إجابات كتاب الطالب

قبل أن تبدأ بدراسة الوحدة

بعض أدوار البروتينات في أغشية سطح الخلية هي:

- إنزيمات.
- مستقبلات الهرمونات مثل مستقبِلات الأنسولين، والجلوكاجون، و(ADH).
- أنتيجينات سطح الخلية التي تستخدم في تعرف الخلايا بعضها على بعض.
- مستقبلات الأنتيجينات على سطح الخلايا الليمفاوية البائية (B) والخلايا اللمفاوية التائية (T).
- بروتينات قنوية في عملية الانتشار المسهل. على سبيل المثال، الأكوابورينات التي تنقل حركة الماء عبر غشاء سطح الخلية في معظم الخلايا النباتية والحيوانية.
- بروتينات حاملة التي تسهل حركة (انتقال) المواد المختلفة بين السيتوبلازم والمحيط الخارجي للخلية من خلال الانتشار المسهل، وبروتينات النقل المشترك في الخلايا المرافقة لعنصر الأنبوب الغربالي في اللحاء، والخلايا الطلائية في الأنيبيبات الكلوية الملتوية القريبة.
- بروتينات ناقلة للنقل النشط، على سبيل المثال مضخات الصوديوم–البوتاسيوم.

العلوم ضمن سياقها: حيث يلتقي علم الأحياء مع علم النفس

يذكر النص عدة طرائق يدرس بها العلماء الجهاز العصبي. من المفيد تشجيع الطلبة على الاهتمام بالأخلاقيات المرتبطة بكل نوع من أنواع البحث، ثم التفكير في نوع البحث الذي قد يكون أكثر ملاءمة للتحقق من وجود الحاسة السادسة عند الإنسان.

- استخدم بعض العلماء طرائق جراحية لإجراء تجاربهم. في منتصف القرن العشرين، قام علماء الأعصاب بدراسة الخلايا العصبية في أجسام الحيوانات الحية لمعرفة كيف تنقل النبضات العصبية. يمكن أن يكون للطرائق الجراحية للتجارب التي يجريها العلماء تبعات/آثار غير متوقعة تؤثر سلبًا على المرضى لبقية حياتهم من دون تقديم أي نتائج إيجابية للبحث العلمي. يجب أن تكون الموافقة المسبقة على هذه الإجراءات الجراحية مبنية على المعرفة التامة والاطلاع الكامل وأن تتم الموافقة الأخلاقية على الإجراء مسبقًا.
- استخدم بعض العلماء طرائق غير جراحية لتسجيل نشاط الجهاز العصبي باستخدام أقطاب كهربائية متصلة بجسم إنسان (الصورة ٥–١) أو باستخدام أجهزة المسح بأنواعها المختلفة. ولا يزال أمرًا ملحًا أن تتم الموافقة الأخلاقية على استخدام الإجراءات غير الجراحية والحصول على الموافقة المسبقة، حيث من الممكن أن تكون لها تأثيرات على الصحة العقلية للشخص.
- يتحدث العلماء إلى الناس عن تجاربهم، مثل أولئك الذين يمتلكون الحس المتزامن، ويسجلون ما يقولونه. نشر بعض العلماء ملاحظاتهم عن الحالات التي قاموا بدراستها، كما الحال بالنسبة إلى طبيب الأعصاب أوليفر ساكس، الذي نشر العديد من الكتب التي تتحدث عن حالات درسها، وقد أصبحت من أكثر الكتب مبيعًا في العالم. مجددًا، يجب الحصول على الموافقة المسبقة، مع مراعاة تأثير نشر تفاصيل حياة المرضى في حال كان هناك احتمال للتعرف عليهم.

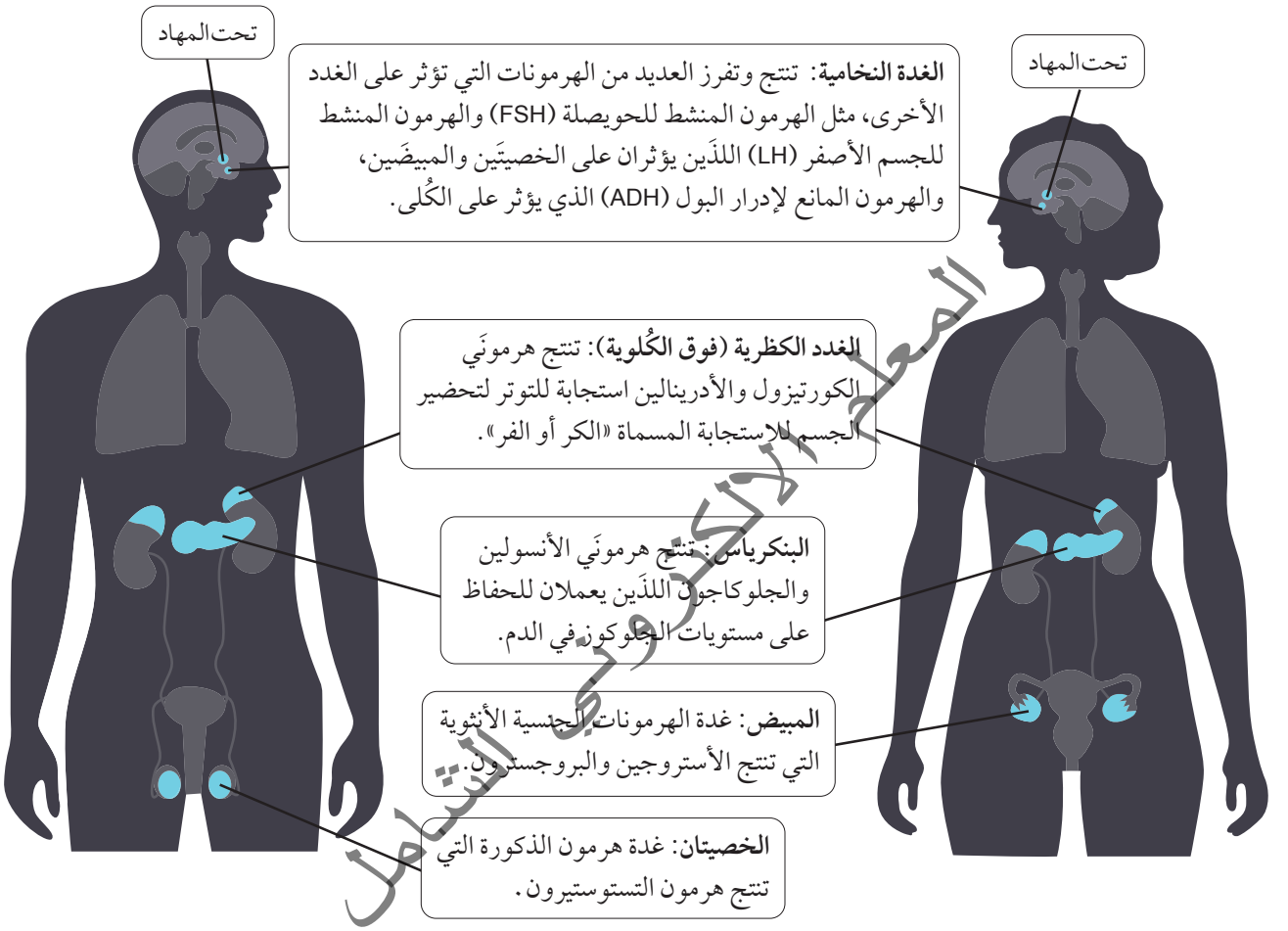
إذا قمت بالبحث في عمل علماء الأعصاب مثل العالِمَين آلان هودجكين وأندرو هكسلي، فقد ترغب في التفكير في مبرر تكرار طلبة الجامعات لعمل هذَين العالِمَين كجزء من منهجهما الدراسي في الطب أو علم الأعصاب.

المعرفة الإلكترونية للتأمين

إجابات أسئلة موضوعات الوحدة

١. أ. انظر إلى الرسم التخطيطي أدناه الذي يبيّن مواقع الغدد الصماء في جسم الإنسان تشمل شروحًا توضيحية لأدوارها:

قد يكون لدى الطلبة معرفة مسبقة بالهرمونات المختلفة، لذا فهذه فرصة جيدة لتقييم معرفتهم.



المعلم الإلكتروني الشامل

ب. يختلف التركيب الجزيئي لهرمون الجلوكاجون عن التركيب الجزيئي للهرمون (ADH)، أي أن لجزيئات كل منهما شكلًا مختلفًا يمكنه الارتباط ببروتين مستقبل محدد ومختلف على سطح الخلية المستهدفة. لا توجد بروتينات مستقبلة (مستقبلات) للهرمون (ADH) على أغشية أسطح خلايا الكبد، وبالتالي لا يمكن أن يكون لهذا الهرمون أي تأثير على هذه الخلايا.

ج. يتكوّن غشاء سطح الخلية من طبقة مزدوجة من الدهون المفسفرة. وتتميز الستيرويدات بأنها قابلة للذوبان في الدهون، وهذا يجعلها قادرة على الذوبان في الدهون المفسفرة في غشاء سطح الخلية، وبالتالي المرور من خلالها. فالهرمونات التي لا يمكنها المرور عبر غشاء سطح الخلية هي الببتيدات (ADH والجلوكاجون) والبروتينات (الأنسولين) ومشتقات الأحماض الأمينية (الأدرينالين) والبروتينات السكرية (بعض هرمونات الغدة النخامية الأمامية). هذه الهرمونات قابلة للذوبان في الماء ولا يمكن أن تمر عبر الطبقة المزدوجة من الدهون المفسفرة.

٢.

اسم الهرمون	موقع الإفراز	الخلايا المستهدفة	استجابة الخلايا للهرمون	تأثير الهرمون على الجسم بأكمله
الأنسولين	خلايا بيتا (β) في جزيرات لانجرهانس في البنكرياس	خلايا الكبد، والعضلات، والأنسجة الدهنية	يسبب زيادة نفاذية الألياف (الخلايا) العضلية لجزيئات الجلوكوز من خلال ارتباطه ببروتينات مستقبلة له (GLUT4)؛ ويحفز عملية تكون الجلايكوجين في خلايا الكبد والعضلات	انخفاض مستويات سكر الجلوكوز في الدم
الجلوكاجون	خلايا ألفا (α) في جزيرات لانجرهانس في البنكرياس	خلايا الكبد	يتسبب التحوُّل في تحفيز تتالي تفاعلات إنزيمية ينتج منها تحلُّل الجلايكوجين، وكذلك استحداث الجلوكوز	ارتفاع مستويات سكر الجلوكوز في الدم
الهرمون المانع لإدرار البول (ADH)	الغدة النخامية الخلفية	الخلايا الطلائية المبطنة لجدران الأنيبيبات الكلوية الجامعة في الكلى	إعادة امتصاص الماء وبكمية أكبر	تقلل من فقدان الماء من البول وتزيد من المحتوى المائي لبلازما الدم

٣.

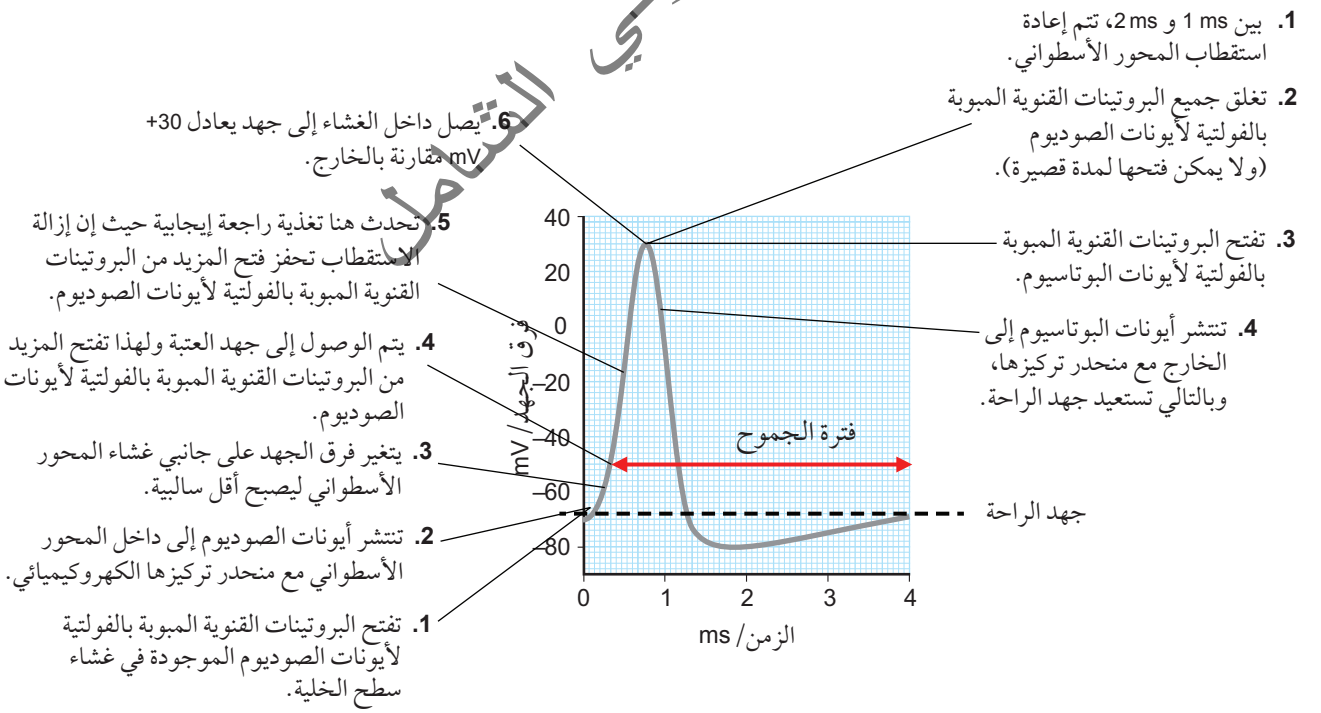
الميزة	الخلية العصبية الحركية	الخلية العصبية الحسية
موقع جسم الخلية (بالنسبة إلى الخلية ككل)	في أحد طرفَي الخلية	في مكان ما على طول المحور الأسطواني
موقع جسم الخلية في الجهاز العصبي المركزي	في المادة الرمادية من الجهاز العصبي المركزي (CNS)	في العقد العصبية بالقرب من المستقبل
اتجاه النبضات العصبية	من (CNS) باتجاه المستجيب	من المستقبل باتجاه (CNS)
الوظيفة	تنبّه (تحفز) العضلات الملساء لتنقبض وبعض الغدد لتفرز إفرازاتها (مثال: إفراز هرمون الأدرينالين من الغدد الكظرية)	تنقل الإحساس حول البيئة الداخلية أو البيئة الخارجية إلى الجهاز (CNS)

المعلم الإلكتروني للتأهل

٤. يجب أن يوضح النموذج الجيد المحور الأسطواني كخيط طويل تحيط به خلايا شوان. تركيب غمد المايلين، كترتيب طبقات متحدة المركز من أغشية خلايا شوان (الشكل ٥-٥)، يجب ترك فجوات صغيرة بين خلايا شوان لتمثيل عقد رانفييه، وتتمثل إحدى طرائق نمذجة ذلك في استخدام لفائف مرحاض جديدة كخلايا شوان فردية، وتمريرها عبر طول أنبوب بلاستيكي يمثل المحور الأسطواني، لتمتد على طول الأنبوب مع ترك فجوات بينها لإظهار عقد رانفييه. يمكن صنع النموذج بنسب تشبه الواقع إذا تمّ البحث في أقطار عقد رانفييه وبُعد إحداها عن الأخرى، وأقطار المحاور الأسطوانية، وأقطار خلايا شوان.

٥. لا يشمل قوس الانعكاس الموضح في الشكل ٥-٦ المناطق الواعية من الدماغ، حيث تنتقل النبضات العصبية من المستقبلات الحسية، إلى خلية عصبية موصلة، مباشرة إلى عضو المستجيب. ميزة ترتيب الخلايا العصبية في سلسلة كما في قوس الانعكاس هي انتقال النبضات العصبية وحدوث الاستجابة (رد الفعل المنعكس) بسرعة أكبر مما يتوقع لو انتقل بطريقة أخرى. داخل الجهاز العصبي المركزي، تكون للخلايا العصبية الحسية والخلايا العصبية الموصلة أيضًا امتدادات تتفرع لتتصل مع الخلايا العصبية الأخرى في (CNS) يسمح هذا الترابط بتكامل المعلومات الواردة من الخلايا العصبية الحسية بحيث يمكن تنسيق أشكال السلوك المعقدة في بعض الأحيان. البديل للمسار الموضح في الشكل ٥-٦ هو أن تقوم خلية عصبية واحدة بالربط بشكل مباشر بين مستقبل حسي والمستجيب.

٦. للإجابة عن السؤال (أ)، د (٢)، (هـ)، (و)، ز (١)، يرجى الاطلاع على التمثيل البياني الآتي.



المعلم الإلكتروني الشامل

أ. تتفاوت جهود الراحة بين 60 mV – و 70 mV–، لذلك يمكن رسم الخط في أي مكان بين هذَين الرقمَين.

ب. يكون في داخل المحور الأسطواني شحنة مقدارها 70 mV– مقارنة بالخارج.

ج. أثناء فترة الراحة، يكون الغشاء غير منفذ لأيونات الصوديوم لأنه لا توجد بروتينات قنوية مبوبة بالفولتية لأيونات الصوديوم مفتوحة للسماح لها بالدخول أو الخروج. يوجد عدد قليل من البروتينات القنوية المفتوحة طوال الوقت لأيونات الصوديوم (عدد البروتينات القنوية لأيونات البوتاسيوم أكثر)، ولكن نظرًا إلى أن داخل الغشاء ذات شحنة سالبة، فإنها لا تنتشر إلى الخارج. وبسبب النقل النشط بواسطة مضخات الصوديوم-البوتاسيوم في غشاء المحور الأسطواني، يتم ضخ ثلاثة أيونات صوديوم إلى الخارج مقابل كل أيونين اثنين من البوتاسيوم يتم ضخهما إلى الداخل، وهذا يؤدي إلى تكوين وتراكم شحنة موجبة في الخارج مقارنة بالداخل. ويوجد أيضًا العديد من المركبات العضوية سالبة الشحنة (مثل البروتينات) داخل المحور العصبي والتي تُسهم في جهد الراحة.

د. ١. يطلق عليه اسم إزالة الاستقطاب لأن المحور الأسطواني كان مستقطبًا حيث يحتوي على شحنة سالبة في الداخل وشحنة موجبة في الخارج. الآن تمّ تغيير هذا الأمر، فهناك شحنة سالبة في الخارج وشحنة موجبة في الداخل.

٢. يمكن أن تكون التعليقات التوضيحية للمرحلة الصاعدة من جهد الفعل:

1. تفتح البروتينات القنوية المبوبة بالفولتية لأيونات الصوديوم الموجودة في الغشاء.
2. تنتشر أيونات الصوديوم إلى داخل المحور الأسطواني مع منحدر تركيزها الكهروكيميائي.
3. يتغير فرق الجهد على جانبي غشاء المحور الأسطواني ليصبح أقل سالبية.
4. يتم الوصول إلى جهد العتبة ولهذا تفتح المزيد من البروتينات القنوية المبوبة بالفولتية لأيونات الصوديوم.
5. تحدث هنا تغذية راجعة إيجابية حيث إن إزالة الاستقطاب تحفز فتح المزيد من البروتينات القنوية المبوبة بالفولتية لأيونات الصوديوم.
6. يصل داخل الغشاء إلى جهد يعادل 30 mV+ مقارنة بالخارج.

هـ. يمكن أن تكون التعليقات التوضيحية كما يلي:

1. بين 1 ms و 2 ms، تتم إعادة استقطاب المحور الأسطواني.
2. تغلق جميع البروتينات القنوية المبوبة بالفولتية لأيونات الصوديوم (ولا يمكن فتحها لمدة قصيرة).
3. تفتح بروتينات القنوات المبوبة بالفولتية لأيونات البوتاسيوم.
4. تنتشر أيونات البوتاسيوم إلى الخارج مع منحدر تركيزها، وبالتالي تستعيد جهد الراحة.

و. نحو 4 ms

ز. ١. فترة الجموح هي الفترة الزمنية بعد تنبيه (تحفيز) غشاء المحور الأسطواني وبدء جهد الفعل إلى أن يصبح من الممكن تحفيز الغشاء مرة أخرى. يمكنك إظهاره على التمثيل البياني بين الزمن الذي يصل فيه فرق الجهد إلى 50 mV– (جهد العتبة للوصول إلى جهد فعل) والزمن الذي يتم فيه استعادة جهد الراحة.

المعلم الإلكتروني الشامل

٢. تسمح فترة الجموح:

- بإعادة الاستقطاب.
- بتحديد تكرار انتقال النبضات العصبية.
- بانتقال النبضة العصبية في اتجاه واحد على طول الخلية العصبية.
- بوجود فترة زمنية بين جهد فعل وجهد الفعل الذي يليه.

ح. هناك طاقة كافية في منحدر التركيز الكهروكيميائي لأيونات الصوديوم وأيونات البوتاسيوم لمواصلة الانتشار إلى داخل وإلى خارج الغشاء. ليس ضروريًا أن تعمل مضخة الصوديوم – البوتاسيوم لاستعادة جهد الراحة بعد كل جهد فعل. تشبه منحدرات التركيز الكهروكيميائية بطارية «تنفد» تدريجيًا. تقوم مضخات الصوديوم – البوتاسيوم باستمرار «بإعادة شحن» هذه البطارية. تم تنشيط مضخة الصوديوم – البوتاسيوم بمادة الوابين وبالتالي لن تتعافى الخلية العصبية وترجع لجهد الراحة.

٧. أ. تنقل الخلايا العصبية غير المايلينية النبضات العصبية بسرعات أبطأ من الخلايا العصبية المايلينية. فهي تنقل المعلومات التي لا تتطلب استجابة سريعة؛ على سبيل المثال، تعنى العديد من هذه الخلايا العصبية بجوانب تتعلق بالاتزان الداخلي.

ب. تنقل المحاور العملاقة مثلًا في دودة الأرض أو الحبار النبضات العصبية بسرعة كبيرة وتُستخدم لتنسيق ردود أفعال الهروب، على سبيل المثال التراجع إلى الجحر عند اقتراب حيوان مفترس.

ج. تناسب سرعة انتقال النبضة العصبية طرديًا مع قطر المحور الأسطواني، فكلما زاد قطر المحور الأسطواني، تزداد السرعة أيضًا، لأن المحاور السميكة لها مساحة سطح كبيرة لانتشار الأيونات، الأمر الذي يزيد من معدل انتشارها.

د. يبلغ قطر المحور الأسطواني العملاق في محاور الحبار 500 µm، وهو أكبر 50 مرة من قطر المحاور من مستقبلات الضغط لجلد الإنسان التي يبلغ قطرها 10 µm. نظرًا إلى أن سرعة انتقال النبضات العصبية تتناسب طرديًا مع قطر المحور الأسطواني، فمن المتوقع أن تكون سرعة الانتقال أكبر في محور الحبار، ولأن محاور مستقبلات الضغط لجلد الإنسان مايلينية، في حين أن محاور الحبار غير مايلينية، إذ يسمح المايلين بانتقال جهد الفعل عن طريق النقل الوثبي، الأمر الذي سيزيد من سرعة الانتقال على طول المحور الأسطواني. لذلك فإن محور مستقبل الضغط لديه سرعة انتقال أكبر وتبلغ 50 m في الثانية مقابل 25 m في الثانية لمحور الحبار العملاق.

٨. أ. ١. جهد المستقبل هو جهد كهربائي يتولد في مستقبل مثل المستقبل الكيميائي. غالبًا ما يتم إنتاجه عن طريق تدفق أيونات الصوديوم عبر بروتينات قنوية مبوبة بالفولتية، والذي يؤدي إلى إزالة استقطاب المستقبل لتوفير جهد أقل سالبية داخل الخلية. لا يؤدي بالضرورة إلى إرسال المعلومات عبر الخلايا العصبية الحسية (انظر (أ) في الشكل ٥–١٨ الوارد في كتاب الطالب).

٢. جهد العتبة للمستقبِل هو أدنى جهد مستقبل الذي يتم عنده توليد جهد فعل (انظر (ب) و (ج)) في الشكل ٥–١٨ الوارد في في كتاب الطالب).

٣. قانون «الكل أو العدم» يعني إمّا أن تنقل الخلايا العصبية النبضات العصبية أو لا

المحتوى الإلكتروني للتداول

تنقلها نهائيًا؛ على سبيل المثال، لا يتم إرسال أي نبضات عصبية بواسطة الخلايا العصبية الحسية إذا كان جهد المستقبل أقل من جهد العتبة (أ في الشكل ٥-١٨ الوارد في كتاب الطالب). لا تقوم الخلايا العصبية بتكوين نبضات عصبية متدرجة الشدة /القوة مع جهود فعل ذات سعات (حجوم) مختلفة. وجميع جهود الفعل في الشكل ٥-١٨ لها السعات (الحجوم) نفسها.

ب. تؤدي زيادة قوة المنبّه إلى زيادة جهد المستقبل / المتولد. فعند قوة المنبّه المنخفضة/ الضعيفة، تؤدي الزيادة الطفيفة إلى زيادة كبيرة نسبيًا في جهد المستقبل. أمّا عند قوة المنبه الأعلى/ القوي، فتكون الزيادة في جهد المستقبل أقل. يمكن مناقشة الأهمية الوظيفية لهذا النمط، الذي تتميز به معظم المستقبلات (فهو يسبب مستوى مرتفعًا نسبيًا من الحساسية للمنبهات منخفضة/ضعيفة القوة طالما أنها أعلى من جهد العتبة).

ج. كلما زادت قوة المنبِّهات التي تؤثر في المستقبِل، زاد تكرار عدد جهود الفعل المتولدة في وحدة الزمن.

د. طول فترة الجموح (انظر الموضوع ٥-٢، التواصل العصبي).

هـ. يمكن أن تتأقلم المستقبلات مع منبِّه ثابت القوّة، وتقلل من عدد تكرارات النبضات العصبية التي تُرسل إلى الجهاز العصبي المركزي. هذا يوفر الطاقة التي تستهلك في عمليات ضخ الأيونات عند إرسال العديد من النبضات العصبية على طول الخلايا العصبية الحسية. التغيير في قيمة جهد العتبة يُعطي الجهاز العصبي المركزي معلومات حول التغيرات في المنبهات (المحفزات) في البيئة الخارجية وفي البيئة الداخلية للجسم.

٩. أ. الإخراج الخلوي

ب. يحفز إنزيم الأستيل كولين إستريز التحلل المائي للأستيل كولين بحيث لا يبقى في الشق التشابكي ليستمر بتنبيه الخلايا العصبية بعد التشابكية. إذا بقيت جزيئات الأستيل كولين في الشقوق التشابكية، فسيتم تنبيه الألياف (الخلايا) العضلية على الانقباض باستمرار - وهي حالة تعرف باسم التكزز/التشنج (الانقباض اللاإرادي/ غير الطوعي للعضلات).

١٠. أ. عند التشابك العصبي، توجد حويصلات تحتوي على النواقل العصبية فقط في الخلية العصبية قبل التشابكية، وليس في الخلية العصبية بعد التشابكية. توجد مستقبلات البروتينات القنوية المبوبة التي تتحفز لتفتح بواسطة الربيطة (مادة كيميائية، وهي الأستيل كولين في هذه الحالة) فقط على الخلايا العصبية بعد التشابكية (انظر الشكل ٥-٢٠).

ب. قد تتسبب جهود الفعل المتكررة بإطلاق النواقل العصبية في الشق التشابكي بمعدل أكبر من معدل إنتاجه لاستبدال ما تم إطلاقه في الخلية العصبية قبل التشابكية. وستفتقر هذه الخلية العصبية إلى حويصلات تحتوي على النواقل العصبية حتى يتم تصنيع هذه النواقل بشكل كافٍ.

المعلم الإلكتروني للتأمل

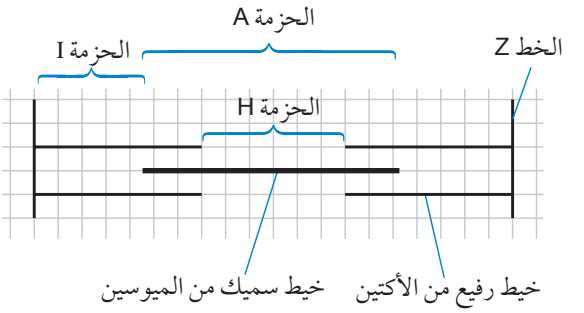
١١. الجدول التالي يوضح مثالًا لجدول يتضمّن مقارنة لعملية التنسيق في الثدييات بواسطة الجهاز العصبي والتنسيق بواسطة جهاز الغدد الصماء:

الميزات (الخصائص)	الجهاز العصبي	جهاز الغدد الصماء
التراكيب	أعصاب تحتوي على خلايا عصبية حسية وخلايا عصبية حركية وخلايا عصبية موصلة	غدد لاقنوية تحتوي على خلايا إفرازية تقوم بإنتاج وإفراز الهرمونات
استخدام الطاقة	مكلفة من حيث استخدامها للطاقة، مثال: تستهلك مضخة الصوديوم – البوتاسيوم كميات كبيرة من الطاقة	غير مكلفة من حيث استخدامها للطاقة، حيث إنها تنتج وتفرز كميّات قليلة من الهرمونات لتنتقل في الدم
شكل المعلومات التي يتم نقلها	نبضات عصبية	هرمونات (مواد كيميائية)
المسار إلى الخلايا المستهدفة	من خلال (على طول) الخلايا العصبية	عبر الدم
سرعة انتقال المعلومات	سريعة	بطيئة
مدة التأثير (في المستجيب)	لفترة قصيرة، مثال: تنقبض العضلة لمدة قصيرة	في العادة بطيئة ويبقى تأثيرها لفترة أطول (مع أن بعضها سريع التأثير مثل الاستجابة لهرمون الأدرينالين)
المنطقة المستهدفة	موضعية – تستجيب فقط المنطقة التي توجد مباشرة في نهاية الخلية العصبية	تؤثر في نسيج أو عضو كامل؛ وبعض الهرمونات تؤثر في الجسم كله
نوع الاستجابة	انقباض العضلات أو الإفراز من قبل الغدد بأنواعها	العديد من الاستجابات المختلفة – مثلًا، بناء الجلايكوجين، بناء البروتين، معدل سرعة التنفس، امتصاص الماء في الكلى

المعلم الإلكتروني الشامل

١٢. أ. صورة مجهرية ضوئية لعضلة مخططة. يمكن مشاهدة النوى والخطوط بوضوح في الألياف (الخلايا) العضلية.

ب. و **ج.** في الرسم التخطيطي:



د. اتبع هذه الخطوات.

- على الرسم التخطيطي، أَقيسُ طول قطعة عضلية (المسافة بين خطي Z – من خط Z إلى خط Z التالي) بالمليمترات (mm).
- أَضربُ الرقم الذي حصلت عليه في 1000 لإيجاد المسافة بين خطي Z بالمايكرومتر (µm).
- لحساب مقدار التكبير، أَقسمُ هذه المسافة بالمايكرومتر (µm) على 2.25 (2.25 µm هو الطول الحقيقي للقطعة العضلية).
- أُقرِّبُ لأعلى أو لأسفل إلى أقرب عدد صحيح.

١٣. أ. ١. (أ) الخط Z، (ب) خيط سميك، (ج) خيط رفيع.

٢. (د) الحزمة H، (هـ) الحزمة A، (و) الحزمة I.

ب. منطقة التداخل بين الخيوط السميكة والخطوط الرفيعة هي الحزمة A.

ج. يجب أن يوضح النموذج البسيط كيف تتسبب حركة الخيوط الرفيعة عندما تقترب بعضها من بعض في تقصير القطعة العضلية. ويجب أن يكون سهلًا استخدام النموذج لإظهار ما يحدث للخط Z والحزم A و I و H أثناء الانقباض.

يجب أن يُظهر النموذج الأكثر تعقيدًا كيف تتسبب حركة رؤوس الميوسين في حركة الخيوط الرفيعة.

يمكن أن يكون الشرح مشابهًا ما يلي:

لا تمتد الخيوط السميكة والخيوط الرفيعة عبر القطعة العضلية بشكل كامل. فعندما تنقبض العضلة، تتلامس رؤوس الميوسين مع الخيوط الرفيعة ثم تنحني (تنثني) نحو مركز القطعة العضلية. تعمل قوة الانحناء (الانثناء) هذه على تحريك الخيوط الرفيعة لتقترب من بعضها بحيث يكون هناك المزيد من التداخل بين الخيوط السميكة والرفيعة (تصبح الحزمة H أقصر). يقلل ذلك المسافة بين خطوط Z وبالتالي يقل الطول الإجمالي للقطعة العضلية.

لتقصير طول جميع القطع العضلية في الليفات العضلية يؤدي إلى تقصير (انكماش/انقباض) الألياف العضلية.

يمكن المساعدة في الإجابة عن الجزء (ج) من خلال رسمَين تخطيطيَّين بسيطَين يعرض كل منهما خيطًا سميكًا واحدًا وخيطَين رفيعَين على كلا جانبَي خطَّي Z. يُظهر أحد الرسمَين التخطيطيَّين القطعة العضلية في حالة الراحة مع وجود الحزمة H، ويُظهر الرسم الثاني قطعة عضلية منقبضة بالكامل مع عدم وجود الحزمة H.

١٤. يحفز ارتباط هرمون الأكسين ببروتين مستقبل على غشاء سطح الخلية، مضخات أيونات الهيدروجين (البروتونات)، لضخ البروتونات (أيونات الهيدروجين) عبر غشاء سطح الخلية من السيتوبلازم إلى جدار الخلية ما يجعله حمضيًا. ونتيجة حمضية جدران الخلايا، يتم تنشيط البروتينات المعروفة باسم بروتينات الاستطالة Expansins التي تقوم بفك الروابط (الهيدروجينية) بين ألياف السليلوز الدقيقة وعديدة التسكر الأخرى/ المواد المحيطة (الهيميسليلوز). يدفع الضغط الهيدروستاتيكي للخلية الألياف الدقيقة بعيدًا عن بعضها بحيث يتمدد جدار الخلية التي بدورها تستطيل. وما يساعد كذلك على تمدُّد الخلية هو دخول الماء بالأسموزية عن طرق الأكوابورينات وزيادة ضغط الامتلاء داخلها.

للمعلم الإلكتروني