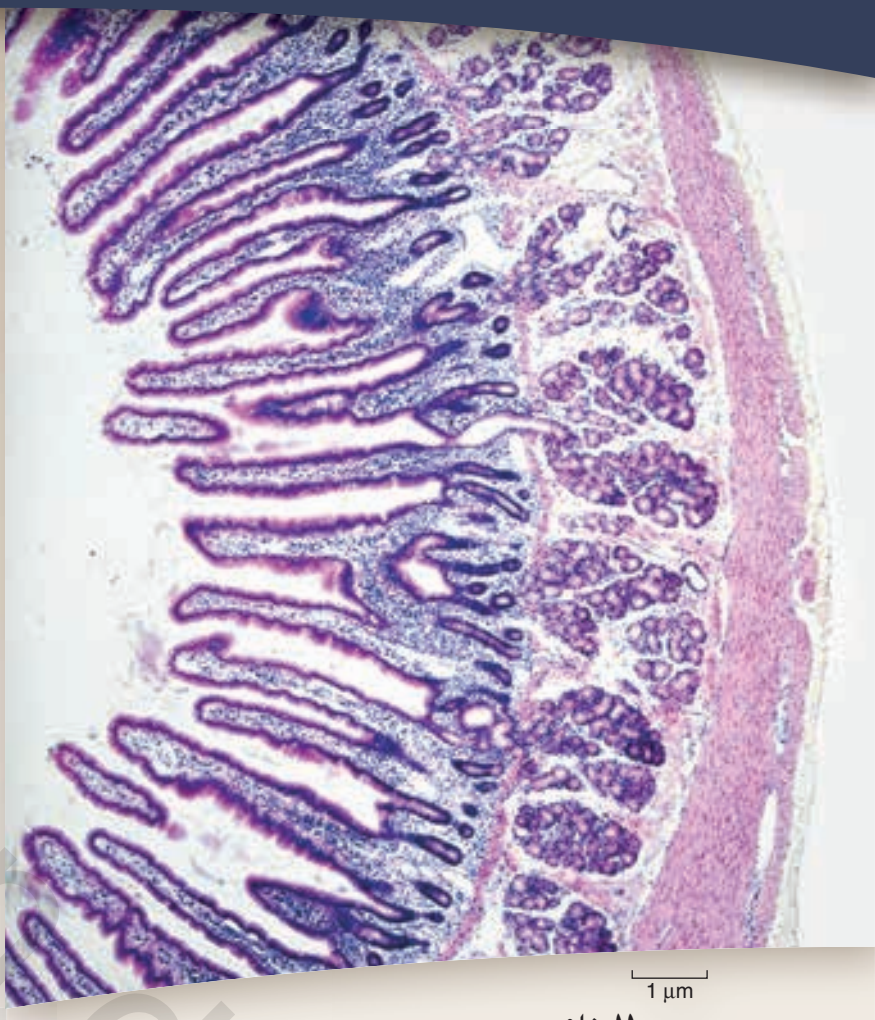
الفصل 43

جسم الحيوان ومبادئ التنظيم

The Animal Body and Principles of Regulation



موجز المفاهيم

43-1 تنظيم جسم الفقريات

- *الأنسجة مجموعات من الخلايا من نوع واحد ووظيفة واحدة.*
- *الأعضاء والأجهزة العضوية تنجز وظائف متخصصة.*
- *خطة الجسم العامة للفقريات تتكون من أنبوب داخل أنبوب مع دعم داخلي.*
- *للفقريات تجويف جسم ظهري وآخر بطني.*

43-2 النسيج الطلائي

- *يشكل النسيج الطلائي حاجزًا.*
- *تعكس أنواع النسيج الطلائي وظائفه.*

43-3 الأنسجة الضامة

- *قد يكون النسيج الضام الأصيل مفككًا أو كثيفًا.*
- *للنسيج الضام الخاص ميزات فريدة.*
- *الأنسجة الضامة جميعها تجمعها صفات متشابهة.*

43-4 النسيج العضلي

- *توجد العضلات الملساء في معظم الأعضاء.*
- *العضلات الهيكلية تحرك الجسم.*
- *العضلات القلبية تكوّن القلب.*

مقدمة

عندما يفكر الناس في الحيوانات، فإنهم قد يفكرون في قططهم وكلابهم الأليفة، أو الحيوانات في حديقة الحيوان، أو مزرعة أو حوض زينة، أو الحيوانات البرية. وعندما يفكرون في تنوع الحيوانات، قد يتخيلون الفروق بين أسد أو نمر مفترسين من جهة، وغزال أو وَعِل آكلين للعشب من جهة أخرى، أو بين قرش شره، ودلفين مداعِب. وعلى الرغم من الفروق بين هذه الحيوانات، فإنها جميعًا تنتمي للفقريات. تشترك الفقريات جميعها في خطة الجسم الأساسية نفسها، حيث الأنسجة والأعضاء المتشابهة تعمل بالطريقة نفسها. والصورة المأخوذة باستخدام المجهر الإلكتروني المبينة إلى الجانب تبين جزءًا من (الاثنا عشر)، وهو جزء من الجهاز الهضمي، مكون من أنواع عدة من الأنسجة. في هذا الفصل، سنبدأ بدراسة مفصلة لبيولوجيا الفقريات، ولتركيب أجسامها ووظيفتها المثيرة للاهتمام. وسننهي الفصل باكتشاف المبادئ المتعلقة بالتنظيم والسيطرة على أجهزتها الوظيفية المتعددة.

43-5 النسيج العصبي

- *تمتد العصبونات أحيانًا مسافات طويلة.*
- *تقدم خلايا الدبق العصبي الدعم للعصبونات.*
- *للجهاز العصبي قسمان ينسقان الأنشطة المختلفة.*

43-6 نظرة شاملة على الأجهزة العضوية للفقريات

- *التواصل والتكامل ينقلان الإحساس بالبيئة، فيستجيب لها.*
- *الدعم الهيكلي والحركة حيويان للحيوانات جميعها.*
- *التنظيم وإدامة كيمياء الجسم يضمنان استمرار الحياة.*
- *يستطيع الجسم أن يدافع عن نفسه ضد من يهاجمه أو يغزوه.*
- *التكاثر والتكوين الجنيني يضمنان استمرار النوع.*

43-7 الاتزان الداخلي

- *تحافظ آليات التغذية الراجعة السلبية على القيم ضمن مداها الطبيعي.*
- *أعضاء الاستجابة المتعارضة تعمل في اتجاهات متعارضة.*
- *تسرع آليات التغذية الراجعة الإيجابية حدوث التغير.*

1-43 تنظيم جسم الفقريات

هناك أربعة مستويات في التنظيم في جسم الفقريات، هي: (1) الخلايا (2) الأنسجة (3) الأعضاء (4) الأجهزة العضوية.

كأجسام الحيوانات جميعها، تتكون أجسام الفقريات من أنواع مختلفة من الخلايا. واعتمادًا على المجموعة التصنيفية، فإن جسم الحيوان الفقري البالغ يسهم في تكوينه بين 50 ومئات عدة من أنواع الخلايا المختلفة، فجسم الإنسان يضم 210 أنواع مختلفة من الخلايا.

الأنسجة مجموعات من الخلايا من نوع واحد ووظيفة واحدة

تنتظم مجموعات الخلايا المتشابهة في التركيب والوظيفة في **أنسجة Tissues**، فالخلايا في الجنين تتمايز مبكرًا في أثناء التكوين الجنيني إلى ثلاثة أنسجة جنينية أساسية تدعى **الطبقات الجرثومية Germ layers**. وابتداء من الداخل نحو الخارج، فإن هذه الطبقات هي: **أندودرم Endoderm**، **وميزودرم Mesoderm**، **وإكتودرم Ectoderm**. تتمايز كل طبقة جرثومية بدورها إلى عشرات من أنواع مختلفة من الخلايا والأنسجة التي تميز جسم الحيوان الفقري.

هناك أربعة أنواع أساسية من الأنسجة في جسم الحيوان الفقري البالغ تدعى **أنسجة أساسية Primary tissues**، هي: **الطلائي Epithelial والضام Connective**، **والعضلي Muscle**، **والعصبي Nerve** وسنناقش كل نوع في جزء خاص من هذا الفصل.

الأعضاء والأجهزة العضوية تنجز وظائف متخصصة

الأعضاء Organs هي تراكيب في الجسم مكونة من أنواع عدة من الأنسجة التي تشكل وحدة تركيبية ووظيفية (الشكل 43-1). أحد الأمثلة هو القلب الذي يحتوي أنسجة عضلية قلبية وضامة وطلائية. وإن النسيج العصبي يربط الدماغ والحبل الشوكي بالقلب، ويساعد على تنظيم نبضه.

والجهاز العضوي Organ system مجموعة من الأعضاء تتعاون لإنجاز الأنشطة الأساسية للجسم. فمثلًا، يتكون الجهاز الدوري من قلب وأوعية دموية (شرايين وشعيرات دموية وأوردة) (انظر الفصل الـ 49). تتعاون هذه الأعضاء في نقل الدم، وتساعد على توزيع المواد داخل الجسم. ويحتوي جسم الحيوان الفقري 11 جهازًا عضويًّا رئيسًا.

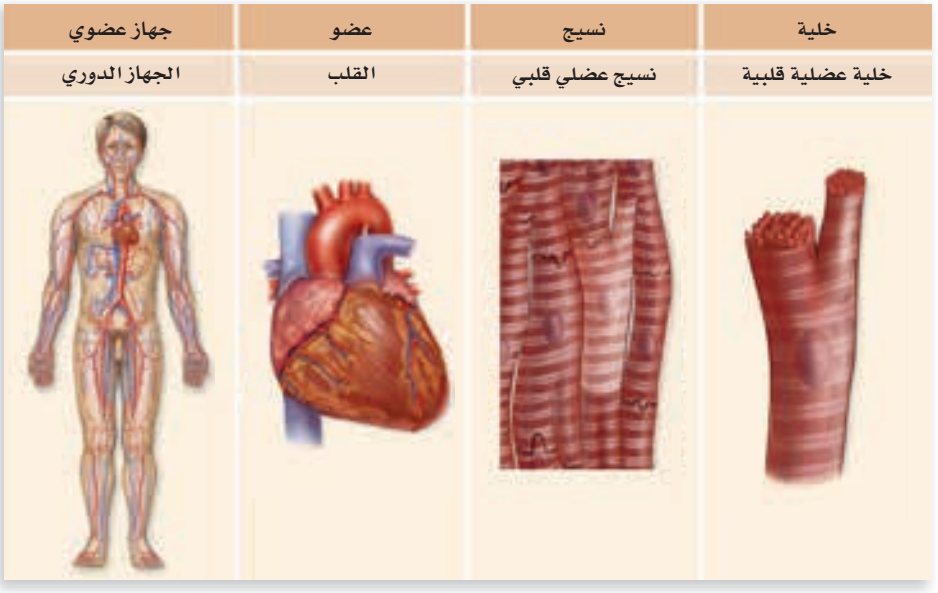
خطة الجسم العامة للفقريات تتكوّن من أنبوب داخل أنبوب مع دعم داخلي

لأجسام الفقريات جميعها الهندسة العامة نفسها، فخطة الجسم بشكل أساسي أنبوب معلق داخل أنبوب آخر. الأنبوب الداخلي هو القناة الهضمية، وهي أنبوب طويل يمتد من الفم حتى الشرج. ويدعم الهيكل الداخلي، المكون من عظام متمفصلة وغضاريف تنمو بنمو الجسم، الأنبوب الخارجي الذي يشكل الجسم الرئيس للحيوان الفقري. والطبقة الخارجية لجسم الحيوان الفقري هي الجلد بأجزائه وتراكيبه المساعدة المتعددة كالشعر، والريش، والحراشف، والغدد العرقية.

للفقريات تجويف جسم ظهري وآخر بطني

يوجد داخل جسم الحيوان الفقري الرئيس تجويفان واضحان: **تجويف الجسم الظهري Dorsal body cavity** يتشكل داخل الجمجمة، وداخل عمود من العظام هي الفقرات. تحيط الجمجمة بالدماغ، كما توجد داخل الفقرات المتراصة قناة تحتوي الحبل الشوكي. **وتجويف الجسم البطني Ventral body cavity**، وهو أوسع بكثير، فيمتد في المنطقة التي يحيط بها القفص الصدري في الأمام، والعمود الفقري في الخلف، إلى المنطقة الواقعة ضمن عضلات الجسم البطنية (العضلات البطنية) والحزام الحوضي. وفي الثدييات، تَقْسِم طبقة عضلية هي الحجاب الحاجز تجويف الجسم البطني إلى **التجويف الصدري Thoracic cavity** الأمامي، الذي يحتوي القلب والرئتين، **والتجويف البطني الحوضي Abdomino- pelvic cavity**، الذي يحتوي أعضاء عدة هي: المعدة، والأمعاء، والكبد، والكلى، والمثانة البولية (الشكل 43-2أ).

عند مناقشتنا لخطة جسم الحيوان في الفصل الـ(32)، تذكر أن السيلوم هو تجويف جسمي مملوء بالسائل، ويتشكل بالكامل داخل طبقة الميزودرم الجنينية لبعض الحيوانات (بما في ذلك الفقريات).

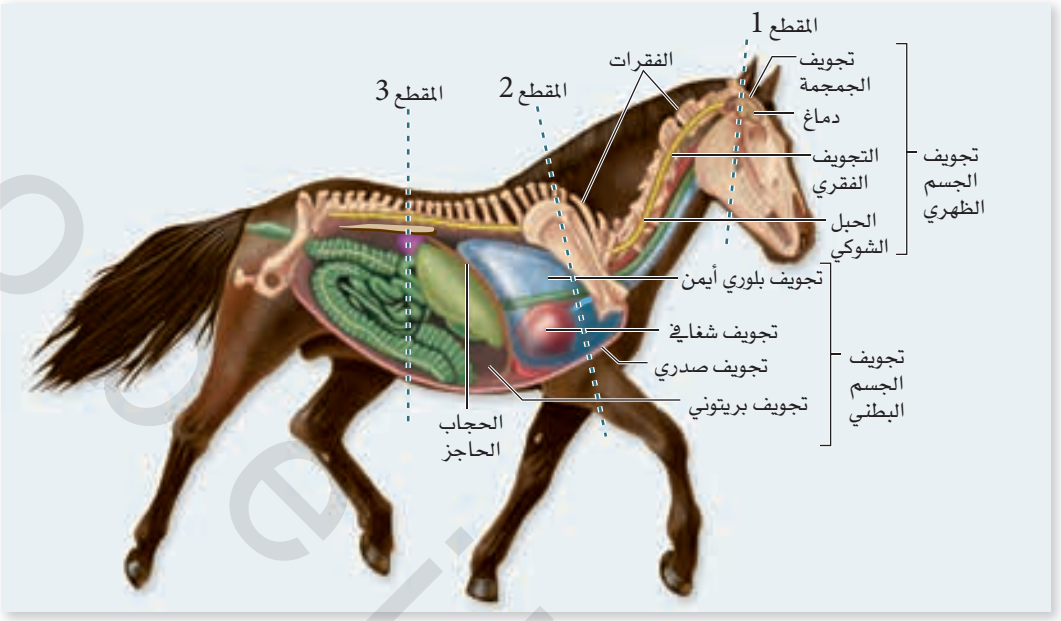


الشكل 43-1

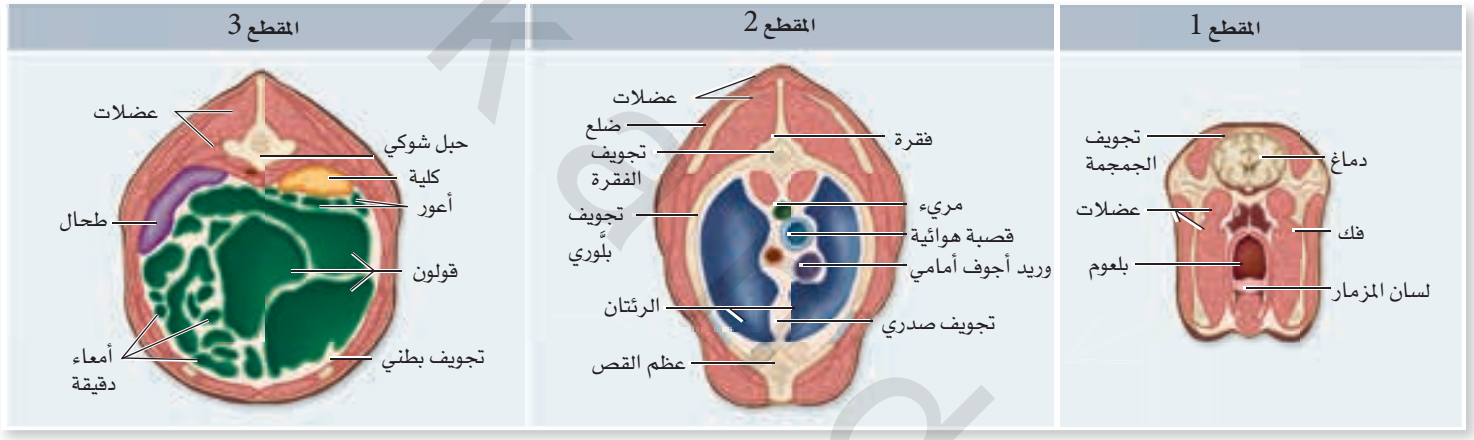
مستويات التنظيم في الجسم. تعمل أنواع الخلايا المتشابهة معًا لتشكل أنسجة. الأنسجة تعمل معًا لتكون أعضاء، والجهاز العضوي يتكون من أعضاء عدة تعمل معًا لإنجاز وظيفة في الجسم. الجهاز الدوري في الجسم مثال على جهاز عضوي، فهو يتكون من القلب، والأوعية الدموية، والدم. إن القلب مكون بشكل أساسي من عضلات قلبية لها بطانة من نسيج طلائي. والعضلة القلبية مكونة من خلايا عضلية قلبية.

الشكل 43-2

هندسة جسم الفقريات أ. الفقريات كلها لها تجويف جسم ظهري وآخر بطني. التجويف الظهري يقسم إلى قحفي (جمجمي) (يحتوي على الدماغ) وفقري (يحتوي الحبل الشوكي). في الثدييات، يقسم الحجاب الحاجز العضلي التجويف البطني إلى تجويف صدري وآخر بطن حوضي. ب. مقاطع عرضية خلال مناطق الجسم تبين العلاقة بين تجاويف الجسم والأعضاء الرئيسة والسيلوم (الشغافي والبللوري والبريتوني).



أ.



ب.

والسيلوم لا يزال موجودًا في البالغ، ولكنه تقلص، وثُني، وقُسِّم تقسيمًا إضافيًّا. تمتد طبقة الميزودرم التي تبطن السيلوم من جدار الجسم، لتغلف وتعلق أعضاء عدة ضمن تجويف الجسم البطني (الشكل 43-2ب). أما في التجويف البطني الحوضي، فالحيز السيلومي هو **التجويف البريتوني Peritoneal cavity**.

في التجويف الصدري، يغزو القلب والرئتان تجويف السيلوم، ويقلصان حجمه كثيرًا، حيث إن الحيز الضيق الواقع ضمن الطبقات الميزودرمية ينحصر في **التجويف الشغافي Pericardial cavity** الواقع حول القلب، وفي حيزين صغيرين حول الرئتين هما: **التجويفان البلَّوريان Pleural cavities** (الشكل 43-2ب).

تنتظم خلايا الجسم في أنسجة تنتظم بدورها في أعضاء وأجهزة عضوية. تحتوي أجسام الإنسان والثدييات الأخرى تجويفًا ظهريًّا وآخر بطنيًّا. تجويف الجسم البطني مقسَّم عن طريق الحجاب الحاجز إلى تجويف صدري، وآخر بطن حوضي. وينقسم تجويف السيلوم في البالغ إلى تجويف بريتوني وشغافي، وتجويفين بلوريين.

43-2 النسيج الطلائي Epithelial Tissue

يغطي **الغشاء الطلائي أو الطلائية Epithelium** كل سطح من جسم الفقريات. تُشتق الأغشية الطلائية من أي من الطبقات الجرثومية الثلاث. فالبشرة تشتق مثلًا من الإكتودرم لتشكل الجزء الخارجي من الجلد، أمّا النسيج الطلائي الذي يبطن القناة الهضمية فيُشتق من الإندودرم، في حين يشتق النسيج الطلائي المبطن للأوعية الدموية من الميزودرم. وتتحول بعض الطلائية في أثناء التكوين الجنيني إلى غدد تتخصص في الإفراز.

يشكل النسيج الطلائي حاجزًا

لأن الطبقات الطلائية تغطي سطوح الجسم كلها، يتعين على أي مادة تدخل الجسم أو تغادره أن تمر خلال هذه الطلائية. لهذا، فإن الأغشية الطلائية تشكل حاجزًا، يمكن أن يعيق مرور بعض المواد، في حين ييسر مرور مواد أخرى. وتشكل عدم النفاذية النسبية للأغشية المخاطية (طبقة البشرة) في فقريات اليابسة حماية أساسية من الجفاف، ومن مسببات المرض المحمولة بالهواء. في المقابل، فإن البطانة الطلائية للقناة الهضمية يجب أن تسمح بمرور انتقائي لنواتج الهضم، في الوقت نفسه الذي تشكل به حاجزًا ضد المواد السامة. ويجب أن تسمح طلائية الرئة بانتشار سريعٍ للغازات من الدم وإليه.

إن إحدى صفات الطلائية المميزة هي أن خلاياها ترتبط مع بعضها بإحكام تاركة القليل من الفراغات بينها. وتنتشر المواد الغذائية والأكسجين إلى الخلايا الطلائية من الأوعية الدموية التي تزود الأنسجة الضامة الواقعة تحت الطلائية. وهذا يضع قيودًا على سمك الأغشية الطلائية، فسمك معظمها طبقة واحدة، أو عدد قليل من طبقات الخلايا.

تَجَدُّد الطلائية

تمتلك الطلائية قدرة مدهشة على التجديد؛ إذ تستبدل بشكل دائم خلاياها على مدى عمر الحيوان. فالكبد على سبيل المثال، وهو غدة تتشكل من نسيج طلائي، تستطيع التجدد حتى بعد إزالة جراحية لأجزاء كبيرة منها. والبشرة تتجدد مرة كل أسبوعين، وطلائية المعدة تستبدل تمامًا مرة كل يومين إلى ثلاثة أيام. إن هذه القدرة على التجدد مفيدة في الأنسجة السطحية؛ لأنها تُجدد هذا السطح بشكل مستمر، وتسمح باستبدال سريع للطبقة الواقية فيما لو حدث ضرر أو تهتك.

تركيب الأنسجة الطلائية

تتعلق الأنسجة الطلائية بالأنسجة الضامة الواقعة تحتها عن طريق غشاء ليفي. يدعى الجانب المحمي من الطلائية السطح القاعدي، أمّا الجانب الحر فيدعى السطح القمي. إن هذا الاختلاف يمنح النسيج الطلائي قطبية فطرية تعد مهمة في وظيفة هذا النسيج. فمثلًا، تُرصِّع البروتينات السطح القاعدي لبعض النسيج الطلائي في أنيبيبات الكلية، وهذه البروتينات تنقل أيونات الصوديوم نقلًا نشطًا إلى الحيز بين الخلايا، فتُوجد بذلك فرقًا يساعد على إعادة الماء إلى الدم (انظر الفصل الـ 50).

تعكس أنواع النسيج الطلائي وظائفه

النوعان الأساسيان من النسيج الطلائي هما: أ. البسيط (طبقة واحدة من الخلايا) ب. الطبقي (طبقات عدة من الخلايا). يقسم كل من هذين النوعين إلى: حرشفي، ومكعب، وعمادي، اعتمادًا على شكل الخلايا (الجدول 43-1). **فالخلايا الحرشفية Squamous cells** مسطحة، في حين يشبه عرضُ **الخلايا المكعبة Cuboidal cells** طولَها، أما **الخلايا العمادية Columnar cells** فطولها أكبر من عرضها.

الطلائية البسيطة *Simple Epithelium*

كما ذكرنا أعلاه، فالأغشية **الطلائية البسيطة Simple epithelial membranes** سمكها طبقة واحدة من الخلايا، فالطلائية الحرشفية البسيطة، تتكون من خلايا طلائية حرشفية ذات شكل مسطح عند النظر إليها في مقطع عرضي. من أمثلة تلك الأغشية، الأغشية التي تبطن الرئة والشعيرات الدموية، حيث تسمح الطبيعة الرقيقة الهشة لهذه الأغشية بحركة سريعة للجزيئات عبرها (كانتشار الغازات).

تبطِّن طلائيةٌ مكعبة بسيطة أنيبيبات الكلية وغددًا كثيرة، وفي حالة الغدد تكون الخلايا متخصصة في الإفراز. أما الطلائية العمادية البسيطة فتبطن المجاري التنفسية، ومعظم القناة الهضمية، إضافة إلى أماكن أخرى. وينتشر بين الخلايا الطلائية العمادية للأغشية المخاطية كثيرٌ من **الخلايا الكأسية Goblet cells** المتخصصة في إفراز المخاط. تمتلك الخلايا الطلائية العمادية للمجاري التنفسية أهدابًا على سطحها القمي (السطح المواجه للتجويف)، تحرك المخاط ودقائق الغبار في اتجاه الحنجرة. وفي الأمعاء الدقيقة، يشكل السطح القمي للخلايا الطلائية العمادية زوائد إصبعية دقيقة تدعى الخملات الدقيقة التي تزيد من المساحة السطحية المخصصة لامتصاص الغذاء.

يعد الحجم المتسع للخلايا المكعبة والعمادية مهمًّا؛ لاحتواء المَعِدّات المضافة والمطلوبة لإنتاج الإفرازات الغدية، أو للامتصاص النشط للمواد أو لكليهما. في الغدد **خارجية الإفراز Exocrine glands** تبقى الصلة بين الغدة والغشاء المخاطي على هيئة قناة، تنقل إنتاج الغدة إلى سطح الغشاء المخاطي، ومن ثم إلى البيئة الخارجية (أو إلى حجرة داخلية تفتح إلى الخارج كالقناة الهضمية). من أمثلة الغدد خارجية الإفراز الغددُ العرقيةُ والدهنيةُ، إضافة إلى الغدد اللعابية. أما **الغدد الصماء Endocrine glands** فهي غدد لاقنوية، إذ فقدت اتصالها مع الطلائية التي اشتقت منها في أثناء التكوين الجنيني. لهذا، فإن إفرازاتها (الهرمونات) لا تنقل عبر قناة إلى الغشاء الطلائي، بل تدخل، بدلًا من ذلك، إلى شعيرات الدم، وتدور خلال الجسم. وسوف تغطى الغدد الصماء بتفصيل أوسع (في الفصل الـ46).

الطلائية الطبقية *Stratified Epithelium*

يبلغ سمك **الأغشية الطلائية الطبقية Stratified epithelial membranes** طبقتين إلى طبقات عدة من الخلايا، وقد سميت بناء على سمات طبقة الخلايا القمية لها. ففي البشرة مثلًا، توجد طلائية حرشفية طبقية، وسنناقش خصائصها في الفصل الـ(51). وفي فقريات اليابسة، تتميز البشرة كذلك بوجود طلائية متقرنة؛ لأن الطبقة العليا لها تتكون من خلايا حرشفية ميتة ومملوءة ببروتين مقاوم للماء يدعى كيراتين *Keratin*.

يزداد تموضع الكيراتين في الجلد استجابة للكشط المستمر، ما ينتج الجُسْأة أو **الكالوس** Callus. وتبدو خاصية الكيراتين في مقاومة الماء واضحة عند مقارنة جلد الوجه مع الجزء الأحمر من الشفاه الذي يمكن أن يجفّ بسهولة ويتقشر، فالشفاه مغطاة بطلائية حرشفية طبقية لا تحتوي على كيراتين.

تضم الأنسجة الطلائية أغشية تغطي كامل سطوح الجسم، وتشكل الغدد. بشرةُ الجلد غشاءٌ طلائيٌّ متخصص في الحماية، في حين تتخصص الأغشية التي تبطن سطوح الأعضاء المجوفة في النقل والإفراز. تصنف الأنسجة الطلائية إلى: بسيطة (طبقة واحدة من الخلايا) و طبقية (طبقتان أو أكثر من الخلايا).

الجدول 43-1 الأنسجة الطلائية

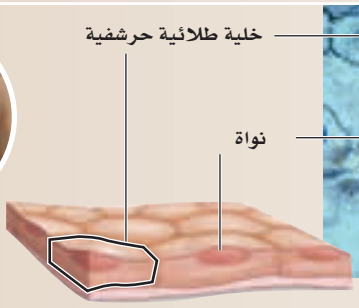
الطلائية البسيطة

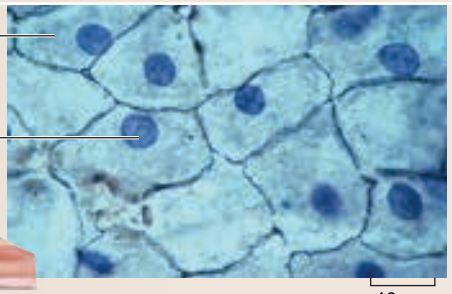
الحرشفي

الموقع النموذجي: بطانة الرئة، جدران الشعيرات الدموية وبطانة الأوعية الدموية.

الوظيفة: الخلايا رقيقة، تشكل طبقة رقيقة يمكن أن يتم عبرها الانتشار بسهولة.

أنواع الخلايا المميزة: خلايا طلائية.



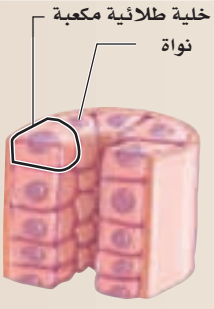


المكعب

الموقع النموذجي: بطانة بعض الغدد، وأنيبيبات الكلية، وأغطية المبيض.

الوظيفة: الخلايا غنية بقنوات ناقلة محددة، تعمل على الإفراز، والامتصاص.

أنواع الخلايا المميزة: خلايا غدية.

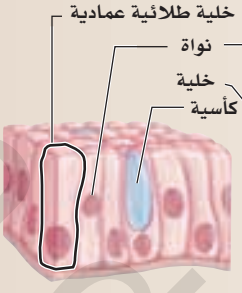


العمادي

الموقع النموذجي: البطانة السطحية للمعدة والأمعاء، وأجزاء من القناة التنفسية.

الوظيفة: طبقة من الخلايا الأكثر سمكًا، تقدم الحماية، ولها وظيفة في الإفراز والامتصاص.

أنواع الخلايا المميزة: خلايا طلائية.

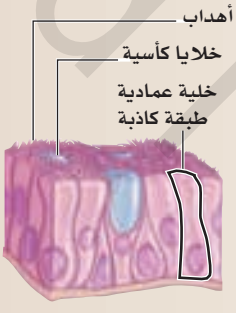


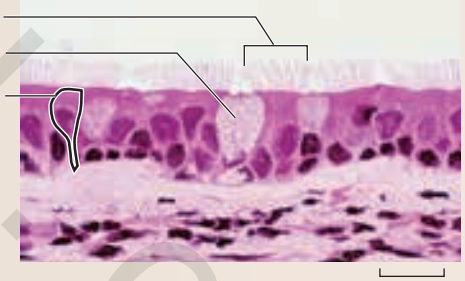
العمادي الطبقي الكاذب

الموقع النموذجي: بطانة أجزاء من القناة التنفسية.

الوظيفة: إفراز المخاط، ذات أهداب كثيفة تساعد على تحريك المخاط، تقدم الحماية.

أنواع الخلايا المميزة: خلايا غدية، خلايا طلائية مهدبة.





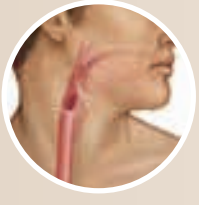
الطلائية الطبقية

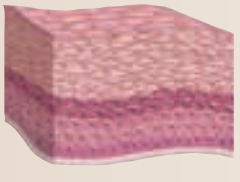
الحرشفي

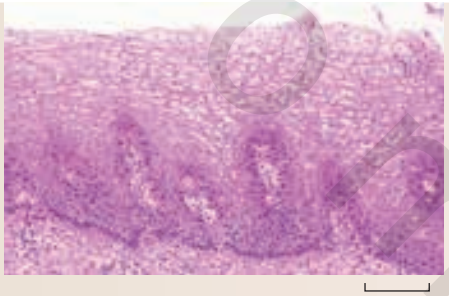
الموقع النموذجي: الطبقة الخارجية للجلد، بطانة الفم.

الوظيفة: طبقة قاسية من الخلايا، تقدم الحماية.

أنواع الخلايا المميزة: خلايا طلائية.







obeikandl.com

3-43 الأنسجة الضامة

تشتق الأنسجة الضامة من ميزودرم الجنين، وتوجد في أشكال عدة مختلفة (الجدول 43-2)، تصنف هذه الأشكال في مجموعتين رئيستين؛ **النسيج الضام الأصيل Connective tissue proper** الذي يقسم بدوره إلى نسيج ضام مفكك وآخر كثيف، **والنسيج الضام الخاص Special connective tissue** الذي يضم الغضروف، والعظم، والدم.

ويبدو للوهلة الأولى أن من غير المنطقي أن تُضَم مثل هذه الأنسجة المختلفة في المجموعة نفسها، لكن الأنسجة الضامة جميعها تشترك في صفات تركيبية مشتركة، فجميعها لها مادة خارج خلوية (بينية) وفيرة؛ لأن خلاياها متباعدة عن بعضها. تدعى المادة خارج الخلوية **المادة البينية Matrix** للنسيج.

تحتوي المادة البينية في العظم بلّورات تجعل العظم صلبًا، وفي الدم المادة البينية هي البلازما، أو ذلك الجزء السائل من الدم. أما المادة البينية نفسها، فتتكون من ألياف بروتينية **ومادة أساسية Ground substance**، وهي المادة السائلة بين الخلايا والألياف، التي تحتوي تشكيلة واسعة من البروتينات والسكريات المتعددة.

قد يكون النسيج الضام الأصيل مفككًا أو كثيفًا

في أثناء التكوين الجنيني للنسيج الضام المفكك والكثيف، تُنْتِج خلايا تدعى **مولدة الألياف Fibroblast** ثم تُفرِز المادةَ البينية. يحتوي النسيج الضام المفكك خلايا أخرى إضافة إلى ذلك، وهذه تشمل الخلايا الصارية والخلايا الأكولة، وكلاهما خلايا في الجهاز المناعي.

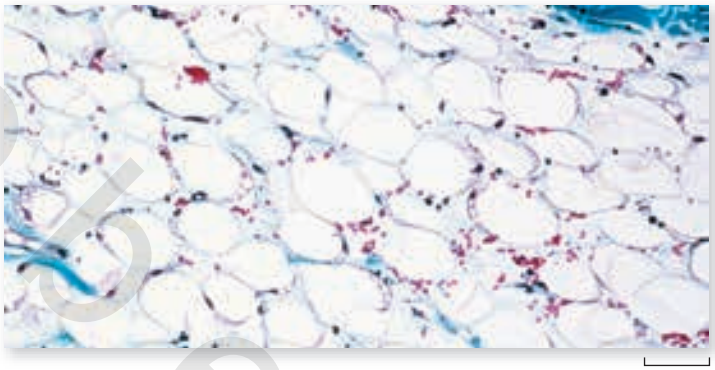
النسيج الضام المفكك

يتكون **النسيج الضام المفكك Loose connective tissue** من خلايا مبعثرة ضمن المادة البينية التي تحتوي كميات كبيرة من المادة الأساسية. تُعزز هذه المادة الجيلاتينية أن تتبعثر بها بتباعدٍ أليافٌ بروتينية مثل الكولاجين الذي يدعم النسيج بتشكيله شبكة كولاجينية (الشكل 43-3)، ومثل الإستين الذي يكون النسيج المطاطي، وألياف رِتِيكيُولن التي تساعد على دعم الشبكة الكولاجينية. يتكوّن الجيلاتين المُنَكَّه في بعض أنواع الحلوى بشكل أساسي من المادة البينية المستخلصة من النسيج الضام المفكك للحيوانات.

يوجد في النسيج الضام المفكك كذلك **خلايا دهنية Adipose Cells** مهمة في خزن المواد الغذائية. ففي أماكن معينة في الجسم كتحت الجلد، أو نخاع العظم،

الشكل 43-3

ألياف الكولاجين. هذه الألياف مكونة من خيوط كولاجين مفردة عدة، ويمكن أن تكون قوية جدًا عند الشد، كما تظهر هنا تحت المجهر الإلكتروني.



الشكل 43-4

النسيج الدهني. تخزن الدهون في كريات صغيرة في النسيج الدهني الذي هو نوع من النسيج الضام المفكك. يكبر حجم الكريات (القطيرات) أو يصغر، عندما يكسب الشخص وزنًا أو يخسره. ولا يستطيع المرء تقليل عدد الخلايا الدهنية عندما يفقد وزنًا.

وحول الكلى، يمكن لهذه الخلايا أن تجتمع في مجموعات كبيرة مشكلة **نسيجًا دهنيًا Adipose tissue** (الشكل 43-4).

تحتوي كل خلية دهنية قطيرة من ثلاثيات الجليسرول ضمن حويصلة خازنة. وعندما يحتاج الجسم إلى الطاقة تُحلِّل الخلايا الدهنية مخزونها من ثلاثيات الجليسرول، وتحرر أحماضًا دهنية إلى الدم، لكي تؤكسدها خلايا العضلات، والكبد، والأعضاء الأخرى. لا تستطيع الخلايا الدهنية الانقسام؛ فعدد الخلايا الدهنية في البالغ ثابتة في العادة. عندما يكتسب الفرد وزنًا يزداد حجم الخلايا، وعندما يفقد وزنًا تتكمش.

النسيج الضام الكثيف *Dense connective tissue*

يحتوي النسيج الضام الكثيف ذو المادة الأساسية الأقل ألياف كولاجين شديدة التراص، ما يجعله أقوى من النسيج الضام المفكك، وهو يتكون من نوعين: المنتظم، وغير المنتظم. تترتب ألياف كولاجين للنسيج الضام الكثيف المنتظم بشكل متوازٍ كخيوط حبل. هذا هو تركيب الأوتار التي تربط العضلات بالعظام، والأربطة التي تربط العظام ببعضها.

في المقابل، فإن ألياف الكولاجين في النسيج الضام الكثيف غير المنتظم لها اتجاهات مختلفة. هذا النوع من النسيج الضام يشكل الأغطية القاسية التي تغلف الأعضاء، مثل محفظة الكلية والغدد الكظرية، وتغلف العضلات، والأعصاب، والعظام.

للنسيج الضام الخاص ميزات فريدة

الأنسجة الضامة الخاصة كالغضروف، والعظم، والدم، لها خلايا فريدة، ومادة بينية تسمح لها بإنجاز وظائفها المتخصصة.

الغضروف *Cartilage*

الغضروفُ نسيجٌ ضام متخصص. تتشكل المادة الأساسية فيه من نوع متميز من البروتين السكري الذي يدعى غضروفين *Chondroitin*، ومن ألياف كولاجين تمتد على طول خطوط الشد في ترتيب طولي متوازٍ. تكون النتيجة نسيجًا قاسيًا

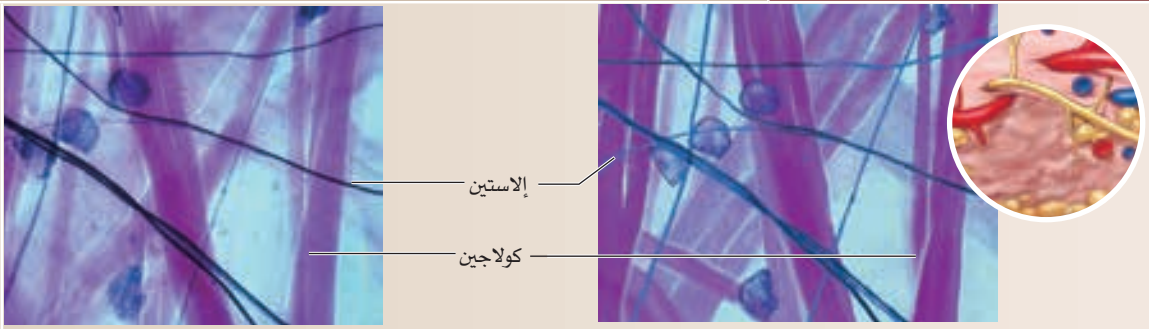
الجدول 43-2 الأنسجة الضامة

النسيج الضام المفكك

الموقع النموذجي: تحت الجلد، بين الأعضاء.

الوظيفة: يقدم الدعم، والعزل، وخزن الغذاء، وتغذية الطلائية.

أنواع الخلايا المميزة: مولدة الأليياف، الخلايا الأكولة، الخلايا الصارية، الخلايا الدهنية.

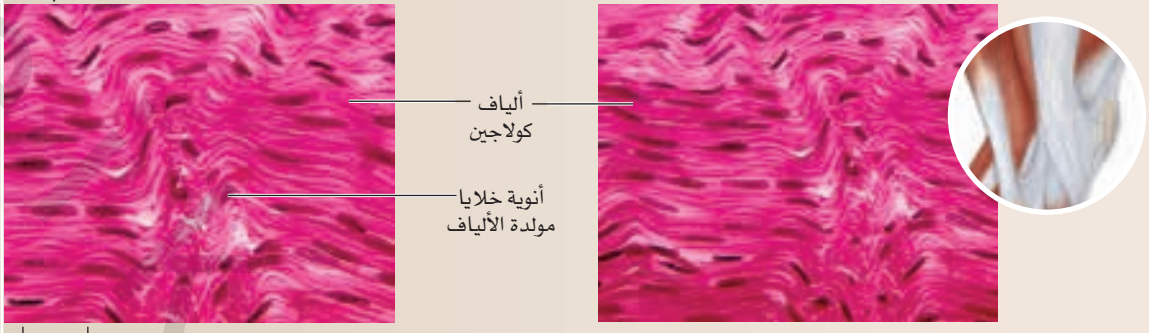


النسيج الضام الكثيف

الموقع النموذجي: الأوتار، الغمد حول العضلات، الكلية، الكبد، أدمة الجلد.

الوظيفة: يشكل روابط قوية ومرنة.

أنواع الخلايا المميزة: مولدة الأليياف.



الغضروف

الموقع النموذجي: أقراص العمود الفقري، الركبة والمفاصل الأخرى، الأذن والأنف، حلقات القصبة الهوائية.

الوظيفة: يقدم دعمًا مرنًا، ماصٌّ للصدمات، يقلل الاحتكاك عند السطوح التي تحمل الوزن.

أنواع الخلايا المميزة: الخلايا الغضروفية.

العظم

الموقع النموذجي: معظم الهيكل العظمي.

الوظيفة: حماية الأعضاء الداخلية، يقدم دعمًا صلبًا لتعلق العضلات.

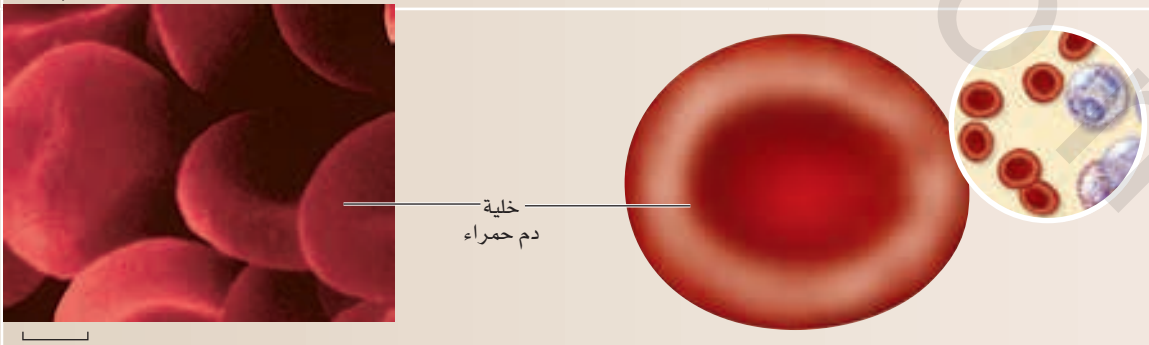
أنواع الخلايا المميزة: الخلايا العظمية.

الدم

الموقع النموذجي: الجهاز الدوري.

الوظيفة: يعمل بوصفه طريقًا سريعًا لخلايا الجهاز المناعي، وسيلة أساسية للتواصل بين الأعضاء.

أنواع الخلايا المميزة: خلايا الدم، الحمراء والبيضاء.



ومرنًا غير قابل للشد، وهو أكثر صلابة من النسيج الضام المفكك أو الكثيف بكثير، وله قدرة كبيرة على مقاومة الشد (انظر الجدول 43-2).

يشكل الغضروف كامل الجهاز الهيكلي في عديمة الفكوك والأسماك الغضروفية الحديثة. في معظم الفقريات البالغة، ينحصر وجود الغضروف في سطوح مفاصل العظام، ما يشكل مفاصل حرة الحركة، وفي أماكن أخرى. ففي الإنسان مثلًا، تتكون مقدمة الأنف، والأذن الخارجية، والأقراص بين الفقرات في العمود الفقري والحنجرة، وتراكيب أخرى قليلة من الغضروف (انظر الفصل الـ 34).

توجد **الخلايا الغضروفية Chondrocytes** ضمن حيز يدعى الفجوة **Lacuna** ضمن المادة الأساسية للغضروف. تبقى هذه الخلايا حية على الرغم من عدم وجود أوعية دموية تتخلل المادة البينية للغضروف، إذ إنها تأخذ الأكسجين والمواد الغذائية، في الانتشار عبر المادة الأساسية للغضروف من الأوعية الدموية المحيطة. ويمكن أن يتم هذا الانتشار فقط؛ لأن المادة البينية للغضروف غنية بالماء وغير متكلسة، كما هو حال العظم.

العظم *Bone*

تبقى **الخلايا العظمية Osteocytes** حية، حتى إن تصلبت المادة البينية للعظم، بترسب بلّورات فوسفات الكالسيوم بها. فالأوعية الدموية تمتد خلال قنوات مركزية داخل العظم؛ لتزوده بالمواد الغذائية، ولتجمع منه الفضلات. تمد الخلايا العظمية زوائد ستيوبلازمية نحو الخلايا العظمية المجاورة عن طريق قنوات دقيقة تدعى قُنيّات *Canaliculi*، وتتواصل الخلايا العظمية مع الأوعية الدموية في القناة المركزية من خلال هذه الشبكة السيتوبلازمية. وسنصف العظم والعضلات بتفصيل أكبر في الفصل الـ 47.

في أثناء مسيرة التكوين الجنيني، يصنع في البداية قالب من الغضروف لعظام الزعانف، والأذرع والأرجل، والزوائد الأخرى للفقريات، ثم يحدث تكلس بعد ذلك في مواقع محددة، فلا تتمكن الخلايا الغضروفية من الحصول على الأكسجين والمواد الغذائية بالانتشار خلال المادة البينية. وهكذا يحل العظم الحي محل الغضروف الميت والمتحلل.

الدم *Blood*

يصنف الدم على أنه نسيج ضام؛ لأنه يحتوي مادة بينية وفيرة هي سائل البلازما. خلايا الدم هي خلايا الدم الحمراء *Erythrocytes* وخلايا الدم البيضاء *Leukocytes*، ويحتوي الدم صفائح دموية *Platelets* هي أجزاء من نوع من خلايا نخاع العظم، وسوف نناقش الدم بالتفصيل في الفصل الـ(49).

الأنسجة الضامة جميعها تجمعها صفات متشابهة

على الرغم من أن وصف أنواع النسيج الضام تشير إلى وظائف مختلفة عدة لهذه الأنسجة، فإن هناك صفات متشابهة تجمعها. فكما ذكرنا، نشأت الأنسجة الضامة جميعها من ميزودرم الجنين، وإن لجميعها مادة بينية وافرة، على الرغم من أن هذه المادة البينية تختلف من نوع إلى آخر من الأنسجة الضامة. ويستقر ضمن المادة البينية لكل نوع من النسيج أنواع متباينة من الخلايا، كل منها ذات وظيفة متخصصة.

تتميز الأنسجة الضامة بوجود مواد خارج خلوية وفيرة تشكل المادة البينية الموجودة بين خلاياها المتباعدة. يصنف النسيج الضام الأصيل على أنه مفكك أو كثيف. النسيج الضام الخاص له مادة بينية فريدة توجد بين الخلايا. المادة البينية للغضروف مكونة من مواد عضوية، في حين تنتشر بلّورات الكالسيوم في العظم. المادة البينية للدم هي سائل البلازما.

4-43 النسيج العضلي

تشكل العضلات مكائن جسم الحيوان الفقري. إن الوفرة النسبية، وتنظيم خيوط ميوسين وآكتين ضمن الخلايا العضلية هي الصفات التي تجعل منها خلايا فريدة. فعلى الرغم من أن هذه الخيوط تشكل شبكة دقيقة في خلايا حقيقية النوى جميعها، وتسهم في حركة المواد داخل الخلايا، فإنها أكثر وفرة وأفضل تنظيمًا في الخلايا العضلية ما يجعلها متخصصة في الانقباض.

تمتلك الفقريات ثلاثة أنواع من العضلات: الملساء، والهيكلية، والقلبية (الجدول 43-3). تدعى العضلات الهيكلية والقلبية عضلات مخططة *Striated* لأن خلاياها تُبدي تخطيطًا عرضيًّا عند النظر إليها في قطاع طولي تحت المجهر. يكون انقباض كل عضلة هيكلية تحت السيطرة الإرادية، في حين يكون انقباض العضلات القلبية والملساء غير إرادي عادة.

توجد العضلات الملساء في معظم الأعضاء

العضلات الملساء Smooth muscle هي الشكل الذي تطور أولًا من أشكال العضلات، وهي موجودة في معظم المملكة الحيوانية.

ففي اللافقاريات، توجد العضلات الملساء في أعضاء البيئة الداخلية أو الأحشاء *Viscera*. ولهذا، فإنها تدعى أيضًا عضلات حشوية *Visceral muscles*. ينتظم النسيج العضلي الأملس في طبقات من خلايا متطاولة ومغزلية الشكل، تحتوي كل منها نواة واحدة. في بعض الأنسجة، تنقبض الخلايا فقط عندما ينبهها عصب، ومن ثم فإن الخلايا في الطبقة تنقبض جميعها بوصفها وحدة واحدة.

في الفقريات، تبطن العضلات من هذا النوع جدران كثير من الأوعية الدموية، كما تكون قزحية العين التي تنقبض عند التعرض للضوء الساطع. في أنسجة عضلية ملساء أخرى كتلك الموجودة في جدار القناة الهضمية، تُنشئ الخلايا العضلية نفسها سيالات كهربائية بصورة تلقائية، ما يؤدي إلى انقباض مستمر وبطيء للنسيج، فالأعصاب هنا تنظم النشاط، ولا تسببه.

العضلات الهيكلية تحرك الجسم

تتعلق **العضلات الهيكلية Skeletal Muscle** عادة بالعظام عن طريق الأوتار. ولهذا، فإن انقباضها يسبب حركة العظام عند المفاصل. تتكون العضلة الهيكلية من خلايا عضلية عدة وطويلة جدًا، تدعى **الألياف العضلية Muscle fibers**، وهي ذات أنوية عدة. تستقر الألياف داخل العضلة موازية لبعضها، وترتبط بالأوتار عند نهايتي العضلة. وينقبض كل ليف عضلي مخطط عند تنبيهه عن طريق عصبون حركي.

يتحكم الجهاز العصبي في القوة الإجمالية لانقباض العضلة الهيكلية، بسيطرته على عدد العصبونات الحركية التي تصدر إشارات عصبية، ومن ثم في عدد الألياف العضلية التي تم تنبيهها لكي تنقبض. ينقبض كل ليف عضلي عن طريق تراكيب أصغر تدعى **لييفات Myofibrils**، تحتوي على تنظيم من خيوط آكتين وميوسين بالغ الترتيب. هذه الخيوط المرتبة تعطي الليف العضلي مظهره المخطط. تنتج الألياف العضلية الهيكلية في أثناء التكوين الجنيني عن اتحاد خلايا طرف عدة

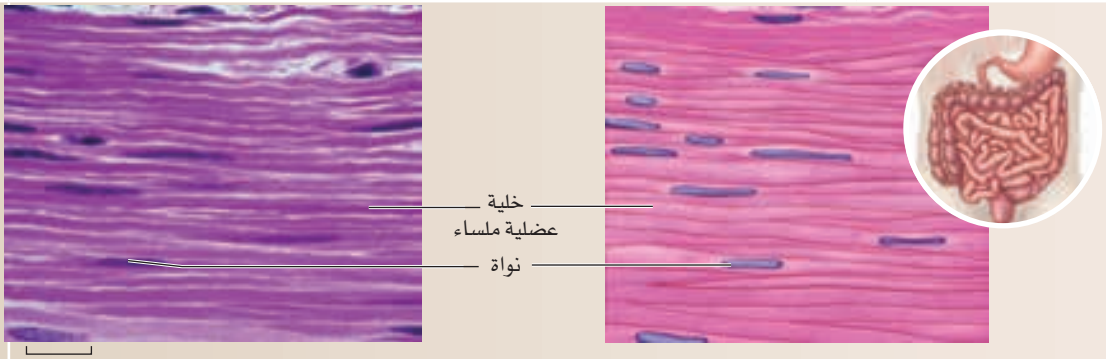
الجدول 43-3 الأنسجة العضلية

العضلات الملساء

الموقع النموذجي: جدران الأوعية الدموية، المعدة والأمعاء.

الوظيفة: تُحدث الانقباضات غير الإرادية الإيقاعية التي يسيطر عليها الجهاز العصبي المركزي.

أنواع الخلايا المميزة: الخلايا العضلية الملساء.

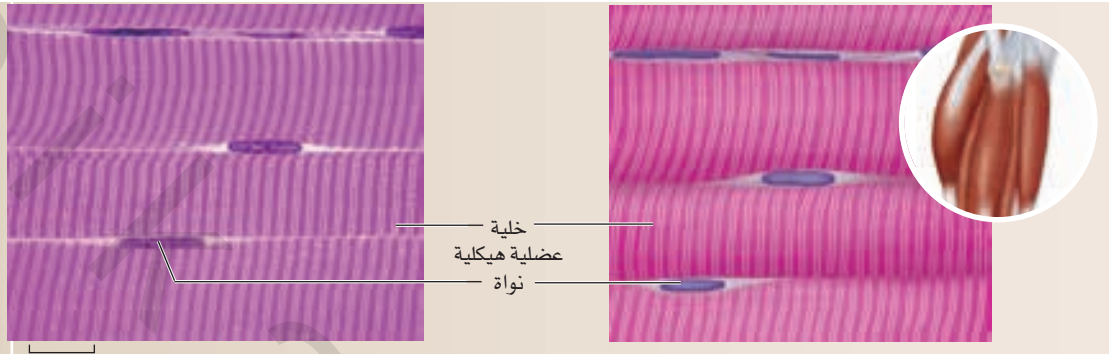


العضلات الهيكلية

الموقع النموذجي: العضلات الإرادية.

الوظيفة: تُحدث حركات المشي، والرفع، والحديث، والحركات الإرادية الأخرى جميعها.

أنواع الخلايا المميزة: الخلايا العضلية الهيكلية.



العضلات القلبية

الموقع النموذجي: جدار القلب.

الوظيفة: خلايا شديدة الترابط، تسمح بالانتشار السريع للإشارات التي تبدأ الانقباض.

أنواع الخلايا المميزة: الخلايا العضلية القلبية.

لطرف. يشرح هذا التكوين الجنيني لماذا يحتوي الليف العضلي الناضج أنوية عدة. وسنشرح تركيب العضلات الهيكلية ووظيفتها بتفصيل أكبر في الفصل الـ(47).

العضلات القلبية تُكوِّن القلب

تتكون قلوب الفقريات من خلايا عضلية مخططة مرتبة بشكل شديد الاختلاف عن ألياف العضلات الهيكلية، فبدلًا من خلايا متطاولة متعددة الأنوية تمتد على طول العضلة، نجد أن **العضلات القلبية Cardiac muscle** تتكون من خلايا أصغر ومترابطة فيما بينها، وكل منها لها نواة واحدة. يظهر ترابط الخلايا المتجاورة تحت المجهر على هيئة خطوط داكنة تدعى **الأقراص المقحمة** (البينية) **Intercalated disks**. هذه الخطوط في الواقع، هي مناطق فيها مفاصل فجوية تربط الخلايا المتجاورة. وكما لاحظنا في الفصل الـ(7)، فإن المفاصل الفجوية هي فتحات تسمح بحركة المواد الصغيرة والأيونات من خلية إلى أخرى. تمكن الوصلات البينية هذه الخلايا العضلية القلبية من تشكيل وحدة وظيفية واحدة.

تستطيع بعض الخلايا العضلية القلبية المتخصصة أن تولد سيالات كهربائية بصورة تلقائية، لكن الجهاز العصبي عادة ما يقوم بتنظيم معدل هذا النشاط التلقائي. تنتشر السيالات التي تولدها الخلايا المتخصصة عبر المفاصل الفجوية من خلية إلى أخرى، ما يجعل انقباض القلب متناسقًا. وسنصف هذه العملية بصورة أوسع في الفصل الـ (49).

أنواع النسيج العضلي ثلاثة؛ أملس، وهيكلي، وقلبي. تنجز العضلات الملساء وظائف حشوية متباينة. أمّا العضلات الهيكلية فتمكّن جسم الفقريات من الحركة. في حين تشكل العضلات القلبية مضخة عضلية هي القلب.

5-43 النسيج العصبي Nerve Tissue

يشكل النسيج العصبي النوع الرابع الرئيس من أنسجة الفقريات، وتشمل خلاياه **العصبونات Neurons** والخلايا الداعمة لها، أو خلايا الدبق العصبي *Neuroglia*، والعصبونات متخصصة في إنتاج الأحداث الكهروكيميائية (السيالات) ونقلها.

تمتد العصبونات أحيانًا مسافات طويلة

تتكون معظم **العصبونات Neurons** من ثلاثة أجزاء، هي: جسم الخلية، والزوائد الشجرية والمحور. يحتوي جسم خلية العصبون على نواة، أما الزوائد الشجرية فهي امتدادات رفيعة بالغة التشعب، تستقبل المنبهات القادمة، وتوصل السيالات الكهربائية إلى جسم الخلية. والمحور امتداد للسيتوبلازم، ينقل السيالات بعيدًا عن جسم الخلية. يمكن أن يكون المحور والزوائد الشجرية طويلة جدًا، فأجسام العصبونات التي تسيطر على العضلات في قدمك تقع في الحبل الشوكي، في حين قد تمتد محاورها مسافة متر أو أكثر إلى قدمك.

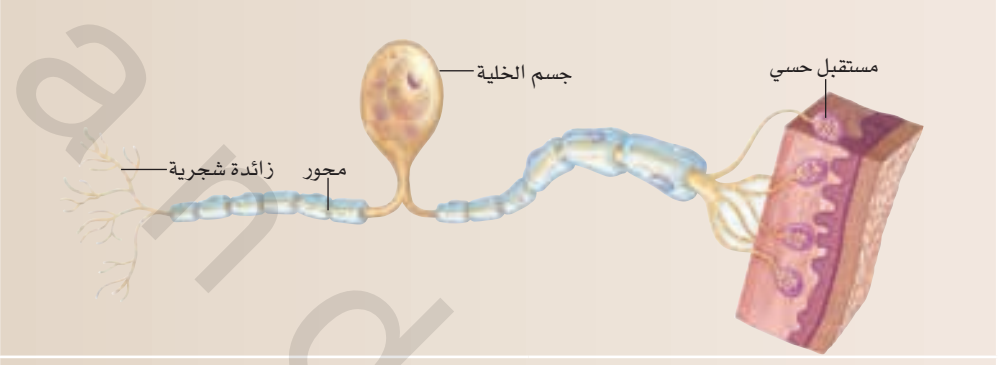
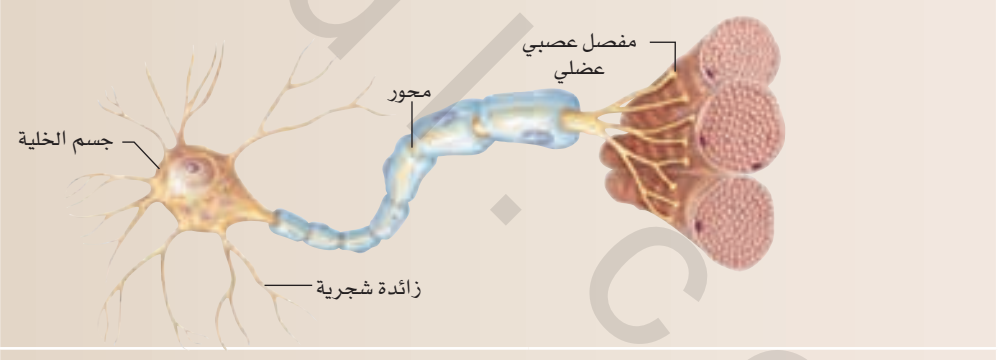
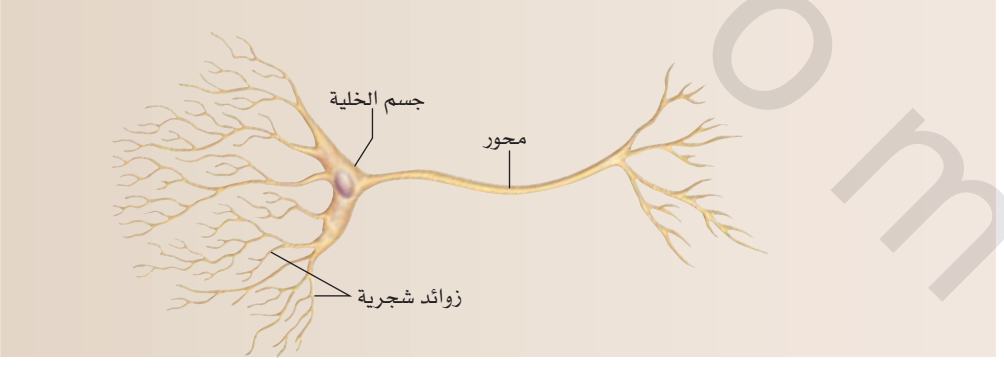
تقدم خلايا الدبق العصبي الدعم للعصبونات

لا تنقل خلايا **الدبق العصبي Neuroglia** سيالات كهربائية، بل تدعم العصبونات وتعزلها، وتخلصها مما بها ومما حولها من المواد الغريبة. في كثير من العصبونات، ترتبط خلايا الدبق مع المحاور، وتشكل طبقة عازلة هي غمد الميلين *Myelin sheath*، الذي ينتج عن الالتفاف المتعاقب لغشاء خلية الدبق حول المحور. وتعمل ثغرات صغيرة في غمد الميلين، تدعى عقد رانفييه *Nodes of Ranvier* بوصفها مواقع لزيادة سرعة السيال (انظر الفصل الـ 44).

للجهاز العصبي قسمان ينسقان الأنشطة المختلفة

ينقسم الجهاز العصبي إلى: أ. **جهاز عصبي مركزي Central nervous system**، يضم الدماغ والحبل الشوكي. ب. **جهاز عصبي طرفي Peripheral nervous system** يضم الأعصاب *Nerves* والعقد العصبية *Ganglia*. تتكون الأعصاب من محاور في الجهاز الطرفي تجتمع معًا على هيئة

الجدول 43-4 النسيج العصبي

العصبونات الحسية الموقع النموذجي: العيون، الآذان، سطح الجلد. الوظيفة: تستقبل المعلومات عن حالة الجسم وبيئته الخارجية، ترسل سيالات من المستقبلات الحسية إلى الجهاز العصبي المركزي. أنواع الخلايا المميزة: العصي والمخاريط، مستقبلات الشد في العضلات.	
العصبونات الحركية الموقع النموذجي: الدماغ، والحبل الشوكي. الوظيفة: تنبه العضلات والغدد، تنقل السيالات خارج الجهاز العصبي المركزي نحو العضلات والغدد. أنواع الخلايا المميزة: العصبونات الحركية.	
العصبونات البينية الموقع النموذجي: الدماغ، والحبل الشوكي. الوظيفة: تكامل المعلومات، نقل السيالات بين العصبونات داخل الجهاز العصبي المركزي. أنواع الخلايا المميزة: العصبونات البينية.	

obeikandl.com

حزم، بطريقة تشبه كثيرًا الأسلاك المجتمعة معًا في حزم لتشكل كابلًا. أما العقد العصبية، فهي تجمعات لأجسام الخلايا العصبية. عادة، يتمثل دور الجهاز العصبي المركزي في تكامل المعلومات الداخلة وتفسيرها، كتلك المعلومات الواردة من أعضاء الإحساس، أما الجهاز الطرفي، فيوصل الإشارات بين الجهاز المركزي وبقية الجسم، كالعضلات، أو الغدد الصماء.

يتكون النسيج العصبي من عصبونات، وخلايا دبق عصبي. تخصصت العصبونات في استقبال الإشارات الكهربائية ونقلها، أما خلايا الدبق فهي لا تنقل سيالات كهربائية، لكن لها وظائف دعم مختلفة، وتشمل عزل المحور لزيادة سرعة نقل السيالات الكهربائية. توجد العصبونات وخلايا الدبق في كلٍّ من الجهازين العصبيين؛ المركزي الطرفي.

6-43 نظرة عامة على الأجهزة العضوية للفقريات

في الفصول التي ستعقب هذا الفصل، سنفحص عن قرب الأجهزة العضوية الرئيسة للفقريات (الشكل 43-5). وفي كل فصل، سوف نرى العلاقة الوثيقة بين التركيب والوظيفة. وسوف نقارب موضوع الأجهزة العضوية بوضعها في المجموعات الوظيفية الآتية:

- التواصل والتكامل.
- الدعم والحركة.
- التنظيم والإدامة.
- الدفاع.
- التكاثر والتكوين الجنيني.

التواصل والتكامل ينقلان الإحساس بالبيئة، فيستجيب لها

يوجد في الجسم ثلاثة أجهزة عضوية لرصد المنبهات الخارجية والداخلية، وتنسيق استجابات الجسم. **فالجهاز العصبي Nervous system** الذي يتكون من الدماغ والحبل الشوكي والأعصاب وأعضاء الإحساس، يسبر المنبهات الخارجية كالضوء، والصوت، واللمس. تُجمع هذه المعلومات، ويجري تكاملها، ثم تُصنع الاستجابة المناسبة لها. **أما جهاز الإحساس Sensory system**، وهو جزء من الجهاز العصبي، فيشمل أعضاء وأنسجة تتحرى المنبهات كالرؤية والسمع، والرائحة وغيرها.

في حين يعمل جهاز **الغدد الصماء Endocrine system** بصورة موازية للجهازين السابقين، إذ يُصدر إشارات كيميائية تنظم شبكة العمليات الكيميائية التي تتم في الأجهزة العضوية كلها بصورة دقيقة.

الدعم الهيكلي والحركة حيويان للحيوانات جميعها

يتألف **الجهاز العضلي الهيكلي Musculoskeletal system** من مجموعتين من الأجهزة العضوية المترابطة. فالعضلات مسؤولة بصورة واضحة عن الحركة، لكنها تصبح عديمة الفائدة، إن لم تجد شيئًا تسحب ضده. الجهاز الهيكلي هو هيكل صلب تسحب العضلات نحوه. الفقريات لها هياكل داخلية، لكن حيوانات أخرى عدة لها هياكل خارجية (كالحشرات) أو هياكل هيدروستاتيكية (كدودة الأرض). هذان الجهازان العضويان يمكنان الحيوانات من إظهار تشكيلة واسعة من الحركات المضبوطة بدقة.

التنظيم وإدامة كيمياء الجسم يضمنان استمرار الحياة

تسهم الأجهزة العضوية المنضوية تحت لواء التنظيم والإدامة في: الاستحواذ على الغذاء، والتخلص من الفضلات، وتوزيع المواد، وإدامة البيئة الداخلية. فالفصل الخاص **بالجهاز الهضمي Digestive system** يصف كيف تؤكل، وتمتص المواد الغذائية، وتتخلص من الفضلات الصلبة. القلب والأوعية الدموية في **الجهاز الدوري Circulatory system** يضخان الدم ويوزعانه، حيث تُحمل المواد الغذائية والمواد الأخرى خلال الجسم كله. والجسم يكتسب الأكسجين، ويطرد ثاني أكسيد الكربون عن طريق **الجهاز التنفسي Respiratory system**.

وأخيرًا، فإن الفقريات تنظم درجة حرارة أجسامها، وتركز سوائل أجسامها بشكل محكم. وسوف نستكشف هذه العملية في فصل يتناول الحرارة والتنظيم الأسموزي، وهذا الأخير يُنجِز معظمه **الجهاز البولي Urinary system**.

يستطيع الجسم أن يدافع عن نفسه ضد من يهاجمه أو من يغزوه

كل حيوان يواجه هجومًا للبكتيريا، والفيروسات، والفطريات، والطلائعيات، وحتى لحيوانات أخرى. الخط الأول لدفاع الجسم هو **الجهاز الغطائي** (الجلدي) **Integumentary system** أو الجلد السليم. العوامل المسببة للمرض التي تخترق خط الدفاع الأول، تواجه مجموعة من استجابات **الجهاز المناعي Immune system** الوقائية، التي تشمل إنتاج الأجسام المضادة والخلايا المتخصصة التي تقاوم المخلوقات المهاجمة.

التكاثر والتكوين الجنيني يضمنان استمرار النوع

الاستمرار البيولوجي للفقريات هو اختصاص **جهاز التكاثر Reproductive system**. يتألف جهاز التكاثر في الذكر والأنثى من أعضاء تتطور بها الجاميتات الذكرية والأنثوية، إضافة إلى الغدد والأنابيب التي تحضن الجاميتات وترعاها، وتسمح لجاميتات الجنسين المتكاملين من تلامس أحدهما مع الآخر. إن الجهاز التكاثري الأنثوي في كثير من الفقريات له أنظمة تحضن الجنين قيد التطور أيضًا.

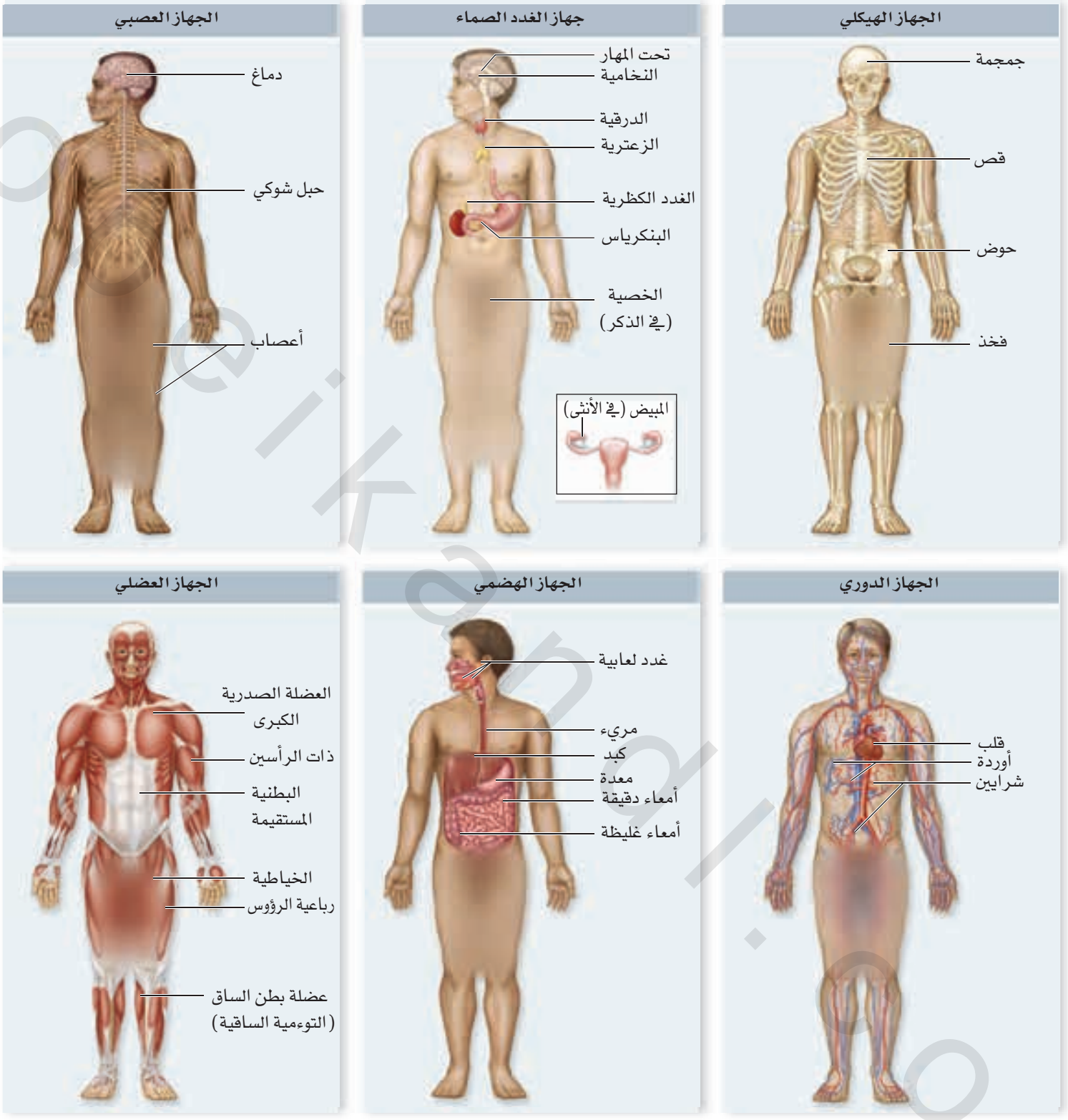
بعد أن تتحد الجاميتات لتشكل الزيجوت *Zygote*، يجب أن تتم عملية معقدة من انقسام الخلايا والتكوين الجنيني لكي تتغير هذه الخلية التي ابتدأت خليةً ثنائية العدد الكروموسي إلى بالغٍ متعدد الخلايا وقادر على التكاثر بنفسه. سنستقصي هذه العملية في فصل التكوين الجنيني للحيوان، حيث سنختم به هذه الوحدة.

صنفت الأجهزة العضوية لأجسام الفقريات وظيفيًا بناء على أدوارها في التواصل والتكامل، أو في الدعم والحركة، أو في التنظيم والإدامة، أو في الدفاع، وأخيرًا في التكاثر والتطور.

الشكل 43–5

الأجهزة العضوية للفقريات. يبين الشكل الأجهزة العضوية الرئيسة (عددها 11) المكونة لجسم الإنسان، بما في ذلك أجهزة التكاثر الذكرية والأنثوية.

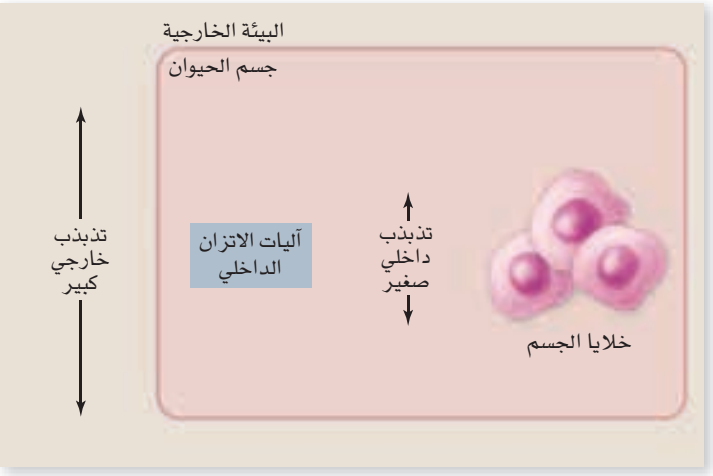
Openkandil.com



obeikandl.com

7-43 الاتزان الداخلي Homeostasis

مع تطور الحيوانات، ازدادت تخصصات تراكيب الجسم. كل خلية هي آلة معقدة معايرة بدقة لإنجاز دور دقيق ضمن الجسم. هذا التخصص في وظيفة الخلية ممكن فقط، عندما تبقى الظروف خارج الخلية ثابتة، أو عندما تتغير ضمن مدى ضيق. فدرجة الحرارة ودرجة الحموضة وتركيز الجلوكوز والأكسجين، وعوامل أخرى عدة، يجب أن تبقى ثابتة نسبيًّا؛ لكي تؤدي الخلايا وظائفها بكفاءة، ولكي تتفاعل مع بعضها بشكل صحيح. يدعى هذا الثباتُ الديناميكي للبيئة الداخلية **الاتزانَ الداخلي Homeostasis**. وقد استخدم مصطلح ديناميكي *Dynamic* هنا؛ لأن الظروف حول الخلية لا يمكن أن تكون ثابتة، إذ إنها تتذبذب بشكل مستمر ضمن مدى ضيق. الاتزان الداخلي ضروري للحياة. إن معظم الآليات التنظيمية في جسم الحيوان الفقري تتضمن المحافظة على هذا الاتزان الداخلي (الشكل 43-6).



الشكل 43-6

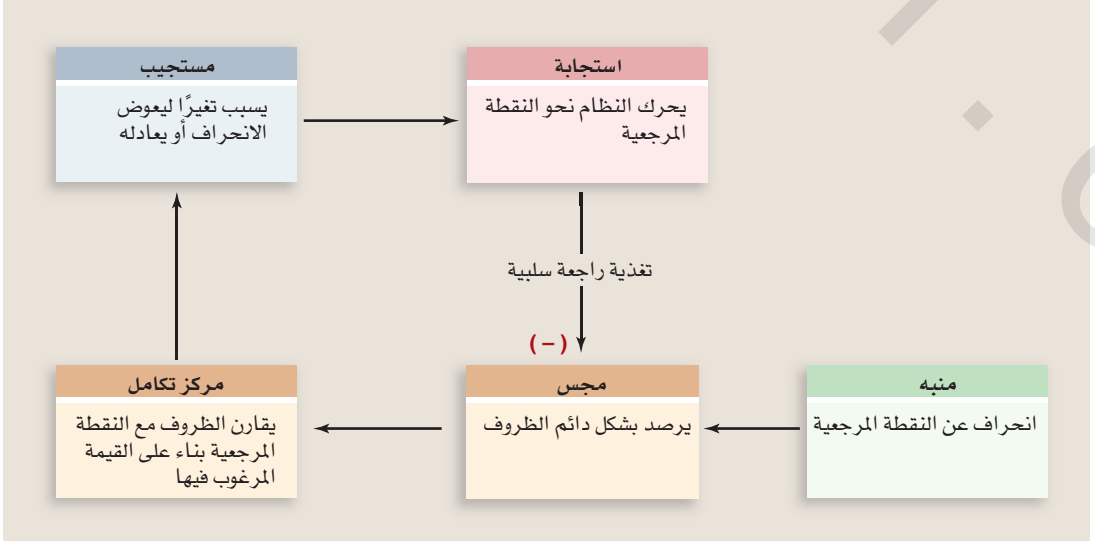
تساعد آليات الاتزان الداخلي على بقاء الظروف الداخلية ثابتة. حتى وإن تغيرت الظروف خارج جسم الحيوان بشكل واسع، فإن داخل الجسم يبقى ثابتًا نسبيًّا، بسبب وجود الكثير من أنظمة السيطرة المعايرة بدقة.

تحافظ آليات التغذية الراجعة السلبية على القيم ضمن مداها الطبيعي

يستخدم جسم الحيوان الفقري نوعًا من أنظمة السيطرة يدعى **التغذية الراجعة السلبية Negative feedback** من أجل الحفاظ على الثبات الداخلي. في التغذية الراجعة السلبية، يتم سبر الظروف داخل الجسم وخارجه عن طريق مجسات متخصصة، قد تكون خلايا أو أغشية مستقبلة. فإذا ابتعدت الظروف كثيرًا عن النقطة المرجعية، فإن تفاعلات كيميائية تتم من أجل إعادة الظروف ثانية إلى النقطة المرجعية.

النقطة المرجعية Set point مشابهة لمثبت درجة الحرارة الذي يتحكم في جهاز تدفئة. فعندما تنخفض درجة الحرارة، يتم رصد التغير عن طريق مسبار درجة الحرارة داخل جهاز التدفئة – **المسبار Sensor**. أما مؤشر درجة الحرارة الذي ثُبتت عليه النقطة المرجعية لجهاز التدفئة فيدعى **المقارن Comparator**. عندما تنخفض درجة حرارة المسبار تحت النقطة المرجعية، يغلق المقارن الدائرة الكهربائية، حيث ينتج تدفق التيار الكهربائي خلال جهاز التدفئة مزيدًا من الحرارة. وبشكل معاكس أيضًا، عند ارتفاع درجة حرارة الغرفة، يؤدي التغير إلى فتح الدائرة الكهربائية، فلا ينتج المزيد من الحرارة. ويلخص (الشكل 43-7) دورة التغذية الراجعة السلبية.

بطريقة مماثلة، فإن جسم الإنسان له نقاط مرجعية لدرجة الحرارة، وتركيز جلوكوز الدم، وتركيز الأيونات، ودرجة الشد في الأوتار وغيرها. فمركز التكامل



الشكل 43-7

مخطط عام لدورة التغذية الراجعة السلبية. تحافظ التغذية السالبة على حالة الاتزان الداخلي أو الثبات الديناميكي للبيئة الداخلية. تُرصد الظروف المتغيرة عن طريق مجسات، تغذي بمعلوماتها مركز التكامل الذي يقارن الظروف مع النقطة المرجعية. يؤدي الانحراف عن النقطة المرجعية إلى استجابة تعيد الظروف الداخلية ثانية إلى النقطة المرجعية. التغذية السلبية في اتجاه المجس تنهي الاستجابة أخيرًا.

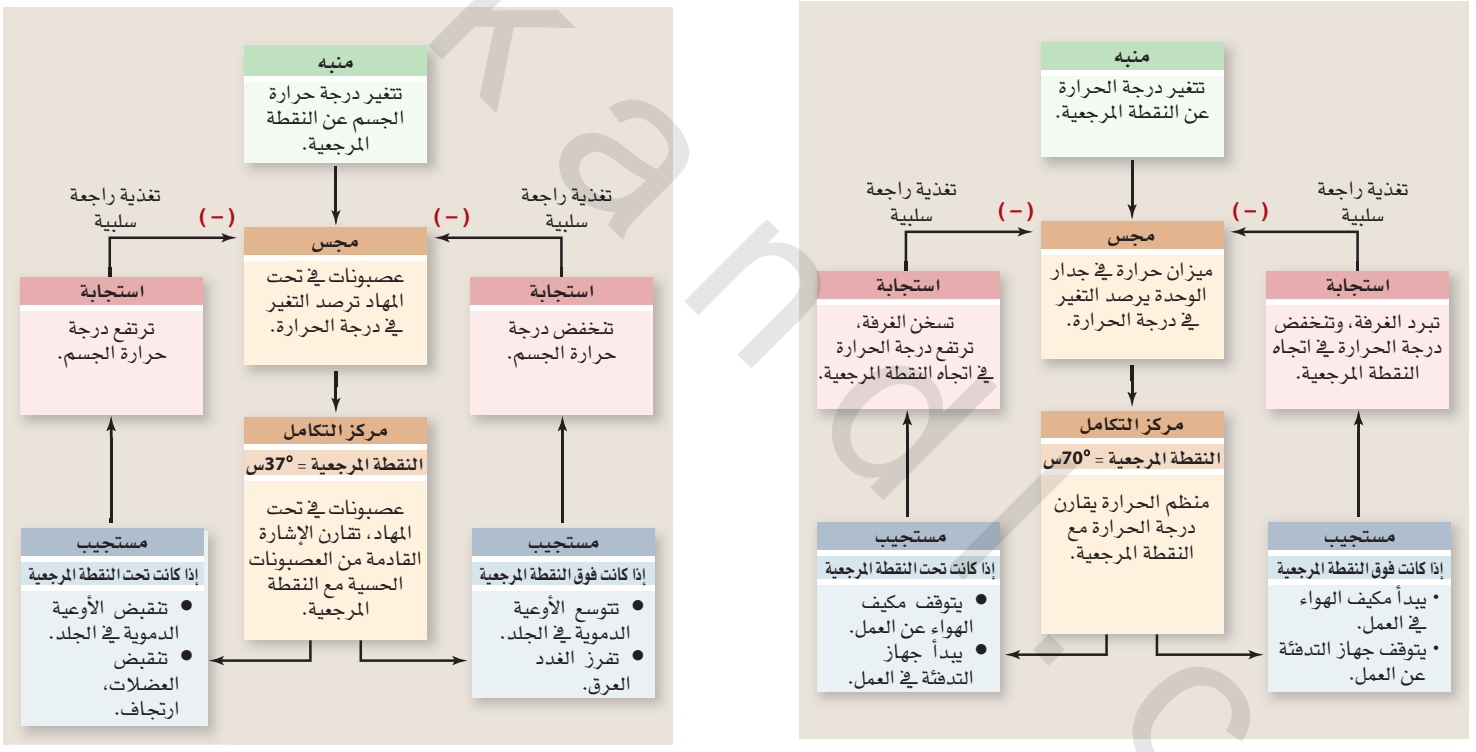
هو غالبًا منطقة معينة من الدماغ أو الحبل الشوكي، ولكن في حالات أخرى قد تكون خلايا غدة صماء. وعندما يحدث انحراف في ظرف ما، تصل رسالة لزيادة أو إنقاص نشاط عضو هدف معين، يدعى **المستجيب Effector**. الأعضاء المستجيبة هي عادة عضلة أو غدة، ونشاطها يمكن أن يؤدي إلى تغير في قيمة الظرف الذي نتحدث عنه في اتجاه قيمة النقطة المرجعية.

الثدييات والطيور حيوانات داخلية الحرارة *Endothermic*. هذه الحيوانات قادرة على الحفاظ على درجة حرارة جسم ثابتة نسبيًّا، بغض النظر عن درجة حرارة البيئة الخارجية. فعندما تزيد درجة حرارة الدم في الإنسان على 37° س، تتحرى عصبونات في جزء الدماغ المسمى **تحت المهاد Hypothalamus** التغير في درجة الحرارة. وتستجيب تحت المهاد بالعمل من خلال سيطرة عصبونات حركية، بأن تسمح بتبدد الحرارة عن طريق العرق وتوسع الأوعية الدموية في الجلد وآليات أخرى. تؤدي هذه الاستجابات إلى معادلة الارتفاع في درجة حرارة الجسم.

أعضاء الاستجابة المتعارضة تعمل في اتجاهات متعارضة

تعمل آليات التغذية الراجعة السلبية التي تديم الاتزان الداخلي غالبًا، بحيث يعارض بعضها بعضًا لإحداث درجة أدق من السيطرة. فمعظم العوامل في البيئة الداخلية تتم السيطرة عليها عن طريق أعضاء مستجيبة عدة، التي غالبًا ما يكون لها أفعال متعارضة. توصف السيطرة عن طريق هذه المستجيبات المتعارضة أحيانًا، بأنها "دفع وسحب" بحيث إن النشاط الزائد لأحد هذه المستجيبات يصاحبه نشاط منخفض للمستجيب المعاكس. إن هذا يؤمن درجة أدق من السيطرة، أكثر مما يمكن أن يتحقق لو حُفِّز مستجيب واحد، ثم تم إيقافه.

ولو عدنا لمثال تنظيم درجة حرارة الغرفة السابق، فإن درجة حرارتها يمكن تثبيتها ببساطة بإشعال جهاز التدفئة ثم بإطفائه، أو بإدارة مكيف الهواء ثم إقفاله. لكن استقرار درجة الحرارة بصورة أفضل ممكن إذا كان جهاز التحكم في درجة الحرارة يسيطر على كل من جهاز التدفئة ومكيف الهواء معًا. في هذه الحالة، سيعمل جهاز التدفئة عندما يكون مكيف الهواء متوقفًا عن العمل، والعكس صحيح تمامًا (الشكل 43-8 أ).



أ.

ب.

الشكل 43-8

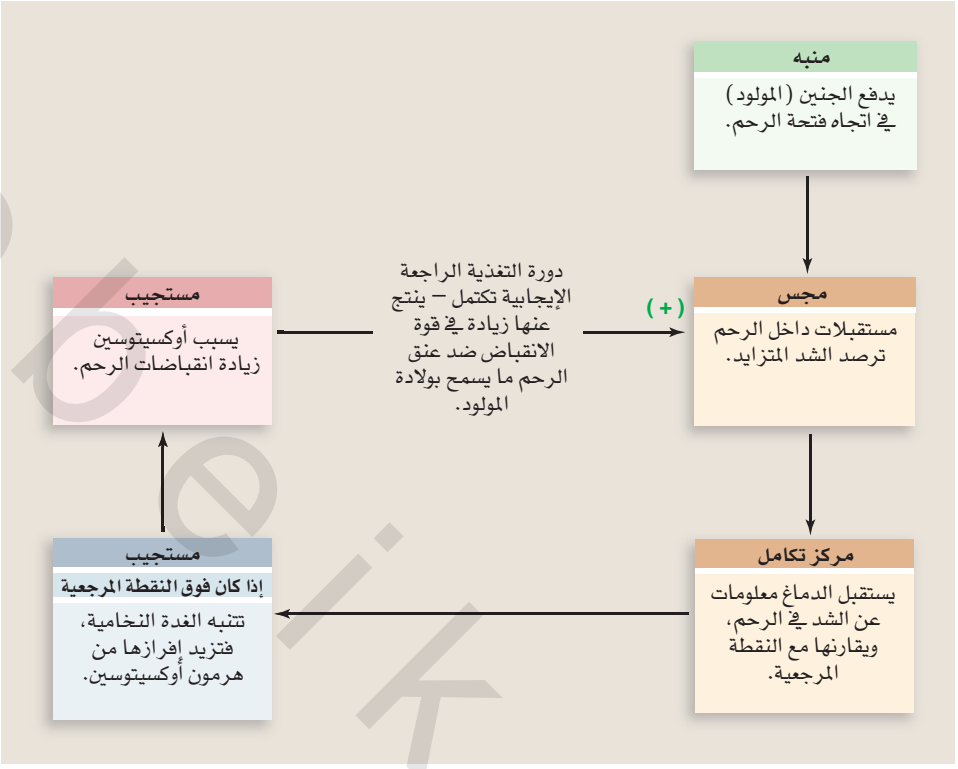
يحافظ على درجة حرارة الجسم والغرفة ثابتة عن طريق التغذية الراجعة السلبية والمستجيبات المتعارضة.

أ. إذا رصد منظم الحرارة انخفاضًا في درجة الحرارة (مقارنة بالنقطة المرجعية)، فإن جهاز التدفئة يبدأ في العمل، وينطفئ مكيف الهواء. وإذا كانت درجة الحرارة مرتفعة، فإن مكيف الهواء يبدأ في العمل، وينطفئ جهاز التدفئة.

ب. ترصد تحت المهاد في الدماغ الزيادة أو النقص في درجة الحرارة. يقوم المقارن (تحت المهاد) بمعالجة المعلومات، وتنشيط المستجيبات، كالأوعية الدموية السطحية والغدد العرقية، والعضلات الهيكلية. تسبب التغذية السلبية انخفاضًا في الفرق في درجة الحرارة مقارنة مع النقطة المرجعية. نتيجة لذلك، ينخفض تنبيه المقارِن للأعضاء المستجيبة.

obeikandl.com

الشكل 43-9



التغذية الراجعة الإيجابية في أثناء الولادة. هذا واحد من أمثلة قليلة في جسم الفقريات للتغذية الراجعة الإيجابية.

تعمل مستجيبات متعارضة بطريقة مشابهة للتحكم في درجة حرارة الجسم. فعندما تنخفض درجة حرارة الجسم، تنسق تحت المهاد مجموعة مختلفة من الاستجابات، مثل انقباض الأوعية الدموية في الجلد، وبدء عملية الارتجاف، وهي انقباضات عضلية تساعد على توليد الحرارة. هذه الاستجابات ترفع درجة حرارة الجسم، وتصحح التحدي الأساسي للاتزان الداخلي (الشكل 43-8 ب).

تسرع آليات التغذية الراجعة الإيجابية حدوث التغير

أحيانًا يستخدم الجسم آليات **التغذية الراجعة الإيجابية Positive feedback**، التي تدفع أو تؤكد التغير بصورة أكبر، وفي اتجاه التغير نفسه. ففي دورة التغذية الراجعة الإيجابية، يدفع المستجيب قيمة المتغير المسيطر عليه بعيدًا عن النقطة المرجعية. نتيجة لذلك، فإن الأنظمة التي تحدث بها التغذية الإيجابية تتميز بعدم الاستقرار، وتشبه في هذا الخصوص الشرارة التي تشعل فتيل الانفجار. إنها لا تساعد في الحفاظ على الاتزان الداخلي.

ومع ذلك، فإن مثل هذه الأنظمة تشكل مكونات مهمة لبعض الآليات الفيزيولوجية (الوظيفية). فمثلًا، تحدث التغذية الراجعة الإيجابية في أثناء تجلط الدم؛ إذ يؤدي تنشيط عامل تجلط معين إلى تنشيط عامل آخر في سلسلة تقود بسرعة إلى تكوين الجلطة الدموية. وتؤدي التغذية الإيجابية دورًا في انقباضات الرحم في أثناء الولادة (الشكل 43-9). في هذه الحالة، ينبه شد الرحم عن طريق الجنين حدوث انقباضات في الرحم تسبب مزيدًا من شد الرحم، وتستمر هذه الدورة حتى يطرح الرحم الجنين إلى خارجه.

تعمل معظم أنظمة التغذية الراجعة الإيجابية في الجسم بوصفها جزءًا من آليات أكبر، إنها تحافظ على الاتزان الداخلي. ففي الأمثلة التي أوردناها توًّا، يوقف تكوين الجلطة الدموية النزيف، ولهذا يميل حجم الدم للبقاء ثابتًا، وإن طرد الرحم للجنين يؤدي في النهاية إلى انخفاض انقباضات الرحم وتوقف الدورة.

يمكن النظر إلى الاتزان الداخلي على أنه ثبات ديناميكي للبيئة الداخلية للمخلوق. تصحح آليات التغذية الراجعة السلبية ابتعاد قيم المتغيرات الداخلية المختلفة عن النقطة المرجعية، وبهذه الطريقة تبقى ظروف الجسم ضمن المدى الطبيعي. تُعدّ المستجيبات التي تعمل بشكل متعارض مع بعضها أكثر كفاءة من المستجيبات التي تعمل بصورة فردية. إن آليات التغذية الراجعة الإيجابية التي تعزز التغيرات، وتؤكدها أقل شيوعًا، وتنجز وظائف متخصصة في الجسم.

مراجعة المفاهيم

43-1 تنظيم جسم الفقريات

توجد أربعة مستويات لتنظيم جسم الفقريات، هي: الخلايا، والأنسجة، والأعضاء، والأجهزة العضوية (الشكل 43-1).

- الأنسجة مجموعات من خلايا متشابهة في التركيب والوظيفة.
- أنسجة البالغ مشتقة من ثلاثة أنسجة جنينية، هي: إندودرم، وميزودرم، وإكتودرم.
- الأنسجة الأساسية للحيوان الفقري البالغ، هي: الطلائي، والضام، والعضلي، والعصبي.
- الأجهزةُ العضويةُ مجموعاتٌ من الأعضاء تتعاون معًا لإنجاز الأنشطة الرئيسة للجسم.
- خطةُ الجسم العامة للفقريات جهازٌ هضميٌّ، أو أنبوب محاط بهيكل، وجلد، وأعضاء إضافية (الشكل 43-2).
- للفقريات تجويف جسم ظهري يتشكل داخل الجمجمة والفقرات، وتجويف جسم بطني محاط بالقفص الصدري، وبالعضلات البطنية السفلى.
- يقسم تجويف الجسم البطني عن طريق الحجاب الحاجز إلى جزأين، هما: التجويف الصدري الذي يحتوي القلب والرئتين، والتجويف الحوضي الذي يحتوي معظم الأعضاء الأخرى.
- الأعضاء تراكيب جسمية مكونة من أنواع مختلفة من الأنسجة، وتشكل وحدة وظيفية وتركيبية.
- الحيز السيلومي لتجويف البطن الحوضي يدعى التجويف البريتوني، في حين يدعى الحيز حول القلب التجويفَ الشغافي، أما الحيز حول الرئتين فيدعى الحيز البلّوري.

43-2 النسيج الطلائي

الأغشية الطلائية أو الطلائية تغطي كل سطح في جسم الفقريات.

- الخلايا الطلائية ترتبط ببعضها بإحكام مشكلة حاجزًا، يعيق أو ييسر مرور المواد بشكل انتقائي.
- الطلائية التي تتعلق بالأنسجة الضامة الواقعة تحتها لها قطبية فطرية تؤثر في وظيفة النسيج، وهي تتجدد بسرعة.
- تنقسم الطلائية إلى مجموعتين رئيستين، هما: بسيطة وطبقية (سمكها طبقات عدة) وهاتان المجموعتان، تقسم كل منها إلى حرشفية، ومكعبة، وعمادية بناء على شكل الخلايا (الجدول 43-1).
- الطلائية البسيطة سمكها خلية واحدة، تنظم عبور المواد خلالها. قد تكون إفرازية أو منغمدة للداخل، لتشكل الغدد خارجية الإفراز ذات القنوات، أو غددًا لا قنوية صماء.
- الطلائية الطبقية سمكها خليتان أو أكثر، وتسمى وَفق طبقة الخلايا القمية لها.

43-3 الأنسجة الضامة

تشتق الأنسجة الضامة من ميزودرم الجنين، وهي تحتوي مادة بينية خارج الخلايا، تتألف من ألياف بروتينية ومادة أساسية.

- تقسم الأنسجة الضامة إلى أنسجة ضامة أصيلة، وأنسجة ضامة متخصصة.
- النسيج الضام الأصيل يقسم إلى مفكك وكثيف، والمادة البينية تنتجها وتفرزها خلايا مولدة الألياف.
- النسيج الضام المفكك، كالنسيج الدهني، مكون من كمية كبيرة من المادة الأساسية، ومن ألياف كولاجين مبعثرة بها، وألياف إلاستين، ورِتِيكيُولن.
- النسيج الضام الكثيف به مادة أساسية أقل، وبه ألياف كولاجين متراصة بإحكام، ومرتبة على هيئة خيوط متوازية ومنتظمة، أو ألياف غير منتظمة تتجه داخله بشكل عشوائي.
- الأنسجة الضامة المتخصصة لها خلايا فريدة، ومادة بينية تسمح لها بإنجاز وظائف متخصصة. وهي تشمل الغضروف المرن، والعظم الصلب، والدم (الجدول 43-2).

43-4 النسيج العضلي

العضلات تنجز الشغل، ولها تنظيم متميز لخيوط آكتين وميوسين.

- تمتلك الفقريات ثلاثة أنواع من العضلات: ملساء، وهيكلية، وقلبية (الجدول 43-3).
- توجد العضلات الملساء غير الإرادية في الأحشاء، وهي مكونة من خلايا طويلة ومغزلية الشكل، ولكل منها نواة، ونشاطها تنظمه الأعصاب.
- العضلات الهيكلية الإرادية، أو العضلات المخططة تتعلق عادة عن طريق أوتار إلى العظام، وخلاياها لها أنوية عدة، وتحتوي لييفات انقباضية.
- يسيطر الجهاز العصبي على القوة الإجمالية للانقباض بالتحكم في عدد الألياف العضلية التي يتم تنبيهها لتنقبض.
- تتكون العضلات القلبية من خلايا عضلية مخططة ترتبط ببعضها عن طريق مفاصل فجوية، تسمح للخلايا العضلية القلبية بتشكيل وحدة وظيفية واحدة.
- هناك خلايا عضلية قلبية متخصصة، تستطيع توليد سيالات كهربائية تلقائيًّا، لكن الجهاز العصبي ينظم معدل إنتاج هذه السيالات.

43-5 النسيج العصبي

الأنسجة العصبية متخصصة في إنتاج السيالات الكهروكيميائية ونقلها (الجدول 43-4).

- النسيج العصبي مكون من عصبونات، ومن خلايا داعمة لها تدعى خلايا الدبق العصبي.
- يتكون العصبون من ثلاثة أجزاء، هي: جسم للخلية به نواة، وزوائد شجرية تستقبل المعلومات القادمة نحو جسم الخلية، ومحور ينقل السيالات بعيدًا عن جسم الخلية.
- خلايا الدبق العصبي تدعم العصبونات وتعزلها، كما تنظم بيئة العصبون. في بعض الخلايا، تشكل خلايا الدبق الغمد الميليني الذي يسرع توصيل السيالات.
- للجهاز العصبي قسمان رئيسان: جهاز عصبي مركزي يضم الدماغ والحبل الشوكي، وجهاز عصبي طرفي يضم الأعصاب والعقد العصبية.

43-6 نظرة شاملة على الأجهزة العضوية للفقريات

تتكون الأجهزة العضوية من مجموعات من الأعضاء تنجز وظائف فريدة (الجدول 43-5).

- هناك ثلاثة أجهزة عضوية ذات علاقة بتواصل المعلومات وتكاملها، هي: العصبي والحسي، وجهاز الغدد الصماء.
- الجهاز العضلي الهيكلي مكون من جهازين عضويين مترابطين، ولهما علاقة بالدعم والحركة.
- توجد أربعة أجهزة لها علاقة بالتنظيم، وبإدامة كيمياء الجسم، هي: الهضمي، والدوري، والتنفسي، والبولي.
- يدافع الجسم عن نفسه عن طريق الجهاز الغطائي (الجلد) والجهاز المناعي.
- جهاز التكاثر يضمن استمرار النوع.

43-7 الاتزان الداخلي

يشير مصطلح الاتزان الداخلي إلى الثبات الديناميكي للبيئة الداخلية، وهو ضروري للحياة.

- يتطلب تنظيم مؤشر ثابت نسبيًّا تغذية راجعة سلبية لإعادة الظروف إلى النقطة المرجعية.
- تشمل دورات التغذية السلبية، التي تنظم الاتزان الداخلي، وجود مجس يرصد الظروف الداخلية والخارجية، ومركز تكامل يقارن الظروف مع النقطة المرجعية ومستجيب أو أكثر، يحدث تغيرًا يعوض عن الإزاحة التي حدثت في النقطة المرجعية.
- توجد آليات التغذية السلبية غالبًا على هيئة أزواج متعارضة، يعاكس عمل كل منها عمل الآخر لتقليل مقدار الانحراف عن النقطة المرجعية.
- آليات التغذية الإيجابية تزيد من الانحراف عن النقطة المرجعية، وهي عادة غير ضارة.

Openkanal.com

أسئلة مراجعة

اختبار ذاتي

ارسم دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. على الرغم من تباين الأنسجة الضامة في التركيب والموقع، فإنها تتشاطر في مغزى موحد، هو ربطها بين أنواع الأنسجة الأخرى. وعلى الرغم من أن الآتية جميعها تنطبق عليها هذه الخاصية، فإن واحدًا من أنواع الأنسجة الآتية ليس نسيجًا ضامًّا، هو:
   أ. الدم. ب. العضلات.
   ج. النسيج الدهني. د. الغضروف.
2. تشترك أعضاء الجسم في أنّ جميعها:
   أ. يحتوي أنواع الخلايا نفسها.
   ب. مكون من أنواع عدة من الخلايا.
   ج. مشتق من الإكتودرم.
   د. يمكن اعتباره جزءًا من الجهاز الدوري.
3. التجويف الذي يحتوي على المعدة هو:
   أ. البريتوني . ب. الشغافي.
   ج. البلّوري. د. الصدري.
4. تقوم الأنسجة الطلائية بكل ما يأتي باستثناء:
   أ. تشكيل الحواجز أو الحدود.
   ب. امتصاص المواد الغذائية في الجهاز الهضمي.
   ج. نقل المعلومات في الجهاز العصبي المركزي.
   د. السماح بتبادل الغازات في الرئة.
5. تتشكل الغدد الصماء والغدد خارجية الإفراز من النسيج:
   أ. الطلائي. ب. الضام.
   ج. العصبي. د. العضلي.
6. الأنسجة الضامة تضم مجموعة متباينة من الخلايا. ومع ذلك، فإنها تشترك جميعها في:
   أ. الشكل المكعب. ب. القدرة على إنتاج الهرمونات.
   ج. القدرة على الانقباض. د. وجود المادة البينية خارج الخلايا.
7. التهاب المفاصل الروماتيزمي هو أحد أمراض المناعة الذاتية الذي يهاجم بطانة المفاصل في الجسم. الخلايا التي تبطن هذه المفاصل، والتي يسبب تدميرها أعراض الالتهاب هي:
   أ. خلايا العظم. ب. خلايا الدم الحمراء.
   ج. خلايا الغضروف. د. الصفائح الدموية.
8. تختلف الخلايا العضلية عن خلايا الثدييات "النموذجية" في:
   أ. تحتوي أنوية عدة. ب. بها ميتوكوندريا.
   ج. ليس لها غشاء بلازمي. د. ليست مشتقة من نسيج جنيني.
9. من الأمثلة على مواقع العضلات الملساء:
   أ. بطانة الأوعية الدموية. ب. قزحية العين.
   ج. جدار القناة الهضمية. د. كل ذكر.
10. افترض أن فيروسًا غريبًا وصل إلى الأرض، يدمر الجهاز العصبي بمهاجمته تراكيب العصبونات. التركيب الذي سيكون منيعًا ضد هذا الهجوم هو:
    أ. المحور. ب. الزوائد الشجرية.
    ج. خلايا الدبق العصبي. د. كل هذه التراكيب عُرضة لهجوم الفيروس.
11. وظيفة خلايا الدبق العصبي هي:
    أ. نقل الرسائل بين الجهازين العصبي الطرفي والمركزي.
    ب. دعم العصبونات وحمايتها.
    ج. تنبيه انقباض العضلات.
    د. خزن الذاكرة.
12. الأجهزة ذات العلاقة بتواصل المعلومات وتكاملها تشمل كلًّا مما يأتي باستثناء:
    أ. الجهاز العصبي. ب. جهاز المناعة.
    ج. جهاز الغدد الصماء. د. الجهاز الحسي.
13. هناك طريقة أخرى لوصف وظائف الأجهزة؛ الهضمي والتنفسي والدوري، وهي أنها أجهزة:
    أ. للدفاع. ب. للتواصل وتكامل المعلومات.
    ج. للدعم والحركة. د. للتنظيم والإدامة.
14. الاتزان الداخلي:
    أ. عملية ديناميكية.
    ب. يصف الحفاظ على البيئة الداخلية للجسم.
    ج. ضروري للحياة.
    د. كل ما ذكر.
15. الوصف الصادق للتغذية الراجعة الإيجابية هو:
    أ. إذا ازدادت درجة حرارة غرفتك، فإن جهاز التدفئة يزيد من إنتاجه للهواء الساخن.
    ب. إذا شربت الكثير من الماء، فإنك ستنتج الكثير من البول.
    ج. إذا ارتفعت أسعار وقود السيارات، فإن السائقين سيقللون من طول رحلاتهم.
    د. إذا شعرت بالبرد، فإن جسمك يبدأ بالارتعاش.

أسئلة تحدٍّ

1. افترض أنك اكتشفت مرضًا جديدًا يؤثر في امتصاص المواد الغذائية في القناة الهضمية، ويسبب مشكلات في الجلد. هل يمكن أن يؤثر مرض واحد في هذين النسيجين ؟ كيف يمكن أن يحدث ذلك؟
2. أي الأجهزة العضوية له علاقة بالتنظيم وبالإدامة؟ لماذا تعتقد أن الأجهزة مرتبطة مع بعضها بهذه الطريقة؟
3. لقد شعرنا جميعًا يومًا ما بعضة الجوع. هل الجوع منبه للتغذية الراجعة الإيجابية أم السلبية؟ صف خطوات الاستجابة لهذا المنبه.
4. لماذا يوصف الاتزان الداخلي بأنه عملية ديناميكية؟

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