

الأهداف

- تصف أنواع العضلات الثلاثة.
- تفسر ما يحدث في أثناء انقباض العضلة على مستوى الخلية والمستوى الجزيئي.
- تميز بين الألياف العضلية البطيئة الانقباض والسرعة الانقباض.

مراجعة المفردات

اللاهوائي Anaerobic: تفاعلات كيميائية لا تحتاج إلى الأكسجين لحدوثها.

المفردات الجديدة

- العضلة الملساء
- العضلة اللاإرادية
- العضلة القلبية
- العضلة الهيكلية
- العضلات الإرادية
- الوتر
- الليف العضلي
- الميوسين
- الأكتين
- القطعة العضلية

المطبوعات

ضمن مطبوتك معلومات من هذا القسم.

The Muscular System الجهاز العضلي

المقدمة الرابعة تختلف أنواع الأنسجة العضلية الثلاثة بعضها عن بعض في التركيب والوظيفة.

الربط مع الحياة ساهم ليوناردو دافنشي بتقديم كم هائل من المعرفة للمجتمع العلمي؛ فقد درس جسم الإنسان من خلال فحص الجثث. وحاول دافنشي وضع أسلاك مكان العضلات؛ لكي يتعلم كيف تنقبض العضلات لتسحب العظم، وتسبب الحركة.

Types of Muscles أنواع العضلات

تتكون العضلة من مجموعة الألياف أو خلايا عضلية متماسكة بعضها مع بعض. وعندما استخدمت كلمة عضلة لأول مرة ظن الناس أنها تعني العضلات الهيكلية. تفحص الشكل 4-5، تشاهد ثلاثة أنواع من العضلات، هي: الملساء، والقلبية، والهيكلية. وتُصنف العضلات بناءً على تركيبها ووظيفتها.

العضلات الملساء Smooth muscle تبطن العضلات الملساء smooth muscle الكثير من الأعضاء الداخلية، ومنها: القناة الهضمية، والأوعية الدموية والمثانة البولية، والرحم. وهي عضلات لا إرادية involuntary muscle لا يستطيع الإنسان السيطرة عليها. فيتحرك الطعام مثلاً في القناة الهضمية بفعل العضلات الملساء التي تبطن المريء والمعدة والأمعاء الدقيقة والغليظة. وتبدو العضلات الملساء عند فحصها بالمجهر غير مخططة ولا مرتبة في حزم، ولكل خلية نواة واحدة.

العضلات القلبية Cardiac muscle توجد هذه العضلات اللاإرادية في القلب فقط. ولذا تُسمى العضلات القلبية cardiac muscle. وتترتب الخلايا العضلية القلبية على هيئة شبكة تسمح للعضلات بالانقباض بفاعلية وانتظام، مما يعطي القلب قوة. والعضلات القلبية مخططة، ومكونة من حزمة من الخلايا التي يظهر لونها فاتحاً أو داكناً، ويداخلها العديد من النوى. وعادة ما تكون هذه الخلايا وحيدة النواة، وبعضها مرتبط مع بعض بوصلات فجوية.



الإضافة إلى مظهر العضلات تصنف كذلك حسب

وظيفتها (إرادية أو لإرادية)

■ الشكل 4-5 باستخدام التكبير للعضلات يمكن مشاهدة الاختلاف في شكل الخلايا العضلية ومظهرها. فالخليفة العضلات الملساء لها شكل مغزلي، والخليفة العضلية القلبية تبدو مخططة، كما أن الخليفة العضلية الهيكلية أيضاً مخططة.

هسر بالإضافة إلى مظهر العضلات، ما الأسس الأخرى المستعملة في تصنيفها؟

العضلات الهيكلية Skeletal muscles معظم عضلات الجسم هيكلية. وترتبط العضلات الهيكلية skeletal muscle مع العظام عن طريق الأوتار لتسبب الحركة. عندما تنقبض أو تانبسط مثل عضلات الذراع والقدم والوجه واللسان والجفون. وهي **عضلات إرادية** voluntary muscle؛ إذ يمكن التحكم فيها عند تحريك العظام. وترتبط **الأوتار** tendons - المكونة من نسيج ضام صلب - بين العضلات والعظام. كما تظهر العضلات الهيكلية مخططة عند مشاهدتها بالمجهر.

انقباض العضلة الهيكلية

Skeletal Muscle Contraction

تترتب معظم العضلات الهيكلية في شكل زوجي متضاد؛ أي تكون إحدى العضلات معاكسة للأخرى. انظر الشكل 4-6 الذي يوضح العضلات التي تستخدمها عندما ترفع ساعدك أو تخفضه. وتتكون الليفة العضلية من وحدات صغيرة تُسمى **الليفيات العضلية** myofibrils، وتحتوي بدورها على **الميوسين** myosin و**الأكتين** actin، وهما وحدات صغيرة من الخيوط البروتينية. وتتألف وحدات البناء في اللييف العضلي من **قطعة عضلية** sarcomere، وهي وحدة الوظيفة والجزء الذي ينقبض من العضلة، كما في الشكل 4-7. ويظهر التخطيط في العضلات بسبب القطع العضلية التي تمتد من خط Z وتنتهي بخط Z آخر. ويبدأ خط Z من المكان الذي ترتبط فيه خيوط الأكتين الرفيعة داخل اللييف العضلي. كما ينتج عن تداخل ألياف الأكتين والميوسين حزمة (شريط) داكنة اللون تسمى الحزمة A. أما خط M فيتكون من ألياف الميوسين فقط. إن ترتيب مكونات القطعة العضلية بهذا الشكل يجعل العضلة تنقبض، ثم تانبسط.

نظرية الخيوط المنزلقة Sliding filament theory يوضح الشكل 4-7 نظرية الخيوط المنزلقة. وتنص هذه النظرية على أنه عند وصول الإشارة العصبية إلى العضلة تنزل خيوط الأكتين بعضها في اتجاه بعض، مسببة انقباض العضلة. لاحظ أن خيوط الميوسين ثابتة لا تتحرك. وتداخل عدة عضلات هيكلية أحياناً لإنجاز حركة سيرة، كما في حركة قلب صفحة هذا الكتاب.

المفردات

الاستعمال العلمي مقابل

الاستعمال الشائع.

ينقبض Contract

الاستعمال العلمي؛ يشد أو يقصر.

تنقبض العضلات وتسبب الحركة.

الاستعمال الشائع انقبض الرجل

على نفسه؛ أي ضاق بالحياة، فمال إلى

الانزواء والعزلة.

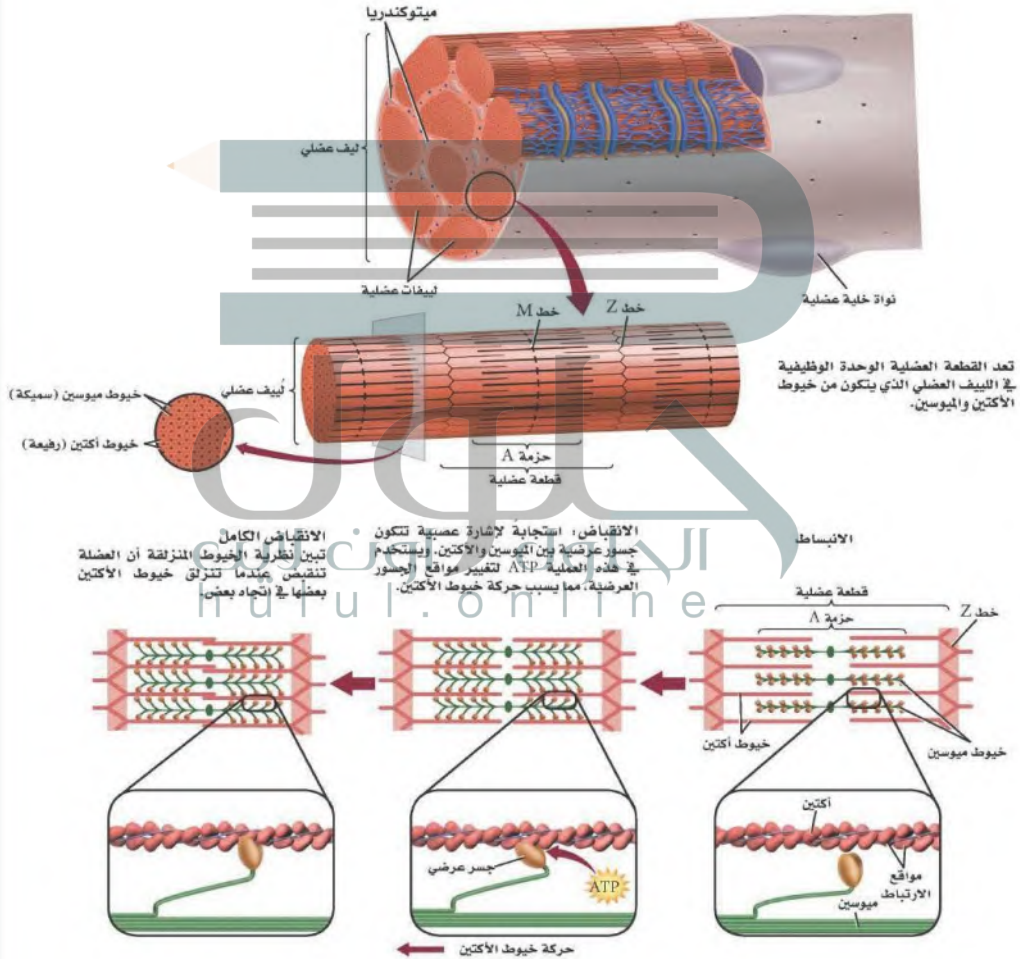
■ الشكل 4-6 تترتب العضلات في شكل زوجي متضاد.



عندما تنقبض العضلة ذات الرؤوس الثلاثة يتحرك الساعد إلى أسفل.

عندما تنقبض العضلة ذات الرأسين يرتفع الساعد إلى أعلى.

■ الشكل 7-4 يتكون الليف العضلي من ليفيات عضلية. أما الليف العضلي فيتكون من خيوط الأكتين والميوسين.



عندما يصل السيل العصبي إلى العضلة تتجه الأيونات الكالسيوم إلى اللييف العضلي، فيسبب ارتباط الأكتين والميوسين معاً. وتنتج خيوط الأكتين بعدها نحو مركز القطعة العضلية، لذا يحدث الانقباض. وتحتاج هذه العملية إلى الطاقة (ATP) التي تنتجها الميتوكوندريا. وعند انبساط العضلة تنزلق الخيوط مرة أخرى لتعود إلى وضعها الطبيعي.

الطاقة لانقباض العضلات Energy for muscles contraction تقوم الخلايا العضلية جميعها بعمليات الأيض هوائياً ولاهوائياً. وعندما يتوافر الأكسجين يحدث التنفس الخلوي الهوائي في الخلايا العضلية، وتطلق هذه العملية ATP بوصفه مصدرًا للطاقة.

بعد إجراء تمرين رياضي مجهود، ربما لا تتمكن العضلات من الحصول على الأكسجين الكافي لاستمرار التنفس الخلوي، مما يقلل كمية ATP الموجودة؛ فعضلات الرياضيين - في الشكل 8-4 - تعتمد على التنفس اللاهوائي لاستمرار عملية تخمر حمض اللاكتيك للحصول على الطاقة. ويزداد تركيز حمض اللاكتيك في العضلات في أثناء التمارين الرياضية، مما يسبب الإعياء، وينتقل الفائض منه إلى الدم، الأمر الذي يحفز التنفس السريع. وبعد أخذ قسط من الراحة يعاد تخزين كمية كافية من الأكسجين، ويتحلل حمض اللاكتيك في الجسم.

لعلك شاهدت حيواناً ميتاً على جانب الطريق! عندما يموت الحيوان يصبح في حالة تيبس، وهي حالة انقباض عضلي طويل الأمد. ويحتاج الجسم إلى ATP لضخ الكالسيوم بعيداً عن اللييف العضلي لكي تنبسط العضلة. ولأن الحيوان الميت في هذه الحالة لا يستطيع إنتاج ATP فإن الكالسيوم يبقى داخل اللييف العضلي، وتستمر العضلات في حالة انقباض. وعندما تبدأ الأنسجة في التحلل بعد 24 ساعة من الوفاة، لا تستطيع العضلات البقاء منقبضة.

■ الشكل 8-4 الوصول إلى نهاية السباق

يشكل لحظة من بذل طاقة قصوى.

تسر كيف تستعيد الحركات التنفسية

(الشهيق والزفير) وضعها الطبيعي بعد

تمرين رياضي مجهود؟



التنفس السريع يزيد من تراكم حمض اللاكتيك وبعد الراحة يتم الاحتفاظ بكمية كافية من الأكسجين ويتحطم حمض اللاكتيك

Skeletal Muscle Strength

قوة العضلة الهيكلية

لا تنمو أجسام بعض الناس مثل أجسام أبطال كمال الأجسام مهما بذلوا من محاولات في بناء العضلات. كذلك قد يكون أحد العدائين هو الأسرع في السباقات القصيرة، ولكنه يصل إلى الإعياء سريعاً في سباق المسافات الطويلة. فما سبب هذا الاختلاف؟ يرجع السبب في الحالتين إلى الألياف العضلية البطيئة الانقباض ونسبتها إلى الألياف العضلية السريعة الانقباض؛ حيث يوجد كلا النوعين من الألياف في كل إنسان.

العضلات البطيئة الانقباض Slow — twitch muscles تختلف العضلات في سرعة انقباضها، حيث تنقبض العضلات البطيئة الانقباض بسرعة أقل من العضلات السريعة الانقباض. ولليف العضلي البطيء الانقباض قدرة تحمل أكثر من الليف العضلي السريع الانقباض. ويحوي جسم متسابق الدراجات الهوائية - في الشكل 9-4 - أليافاً عديدة بطيئة الانقباض. كما تعمل هذه الأنواع من الألياف العضلية جيداً في سباق المسافات الطويلة أو السباحة؛ لأنها تقاوم الإعياء أكثر من ألياف العضلات السريعة الانقباض. ويتوافر الكثير من الميوتوكندريا في الليف العضلي البطيء الانقباض للقيام بعملية التنفس الخلوي. كما تحوي هذه الألياف الميوجلوبين؛ وهو جزيء التنفس الذي يخزن الأكسجين، ويعدّ مستودعاً له، كما يجعل الميوجلوبين لون العضلة داكناً. وتزيد التمارين عدد الميوتوكندريا في الألياف، لكن الزيادة الكلية في حجم العضلة تكون قليلة نسبياً.

العضلات السريعة الانقباض Fast — twitch muscles تصل العضلات السريعة الانقباض إلى حالة الإعياء بسهولة، لكنها توفر قوة كبيرة للحركة القصيرة السريعة. وقد تكيفت العضلات السريعة الانقباض لإنتاج القوة. وتعمل هذه العضلات جيداً في أثناء التمارين الرياضية التي تتطلب دفعة صغيرة سريعة من الطاقة، ومنها عدو المسافات القصيرة، أو رفع الأثقال، كما في الشكل 9-4.

ما مدى تحملك؟

ارجع لتدليل التجارب العملية على منصة عين

■ الشكل 9-4 لمسابقي الدراجات الهوائية في سباق المسافات الطويلة نسبة عالية من الألياف العضلية البطيئة الانقباض. أما رافعو الأثقال فلديهم نسبة عالية من الألياف العضلية السريعة الانقباض.



ويكون لون هذه العضلات فاتحاً؛ لأنها تحتوي القليل من الميوجلوبين. وتتم على التنفس اللاهوائي لقلة عدد الميتوكوندريا الموجودة فيها، مما يسبب إعياء العضلة. وتؤدي التمارين الرياضية إلى زيادة عدد الليفات العضلية، مما يجعل قطر العضلة الكلي أكبر.

وتحتوي غالبية العضلات الهيكلية خليطاً من العضلات ذات الانقباض السريع والبطيء. وتحدد نسبة هذا الخليط وراثياً. وعندما تكون نسبة الألياف البطيئة إلى الألياف السريعة الانقباض مرتفعة جداً يكون الشخص عداءً جيداً في السباقات الطويلة (سباق الضاحية). أما رافعو الأثقال فلديهم نسبة عالية من الألياف السريعة الانقباض. وعادة ما تكون عضلات غالبية الناس بين هاتين الحالتين.

مختبر تحليل البيانات 4-1

بناءً على بيانات حقيقية

البيانات والملاحظات

تفسير البيانات

نسبة الألياف البطيئة لانقباض	الوقت	العضلة
87	ترفع القدم	الأخضية (الرجل)
67	تنهني الساق	ذات الرأسين الفخذية (الرجل)
52	ترفع الذراع	المثلثة (الكتف)
35	تحرك الرأس	القضية الترقوية الصدغية (الرقبة)
15	تغلق الحفن	عضلة عجز العين (الوجه)

كيف ترتبط نسبة الألياف البطيئة الانقباض مع عمل العضلة؟ يمكن تحديد نسبة الألياف العضلية البطيئة الانقباض إلى السريعة الانقباض بأخذ قطعة صغيرة من العضلة وصبغها بصبغة تسمى صبغة إنزيم بناء الطاقة (ATPase)، فتصبغ الألياف العضلية السريعة الانقباض ذات المحتوى العالي من ATP باللون البني الداكن.

التفكير الناقد

1. افترض حلل بيانات الجدول، وضع فرضية تفسر لماذا تحتوي عضلة ساق الرجل الأخضية على ألياف بطيئة الانقباض أكثر من عضلة عجز العين.
2. صنف العضلات، معطياً أمثلة على عضلات سريعة الانقباض.

ج ١: يجب أن تحافظ عضلة الساق على الانقباض فترة طويلة؛ كما أن لعضلات محجر العين أليافاً سريعة الانقباض أكثر؛ لأنها ليست عضلات تحمل بل تتطلب حركات سريعة

ج ٢: العضلات السريعة الانقباض ومنها تحرك الرأس، والرقبة؛ والوجه

التقويم 2-4

الخلاصة

- هناك ثلاثة أنواع من العضلات.
- تنتظم العضلات الهيكلية في أزواج متضادة، بحيث تعمل عضلة عكس الأخرى.
- تبطن العضلات الملساء العديد من الأعضاء الداخلية.
- توجد العضلات القلبية في القلب فقط.
- تقوم جميع العضلات بعمليات الأيض الهوائية واللاهوائية.

فهم الأفكار الرئيسية

1. **الفكرة الرئيسية** صمم لوحة تتضمن قائمة بأوجه الشبه والاختلاف بين أنواع العضلات الثلاثة.
2. حدّد أنواع كل من العضلات الإرادية واللاإرادية.
3. فسّر لماذا يحدث التنفس الهوائي قبل تخمر حمض اللاكتيك في معظم العضلات؟
4. قارن بين دور الميتوكوندريا في الليف العضلي السريع الانقباض والليف العضلي البطيء الانقباض.

التفكير الناقد

5. استنتج نسبة اللحم الداكن (العضلات) إلى اللحم الأبيض في الديك الرومي البري تكون أعلى مقارنة بالديك الرومي الذي يُربى في المزارع. لماذا يساعد ذلك على طيران الديك الرومي البري مسافات أطول من الديك الرومي الداجن؟
6. **الكتابة هي علم الأحياء** اكتب قصة قصيرة تعبر فيها عن سلسلة الأحداث المرتبطة مع انقباض العضلة من أيونا

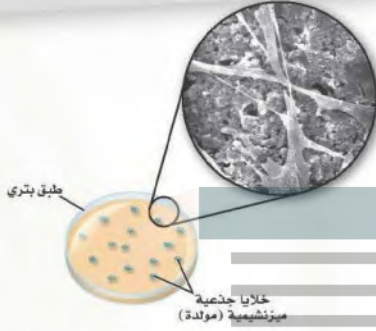
يترك للطالب

ج ١: الهيكلية: إرادية، توجد في جميع أنحاء الجسم وترتبط بالعظام والجلد؛ الملساء: وحيدة النواة لإرادية وتوجد الحدر الداخلية للأعضاء والأوعية الدموية؛

القلبية: وحيدة لإرادية القلب
ج ٢: الهيكلية: إرادية الملساء والقلبية: لإرادية

- ج ٣: يحدث التنفس الوائي عند توافر كميات كبيرة من الأكسجين، ويحدث تخمر حمض اللاكتيك عندما لا يتوافر الأكسجين كافي حالة التمارين الشاقة
- ج ٤: تحوي الألياف العضلية البطيئة الانقباض الكثير من الميتوكوندريا التي تنتج الكثير من الطاقة في حين تحوي الألياف العضلية السريعة الانقباض القليل من الميتوكوندريا، لذا يجب أن تعتمد على التنفس اللاهوائي
- ج ٥: يكسب بروتين الميوجلوبين العضلات لوناً غامقاً ويخزن الأكسجين الذي يستعمل الأنشطة التي تحتاج كالطيران لمسافات طويلة

تنمية العظام في المختبر: نموذج أطباق بتري



بعد ثمانية أسابيع أنتجت الخلايا الجذعية طبقة سميكة من خلايا العظم.

ولأن للعظم وللأنسجة الأخرى تنوءات يبلغ قطرها 100 nm فإن علماء الهندسة الطبية يحاولون قياس خلايا العظم التي ترتبط أفضل ما يمكن مع المعدن الذي له سطح بارز بمقياس نانومتر مناسب للعظم؛ حيث يساهم هذا الأمر في تطويع الورك الصناعي والركبة والزرعات الأخرى. وتمنع هذه الأجزاء ذات البروز رفض الجسم لها، وتجعله يعمل بفاعلية. وتساعد عملية زراعة خلايا العظم في طبق بتري الباحثين على استخدام التكنولوجيا الدقيقة (تقنية النانو) في تصميم وزراعة قطع تعمر فترة أطول، وتعمل في الجسم على نحو أفضل.

الكتابة في علم الأحياء

ابحث عن مهن في هندسة الأنسجة أو الهندسة الطبية تتعلق بالموضوعات التي نوقشت سابقاً. وصمّم كتيباً لتثقيف أفراد المجتمع حول هذه المهن والتخصصات، على أن يتضمن أحدث ما توصل إليه العلم من إنجازات في هذا المجال، وطريقة البحث العلمي والخلفية العلمية الضرورية، وضمّمه كذلك بعض الصور والرسوم التوضيحية.

كيف تتم زراعة الأنسجة في المختبر؟

هندسة الأنسجة هي عملية إعادة تنمية بعض أنسجة جسم الإنسان بدءاً بالمستوى الخلوي. وتساعد هندسة الأنسجة على نمو الغضاريف والأعصاب، والعظام، والأسنان، ونسيج الثدي والشرابين. ويستخدم العلماء مواد مصنعة ودعامات لتوفر للخلايا بيئة مشابهة للجسم. وهذه الدعامات - عادة - عديدة التبلر، ولها ثقب كالإسفنج تتسع للكثير من الخلايا؛ لتلتصق بها وتنمو. كما تسمح المادة العديدة التبلر بانتشار الغذاء من خلالها. وتحلل هذه المادة فيما بعد، عندما ينمو النسيج بصورة متماسكة، ولا يبقى هناك حاجة إلى هذه الدعامات. ومن المهم تحديد كيف تتواصل الخلايا بعضها مع بعض ومع البيئة من حولها، وكيف تتحرك الخلايا المحيطة بها. وتنتج الخلايا الجذعية الميزنشيمية (mesenchymal) عظاماً وغضروفاً ووتراً وأسناناً ودهناً وجلداً. وتعد هذه الخلايا مسؤولة عن النسيج الضام في نخاع العظم؛ فعندما تموت الخلايا بصورة طبيعية في الجسم تستقبل الخلايا الجذعية من النسيج الميزنشيمي إشارة لكي تتمايز وتتحول إلى النسيج الذي يحتاج إليه الجسم. ويرجو العلماء أن يتمكنوا من استعمال هذه الخلايا في نشاطات هندسة الأنسجة؛ للحصول عليها من نخاع العظم.

تطور هندسة الأنسجة على الرغم من أن الجلد كان أول عضو تم تنميته بفعل هندسة الأنسجة، بحيث أصبح متوافراً للإنسان، إلا أن التطور الكبير حدث في مجال تنمية النسيج العظمي؛ إذ يتم وضع سبيكة تقليدية ناعمة الملمس من التيتانيوم في الورك والركبة. ويتفاعل الجسم مع هذه السطوح الملساء ويغطيها بنسيج ليفي يعيق عمل هذه السبائك داخل الجسم.

كيف يمكنك تعرّف المخلوق الحي من خلال مجموعة مختلفة من العظام؟



الخلفية النظرية: لكل مخلوق حي فقاري هيكل عظمي يتميز بخصائص محددة، منها طول العظام وشكلها، وتستخدم هذه الخصائص في تحديد هوية العديد من المخلوقات الحية، ومثال ذلك الديناصورات. سيزودك معلمك بمجموعة من العظام المختلفة لمخلوق ما أو صور لها، والمطلوب فحصها لتعرف المخلوق الحي الذي تعود إليه هذه العظام.

سؤال: هل من الممكن أن يدلك تركيب العظام وشكلها على نوع الحيوان؟

7. افتح الإرشادات، وتفحص بياناتك وإجاباتك.

8. نظّف الأدوات، وأعدّها لمكان تخزينها.

يترك للطالب

حلل ثم استنتج

المواد والأدوات

1. حلل البيانات اعتمادًا على ملاحظاتك وقياساتك، حدّد المخلوقات الحية التي جاءت منها هذه العظام.

2. وضح البيانات كيف استعملت المعلومات المتعلقة بالشكل والحجم لتساعدك على تحديد الحيوان الذي تعود إليه هذه العظام؟

3. قوم هل اختلفت استنتاجاتك بعد أن اطلعت على بعض المعلومات؟ وضح الأسباب إذا كانت استنتاجاتك مختلفة.

4. قارن ما أوجه الشبه والاختلاف التي لاحظتها بين العظام أو الصور التي فحصتها وعظام الهيكل العظمي للإنسان؟

5. اربط أي الهياكل العظمية تُشابه في معظم خصائصها الهيكل العظمي للإنسان؟

6. سجّل استنتاجاتك.

- ثلاثة عظام غير معروفة أو صور لها.
- مجموعة إرشادات.
- هياكل عظمية لحيوانات مختلفة أو صورها.
- عدسة يدوية.
- مسطرة مترية.
- خيط.

احتياطات السلامة

خطوات العمل

1. املا بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.

2. اجمع المواد التي ستستعملها لتفحص الهياكل العظمية، وحدد الأنواع التي ستقيسها.

3. احصل على ثلاث عظام داخل كيس بلاستيكي مغلق أو صور لها، ومجموعة إرشادات من معلمك، ولا تفتحها إلا إذا طلب إليك ذلك.

4. صمّم جدولاً للبيانات لتسجيل قياساتك.

5. افحص العظام، وقارنها بالهياكل أو الصور، وقارن بعضها ببعض.

6. أجر قياساتك، وسجّل بياناتك.

* انظر مرجعيات الطالب صفحة (254) الهياكل العظمية.

الملصقات وجد علماء الأحافير من خلال دراستهم للعظام أن لديهم القدرة على تحديد نوع المخلوق الحي وعمره باستعمال هيكله العظمي. ابحث في خصائص الهياكل العظمية، ثم اعمل ملصقًا يبين ما تعلمته.