

الفصل الثالث: الجهاز التنفسي

The Respiratory System

قال تعالى:

﴿لَقَدْ خَلَقْنَا الْإِنْسَانَ فِي أَحْسَنِ تَقْوِيمٍ﴾

[التين : ٤]

دروس الفصل

الدرس الأول: التنفس في الإنسان

Human Respiration

الدرس الثاني: الحصول على الطاقة

Obtaining Energy

الدرس الثالث: صحة الجهاز التنفسي

The Health of the Respiratory System

الدرس الأول

التنفس في الإنسان

Human Respiration



سأتعلم:



- تركيب الجهاز التنفسي ووظيفة كل عضو فيه.
- أنواع التنفس وأهميته كل نوع.

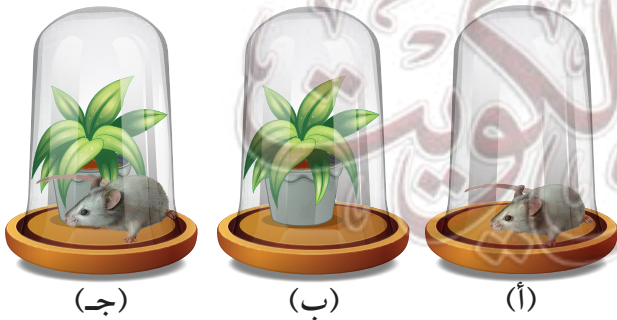


مع كل نفس يبدأ جسمك بعملية مذهلة! يدخل الأكسجين مع الشهيق، ويصل إلى الخلايا ليمنحها الطاقة لتعمل وتتحرك. ثم تخرج بعض الفضلات على شكل غاز ثاني أكسيد الكربون مع الزفير. إنها عملية تحدث بلا توقف، وتحافظ على نشاطك وحيويتك في كل لحظة.



ما العلاقة بين النباتات والهواء الذي نتنفسه؟

- أجرى العالم بريستلي تجربة حول عملية التنفس في الكائنات الحية، وكانت خطوات هذه الترجمة كالتالي:
- وضع فأراً في الناقوس (أ) ونباتاً في الناقوس (ب).
 - لاحظ بعد فترة زمنية معينة موت كل من الفأر والنبات.
 - بعد ذلك، وضع فأراً ونباتاً معاً في الناقوس (ج) وانتظر فترة زمنية معينة.
 - في رأيك، ما الذي لاحظته العالم؟ أذكر السبب؟



استكشف



كيف تستدلّ على حدوث عملية التنفّس؟

الاستدلال على حدوث عملية التنفّس في الكائنات الحيّة



هيدروكسيد الكالسيوم -
أنبوب بلاستيكي (عود
مصاص) - أنبوبة اختبار



الإرشادات



تعامل مع الأدوات بحرص وحذر - ارتدِ القفّازات قبل بدء العمل - أبلغ معلّمك على الفور في حال كسر أيّ من الأدوات الزجاجية

خطوات العمل:

- 1 - صُبّ مقدار (2) مل من هيدروكسيد الكالسيوم (ماء الجير) في كأس شفّافة.
- 2 - أنفخ بلطف في ماء الجير لمدة 30 ثانية عبر الأنبوب البلاستيكي.
- 3 - راقب التغيّر في هيدروكسيد الكالسيوم (ماء الجير).

يتعكر ماء الجير

الملاحظة:

الاستنتاج:

- هواء الزفير يحتوي على غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2

استكشف



ما تركيب الجهاز التنفّسي في جسم الإنسان؟

التعرّف إلى أعضاء الجهاز التنفّسي



بطاقات جاهزة مدوّنة فيها
المفاهيم العلمية ووظيفة كلّ جزء
من أجزاء الجهاز التنفّسي



الإرشادات



انتبه للتعليمات التي يوضّحها المعلّم - ناقش بهدوء - اتّفق مع أعضاء فريقك على توزيع المهام بالتساوي

خطوات العمل:

- 1 - شاهد مقطع الفيديو التعليمي الذي يوضّح تركيب الجهاز التنفّسي في الإنسان.
- 2 - اقرأ المفاهيم العلمية الموضّحة في البطاقات جيّدًا.

3- أكتب رقم كلّ بطاقة أمام ما يناسبها في الجدول التالي:

2 ممرّ للهواء بين البلعوم والقصبّة الهوائية.	1 تركيب عضلي يمرّر الهواء إلى الحنجرة والطعام إلى المريء.
4 يمثّل المدخل والمخرج الرئيسي للجهاز التنفّسي.	3 عضوان إسفنجيان يقعان داخل التجويف الصدري.
6 أنبوبة يمرّ من خلالها الهواء إلى الرئتين.	5 عضلة تفصل بين التجويف الصدري والتجويف البطني.
7 فرعان رئيسيان من القصبّة الهوائية يدخل كلّ فرع منهما إلى رئة.	

الملاحظة والاستنتاج:

أجزاء الجهاز التنفّسي	رقم البطاقة
الأنف	(4)
البلعوم	(1)
الحنجرة	(2)
القصبّة الهوائية	(6)
الشعبتان الهوائيتان	(7)
الرئتان	(3)
الحجاب الحاجز	(5)

استكشف



بالونات - قارورة بلاستيكية -
أعواد مصاصة



تصميم نموذج للجهاز التنفسي يوضح عملية التنفس.

التعرف إلى آلية التنفس في الإنسان



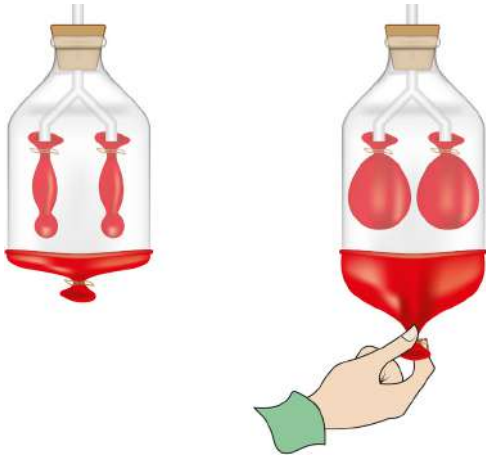
الإرشادات



إرتد معطف العلوم - إرتد القفازات قبل بدء العمل - تعامل مع الأدوات بحرص وحذر

خطوات العمل:

- 1- صمّم نموذجًا يوضح تركيب الجهاز التنفسي في الإنسان.
- 2- طابق بين كل جزء في النموذج وما يمثله من أجزاء الجهاز التنفسي في الجدول التالي.



الملاحظة:

أجزاء النموذج	أجزاء الجهاز التنفسي
دخول الهواء إلى القارورة وخروجه منها	الأنف
القارورة البلاستيكية	الحنجرة
الأعواد المصاصة	القصبية الهوائية
البالونان	الرئتان
البالون المثبت أسفل القارورة	الحجاب الحاجز

الاستنتاج:

حركة الهواء	دخول الهواء	خروج الهواء
اسم العملية	استنشاق	زفير
حجم الرئة	يزيد	يقل
عضلة الحجاب الحاجز	تنقبض وتتحرك للأعلى	تسترخي وتتحرك للأسفل

مهاره العلوم

فسّر: تُحاط الحويصلات الهوائية بالشعيرات الدموية.

تركيب الجهاز التنفسي



Structure of the Respiratory System

يُعدّ الجهاز التنفسي من أهم أجهزة الجسم، لأنّه المسؤول عن عملية التنفس الضرورية للكائنات الحيّة، حيث تُنتج من خلالها الطاقة اللازمة للقيام بالوظائف الحيوية.

يتكوّن الجهاز التنفسي من عدّة أعضاء تعمل معاً، حيث يبدأ مسار الهواء من لحظة دخوله عبر الأنف أو الفم مروراً بعدد من الأعضاء، وصولاً إلى الحويصلات الهوائية في الرئتين، كما في الشكل (13). ويعكس هذا المسار المنظم روعة إبداع الخالق - عز وجل - في تنظيم عملية التنفس بشكل دائم ومستمر مدى الحياة.

1 - **الأنف:** يمثّل المدخل والمخرج الرئيسي للهواء في الجهاز التنفسي، ويحتوي النسيج المبطن للأنف على أوعية دموية يمرّ فيها الدم الذي يساعد على تدفئة الهواء الذي نستنشقّه. وتفرز بطانة الأنف سائلاً لزجاً من المخاط، يزيد من رطوبة الهواء، ويعمل مع الشعيرات الدقيقة داخل الأنف على حجز الغبار الموجود في الهواء، بما في ذلك بعض الجراثيم.

2 - **البلعوم:** تركيب عضلي مبطن جزئياً بالأهداب التي تساعد على ترشيح الهواء، وهو يُعتبر قناة مشتركة يمرّ من خلالها الهواء إلى الحنجرة والطعام إلى المريء.

3 - **الحنجرة:** ممرّ للهواء بين البلعوم والقصبه الهوائية، وتحتوي على الأحبال الصوتية.

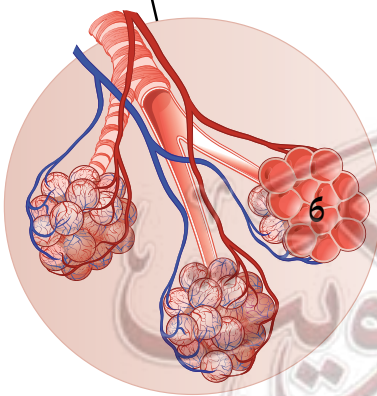
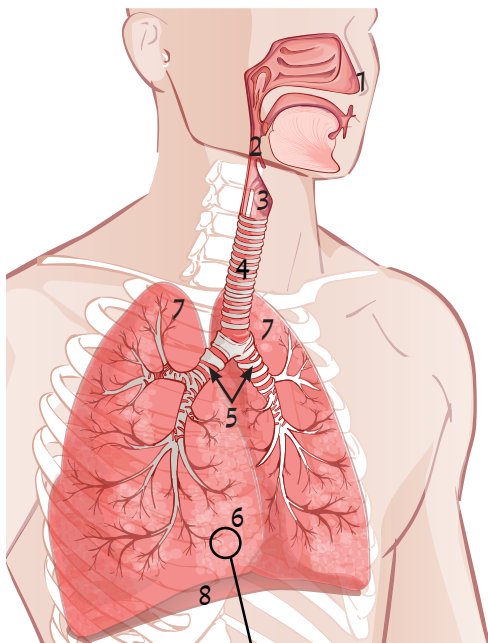
4 - **القصبه الهوائية:** أنبوبة مزوّدة بحلقات غضروفية ومبطّنة بالأهداب لتنظيف الهواء باستمرار أثناء مروره إلى الرئتين.

5 - **الشعبتان الهوائيتان:** فرعان رئيسيان من القصبه الهوائية، يدخل كلّ فرع منهما إلى رئه، وتتفرّع كل شعبة إلى شعبيات تنتهي بأكياس هوائية دقيقة تُسمّى الحويصلات الهوائية يتراوح عددها بين 300 إلى 500 مليون حويصلة في الرئتين.

6 - **الحويصلات الهوائية في الرئة:** تمثّل الحويصلات الهوائية السطح التنفسي الرئيسي لتبادل الغازات، وهي تعمل على زيادة مساحة سطح التبادل الغازي، وجدرانها رقيقة جداً ومحاطة بالشعيرات الدموية لتسهيل عملية انتشار الغازات بين الهواء في الحويصلات والدم، كما أنّها مبطنه بمادّة رطبة لتسهيل ذوبان الغازات وانتقالها، ولذلك فهي الجزء الفعّال في عملية التبادل الغازي.

7 - **الرئتان:** عضوان إسفنجيان يقعان داخل التجويف الصدري فوق الحجاب الحاجز.

8 - **الحجاب الحاجز:** عضلة قوية موجودة تحت الرئتين، تفصل بين التجويف الصدري والتجويف البطني، ويتغيّر وضعها عند التنفس.



الشكل (13)



Breathing Process

يُقدَّر عدد الحويصلات الهوائية في رئة الإنسان بحوالي (300) مليون حويصلة هوائية في الرئتين معاً، وهي تمثل السطح الأساسي لتبادل الغازات (الأكسجين و ثاني أكسيد الكربون) بين الهواء والدم، ويُقدَّر إجمالي مساحتها السطحية بما يعادل (70) إلى (100) متر مربع، أي ما يعادل تقريباً مساحة ملعب تنس، ما يعكس كفاءتها العالية في عملية التنفس.

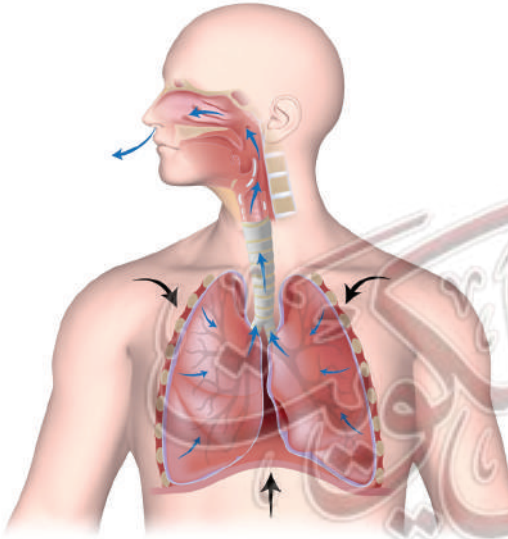
عملية حيوية يقوم بها الجسم للحصول على الطاقة من خلال دخول الأكسجين إلى الجسم أثناء الشهيق وخروج ثاني أكسيد الكربون منه أثناء الزفير. يحدث التنفس من خلال عمليتي:

١- الشهيق (استنشاق الهواء):

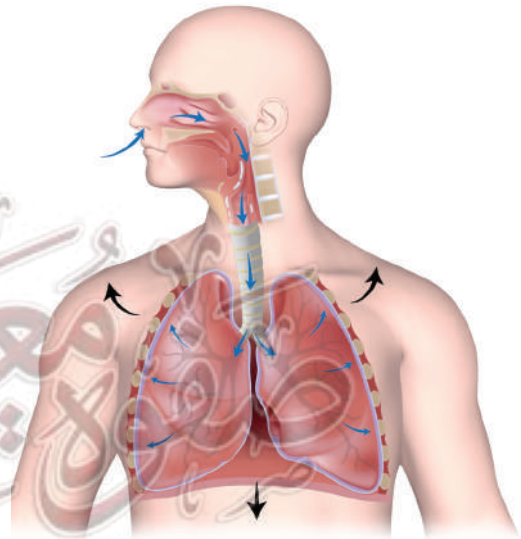
تبدأ عندما تنقبض عضلة الحجاب الحاجز وتتحرك إلى أسفل، ويتوسع القفص الصدري ويرتفع إلى أعلى، كما في الشكل (14). يزيد هذا التوسع حجم الرئتين، فيدخل الهواء المحمل بالأكسجين من الأنف أو الفم إلى القصبة الهوائية، ثم يتفرع إلى الشعب الهوائية داخل الرئتين، ويصل إلى الحويصلات الهوائية التي يتم فيها تبادل الغازات بين الهواء والدم عن طريق الانتشار.

٢- الزفير (إخراج الهواء):

بعد وصول الأكسجين إلى الحويصلات الهوائية، تنبسط عضلة الحجاب الحاجز وترتفع إلى أعلى، وينخفض القفص الصدري إلى أسفل، كما في الشكل (15). هذا التقلص في حجم الرئتين يدفع الهواء المحمل بغاز ثاني أكسيد الكربون إلى خارج الجسم عبر الأنف أو الفم. والقوة الفاعلة في عمليتي الشهيق والزفير هي عضلة الحجاب الحاجز والعضلات بين الضلوع، وليس الرئتين، وذلك بدعم من الجهاز العصبي.



الشكل (15) عملية الزفير



الشكل (14) عملية الشهيق

التبادل الغازي بين الدم والحويصلات الهوائية

Gas Exchange Between the Blood and the Alveoli



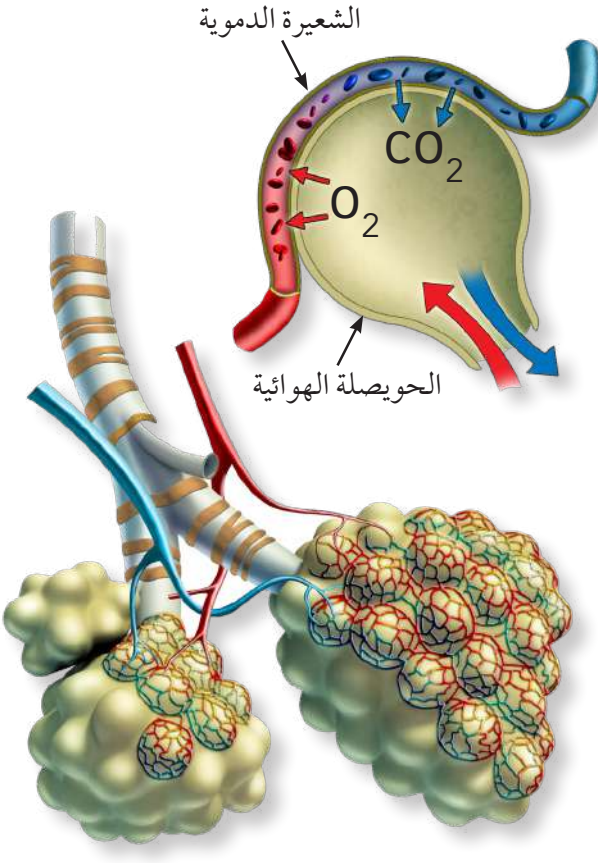
يحدث التبادل الغازي بين الحويصلات الهوائية والشعيرات الدموية كما في الشكل (16)، حيث ينتشر الأكسجين من الهواء الموجود في الحويصلات إلى الدم ويخرج ثاني أكسيد الكربون من الدم إلى الحويصلات. ويتم هذا التبادل بسبب فرق تركيز الغازات بينهما عبر جدران رقيقة جداً ومنفذة تسمح بمرور الغازات بسهولة.

خلال عملية الشهيق

يدخل الهواء الموجود في الرئتين إلى الحويصلات الهوائية، حيث يكون تركيز غاز الأكسجين (O_2) في الحويصلات الهوائية أكبر من تركيزه في الشعيرات الدموية. يذوب الأكسجين في الطبقة الرطبة المبطنّة للحويصلة الهوائية، ومنها ينتشر إلى الدم عبر جدران الحويصلات الهوائية الرقيقة التي تسمح بنفاذ الأكسجين إلى الدم.

خلال عملية الزفير

يخرج الهواء من الرئتين عندما يكون تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) في الشعيرات الدموية أعلى من تركيزه في الحويصلة الهوائية. ينتقل غاز ثاني أكسيد الكربون من الدم إلى الحويصلة الهوائية حيث يذوب وينتشر عبر جدران الحويصلات الرقيقة ويُطرح خارج الجسم عن طريق هواء الزفير.



الشكل (16)

مهارات العلوم

فسّر: عضلة الحجاب الحاجز والعضلات بين الضلوع هي القوة الفاعلة أثناء عمليتي الشهيق والزفير.



صمّم جهازاً يساعد في تحسين عملية الشهيق لمرضى الربو.

أتحقّق ممّا تعلّمت



عضلة الحجاب الحاجز و العضلات بين الضلوع

السؤال الأوّل: أكتب بين القوسين كلمة (صحيحة) أمام العبارة الصحيحة وكلمة (خطأ) أمام العبارة غير الصحيحة في ما يلي:

- قصبة هوائية 1 - الحنجرة أنبوبة مزوّدة بحلقات غضروفية ومبطّنة بالأهداب لتنظيف الهواء. (.....) ☒
- 2 - الحويصلات الهوائية هي القوّة الفاعلة أثناء عمليتي الشهيق والزفير. (.....) ☒
- 3 - تتوقّف عملية التبادل الغازي من وإلى الحويصلات الهوائية على اختلاف تركيز الغازات فيها. (.....) ☒

السؤال الثاني: رتّب كلّ ممّا يلي من 1 إلى 4 حسب أولوية الحدوث.

- خطوات مسار الهواء في جسم الإنسان:
- 1 (.....) مرور الهواء عبر البلعوم وصولاً إلى القصبة الهوائية.
- 2 (.....) دخول الهواء من الأنف أو الفم.
- 3 (.....) وصول الهواء إلى الشعب الهوائية في الرئة.
- 4 (.....) تبادل غازي الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون في الحويصلات الهوائية.

السؤال الثالث: أيّ ممّا يلي لا ينتمي إلى المجموعة مع ذكر السبب:

- 1 - في ضوء دراستك لتركيب الجهاز التنفسي (البلعوم - المريء - الحنجرة - القصبة الهوائية).

الذي لا ينتمي: المريء

السبب: لأنه من أجزاء الجهاز الهضمي والباقى من أجزاء الجهاز التنفسي

- 2 - في ضوء دراستك لتركيب الجهاز التنفسي (يدخل الهواء الى الرئتين - تنقبض عضلة الحجاب الحاجز - يرتفع القفص الصدري إلى أعلى - يقل حجم الرئتين)

الذي لا ينتمي: يقل حجم الرئتين

السبب: لأنه يعمل على الزحف والباقى يعمل على الشهيق

السؤال الرابع: اقرأ العبارة التالية، ثمّ أجب عن المطلوب:

عضلة الحجاب الحاجز تفقد قدرتها على الانقباض والانبساط.

- 1 - ما تأثير ذلك على دخول الهواء إلى الرئتين؟

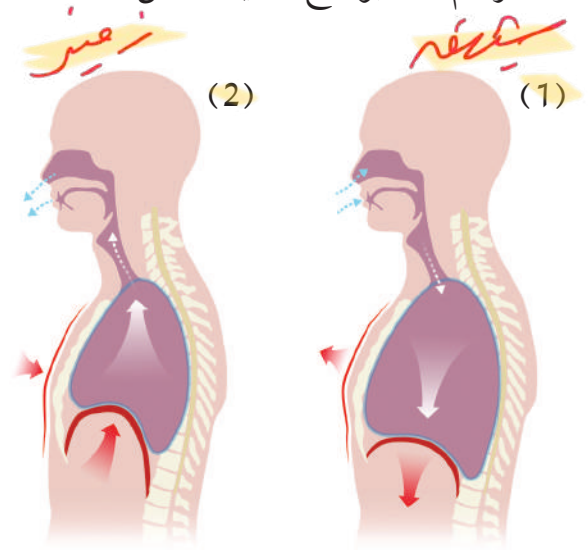
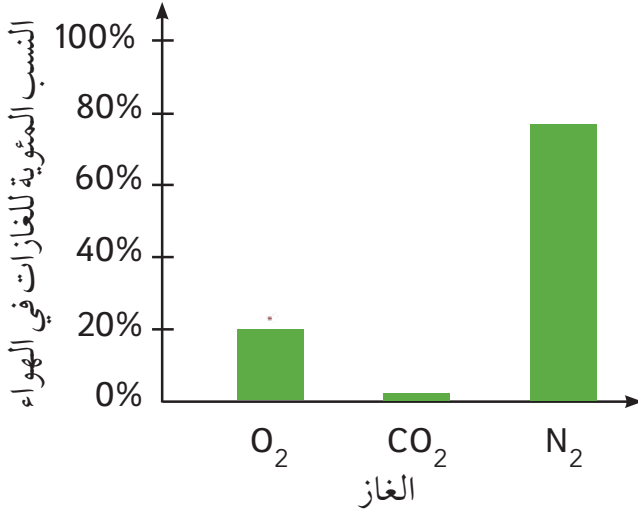
يتوقف دخول الهواء إلى الرئتين

- 2 - فسّر سبب إجابتك.

لأن عضلة الحجاب الحاجز هي المسؤولة عن توسيع القفص الصدري

والذي بدوره يعطي مجالاً للرئتين لزيادة حجمهما ودخول الهواء

السؤال الخامس: أدرس الرسومات جيداً، ثم أجب عن المطلوب:
1- الرسم أدناه يوضح عملية التنفس.

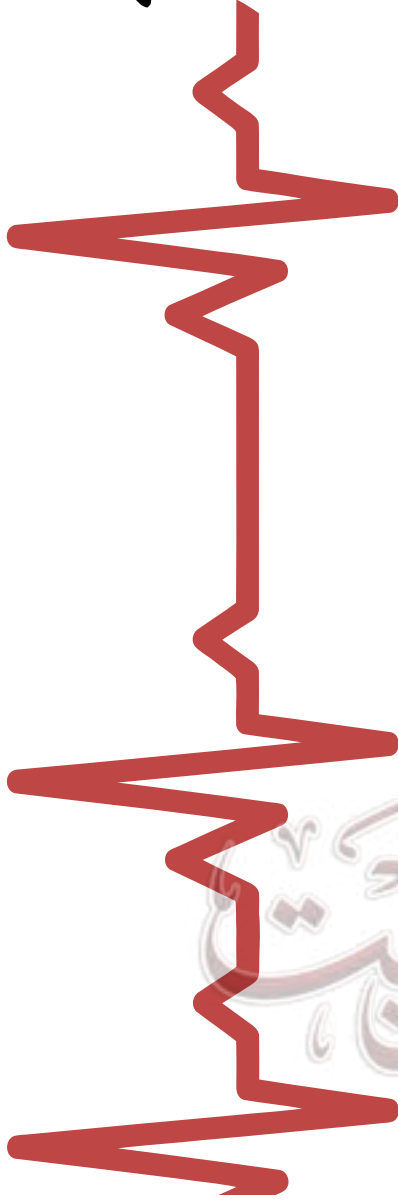


- العملية التي ينتج عنها نسب الغازات الموضحة في الرسم البياني يمثلها الشكل رقم (..... 1).

- فسّر سبب إجابتك.

لان أثناء عملية الشهيق تدخل الغازات بنفس النسب الموجودة في الهواء الجوي الخارجي

صِفْوَةٌ مَعَالِمُ الْكُوَيْتِ



الدرس الثاني

الحصول على الطاقة

Obtaining Energy

سأتعلم:



- مفهوم التنفّس الخلوي.
- أنواع التنفّس (الهوائي واللاهوائي).



تُعتبر الطاقة عنصراً أساسياً لاستمرار الحياة، إذ تعتمد جميع الكائنات الحيّة على مصادر مختلفة للحصول عليها. فيحصل الإنسان والحيوان على الطاقة من الغذاء، حيث يحوّل جسمهما الموادّ الغذائية إلى طاقة تُستخدم في الحركة والنموّ والوظائف الحيوية. أمّا النباتات، فتُنتج طاقتها من خلال عملية البناء الضوئي، وتستفيد من ضوء الشمس لتحويل ثاني أكسيد الكربون والماء إلى غذاء وأكسجين. من خلال هذه العمليات الحيوية، تؤمّن الطاقة اللازمة لجميع أشكال الحياة على سطح الأرض. في هذا الدرس، ستكتشف كيف تحصل الكائنات الحيّة على الطاقة التي تحتاج إليها للقيام بوظائفها الحيوية.



اقفز لمدة 3 دقائق، ما التغيّرات التي تشعر بها؟

استكشف



ماذا يحدث داخل خلية الخميرة؟

التعرّف إلى دور التنفس الخلوي في إنتاج الطاقة داخل الخلية



كأسان من الزجاج -
غطاء - خميرة - ماء -
سكر - ملعقة زجاجية



الإرشادات



تعامّل مع الأدوات بحرص وحذر - ارتدّ معطف العلوم قبل بدء العمل - أبلغ معلّمك على الفور في حال كسر أيّ من الأدوات الزجاجية

خطوات العمل:

- 1 - ضّع مقدارًا متساويًا من الخميرة الجافة في الكأسين (1) و(2).
- 2 - أضف مقدارًا متساويًا من السكر في الكأسين.
- 3 - أضف مقدارًا من الماء الدافئ إلى الكأسين، ثمّ قلب محتويات كلّ منهما برفق بالمعلقة الزجاجية.
- 4 - غطّ الكأس رقم (1) واترك الكأس رقم (2) مكشوفة.

الملاحظة:

وجه المقارنة	الكأس رقم (1)	الكأس رقم (2)
ماذا تشاهد؟	خروج فقاعات	خروج فقاعات
صف الرائحة	رائحة قوية	رائحة خفيفة.

الاستنتاج:

- تتنفس خلية الخميرة بطريقتين هما: تنفس هوائي و تنفس لاهوائي.

صِفْهُ: معاً الكويك

التنفس الخلوي



Cellular Respiration

يُعدّ التنفس الخلوي عملية حيوية أساسية تحدث في خلايا الجسم لتحويل الغذاء، وخاصّة الجلوكوز (سكر بسيط)، إلى طاقة تُستخدم في جميع الأنشطة الحيوية. تتمّ هذه العملية داخل الميتوكوندريا، كما في الشكل (17)، وهي عضيات توجد في الخلية وتُعرف بكونها محطة إنتاج الطاقة.

يوجد نوعان رئيسيان من التنفس الخلوي:

١- التنفس الهوائي Aerobic Respiration

يحدث في وجود الأكسجين، حيث يُكسّر الجلوكوز بالكامل لإنتاج كمّيات كبيرة من الطاقة على شكل مركّبات طاقة (جزيئات ATP). وينتج عن هذه العملية الماء وثاني أكسيد الكربون. هذا النوع من التنفس يُستخدم في الأنشطة اليومية العادية كالمشي، والحركة، أو في وقت الراحة أو أثناء الرياضة المعتدلة، لأنّه يُعطي طاقة كافية بشكل مستمرّ، كما في المعادلة التالية:



٢- التنفس اللاهوائي Anaerobic Respiration

يحدث في غياب الأكسجين أو نقصه، وغالبًا ما تقوم به الخلايا في الجسم عند ممارسة التمارين الشديدة أو السريعة مثل الركض السريع، كما في الشكل (18) أو رفع الأثقال. في هذا النوع، لا يُكسّر الجلوكوز بالكامل، وينتج عنه طاقة أقلّ، بالإضافة إلى حمض اللاكتيك *Lactic acid* الذي يتراكم في العضلات.

عند ممارسة التمارين الرياضية أو بذل مجهود كبير، تحتاج العضلات إلى كمّية كبيرة من الطاقة. في البداية، تحصل العضلات على هذه الطاقة من خلال التنفس الهوائي، الذي يستخدم الأكسجين لتفكيك الجلوكوز وإنتاج كمّية كبيرة من الطاقة، لكن عندما يستمرّ الجهد البدني لا يصل الأكسجين بشكل كافٍ إلى العضلات فيلجأ الجسم إلى التنفس اللاهوائي لإنتاج الطاقة. يؤدّي هذا النوع من التنفس إلى تراكم حمض اللاكتيك ما يسبّب إجهادًا وآلمًا وتشنجًا في العضلات أثناء المجهود. وبعد الحصول على قسط من الراحة، يتخلص الجسم تدريجيًا من حمض اللاكتيك ويعود إلى التنفس الهوائي.

الميتوكوندريا



الشكل (17)



الشكل (18)



إثراء

يعتمد جسم الإنسان على مجموعة من العناصر الغذائية مثل الكربوهيدرات، والدهون، والبروتينات كمصادر أساسية للطاقة، حيث تحوّل داخل الجسم إلى جزيئات ATP (أدينوسين ثلاثي الفوسفات)، وهي الوحدة الأساسية للطاقة الخلوية.

تعتمد بعض الكائنات الدقيقة على التنفس اللاهوائي للبقاء وإنتاج الطاقة لها، مثل البكتيريا اللاهوائية، كما في الشكل (19) التي تُنتج حمض اللاكتيك أثناء التنفس اللاهوائي الذي يُستخدم في صناعة اللبن أو الجبن.

تقوم الخميرة كما في الشكل (20) أيضًا بالتنفس اللاهوائي وتسمى عملية التخمير الكحولي الذي ينتج عنه الكحول وثنائي أكسيد الكربون، وتُستخدم هذه الخاصية في صناعة الخبز، حيث يساعد ثاني أكسيد الكربون على انتفاخ العجينة كما في المعادلة التالية:

كحول إيثيلي + ثاني أكسيد الكربون + طاقة

جلوكوز



الشكل (19) بكتيريا لاهوائية

مهارات العلوم

علّل: سبب شعور الإنسان بالتعب وبألم في العضلات بعد التمارين المكثفة.



الشكل (20) الخميرة



إذا كانت بعض الكائنات الدقيقة قادرة على إنتاج الطاقة في غياب الأكسجين، فكيف يمكن استثمار هذه القدرة في حلّ مشكلات بيئية مثل التخلص من النفايات العضوية؟ صمّم فكرة مبتكرة يمكن من خلالها توظيف هذا النوع من التنفس لإنتاج طاقة متجددة.

أتتحقق مما تعلمت



السؤال الأول: اختر الإجابة الصحيحة علمياً لكل من العبارات التالية بوضع علامة (✓) في الدائرة المجاورة لها:

1 - المعادلة الكيميائية التي تعبر عن التنفس الهوائي:

- ☐ جلوكوز + كحول إيثيلي ← ماء + ثاني أكسيد الكربون
- ☒ جلوكوز + أكسجين ← ماء + ثاني أكسيد الكربون + طاقة
- ☐ جلوكوز ← ماء + ثاني أكسيد الكربون + طاقة
- ☐ جلوكوز ← كحول إيثيلي + ثاني أكسيد الكربون + طاقة

2 - يحدث التنفس الخلوي في عضيّة داخل الخلية تُسمّى:

- ☒ الميتوكوندريا
- ☐ البلاستيدات
- ☐ جهاز جولجي
- ☐ الشبكة الإندوبلازمية

السؤال الثاني: قارن بين كلّ ممّا يلي كما هو موضح في الجدول التالي:

وجه المقارنة	التنفس الهوائي	التنفس اللاهوائي
وجود الأكسجين	يوجد	لديّ وجود
نواتج التنفس	ماء + ثاني أكسيد الكربون + طاقة	كحول إيثيلي + ثاني أكسيد الكربون + طاقة
الأهميّة	لزود خلايا الجسم بالطاقة	طاقة سريعة مؤقتة
وضّح التنفس بمعادلة لفظية	جلوكوز + أكسجين ← ماء + ثاني أكسيد الكربون + طاقة	جلوكوز ← كحول إيثيلي + ثاني أكسيد الكربون + طاقة

السؤال الثالث: علّل ما يلي تعليلاً علمياً سليماً:

يشعر الرياضيون بالتعب وألم شديد في العضلات بعد الانتهاء من التمارين الشديدة.

بسبب التنفس اللاهوائي الذي يؤدي إلى تراكم حمض اللاكتيك الذي يسبب هذا الألم في العضلات.