الأحياء

كتاب الطالب

المستوى الثاني عشر

BIOLOGY
STUDENT BOOK

GRADE
12

الفصل الدراسي الأول - الجزء الأول
FIRST SEMESTER

2021-2022

الطبعة الأولى

© وزارة التعليم والتعليم العالي في دولة قطر

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

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

تمّ إعداد الكتاب بالتّعاون مع شركة تكنولاب.

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

التّرجمة: مطبعة جامعة كامبريدج.

الطبعة الأولى 2022-2021 م

النشيد الوطني

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

المراجعة والتّدقيق العلميّ والتّربويّ

إدارة التقييم

خبرات تربويّة وأكاديميّة من المدارس

الإشراف العلميّ والتربويّ

إدارة المناهج الدّراسيّة ومصادر التّعلّم

الصّفّ 12

الفصل الدّراسي 1

الأحياء

المقدّمة

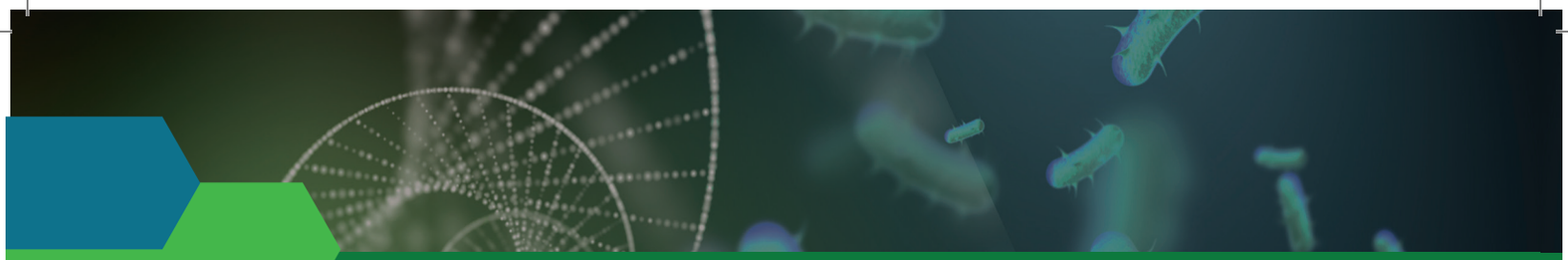
يعدّ كتاب الطّالب مصدرًا مثيرًا لاهتمام الطلّاب من ضمن سلسلة كتب العلوم لدولة قطر، فهو يستهدف جميع المعارف والمهارات الّتي يحتاجون إليها للنّجاح في تنمية المهارات الحياتيّة وبعض المهارات في الموادّ الأخرى.

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

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

يتجسّد في المنهج الجديد العديد من التّوجّهات مثل:

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



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

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

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

مفتاح كفايات الإطار العام للمنهج التّعليمي الوطني لدولة قطر

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

الصّفّ 12

الفصل الدّراسي 1

الأحياء

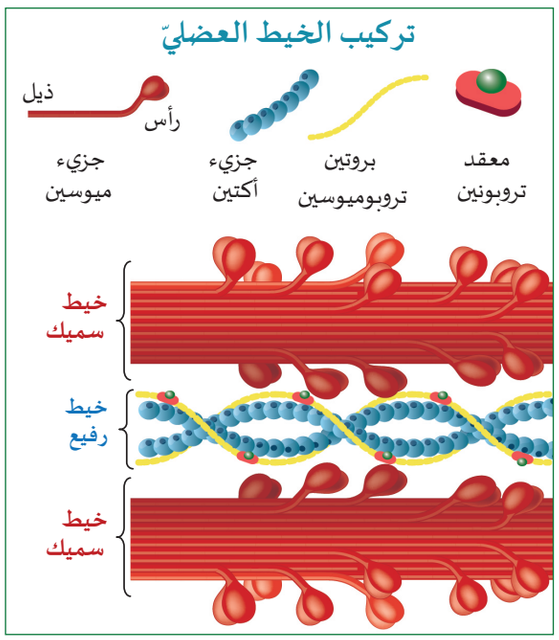
ماذا ستتعلّم من هذا الكتاب

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

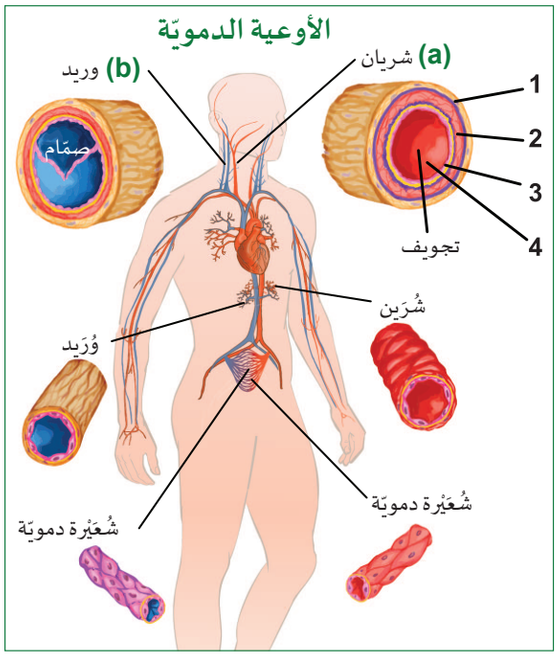
يبدأ هذا الفصل بنظام الحركة لدى الإنسان بما في ذلك العضلات والهيكل العظمي. تصنع العضلات القوة بالانقباض. تعمل أزواج العضلات معًا لتدوير المفاصل التي تتكون من العظام والأربطة. داخليًا، تحتوي العضلات على ألياف مصنوعة من تراكيب يمكن أن تنقبض وتنبسط (القطع العضلية).

تتكوّن القطع العضلية من خيوط البروتين المنزلق: الأكتين والميوسين. تستكشف الوحدة الثانية من الفصل الدراسي الأول الجهاز الدورانيّ. ينقل الدم الأكسجين من الرئتين 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 تتحرّك السوائل والمغذيات بوساطة آليات أخرى. يتم نقل الماء عبر أنسجة الخشب وتنتقل السكريات عبر أنسجة اللحاء.



تنزلق خيوط الأكتين الرفيعة على خيوط الميوسين السميكة.

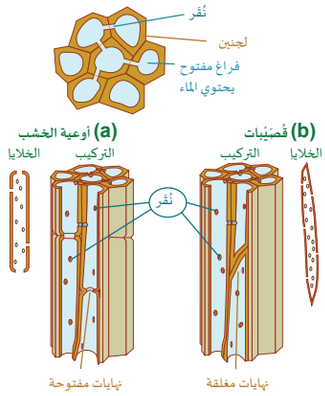


قطر الأوعية الدموية يعتمد على الموقع في الجسم. (a) تنقل الشرايين الدم من القلب. (b) تعيد الأوردة الدم إلى القلب.

بعض أقسام هذا الكتاب

الرّسوم التّوضيحيّة

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



أسئلة للمناقشة

لماذا توجد العضلات الهيكليّة في أزواج؟

تتيح اسئلة المناقشة الفرصة كي يتحدّث الطّلّاب عن المفاهيم والمعلومات الجديدة

شريط الأفكار المهمّة

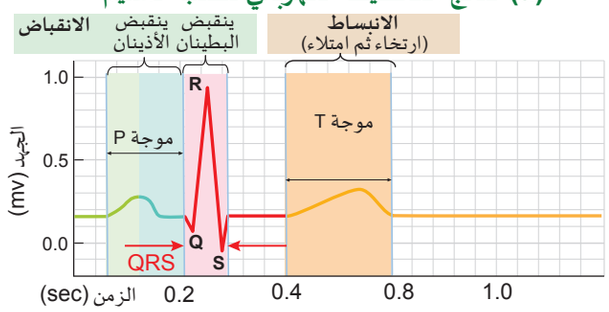
تحدّد الأفكار النّقاط الأساس، وتذكّر بها.

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

تطبيقات رياضيّة

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

(a) نتائج التخطيط الكهربائي للقلب السليم

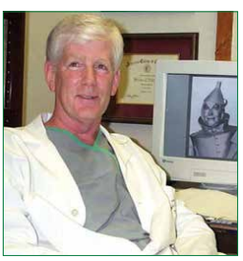


العلم والعلماء

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

إضاءة على عالم

الدكتور ويليام ديفريز – 1943



شكل 2-49 الدكتور ويليام ديفريز في مكتبه.

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

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

الأحياء

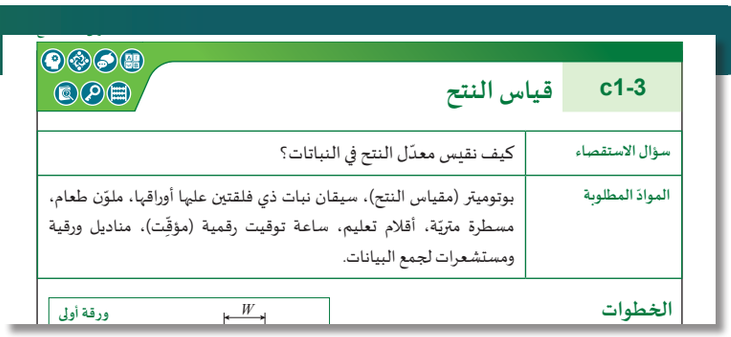
الصّفّ 12

الفصل الدّراسي 1

الأنشطة ومراجعة التّقويم

الأنشطة

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



c1-3 قياس النتح

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

ورقة أولى W

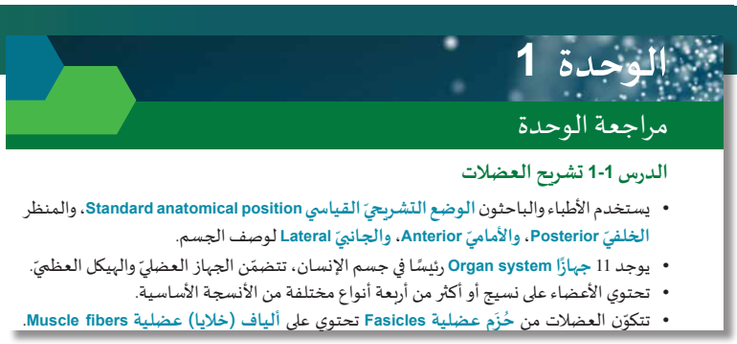
تقويم الدّرس

تقويم الدّرس 2-3

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

مراجعة الوحدة

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



الوحدة 1

مراجعة الوحدة

الدرس 1-1 تشريح العضلات

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

تقويم الوحدة

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

تقويم الوحدة

تحضير للاختبار

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

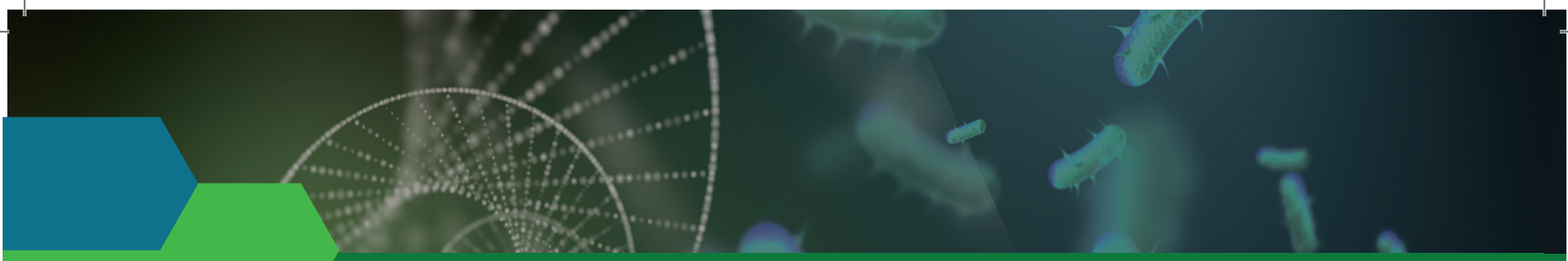
تقويم الوحدة

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

تقويم الوحدة

الدرس 3-1 النتح

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



مخطّط المادّة

الوحدة 1

العضلات والحركة

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

الوحدة 2

الجهاز الدّورانيّ

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

الوحدة 3

النقل في النباتات

النباتات مثل الأشجار لها جسد ممتدّ ومتفرّع والتي تتطلّب جهازًا لنقل الماء والمواد الغذائية لمسافات أطول مقارنة بالحيوانات. طوّرت النباتات الوعائية اثنان من التراكيب المتخصصة 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 النموّ، وتراكيب التخزين، والتراكيب التناسلية مثل الثمار والزهور. تسمى عملية نقل العصارة في اللحاء نقل الغذاء.

جدول المحتويات

الوحدة 1

العضلات والحركة 2

الدّرس 1-1 تشريح العضلات 4

الدّرس 2-1 الخصائص الوظيفية للعضلات 13

الوحدة 1
العضلات والحركة
Muscles and Movement

في هذه الوحدة

B1207

الدرس 1-1: تشريح العضلات

الدرس 1-2: الخصائص الوظيفية للعضلات

الوحدة 1

مقدّمة الوحدة

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

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

الأنشطة والتّجارب

a1-1 دراسة الأنسجة العضلية

b1-1 أزواج العضلات والحركة

الدرس 1-1

تشريح العضلات
Muscle Anatomy

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

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

Humani fabrica Liber I. 97

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

المفردات

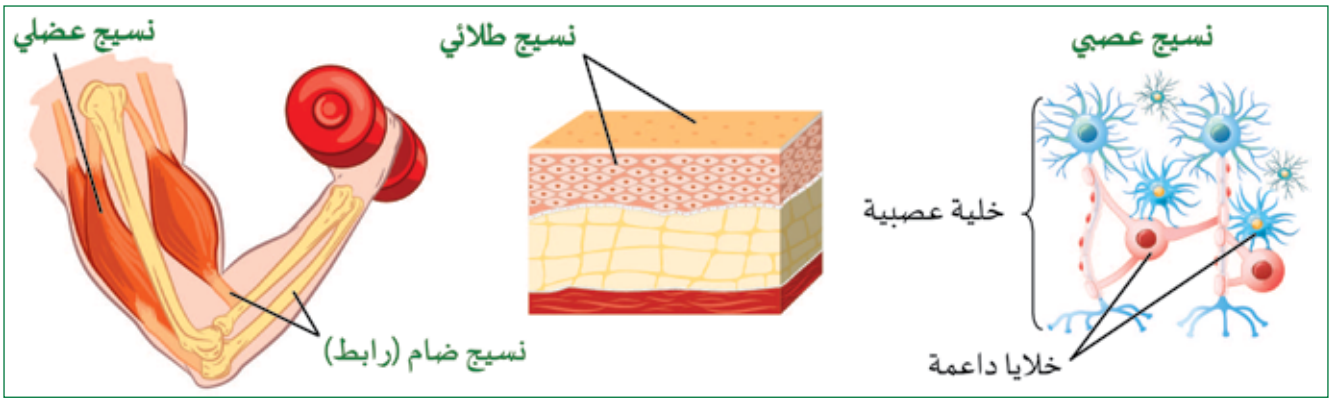
Muscle tissue	النسيج العضلي
Connective tissue	النسيج الضام
Tendon	الوتر
Ligament	الرباط
Epithelial tissue	النسيج الطلائي
Nervous tissue	النسيج العصبي
Organ system	الجهاز
Fascicle	الحزمة العضلية
Muscle fiber	الليف العضلي
Actin	الأكتين
Myosin	الميوسين
Sarcomere	القطعة العضليّة
Skeletal muscle	العضلة الهيكلية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

مخرجات التّعلُّم

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

أنواع الأنسجة الأوَّليَّة

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



شكل 1-2 أنواع الأنسجة الأربعة الأوّليّة.

أولا: **الأنسجة الطلائية Epithelial tissues**

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

ثانيا: **الأنسجة الضامّة Connective tissues**

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

والأوتار Tendons انسجة ضامة قوية مرنة تربط العضلات بالعظام. اما الأربطة Ligaments فهي أشرطة من نسيج ضامّ مرن يثبّت المفاصل ويفصل العظام بعضهاعن بعض لمنع الاحتكاك.

ثالثا: **الأنسجة العضلية Muscle tissues**

تتكون الانسجة 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.

رابعا: **الأنسجة العصبية Nerve tissues**

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

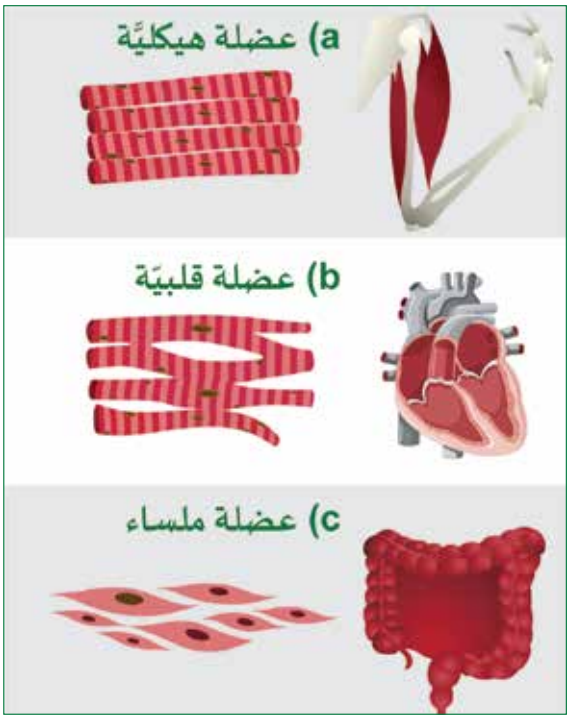
إنّ الخلايا العصبية هي المكوّن الأساسي في النسيج العصبي، وهناك أيضًا خلايا أخرى في النسيج العصبي تدعم وظائف الخلايا العصبية تسمى الخلايا الداعمة .

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

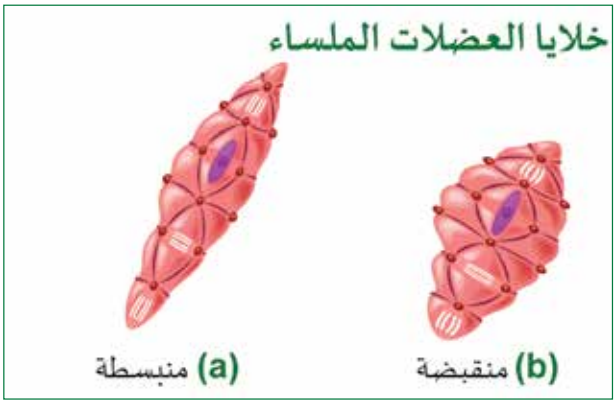
يوجد في الإنسان ثلاثة أنواع من العضلات. ولكلّ نوع من الأنواع الثلاثة تركيب نسيجي مختلف ووظيفة مختلفة، ما يمكّن العضلات من العمل في أماكن مختلفة من الجسم. أحد الاختلافات بين العضلات هو أن يكون نشاطها إراديًا أو لاإراديًا. الحركات الإرادية هي تلك التي يتم التحكّم فيها بادراك مثل الركض وتحريك الذراع. ويتمّ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



شكل 1-3 الأنواع الثلاثة من الأنسجة العضلية البشرية.

- **العضلات الهيكلية Skeletal muscles** ترتبط بالعظام، وهي مسؤولة عن حركة الجسم ودعمه. وتعمل في الحركات الإرادية والأفعال المنعكسة اللاارادية (**الشكل 1-3a**). تشكّل خلايا العضلات الهيكلية أليافًا طويلة ينتظم بعضها بجانب بعض وتقصر عندما تنقبض.
- **العضلة القلبية Cardiac muscle** (**الشكل 1-3b**) 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 لاإراديًا لتحريك الموادّ عبر الجهاز الهضمي. وهي توجد أيضًا في جُدُر الأوعية الدموية والمثانة والمريء، وتنتظم الخلايا في العضلات الملساء على زوايا تتيح لها القدرة على الانقباض بأبعاد مختلفة (**الشكل 1-3c**).

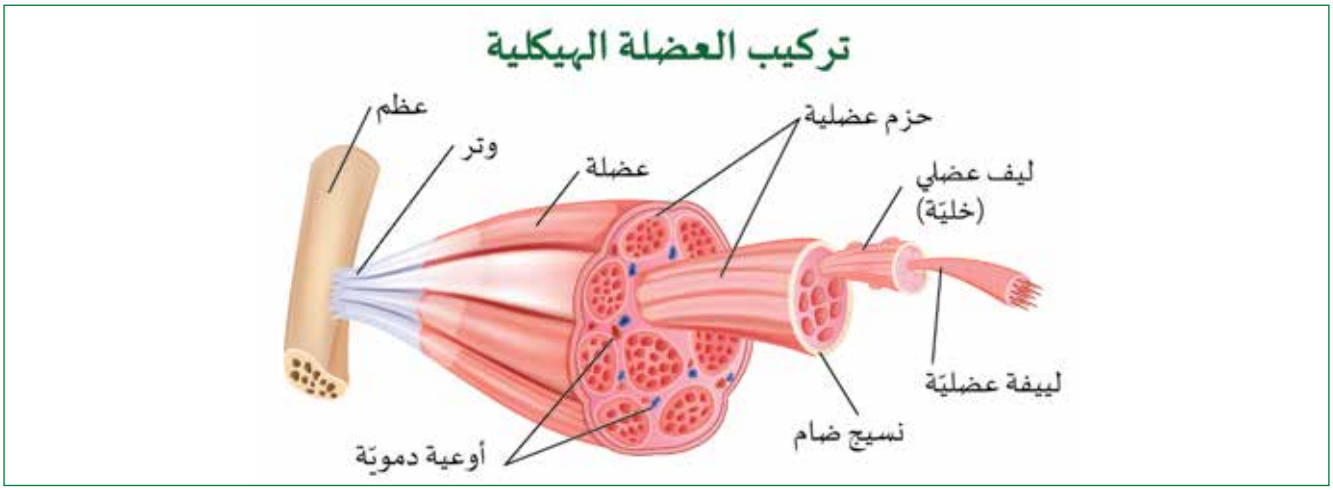
تختلف خصائص النسيج العضلي وفقًا للاختلاف في ترتيب الألياف. فعندما نقطع النسيجين الهيكلي والقلبي بالعرض نلاحظ أن فيهما **خطوطًا Striations**. تتداخل مناطق **القطع العضلية Sarcomeres** في هذين النسيجين لأنّ أليافهما متوازية. أما خيوط العضلات الملساء فهي قصيرة وليست متوازية (**الشكل 1-4**).



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

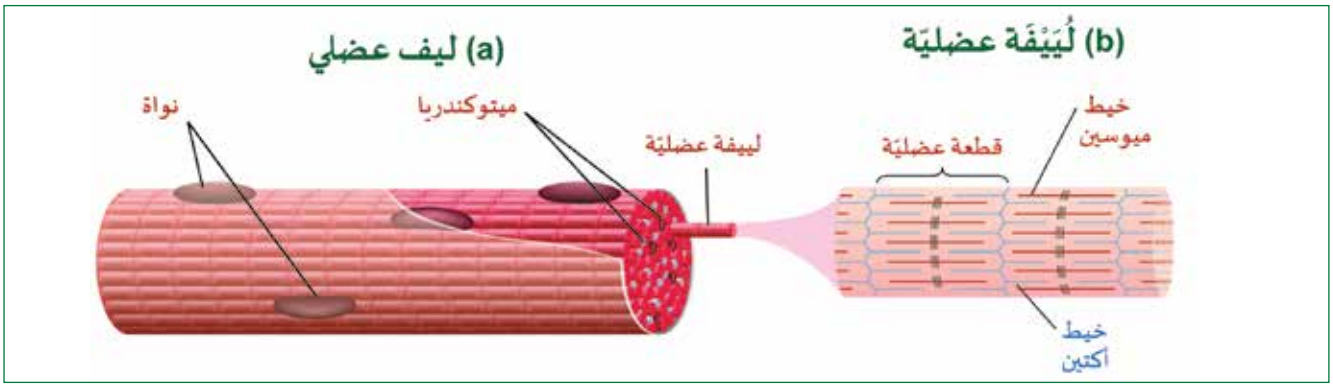
تركيب العضلة الهيكلية

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



شكل 1-5 التركيب الداخلي لعضلة هيكلية.

كلّ ليف عضلي مكوّن من حزمة من تراكيب طولية أو عَصَوية تُسمّى **اللُيَيْفات العضلية Myofibrils** (**الشكل 1-6a**). وتمتدّ اللُيَيْفات العضلية في العضلات الهيكلية على طول الخلايا، وينتظم بعضها مع بعض بالتوازي. وتكون اللُيَيْفات العضلية معبّأة 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 لُيَيْفة عضلية.

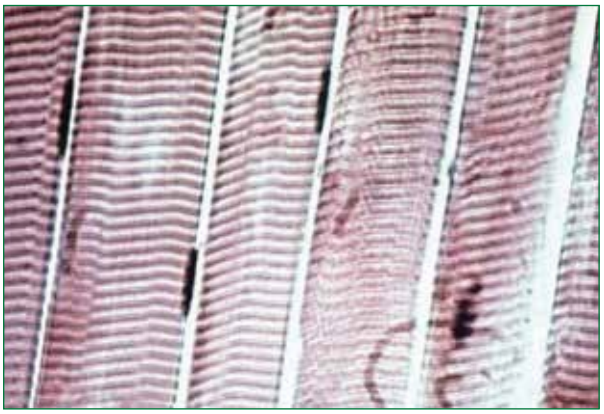
تتكوّن اللُيَيْفات العضلية من نوعين من خيوط البروتين تُسمّى **الأكتين Actin والميوسين Myosin** (**الشكل 1-6b**). تنزلق هذه الخيوط بعضها على بعض مثل الأصابع المتشابكة عندما تتمدّد العضلة أو تنقبض. يتم تنظيم الليفات العضلية بحيث تتداخل خيوط الأكتين والميوسين في مناطق تسمى **القطع العضلية Sarcomeres**.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

a1-1 دراسة الأنسجة العضلية

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

الخطوات

1. يمكنك العمل مع زميل بناءً على عدد المجاهر المتوافرة في المختبر.
2. افحص الأنواع الثلاثة من الأنسجة العضلية تحت قوّة التكبير الصغرى والكبرى (**الشكل 1-7**).
3. ارسم كلّ نوع من الأنسجة في المساحة المخصّصة، واذكر اسم النسيج.
4. لخّص ملاحظاتك في جدول كالآتي:



شكل 1-7 صورة مجهرية لليفات عضلية (1000x).

نوع النسيج	وصف الخلية	الوظيفة	الموقع

الأسئلة

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

b. هل هناك طريقة لمعرفة العضلات التي أخذ منها النسيج؟ وضّح إجابتك.

ابحث في مرض يصيب النسيج العضلي

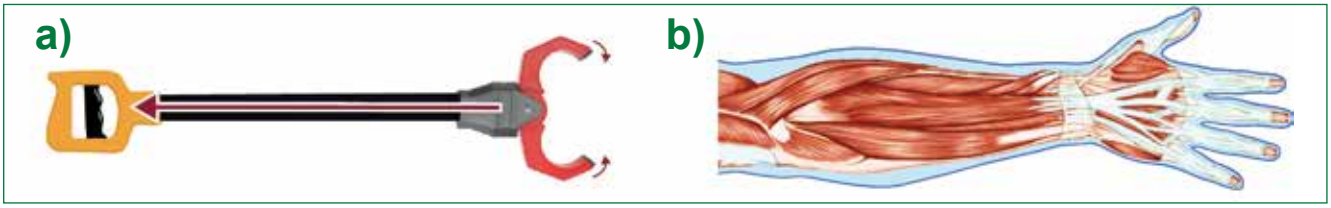
عند تشخيص الأمراض التي تصيب العضلات، يتمّ أخذ خزعات من العضلات، وتُفحص أنسجتها بالمجاهر. ابحث في أحد الأمراض الآتية: ضمور العضلات الدوشيني (Duchenne muscular dystrophy)، مرض دودة الخنزير (trichinosis)، داء المقوّسات (toxoplasmosis)، الوهن العضلي الوبيل (myasthenia gravis)، التهاب العضلات (polymyositis)،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

طريقة عمل أزواج العضلات الهيكلية

تتحرك لعبة المخلب الآليّة (**الشكل 1-8a**) 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.

لماذا توجد العضلات الهيكليّة في أزواج؟

فيمَ تشبه الآلة الرافعة الذراع؟



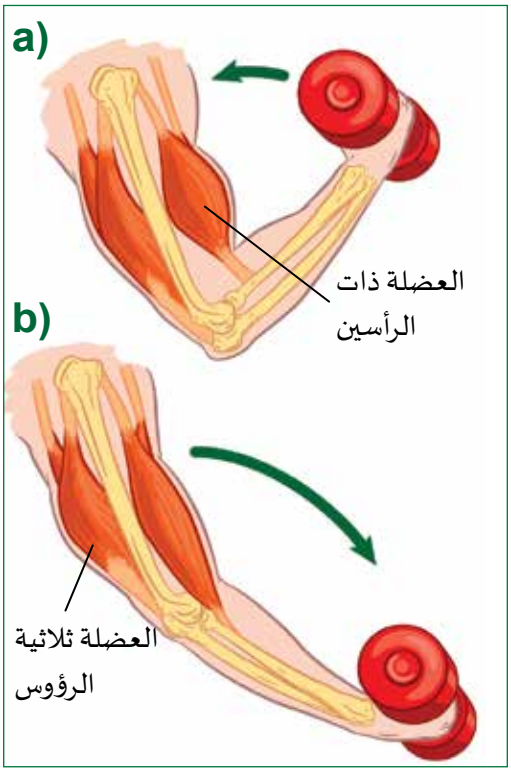
شكل 1-8 (a) مخلب آلي و(b) ذراع الإنسان وعضلات اليد.

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

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

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

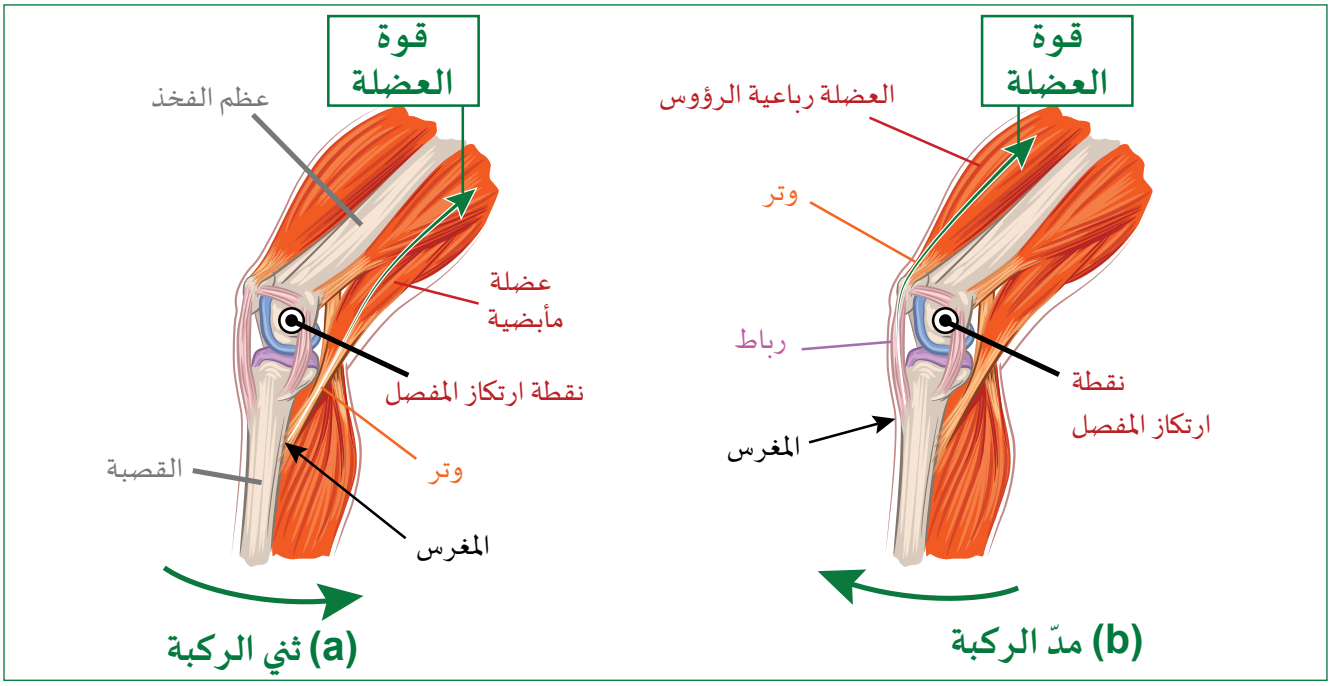
ويوجد مثال جيّد على زوج العضلات المتضادّة، هو العضلة ذات الرأسين، والعضلة ثلاثيّة الرؤوس في أعلى الذراع (**الشكل 1-9**). فإذا قمت برفع وزن، فسوف تنقبض العضلة ذات الرأسين لإنتاج قوّة الرفع (**الشكل 1-9a**)، ويرتفع الساعد واليد إلى أعلى. ولإعادة الوزن إلى أسفل، تنقبض العضلة ثلاثية الرؤوس (**الشكل 1-9b**)،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



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

عمل أزواج العضلات

تُسمّى العضلة المسببة للحركة من خلال انقباضها **العضلة الناهضة Agonist**. ولِثَنْيِ ركبتك استعدادًا لركل كرة، تنقبض العضلات المأبضيّة على الجزء الخلفي للفخذ (**الشكل 1-10a**). فالعضلات المأبضيّة تكون هي العضلات الناهضة لِثَنْيِ الركبة.



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

تُسمّى العضلة التي تعاكس عمل العضلة الناهضة بالعضلة **المناهضة Antagonist**. فعند ثَنْيِ ركبتك، تتمدّد عضلة الفخذ رباعية الرؤوس الأمامية، لذلك تعتبر عضلة الفخذ رباعية الرؤوس الامامية هي العضلة المناهضة عند ثني الركبة.

ويتمّ عكس أدوار العضلات عند ركل الكرة، فعند الركل تتمدّد الركبة (**الشكل 1-10b**). وبالنسبة إلى حركة مدّ الركبة، فإنّ العضلة رباعيّة الرؤوس هي العضلة الناهضة، أمّا العضلة المأبضيّة فهي العضلة المناهضة.

تقوم العضلات المناهضة بدورين مختلفين هما:

1. المحافظة على وضعيّة الجسم أو الأطراف، كالوقوف في وضع مستقيم. وللحفاظ على وضعية معينة للجسم او 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 الرئيسة، ولكنَّ العضلات المأبضيّة تنتج أيضًا قوى للتحكّم في رباعية الرؤوس في أثناء الحركة.

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

b1-1 أزواج العضلات والحركة

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

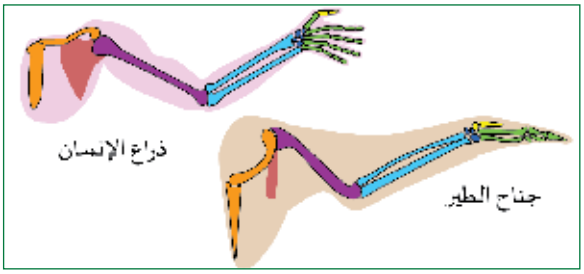
الخطوات

1. احصل على جناح دجاجة نيّء طازج (**الشكل 1-11**).
2. أثناء ملاحظة كلّ نسيج أو تركيب، أضف اسمه ووصفه إلى العمود المناسب في الجدول المعطى لك.
3. اكتب نسيج الجلد الذي يغطّي الجناح كأول نسيج في الجدول. أهو طريّ 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 جدًّا).
6. تربط الأوتار العضلات بالعظام وتكون في العادة متينة ولامعة وذات لون أبيض. اقطع الأوتار لتكشف العظام.
7. افصل العظام، ثم حدّد الأربطة (أنسجة خيطية تربط العظام بعضها ببعض).
8. يوجد الغضروف (الأبيض المطّاطي) بين العظام أو في المفصل الكروي، حيث يرتبط الجناح ببقية أعضاء الجسم.
9. تأكّد من تنظيف مكان التشريح بحسب الإرشادات، أجب عن جميع الأسئلة الآتية:

شكل 1-11 تشريح جناح الدجاج.

الأسئلة

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



شكل 1-12 مقارنة تركيب جناح الطير وذراع الإنسان

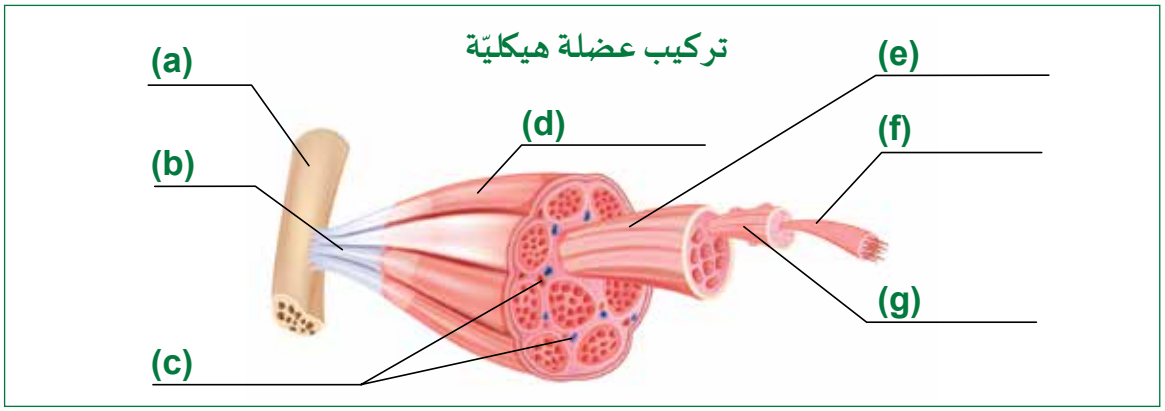
تقويم الدّرس 1-1

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

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

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

4. حدّد كلّ تركيب في المخطّط الآتي لعضلة هيكليّة.



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

6. وضّح العلاقة بين عضلة ناهضة وعضلة مناهضة.

الدرس 1-2

الخصائص الوظيفية للعضلات

Physiology of Muscle

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

يصف هذا الدرس عمل العضلات، ويؤكد ضرورة الحفاظ عليها.

شكل 1-13 العضلات في أثناء عملها.

مخرجات التّعلُّم

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

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

المفردات

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

أنواع العضلات (إثرائي)

لماذا يكون بعض لحم الدجاج المطبوخ أبيض وبعضه الآخر داكنًا؟

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

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

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

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

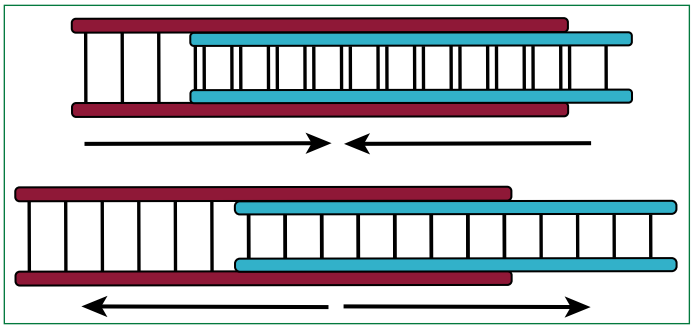
يمكن أن يعطينا شكل الطعام بعض المعرفة عن تركيب العضلات: شريحة لحم البقر الموضّحة في **الشكل 1-15a** مكوّنة من ألياف عضليّة طويلة، تمتدّ باتجاه السهم. ويصعب قطع هذه الألياف لمتانتها، وهذا يفسّر عدم تقديم شرائح اللحم المُعدَّة بهذا الشكل. وبدلًا من ذلك، تُقطَّع شرائح اللحم على عرض اتجاه الألياف (**الشكل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

شكل 1-15 تتكوّن شريحة اللحم من ألياف عضلية.

نظريّة الخيوط المنزلقة لانقباض العضلات

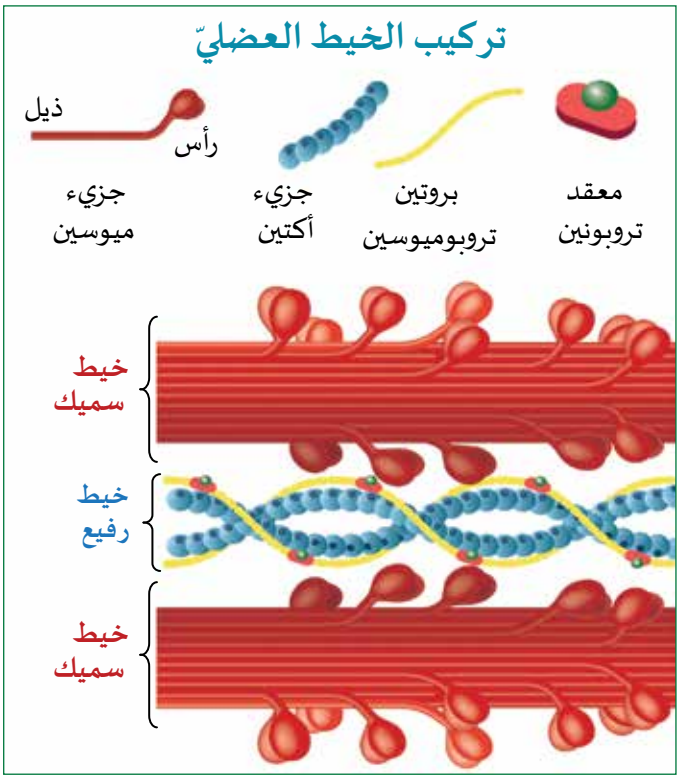
كيف تقصر وتتمدد الأجهزة الميكانيكية، مثل مقابض حقائب السفر والسلالم الممتدّة والأسطوانات الهيدروليكية؟

ما آليات عملها؟



شكل 1-16 السلّم الممتدّ.

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



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

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

تتكوّن الخيوط الرفيعة من خيطين لولبيين طويلين من الأكتين وبوليمر من البروتينات المنظّمة يُسمّى **تروبوميوسين Tropomyosin**. تلتفّ خيوط التروبوميوسين حول خيوط الأكتين بحيث تمنع خيوط الميوسين من الالتصاق بخيوط الأكتين المجاورة (**الشكل 1-17**)، ما يحول دون انقباض العضلة، إلى حين وصول الإشارة المناسبة. يوجد في الأخدود بين جُزَيْئَي التروبوميوسين معقّدات بروتينية متباعدة بانتظام تسمى **تروبونين Troponin**. يشكل التروبونين نقاط ارتباط الكالسيوم.

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

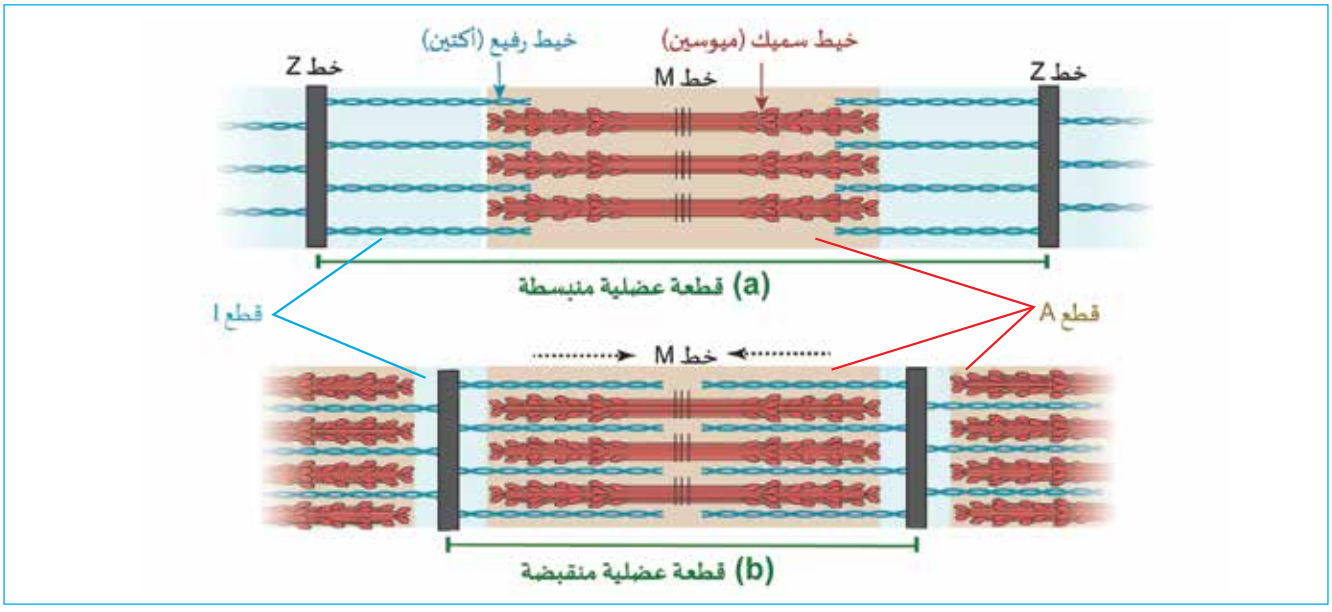
الآليّة الجُزَيْئيّة لانقباض العضلات

تُفسر نظريّة الخيوط المنزلقة كيف تقصر القطع العضلية مسبّبة انقباض العضلة (**الشكل 1-18**).

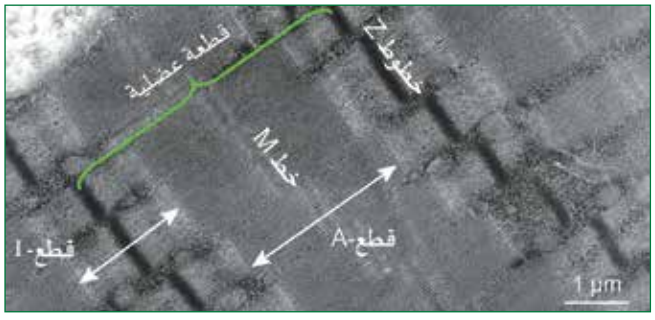
- تحدّد **خطوط Z (Z lines)** طول كلّ قطعة عضلية. تثبت خطوط Z أحد طرفَي الخيوط الرفيعة ويتحرّك بعضها نحو بعض في أثناء الانقباض.
- **يتكون خط M (M line)** في مراكز خيوط الميوسين السميكة. يبقى خط M ثابتًا في أثناء الانقباض.

a. عندما تنبسط العضلة، تُشدّ الخيوط الرفيعة المثبّتة إلى خطوط Z بعيدًا من خطّ M كما يظهر في **الشكل 1-18a**. تتمدّد 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 فتنكمش القطع I. تصبح القطع A متقاربة، لكنَّ طولها يبقى هو نفسه (**الشكل 1-18b**). لاحظ أنّ أطوال الخيوط البروتينية، الأكتين والميوسين، لا تتغيّر في أثناء انقباض العضلة وانبساطها، بل تبقى ثابتة. ولاحظ أيضًا أن موقع الخطّ M يبقى مركّزًا في وسط القطعة العضليّة، ولكنّ الخطين Z اللذين يحصران القطعة العضليّة من الجانبين يتقاربان في أثناء انقباض العضلة ويتباعدان في أثناء انبساطها.



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

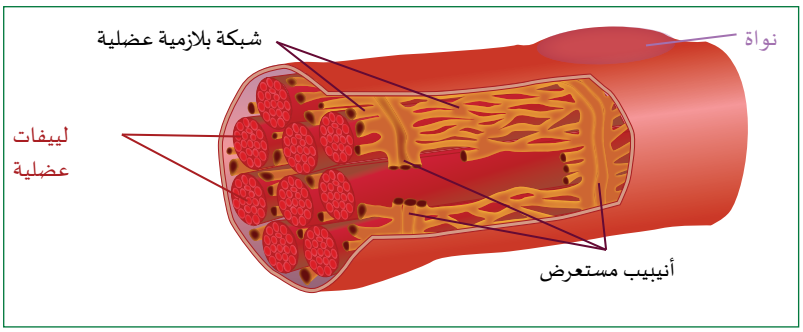


شكل 1-19 تكون خطوط M في المقاطع العرضيّة للعضلات في منتصف القطع العضلية. تحدّد خطوط Z طول تلك القطع.

يظهر في **الشكل 1-19** صورة مجهرية إلكترونية للقطع العضلية. يمكنك أن ترى بوضوح خطوط Z وM . تشمل القطعة I المناطق الفاتحة إلى كلّ جانب من الخطّ Z. في مركز القطعة A ترى الخطّ M. هذه الخلية العضلية منبسطة لأنّ القطع I تبدو عريضة نسبيًّا.

ارتباط الاستثارة – الانقباض

الليف العضلي (الخلية العضلية) أطول بكثير من الخلية العادية. ولضمان انقباض الخلية كلّها في الوقت نفسه، يوجد تركيب في الخلايا العضلية يُسمّى **الشبكة البلازمية العضلية Sarcoplasmic reticulum** (SR)، وهي شبكة من الأنيبيبات تمتدّ من الغشاء الخلوي لكلّ ليف عضليّ ليصل بين مختلف اللُيَيْفات العضلية (**الشكل 1-20**). تحتوي خلايا عضلة القلب وخلايا العضلات الهيكلية أيضًا على تراكيب إضافية تُسمّى «الأنيبيبات المستعرضة» (t-tubules).



شكل 1-20 التركيب الداخلي لخلية عضلية..

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

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

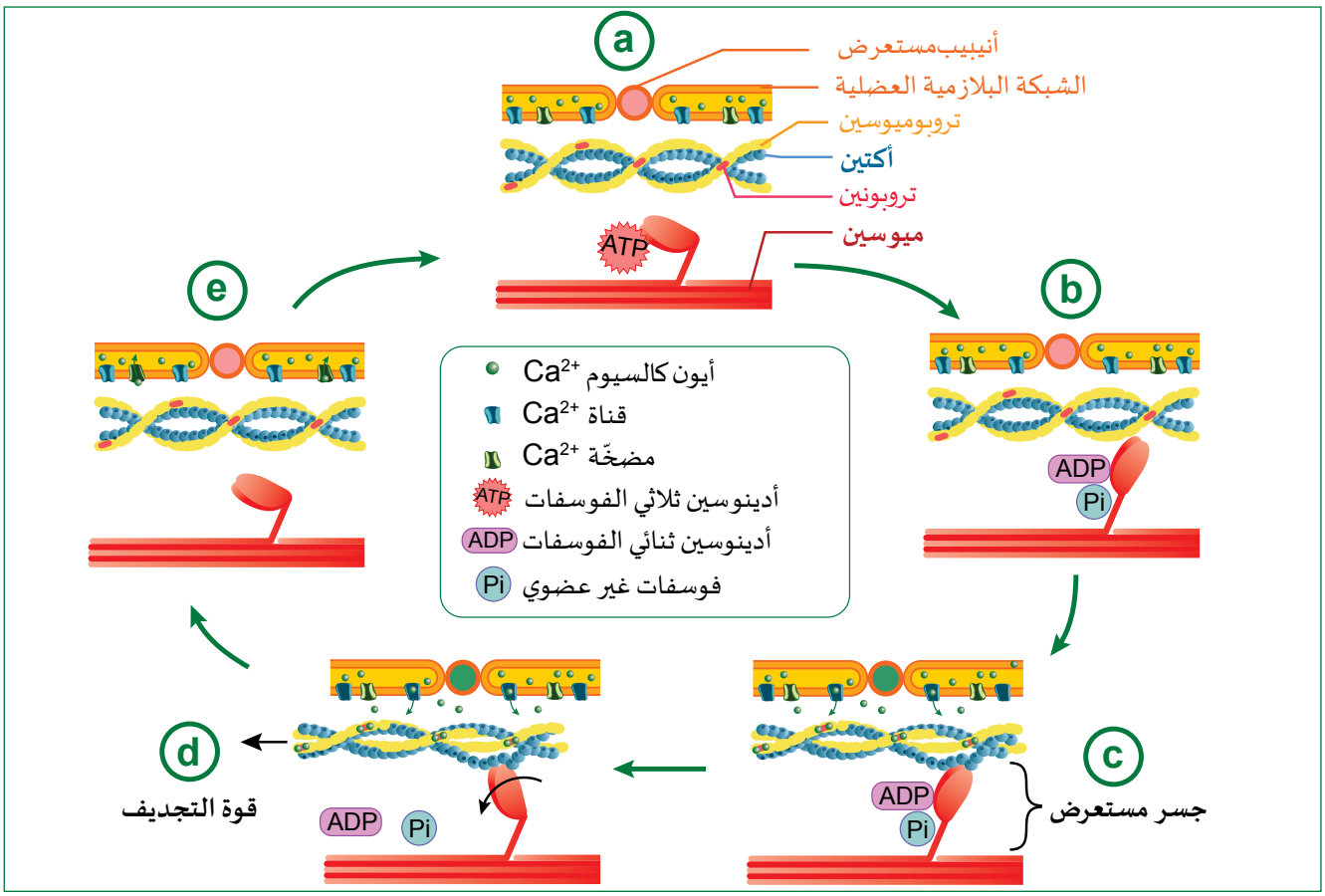
مرض الخلايا العصبيّة الحركية

التصلّب الجانبي العضلي الضموريّ (ALS) هو أحد الامراض العصبية الحركية المتعدّدة التي تؤدي الى ضمور الخلايا العصبية الحركية التي تتحكم في حركة العضلات الارادية. وتشمل أعراض (ALS) تصلّب العضلات وارتعاشها، وضعفًا متدرّجًا متفاقمًا ينتهي بالموت بسبب تناقص حجم العضلات. لكنَّ 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 آليّة المرض، وفي الأمراض العصبيّة الحركيّة ذات الصلة.
- الخلايا العصبيّة الحركية هي أطول خلايا الجسم. كيف يمكن أن يسبّب طولُها التصلّبَ الجانبيّ العضليّ الضموري؟
- من الذي يقوم بأبحاث قد تتوصّل إلى علاج للمرض؟

دور ATP في انقباض الليف العضلي

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



شكل 1-21 دورة انقباض أكتين – ميوسين.

يبيّن **الشكل 1-21** الدورة الكاملة لانقباض العضلات وانبساطها.

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

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

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

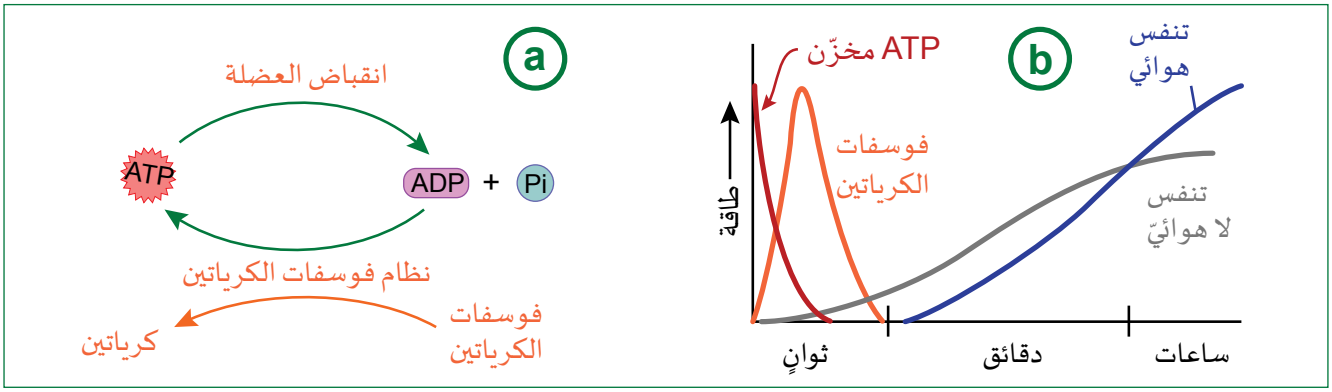
d. يطلق رأس الميوسين ADP و P_i، ما يتسبَّب في تغيير شكله، ودفع خيط الأكتين مسبّبًا الانقباض. تعرف هذه الحركة باسم **قوّة التجديف power stroke**. ويتسبّب حدوث الآلاف من هذه التفاعلات في تحرّك خيوط الأكتين باتجاه خطوط M. تتكرّر الخطوات a → d ما دام الكالسيوم موجودًا لاحداث انقباض العضلة المطلوب.

e. مع انتهاء الإشارة العصبيّة، 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 آليَّتَيْن أُخْرَيَيْن.

1. تعطي جُزَيْئات **فوسفات الكرياتين Creatine phosphate (CP)** الفوسفات لتحويل ADP إلى ATP بوساطة الإنزيم كرياتين فوسفوكينيز، وهذا يشكّل طريقة سريعة لتجديد ATP (**الشكل 1-22 a**).
2. يتحلّل **الجلايكوجين Glycogen** إلى جلوكوز لإنتاج ATP، إما بمسار التنفّس الهوائي أو بمسار التنفّس اللاهوائي. وكلا هذين المسارين أبطأ من فوسفات الكرياتين. يبين **الشكل 1-22 b** كيفية تداخل آليات الطاقة المختلفة في مقاييس زمنية مختلفة.



شكل 1-22 مصادر الطاقة للخلايا العضلية.

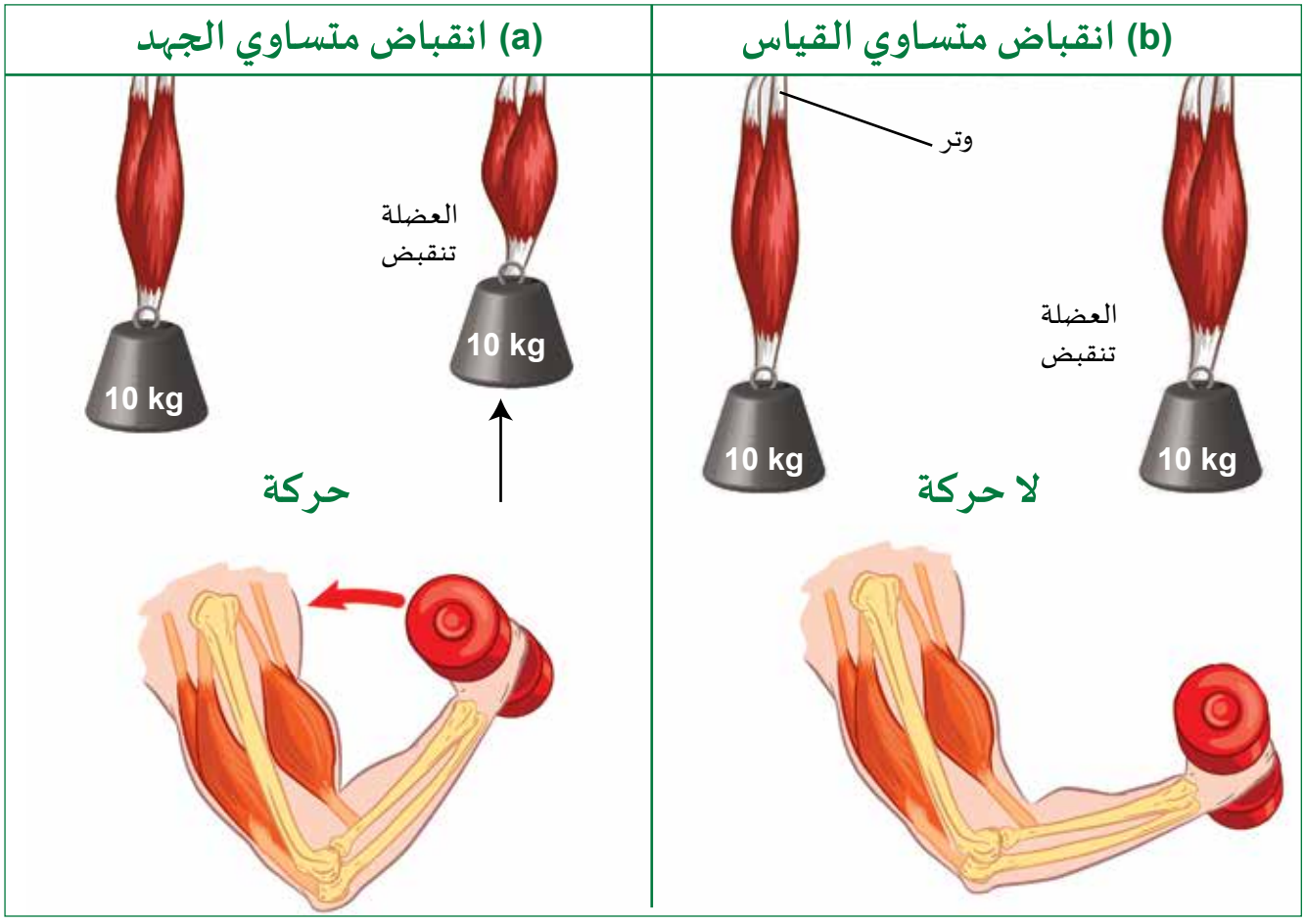
ATP هو مصدر الطاقة لانقباضات العضلات، ويتمّ إنتاجه من خلال مسارات متعددة.

أنواع الانقباضات العضلية

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

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

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



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

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

خصائص النسيج العضلي

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

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

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

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

تتناقص هذه الخصائص في حالة **ضمور Atrophy** العضلات. والضمور هو إضعاف العضلات وتقليل حجمها بفعل المرض وقلّة الاستخدام والشيخوخة (**الشكل 1-24 يسار**). من المهمّ الحفاظ على مرونة الخلايا العضلية وانقباضها واستثارتها لتجنّب الضمور (**الشكل 1-24 يمين**).

شكل 1-24 الضمور هو تغيّر في حجم العضلة بفعل المرض أو الشيخوخة، أو قلّة الاستخدام الذي يغيّر مظهر العضلة وكيفية عملها على المستوى الخلوي.

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

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

أيُّ أنواع من ضمور العضلات يمكن منعها أو معالجتها؟

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

تقويم الدّرس 1-2

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

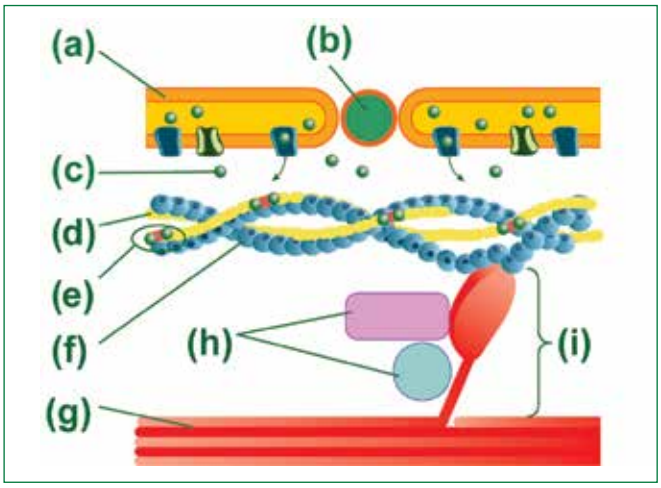
2. أيٌّ مما يأتي مصدر طاقة لانقباض العضلة الذي ينتج ATP من ADP بدون جلوكوز؟
   a. التنفّس الهوائي.
   b. التنفّس اللاهوائي.
   c. نظام فوسفات الكرياتين.
   d. الشبكة البلازمية العضلية.

3. ما وظيفة أيونات الكالسيوم (Ca^{2+}) في 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 لتُعرّف بشكل صحيح كلّ حرف ظاهر في **الشكل 1-25**.

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



شكل 1-25 نظرية الخيوط المنزلقة.

إضاءة على عالم

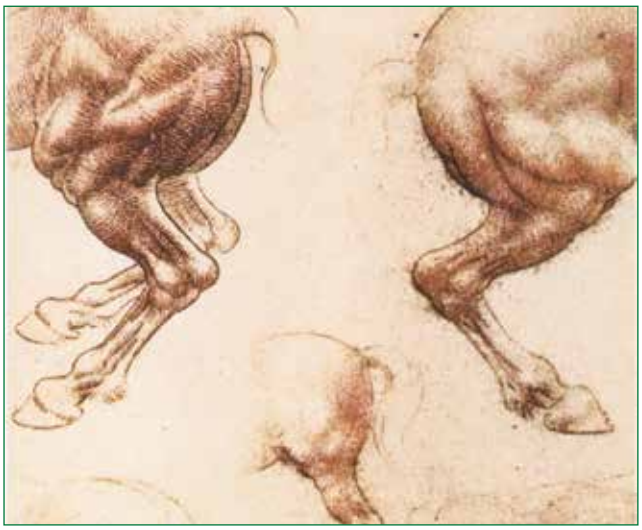
ليوناردو دا فينشي 1519 – 1452

شكل 1-26 ليوناردو دا فينشي.

ولد ليوناردو دا فينشي (**الشكل 1-26**) في 15 أبريل 1452 بالقرب من مدينة فينشي، إيطاليا. بدأ حياته متدرّبًا لدى النحّات والرسام أندريا دل فروشيو في فلورنسا. وبحلول العام 1478، أصبح رسّامًا محترفًا. وفي العام 1483، انتقل إلى ميلانو للعمل مهندسًا ونحاتًا ورسامًا ومهندسًا معماريًا. بعد عودته إلى فلورنسا، رسم عدة لوحات، بما فيها واحدة من أكثر اللوحات شهرة في العالم، «الموناليزا». رسم دافينشي في عدة مدن إيطالية حتى العام 1517، حيث انتقل إلى قلعة كلوس في فرنسا، وتوفي فيها في 2 مايو 1519.

بسبب لوحاته الشهيرة، عُدَّ دافينشي في المقام الأول فنانًا. لكنّ آلاف الصفحات من دفاتر ملاحظاته الأصلية تكشف أنه كان يتمتّع ببراعة العقل العلمي. لقد كتب ورسم ودرس علم التشريح من أجل رسم شكل الجسم البشري بدقّة أكبر. كانت مخطّطاته ورسوماته التفصيلية ذات طبيعة علمية دقيقة. وقد أظهرت مؤلفاته فهمًا عميقًا للهيكل العظمي والعضلات في كلّ من الحيوانات والإنسان، حتى إنها شملت فيزياء الشمس والظلّ (**الشكل 1-27**). وبيّنت رسوماته التوضيحية فهمًا لكيفية عمل الجسم.

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



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

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 لُيَيْفات عضلية Myofibrils مكوّنة من مناطق انقباض تُسمّى القطع العضلية Sarcomeres.
- العضلات الهيكليَّة Skeletal muscle، والقلبيّة Cardiac muscle، والملساء Smooth muscle هي ثلاثة أنواع من عضلات الفقاريّات.
- تؤدي المجموعة العضلية Muscle group وظيفة واحدة، أو حركة واحدة للجسم.
- تربط الأوتارُ Tendon العضلات بالعظام، وترتبط العظام في المفاصل بوساطة الأربطة Ligament.
- تعمل العضلات في أزواج متضادة بكونها ناهضة Agonist، أو مناهضة Antagonist.

الدرس 1-2 الخصائص الوظيفية للعضلات

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

☑ تقويم الوحدة

تحضير للاختبار

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

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

3. أيٌّ 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. اللُيَيْفة 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 النُوى.

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. ATP المخزّن.
   b. فوسفات الكرياتين.
   c. التنفّس الهوائي.
   d. التنفّس اللا هوائي.

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

14. ارسم مخطّطًا لزوج من العضلات.
    a. أذكر اسم كلّ عضلة.
    b. بيّن، باستخدام الأسهم، كيف تتحرّك العضلتان.

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

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

17. استفد من الإنترنت أو المكتبة في البحث عن مجموعة عضلية أو زوج من العضلات في الرأس أو اليد أو القدم، للاجابة عن الاسئلة الآتية:
    a. اشرح ما تفعله المجموعة أو الزوج.
    b. حدد العضلة الناهضة.
    c. حدد العضلة المناهضة.

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

19. فيمَ تختلف وظيفتا الأوتار والأربطة؟

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

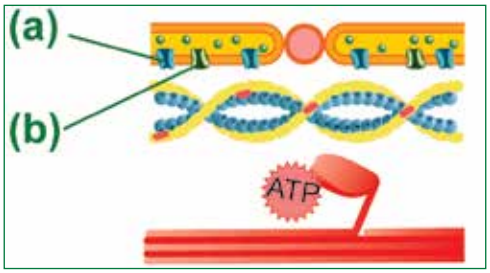
الدرس 1-2 الخصائص الوظيفية للعضلات

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

22. أرسم مخطّطًا يبيّن كيفية تناوب خيوط الأكتين والميوسين في التركيب لينزلقا معًا.
    a. حدّد القطعة العضلية
    b. عيّن خط M وخطوط Z.
    c. اشرح ما يحدث للقطع A و I وعيّنهما على المخطّط.

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

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



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

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

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

28. صف عملًا يتضمّن انقباضًا متساوي القياس للعضلة.

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

صمّم نموذجًا

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

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