الفصل 48

الجهاز الهضمي
The Digestive System

موجز المفاهيم

48-1 أنواع أجهزة الهضم
- *الأجهزة الهضمية في اللافقريات هي أكياس أو أنابيب.*
- *الأجهزة الهضمية في الفقريات تحتوي على تراكيب مُتخصِّصة بحسب طبيعة الغذاء.*

48-2 الفم والأسنان: التقاط الغذاء ومُعالجة المقادير الكبيرة
- *تكيَّفت أسنان الفقريات بحسب طبيعة غذائها.*
- *الفم هو حجرة البلع وبداية الهضم.*

48-3 المريء والمعدة: بداية الهضم
- *الانقباضات العضلية في المريء تدفع الغذاء إلى المعدة.*
- *المعدة هي "محطَّة تجميع وتخزين" تحطّم الغذاء باستخدام الأحماض.*

48-4 الأمعاء الدَّقيقة: التَّحطيم (الهضم) والامتصاص
- *تركيب الأمعاء الدَّقيقة مُصمم لهضم المواد الغذائية وامتصاصها.*
- *تُفرز الأعضاء المُساعدة (الغُدد المُلحقة) الأنزيمات في الأمعاء الدَّقيقة.*
- *تذهب المواد الغذائية المُمتصة إلى الشُّعيرات الدَّموية أو الشعيرات الليمفية.*

مقدّمة

تستطيع النباتات والمخلوقات الحية الأخرى القادرة على عمل البناء الضوئي إنتاج الجُزيئات العضوية التي تحتاج إليها من مركبات غير عضوية. لهذا، تُدعى مخلوقات ذاتية التَّغذية، أو ذاتية الإمداد. تُعدّ الحيوانات، مثل السنجاب الأمريكي الظاهر في الصورة، مخلوقات غير ذاتية التَّغذية: يجب على هذه المخلوقات أن تستهلك الجزيئات العضوية الموجودة في مخلوقات حية أخرى. ويجب على الجزيئات التي تتغذى عليها المخلوقات غير ذاتية التَّغذية أن تكون قابلة للهضم إلى جزيئات صغيرة؛ لكي تتمكن هذه المخلوقات من امتصاصها إلى داخل أجسامها. عندما تدخل نواتج الهضم إلى داخل الجسم، يستخدمها المخلوق لإنتاج الطاقة من خلال عملية التَّنفس الخلوي، أو تُستخدم لبناء جزيئات كبيرة تُشكل أنسجته. في هذا الفصل، سيتمُّ التركيز على عملية الهضم في الحيوانات.

48-5 الأمعاء الغليظة: التَّخلُّص من الفضلات

48-6 الاختلافات في الجهاز الهضمي للفقريات
- *المُجترات تُعيد مضغ الغذاء المُجّتر.*
- *تمتلك آكلات الأعشاب الأخرى إستراتيجية بديلةً للهضم.*

48-7 التَّنظيم العصبي والهرموني للجهاز الهضمي

48-8 وظائف الأعضاء المُساعدة (الغُدد المُلحقة)
- *يُعدِّل الكبد بعض المواد الكيميائية للحفاظ على الاتزان الدَّاخلي.*
- *المُحافظة على تركيز جلوكوز الدَّم بفعل الأنسولين والجلوكاجون.*

48-9 طاقة الغذاء، وإنفاق الطَّاقة، والمواد الغذائية الضرورية
- *الإجهاد يزيد من مُعدَّل الأيض.*
- *تناول الغذاء يتحكم فيه الجهاز العصبي والغُدد الصّماء.*
- *المواد الغذائية الأساسية هي الأغذية التي لا يستطيع الجسم تصنيعها.*

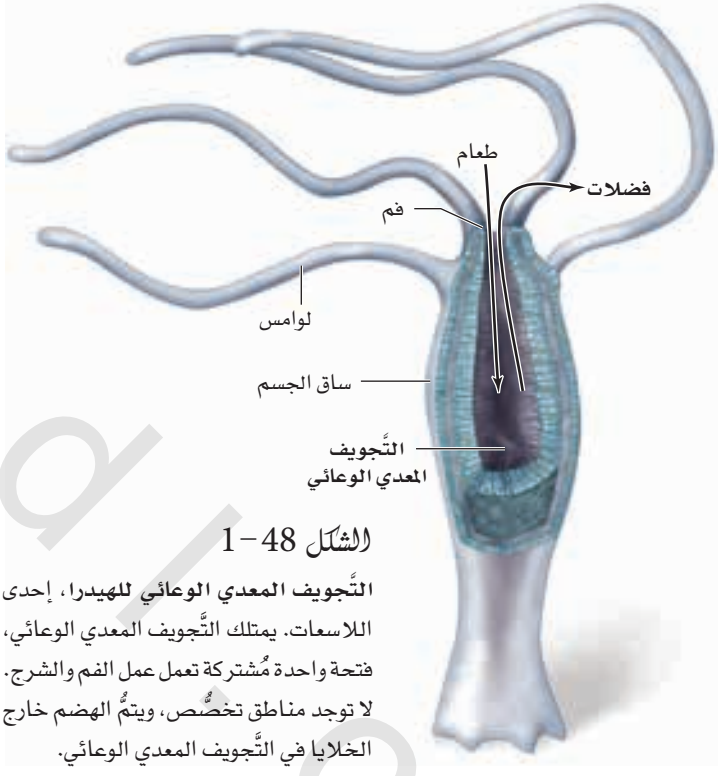
openkatori.com

1-48 أنواع أجهزة الهضم

تُقسَّم المخلوقات غير ذاتية التَّغذية إلى ثلاث مجموعات اعتمادًا على مصدر غذائها. تُسمّى الحيوانات التي تعتمد في غذائها على النباتات عاشبة التغذية أو **عواشب Herbivores**؛ ومن الأمثلة الشائعة عليها الحلزونات الآكلة للطّحالب، والحشرات الماصّة للعُصارة النَّباتية، والفقريات مثل الأبقار، والخيول، والأرانب، وعصافير الدَّوري. الحيوانات التي تعتمد في غذائها على حيوانات أخرى، مثل السَّلطعونات، والحبار، وكثير من الحشرات، والقطط، والنسور، وسمك السلمون المرقط، والضفادع، تُسمّى لاحمة التغذية أو **لواحم Carnivores**. أما الحيوانات التي تعتمد في غذائها على نباتات وحيوانات أُخرى، فتعد **خليطة التغذية Omnivores**. ومن الأمثلة عليها: الإنسان، والخنازير، والدّببة، والغربان.

الأجهزة الهضمية في اللافقريات هي أكياس أو أنابيب

تهضم المخلوقات وحيدة الخلية والإسفنجيات طعامها داخل الخلايا. وتهضم حيوانات أخرى متعددة الخلايا طعامها خارج الخلايا داخل تجويف هضمي. في هذه الحالة، تُطلق الأنزيمات الهاضمة إلى داخل تجويف يمتد إلى البيئة الخارجية للحيوان. في اللواسع والديدان المُفلطحة مثل البلاناريا، يمتلك التَّجويف الهضمي فتحة واحدة فقط تعمل عمل الفم والشرج (انظر الفصل الـ 33). لا يوجد تخصُّص في هذا النَّوع من الجهاز الهضمي، الذي يُسمّى التَّجويف المعدي الوعائي *Gastrovascular cavity*، حيث إنَّ كل خلية مُعرَّضة لمراحل هضم الغذاء جميعها (الشكل 48-1).



الشكل 48-1

التَّجويف المعدي الوعائي للهيدرا، إحدى اللاسعات. يمتلك التَّجويف المعدي الوعائي، فتحة واحدة مُشتركة تعمل عمل الفم والشرج. لا توجد مناطق تخصُّص، ويتمُّ الهضم خارج الخلايا في التَّجويف المعدي الوعائي.

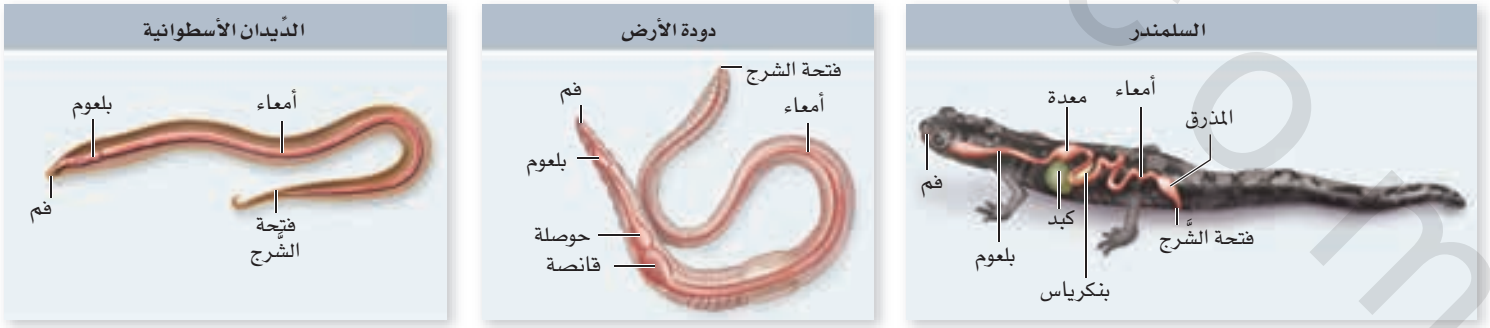
يحدث التَّخصص فقط عندما تمتلك القناة الهضمية فمًا وفتحة شرج مُنفصلتين، ولهذا يتحرك الغذاء في اتجاه واحد. إنَّ أكثر القنوات الهضمية بدائية تُلاحظ في الدِّيدان الأسطوانية (شعبة الديدان الأسطوانية)، حيثُ تكون القناة الهضمية على شكل أنبوب مُحاط بغشاء طلائي. تمتلك ديدان الأرض (شعبة الدِّيدان الحلقية) قناةً هضمية مُتخصِّصة في مناطق مُختلفة لابتلاع الغذاء، وتخزينه، وتجزئته، وهضمه، وامتصاصه. مُعظم المجموعات الحيوانية الأكثر تعقيدًا ومن ضمنها الفقريات جميعها، لها تخصُّصات مُماثلة (الشكل 48-2).

إنَّ الغذاء المهضوم يُمكن أن يُخزَّن في أماكن مُتخصّصة في القناة الهضمية، أو أن يتعرَّض في البداية إلى تجزئة فيزيائية. تحصل عملية التَّجزئة من خلال عملية المضغ باستخدام الأسنان (تُوجد في فم كثير من الفقريات) أو يُطحن الغذاء عن طريق الحصى (في القانصة لديدان الأرض والطيور). بعد ذلك، يتمُّ الهضم الكيميائي، بحيث تُحطَّم جزيئات الغذاء الكبيرة مثل السكريات المُتعدِّدة وثنائية التَّسكر، والدُّهون، والبروتينات إلى تحت وحدات بنائية صغيرة.

يتضمَّن الهضم الكيميائي تفاعلات التَّحلُّل المائي التي تُحرر تحت الوحدات البنائية- في المقام الأول إلى سكريات أحادية التَّسكر، وأحماض أمينية، وأحماض دُهنية - من الغذاء. تمرُّ نواتج الهضم الكيميائي هذه عبر النَّسيج الطلائي المُبطِّن للقناة الهضمية إلى الدَّم، في عملية تُسمّى الامتصاص *Absorption*. لا يستطيع الحيوان استخدام ما تبقى من جزيئات الغذاء التي لم يحدث لها امتصاص. فهذه الفضلات يتمُّ إخراجها على شكل براز من خلال فتحة الشَّرج.

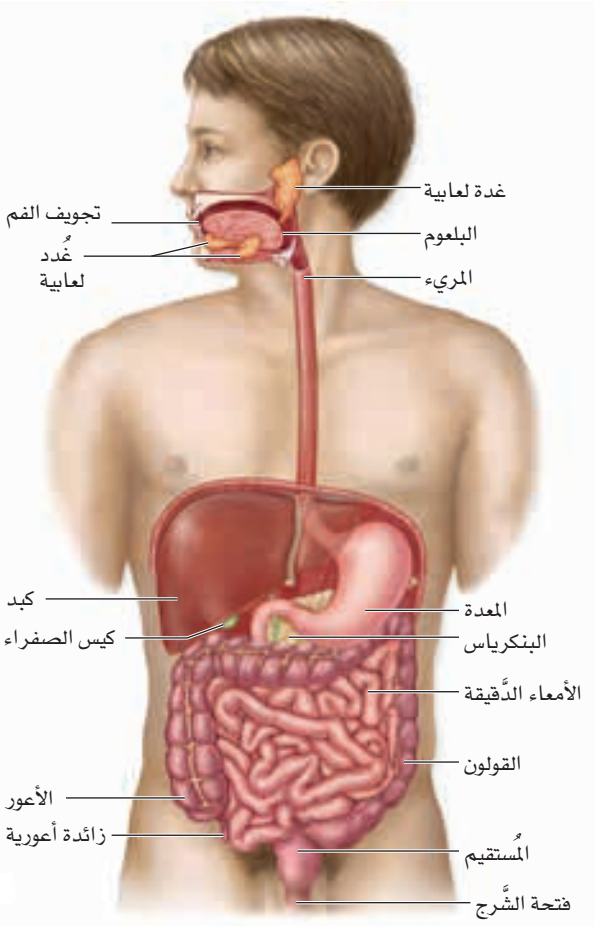
الأجهزة الهضمية في الفقريات تحتوي على تراكيب متخصصة بحسب طبيعة الغذاء

يتكوَّن الجهاز الهضمي في الإنسان والفقريات الأخرى من قناة معدية معوية أنبوبية، وأعضاء هضمية مُساعدة (الشكل 48-3).



الشكل 48-2

الجهاز الهضمي أحادي الاتجاه في الدِّيدان الأسطوانية، وديدان الأرض، والفقريات. إنَّ الحركة في اتجاه واحد في القناة الهضمية يسمح لمناطق مُختلفة من القناة أن تكون مُتخصِّصة لتقوم بوظائف مُختلفة.



الشكل 48–3

الجهاز الهضمي في الإنسان. يتكوَّن الجهاز الهضمي في الإنسان من: تجويف الفم، والمريء، والمعدة، والأمعاء الدَّقيقة، والأمعاء الغليظة، والمُستقيم، وفتحة الشَّرج؛ وتساعده الأعضاء المُساعدة.

نظرة شاملة للقناة الهضمية

تبدأ القناة المعدية المعوية بالفم والبلعوم، الذي يعدّ ممرًّا مُشتركًا لتجويف الفم والتَّجويف التَّنفسي. يُؤدي البلعوم إلى المريء، وهو أنبوب عضلي يُوصل الغذاء إلى المعدة التي يحدث بها هضم تمهيدي.

ينتقل الغذاء من المعدة إلى الأمعاء الدَّقيقة، وهناك تقوم مجموعة من الأنزيمات الهاضمة بإكمال عملية الهضم. يتمُّ في الأمعاء الدَّقيقة امتصاص نواتج الهضم، والمعادن، ومُعظم الماء إلى مجرى الدَّم. وما تبقى يُفرَّغ في الأمعاء الغليظة، حيثُ يُمتصّ ما تبقَّى من الماء والمعادن.

في معظم الفقريات من غير الثدييات، تخرج الفضلات من الأمعاء الغليظة إلى تجويف يُدعى المذرق (المجمع) (انظر الشكل 48-2)، الذي يستقبل أيضًا نواتج الجهاز البولي والتَّناسلي. في الثدييات، تنفصل نواتج الجهازين التَّناسلي والبولي عن المادة البُرازية الموجودة في الأمعاء الغليظة؛ تدخل المادة البُرازية إلى المُستقيم، ثم تُطرد من خلال فتحة الشَّرج.

تتضمَّن الأعضاء الهضمية المُساعدة الكبد الذي يُفرز العصارة الصفراء *Bile* (محلول أخضر اللَّون يعمل على استحلاب الدُّهون)، وكيس الصفراء أو المرارة التي تُخزِّن، وتُركِّز العُصارة الصَّفراء، والبنكرياس. يُفرز البنكرياس العصارة الهاضمة البنكرياسية *Pancreatic juice*، التي تحتوي على الأنزيمات الهاضمة والبيكربونات المُنظِّمة لدرجة الأحماضة. تُفرز العُصارة الهاضمة البنكرياسية والعصارة الصفراء في الجزء الأول من الأمعاء الدَّقيقة، الذي يُدعى (الاثنا عشر) حيثُ تقوم بالمُساعدة في عملية الهضم.

الأنسجة المُكوِّنة للقناة الهضمية

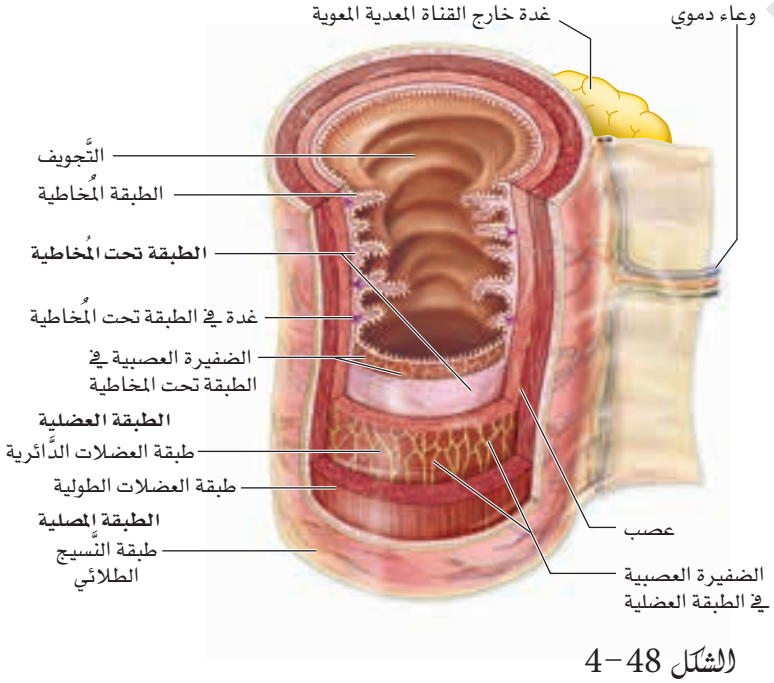
تتكوَّن القناة المعدية المعوية الأنبوبية في الفقريات من تركيب مميز ذي طبقات (الشكل 48-4). الطَّبقة الدَّاخلية هي **الطبقة المُخاطية Mucosa**، وهي طبقة من النَّسيج الطلائي تُبطِّن القناة من الدَّاخل، أو **التَّجويف الداخلي Lumen**، للقناة. الطبقة التي تليها، وتُصنع من النَّسيج الضّام، تُسمّى **الطبقة تحت المُخاطية Submucosa**.

توجد **الطبقة العضلية Muscularis** إلى الخارج من الطبقة تحت المُخاطية، وهي تتكوَّن من طبقتين من العضلات الملساء. تترتَّب الطبقة الدَّاخلية بشكل دائري، والخارجية بشكل طولي. يُغطي السَّطح الخارجي للقناة طبقة طلائية أخرى تُدعى **الطبقة المصلية Serosa**. وتندس شبكات عصبية على شكل ظفائر *Plexuses* بين الخلايا العضلية، وفي الطبقة تحت المُخاطية لتقوم بتنظيم نشاط القناة المعدية المعوية.

الاختلافات في تركيب القناة الهضمية

بشكل عام، تمتلك آكلات اللحوم أمعاء أقصر بالنسبة إلى أحجامها من آكلات الأعشاب. إنَّ قصر الأمعاء في آكلات اللحوم مُلائم لها، لكن آكلات الأعشاب تبتلع كميات كبيرة من السليلوز النَّباتي الذي يُقاوم الهضم. ولذا، تمتلك هذه الحيوانات أمعاء دقيقة، طويلة وملتوية.

إضافة إلى ذلك، يمتلك نوع من أنواع الثدييات يُسمى **المُجترات Ruminants** (مثل الأبقار) التي تستهلك الأعشاب ونباتات أخرى، حُجرات قبل المعدة، حيثُ يتمُّ فيها هضم السليلوز باستخدام البكتيريا. تمتلك آكلات أعشاب أخرى، مثل



الشكل 48–4

طبقات القناة المعدية المعوية. تحتوي الطَّبقة المُخاطية على البطانة الطلائية؛ وتتكوَّن الطبقة تحت المُخاطية من نسيج ضام؛ وتتكوَّن الطبقة العضلية من عضلات ملساء. تُفرز الغُدد المواد عن طريق قنوات مُباشرة إلى مناطق مُختلفة من القناة.

الأرانب والخيول، بكتيريا هاضمة للسليلوز في كيس يُدعى **الأعور Cecum** يقع عند التقاء الأمعاء الدَّقيقة والغليظة. وسوف تُناقش الاختلافات في الأجهزة الهضمية للفقريات في الجزء 48-6.

فيما تبقى من هذا الفصل، سنناقش تفاصيل تركيب الجهاز الهضمي ووظيفته في الفقريات. سنختم هذا الفصل بمُناقشة المواد الغذائية الضَّرورية للفقريات.

تهضم مُعظم الحيوانات الغذاء خارج خلاياها. تسمح القناة الهضمية، التي تنقل الغذاء في اتجاه واحد، وتمتلك مناطق مُتخصّصة لوظائف مُختلفة، بابتلاع الغذاء، وبتَّجزئته فيزيائيًا، وبالهضم الكيميائي، والامتصاص. يتكوَّن الجهاز الهضمي في الفقريات من قناة معدية معوية مُكوَّنة من عدد من الطبقات النَّسيجية، ويحتوي على مجموعة من الأعضاء المُساعدة. تمتلك الفقريات تكيُّفات في القناة الهضمية تهيِّئُها لنوع الغذاء المُتناول، وتُساعدها على هضمه.

48-2 الفم والأسنان: التقاط الغذاء ومُعالجة المقادير الكبيرة

تعكس تخصُّصات الجهاز الهضمي في الفقريات المُختلفة طريقة معيشتها. فالأسماك مثلًا تمتلك **بلعومًا Pharynx** كبيرًا يحتوي على فتحات خيشومية، في حين تحتوي الفقريات التي تتنفَّس الهواء مُباشرة بلعومًا أصغر بكثير. تمتلك كثير من الفقريات الأسنان (الشكل 48-5)، التي تستخدمُها لعملية المضغ *Mastication*، التي تُحطِّم الغذاء إلى جُزيئات صغيرة، وتمزجه مع إفرازات سائلة.

تُحطِّم الطُّيور، وهي عديمة الأسنان، الغذاء في معدتها المُكوَّنة من حجرتين (الشكل 48-6). واحدة من هذه الحُجرات، تُسمّى القانصة *Gizzard*، حيث تمتزج مجموعة من الحصى يبتلعها الطائر، مع الغذاء بقوة عن طريق فعل عضلي. يُساعد هذا على طحن البذور وكثير من المواد النَّباتية الصلبة إلى قطع صغيرة يستطيع الطائر هضمها بسهولة.

الشكل 48-6

القناة الهضمية لدّى الطُّيور. لا تمتلك الطيور أسنانًا إلا أنَّها تمتلك قانصة تعمل على تكسير الغذاء وتحطيمه. تبتلع الطُّيور حُبيبات حصى قاسية تستقر في القانصة التي تطحن الغذاء قبل أن يمر في الأمعاء. يُخزَّن الغذاء في الحوصلة.

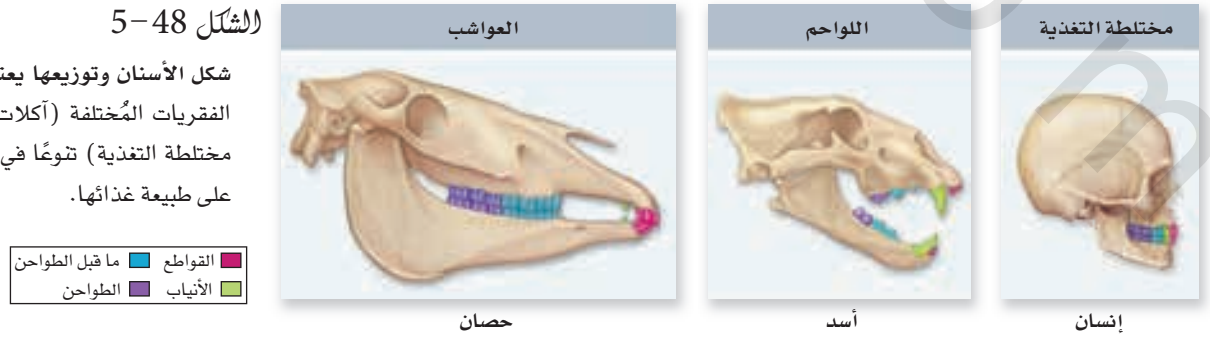
تكيَّفت أسنان الفقريات بحسب طبيعة غذائها

تمتلك الثدييات آكلة اللحوم أسنانًا حادة تفتقر إلى السطوح المستوية الطَّاحنة. إنَّ مثل هذه الأسنان قد تكيَّفت لتقطيع الغذاء وتمزيقه، حيثُ عادةً ما تقوم آكلات اللحوم بتمزيق الفريسة إلى قطع، ولا تحتاج إلى مضغها؛ لأنها تمتلك أنزيمات هاضمة قادرة على العمل بشكل مُباشر على الخلايا الحيوانية. بالمُقارنة، تمتلك آكلة الأعشاب أسنانًا كبيرة مُسطَّحة مُلائمة لعملية طحن الأنسجة النباتية، بحيث تُساعدها على سحق السليلوز المُكوِّن للجُدران الخلوية في الأنسجة النَّباتية، قبل أن تقوم البكتيريا الموجودة في المعدة الأولى أو في الأعور بهضمها. هذه الحيوانات لها أسنان مسطحة كبيرة وذات نتوءات معقدة مناسبة تمامًا للطحن.

تخصَّصت أسنان الإنسان في تناول الغذاء الحيواني والنَّباتي. حيث يُعدّ الإنسان بشكل بسيط، آكل لحوم في النَّاحية الأمامية للفم، وآكل أعشاب في الخلف (انظر الشكل 48-5). الأسنان الأربع الأمامية في الفك السفلي والعلوي هي قواطع حادة، ذات شكل إزميلي، وتستخدمها لعملية العض والتَّقطيع. على كل جانب من جانبي القواطع هناك أسنان مُدبَّبة، تُسمَّى الأنياب، تُستخدم لتمزيق الغذاء. خلف الأنياب، هناك اثنان من الأضراس الأمامية وثلاثة من الأضراس الخلفية، تمتلك جميعها سطوحًا مُستوية لتكسير الغذاء وطحنه (الشكل 48-7). يمتلك الأطفال 20 سنًّا من الأسنان المُتساقطة، لكنها تُفقد في مرحلة الطُّفولة، ويُستبدل بها 32 من أسنان البلوغ.

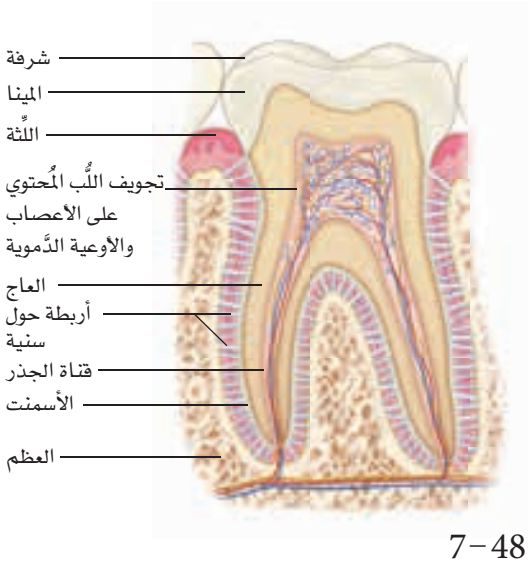
الفم هو حجرة البلع وبداية الهضم

يمزج اللِّسان في داخل الفم الغذاء بمحلول مُخاطي يُسمّى **اللُّعاب Saliva**. عند الإنسان، هناك ثلاثة أزواج من الغُدد اللعابية تفرز اللعاب في الفم من خلال قنوات موجودة في البطانة المُخاطية للفم. يرطّب اللُّعاب الغذاء، ويُساعد على مروره، بحيث يكون أسهل ابتلاعًا، ولا يخدش الأنسجة التي يمر بها في طريقه خلال المريء.



الشكل 48-5

شكل الأسنان وتوزيعها يعتمد على طبيعة الغذاء. طوَّرت الفقريات المُختلفة (آكلات الأعشاب، وآكلات اللحوم، أو مختلطة التغذية) تنوعًا في شكل أسنانها وتوزيعها اعتمادًا على طبيعة غذائها.



الشكل 48–7

تركيب السِّن في الإنسان. يمتلك الإنسان أسنانًا تُشبه أسنان آكلات اللحوم في مُقدمة الفم، وأسنانًا تُشبه أسنان آكلات الأعشاب في مؤخرته. تحتوي كل سن على أعصاب وأوعية دموية في تجويف اللب، ولهذا، فإنَّه يتَّصف بالحياة. يُعدّ المينا الصَّلب السَّطح الحقيقي للهضم، وهو يُغطِّي العاج اللَّين الذي يُشكِّل جسم السِّن.

يحتوي اللُّعاب أيضًا على أنزيم مُحلِّل هو **أنزيم أميليز اللعابي Salivary amylase**، الذي يبدأ عملية تحطيم النَّشا عديد التَّسكر إلى المالتوز ثُنائي التَّسكر. عادةً ما يكون هذا الهضم محدودًا في الإنسان؛ لأنَّ مُعظم الأشخاص لا يمضغون الطعام ساعات طويلة.

تنبيه إفراز اللُّعاب

يتحكم الجهاز العصبي في إفراز الغُدد اللعابية، حيث يحافظ في الإنسان على إفراز ما يُقارب نصف ملليلتر في كل دقيقة، عندما يكون الفم خاليًا من الغذاء. هذا الاستمرار في الإفراز يُحافظ على رطوبة الفم.

يُحفز وجود الغذاء في الفم على زيادة الإفراز من الغُدد اللُّعابية. تُرسل براعم الذَّوق والأعصاب الشَّمية إشارات عصبية إلى الدِّماغ، فيستجيب لها بدوره بتنبيه الغدد اللُّعابية للإفراز (انظر الفصل الـ 45). تُعدّ المحاليل الحمضية أكثر المُؤثِّرات قوةً لزيادة مُعدَّل الإفراز؛ فمثلًا، تقوم عصارة الليمون بزيادة مُعدَّل الإفراز ثمانية أضعاف. إن رؤية الطعام أو سماعه، أو شمّه تحفز إفرازات الغُدد اللُّعابية في الكلاب بشكل كبير، لكن مجرد التَّفكير أو التَّحدث عن الطعام عند الإنسان قد يسبب زيادة إفرازات الغُدة اللُّعابية.

البلع

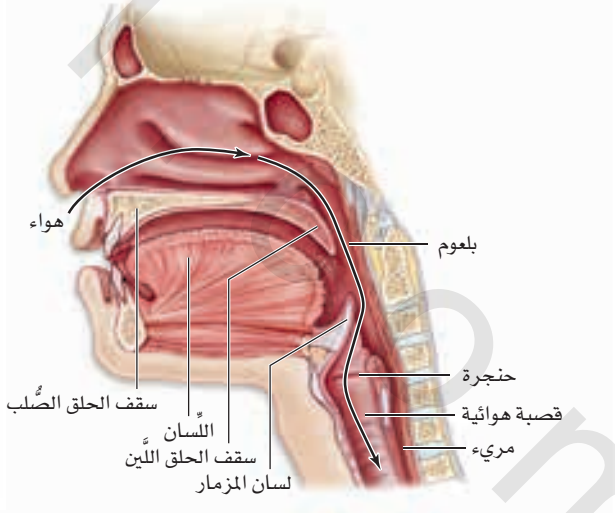
يبدأ البلع بحركات إرادية، ويستمر بعد ذلك تحت سيطرة غير إرادية. عندما يصبح الطعام جاهزًا للبلع، يدفعه اللسان إلى المنطقة الخلفية من الفم. في الثدييات، تبدأ عملية البلع عندما يقوم سقف الحلق بالارتفاع إلى الأعلى، ضاغطًا على الجدار الخلفي للبلعوم (الشكل 48–8). يعمل ارتفاع سقف الحلق على إغلاق تام للتَّجويف الأنفي، ومن ثم يمنع الغذاء من المرور فيه. إنَّ الضغط على البلعوم يُولِّد رد فعل آلي، واستجابة غير إرادية، تُدعى **رد فعل البلع Swallowing reflex**، وهي عملية لا يمكن إيقافها حالما تبدأ.

ترسل الأعصاب في جدار البلعوم إشارات عصبية إلى مركز البلع في الدِّماغ. استجابة لذلك، تحفز إشارات كهربائية في الأعصاب الحركية انقباض العضلات وارتفاع **الحنجرة Larynx** (صندوق الصوت). وهذا بدوره يدفع **فتحة المزمار Glottis**، وهي الفتحة من الحنجرة نحو القصبة الهوائية، نحو طية من النسيج تُسمَّى **لسان المزمار Epiglottis**. يدفع هذا الفعل الغذاء في اتجاه المريء، بدلًا من الممر التَّنفسي.

في كثير من الفقريات، يتجزَّأ الغذاء المُبتلع من خلال تمزيقه وطحنه باستخدام الأسنان. في الطُّيور، يتمُّ ذلك من خلال طحن الغذاء في القانصة باستخدام الحصى. يُحفِّز طعم الغذاء ورائحته إفراز اللُّعاب الذي يُسهِّل انزلاق الغذاء. يُحفِّز هذا أيضًا استجابة ابتلاع الغذاء، حيث يبتلع الغذاء الممزوج مع اللعاب، ويدخل المريء.

1. يُغلق سقف الحلق اللَّين التَّجويف التَّنفسي، عندما يندفع الغذاء نحو مؤخرة الفم.

2. خلال عملية البلع، ترتفع الحنجرة، وتُغلق عن طريق لسان المزمار. هذا الفعل يدفع لقمة (مُضغة) الغذاء إلى المريء، ويمنعها من دخول القصبة الهوائية. بعد أن تدخل المضغة إلى المريء تعود الحنجرة إلى الارتخاء والرُّجوع إلى مكانها.



الشكل 48–8

آليات البلع. مقطع عرضي خلال الرَّأس والحلق يُبيِّن الأجزاء التي تُشارك في عملية البلع (يسار). خلال عملية البلع (اليمين)، يدفع اللِّسان سقف الحلق الصُّلب إلى الأعلى، فيُغلق سقف الحلق اللَّين التَّجويف التَّنفسي (الأنفي). يُؤدي ارتفاع الحنجرة إلى إغلاق القصبة الهوائية عن طريق لسان المزمار، وهذا يمنع مرور الغذاء إلى الممرات الهوائية.

3-48 المريء والمعدة: بداية الهضم

يدخل الغذاء المُبتلع إلى داخل أنبوب عضلي يُسمَّى المريء، يربط بين البلعوم والمعدة. يدفع نشاط المريء مُضغة الغذاء، أو **اللُّقمة الغذائية Bolus**، إلى الأمام باستخدام العضلات. يُخزَّن الغذاء في المعدة، وتبدأ عملية الهضم الأولية.

الانقباضات العضلية في المريء تدفع الغذاء إلى المعدة

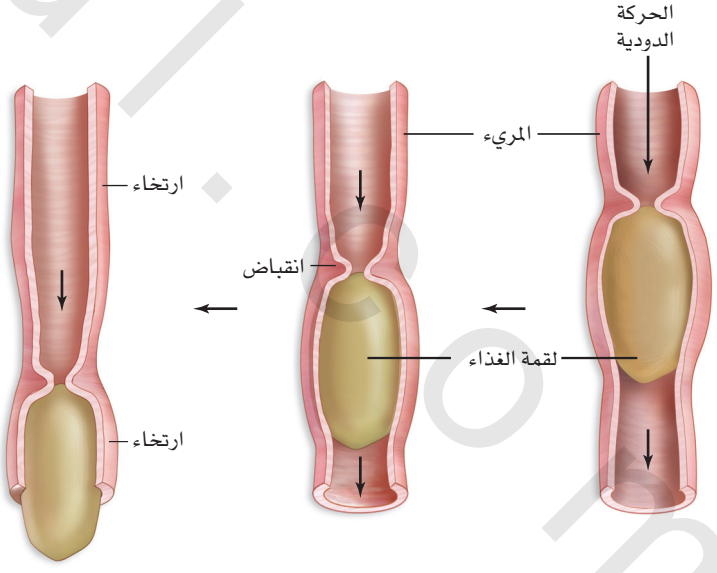
في الإنسان البالغ، يبلغ طول **المريء Esophagus** نحو 25 سم؛ يتضمَّن الثلث الأول منه عضلات هيكلية إرادية تتحكَّم في عملية البلع، في حين يحتوي الثُّلثان المُتبقيان على عضلات ملساء غير إرادية. يُنبه مركز البلع أمواجًا مُتعاقبة من الانقباضات تتم في اتجاه واحد، وتدفع بدورها الغذاء على طول المريء إلى المعدة. تُسمَّى هذه الأمواج المُنتظمة من الانقباضات العضلية **الحركة الدُّودية Peristalsis** (الشكل 48-9)؛ تُمكِّن هذه الحركة الإنسان والفقريات الأخرى من ابتلاع الغذاء، حتى لو كان الرأس إلى الأسفل، والأرجل إلى الأعلى.

في كثير من الفقريات، يتحكَّم في حركة الغذاء من المريء إلى المعدة حلقة من العضلات الملساء الدَّائرية، تُسمَّى عاصرة *Sphincter*، التي تفتح استجابة لضغط الغذاء عليها. يمنع انقباض هذا الصّمام أو العاصرة الغذاء من الرجوع من المعدة إلى المريء. تمتلك القوارض والخيول صمامات حقيقية، ومن ثم لا تستطيع التَّقيؤ؛ الإنسان يفتقد إلى هذا الصَّمام الحقيقي ومن ثم يستطيع التقيؤ. ويكون المريء عادةً مُغلقًا في أثناء عملية الابتلاع.

المعدة هي "محطة تجميع وتخزين"

تحطِّم الغذاء باستخدام الأحماض

المعدة **Stomach** (الشكل 48-10) جزء شبيه بالكيس تابع للقناة الهضمية. يُعدّ السَّطح الدَّاخلي للمعدة كثير التَّعرُّج، وتُساعد هذه التَّعرجات على انطواء المعدة عندما تكون مُفرَّغة، وعلى تمدُّدها عندما تكون مُمتلئة بالغذاء. فمثلًا، يكون حجم المعدة في الإنسان 50 مليلترًا تقريبًا عندما تكون فارغة، لكنَّها، قادرة على التَّمدد



الشكل 48-9

المريء والحركة الدُّودية. بعد دخول الغذاء إلى المريء، يتحرَّك الغذاء إلى المعدة، عن طريق أمواج عضلية انقباضية مُنتظمة تُدعى الحركة الدُّودية.

لاحتواء لترين إلى أربعة لترات تقريبًا من الغذاء، عندما تكون مُمتلئة. تمتلك الحيوانات آكلة اللحوم، التي يعتمد غذاؤها على التهام الغذاء في فترات مُتقطِّعة، معدةً قادرة على التَّمدُّد أكثر من ذلك، وتعدّ هذه إستراتيجية مُهمة للبقاء في هذه الحيوانات.

أجهزة الإفراز

تحتـوي المعدة على طبقة ثالثة من العضـلات الملسـاء لتحطيم الغذاء وخلطه مع **العُصـارة المعدية Gastric juice**، وهي إفرازات حمضـية من الغُدد المعدية الأنبوبيـة الموجـودة فـي الطبقـة المُخاطيـة (انظـر الشـكل 48-10). تمتلك الغُـدد خارجية الإفراز هذه نوعين من الخلايا الإفرازيـة، هما: الخلايا الجدارية *Parietal cells*، التي تُفرز حمض الهيدروكلوريك، والخلايا الرَّئيسـة *Chief cells* التـي تُفـرز أنزيم **مُولِّد الببسـين Pepsinogen**، وهو الشَّـكل غير الفعَّال من **أنزيم الببسين Pepsin** الهاضم للبروتين.

يمتلك مُولِّد الببسين 44 حمضًا أمينيًّا إضافيًّا تحجب الموقع النَّشط منه. يعمل حمض الهيدروكلوريك على فرد طية مُولِّد الببسين، كاشفًا بذلك الموقع النَّشط، الذي يعمل بدوره على إزالة 44 حمضًا أمينيًّا. يُنتج هذا بدوره أنزيمًا فعّالًا هاضمًا للبروتين هو الببسين. إنَّ إفراز شكل غير فعّال من الأنزيم وتحويله إلى شكل فعّال خارج الخلايا يحمي الخلايا الرئيسة من هضم نفسها.

في الإنسـان البـالغ، يتمُّ هضم جزئي للبروتينات في المعدة- ولا تُهضم الكربوهيدرات والدُّهون بشكل ملموس.

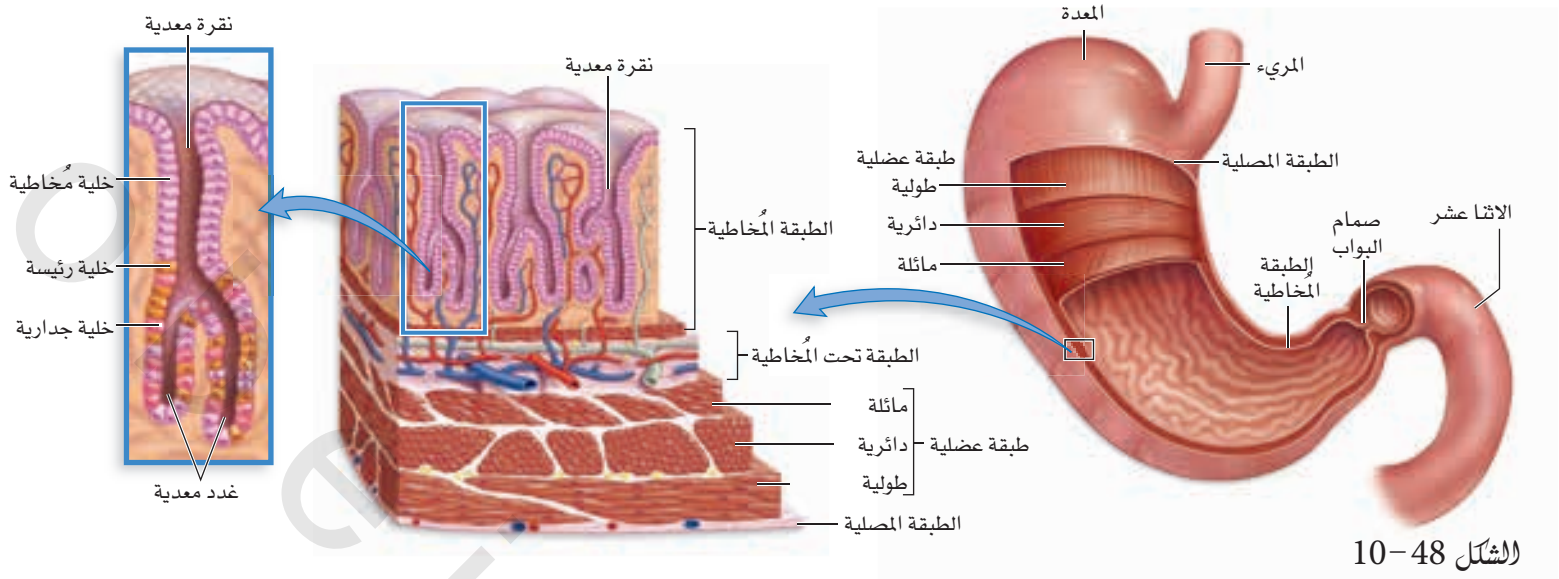
إضافة إلى حمض الهيدروكلوريك، تقوم الخلايا الجدارية بإفراز **عامل داخلي Intrinsic Factor**، وهو عديد ببتيد نحتاج إليه لامتصاص فيتامين ب12. وحيثُ إنَّ هذا الفيتامين ضروري لإنتاج خلايا الدَّم الحمراء، والأشخاص المُصابون بنقص العامل الداخلي يتولَّد لديهم نوع من أنواع فقر الدم (عدد قليل من خلايا الدَّم الحمراء) يُسمى فقر الدَّم الوبيل (الخبيث) *Pernicious anemia*.

فعل الأحماض

تُفرز معدة الإنسان لترين تقريبًا من حمض الهيدروكلوريك، وإفـرازات معدية أخرى كل يوم، مُشكِّلةً بذلك محلولًا حمضيًا قويًّا في المعدة. يبلغ تركيز حمض الهيدروكلوريك في هذا المحلول 10 (مليجزيئي)، أي ما يُقارب درجتي أحماضة (pH=2). لهذا، تُعدّ العُصارة المعدية أكثر حمضية من الدَّم الذي يملك 7.4 درجة أحماضة، أي 250 ألف مرة تقريبًا.

يُساعد انخفاض درجة الأحماضة في المعدة على إزالة طبيعة بروتينات الغذاء، وبذلك يُسهِّل عملية هضمها، ويُحافظ على نشاط أنزيم الببسين عند درجته القصوى. يحلِّل الببسين الفعّال البروتين إلى سلاسل قصيرة من عديدات الببتيدات التي لا تُهضم بشكل كامل، وستُهضم لاحقًا في الأمعاء الدَّقيقة. إنَّ مزيج الغذاء المهضوم بشكل جُزئي والعصارة المعدية يُدعى **الكايموس Chyme**.

تقتل البيئة الحمضية في المعدة مُعظم البكتيريا التي تُبتلع مع الغذاء. والعدد القليل المتبقي من البكتيريا القادرة على العيش في المعدة يذهب إلى الأمعاء، حيث تنمو وتتكاثر هناك، خاصةً في الأمعاء الغليظة. وفي الحقيقة، تحتوي الفقريات على مُستعمرات مُزدهرة من البكتيريا في أمعائها، وتُعدّ البكتيريا جزءًا رئيسًا من البُراز. وكما سنتحدث لاحقًا، فإنَّ البكتيريا التي تعيش في القناة الهضمية تؤدي دورًا مُهمًّا في قدرة هذه الثدييات على هضم السليلوز.



الشكل 48-10

المعدة والاثنا عشر. يدخل الغذاء إلى المعدة من المريء. تتحكَّم حلقة من العضلات الملساء تُدعى صمّام البواب في دخول الغذاء من المعدة إلى الاثنا عشر، وهو الجزء العلوي من الأمعاء الدَّقيقة. الجدار الطلائي للمعدة منقَّر بانغمادات عميقة تحتوي على الغُدد المعدية، وتُسمَّى النقر المعدية. تتكوَّن الغُدد المعدية من خلايا مُخاطية، وخلايا رئيسة تُفرز مُولِّد الببسين، وخلايا جدارية تُفرز حمض الهيدروكلوريك. تعدّ النقر المعدية فتحات للغُدد المعدية.

القُرحات *Ulcers*

يمكن للإفراز الزَّائد من العُصارة المعدية الحمضية أن يحدث تآكلًا في جدار المعدة والاثنا عشر، مُسبِّبًا القُرحة المعدية. وعلى الرَّغم من أنَّ مُعظم السبب يعود إلى الغذاء الحار في تكوين القُرحة المعدية، إلا أنَّ الاعتقاد السائد هذه الأيام أنَّ السبب الرئيس هو إصابة المعدة بنوع من البكتيريا التي تسمَّى هيليوباكتر بايلوري *Heliobacter pylori*.

تنمو هذه البكتيريا على البطانة الدَّاخلية لمعدة الإنسان، وتكون قادرة على تحمُّل درجة الأحماضة في المعدة عن طريق إفراز مواد تُنظِّم درجة الأحماضة في البيئة المُحيطة بها مُباشرة. وعلى الرَّغم من أنَّ الإصابة بهذه البكتيريا شائعة في الولايات المتحدة (20% ممن هم أقل من 40 عامًا و50% ممن هم أكبر من 60 عامًا)، فإن مُعظم الناس لا يُظهرون أعراضًا للإصابة. إنَّ الإصابة بهذه البكتيريا، في بعض الحالات، يُمكن أن تُسبِّب اختزال أو ضعف البطانة المُخاطية في المعدة أو الاثنا عشر، سامحًا للإفرازات الحمضية بمُهاجمة النَّسيج الطِّلائي. ويُمكن أن يُقلِّل العلاج بالمُضادات الحيوية من أعراض قرحة المعدة أو يشفيها.

مُغادرة المعدة

يُغادر الكايموس المعدة من خلال عاصرة البواب *Pyloric sphincter* (انظر الشكل 48-10) ليدخل إلى الأمعاء الدَّقيقة، حيث يكتمل هضم الكربوهيدرات، والدُّهون، والبروتينات إلى نواتجها- أحماض أمينية، جلوكوز،... إلخ- وهناك يتم امتصاصها إلى الدَّم. ويمتص جزء قليل جدًا من الماء الموجود في الكايموس، وبعض المواد مثل الأسبرين والكحول، خلال جدار المعدة.

تسحب الحركة الدُّودية الغذاء إلى المعدة. تحتوي العُصارة المعدية على حمض الهيدروكلوريك القوي والأنزيم الهاضم للبروتينات الببسين، الذي يبدأ في عملية هضم البروتينات إلى متعددة الببتيدات الصغيرة. ينتقل الكايموس الحمضي من خلال صمام البواب إلى الأمعاء الدَّقيقة.

4-48 الأمعاء الدَّقيقة: التحطيم (الهضم) والامتصاص

إنَّ سعة الأمعاء الدَّقيقة مُحدَّدة، وعملية الهضم فيها لا تحتاج إلى وقت طويل. لذلك، فإنَّ عملية الهضم الفعّال تحتاج إلى أن يكون الكايموس القادم من المعدة ذا حجم صغير. إنَّ ذلك يتطلب تنسيقًا بين نشاط المعدة والأمعاء، ويتمُّ ذلك من خلال الإشارات العصبية والهرمونية، التي سنُناقشها في الجزء 48-7.

تركيب الأمعاء الدَّقيقة مُصمم لهضم المواد الغذائية وامتصاصها

يبلغ طول **الأمعاء الدَّقيقة Small intestine** 4.5 أمتار تقريبًا في الإنسان الحي، ويُمكن أن يمتد إلى 6 أمتار عندما تكون عضلاتها جميعها مُرتخية. يُدعى الجزء الأول (وطوله 25 سم) من الأمعاء الدَّقيقة **الاثنا عشر Duodenum**؛ ويقسم ما تبقى من الأمعاء إلى **الصَّائم Jejunum** و**اللَّفائفي Ileum**.

يستقبل الاثنا عشر الكايموس الحمضي من المعدة، والأنزيمات الهاضمة والبيكربونات من البنكرياس، والعُصارة الصفراء من الكبد والمرارة. تهضم العصارة البنكرياسية جزيئات الغذاء الكبيرة إلى أجزاء صغيرة. ويحدث هذا بشكل رئيس في الاثنا عشر والصائم.

يمتلك الجدار الطلائي المبطن للأمعاء الدَّقيقة بروزات كأصابع اليد تُسمَّى **الخملات Villi** (مُفردها، خملة؛ الشكل 48-11). وتحتوي الخلايا المُبطنة للخملات نتوءات سيتوبلازمية على سطحها العلوي (السَّطح المُقابل للتَّجويف) تُسمَّى **الخملات الدقيقة Microvilli**. عادةً ما تُرى هذه الخملات الدقيقة باستخدام المجهر الإلكتروني. وفي الصورة المأخوذة باستخدام المجهر الضوئي، تظهر هذه الخملات الدقيقة مثل شعيرات الفرشاة، ولهذا السبب يُدعى الجدار الطلائي للأمعاء الدَّقيقة حافة الفرشاة *Brush border*.

تعمل الخملات والخملات الدقيقة على زيادة مساحة سطح الأمعاء؛ ففي الإنسان مثلًا، تبلغ مساحة هذا السطح 300 متر مربع- ما يُقارب 3200 قدم مربع! هذه المساحة الكبيرة هي التي يتمُّ من خلالها امتصاص المواد المهضومة.

تُشارك الخملات الدقيقة في الهضم، حيث تمتلك أنزيمات هاضمة منغرسة في الأغشية البلازمية للخلايا الطلائية المُكوِّنة لها، بحيث يكون الجزء النَّشط من هذه الأنزيمات مُعرَّضًا للكايموس. تضُم هذه الأنزيمات الأنزيمات المُحلِّلة للسُّكريات الثنائية اللاكتوز والسَّكروز، وغيرها. كثير من الأشخاص البالغين الذين ليس لديهم القدرة على إنتاج **أنزيم اللاكتيز Lactase** لا يستطيعون هضم سكر اللاكتوز (سكر الحليب)، ما يسبِّب لهم حالة شائعة تدعى عدم القدرة على تحمل اللاكتوز *Lactose intolerance*. تُكمل أنزيمات حافة الفرشاة عملية هضم السُّكريات التي بدأها أنزيم الأميليز المفرز من الغُدد اللُّعابية في الفم.

تُفرز الأعضاء المُساعدة (الغدد الملحقة) الأنزيمات في الأمعاء الدَّقيقة

من أهم الأعضاء التي تُساعد على عملية الهضم البنكرياس، والكبد، والمرارة (الحويصلة الصفراء) التي تطرح إفرازها، المكون بشكل رئيس من الأنزيمات، من خلال قنوات مُباشرة إلى الأمعاء الدَّقيقة.

إفرازات البنكرياس

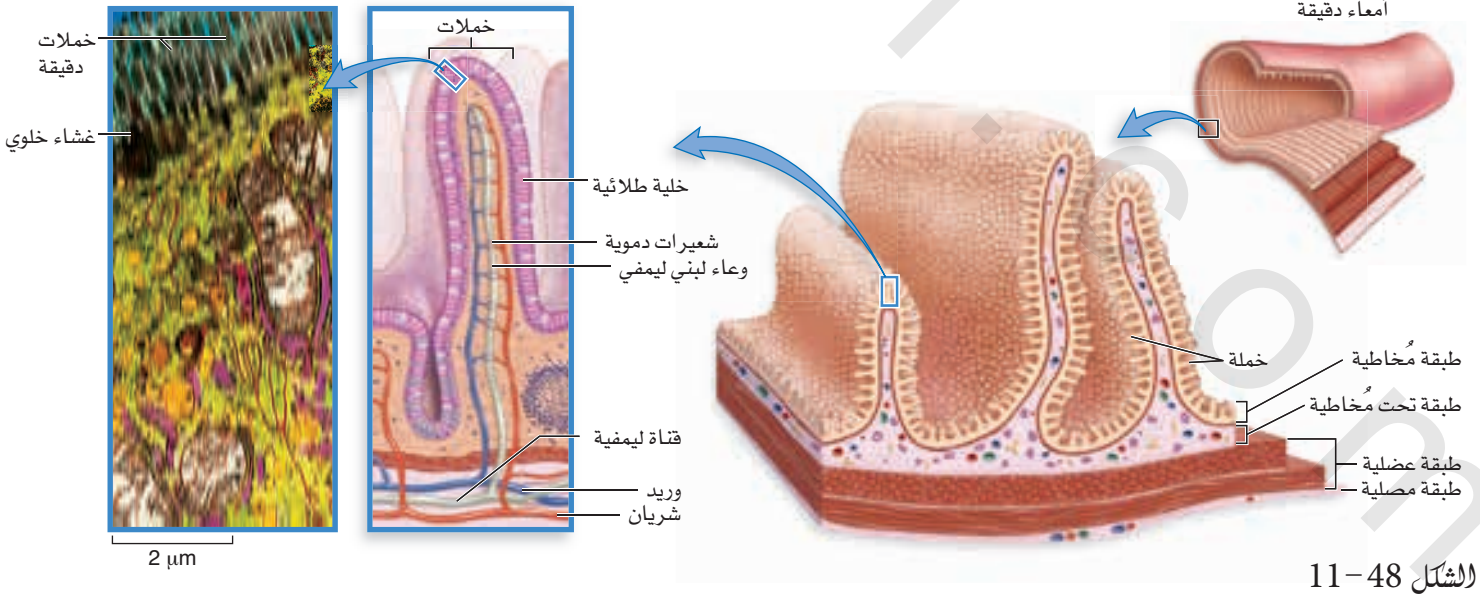
البنكرياس Pancreas (الشكل 48-12)، غدة كبيرة تقع بالقرب من التقاء المعدة والأمعاء الدَّقيقة، حيثُ تُفرز العصارة البنكرياسية في الاثنا عشر عبر القناة البنكرياسية *Pancreatic duct*؛ ولهذا، يُعدّ البنكرياس غدة قنوية خارجية الإفراز. تحتوي هذه العصارة الهاضمة على **أنزيمات التربسين Trypsin والكيموتربسين Chymotrypsin**، التي تقوم بهضم البروتينات؛ وتحتوي على **الأميليز البنكرياسي Pancreatic amylase**، الذي يهضم النَّشا؛ وتحتوي أيضًا **اللايبيز** (محال الدهون) **Lipase**، الذي يهضم الدُّهون. تُفرز هذه الأنزيمات عادةً في الاثنا عشر على أشكال غير فعّالة، تُدعى مولدات الأنزيم، وينشطها أنزيم التربسين، الذي يُنشط أولًا باستخدام أنزيمات حافة الفراشة الموجودة في الأمعاء.

تقوم الأنزيمات البنكرياسية بهضم البروتين إلى عديدات ببتيد الصغيرة، وبهضم السُّكريات متعددة التَّسكر إلى سلاسل قصيرة من السُّكر، وبهضم الدُّهون إلى أحماض دهنية حُرَّة وجزيئات أحادية الجليسرول. يكتمل هضم البروتينات والكربوهيدرات بعد ذلك عن طريق أنزيمات حافة الفرشاة في الأمعاء. تحتوي العُصارة البنكرياسية على البيكربونات، التي تقوم بمعادلة العُصارة المعدية الحمضية، وتجعل الكايموس الموجود في الاثنا عشر قاعديًّا بدرجة بسيطة. تُفرز الأنزيمات الهاضمة والبيكربونات من تجمعات من الخلايا الإفرازية تدعى **العُنيبات Acini**.

إضافة إلى أنَّ البنكرياس غدة قنوية تؤدي دورًا في الهضم، فإنه يُعدّ أيضًا غدة صماء، حيثُ يُفرز مجموعة من الهرمونات في الدَّم التي تُنظِّم مُستوى الجلوكوز ومواد غذائية أخرى فيه. تنتُج هذه الهرمونات من **جزر لانجرهانز Islets of langerhans**، وهي تجمُّعات من الخلايا الصَّماء مُوزَّعة على طول البنكرياس. إنَّ أهم هرمونين يُفرزان من البنكرياس هما الأنسولين والجلوكاجون، وقد وصفا في (الفصل الـ 46)؛ وستناقش تأثيراتهما لاحقًا.

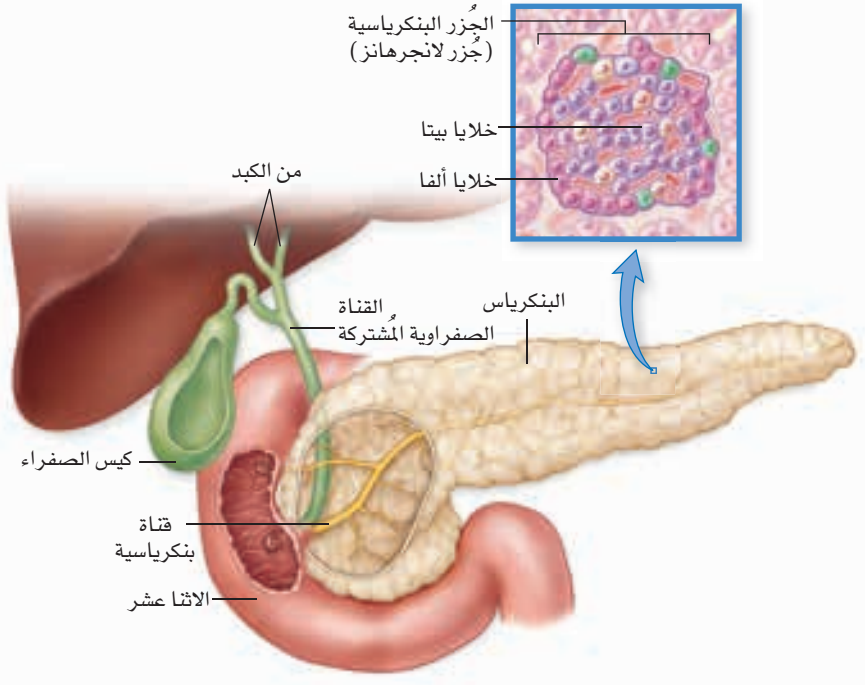
الكبد والمرارة (الحويصلة الصَّفراء)

الكبد Liver من أكبر الأعضاء الدَّاخلية في الجسم (انظر الشكل 48-3). حيث يبلغ وزنه في الإنسان البالغ 1.5 كجم تقريبًا، وحجمه حجم كرة القدم. يُفرز الكبد بشكل رئيس عصارة خاصة تُسمّى العصارة الصفراوية، وهي مزيج مُكوَّن من أصباغ صفراوية وأملاح صفراوية *Bile pigments and bile salts* وتُطرح في الاثنا عشر خلال عملية هضم الغذاء.



الشكل 48-11

الأمعاء الدَّقيقة. تكبيرات مُتتالية تُبيِّن انثناءات الطَّبقة الطلائية مُرصَّعة بالخملات التي تزيد من مساحة السَّطح. تُظهر الصورة المأخوذة بالمجهر الإلكتروني خلية طلائية تمتلك كثيرًا من الخملات الدقيقة.



الشكل 48–12

البنكرياس. تفرغ القناة البنكرياسية والقناة الصفراوية مُحتوياتهما في الاثنا عشر. يُفرز البنكرياس العصارة البنكرياسية إلى القناة البنكرياسية. تُفرز جزر لانجرهانز البنكرياسية الهرمونات في الدَّم؛ تُفرز خلايا ألفا الجلوكاجون، وتُفرز خلايا بيتا الأنسولين. يُفرز الكبد العصارة الصفراوية، التي تتكوَّن من أصباغ الصفراء (نواتج الفضلات من الكبد) وأملاح الصفراء. تؤدي هذه الأملاح دورًا في هضم الدُّهون. تُخزَّن العُصارة الصفراوية في داخل كيس الصفراء لحين استخدامها في الاثنا عشر عند قُدوم الغذاء.

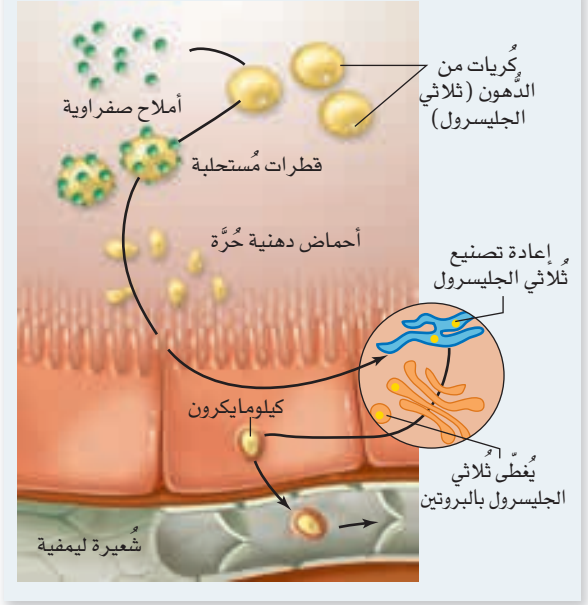
إنَّ الأصباغ الصفراء في العُصارة الصفراوية لا تُشارك في عملية الهضم؛ وتعدّ نواتج فضلات ناتجة عن تحطُّم خلايا الدَّم الحمراء الهرمة في الكبد، ويتخلَّص الجسم من هذه الأصباغ عن طريق البُراز (الغائط). وإذا لم يستطع الكبد التَّخلُّص من هذه الأصباغ بسبب انسداده، فإنَّ هذه الأصباغ تتجمَّع في الدَّم مُسبِّبة اصفرار الأنسجة المعروف باليرقان *Jaundice*.

بالمُقارنة، تؤدي الأملاح الصَّفراوية دورًا مُهمًّا في تحضير الدُّهون للهضم الأنزيمي المُستقبلي. وحيث إنَّ الدهون لا تذوب في الماء، فإنَّها تدخل الأمعاء على شكل كرات داخل كايموس مائي. تقوم الأملاح الصفراوية، التي تستطيع الذَّوبان بشكل جزئي في الدُّهون والماء، بتفكيك هذه الكرات الكبيرة إلى كرات صغيرة. يُنتج هذا العمل الاستحلابي مساحة سطح أكبر للدُّهون ليعمل عليها أنزيم اللايبيز، فيسمح من ثم بهضم الدُّهون بشكل أسرع.

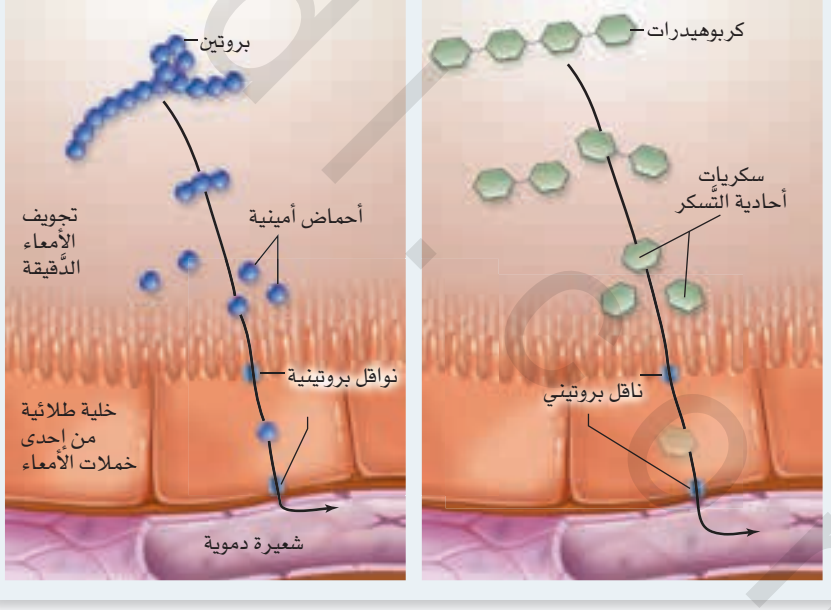
بعد أن يتم تصنيع العصارة الصفراوية في الكبد، تُخزَّن وتُركَّز في كيس الصفراء (المرارة). يُحدث وصول الغذاء الدُّهني إلى الاثنا عشر رد فعل عصبي وهرموني يُحفِّز كيس الصفراء على الانقباض، مُسبِّبًا خروج عصارة الصفراء إلى الاثنا عشر عبر قناة تُدعى قناة الصفراء المشتركة. (ستناقش في الجزء اللاحق). يترسب الكوليسترول ليُشكِّل ما يُدعى حصى الصفراء في بعض الأشخاص. فإذا استطاعت هذه الحصى إغلاق القناة الصفراوية، فإنَّ انقباضات كيس الصفراء تُسبِّب ألمًا شديدًا، في منطقة الظهر. وفي حالة الانسداد الكامل للقناة، فإنَّ كيس الصفراء يُزال جراحيًّا.

تذهب المواد الغذائية المُمتصة إلى الشُّعيرات الدَّموية أو الشُّعيرات الليمفية

بعد أن يتمَّ تحطيم البروتينات والكربوهيدرات بفعل الأنزيمات تُمتص على شكل أحماض أمينية أو سكريات أحادية التَّسكر، على التوالي. تُنقل هذه المواد عبر الخلايا الطلائية التي تُبطِّن الأمعاء الدَّقيقة عن طريق النَّقل النَّشط والانتشار



ب.



أ.

الشكل 48–13

امتصاص نواتج الهضم. أ. تُنقل السُّكَّريات أحادية التَّسكر والأحماض الأمينية إلى الشُّعيرات الدَّموية. ب. تُنقل الأحماض الدُّهنية والجليسرول الأحادي من تجويف الأمعاء الدَّقيقة إلى داخل الخلايا الطلائية، وهناك تتحوَّل إلى ثلاثي الجليسرول. تُغلَّف هذه الجزيئات بالبروتينات لتُشكِّل ما يُسمَّى كيلومايكرونات تدخل بعد ذلك إلى الشُّعيرات الليمفية.

المُيسَّر (الشكل 48-13أ). ينتقل الجلوكوز عن طريق النَّقل المُشترك مع أيون الصوديوم (النَّقل النَّشط الثانوي). وينتقل الفركتوز، الموجود في مُعظم الفاكهة، عن طريق الانتشار المُيسَّر. وتنتقل الأحماض الأمينية عن طريق النَّقل النَّشط باستخدام نواقل مُتنوعة. بعض هذه النَّواقل تستخدم النَّقل المُشترك مع الصوديوم؛ وبعضها الآخر ينقل الأحماض الأمينية فقط. بعد أن تعبر السُّكريات والأحماض الأمينية الممتصة الخلايا الطلائية عبر الغشاء، تنتقل من خلال السيتوبلازم، وتعبر الغشاء الجانبي القاعدي، ومن ثمَّ إلى الشُّعيرات في الخملات.

ينقُل الدَّم نواتج عملية الهضم من الأمعاء إلى الكبد عن طريق **الوريد الكبدي البابي Hepatic portal vein**. يصل الوريد البابي بين مجموعتين من الشُّعيرات الدَّموية بدلًا من أن يعود إلى القلب. في هذه الحالة، تتصل الأمعاء مع الكبد عن طريق الوريد البابي. ولهذا، فإنَّ الكبد يستقبل الدَّم المُحمَّل بالمواد الغذائية القادمة من الأمعاء. وبسبب وجود الوريد الكبدي البابي، يعدّ الكبد أول عضو يستقبل نواتج الهضم باستثناء الدُّهون.

يتمُّ امتصاص نواتج هضم الدُّهون بطريقة مُختلفة (الشكل 48-13 ب). تتحلَّل الدُّهون (ثلاثيات الجليسرول) إلى أحماض دهنية وجزيئات أحادية الجليسرول عن طريق الهضم. هذه الأحماض الدُّهنية وأحادية الجليسرول كلها جزيئات غير مُستقطبة، ومن ثم، فهي قادرة على المرور من خلال أغشية الخلايا الطلائية عن طريق الانتشار. لكنها تتجمع من جديد بعد أن تدخل الخلايا لتُكوِّن ثلاثي الجليسرول. يتَّحد ثلاثي الجليسرول مع بروتينات أخرى ليُشكِّل ما يُدعى **الكيلومايكرونات Chylomicrons**، التي تمتلك حجمًا كبيرًا لا يُسمح لها بالمرور إلى الشُّعيرات الدَّموية في الأمعاء. وبدلًا من أن تدخل هذه الجزيئات الكبيرة الدَّورة الكبدية البابية، فإنَّها تُمتص من قبل الشُّعيرات الليمفية (الفصل المقبل)، التي تطرح بدورها مُحتوياتها إلى الدَّم عن طريق الأوردة القريبة من العنق. تستطيع الكيلومايكرونات أن تجعل من بلازما الدَّم ذات طبيعة عكرة إذا تمَّ سحب الدَّم مُباشرة بعد وجبة غنية بالمواد الدُّهنية.

تُقدَّر كمية السَّوائل التي تمرُّ من خلال الأمعاء الدَّقيقة في اليوم الواحد 9 لترات تقريبًا. وعلى الرَّغم من ذلك، فإن مُعظم هذه السوائل يتمُّ امتصاصها، ولا تخرج مع البُراز؛ إذ يتمُّ امتصاص 8.5 لترات تقريبًا في الأمعاء الدَّقيقة، وما يقارب 350 مللترًا إضافية في الأمعاء الغليظة. يُغادر الجسم فقط 50 جرامًا من المواد الصلبة تقريبًا و100 مللتر من السوائل على شكل بُراز. وتصل نسبة كفاءة امتصاص السوائل في القناة الهضمية للإنسان إلى 99% تقريبًا، وهي تعدّ كبيرة جدًا.

يحدث الهضم بشكل أولي في الاثنا عشر بمُساعدة إفرازات البنكرياس والكبد. تُوفِّر الأمعاء الدَّقيقة مساحة سطحية كبيرة لعملية الامتصاص. يتمُّ امتصاص الجلوكوز والأحماض الأمينية عن طريق النَّقل النَّشط والمُيسَّر. بعد أن يتمَّ امتصاص هذة الجزيئات تدخل إلى مجرى الدَّم عن طريق الوريد الكبدي البابي، وتذهب مُباشرة إلى الكبد. يتمُّ امتصاص الدُّهون مُباشرة من خلال خلايا مُبطِّنة للأمعاء عن طريق الانتشار البسيط، ثُمَّ تدخل هذه الدُّهون إلى الجهاز الليمفي على شكل كيلومايكرونات.

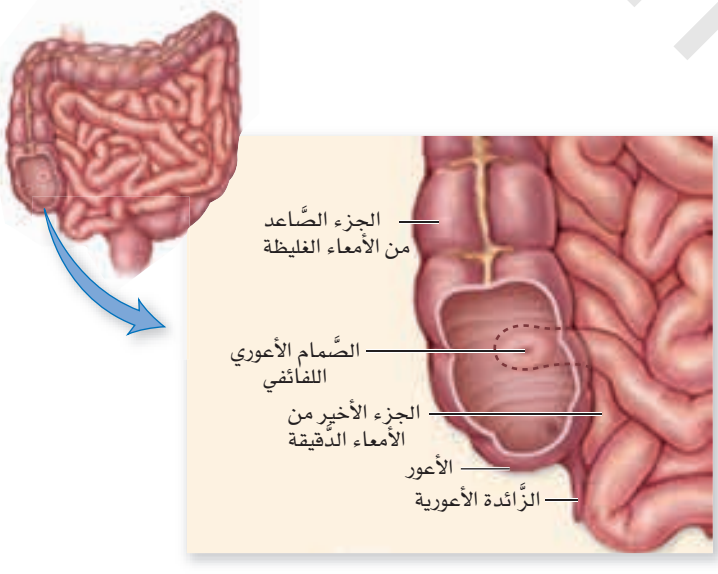
5-48 الأمعاء الغليظة: التَّخلُّص من الفضلات

الأمعاء الغليظة Large intestine، أو القولون **Colon**، أقصر بكثير من الأمعاء الدَّقيقة، وتُشكِّل الجُزء الأخير من القناة الهضمية (آخر متر من القناة الهضمية)؛ وتُدعى "بالغليظة" نسبة إلى قطرها. تطرح الأمعاء الدَّقيقة مُحتوياتها مُباشرة في الأمعاء الغليظة عند نقطة التقائهما، حيث توجد هناك تراكيب ليس لها أي وظيفة، وهي **الأعور Cecum والزَّائدة الدُّودية Appendix**، (الشكل 48-14). لا يحدث الهضم في الأمعاء الغليظة، ويتمُّ امتصاص 4% فقط من السَّوائل هنا.

لا تلتف الأمعاء الغليظة مثل الأمعاء الدَّقيقة، ولا تمتلك سطوحها الدَّاخلية خملات. لذلك، فإنَّ الأمعاء الغليظة تمتلك مساحة سطحية أقل من ثُلث التي تمتلكها الأمعاء الدَّقيقة. إنَّ أهمَّ وظائف الأمعاء الغليظة امتصاصُ الماء، وما تبقَّى من الأملاح، ونواتج الأيض في البكتيريا (فيتامين ك). تُحضِّر الأمعاء الغليظة الفضلات ليتم إخراجها من الجسم.

كثير من البكتيريا تعيش، وتتكاثر في الأمعاء الغليظة، والزَّائد منها يدخل في تركيب المواد المطروحة التي تُدعى البُراز *Feces*. يُنتج التَّخمُّر البكتيري للفضلات غازات داخل القولون بمُعدَّل 500 مل لكل يوم. ويزداد هذا المُعدَّل بشكل كبير بعد تناول الفاصولياء وأنواع أخرى من الخضروات حيث إنَّ مرور مواد نباتية غير مهضومة (ألياف) في الأمعاء الغليظة يُوفِّر مواد تستخدمها البكتيريا لعملية التَّخمُّر.

يُعتقد أن الأمعاء الغليظة (القولون) في الإنسان قد تطورت لمُعالجة الغذاء الذي يحتوي على نسبة عالية من الألياف. تعدّ الأطعمة قليلة الألياف، والمُنتشرة بشكل كبير في الولايات المُتحدة والدُّول المُتقدمة، سببًا في تقليل مرور الغذاء خلال



الشكل 48-14

التقاء الأمعاء الدَّقيقة والغليظة في الإنسان. تبدأ الأمعاء الغليظة بالأعور، وهو صغير الحجم في الإنسان مُقارنة مع الثدييات الأخرى. يمتد من الأعور تركيب يُدعى الزَّائدة الأعورية.

الأمعاء الغليظة. ويُعتقد أن الأطعمة قليلة الألياف تُساعد على زيادة مُستوى سرطانات الأمعاء الغليظة (سرطان القولون) في الولايات المُتحدة، الذي يعدّ من أكثر السَّرطانات انتشارًا في العالم.

يمرُّ البُراز، مدفوعًا بانقباضات الحركة الدُّودية من الأمعاء الغليظة، إلى أنبوب قصير يُسمّى المُستقيم. يخرج البُراز من المُستقيم إلى خارج الجسم عن طريق فتحة الشَّرج . يتحكَّم صمّامان في مرور البراز خلال فتحة الشَّرج: الأول يتكوَّن من عضلات ملساء، ويفتح بطريقة غير إرادية استجابة للضَّغط في المُستقيم والثَّاني مُكوَّن من عضلات مُخطَّطة، ويُمكن التَّحكم فيه عن طريق الدِّماغ بشكل إرادي، ومن ثم يسمح بتأخير عملية التَّبرُّز في الإنسان الواعي.

في مُعظم الفقريات، يشترك الجهازان التَّناسلي والبولي مع القناة الهضمية في تجويف يُدعى المذرق. في بعض الزَّواحف والطُّيور، يتمُّ امتصاص الماء من البُراز أو البول في هذا المذرق قبل أن يتم إخراجهما إلى خارج الجسم. الاستثناء لذلك، هو مُعظم الثدييات التي لا تمتلك مذرقًا، إذ يقوم الجهازان البولي والتَّناسلي بطرح مُحتوياتهما بشكل مُنفصل عن الجهاز الهضمي إلى خارج الجسم.

تقوم الأمعاء الغليظة بتركيز الفضلات قبل إخراجها عن طريق امتصاص الماء منها. يتمُّ امتصاص بعض الفيتامينات وفيتامين (ك) في الأمعاء الغليظة.

6-48 الاختلافات في الجهاز الهضمي للفقريات

تفتقر الحيوانات إلى الأنزيمات اللازمة لهضم السليلوز، ولكن القناة الهضمية في بعض الحيوانات تحتوي بكتيريا وأوليات قادرة على تحويل السليلوز إلى مواد يُمكن امتصاصها. وعلى الرَّغم من أنَّ الهضم باستخدام مخلوقات دقيقة معدية معوية يؤدي دورًا صغيرًا نسبيًّا في تغذية الإنسان، فإن هذه المخلوقات ذات أهمية بالغة في تغذية أنواع أخرى من الحيوانات بما في ذلك الحشرات، مثل النمل الأبيض والصراصير، ومجموعات قليلة من الثدييات آكلة الأعشاب. إنَّ العلاقة بين هذه المخلوقات الدَّقيقة والحيوانات العائلة لها هي علاقة تبادل للمنفعة، وتُشكل مثالًا مناسبًا على التَّعايش (انظر الفصل الـ 56).

المُجترات تُعيد مضغ الغذاء المجترّ

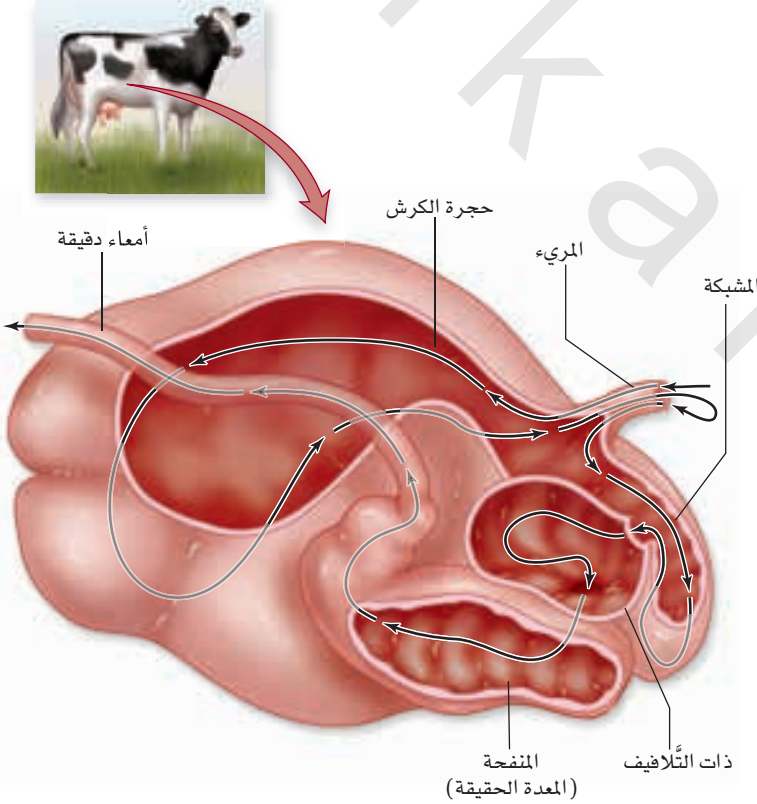
تمتلك المُجترات معدة ذات أربع حجرات (الشكل 48-15). أول ثلاثة أجزاء تضمُّ المُشبَّكة، والكرش، وذات التِّلافيف. ويلي هذه الحجرات المعدة الحقيقية، أو المنفحة.

الكرش، الذي يتَّسع إلى خمسين جالونًا تقريبًا، يعمل بوصفه وعاء تخمير، حيثُ تقوم البكتيريا والأوليات بتحويل السليلوز وجزيئات أخرى إلى أنواع مُتعدِّدة من المُركبات البسيطة. إنَّ موقع الكرش في بداية المعدة الرُّباعية ذو أهمية كبيرة، حيثُ يسمح للحيوانات بإعادة مضغ مُحتويات الكرش، ويُسمى هذا النَّشاط الاجترار *Rumination*، أو "مضغ قطع الغذاء الرَّاجعة من المعدة". يُحطِّم الاجترار الألياف الصلبة في الغذاء إلى جزيئات صغيرة، ومن ثم يزيد من مساحة السَّطح الذي تعمل عليه المخلوقات الدَّقيقة.

بعد مضغ المُضغة الغذائية للمرة الثانية، يتمُّ ابتلاعها لتعمل عليها البكتيريا مرة أخرى في الكرش. بعد ذلك، تذهب المُضغة إلى ذات التِّلافيف، ومن ثمَّ إلى المنفحة، وهناك تختلط بالعُصارة الهاضمة. تقود هذه العملية إلى هضم ذي كفاءة أكبر للسليلوز في المُجترات مُقارنة مع المخلوقات آكلة الأعشاب الأخرى مثل الخيول، التي تفتقر إلى الكرش.

تمتلك آكلات الأعشاب الأخرى إستراتيجية بديلة للهضم

في بعض الحيوانات، مثل: القوارض، والخيول، والغزلان، والأرنبيات (الأرانب والأرانب البرية)، يتمُّ هضم السليلوز عن طريق مخلوقات دقيقة تُوجد في الأعور؛ إذ تمتلك هذه المخلوقات أعور كبيرًا (الشكل 48-16). وحيثُ إنَّ الأعور يقع خلف المعدة، فإنَّ إعادة محتوياته إلى الفم وإعادة مضغها أمر مُستحيل.



الشكل 48-15

المعدة ذات الأربع حجرات في المُجترات. تدخل الحشائش والنباتات الأخرى التي تتناولها الحيوانات المُجترة إلى حجرة الكرش، حيث يحدث لها هضم جُزئي. يمتلك هذا الجزء البكتيريا القادرة على تحطيم السليلوز الموجود في الجدار الخلوي للخلايا النباتية. قبل أن ينتقل الغذاء إلى الحُجرة المقبلة، المشَبَّكة، يعود إلى الفم ليُمضغ من جديد. بعد ذلك، ينتقل الغذاء إلى الحُجرتين الخلفيتين: ذات التِّلافيف والمنفحة. تقوم المنفحة بإفراز العُصارة المعدية فقط كما هو الحال في معدة الإنسان.

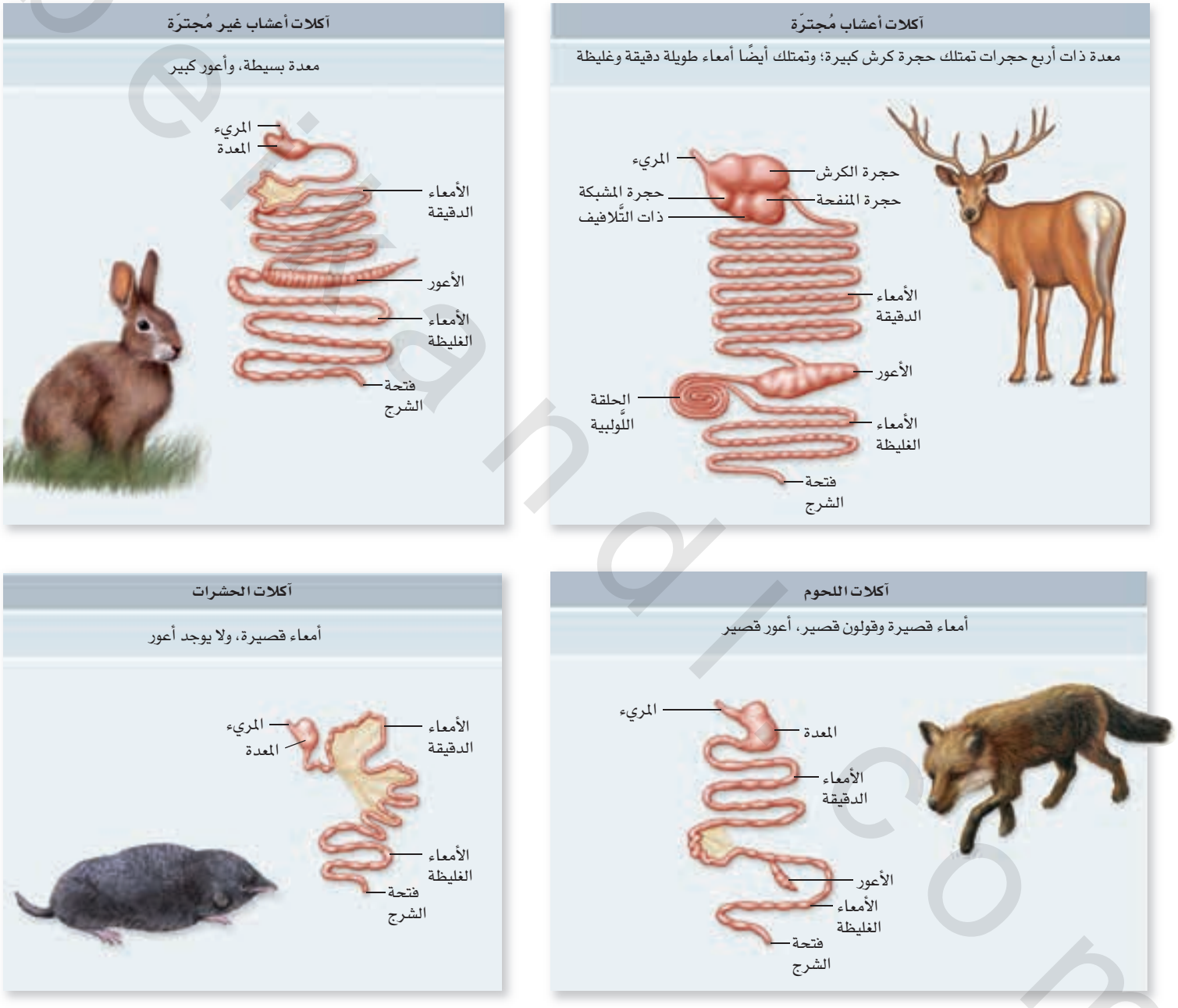
openkana.com

لقد طوَّرت القوارض والأرنبيات طريقة أخرى للاستفادة من المواد الغذائية في السليلوز التي تصل إلى درجة كفاءة مُشابهة لما تقوم به المُجترات، حيثُ تعمل هذه المخلوقات على أكل روثها (بُرازها)، وتُدعى هذه المخلوقات **آكلة الروث Coprophagy** ولهذا، فهي تُمرِّر الغذاء مرة أخرى من خلال القناة الهضمية. إنَّ مرور الغذاء مرة أخرى من خلال القناة الهضمية يسمح للحيوانات بامتصاص المواد الغذائية التي نتجت بفعل عمل المخلوقات الدَّقيقة في الأعور. هذه الحيوانات لا تبقى بصحة جيدة إذا مُنعت من تناول برازها (روثها).

الحيوانات الأخرى التي لا تتغذى على أطعمة تحتوي على السليلوز، مثل آكلات الحشرات واللحوم، لا تمتلك الأعور، وإذا امتلكته، فإنه يكون مُختزلًا بشكل كبير.

هضم الشَّمع

السليلوز ليس النَّاتج النَّباتي الوحيد الذي تستخدمه الفقريات بوصفه غذاء، بفضل المخلوقات الحية الدَّقيقة، إذ يمكن هضم الشَّمع، وهو مادة غير قابلة للهضم لدى مُعظم الحيوانات التي تعيش على اليابسة، بفعل بعض أنواع البكتيريا التَّعايُشية التي تعيش في أمعاء بعض الطيور، مثل دليل العسل الإفريقي، *Prodotiscus insignis*، الذي يتغذّى على الشمع الموجود في خلايا النَّحل.



الشكل 48–16

الأجهزة الهضمية للثدييات المُختلفة تعكس طبيعة غذائها. آكلات الأعشاب، مثل الأرانب والغزلان، تحتاج إلى قناة هضمية طويلة مع أجزاء مُتخصِّصة لتحطيم النَّباتات. الأطعمة البروتينية سهلة الهضم مُقارنة مع النَّباتات؛ ولهذا، فإنَّ آكلات الحشرات واللحوم من الثدييات، مثل الخُلد والثعالب على التَّوالي، تمتلك قناة هضمية قصيرة مع جيوب مُتخصِّصة قليلة.

Obeikandl.com

في السلسلة الغذائية البحرية، يُعدّ الشمع من أهم مكونات مجدافية الأرجل (وهي قشريات توجد في العوالق)، وتُبدي بعض الأسماك البحرية والطيور قُدرة على هضم الشَّمع الموجود في هذه القشريات بمُساعدة البكتيريا التَّعايُشية.

فيتامين ك

مثال آخر على استخدام بكتيريا الأمعاء في عمليات أيض الحيوان المُعيل لهذه البكتيريا هو عملية تصنيع فيتامين ك. تعتمد الثدييات جميعها على هذه البكتيريا لتصنيع هذا الفيتامين اللازم لعملية تجلط الدَّم. وتعتمد الطُّيور التي لا تمتلك هذه البكتيريا على الغذاء بوصفه مصدرًا لهذا الفيتامين.

في الإنسان، تُقلِّل كثرة استخدام المُضادات الحيوية من عدد هذه البكتيريا في الأمعاء، وفي هذه الظروف، يجب تناول هذا الفيتامين بوصفه مضافًا غذائيًّا. إنَّ إعادة هذه البكتيريا إلى الجهاز الهضمي قد يُساعد على التَّوقف عن تناول هذا الفيتامين.

مُعظم القيمة الغذائية في النباتات مُرتبطة بالسليلوز، ولهذا فإنَّ الجهاز الهضمي لعدد من الحيوانات يستضيف مُستعمرات من المخلوقات الدَّقيقة الهاضمة للسليلوز. تقوم المخلوقات الدَّقيقة الموجودة في الأمعاء بإنتاج جُزيئات مثل فيتامين (ك) الذي يُعدّ ضروريًّا للعائل الفقري الذي يستضيف هذه المخلوقات الدَّقيقة.

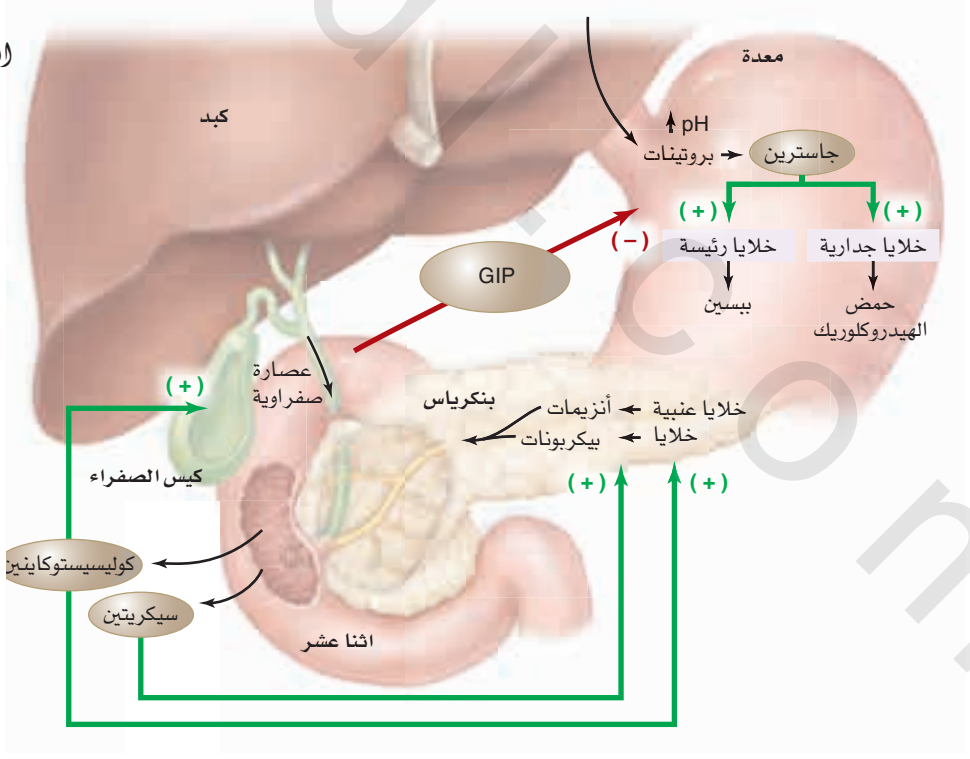
7-48 التَّنظيم العصبي والهرموني للجهاز الهضمي

تُنظَّم أنشطة القناة المعدية المعوية عن طريق الجهاز العصبي وجهاز الغدد الصماء. فمثلًا، يقوم الجهاز العصبي بتحفيز الإفرازات اللعابية والهضمية استجابة لرؤية الأطعمة وشمها، وتناولها. وعندما يصل الغذاء إلى المعدة، تُحفِّز البروتينات الموجودة في الغذاء إفراز الهرمون المعوي **جاسترين Gastrin** الذي يُنبِّه بدوره إفراز مولد البيسين وحمض الهيدروكلوريك من الغُدد المعدية (الشكل 48-17). يقوم حمض الهيدروكلوريك بزيادة درجة أحماضة العصارة الهاضمة التي تعمل على تثبيط إفراز المزيد من جاسترين بآلية حلقة التَّغذية الرَّاجعة السالبة. بهذه الطريقة، يبقى إفراز الحمض المعوي تحت سيطرة مُحكمة.

يُؤدي دخول الكايموس من المعدة إلى الاثنا عشر إلى تثبيط انقباضات المعدة، ومن ثم لا يمر كايموس إضافي إلى الاثنا عشر إلى أن تتم مُعالجة الكايموس الذي دخل. يتمُّ هذا التَّثبيط عن طريق رد فعل عصبي، وعن طريق الهرمونات التي يُفرزها الاثنا عشر إلى الدَّم. تُدعى هذه الهرمونات مُجتمعة **إنتروجاسترون** (المعدي المعوي) **Enterogastrons**.

تضُّم هذه الهرمونات **كوليسيستوكاينين Cholecystokinin (CCK)** وسكرتين **Secretin**، **والببتيد المُثبِّط المعدي Gastric inhibitory peptide (GIP)**. يُعدّ الكايموس المُحتوي على نسبة دهون عالية مُحفِّزًا قويًّا لإفراز كوليسيستوكاينين والببتيد المُثبِّط المعدي، في حين تؤثر زيادة أحماضة الكايموس في إفراز سكرتين. تعمل هذه الهرمونات الثلاثة على تقليل حركة المعدة وإفراز العُصارة المعدية؛ ولهذا فإنَّ الوجبات الدُّهنية عادةً ما تبقى في المعدة فترات أطول مُقارنة مع الوجبات التي لا تحتوي على دهون.

إضافة إلى تثبيط المعدة، يمتلك هرمونا كوليسيستوكاينين وسكرتين وظائف تنظيمية مُهمة في عملية الهضم، حيث يُحفِّز هرمون كوليسيستوكاينين الإفرازات البنكرياسية المُحتوية على الأنزيمات الهاضمة، ويُحفِّز أيضًا كيس الصفراء. يحقن انقباض كيس الصفراء المزيد من الصفراء في الاثنا عشر، فتعمل بدورها على زيادة استحلاب الدُّهون، ومن ثم تزيد من فعالية هضم الدُّهون. يقوم هرمون



الشكل 48-17

الهرمونات المُتحكِّمة في القناة المعدية المعوية. يُحفِّز الجاسترين، المُفرز من الطَّبقة المُخاطية في المعدة إفراز حمض الهيدروكلوريك ومولد الببسين (الذي يتحوَّل إلى ببسين). يُفرز الاثنا عشر ثلاثة هرمونات: كوليسيستوكاينين؛ الذي يُحفِّز انقباض كيس الصفراء وإفراز الأنزيمات البنكرياسية، وسيكريتين؛ الذي يُحفِّز إفراز البيكربونات من البنكرياس، والببتيد المُثبِّط المعدي؛ الذي يُثبِّط طرح مُحتويات المعدة إلى الاثنا عشر.

سكرتين بتنبيه البنكرياس لإفراز البيكربونات، التي تعمل على مُقاومة أحماضة الكايموس. ويتميَّز هذا الهرمون بكونه أول هرمون تمَّ اكتشافه. ويُلخِّص (الجدول 48-1) عمل الأنزيمات والهرمونات الهاضمة.

إنَّ ردود الأفعال العصبية والهرمونية تُنظِّم نشاط الجهاز الهضمي. تُنظِّم إفرازات المعدة عن طريق الغذاء وهرمون جاسترين. يعمل إنتيروجاسترون المُفرز من الاثنا عشر على تثبيط الهضم المعدي وتحفيز الهضم في الاثنا عشر.

الجدول 48-1 هرمونات وأنزيمات الهضم

الهرمونات

الهرمون	الصنف	المصدر	المُحفِّز	الوظيفة	ملاحظات
الجاسترين	عديد الببتيد	الجزء البوابي من المعدة	دخول الغذاء للمعدة	يُحفِّز إفراز حمض الهيدروكلوريك ومولد الببسين من المعدة.	يعمل على العضو المُفرز له.
الكوليسيستوكاينين (CcK)	عديد الببتيد	الاثنا عشر	الكايموس الدُّهني في الاثنا عشر.	يُحفِّز انقباض كيس الصفراء وإفراز الأنزيمات الهاضمة من البنكرياس.	يُشبه من النَّاحية التَّركيبية الجاسترين.
الببتيد المُثبِّط المعدي (GIP)	عديد الببتيد	الاثنا عشر	الكايموس الدُّهني في الاثنا عشر.	يمنع طرح مُحتويات المعدة في الاثنا عشر.	يُحفِّز إفراز الأنسولين أيضًا.
السيكرتين	عديد الببتيد	الاثنا عشر	الكايموس الحمضي في الاثنا عشر.	يُحفِّز إفراز البيكربونات من البنكرياس.	أول هرمون تمَّ اكتشافه (1902)

الأنزيمات

الموقع	الأنزيم	المادة التي يعمل عليها	نواتج الهضم
الغدة اللعابية	الأميليز	النشا، الجلايكوجين	سكريات ثنائية التَّسكر.
المعدة	الببسين	البروتينات	ببتيدات قصيرة
البنكرياس	اللاييز (مُحلِّل الدُّهون)	الدُّهون ثلاثية الجليسرول	أحماض دهنية، جليسرول أحادي
	تريبسين، كيموتربسين	البروتينات	ببتيدات قصيرة
	DNAse (مُحلِّل DNA)	DNA (الحمض النووي الرَّايبوزي منقوص الأكسجين)	نيوكليوتيدات
	RNase (مُحلِّل RNA)	RNA (الحمض النووي الرَّايبوزي)	نيوكليوتيدات
الأمعاء الدَّقيقة (الحافة الفرشاة)	ببتيديز (مُحلِّلات الببتيد)	ببتيدات قصيرة	أحماض أمينية
	نيوكلييز (محللات الأحماض النووية)	DNA و RNA	سكر، القواعد النتروجينية للأحماض النَّووية.
	لاكتيز، مالتيز، سكريز	السكريات ثنائية التَّسكر	سكريات أحادية التَّسكر

8-48 وظائف الأعضاء المُساعدة (الغدد الملحقة)

يؤدي كل من الكبد والبنكرياس أدوارًا مهمة أخرى غير إنتاج الأنزيمات الهاضمة. ويُعدّ الكبد من أهم الأعضاء التي تؤدي دورًا في تحطيم المواد السّامة. كذلك يقوم البنكرياس بإفراز هرمونات تُنظِّم مستوى الجلوكوز في الدَّم عن طريق تأثيره جُزئيًّا في خلايا الكبد.

يُعدِّل الكبد بعض المواد الكيميائية للحفاظ على الاتزان الدَّاخلي

حيث إنَّ المواد الغذائية تنتقل من المعدة والأمعاء مُباشرة إلى الكبد عن طريق الوريد الكبدي البابي، فإن الكبد يُعدّ في موقع جيد ليقوم بتعديل المواد المُمتصة من القناة الهضمية قبل انتقالها إلى أنحاء الجسم المُختلفة. فمثلًا، الكحول والأدوية المُتناولة تذهب إلى الكبد وتُعالج هناك؛ وهذا هو أحد العوامل التي تُسبِّب تلفًا للكبد نتيجة الإدمان على الكحول والأدوية.

يعمل الكبد أيضًا على إزالة السُّموم، والمُبيدات، والمواد المُسرطنة، وسموم أخرى، عن طريق تحويلها إلى مواد أقل سمية. من أهم الأمثلة على ذلك، تحويل الكبد مادة الأمونيا السَّامة التي تُنتجها البكتيريا الموجودة في الأمعاء إلى بولينا، حيث يستطيع الجسم احتواء البولينا بشكل آمن وحملها في الدَّم بتراكيز مُرتفعة.

بشكل مُشابه، يعمل الكبد على تنظيم عدد من المواد التي يُنتجها الجسم. فمثلًا، يتمُّ تحويل الهرمونات الستيرويدية، إلى مواد أقل فاعلية وأكثر ذائبية في الماء عن طريق الكبد. يتمُّ دمج هذه المواد بعد ذلك مع عُصارة الصفراء، ويتمُّ التَّخلُّص منها عن طريق البُراز، أو تُنقل عن طريق الدَّم إلى الكليتين، ويتمُّ التَّخلُّص منها عن طريق البول.

يُنتج الكبد أيضًا مُعظم بروتينات بلازما الدَّم. ويُعدّ مجموع تركيز بروتينات بلازما الدَّم مهمًّا، حيث إنه يُحافظ على التَّوازن الأسموزي ضمن مدى مُعيَّن بين الدَّم والسائل بين الخلوي. فإذا انخفض تركيز بروتينات بلازما الدَّم بشكل كبير، كما يحدث عند الإصابة بمرض تشمُّع الكبد، فإنَّ السَّوائل تتجمَّع في الأنسجة، مُسبِّبة ما يُدعى الاستسقاء *Edema*.

المُحافظة على تركيز جلوكوز الدَّم بفعل الأنسولين والجلوكاجون

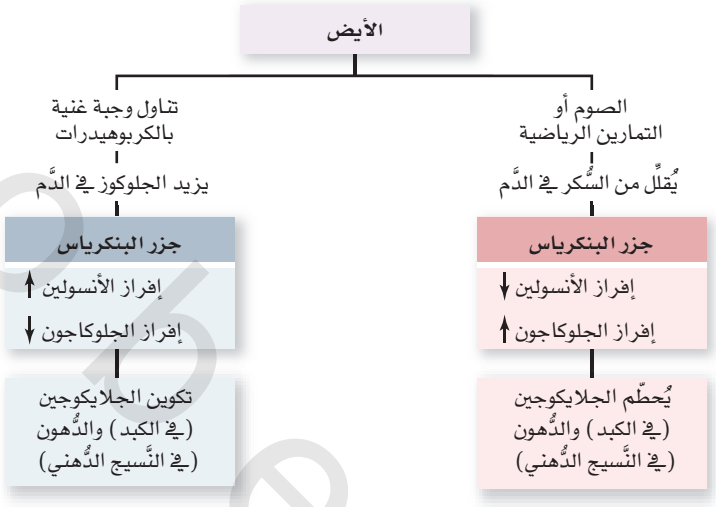
تحصل العصبونات في الدِّماغ على طاقتها من تحطيم الجلوكوز القادم من بلازما الدَّم، بعملية التَّنفس الهوائي. ولهذا، من المُهم جدًا عدم انخفاض تركيز الجلوكوز كثيرًا في الدَّم، كما يحدث خلال عملية الصوم، أو إجراء التَّمارين الرِّياضية مدة

طويلة. وإن من المُهم أيضًا عدم ارتفاع تركيز الجلوكوز في الدَّم إلى مُستويات عالية، كما يحدث عند الأشخاص المُصابين بمرض السُّكري عند عدم تناولهم العلاج، حيث يُسبِّب ارتفاع السُّكر في الدَّم إلى مستويات عالية تلفًا للأنسجة.

بعد تناول وجبة غنية بالكربوهيدرات، يقوم الكبد والعضلات الهيكلية بإزالة مُعظم الجلوكوز الزَّائد من الدَّم وخزنه على شكل **جلايكوجين Glycogen**. تُحفَّز هذه العملية عن طريق هرمون الأنسولين، الذي يُفرز من خلايا بيتا في جزر لانجرهانز البنكرياسية (الشكل 48-18).

عندما يقلّ تركيز الجلوكوز في الدَّم، كما هو الحال بين الوجبات، أو خلال الصوم، أو في أثناء التَّمارين الرِّياضية، يقوم الكبد بإطلاق الجلوكوز إلى الدَّم. يتم الحصول على هذا الجلوكوز من تحطيم الجلايكوجين المُخزون في الكبد إلى جلوكوز -6- فوسفات، وتُسمَّى هذه العملية **تحلُّل الجلايكوجين Glycogenolysis**. يقوم الكبد بعد ذلك بإزالة مجموعة الفوسفات مُطلقًا جزيء الجلوكوز الحر في الدَّم. تفتقر العضلات الهيكلية إلى الأنزيم الذي نحتاج إليه لإزالة مجموعة الفوسفات هذه، ومع أنَّ العضلات تُعدّ مخازن للجلايكوجين، إلا أنَّها غير قادرة على إطلاق الجلوكوز إلى الدَّم. على الرَّغم من ذلك، تستطيع الخلايا العضلية استخدام هذا الجلوكوز مُباشرة في عملية إنتاج الطاقة، حيث إنَّ الجلوكوز6-- فوسفات هو ناتج أول تفاعل في عملية تحلُّل الجلوكوز. إنَّ تحطُّم الجلايكوجين الموجود في الكبد يتمُّ تحفيزه عن طريق هرمون آخر، هو الجلوكاجون، الذي يفرز من خلايا ألفا التَّابعة لجزر لانجرهانز في البنكرياس (انظر الشكل 48-18).

إذا استمرت عملية الصوم أو إجراء التَّمارين الرِّياضية، يبدأ الكبد بتحويل جزيئات أخرى، مثل الأحماض الأمينية وحمض اللبن، إلى جلوكوز. تُدعى هذه العملية **تكوين** (تخليق) **الجلوكوز Gluconeogenesis**. نحصل على الأحماض الأمينية المُستخدمة في هذه العملية من البروتينات الموجودة في العضلة، وهذا يُفسِّر حدوث ضمور العضلات أو ضعفها في أثناء الصوم مددًا طويلة.



الشكل 48-18

عمل الأنسولين والجلوكاجون. بعد تناول الوجبة، تُحفِّز زيادة إفراز الأنسولين من خلايا بيتا في جُزر البنكرياس تكوين الجلايكوجين والدُّهون. في أثناء الصوم أو أداء التَّمارين الرِّياضية، تُحفِّز زيادة إفراز الجلوكاجون من خلايا ألفا في جزر البنكرياس، وانخفاض إفراز الأنسولين تحطُّم الجلايكوجين والدُّهون (من خلال تفاعلات التَّحلُّل المائي).

يُعدّ الكبد مسؤولًا عن تعديل الجزيئات الكيميائية، مثل السُّموم والهرمونات الستيرويدية. يتمُّ تنظيم تركيز الجلوكوز في الدَّم عن طريق هرمونات البنكرياس، والكبد. يُحفِّز الأنسولين تكوين الجلايكوجين والدُّهون في الكبد. ويُحفِّز الجلوكاجون تحطُّم الجلايكوجين في الكبد، الذي يُطلق بدوره الجلوكوز إلى الدَّم.

9-48 طاقة الغذاء، وإنفاق الطاقة، والمواد الغذائية الضَّرورية

يُستخدم الغذاء المهضوم لأداء وظيفتين أساسيتين، هما: تزويد الجسم بمصدر طاقة، وكذلك تزويده بالمواد الأولية التي لا يستطيع الجسم تصنيعها وحده.

حتى الحيوانات التي لا تقوم بأي نشاط تحتاج إلى طاقة لتدعم عمليات الأيض بها؛ إنَّ أقل مُعدَّل للطَّاقة يتمُّ استهلاكه في هذه الظُّروف يُسمّى **مُعدَّل الأيض القاعدي Basal metabolic rate (BMR)**. هذا المعدل ثابت للفرد تقريبًا، ويعتمد بشكل أساسي على العمر، والجنس، وحجم الجسم.

الإجهاد يزيد من مُعدَّل الأيض

إنَّ الإجهاد البدني يزيد من مُعدَّل الأيض فوق المُستوى القاعدي. ولهذا، فإنَّ كمية الطَّاقة التي يستهلكها الجسم في اليوم الواحد لا تُحدَّد فقط بمعدل الأيض القاعدي، ولكن أيضًا بمستوى النَّشاط البدني. فإذا تمَّ تناول كمية من الطَّاقة أكثر مما تستهلكه في اليوم، فإنَّ الطَّاقة الزَّائدة ستُخزَّن على شكل جلايكوجين ودهون. وحيث إنَّ كمية تخزين الجلايكوجين مُحدَّدة، فإنَّ الزِّيادة في الطاقة المأخوذة ستُسبِّب تراكم الدُّهون.

إنَّ كمية الطَّاقة الموجودة في الغذاء والمأخوذة تُقاس **بالكيلو سعر Kilocalories** (واحد كيلوسعر = 1000 سُعر؛ إنَّ اختصاصيي التَّغذية يستخدمون كلمة سُعر بدلًا من كيلوسُعر). إنَّ كمية الكيلوسُعرات في الغذاء تُحدَّد بكمية الحرارة النَّاتجة عند "حرق الغذاء"، إما في جهاز يُدعى المُسعر الحراري، أو في الجسم، حيث يتمُّ أخذ الغذاء وأكسدته خلال عملية التَّنفس الخلوي. تتغير كمية السُّعرات المأخوذة بتغيُّر الغذاء، وإنَّ كمية الطَّاقة التي ننفقها تتغيَّر بحسب نمط حياة الفرد.

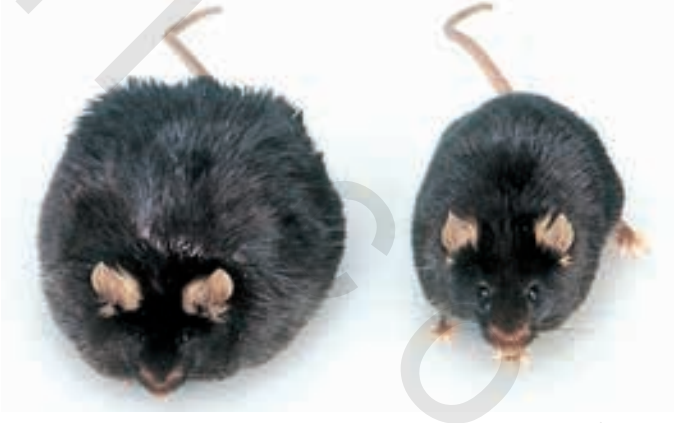
إنَّ كمية الإنفاق اليومية من الطاقة تتراوح بين 1300 إلى 5000 كيلوسُعر في اليوم اعتمادًا على مُعدَّل الأيض القاعدي ومُستوى النَّشاط البدني. وعندما يكون مجموع الكيلوسعرات المأخوذة أكبر من مُعدَّل الأيض مدة طويلة، فإنَّ الشَّخص يُراكم كمية من الدُّهون تكون ضارة لصحته، وتُعرف هذه الحالة **بالسَّمنة Obesity**. تُوصف السّمنة في هذه الأيام باستخدام ما يُسمَّى **مُؤشِّر كتلة الجسم المتري Metric body mass index (BMI)**. المؤشر هو نسبة الطُّول إلى الوزن، التي تُعطي تقديرًا لكمية الدُّهون دون قياسها بشكل مُباشر. يُحسب مُؤشِّر كتلة الجسم بقسمة الوزن بالكيلوجرام على مُربَّع الطُّول بالمتر. فإذا كان الرَّقم النَّاتج أكثر من 30 يعدّ الشَّخص سمينًا. في الولايات المُتحدة، يعاني نحو 34% من الأشخاص البالغين الذين أعمارهم بين 40 و 59 سنة من السّمنة. ومن بين الرِّجال الذين تبلغ أعمارهم ما بين 40 إلى 59 سنة، فإنَّ 31% تقريبًا يصنفون بأنهم سمان. ومن بين النِّساء اللواتي تبلغ أعمارهنّ بين 40 إلى 59 سنة فإنَّ 37% تقريبًا يُوصفن بالسّمنة. إذا تمَّ إضافة مَن هم في أعمار من 20 إلى 40 سنة، فإنَّ نسبة السّمنة تنخفض قليلًا، لكنها تبقى قريبة من 30%.

تناول الغذاء يتحكم فيه الجهاز العصبي والغُدد الصَّماء

منذ سنوات عدة، كان الأساس الهرموني والعصبي للشَّهية لغزًا. بيَّنت التَّجارب التي مُنعت فيها الفئران من تناول الغذاء (الصوم) أو زيدت تَّغذيتها أنَّ كمية الغذاء المأخوذة تزيد بعد انتهاء عملية الصَّوم. وهذا يزيد من سرعة استرجاع الوزن المفقود للحيوانات لتعود إلى القيمة التي كانت تمتلكها قبل الصوم. بعد ذلك يبدأ تناول الغذاء في الانخفاض. يدلُّ هذا على وجود آلية تحكُّم تربط بين تناول الغذاء والتَّوازن في الطَّاقة. تمَّ افتراض وجود عامل الشَّبع *Satiety factor* الهرموني الذي يُنتج من النَّسيج الدُّهني، لتفسير هذه المُلاحظات. وتمَّ أيضًا إثبات أنَّ مناطق في تحت المهاد تتدخل في السُّلوك الغذائي. وقد عرفت دراسات أجريت على القوارض عددًا من الجينات التي تُسبِّب السّمنة. لقد سمح علم الوراثة الجُزيئية باستنساخ عدد من هذه الجينات، فأدَّى هذا إلى رسم نموذج يربط بين تناول الغذاء والتَّوازن في الطَّاقة. يتضمَّن هذا النَّموذج إشارات قادمة مُرتبطة بالنَّسيج الدُّهني والسُّلوك الغذائي، وإشارات مُغادرة مُرتبطة بإنفاق الطَّاقة، وتخزينها، والتَّكاثر والسلوك الغذائي. وسوف نُناقش في البداية الهرمونات التي لها علاقة بذلك، ومن ثمَّ نُبيِّن كيف تعمل هذه الهرمونات في دائرة التَّحكُّم سابقة الذِّكر.

هرمون ليبتن

إنَّ أحد نماذج السّمنة عند القوارض، هو الفأر السَّمين، الذي تسببه طفرة في جين يُسمّى *Ob*. فالفئران التي تمتلك أليلات هذا الجين بصفة نقية ومُتنحية تُصبح سمينة مُقارنةً مع الفئران البرية (الشكل 48-19). بعد عزل الجين المسؤول عن هذا الطِّراز الشَّكلي أثبتت التَّجارب أنَّ هذا الجين يشفِّر معلومات لهرمون يُدعى **ليبتن Leptin**. عندما يُحقن هرمون ليبتن في حيوانات تمتلك *ob/ob*، فإنَّها تتوقف عن النهم في تناول الغذاء، ولا تُصبح سمينة (انظر الشكل 48-19). لقد بيَّنت هذه التَّجارب أيضًا أنَّ ليبتن هو عامل الشَّبع، وهو عامل مُهم في عملية التَّحكُّم في الشَّهية. وتمَّ عزل جين مُستقبلات ليبتن (*db*) وتبيَّن أنَّ عملية تصنيع هذه المُستقبلات تحدث في خلايا الدِّماغ في تحت المهاد التي لها علاقة بعملية تناول الطَّاقة.



الشكل 48-19

تأثيرات هرمون ليبتن. كلا الفأرين هنا نقيا الصفة للطفرة المُتنحية *ob*، التي تُسبِّب السّمنة. يحتوي الجين *ob* على المعلومات اللازمة لإنتاج الهرمون الببتيدي ليبتن. الفأر على اليمين تمَّ حقنه بليبتن، وخلال أسبوعين، تمَّ فقدان 30% تقريبًا من وزنه، من دون ظهور أعراض جانبية.

يعتقد الباحثون أنَّ ليبتن هو أهم إشارة ترميز في الجُزء الوارد من دائرة التَّحكُّم لرصد الطاقة، وتناول الغذاء، وإنفاق الطَّاقة. يُفرز ليبتن من النَّسيج الدُّهني استجابة للتَّغذية، ويتناسب تركيزه طرديًّا مع السُّلوك الغذائي وكمية الدُّهون في الجسم. إنَّ قلة تناول الغذاء تقلِّل من مُستوى ليبتن، هذا بدوره يُعطي إشارة للدِّماغ إلى أن تناول الغذاء أصبح ضروريًّا. إنَّ تناول الغذاء بعد الصَّوم يُسبِّب زيادة سريعة في مُستوى ليبتن. إما الجُزء المُغادر من هذه الدَّائرة فهو مُعقَّد، ويضمُّ التَّحكم في الطاقة المُنفقة، وتخزين الطَّاقة، والسُّلوك الغذائي. ويُمكن للتَّكاثر أن يتأثَّر كذلك، حيثُ إن التَّكاثر يُثبَّط في ظروف المجاعة.

لقد تمَّ عزل جين ليبتن من الإنسان، ويبدو أنَّه يعمل مثل عمله في الفئران. تبيَّن الدِّراسات الحديثة على الإنسان أنَّ نشاط الجين *ob* وتركيز ليبتن في الدَّم عالٍ في الأشخاص السِّمان مُقارنة مع الأشخاص النحاف، وأنَّ ليبتن الذي يُفرز من الأشخاص السمان هو طبيعي في مُعظم حالات السّمنة. وقد اقتُرح أن السّمنة في الإنسان تنتُج من انخفاض الحساسية لهرمون ليبتن في الدِّماغ، لا من انخفاض إنتاجه عن طريق الخلايا الدُّهنية. إن الأبحاث على ليبتن في الإنسان مُستمرة، حيثُ يهتم به العلماء الأكاديميون، كما تهتم به الصِّناعات الدَّوائية.

الأنسولين

على الرَّغم من أنَّ السّمنة المُفرطة المرتبطة بطفرات تُؤدي إلى فقدان وظيفة جين *ob* تدلّ على أنَّ إشارات هرمونية أخرى لا تستطيع التعويض عن ليبتن، إلا أنَّ هرمونات أخرى لها دور في السّمنة. يدخل الأنسولين في إشارة الشبع، إضافة إلى الليبتن، وينخفض مستوى هذا الهرمون مع الصَّوم، ويرتفع مع السّمنة. وحيث إنَّ الأنسولين يؤدي دورًا مُهمًّا في الحفاظ على تركيز الجلوكوز في الدَّم ثابتًا، كما ذُكر سابقًا، فإنَّ دوره في الدَّائرة المُتحكِّمة بتنظيم الطَّاقة مُعقَّد.

هرمونات القناة الهضمية

تُفرز المعدة مجموعة من الهرمونات التي تتحكَّم في فسيولوجية الهضم، كما تحدَّثنا سابقًا. بعض هذه الهرمونات تدخل في عملية تنظيم تناول الغذاء، حيثُ إنَّها تُفرز بشكل مُباشر استجابة لتناول الغذاء، وهو أمر ضروري لدورها في الهضم.

يمتلك هرمونا الببتيد المُثبِّط المعدي وكوليسيستوكاينين مُستقبلات في تحت المهاد، ويقومان بإرسال إشارات مُثبِّطة للدِّماغ، مثل ليبتن وأنسولين. تتغيَّر مُستويات هذين الهرمونين بحسب السُّلوك الغذائي بطريقة تُشبه ما يحدث لكل من ليبتن وأنسولين.

يمتلك هرمون المعدة جريلين Ghrelin تأثيرًا مُضادًّا للهرمونات السَّابقة المُثبِّطة للشَّهية. يمتلك هذا الهرمون مُستقبلات في تحت المهاد، لكنَّه يُحفِّز تناول الغذاء. هذا الدَّور تمَّ إثباته بدراسات على الجرذان، حيثُ تبيَّن أنَّ إعطاء هذه الحيوانات هرمون جريلين مدة زمنية طويلة يُؤدي إلى السّمنة. يرتفع مستوى هرمون جريلين قبل تناول الغذاء، ويُعتقد أنَّه يؤدي دورًا عند بداية تناول الغذاء. إنَّ أحد علاجات السّمنة المُفرطة، هو تخطي المعدة جراحيًّا، هذا يُؤدي إلى نقص مُستوى هذا الهرمون. ويُعتقد أن هذا النّقص أحد الأسباب وراء تثبيط الشَّهية التي نراها مُباشرة بعد هذه العملية.

الببتيدات العصبية

إنَّ السَّيطرة المُغادرة على تناول الغذاء والتَّوازن في الطَّاقة هي أقل وضوحًا من السَّيطرة القادمة التي نُوقشت سابقًا. إنَّ المُنظِّم المركزي هو تحت المهاد، واثنان من الببتيدات العصبية الدِّماغية: **الببتيد العصبي Y (Neuropeptide Y)** والهرمون المُحفِّز للخلايا الصبغية. هذه الهرمونات هي مُتضادة في عملها، حيثُ يعمل الهرمون الأول على تحفيز تناول الغذاء، أما الثاني فيُقلِّل منه.

إنَّ الأدلة على ذلك تمَّ الحصول عليها من تجارب أوضحت أن إنتاج الهرمون المُحفِّز للخلايا الصبغية وإفرازه يحفزه ليبتن، وأن حقن الهرمون المُحفِّز للخلايا الصبغية يُثبِّط تناول الغذاء. وإنَّ فقدان وظيفة مُستقبلات الهرمون المُحفِّز للخلايا الصبغية يُسبِّب السّمنة. في المقابل، فإنَّ التعبير عن الببتيد العصبي Y يُنظم سلبيًّا عن طريق ليبتن، وحقنه يُحفِّز سلوك تناول الغذاء.

نموذج لتوازن الطاقة

إنَّ النَّموذج الحالي لتوازن الطاقة والسُّلوك الغذائي مُلخَّص في (الشَّكل 48-20). يوجه ليبتن وأنسولين تنظيمًا طويل الأمد للجُزء القادم من هذه الشَّبكة من الإشارات. يُفرز ليبتن وأنسولين من النَّسيج الدُّهني والبنكرياس على التَّوالي استجابةً لتأثيرات السُّلوك الغذائي، وليس استجابة مُباشرة لعملية التَّغذية نفسها. يُؤدي هذا إلى ارتفاع مُستوى ليبتن في الدم بنسبة تتناسب طرديًّا مع كمية النَّسيج الدُّهني. المثال الواضح لذلك هو الارتفاع الكبير في مُستوى ليبتن في حالة السّمنة. يعمل ليبتن وأنسولين على تحت المهاد لتزيد من مُستوى الهرمون المُحفِّز للخلايا الصبغية، وتُقلِّل من مُستوى الببتيد العصبي Y. يُؤدي هذا إلى تقليل الشَّهية، وزيادة إنفاق الطَّاقة، ويسمح كذلك بالتَّكاثر والنُّمو. يعمل المُستوى المُنخفض لليبتن وأنسولين على تحت المهاد ليُقلِّل من الهرمون المُحفِّز للخلايا الصبغية، ويزيد من مُستوى الببتيد العصبي Y. يُؤدي هذا إلى زيادة في الشَّهية وتقليل إنفاق الطَّاقة. وإذا استمر توفُّر تركيز قليل من ليبتن، فإنَّ ذلك يُؤدي إلى تثبيط التَّكاثر والنُّمو.

تُفرز هرمونات كوليسيستوكاينين والببتيد المثبط المعدي استجابة لتناول الغذاء، وتُعدّ مُنظِّمات قصيرة الأجل للجُزء القادم من دائرة التَّحكُّم في توازن الطَّاقة. إن تأثيرها هو مثل ليبتن وأنسولين. يُعدّ هرمون المعدة جريلين أيضًا مُنظِّمًا لأمد قصير، حيث يُحفِّز تناول الغذاء.

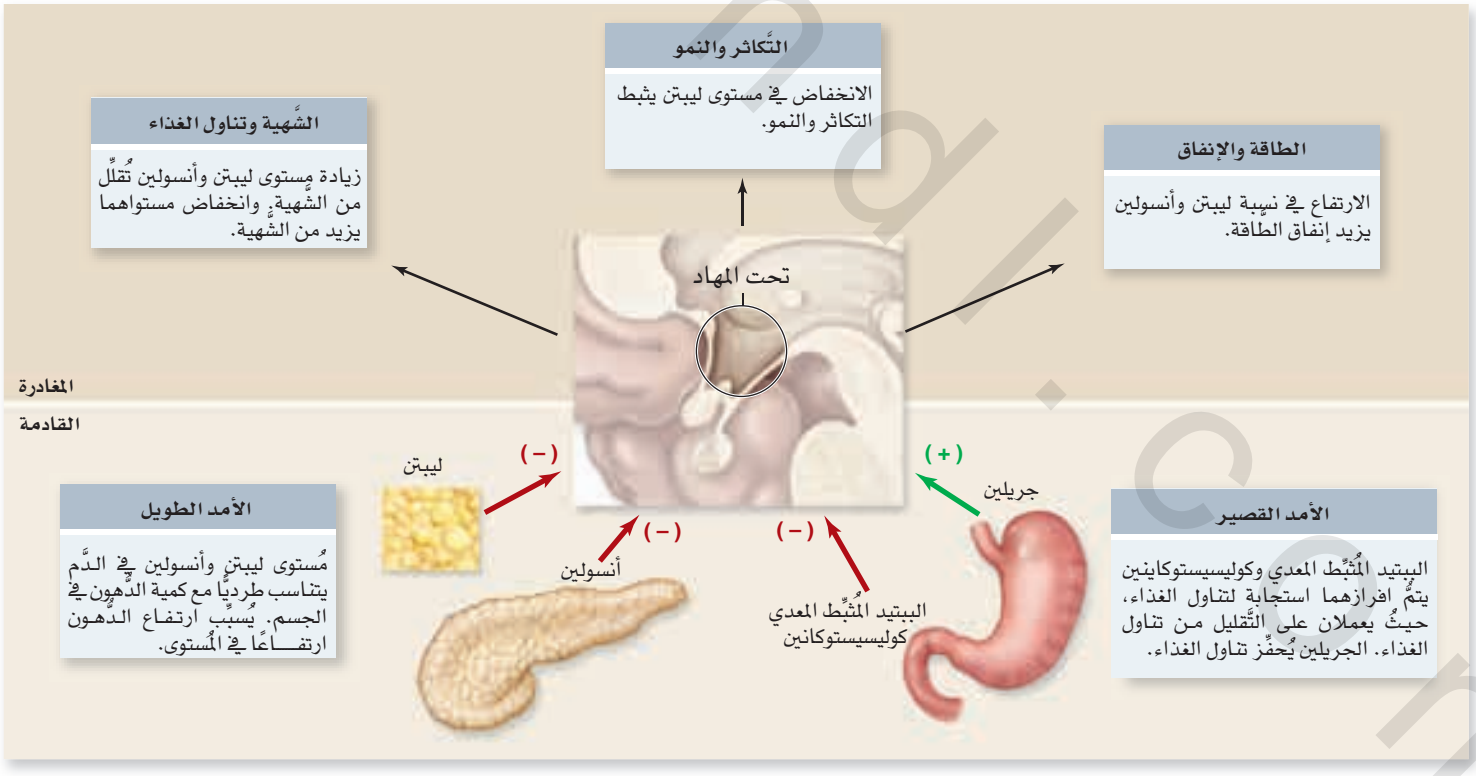
اضطرابات ناجمة عن تناول الغذاء

أصبحت الاضطرابات النَّاتجة عن تناول الغذاء في الولايات المتحدة، أكثر شيوعًا في السبعينيات من القرن السَّابق. إنَّ أكثر هذه الاضطرابات شيوعًا هو فقدان الشَّهية العصبي Anorexia nervosa، وهي حالة يقوم الأشخاص المتأثرون بها بتجويع أنفسهم بشدة، والشَّهية الكلبية Bulimia، التي فيها يقوم الأشخاص بعمل استفراغ بعد الأكل، ولهذا يبقى وزنهم ثابتًا. إن 90% إلى 95% ممن يُعانون هذه الاضطرابات هم من النِّساء؛ حيث قدَّر الباحثون أن 2% إلى 5% من الإناث البالغات، والنِّساء صغيرات السِّن في الولايات المُتحدة لديهن اضطرابات ناتجة عن تناول الغذاء.

المواد الغذائية الأساسية هي الأغذية التي لا يستطيع الجسم تصنيعها

عبر مراحل التَّطور، فقدت كثير من الحيوانات القُدرة على تصنيع بعض المواد التي تؤدي دورًا مهمًّا في عمليات الأيض لديها. هذه المواد التي لا يستطيع الحيوان تصنيعها، ولكنَّها ضرورية له، ويجب أن يحصل عليها من غذائه تُسمّى **المواد الغذائية الأساسية Essential nutrients**.

من هذه المواد الغذائية الأساسية **الفيتامينات Vitamins**، وهي مواد عضوية نحتاج إليها بكميات قليلة جدًا. فمثلًا، فقدت المخلوقات الآتية: الإنسان، والقرود، والخنزير الغيني القدرة على تصنيع حمض الأسكوربيك (فيتامين ج). فإذا لم يتم تناول هذا الفيتامين بكميات كافية، تُصاب هذه المخلوقات الثديية بمرض الأسقربوط، وهو مرض خطير يُسبِّب تآكل الأنسجة الضَّامة. ويحتاج الإنسان إلى 13 فيتامينًا مُختلفًا على الأقل (الجدول 48-2).



الشكل 48-20

التَّحكُّم الهرموني في السلوك الغذائي. يقع التَّحكُّم الهرموني في السلوك الغذائي تحت سيطرة التَّحكم طويل الأمد المُرتبط بكمية النَّسيج الدُّهني، وتحت سيطرة التَّحكم قصير الأمد المُرتبط بفعل التَّغذية. يتمُّ هذا التَّحكُّم عن طريق الجهاز العصبي المركزي. إنَّ أهم منطقة في الدِّماغ تنجز هذا العمل هي تحت المهاد.

بعض المواد الغذائية الأساسية نحتاج إليها بكميات أكبر مما نحتاج إليه في حالة الفيتامينات. فمثلًا، الكثير من الفقريات، لا تستطيع تصنيع واحد أو أكثر من العشرين حمضًا أمينيًّا. يجب أن يتمَّ الحصول على هذه الأحماض الأمينية الأساسية *Essential amino acids* عن طريق الفم. ويحتاج الجسم إلى 9 أحماض أمينية. فبالنِّسبة إلى الأشخاص الذين يأكلون الخضراوات فقط يجب أن يختاروا طعامهم بعناية ليحصلوا على الأحماض الأمينية الأساسية. هؤلاء الأشخاص يحتاجون إلى مُضافات غذائية تزوِّدهم ببعض الفيتامينات غير الموجودة بكميات كبيرة في النباتات، مثل فيتامين ب.

إضافة إلى ذلك، فقدت الفقريات كلها قدرتها على تصنيع بعض الأحماض الدُّهنية غير المُشبعة طويلة السلسلة، ولهذا يجب أن يتم الحصول عليها من الغذاء. بالمُقارنة، فإنَّ بعض المواد الغذائية الأساسية التي تستطيع الفقريات تصنيعها لا يُمكن أن تصنعها حيوانات أخرى. فمثلًا، تستطيع الفقريات تصنيع الكوليسترول، وهو جزء مهم في تركيب الهرمونات الستيرويدية، ولا تستطيع تصنيعه الحشرات آكلة اللحوم.

يُزوِّدنا الغذاء أيضًا **بالمعادن الأساسية Essential minerals** مثل الكالسيوم، والماغنسيوم، والفوسفور، ومواد غير عضوية أخرى، مثل العناصر النادرة *Trace elements* كالخارصين والمولبيديوم، التي نحتاج إليها بكميات قليلة جدًا. تحصل الحيوانات على هذه العناصر الضئيلة مُباشرة من النَّباتات أو من الحيوانات التي تتغذَّى على النَّباتات.

تعتمد كمية السُّعرات المُستهلكة من قبل الجسم على مُعدَّل الأيض القاعدي والسُّعرات الإضافية المُستهلكة في أثناء التَّمارين الرِّياضية. تحدث السَّمنة إذا زادت كمية طاقة الغذاء المأخوذة عن كمية طاقة الغذاء المُنفقة مدة زمنية طويلة. إنَّ التَّحكم في كمية تناول الغذاء مُرتبط بإنفاق الطَّاقة عن طريق هرمون ليبتن. يرتبط مُستوى ليبتن في الجسم بكمية الدُّهون. يتحكَّم تحت المهاد في السُّلوك الغذائي وتخزين الطَّاقة وإنفاقها. يحتاج الجسم إلى الفيتامينات والمعادن، ويحصل عليها من الغذاء. إضافة إلى ذلك، فإنَّ الغذاء يجب أن يُزوِّد الجسم بالأحماض الأمينية والأحماض الدُّهنية الأساسية التي لا يستطيع تصنيعها.

الجدول 48-2 الفيتامينات الرئيسة التي يحتاج إليها الإنسان

الفيتامين	الوظيفة	المصدر	أعراض العوز
فيتامين أ (ريتنول)	يدخل في تركيب صبغات العين، ويُحافظ على النَّسيج الطِّلائي.	الخضراوات، مُشتقات الحليب، الكبد.	الرؤية الليلية الضعيفة أو (العمى الليلي)، وجفاف الجلد.
مجموعة ب			
ب1	مُرافق أنزيم في إزالة ثاني أكسيد الكربون خلال عملية التَّنفس الخلوي.	الحبوب، اللحوم، البقوليات.	البري بري، ضعف القلب، الاستسقاء.
ب2 (رايبوفلافين)	يُشكل جزءًا من مُرافقات الأنزيمات وحاملات الطَّاقة التي تعمل في التَّنفس الخلوي FAD و FMN، والتي تؤدي دورًا في العمليات الأيضية.	أنواع عدة من الغذاء.	التهاب الجلد وتحطّمه (قروح)، وتهيُّج العين.
ب3 (نياسين)	يُشكِّل جزءًا من تركيب NAD^+ و $NADP^+$	الكبد، اللحوم، الحبوب.	البلاجرا (الجلد الخشن)، التهاب الأعصاب، أمراض عصبية.
ب5 (حمض البانتوثينك)	يُشكِّل جزءًا من تركيب مُرافق الأنزيم-أ، الرابط الأساسي بين تفاعلات أيض الدُّهون والكربوهيدرات.	أنواع عدة من الغذاء.	نادرة: التَّعب، فقدان التَّناسق الحركي العصبي.
ب6 (البريدوكسين)	مُرافق أنزيمي في كثير من مراحل الأيض للأحماض الأمينية.	الحبوب، الخضراوات، اللحوم.	فقر الدَّم، تشنُّج العضلات، تهيُّج.
ب12 (سيانوكوبالامين)	مُرافق أنزيم في إنتاج الأحماض الأمينية.	اللحوم الحمراء، الألبان.	فقر الدَّم الوبيل (فقر الدم الخبيث).
البيوتين	مرافق أنزيم في صناعة الدُّهون وأيض الأحماض الأمينية	اللحوم، الخضراوات.	نادرة: الاكتئاب، الغثيان.
حمض الفوليك	مرافق أنزيم في أيض الأحماض الأمينية والأحماض النووية	الخضراوات الخضراء.	فقر الدَّم، الإسهال.
فيتامين ج	أساسي لتكوين الكولاجين، المادة الأسمنتية في العظام، الأسنان، النَّسيج الضَّام في الأوعية الدَّموية؛ يزيد المُقاومة ضد العدوى	الفواكه، الخضراوات ذات الأوراق الخضراء.	الإسقربوط، تشقُّق الجلد، الأوعية الدَّموية.
فيتامين د (كالسيفيرول)	يزيد من امتصاص الكالسيوم، ويُحفِّز تكوُّن العظام	مشتقات الألبان، زيت كبد الكود	الكساح، تشوه العظام وتغيُّر شكلها.
فيتامين هـ (توكوفيرول)	حماية الأحماض الدُّهنية والغشاء الخلوي من الأكسدة	المارجرين، الحبوب، الخضراوات ذات الأوراق الخضراء	نادرة
فيتامين ك	ضروري لتخثُّر الدَّم	الخضراوات ذات الأوراق الخضراء	إطالة زمن تخثُّر الدَّم وحصول نزيف شديد في حالات العوز الشديد

مراجعة المفاهيم

48-1 أنواع أجهزة الهضم

تُقسَّم الحيوانات بحسب مصادر غذائها إلى حيوانات: عاشبة، ولاحمة، وخليطة التغذية.

- في اللواسع والدِّيدان المُفلطحة يمتلك التَّجويف الهضمي أو المعدي الوعائي فتحة واحدة (الشكل 48-1).
- سمح الجهاز الهضمي ذو الاتجاه الواحد بوجود مناطق مُتخصِّصة لِـ: البلع، والتجزئة، والهضم الكيميائي، والامتصاص.
- الهضم الكيميائي هو تحطيم جزيئات الغذاء إلى وحدات بنائية صغيرة.
- تتكون القناة المعدية المعوية من: الفم، والبلعوم، والمريء، والمعدة، والأمعاء الدَّقيقة والغليظة، والمذرق أو المُستقيم (الشكل 48-3).
- تمتلك القناة المعدية المعوية أربع طبقات (الشكل 48-4).

48-2 الفم والأسنان: التقاط الغذاء ومعالجة المقادير الكبيرة

يعكس التَّخصص في الأجهزة الهضمية طبيعة معيشة المخلوق الحي.

- تمتلك الكثير من الفقريات أسنانًا لتحطيم الغذاء. وتمتلك الطيور قانصةً تحتوي حصى تساعد على طحن الغذاء إلى جُزيئات صغيرة.
- أسنان الثدييات تعكس عاداتها الغذائية (الشكل 48-5).
- عندما يدخل الغذاء إلى الفم، تبدأ الغُدد اللعابية بإفراز اللعاب الذي يعمل على ترطيب الغذاء، ويسهِّل من انزلاقه، ويحتوي اللعاب على أنزيم الأميليز.
- تبدأ عميلة البلع إراديًّا، وتستمر بشكل غير إرادي (الشكل 48-8).

48-3 المريء والمعدة: بداية الهضم

يُغادر الغذاء المُبتلَع البلعوم، ويدخل إلى المريء ومن ثم يُكمل طريقه إلى المعدة، حيث يُخزَّن، وتبدأ عملية الهضم هناك.

- تدفع الحركة الناتجة عن الانقباضات العضلية المُتناغمة، أو الحركة الدُّودية، لقمة الغذاء إلى المعدة.
- في المعدة، يُمزج الغذاء مع حمض الهيدروكلوريك ومولد الببسين غير النَّشط، الذي يُنشط عند انخفاض درجة الأحماضة (الشكل 48-10).
- يتحوَّل مُولِّد الببسين إلى الببسين، وهو أنزيم فعّال يُحطِّم البروتينات.
- تُفرز الخلايا الجدارية العامل الداخلي الذي يحفِّز امتصاص فيتامين B_{12}.
- تعمل درجة الأحماضة المُنخفضة للمعدة على تغيير شكل البروتينات وطبيعتها في الغذاء.
- إنَّ الغذاء المهضوم جزئيًّا والممزوج مع العصارة المعدية، المسمى الكايموس، ينتقل عبر صمام البواب إلى الأمعاء الدَّقيقة.
- إنَّ الإصابة ببكتيريا هيليكوباكتر بايلوري *Helicobacter pylori* تُضعف بطانة المعدة، وتسمح للمعدة بتكوين القرحة.

48-4 الأمعاء الدَّقيقة: التحطيم (الهضم) والامتصاص

يحدث الهضم النِّهائي للكربوهيدرات، والدُّهون، والبروتينات ومُعظم الامتصاص في الأمعاء الدَّقيقة.

- يستقبل الاثنا عشر الأنزيمات الهاضمة والبيكربونات من البنكرياس، ويستقبل العصارة الصفراوية من الكبد وكيس الصفراء.
- تعمل زوائد شبيهة بالأصابع تُدعى الخملات على زيادة مساحة سطح الأمعاء الدَّقيقة (الشكل 48-11).
- تتضمن الأعضاء المُساعدة للهضم البنكرياس، والكبد، وكيس الصفراء (الشكل 48-12).
- يُفرز البنكرياس الأنزيمات الهاضمة والبيكربونات.
- تشتت أملاح الصفراء الدُّهون إلى كرات صغيرة.
- يُفرز الكبد العصارة الصفراوية، ويُخزِّنها في كيس الصفراء.
- تنتقل الأحماض الأمينية والسكريات أحادية التَّسكر إلى الخلايا الطلائية عن طريق النَّقل النَّشط، والنَّقل المُيسَّر (الشكل 48-13).
- تتحطَّم الدُّهون إلى أحماض دهنية وجليسرول أحادي، وتنتشر إلى داخل الخلايا الطلائية، ثم تتجمَّع على شكل كيلومايكرونات.
- تدخل الكيلومايكرونات إلى الجهاز الليمفي، ومن ثمَّ تنتقل إلى الجهاز الدَّوري (الشكل 48-13).
- تنتقل المواد الغذائية المُمتصة إلى الكبد من خلال الوريد البابي الكبدي.

48-5 الأمعاء الغليظة: التَّخلُّص من الفضلات

تلتقي الأمعاء الدَّقيقة مع الغليظة عند نقطة التقاء تركيبين مختزلين: الأعور والزَّائدة الأعورية (الشكل 48-14).

- يتمُّ امتصاص القليل من الماء، وفيتامين ك، والأيونات في الأمعاء الغليظة.
- الوظيفة الرَّئيسة للأمعاء الغليظة هي تركيز الفضلات.
- يُخزن البراز في المُستقيم حتى يُطرح إلى خارج الجسم.
- تمتلك مُعظم الثدييات المُستقيم، في حين تمتلك مُعظم الفقريات تجويفًا يُدعى المذرق، تلتقي فيه قنوات الجهاز: البولي، والتَّناسلي، والهضمي.

48-6 الاختلافات في الجهاز الهضمي للفقريات

لا تستطيع مُعظم الحيوانات هضم السليلوز، لكن بعض أنواع البكتيريا والأوليات التي تعيش في القناة الهضمية تُساعدها على هضم السليلوز (الشكل 48-16)

- تمتلك المُجترات معدة ذات أربع حجرات مُقسمة بشكل متسلسل إلى: الكرش، والمشبكة، وذات التلافيف، والمنفحة.
- يُعالَج الغذاء في النِّهاية في الكرش، وهو غرفة التَّخمُّر التي تحتوي على البكتيريا والأوليات (الشكل 48-15).
- في بعض الحيوانات آكلة النباتات، يتمُّ هضم السليلوز باستخدام المخلوقات الدَّقيقة في الأعور الذي يقع بعد المعدة.
- للاستفادة القصوى من المواد الغذائية التي تنتُج عن نشاط المخلوقات الدَّقيقة في الأعور، تقوم القوارض والأرنبيات بإعادة ابتلاع برازها.
- تقوم بعض الحيوانات بهضم الشمع بمُساعدة المخلوقات الدَّقيقة.

48-7 التَّنظيم العصبي والهرموني للجهاز الهضمي

تُنسق أنشطة القناة الهضمية عن طريق الجهاز العصبي، وجهاز الغُدد الصماء (الشكل 48-17 والجدول 48-1).

- في المعدة، يُحفِّز البروتين إفراز هرمون جاسترين، الذي يقوم بدوره بتحفيز إفراز حمض الهيدروكلوريك ومولد الببسين.
- تقوم هرمونات الاثنا عشر بتثبيط انقباضات المعدة، وتمنع الكايموس من الدُّخول إلى الاثنا عشر.
- يُحفِّز الكايموس ذو المحتوى الدُّهني العالي إفراز كوليسيستوكاينين والببتيد المُثبِّط المعدي، ويُحفِّز الكايموس الحمضي إفراز سكرتين.
- يُحفِّز الكوليسيستوكاينين إفراز أنزيمات البنكرياس وانقباض كيس الصفراء. في حين يُحفِّز سكرتين إفراز البيكربونات.

48-8 وظائف الأعضاء المُساعدة (الغدد الملحقة)

يؤدي البنكرياس والكبد دورًا أكبر من إفراز الأنزيمات الهاضمة.

- يعمل الكبد على إزالة السُّمية، وتنظيم مستوى الهرمونات الستيرويدية، وإنتاج بروتينات بلازما الدَّم.
- تُنظم الهرمونات البنكرياسية، أنسولين وجلوكاجون، مستوى الجلوكوز في الدَّم، وتصنع الجلايكوجين، الذي يُخزَّن في الكبد.

48-9 طاقة الغذاء، إنفاق الطَّاقة والمواد الغذائية الضرورية

يُزوِّد تناول الغذاء الجسم بمصدر الطَّاقة والمواد الأولية.

- مُعدَّل الأيض القاعدي هو أقل كمية طاقة تُستهلك في ظروف الرَّاحة.
- يُنظم تناول الغذاء عن طريق هرمونات، ليبتن وأنسولين، وهرمونات المعدة، والببتيدات العصبية (الشكل 48-20).
- المواد الغذائية الأساسية لا يُمكن تصنيعها في جسم الإنسان (الجدول 48-2).

أسئلة مراجعة

اختبار ذاتي

ارسم دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. تُعدّ الأمعاء في العواشب _____ مُقارنةً بأمعاء باللواحم.
   أ. أطول. ب. أقصر.
   جـ. مُتماثلة من ناحية الطول. د. أقل التفافًا.
2. واحدة من الوظائف الآتية لا تُعدّ من وظائف الجهاز الهضمي:
   أ. البلع.
   ب. الهضم (ميكانيكي وكيميائي).
   جـ. الامتصاص.
   د. كل ما ذُكر من وظائف الجهاز الهضمي.
3. في الطيور، الجزء الذي يقوم مقام الأسنان في طحن الغذاء هو:
   أ. النتوءات الصلبة في المنقار.
   ب. الحصى في القانصة.
   جـ. المريء كثير العضلات.
   د. طعام الطيور لا يحتاج إلى طحن لهضمه.
4. يختلف هضم الدُّهون عن هضم الكربوهيدرات والبروتينات في:
   أ. يحدث هضم الدُّهون في الأمعاء الدَّقيقة، في حين يحدث هضم البروتينات والكربوهيدرات في المعدة.
   ب. يتمُّ امتصاص الدُّهون إلى الخلايا على شكل أحماض دهنية وجليسرول أحادي، ومن ثُمَّ يُعدَّل ليتمَّ امتصاصه؛ أما الأحماض الأمينية والجلوكوز فلا يُحدث لها تعديل إضافي بعد هضم الكربوهيدرات والبروتينات.
   جـ. تدخل الدُّهون إلى الدَّورة الكبدية البابية، في حين تدخل البروتينات والكربوهيدرات المهضومة إلى الجهاز الليمفي.
   د. يتمُّ امتصاص الدُّهون المهضومة في الأمعاء الغليظة، في حين يتمُّ امتصاص البروتينات والكربوهيدرات المهضومة في الأمعاء الدَّقيقة.
5. على الرَّغم من الاعتقاد السائد أن المعدة هي اللاعب الرئيس في عملية الهضم، فإن مُعظم الهضم الكيميائي يتمُّ في:
   أ. الفم. ب. الزَّائدة الأعورية.
   جـ. الاثنا عشر. د. الأمعاء الغليظة.
6. بعد أن يتمَّ امتصاص الجلوكوز والأحماض الأمينية من خلال الطبقة المُخاطية في الأمعاء، الجلوكوز والأحماض الأمينية:
   أ. تُمتصّ مُباشرة إلى الدَّورة الجهازية.
   ب. يُبنى الجلايكوجين والببتيدات قبل أن تنطلق إلى خلايا الجسم.
   جـ. تُنقل مُباشرة إلى الكبد عبر الوريد الكبدي البابي.
   د. تُحطّم مرة أخرى عن طريق العصارة الصفراوية قبل إطلاقها إلى الدَّم.
7. تتخصَّص الأمعاء الدَّقيقة في الامتصاص؛ لأنها:
   أ. آخر جزء من القناة الهضمية، وتحتفظ بالغذاء مدة طويلة.
   ب. تمتلك امتدادات تُشبه الأكياس على طولها، وتقوم هذه الامتدادات بجمع الغذاء.
   جـ. لا تمتلك مخرجًا لتصريف مُحتوياتها، ولهذا يبقى الغذاء مدة طويلة في داخلها.
   د. تمتلك مساحة سطحية كبيرة جدًا تزيد من تعرُّضها للغذاء.
8. أحد الأزواج الآتية غير صحيح:
   أ. نقل الدُّهون / الجهاز الليمفي.
   ب. نقل الجلوكوز/ الجهاز الليمفي.
   جـ. نقل الأحماض الأمينية / الجهاز الدَّوري.
   د. جميع ما ذُكر صحيح.
9. الوظيفة الرئيسة للأمعاء الغليظة هي تركيز الفضلات على شكل مواد صلبة (البراز) لإخراجها من الجسم. يتمُّ ذلك:
   أ. بإضافة خلايا أخرى من الطبقة المُخاطية.
   ب. بامتصاص الماء.
   جـ. بإفراز الأملاح.
   د. كل هذه طرق تستخدمها الأمعاء الغليظة لتقوم بهذا العمل.
10. الطريقة التي لا تستخدمها الفقريات لزيادة القيمة الغذائية للغذاء الذي تتناوله هي:
    أ. اجتراره وإعادة هضمه.
    ب. تناول البراز مرة أُخرى.
    جـ. إضافة المعادن من الدَّم إلى الغذاء.
    د. زيادة طول سطح القناة الهضمية ومساحتها.
11. تُساعد المخلوقات الدَّقيقة على الهضم والامتصاص عن طريق:
    أ. هضم السليلوز. ب. إنتاج الجلوكوز.
    جـ. تصنيع فيتامين ك. د. (أ) و (جـ).
12. افترض أنَّك التحقت بمديرية الشرطة بعد تخرُّجك في كلية الطِّب. وكان عملك هو دراسة التَّأثير المُحتمل لتعرُّض الجهاز الهضمي للسُّموم. العضو الذي يعدّ مكانًا لتعديل السُّموم ومعالجتها هو:
    أ. الاثنا عشر. ب. الكبد.
    جـ. البنكرياس. د. كيس الصفراء.
13. يؤدي _____ و _____ أدوارًا مُهمة في عملية الهضم عن طريق إنتاج مواد كيميائية نحتاج إليها لهضم البروتينات، والدُّهون، والكربوهيدرات.
    أ. الكبد؛ البنكرياس. ب. الكبد؛ كيس الصفراء.
    جـ. الكليتان؛ الزَّائدة الأعورية. د. البنكرياس؛ كيس الصفراء.
14. عمل الأنسولين هو زيادة مُستوى الجلوكوز في الدَّم عن طريق:
    أ. تحلُّل الجلايكوجين.
    ب. تحفيز إنتاج الجلايكوجين.
    جـ. تكوين الجلايكوجين.
    د. تحفيز أخذ الخلايا للجلوكوز.
15. في إحدى حلقات التِّلفاز الطِّبية، سمعت عن شخص يتناول الغذاء دون توقف. أشار البرنامج إلى وجود سرطان في الدِّماغ وراء هذا السُّلوك. الجزء من الدِّماغ المسؤول عن التَّحكُّم في السُّلوك الغذائي، ويمكن أن يكون مكان السَّرطان لدى هذا الشخص هو:
    أ. قشرة المُخ. ب. المُخيخ.
    جـ. الفُص الخلفي من الدِّماغ. د. تحت المهاد.

أسئلة تحدٍّ

1. تمتلك كثير من الطيور حوصلة، وعلى الرَّغم من ذلك عدد قليل من الثدييات يمتلك ذلك. اقترح سببًا لهذا الاختلاف بين الطيور والثدييات.
2. افترض أنَّك تُريد أن تطور دواء لعلاج السِّمنة اعتمادًا على هرمون ليبتن. أي جزء من جسم الإنسان يُفرز ليبتن؟ ماذا يعمل هذا الهرمون؟ هل الدَّواء الذي تُريد تطويره يجب أن يزيد أو يُقلِّل مستوى ليبتن في الدَّم؟ هل يمكن أن يكون لهذا الدَّواء أثر في أجهزة الجسم الأخرى؟
3. كيف تربط بين الإدمان على الكحول والمُخدِّرات، وانخفاض تركيز البروتينات في البلازما، وانخفاض إنتاج العُصارة الصَّفراوية؟

هل أنت في حاجة إلى مراجعة إضافية؟ زر الموقع www.ravenbiology.com. لتتدرب على الاختبارات القصيرة، والرسوم المتحركة، والتسجيلات التلفزيونية، وأنشطة مخصصة لمساعدتك على فهم المادة الموجودة في هذا الفصل.
ARIS™