العلوم العامة

كتاب الطالب

المستوى الحادي عشر

GENERAL SCIENCE
STUDENT BOOK

GRADE 11

الفصل الدراسي الثاني - الجزء الأول

SECOND SEMESTER - PART 1

2020 - 2019

(نسخة تجريبية - Trial version)

www.jnob-jo.com

© وزارة التعليم والتعليم العالي في دولة قطر

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

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

تمّ إعداد الكتاب بالتّعاون مع شركة تكنولاب.

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

التّرجمة: مطبعة جامعة كامبريدج.

الطبعة التجريبية 2019-2020 م

www.jnob-jo.com

النشيد الوطني

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

www.jnob-jo.com

www.jnob-jo.com

المراجعة والتّدقيق العلميّ والتّربويّ

خبرات تربويّة وأكاديميّة من المدارس

الإشراف العلميّ والتربويّ

إدارة المناهج الدّراسيّة ومصادر التّعلّم

www.jnob-jo.com

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

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

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

يتجسّد في المنهج الجديد العديد من التّوجّهات مثل:

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

www.jnob-jo.com

- 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

www.jnob-jo.com

كم عدد المرات التي تعرضت فيها للأشعة السينية (X-rays)؟

كيف تعمل الآشعة السينية؟

الوحدة الأولى لهذا الفصل تبحث تقنيات التصوير المدهشة المستخدمة في الطب الحديث.

يمنح التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI)، والتصوير المقطعي المحوسب (CAT)، والتصوير الصوتي(US) الأطباء القدرة على رؤية داخل الجسم لتشخيص الجروح والمرض.

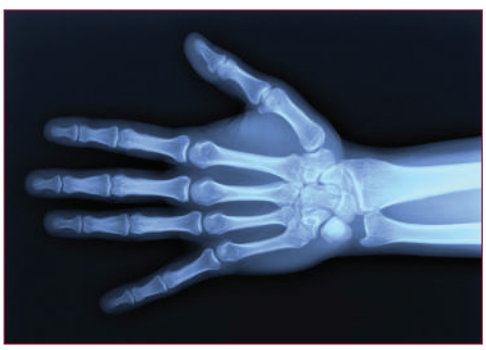
الوحدة السادسة من هذا الكتاب تبحث في متانة جسمك وتركيبه. وتعدُّ مفاهيم المتانة والجهد وانفعال الشدّ عوامل مشتركة بين هياكل المباني الإسمنتية والحديدية، وعظام الإنسان وعضلاته.

جميع التكنولوجيات لها وجهان إيجابي وسلبي. تتحرى الوحدة السابعة التبرير العلمي لتغيُّر المناخ وثقب الأوزون. كلتا الظاهرتين سبّبتهما الأنشطة البشرية وكل منهما تُعدُّ تهديدًا للبيئة العالمية.

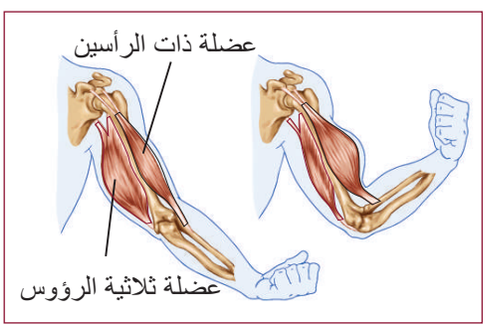
تفوق أعداد البشر والحيوانات الأليفة بكثير أعداد جميع الثدييات الأخرى. الوحدة الثامنة تبحث في تغيُّر التنوُّع البيولوجي لكوكبنا. ويمثِّل توفير الغذاء لثمانية مليار إنسان بصورة دائمة تحدِّيًا خطيرًا يواجه الأجناس اليوم.

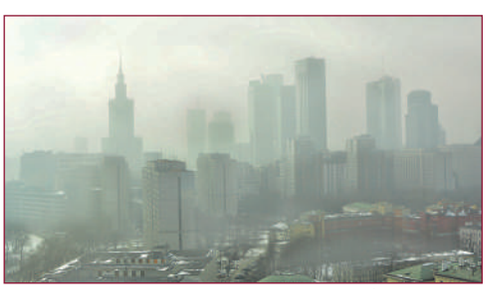
الطاقة شريان الحضارة الحديثة. تكاد الحياة في قطر تكون صعبة لولا التسهيلات المكثَّفة للطاقة في مجالَي التكييف وتحلية المياه. الوحدة التاسعة تبحث في كيفية إنتاج الطاقة وتوزيعها.

الوحدة الأخيرة لهذا الفصل (الوحدة العاشرة) تلقي الضوء على علوم الكوارث الطبيعية كالأعاصير والهزات الأرضية والبراكين. الظاهرتان الأخيرتان هما جزء من تغيُّرات دورية تطرأ على هذا الكوكب كل مئة مليون سنة.

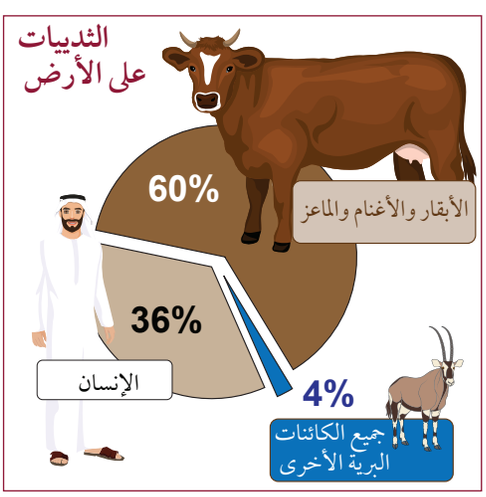


صورة بالأشعة-س ليد تظهر تفاصيل كل عظمة.





ما تأثير تغيُّر المناخ؟



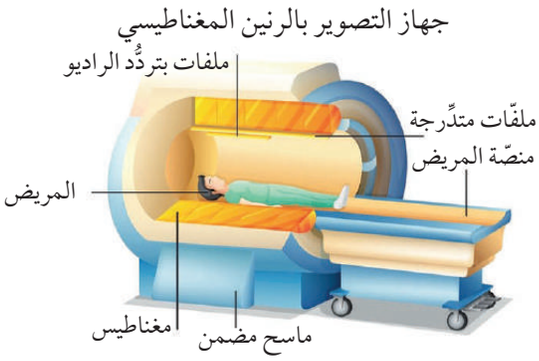
البشر وحيواناتهم الأليفة تفوق أعداد الحيوانات المفترسة.

www.jnob-jo.com

بعض أقسام هذا الكتاب

الرّسوم التّوضيحيّة

جرى تجسيد المفاهيم المهمّة والمعطيات والأمثلة المتعلّقة بكلّ فكرة جديد من خلال صور مفصّلة، بالإضافة إلى إدراجها في النّصوص.



أسئلة للمناقشة

سؤال للمناقشة

ما هي كمّيّة الغذاء الّتي عليّ تناولها لأبقى بصحّة جيّدة؟

يتيح السّؤال المطروح للمناقشة أمام صفّك فرصة التّطرّق إلى مفاهيم ومعلومات جديدة.

شريط الأفكار المهمّة

يمكن أن يستهدف سكّين جاما الورم من دون جراحة.

يسهل تحديد الأفكار الرّئيسة واستذكارها.

المسائل الرّياضيّة

قانون هوك

$$F = -kx$$

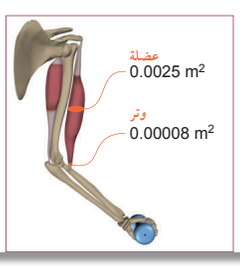
F	القوة (N)
k	ثابت النابض (N/m)
x	التشوّه (m)

وردت المعادلات حيث يلزم مع تحديد كلّ المتغيّرات والعوامل المؤثّرة فيها والوحدات العلميّة الدّقيقة.

المسائل النّموذجيّة

مثال 2

تولّد عضلة قوة مقدارها 200 N، وتنقل هذه القوة بواسطة وتر. احسب إجهاد الشدّ في كل من العضلات والوتر. كما هو مبيّن بالشكل **6-9**.



الحل:

$$\sigma_{muscle} = \frac{F}{A_{muscle}} = \frac{200\ \text{N}}{0.0025\ \text{m}^2} = 80{,}000\ \text{Pa}$$

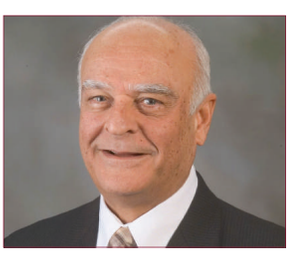
$$\sigma_{tendon} = \frac{F}{A} = \frac{200\ \text{N}}{0.00008\ \text{m}^2} = 2{,}500{,}000\ \text{Pa}$$

تبيّن المسائل النّموذجيّة الخطوات والتّدرّج بالتّفكير، لحلّ مسألة، وإجراء الحسابات الرّياضيّة بنجاح.

العلم والعلماء

العلم والعلماء

علي حسن نايفة 1933- 2017:



الشكل **6-36** الدكتور علي حسن نايفة.

وُلد الدكتور نايفة من أبوين فلسطينيّين فقيرين في طولكرم بالضفّة الغربيّة (**الشكل 6-36**). واصل تعليمه ليصبح عالِمًا متميزًا، وأستاذًا في الرياضيّات، وفي مجالات أخرى، منها الديناميكيّات الهيكليّة، المجال الذي يبحث في سلوك الموادّ تحت تأثير قوى إجهاد الشدّ في الحالتين الخطّيّة وغير الخطّيّة.

على الرغم من أنّ والدَيْه أميّان، فإنهما شجّعاه على متابعة كثير من الفرص التعليميّة التي كانت متاحة له. وفي أثناء عمله مدرِّسًا للرياضيات في فلسطين، حاز منحة للدراسة في جامعة

بدأ تطوّر العلوم منذ أكثر من 3 آلاف عام. يوفّر هذا القسم نظرة تبصّرٍ للاستلهام من الجانب الإنسانيّ للعلم والتّكنولوجيا. ومن المؤكّد أنّك ستتعرّف كثيرًا من الشخصيّات الجّاذبة على هذه الصّفحة.

www.jnob-jo.com

الأنشطة

التّجارب المخبريّة، والاستقصاء والبحث والأنشطة الأخرى تمنح الأفكار الجديدة وتنمّي المهارات العمليّة.

نشاط 3-5

محاكاة الموجات فوق الصوتية

سؤال الاستقصاء	هل يمكنك تحديد شكل الشيء باستخدام المسافة؟
الموادّ المطلوبة	«صندوق الموجات فوق الصوتية» الخاص، قضبان رفيعة، مسطرة، قلم رصاص، ورق ملّيمتري.

الخطوات

تقويم الدّرس

لكلّ درس تقويم خاصّ، يتضمّن أسئلة تغطّي المفاهيم والمعلومات الواردة فيه.

تقويم الدرس 2-6

1. ما البروتين الذي يكوّن معظم نسيج العظم؟
   a. الكثيف
   b. الكولاجين
   c. الإسفنجيّ
   d. هيدروكسي الأباتيت
2. ما تركيب العظم الأكثر كثافة؟

مراجعة الوحدة

يوفّر الملخّص في نهاية كلّ وحدة مراجعة سريعة للأفكار الرّئيسة والمفردات الواردة فيها.

الوحدة 5

مراجعة الوحدة

الدرس 5-1 الطيف الكهرومغناطيسيّ

- ينتقل الضوء في خطوط مستقيمة، ويمكن أن تتغيَّر شدته، وله خصائص الموجات كالتردُّد والطول الموجي.
- الضوء جزء من **الموجات الكهرومغناطيسية Electromagnetic wave**، وهو طاقة إشعاعية تستطيع الانتقال في الفضاء.
- **طول الموجة Wavelength** هو طول دورة واحدة من الموجة، والتردُّد هو عدد المرّات في الثانية

تقويم الوحدة

في نهاية كلّ وحدة مجموعة من أسئلة الاختيار من متعدّد، تحضّر الطّلاب للاختبارات المقنّنة.

تقويم الوحدة

اختيار من متعدِّد

1. أيٌّ من المصطلحات التالية توصيفٌ لنسبة التغيّر في طول جسم إلى طوله الأصليّ عند انضغاطه؟
   a. الانفعال
   b. الإجهاد
   c. التشوّه المرن.
   d. مُعامل المرونة.

تقويم الوحدة

توفّر الأسئلة ذات الإجابة القصيرة، والمسائل الرّياضيّة الكمّيّة، ثلاثة مستويات من التّحدي في نهاية كلّ وحدة.

تقويم الوحدة

الدرس 6-1: القوى في الموادّ

13. اذكر مثالًا على قوّة الانضغاط.
14. اذكر مثالًا على قوّة الشدّ.
15. انظر إلى يدك التي تحمل جهازًا. أيّ جزء من يدك يكون في حالة انضغاط؟
16. كيف تحسب الثابت المجهول لنابض؟ صِفِ المعدّات التي تحتاج إليها، والبيانات التي

www.jnob-jo.com

مخطّط المادّة

الوحدة 5

الموجات في الطب

كيف تعمل أجهزة ألآشعة السينية (X-ray) وأجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI)؟ تعلم عن الفيزياء الداعمة للتقنية العالية للتشخيص الطبي المصور.

الوحدة 6

متانة المواد

كيف نتأكد أن الجسور لن تنهار؟ تعلم عن كيفية وصف متانة المواد واختبارها.

جدول المحتويات

الوحدة 5

الموجات في الطب 2

الدّرس 5-1 الطيف الكهرومغناطيسي 4

الدّرس 5-2 الطبّ الإشعاعيّ 15

الدّرس 5-3 الموجات الميكانيكيّة 26

الوحدة 6

متانة المواد 38

الدّرس 6-1 القوى في الموادّ 40

الدّرس 6-2 عظام الإنسان 51

www.jnob-jo.com

الوحدة 5

الموجات في الطب

Waves in Medicine

في هذه الوحدة

- **الدرس 5-1:** الطيف الكهرومغناطيسي
- **الدرس 5-2:** الطبّ الإشعاعيّ
- **الدرس 5-3:** الموجات الميكانيكيّة

GP1101
GP1102

www.jnob-jo.com

الوحدة 5

مقدّمة الوحدة

إنها لرائعة حقًّا الطرق التي اكتشفت فيها الأشياء. قبل ألف سنة، ثبّت ابن الهيثم شاشة داخل آلة التصوير ذات الحجرة المظلمة، التي أصبحت فيما بعد آلة للفنانين على مدى 800 سنة. وفي العام 1839 اختُرع فيلم تصوير لاستخدامه في الكاميرا المعتمة. وكانت مثل تلك الأفلام موضوعة في مختبرات العلماء الذين اكتشفوا مصادفة عند استخدامها، أن أشعّة إكس يمكن أن تنفذ في اللحم والعظام. وبدأ المزيد من الأشخاص بالتساؤل عن وجود أنواع أخرى من الأشعّة. وتلا ذلك اختراع أنواع جديدة من التكنولوجيا، مثل التصوير المقطعي المُحَوْسَب CAT، لإعطاء صور أفضل لما يمكن أن يتوقعه الجرّاح قبل إجراء العمليات الجراحية. وتساءل بعض المبدعين، إن كانت هناك أشكال غير مرئية من الطاقة يمكن استخدامها في العمليات الجراحية من دون الحاجة إلى إحداث جروح في الجسم. يستخدم الأطباء حاليًّا تكنولوجيا الصوت، المألوفة جدًّا؛ لإجراء فحص داخلي للأشخاص، وتفتيت حصوات الكلى من الخارج من دون إحداث أيّ جرح في الجسم. كيف حدثت كل تلك الأمور؟ وكيف تعمل؟ هذا هو موضوع الوحدة.

الأنشطة والتجارب

a1-5 حساب التردُّد والطول الموجي والطاقة

b1-5 طاقة الكمّ

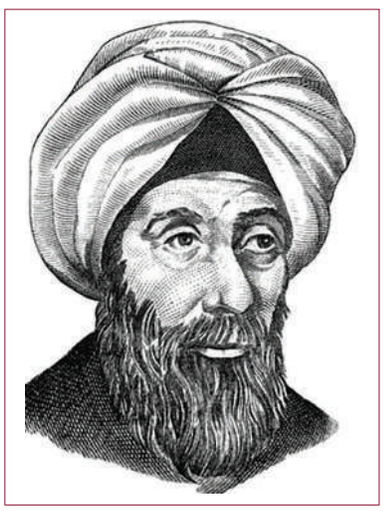
2-5 استخدام الطاقة الكهرومغناطيسيّة

3-5 محاكاة الموجات فوق الصوتية

www.jnob-jo.com

الدّرس 5-1
الطيف الكهرومغناطيسيّ
Electromagnetic Spectrum

سكّين جاما، هو الجهاز الأكثر تطوُّرًا المُستخدَم في الطب الإشعاعي. فهو يحدّد الورم الكامن في عمق الدماغ، ويتلفه، من دون الحاجة إلى جراحة، أو تلف أيّ من الأنسجة المحيطة بالورم. إذا تتبّعنا أصل هذا الجهاز فسوف نعود إلى الوراء 1000 سنة حيث كتابات العالم الإسلامي، ابن الهيثم، **(الشكل 5-1)** الذي كان عالمًا في الرياضيات والفلك والفيزياء التجريبية، عندما اعتقد معظم الناس أن الضوء ينطلق من العين، إلى خارجها للسماح لنا بأن نرى. وما نعرفه عن عالم الطاقة الكهرومغناطيسية المعقَّد، ولا سيما استخدامه في الطب، ترجع جذوره إلى أعمال ابن الهيثم.



الشكل 5-1 رسم تعبيري للعالم ابن الهيثم.

مخرجات التّعلُّم

GP1101.1 يعدّد الأجزاء المختلفة من الطيف الكهرومغناطيسي، ويوضح أنه كلما قلّ طول الموجة ازداد التردّد (وبالتالي ازدادت الطاقة).

GP1101.2 يصف قضايا الصحة والسلامة المرتبطة بتعريض الإنسان للموجات الكهرومغناطيسية المختلفة.

المفردات

Inductance	الحث
Electromagnetism	كهرومغناطيسية
Speed of light	سرعة الضوء
Light ray	شعاع الضوء
Crooke's tube	أنبوب كروك
Photoluminescence	اللمعان الضوئي
Phosphorescence	الإضاءة الفسفورية
Alpha particles	جُسيمات ألفا
Beta particles	جُسيمات بيتا
Gamma rays	أشعّة جاما
Wavelength	طول الموجة
Frequency	التردّد
Planck's constant	ثابت بلانك
Resonance	الرنين
Ionizing radiation	الإشعاع المؤيّن

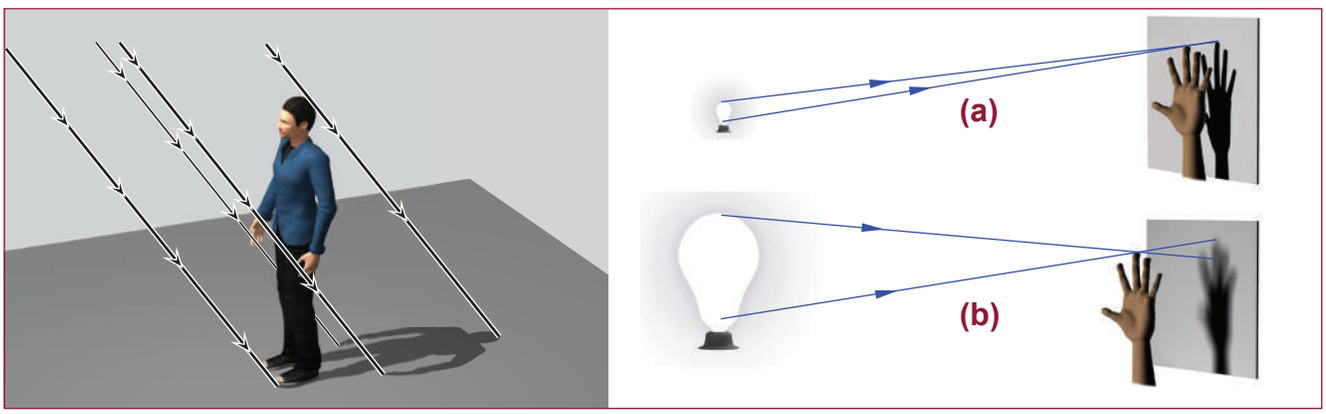
www.jnob-jo.com

خصائص الضوء

الضوء شكل من أشكال الطاقة. يعتمد تكوين الصور في كلٍّ من آلة التصوير، والأجهزة الطبيّة المتقدِّمة كأجهزة الأشعّة السينية، على الخصائص الأساسية الآتية للضوء:

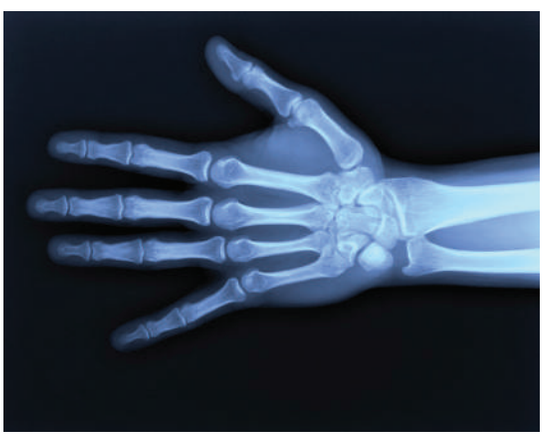
1. ينتقل الضوء في خطوط مستقيمة ما لم يكن هناك عائق في مسار انتقاله. وهذا يفسِّر تكوُّن الظلال.
2. يختلف الضوء في شدّته. وتُقاس شدة الضوء بمقدار الطاقة التي تسقط على كل متر مربَّع. فالمصباح الكهربائي الخافت له شدة ضوء أقل من المصباح الساطع.
3. يعتمد تردّد الضوء على طاقته. فالضوء العالي الطاقة (الأكثر زرقة) له تردّد أعلى، والضوء المنخفض الطاقة (الأكثر احمرارًا) له تردّد أقل.

ويُعدُّ تكوُّن الظلال دليلًا على أن الضوء ينتقل في مسارات مستقيمة. **شعاع الضوء Light ray** خط وهميّ يتبع مسار الضوء. والأشعّة في (**الشكل 5-a2**) و(**الشكل 5-b2**) توضِّح كيف تعتمد حدّة (وضوح) الظل على حجم مصدر الضوء، والمسافة بين مصادر الضوء والجسم والسطح الذي يتكوّن عليه الظل.



الشكل 5-2 تكون الظلال دليلًا على أن الضوء ينتقل بخطوط مستقيمة.

تُستخدم الخصائص الثلاث المذكورة أعلاه في تكوين صور طبيّة مصحوبة ببعض الظل. تحجب يدك الضوء المرئي تمامًا. وتكون الظلال التي تكوّنت بفعل المصباح الكهربائي، مظلمة تمامًا. سوف نعرف أن الأشعّة السينيّة تكوّن ظلاًّ، لكن يدك لا يمكنها حجب الأشعّة السينية تمامًا. يمتصّ الكالسيوم الأشعّة السينية في العظام بقوّة أكبر من الأنسجة اللينة. وهذا يعود إلى أن شدّة ظل العظام المُتكوّن بواسطة الأشعّة السينية أقوى من شدّة الظلال التي تكوّنها أجزاء الجسم اللينة، كالأوتار والعضلات (**الشكل 5-3**).



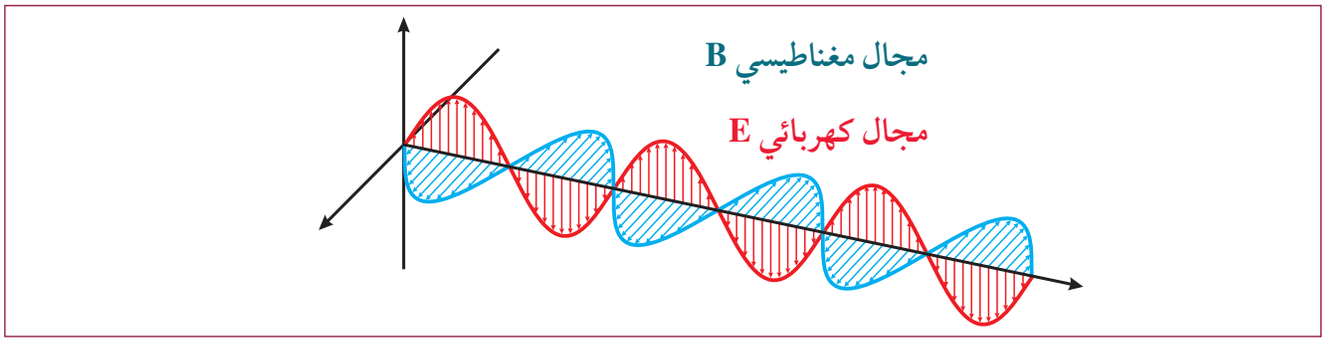
الشكل 5-3 الأجزاء التي امتصَّت الأشعّة السينيّة تبدو بيضاء بينما الأجزاء التي لم تمتص الأشعّة السينيّة تظهر مظلمة.

www.jnob-jo.com

الضوء شكل من أشكال الطاقة الكهرومغناطيسية

الضوء هو انتشار اهتزاز المجال الكهرومغناطيسي وهو يتكون من مجالين كهربائي ومغناطيسي متعامدين ينتقلان في الفراغ والأوساط المادية.

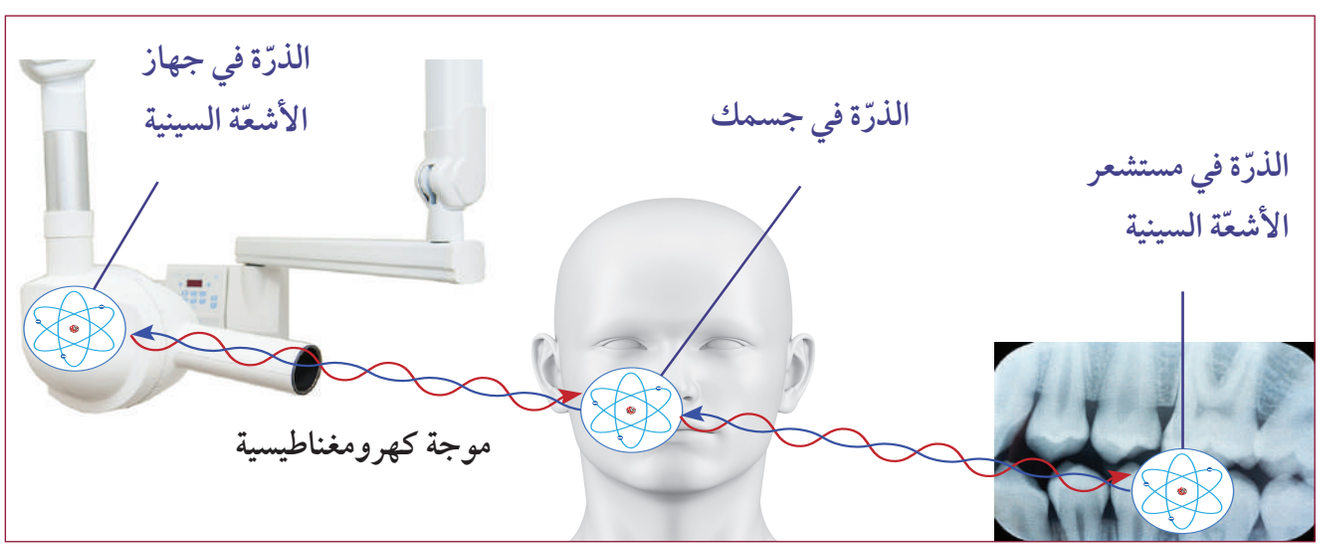
تنتقل موجة الضوء بسرعة $3.0 \square 10^8$ m/s، وهذا ما يعرف **بسرعة الضوء Speed of light**.



الشكل 5-4 موجة الضوء.

يتكوّن معظم الضوء من الإلكترونات المتذبذبة في الذرّات. تعمل هذه العملية بالاتجاهين. ينبعث الضوء من الذرّات. ويمكن للذرّات أيضًا أن تمتص الضوء وتتفاعل معه، بما فيها ذرّات الجسم البشري. تُحدِّد طاقة الضوء نوع التفاعل الذي قد يحدث.

1. تطلق الذرّات في جهاز الأشعّة السينية ضوءا ذا طاقة عالية يسمى بالأشعّة السينية. هذا الضوء غير مرئي للعين.
2. تعبر الأشعّة السينية أنسجة الجسم. فتمتص ذرّات الجسم بعضًا من ضوء هذه الأشعّة. تعتمد كمية الامتصاص على نوع الذرّة. فالكربون والهيدروجين يمتصّان كميات قليلة من الطاقة، ولكنّ الذرّات الأثقل مثل الكالسيوم تمتص الكثير.
3. تسقط طاقة الضوء على مستشعر الأشعّة السينية حيث تكون الذرّات التي امتصت الطاقة قد ألقت ظلالها؛ فنسجل تشكيل صورة بالأشعّة السينية (**الشكل 5.5**).



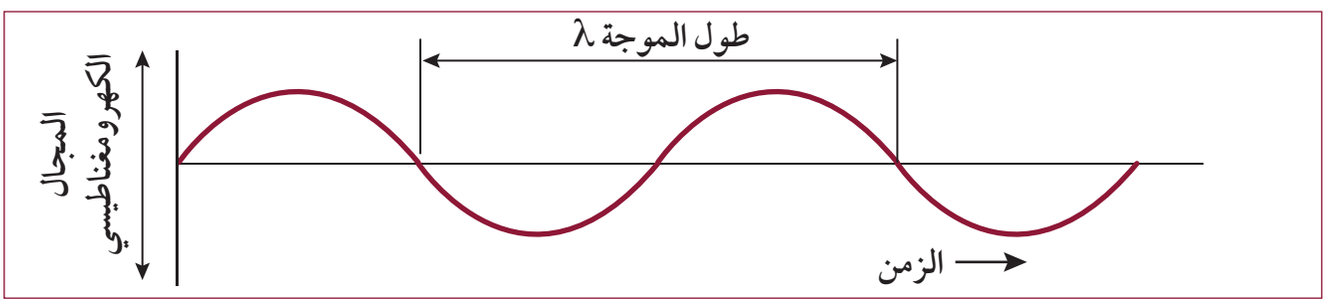
الشكل 5-5 تفاعل الموجة الكهرومغناطيسية مع الذرّات.

www.jnob-jo.com

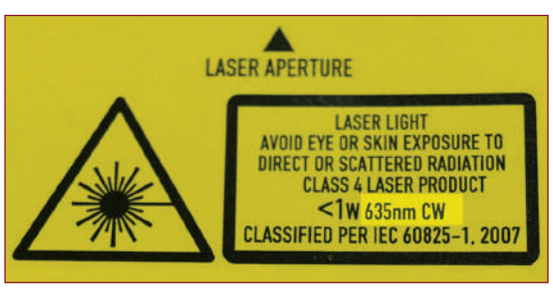
التردُّد وطول الموجة والسرعة

تُستخدَم كلمة الضوء في الفيزياء لوصف الموجات الكهرومغناطيسية جميعها. يشمل ذلك الضوءُ المرئي؛ ولكنه يشمل أيضًا موجات الراديو والميكروويف والأشعّة السينية وأشعّة جاما. فهي كلها تنتقل كموجات كهرومغناطيسية، لكن بطاقات مختلفة المدى، لاختلاف تردُّدها وطولها الموجي.

الطول الموجي Wavelength، λ، للموجة، هو المسافة بين بداية دورة واحدة كاملة من الموجة، ونهايتها. ويستخدم الحرف اليوناني «lambda λ» لتمثيل الطول الموجي. يوضِّح **(الشكل 5-6)** طول موجة كاملة واحدة.



الشكل 5-6 الموجة الكهرومغناطيسية لماكسويل.



الشكل 5-7 لون الليزر 635 nm.

تتوافق أطـوال موجات الضوء المختلفة مع الألوان المختلفة. يوضِّح **الشكل 5-7** أن الطول الموجي للضوء من مؤشِّر ليزر أحمر يساوي 635 nm، أو $635 \square 10^{-9}$ m، والأطوال الموجية للضوء المرئي قصيرة جدًّا!

يصف **تردّد Frequency** الموجة f عدد الموجات التي تمر في الثانية الواحدة. ويحتوي ضوء الليزر الأحمر على تردّد يبلغ $472 \square 10^{12}$ دورة في الثانية (472 THz). فواحد تيراهيرتز (THz) هو 10^{12} دورة في الثانية الواحدة. وهذه موجات ضوء سريعة جدًّا، تتذبذب بسرعة.

وإذا انتقلت الموجة بسرعة 8 دورات في الثانية ($f = 8$Hz)، وكان طول كل موجة يبلغ $\lambda = 2$m ، تكون سرعة الموجة عندئذٍ = 2m × 8 cycles/sec ، أو 16 m/s.

سرعة الموجة هي التردّد مضروبًا في الطول الموجي

سرعة الموجة

$$v = f\lambda$$

v	سرعة الموجة m/s
f	التردّد(S^{-1} أو Hz)
λ	الطول الموجي (m)

اثنتان من الموجات لهما سرعات مميّزة: سرعة الضوء وسرعة الصوت.

$v = 3 \times 10^8$ m/s سرعة الضوء في الهواء.

$v = 344$ m/s سرعة الصوت في الهواء.

www.jnob-jo.com

التردُّد والطاقة

تحمل التردّدات العالية للضوء طاقة أكبر من التردّدات المنخفضة. يمكنك أن ترى هذا في البيئة المحيطة بك. فكلما ازدادت سخونة جسم تغيّر لونه. وتُصنَّف ألوان بعض مصابيح LED الجديدة تبعًا للطاقة الحرارية، كما تمثّلها درجة الحرارة على مقياس كلفن (**الشكل 8-5**). تطلق الأجسام ذات الحرارة المرتفعة الضوء الأقرب إلى ألوان الأزرق – الأبيض. بينما تطلق الأجسام ذات الحرارة المنخفضة الضوء الأقرب إلى ألوان الأحمر – الأصفر.

الشكل 8-5 درجة حرارة ألوان المصابيح (K).

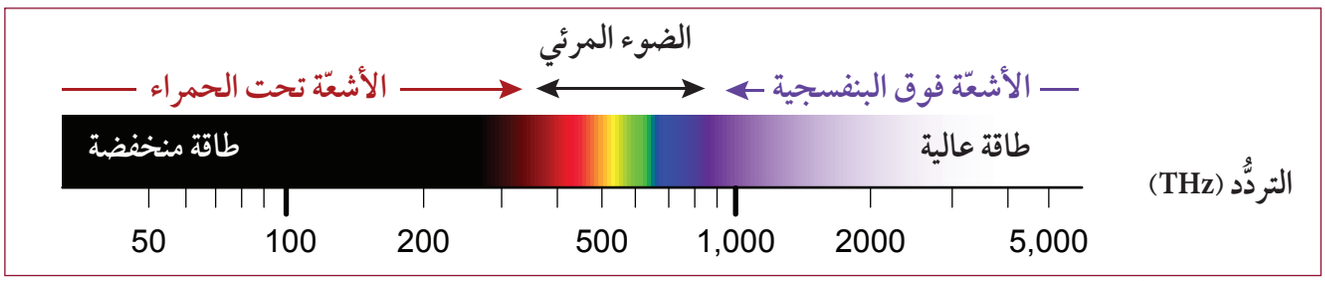
كلما ازداد تردّد الموجة الكهرومغناطيسية EM ازدادت طاقتها، وهذا يُمثَّل بالمعادلة الآتية:

طاقة الضوء

$$E = hf$$

E	الطاقة (J)
h	ثابت بلانك ($h = 6.626 \times 10^{-34}$ Js)
f	التردّد (s^{-1} أو Hz)

الثابت، **h**، هو **ثابت بلانك Planck's constant** وقيمته 6.63×10^{-34} Js.



الشكل 9-5 تردُّدات الضوء المرئي.

معلومٌ أن أعصابنا حسّاسة لبعض التردُّدات التي تكون أقلّ من الأحمر، أي الأشعّة **تحت الحمراء Infrared**، ونستشعر بذلك كحرارة. وتُعدُّ طاقة الأشعّة تحت الحمراء مسؤولة أيضًا عن الاحتباس الحراري.

تملك الأشعّة فوق البنفسجية تردُّدًا عاليًا، أعلى كثيرًا من طاقة الضوء المرئي، فهي قد تحرق الجلد، وتسبِّب السرطان؛ حتى أنها تؤدي إلى الموت. ونحن لا نشعر بامتصاص ضوء الأشعّة فوق البنفسجية، لذلك لا يمكننا الشعور بحروق الشمس، إلا بعد حدوث الضرر. وتتوافر مراهم واقية لأشعّة الشمس (**الشكل 10-5**) لحجب بعض الأشعّة فوق البنفسجية.

الشكل 10-5 تستطيع الأشعّة فوق البنفسجية أن تلحق ضررًا بالجلد.

www.jnob-jo.com

نشاط

a1-5 حساب التردُّد والطول الموجي والطاقة

مثال (1)

ما تردُّد ضوء طول موجته 635 nm؟

قد لا ترد سرعة الموجة الكهرومغناطيسية في مسائل الطاقة الكهرومغناطيسية. عليك أن تتذكّر أن سرعة الضوء أساسية وقيمتها 3.0×10^8 m/s. ويجب أن تُكتَب ضمن لائحة المعطيات.

إذا علمت أن $V = 3.0 \times 10^8$ m/s حيث $V = f \times \lambda$

$\lambda = 635 \times 10^{-9}$m تمثّل بالمعادلة الجبرية $f = V / \lambda$

$$f = \frac{3.0 \times 10^8 \ \frac{m}{s}}{635 \times 10^{-9} m}$$

$$f = 4.72 \times 10^{14} \ /s$$

$$f = 4.72 \times 10^{14} \ Hz$$

مثال (2)

ما سرعة موجة راديو طولها الموجي يساوي 2.2 m ، وتردّدها $10^8 \square$ 1.36 هرتز؟

إذا علمت أن $V = f \times \lambda$

$v = (1.36 \times 10^8)(2.2) = 2.99 \times 10^8$ m/s

$v \approx 3 \times 10^8$ m

ملاحظة: رغم أن سرعة الطاقة الكهرومغناطيسية في الفراغ والهواء تبلغ 3×10^8 m/s إلاّ أنها تختلف بحسب المادة التي تتنقل فيها كالزجاج و الماء.

مثال (3)

ما طاقة الأشعّة الضوئية التي يبلغ تردّدها $10^{14} \square$ 4.27 هرتز؟

إذا علمت أن $h = 6.63 \times 10^{-34}$ m/s حيث $E = h.f$

$f = 4.27 \times 10^{14}$Hz

$E = 6.63 \times 10^{-34}$ Js x 4.27×10^{14}Hz (/s)

$E = 2.83 \times 10^{-19}$ Js/s

$E = 2.83 \times 10^{-19}$ J

www.jnob-jo.com

نشاط

b1-5 طاقة الكمّ

سؤال الاستقصاء	هل يمكنك إجراء عرض عن $E = hf$ في الصف؟
الموادّ المطلوبة	ورقة تتوهّج في الظلام، مصابيح كهربائية LED أحمر، LEDأخضر، LED أزرق، LED فوق البنفسجي، غرفة مظلمة.

الخطوات

1. سوف تتفاعل ورقة التوهّج مع الضوء في الغرفة المظلمة. خذ ورقة توهّج واقلبها، وغطّها حتى لا تمتص ضوء الغرفة.
2. أطفئ مصادر الإضاءة في الغرفة.
3. اقلب ورقة التوهّج في الغرفة المظلمة، وتأكد من عدم توهّجها كثيرًا. إذا تطلّب الأمر، انتظر بضع دقائق حتى يستقرالتوهّج.
4. استخدم ضوء مصباح LED أحمر لمحاولة إضاءة الورقة، وسجِّل نتائج ملاحظاتك. قرّب المصباح ليلامس الورقة، كي تعرف إن كان ذلك يغيِّر نتائجك.
5. استخدم مصباح LED الأخضر، وكرّر الخطوة 4.
6. استخدم مصباح LED الأزرق، وكرّر الخطوة 4.
7. استخدم مصباح LED UV، وكرّر الخطوة 4.

الأسئلة

a. سوف تتوهّج الورقة لتفاعلها مع الطاقة. ماذا تستنتج من تأثير طاقة مصابيح LED ذات الألوان المختلفة في ورقة التوهّج؟

b. جرِّب موادّ مختلفة يمكن أن تحجب ضوء الأشعّة فوق البنفسجية. جرّب بعض الموادّ البلاستيكية الشفافة، إن وجدت.

c. هناك مواد أخرى سوف تتوهج تحت تأثير الأشعّة فوق البنفسجية. تفحّص أشياء من حولك في الصف لتعرف إن كنت تستطيع تحديد تلك المواد.

d. ما الخصائص المشتركة بين تلك المواد؟

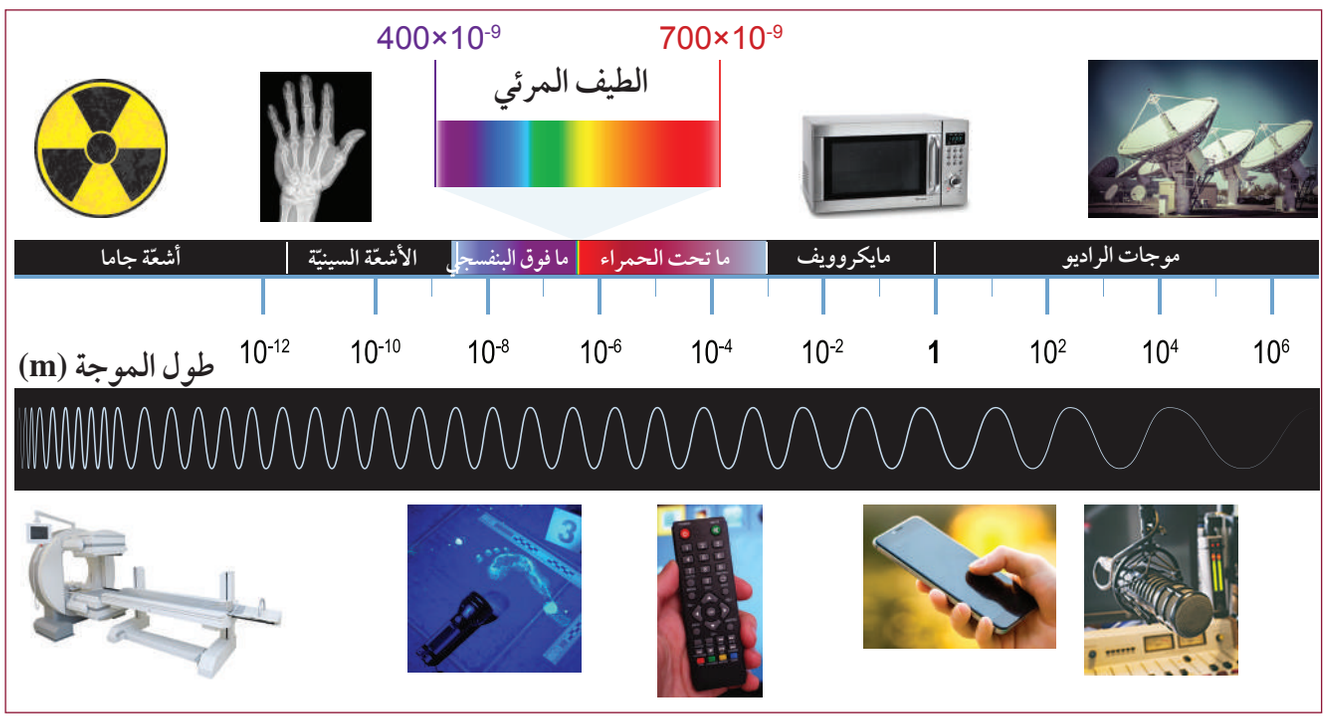
e. حاول أن توضّح سبب استمرار التوهّج في المادة المعتمة حتّى بعد إطفاء المصباح.

www.jnob-jo.com

الطيف الكهرومغناطيسي

يطلق على المدى الكلّي من الموجات الكهرومغناطيسية اسم الطيف الكهرومغناطيسي (**الشكل 5-11**). وتقع أشعّة جاما في الطرف العالي الطاقة من الطيف الكهرومغناطيسي بأعلى تردّد وأقصر طول موجة. ويقع الضوء المرئي في منتصف الطيف الكهرومغناطيسي.

يشمل الجانب المنخفض الطاقة من الطيف الكهرومغناطيسي موجات الراديو. تلك الموجات لها تردّدات تُراوح بين 1000 هرتز و10^9 هرتز. ورغم أن نيكولاي تسلا هو الذي قدّم الراديو عام 1893، فإن غوليلمو ماركوني هو الذي يُعزى إليه في الغالب اختراع الراديو؛ لأنه تقدَّم بطلب للحصول على براءة اختراع في إنجلترا عام 1896. ولم يسجِّل تسلا براءة اختراعه حتى العام 1897.



الشكل 5-11 يمتد الطيف الكهرو مغناطيسي من أمواج الراديو الطويلة إلى أشعّة جاما القصيرة الموجة.

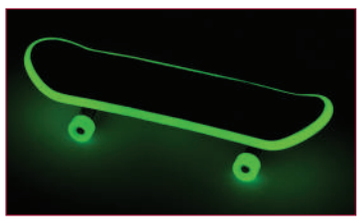
موجات الراديو لها أطوال موجية طويلة إلى حد بعيد، تمتدّ من متر إلى كيلومترات عدة. تمرّ تلك الموجات مباشرة عبر السحاب، وتسمح بالاتصالات البعيدة المدى التي غيّرت العالم بسرعة كبيرة أوائل القرن العشرين.

يشار إلى مناطق عدة من الطيف الكهرومغناطيسي بأطوالها الموجية. وتُعدُّ موجات الراديو القصيرة تقنية تستخدم موجات أقصر من موجات الراديو العادية. وبالمقابل، فإن موجات الميكروويف التي نستخدمها في طهو الطعام لها أقصر طول موجي يتراوح بين مليمتر وسنتيمتر. عُرِفَ الليزر في البداية باسم ميزر MASER، لأنه استخدم أمواج الميكروويف بدلاً من الضوء. كذلك الهواتف المحمولة (Cell Phones) تستخدم أمواج الميكروويف.

www.jnob-jo.com

الإضاءة الفسفورية واللمعان الضوئي والنشاط الإشعاعي

يعتمد الأثر الطبي للأشعّة السينية وأشعّة جاما على قدرة امتصاص الذرّات للطاقة التي تتكوّن خارج جسم الإنسان. تستطيع الذرّات أيضًا أن تنتج الضوء داخل الجسم! سنتعرّف أنّ هذه هي الطريقة التي يعمل بها التصوير المقطعي المُحَوْسَب الماسح CT scan. ومع ذلك، ربما سبق لك أن تعاملت مع تأثيرات مماثلة من موادّ التوهُّج في الظلام، والطلاءات الفلورسنتية.



الشكل 5-12 التوهّج في الظلام.

اللمعان الضوئي Photoluminescence ظاهرة موجودة في الطبيعة حيث توجد المعادن. وقد عُرف في التاريخ القديم أن تعرُّض الفوسفور للضوء، يجعله يستمر في التوهج مدَّة من الزمن (**الشكل 5-12**).

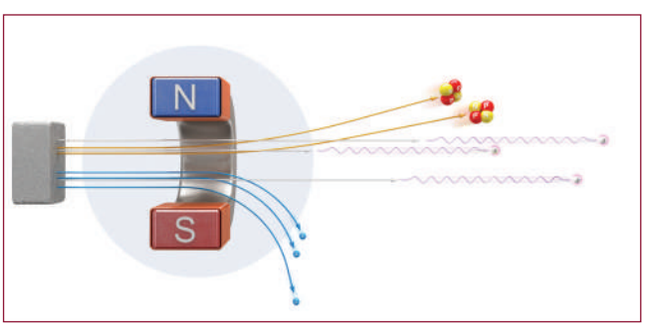
الشكل 5-13 أصباغ فلورية.

كان هنري بيكريل أحد العلماء الذين اهتموا بهذه الظاهرة. ذلك أن **الإضاءة الفسفورية Phosphorescence** تحدث عندما يطلق معدن ضوءًا بتردُّد معيَّن، بعد تعرُّضه لضوء بتردُّد، وإن كان مختلفًا. (**الشكل 5-13**).

عندما انتشر اكتشاف رونتجن Rontgen للأشعّة السينية، بدأ بيكريل Becquerel باستخدام أنبوب كروك الخاص به في توهّج عيّنات من أملاح اليورانيوم بالأشعّة الجديدة. وقام بيكريل بإعداد تجربة لفيلم محكم الإغلاق. لكن، بسبب سوء الأحوال الجوية، لم تتح له فرصة تعريض الفيلم لأشعّة الشمس. وحين قام بتحميض الفيلم، فوجئ بأنه قد تعرّض لأشعّة، على الرغم من حفظه في الظلام. وبحلول العام 1896، استنتج بيكريل أن اليورانيوم ينبعث منه نوع من الطاقة العالية غير المرئية بمقدوره أن يتلف الفيلم. واكتشف بيكريل التأثير الذي أسمته العالمة الفرنسية، ماري كوري، النشاط الإشعاعي. **والنشاط الإشعاعي Radioactivity** انبعاثات تلقائية للطاقة من نوى الذرّات، بما في ذلك الموجات الكهرومغناطيسية التي تُسمّى أشعّة جاما.

النشاط الإشعاعي انبعاثات تلقائية للطاقة من تفاعلات نووية.

بحث بيكريل في «الإشعاعات» الجديدة عن طريق وضع مغناطيس كهربائي قوي عموديًّا على مسارها، كان قادرًا على جعل الأشعّة تنحني (**الشكل 5-14**). وأثبت أنها ليست الأشعّة السينية. لكن تبيَّن أن «أشعّة اليورانيوم» الجديدة هي إلكترونات سريعة.



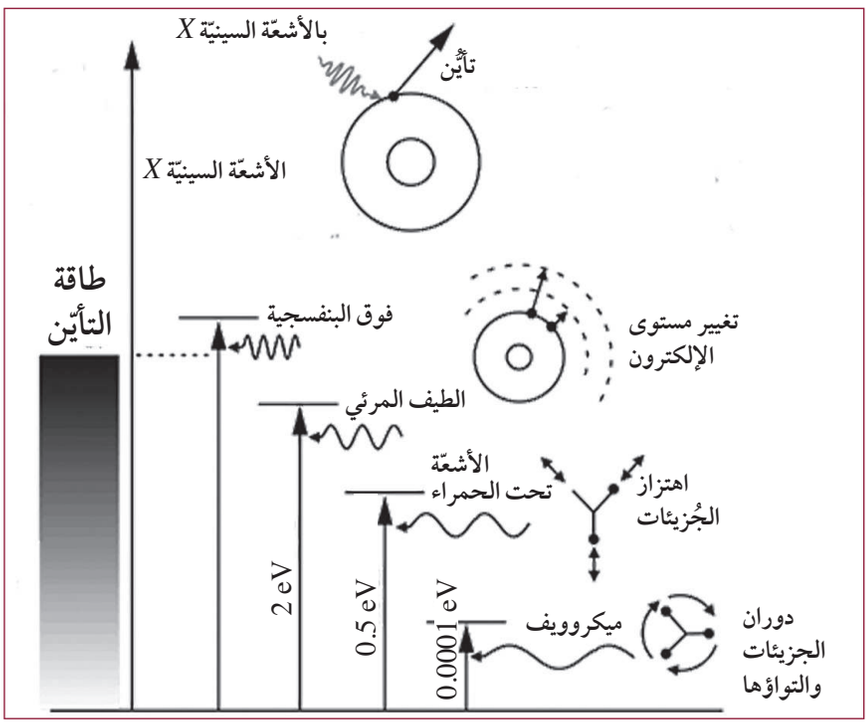
الشكل 5-14 انحناء أشعّة اليورانيوم أثبت أنها ليست الأشعّة السينية.

www.jnob-jo.com

السلامة وطاقة الطيف الكهرومغناطيسي

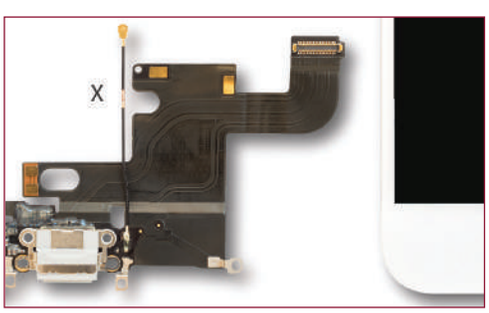
يخاف الناس كثيرًا من الأشياء التي لا يستطيعون رؤيتها. وكثير من الناس ترهبهم كلمة «الإشعاع». ومن الناحية الفنية، يعني الإشعاع أي شكل من أشكال الطاقة التي تنتقل في الفضاء. والجزء غير الضارّ من ضوء الشمس هو شكل من أشكال الإشعاع، وكذلك الموجات الصوتية. وهناك أنواع معيَّنة فقط من الإشعاعات، تكون إشعاعات ضارّة. ترجع خطورة ذلك إلى مجالين رئيسين، هما: الطاقة و«الرنين» Resonance.

يوضّح **الشكل 5-15** تأثير الإشعاع المؤين في الذرّات. فالإشعاع المؤيّن خطير؛ لأن الطاقة قد تُحدث تغييرًا في الجُزيئات، بما في ذلك الشفرة الوراثية للحمض النووي داخل كل خلية. ومع ذلك، تشكِّل أمواج الميكروويف أيضًا خطرًا على الإنسان إذا تعرّض لها مباشرة. لكنّها تكون آمنة عند استخدامها في طهو الطعام وتسخينه رغم أن طاقتها أقل من طاقة الضوء المرئي.



الشكل 5-15 تأثير تأيّن الإشعاعات في الذرّات.

يشير **الرنين Resonance** إلى قدرة جسم ما على امتصاص الطاقة من ذبذبات تردُّد معين. وقد صُمّم الهوائيّ الخاص في الهاتف الخلوي خصّيصًا لامتصاص طاقة موجات الميكروويف القصيرة في حالة الرنين مع الموجات التي تصدرها أبراج الهواتف المحمولة (**الشكل 5-16**).



الشكل 5-16 هوائي الهاتف المحمول «X».

موجات الميكروويف ذات التردُّد (2.45×10^9) 2.45 GHz هي في حالة الرنين بالتوافق مع تردّد الاهتزاز الطبيعي لجُزيئات الماء. يعمل كل جُزيء مائي عمل هوائي لموجات الميكروويف. وتؤدّي الطاقة الممتصّة إلى دوران كل جُزيء استجابة للقوة الكهرومغناطيسية. ويُنتِج هذا الدوران حرارة بفاعلية كبيرة. وتسخن المياه عندما تتعرَّض لموجات الميكروويف ذات التردُّد الصحيح. وإذا كان الماء موجودًا في أنسجة حيّة، فإن الأنسجة الحيّة تسخن أيضًا، ويمكن أن تُطهى بسهولة. تمتلك موجات الميكروويف طاقة ضعيفة، لكن الرنين مع جُزيئات الماء يحوّل الطاقة إلى درجة حرارة مرتفعة جدًّا، وهذا يجعل المستويات العالية من موجات الميكروويف خطيرة. تستخدم الهواتف المحمولة مستويات منخفضة، إلى حدّ بعيد، من موجات الميكروويف التي تُعدُّ آمنة إلى حدّ ما.

www.jnob-jo.com

تقويم الدرس 5-1

1. أيّ مما يأتي ليس من خصائص الضوء؟

a. يسير الضوء في خطوط مستقيمة.

b. يسير الضوء بسرعته العالية 3×10^{10} m/s.

c. للضوء طاقات مختلفة باختلاف ألوانه.

d. موجات الضوء إلكترونات متحرِّكة تتذبذب أثناء حركتها.

2. استخدم المعادلة: السرعة = التردد × الطول الموجي، لحساب تردّد أشعّة الضوء بطول موجي يبلغ 720 nm (720×10^{-9}m).

3. باستخدام المعادلة: الطاقة = ثابت بلانك × التردد، احسب طاقة موجة تردّدها $4.72 \square 10^{14}$ Hz.

4. أي من أنواع الضوء الآتية هي الأعلى طاقة؟

a. الأشعّة السينية.

b. الأشعّة ما تحت الحمراء.

c. الأشعّة فوق البنفسجية.

d. موجات الميكروويف.

5. لماذا نعتبر بعض أشكال الطاقة الكهرومغناطيسية غير آمنة؟

a. لأن طاقتها أكبر من طاقة موجات الميكروويف.

b. لأن معظمها يُنتَج بأبراج إرسال الراديو.

c. لأنها تملك طاقة كافية لفصل الإلكترون عن ذرّته.

d. لأنها تسير بسرعة الضوء؛ وبالتالي لديها طاقة عالية.

6. صف تشابه الأشعّة السينية مع الظل.

7. مبتدئًا بالتردد الأقصر، عدد أجزاء الطيف الكهرومغناطيسي بالترتيب .

www.jnob-jo.com

الدّرس 5-2
الطّب الإشعاعيّ
Radiology

اعتقد الناس، منذ آلاف السنين، بوجود أجسام تحتوي على قوّة غير مرئيّة، يمكن أن تشفي الأمراض جميعها. ولا يزال كثيرون يعتقدون أنّ البلوّرات والمغانط تحتوي على طاقة شفائيّة. وعندما اكتُشِفَ النشاط الإشعاعيّ، اعتقد الناس بوجود قوى شفائيّة فيه، وشربوا ماء بجرعات من الرّاديوم. كانت الأشعَّة السينيَّة شكلًا من أشكال التسلية، إذ سمح الناس بتمرير مختلف أنواع التيّارات الكهربائيّة عبر أجسامهم. وكان المرضى يلجأون إلى أي شخص معالِج. لذا كان هناك على الدوام مشعوذِون مستعدّون لسلبهم أموالهم.

لحسن الحظ، هناك فرع من العلوم يُدرِّس طلّابه استخدامات الطاقة الكهرومغناطيسيّة في مكافحة بعض أكثر الأمراض القاتلة انتشارًا، من خلال اتباع طرائق موثوقة، واختبارات مزدوجة التعمية. يدرس أولئك الطلاب الطبّ الإشعاعيّ. سنستكشف في هذا الدرس بعض تقنيات ذلك الطبّ الرائعة المُستخدَمَة في يومنا هذا.

المفردات

التنظير التألُّقيّ (التصوير الفلوروسكوبيّ) Fluoroscopy	
التصوير المقطعيّ المُحوسَب Computed tomography	
التصوير بالرنين المغناطيسيّ Magnetic resonance imaging	
العلاج الإشعاعيّ المطابق الثلاثيّ الأبعاد 3D-CRT	
سكّين جاما	Gamma knife
العلاج بالأشعَّة	Radiotherapy
العلاج باليود المشعّ Radioactive iodine therapy	
العلاج الإشعاعيّ الموضعيّ Brachytherapy	
كاميرا الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة Infrared thermographic camera	
ليزك	LASIK

مخرجات التّعلُّم

GP1101.3 يصف عددًا من استخدامات الموجات الكهرومغناطيسيّة للتشخيص الطبّي، بما في ذلك التصوير بالأشعَّة السينيَّة، ومصادرها داخل الجسم، ويناقش فوائد استخدام هذه التقنيات للتشخيص وأخطارها.

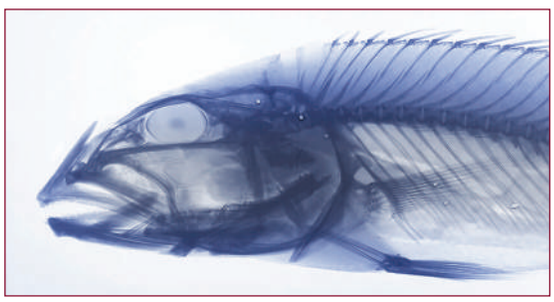
GP1101.4 يصف عددًا من استخدامات الموجات الكهرومغناطيسيّة للعلاج الطبّي، بما في ذلك جراحة العين بالليزر، وعلاج حَبِّ الشباب الشديد بالأشعَّة فوق البنفسجيّة، وعلاج السرطان بالأشعَّة السينيَّة، ويناقش فوائد استخدام هذه العلاجات وأخطارها.

www.jnob-jo.com

الأشعَّة السينيَّة والتصوير المقطعيّ المُحوسَب

التصوير الطبّي مهمّ جدًّا في الطّب الحديث. والقدرة على رؤية داخل الجسم من دون جراحة، تمثّل أساس ذلك الطبّ. فكلّما كانت المعلومات التي يمتلكها الأطباء أفضل، كان التشخيص أكثر دقّة، وكانت فرصة الشفاء أكبر. وتمثّل الأشعَّة السينيَّة التصوير الطبّي الأوّل والأكثر انتشارًا.

يجري التصوير بالأشعَّة السينيَّة اليوم بالطريقة نفسها التي التقط فيها رونتجن أوّل صورة سنة 1895؛ إذ يُوضَع مصدر الأشعَّة السينيَّة على إحدى جهتي الجسم، في حين يُوضَع فيلم تسجيليّ، أو تقنية تصوير على الجهة الأخرى، حيث تُلْتَقَطُ صورة الجسم بينهما (**الشكل 5-17**).



الشكل 5-17 صورة أشعَّة سينيّة لسمكة.

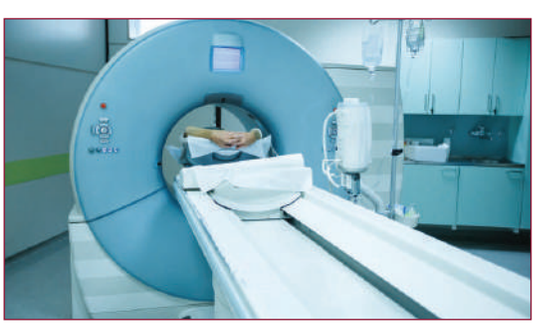
تمتصّ الموادّ المختلفة الطاقة بمستويات مختلفة. وبناء على ذلك، تظهر الصورة الناتجة للعظام، والعضلات، والأعضاء وأشياء أخرى. الأشعَّة السينيَّة هي إشعاعات مؤيّنة. لذلك، يمكن أن تتلف الأنسجة التي تمرّ من خلالها. لكن ما يقلّل الخطر على المريض هو المستويات المنخفضة من الأشعَّة السينيَّة، والاستخدام المحدود لها.

أحيانًا، يشرب المريض، الذي يعاني مشكلات في الجهاز الهضميّ، محلول الباريوم. يكسو الباريوم بطانة الجهاز الهضميّ، فيمنع نفاذ الأشعَّة السّينيَّة، ما يسمح بالحصول على صورة واضحة للجهاز الهضميّ، ويسهّل على الطبيب تشخيص المشكلات. يمكن استخدام حاصرات أخرى للأشعَّة السّينيَّة، تشبه الباريوم، لفحص أجزاء مختلفة من الجسم، مثل مجرى الدم.

التنظير التألُّقيّ (التصوير الفلوروسكوبيّ) **Fluoroscopy** هو صور أشعَّة سينيّة مباشرة، وفيه تُعرَض صورة فوريّة للجسم. يمكن استخدام تقنيّة التصوير تلك لمشاهدة كيفية مرور الباريوم المُتناوَل، أو صبغة حقنة الأشعَّة السينيَّة، عبر الجسم. ويمكن استخدامه عند إدخال دعامات في الوعاء الدمويّ لتوسيعه. تشكّل تلك التقنيّة خطورة جرّاء تسبّبها بتلف الأنسجة، إذا استمرّ التعرّض للإشعاع المؤيّن.

التصوير المقطعيّ المُحوسَب Computed tomography

CT، تصوير حاسوبيّ بالأشعَّة السينيَّة، تدور فيه حزمة رفيعة جدًّا من الأشعَّة السينيَّة حول الجسم. ويعمل الحاسوب على عرض الصوَر بشكل شرائح. وفي أثناء عمليَّة التصوير، يتحرّك الجسم ببطء في الجهاز (**الشكل 5-18**). وتظهر النتيجة النهائيّة على شكل نموذج ثلاثيّ الأبعاد للجسم.

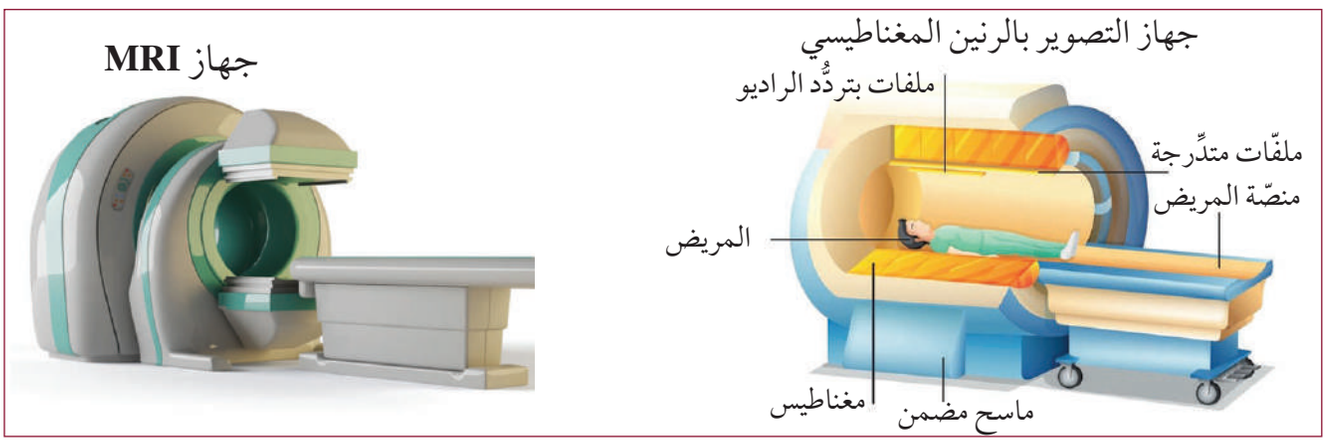


الشكل 5-18 التصوير المقطعيّ المُحوسَب.

www.jnob-jo.com

التصوير بالرنين المنغاطيسي

جهاز التصوير بالرنين المغناطيسيّ Magnetic resonance imaging MRI (**الشكل 5-19**) هو الجهاز الأكثر أمانًا، لأنّه لا يستخدم الإشعاع المؤيّن، ويمثِّل استخدامًا ذكيًّا لمغانط قويّة جدًّا.



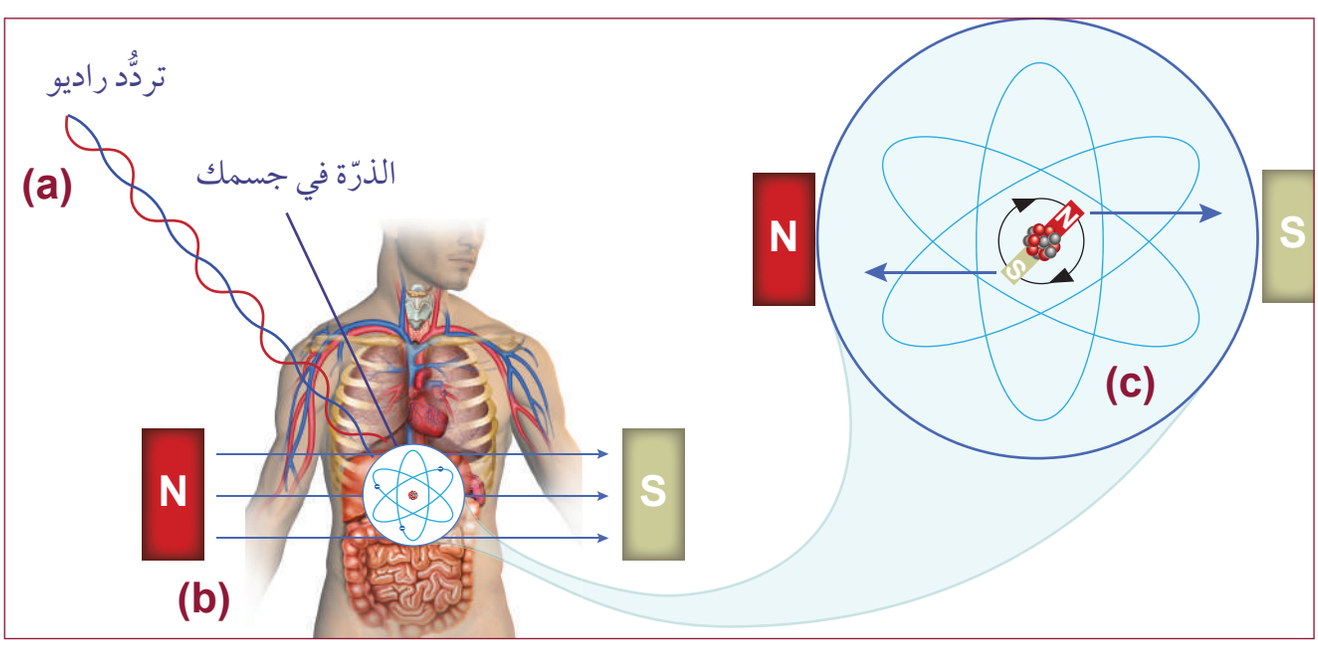
الشكل 5-19 جهاز التصوير بالرنين المغناطيسيّ والترسيم.

جهاز MRI أداة معقَّدة جدًّا تستخدم الخصائص الفريدة للذرّات الفردية داخل الجسم.

a. تُرسَل موجة راديو إلى داخل الجسم لتحدث رنينًا مع ذرّات معيّنة كالهيدروجين أو الأكسجين.

b. يوضع الجسم في مجال مغناطيسي قوي. هذا المجال المغناطيسي مهم لتفاعله مع المغانط الدقيقة المتشكِّلة من نواة كل ذرّة في الجسم. فتتولّد قوة مغناطيسية تؤثر في كل ذرّة من ذرّات الجسم.

c. لدى تعرُّضها لموجة الراديو تتأرجح النواة ذهابًا وإيابًا للاصطفاف متوازية أو معاكسة للمجال المغناطيسي الخارجي. وتتأرجح ذرّات العناصر المختلفة ذهابًا وإيابًا بتردُّدات مختلفة. يستجيب جهاز MRI للتردُّدات المختلفة محدِّدًا خريطة للأنواع المختلفة من الذرّات لتشكيل صورة.



الشكل 5-20 كيف يعمل جهاز MRI؟

www.jnob-jo.com

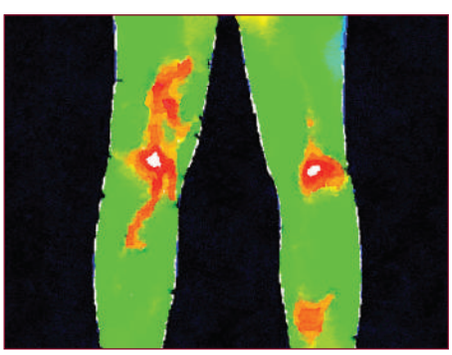
التصوير الحراريّ

الشكل 5-21 كاميرا الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة IRT.

ترتفع درجة حرارة محرّك السيّارة، وتكون بعض الأجزاء ذات درجة حرارة أكثر ارتفاعًا. وإذا كان هناك شيء غير طبيعيّ، فقد تكون درجة الحرارة أعلى من المُعتاد. ولكي تُكْتَشَفَ المشكلات قبل أن تزداد سوءًا، يستخدم الميكانيكيون كاميرا **الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة IRT, Infrared thermographic camera** (**الشكل 5-21**) لمعرفة أيّ خلل في توزيع حرارة المحرّك.

قد يصبح جسمك أيضًا أكثر سخونة. ذلك أن الأوعية الدمويّة الصغيرة تحمل الدم طوال الوقت عبر جسمك. ويمكن بسهولة قياس درجة حرارة تلك الأوعية الدموية عن طريق الجلد. يقوم جهاز الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة بتخطيط موجات الأشعَّة تحت الحمراء، ويحوّلها إلى قيم كهربائيّة، يمكن تمثيلها بألوان مختلفة على الشاشة.

يتأثّر إمداد الأوعية الدمويّة الصغيرة بالدم، بعدد من المتغيّرات، منها الالتهابات، والعدوى، والرضوض، وعدم التوازن الهرمونيّ، وبعض الالتهابات الجلديّة لمرض تنجرو. وجدير بالذكر أن مرض تنجرو عدوى تسبّبها براغيث صغيرة جدًّا، تعضّ الجلد وتحفر فيه عميقًا لتتغذّى على الأوعية الدمويّة. وباستخدام الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة، يمكن كشف تلك العدوى قبل ظهور الأعراض الأخرى. تُستخدَم الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة في المطارات لكشف الحمّى عند الخوف من انتشار مرض ما.



الشكل 5-22 صورة أشعَّة تحت الحمراء لالتهاب المفاصل.

تعدّ كاميرا الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة تقنيّة غير جراحية تستخدم إشعاعًا غير مؤيّن. ويمكن عبر استخدامها بانتظام، وحتّى في المنزل، مراقبة وضع الإصابة أو الالتهاب في المفاصل. وكما هي الحال مع ميكانيكيّ السيّارات، يمكن أن يؤدّي كشف البقع الساخنة (**الشكل 5-22**) في وقت مبكر، إلى اتّخاذ التدابير العلاجيّة قبل أن يتحوّل الالتهاب إلى مشكلة جديّة.

بمقدور المدرّبين الرياضيّين استخدام الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة لمراقبة أداء العضلات والمفاصل في أثناء التمرين الرياضيّ مباشرة. من الناحية النظريّة، يسمح لهم ذلك بدفع الرياضيّ إلى أقصى حدود طاقته من دون التسبّب بإصابته.

وعلى أرض الملعب، تمثّل كاميرا الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة واحدة من تقنيّات التشخيص المُبكر التي تُستخدَم لتقدير شدّة الإصابة في أثناء المباراة؛ حيث يمكن بها التفريق بين كدمة عضليّة أو شيء آخر أكثر خطورة. لذا أصبحت هذه التقنيّة واحدة من قياسات حيويّة كثيرة في مجال الطبّ الرياضيّ.

www.jnob-jo.com

المخاطر والفوائد

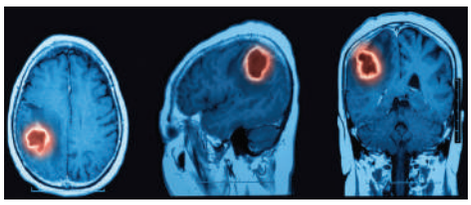
تنطوي خيارات كثيرة في الحياة على مخاطر وفوائد في الوقت نفسه. فمن مخاطر قيادة السيارة، مثلًا، احتمال وقوع حادث. ومن فوائدها أنها توصلك إلى المكان الذي تقصده بسرعة. وتنطوي الإجراءات الطبية أيضًا على مخاطر وفوائد. يندرج تحت مخاطرها أن الإجراء نفسه قد يكون مؤذيًا لك. أما فوائدها فإن الإجراء يساعدك لتصبح أفضل. وحين تتخذ قرارات حكيمة حول الفحوص الطبية والعلاجات، فإن ذلك يعني فهمنا لمخاطر تلك الأعمال وفوائدها. وفيما يأتي مقدمة مختصرة:

يُعدُّ السرطان الخطر الأكثر ارتباطًا بالإشعاعات. أسباب السرطان معقدة ولكنها تتضمّن تلف المادة الوراثية التي يلحقها الشعاع المتأين كالأشعّة السينية. فكلما زادت كمّية الأشعّة التي تتعرّض لها، ازدادت المخاطر. غير أن التعرُّض للإشعاع من مصدر واحد يكون ذا خطورة منخفضة. أما الماسح الضوئي المحوسب فمخاطره أكبر، لاحتوائه على العديد من مراكز الأشعّة السينية في جهاز واحد.

	المخاطر	الفوائد
الأشعة السينيّة والتصوير المقطعي المحوسب	يتعرّض الفرد في المتوسّط إلى 3 mS (millisevert) في السنة من الإشعاعات الخلفية من البيئة المحيطة. تزوِّدنا الأشعّة السينية بـ 0.1 mS و CT scan بـ 10 mS أو 3 سنوات من التعرُّض لإشعاعات البيئة الخلفية.	قبل الأشعّة السينية، كان على الأطباء إجراء جراحة لتشخيص الإصابات. تسمح الأشعّة السينية للأطباء أن يروا العظم المكسور أو الأنسجة الممزقة؛ وأن يكونوا أكثر فاعلية لشفاء المريض. أضف إلى ذلك أن العديد من الإصابات التي كانت مميتة في الماضي، أصبحت معالجتها روتينية.
التصوير بالرنين المغناطيسي	تستخدم فيه الإشعاعات غير المؤيَّنة، ولا يسبِّب تشوّهات جينية كامنة. ولكن قوة الحقل المغناطيسي المستخدم تمنع الأشخاص ذوي الأعضاء المعدنية في أجسادهم من استعمال هذه التقنية.	التصوير بالرنين المغناطيسي أفضل لرؤية الأنسجة اللينة مقارنة بالأشعّة السينية. وتكون الإصابات الرياضية، كتمزُّق الأربطة أو العضلات غير المرئية بالأشعّة السينية، أكثر وضوحًا من خلال التصوير بالرنين المغناطيسي.
الموجات فوق الصوتية	لا تسبِّب الموجات الصوتية تلف الأنسجة، إلا إذا كانت شدَّتها كبيرة جدًّا.	تستشعر الموجات فوق الصوتية الفروق في الكثافة، كالماء في أنسجة الرئة، أو الجنين في الرحم.
التصوير الحراري	لا ينطوي التقاط الصور بالأشعّة ما تحت الحمراء على أي مخاطر تستهدف الصحة؛ ذلك أن الأشعّة ما تحت الحمراء تنبعث من الجسم بطبيعته.	يكون الاستخدام الأفضل للأشعّة ما تحت الحمراء في رؤية الإصابات القريبة من السطح، ولكنها تكون عديمة الفائدة في رؤية الإصابات العميقة.

www.jnob-jo.com

استهداف الورم



الشكل 5-23 استهداف لحجم الورم بعناية وشكله وموقعه.

يمكن لاستهداف الورم تحديدًا بالعلاج الإشعاعيّ أنْ يحدّ من تضرُّر الخلايا السليمة. وتمثّل المعرفة الدقيقة لمكان الورم مفتاح الاستهداف الدقيق. وكلّما كانت الصورة أفضل، كان الاستهداف أفضل (**الشكل 5-23**). يتأثر الاستهداف بحجم الورم، وشكله، وكثافته، بالتّرافق مع الأنسجة القريبة.

عند مرور حزمة من الأشعَّة السينيَّة أو أشعَّة جاما عبر الجسم، قد تتلف الأنسجة السّليمة. كما أنَّ حزمة الأشعّة المركّزة القوية بما يكفي لتدمير الورم، سوف تسبِّب أضرارًا جسيمة للشخص، وهذه هي المشكلة الدائمة التي تنجم عن الإشعاع.

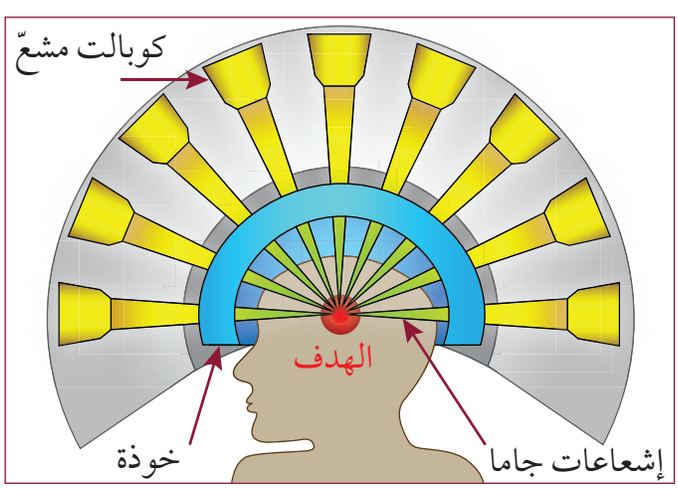
أحد الحلول هو العلاجُ الإشعاعيّ المُطابق الثلاثيّ الأبعاد (3D-CRT). ذلك أن استخدام صورة دقيقة من التصوير المقطعيّ المُحوسَب، أو التصوير بالرنين المغناطيسيّ، يمكّن حزمة الإشعاع من التوجّه بدقّة نحو الورم. وهذا يسمح باستخدام شعاع أقوى، ويقلّل إلى أدنى حدّ من وصول أيّ إشعاع إلى الأنسجة المحيطة. ويجري إنشاء حجاب مُتحكَّم فيه حاسوبيًّا لاعتراض أجزاء من الحزمة.

يمكن أن يستهدف سكّين جاما الورم من دون جراحة.

تتمثّل تقنيّة أخرى في استخدام حُزَم إشعاع منخفضة الطاقة، تستهدف الورم من زوايا عدّة مختلفة. وبناء على ذلك، تتعرّض الأنسجة السَليمة لجرعات منخفضة من الإشعاع، في حين يتعرّض الورم المُسْتَهْدَفُ للإشعاعات جميعها، فتكون الجرعة أكبر تأثيرًا.

سكّين جاما Gamma knife (الشكل 5-24)

أداة جراحيّة تستخدم العديد من جرعات أشعَّة جاما المنخفضة الجرعة المحيطة بالمنطقة المُستهدَفة. يسمح الحرص في التصوير ورسم الخرائط للأطبّاء بوضع المريض والمعدّات بدقّة. وتسمح تلك العملية غير الجراحية بإزالة الأورام التي يتعذّر الوصول إليها، وتمنح المرضى أملًا جديدًا.



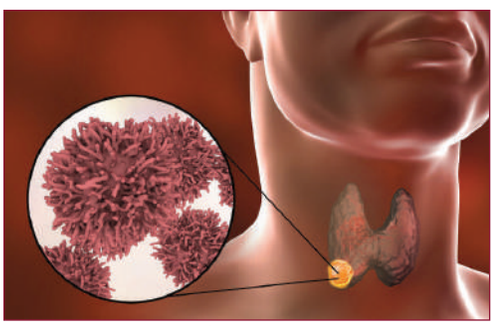
الشكل 5-24 ترسيم سكّين جاما.

www.jnob-jo.com

الطبّ النوويّ

توصّل العلماء، على مرّ السنين، إلى طرائق عدّة لجعل **العلاج الإشعاعيّ Radiotherapy** أكثر جودة ودقّة. لكن من حيث المبدأ، لا يزال العلاج هو نفسه: جرعة عالية من الإشعاع تستهدف الورم. وعلى الرغم من أنّ هناك أنواعًا كثيرة من العلاج الإشعاعيّ، إلا أنّه يُعطَى على نطاق واسع بطريقتين: من خارج الجسم (العلاج الإشعاعيّ الخارجيّ)، أو من داخله (العلاج الإشعاعيّ الداخليّ). وتحدّد متغيّرات عدّة النوع المُستخدَم منهما، بينها نوع الورم، ومكان وجوده في الجسم.

العلاج باليود المشعّ Therapy iodine radioactive، هو علاج إشعاعيّ داخليّ، فاعل جدًّا لمرضى سرطان الغدَّة الدرقيّة (**الشكل 5-25**). يُعْطَى اليود المشعّ على شكل شراب أو أقراص، وينتقل سريعًا عبر الجسم إلى الغدَّة الدرقيّة. إنّه يقتل الخلايا السرطانيّة، لكنّه غير مضرّ بالخلايا السليمة. لذلك فإنه يترك آثارًا جانبيّة قليلة.

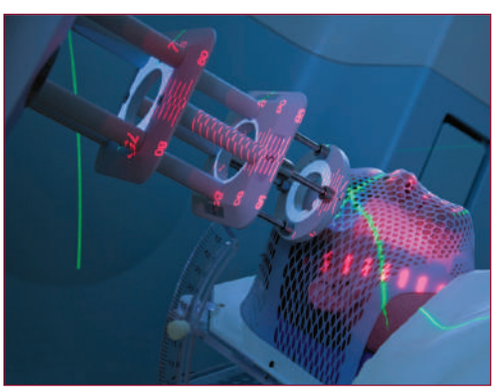


الشكل 5-25 سرطان الغدَّة الدرقيّة.

يُسمّى هذا العلاجُ العلاج الإشعاعيّ السائل، وهو أحد نوعين رئيسين من العلاج الإشعاعيّ الداخليّ. أمّا النَّوع الآخر، فيُسمّى **العلاج الإشعاعيّ الموضعيّ Brachytherapy**، الذي يتضمّن وضع غرسة مشعّة بجوار الورم، مثل كريّات معدنيّة صغيرة أو أسلاك، تطلق أشعَّة جاما وأشعَّة سينيّة، وتوضع تجاه الورم، ويمكنها أن تدمّر خلاياه بفاعلية. ويمكن تشكيل الغرسة وتغطيتها لمنع أيّ إشعاع شارد من التأثير في الأنسجة المحيطة. ويمكن إزالة الجهاز جراحيًّا بعد انتهاء دورة العلاج.

وعلى الرغم من أنّ العلاج الإشعاعيّ الداخليّ يعمل على نحو جيّد مع بعض أنواع السرطان، إلّا أنّ العلاج الإشعاعيّ الخارجيّ هو النوع الأكثر انتشارًا. تُستخدَم أنواع مختلفة من الإشعاع، لكنّ الأنواع الأكثر استخدامًا، هي الأشعَّة السينيَّة، وأشعَّة جاما.

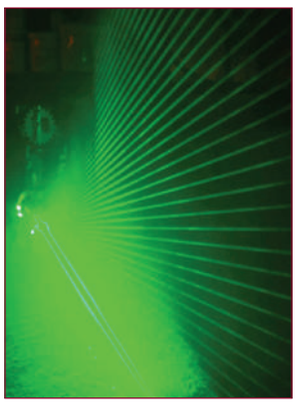
ثمة أنواع نادرة من السرطان، تُستخدَم في علاجها النيوترونات لتدمير الخلايا السرطانيّة. تُقْذَفُ الجُسيمات نحو الورم في حزم منبعثة من آلة متطوّرة جدًّا تُسمّى السيكلوترون. يمكن تركيز الطاقة على الورم وحده (**الشكل 5-26**) لِتُحْدِثَ تلفًا في الخلايا السَّرطانية يفوق ما تحدِثه كلّ من أشعَّة جاما والأشعَّة السّينيَّة. تتوافر هذه التكنولوجيا في عدد قليل من المستشفيات. لذا يضطرّ المَرضى في كثير من الأحيان إلى السفر خارج البلاد للعلاج.



الشكل 5-26 العلاج النيوترونيّ. الضوء الأحمر لأغراض التخطيط.

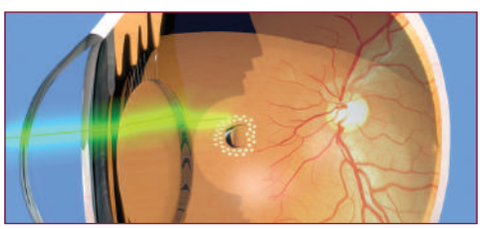
www.jnob-jo.com

الليزر



الشكل 5-27 أشعَّة اللّيزر.

الليزر نوع خاص من المصابيح الكهربائيّة. تدخل الطاقة عادةً إلى المصباح، فتسبّب توهج الغاز أو إضاءة الفتيلة بفعل الذرَّات المفردة في المصباح. تكون الذرّات في الليزر مصمّمة كي تعمل معًا، لإصدار ضَوء على نحو متّسق. وهذا مصدر يُنتِج ضوءًا أقوى كثيرًا، يكون عادة في تردُّد واحد ولون واحد. يُرَكَّزُ هذا الضَّوء في شعاع دقيق جدًّا، يمكن أن ينتقل إلى مسافات طويلة (**الشكل 5-27**). وتستفيد جراحة الليزر في عملها من قوّة الشعاع ولونه.

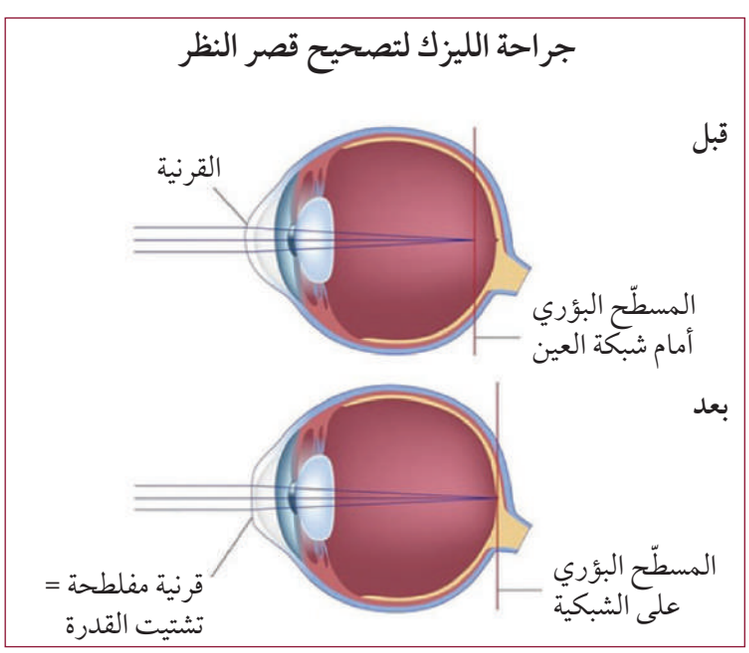


الشكل 5-28 كَيُّ أوعية دمويّة في العين.

وقد استفادت جراحة العيون بالليزر من حقيقة أنّ الضَّوء ينفذ من خلال الأجزاء الشفّافة من العين، من دون أن يفقد كثيرًا من طاقته. وهي تُستخدَم لِكَيِّ الأوعية الدمويّة التي تنزف في مؤخّرة العين، أو لحرقها (**الشكل 5-28**).

من أحدث تقنيات استخدام الليرز في جراحة العيون استخدامه في تصحيح تحدب القرنية لتحسين الرؤية. تقوم العدسة أو القرنيّة بدور رئيس في حدوث الرؤية، إذ ينحني الضوء عند المرور فيهما، حيث تتشكّل صورة على الجزء الخلفيّ من العين، أو شبكيّة العين. مع مرور الوقت، أو بفعل الوراثة، يخفق شكل القرنيّة في تكوين صورة واضحة. وتعمل النظّارات التصحيحيّة، أو العدسات اللاصقة، على تغيير مسار الضَّوء، لتعويض التغيُّر في شكل القرنيّة، كي تصبح الرؤية واضحة.

يُستخدَم الليزر لتغيير شكل القرنيّة، بما يُسمَّى **جراحة الليزك LASIK** (**الشكل 5-29**). يفصل الجرّاح طبقة رقيقة من سطح القرنيّة، وتُثْنَى إلى الأعلى. ويحسب بدقّة نمط الحروق لنسيج القرنيّة الداخليّ، بما يؤدّي إلى تغيير شكلها. يمكن لليزر إجراء هذه التعديلات الدقيقة من دون إلحاق ضرر بالأنسجة المحيطة. تُعادُ الطبقة الرقيقة إلى مكانها. وبعد مدّة وجيزة من الشفاء، تستعيد الرؤية وضوحها.



الشكل 5-29 تصحيح رؤية العين – جراحة الليزك لعلاج قِصَرِ النَّظر.

www.jnob-jo.com

علاجات الأشعَّة فوق البنفسجيّة

يحتوي جلدك على ثقوب صغيرة تُسمّى المسامّ، يكوّن كلّ منها زيتًا في غدّة صغيرة، وهو ضروريّ لسلامة الجلد. ويحتوي جلدك أيضًا على البكتيريا *Propionibacterium acnes*. وإذا حدث انسداد للمسامّ بسبب الأوساخ أو الجلد الميت، تعبر البكتيريا إلى الداخل، لتكوِّن نتوءات تُسمّى حَبّ الشباب.

استُخْدِمَ ضَوء الأشعَّة فوق البنفسجيّة في علاج حَبِّ الشَّباب؛ إذ يمكن لتلك الأشعّة أن تقضي على البكتيريا، وتحفِّز الجسم على إفراز البورفرين الذي يقضي على البكتيريا. يستطيع الضوء أيضًا أن يسبّب تقلّص المسام، ما يحدّ من فرص الإصابة بالبكتيريا. يساعد ضَوء الأشعَّة فوق البنفسجيّة أيضًا على الحدّ من تورُّم حَبِّ الشَّباب وإثارته، والندب اللّاحقة. لكنّ ضَوء الأشعَّة فوق البنفسجيّة، لسوء الحظ، إشعاع مؤيّن، قد يسبّب سرطان الجلد. لذا لم يعد أطبّاء الأمراض الجلديّة يستخدمون الأشعَّة فوق البنفسجيّة لعلاج حَبِّ الشَّباب.

قد يسبِّب ضَوء الأشعَّة فوق البنفسجيّة سرطان الجلد.

أثبتَ العلاجُ بالضَّوء الأزرق، لدى استخدام مصادر ضَوء LED 409-419 nm بسطوع $40mW/cm^2$، فاعليّةً عياديّةً في الحدّ من حَبِّ الشَّباب. ذلك أن استخدام أقنعة الوجه المُدارَة ذاتيًّا في اختبارات التعمية، حيث لم يكن يعرف الباحثون مَنْ كان يستخدم القناع، ومن كان في المجموعة الضابطة، قد مكّن إحصائيًّا من قياس تحسّن كبير في حالة الجلد بعد أربعة أسابيع من العلاج. ومكّن من قياس التحسّن المستمرّ بعد ثلاثة أشهر من الاختبارات.

لا تنبعث من أضواء LED أشعَّة فوق بنفسجيّة، بل القليل من ضَوء غير مؤيّن طويل الموجة. يعدّ ضَوء LED الأزرق آمنًا، ويجب أن تكون العيون محمية أثناء العلاج، ليس من أضرار الأشعّة البنفسجية، بل من الأضواء الساطعة المحيطة.

تدعم بعض البحوث استخدام أضواء LEDs الحمراء لتعزيز سلامة الجلد، وتحفيز إنتاج الكولاجين للحدّ من التجاعيد. وربطت أطوال موجيّة أخرى بتطبيقات عرضيّة، لكنّ البحوث أضعف كثيرًا من أن تدعم هذه الادّعاءات (**الشكل 5-30**).

الشكل 5-30 قناع ضَوء LED بخلفيّة متعدّدة الألوان.

www.jnob-jo.com

نشاط عمليّ

2-5 استخدام الطاقة الكهرومغناطيسيّة

من خلال العمل في مجموعات صغيرة، ابحث في المناطق المختلفة للطيف الكهرومغناطيسيّ، واعمل على إعداد كتيِّب عنها، أو اعرض استخداماتها في الطبّ، وما يرتبط بها من أخطار.

الإشعاع	نطاق التردُّد	الاستخدامات	الأخطار
الأشعَّة تحت الحمراء			
الضَّوء المرئيّ			
الأشعَّة فوق البنفسجيّة			
الأشعَّة السينيَّة			
أشعَّة جاما			

حدّد كلّ نطاق من الطيف على خطّ، مع وضع الضَّوء المرئيّ في الوسط.

www.jnob-jo.com

تقويم الدرس 5-2

1. أيّ من الأدوات التشخيصيّة تستخدم الإشعاعَ المؤيّنَ؟
   a. التصوير المقطعيّ المُحوسَب.
   b. التصوير بالرنين المغناطيسيّ.
   c. الموجات فوق الصوتيّة.
   d. الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة.

2. ماذا تعني M في MRI؟
   a. Medical
   b. Molecular
   c. Magnetic
   d. Maintain

3. أيّ نوع من الضوء لم يظهر أنّ له تأثيرات مفيدة في الجلد؟
   a. الأشعّة فوق البنفسجيّة.
   b. الأزرق
   c. الأخضر
   d. الأحمر

4. لماذا لم يعد ضَوء الأشعّة فوق البنفسجيّة يُستخدَم في علاج حَبِّ الشّباب؟

5. لماذا يُعدُّ مهمًّا أن يكون لديك بيانات هدف دقيقة عن الورم، قبل تعريضه للعلاج الإشعاعيّ؟

6. كيف يصحّح الليزر الرؤية في العين؟

7. صِفْ تقنيّة تصوير قد تُطَوَّر في المستقبل. ما الخصائص التي ستتّصف بها التكنولوجيا؟ وما نوع الصور التي ستوفّرها؟

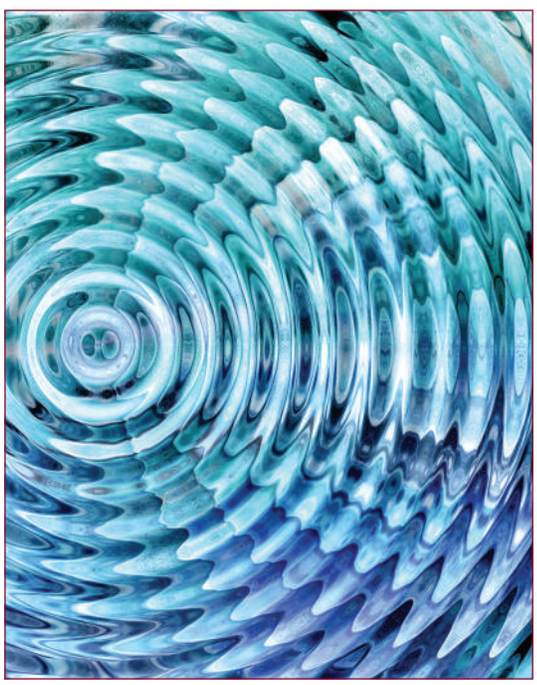
8. لماذا يكون نوع الطاقة الكهرومغناطيسيّة الذي يسبر عميقًا في جسم الإنسان، مسبِّبًا ضررًا كبيرًا في الوقت نفسه؟ اشرح ذلك.

www.jnob-jo.com

الدّرس 5-3
الموجات الميكانيكيّة
Mechanical Waves/Ultrasound

تقتصر الرؤية البشرية على مدى صغير من تردُّدات الضوء تُراوح بين 400 – 700 THz. يغطّي السمع البشري مجموعة واسعة من 20 – 20,000 Hz. غير أن الأمواج الصوتية نوع مختلف تمامًا من الطاقة؛ فهي تنتمي إلى فئة الموجات الميكانيكية. إذا كنت يومًا ما قد أسقطت حجرًا في بركة ماء، تكون حينها قد شكّلت موجات ميكانيكية.

يمكن لهذه الطاقة الميكانبكية أن تستخدم لرسم خريطة لأعضاء الجسم الداخلية. يمكنها أيضًا أن تُستخدَم لتدمير حصوات الكلى.



الشكل 5-31 التموّجات أمثلة على الموجات الميكانيكية.

مخرجات التّعلُّم

GP1102.1 يوضح أن فحوصات الموجات فوق الصوتية تتم بتحليل أصداء الموجات فوق الصوتية المنبعثة من جهاز إرسال، واستقبالها بواسطة جهاز استقبال لتشكيل صورة للأعضاء والأنسجة داخل جسم الإنسان.

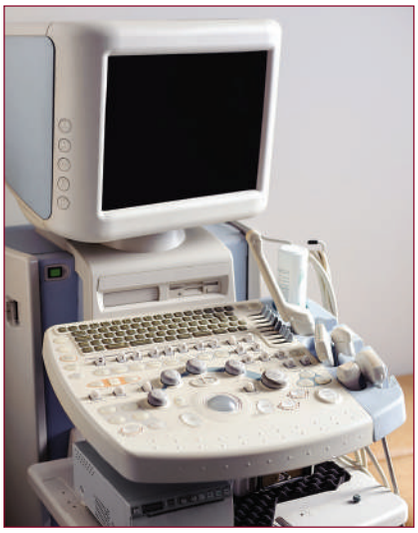
GP1102.2 يصف استخدام الموجات فوق الصوتية في علاج حصوات الكلى.

المفردات

موجات فوق الصوتية	Ultrasound
خارج الجسم	Extracorporeal
تفتيت الحصوات بالصدمات خارج الجسم	ESWL

www.jnob-jo.com

الموجات فوق الصوتية

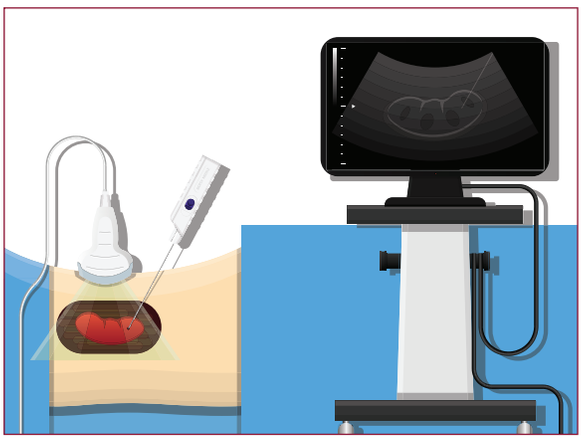


الشكل 5-32 جهاز الموجات فوق الصوتية.

يستخدم جهاز الموجات فوق الصوتية (**الشكل 5-32**) الترددات العالية، (1-18 MHz) من الموجات الصوتية، للنظر داخل الجسم البشري. ترتد الموجات عند اصطدام الصوت بالحدود الفاصلة بين أنواع الأنسجة المختلفة. وتكون الإشارات المرتدة من العظام والأجسام الصلبة الأخرى أقوى من الإشارات المرتدة من الدم والسوائل الأخرى. وهكذا يكون ممكنًا الكشف عن العضلات والأوتار وعن الأورام والنمو غير العادي. ولمّا كان هذا الإشعاع ليس مؤيّناً، فإن الموجات فوق الصوتية يمكن استخدامها للتحقُّق من تطوُّر الجنين بلا خوف من إيذاء نموُّه أو تطوُّره.

الشكل 5-33 مسبار الموجات فوق الصوتية.

وهناك نوع خاص من البلورات يسمّى **البيزوكهربي Piezoelectric**، يهتز بتردُّد يزيد على 100,000 هرتز، ردًّا على إشارة كهربائية من التردُّد نفسه. وهناك جزء آخر من البلورة البيزوكهربية يستشعر الصدى. تخترق الترددات المنخفضة أعماق الأنسجة، وتوفر الترددات الأعلى صورًا أكثر تفصيلًا. تتشكَّل حزمة الموجات فوق الصوتية بواسطة عدسة صوتية في مقبض المسبار (**الشكل 5-33**) مصنوعة من مواد تمتصّ الصوت. بينما نحرِّك المسبار على جسم المريض، تُعالج وحدة المعالجة المركزية CPU البيانات، وتُصدِر صورة ثلاثية الأبعاد 3D على الشاشة، وتخزَّن البيانات للمخطَّط فوق الصوتي.



الشكل 5-34 فحص خزعة الكلى تسترشد بالموجات فوق الصوتية.

إذا تم اكتشاف شيء مشبوه عن طريق الموجات فوق الصوتية، يقرّر الطبيب جمع عيّنة للمزيد من الدراسة. هذا الإجراء يسمّى خزعة؛ وهو يتطلّب إجراء عملية جراحية. تعتمد طبيعة الجراحة على موقع النسيج المشتبه به. ومع ذلك، وباستخدام الموجات فوق الصوتية أو الماسح الضوئي (CT scanner) (**الشكل 5-34**)، يعرف الجراح مسبقًا ما يريد رؤيته تحديدًا. ويمكن، في كثير من الحالات، استخدام إبرة حادّة لاستخراج عيّنة صغيرة، كالكشف المُبكر عن السرطان.

www.jnob-jo.com

الصدى والموجات فوق الصوتية

لم تكن التقنية المذهلة للموجات فوق الصوتية أوّل استخدام للصوت بهدف إنتاج الصور. كانت الدلافين تفعل الشيء نفسه منذ ملايين السنين. فالدولفين «يرى» بأذنيه، وليس بعينيه.

الشكل 5-35 الدلافين.

الصدى هو الكلمة التي نستخدمها لوصف ارتـداد الموجة الميكانيكية، بعد اصطدامها بعائق، وعودتها إلى المرسل. تستخدم الدلافين (**الشكل 5-35**) والحيتان الصدى لتحديد موقع الأشياء في الماء. يُرسَل الصوت، ويتم انتظار الصدى، الأمر الذي يسمح لتلك الحيوانات «بالتواصل» معًا.

يعمل جهاز الموجات فوق الصوتية بإرسال مئات من الحزم الصوتية الضيّقة، إلى الجسم، وإعادة تركيب صور ارتداداتها. يقيس الجهاز الوقت الفاصل بين انطلاق النبضة الصوتية وتسلُّم صداها المُرتدّ. وبما أن سرعة الصوت معلومة، فإن الجهاز يحسب المسافات لكل ارتداد ويشكِّل الصور. تُستخدَم الموجات فوق الصوتية لكشف إصابات العضلات، وفي تصوير الأجنّة قبل الولادة.

الشكل 5-36 تقنية التصوير بالموجات فوق الصوتية.

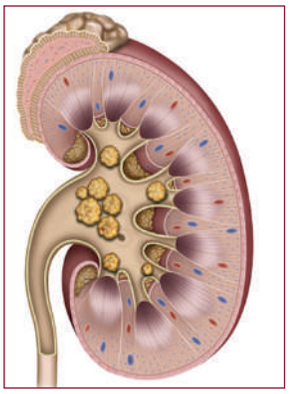
محوِّل الموجات فوق الصوتية Transducer هو الجهاز الذي يُرسل الموجات فوق الصوتية ويتسلّمها. بمقدور كثير من المحوِّلات المستخدمة لأغراض طبّية التعامل مع 256 أو 512 مرسلًا منفردًا. يقوم كل مُرسِل بإرسال موجة فوق صوتية، ثم يستمع إلى الصدى المُرتدّ. تتركَّب الصور بإعادة تشكيل الأصداء المختلفة من كل مصدر على حدة.

الموجات فوق الصوتية في الحقيقة «لا ترى»، ولكنها تبني أنماطًا عن حواجز في الجسم مولِّدة الصدى بالانعكاس. تكون صورة الجنين واضحة، لأن الفاصل بين سائل الرحم وجسم الجنين المتطور واضحُ الحدود. يشبه هذا إلى حد بعيد الطريقة، التي تشكِّل فيها الدلافين صورها الذهنية عن أي شيء في المياه المحيطة بها، من الأصداء.

www.jnob-jo.com

حصوات الكلى والموجات فوق الصوتية

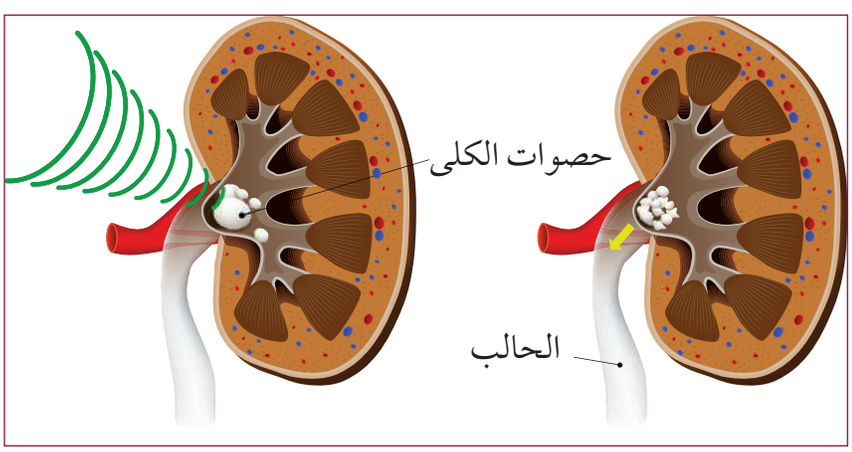
كليتاك عضوان في جسمك تقومان بتنقية الدم والحفاظ على توازن السوائل في الجسم. تتم إزالة الفضلات من الكليتين بنقلها إلى المثانة. إذا لم تكن تشرب كمية كافية من السوائل، وإذا كنت تتناول الأطعمة التي تحتوي على نسبة عالية من الأكسالات، تتشكّل آنذاك البلّورات الصغيرة والمعادن. هذه المعادن الصلبة المترسِّبة يمكن أن تسدّ الحالب وتسبِّب مشكلات خطرة. وقد تسبِّب قدرًا كبيرًا من الألم، إذا استطاع البول جرفها معه. أما الرواسب المعدنية، فهي ما نعرفه بحصوات الكلى (**الشكل 5-37**).



الشكل 5-37 حصوات الكلى.

إذا بدت عليك بعض الأعراض الشائعة، فقد يقوم الطبيب بإجراء كشف الموجات فوق الصوتية أو الأشعّة السينية للبحث عن حصوات الكلى. هناك عدد من الطرق الجراحية لإزالتها؛ ولكن الطريقة الأكثر شيوعًا، هي إجراء غير جراحي، أو اجراء من (خارج الجسم) extracorporeal.

تتسبَّب موجات الصوت في تحريك الأجسام الصلبة أو في تناغمها. إذا كانت الموجة الصوتية قوية بما فيه الكفاية، تستطيع عمليًّا تفكيك أجزاء الشيء. يمكن للموجة الصادمة من الموجات فوق الصوتية القوية جدًّا أن تركِّز على حصوات الكلى، وتؤدّي إلى تفتيتها.



الشكل 5-38 تفتيت الحصوات Lithotripsy باستخدام الموجات الصوتية، وسحق حصوات الكلى إلى قطع صغيرة كي تعبر بسهولة أكبر.
Litho تعني الحصوات، وtripsy تعني سحقها.

تفتيت الحصوات بالصدمات خارج الجسم (ESWL=Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy)

هو الطريقة الأكثر شيوعًا للتعامل مع حصوات الكلى (**الشكل 5-38**).

بإجراءات لاتتطلّب النوم في المستشفى، وخلال ساعة من الزمن، يتم استهداف حصوات الكلى بآلاف الموجات الصادمة. وتستخدم الأشعّة السينية لمراقبة تفتيت الحصوات الكبيرة إلى قطع أصغر كثيرًا (**الشكل 5-39**) يمكنها المرور مع البول خارج الجسم. وهنا تصبح أداة التشخيص الأداة الطبّية التي تخفِّف الحالة.

الشكل 5-39 قطع صغيرة.

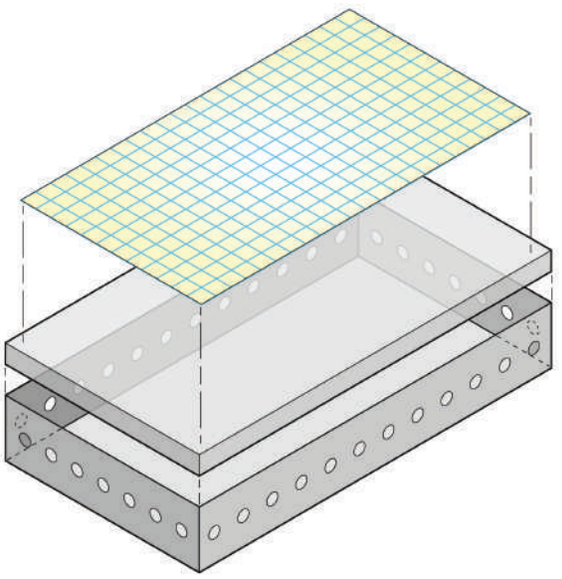
www.jnob-jo.com

نشاط

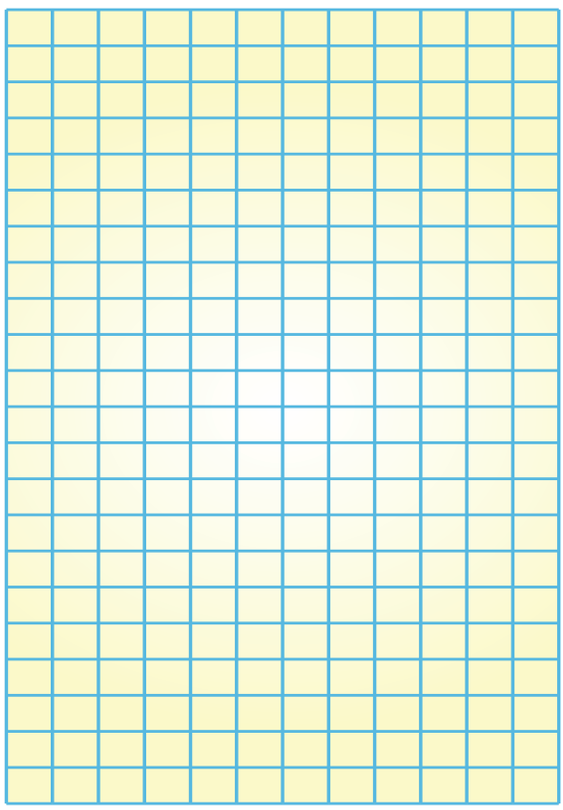
3-5 محاكاة الموجات فوق الصوتية

سؤال الاستقصاء	هل يمكنك تحديد شكل الشيء باستخدام المسافة؟
الموادّ المطلوبة	«صندوق الموجات فوق الصوتية» الخاص، قضبان رفيعة، مسطرة، قلم رصاص، ورق ملِّيمتري.

الخطوات



1. يضع المعلّم شيئًا داخل صندوق الموجات فوق الصوتية. وتكون مهمتك تحديد شكل هذا الشيء.
2. ضع علامات على ورقة الرسم البياني، حيث يمكنك تحديد موقع كل مسبر على طول الأجزاء: العلوي والأيسر والأسفل والأيمن.
3. في كل موقع، أدخل السيخ بدقَّة حتى يمس الشيء فقط.
4. سجّل المسافة التي قطعها المسبر للوصول إلى الشيء.
5. انتقل إلى موقع المسبر التالي، وكرِّر الخطوات.
6. انقل البيانات إلى قطعة منفصلة من ورقة الرسم البياني. وضع علامة على المسافة، حيث يتوقّف المسبر.
7. اربط العلامات لتحديد شكل الشيء.



الأسئلة

a. كيف تفسِّر أن كثرة نقاط البيانات تقدِّم صورة أكثر وضوحًا؟

b. أي شيء، إذا استخدمته في هذا النشاط، يعطي الشكل الأكثر صعوبة؟

www.jnob-jo.com

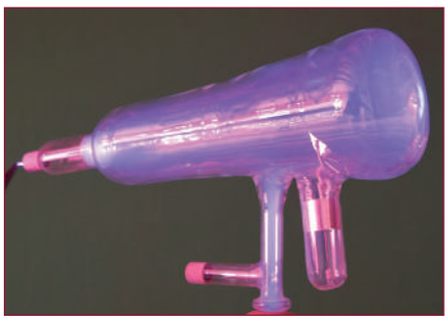
تقويم الدرس 5-3

1. ما الفرق بين الأشعّة السينية والموجة فوق الصوتية؟
   a. الأشعّة السينية ترى فقط العظام، والموجة فوق الصوتية ترى فقط الأنسجة الناعمة.
   b. الأشعّة السينية أشعّة كهرومغناطيسية، والموجة فوق الصوتية تعطي إشعاعات أكثر.
   c. الأشعّة السينية تعطي إشعاعات أقلّ، والموجة فوق الصوتية تعطي إشعاعات أكثر.
   d. الأشعّة السينية تُجرى في المستشفى، والموجة فوق الصوتية تُجرى في عيادة الطبيب.
2. ما اسم الموجة المنعكسة؟
   a. الصدى
   b. سونار
   c. سونيك
   d. التردُّد
3. ما اسم الحيوانين اللذين يستخدمان الصوت لتشكيل صورة ذهنية لما حولهما؟
   a. الخفافيش والدلافين.
   b. صقور الشاهين والخفافيش.
   c. الدلافين وأفاعي الصحاري.
   d. أفاعي الصحاري وصقور الشاهين.
4. فيم تختلف الموجات فوق الصوتية عن الصوت الذي يمكنك سماعه؟
5. كيف يمكن لأداة أن تحدِّد مسافة الصدى؟
   a. بقياس طاقة الصدى المنعكس.
   b. بقياس وقت الصدى المنعكس.
   c. بقياس الطول الموجي للصدى المنعكس.
   d. بقياس لون الصدى المنعكس.
6. ما المقصود بعبارة: الدلافين «ترى بآذانها»؟
7. كيف تتشكَّل حصوات الكلى؟

www.jnob-jo.com

العلم والعلماء

عند زيادة تردُّد الضوء متجاوزًا ما فوق البنفسجي، يتحوّل الضوء حينها إلى أشعّة سينية. اكتُشفت الأشعّة السينية بعد أن عمَّ استعمال الكهرباء بقليل. يعمل **أنبوب كروكس Crooke's tube** (**الشكل 5-40**) بتأثير الجهد العالي على تسريع الإلكترونات في أنبوب زجاجي. إضافة إلى الوهج الصادر عن أنبوب كروكس، لاحظ العلماء أن الأفلام الفوتوغرافية المختومة قد تفاعلت مع شيء يبدو أنه صادر عن الأنبوب.



الشكل 5-40 أنبوب كروكس مُصدِرًا أشعّة سينية.

أجرى ويلهلم رونتجن تجارب للكشف عن خصائص الأشعّة الجديدة الغامضة. فأطلق عليها اسم «الأشعّة السينية». كان قد صوّر يد زوجته الموضوعة على لوح الفيلم الفوتوغرافي المختوم. وعرَّضها للأشعّة، مُنتجًا أول صورة أشعّة سينية طبّية. نشر بحثه عام 1895 مستخدمًا «x» إشارة إلى الطاقة الإشعاعية المجهولة.

خلال أشهر، كان العلماء في مختلف أنحاء العالم يصنعون أشعّتهم السينية. غير أن التطبيق في حقل الطب كان تطوُّرًا مهمًّا. فبحلول العام 1896، أجريت أول جراحة باستخدام الأشعّة السينية لتحديد موقع رصاصة داخل جسم جندي. ولا تزال الأشعّة السينية تستخدم اليوم في الطب الحديث. (**الشكل 5-41**).

الشكل 5-41 صورة حديثة للقفص الصدري بالأشعّة السينية.

لم يكن مفهومًا بشكل واضح أن للأشعّة السينية القدرة أيضًا على إتلاف الأنسجة الحية. وكان واحد من نافخي الزجاج لدى توماس أديسون، يقوم عادة بفحص كل أنبوب أشعّة سينية ينتجه على يديه. وقد توفي بالسرطان عام 1905. وغدا ملحًّا بوضوح أن احتياطات إضافية يجب اتخاذها عند استخدامنا للأشعّة السينية. تعرف هذه الأشعّة اليوم بالأشعّة المؤيّنة. وقد أصبحنا نتّخذ إجراءات الحماية، كلما كان علينا استخدام الأشعّة السينية، بما فيها إشارات السلامة من الإشعاع (**الشكل 5-42**).

الشكل 5-42 إشارات السلامة من الإشعاع.

www.jnob-jo.com

الوحدة 5

مراجعة الوحدة

الدرس 5-1 الطيف الكهرومغناطيسيّ

- ينتقل الضوء في خطوط مستقيمة، ويمكن أن تتغيَّر شدته، وله خصائص الموجات كالتردُّد والطول الموجي.
- الضوء جزء من **الموجات الكهرومغناطيسية Electromagnetic wave**، وهو طاقة إشعاعية تستطيع الانتقال في الفضاء.
- **طول الموجة Wavelength** هو طول دورة واحدة من الموجة، والتردُّد هو عدد المرّات في الثانية التي تتذبذب فيها الموجة.
- **ثابت بلانك Planck's constant** يربط التردُّد والطاقة في الموجات الكهرومغناطيسيّة. والتردُّد الأعلى يعني طاقة أعلى.
- **الإشعاع المؤيّن Ionizing radiation** إشعاع يشمل ما فوق البنفسجي والأشعّة السينية، وهو ذو طاقة أكبر من الطاقة اللازمة لإخراج إلكترون من الذرَّة. يشكِّل التأيُّن خطرًا، فقد يتلف الأنسجة.
- **الرنين Resonance** وسيلة لامتصاص الطاقة من الموجة.

الدرس 5-2 الطبّ الإشعاعيّ

- الأشعَّة السينيَّة الطبّية والتصوير المقطعي المُحَوْسَب يستخدمان **الأشعَّة السينيَّة للتشخيص الطبّي.**
- **التنظير التألُّقيّ** (التصوير الفلوروسكوبيّ) **Fluoroscope**، **والتصوير المقطعيّ المُحَوسَب Computed tomography** طريقتان للتشخيص باستخدام الأشعَّة السينيَّة.
- **التصوير بالرنين المغناطيسيّ Magnetic resonance imaging** تقنية تصوير غير مؤيّنة.
- **العلاج الإشعاعيّ المطابق الثلاثيّ الأبعاد 3D-CRT**، **وسكّين جاما Gamma knife** هما أداتا علاج إشعاع خارجيّ.
- **العلاج الإشعاعيّ Radiotherapy**، بما في ذلك **العلاج باليود المشعّ Radioactive iodine therapy**، **والعلاج الإشعاعيّ الموضعيّ Brachytherapy**، هما أداتا علاج إشعاع داخليّ.
- **كاميرات الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة Infrared thermographic** يمكنها رؤية الحرارة في الجسم.
- تسمح جراحة **الليزك LASIK** لليزر بتشكيل أجزاء من العين.

الدرس 5-3 الموجات الميكانيكيّة

- تستخدم الموجات فوق الصوتية ترددات تزيد على 100,000 Hz التي لا تسمعها آذاننا.
- تكوِّن **الموجات فوق الصَّوتيَّة Ultrasounds مخطّط موجات صوتيّة Sonogram** للتراكيب الداخليَّة، من دون الخوف أن تتلف أنسجة الجسم بالأشعّة.
- تسمح الطرائق **خارج الجسم Extracorporeal** بإجراء جراحة من خارجه.
- تُستخدَم الموجات الصوتيَّة الصادمة علاج **ESWL** لتفتيت حَصَوات الكلى.

www.jnob-jo.com

1. من له الفضل في اكتشاف النشاط الإشعاعيّ؟

a. ماري كوري.
c. هنري بيكريل.
b. توماس أديسون.
d. ويلهلم رونتجن.

2. ماذا تعني كلمة تفتيت الحصوات؟

a. حصوات الكلية.
c. خارج الكلية.
b. حصوات مسحوقة.
d. مسحوقة خارجًا.

3. ما الإشعاع البيئي (إشعاع الخلفية)؟

a. إشعاع من مصادر داخل الأرض.
b. إشعاع من خلف جهاز الأشعّة السينية.
c. إشعاع من مصادر غير مؤيّنة.
d. إشعاع يصلنا من البيئة اليومية.

4. ما المُستهدف من كاميرات الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة؟

a. الحرارة
c. الميكروويف
b. الأشعَّة فوق البنفسجيّة.
d. أشعَّة جاما.

5. ما خاصّية الضوء التي تسمح لجهاز الموجات فوق الصوتية بتكوين الصور؟

a. ينتقل الضوء في خطوط مستقيمة.
b. الضوء إشعاعات كهرومغناطيسية.
c. لا يوجد؛ ذلك أن الموجات فوق الصوتية ليست من أشكال الضوء.
d. ينحني الضوء عند اختراقه العدسات الزجاجية المنحنية.

6. أيّ ممّا يأتي يُستخدَم في جهاز التصوير بالرنين المغناطيسيّ؟

a. الأشعّة السينية، والمغناطيسية.
c. المغناطيسيّة، وموجات الراديو.
b. أشعَّة جاما، والأشعَّة السينيَّة.
d. موجات الراديو، وأشعَّة جاما.

www.jnob-jo.com

7. أيّ ممّا يأتي ليس علاجًا من خارج الجسم؟

a. العلاج الإشعاعيّ المطابق الثلاثيّ الأبعاد.

b. سكِّين جاما.

c. العلاج الإشعاعيّ الموضعيّ.

d. العلاج النيوترونيّ.

8. ما العبارة الأكثر صحّة عن الأشعّة السينيَّة؟

a. الأشعَّة السِّينيَّة شكل من أشكال الموجات فوق الصوتيَّة العالية التردُّد.

b. صورة الأشعَّة السينيَّة الطبّية هي «ظلّ الأشعَّة السِّينيَّة» للأنسجة.

c. الأشعَّة السينيَّة شكل من أشكال الإشعاع، لأنّ طاقتها منخفضة.

d. تُوَلِّدُ الأشعَّة السينيَّة الطبّية الحديثة عن طريق تحلُّل اليورانيوم المشعّ.

9. أيّ ممّا يأتي يتَّبع الترتيب الصحيح، من الطول الموجيّ الطويل إلى الطول الموجيّ القصير؟

a. جاما، الأشعَّة فوق البنفسجيّة، الراديو، الميكروويف.

b. الراديو، الأشعَّة فوق البنفسجيّة، جاما، الميكروويف.

c. الراديو، الميكروويف، الأشعَّة فوق البنفسجيّة، جاما.

d. الراديو، جاما، الأشعَّة فوق البنفسجيّة، الميكروويف.

10. أيّ ممّا يأتي يُستخدَم في العلاج الإشعاعيّ الموضعيّ؟

a. اليود المشعّ.

b. الغرسات المشعّة.

c. التصوير المقطعيّ المُحَوْسَب.

d. التصوير بالأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة.

11. ما طريقة العلاج الأكثر أمانًا للاستخدام؟

a. الأشعَّة السينيَّة.

b. سكِّين جاما.

c. التصوير المقطعيّ المُحَوْسَب.

d. العلاج بالضوء الأزرق.

www.jnob-jo.com

12. ما الشيئان اللذان يجب معرفتهما لحساب المسافة إلى الهدف، عند استخدام الموجات الصوتيَّة؟

a. وقت الصدى، وشكل الجسم.

b. شكل الجسم، وحجمه.

c. حجم الجسم، وسرعة الصوت في المادَّة.

d. سرعة الصَّوت في المادَّة، ووقت الصدى.

13. أيّ ممّا يأتي لا يستخدم الإشعاع المؤيّن؟

a. الأشعَّة السينيَّة.

b. التنظير التألُّقيّ (التصوير الفلوروسكوبيّ).

c. التصوير المقطعيّ الْمُحَوْسَب.

d. التصوير بالرنين المغناطيسيّ.

الدرس 5-1 الطيف الكهرومغناطيسيّ

14. مَنْ صاحب الفضل في اكتشاف الأشعَّة السينيَّة؟

15. ما المساهمة التي قدّمها أنبوب كروكس في اكتشاف الأشعَّة السينيَّة؟

16. ما هو المرض المرتبط غالبًا بكثرة التعرُّض للأشعّة السينية؟

17. احسب سرعة موجة تردُّدها 440 Hz، وطول موجتها 0.78 m.

18. عرِّف طول الموجة المفردة.

19. ما العلاقة بين طول موجة الصوت وتردُّدها؟

20. ما هي قيمة ثابت بلانك ووحدة قياسه؟

21. احسب طاقة موجة ضوئيّة تردُّدها $4.27 \times 10^{14}\,\text{Hz}$.

22. ماذا تفعل الإشعاعات المُؤيّنة للذرَّة؟

www.jnob-jo.com

23. ابحث في مساهمات كلّ من: ابن الهيثم، داجير، إيستمان، رونتجن، بيكوريل، رذرفورد، تشادويك، في فهم الطيف الكهرومغناطيسيّ.

الدرس 5-2 الطبّ الإشعاعيّ

24. ما الفرق بين الأشعَّة السينيَّة والتنظير التألُّقيّ (التصوير الفلوروسكوبيّ)؟

25. ما الفرق بين الأشعَّة السينيَّة والتصوير المقطعيّ الماسح المُحَوْسَب؟

26. متى تكون الخليّة أكثر عُرضة للتلف نتيجة للإشعاع المؤيّن؟

27. لماذا يُسبّب الإشعاع المؤيّن تلفًا أكبر للخلايا السرطانيّة من الخلايا السليمة؟

28. لماذا لم يُعدْ العلاج بالأشعَّة فوق البنفسجيّة يُستخدم لعلاج حَبِّ الشّباب؟

29. لماذا يُعدّ استخدام الليزر ممكنًا لِكَيِّ الأوعية الدمويّة في الجزء الخلفيّ من العين؟

30. في أيّ جزء من العين يؤثِّر الليزك؟

31. ما ميزة العلاج الإشعاعيّ المُطابق الثلاثيّ الأبعاد (3D-CRT)؟

32. كيف يعمل سكّين جاما؟

الدرس 5-3 الموجات الميكانيكيّة

33. لِمَا يكون أكثر أمانًا استخدام الموجات فوق الصوتيَّة للتحقّق من نموّ الطفل بدلًا من الأشعّة السينية؟

34. ابحث عن تردُّدات الأصوات التي يستطيع الإنسان سماعها، وقارنها بتردُّدات الموجات فوق الصوتية.

35. يعطي التصوير المقطعيّ الماسح المُحَوْسَب صورة شديدة الوضوح. لماذا تكون الموجات فوق الصوتيَّة طريقة التصوير المُفضّلة أثناء الجراحة المُطوّلة؟

www.jnob-jo.com

الوحدة 6

متانة الموادّ

Strength of Materials

في هذه الوحدة

- **الدرس 6-1:** القوى في الموادّ
- **الدرس 6-2:** عظام الإنسان

GP1103
GP1104

www.jnob-jo.com

الوحدة 6

مقدّمة الوحدة

ماذا نعني بكلمة «متين» عندما يتعلق الأمر بالموادّ؟ واحد من التعاريف المفيدة، هو أن المادة المتينة لديها قدرة الحفاظ على شكلها إذا خضعت لتأثير قوة كبيرة. في حين أن المادة الضعيفة تنحني أو تنكسر. ومع ذلك، فحتّى المادة الضعيفة، مثل الورق، يمكن أن تصبح متينة جدًا عندما نحوّلها إلى شكل ما! وتُعزى متانة المواد إلى نوع المادة، وإلى الشكل المصنوع منها. تعالج هذه الوحدة تلك الأفكار بشكل دقيق.

ولتوضيح ذلك، نبدأ بالنوابض (الزنبركات) وقانون هوك الذي ينصّ على أن تشوّه الموادّ يتناسب مع القوة المؤثرة فيها. ثم نتوسّع بالفكرة إلى الموادّ الصلبة، بإحلال الإجهاد محل القوة، وإحلال الانفعال محل المسافة. توصف متانة الموادّ بمُعامِل يونج الذي يرتبط بالقوة المطلوبة لإنتاج انفعال معين.

يطبّق الدرس الثاني أفكار المتانة على العظام والعضلات. فعلى هيكلنا العظمي أن يتحمّل القوة الناتجة من وزن الجسم والعضلات، وتأثيرات أخرى من دون إحداث تشويه كبير، أو كسر. نمت العظام لتكون لها متانة كبيرة بحدٍّ أدنى من الوزن.

الأنشطة والتجارب

a1-6 القوة الناتجة عن نابض

b1-6 مُعامِل يونج لمادّة

a2-6 كمّية الكالسيوم في العظام

b2-6 تصميم العظام

www.jnob-jo.com

الدرس 6-1
القوى في الموادّ
Forces in materials

بمجرد النظر إلى هيكل ما، يمكنك أن تتساءل عن الغاية من استعماله. فالجسر في (**الشكل 6-1**) له شكل مميز. تستخدم أجزاؤه المختلفة لغايات مختلفة. ويجب أن يكون تصميم الجسر صحيحًا؛ لكي يتحمّل القوى الهائلة المؤثرة فيه. ولتصميم جسر، يستخدم المهندسون أفكار الإجهاد والانفعال لاختيار الموادّ والحجوم المناسبة لإنشاء الجسر. ويكون البناء ناجحًا باختيار القوى والأشكال والمواد بنسب صحيحة.

الشكل 6-1 جسر.

للكائنات الحيّة أيضًا هياكل لدعم القوى المؤثّرة فيها. تكوّن العظام والهيكل العظمي تركيبًا معقّدًا متينًا ومتعدِّد الاستعمالات. ويجب أن تكون الأربطة والأوتار في جسم الإنسان مرنة ومتينة بما يكفي، لتحمل القوى التي تطبّقها العضلات، مثلما تعمل الكابلات (حزم الأسلاك) في الجسر.

مخرجات التّعلُّم

GP1103.1 يعرّف مفهوم إجهاد الشدّ وانفعال الشدّ المطبّقين على موادّ مختلفة.

GP1103.2 يحدّد معامل يونج لموادّ مختلفة عمليًّا وحسابيًّا باستخدام العلاقة:

$$E=\frac{\text{إجهاد}}{\text{إنفعال}}$$

GP1103.3 يوضّح أن معامل يونج للمادة يرتبط بمتانتها، حيث إنه يقيس مدى سهولة تشوّه المادة (على سبيل المثال صلادة المادة).

المفردات

Compression	الانضغاط
Tension	الشدّ
Spring Constant, k	ثابت النابض (الزنبرك) k
Ligament	الرباط
Tendon	الوتر
Elasticity	المرونة
brittle	الهشّ
Cross Section	المقطع العرضي
Stress	إجهاد
Strain	انفعال
Young's Modulus	مُعامِل يونج
Stiff	صلد
Flexible	ليِّن
Hard	قاس
Strong	متين
Elastic	مرن

www.jnob-jo.com

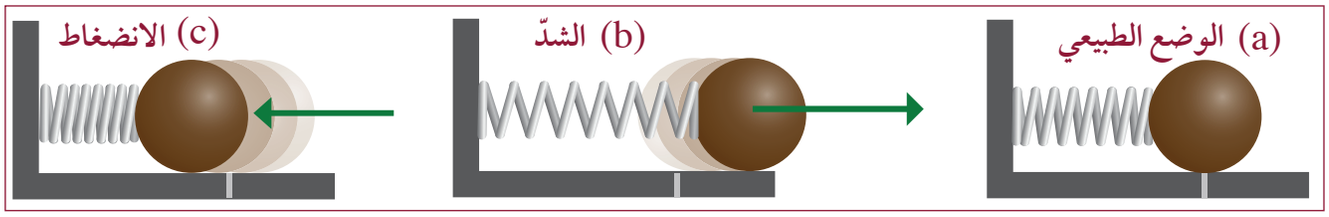
القوى في الأجسام

فكّر في الطرق المختلفة التي يمكنك من خلالها تغيير شكل النابض أو تشويهه (**الشكل 6-2**).

a. عند عدم تطبيق قوة عليه. يكون النابض في الوضع الطبيعي (وضع السكون).

b. تعمل **قوة الشدّ Tension** على استطالة النابض لجعله أطول من طوله الطبيعي.

c. تؤدِّي **قوة الانضغاط Compression** إلى جعل النابض أقصر من طوله الطبيعي.



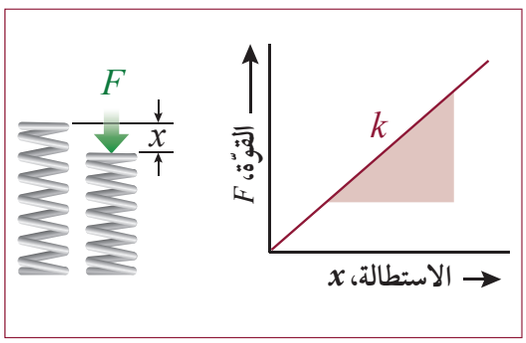
الشكل 6-2 a) عدم تطبيق قوة (وضع السكون)، b) متمدد بتأثير الشدّ، c) متقلص بتأثير الانضغاط.

قانون هوك

$$F = -kx$$

F	القوة (N)
k	ثابت النابض (N/m)
x	التشوّه (m)

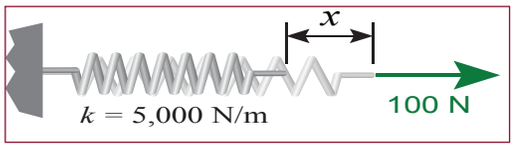
ينصّ قانون هوك على أن القوة F التي تطبَّق على النابض تتناسب طرديًا مع الاستطالة (تغيُّر طول النابض)، x. يوضِّح الرسم البياني في **الشكل 6-3** تشوّه النابض مع زيادة الأوزان المؤثرة فيه. ويُسمّى مَيل المنحنى **بثابت النابض Spring constant**، **k** ويقيس مدى متانة «النابض». أما وحدة قياس ثابت النابض، فهي وحدة القوّة مقسومة على وحدة الطول، أي N/m.



الشكل 6-3 القوة واستطالة النابض.

مثال 1

طبّقت قوّة مقدارها 100 N في اتّجاه تمدُّد نابض ثابته 5000 N/m. ما مقدار زيادة طول هذا النابض؟



الحل:

$$F = -kx \quad \rightarrow \quad x = \frac{-F}{k} = \frac{-(-100\ \text{N})}{5{,}000\ \text{N/m}} = \boxed{0.02\ \text{m}}$$

لاحظ أن القوة التي طبّقها النابض هي 100N-، وهي تساوي وتعاكس القوّة التي طُبِّقت على النابض لكي يتمدَّد. ويشير قانون هوك إلى قوة الشد في النابض، وهذا هو سبب الإشارة السالبة للقوة .

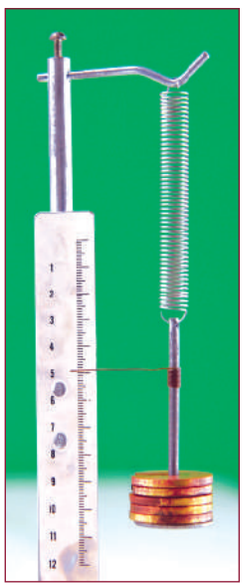
www.jnob-jo.com

نشاط عملي

a1-6 القوة الناتجة عن نابض

سؤال الاستقصاء	كيف تحسب ثابت النابض؟
الموادّ المطلوبة	جهاز قانون هوك، 8 كتل تزن كل منها 20 g، أو ما يناسب التجربة.

يبيّن (**الشكل 6-4**) جهاز قانون هوك، وهو يحتوي على مقياس ونابض وسلك وحامل أوزان بثقوب، يستخدم لحساب ثابت النابض.



الشكل 6-4

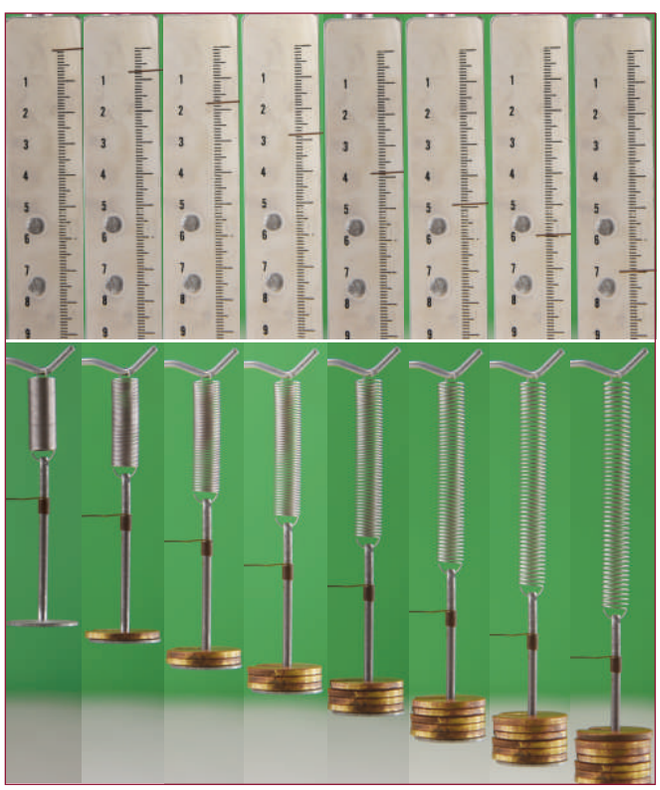
خطوات التجربة

1. ركّب الجهاز، وسجّل الموقع الابتدائي للنابض، قبل تعليق أي كتلة.
2. قسْ وزنَ الكتلة وعلّقها بالنابض، وسجّل وزن الكتلة وموقع النابض.
3. كرّر التجربة باستخدام خمس كتل مختلفة على الأقل.
4. احسب الوزن (F_w) والاستطالة (Δx).

البيانات المقيسة

المكان، x (m)	الكتلة، m (g)	الاستطالة، Δx (m)	الوزن، F_w (N)

5. مثّل برسمٍ بياني بياناتك الخاصة بالقوة، بدلالة استطالة النّابض.
6. ارسم بيانيًّا الخط المستقيم الأكثر ملاءمة لبياناتك واحسب ميل الخط وتقاطعه.



الشكل 6-5 عيّنة بيانات لاستطالة النابض والأوزان المضافة.

الأسئلة

a. ماذا يمثِّل ميل المنحنى؟

b. هل العلاقة بين القوة والاستطالة علاقة خطّية؟

c. ماذا يمثِّل تقاطع المنحنى؟ اشرح عدم مطابقة التقاطع للصفر.

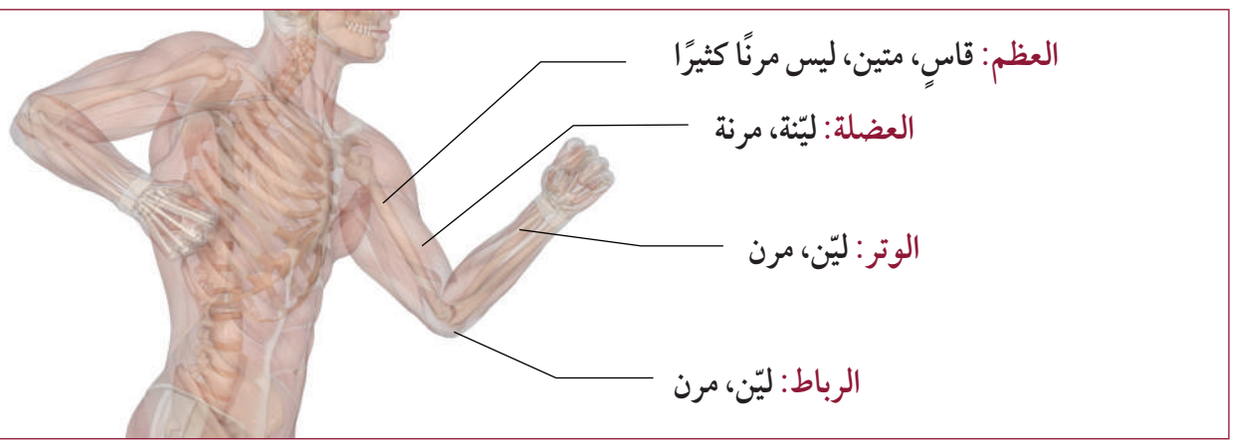
www.jnob-jo.com

القوى في جسم الإنسان

تَنتُجُ القوى في جسم الإنسان بفعل العضلات والوزن. وهي تُدعَم بصلابة العظام وصلادتها. تُنقل القوى إلى العظام عن طريق الأربطة والأوتار .

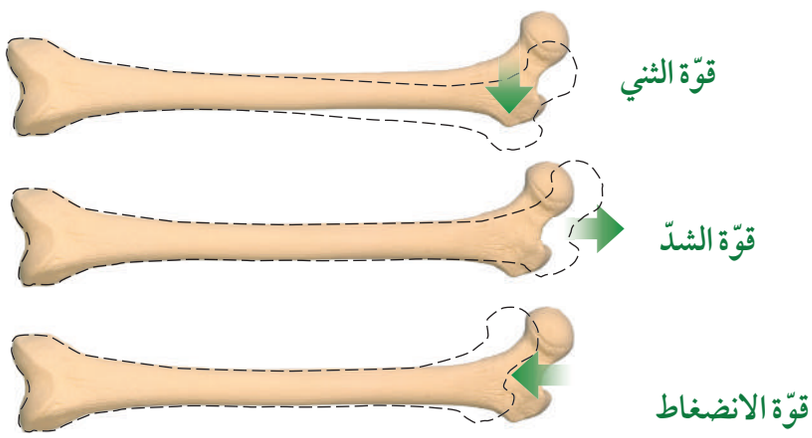
الأربطة Ligaments أنسجة مرنة تربط مفاصل العظام معًا. فالرباط الصليبي الأمامي، مثلاً، (ACL) يمسك بعظام مفصل الر كبة.

الأوتار Tendons مكوّنة من أنسجة ضامّة مشابهة للأربطة، ولكنها تربط العضلات بالعظام. تنقل الأوتار القوى التي أنشأتها العضلات.



الشكل 6-6 متانة الجسم وقوّته ترتكزان على أربعة عناصر (العظم، العضلة، الوتر، الرباط).

يتغيّر شكل وطول الأربطة والأوتار والعظام أيضًا استجابة للقوى المؤثرة فيها، كما في النابض (**الشكل 6-6**). تصف **مرونة Elasticity** المادة قدرتها على الانحناء، أو تغيير شكلها من دون أن تنكسر. فالمطّاط مرن جدًّا. يمكن أن تتمدّد الأربطة المطاطية بمقدار 400% قبل أن تنقطع. وبالمقابل، يكون الزجاج عكس ذلك؛ فهو قاسٍ وغير مرن. والموادّ الصلبة التي تنكسر قبل تمدّدها تُسمّى موادّ **هشّة Brittle**، وتشمل الزجاج والسيراميك والحجر. وتُتراوح الأربطة والأوتار والعظام بخصائصها بين هاتين الخاصّيتين. فالعظام قاسية وأقلّ مرونة، في حين أنّ الأربطة والأوتار أكثر ليونة وأكثر مرونة.

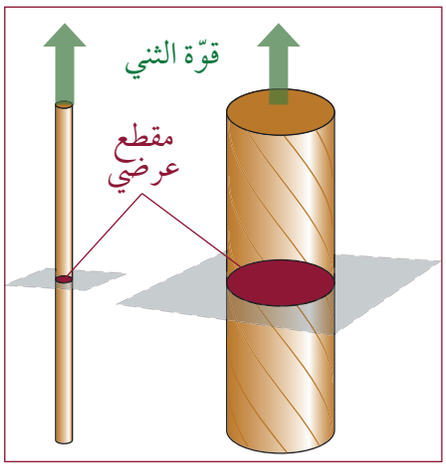


الشكل 6-7 القوى وتغيُّر شكل العظام.

www.jnob-jo.com

الإجهاد

لا يستطيع خيط رفيع متدلٍّ من سقف أن يتحمَّل وزنك. ولكن إذا قمت بنسج العديد من الخيوط معًا لتكوّن حبلاً ، فقد يتحمّل الحبل وزنك بسهولة. لاحظ أنك استخدمت المادّة نفسها في كلتا الحالتين مع الحصول على نتائج مختلفة كثيرًا. وقد اختلفت النتيجة لأنّ القوة موزّعة على مساحة مقاطع عرضية مختلفة. **فالمقطع العرضي Cross-section** هو مساحة شكل تكوَّن بفعل عملية قطع وهميّة في جسم. وعند تحليل القوة، تكون القوة عمودية على المقطع العرضي. كما في **الشكل 8-6**.



الشكل 8-6 منطقة المقطع العرضي.

يُعرف مقياس القوة لكل وحدة مساحة في مقطع عرضي باسم **الإجهاد Stress**، وهو مقياس أكثر فائدة لمعرفة متانة تركيب معيَّن.

الإجهاد

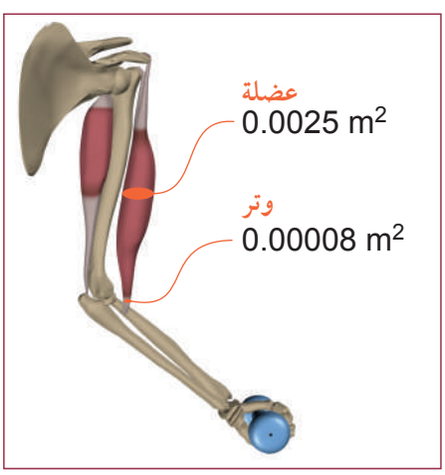
$$\sigma = \frac{F}{A}$$

σ	إجهاد (N/m^2)
F	قوة (N)
A	مساحة المقطع العرضي (m^2)

وحدة قياس الإجهاد هي وحدة قياس القوة مقسومة على وحدة المساحة ، أي N/m^2. ووحدات قياس الإجهاد هي وحدات قياس الضغط نفسها و $1\ N/m^2$ تساوي 1 Pascal (Pa). لا يمكن لخيط واحد أن يحمل جسمَك؛ لأنّ إجهاد الشدّ أكبر من قدرة المادّة على التحمّل. والقوة نفسها في حبل سميك تولّد إجهاد شد أقلّ كثيرًا؛ لأنّ القوة توزّعت على مساحة أكبر.

مثال 2

تولّد عضلة قوة مقدارها 200 N، وتنقل هذه القوة بواسطة وتر. احسب إجهاد الشدّ في كل من العضلات والوتر. كما هو مبيّن **بالشكل 9-6**.



الشكل 9-6 مساحة المقطع العرضي في العضلة والوتر.

الحل:

$$\sigma_{muscle} = \frac{F}{A_{muscle}} = \frac{200\ \text{N}}{0.0025\ \text{m}^2} = 80{,}000\ \text{Pa}$$

$$\sigma_{tendon} = \frac{F}{A_{tendon}} = \frac{200\ \text{N}}{0.00008\ \text{m}^2} = 2{,}500{,}000\ \text{Pa}$$

لاحظ أن إجهاد الشدّ في الوتر أكبر مما هو في العضلة.

www.jnob-jo.com

انفعال الشدّ

الشكل 6-10 سلسلة حديدية بأربطة مطاطية.

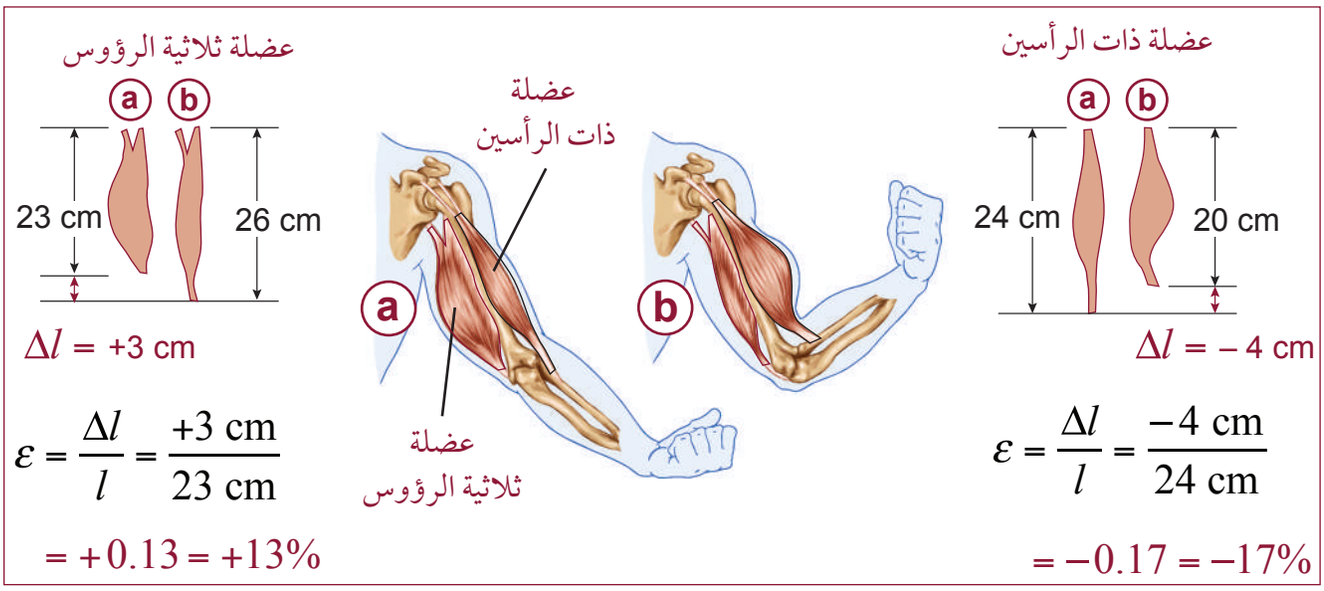
عندما تُطبَّق القوة على جسمٍ فإنه يتشوّه. فالأجسام عند انضغاطها تصبح أقصر، وعندَ شدّها يزداد طولها. يمكن مشاهدة ذلك بسهولة في أجسام مرنة، كالأربطة المطاطية أو النوابض. غير أن عين الإنسان لا تستطيع اكتشاف التغيُّرات في الأجسام الأكثر صلابة. لا يمكنك، مثلًا، أن تلاحظ التغيُّر في طول السلسلة الحديدية (**الشكل 6-10**)؛ لأن التغيير يمثّل نسبة مئوية صغيرة من الطول الكلّي.

انفعال **الشدّ Strain** هو نسبة التغيُّر في طول جسم مقارنة بطوله الأصلي، عند عدم تطبيق قوة عليه. يعني انفعال الشدّ الإيجابي أن الجسم يصبح أطول. أمّا انفعال الشدّ السلبي ، فيعني أن الجسم يصبح أقصر. الموادّ، التي لها انفعال شدّ 0.1 + ، أو 10 % +، يعني أنها تصبح أطول بمقدار 1.1 مرة مما كانت عليه قبل تطبيق قوة عليها.

انفعال الشدّ (المطاوعة)

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

ε	انفعال الشدّ (لا وحدات أو %)
Δl	التغيُّر في الطول (m or cm)
l	الطول الابتدائي (m or cm)



الشكل 6-11 انفعال الشدّ في العضلة الثلاثية الرؤوس والعضلة ذات الرأسين عند تحريك ذراعك.

انفعال الشدّ مستقل عن الطول الفعلي لجسمٍ ما.

a. تبدأ العضلة الثلاثية الرؤوس بطول 23 سم، وتتمدَّد إلى 26 سم. لذلك، فإن انفعال الشدّ فيها يساوي $3 \div 23 = +0.13 = +13$ %

b. تبدأ العضلة ذات الرأسين بطول 24 cm، وتتقلّص إلى 20 cm. لذلك، فإن انفعال الشدّ يساوي $-4 \div 24 = -0.17 = -17$ %.

www.jnob-jo.com

مثال 3

طالب وزنه 450 N، تعلّق بحبل قطره 0.02 m. ما مقدار إجهاد الشدّ في الحبل؟

الحل:

$$F = 450N \quad d = .02m \quad r = .01m$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi r^2} \qquad \sigma = \frac{450N}{\pi(0.01m)2} = \frac{450N}{.000314m^2}$$

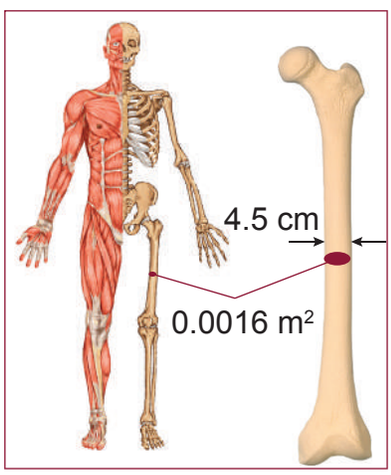
$$\sigma = 1{,}430{,}000Pa \quad \sigma = 1.43MPa$$

تكون قيمة إجهاد الشدّ في العادة كبيرة، وغالبًا ما يتم استخدام وحدات kPa و MPa.

1 MPa = 1,000,000 Pa و 1 kPa = 1,000 Pa.

مثال 4

شخص كتلته 82 kg ووزنه 804 N. احسب انفعال الشدّ في عظم الفخذ على افتراض أن للساقين الوزن نفسه. (انظر **الشكل 6-12**)



الشكل 6-12 عظم الفخذ.

الحل:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{402\ \text{N}}{0.0016\ \text{m}^2} = 251{,}250\ \text{Pa}$$

يمكن أن يتحمّل العظم السليم ما يصل إلى 170,000,000 Pa من إجهاد الشدّ قبل أن يبدأ بالتشقّق والتكسّر. ويساوي انفعال الشدّ في هذه المسألة 0.15% فقط مما يمكن أن تتحمّله العظام السليمة.

مثال 5

طالب وزنه 450N، تعلَّق بحبل كان طوله في الأصل 3m. تمدَّد الحبل بمقدار 1 cm (0.01 m). احسب انفعال الشدّ في الحبل.

الحل:

$$l = 3m \quad \Delta l = 0.01m$$

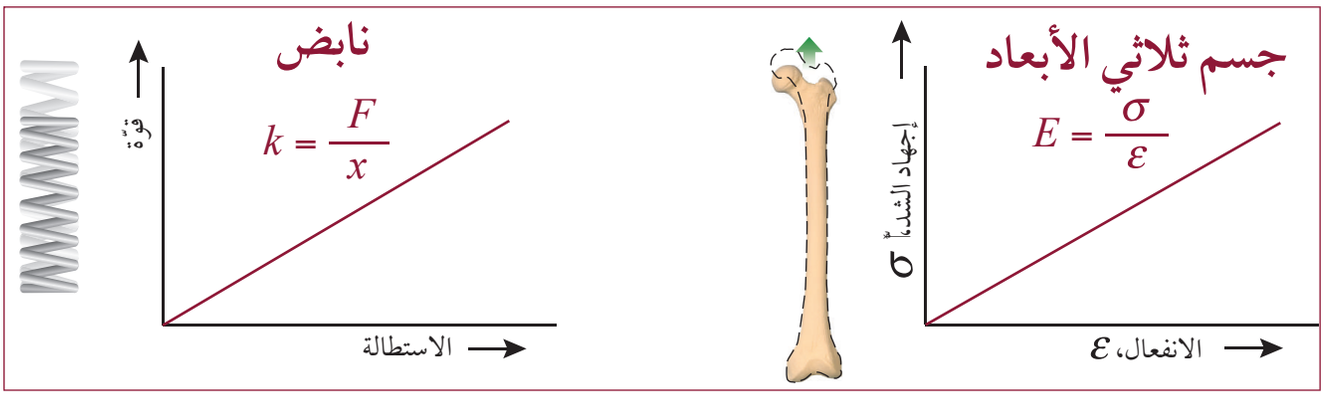
$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \qquad \varepsilon = \frac{0.01m}{3m}$$

$$\varepsilon = 0.003 \quad \varepsilon = 0.3\%$$

www.jnob-jo.com

معامل المرونة – معامل يونج

من دراستنا السابقة للنابض، وجدنا أنّ هناك علاقة بين القوّة وتمدَّد النابض، أو انضغاطه؛ وأنّ ميل الرسم البياني للقوة مقابل الإستطالة هو ثابت النابض k. وفي الأجسام الصلبة، توجد علاقة مشابهة حيث معامل المرونة هو ميل الرسم البياني لإجهاد الشدّ مقابل الانفعال، ويعرف أيضًا باسم **معامل يونج** E **Young's modulus**.



الشكل 6-13 سلوك المرونة لنابض وجسم ثلاثي الأبعاد.

وحدات القياس المستخدمة في مُعامِل المرونة هي وحدات قياس إجهاد الشدّ نفسها، ولا توجد وحدات قياس لانفعال الشدّ. وعندما تكون الموادّ بعيدة عن التكسّر، فإنّ التمثيل البياني لإجهاد الشدّ مقابل انفعال الشدّ يكون على شكل خط مستقيم، وهو يشبه التمثيل البياني للقوة مقابل الاستطالة في النابض. ويمثّل مَيل خط الرسم البياني مُعامِل يونج.

معامل يونج (معامل المرونة)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

E	(معامل يونج) معامل المرونة (Pa أو N/m^2)
σ	إجهاد الشدّ (Pa أو N/m^2)
ε	انفعال الشدّ (عدد أو %)

يُعرف مُعامِل المرونة بمُعامِل يونج.

تعتمد صلادة الموادّ على قيمة مُعامِل يونج، E الخاص بها. عندما تكون E مرتفعة، فإن ذلك يتطلَّب وجود إجهاد شدّ أكبر لإنتاج مقدار انفعال الشدّ نفسه. تكون قيمة معامل يونج E للصلب مرتفعة (**الجدول 6-1**). وعندما تكون E منخفضة، فإن المادة تتطلب إجهاد شدّ أقل لإنتاج المقدار نفسه من انفعال الشدّ. والرباط المطّاطي له قيمة منخفضة من E.

الجدول 6-1 معامل يونج لموادّ مختلفة (1 MPa = 1,000, 000 Pa).

المادّة	E (MPa)	المادة	E (MPa)	المادة	E (MPa)
الماس	1,220,000	ألمنيوم	70,000	خشب	11,000
فولاذ	200,000	جرانيت	52,000	أوتا ر	1,200
ألياف كربون	150,000	عظم	17,000	مطاط طري	10

www.jnob-jo.com

مسائل إجهاد الشدّ وانفعال الشدّ

مسائل إجهاد الشدّ وانفعال الشدّ وحلولها.

المسألة	كيفية حلها
حدِّد مقدار استطالة أو انضغاط جسم.	استخدم مقدار قوة معطاة لحساب إجهاد الشدّ، ثم استخدم مُعامِل يونج لحساب النسبة المئوية لانفعال الشدّ.
حدِّد القوة اللازمة لإحداث تشوّه في جسم بمقدار معيّن.	احسب انفعال الشدّ من معلومات معطاة، ثم استخدم مُعامِل يونج لحساب إجهاد الشدّ. استخدم إجهاد الشدّ والمساحة لإيجاد القوة.

مثال 6

طالب وزنه 450 N تعلّق بحبل طوله 10 m، وقطره 0.8 cm. فإذا علمت أن معامل يونج للحبل هو 130 MPa (1.3 □ 10^8 Pa)، فما مقدار تمدّد الحبل بالأمتار؟

الحل: تتضمن معادلة مُعامِل يونج إجهاد الشدّ وانفعال الشدّ. لذلك نحتاج إلى استخدام المعلومات التي لدينا لإيجاد إجهاد الشدّ وانفعال الشدّ. وهذه المشكلة لها ثلاث خطوات للحل، هي:

حساب إجهاد الشدّ

قطر الحبل هو 0.8 cm، ونصف قطره 0.004 m.

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{450\ \text{N}}{\pi\left(0.004\ \text{m}\right)^2} = 8{,}952{,}000\ \text{Pa}$$

حساب انفعال الشدّ

نستخدم مُعامِل يونج لإيجاد انفعال الشدّ.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{8{,}952{,}000\ \text{Pa}}{1.3 \times 10^8\ \text{Pa}} = 0.069$$

يتمدّد الحبل بمقدار 6.9 %.

حساب مقدار تمدّد الحبل

نستخدم معادلة انفعال الشدّ لإيجاد مقدار التغيّر في طول الحبل.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad \rightarrow \quad \Delta l = \varepsilon l = \left(0.069\right)\left(10\ \text{m}\right) = 0.69\ \text{m}$$

يتمدَّد الحبل بمقدار 0.69 m أو 69 cm.

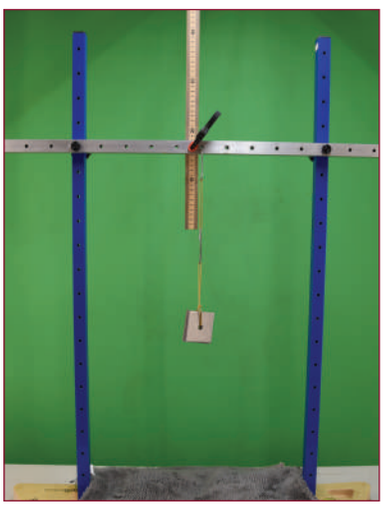
www.jnob-jo.com

نشاط عملي

b1-6 مُعامِل يونج لمادّة

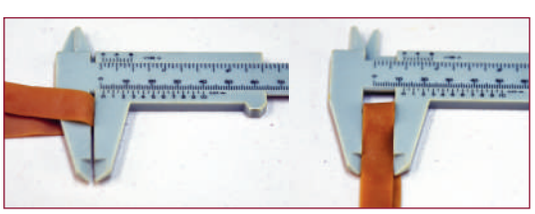
سؤال الاستقصاء	كيف نقارن بين مُعامِل يونج لموادّ مختلفة؟
الموادّ المطلوبة	حامل مختبر، حوامل معدنية ذات خطّاف، أوزان، موادّ مرنة مثل الأربطة المطاطية.

خطوات التجربة



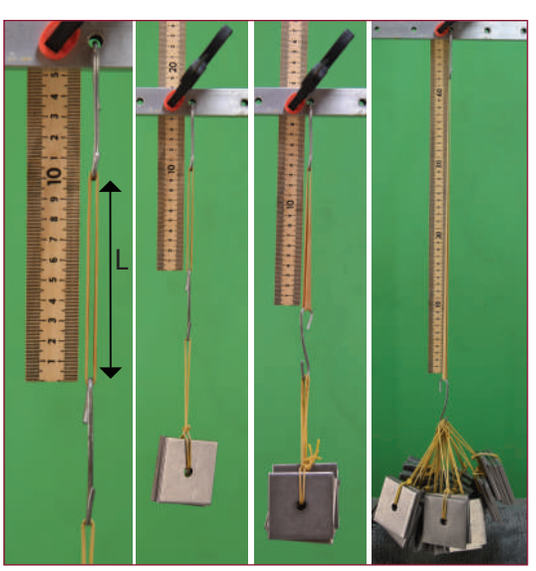
الشكل 6-14 تجهيزات المختبر.

1. جهّز حاملين من حوامل المختبر في وضع رأسي، واربطهما معًا بقطعة عرضية (**الشكل 6-14**).
2. علِّق الرباط المطّاطي بالقطعة العرضية وعلِّق خطّافًا بنهايته الحُرّة.
3. سجِّل مكان الخطّاف الأوَّلي بعد إضافة كتلة صغيرة.
4. قس عرض الرباط المطّاطي وسماكته، كما هو مبيَّن في **الشكل 6-15**.
5. علِّق الأوزان بالخطّاف مُسجِّلًا الأماكن الجديدة للخطّاف، والكتلة، وعرض الرباط وسماكته في كل مرة حتى ينقطع الرباط فيها، أو لا تعود الأدوات قادرة على الاستجابة (**الشكل 6-16**).



الشكل 6-15 وَرْنيَّة قياس.

6. احسب قوة الوزن (F_w) والاستطالة (Δx) وانفعال الشد (ε) لكتل مختلفة.
7. احسب مساحة المقطع العرضي، A، وقوّة الشد، σ، لكل من الثنائيّات المكان والكتلة.
8. مثِّل الرسم البياني لقوة الشد مقابل انفعال الشد لمادة الرباط المطاطي.
9. حدِّد مُعامِل يونج من ميل المنحنى.



الشكل 6-16 قياس الأطوال.

الأسئلة

a. صف مدى مقاربة علاقة الشد والانفعال لأن تكون خطّية.

b. قدِّر مدى دقّة (%) النموذج الخطّي.

www.jnob-jo.com

تقويم الدرس 6-1

1. يُستخدَم مُعامِل يونج لقياس أي من الأشياء الآتية؟
   a. كثافة مادة.
   b. صلادة مادة.
   c. القوة التي تستطيع المادة تحمّلها قبل أن تنكسر.
   d. نسبة القوة مقسومة على مساحة المقطع العرضي.

2. ما مقياس مدى صلادة نابض، ومقدار القوة اللازمة لتشويهه؟
   a. الهشاشة
   b. المرونة
   c. ثابت النابض.
   d. متانة الموادّ.

3. ما المصطلح الذي يصف قدرة الجسم على التمدّد من دون كسر؟
   a. الهشاشة
   b. المرونة
   c. ثابت النابض.
   d. مُعامِل يونج.

4. نابض له ثابت 6000 N/m، ما مقدار القوة التي تطبَّق عليه ليزداد طوله بمقدار 1.5 cm؟

5. هل تُعدّ المادة التي لها قيمة انفعال شدّ مرتفعة على الرسم البياني لإجهاد الشدّ، مقابل انفعال الشد، مادة هشّة أم مرنة؟

6. كيف يتغيّر إجهاد الشدّ لقوة ثابتة مع انخفاض المساحة؟

7. ما مقدار القوة المطلوبة للحفاظ على نابض له ثابت يساوي 500 N/m منضغطًا مسافة 0.3 m من طوله الأصلي؟

8. احسب إجهاد الشدّ لقضيب نصف قطره 2.50 cm، عند تطبيق قوة شدّ عليه تبلغ 20,000 N.

9. سلك ذو مقطع عرضي مستدير قطره 2.3 mm، وسلك ذو مقطع عرضي مربَّع، ضلعه 2.3 mm. إذا طُبِّقت عليهما القوة نفسها، فأيّهما سيتحمّل إجهاد شدّ أكبر؟

10. وتر مساحة مقطعه العرضي تبلغ $0.0001\ m^2$. ما مقدار القوة اللازمة ليزداد انفعال شدَّة بمقدار 5 %؟

www.jnob-jo.com

الدرس 6-2
عظام الإنسان
Human Bones

من المثير مشاهدة عمليّة تشييد مبنى. فإذا كنت تشاهد شريطَ فيديو مُسرَّع اللقطات، فإنّك ستشاهد هذه العمليّة ككلّ، من الأرض الى القمة، في بضع دقائق. يستغرق عمل الأساسات وقتًا طويلًا، لكن عند البدء الفعليّ، يرتفع البناء بسرعة كبيرة. وأوّل ما تراه هو الهيكل وقد وضع في مكانه (**الشكل 6-17**). قد يُبنَى الهيكل من الخشب، أو الفولاذ، أو حتى من الخَرَسانة. ومع انتهاء هذا الجزء، يمكنك أن تحصل على فكرة عمّا سيكون عليه المبنى. وتعطيك الموادّ المُستخدمة في البناء مؤشِّرًا على مدى ضخامة المبنى المزمع إنشاؤه.

الشكل 6-17 هيكل مبني.

سنتعرّف في هذا الدرس العوامل نفسها التي تدخل في بناء أجسامنا.

مخرجات التّعلُّم

GP1104.1 يقارن معامل يونج لمواد مختلفة مع معامل يونج لعظام الإنسان.

GP1104.2 يصف تركيب العظام في جسم الإنسان، وأهميّة الكالسيوم في الحفاظ على متانتها.

المفردات

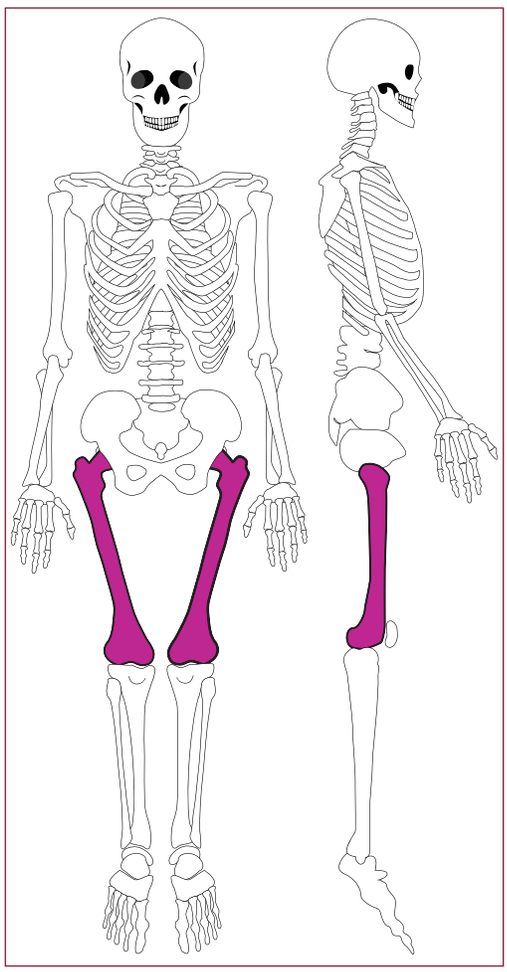
Collagen	كولاجين
Hydroxyapatite	هيدروكسي أباتيت
Osteocytes	خلايا عظميَّة
Osteoblas	خلايا بانية للعظام
Osteoclasts	خلايا هادمة للعظام
Spongy (Trabecular)	إسفنجيّ (حويجزي)
Compact (Cortical)	كثيف (قشري)
Prosthetics	أعضاء اصطناعيّة

www.jnob-jo.com

الهيكل

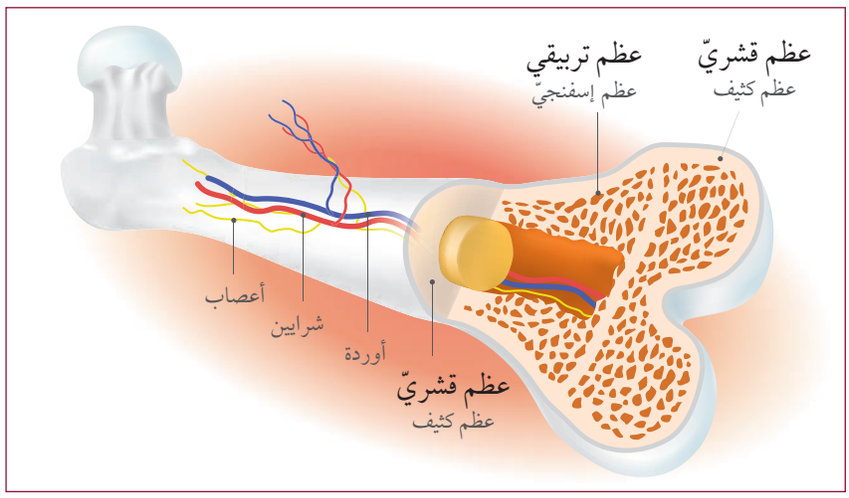
الهيكل العظميّ البشريّ (**الشكل 6-18**)، والهيكل العظميّ للفقاريات جميعها، يفيدان في الحركة الميكانيكيّة، وفي حماية الأعضاء الداخليّة.

يتكوّن العظم أساسًا من بروتين يُسمّى **الكولاجين Collagen**، ومركَّب من الكالسيوم والبوتاسيوم يُسمّى **الهيدروكسي أباتيت Hydroxyapatite**. يُكْسِبُ الهيدروكسي أباتيت العظام متانتها، في حين يُكْسِبُها الكولاجين مرونتها. تحتوي العظام على أوعية دمويّة، وخلايا عصبيّة، **وخلايا عظميَّة حيّة Osteocytes** .



الشكل 6-18 الهيكل العظميّ البشريّ، ويبدو فيه عظم الفخذ بالأحمر.

تُصنَّف تراكيب العظم في فئتين مختلفتين من الأنسجة: الإسفنجيّ **التربيقي Trabecular** (الإسفنجي)، **والقشريّ Cortical** (الصلب). العظم الأطول في الجسم، هو عظم الفخذ (**الشكل 6-19**)، وهو عمود من عظم قشريّ كثيف، مع تجويف صغير يحتوي على نخاع العظم، والأوعية الدمويّة والأعصاب. يتحمل عظما الفخذين إجهاد الانضغاط الناتج من وزن الجسم. لنهايتيْ عظم الفخذ غطاء قشريّ، يقع داخله عظم إسفنجيّ أقلّ كثافة. وعلى الرغم من مظهره الشبيه بالإسفنج، فإنه يشكِّل منطقة من العظم القاسي الّذي يوفّر متانة إضافيّة، ومقاومة لقوى الشدّ الّتي تنتجها العضلات. يمثّل العظم الإسفنجيّ % 20 من الوزن الكلّيّ للعظم، وهو يوجد في المفاصل، وفي نهايات العظام.



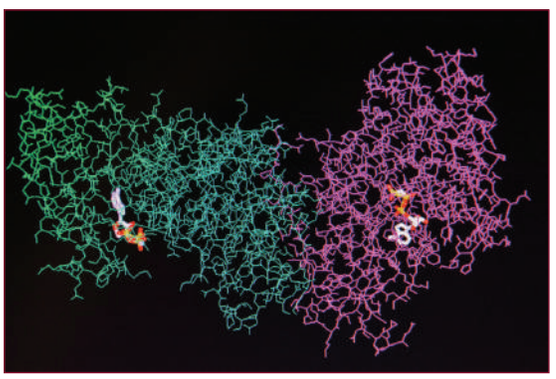
الشكل 6-19 رسم يوضّح تركيب عظم الفخذ.

قد تدهشك معرفة أنّ كثيرًا من الهياكل العظميَّة للديناصورات الموجودة في المتاحف قد أُعيد بناؤها من بضعة عظام فقط، أو حتّى من بقايا عظام. وما تبقّى من هيكل الديناصور يُسْتَدَلُّ عليه من تركيب العظام التي يُعْثَرُ عليها. تشير عظام الساق الثقيلة إلى ديناصور ضخم، في حين تشير العظام الرقيقة إلى تركيب غير منضغط.

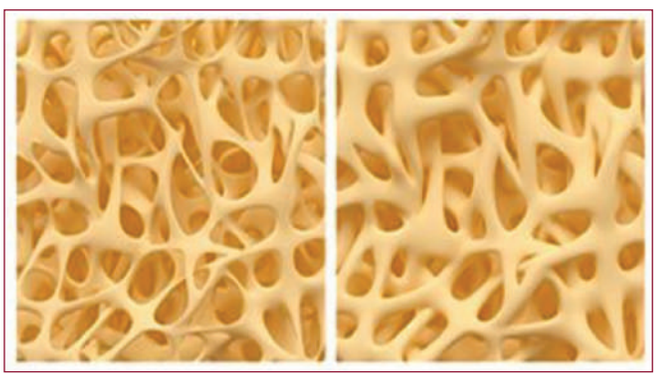
www.jnob-jo.com

الكولاجين

يتّصف جُزيء بروتين (**الشكل 6-20**) الكولاجين بتركيب معقَّد (**الشكل 6-21**) يشكل في حد ذاته التركيب المجهري الأساسي للعظام. وتختلف كثافة هذا التّركيب بين العظم الإسفنجيّ والعظم الكثيف. ويمكن لتلك الكثافة أيضًا أن تتناقص مع التقدّم في السنّ، وفي بعض الحالات الطبّيّة. يتناول كثير من الناس أثناء تقدُّمهم في السن مكمِّلات الكولاجين للحدِّ من التناقص في كثافة العظم.



الشكل 6-20 جُزيء بروتين.



الشكل 6-21 تراكيب الكولاجين.

إنّ تركيب الكولاجين هو الذي يُكسب العظم ليونته وقدرته على استعادة حيويّته. وقد أفيد أنّ هذا التركيب كان مصدر إلهام للتصميم الهندسيّ الذي يتمتّع به برج إيفل (**الشكل 6-22**). وتمثّل الهندسة المجهريّة لتركيب الكولاجين الأساس الداعم لبقيّة مُكوِّنات العظم. يكوّن الكولاجين أيضًا الغضروف والجلد والأربطة، ما يجعله البروتين الأكثر شيوعًا في الجسم.

تتكوّن هياكل أسماك القرش من كولاجين العظم فقط. وهو الذي يكسبها الليونة والمتانة. لكنّه يفقده القدرة على حمل نفسه على اليابسة.

الشكل 6-22 نموذج برج إيفل يشبه تركيب الكولاجين في العظام.

يشكِّل الكولاجين 90% من بروتين العظام.

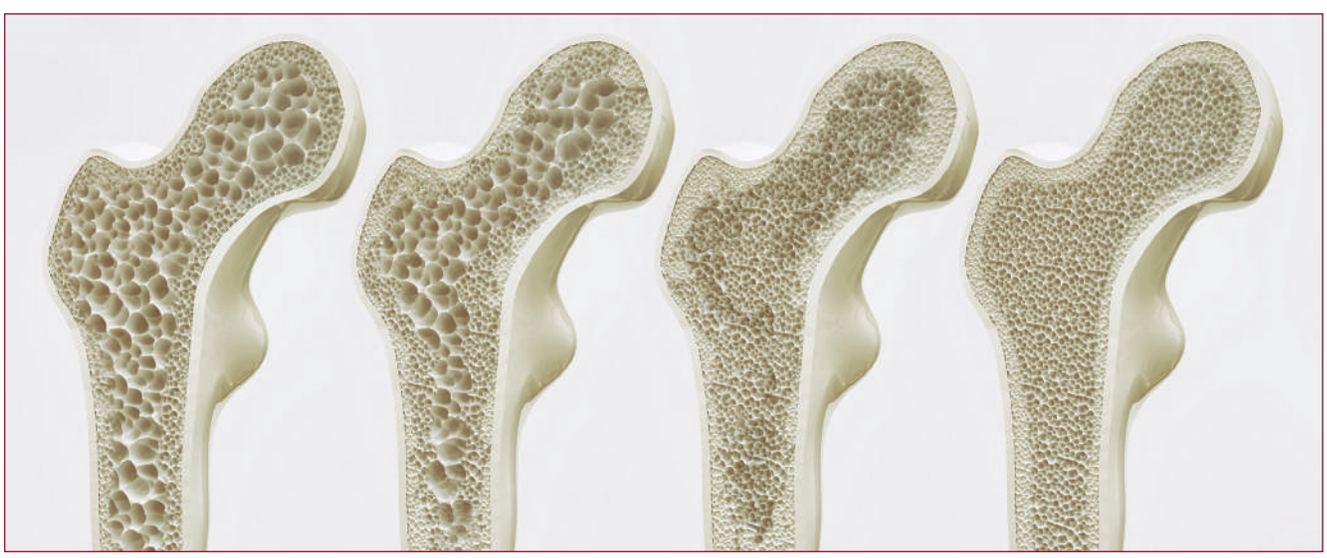
تأتي متانة العظم وصلادته من الملح المعدنيّ للكالسيوم والبوتاسيوم المُسمّى هيدروكسي أباتيت. يتبلور هذا الملح على نسيج الكولاجين مكوّنًا على كلّ شريط فيه قشرة صلبة، وموفرًا زيادة شاملة في مقاومة قوى الانضغاط والشد. ومن المدهش أنّ حجم تلك البلّورات صغير جدًّا، ويُعتقد أنّها قد تكون السّرّ الكامن وراء متانة العظام.

www.jnob-jo.com

الكالسيوم

أثناء نموِّك، يبني جسمك تركيب العظام وكتلتها. تعمل في هذه العمليّة خلايا تُسمّى **الخلايا البانية للعظام Osteoblasts**، التي تبني نسيج العظم، وترسّب المعادن فيه. وتعمل في العملية أيضًا خلايا أخرى تُسمّى **الخلايا الهادمة للعظام Osteoclasts**، التي تحطّم العظم، وتعيد امتصاص المعادن. هذا التوازن الثابت بين بناء العظام وهدمها يستمر طوال الحياة.

حتى سنّ العشرين، يكون معدّل النموّ أكبر من معدّل الامتصاص، وتصبح العظام أطول وأكثر سماكة. يُعدُّ شرب الحليب الغنيّ بالكالسيوم، وممارسة التمارين الرياضية أمرين مهمّين جدًّا لبناء عظام قويّة. ومع زيادة القوى على عظامك، فإنّها تستجيب بنموٍّ أكثر سماكة ومتانة. في عُمُر العشرين، يتوازن هذا الأخذ والعطاء، وتعيش بقيّة حياتك بجسم يمتصّ النّسيج العظميّ بمعدّل تكوين الأنسجة الجديدة نفسه. وهذا هو السبب في أنّ التغذية السليمة وممارسة التمارين الرياضيّة مهمّتان للشباب، كي يتمكّنوا من بناء كتلة العظام في الوقت المناسب.



الشكل 6-23 تتغيَّر كثافة العظم نتيجة هشاشة العظام.

يساعد البناء والهدم المستمرَّان لتركيب العظام على شفاء العظم بعد الكسر. لكن الحالة المعروفة باسم هشاشة العظام تسبّب فقدان ذلك التوازن؛ إذ تبدأ العظام بخسارة كثافتها المعدنيّة ومتانتها (**الشكل 6-23**). ويُعزى حدوث هذه الحالة إلى التغيّرات الهرمونيّة، وإلى نقص الكالسيوم في النظام الغذائيّ ونقص الفيتامين د، أو إلى تدخين التبغ.

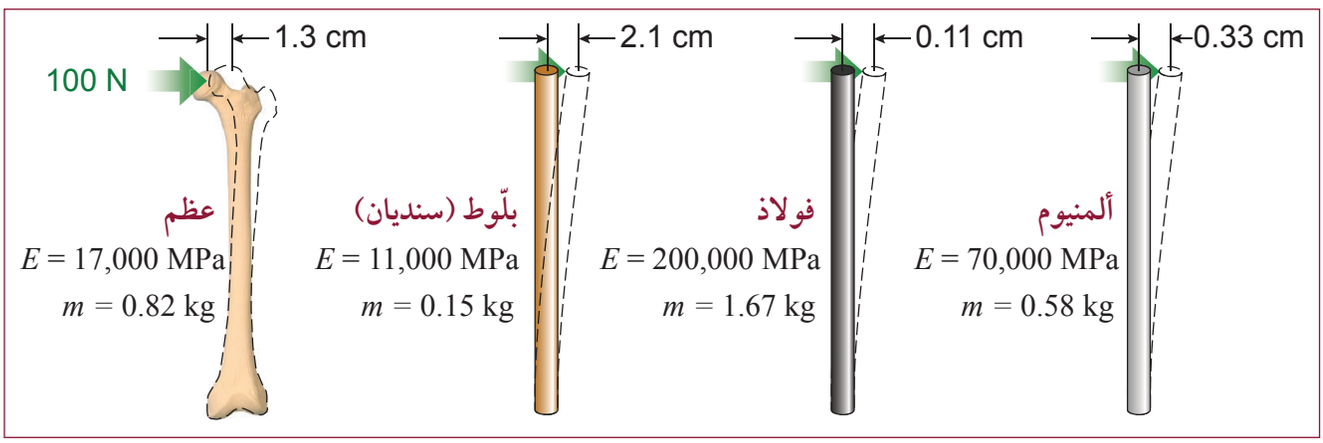
ويشار إلى أنّ العلماء يعملون بنجاح متزايد على محاكاة التركيب المعقّد للعظم كي ينتجوا بدائل اصطناعيّة (**الشكل 6-24**) لتراكيب العظم الرئيسة.

الشكل 6-24 رأس عظم فخذ لمفصل ورك اصطناعيّ.

www.jnob-jo.com

مُعامِل يونج للعظام

العظام متينة جدًّا قياسًا على وزنها. ويُعدّ عظم الفخذ، أحد أمتن عظمين في الجسم؛ إذ يبلغ متوسّط طول عظم الفخذ لشخص ذكر بالغ 48 cm، ومتوسّط قطره 2.34 cm. ويمكن أن يدعم ما يصل إلى ثلاثين مرّة وزن شخص بالغ.



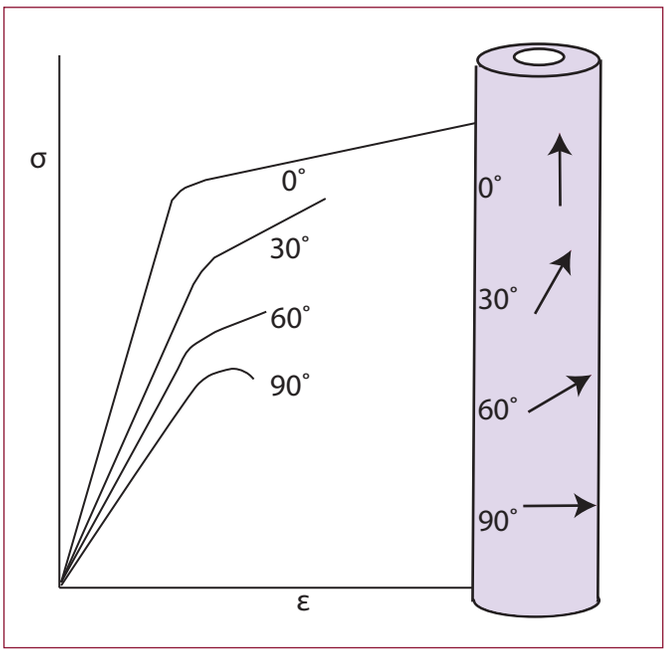
الشكل 6-25 مقارنة صلادة العظم بموادّ أخرى.

يبيّن **الشكل 6-25** كتلةَ عظم فخذ طوله 48 cm وانحرافه مقارنة بقضبان صلبة لها الحجم نفسه من البلّوط، والفولاذ والألمنيوم. حيث تمّ تطبيق قوّة إزاحة 100 N على نهاية واحدة في كل من القضبان. يتناسب الانحراف عكسيًّا مع مُعامِل يونج. مُعامِل يونج للفولاذ أكبر بمقدار 12 مرّة من العظم، ومقدار الانحراف أكبر بمقدار $\frac{1}{12}$ مرّة، تحت تأثير القوّة نفسها.

معروف أن العظم مادّة غير متّسقة؛ وبالتالي يختلف مُعامِل يونج تبعًا لقوى الانضغاط والشدّ، والقوى الجانبيّة (القصّ). يبيّن **الشكل 6-26** أنّ قيم مُعامِل يونج للمرونة E تتغيّر تبعًا لزاوية القوّة المؤثّرة.

يعطي اختبار الشدّ المجهريّ للعظم الإسفنجيّ مُعامِل يونج مقداره 10.4 GPa، في حين يعطي للعظم الكثيف 18.6 GPa.

وتشكّل كثافة المعادن المعيار الأكثر موثوقيّة لمتانة العظم. فَمَعَ نقصان كثافة المعادن، تنقص متانة العظم أيضًا. وتشكّل ممارسة التمارين الرياضيّة المنتظَمة، والغذاء المتوازِن طريقتين للحفاظ على سلامة العظام. ومع تقدّمنا في السنّ، نفقد الكثافة المعدنيّة، وما يمكننا القيام به بسهولة في سنّ الشّباب، قد لا يكون آمنًا عندما نكون أكبر سنًّا.



الشكل 6-26 مُعامِل يونج لمرونة العظم E مع قوى مؤثِّرة بزوايا مختلفة.

www.jnob-jo.com

نشاط عملي

a2-6 كمّية الكالسيوم في العظام

سؤال الاستقصاء	كيف يسهم الكالسيوم في متانة العظام؟
الموادّ المطلوبة	عظام دجاج نظيفة، خلّ، مرطبان مع غطاء.

يستقصي الطلّاب، ضمن مجموعات صغيرة، مُعامِل يونج لعظام الدجاج، ويقارنونه بموادّ أخرى دُرِست من قبل. ثمّ يغمرون عظام الدجاج كلّه في الخلّ مدّة أسبوع، لملاحظة تأثيرات إزالة الكالسيوم من العظام.

الخطوات

1. ابدأ بالعمل على كثير من عظام الدجاج النظيفة. اختر العظام المتماثلة في الحجم والطول.
2. حاول إجراء اختبار متانة من ثلاث نقاط على عظم واحد. ضع قيمة متانة نسبيّة للعظم. لا تكسر العظم.
3. اغمر العظم في مرطبان الخلّ. أغلق غطاء المرطبان، وضعه جانبًا.
4. انتظر أسبوعًا واحدًا.
5. أخرج العظم، ونظّفه، وأعد اختبار متانة النقاط الثلاث.
6. سجّل ملاحظاتك.

الأسئلة والتّحليل

a. ما الفرق الذي لاحظته في متانة العظم النسبيّة؟

b. الخلّ حمض ضعيف، لكنّه قويّ بما يكفي لإذابة الكالسيوم من العظم.

c. ما الدّور الذي قام به الكالسيوم في متانة العظم؟

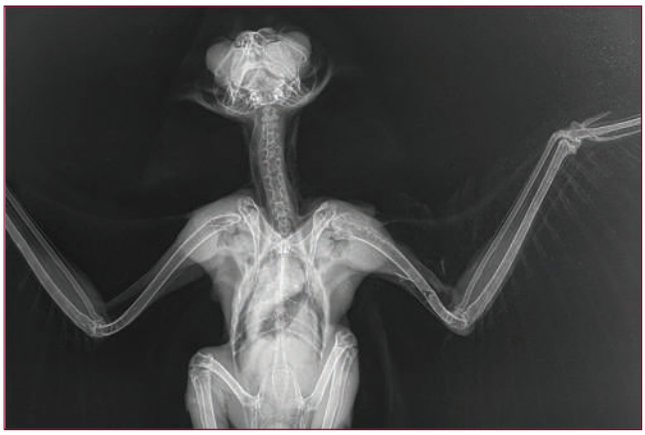
d. حاول ابتكار طريقة لقياس كمّيّة الكالسيوم التي كانت موجودة أصلًا في عظم الدجاج.

- زِنْ عظم الدجاج.
- اسحب العظم من الخل، ودعّه ليجفّ تمامًا.
- زِنْ عظم الدجاج مرّة أخرى.
- جرّب إن كان يمكنك كشف الاختلاف في الوزن.

www.jnob-jo.com

نسبة المتانة إلى الكتلة

على الرغم من أنّ عظامَ الطائر الذي يطير هي عظام جوفاءُ، فإنّها لا تجعله أخفّ كتلة. حقيقة الأمر أن كتلة الهيكل العظميّ للطائر (**الشكل 6-27**) هي الكتلة نفسها لهيكل عظميّ في حيوان ثدييّ بالحجم نفسه. ونتيجة لتركيز العظم القشري على السطح الخارجيّ للعظم، يكون للطائر عظم أقوى قياسًا على الكتلة نفسها. تسمح هذه الميزة للطّائر بتركيز مزيد من القوّة على الجناحين، ما يسمح له بالطّيران. الخفافيش أيضًا تتّصف بهذه الميزة.



الشكل 6-27 صورة أشعة سينيّة لهيكل عظميّ لطائر.

الشكل 6-28 طائرة خفيفة جدًّا مع دعامات قويّة، لكنّها جوفاء.

تُعدّ نسبة المتانة إلى الكتلة متغيّرًا آخر يجب أن يُؤخذ في الحسبان عند بناء أيّ هيكل. وهذا المتغيِّر مهمّ جدًّا إذا كان الهدف أن يطير ذلك الهيكل. من الطائرة الخفيفة جدًّا (**الشكل 6-28**)، إلى الطائرة التجاريّة الكبيرة، القصد هو الحصول على أعلى متانة لأقلّ مقدار من الكتلة.

عند التفكير في بديل للعظم البشريّ، فإنّ متغيّرًا إضافيًّا يجب تفحّصه، ألا وهو الشكل. ذلك أن المقطع العرضي لعظم الفخذ مستدير، في حين أن المقطع العرضيّ لعظم الساق (القصبة tibia) مثلّث. يقوم الشكلِ بدور مهمّ عند النظر في الوظيفة المطلوبة من ذلك الطرف.

عند النظر إلى الهياكل الكبيرة، لا نتوقّف فحسب عند الموادّ الّتي تتألف منها الدعامات، رغم أهميتها، بل عند الشكل الذي تنتجه تلك الدّعامات. للمثلّث بعض الميزات الهيكليّة المثيرة للاهتمام (**الشكل 6-29**)، إضافة إلى بساطة استخدام ثلاث دعامات بدلًا من أربع.

يسهم شكل الهياكل المجهريّة داخل العظم في متانته ومرونته.

الشكل 6-29 دعامات مستديرة تشكّل مثلثات تركيبية في مبنى.

www.jnob-jo.com

نشاط عملي

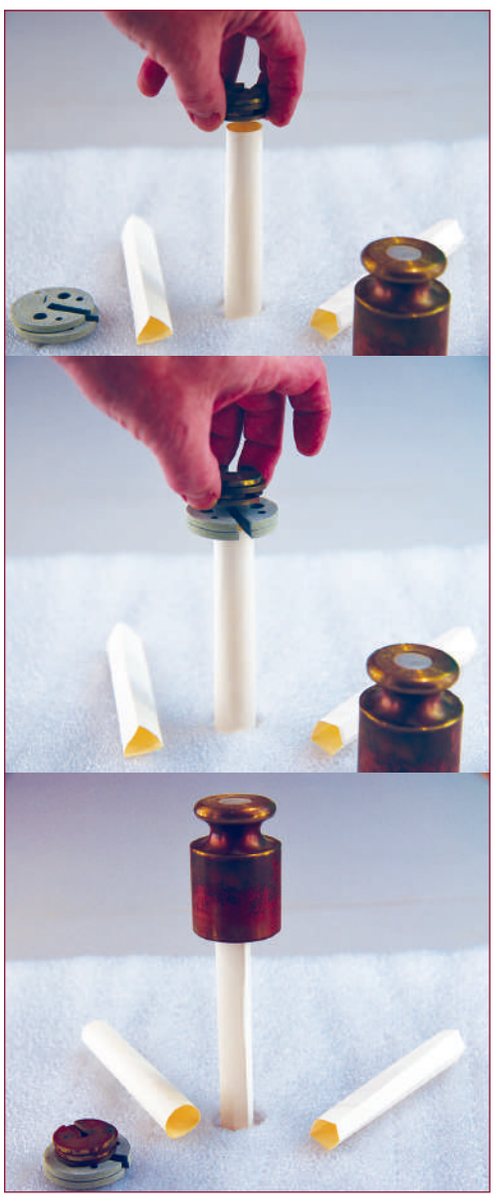
b2-6 تصميم العظام

سؤال الاستقصاء	كيف يسهم الشكل في متانة العظم؟
الموادّ المطلوبة	بطاقات فهرسة (بطاقات ملاحظات)، شريط لاصق، أوزان، حصيرة واقية.

يبحث الطلاب، ضمن مجموعات ثنائيّة، في تركيب عظام الإنسان.

الخطوات

1. استخدم بطاقات الفهرسة لتكوّن بعناية أشكالًا مختلفة تمثّل تركيب العظام: منها المستدير، ومنها المثلّث، فضلًا عن أشكال أخرى.
2. استخدم شريطًا لاصقًا لإلصاق البطاقات بعضها ببعض. لكن لا تستخدم كثيرًا من الشّريط، لئلّا يصبح جزءًا من متانة الهيكل.
3. غطّ بالستيروفوم أو بقطعة قماش منطقة الاختبار. فأنت تختبر درجة الهدم، ولا تريد سقوط الأوزان على سطح الطاولة فتتلفه.
4. ضع هياكل منفردة على الطاولة. وأضف بحرصٍ الأوزان (**الشكل 6-30**). تأكّد من موازنة الأوزان قبل أن تسمح للوزن الكلّيّ بالاستقرار على الهيكل.
5. استمر في إضافة الأوزان حتى تنحني بطاقتك. سجّل الوزن الكلّيّ الذي حمله الشكل.
6. كرّر الأمر مع أشكال أخرى.



الشكل 6-30 اختبار انضغاط الهيكل.

الأسئلة والتحليل

a. ما الشكل الذي كان قادرًا على تحمّل أكبر قوّة انضغاطية؟

b. بمجرّد انحناء الشكل، لن يعود قادرًا على دعم حتّى أقلّ الأوزان. ما سبب صحّة ذلك؟

c. ما مدى أهميّة بناء الأشكال الأصليّة بعناية؟

d. ما مدى أهميّة الشكل لمتانة العظام؟

www.jnob-jo.com

تاريخ الأعضاء الاصطناعيّة

يتمتّع علم صناعة **أجزاء الجسم الاصطناعيّة Prosthetics**، بتاريخ طويل. وربّما كانت الأسنان الاصطناعيّة هي الأعضاء الاصطناعيّة الأكثر شيوعًا. يُعدّ الزّهراوي أعظم جراح في العصور الوسطى، وتُنسب إليه أول محاولة لإصلاح سنّ مفقودة، عن طريق إعادة زرع سنّ من متبرّع. ظل استخدام الأسنان الاصطناعية أمرًا غير ممكن حتى العام 1965، عندما تم بنجاح صهر التيتانيوم مع نسيج العظم، لتصبح الأسنان الاصطناعيّة حقيقة. فقد زُرع عمود تيتانيوم **(الشكل 6-31)** في عظم الفكّ. ومع مرور الوقت، نمت أنسجة عظميَّة حيّة حول العمود ليصبح لاحقًا جزءًا من الفكّ. وقد اختيرت موادّ مع مُعامِل يونج مناسب، لتطابق 18 GPa للفكّ، بما يضمن توزيعًا متّسقًا للإجهاد. إن متانة الشد والانضغاط مهمة جدًّا. وبينما تُواصِل السبائك المعدنيّة تلبية تلك المتطلّبات، تبقى زرعات الخزف، وكذلك الزركونيا الأكثر شيوعًا.

الشكل 6-31 زراعة أسنان.

وفي الوقت الذي لا تزال فيه البحوث جارية لمحاكاة طبيعة العظم المتعدّدة الجوانب، تجري محاولات لجعل الأطراف الاصطناعيّة الحديثة تحاكي وظيفة الأجزاء المفقودة أو التالفة. وقد كان للجانب الجماليّ في نظر كثير من الناس عبر التاريخ أهميّة خاصة، إذ رغبوا في أطراف اصطناعيّة تماثل في مظهرها مظهر الطرف المفقود. لذلك من الجيّد أن تتمّ هندسة جسم الإنسان لتزويده بقدم تماثل تقريبًا في وظيفتها ومظهرها القدم الطبيعيّة.

الشكل 6-32 قدم اصطناعية من ألياف الكربون مع غطاء.

ومع 26 عظمًا مختلفًا في قدم الإنسان الطبيعيّة، يمكن للعضو الاصطناعيّ فقط مقاربة الوظيفة. ذلك أن القدم الاصطناعيّة الحديثة لديها كعب ماص للطاقة شافية تقلّل من تأثير المشي، وباطن قدم يخزن قليلًا من الطاقة التي تعطي دفعة صغيرة للخطوة اللاحقة **(الشكل 6-32)**. يمكن تغطية تلك القدم بغطاء مرن يسمح لمستخدمها بانتعال أحذية تقليديّة، وتتيح له مِشْيَة طبيعيّة. وبالجمع بين الساق الاصطناعيّة **(الشكل 6-33)**، ومَفْصِل الركبة، فإنّ ما كان سابقًا يشكّل إصابة موهنة، أصبح ببساطة جزءًا من روتين الحياة اليوميّ.

الشكل 6-33 ساق اصطناعية.

www.jnob-jo.com

التقدّم في صناعة الأعضاء الاصطناعيّة

منذ القِدَم، كان هناك أشخاص يهتمّون بالأداء على حساب المظهر. فعندما كان الجندي يفقد يده في المعركة، كان يُطلَب إلى صانع الأسلحة تزويده بأيّ شيء يتيح له حمل درعه والمناورة به. وتماشيًا مع التزام الأداء، اكتشف المتسابقون النخبة أنّ ألياف الكربون المعزّزة بالبوليمر تتّصف بصلابة كافية، وبنسبة متانة إلى الكتلة عالية، تكفي لمحاكاة تخزين الطاقة في العضلات، والأوتار، وتركيب عظام الساق، والكاحل، والقدم. وهكذا، فإن الطرف الاصطناعيّ (المجذافيّ الشكل) الظاهر في **الشكل 34-6** الذي لا يبدو كالسّاق أو القدم، يسمح بالمنافسة على المستوى العالميّ، لمن يفتقدون ساقًا واحدة أو ساقين.

الشكل 34-6 الطرف الاصطناعيّ (المجذافيّ) لمنافسات الجري والقفز.

تسمح الموادّ الجديدة المُنتَجة من خلال الطباعة الثلاثيّة الأبعاد (3D) بالتقدّم على صعيد أجهزة الأعضاء الاصطناعيّة. لكنّها تواجه مشكلة بسيطة في التغذية الراجعة. فقد ترى الجهاز لكنك لا تستطيع أن تشعر به كما لو كنت تمتلك يدًا طبيعيّة. ومع التقدّم في تكنولوجيا الحاسوب، يجري تطوير نظام تغذية راجعة عصبيّة يسمح للمستخدمين بالسيطرة على الطرف الاصطناعيّ، والإحساس باللمس **(الشكل 35-6)** عبر استخدام المُستقبِلات العصبيّة في الدماغ.

الشكل 35-6 حركة بسيطة لأنظمة التغذية الراجعة مع الواقع الافتراضيّ.

www.jnob-jo.com

تقويم الدرس 6-2

1. ما البروتين الذي يكوّن معظم نسيج العظم؟
   a. الكثيف
   b. الكولاجين
   c. الإسفنجيّ
   d. هيدروكسي الأباتيت
2. ما تركيب العظم الأكثر كثافة؟
   a. القشري
   b. الكولاجين
   c. الإسفنجيّ
   d. هيدروكسي الأباتيت.
3. ما مرض العظام الذي يسبّبه تدخين التبغ؟
   a. الخلايا العظميَّة.
   b. الخلايا البانية للعظام.
   c. الخلايا الهادمة للعظام.
   d. هشاشة العظام.
4. ما سبب المرونة الفائقة للهيكل في سمك القرش؟
5. ما الفرق الرئيس بين تركيب العظمين: الإسفنجيّ، والقشري؟
6. ما المشكلات التي تنشأ لدى العمل على محاكاة نسيج عظم الإنسان، ولا تنشأ لدى العمل على تحديد أفضل المواد لصنع معقّد؟
7. عظم الفكّ هو العظم الأمتن في الجسم. اشرح ضرورة ذلك.
8. يكون العظم أمتن إذا طُبِّقت عليه قوّة في اتجاه مواز له، ويكون أضعف إذا طُبِّقت عليه قوّة متعامدة معه. اشرح كيف يمكن لعظم ثلاثيّ الشكل، مثل الساق، أن يعطي العظم ميزة في المتانة.

www.jnob-jo.com

العلم والعلماء

علي حسن نايفة 1933- 2017

الشكل 6-36 الدكتور علي حسن نايفة.

وُلد الدكتور نايفة من أبوين فلسطينيّين فقيرين في طولكرم بالضفّة الغربيّة (**الشكل 6-36**). واصل تعليمه ليصبح عالِمًا متميزًا، وأستاذًا في الرياضيّات، وفي مجالات أخرى، منها الديناميكيّات الهيكليّة، المجال الذي يبحث في سلوك الموادّ تحت تأثير قوى إجهاد الشدّ في الحالتين الخطّيّة وغير الخطّيّة.

على الرغم من أنّ والدَيْه أميَّان، فإنهما شجّعاه على متابعة كثير من الفرص التعليميّة التي كانت متاحة له. وفي أثناء عمله مدرِّسًا للرياضيات في فلسطين، حاز منحة للدراسة في جامعة ستانفورد بالولايات المتّحدة، حيث نال منها درجة الدكتوراه عام 1964.

وبينما كان يتابع دراسته العليا، طلب إليه صديق له المساعدة في حل مشكلة ديناميكيّات السفن (**الشكل 6-37**). أصبح علي نايفة مفتونًا بالمشكلة، وبكيفية تطبيق الرياضيات والفيزياء لحلّها. وواصل كتاباته لتصل إلى أكثر من أربعمئة مقالة، وعشرة كتب عن التقدّم في ديناميكيّات الموائع، والديناميكا الهوائيّة، والصوتيّات، والديناميكا المائيّة، وسواها من الموضوعات ذات الصلة. كانت رؤيته لكيفيّة البحث عن الاستقرار بخصوص ما يبدو عشوائيًّا قد وجدت تطبيقات لها في تصميمات هيكليّة كثيرة، منها المركبات الفضائيّة.

وتقديرًا لأعماله، حصل نايفة على ميدالية بنجامين فرانكلين في الهندسة الميكانيكيّة عام 2014، مضيفًا اسمه إلى قائمة مشاهير علماء، تضمّ ألبرت أينشتاين، وتوماس أديسون، وماري وبيير كوري.

ما بين العامين 1980 و 1984، أسّس نايفة كلّيّة الهندسة في جامعة اليرموك، التي تبعد نحو سبعين كيلومترًا شمال العاصمة الأردنية عمّان. وكان خبيرًا في مجال تقنيّات الاضطّراب (مجال أسهم في تأسيسه) لحلّ مشكلات معقّدة، عن طريق تجزئتها إلى مشكلات أصغر قابلة للحل. شارك في مؤتمرات دوليّة. ويعود إليه فضل التأثير في حياة آلاف الناس نتيجة أعماله.

الشكل 6-37 فُهمت حركة الفوضى بوساطة تقنيّات الاضطراب.

www.jnob-jo.com

الوحدة 6

مراجعة الوحدة

الدرس 6-1: القوى في الموادّ

- يكون الجسم في حالة **انضغاط Compression** عندما تُطبَّق عليه قوّة لتجعله أصغر، في حين يكون في حالة **شد Tension** عندما يتمدّد بِفِعْلِ القوّة المطبَّقة عليه.
- ينصّ قانون هوك على أنّ القوّة التي يطبقّها نابض هي: (-1)□(ثابت النابض k)□(التشوّه x).
- يصف **ثابت النابض Spring constant** مقدار القوّة المطبَّقة لاستطالة النابض لكلّ وحدة من وحدات الطول.
- **المادة المرنة Elastic material** تنحني لتستعيد شكلها الأصلي، وتميل الموادّ **الهشّة brittle** إلى الانكسار قبل الانحناء.
- **إجهاد الشدّ Stress** هو نسبة القوّة مقسومة على مساحة المقطع العرضيّ، **وانفعال الشد strain** هو مقدار التغيُّر في الطول مقسومًا على الطول الابتدائيّ.
- تربط **الأربطة Ligaments** المفاصل بعضها ببعض، في حين تربط **الأوتار Tendons** العضلات بالعظام.
- **مُعامِل يونغ Young's modulus** هو نسبة إجهاد الشدّ مقسومًا على انفعال الشدّ، ويصف صلادة المادّة.
- **المادّة المتينة Strong material** يمكنها أن تتحمَّل إجهاد شدّ أكبر قبل أن تنكسر.
- **المادّة الصلدة Stiff material** تتعرّض لتغيُّر أقل بتأثير الشدّ.**المادّة الصلبة Hard material** لا تنخدش بسهولة.**الجسم الليِّن Flexible body**يمكنه الانحناء أو الثني بدون أن ينكسر.

الدرس 6-2: عظام الإنسان

- **الكولاجين Collagen** بروتين، ومكوّن أساسي للعظام.
- **هيدروكسي الأباتيت Hydroxyapatite** مركّب يحتوي على الكالسيوم والبوتاسيوم، ويمنح العظام متانتها.
- **الخلايا العظميّة Osteocytes** هي خلايا العظام الحيّة.
- العظام فيها مناطق مختلفة، منها **العظم الإسفنجيّ (التربيقي Trabecular) والعظم القشريّ Cortical الصّلب**.
- يبني جسمك كتلة العظام بوساطة خلايا تسمّى **خلايا بانية للعظام Osteoblasts**. ويمكن إعادة امتصاص المعادن من العظام بوساطة خلايا أخرى تسمّى **الخلايا العظميّة الهادمة Osteoclasts**.
- يبلغ مُعامِل يونغ للعظام نحو 1,700 MPa مقارنة بـ 200,000 MPa للفولاذ و 11,000 MPa للبلّوط.
- **Prosthetics** هو **علم صناعة أجزاء اصطناعيّة للجسم**، بما في ذلك استبدال العظام والمفاصل.

www.jnob-jo.com

اختيار من متعدِّد

1. أيٌّ من المصطلحات التالية توصيفٌ لنسبة التغيّر في طول جسم إلى طوله الأصليّ عند انضغاطه؟

   a. الانفعال
   b. الإجهاد.
   c. التشوّه المرن.
   d. مُعامِل المرونة.

2. أيٌّ مما يأتي أفضل توصيف للرباط؟

   a. الجزء الأكثر قساوة من العظام القريب من المفصل.
   b. الموصِّل بين العظام والعضلات.
   c. مادّة تشبه النابض يتشكّل منها الهيكل العظمي لأسماك القرش.
   d. هيكل صلب، ولكنّه مرن، يربط المفاصل بعضها ببعض.

3. ماذا يُسمّى مقياس القوّة المطبّقة على مساحة مقطع عرضي لجسم؟

   a. انفعال الشدّ.
   b. إجهاد الشدّ.
   c. التشوّه المرن.
   d. مُعامِل المرونة.

4. ماذا يُسمّى ميل خط الرسم البيانيّ للقوّة مقابل التشوّه لنابض؟

   a. قانون هوك.
   b. ثابت النابض.
   c. متانة الموادّ.
   d. قوة الشدّ.

5. تُطَبَّقُ قوّة مقدارها 200 N على نابض، ثابته 4000 N /m، في اتّجاه تمدّده. ما مقدار تشوُّه النابض؟

   a. 0.02 m
   b. 0.05 m
   c. 0.5 m
   d. 20 m

6. أيّ نوع من الموادّ لديه ميل إلى الكسر، وتشوّه قليل جدًّا؟

   a. المعدني
   b. الهشّ
   c. القابل للسحب.
   d. المتصدِّع

www.jnob-jo.com

7. إذا طُبِّقَتْ قوّة مقدارها 100 N من خلال حبل له مقطع عرضيّ $0.1 m^2$ ما قيمة إجهاد الشدّ الذي يُنتجه؟

a. 10 Pa
b. 100 Pa
c. 1000 Pa
d. 10000 Pa

8. حبل طوله 25 m، إذا عُلِّقَتْ به حمولة تنتج انفعال شدّ مقداره 5 %، ما مقدار الزيادة في طول الحبل؟

a. 0.05 m
b. 0.5 m
c. 1.25 m
d. 12.5 m

9. ما جزء نسيج العظم الذي يمنحه قوّته؟

a. القشريّ
b. الكولاجين
c. الإسفنجيّ الحجيريّ.
d. هيدروكسي أباتيت.

10. ما جزء نسيج العظام الذي يمنحه مرونته؟

a. القشريّ
b. الكولاجين
c. الإسفنجيّ الحجيريّ.
d. هيدروكسي الأباتيت.

11. ما خلايا العظام المسؤولة عن ترسيب المعادن على الكولاجين ؟

a. الخلايا العظميّة.
b. الخلايا البانية للعظام.
c. الخلايا الهادمة للعظام.
d. هشاشة العظام.

12. ما مقدار مُعامِل يونغ قضيب مطاطيّ مربّع الشكل مقطعه العرضيّ إذا تمدَّد 10 % بتطبيق قوّة عليه مقدارها 100 N؟ مساحة المقطع العرضي تساوي $0.1m^2$.

a. 100 Pa
b. 1000 Pa
c. 10000 Pa
d. 100000 Pa

www.jnob-jo.com

الدرس 6-1: القوى في الموادّ

13. اذكر مثالًا على قوّة الانضغاط.

14. اذكر مثالًا على قوّة الشدّ.

15. انظر إلى يدك التي تحمل جهازًا. أيّ جزء من يدك يكون في حالة انضغاط؟

16. كيف تحسب الثابت المجهول لنابض؟ صِفِ المعدّات التي تحتاج إليها، والبيانات التي ستعرضها.

17. ما هو ثابت نابض قوّة الشد فيه مقدارها 56 N، إذا تمدّد مسافة 0.16 m؟

18. ما مقدار انضغاط نظام الفرامل الأمامية الذي يحتوي على نابض بثابت مقداره 50000 N/m، عندما يضغط راكب الدراجة عليه بقوّة 1500 N؟

19. لماذا يقاس إجهاد الشدّ بوحدات الضغط (Pa) نفسها؟ في أثناء محاولة لتعليق كتلة بخيط طويل، ينكسر النابض على نحو متكرّر. إذا استخدمنا خيطًا أقصر، فهل يمنعه ذلك من الكسر؟

20. خلال إجراء تجربة، سجّل زميلك في المختبر انفعال الشدّ باستخدام وحدات cm. هل كان استخدام زميلك لتلك الوحدات صحيحًا؟

21. ما مقدار استطالة نابض ثابته 100 N/m، كي يحمل صندوقًا وزنه 22 N؟

22. ما مقدار ثابت نابض يطبِّق قوّة مقدارها 56 N، عندما يتمدّد مسافة 0.16 m؟

23. ما مقدار القوّة اللازمة لتوليد إجهاد شدّ مقداره 100,000 Pa، في حبل مساحة مقطعه العرضيّ تساوي $0.002\ m^2$؟

24. ما إجهاد الشدّ في عظم فخذ فيل وزنه 55000N ؟ قطر عظم فخذ الفيل يساوي 25 cm.

25. مادّة متجانسة طولها 3.00 cm، خاضعة لانفعال شدّ عليها مقداره 15.0 %. ما الطول الذي ستصبح عليه هذه المادّة عند قيمة انفعال الشدّ هذه؟

26. عيّنة من الألمنيوم شكل مقطعها العرضي مستطيل بُعداه 21.3 mm □ 16.8 mm، سُحبت بشدّ قوته 36,750 N. احسب الشدّ الناتج إذا كان مُعامِل المرونة لعيّنة الألمنيوم 70 GPa.

www.jnob-jo.com

الدرس 6-2: عظام الإنسان

27. وتر قطره 1 cm، يحمل قوّة مقدارها 250 N. يبلغ طول الوتر 5 cm:

a. احسب إجهاد الشدّ في الوتر.

b. احسب مُعامِل يونغ للوتر إذا كان الوتر يستطيع أن يتمدّد مسافة 0.2 cm بتطبيق هذه القوّة عليه.

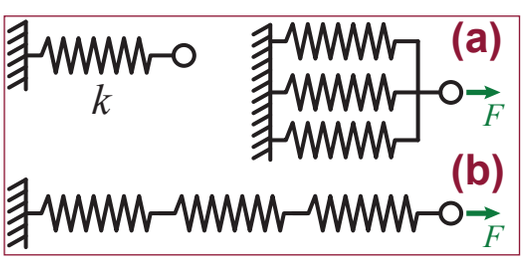
c. يمكن أن تتمزَّق الاوتار وتُصاب بجروح إذا تجاوز إجهاد الشد فيها 20,000,000 Pa. هل مقدار الحمل الذي وُصِفَ سابقًا يسبّب جروحًا للوتر؟

28. حبل طوله 10 أمتار، تبلغ مساحة مقطعه العرضيّ $0.0005\ m^2$. صُنِعَ الحبل من مواد ذات معامل يونغ يساوي 2,000 MPa (2×10^9Pa). طُبِّقَتْ قوّة شدّ على الحبل مقدارها 1000 N:

a. احسب إجهاد الشدّ في الحبل.

b. احسب انفعال الشدّ في الحبل.

c. ما مقدار تمدّد الحبل بالأمتار؟



29. نابض له ثابت k. ما قيمة ثابت النابض المكافئ في كل من الحالتين (a وb) كما في الشكل المقابل؟

30. كيف يُوَزَّعُ هيدروكسي الأباتيت على الكولاجين؟ ولماذا يعتقد العلماء أنّ هذا هو سرّ متانة العظم؟

31. صِفِ الغرضَ لكلٍّ من الخلايا البانية للعظم والخلايا الهادمة للعظم في تطوّر أنسجة العظم. واشرح لماذا تُعَدُّ هذه العمليّة هي الوحيدة التي يُعْزَى إليها سبب نموّ العظم.

32. ما هو الأكثر موثوقيّة عند تحديد قوّة العظام؟

33. صِفْ كيف تعطي نسبة المتانة إلى الكتلة ميزة للطيور تساعدها على الطيران.

34. كيف يختلف الطرف الاصطناعيّ عن زراعة العظام، مثل: زراعة الأسنان أو الورك الاصطناعيّ؟

35. ما المتغيّرات التي ينبغي مراعاتها عند اختيار موادّ لطرف اصطناعيّ؟

www.jnob-jo.com

الشكر والتقدير

يتقدّم المؤلّفون والناشرون بجزيل الشكر إلى السادة الآتي ذكرهم، لسماحهم باستخدام ملكياتهم الفكرية، وبوافر الامتنان لموافقتهم على نشر الصور.

Egoreichenkov Evgenii/Shutterstock; Doug McLean/Shutterstock; Alexander Gatsenko/ Shutterstock; ARTSIOM ZAVADSKI/shutterstock; rumruay/Shutterstock; Fouad A. Saad/Shutterstock; Rugged Studio/Shutterstock; Rvector/Shutterstock; Menno van der Haven/Shutterstock; Maxim Gaigul/ Shutterstock; Iri-s/Shutterstock; springsky/Shutterstock; Meggi/Shutterstock; Jo Theera/Shutterstock; Dmitry_Kosarev/Shutterstock; Shiyan Sergiy/Shutterstock; MicroOne/Shutterstock; Macrovector/ Shutterstock; robuart/Shutterstock; Vector FX/Shutterstock; T VECTOR ICONS/Shutterstock; Krafted/ Shutterstock; Serorion/Shutterstock; Prachaya Roekdeethaweesab/Shutterstock; vectorisland/ Shutterstock; LWY Partnership/Shutterstock; Anatolir/Shutterstock; BigMouse/Shutterstock; yoojiwhan/ Shutterstock; Ton Snoei/Shutterstock; CreateCamera/Shutterstock; Anton Starikov/Shutterstock; Liudmila Savushkina/Shutterstock; e X p o s e/Shutterstock; Ariyaporn chumkong/Shutterstock; Piart/ Shutterstock; darsi/Shutterstock; RayPics/Shutterstock; Billion Photos/Shutterstock; Wstockstudio/ Shutterstock; Sicco Hesselmans/Shutterstock; Tanakax3/Shutterstock; cobalt88/Shutterstock; Raman Shytsik/Shutterstock; John Mackintosh/Shutterstock; Timothy Hodgkinson/Shutterstock; Serorion/ Shutterstock; Jan Babak/Shutterstock; Winai Tepsuttinun/Shutterstock; ParabolStudio/Shutterstock; Andrei Nekrassov/Shutterstock; Dmitry S. Gordienko/Shutterstock; Monika Wisniewska /Shutterstock; Joel Everard /Shutterstock, Monika Wisniewska /Shutterstock; Joel Everard /Shutterstock; Naeblys / Shutterstock; bicubic /Shutterstock; samray /Shutterstock; VectorMine /Shutterstock; OSweetNature / Shutterstock; Dietrich Leppert /Shutterstock; Fouad A. Saad /Shutterstock; BINK0NTAN /Shutterstock; mTaira /Shutterstock; ghost design /Shutterstock; Doroniuk Anastasiia /Shutterstock; corbac40 / Shutterstock; austinding /Shutterstock; Andrea Danti /Shutterstock; inigocia/Shutterstock; vchal/ Shutterstock; tinkivinki/Shutterstock; Naypong Studio/Shutterstock; Lukasz Janyst /Shutterstock; John D Sirlin /Shutterstock; Walkabout Photo Guides /Shutterstock; Eugene R Thieszen /Shutterstock; Huntstyle /Shutterstock; Justin Hobson /Shutterstock; Vladiczech /Shutterstock; NASA images / Shutterstock; Arshad876 /Shutterstock; mapichai/Shutterstock; Minerva Studio/Shutterstock; Belish/ Shutterstock; Christoph Burgstedt/Shutterstock; Mopic/Shutterstock; Peter Hermes Furian/Shutterstock; Nasky/Shutterstock; Draw Man/Shutterstock; Rainer Lesniewski/Shutterstock; Robert Adrian Hillman/ Shutterstock; Designua/Shutterstock; Alexander Lukatskiy/Shutterstock; giedre vaitekune/Shutterstock; Fuss Sergey/Shutterstock; Pat_Hastings/Shutterstock; Jakkapan Sookjaroen/Shutterstock; ghost design/Shutterstock; Andrei Kuzmik/Shutterstock; Ras Abu Fontas A3 plant; Purple Anvil/Shutterstock; Eric Iselee/Shutterstock; Martin Voeller/Shutterstock; Sebastian Kaulitzki/Shutterstock; Michiel de Wit /Shutterstock; Flegiere/Shutterstock; Steve Bower/Shutterstock; terekov igor/Shutterstock; Kimberly Hall/Shutterstock; Oleksandr_Delyk/Shutterstock; grzym/Shutterstock; Anton Starikof/ Shutterstock; marcinm111/Shutterstock; David Tonelson/Shutterstock; Ultrapek/Shutterstock; koosen/ Shutterstock; Ebtikar/Shutterstock; royaltystockphoto.com/Shutterstock; juan gartnear/Shutterstock; Daojah/Shutterstock; Catherine Eckhart/Shutterstock; Sebastian Kaulitzki/Shutterstock; Burdun Illiya/Shutterstock; Kateryna Kon/Shutterstock; Maxx-studia/Shutterstock; lightboxx/Shutterstock; gorodenkoff/Shutterstock; okskaz/Shutterstock; Mike Workman/Shutterstock; Miss E Media/ Shutterstock; Eric Agar/Shutterstock; IanRedding/Shutterstock; Aldona Griskeviciene/Shutterstock; Raland/Shutterstock; Okrasyuk/Shutterstock; Photomaster/Shutterstock; A7880S/Shutterstock; PhotocechCZ/Shutterstock; Rizik/Shutterstock; SunshineVector/Shutterstock; Lebendkulturen.de/Shutterstock; eranicle/Shutterstock; Bijanart/Shutterstock; JubalHarshaw/Shutterstock; Taiga/ Shutterstock; /Shutterstock; /Shutterstock; /Shutterstock; /Shutterstock; /Shutterstock;

www.jnob-jo.com