antagonist**. فعند ثني ركبتيك، تتمدد عضلة الفخذ رباعية الرؤوس الأمامية، لذلك تعتبر عضلة الفخذ رباعية الرؤوس الأمامية هي العضلة المناهضة عند ثني الركبة.

ويتمّ عكس أدوار العضلات عند ركل الكرة، فعند الركل تتمدد الركبة (الشكل 10-1b). وبالنسبة إلى حركة مدّ الركبة، فإنّ العضلة رباعية الرؤوس هي العضلة الناهضة، أما العضلة المأبضية فهي العضلة المناهضة.

تقوم العضلات المناهضة بدورين مختلفين هما:

حرك ساقك إلى أعلى ثم
إلى أسفل وأنت جالس
على كرسي. تحسّس
العضلات الموجودة في
أعلى وأسفل فخذك. هل
يمكنك تحديد العضلات
الناهضة والمناهضة في
كل حركة؟



1. المحافظة على وضعيّة الجسم أو الأطراف، كالوقوف في وضع مستقيم. وللحفاظ على وضعيّة معينة للجسم أو لطرف 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 الرئيسية، ولكنّ العضلات المأبضية تنتج أيضًا قوى للتحكّم في رباعية الرؤوس في أثناء الحركة.

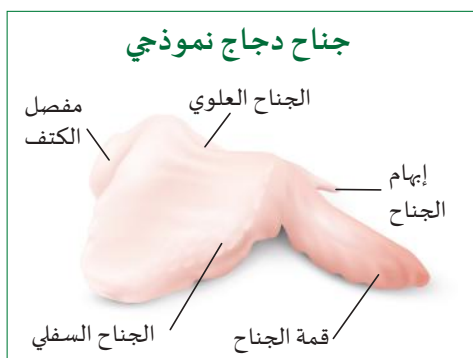


أزواج العضلات والحركة

b1-1

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

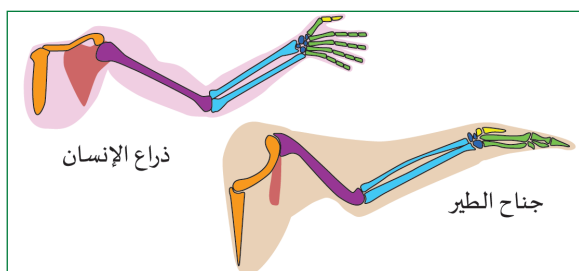
الخطوات



شكل 11-1 تشريح جناح الدجاج.

1. احصل على جناح دجاجة نيء طازج (الشكل 11-1).
2. أثناء ملاحظة كل نسيج أو تركيب، أضف اسمه ووصفه إلى العمود المناسب في الجدول المعطى لك.
3. اكتب نسيج الجلد الذي يغطي الجناح كأول نسيج في الجدول. أهو طري أم قاسٍ؟
4. قصّ الجلد واسلخه. انظر تحت غطاء الجلد بحثًا عن أوعية دموية.
5. حدّد العضلات (اللحمية الوردية) وكرات الدهون (الصفراء أو البيضاء ذات الملمس الناعم جدًا).
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 ببعضها ببعض).
8. يوجد الغضروف (الأبيض المطاطي) بين العظام أو في المفصل الكروي، حيث يرتبط الجناح ببقية أعضاء الجسم.
9. تأكد من تنظيف مكان التشريح بحسب الإرشادات، أجب عن جميع الأسئلة الآتية:

الأسئلة

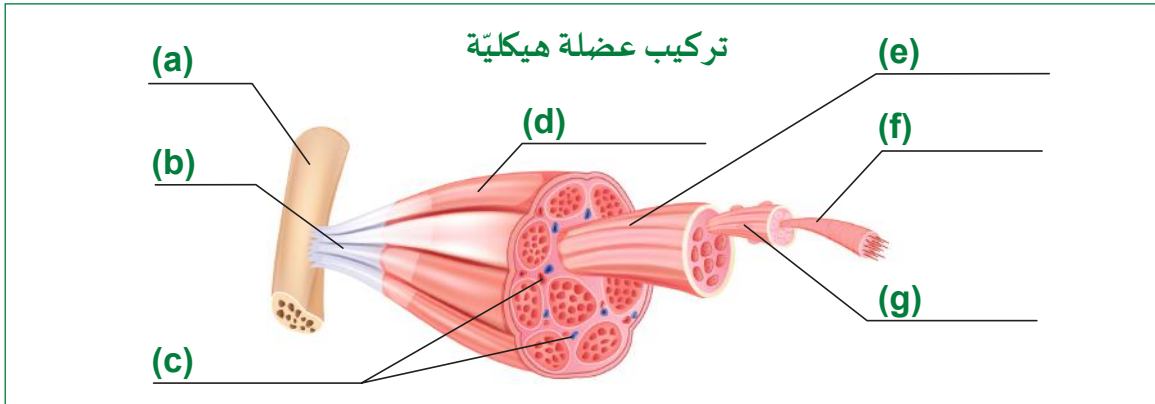


شكل 12-1 مقارنة تركيب جناح الطير وذراع الإنسان

1. بمساعدة (الشكل 12-1) وجناح الدجاجة الذي شرحته، قارن تركيب جناح الدجاج وحركته بذراع الإنسان.
- b. ما أوجه التشابه؟
- c. ما أوجه الاختلاف؟

تقويم الدرس 1-1

1. أيُّ الآتي يصف الأنسجة بأفضل صورة؟
 - a. مجموعة من الخلايا
 - b. نوع من العضلات
 - c. تركيب مميز من خلايا متماثلة تؤدي وظيفة مشتركة
 - d. تركيب مميز من خلايا مختلفة تؤدي وظائف متعددة
2. أيُّ من الآتي يصف الحزمة العضلية بأفضل صورة؟
 - a. نواة الخلية العضلية
 - b. مجموعة من الخلايا العضلية تعمل معاً
 - c. حزمة من اللييفات العضلية في داخل خلية عضلية
 - d. نسيج ضام بين العظام والعضلات
3. أيُّ من الآتي ليس جزءاً من الجهاز العضلي الهيكلي للإنسان؟
 - a. الرباط
 - b. الشعيرات الدموية
 - c. رباعية الرؤوس
 - d. الوتر
4. حدّد كلَّ تركيب في المخطّط الآتي لعضلة هيكلية.



5. اذكر أسماء الأنواع الثلاثة للخلايا العضلية، وحدّد مكانها في جسم الإنسان.
6. وضح العلاقة بين عضلة ناهضة وعضلة مناهضة.

الدرس 1-2

الخصائص الوظيفية للعضلات Physiology of Muscle



شكل 13-1 العضلات في أثناء عملها.

يمكنك أن تدرك مدى قدرة الإنسان على أداء حركات متنوعة رائعة من مشاهدتك لأداء لاعب جمباز (الشكل 13-1). يتدرّب الرياضيون لسنوات استعدادًا للعروض أو المسابقات: التدريب الذي يتلقّاه لاعب الجمباز ليس هو نفسه الذي يتلقّاه العداء، غير أنّ لـديهما العضلات نفسها في جسميهما. ما الذي يغيّر في حركة العضلات على مستوى الخلية والنسيج والعضو؟

يصف هذا الدرس عمل العضلات، ويؤكد ضرورة الحفاظ عليها.

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	الجليكوجين
Myoglobin	الميوجلوبين
Isotonic contraction	الانقباض متساوي الجهد
Isometric contraction	الانقباض متساوي القياس
Elasticity	المرونة
Contractility	الانقباض
Excitability	الاستثارة
Atrophy	الضمور

مخرجات التعلّم

B1207.2 يذكر أن الألياف العضلية تحتوي على العديد من الليّيفات 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.

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 طرية. لماذا تأخذ اللحوم، مثل لحوم البقر والدجاج، اتجاهًا معينًا؟



شكل 1-14 اللحم الداكن (a) والأبيض (b) في الدجاج المطبوخ.

عندما تأكل الدجاج، تلاحظ وجود نوعين من اللحم، يسميان في الغالب «اللحم الأبيض» و«اللحم الداكن». يوجد اللحم الداكن في ساق الدجاجة وفخذها (الشكل 1-14a)، ويوجد اللحم الأبيض في صدرها (الشكل 1-14b). هذان النوعان من اللحم يوجدان في الدجاج الداجن فقط، أمّا الطيور البرية، مثل البط، فيكون لحم الصدر فيها داكنًا، ولا يوجد فيها لحم أبيض.

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 بقوة وقدرة تحمّل جيّدتين، وهو ما يناسب الدجاج الذي يستخدم أرجله للوقوف والمشي. وعضلة الصدر في الطيور هي العضلة الرئيسة التي تمنح القوة للجناحين. ولأنّ 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 البط البري الذي يطير في معظم الأحيان، فإنّ لحم الصدر يكون داكنًا وليفياً بفعل التمرين المستمر.

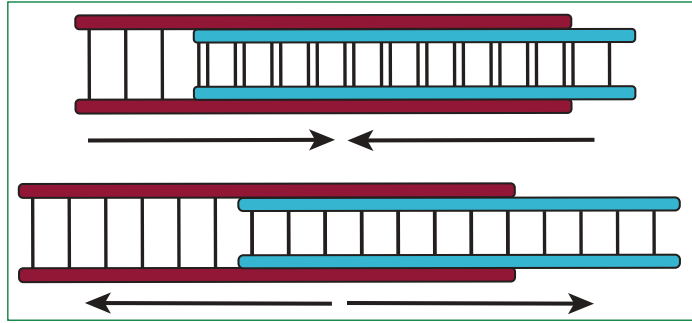


شكل 1-15 تتكوّن شريحة اللحم من ألياف عضلية.

يمكن أن يعطينا شكل الطعام بعض المعرفة عن تركيب العضلات: شريحة لحم البقر الموضّحة في (الشكل 1-15a) مكوّنة من ألياف عضلية طويلة، تمتدّ باتجاه السهم. ويصعب قطع هذه الألياف لمتانتها، وهذا يفسّر عدم تقديم شرائح اللحم المُعدّة بهذا الشكل. وبدلاً من ذلك، تُقطّع شرائح اللحم على عرض اتجاه الألياف (الشكل 1-15b)، إلى أن تصبح الألياف قطعاً صغيرة يسهل مضغها.

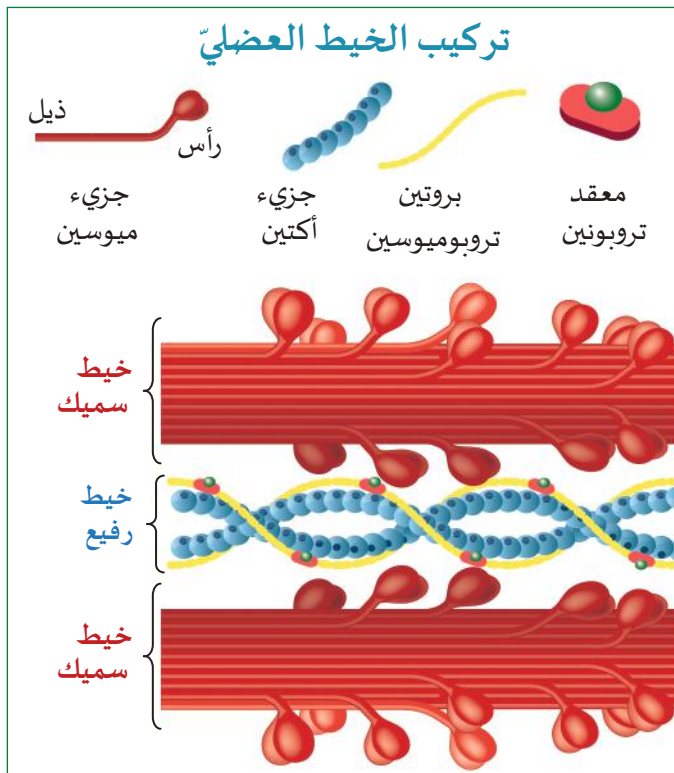
نظرية الخيوط المنزلقة لانقباض العضلات

كيف تقصر وتتمدّد الأجهزة الميكانيكية،
مثل مقابض حقائب السفر والسلالم
الممتدة والأسطوانات الهيدروليكية؟
ما آليات عملها؟



شكل 16-1 السلم الممتد.

ينبسط السلم الممتد أو ينقبض عندما ينزلق سلّماه المتوازيان أحدهما على الآخر (الشكل 16-1).
وتعمل العضلات بالطريقة نفسها.



شكل 17-1 تنزلق خيوط الأكتين الرفيعة على خيوط الميوسين السميكة.

تنصّ **نظرية الخيوط المنزلقة Sliding filament theory** لانقباض العضلات على أنّ الخلايا العضلية تحتوي على خيوط دقيقة ينزلق بعضها على بعض. تتكوّن الخيوط من بروتينات الميوسين والأكتين المرتبة بشكل متناوب. تشتمل خيوط الميوسين السميكة على العديد من جزيئات الميوسين المصطفة، من رأس كلّ جُزْيء إلى ذيل الجُزْيء التالي.

تتكوّن الخيوط الرفيعة من خيطين لولبيين طويلين من الأكتين وبوليمر من البروتينات المنظمة يُسمّى **تروبوميوسين Tropomyosin**. تلتفّ خيوط التروبوميوسين حول خيوط الأكتين بحيث تمنع خيوط الميوسين من الالتصاق بخيوط الأكتين المجاورة

(الشكل 17-1)، ما يحول دون انقباض العضلة، إلى حين وصول الإشارة المناسبة. يوجد في الأخدود بين جُزْيَيّ التروبوميوسين معقدات 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 جُزْيء من الأكتين برأس من الميوسين مكونًا الأكتوميوسين، وفي العضلة المنبسطة، يغلق تروبوميوسين مواقع ارتباط الجسور المستعرضة، فلا يحدث الانقباض.

الآلية الجزيئية لانقباض العضلات

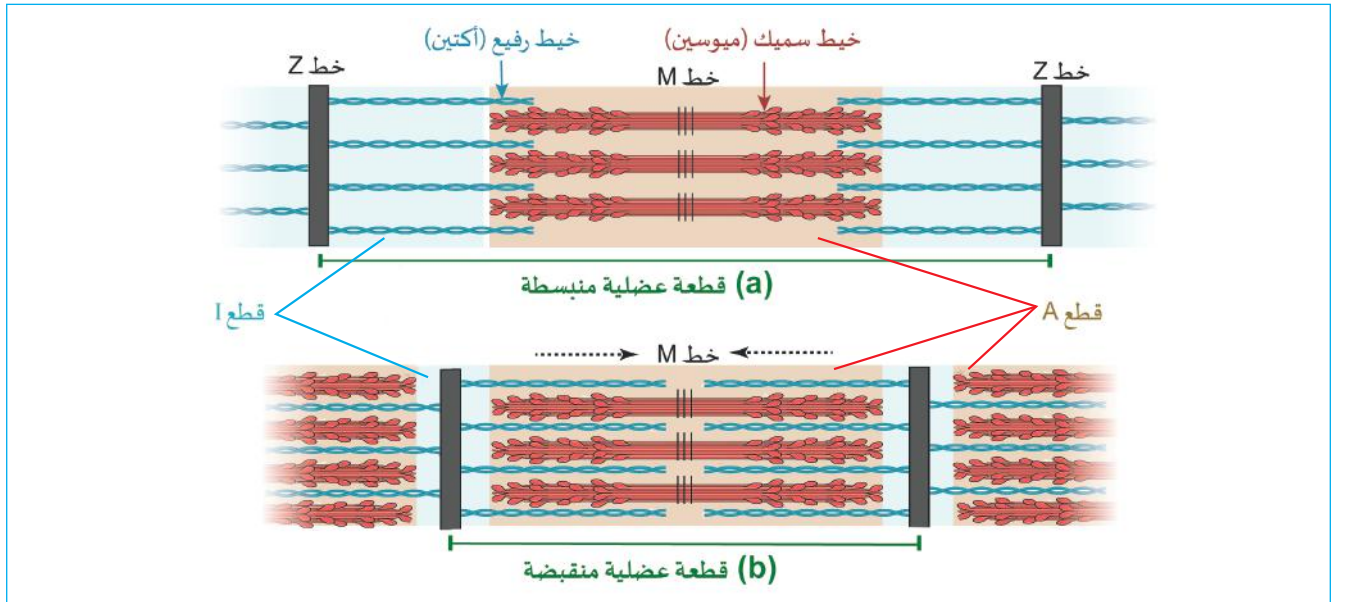
تُفسر نظرية الخيوط المنزلقة كيف تقصر القطع العضلية مسببة انقباض العضلة (الشكل 18-1).

- تحدّد خطوط **Z (Z lines)** طول كلّ قطعة عضلية. تثبت خطوط Z أحد طرفي الخيوط الرفيعة ويتحرك بعضها نحو بعض في أثناء الانقباض.

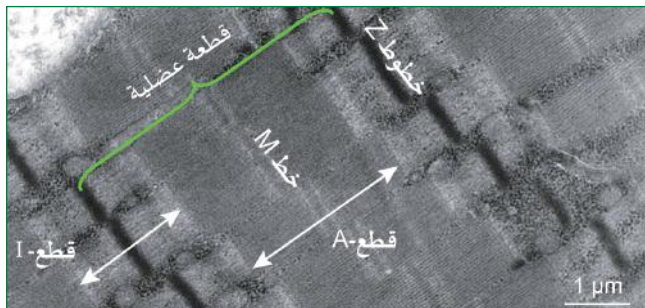
- يتكون خط **M (M line)** في مراكز خيوط الميوسين السميكة. يبقى خط M ثابتًا في أثناء الانقباض.

a. عندما تنبسط العضلة، تُشدّ الخيوط الرفيعة المثبتة إلى خطوط Z بعيدًا من خطّ M كما يظهر في (الشكل 18-1a). تتمدد المناطق فاتحة اللون التي تسمى القطع I (I band) لأنها مناطق مكوّنة فقط من خيوط رفيعة (الأكتين). أما المناطق داكنة اللون التي تسمى القطع A (A band) فتبقى من دون تغيير لأنّ طول الخيوط السميكة لا يتغيّر.

b. عندما تنقبض العضلة، تشدّ الخيوط الرفيعة خطوط Z نحو خطّ M فتتكشف القطع I. تصبح القطع A متقاربة، لكنّ طولها يبقى هو نفسه (الشكل 18-1b). 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 العضلية، ولكنّ الخطين Z اللذين يحصران القطعة العضلية من الجانبين يتقاربان في أثناء انقباض العضلة ويتباعدان في أثناء انبساطها.



شكل 18-1 (a) قطعة عضلية منبسطة و (b) قطعة عضلية منقبضة.

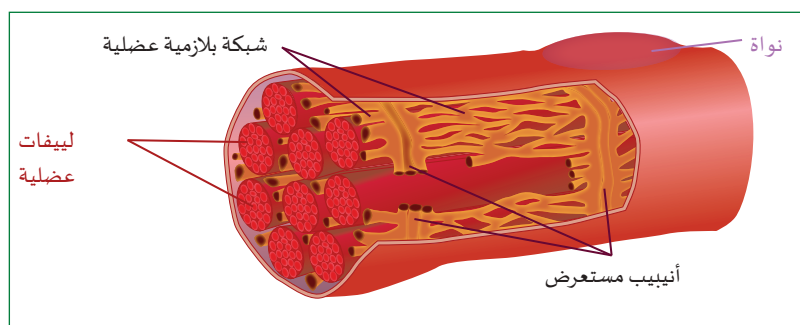


شكل 19-1 تكون خطوط M في المقاطع العرضية للعضلات في منتصف القطع العضلية. تحدّد خطوط Z طول تلك القطع.

يظهر في (الشكل 19-1) صورة مجهرية إلكترونية للقطع العضلية. يمكنك أن ترى بوضوح خطوط M و Z. 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 نسبيًا.

ارتباط الاستثارة – الانقباض

الليف العضلي (الخلية العضلية) أطول بكثير من الخلية العادية. ولضمان انقباض الخلية كلّها في الوقت نفسه، يوجد تركيب في الخلايا العضلية يُسمى **الشبكة البلازمية العضلية Sarcoplasmic reticulum (SR)**، وهي شبكة من الأنابيب تمتد من الغشاء الخلوي لكل ليف عضلي ليصل بين



شكل 20-1 التركيب الداخلي لخلية عضلية..

مختلف اللييفات العضلية (الشكل 20-1). تحتوي خلايا عضلة القلب وخلايا العضلات الهيكلية أيضًا على تراكيب إضافية تُسمى «الأنيبيبات المستعرضة» (t-tubules). تحتزن الشبكة البلازمية العضلية أيونات الكالسيوم (Ca^{2+})، وتتحكم

1. بروتينات ناقلة في حركة هذه الأيونات من وإلى السيتوسول المحيط باللييفات العضلية. 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 الشبكة البلازمية العضلية في جميع أنحاء الليف العضلي.
3. يتسبب الإطلاق المتزامن لأيونات Ca^{2+} ، في انقباض جميع اللييفات العضلية في الخلية في الوقت نفسه (انقباض).
4. عندما تتوقف استثارة الخلية العصبية، تضحّ بروتينات النقل النشط أيونات Ca^{2+} إلى الشبكة البلازمية العضلية ثانية، فيتوقف الانقباض.

مرض الخلايا العصبية الحركية

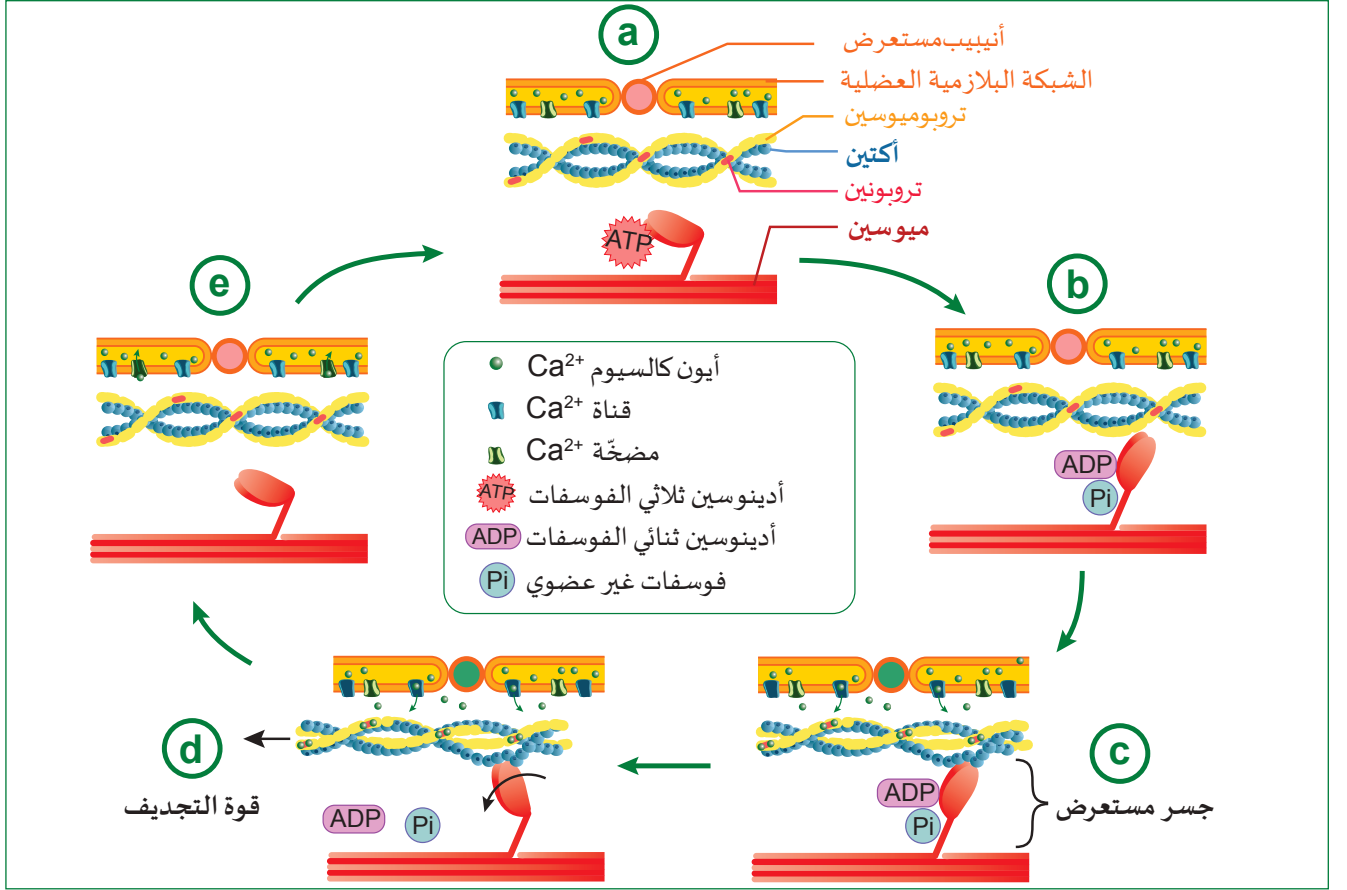


التصلب الجانبي العضلي الضموري (ALS) هو أحد الأمراض العصبية الحركية المتعددة التي تؤدي إلى ضمور الخلايا العصبية الحركية التي تتحكم في حركة العضلات الإرادية. وتشمل أعراض (ALS) تصلب العضلات وارتعاشها، وضعفًا متدرجًا متفاقمًا ينتهي بالموت بسبب تناقص حجم العضلات. لكن سبب المرض لا يزال مجهولًا، وبالتالي لا يوجد علاج معروف له. وقد عانى د. ستيفن هوكينج، الفيزيائي وعالم الكونيات الشهير، من هذا المرض في حياته المهنية.

- ابحث في آلية المرض، وفي الأمراض العصبية الحركية ذات الصلة.
- الخلايا العصبية الحركية هي أطول خلايا الجسم. كيف يمكن أن يسبب طولها التصلب الجانبي العضلي الضموري؟
- من الذي يقوم بأبحاث قد تتوصل إلى علاج للمرض؟

دور ATP في انقباض الليف العضلي

تتطلب الخلايا العضلية المنقبضة مقدارًا هائلًا من الطاقة. وتأتي هذه الطاقة من التحلل المائي لجُزئ ATP (ATP → ADP + P_i) على رأس كل جُزئ من الميوسين.



شكل 21-1 دورة انقباض أكتين - ميوسين.

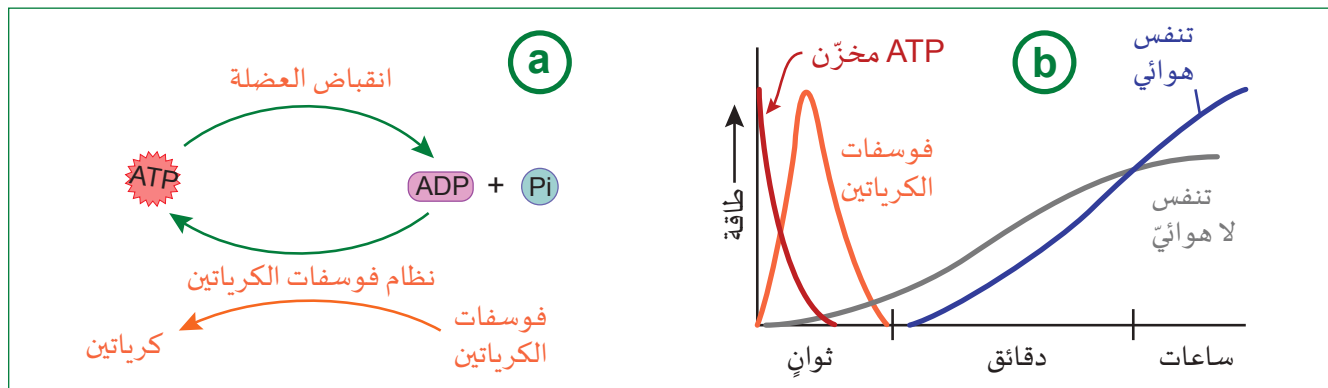
- يبين (الشكل 21-1) الدورة الكاملة لانقباض العضلات وانبساطها.
- عند بدء الانقباض يرتبط ATP بموقع خاص على رؤوس الميوسين.
 - يتحلل ATP الموجود على رأس جُزئ الميوسين، وتنطلق الطاقة مسببةً ثني رأس الميوسين إلى الخلف.
 - تسبب إشارة عصبية، تنتقل في الأنابيب المستعرض، فتح قنوات Ca²⁺ في الشبكة البلازمية العضلية. وترتبط أيونات Ca²⁺ بالتروبونين؛ ما يغيّر شكل التروبوميوسين. ويؤدي ذلك إلى كشف موقع ارتباط الميوسين على الأكتين، فيجذب رأس الميوسين مشكلاً جسراً مستعرضاً بين الميوسين والأكتين.
 - يطلق رأس الميوسين ADP و P_i، ما يتسبب في تغيير شكله، ودفع خيط الأكتين مسبباً الانقباض. تعرف هذه الحركة باسم قوة التجديف **power stroke**. ويتسبب حدوث الآلاف من هذه التفاعلات في تحرك خيوط الأكتين باتجاه خطوط M. تتكرر الخطوات a → d ما دام الكالسيوم موجوداً لحدوث انقباض العضلة المطلوب.
 - مع انتهاء الإشارة العصبية، تُضخّ أيونات الكالسيوم بالنقل النشط إلى مخازنها في الشبكة البلازمية العضلية فتنبسط العضلة.

مصادر الطاقة للعضلات

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

a. تعطي جُزيئات فوسفات الكرياتين (CP) **Creatine phosphate (CP)** الفوسفات لتحويل ADP إلى ATP بواسطة الإنزيم كرياتين فوسفوكيناز، وهذا يشكل طريقة سريعة لتجديد ATP (الشكل 22-1 a).

b. يتحلل الجلايكوجين **Glycogen** إلى جلوكوز لإنتاج ATP، إما بمسار التنفس الهوائي أو بمسار التنفس اللاهوائي. وكلا هذين المسارين أبطأ من فوسفات الكرياتين. يبين (الشكل 22-1 b) كيفية تداخل آليات الطاقة المختلفة في مقاييس زمنية مختلفة.



شكل 22-1 مصادر الطاقة للخلايا العضلية.

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

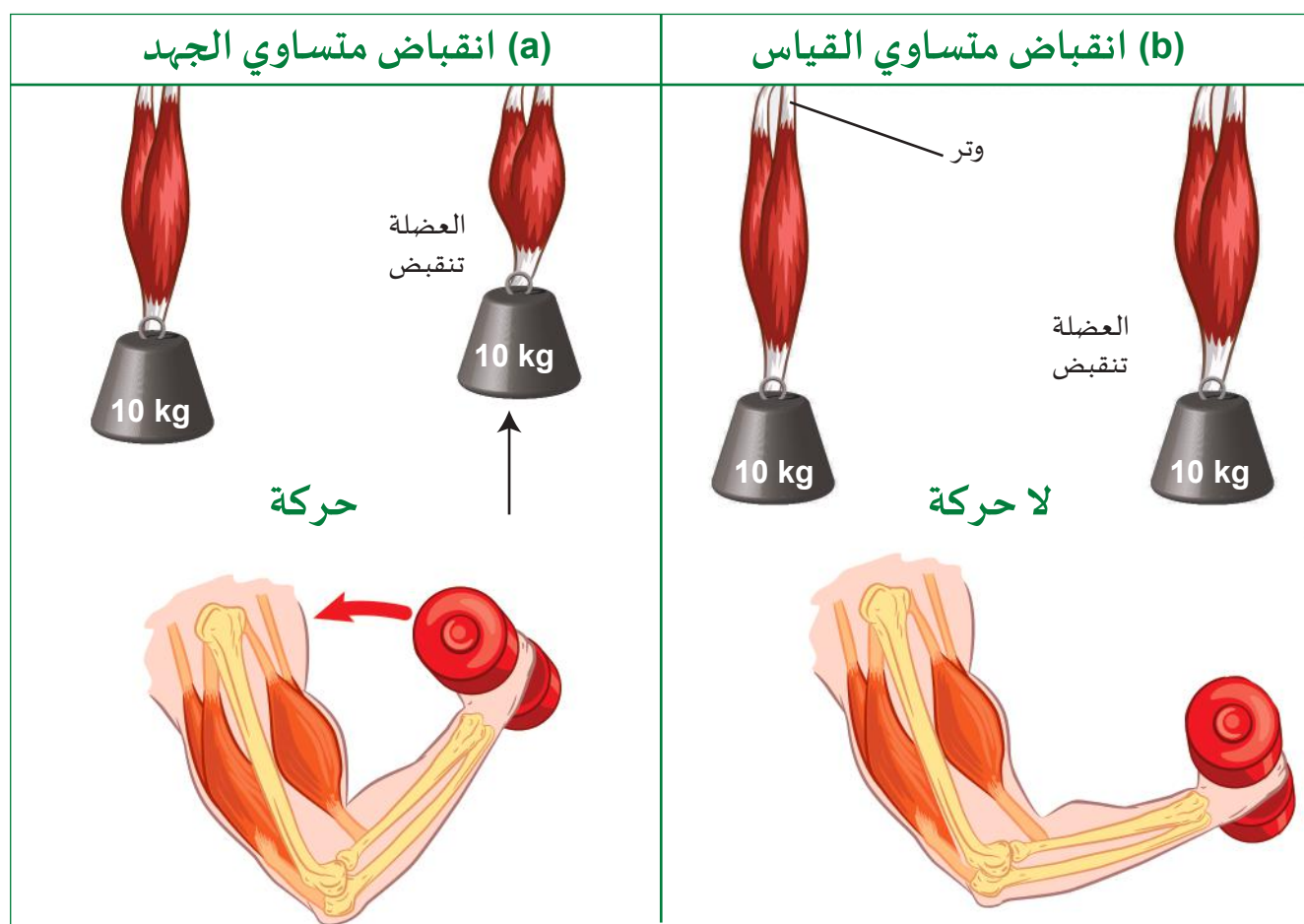


أنواع الانقباضات العضلية

تولّد جميع العضلات قوًى من خلال الانقباض. وفي الغالب، فإن القوى تنتج في العضلات الهيكلية عملاً مقصوداً أو عملاً إراديّاً.

الانقباضات متساوية الجهد Isotonic contractions، وتحدث عندما تنتج قوة العضلة حركة. انقباض العضلة ذات الرأسين لرفع وزن يُمثّل في (الشكل 23-1a). في هذه الحالة تقصر العضلة لتولّد جهداً يكفي لتحريك الثقل.

الانقباضات متساوية القياس Isometric contractions، وتحدث عندما تنتج العضلة قوًى بدون حركة. في الانقباض متساوي القياس، تبقى العضلة بالطول نفسه لحمل الثقل في الموضع نفسه (الشكل 23-1b).



شكل 23-1 (a) تستخدم الانقباضات متساوية الجهد لتحريك الأثقال. (b) في الانقباضات متساوية القياس تنقبض العضلة، لكنها لا تقصر.

تخيّل جميع العضلات المختلفة التي تعمل فقط لإبقاءك جالساً على المقعد في وضع مستقيم. يعتمد الجلوس في وضع مستقيم على عضلات في ظهرك وكتفيك ووركك وبطنك. وللحفاظ على وضع الجسم، تبقى عضلات كثيرة منقبضة بشكل متساوي القياس. إنّ الانقباضات متساوية الجهد ومتساوية القياس قد تكون إرادية أو لا إرادية. وبذلك تتمكّن من تأدية الكثير من الأعمال.

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 والقص، ثم الاستطالة والانبساط للعودة إلى شكلها الأصلي.

الانقباض Contractility هو الخاصية التي تسمح لجميع العضلات بالتصلّب أو القص. يسمح الانقباض للنسيج العضلي بسحب نقاط اتصالها بالعظام وبذل القوى. وكلا المرونة والانقباض في العضلة يشبهان أفعال تمدد الأربطة المطاطية.

تصف **الاستثارة Excitability** خاصية استجابة الخلايا العضلية للإشارات الكهروكيميائية من الخلايا العصبية. يمكن أن تنشر كل 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 وقلة الاستخدام والشيخوخة (الشكل 24-1 يسار). من المهم الحفاظ على مرونة الخلايا العضلية وانقباضها واستثارتها لتجنّب الضمور (الشكل 24-1 يمين).



شكل 24-1 الضمور هو تغيّر في حجم العضلة بفعل المرض أو الشيخوخة، أو قلة 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؟

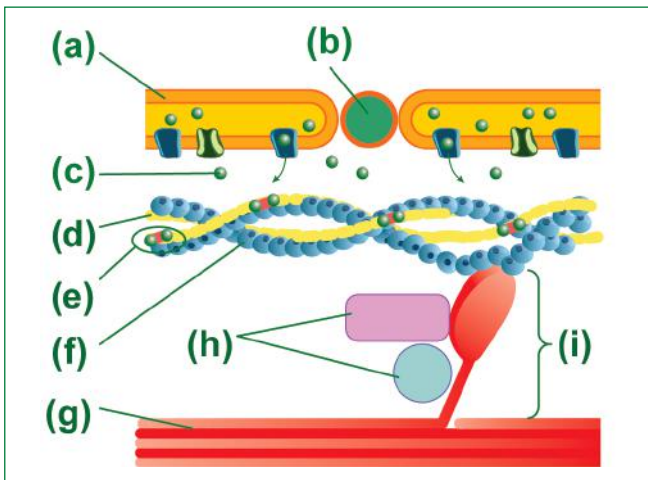
ما التغيرات التي تحدث على المستوى الخلوي؟ كيف تؤثر التغيرات في المستوى الخلوي في العضلة كلّها؟

أيّ أنواع من ضمور العضلات يمكن منعها أو معالجتها؟

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

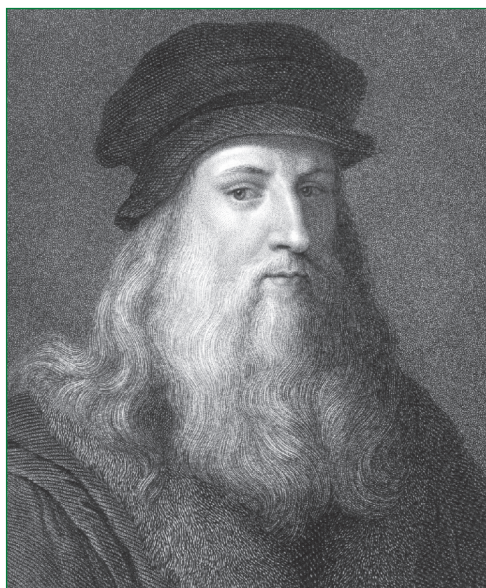
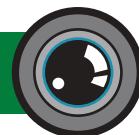
تقويم الدرس 2-1

1. أرسم لِيَيْفَة عضلية، مبيّنًا عليها المفردات الآتية:
 - a. أكتين.
 - b. خط M.
 - c. ميوسين.
 - d. قطعة عضلية.
 - e. خط Z.
2. أيُّ 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 حالة 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 لتعرّف بشكل صحيح كلّ حرف ظاهر في (الشكل 25-1).



شكل 25-1 نظرية الخيوط المنزلقة.

أكتين.
 P_i و ADP
 أيونات الكالسيوم.
 الشبكة البلازمية العضلية.
 أنيبب t-
 جسر مستعرض.
 ميوسين.
 تروبوميوسين.
 تروبونين.



شكل 26-1 ليوناردو دا فينشي.

ليوناردو دا فينشي 1452 – 1519

ولد ليوناردو دا فينشي (الشكل 26-1) في 15 أبريل 1452 بالقرب من مدينة فينشي، إيطاليا. بدأ حياته متدرباً لدى النحات 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، عُدّ دافينشي في المقام الأول فنانًا. لكن آلاف الصفحات من دفاتر ملاحظاته الأصلية تكشف أنه كان يتمتع ببراعة العقل العلمي. لقد كتب ورسم ودرس علم التشريح من أجل رسم شكل الجسم البشري بدقة أكبر. كانت مخططاته 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 27-1). وبينت رسوماته التوضيحية فهمًا لكيفية عمل الجسم.



شكل 27-1 رسم لليوناردو دا فينشي يوضّح دراسة لعضلات الحصان.

لم يتمّ مطلقًا تحديد بداية قيام ليوناردو بأعمال التشريح. وبحلول تسعينيات 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 لجثثٍ بشرية.

الوحدة 1

مراجعة الوحدة

الدرس 1-1 تشريح العضلات

- تتكوّن العضلات من حُزَم عضلية **Fasicles** تحتوي على ألياف (خلايا) عضلية **Muscle fibers**. يحتوي الليف العضلي على لُيَيفَات عضلية **Myofibrils** مكوّنة من مناطق انقباض تُسمّى القطع العضلية **Sarcomeres**.
- العضلات الهيكلية **Skeletal muscle**، والقلبية **Cardiac muscle**، والملساء **Smooth muscle** هي ثلاثة أنواع من عضلات الفقاريات.
- تؤدي المجموعة العضلية **Muscle group** وظيفة واحدة، أو حركة واحدة للجسم.
- تربط الأوتار **Tendon** العضلات بالعظام، وترتبط العظام في المفاصل بوساطة الأربطة **Ligament**.
- تعمل العضلات في أزواج متضادة بكونها **Agonist** ناهضة، أو **Antagonist** مناهضة.

الدرس 2-1 الخصائص الوظيفية للعضلات

- تشرح نظرية 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 lines** وخطوط **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، تتجدّد 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 للعضلة.
- تشمل خصائص الأنسجة العضلية: المرونة **Elasticity**، والانقباض **Contractility**، والاستثارة **Excitability**.

تحضير للاختبار

1. لماذا ترتبط العضلات بالعظام؟ يُتوقَّع أكثر من إجابة صحيحة.
 - a. يمكن أن تولّد العضلات قوًى إذا كان أحد الطرفين مثبتًا بالعظم.
 - b. يمكن للعضلات المنقبضة تغيير اتجاه القوى.
 - c. يمكن للعضلات المنبسطة سحب العظام في اتجاه معاكس.
 - d. تعمل العظام كروافع لتوجيه عمل القوى.
2. أيُّ 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.
3. أيُّ من الآتي مثال على الانقباض متساوي القياس؟
 - a. هزّ الكتفين.
 - b. قضم تفاحة.
 - c. حبس النَفَس.
 - d. تحريك الحاجبين.
4. ما الوحدة الأساسية للانقباض في العضلة الهيكلية؟
 - a. الليف العضلي.
 - b. اللييفة العضلية.
 - c. الخيط العضلي.
 - d. القطعة العضلية.
5. ما التراكيب التي تحتوي على عضلات ملساء؟
 - a. بطانة المعدة.
 - b. تجويف الأوعية الدموية.
 - c. المريء.
 - d. جميع ما سبق.
6. 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 النوى.
7. 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.

8. ما الذي يمدّ العضلات بالطاقة بأسرع ما يمكن؟
- a. تحليل الجللايكوجين.
 - b. فوسفات الكرياتين.
 - c. التنفّس الهوائي.
 - d. التنفّس اللاهوائي.
9. 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 .

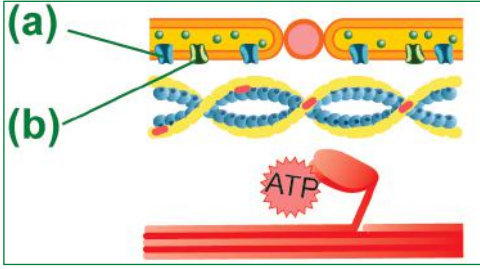
أسئلة الإجابات القصيرة

الدرس 1-1 تشريح العضلات

10. ارسم مخططًا لزوج من العضلات. 
- a. أذكر اسم كل عضلة.
- b. بين، باستخدام الأسهم، كيف تتحرك العضلتان.
11. اذكر مثالاً عن نشاط يدفع العضلة إلى الانقباض مع الحفاظ على طولها من دون تغيير. 
12. اذكر مثالين على أنسجة ضامة، وصف دور كل منهما في عمل العضلات الهيكلية والعظام. 
13. استند من الإنترنت أو المكتبة في البحث عن مجموعة عضلية أو زوج من العضلات في الرأس أو اليد أو القدم، للإجابة عن الأسئلة الآتية: 
- a. اشرح ما تفعله المجموعة أو الزوج.
- b. حدد العضلة الناهضة.
- c. حدد العضلة المناهضة.
14. اذكر فرقين بين العضلات القلبية والعضلات الهيكلية والعضلات الملساء. 
15. فيم تختلف وظيفتا الأوتار والأربطة؟
16. صف العضلات الناهضة والعضلات المناهضة لحركة الرسغ إلى أعلى، ثم إلى أسفل. 

الدرس 2-1 الخصائص الوظيفية للعضلات

17. أكتب جملة أو جملتين لوصف أوجه الشبه بين عمل السلم الممتد وعمل الأكتين والميوسين في العضلة. 
18. ارسم مخططًا يبين 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 المخطط.
19. أي حيوان لديه طبيعيًا عضلات داكنة أكثر، مقارنة بالعضلات الفاتحة: الفهد أم سمكة القاع المسطحة؟ فسّر إجابتك. 



20. صف وظائف كلٍّ من (a) و (b) في المخطط المقابل في أثناء عملية انقباض العضلة وانبساطها.

21. أرسم مخططاً يوضح شكل رأس الميوسين مع ATP، وشكله مع ADP و P_i . استخدم مخطّطك لتشرح في جملة أو جملتين كيف تُنتج قوّة الانقباض.

22. ابحث عن سبب أهمية صحّة العضلات للحفاظ على وظيفة المفاصل، ثم اختر جانباً للمناقشة وادعمه في ملخص من صفحة واحدة. ما الأكثر ضرراً للمفاصل: رياضات الاحتكاك الجسدي، أم الشيخوخة، أم المرض؟

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

24. صف عملاً يتضمّن انقباضاً متساوي القياس للعضلة.

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

صمّم نموذجاً

صمّم نموذج عمل لذراع أو ساق أو يد باستخدام موادّ بناء أو موادّ حرفية بسيطة. تأكد من أن نموذجك يلبي المتطلّبات الآتية:

- يمثّل النموذج على الأقل زوجين من العضلات يعمل أحدهما عكس الآخر.
- يشتمل النموذج على مفصل، مثل مفصل جسيّ واحد أو أكثر.
- لا يكون النموذج ثابتاً في مكانه، لكن يمكنه، عند تنشيط العضلات، عرض الفعل أو الحركة الصحيحة عند المفصل.
- يشتمل النموذج على مفتاح يبيّن أسماء العضلات والعظام والمفاصل والتركيب الذي تمثله.



الوحدة 2

جهاز الدوران

Circulatory System

في هذه الوحدة

B1201
B1202
B1203
B1204
B1205
B1206

الدرس 1-2: الدم واللمف
الدرس 2-2: الجهاز القلبي الوعائي
الدرس 2-3: أمراض القلب والأوعية الدموية والوقاية منها

مقدمة الوحدة

تمتلك الحيوانات أنواعًا مختلفة من الأجهزة الدورانية: معظم الحيوانات اللافقارية، بما فيها الحشرات، لها جهاز دوري مفتوح، وفيه سائل لمف دموي hemolymph يحيط بالأعضاء من دون شرايين أو أوردة. أمّا الفقاريات كالإنسان فتمتلك جهازًا قلبيًا وعائيًا - cardiovascular sys- tem 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 خلال حياته ما يقرب من 2.5 مليار مرة، يضخّ القلب فيها دمًا يكفي لملء ثلاث ناقلات نفط كبيرة.

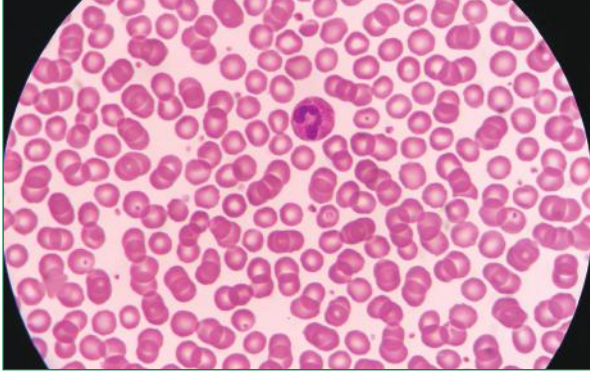
تمتلك الفقاريات أيضًا جهازًا لمفاويًا lymphatic system يدور فيه سائل اللمف، وهو سائل يختلف عن الدم. ستدرس في هذه الوحدة الجهاز الدوري في الإنسان الذي يتكوّن من الجهاز القلبي الوعائي الذي ينقل الدم، والجهاز اللمفاوي الذي ينقل سائل اللمف.

الأنشطة والتّجارب

1-2 نمذجة دم الإنسان

3-2 قياس ضغط الدّم

الدرس 1-2 الدم واللمف Blood and Lymph



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

تحتوي جميع الفقاريات، 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.

مخرجات التعلّم

B1201.1 يُعد قائمة بمكونات الدم الرئيسية.

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 ويقيم تأثير تركيز ثاني أكسيد الكربون في ارتباط وإطلاق الأكسجين من الهيموجلوبين في خلايا الدم الحمراء، بما في ذلك تأثير بور.

B1202.1 يذكر الأحداث التي تعقب 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	الارقاء
Vascular spasm	التشنج الوعائي
Platelet plug	سدادة الصفائح الدموية
Fibrin	الفايبرين
Scab	قشرة الجرح (الجلبة)
Clotting cascade	الأحداث المتعاقبة في التخثر
Cardiovascular system	الجهاز القلبي الوعائي
Lymphatic system	الجهاز اللمفاوي
Lymph vessel	الوعاء اللمفاوي
Lymph node	العقدة اللمفاوية
Interstitial fluid (ISF)	السائل النسيجي
Lymph	اللمف
cooperative binding	الارتباط التعاوني
Haldane Effect	تأثير هالدين

الدم والأداء الرياضي

لماذا يتدرّب بعض الرياضيين المحترفين في مناطق مرتفعة؟

فرضت الفيفا في العام 2007 حظراً على إقامة مباريات كرة القدم الدولية على ارتفاع أكثر من 2500 م فوق مستوى البحر، معللة ذلك بمخاوف على صحّة اللاعبين ووجود ميزة غير عادلة للفرق المحلية المتكيّفة مع الارتفاعات العالية.



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

يحفز مستوى الأكسجين المنخفض في المناطق المرتفعة الجسم على إنتاج المزيد من خلايا الدم الحمراء. يُعدّ تركيز خلايا الدم الحمراء المرتفع ميزة عند التنافس في الأماكن المنخفضة، حيث تتوافر كميات أكبر من الأكسجين (الشكل 2-2b)، لذلك، فإننا نجد أن كثيراً من رياضيي التحمّل يتدرّبون في أماكن مرتفعة للتحضير للمسابقات على ارتفاعات منخفضة (الشكل 2-2a).



شكل 3-2 نقل الدم.

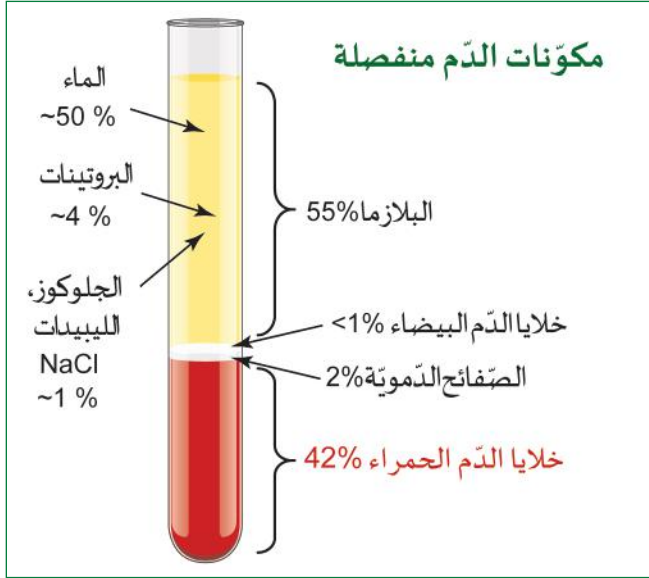
يُعدّ نقل الدم إجراءً طبياً يتلقّى فيه الشخص الدم من مصدر خارجي (الشكل 3-2). تُنفذ عمليات نقل الدم الأرواح في حالات الإصابة أو أثناء الجراحة. يتبرّع كثير من الناس الكرماء بالدم ليكون ذلك مصدراً لعمليات نقل الدم. ويقوم الجسم السليم بتجديد الدم المفقود في غضون أسابيع قليلة.

يستخدم بعض الرياضيين إجراءً غير مشروع يسمّى «نقل الدم الذاتي» Autologous transfusion، حيث يتمّ جمع الدم من الرياضي في منطقة مرتفعة، ويُخزن ثم

ينقل ويُعطى للرياضي نفسه قبل المنافسة (الشكل 3-2). تُعدّ 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 Erythropoietin (EPO). والإريثروبويتين هو هرمون طبيعيّ يحفز إنتاج خلايا الدم الحمراء. يوجد أيضاً إريثروبويتين اصطناعي، وهو يُستخدم في الطبّ لعلاج مرضى فقر الدم. يحقن الرياضيون أنفسهم بالإريثروبويتين لزيادة إنتاج خلايا الدم الحمراء. ومن الجدير بالذكر أنّ كلّ اتحادات أنواع الرياضات الكبرى منعت إجراء هذا الحقن، لأنّ زيادة عدد خلايا الدم الحمراء عن المعدل الطبيعي قد يؤدي إلى أزمة قلبية أو سكتة دماغية.

مكونات دم الإنسان



شكل 4-2 مكونات الدم.

الدم نسيج ضام سائل وهو محلول ومعلق غروي في أن معًا. تشكّل بلازما الدم 55 % من الدم. تُعدّ **البلازما Plasma** محلولًا مائيًا لكونها تحتوي على الكثير من المواد الصلبة والأملاح والسكريات والغازات الذائبة (الشكل 2-4). والدم هو معلق لأنّ خلايا الدم الحمراء والبيضاء والصفائح الدموية معلقة 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. يؤدي الدم وظائف حيوية متعددة في جسم الإنسان، منها:

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

خلايا الدم الحمراء هي المكوّن الرئيس في الدم (الشكل 2-5a). سوف نرى لاحقًا أن وظائفها الأولية هي نقل الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون.

تحتوي الصفائح الدموية على بروتين خاص يمكنه إصلاح الأضرار التي تحدث في جذر الأوعية الدموية (الشكل 2-5b). من دون هذه الخلايا لا تلتئم الكدمات والجروح. يؤدي كلّ نوع من أنواع خلايا الدم البيضاء الخمسة وظيفة وقائية في جهازنا المناعي (الشكل 2-5c). سنناقش وظيفة كل نوع من خلايا الدم البيضاء في الوحدة السابعة.



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



نمذجة دم الإنسان

1-2

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

الخطوات - اليوم 1

1. اعداد وتسمية أنابيب اختبار لدم اصطناعي لمرضى A,B,C,D
2. بإشراف معلمك ضع جهاز الطرد المركزي على سطح مستو وثابت
3. حمل الأنابيب بشكل يقابل بعضها البعض في جهاز الطرد المركزي
4. شغل الطرد المركزي مع ترك مسافة آمنة
5. افتح الغطاء بعد توقف الدوار تمامًا
6. أخرج الأنابيب بعناية بعد توقف جهاز الطرد المركزي عن الدوران تمامًا
7. نظف الدوار والطرد المركزي بعد الاستخدام.

الخطوات - اليوم 2

1. سجّل جميع الملاحظات على عيّنات الدم المدوّرة في جدول 1 من ورقة العمل.
2. قسّ بالمسطرة كلّ طبقة إلى أقرب ملليمتر من أسفل أنبوب الاختبار.
3. قدّر النسبة المئوية لخلايا الدم الحمراء بحسب ارتفاع طبقة خلايا الدم الحمراء RBC وقسمته على الارتفاع الكلي لكلّ الطبقات مجتمعة.
4. قدّر النسبة المئوية للبلازما بحسب ارتفاع طبقة البلازما والقسمه على الارتفاع الكلي لكلّ الطبقات مجتمعة.
5. نظّف أنابيب الاختبار الخاصّة بك وفقًا لتعليمات المعلم.
6. استخدم هذه القيم وسجّلات المرضى وجدول البيانات المقدّم لتحديد صحّة كلّ مريض.

طوّر نموذجك

أمعن النظر في خصائص كلّ مكون من مكونات الدّم. استخدم الأدوات الجرفيّة، أو المواد المنزليّة أو الأطعمة لإنشاء نموذج أكثر اكتمالاً من مكونات الدّم التي سوف تنتج طبقات أكثر دقّة.



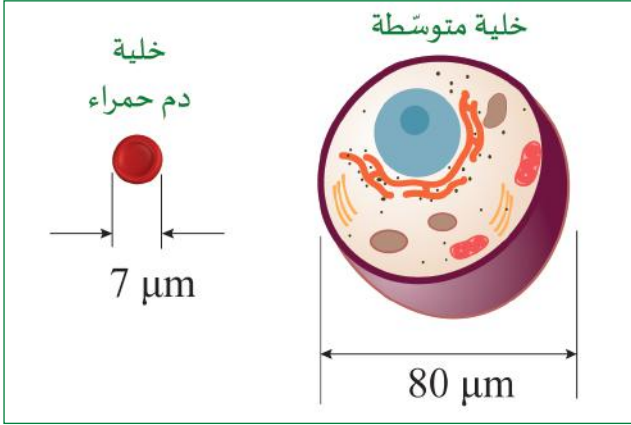
الملخص

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

خلايا الدّم الحمراء



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



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

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

1. يبلغ عدد خلايا الدم الحمراء (5-6) مليون/مايكروليتر مشكّلةً ما نسبته 70 % إلى 84 % من مجموع خلايا الجسم.

2. قرصية الشكل ومقعرة الوجهين في الوسط لتوفير مساحة سطحية أكبر لتبادل الغازات (الشكل 6-2).

3. مرنة وصغيرة الحجم، يبلغ قطرها 7 ميكروميتر (الشكل 7-2)، ما يسمح لها بالمرور من خلال الشعيرات الدموية الضيقة.

4. تحتوي خلية الدم الحمراء الواحدة على 270 مليون جزيء هيموجلوبين. **الهيموجلوبين Hemoglobin** هو بروتين متخصص ينقل الأكسجين. وإذا استبعدنا الماء، فإنّ الهيموجلوبين يشكّل 95 % من خلية الدم الحمراء.

5. عندما تنضج خلايا الدم الحمراء، فإنّها تفقد الكثير من عضياتها الداخلية كالنواة والشبكة الأندوبلازمية والميتوكوندريا (الشكل 7-2) وذلك لإفساح المجال للمزيد من جزيئات الهيموجلوبين. تلجأ خلايا الدم الحمراء بدون الميتوكوندريا إلى التنفّس اللاهوائي (التخمّر اللبني) لتحصل على الطاقة اللازمة.

لا تحتوي خلايا الدّم الحمراء على أنوية أو ميتوكوندريا أو شبكة إندوبلازمية ER، ولا تنقسم لتضاعف.

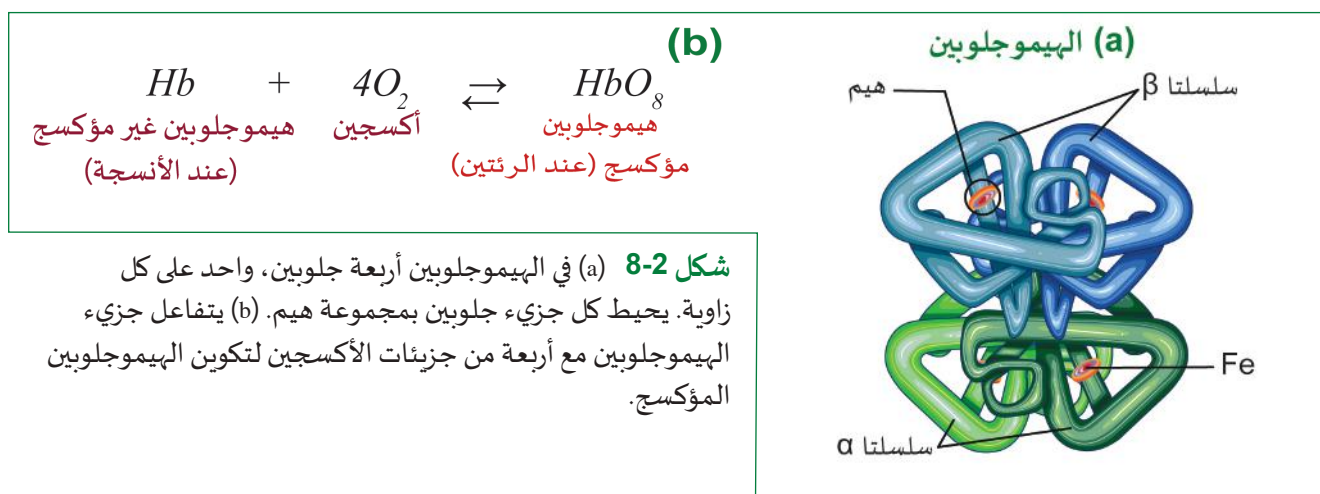


يجعل فقدان العضيات خلايا الدم الحمراء تفتقر إلى الآليات الخلوية المسؤولة عن بناء البروتينات والتضاعف. تعيش خلايا الدم الحمراء 120 يومًا تقريبًا. ويُقدّر أن الشخص يفقد 3 ملايين خلية دم حمراء ويعوّضها في كل ثانية.

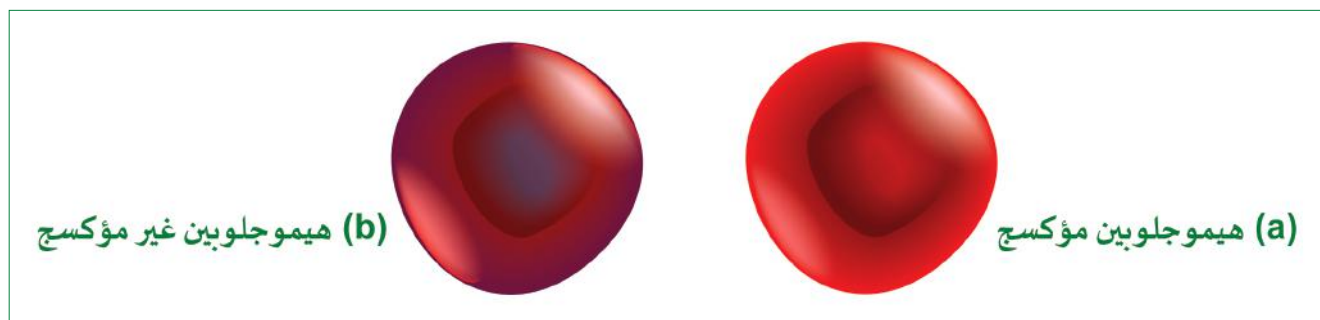
يتمّ إنتاج خلايا الدم في نخاع العظم الأحمر عن طريق خلايا جذعية. تتطوّر هذه الخلايا إمّا إلى خلايا دم بيضاء أو إلى خلايا دم حمراء أو إلى صفائح دموية، أو إلى شيء آخر عند تمايزها.

الهيموجلوبين وتبادل الغازات

إنّ وظيفة جزيء الهيموجلوبين هي الارتباط بالأكسجين وحمله ونقله من الرئتين وإطلاقه في أنسجة الجسم. الهيموجلوبين هو بروتين كروي كبير يتكوّن من أربع وحدات فرعية تتألّف من سلسلتي ألفا جلوبيّن وسلسلتي بيتا جلوبيّن، حيث تكون سلسلة ألفا أصغر قليلاً (141 حمضاً أمينياً) من سلسلة بيتا (146 حمضاً أمينياً). يحتوي كلّ جلوبيّن 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 الإنسان. يمكن لكلّ مجموعة هيم أن تربط جزيء أكسجين واحدًا (O_2). لذا، يمكن لجزيء الهيموجلوبين أن يحمل أربعة جزيئات من الأكسجين (الشكل 2-8b).



إنّ تفاعل الأكسجين مع الهيموجلوبين انعكاسي (الشكل 2-8b). في الرئتين يكون تركيز الأكسجين أعلى ممّا هو في الدم، فيميل التفاعل إلى تكوين HbO_8 لزيادة تركيز الأكسجين في الدم، ويكون لون خلايا الدم الحمراء المؤكسجة أحمر فاتح (الشكل 2-9a).

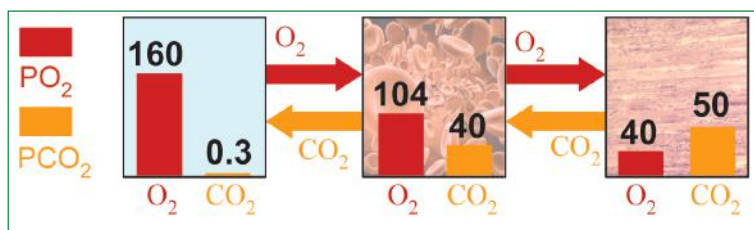


شكل 2-9 (a) الهيموجلوبين المؤكسج يحوّل لون خلايا الدم الحمراء إلى اللون الأحمر الفاتح. (b) عندما تفقد خلايا الدم الحمراء الأكسجين يصبح لونها غامقاً.

يكون تركيز الأكسجين في الأنسجة أقلّ من تركيزه في الدم. لذا، فإنّ التفاعل ينعكس لصالح التفكك: $HbO_8 \rightarrow Hb + 4O_2$ ، فيتحرر 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 تفكك الهيموجلوبين

	هواء الشهيق	الحويصلات الهوائية	الدم المؤكسج	الأنسجة	هواء الزفير
PO ₂	160	104	100	≤40	116
PCO ₂	0.3	40	40	≥50	32



الجدول 1-2 تركيز O₂ و CO₂ في هواء الشهيق والحويصلات الهوائية، والدم، وأنسجة الجسم عند الراحة.

تنتشر الغازات، مثل المذابات الأخرى، مع فرق التركيز كما هو موضح في الجدول 1-2. يُقاس تركيز O₂ و CO₂ بالضغط الجزئي (partial pressure) PO₂ و PCO₂ بوحدة ملليمتر زئبق mm Hg (الجدول 1-2). الضغط الجزئي للأكسجين في الهواء الخارجي PO₂ هو (160 mmHg) أما

الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون PCO₂ فهو (0.3 mmHg).

• في الدم المؤكسج يكون الضغط الجزئي للأكسجين 100 (PO₂=100)، والضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون 40 (PCO₂=40).

• في أنسجة الجسم يكون الضغط الجزئي للأكسجين أقل من أو يساوي 40 (PO₂ ≤ 40)، والضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون أكبر من أو يساوي 50 (PCO₂ ≥ 50).

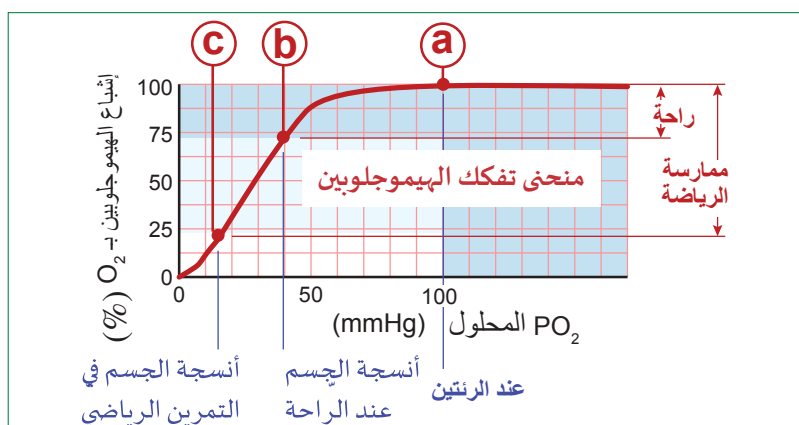
يسهل فرق الضغط انتشار الأكسجين (O₂) من الهواء في الحويصلات الهوائية (الرئتين) إلى الدم غير المؤكسج، وكذلك من الدم المؤكسج إلى أنسجة الجسم، أما فرق الضغط المقابل فيسهل انتشار ثاني أكسيد الكربون (CO₂) من أنسجة الجسم إلى الدم ثم إلى الهواء في الحويصلات الهوائية ليخرج بعد ذلك من الرئتين بالزفير.

يمثل (الشكل 10-2) منحنى تفكك الهيموجلوبين. يُظهر المنحنى العلاقة بين الضغط الجزئي للأكسجين PO₂ ومستوى إشباع الهيموجلوبين بالأكسجين. ويمكن أن نستنتج منه ما يأتي:

a. في الرئتين، يكون الضغط الجزئي للأكسجين ≤ 100 (PO₂ ≥ 100 mmHg) ويصبح الهيموجلوبين مشبعًا بالأكسجين بنسبة 100 %.

b. في الأنسجة، يكون الضغط الجزئي للأكسجين 40 (PO₂ = 40 mmHg). تنخفض نسبة إشباع الهيموجلوبين بالأكسجين إلى 70 %، فيتحرر الأكسجين.

c. تستهلك التمارين الرياضية الأكسجين في الأنسجة حتى يصبح الضغط الجزئي للأكسجين أقل من 20 mm Hg PO₂ < 20، فيطلق الهيموجلوبين كمية أكبر من الأكسجين لأن نسبة إشباع الهيموجلوبين بالأكسجين تكون 20 % فقط.



شكل 10-2 منحنى تفكك الهيموجلوبين.

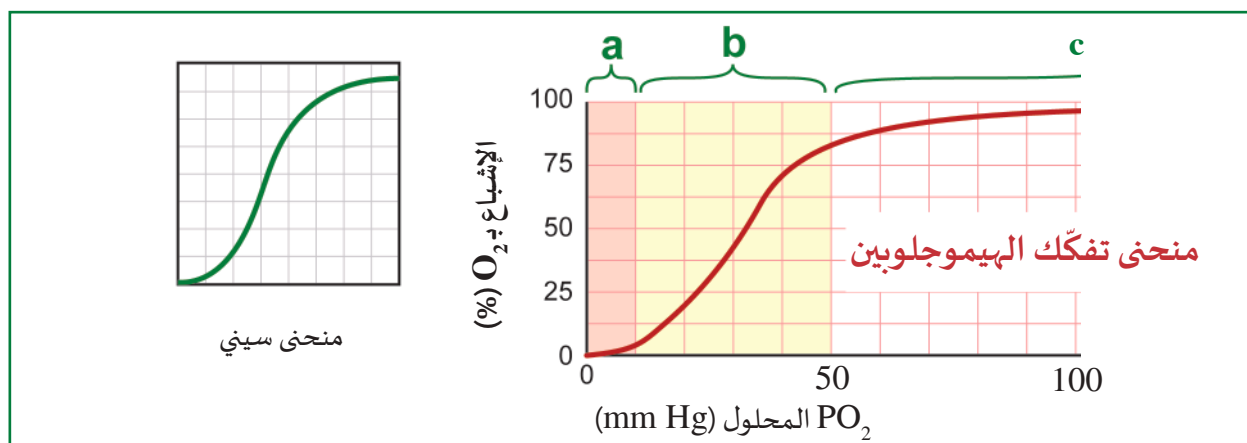
فهم منحنى تفكك الهيموجلوبين

منحنى تفكك الهيموجلوبين له شكل سيني، ما يعني أن ميله ليس ثابتاً (الشكل 11-2).

a. في الجزء الأول من المنحنى ($PO_2 < 10$ mmHg) يكون الميل صغيراً ومعدل ارتباط Hb بالأكسجين بطيئاً.

b. في الجزء الثاني ($PO_2 < 50$ mmHg) يزداد الميل، ما يعني أن معدل ارتباط Hb بـ O_2 يزداد بشدة.

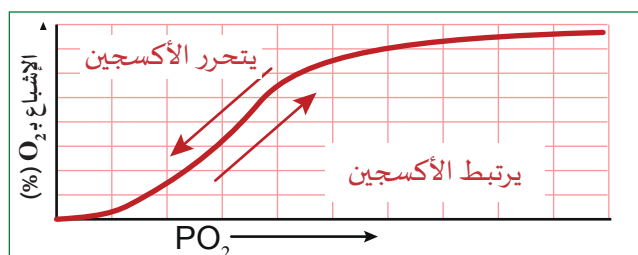
c. في الجزء الأخير من المنحنى ($PO_2 > 50$ mmHg)، تكون نسبة إشباع Hb مرتفعة ومعدل ارتباط الهيموجلوبين بالأكسجين يبقى ثابتاً تقريباً، وذلك واضح من الميل.



شكل 11-2 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 مرتفعاً في السائل المحيط. لذلك يرتبط الهيموجلوبين بالأكسجين في الرئتين بسهولة ويصل إلى الإشباع.
- تنخفض قابلية ارتباط الهيموجلوبين بالأكسجين عندما يكون PO_2 منخفضاً في السائل المحيط. في أنسجة الجسم، يكون PO_2 منخفضاً، لذا، فإنّ إشباع الهيموجلوبين بالأكسجين ينخفض، وهذا يسبب تحرّر الأكسجين من الهيموجلوبين في الأنسجة.



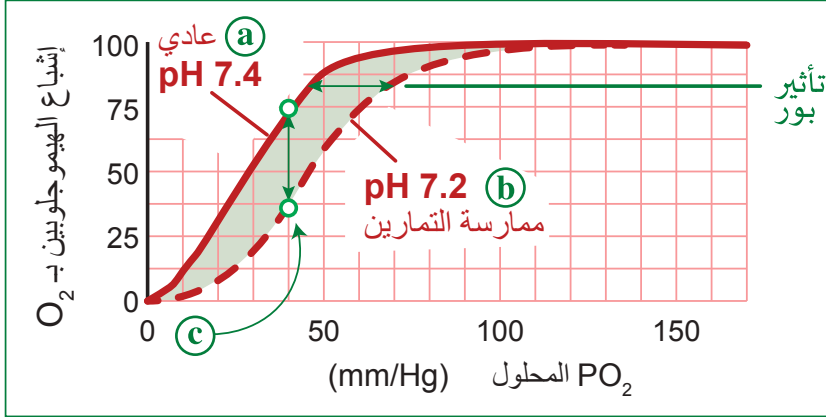
شكل 12-2 تدفق الأكسجين إلى ومن الهيموجلوبين.

يمكننا معرفة اتجاه نقل الأكسجين من وإلى الهيموجلوبين من منحنى تفكك الهيموجلوبين. يزداد الارتباط بالأكسجين بزيادة قيم PO_2 ، ويزداد تحرر الأكسجين بانخفاض قيم PO_2 .

الاستجابة الفسيولوجية: تأثير بور

يستخدم الجسم الرقم الهيدروجيني pH كإشارة كيميائية لإطلاق المزيد من O_2 من الهيموجلوبين أثناء التمارين الرياضية.

a. عند الرقم الهيدروجيني للدم $pH = 7.4$ ، يحتفظ الهيموجلوبين بـ 70 % O_2 في أنسجة الجسم ويكون الضغط الجزئي للأكسجين $PO_2 = 40$ mm Hg.



b. تنتج التمارين الرياضية ثاني أكسيد الكربون الذي يتحول إلى حمض الكربونيك الذي يخفض الرقم الهيدروجيني للدم pH إلى 7.2. عندما يكون pH الدم 7.2، يزداد تحرر الأكسجين، فيتحرك منحنى تفكك الهيموجلوبين إلى الأسفل وإلى اليمين (الشكل 13-2).

c. الهيموجلوبين الذي يمرّ عبر الأنسجة حيث الضغط الجزئي للأكسجين $PO_2 = 40$ mmHg يحتفظ بنسبة 40 % من الأكسجين عند $pH 7.2$ من أصل 70 % عندما كان pH الدم 7.4. الـ 30 % من الأكسجين الفائضة (40 % - 70 %) تتحرّر في الأنسجة. تُسمّى ظاهرة تحرّك منحنى الإشباع بسبب تغير الرقم الهيدروجيني للدم **تأثير بور Bohr shift**. يزيد تأثير بور بشكل كبير من كفاءة نقل الأكسجين أثناء ممارسة التمارين الرياضية.

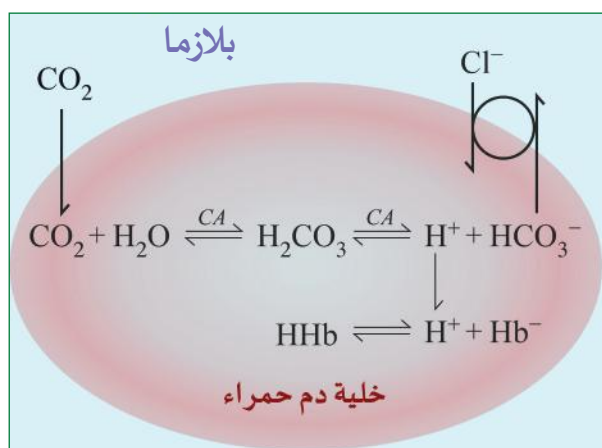
العوامل الأخرى التي يمكن أن تسبّب تأثير بور تجملها كلمة (CADET)، والتي تعني ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، وزيادة الحموضة (Acidity)، وإنتاج مركب (2,3-DPG)، والتمارين الرياضية (Exercise)، وزيادة درجة الحرارة (Temperature). ترتبط جميع هذه العوامل بعضها ببعض من خلال التنفّس الهوائي. يمتاز المركّب (2,3-DPG (2,3-diphosphoglycerate) بالانجذاب العالي نحو الهيموجلوبين غير المؤكسج (في أنسجة الجسم) أكثر من الهيموجلوبين المؤكسج (في الرئتين). تؤديّ الزيادة في 2,3-DPG إلى تحرير المزيد من الأكسجين من الهيموجلوبين عبر تقليل انجذاب الهيموجلوبين للأكسجين. تُنتج 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 التكيّفية 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، فإنّ تشبع الهيموجلوبين ينخفض بنسبة 3 % فقط ليصبح 97 %.

نقل ثاني أكسيد الكربون

غاز CO_2 هو غاز صغير الحجم، وهو سام يجب التخلص منه باستمرار. ينتقل غاز CO_2 في الجسم وفق فرق تركيزه عن طريق الدم من ضغط جزئي عالٍ في الأنسجة إلى ضغط منخفض في الرئتين. إلا أنّ ذائبية CO_2 القليلة في الماء تحدّ من انتشاره في بلازما الدم. لذا، فإننا نجد أنّ جسم الإنسان قد طور آليات مختلفة لنقل غاز CO_2 . يتمّ نقل غاز CO_2 بثلاث طرائق: 5 % من ثاني أكسيد الكربون ينقل ذائب في البلازما، 10 % منه ينتقل مرتبط بالهيموجلوبين لتكوين مركب معقد يسمى كاربامينو هيموجلوبين، و 85 % منه ينتقل ذائب في البلازما على شكل أيونات البيكربونات.

في أنسجة الجسم ينتشر CO_2 من خلايا الجسم إلى البلازما ومن ثم إلى داخل خلايا الدم الحمراء. تحتوي خلايا الدم الحمراء على إنزيم **كاربونيكا انهايديرز (Carbonic anhydrase CA)**. يعمل إنزيم الكاربونيكا انهايديرز على تسريع التفاعل بين CO_2 والماء لتكوين حمض الكاربونيكا (H_2CO_3) والذي يتفكّك إلى H^+ وبيكربونات (HCO_3^-) كما في المعادلة الآتية: .

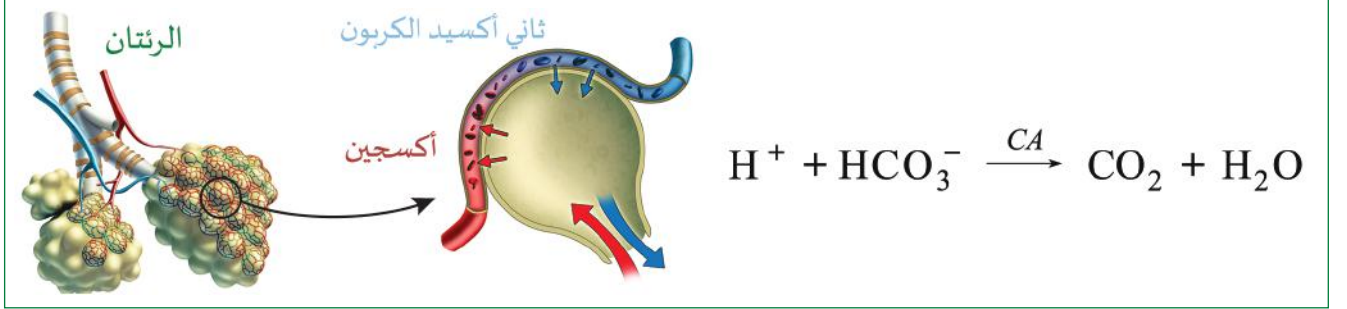


شكل 14-2 إزاحة الكلوريد.

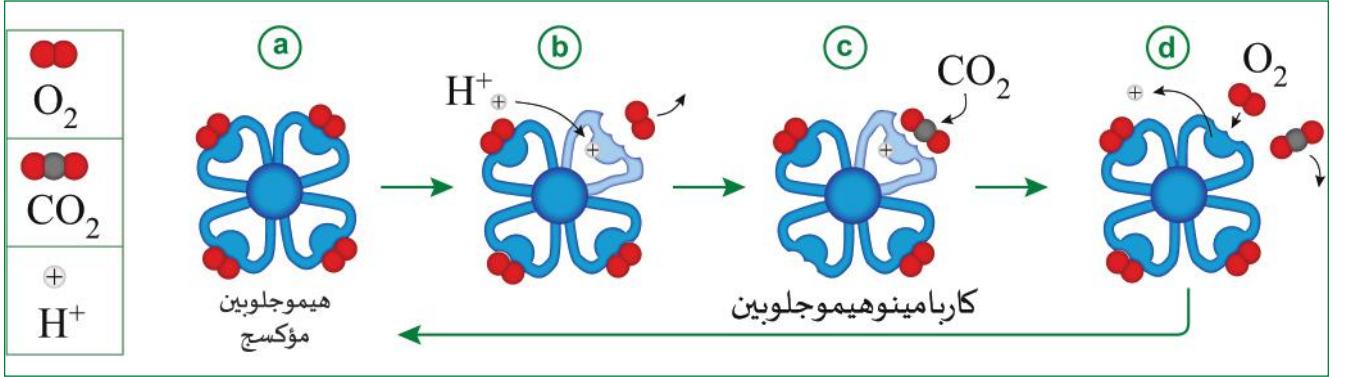
تغادر أيونات البيكربونات السالبة خلايا الدم الحمراء إلى بلازما الدم بالانتشار، ويؤدي خروجها إلى حدوث خلل في التوازن الكهربائي على جانبي الغشاء البلازمي لخلايا الدم الحمراء، ولإعادة التوازن ينتقل أيون الكلور السالب (Cl^-) إلى داخل خلايا الدم الحمراء، وتسمى هذه العملية إزاحة الكلوريد. (الشكل 14-2). لا تستطيع أيونات الهيدروجين H^+ البقاء في البلازما لأنّ ذلك سيزيد حموضة الدم، لذا يتم ربطها بجزيئات الهيموجلوبين.

إزالة ثاني أكسيد الكربون من الرئتين

انخفاض تركيز ثاني أكسيد الكربون في الرئتين يدفع انزيم كربونيك انهيدريز (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 ليشكل حمض الكربونيك. يكسر انزيم كربونيك انهيدريز (CA) حمض الكربونيك إلى H_2O و CO_2 (الشكل 2-15). ثم ينتقل ثاني أكسيد الكربون من خلايا الدم الحمراء مع فرق التركيز إلى بلازما الدم، ومنها إلى الهواء الموجود في الحويصلات الهوائية ثم يغادر الجسم مع هواء الزفير.

شكل 2-15 نقل CO_2 من خلال بايكربونات في الرئتين.

ترتبط دورة CO_2 وأيون البايكربونات HCO_3^- ارتباطاً وثيقاً بتأثير بور. عند ممارسة الرياضة، يزداد معدل التنفس الخلوي ويزداد بالتالي معدل إنتاج CO_2 . يقوم انزيم كربونيك انهيدريز (CA) بتحويل CO_2 إلى بايكربونات و H^+ فيصبح الدم أكثر حموضة وتنخفض pH الدم. يعمل الدم على معادلة الحموضة عن طريق التخلص من H^+ الزائدة عن طريق ربطها بالهيموجلوبين.



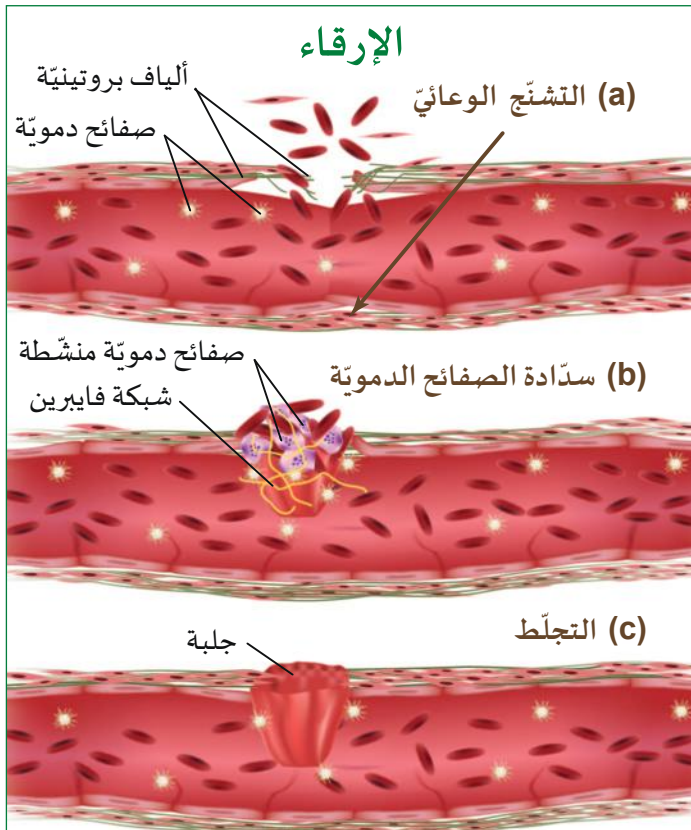
شكل 2-16 تأثير هالدين.

إن ارتباط أيونات H^+ بالهيموجلوبين يؤدي إلى تغييرات في هيكل بروتين الهيموجلوبين (الشكل 2-16b)، ما يقلل من انجذابه للأكسجين مسبباً تأثير بور. وبدلاً من الأكسجين، يبدأ الهيموجلوبين بالارتباط بثاني أكسيد الكربون (الشكل 2-16c) لتشكيل مركب معقد يُسمى كاربامينوهيموجلوبين. هذه الظاهرة تعرف باسم **تأثير هالدين Haldane Effect**. كاربامينوهيموجلوبين مسؤول عن حمل 10 % من CO_2 تقريباً. عندما يصل الدم إلى الرئتين، ينفصل ثاني أكسيد الكربون عن الهيموجلوبين (الشكل 2-16d). بمجرد فصل H^+ و CO_2 ، يستعيد الهيموجلوبين قدرته على الارتباط بالأكسجين مرة أخرى (الشكل 2-16a).

الصفائح الدموية والإرقاء

الصفائح الدموية هي قطع من خلايا دموية موجودة دائماً في الدم. لا تصبح الصفائح نشطة إلا عندما تحتاج جُدر الأوعية الدموية إلى الترميم. تُسمى عملية وقف نزيف الدم مؤقتاً لإصلاح الضرر **الإرقاء Hemostasis**، أو تخثر الدم.

يحدث الإرقاء من خلال أحد مسارين: تَلَف الوعاء الذي قد تسببه صدمة خارجية، أو عندما تتمزق بطانة الوعاء نتيجة عوامل داخلية، مثل المرض أو العمر أو ضعف الدورة الدموية بسبب الجلوس لوقت طويل.



شكل 17-2 يشمل الإرقاء (a) التشنج الوعائي، (b) تكوين سدادة الصفائح الدموية، (c) التجلط.

الإرقاء عملية من ثلاث خطوات، يبدأ الإرقاء عندما تلامس بلازما الدم ألياف البروتين التركيبي على السطح الخارجي للأوعية الدموية. الخطوات الثلاث للإرقاء هي:

a. التشنج الوعائي Vascular Spasm، وهو تقلص فوري للعضلات الملساء في الأوعية الدموية لتضييق الوعاء الدموي وتقليل تدفق الدم (الشكل 17-2a).

b. تكوين مؤقت لسدادة الصفائح الدموية Platelet plug لأن الصفائح الدموية المنشطة تصبح لزجة، فتتجمع على شكل كتلة مع ألياف بروتينية متكونة حديثاً تُسمى **الفايبرين Fibrin** لإبطاء تسرب الدم (الشكل 17-2b).

c. في مرحلة التجلط clotting، تتجمد السدادة التي تنتج عن شبكة متصلبة

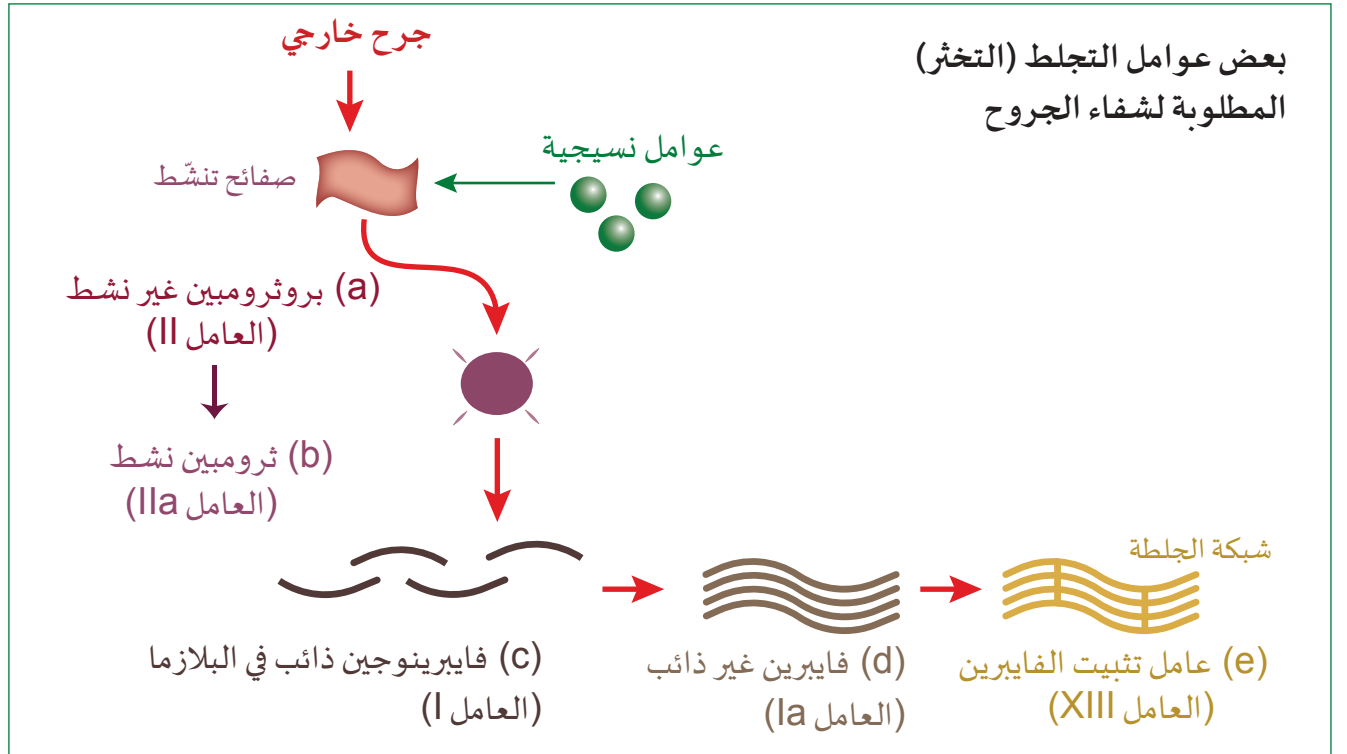
(الشكل 17-2c). وفي الوقت الذي تتصلب فيه الشبكة، يُحوّل الجزء السائل من الدم سدادة الصفائح الدموية إلى مادة جيلاتينية تبقى مدة طويلة لضمان استقرار الخثرة. وتبدأ عملية شفاء الأنسجة. تتحوّل المادة الجيلاتينية ومادة الجلطة عند تعرضهما للهواء إلى **جلبة (قشرة الجرح) Scab** واقية.

هل أصبت في السابق
بجرح استغرق وقتاً طويلاً
ليكون جلبة؟ لماذا يؤثر
عمق الإصابة في طول
مدة شفاؤها؟

الأحداث المتعاقبة في التخثر

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

هناك ثلاثة عشر عاملاً معروفاً للتخثر تفرزها الصفائح الدموية أو الكبد، وتنطلق بترتيب معيّن لإنتاج الأحداث المتعاقبة في التخثر. تظهر بعض هذه العوامل مع أسمائها وأرقامها الرومانية الأصلية في (الشكل 2-a18-d).



شكل 2-18 خطوات الأحداث المتعاقبة في التخثر.

يمكن تلخيص الأحداث المتعاقبة في التخثر بأربع خطوات:

1. يتمّ تنشيط الصفائح الدموية بعوامل نسيجية (tissue factors TF).
2. تعمل الصفائح الدموية النشطة على تحويل البروثرومين إلى ثرومين نشط من خلال سلسلة من التفاعلات.
3. يُنشّط الثرومين بببتيدات 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 تدفق الدم الطبيعي. يتمّ ذلك بمساعدة الإنزيمات التي تستهدف البروتينات المختلفة في الجلطة.

الدورة الدموية والدورة اللمفاوية

يتكوّن جهاز الدوران **Circulatory system** فعلياً 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. للجهاز اللمفاوي ثلاث وظائف:

ماهي أجهزة الجسم
الثلاثة الأخرى
المرتبطة بوظيفة
الجهاز اللمفاوي؟

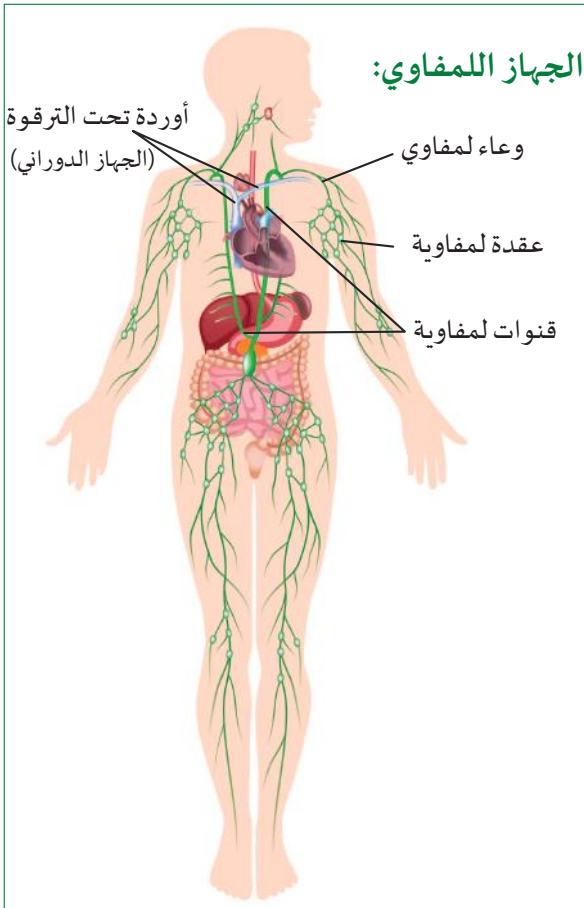


1. إعادة السوائل والبروتينات التي تمّ ترشيحها إلى الدم باستخدام الأوعية اللمفاوية وحركات الجسم.
2. احتجاز وتدمير مسببات الأمراض الموجودة في الدم.

3. نقل الدهون الممتصة 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 19-2). تنقل الأوعية اللمفاوية السوائل، 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، فإنّ الأوعية اللمفاوية تحمل السائل إلى القنوات الليمفاوية التي تفرغ السائل في الوريدين الأيمن والأيسر تحت الترقوة. يعمل الجهاز اللمفاوي على إعادة 15% من السائل النسيجي إلى مجرى الدم لئلا يتراكم ويسبّب حالة مرضية تُسمّى الاستسقاء (Edema). يحتوي اللمف أيضاً على خلايا الدم البيضاء والدهون والفيتامينات الدهنية.



شكل 19-2 تجمع الأوعية اللمفاوية السوائل من الأنسجة المحلية في العقدة، وتنقلها إلى أعلى عبر قنوات تؤدي إلى وريدين تحت الترقوة.

السائل النسيجي

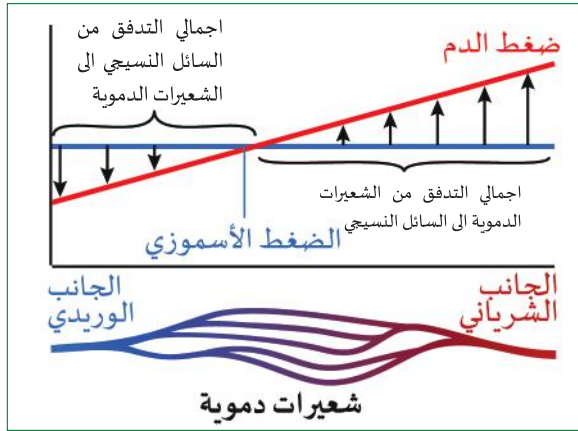
يُسمّى السائل الخارج خلوي الذي يتوزّع بين خلايا الجسم **السائل النسيجي (ISF)** **Interstitial fluid**. يشبه السائل النسيجي بلازما الدم، لكنه يحتوي على جزيئات بروتين أقلّ، وليس فيه خلايا دم حمراء. يملأ السائل النسيجي الفراغات التي تحيط بالشعيرات الدموية بين الأنسجة.

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. يمدّ هذا السائل 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.



شكل 20-2 تدفق السوائل في ومن خلال الجدران الشعيرية.

يتكوّن السائل النسيجي من السائل المنتشر إلى خارج مجرى الدم تحت تأثير قوتين متضادتين هما ضغط الدم والضغط الأسموزي (الشكل 20-2).

- يعرف ضغط الدم بأنه ضغط الدم الهيدروستاتيكي على جُدر الأوعية الدموية. يعمل ضغط الدم على دفع الماء والمواد المذابة من مجرى الدم إلى السائل النسيجي.

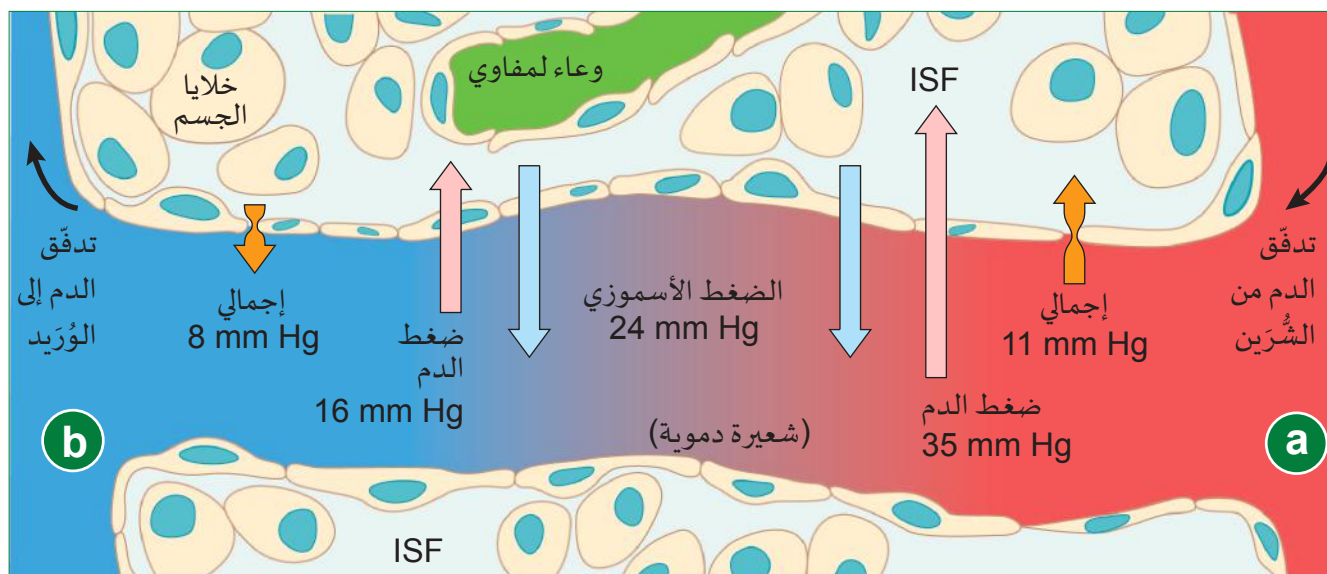
- الضغط الأسموزي هو الضغط المطلوب لوقف الخاصية الأسموزية. يزداد هذا الضغط مع ازدياد تركيزات الأملاح والبروتينات والمواد الأخرى في المحلول.

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 21-2) 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

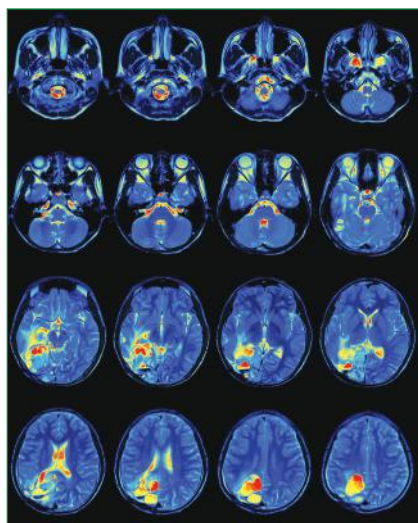
- في الجانب الشرياني للشعيرات الدموية يكون ضغط الدم أعلى من الضغط الأسموزي. يندفع الماء والمواد الذائبة كالأكسجين والجلوكوز والأملاح خارج مجرى الدم إلى السائل النسيجي. وتخرج أيضًا الأحماض الأمينية والأحماض الدهنية والهرمونات وبعض خلايا الدم البيضاء إلى السائل النسيجي (الشكل 2-21a).



شكل 2-21 (a) يأخذ السائل النسيجي الماء والمواد من الجانب الشرياني للشعيرات الدموية. (b) تتم إعادة امتصاص السائل من الجانب الوريدي.

- أمّا في الجانب الوريدي من الشعيرات الدموية، فإنّ 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 2-21b).

السائل النسيجي في الدماغ

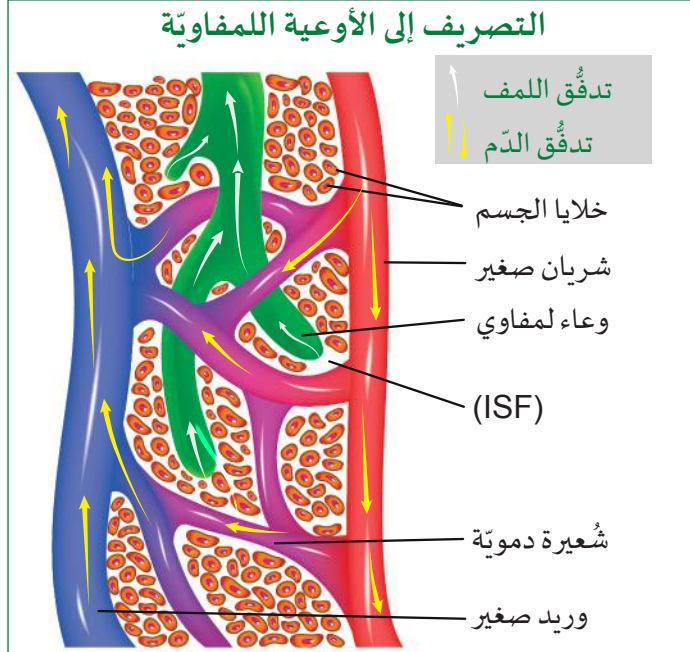


يحتوي الدماغ على ما يقدر بـ 86 مليار خلية عصبية محاطة كلها بالسائل النسيجي. تحاول الأبحاث حاليًا استقصاء وجود رابط بين مرض الزهايمر والسائل النسيجي في الدماغ. ويشكل وجود تراكمات تُسمّى لويحات أميلويد-بيتا (Aβ) إشارة إلى مرض الزهايمر. تذوب المركّبات التي ستتحول إلى لويحات أميلويد في السائل النسيجي. يدور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

شكل 2-22 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. تتم إعادة امتصاص 85 % من السائل النسيجي تقريبًا من الجانب الوريدي للشُعيرات الدموية، أمّا 15 % المتبقية فتدخل إلى الأوعية اللمفاوية لتعود إلى مجرى الدم عبر القنوات اللمفاوية (الشكل 2-23).



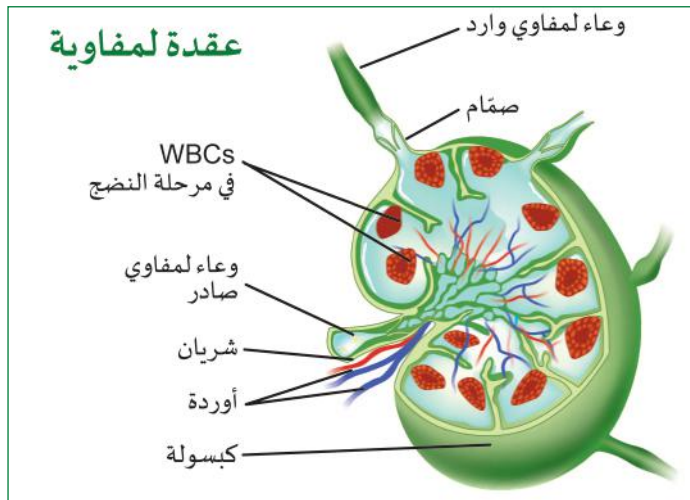
شكل 2-23 حوالي 15 % من السائل النسيجي يدخل الأوعية اللمفاوية ليصبح لمفًا يعود إلى مجرى الدم ومنه إلى القلب.

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.

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



العقد اللمفاوية (إثرائي)



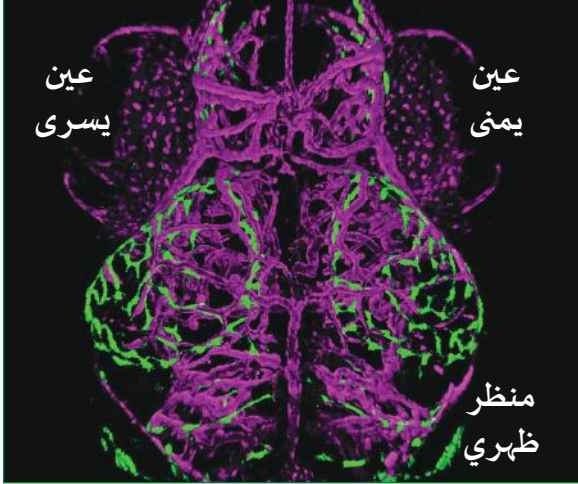
شكل 2-24 تعمل العقد اللمفاوية على تصفية اللمف وتطلق خلايا دم بيضاء ناضجة للحماية من العدوى.

يزداد حجم الأوعية اللمفاوية تدريجيًا حتى تصل إلى تراكيب موضعية على شكل حبة الفاصوليا. هذه التراكيب تُسمّى **العقد اللمفاوية Lymph nodes** (الشكل 2-24). تساعد العقد 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 عقدة. تساعد خلايا الدم البيضاء على حماية الجسم من الإصابة، وستجري مناقشة ذلك في الوحدة 7.

1.  عدّد مكونات دم الإنسان ووصفها.
2.  استخدم السؤال السابق لإنشاء مخطّط دائري يعكس نسبة كلّ مكون في عيّنة الدم بشكل صحيح. يمكنك استخدام منقّلة 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 كالميتوكوندريا خلايا الدم الحمراء على أداء وظائفها الرئيسة بفعالية.
7.  * ارسم تركيب الهيموجلوبين.
 - a. عيّن ذرّة الحديد ولوّنها باللون البرتقالي.
 - b. ميّز بين سلسلة بروتين ألفا وسلسلة بروتين بيتا باستخدام لونين مختلفين واكتب اسميهما.
8.  ما هو الجزء من جسم الإنسان الذي فيه نسبة إشباع الهيموجلوبين تساوي 70 % تقريبًا؟
9.  * أيّهما أعلى: تركيز ثاني أكسيد الكربون في الدم أم تركيز ثاني أكسيد الكربون في أنسجة الجسم؟ قدّم 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 التخثر. ضمّن مخطّطك 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، ووصف مساراتها على مستوى الشُعيرات الدموية.

الدرس 2-2

الجهاز القلبي الوعائي The Cardiovascular System



شكل 25-2 الدورة الدموية (أرجواني) في دماغ جنين أسماك الزيربا.

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

أسماك الزيربا Zebrafish نموذج عن الكائنات الحية التي يستخدمها كثير من العلماء الذين يدرسون الجهاز الدوراني، لأنّ أجسام هذه الحيوانات شفافة، ما يجعل ملاحظة الجهاز الدوراني سهلاً للغاية، لا سيّما وأنّ البحث يجب أن يتمّ في الكائنات الحية.

المفردات



Cardiac cycle	الدورة القلبية
Diastole	الانقباض
Systole	الانقباض
Sinoatrial node	العقدة الجيبية الأذينية
Atrioventricular node (AV node)	العقدة الأذينية البطينية
Bundle of His	حزمة هيس
Purkinje fibers	ألياف بيركنجي
Electrocardiogram (ECG)	تخطيط القلب الكهربائي
Fibrillation	الرجفان
Defibrillator	مزيل الرجفان

مخرجات التعلّم

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

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

B1204.3 يعرف تخطيط القلب الكهربائي (ECG) كاختبار يستخدم للتحقق من الإيقاع والنشاط الكهربائي للقلب، ويتم ربط مستشعرات بالجلد وتسجيل النشاط الكهربائي للقلب أثناء نبضه.

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

الجهاز القلبي الوعائي

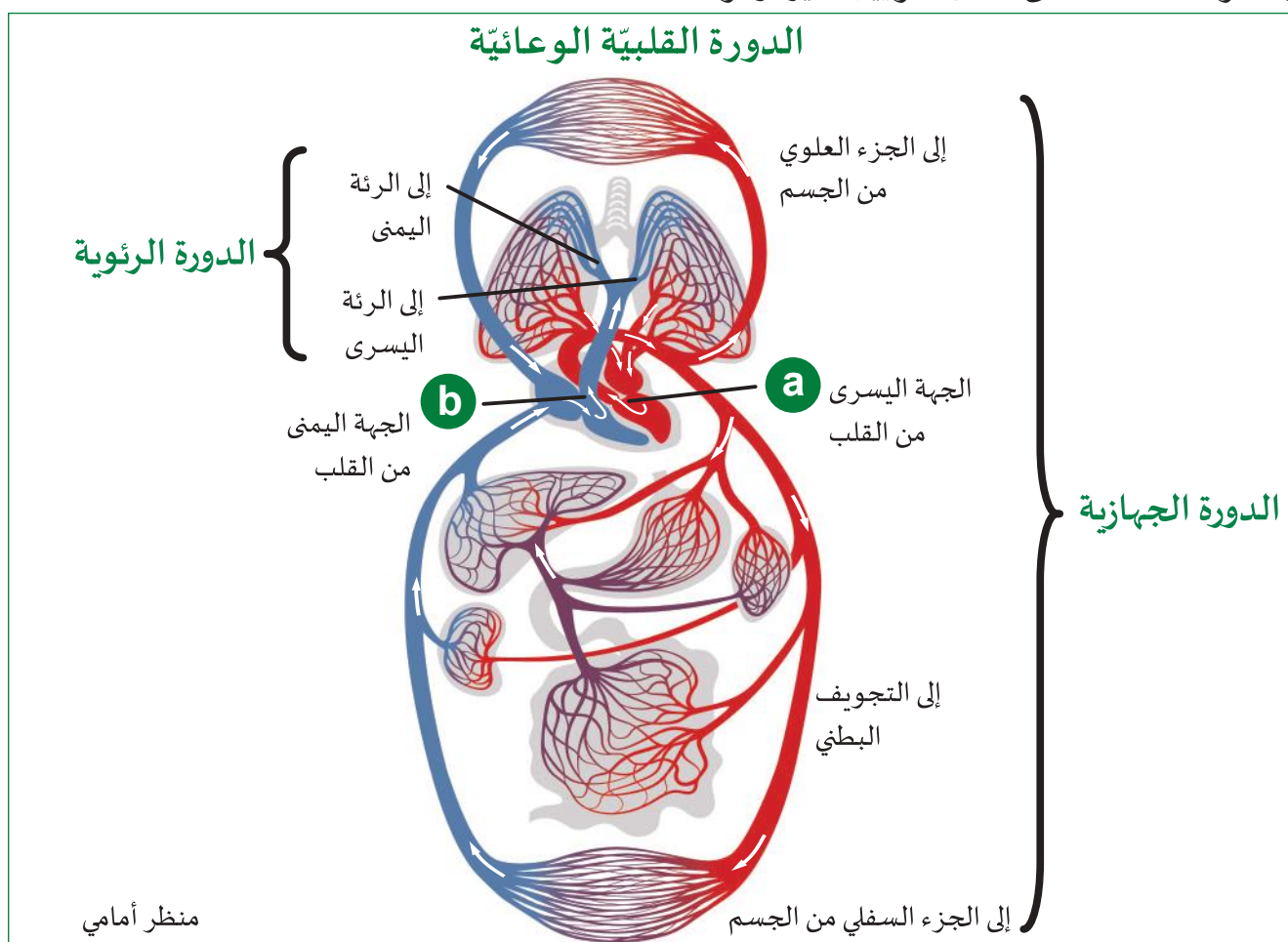
يتكوّن الجهاز القلبي الوعائي في الإنسان من القلب والأوعية الدموية التي تنقل الدم. تشمل المواد التي ينقلها هذا الجهاز خلايا وقطعًا من الخلايا، ومواد غذائية، وغازات، ومعادن ذائبة، وهرمونات، وفضلات. يستخدم القلب مساريّن مختلفين لدوران الدم (الشكل 2-25).

الدورة الدموية الرئوية (الصغرى)

يخرج الدم من البطين الأيمن للقلب بوساطة الشريان الرئوي وهو دم غير محمل بالأكسجين، ولدى وصوله إلى الرئتين يتخلص من ثاني أكسيد الكربون ويحمل بالأكسجين، ثم يعود عبر الوريد الرئوي ليصب في الأذين الأيسر للقلب. (الشكل 2-26b). هذه الدورة أقصر بكثير من الدورة الأخرى. حجم الدم في هذه الدورة هو 10 % تقريبًا من الدورة الدموية الكلية، وأوعيتها الدموية أرق.

الدورة الدموية الجهازية (الكبرى)

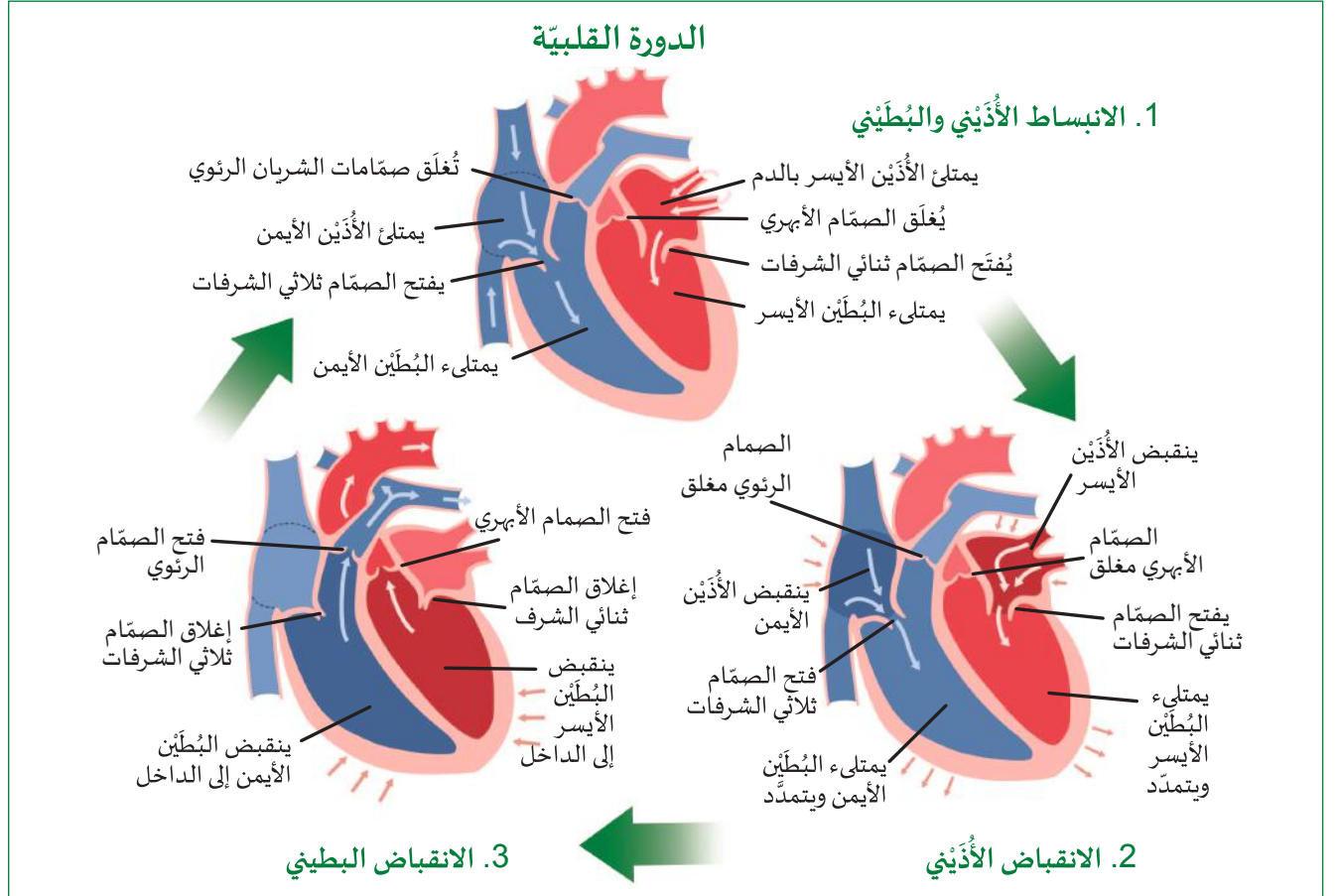
ينتقل الدم المؤكسج إلى جميع أنحاء الجسم في مسار واحد (الشكل 2-26a): يضخّ البطين الأيسر من القلب الدم إلى بقية الجسم. عبر الشريان الأبهر، وينتقل في اتجاهين، صعودًا إلى الدماغ ونزولًا إلى البطن والأطراف السفلية من خلال شرايين كبيرة ومرنة.



شكل 2-26 (a) تبدأ الدورة الدموية الجهازية من الجانب الأيسر من القلب الذي يضخّ الدم المؤكسج إلى جميع أعضاء الجسم. (b) يضخّ الجانب الأيمن من القلب الدم غير المؤكسج إلى الرئتين.

الدورة القلبية

تشرح **الدورة القلبية Cardiac cycle** التسلسل الكامل للأحداث في القلب من بداية دقّة إلى بداية الدقّة التالية. تُسمّى مرحلة الاسترخاء التي يمتلئ فيها القلب بالدم **الانبساط Diastole**. ثم تمرّ الحجرات بفترة تقلص تُسمّى **الانقباض Systole** لضخّ الدم إلى الجسم.



شكل 2-27 يكرّر القلب الدورة القلبية 70 مرة في الدقيقة تقريباً.

تتضمّن كلّ دقة من دقات القلب انقباضاً وانبساطاً، ولكنّها تحدث على مراحل، كما يظهر في (الشكل 2-27).

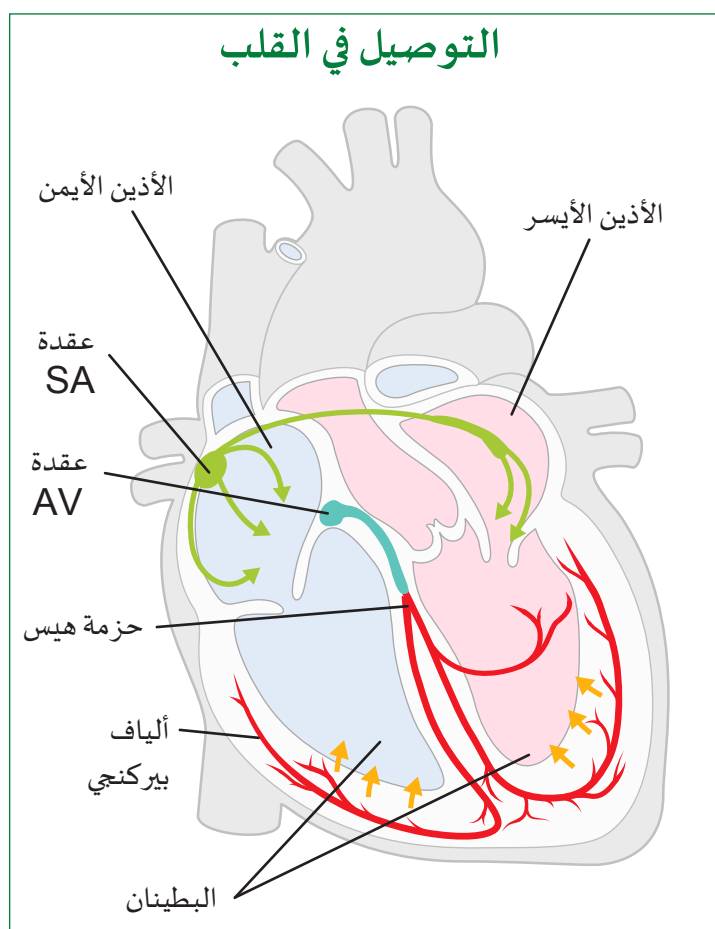
1. في بداية الدورة، يكون الصمام الرئوي والصمام الأبهري مغلقين، ويكون الصمام ثلاثي الشرفات والصمام ثنائي الشرفات مفتوحين. ينبسط القلب ويتمدد، فيدخل الدم إلى الأذنين ثم إلى البطينين على جانبي القلب وتستمرّ مرحلة الانبساط الكلي 0.4 ثانية تقريباً.

2. يتمّ تحفيز العضلات في جدر الأذنين للانقباض بقوة كافية لإرسال الدم إلى البطينين من خلال الصمامين ثلاثي وثنائي الشرفات. يُسمّى هذا الانقباض الأذيني *atrial systole* وتستغرق هذه المرحلة 0.1 ثانية.

3. ينقبض البطينان في مرحلة الانقباض البطيني *ventricular systole*. تضغط عضلات جداريهما الدم إلى الداخل، فيغلق الصمامان ثلاثي وثنائي الشرفات. ويُفتح كلا الصمامين الرئوي والأبهري. تستغرق هذه المرحلة 0.3 ثانية ويُجبر الدم على التدفق خارج البطينان.

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 دقات القلب في الأذنين الأيمن. **إنّه العقدة الجبّية الأذينية Sinoatrial node (SA node)**، وهي كتلة من نسيج قلبي متخصص في جدار الأذنين الأيمن. تطلق هذه الكتلة تياراً كهربائياً يدقّ القلب وفقاً له في كلّ دورة قلبية (الشكل 2-28).



شكل 2-28 عقدة SA وعقدة AV يتحكمان في إيقاع الأذنين والبطينين..

كما هو الحال في كلّ الخلايا، فإنّ السيتوبلازم في خلايا عضلة القلب له شحنة سالبة بالمقارنة مع محيطها. تبدأ كلّ دقة قلب بخلايا متخصصة في العقدة الجبّية الأذينية.

1. **العقدة الجبّية الأذينية (SA node)**، أو الناضمة القلبية، تبدأ بتفريغ كهربائي لكلّ الألياف العضلية المجاورة للأذنين. تجتاح الموجة الصغيرة من التيار عضلات الأذنين، فينقبضان.

2. عندما يصل هذا التيار إلى منطقة معزولة من نسيج ضامّ بين الأذنين والبطينين، تلتقطه **العقدة الأذينية البطينية Atrioventricular node (AV node)**. تؤخّر العقدة AV التيار عن عضلات البطينين لكي ينقبضا بعد الأذنين.

3. يتمّ توصيل العقدة الأذينية البطينية

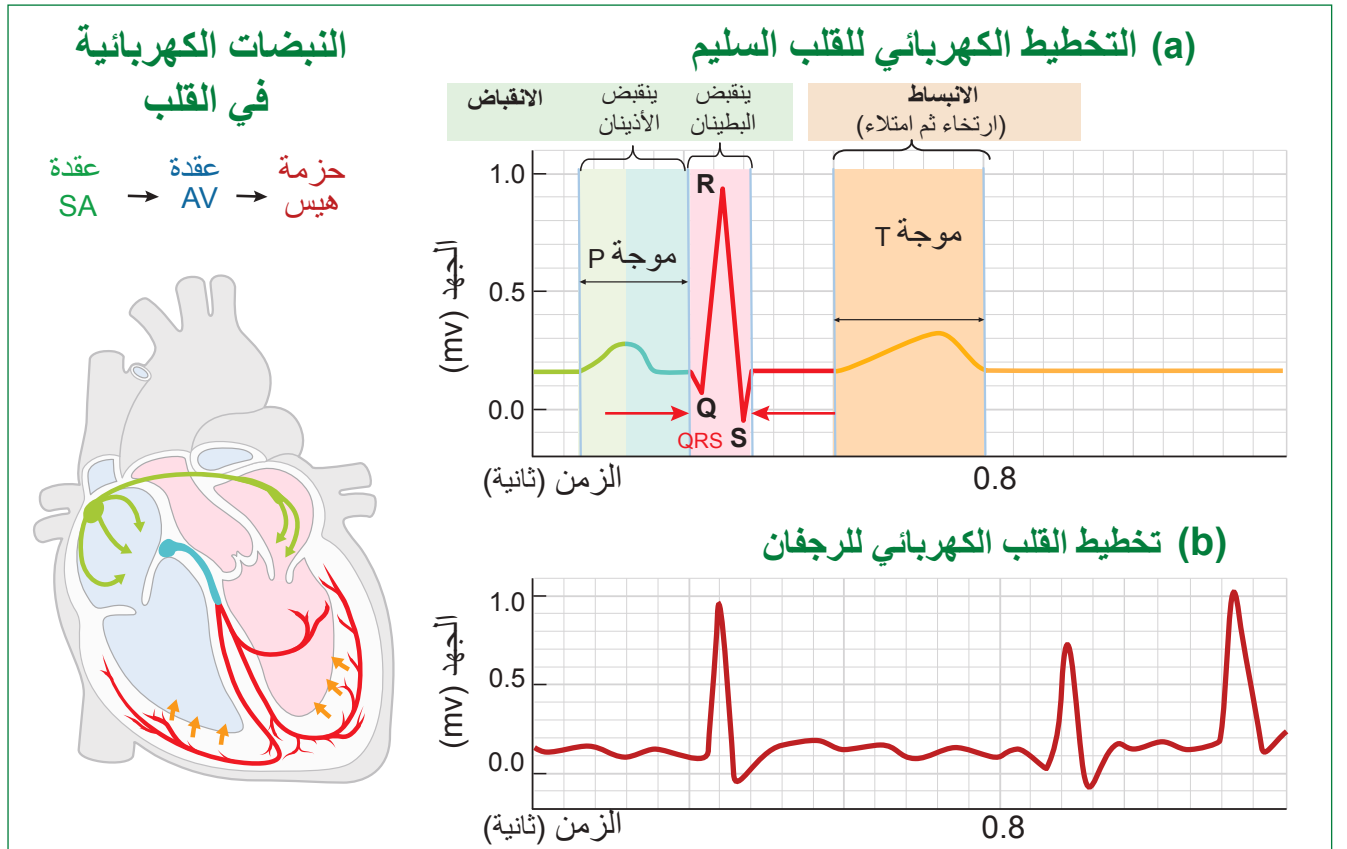
بكلّ البطينين بحزمة خاصة من ألياف عضلية قلبية في الجدار الذي يفصل بين الحجرات الأربع، وتُعرف تلك الحزمة باسم **حزمة هيس Bundle of His**. تمتدّ الحزمة نزولاً في الجدار إلى سلسلة من الألياف المتفرّعة التي تتخلل جُدُر كلا البطينين وتُسمّى **ألياف بيركنجي Purkinje fibers**. تضمن هذه الألياف الاندفاعات الكهربائية في ألياف عضلات البطينين لينقبضا إلى أعلى.

4. أثناء إعادة شحن العقدة الجبّية الأذينية، تسترخي عضلات القلب (الانقباض) وتتمّ إعادة ملء كل الحجرات بالدم.

تخطيط القلب الكهربائي والدورة القلبية

يمكن الكشف عن النشاط الكهربائي للقلب وإيقاعه بواسطة أقطاب كهربائية توضع على السطوح المتقابلة للصدر والأطراف. يُعطي تحليل **تخطيط القلب الكهربائي** (Electrocardiogram أو ECG) 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 ثانية تقريباً، ويستغرق الانبساط الكلي للحجرات 0.4 ثانية تقريباً. إنّ تقسيم انتشار النشاط الكهربائي في القلب إلى فترات زمنية يكشف عن ثلاث موجات محدّدة تشكّل تخطيط القلب الكهربائي وهي: الانقباض الأذيني، والانقباض البطيني، والانبساط الأذيني والبطيني. وتتوافق هذه الأشكال الموجية مع الاستثارة الكهربائية والانبساط لجُدر حجرات القلب (الشكل 29-2).



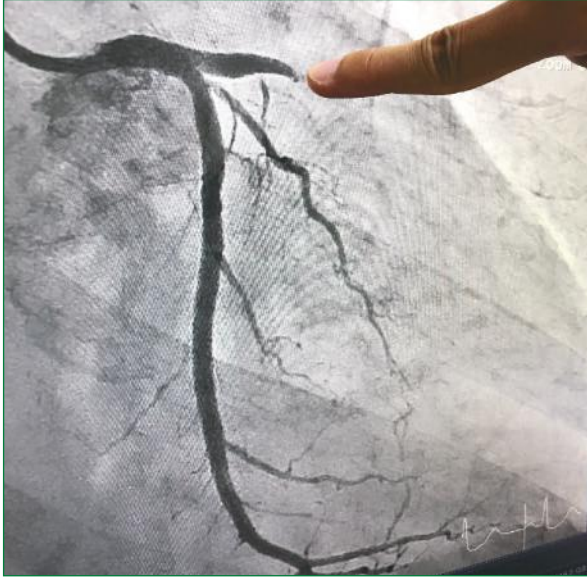
شكل 29-2 تتوافق أشكال الموجات التي يظهرها التخطيط الكهربائي للقلب (ECG) مع النبضات الكهربائية التي تنظم الانقباض، بحيث ينقبض البطينان بعد الأذنين. يمكن تفسير أشكال الموجات لتشخيص مشاكل القلب الكهربائية أو الميكانيكية.

قد تصبح الإشارات الكهربائية في البطينين غير منتظمة. وإذا حدث ذلك، فإنّ عضلات القلب يمكن أن تقع في حالة من الإيقاع غير المنتظم تسمى **الرجفان** (Fibrillation) (الشكل 29-2b)، فيتوقّف تدفق الدم. إذا لم تتم إعادة القلب إلى الإيقاع الطبيعي، فإنّ الرجفان في البطينين يكون دائماً مميتاً، ويسبّب 25 % من جميع الوفيات تقريباً. المطارات والطائرات وسيارات الإسعاف وغرف الطوارئ وكثير من الأماكن العامة مزودة بأجهزة **إزالة الرجفان Defibrillator**. هذه الأجهزة يمكن أن تعطي القلب رجّة من التيار المباشر لاستعادة إيقاعه الطبيعي وإنقاذ حياة المريض.

1. ما المكوّنان الرئيسان للجهاز القلبي الوعائي؟ 
2. كيف ينقسم الجهاز القلبي الوعائي ليتدفّق الدم إلى الرئتين وإلى الجسم؟ ارسم مخطّطاً بسيطاً وعيّن أجزاء المسارين. 
3. تُعدّ صمّامات القلب ضرورية لوظائف القلب والأوعية الدموية. 
 - a. اذكر أسماء الصمّامات الأربعة وحدّد مواقعها.
 - b. ما الصمّامات التي تؤدّي دوراً أثناء ضخّ الدم غير المؤكسج من القلب؟
 - c. ما الصمّامات التي تساعد على التحكم في الدم المؤكسج؟
 - d. ابدأ من الأذنين الأيسر، واذكر بالترتيب أسماء الصمّامات التي يتدفّق الدم عبرها في الدورة الدموية الجهازية.
4. قم بتغيير المصطلح أو المصطلحات في كلّ جملة أدناه لجعلها صحيحة. 
 1. يعود الدم غير المؤكسج إلى القلب عبر الشرايين.
 2. يُمنع التدفق العكسي للدم في الأوردة واللف بواسطة الشُعيرات الدموية.
 3. يتدفّق الدم المؤكسج إلى الأذنين الأيمن من خلال الصمّام ثلاثي الشرفات.
 4. ترسل الأوردة الرئوية الدم إلى الجسم.
 5. الدورة القلبية سلسلة من الأحداث التي تحدث في القلب، وتستغرق 70 ثانية تقريباً.
 6. عرّف تخطيط القلب الكهربائي (ECG)، ثمّ وضح الهدف من إجرائه.
10. عندما يبدأ تخطيط القلب الكهربائي، هل ينتج ثلاثة أشكال موجيّة ثم يتوقّف؟ وضح إجابتك. 

الدرس 2-3

أمراض القلب والأوعية الدموية والوقاية منها Cardiovascular Disease and Prevention



شكل 2-30 انسداد مجرى الدم في الشريان.

تُظهر بيانات منظمة الصحة العالمية (WHO) أنَّ أمراض القلب والأوعية الدموية (CVD) هي السبب الأول للوفاة في العالم. وقد توفي 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 المسببة لها، مثل النظام الغذائي غير الصحي والتدخين والخمول الجسدي، ويجب تغيير هذه العادات على الفور.

مخرجات التعلُّم

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 هو نتيجة عوامل وراثية وعوامل تعتمد على نمط الحياة.

B1206.3 يشرح طرق الحد من مخاطر أمراض القلب والأوعية الدموية بما في ذلك اتباع نظام غذائي صحي، والحد من السمنة، وتنظيم ضغط الدم، وعدم التدخين، وممارسة التمارين الرياضية.

المفردات



Blood Flow	تدفق الدم
Blood Pressure (BP)	ضغط الدم
Systolic Pressure	الضغط الانقباضي
Diastolic pressure	الضغط الانبساطي
Cardiovascular disease	مرض القلب والأوعية الدموية
Hypertension	ارتفاع ضغط الدم
Atherosclerosis	تصلب الشرايين
Thrombus	الخثرة
Stroke	السكتة الدماغية

التحكّم في معدّل دقات القلب



هل يمكنك التحكّم في مستويات توترك؟



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



شكل 2-31 عند التوتر، راقب معدّل دقات قلبك (HR) عند نقطة نبض. قيس النبض بإصبعين على معصمك... أو استخدم الساعة الذكية.

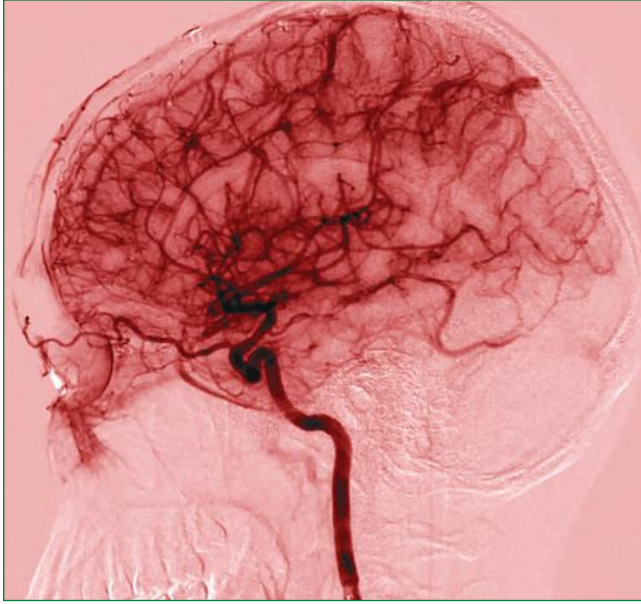
تسبّب كلّ دقّة من دقات قلبك زيادة الضغط في الأوعية الدموية ثم ينخفض ثانية. يسبّب تغيّر ضغط الدم انقباض الأوعية الدموية وانبساطها. يُسمّى التمدّد والانقباض اللذان ينتظمان الأوعية الدموية مع كلّ دقّة قلب «معدّل النبض» *Pulse rate*. معدّل دقات قلبك هو عدد المرات التي يدقّ فيها قلبك في الدقيقة، وهو يساوي معدّل النبض. معدّل دقات قلبك أثناء الراحة هو المعدّل الذي يدقّ به قلبك أثناء استرخاء الجسم وراحته. يتراوح معدّل دقات القلب لدى البشر بين 45 و90 دقّة في الدقيقة.



شكل 2-32 إذا توتّرت، فاجلس لبعض الوقت لخفض معدّل دقات قلبك (HR) والاسترخاء.

للياقة البدنية تأثير كبير في معدّل دقات القلب أثناء الراحة. كلّما كان الرياضي أكثر لياقةً انخفض معدّل دقات قلبه وقت الراحة. تؤدي الخيارات السيئة، مثل التدخين وقلة الحركة، إلى ارتفاع معدّل دقات القلب، وهذا يضرّ بالصحة.

تدفق الدم وضغط الدم



شكل 2-33 يستقبل دماغنا الدم من القلب عن طريق أوعية كبيرة في الرقبة.

يُعرّف **تدفق الدم Blood Flow** في الطبّ على أنّه كمية الدم الجاري في الأوعية الدموية في فترة زمنية معيّنة. وحدة القياس النموذجية هي لتر لكل دقيقة. تحافظ عملية ضخّ الدم التي يقوم بها القلب على تدفقّ الدم إلى جميع المناطق الدقيقة في الجسم، بما في ذلك الدماغ (الشكل 2-33).

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

ضغط الدم Blood pressure (BP) هو القوة التي يؤثر بها الدم في الجدران الداخلية للوعاء الدموي. ولأنّ الجهاز الدوراني مُغلق، فإنّ السائل في الشرايين الأقرب إلى القلب يكون تحت الضغط الأعلى (120 mm Hg) في الوقت الذي يكون فيه السائل في الأوردة الرئوية المرتبطة بالأذين الأيسر تحت الضغط الأدنى (8 mm Hg). إنّ اختلاف الضغط بين الشرايين والأوردة هو ما يسبّب تدفقّ 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).

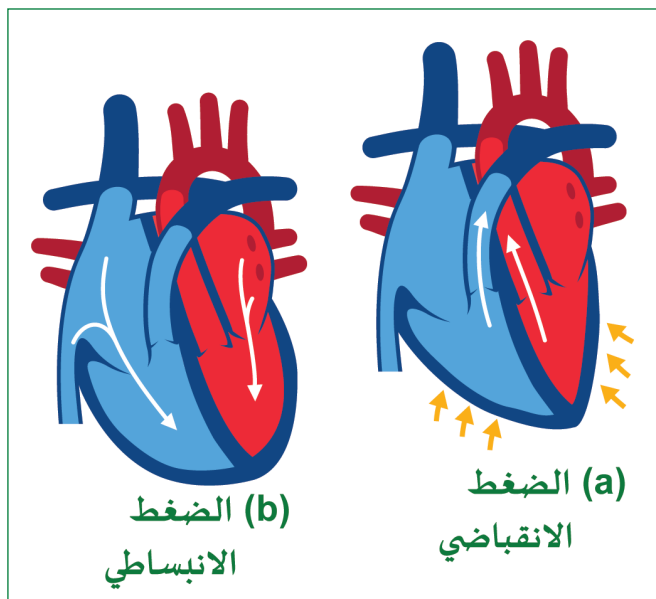
Haemastatics. 43						
The several Animals.	Quantities of Blood — to the Weight of the animal in what time.	How much in a Minute.	Weight of the Blood sustain'd by the left Ventricle contract-ing	Num-ber of Pulses in a Minute.	Area of the transverse Section of de-scending Aorta.	Area of the trans. Sec-tion of as-cending Aorta.
	Minutes	Pounds	Pounds		Square Inches	Square Inches
Man	34.18 17.6	4.38 9.36	51.5	75		
Horse and Ox	60 88	13.75 18.14	113.22	36 38	0.677 0.912	0.369 0.85
Sheep	20	4.593	36.56	65	0.094 0.383	0.07 0.012 0.245

شكل 2-34 بيانات هالز Hales في كتابه Haemastatics المجلّد الثاني، 1740.

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 2-34).

ضغط الدم



تتكوّن قيم ضغط الدم من رقمين. الرقم الأعلى هو **الضغط الانقباضي Systolic pressure** وهو أعلى ضغط أثناء الانقباض البطيني في القلب (الشكل 2-35). أمّا الرقم الأصغر فهو **الضغط الانبساطي Diastolic pressure** أو ضغط الدم أثناء انبساط عضلة القلب بين دقاته. الفرق بين هذين الضغطين يُسمّى «ضغط النبض»، وهو مؤشّر على مدى جودة عمل قلبك (الشكل 2-35). يبيّن الجدول في (الشكل 2-36) ضغط الدم عند الراحة والاسترخاء.

شكل 2-35 (a) الضغط الانقباضي و(b) الضغط الانبساطي.

تفسير ضغط الدم		
الانقباضي	الانبساطي	
< 80	< 120	الطبيعي
80 - 89	120 - 129	مرتفع
90 - 110	130 - 170	ارتفاع ضغط الدم
> 120	> 170	أزمة ارتفاع ضغط الدم

قراءة ضغط الدم	
120	← الضغط الانقباضي
80	← الضغط الانبساطي

شكل 2-36 ضغط الدم هو الضغط الانقباضي الأعلى على الضغط الانبساطي الأدنى. الضغط المرتفع علامة على سوء صحة القلب.



يظهر في (الشكل 2-37) أن تقنية قياس ضغط الدم تتضمن حزاماً قابلاً للنفخ ومقياساً للضغط. يتم لفّ الحزام حول أعلى الذراع، ثم يُنفخ لإيقاف تدفق الدم. وعندما يتم تحرير الضغط ببطء، يحدث اضطراب في حركة خلايا الدم وتصدر أربعة أصوات مميزة، ثم يتبعها سكون. تُستخدم سماعة الطبيب لتضخيم الأصوات، وهذا يساعد الطبيب أو الممرضة على ملاحظة الضغط.

شكل 2-37 قياس ضغط الدم بوساطة سماعة الطبيب التي تضخّم الأصوات، ما يجعل تمييز التغيرات أسهل.



قياس ضغط الدم

3-2

سؤال الاستقصاء	كيف يتغير ضغط الدم بحسب الوضعية أو النشاط؟
المواد المطلوبة	مستشعر ضغط الدم وجهاز جمع البيانات، كرسي.

الخطوات



شكل 38-2 قياس ضغط الدم أثناء الجلوس وفتح اليد.

1. حدّد الأسلوب الذي سيستخدمه فريقك لقياس ضغط الدم (BP). تُظهر الصورة قراءة رقمية، ولكن قد يكون لجهازك تعليمات مختلفة.
2. يختلف ضغط الدم اختلافاً كبيراً إذا كانت طريقة القياس غير متقنة. تُظهر الصورة الوضعية الصحيحة للذراع حيث يكون الساعد منبسّطاً ومسطّحاً على طاولة مع فتح اليد.
3. باستخدام التوجيهات الواردة في ورقة العمل، تناوب مع زميلك على قياس BP في وضعيات أخرى لكي تريح ذراعك، ولكن لا ينبغي تغيير الذراع ما لم يكن ذلك ضرورياً.

التحليل والأسئلة

- a. استخدم توصيات ضغط الدم 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 تُعدّ البيانات مثيرة للقلق؟ وضّح.
- b. هل يمكن أن يكون لدى الشباب ضغط دم مرتفع؟ وضّح.
- c. قارن بين ضغط الدم عند الراحة وبعد النشاط. ما النمط الذي تلاحظه؟

صمّم ونفّذ تجربتك الخاصة



اختر إحدى التجارب الآتية لتنفيذها مع زميل.

- 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 يتأثر بالإجهاد؟ اقترح تجربة يمكن من خلالها جمع بيانات حول هذا السؤال.

العوامل المؤثرة في ضغط الدم

هناك عدّة عوامل تؤثر 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 العقدة الجيبية الأذينية التي تنظّم معدّل دقات القلب ولا يتمّ تعويضها، وتنمو الرواسب الدهنية والأنسجة الليفية على القلب، وتصبح الصمامات أكثر صلابة.

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

الوراثة: من المعروف أنّ بعض أمراض القلب موروثية. يؤدّي ضغط الدم العالي بسبب الكوليسترول المرتفع إلى نوبات قلبية في سنّ مبكرة جدًّا. 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 التحكم في بعضها الآخر.



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

حجم حزام جهاز قياس ضغط الدم: يسبّب الحزام الصغير جدًّا ارتفاعًا غير حقيقي في ضغط الدم.

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

ممارسته الرياضة: أثناء ممارسة الرياضة، يزداد النبض ويرتفع ضغط الدم. ولكن، عندما تكون عضلات القلب قوية، فإنّ ذلك يحتاج إلى دقات 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.

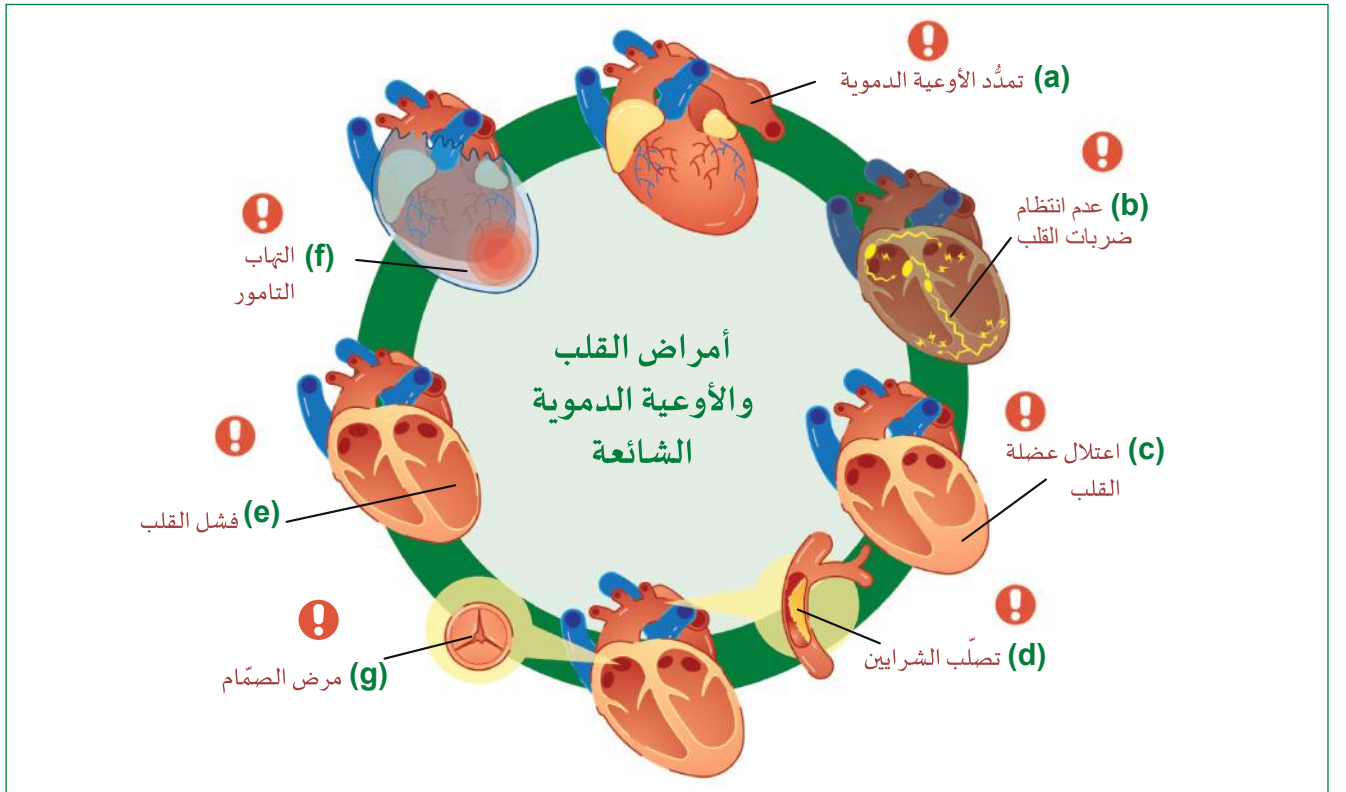
المرض: يمكن منع قصور الصمامات ومرض الشريان التاجي بالتشخيص المبكر. ويمكن معالجتهما باعتماد نظام غذائي جيّد وممارسة الرياضة والأدوية.

أمراض القلب والأوعية الدموية

أمراض القلب والأوعية الدموية هي القاتل الأول للرجال والنساء. هناك عدّة أشكال من أمراض القلب والأوعية الدموية Cardiovascular disease (CVD). يُظهر (الشكل 2-39) أمراض القلب والأوعية الدموية الأكثر شيوعًا.

- مرض الشريان الأبهر (تمدد الأوعية الدموية aneurysm): هو تضخم منطقة في الشريان الأبهر.
- عدم انتظام ضربات القلب Arrhythmia: هو إيقاع كهربائي غير منتظم.
- مرض العضلة القلبية (اعتلال عضلة القلب cardiomyopathy): هو مرض في جدار عضلة القلب.
- مرض الشريان التاجي (تصلب الشرايين Atherosclerosis): هو تراكم الرواسب الدهنية على الجُدر الداخلية للشرايين.
- فشل القلب: هو ضخّ الحجرات بشكل غير فعّال.
- التهاب التامور Pericarditis: هو التهاب النسيج المحيط بالقلب.
- 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 2-39 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، لكنّ الخطر يزداد بشكل كبير مع خيارات أنماط الحياة السيئة.

ارتفاع ضغط الدم

يمكن الوقاية من أمراض القلب والأوعية الدموية المهددة للحياة عن طريق اتخاذ قرارات حكيمة في ما يتعلق بنمط الحياة. ارتفاع ضغط الدم هو المؤشر الأول على مشكلات القلب والأوعية الدموية.

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



لا يعرف الأطباء جميع الأسباب التي تؤدي إلى ارتفاع ضغط الدم Hypertension الذي يُطلق عليه في الغالب اسم «القاتل الصامت» لا سيما وأنَّ الأشخاص الذين يعانون ارتفاع ضغط الدم قد لا يتعرفون إلى أعراضه. بعض أسباب ارتفاع ضغط الدم وراثية. يمكن لفحوصات الدم السنوية ومراقبة الضغط أن تنبئك بالمخاطر وتذكرك إلى العلاجات الملائمة. تزيد بعض السلوكيات من المخاطر وبعضها الآخر يقلل منها.

الاختيارات التي تزيد من
خطر ارتفاع ضغط الدم



قلة الحركة: تصبح عضلات قلبك والجهاز الدوراني لديك ضعيفة ما لم تمارس نشاطاً عالياً.

السمنة: الدهون الزائدة في الجسم ترتبط ارتباطاً وثيقاً بارتفاع ضغط الدم وبأمراض 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: كمية الملح أعلى من 6 جرامات يومياً للشخص الراشد تزيد من مخاطر ارتفاع ضغط الدم.

التدخين: يرفع النيكوتين ضغط الدم ويسبب ضيق الشرايين وتصلب جُذرها.

الاختيارات التي تقلل من
خطر ارتفاع ضغط الدم



التمارين المنتظمة: 30 - 20 دقيقة يومياً من التمارين الرياضية التي تزيد من معدل دقات قلبك إلى ما فوق 140 دقة في الدقيقة تقوي القلب.

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

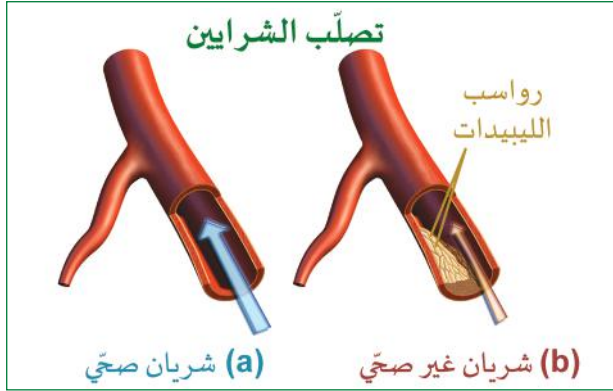
نظام غذائي منخفض الدهون: تناول الأطعمة الغنية بالبروتينات والكربوهيدرات المعقدة وتجنّب زيادة الدهون والسكر.

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

توقّف عن التدخين: إذا كنت تدخن، فإنّ أفضل ما يمكن أن تفعله من أجل صحتك هو ترك هذه العادة السيئة.

علاقة تصلب الشرايين بارتفاع ضغط الدم والذبحات الصدرية

ماذا يفعل جسمك بالأطعمة الدهنية مثل البطاطس المقلية؟



شكل 2-40 (a) يتدفق الدم بسهولة في الشرايين الصحية. (b) تقلل الرواسب الدهنية من تدفق الدم ويمكن أن تسبب انسدادًا كاملاً للشريان.

الليبيدات هي دهون تطلق 9kcal/g، أي أكثر من ضعف الطاقة التي تطلقها الكربوهيدرات 4 kcal/g.

يتم تحويل بعض الدهون التي تتناولها على الفور إلى جزيئات يمكن توليد الطاقة منها، ويتم توزيعها عن طريق الدم. إذا لم يستخدم جسمك كل هذه الجزيئات التي في الدم، فإن الليبيدات الزائدة تبقى معلقة في دمك إلى أن يتم جمعها وخزنها على شكل دهون في الجسم. عندما تتلاصق الليبيدات الزائدة تتجمع على الجدار الداخلي للشرايين، وتؤدي بالتالي

إلى **تصلب الشرايين Atherosclerosis**. تقلل هذه الحالة من تدفق الدم، وترفع من ضغطه، ويمكن أن تسبب ذبحة صدرية (الشكل 2-40).

تحدث الذبحة الصدرية عندما يصبح أحد الشرايين المغذية لعضلة القلب مسدودًا تمامًا. في بعض الأحيان، يكون الانسداد بسبب الرواسب الدهنية. وفي بعض الحالات، تنتج عوامل التخثر العادية في الدم كثيرًا من الصفائح الدموية وتكون خثرة. **الخثرة Thrombus** عبارة عن تجلط دموي غير طبيعي في وعاء رئيس في أحد الأطراف أو القلب أو الدماغ. يمكن أن يكون الترسب الدهني أو الخثرة الكبيرة أو المتحركة بالقرب من القلب مميتة. إذا لم يحصل جزء من القلب على الأكسجين، فقد تتوقف دقاته. أما في الدماغ فتقتل الخثرة الأنسجة العصبية فيه وتؤدي إلى **السكتة الدماغية Stroke**.

تم إثبات الارتباط بين ارتفاع مستويات الكوليسترول الضار في الدم وأمراض الشرايين التاجية. فإذا كان الكبد ينتج الكوليسترول وتتناول نحن الأطعمة الدهنية، فإن ذلك يؤدي إلى تراكم الكوليسترول وزيادة احتمال إصابة الإنسان بأمراض القلب والأوعية الدموية. إن تصلب الشرايين نوع واحد من أمراض القلب والأوعية الدموية ويمكن الوقاية منه عن طريق الحد من تناول الدهون يوميًا في الوجبات (الشكل 2-41).



شكل 2-41 الوجبات السريعة والبطاطس المقلية غنية بالدهون المشبعة ويجب تجنبها.

يستهلك البالغون ما بين 20% و 35% من إجمالي السعرات الحرارية على شكل دهون، ولكن يجب أن تكون نسبة الدهون المشبعة أقل من 10% ولا تكون غنية بالكوليسترول.

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



1. اشرح الفرق بين تدفق الدم وضغط الدم.



2. ماذا يمثل ضغط الدم الانقباضي؟



3. ماذا يمثل 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 عاملاً يؤثر في ضغط الدم ويمكن التحكم فيه، وعاملاً آخر لا يمكن التحكم فيه، وشرح السبب.



7. * وضح سبب حدوث كل مرض من الأمراض التالية.

a. مرض عضلة القلب (اعتلال عضلة القلب cardiomyopathy)

b. مرض الشريان الأهر (تمدد الأوعية الدموية aneurysm)

c. مرض الصمام

d. تصلب الشرايين



8. اذكر ثلاثة سلوكيات تزيد من خطر الإصابة بارتفاع ضغط الدم.



9. اشرح علاقة المصطلحات الآتية بعضها ببعض: تصلب الشرايين وضغط الدم والسكتة الدماغية.



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

10. ما هو مرض القلب والأوعية الدموية الذي يمثله المقطع العرضي؟

11. استخدم القياسات في صورة الشريان لإعطاء قيمة تقريبية لـ:



a. مساحة التجويف الطبيعية



b. مساحة التجويف المتبقية

c. مساحة التجويف التالفة

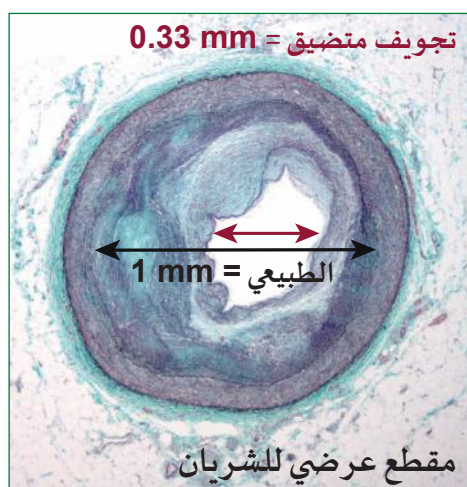
12. ماذا يحدث لهذا المريض إذا ترك من دون علاج، إذا



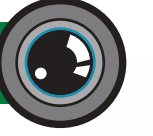
كان هذا الشريان موجوداً:

a. على القلب؟

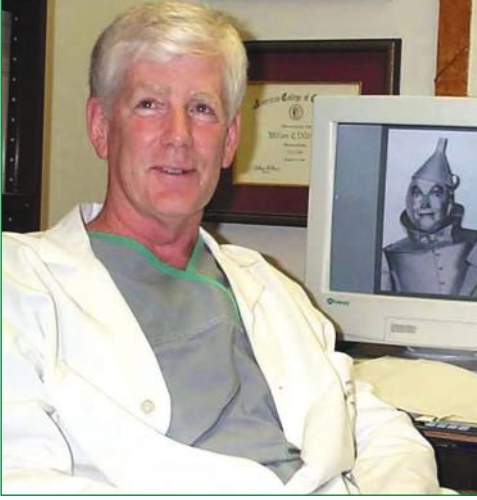
b. في الدماغ؟



إضاءة على عالم



الدكتور ويليام ديفريز - 1943

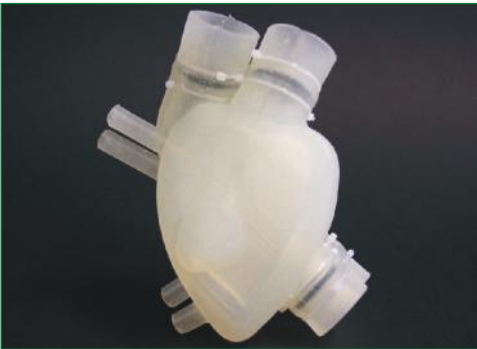


شكل 2-42 الدكتور ويليام ديفريز في مكتبه.

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 أنه رياضي وباحث. درس في جامعة يوتا عن طريق منحة دراسية وتخرج بدرجة بكالوريوس في علم الأحياء الجزيئي 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 شفاء الحيوانات 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، 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 مضخة مصنوعة من التيتانيوم والبلاستيك الصلب مسيرًا 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 2-43 القلب الاصطناعي الكامل الطري (sTAH).

اختير أول مريض للزرع بعناية، وهو طبيب الأسنان الدكتور بارني كلارك، وكان متفهمًا لمخاطر تلك العملية. تعافى كلارك من الجراحة مدة 112 يومًا فقط، وقد فتحت هذه الجراحة الرائدة الطريق أمام تطوير المزيد من الأجهزة الناجحة. اليوم، تمّ تحسين المواد المستخدمة في الصمّامات والقلوب الاصطناعية بشكل كبير، ما جعلها قادرة على أن تمتدّ في حياة المرضى حتى 5 سنوات (الشكل 2-43).

الوحدة 2

مراجعة الوحدة

الدرس 1-2 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 عاملاً من عوامل الدم المختلفة من الأحداث المتعاقبة لتخثر الدم بشكل كبير، ويتمّ ترميم الجروح بسرعة.
- يتكوّن الجهاز القلبي الوعائي **Cardiovascular system** من القلب والأوعية الدموية التي تتأزّر مع الجهاز اللمفاوي **Lymphatic system** للحفاظ على السائل البيني **(النسيجي) Interstitial fluid** المحيط بالخلايا مؤكسجاً ومزوداً بالمواد الغذائية.
- يقوم الجهاز اللمفاوي بتدوير **اللمف Lymph** في شبكة من الأوعية، حيث يتمّ ترشيح المواد الغريبة عن طريق العقّد المتّصلة بالقنوات بالقرب من القلب حيث تصبّ هذه السوائل المصفّاة مرّة أخرى في الدم.

الدرس 2-2 الجهاز القلبي الوعائي

- يتكوّن الجهاز القلبي الوعائي من مسارين لنقل الدم، أحد المسارين إلى الرئتين والآخر إلى بقية الجسم.
- يساعد تركيب الأوعية الدموية في الجسم الدم 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** الأذيني والبطيني تنبسط عضلات القلب في جميع الحجرات.

الوحدة 2

مراجعة الوحدة

- **الانقباض Systole** الأذيني يرسل الدم عبر الصمامات لكلا البطينين ويتم إطلاقه بواسطة **العقدة الجيبية الأذينية SA node**، أو ناظم القلب في الأذين الأيمن.
- عندما يتم التقاط هذا التيار عن طريق أنسجة معزولة بين الحجرات عبر **العقدة الأذينية البطينية**، يتأخر التيار قليلاً، فينقبض البطينان (الانقباض البطيني) بعد انقباض الأذنين.
- تنتقل موجة التيار من **العقدة الأذينية البطينية (العقدة AV)** إلى **حزمة هيس Bundle of His** ثم إلى **ألياف بيركنجي Purkinje fibers** لدفع جُدر البطينين إلى الانقباض نحو الأعلى وإلى الداخل، فيخرج الدم من القلب.
- **تخطيط القلب الكهربائي Electrocardiogram** هو اختبار تشخيصي يُظهر موجات من الاستثارة الكهربائية والانبساط في جُدر القلب أثناء الدورة القلبية.
- إذا أصبحت إشارات البطين الكهربائية غير منتظمة في حالة **الرجفان Fibrillation**، يصبح الموت وشيكاً؛ ولذلك، فإن الكثير من الأماكن العامة لديها **أجهزة إزالة الرجفان Defibrillators** لصدم القلب واستعادة تدفق الدم مؤقتاً إلى حين وصول المساعدة.

الدرس 2-3 أمراض القلب والأوعية الدموية والوقاية منها

- **تدفق الدم Blood flow** هو كمية الدم الجارية في أحد الأوعية الدموية في فترة زمنية محددة. يتباطأ التدفق بحسب سُمك الدم أو قطر الوعاء أو طوله بسبب المقاومة.
- **ضغط الدم Blood pressure**، أو القوة على وحدة مساحة على جُدر الأوعية، وهي تتأثر بالجاذبية ومقاومة الأوعية، ويمكن قياس الضغط بمقياس **ضغط الدم Sphygmomanometer** وسماعة الطبيب **Stethoscope**.
- ضغط الدم هو نسبة **الضغط الانقباضي Systolic pressure** على **الضغط الانبساطي Diastolic pressure**، الضغط الانقباضي هو الضغط الأقصى الناتج عن انقباض البطين. الضغط الانبساطي هو الضغط الناتج عن انبساط جميع الحجرات.
- أحد أمراض القلب والأوعية الدموية **Cardiovascular disease** هو **تصلب الشرايين Atherosclerosis** الذي يسبب ارتفاع ضغط الدم **Hypertension**.
- يمكن لجلطة دموية متحركة، أو **خثرة Thrombus** أن تسبب 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. أيُّ مما يأتي ليس من مكوّنات دم الإنسان؟
 - a. خلايا الدم البيضاء
 - b. البلازما
 - c. الصفائح الدموية
 - d. خلايا الدم الحمراء ذات النواة
2. أيُّ من الآتي من خصائص خلايا الدم الحمراء؟ يمكن اختيار أكثر من إجابة.
 - a. لها شكل كعكة محلاة بدون نواة، بدون ثقب
 - b. تحتوي على الميتوكوندريا
 - c. تُنتج في نخاع العظم
 - d. تتّسع 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. أيُّ ممّا يأتي ليس جزءاً من الإرقاء؟
 - a. تكوين الصفائح الدموية
 - b. إنتاج الفايبرين من الفايبرينوجين
 - c. التشنّج الوعائي
 - d. الأحداث المتعاقبة في التخثر
6. أيُّ من السوائل الآتية مسؤول عن التبادل المباشر للمواد الغذائية والفضلات من خلايا الجسم وإليها؟
 - a. اللمف
 - b. الدم
 - c. البلازما
 - d. السائل النسيجي

7. أي 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 يتم ضخّه من الأذنين 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 البطيني قبل الانقباض الأذيني.
 d. يتكرّر كل 70 ثانية.
9. لماذا تُعرف العقدة الجيبية الأذينية أيضاً باسم "منظم ضربات القلب"؟
 a. لا يمكن للقلب أن يطلق نبضات كهربائية بدونها.
 b. تحدّد وتيرة انقباض كلّ بطين.
 c. تقع بين الجانب الأيسر والأيمن من القلب.
 d. تتواصل مع حزمة هيس.
10. ما الموجة في مخطّط القلب الكهربائي التي تتوافق مع انقباض البطينين؟
 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. كثافة الدم
 d. كلّ ما ذكر
12. ما هي قراءة ضغط الدم التي تستدعي الاتصال بخدمات الطوارئ؟
 a. 100/80
 b. 150/70
 c. 180/110
 d. 120/80
13. أي ممّا يأتي يمكن أن يقي من أمراض القلب والأوعية الدموية؟
 a. التدخين
 b. إكتساب الوزن
 c. التمرين الرياضي
 d. تناول الأطعمة الغنية بالكوليسترول

أسئلة الإجابات القصيرة

الدرس 1-2 الدم واللمف

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



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



b. ما المواد الذائبة في البلازما؟



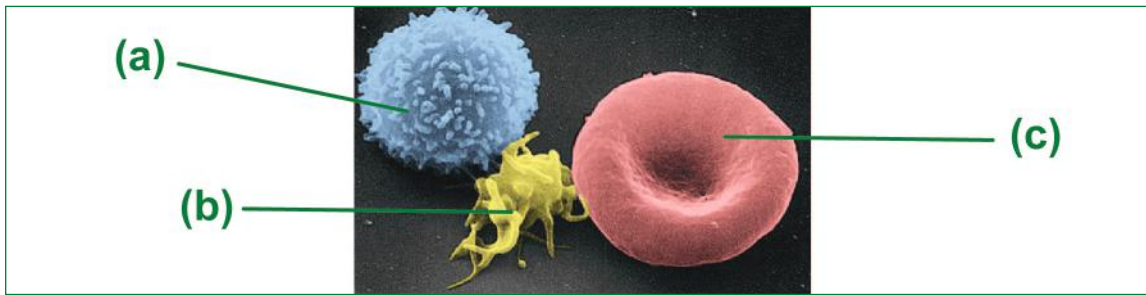
c. ما المادة التي يمكن أن تتجمع في الدم وتسبب مشكلات صحية؟

d. ما المكون المسؤول عن الإرقاء؟

e. ما الخلية التي تحتوي على الهيموجلوبين؟

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

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



16. رتب خلايا الدم الثلاث بحسب الحجم، بين أن انخفاض تعداد أيٍّ منها يُشير إلى وجود مشكلة صحية.



17. اشرح كيف يمكن فصل مكونات الدم. أعطِ سببين لذلك.



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



19. صف كيف يتغير إشباع الهيموجلوبين بالأكسجين O_2 من الرئتين إلى أنسجة الجسم.

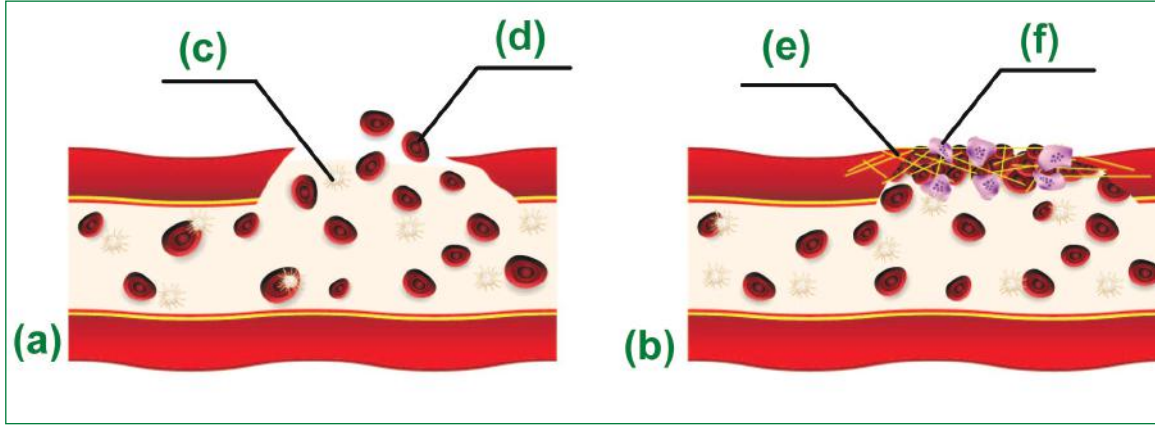
20. ما التفاعل الكيميائي الذي يحدث في الدم لإزالة ثاني أكسيد الكربون من أنسجة الجسم.

وما التفاعل العكسي الذي يساعد على إخراج ثاني أكسيد الكربون من الدم إلى الرئتين.

تأكد من أن تشمل التفاعلات كل حافز يستخدمه الجسم.

21. بحسب تأثير بور، ما تأثير انخفاض pH الدم في تفكك 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 مخططاً بسيطاً باستخدام أقلام ملونة واذكر اسم التركيب المهم الذي يتشكل.
- c. يتم تنشيط التراكيب (c) لتصبح (f) من خلال عوامل الأحداث المتعاقبة للتخثر. اذكر هذه العوامل.
- d. التراكيب (e) هي عديدة الببتيدات تنشط لتشكيل شبكة مستقرة بتأثير من عوامل الأحداث المتعاقبة في التخثر. ارسم مخططاً انسيابياً بسيطاً يتضمن العوامل البروتينية الثلاثة التي تتجمع.
- 23* اذكر اسم ثلاثة سوائل مهمة للجسم في الجهاز الدوراني وحدد وظيفة كل منها والعلاقة بينها.
- 24* فيم يتشابه تدفق اللفم وتدفق الدم؟ وفيما يختلفان؟
25. ما تأثير انخفاض نسبة الحديد في الدم على الصحة؟ وكيف يمكن معالجة هذه المشكلة بسهولة؟



الدرس 2-2 الجهاز القلبي الوعائي

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

27. ضع قائمة بترتيب الأحداث المهمة التي تحدث أثناء الانقباض الأذيني والانقباض البطيني. *

28. يوضح المخطط 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. *

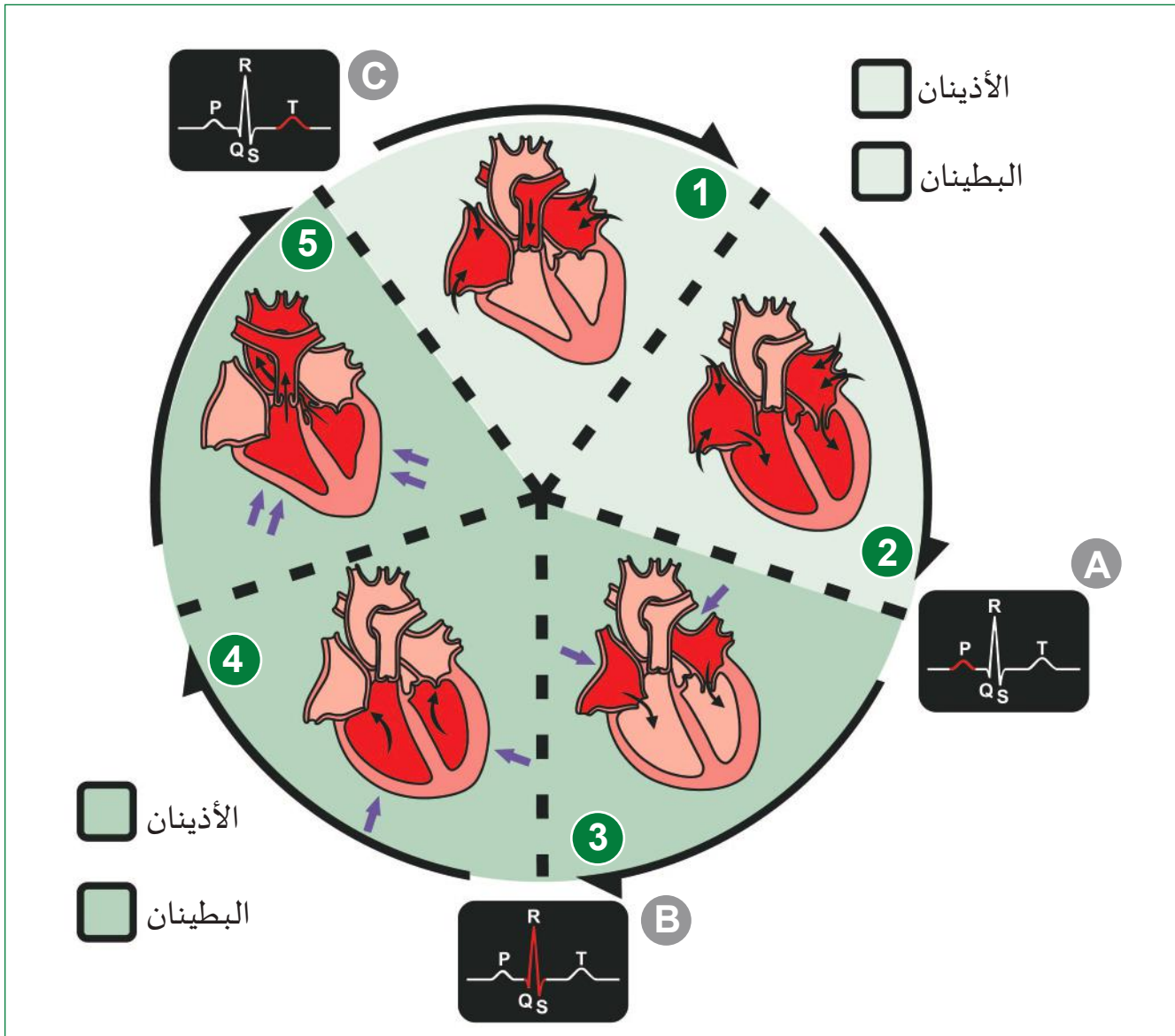
a. استخدم مفتاح اللون لتوضيح أي الأذنين أو البطينين في حالة انقباض أو انبساط.

b. ماذا تمثل الأسهم السود في داخل القلب؟

c. ماذا تمثل الأسهم الأرجوانية؟

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

e. اشرح باختصار ما يمثله كل شكل موجي.



الدّرس 2-3 أمراض القلب والأوعية الدموية والوقاية منها

- *  29. لماذا يختلف ضغط الدم عند الاستلقاء عن الضغط عند الجلوس أو الوقوف؟
- *  30. صغ فرضية حول تأثير تغيير قطر الأوعية الدموية في ضغط الدم، واقترح طريقة لاختبار سائل معين باستخدام الماصّات.
- *  31. إذا كنت بحاجة لشرح قراءات ضغط الدم وأهميتها لصحة شخص يبلغ من العمر 60 عامًا أو أكثر، فما النصائح الثلاث التي تقدّمها له؟
-  32. يمكن أن تكون الخثرة مميتة:
 - a. عرف الخثرة.
 - b. كيف تتكوّن؟
 - c. لماذا يتغير تأثيرها بتغيّر موقعها في الجسم؟

مشروع البحث

- ابحث عن مرض قلبي وعائي شائع. في عرضك النهائي، ضمّن بحثك جميع المعلومات أدناه. تأكد من ذكر مراجعك.
- a. ما الذي يسبّب المرض؟ أهو موروث أم مكتسب؟
 - 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؟ عدد المواقع الرئيسية.



الوحدة 3

النقل في النباتات

Transport in Plants

في هذه الوحدة

B1219

B1220

الدرس 3-1: النتج

الدرس 3-2: نقل الغذاء

مقدمة الوحدة

تمتلك جميع الكائنات الحية العليا كالحيوانات والنباتات أجهزة متخصصة لنقل الماء والمعادن والمواد الغذائية. إلا أن النباتات ليس لديها نسيج ضامّ متخصص كالدم لنقل الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون. لذا، فإنّ الخلايا والأنسجة النباتية تعتمد على الاتصال المباشر بين الغازات والأغشية الخلوية.

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

تحصل النباتات على الطاقة من خلال امتصاص ضوء الشمس، وتقوم بتثبيت الكربون لإنتاج السكريات. تتضمن حركة السكريات وخبزها في النباتات عملية تُسمّى «نقل الغذاء»، وتختلف هذه العملية عن النظام المُستخدم لنقل الماء.

الأنشطة والتّجارب

a1-3 ملاحظة الحُزَم الوعائية

b1-3 إعداد طبعة ورقة

c1-3 قياس النتح

الدرس 3-1

النتح

Transpiration



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

ينتقل الماء من الجذور إلى الأوراق في كل نباتات الأرض بدون نظام ضخ نشط، حيث تعتمد النباتات على الشمس وخصائص الماء، مثل التوتر السطحي والخاصية الشعرية لرفع الماء. طوّرت النباتات أنسجة وعائية متخصصة في النقل، كما هو ظاهر في (الشكل 3-1).

يحدث فقدان الماء عن طريق التبخر من الأوراق في معظم النباتات بعملية تُسمّى «النتح». سوف نتوصّل في هذا الدرس إلى أنّ النتح هو جزء أساسي من آلية نقل الماء. ومع ذلك، فإنّ فقدان الكثير من الماء قد يؤدي إلى جفاف الأنسجة النباتية. وقد طوّرت النباتات المتكيّفة مع مناخات متنوعة استراتيجيات مختلفة لإدارة الماء.

مخرجات التعلّم

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

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 الخشي
Lignin	اللجنين
Xylem vessel element	خلية وعاء الخشب
Casparian strip	شريط كاسبير
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 مشكّلة الروابط الهيدروجينية (الشكل 2-3).



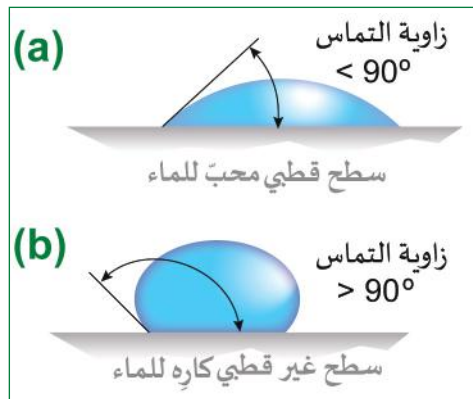
شكل 2-3 الروابط الهيدروجينية والتوتر السطحي.



شكل 3-3 يسبب التوتر السطحي تكوّن قطرات الماء.

إحدى نتائج الروابط الهيدروجينية هي التوتر السطحي. يشدّ التوتر السطحي جزيئات الماء على الأسطح المائية بعضها إلى بعض فيجعل القطرات تنكمش وتتكوّن. إنّ للماء توترًا سطحيًا مرتفعًا نسبيًا مقارنة بالمواد التي لا تحتوي على روابط هيدروجينية (الشكل 3-3).

تؤثر الروابط الهيدروجينية في كيفية تماس الماء بسطح معين. السطح القطبي المحبّ للماء، كالسطح الزجاجي النظيف، يجذب جزيئات الماء ويكون زاوية تماس أصغر من 90° كما يظهر في (الشكل 3-4a). أما السطح غير القطبي والكاره للماء، كالشمع، فهو ينفر من الماء مكونًا زاوية تماس أكبر من 90° كما يظهر في (الشكل 3-4b).



شكل 3-4 اتصال الماء بالأسطح القطبية وغير القطبية.

كون الجليد أقل 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 أقل كثافة من الماء السائل؟



احتياجات النباتات للنقل

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

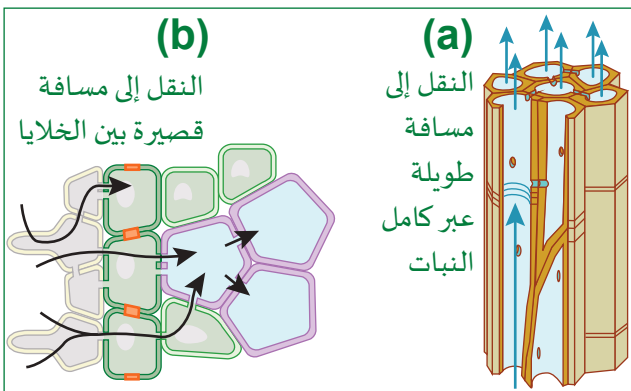
1. تستخدم النباتات ضوء الشمس مصدرًا أساسيًا للطاقة بدلاً من تناول الطعام وهضمه.
2. تصنع النباتات الجزيئات العضوية الخاصّة بها في عملية البناء الضوئي مستخدمةً غاز ثاني أكسيد الكربون مصدرًا أساسيًا للكربون.



شكل 3-5 أشكال أجسام النباتات والحيوانات.

للنباتات أشكال متفرّعة ممتدّة تزيد من مساحتها السطحية لتمكّنها من امتصاص معظم أشعة الشمس والعناصر الغذائية، على عكس الحيوانات التي تكون أجسامها مترابطة لتقلّل من مساحتها السطحية، إنّ تفرّع أجسام النباتات وامتدادها يجعلها بحاجة إلى أجهزة نقل ممتدّة (الشكل 3-5).

- يتمّ امتصاص الماء والأملاح المعدنية والأيونات في الجذور، ويجب نقلها مسافات طويلة إلى الأوراق. تستخدم النباتات أنسجة وعائية تُسمّى «الخشب» لنقل الماء والأيونات الذائبة. وتستخدم الخلايا النباتية المتخصصة والتراكيب الخلوية عمليات النقل النشط والنقل السلبي معًا لهذه الغاية (الشكل 3-6a).
- يجب نقل السكر الناتج عن عملية البناء الضوئي وجزيئات حيوية أخرى من الأوراق إلى الخلايا النباتية الأخرى، حيث يتمّ تخزينها أو استهلاكها. تنقل مجموعة ثانية من الأنسجة الوعائية تُسمّى «اللحاء» عصارة سائلة تحتوي على سكّروز وهرمونات نباتية وموادّ ذائبة أخرى.

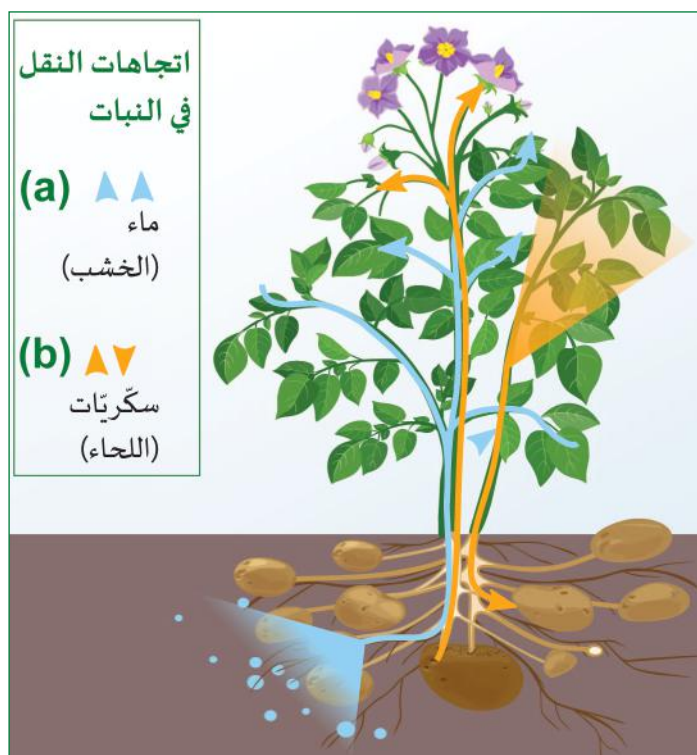


شكل 3-6 أنواع النقل في النباتات.

تتمتّع النباتات أيضًا بآليات نقل لمسافات قصيرة المدى لنقل الماء والموادّ الغذائية بين الخلايا المجاورة (الشكل 3-6b). تمتلك الخلايا النباتية جُدُرًا خلوية سميكة، لذلك، فإنّ على الماء والموادّ الغذائية أن تتحرّك عبر تراكيب خاصّة تخترق الجدار الخلوي. تمتلك الأنواع المختلفة من الخلايا النباتية تراكيب مختلفة باختلاف أنواع الخلايا النباتية للنقل من خلية إلى أخرى.

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 متعددة الخلايا، كالأعشاب البحرية والزنبق المائية، تمتلك أيضًا أنسجة وعائية.



شكل 3-7 (a) يتحرك الماء والمعادن إلى الأعلى في الخشب و(b) تنتقل السكريات في اللحاء في اتجاهات متعددة.

الخشب Xylem

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

اللحاء Phloem

ينقل نسيج اللحاء المواد الذائبة في عصارة اللحاء Phloem sap كما هو ظاهر في (الشكل 3-7b). تحتوي عصارة اللحاء على سكريات وأحماض أمينية وهرمونات، ويمكنها أيضًا أن تتحرك في عدة اتجاهات بين الأوراق والجذور وتراكيب التخزين كالدرنات. إن عملية نقل عصارة اللحاء تُسمى نقل الغذاء Translocation. نقل الغذاء هو موضوع الدرس 2-3.

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



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

الكهرمان هو عصارة لحاء متحجرة



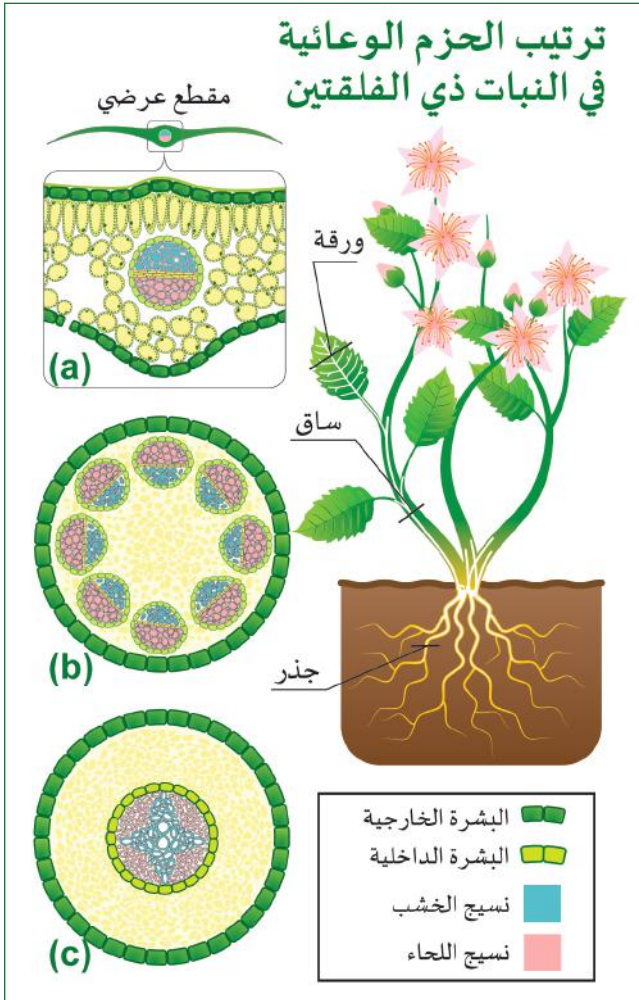
شكل 3-8 الكهرمان (العنبر): عصارة اللحاء المتحجرة.

تُنتج أشجار الصنوبر عصارة لزجة تتسرب من الفروع المُصابة. يمكن أن تتصلب هذه العصارة، ويمكن أن تلتصق بها الحشرات قبل تصلبها. الكهرمان (العنبر) هو عصارة لحاء أشجار الصنوبر المتحجرة، وهو يحتوي في الغالب على حشرات من أزمنة قديمة (الشكل 3-8). ويمكن صقل الكهرمان أيضًا واستخدامه في صناعة المجوهرات.

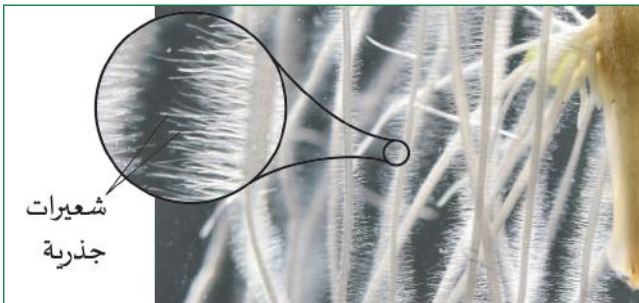
الحُزْم الوعائية في الجذور والسيقان والأوراق



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



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



شكل 11-3 الشعيرات الجذرية.

تُقسم النباتات الزهرية إلى مجموعتين رئيسيتين، هما: ذوات الفلتين وذوات الفلقة الواحدة. تتميز النباتات ذات الفلتين بوجود عروق متفرعة في أوراقها. أما النباتات أحادية الفلقة مثل الذرة و الأعشاب فتكون عروق أوراقها متوازية كما في (الشكل 9-3).

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

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

تترتب الحُزْم الوعائية بشكل مختلف في الأوراق والسيقان والجذور.

في الورقة، ينتقل الماء في الخشب بالقرب من السطح العلوي وتتحرك عصارة اللحاء على طول الجانب السفلي (الشكل 10-3 a).

في الساق الخضراء اللينة، تُشكّل مجموعة الحُزْم الوعائية حلقة مجاورة للبشرة. يكون نسيج الخشب بعيدًا عن السطح لتقليل من خسارة الماء (الشكل 10-3 b).

في جذور النبات ذي الفلتين تُشكّل أنسجة النقل حزمة وعائية واحدة في مركزها. يظهر نسيج الخشب على شكل نجمة في المقطع العرضي للجذر (الشكل 10-3 c).

يدخل الماء من سطح الجذور إلى داخلها بالخاصية الأسموزية عبر غشاء شبه مُنفذ يحيط بالخلايا الجذرية. تسهم شعيرات دقيقة جدًا على سطح كل جذر في امتصاص الماء من التربة (الشكل 11-3). كل شعيرة جذرية هي خلية واحدة تمتد بين حبيبات التربة.

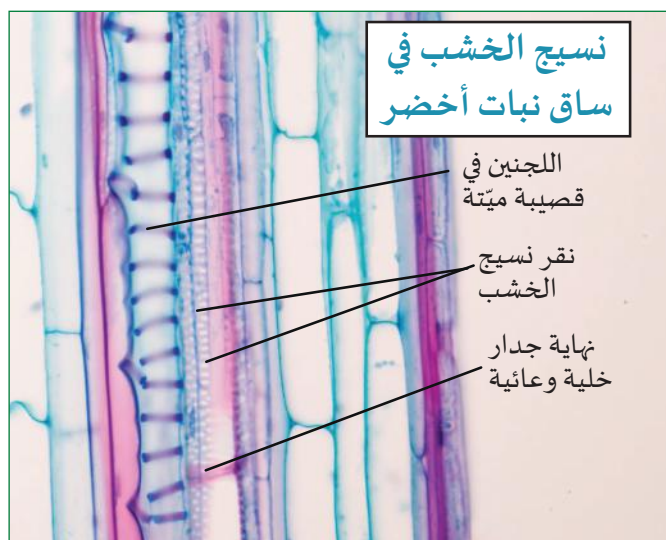
تركيب ووظيفة نسيج الخشب

للخشب وظيفتان رئيستان:

1. يمنح الخشب الصلابة والمتانة للنبات.

2. الخشب هو التركيب الرئيس لنقل الماء داخل النبات إلى مسافات طويلة.

تتكون جُدر خلايا الخشب من السليلوز وبوليمر قوي من السكريات مقاوم للماء يُسمى «اللجنين» **Lignin**. تتشابك ألياف اللجنين لتشكل تراكيب قوية بأشكال مختلفة مثل الشكل الحلقي والشكل اللولبي داخل الوعاء المركزي المفتوح. والجدير بالذكر أن الخشب العادي المستخدم في الأثاث هو نسيج الخشب أصلاً الشكل (12-3).



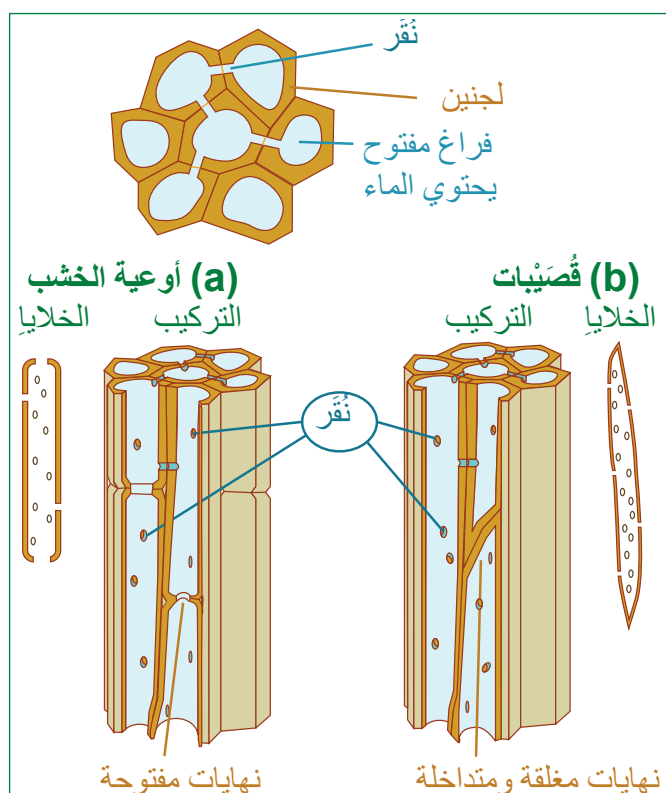
شكل 12-3 وعاء خشبي في ساق نبات أخضر.

هناك نوعان رئيسان من خلايا النقل في نسيج الخشب، وهما الأوعية والقصيبات. تتكوّن **الأوعية** **Vessels** من خلايا فردية تُسمى **الخلايا الوعائية** **Vessel elements**، تتصل هذه الخلايا بعضها ببعض في نهاياتها. عندما ينضج الخشب تموت الخلايا المكوّنة له وتتحلّل أطرافها المتّصلة لتشكل أنبوباً مجوّفاً سيشكل فيما بعد ممراً للماء. ينتقل الماء بين الخلايا الوعائية من خلال النُقَر أيضاً، وهي ثغوب صغيرة في اللجنين. للأوعية الخشبية قُطرٌ مساوٍ لقطر شعرة الإنسان، ويبلغ طولها من 5 cm إلى 10 m. الأوعية هي التراكيب الأساسية في خشب النباتات الزهرية

الشكل (13-3 a).

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

تكون خلايا الخشب حيّة عندما تطوّر جُدرها السميكة وتكوّن النُقَر. بعد ذلك تموت الخلايا تاركةً تركيباً فارغاً يمكنه نقل الماء.



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



ملاحظة الحُزَم الوعائية

a1-3

سؤال الاستقصاء	كيف تختلف مواقع الحُزَم الوعائية في أجزاء النبات ذي الفلقتين؟
المواد المطلوبة	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 متريّة.



شكل 14-3 المجهر الضوئي.

الخطوات

1. اعتمادًا على عدد المجاهر، يمكنكم العمل معًا في مجموعات ثنائية أو متعدّدة.
2. قبل استخدام المجهر، قُمَ بمراجعة الإرشادات في ورقة العمل لرسم مقاطع الأنسجة المجهرية.
3. استخدم ورقة العمل واتبع التعليمات الأساسية.
 - a. لاحظ كلَّ شريحة مُعدّة تحت التكبير المعطى وارسمها.
 - b. حدّد نوع النبات والعضو الذي أُخذت منه العيّنة ونوع المقطع في كلِّ رسم.
 - c. حدّد موقع التركيب أو النسيج المطلوب واكتب اسمه على كلِّ رسم بقلم الرصاص.
4. شارك زميلًا واحدًا أو أكثر في رسوماتك قبل تقديم عملك. وإذا لزم الأمر، قم بإعادة فحص مقاطع الأنسجة، وصحّح كلَّ الأخطاء، أو ضمّن عملك المزيد من التفاصيل.
5. أجب عن كلَّ الأسئلة الواردة في ورقة العمل قبل تقديم عملك.

الأسئلة

- a. عرّف الحُزَم 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.

نقل الماء يبدأ من الشعيرات الجذرية

تسهم تراكيب متعددة والممرّان الخارج خلوي والخلوي جماعي في امتصاص الماء بوساطة الجذور (الشكل 15-3). ويمكن أن يدخل الماء أوعية الخشب من خلال كلا الممرّين الخارج خلوي والخلوي جماعي.

من الممرّ الخارج خلوي إلى نسيج الخشب

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

1. ينتشر الماء مباشرة بالخاصية الأسموزية عبر الجُدُر الخلوية للشعيرات الجذرية الممتدة من البشرة في الجذر.

2. ينتقل الماء من خلال الممرّ الخارج خلوي حتى يصل إلى البشرة الداخلية.

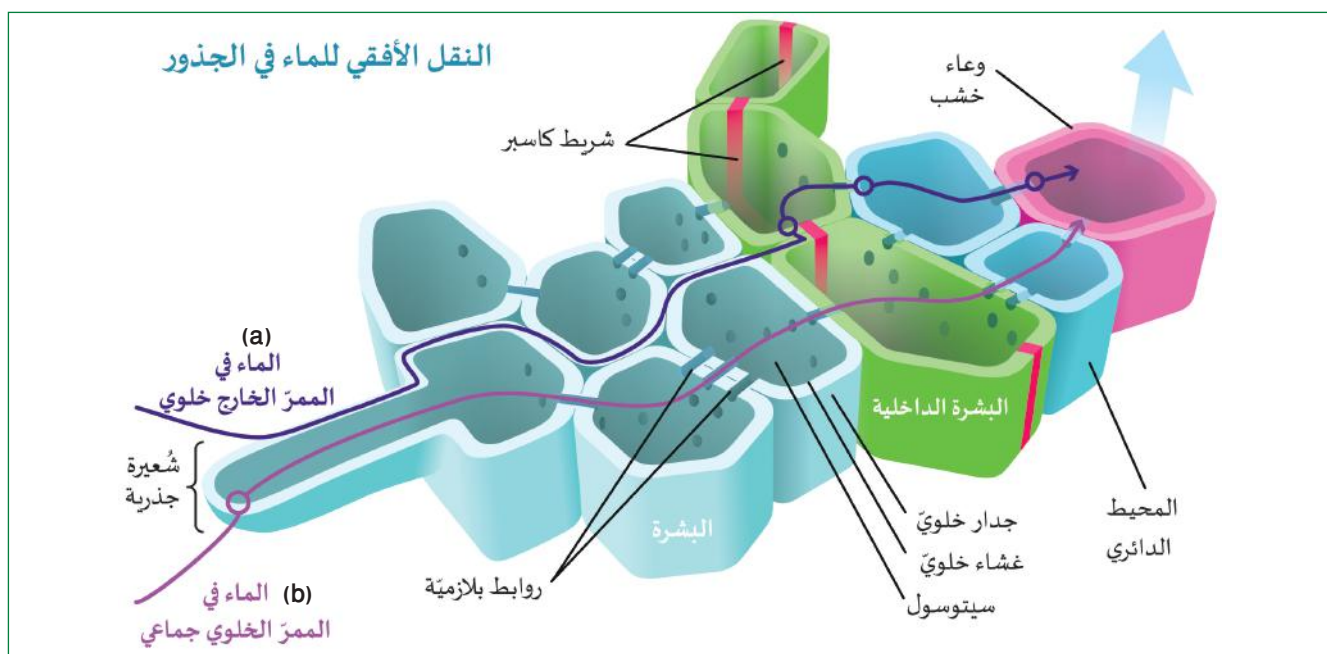
3. يمنع شريط كاسبر الموجود في خلايا البشرة الداخلية الماء من الدخول مباشرة إلى أوعية الخشب من الممرّ الخارج خلوي، فتتم إعادة توجيه الماء إلى الممرّ الخلوي جماعي ليمرّ إلى وعاء الخشب (الشكل 15-3a).

من الممرّ الخلوي جماعي إلى نسيج الخشب

1. يدخل الماء من خلال أغشية الشعيرات الجذرية. تقوم الأغشية شبه المنفذة بشكل اختياري بترشيح المواد 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 متجاوزاً شريط كاسبر (الشكل 15-3b).



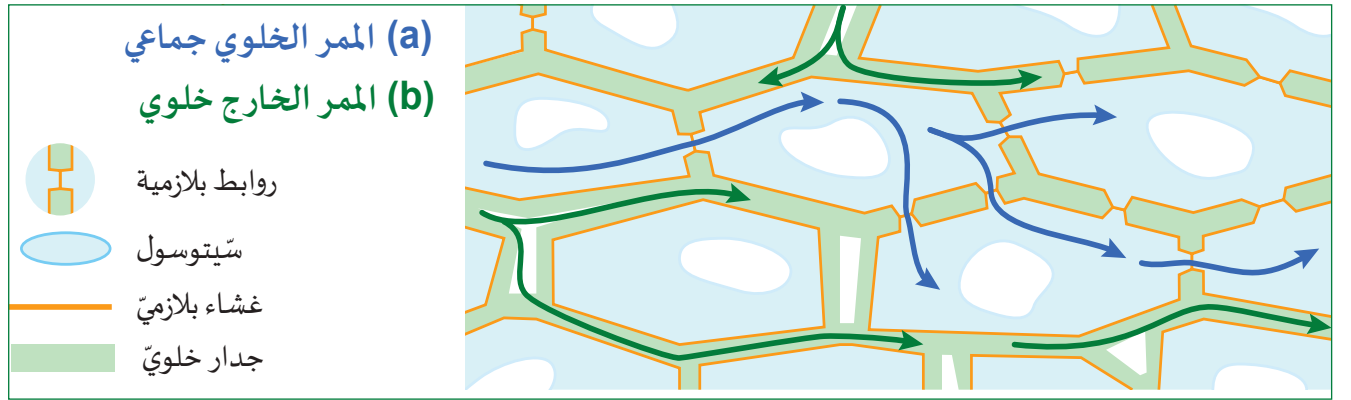
شكل 15-3 تمتصّ الجذور الماء والمعادن التي تنتقل، إما من خلال (a) الممرّ الخارج خلوي، وإما من خلال (b) الممرّ الخلوي جماعي عبر الروابط البلازمية.

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 ممرّين للنقل لمسافات قصيرة (الشكل 3-16). يربط الممرّ الأول سيتوسول الخلية الأولى بسيتوسول الخلية المجاورة (الممرّ الخلوي الجماعي). أما الممرّ الثاني، فيكون من خلال الجدر الخلوية والفراغات بين الخلايا (الممرّ الخارج خلوي).

الممرّ الخلوي جماعي

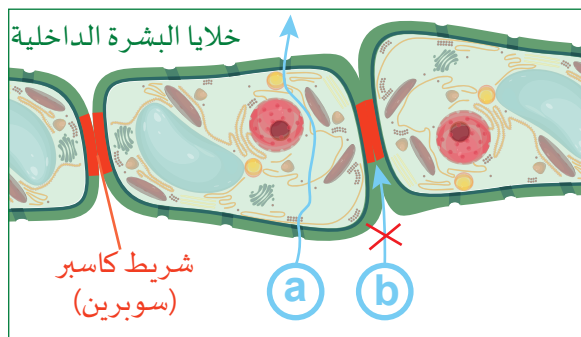
يُمثل **الممرّ الخلوي جماعي Symplast** الجانب الداخلي من الغشاء البلازمي. ينتشر الماء والمواد الذائبة الصغيرة بحرية في الممرّ الخلوي جماعي. تُسمّى الفتحات الصغيرة في الجدار الخلوي التي تربط الممرّات الخلوية المتجاورة **الروابط البلازمية Plasmodesmata** وهي تربط المحتوى الخلوي للخلايا المتجاورة بعضه ببعض (الشكل 3-16a). ينتقل الماء والجزيئات الصغيرة والأيونات عبر الروابط البلازمية بالنقل السليبي. أما الجزيئات الأكبر مثل الهرمونات فتنتقل من خلية إلى أخرى بعملية النقل النشط.



شكل 3-16 ممرّ النقل (a) الخلوي جماعي و(b) الخارج خلوي.

الممرّ الخارج خلوي

الممرّ الخارج خلوي Apoplast هو المنطقة التي توجد خارج الغشاء الخلوي. الجدار الخلوي وجميع الفراغات خارج الخلوية هي جزء من الممرّ الخارج خلوي. يمكن أن ينتقل الماء والأيونات الذائبة وثاني أكسيد الكربون أيضًا عبر الممرّ الخارج خلوي. المواد التي تنتقل عبر الممرّ الخارج خلوي لا تعبر أغشية الخلايا إلا نادرًا (الشكل 3-16b).



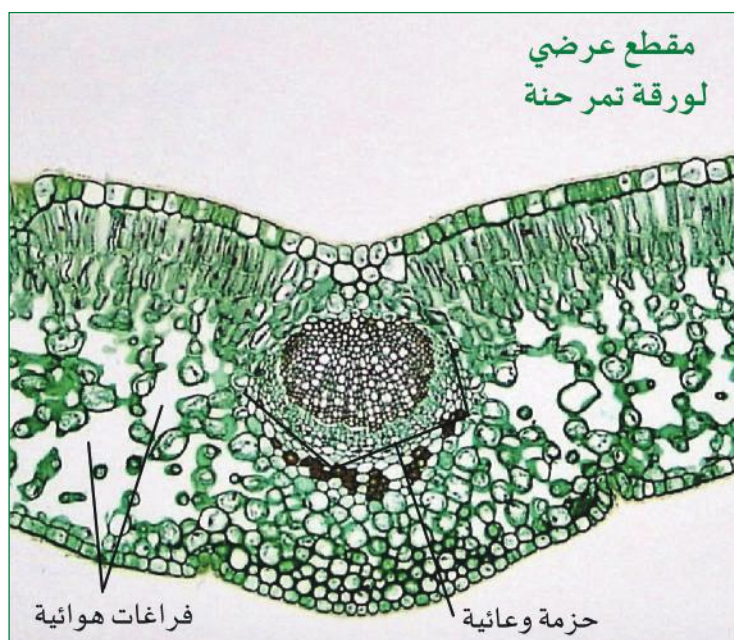
شكل 3-17 يُبقي شريط كاسبر الممرّ الخلوي جماعي مفتوحًا (a) ويسدّ الممرّ الخارج خلوي (b).

تتكوّن الجُدر 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 جُدر هذه الخلايا مادة شمعية غير منفذة للماء تُسمّى «السوبرين» suberin وتنتشر في جميع الجهات ما عدا الجهة المواجهة للقشرة ولأوعية الخشب مكوّنة ما يعرف **بشريط كاسبر Casparian strip**.

يعمل شريط كاسبر على منع مرور الماء عبر الممرّ الخارج خلوي في هذه الخلايا كما يمنع عودة الماء والمعادن إلى القشرة (الشكل 3-17) وهذا يستلزم تغيير طريق الماء والأملاح من الممرّ الخلوي الخارجي إلى الممرّ الخلوي الجماعي حتى تصل إلى أوعية الخشب.

النتح

يُشكّل الماء عمودًا متصلًا يمتدّ 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.



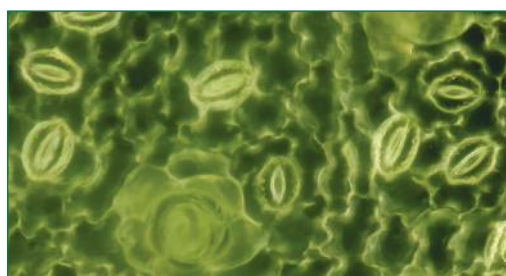
شكل 3-18 صورة مأخوذة بالمجهر الضوئي لمقطع عرضي من ورقة نبات التمر حنة ذي الفلتين (100x).

يوضّح (الشكل 3-18) المقطع العرضي لورقة نبات التمر حنة وتظهر فيه الحزمة الوعائية في وسط الصورة.

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

تتصل الفراغات الهوائية بالمحيط الخارجي عبر الآلاف من الفتحات الدقيقة التي تُسمّى **الثغور Stomata** (الشكل 3-19). توجد الثغور في معظم النباتات على السطحين العلوي والسفلي من الورقة.

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 التكيفان في الحدّ من فقدان الماء من النبات، لكنه يقلّل أيضًا من قدرة الحصول على ثاني أكسيد الكربون. في كثير من الأنواع



شكل 3-19 أوراق السبانخ لديها ثغور أكثر في سطحها السفلي مقارنة بـ سطحها العلوي.

الصحراوية تبقى الثغور مغلقة طوال اليوم تحت الشمس الحارّة، وتُفتح الثغور ليلاً، فتخزن النباتات ثاني أكسيد الكربون في أحماض عضوية لتستهلكه في اليوم التالي في عملية البناء الضوئي.

عدد الثغور الموجودة في الأوراق الأحفورية يشكّل دليلاً على مستويات CO_2 في الغلاف الجوي للأرض في الأزمنة الماضية. عندما يكون الجو غنيًا بثاني أكسيد الكربون، تتكيف النباتات بأن يكون فيها عدد أقلّ من الثغور. لذا، فإنّ الثغور القليلة هي إحدى التكيفات لتقليل خسارة الماء.

تحت أية ظروف يتكيف

النبات ليكون لديه ثغور أكثر

أو أقلّ على الأوراق؟





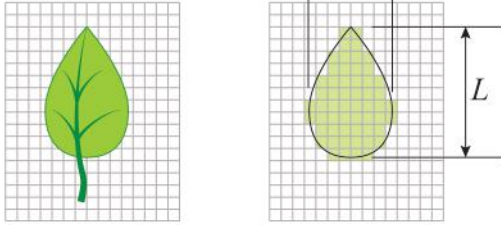
قياس معدل النتح

b1-3

سؤال الاستقصاء	كيف نقيس معدل النتح في النباتات؟
المواد المطلوبة	بوتوميتر (مقياس النتح)، سيقان نبات ذي فلتين عليها أوراقها، ملون طعام، مسطرة مصرية، أقلام تعليم، ساعة توقيت رقمية (مؤقت)، مناديل ورقية ومستشعرات لجمع البيانات.

الخطوات

ورقة أولى



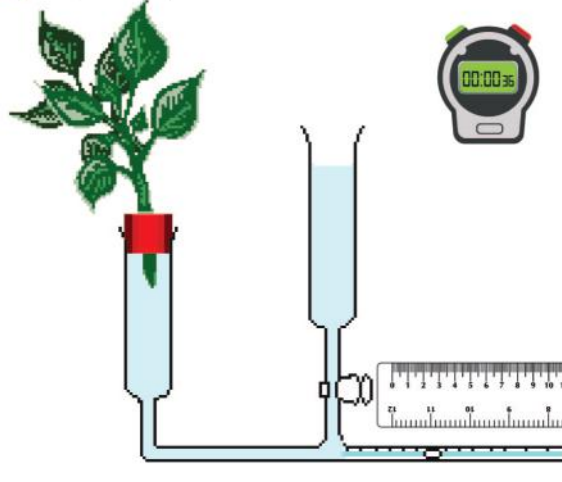
$$\text{المساحة} = \frac{56 \text{ مربع}}{1 \text{ مربع}} \times \frac{16 \text{ mm}^2}{1} = 896 \text{ mm}^2$$

$$R = \frac{\text{المساحة}}{L \times W}$$

أوراق أخرى

$$\text{المساحة} = R \times L \times W$$

جهاز قياس النتح



شكل 20-3 استخدام جهاز قياس النتح لقياس معدل النتح.

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 طبق . وعلى عضو ثانٍ إعداد البوتوميتر مستخدمًا التعليمات المرفقة.
4. لاحظ أوراق النبات مع إبقاء الساق المقطوعة مغمورة في الماء الملون.
- عُدّ الأوراق وقس طول (L) وعرض (W) كل ورقة.
- إذا كان نباتك يحتوي على أكثر من ورقة واحدة، فاختر رقمًا لكل ورقة وسجل الملاحظات الخاصة بك في الجدول 1.
5. قم بإعداد بوتوميتر مجموعتك وفق توجيهات معلمك.

صمم تجربة



أخذًا في الاعتبار العوامل التي تؤثر في النتح والتي تجري مناقشتها في نهاية هذا الدرس. كيف يمكنك استخدام البوتوميتر والمستشعرات لاختبار فرضية عن تأثيرات تلك العوامل؟ ما المتغيرات التي يجب التحكم فيها؟ ما المستشعرات التي يمكنها قياس المتغيرات في تجربتك؟ ما المتغير المستقل؟ ضع قائمة بالأدوات المحتملة والخطوات. احصل على الموافقة على تجربتك قبل تنفيذها.

آلية عمل الثغور

تعمل النباتات بشكل نشط على فتح الثغور وإغلاقها للتحكم في نقل الماء. في النهار، تحفز طاقة ضوء الشمس الإلكترونات في الكلوروفيل، فتمتلئ فجوات الخلايا الحارسة بالماء وتُفتح الثغور (الشكل 3-21a). في الليل تفقد الخلايا الحارسة الماء وتنكمش، فتُغلق الثغور (الشكل 3-21b).

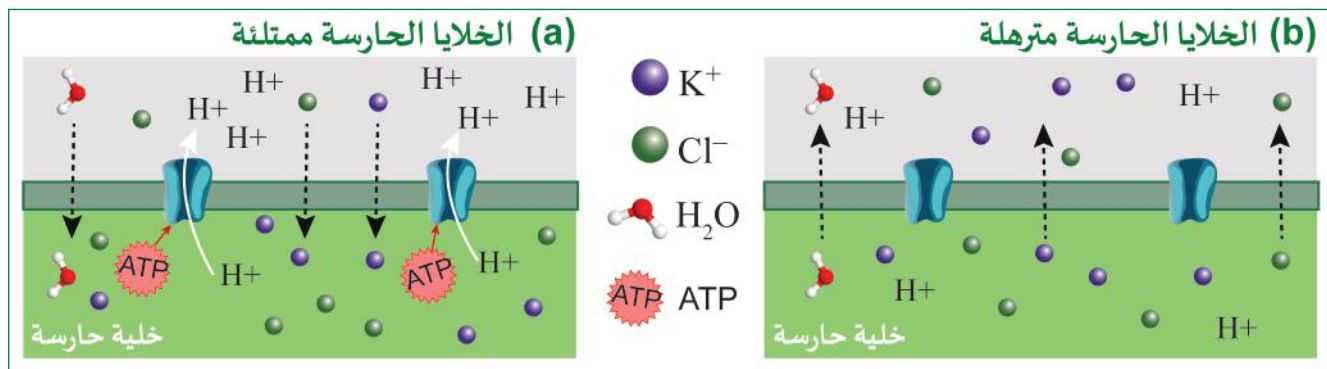


شكل 3-21 (a) الخلايا الحارسة ممتلئة و الثغور مفتوحة في النهار. (b) في الليل تصبح الخلايا الحارسة مترهلة، وتُغلق الثغور لمنع فقدان الماء.

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

في النهار، تحفز مستقبلات الضوء «الفوتوتروبين» في الخلايا الحارسة الضخّ النشط لأيونات H^+ إلى خارج الخلايا الحارسة باستخدام ATP (الشكل 3-22)، 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، فيتدفق الماء إلى السيتوسول بفعل الخاصية الأسموزية. هذا يجعل الخلايا الحارسة تمتلئ وتفتح الثغور.

في الليل، تقوم مستقبلات الفوتوتروبين في الخلية الحارسة بإيقاف الضخّ النشط لأيونات H^+ . تعود أيونات H^+ و K^+ و Cl^- مرة أخرى إلى حدّ التوازن في التركيز عبر الغشاء. يتدفق الماء مرة أخرى إلى خارج الخلية الحارسة بفعل الخاصية الأسموزية، وهذا يجعل الخلية الحارسة مترهلة فتُغلق الثغور كما هو ظاهر في (الشكل 3-22).



شكل 3-22 عملية فتح الثغور وإغلاقها.

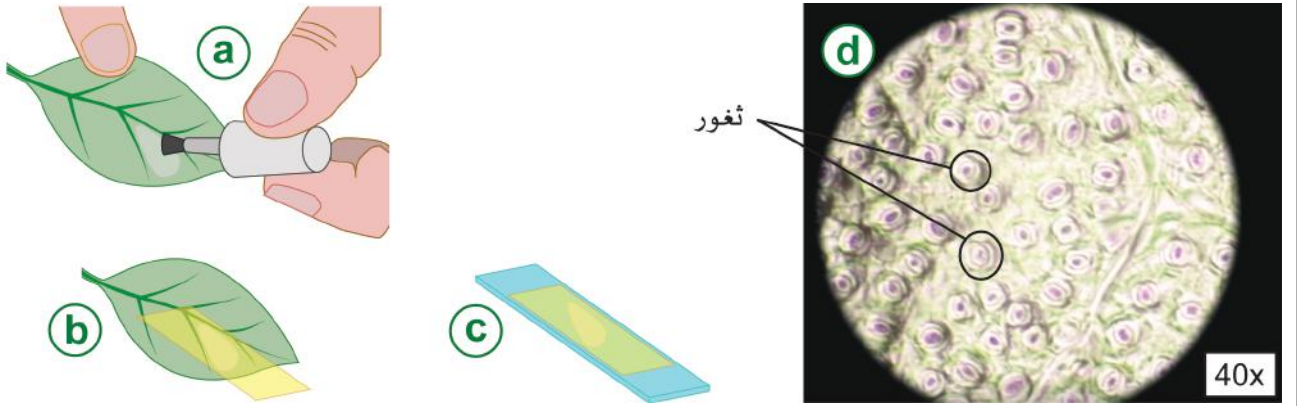


إعداد طبعة ورقة

c1-3

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

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



شكل 23-3 ملاحظة الثغور على ورقة نبات.

الخطوات

- قم بوضع طبقة رقيقة من طلاء الأظفار الشفاف غير الملون على بقعة بطول 1 cm على سطح ورقة نبات، واترك الطلاء حتى يجف تمامًا لمدة 10-15 دقيقة على الأقل.
- عندما يجف الطلاء، خذ قطعة من شريط بلاستيكي لاصق وشفاف، وألصقه بلطف على الورقة فوق طلاء الأظفار. اضغط على الشريط بأطراف الأصابع.
- ارفع بلطف وانقل طبعة الورقة إلى شريحة مجهرية.
- لاحظ الطبعة عند التكبير 40x. عدّ الثغور في الشبكة على كل من السطح العلوي من الورقة والسطح السفلي.

الأسئلة

- ما نوع النبات الذي استخدمته؟ ما بيئته المحلية؟
- احسب كثافة الثغور بالمليمتر المربع على السطح العلوي من الورقة وعلى السطح السفلي. هل القيم متشابهة؟
- قدّر الجزء من مساحة الورقة الجاهز لتبادل الغازات. ستحتاج إلى تقدير مساحة فتحة كل ثغر.

جهد الماء

يتحرك الماء في نسيج الخشب إلى الأعلى مترًا واحدًا في الساعة تقريبًا، وهذا يُسمّى «التدفق الكمي»، وهو أسرع بآلاف المرات من الانتشار. تتحرك كتلة الماء إلى الأعلى عكس قوة الجاذبية بسبب الاختلافات في جهد الماء. ويعرف جهد الماء بأنه كمية الطاقة الكامنة للماء النقي في وحدة الحجم تحت الظروف القياسية، وهو يعكس قابلية جزيئات الماء وقدرتها على التحرك بين محلولين مختلفي التركيز عبر غشاء شبه منفذ. يكون جهد الماء في الأوراق أقل من جهد الماء في الجذور، فيساعد الفرق في الجهد على سحب الماء إلى الأعلى.

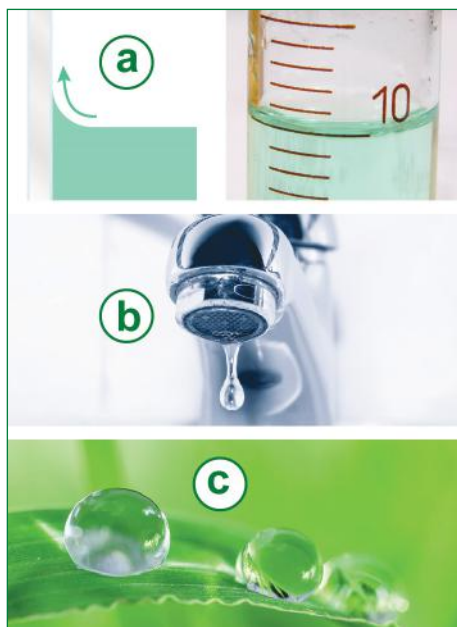
يتحرك الماء من الوسط ذي جهد الماء الأعلى في الجذور إلى الوسط ذي جهد الماء الأدنى في الأوراق.



يُقاس جهد الماء بوحدات الضغط (MPa). جهد الماء للهواء الجاف يساوي -100 MPa ، أمّا جهد الماء النقي المنكشف على الجو فهو 0 MPa . يوضّح (الشكل 24-3) القيم النموذجية لجهد الماء في أنسجة النباتات الوعائية.



شكل 24-3 يتدفق الماء من جهد الماء الأعلى إلى الجهد الأدنى.



شكل 25-3 أمثلة على (a) التلاصق، و (b) التماسك، و (c) التوتر السطحي.

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

التلاصق: تنجذب جزيئات الماء إلى الأسطح التي لديها جزيئات قطبية. وهذا ما يجعل سطح الماء يلتصق ويصعد على جوانب المخبر المدرج كما يظهر في (الشكل 25-3a). تجذب أنسجة النقل النباتية جزيئات الماء بهذه الطريقة.

التماسك: تقوم جزيئات الماء الملتصقة بالأسطح بجذب جزيئات الماء المتصلة بها عن طريق خاصية التماسك (الشكل 25-3b).

التوتر السطحي: ينتج التماسك قوة على امتداد سطح الماء تشدّ السطح بعضه إلى بعض. يسحب التوتر السطحي الماء محوّلًا إيّاه إلى قطرات كما هو ظاهر في (الشكل 25-3c).

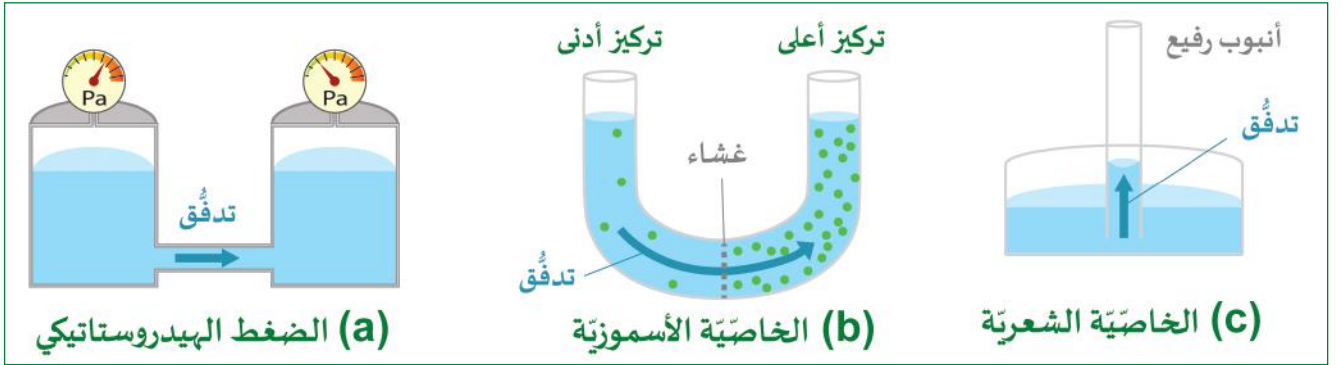
جهد الماء في النباتات

يؤثر جهد الماء في النبات بثلاث طرائق:

a. يزيد الماء المتدفق إلى الخلايا بفعل الخاصية الأسموزية الضغط الهيدروستاتيكي داخلها (الشكل a26-3).

b. تسبب الخاصية الأسموزية حركة الماء نحو الخلية التي لديها تركيز مذاب أعلى من الخلايا المجاورة أو الفراغات بين الخلايا (الشكل b26-3).

c. ينتج اتحاد التلاصق والتماسك خاصية شعرية تسحب الماء إلى الأعلى في أنبوب رفيع (الشكل c26-3).

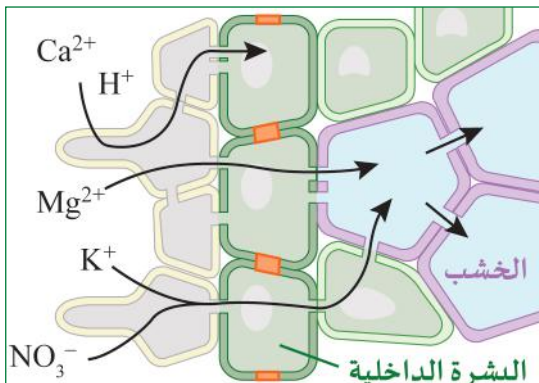


شكل 26-3 إسهامات جهد الماء في النباتات.

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^-)، والفوسفات (PO_4^{3-})، والفوسفات (PO_4^{3-}). يتم امتصاص هذه المواد عند إضافتها إلى التربة مع الماء من خلال الجذور، ثم تُوزع. لذا، فإن الأسمدة النباتية التي تُباع في المشاتل تحتوي على هذه المعادن والمذابات.

تدخل المعادن والأيونات من خلال الشعيرات الجذرية متبعة ممرات الماء نفسها. وبسبب شريط كاسبر Casparian strip، فإن على الماء والمعادن أن تمر عبر الخلايا الحية للبشرة الداخلية قبل الدخول إلى نسيج الخشب (الشكل 27-3). تسمح هذه الخطوة لخلايا البشرة الداخلية بالتحكم في تدفق الماء والمعادن.



شكل 27-3 نقل الأيونات إلى أوعية الخشب في الجذر.

في الليل، تكون الثغور مغلقة فلا يحدث النتح. تضخ الخلايا الجذرية المعادن والأيونات في أوعية الخشب بعملية نقل نشط، فيزداد تركيز الأملاح فيها وينخفض جهد الماء، ما يؤدي إلى سحب الماء إليها بالخاصية الأسموزية. يبذل هذا الماء ضغطاً هيدروستاتيكياً يُسمى «الضغط الجذري». يمكن أن يساعد «الضغط الجذري» في دفع الماء إلى الأعلى في الخشب، إلا أن تأثيره يبقى صغيراً 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 ومن هذه التحديات:

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 يحدث الضغط تدفقًا مستمرًا للماء.

- يمكن دفع الماء إلى الأعلى من الجذور إلى الأوراق. هذا يتطلب ضغطًا إيجابيًا في الجذور.
- يمكن سحب الماء إلى أوراق الشجر عبر السيقان والجذور. هذا يتطلب ضغطًا سلبيًا في الأوراق والسيقان.

شكل 3-28 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: يحدث الضغط الجذري ضغطًا إيجابيًا في نسيج الخشب في الجذور، ما يدفع الماء إلى مسافة أقل من 1 m.

الخاصية الشعرية: وهي ميل الماء إلى الارتفاع في الأوعية الضيقة. تنشأ الخاصية الشعرية من التماسك والتلاصق والتوتر السطحي. لا يتعدى ارتفاع الماء بسبب الخاصية الشعرية مسافة 1 m.

سحب النتح: يحدث النتح ضغطًا سلبيًا في نسيج الخشب في أوراق النباتات. يتسبب الضغط السلبي



شكل 3-29 فرضية الشد والتماسك.

«بالسحب» من الأوراق وهذه هي الآلية الرئيسة للحركة الصاعدة للعصارة في نسيج الخشب.

تشرح فرضية الشد والتماسك كيف يقوم الضغط السلبي الناتج عن النتح بسحب الماء من الجذور عبر السيقان إلى الأوراق (الشكل 3-29). يساعد الضغط الجذري والخاصية الشعرية الضغط السلبي.

فرضية الشد والتماسك

نتيجة لوجود قوى التماسك بين جزيئات الماء مع بعضها ، وقوى التلاصق بين جزيئات الماء وجدران الأوعية الخشبية ، يكون عمود الماء داخل النبات متصلا من الأوراق الى الجذور. و بسبب قوة التماسك تتقارب الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء فتتولد قوة شد (ضغط سلبي) تسحب الماء بالتتابع من الجذور الى الأوراق.

a. خروج بخار الماء من خلال الثغور

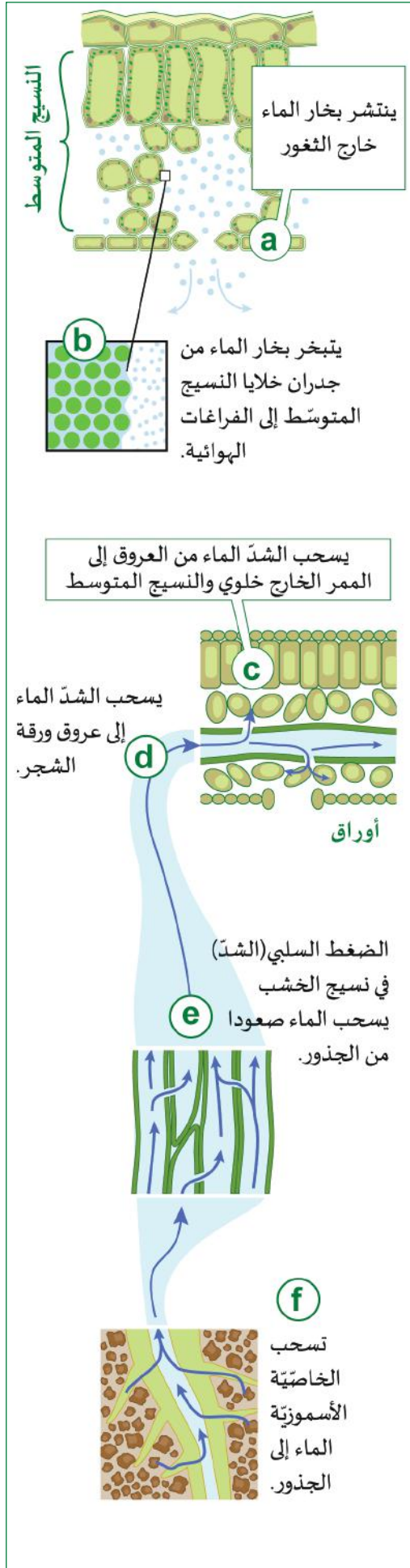
في النهار، تفتح الثغور وتسخن الشمس الطبقة الرقيقة من الماء في الممر الخارج خلوي لخلايا النسيج المتوسط والمبطنة للفراغات الهوائية. يتبخر الماء، وتنفصل جزيئات الماء لتشكل بخار الماء. ينتشر بخار الماء من خلال الثغور المفتوحة الى الهواء الجوي مع فرق تركيزه (الشكل 3-30a). تذكر أن التبخر هو تغيير في حالة المادة من السائل إلى الغاز (بخار).

b. التبخر من طبقة النسيج المتوسط يولد الشد

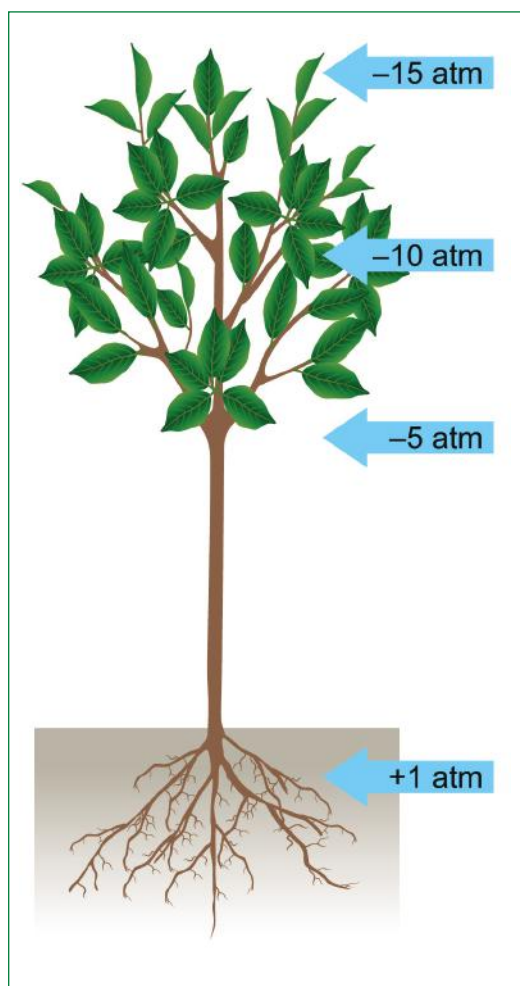
التبخر المستمر للماء يسبب تقعر سطح الماء وارتداد الطبقة الرقيقة من الماء المتواجد على جدران خلايا النسيج المتوسط وهذا يؤدي الى تمدد سطح السائل، فيحدث التوتر السطحي ضغطاً سلبياً (شداً) على جزيئات الماء داخل جدران خلايا النسيج المتوسط. هذا الضغط السلبي يسحب الماء من السيتوسول إلى الممر الخارج خلوي (الشكل 3-30b). ولأن عمود الماء متصل، فإن الضغط السلبي ينتقل إلى نسيج الخشب.

c. تسحب الخاصية الأسموزية الماء من نسيج الخشب

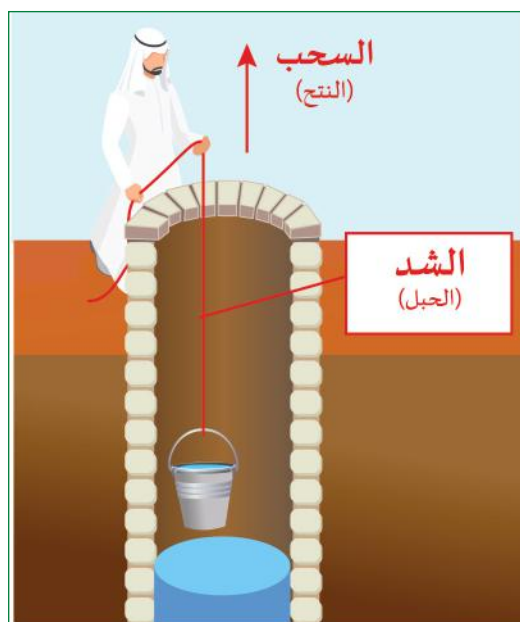
تساعد الخاصية الأسموزية في انتقال الماء من نسيج الخشب إلى خلايا الأوراق، حيث أن السيتوسول في خلايا الأوراق لديه تركيز أعلى في المذابات، وبالتالي جهد ماء أقل (الشكل 3-30c).



شكل 3-30 فرضية الشد والتماسك.



شكل 3-31 يسحب الضغط السلبي في أوراق النبات الماء إلى الأعلى.



شكل 3-32 سحب الماء بوساطة الحبل.

d. نقل الشّد (الضغط السلبي) إلى نسيج الخشب

ينتقل الشّد السلبي الناتج عن التبخر في الأوراق إلى الأسفل، ما يؤدي إلى سحب عمود الماء إلى الأعلى عبر أوعية الخشب (الشكل 3-30d). ولذا يجب أن يكون عمود الماء متصلاً. 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

بسبب استمرار عملية النتج يستمر الضغط السلبي في عمود الماء في نسيج الخشب (الشكل 3-30e). يحدث الضغط السلبي شداً يسحب الماء من الجذور (الشكل 3-31). تمنع حلقات اللجنين في جدر أنسجة الخشب انهيار أوعية نسيج الخشب بسبب الضغط السلبي الضخم بالطريقة نفسها التي تعمل بها حلقات خرطوم المكنسة الكهربائية.

f. تسحب الخاصيّة الأسموزيّة الماء من التربة

يتدفّق الماء من التربة إلى الشعيرات الجذرية عن طريق الخاصيّة الأسموزيّة (الشكل 3-30f). لدى السيّوسول في خلايا الشعيرات الجذرية تركيز أعلى للمذاب، وبالتالي 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.

يمكن مقارنة صعود الماء للأعلى في أنابيب الخشب برجل يستخدم حبلاً وبكرة لسحب دلو ماء للأعلى. يمثل الرجل قوة الشّد الناتجة من النتج، في حين يمثل الحبل عمود الماء المتصل. عندما يقوم الرجل بسحب الحبل، فإن قوة شدّ سالبة تتولد في الحبل تعمل على سحب الدلو للأعلى (الشكل 3-32).

العوامل البيئية المؤثرة في النتح

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

درجة الحرارة

مع ارتفاع درجة الحرارة تزداد الطاقة الحركية للجزيئات ويرتفع معدل التبخر، فيزداد النتح إلى حدّ يعتمد فيه على عدد الثغور المفتوحة (الشكل 33-3a).

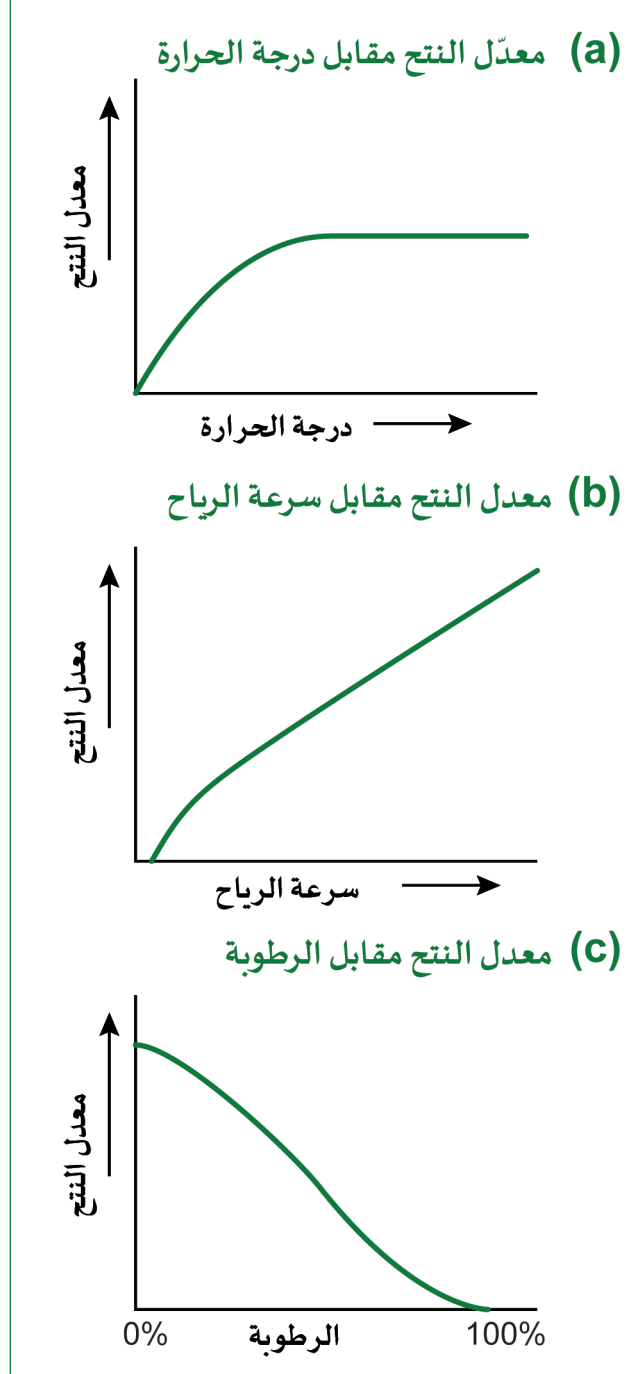
سرعة الرياح

يحمل الهواء المتحرك الذي يهبّ على سطح ورقة النبات الهواء الرطب بعيداً وبأسرع من الهواء الساكن. إذا كانت جميع المتغيرات الأخرى ثابتة، فإنّ معدّل النتح يزداد مع سرعة الرياح كما هو ظاهر في (الشكل 33-3b).

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 33-3c).

- يكون الهواء عند نسبة الرطوبة 0 % جافاً تماماً، ويستقبل بخار الماء بسرعة كبيرة، وهذا يؤدي إلى ارتفاع معدّل النتح.
- لا يمكن للهواء، عند نسبة الرطوبة 100 %، حمل المزيد من بخار الماء. لذا يتوقف التبخر وينخفض معدّل النتح إلى الصفر.



شكل 33-3 المتغيرات التي تؤثر في النتح هي: (a) درجة الحرارة، (b) سرعة الرياح، (c) الرطوبة.

أيّ من هذه الأقاليم الحيوية يُسجّل فيه أدنى متوسط لمعدل النتح؟

اشرح العوامل المؤثرة في معدل النتح في كلّ إقليم.

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

1. *  اشرح الفرق بين الممرّين الخلوي جماعي والخارج خلوي برسم بسيط يتضمّن المصطلحات الآتية:
 - a. الممرّ الخارج خلوي
 - b. الروابط البلازمية
 - c. الممر الخلوي جماعي
 - d. الجدار الخلوي
2. اذكر وجهي شبه لأجهزة النقل في النباتات والحيوانات، واذكر طريقتين يختلف فيهما الجهازان.
3.  ارسم مخططاً بسيطاً يُظهر المسارّين المختلفين 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». ضمّن الخارطة هذه المصطلحات: الممرّ الخارج خلوي، شريط كاسبر، الجدار الخلوي، السيتوسول، البشرة الداخلية، البشرة، الشُعيرات الجذرية، الممرّ الخلوي جماعي، وعاء خشبي.
6.  ارسم مخططاً باستخدام دوائر متعدّدة بأحجام مختلفة توضح فيه تنظيم أنسجة النقل في ورقة نبات وعائي. يجب أن يحتوي المخطط على المصطلحات: نسيج الخشب، نسيج اللحاء، البشرة الداخلية، الحزم الوعائية.
7. فيمّ يختلف نقل الماء عبر الأغشية الخلوية عن نقل الأيونات مثل أيونات البوتاسيوم (K^+)؟ اشرح.
8. *  صف، شريط كاسبر، وحدّد 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 النتج.
 - a. درجة الحرارة العالية
 - b. الرطوبة المنخفضة
 - c. الكثافة المنخفضة للثغور
 - d. الرياح الشديدة
10.  أعطِ مثالاً على تكيف الثغور لدى بعض النباتات الصحراوية.

الدرس 2-3

نقل الغذاء

Translocation



شكل 34-3 أقدم كائن حي هو شجرة الصنوبر المعمّر.

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 34-3). ولكنّ معدّل الأيض البطيء لا يعني أنّ النباتات بسيطة، فالنباتات لها آليات داخلية معقّدة للغاية لإنتاج الغذاء ونقله وتخزينه. وبدون وجود الدورة النشطة للقلب، 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.

المفردات



Sieve tube	الأنبوب الغربالي
Companion cells	الخلايا المرافقة
Sieve tube element	الخلية الوعائية الغربالية
Sieve plate	الصفحة الغربالية
Sugar source	مصدر السكر
Sugar sink	مصّب السكر
Active loading	التحميل النشط
Pressure-flow theory	فرضية ضغط التدفق

مخرجات التعلّم

- B1220.1** يصف انتقال نواتج عملية البناء الضوئي في اللحاء.
- B1220.2** يشرح دور الخلايا المرافقة في نقل نواتج البناء الضوئي.

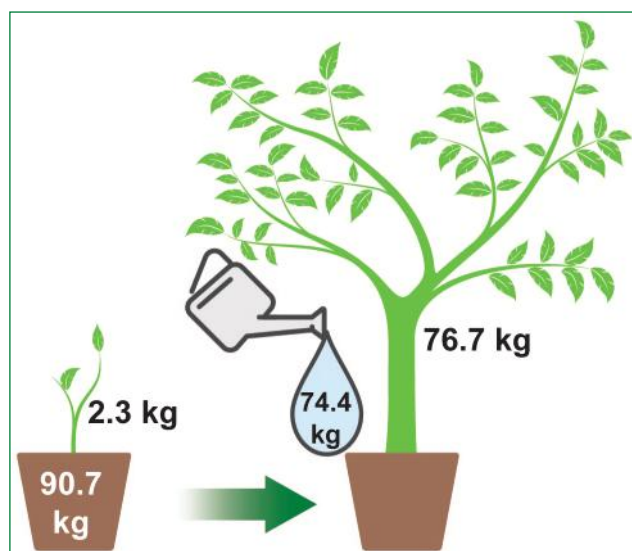
ملاحظات ووقائع ومنهج علمي (إثراء)



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 (200 lbs) 90.7 kg منها بعناية ثمّ وضعها في إناء كبير. وزرع فيه شتلة من شجر الصفصاف كان وزنها (5 lbs) 2.3 kg 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 (169 lbs, 76.7 kg) 3oz. استنتج فان هيلمونت أنّ 74.4 kg (164 lbs) من الشجرة جاءت من الماء الذي تمّت إضافته.

شكل 3-35 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 واقعياً كثيرًا. وعلى سبيل المثال، فإنّ 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
بأنّ 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 اللحاء

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

- خلايا اللحاء 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 السلبي في أغلب الأحيان.

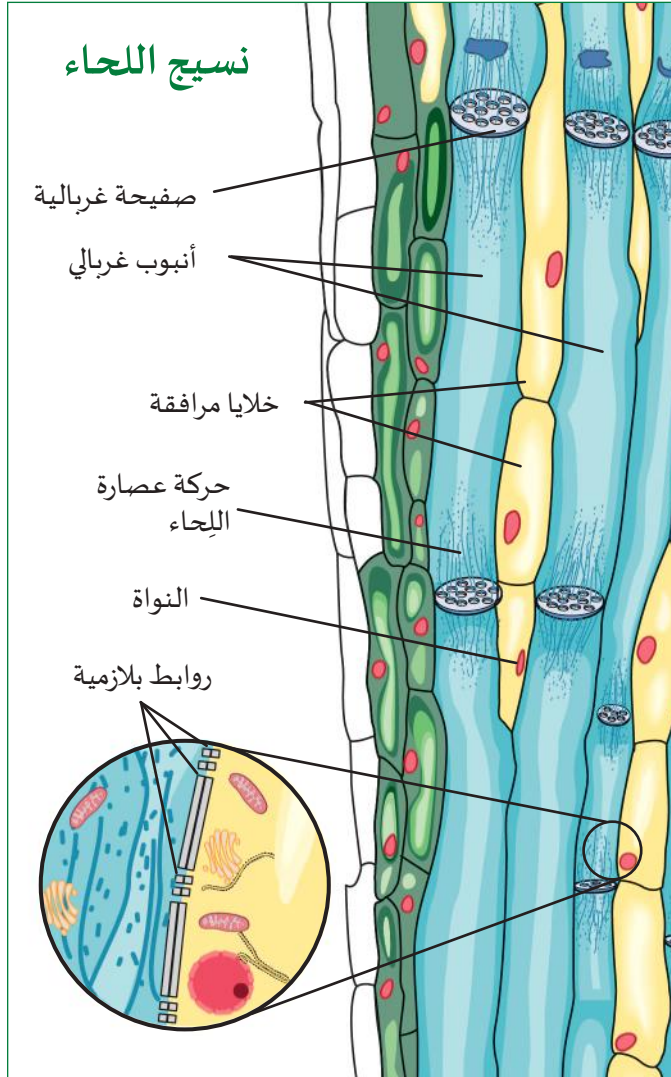
يتكوّن نسيج اللحاء من عمودين من الخلايا الوعائية الغربالية المكوّنة للأنابيب الغربالية **Sieve tubes** والخلايا المرافقة **Companion cells**.

الخلايا الوعائية الغربالية

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

الخلايا المرافقة

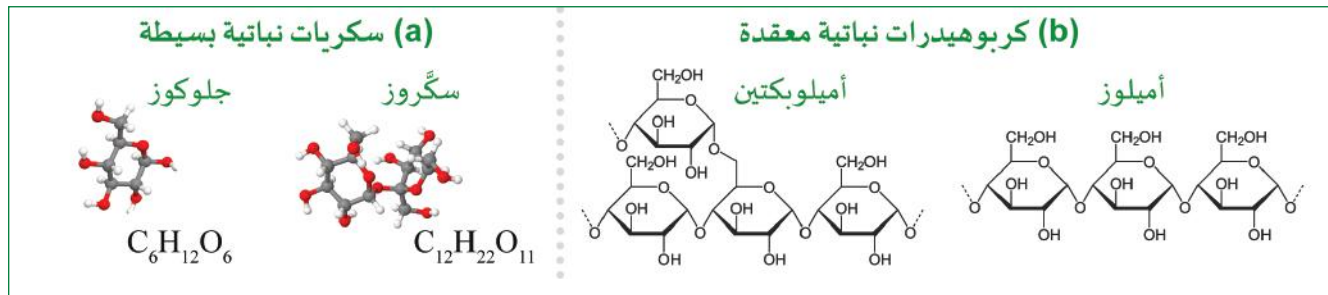
لا يمكن للخلايا الوعائية الغربالية تكوين البروتينات، لأنها لا تمتلك نوى أو رايبوسومات. لذا، فإنّ لكلّ خلية من الخلايا الوعائية الغربالية **خلية مرافقة Companion cell** أو أكثر، وتُعدّ الخليتان، المرافقة والغربالية، وحدة واحدة. ترتبط الخلية المرافقة والخلية الوعائية الغربالية عن طريق الروابط البلازمية، وهناك تبادل حرّ للمواد العضوية القابلة للذوبان بين الخليتين كما هو ظاهر في (الشكل 3-36) الخلايا المرافقة تضمّ كلّ العضيات الخلوية، بما في ذلك النواة. وتحتوي الخلايا المرافقة على عدد كبير من الميتوكوندريا والرايبوسومات، حيث تمتد الخلايا الوعائية الغربالية المجاورة بالبروتينات وATP. يجب أن يدعم الأيض الغذائي في الخلية المرافقة الخلية نفسها، بالإضافة إلى الخلية الوعائية الغربالية الأكبر حجماً.



شكل 3-36 يشمل نسيج اللحاء الأنابيب الغربالية والخلايا المرافقة.

مصادر السكر ومصباته

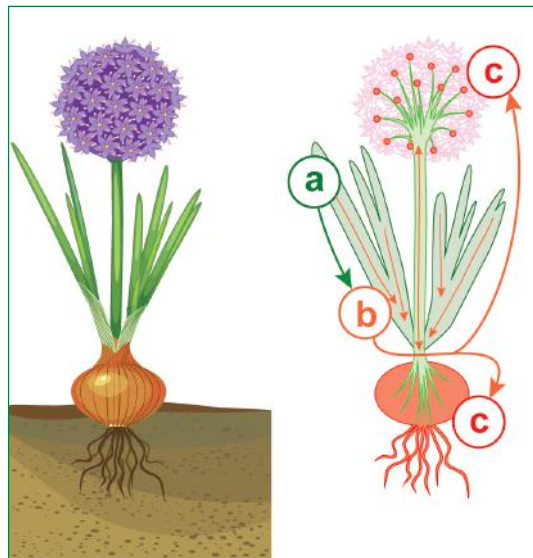
أكثر المواد المذابة شيوعاً في عصارة اللحاء هو السكر. في جميع النباتات، يتم إنتاج الجلوكوز بعملية البناء الضوئي. يتم تحويل الجلوكوز إلى السكروز أو غيره من السكريات الثنائية (الشكل 3-36a)، ثم يتم نقل السكروز في عصارة اللحاء إلى خلايا نباتية أخرى، والتي تبني كربوهيدرات معقدة، مثل الأميلوبكتين والأميلوز اللذين يكوّنان النشا (الشكل 3-37b).



شكل 3-37 السكريات النباتية هي (a) الجلوكوز والسكروز، و (b) الكربوهيدرات المعقدة للتخزين مثل الأميلوبكتين أو مركبات الأميلوز.

تنقل النباتات السكريات مثل السكروز في عصارة اللحاء وتخزن الكربوهيدرات المعقدة.

تنقل عصارة اللحاء أيضاً الأيونات والهرمونات والفيروسات وATP بالإضافة إلى السكر. ولكن المواد المذابة الرئيسية هي السكروز والكربوهيدرات. يسلط هذا الدرس الضوء على السكروز لشرح العملية الرئيسية في نقل الغذاء. يرى علماء الأحياء أن نقل الغذاء في الغالب هو حركة السكروز من المصادر إلى المصبات.



شكل 3-38 يتضمن النقل في اللحاء (a) التحميل،

و (b) نقل الغذاء، و (c) التفريغ.

مصادر السكر Sugar Sources

مصدر السكر هو جزء من النبات يكون منتجاً صافياً للسكر مثل ورقة النبات.

مصبات السكر Sugar sinks

مصب السكر هو الجزء من النبات الذي يستقبل السكر للطاقة أو للتخزين أو للنمو أو للتكاثر.

إن عملية إنتاج السكريات في النباتات ونقلها واستخدامها تتكوّن من ثلاث مراحل كما يظهر في (الشكل 3-38):

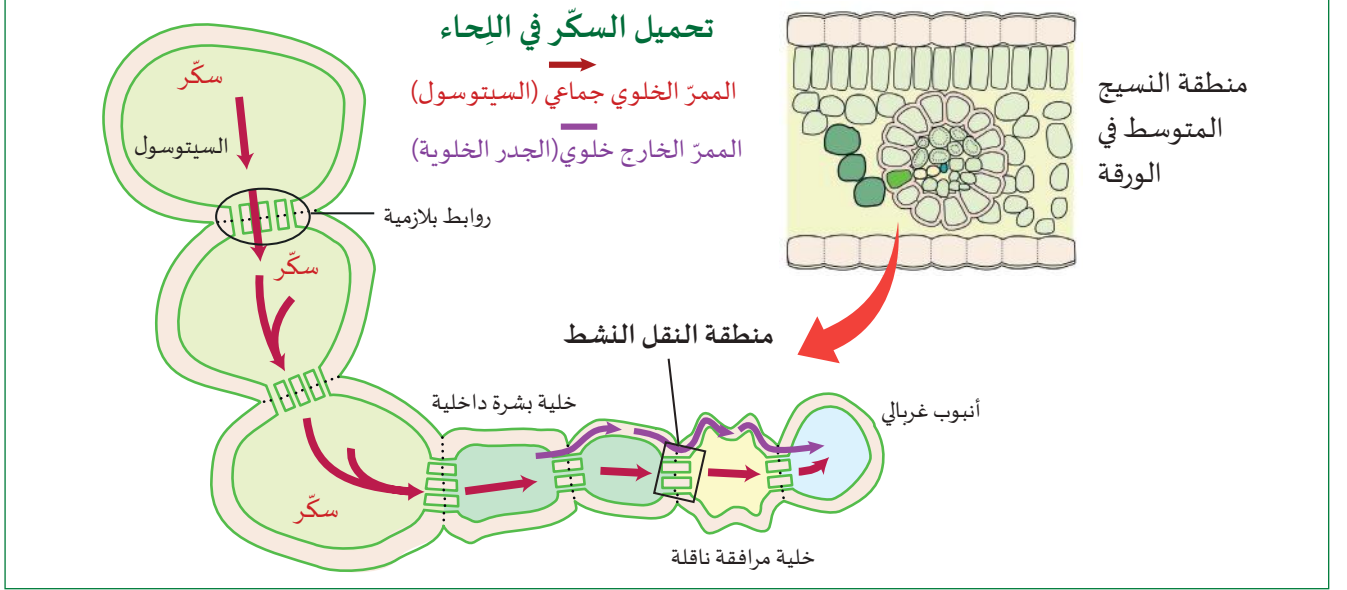
a. التحميل: يُنقل السكر من المصادر في الأوراق إلى عصارة اللحاء.

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

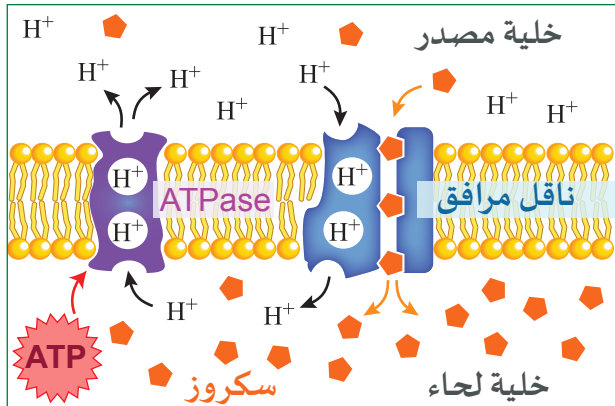
c. التفريغ: يُنقل السكر بالنقل النشط عكس فرق التركيز من عصارة اللحاء إلى خلايا المصب لاستخدامه في النمو أو التكاثر أو التخزين.

مصادر السكر والتحميل النشط

يتم إنتاج السكر أثناء عملية البناء الضوئي في النسيج المتوسط لأوراق النبات. تربط الروابط البلازمية Plasmodesmata الخلايا المنتجة للسكر في الورقة بالأنابيب الغربالية (الشكل 3-39). بمجرد وصول السكر إلى حزمة وعائية، يمكن أن ينتقل السكر عبر الممر الخلوي جماعي symplast أو عبر الممر الخارج خلوي apoplast للوصول إلى أنبوب غربالي.



شكل 3-39 إنتاج السكر وتدفقه في ورقة النبات.



شكل 3-40 النقل النشط للسكر إلى خلايا نسيج اللحاء.

إن تركيز السكر هو الأعلى في عصارة اللحاء قرب المصدر، ويبلغ 30%. **التحميل النشط** **Active loading** هو عملية دفع السكر إلى الأنبوب الغربالي عكس فرق التركيز. يستخدم التحميل النشط ATP لضخ H^+ إلى خارج خلايا اللحاء، ما يكون فرق تركيز H^+ (الشكل 3-40) عبر أغشية الخلايا الناقلة والخلايا الغربالية.

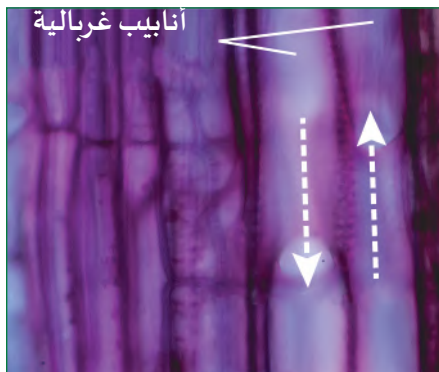
تحتوي الخلايا المرافقة في نسيج اللحاء على عدد

كبير من الميتوكوندريا توفر الطاقة اللازمة للنقل النشط. لهذه الخلايا أيضًا جُدرٌ خلوية متعرجة، ما يزيد من مساحتها السطحية لأجل النقل.

يقوم إنزيم ATPase المعروف باسم مضخة البروتونات بضخ H^+ عكس فرق تركيزه من المسار الخلوي جماعي للخلايا الغربالية والخلايا الناقلة إلى المسار الخارج خلوي لها (الشكل 3-39). تراكُم أيونات الهيدروجين في المسار الخارج خلوي يؤدي إلى زيادة تراكيزه فيبدأ بالعودة مع فرق تركيزه إلى داخل الأنابيب الغربالية والخلايا الناقلة عبر قنوات بروتينية متخصصة تسمى (البروتين الناقل المرافق). حركة البروتونات مع فرق التركيز تؤدي إلى إطلاق طاقة تستخدم في نقل جزيئات السكر من المسار الخارج خلوي إلى المسار الخلوي جماعي للخلايا الغربالية والخلايا المرافقة.

حاجة نقل السكروز إلى طاقة ATP

- يتمّ جمع السكر والكربوهيدرات الأخرى وتركيزها في سيتوسول الأنابيب الغربالية للحاء. يمكن أن يتحرّك السكر بحريّة في أي اتجاه داخل اللحاء عبر الصفائح الغربالية. تستخدم النباتات المختلفة استراتيجيات مختلفة لنقل السكر من اللحاء إلى الخلايا للتنفّس الخلوي أو النموّ أو التكاثر أو التخزين (المصبات).
- جزيئات السكر أكبر من أن تنتشر بسرعة عبر الأغشية في معظم النباتات الوعائية. ويتطلّب نقل السكر من اللحاء إلى خلايا نباتية أخرى استهلاك جزيئات ATP بعملية النقل النشط.
 - تعيش الأشجار زمنًا طويلاً مقارنةً بمعظم النباتات، وقد تكيّفت مع طاقة أيض أقلّ. حيث يتدفّق السكر من عصارة اللحاء إلى الخلايا عن طريق الانتشار في الأشجار.



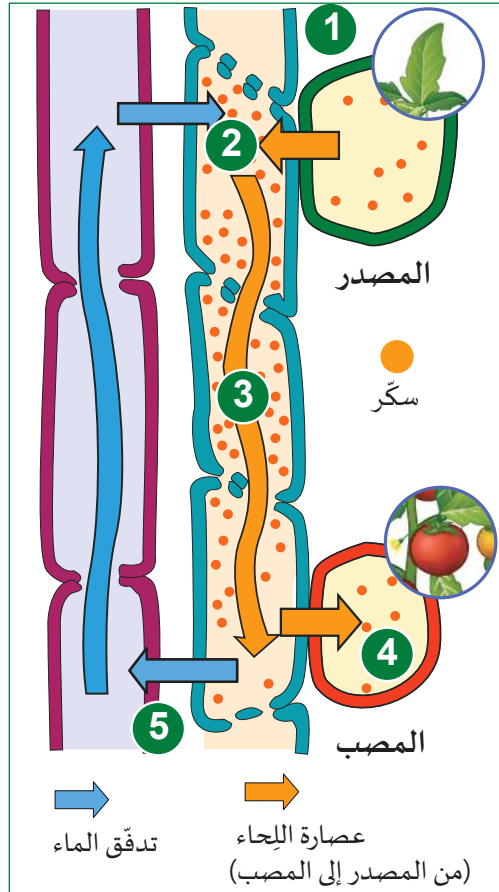
يأخذ النقل في اللحاء اتجاهات متعدّدة نتيجة تغيّر المصادر والمصبات. وعلى سبيل المثال، فإنّ الزهرة هي مصبّ سكر، وقد تكون الورقة المجاورة لها مصدرًا لتلك الزهرة. قد يتمّ نقل السكر من الأوراق الأخرى القريبة إلى أجزاء مختلفة من النبات. يمكن أن تحمل الأنابيب الغربالية المجاورة العصارة في اتجاهين متعاكسين (الشكل 3-41).

شكل 3-41 يمكن أن تنقل الأنابيب الغربالية المتجاورة الموادّ في اتجاهين متعاكسين.

فرضية ضغط التدفق

يتمّ نقل السكر في اللحاء غالبًا عن طريق ضغط التدفق، على غرار حركة الماء في نسيج الخشب. ومع ذلك، فقد تكون المصادر والمصبّات مختلفّة الأماكن، وقد تتغيّر. يجب أن يكون التدفق في الأنابيب الغربالية قابلاً للانعكاس، على عكس التدفق في نسيج الخشب الذي يصعد دائماً من الجذور إلى الأوراق. عندما تقوم النباتات بتحميل نشط للسكر في خلايا اللحاء يخفض التركيز العالي للسكر في عصارة اللحاء من جهد الماء في خلية اللحاء نسبةً إلى الخلايا المجاورة. فينتقل الماء بالخاصية الأسموزية من أوعية الخشب إلى الأنبوب الغربالي، وبالتالي يصبح الضغط الهيدروستاتيكي في الأنبوب الغربالي في منطقة المصدر أعلى من الضغط الهيدروستاتيكي في منطقة المصب فيتدفق السكر باتجاه المصب.

الآلية التي تحرّك العصارة في اللحاء تُسمّى **فرضية ضغط التدفق pressure-flow hypothesis**. (الشكل 3-42)، وتتضمن الخطوات الآتية:

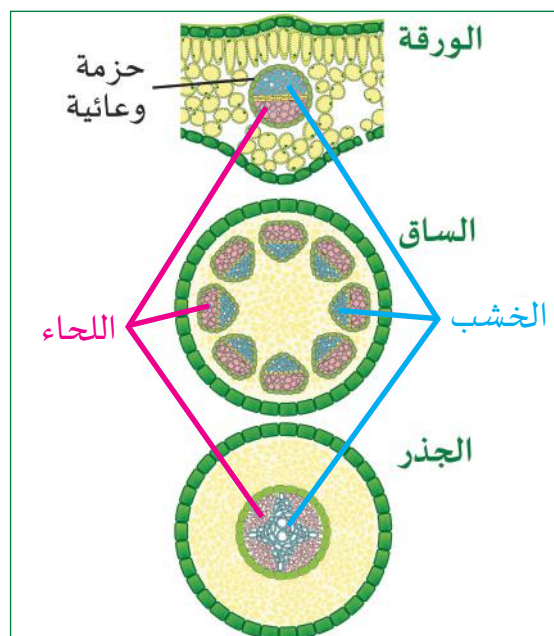


شكل 3-42 فرضية ضغط التدفق

- 1. التحميل Loading:** يُحمّل السكر بالنقل النشط في الأنابيب الغربالية عند المصدر، ممّا يقلّل من جهد الماء في الأنبوب الغربالي قرب المصدر.
 - 2.** يؤدي تحميل السكر الى تدفق الماء من نسيج الخشب إلى الأنبوب الغربالي بفعل الخاصية الأسموزية.
 - 3. نقل الغذاء Translocation:** يحدث انتقال الماء قرب المصدر ضغطاً هيدروستاتيكياً إيجابياً يُرسل عصارة اللحاء نزولاً أو صعوداً في الأنبوب الغربالي وفقاً للفرق في الضغط.
 - 4. التفريغ Unloading:** يتمّ تفريغ السكر من الطرف الآخر من الأنبوب الغربالي في المصبّ. يسحب النقل النشط السكر إلى المصبّ، فيقلّ التركيز في عصارة اللحاء ويرتفع جهده المائي.
 - 5.** يعود الماء إلى أوعية الخشب المجاور عن طريق الخاصية الأسموزية وهذا يخفض الضغط في اللحاء.
- تؤكد فرضية ضغط التدفق أنّ التدفق عبر الأنابيب الغربالية يحدث بسبب اختلاف الضغط الهيدروستاتيكي بين أجزاء الأنبوب الغربالي القريبة من المصادر والمصبّات المتصلة بذلك الوعاء.

عند المصدر، يسبب التحميل النشط للغذاء انخفاضاً في جهد الماء في الأنابيب الغربالية. فينتقل الماء من نسيج الخشب إلى اللحاء. أمّا في الأجزاء الواقعة بين المصادر والمصبّات، فيكون جهد الماء متساوياً في نسيج الخشب واللحاء. عند المصبّ، يتمّ تفريغ كمية كبيرة من السكر بالنقل النشط، فيزداد جهد الماء داخل الأنبوب الغربالي مقارنة بجهد الماء في أوعية الخشب المجاورة، فيندفع الماء بالخاصية الأسموزية إلى الخشب.

مقارنة بين نقل الغذاء والنتح



شكل 3-43 الأنسجة الوعائية.

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 3-43).
- يحرك النتح ونقل الغذاء بشكل أوّلِيّ المذابات بفعل ضغط التدفق (حركة تحت تأثير فرق ضغط)، وهو أسرع بكثير من الانتشار.

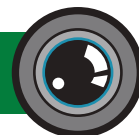
يلخّص الجدول 1-3 الاختلافات الرئيسة بين جهازَي النقل. هناك أيضًا المزيد من الاختلافات على مستوى المذابات المنقولة.

الجدول 1-3 الاختلافات بين نقل الغذاء والنتح.

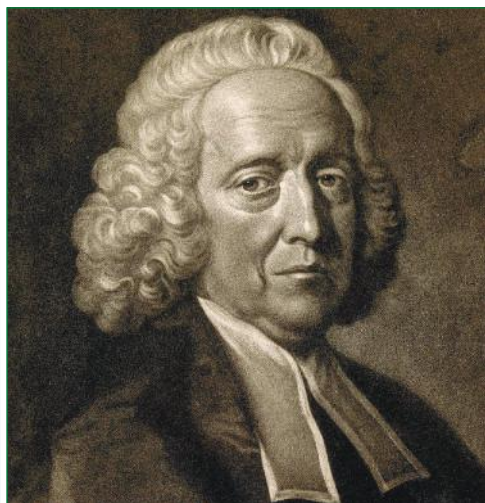
النتح (نقل الماء)	نقل الغذاء	نوع النسيج
الخشب	اللحاء	السائل
الماء مع تركيز منخفض من الأيونات الذائبة.	تحتوي عصارة اللحاء على تركيز عالٍ من السكر مع تركيز منخفض من الأيونات والهرمونات	التركيب
الخلايا الوعائية في الخشب ميتة، لها جُدُر سميكة وقوية من اللجنين وتقدّم دعمًا هيكليًا.	خلايا حية، خلايا وعائية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

تقويم الدرس 2-3

1. * ارسم مخططاً بسيطاً لأنبوب غربالي وخلية مرافقة له. ضع علامة على بداية الخلية الوعائية الغربالية وعلى نهايتها. عَيّن الصفيحة الغربالية، وأظهر تدفق العصارة عبرها.
2. * فسر العبارة الآتية: لكل خلية من الخلايا الغربالية خلية مرافقة واحدة أو أكثر.
3. * باستخدام شجرة النخيل مثلاً، عرّف مصدر السكر ومصبّه وحدّد موقع كلّ منهما.
4. * وضّح تحميل السكر، واذكر مكان حدوثه.
5. * متى ينتقل السكر عبر الممرّ الخارج خلوي؟
6. * ابحث واشرح كيف تحصل حشرات المنّ على الطاقة من سيقان النبات الأخضر.
7. * ماذا يحدث عندما ينتج النبات سكرًا أكثر مما تستطيع خلاياه استخدامه؟ ولماذا يتطلّب ذلك ATP؟
8. * ما الفرق بين مضخة البروتون والناقل المرافق في أغشية الخلايا المرافقة؟
9. * في مخطط انسيابي بسيط، لخّص خطوات فرضيّة ضغط التدفق.
10. * اختر لكل من العبارات في الأسفل ما يناسبها من المصطلحات التالية:
 - (i) النتح أو نقل الماء، أو (ii) نقل الغذاء، أو (iii) النتح ونقل الغذاء
 - a. التدفق 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



ستيفن هايلز 1761 – 1677

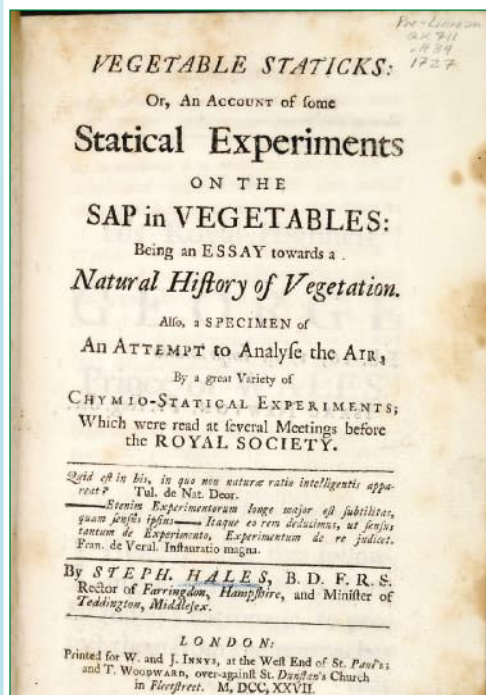


شكل 3-44 ستيفن هايلز.

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 راعياً لأبرشيّة محلية. تزوج لفترة وجيزة، ولكن لم يكن لديه أطفال، ولم يتزوَّج مرة أخرى. وبدلاً من ذلك اهتم بالطبيعة، يُشار إلى وايت أحياناً بأنه 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 النمو وتبادل الغازات في النباتات. لاحظ هايلز أن الماء ينتقل من التربة إلى السيقان ثم إلى الأوراق كلما فقدت الماء بالتبخّر، وقد وُصفت العملية في وقت لاحق بأنها «النتج». في القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين، أثبتت الدراسات أن الماء يخرج من فتحات تُسمّى «الثغور». كانت الفتحات في بشرة الورقة موضع دراسة مكثّفة منذ ذلك الحين.

في مقالة Vegetable Staticks وصف هايلز عدّة مقاربات منطقية وعلمية. وقدّر المساحة السطحية لأوراق النباتات 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 أيضاً قياس «قوة العصارة». ويبدو أنه قد أشار في هذه الحالة إلى الضغط الجذري. بفضل مقالة Vegetable Staticks يُنسب 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.



شكل 3-45 مقالات هايلز في 1727 عن إستاتيكا العصارة النباتية.

الوحدة 3

مراجعة الوحدة

الدرس 1-3 النتح

- تتميز النباتات بمعدلات تنفس أبطأ من الحيوانات، ولكنها تحتاج إلى أجهزة نقل أطول مقارنة بالحيوانات.
- النسيج الأساسي المسؤول عن النقل هما نسيج الخشب ونسيج اللحاء الموجودان معاً في **الحزم الوعائية Vascular bundles**.
- يقوم نسيج الخشب غالباً 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 السكّريات والجزيئات الحيوية الأكثر تعقيداً في النباتات داخل اللحاء.
- **إن وعاء الخشب Xylem vessel** مصنوع من خلايا ميتة ذات جُدُر هيكليّة من اللجنين.
- ينقل ممر 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 كاسب Casparian strip** المسار الخارج خلوي بين الخلايا الجذرية ونسيج الخشب.
- **الثغور Stomata** هي تراكيب تحتوي فتحات تتحكّم في التبخر 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 2-3 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 و ATP من **الخلايا المرافقة Companion cells**.
- يتمّ نقل السكّر ضمن **عصارة اللحاء Phloem sap** من **المصادر Sources** إلى **المصبّات Sinks**.
- **التحميل النشط Active loading** هو ضخّ السكّر من خلايا المصدر إلى خلايا اللحاء من خلال النقل النشط.
- يمكن للحاء أن ينقل العصارة في أيّ من الاتجاهات.
- **شرح فرضية ضغط التدفق Pressure – flow theory** كيف يسبّب الضغط الهيدروستاتيكي للماء تدفق العصارة في اللحاء.

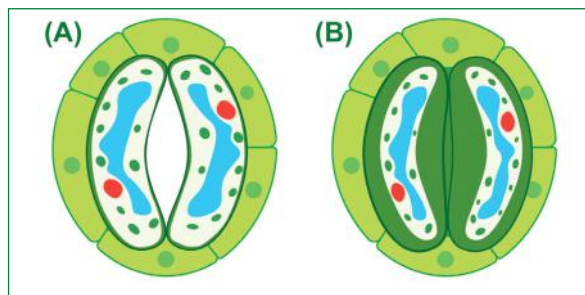
تحضير للاختبار

1. أيُّ ممّا يأتي ليس جزءاً 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 أولاً عندما ينتقل من التربة إلى النبات؟
 - a. الخلية الوعائية الغربالية
 - b. الغشاء الخلوي
 - c. الشعيرات الجذرية
 - d. وعاء الخشب
3. أيُّ ممّا يأتي له أقلّ تأثير في معدّل النتح؟
 - a. الرطوبة
 - b. درجة الحرارة
 - c. كثافة الثغور
 - d. التركيز في عصارة اللحاء
4. أي من الآتي ليس له دور في حدوث عملية النتح؟
 - a. النترات
 - b. الخلية الحارسة
 - c. الثغر
 - d. أيونات H^+
5. ما أفضل وصف لوظيفة الروابط البلازمية ؟
 - a. الضخّ النشط للسكّريات عكسّ فرق التركيز
 - b. نقل المذابات والماء بين الخلايا المجاورة
 - c. حركة الماء بين أوعية الخشب المجاورة
 - d. توقّف تدفقّ الماء والمذابات من خلال الممرّ الخارج خلوي
6. ما القوة الدافعة لنقل الماء لمسافات طويلة في النبات؟
 - a. النتح
 - b. الخاصيّة الأسموزيّة
 - c. الانتشار
 - d. الضغط الجذري
7. إذا كان بإمكانك جعل الثغور مغلقة بشكل مستمرّ، فما النتيجة المباشرة المتوقّعة؟
 - a. سيتمّ إيقاف إنتاج السكر.
 - b. يتوقّف نقل الماء.
 - c. يتعذّر إجراء عملية البناء الضوئي.
 - d. تموت الخلايا الحارسة.

8. أيُّ من الأوصاف الآتية يشبه وظيفة شريط كاسبر؟
- الشحم على عجلة
 - مانع التسرّب
 - شريط لتثبيت التراكيب معًا
 - مضخة لزيادة الضغط
9. أيُّ مما يأتي لن يكون تكيّفًا جيدًا لدى نبات صحراوي؟
- الثغور الكبيرة التي تُدخل المزيد من ثاني أكسيد الكربون
 - الثغور الصغيرة التي تُدخل القليل من ثاني أكسيد الكربون
 - أوعية الخشب الكبيرة لنقل الماء بشكل أسرع
 - المزيد من خلايا اللحاء لتخفيف محتوى السكر في العصارة
10. أيُّ عبارتين من العبارات الآتية المتعلقة فرضية ضغط التدفق صحيحة؟
- يدخل الماء من نسيج الخشب إلى اللحاء ويرفع الضغط عند المصادر.
 - يدخل الماء من نسيج الخشب إلى اللحاء ويخفض الضغط عند المصادر.
 - يتدفّق الماء من اللحاء إلى الخشب عند المصب.
 - يتدفّق الماء من الخشب إلى اللحاء عند المصب.
11. أين يتمّ تحميل السكر؟
- مصبّات السكر
 - خلايا أوعية الخشب
 - خلايا النسيج المتوسط في الورقة
 - الصفائح الغربالية بين أوعية اللحاء
12. أيُّ من المواد الآتية يحدث لها نقل نشط في الخلايا الحارسة حتى تفتح الثغور؟
- النترات
 - جزيئات السكر
 - أيونات الهيدروجين (H^+)
 - أيونات البوتاسيوم (K^+)
13. ما العبارتان اللتان تشرحان التدفق في الأنسجة الوعائية بطريقة صحيحة؟
- جهد الماء في نسيج الخشب هو الأدنى في الأوراق والأعلى في الجذور.
 - جهد الماء في نسيج الخشب هو الأعلى في الأوراق والأدنى في الجذور.
 - الضغط الهيدروستاتيكي للماء في أنبوب اللحاء الغربالي هو الأعلى عند المصدر والأدنى عند المصب.
 - الضغط الهيدروستاتيكي للماء في أنبوب اللحاء الغربالي هو الأدنى عند المصدر والأعلى عند المصب.

الدرس 1-3 النتج

14. ارسم مخططاً بسيطاً لوعاء الخشب وعين عليه اللجنين والنُّقَر. 
15. اذكر ثلاثة أوجه تشابه وثلاثة أوجه اختلاف بين أنسجة الخشب وأنسجة اللحاء.
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 كل عنصر من العناصر الآتية في عملية النتج. 
- a. الثغور
- b. نُقَر الخشب
- c. الخلايا الوعائية الخشبية
- d. أيونات البوتاسيوم (K^+)
- e. مضخّات البروتون
20. افحص أزواج الخلايا الحارسة في الشكل الآتي.
- a. أيُّها تسمح بالنتج؟ 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 تؤدي إلى تحوّل A إلى B؟



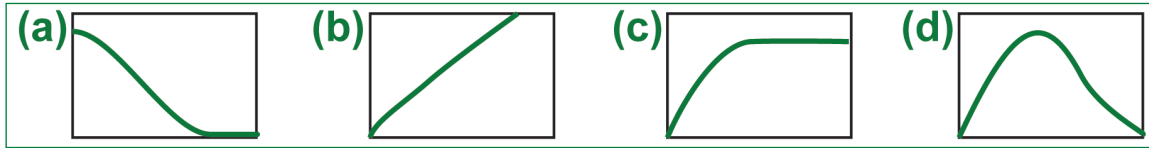
21. صف وظيفة الروابط البلازمية
22. صف ممريّ النقل للمسافات القصيرة.

23. خذ كمثال خلية جذرية يزيد فيها النقل النشط 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 ؟

24. أيّ من الرسوم البيانية الأربعة أدناه يصف العلاقة:



a. بين معدّل النتج ودرجة الحرارة

b. بين معدّل النتج وسرعة الرياح

c. بين معدّل النتج والرطوبة ؟

25. 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 2-3 نقل الغذاء

26. ما وظيفة نسيج اللحاء ؟

- a. اذكر نوعي الخلايا المختلفة في نسيج اللحاء.
- b. ارسم مخططاً بسيطاً لكل نوع من الخلايا وعيّنه.
- c. حدد الخلايا الحية والميتة في فترة النضوج.

27. هل يتم تحميل السكر في الأوراق فقط ؟ اشرح.

28. ارسم مخططاً بسيطاً لنبات بطاطس مع الجذور والساق والزهور والبذور والدرنة.



- a. بدءاً من الموقع الصحيح، ارسم حركة قطرة ماء تنتقل عبر النبات إلى أن تخرج منه.
- b. بدءاً من الموقع الصحيح، ارسم مخططاً لحركة جُزيء زائد من السكّروز ينتقل عبر النبات إلى وجهته النهائية.
- c. اكتب أسماء جميع التراكيب على الرسم.
- d. استخدم قلمًا أزرق لتتبع حركة الماء بأسهم.
- e. استخدم قلمًا أحمر لتتبع حركة السكر بأسهم.
- f. أضف مفتاح رمز اللون.

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



30. اشرح ما يأتي على المستوى الخلوي.



a. متى يَرَجَح 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 التدفق لنقل السكر في الاتجاه المعاكس؟ فسّر إجابتك.

31. صمّم خارطة مفاهيم مستخدماً الفكرة الرئيسة «فرضية ضغط التدفق». استخدم



المصطلحات الآتية في خارطتك: النقل النشط، الخلية المرافقة، فرق التركيز، اللحاء، الأنبوب الغربالي، السكر، مصدر السكر، مصب السكر، وعاء الخشب.

32. أكمل الجدول لتقارن بين أنسجة النقل النباتية.

مقارنة أنسجة النقل		
اللحاء	الخشب	الخصائص
		ماذا تنقل؟
		اتجاه التدفق
		الجدار الخلوي: السُمك والمتانة
		الخلايا حيّة أو ميتة
		الضغط الهيدروستاتيكي الداخلي (إيجابي/سلبي)
		النقل نشط أو سلبي

33. ابحث عن مثالين لعصارة اللحاء لم تتم مناقشتها في الدرس. ثم أجب عن الأسئلة الآتية:



a. ما هو النبات الذي توجد فيه العصارة؟

b. متى تكون مفيدة ومتى تكون ضارة؟

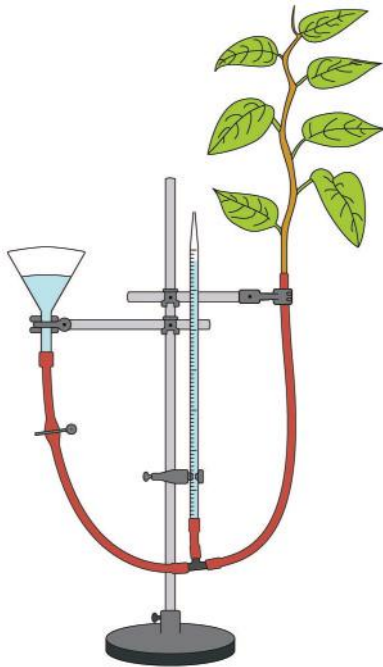
c. أهي مركّب صناعي أم تمّ استخدامها في الصناعة ؟ ولماذا؟

34. يرى بعض علماء النبات أن فرضية ضغط التدفق لا تزال فرضية. ابحث باستخدام الإنترنت



أو المصادر الأخرى لإظهار الأدلة 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 صممتها شركة تطوير العلوم والتكنولوجيا والهندسة والرياضيات (STEM) في الولايات المتحدة الأمريكية. 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, VasyI 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 Goynyk /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 Alexander /shutterstock; Zoom Team /shutterstock; Turkey Photo /shutterstock; Dexpixel /shutterstock; Dennis O'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 Matsiievskiy/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 Yuri/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; Wantando/Shutterstock;