فسيولوجيا الخلية العصبية (السيال العصبي)

بما أن الجهاز العصبي للانسان هو الذي ينظم ويتحكم باجهزة الجسم الأخرى جميعها في اثناء الحركة او السكون ، فهو يسيطر على وظائف اجهزة الجسم جميعها ويربط بينها ويعمل على ضبط العمليات الحيوية كلها لكي تسير بانتظام عال ودقة متناهية ، من حيث أن هذه العمليات ارادية او لاارادية وبالتي يعمل هذا الجهاز على أن يكون الكائن الحي وحدة متكاملة .

ولما كان هذا الجهاز يتكون من مجموعة من المراكز المترابطة ، على الرغم مما البعضها من استقلال نسبي ، وخاصة المراكز التي تقوم باستقبال المنبهات الحسية من اجزاء الجسم جميعها كما تقوم بأصدار الأوامر للعضلات بانواعها.

اذن **الاشارة العصبية neuron signal** هي عبارة عن شحنة كهربائية تنتقل من خلية عصبية الى أخرى حتى تصل الى العضو المطلوب توصيلها اليه من أعضاء الجسم ، كانتقال الاشارة العصبية الى مجموعة عضلية معينة ، وهي تشبه في ذلك انتقال التيار الكهربائي خلال سلك كهربائي لتشغيل أحد الأجهزة المنزلية ، والسبب في ذلك يعود إلى وجود اختلاف في توزيع ايونات الصوديوم والبوتاسيوم حول غشاء الخلية.

فسيولوجيا الخلية العصبية (الانتقال العصبي)

الخلية العصبية غير المثارة تكون مستقطبة كهربائية إذ يكون السطح الخارجي للخلية موجبة نسبيا والداخلي سالبة ولهذا فان غشاء الخلية يوصف بأنه يعاني من فرق في الجهد الكهربائي يدعى بفرق جهد الراحة Resting potential الذي يبلغ حوالي 70- ملي فولت . وتشبه الخلية الغير محفزة بالبندقية التي في أي لحظة ممكن ان تثير (مهيئا للإطلاق) ويتجلى ذلك في التغيير المفاجئ في فرق الجهد الكهربائي . ويرجع وجود فرق في وقت الراحة (جهد الراحة) للأسباب التالية:-

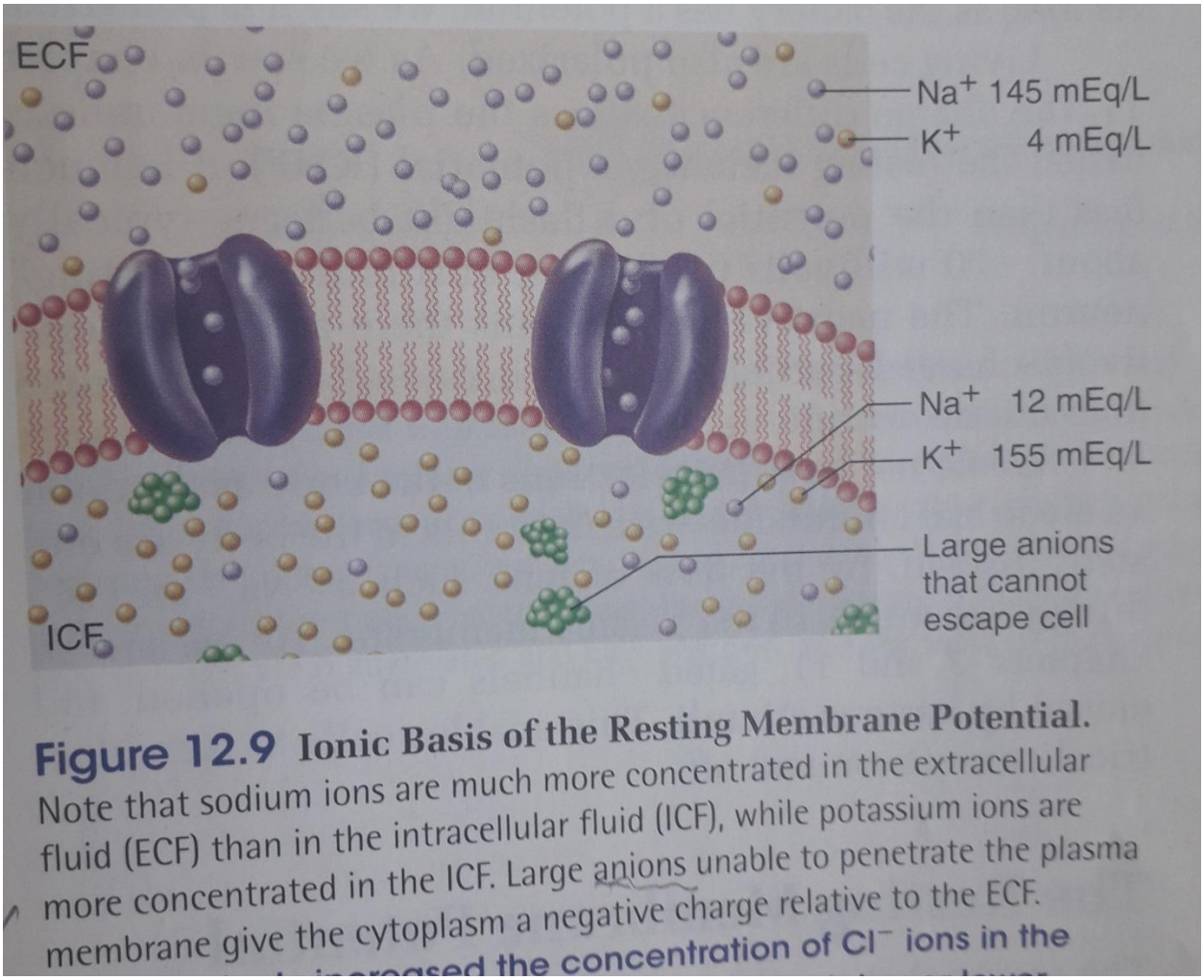


Figure 12.9 Ionic Basis of the Resting Membrane Potential. Note that sodium ions are much more concentrated in the extracellular fluid (ECF) than in the intracellular fluid (ICF), while potassium ions are more concentrated in the ICF. Large anions unable to penetrate the plasma membrane give the cytoplasm a negative charge relative to the ECF. ...creased the concentration of Cl^- ions in the

1- أعداد الأيونات الموجبة هي تقريبا نفس أعداد الأيونات السالبة خارج وداخل الخلية، ولكن التوزيع غير متساوي الايونات ، إذ توجد ايونات الصوديوم Na^+ في السائل خارج الخلوي حوالي 10-15 مرة أكثر من داخل النيترون في حين ايونات البوتاسيوم K^+ هي 30 مرة داخل الخلية اكبر من خارجها فالخلية العصبية غنية بالبوتاسيوم وفقيرة في الصوديوم.

2- النفاذية غير المتساوية لايونات الصوديوم والبوتاسيوم ، فالغشاء العصبي أثناء الراحة أكثر نفاذية للبوتاسيوم منه للصوديوم بحوالي (40) مرة.

3- وجود ايونات عضوية سالبة (معظمها بروتينات متأينة) ذات أوزان جزئية عالية داخل الخلية العصبية . إذ إن معظم هذه البروتينات تحمل شحنة سالبة.

ونتيجة لهذه الأسباب الثلاثة مجتمعة تتسرب كمية من ايونات البوتاسيوم من داخل الخلية العصبية إلى خارجها على غشائها مكسبه إياه شحنة موجبة في حين يبقى داخل الخلية يحمل شحنة سالبة ، ولا تبتعد ايونات البوتاسيوم الموجبة المتسربة عن سطح الغشاء لأنها تكون منجذبة من قبل الأيونات العضوية (البروتينات السالبة الموجودة داخل غشاء الخلية، خاصة وان هذه الأيونات السالبة لا تستطيع أن ترافق البوتاسيوم الموجبة لان أوزانها الجزيئية عالية.

سؤال / كيف يحدث الانتقال العصبي الحركي ؟

تتضمن عملية الانتقال العصبي الحركي ثلاث محاور أساسية يجب التركيز عليها وهي :

أولا : الانتقال العصبي . ثانيا : منطقة الاتصال العصبي الحركي . ثالثا : الانتقال الحركي .

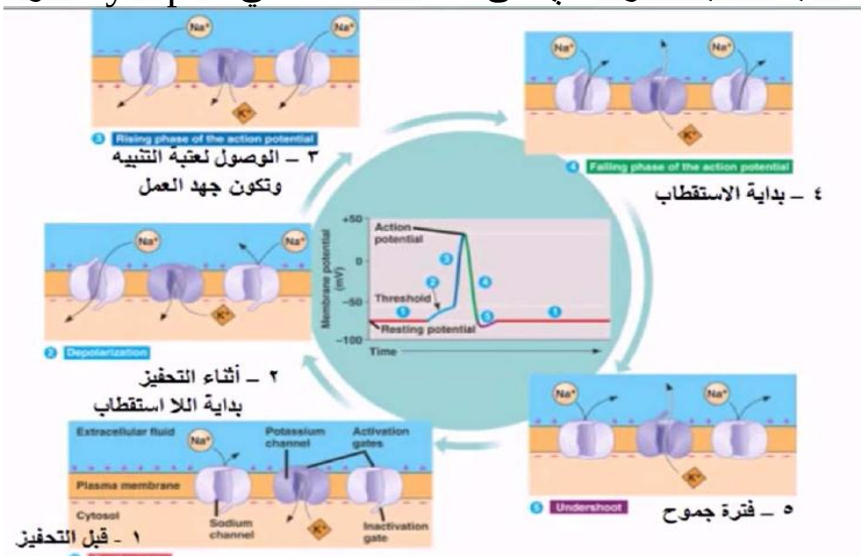
اولا: الانتقال العصبي:-

عندما يستخدم مؤثر (حافز) كاف لغشاء الخلية العصبية فان الاستقطاب (polarization) يزال عن مكان التنبه ، حيث تتغير بصورة جذرية وفجائية نفاذية غشاء الخلية العصبية لايونات الصوديوم والبوتاسيوم ،بحيث يصبح الغشاء (بعد التنبيه) ولفترة قصيرة جدا أكثر نفاذية لايونات الصوديوم منه لايونات البوتاسيوم ، الأمر الذي يؤدي إلى دخول كميات قليلة نسبيا من هذه الأيونات إلى داخل الخلية العصبية في مكان التنبيه فقط، وعليه يؤدي دخول (ثلاث ايونات من الصوديوم) ايونات الصوديوم إلى تبدل في الجهد الكهربائي على جانبي الغشاء في موضع التنبيه بحيث يصبح فرق الجهد الكهربائي اقل مما هو عليه قبل التنبيه وتدعى هذه الظاهرة بزوال الاستقطاب Depolarization ،

يرجع زوال الاستقطاب إلى اندفاع كمية من ايونات الصوديوم الموجبة من خارج إلى داخل الغشاء العصبي وفي هذا الصدد ينبغي ملاحظة أمرين.

1- إذا كان زوال الاستقطاب ضئيل ، فانه سرعان ما يتلاشى موضعية خلال أجزاء صغيرة من الثانية.

2- أما إذا بلغ حدة معينة (حوالي خمس قيمة جهد الراحة يسمي جهد العتبة Threshold potential) فأنه تحدث تغيرات جذرية في الخواص النفاذية للغشاء العصبي و مما يؤدي إلى اندفاع كميات إضافية من ايونات الصوديوم في فترة زمنية قصيرة إلى داخل الخلية العصبية عند موضع وعندئذ ينخفض جهد الراحة إلى الصفر ثم يتعدى ذلك بحيث يصبح السطح الخارجي للغشاء سالبة والسطح الداخلي موجبة بحوالي 30 ملي فولت إلا أن هذه الحالة لا تدوم طويلا حيث يعود غشاء الخلية إلى طبيعة نفاذيتة السابقة ، مما يترتب عليه تسرب كمية قليلة من ايونات البوتاسيوم (خروج ايونين من البوتاسيوم) إلى خارج الغشاء فيكتسب السطح الخارجي من جديد شحنة موجبة بحوالي 70 ملي فولت وتسمى هذه الظاهرة بعودة الاستقطاب repolarization وتدعى ظاهرة زوال الاستقطاب من 70- ملي فولت إلى 30 ملي فولت) ومن ثم العودة إلى 70 ملي فولت بجهد الفعالية Action potential وجهد الفعالية المستقل بسرعة من الليف العصبي هو في الواقع الحافز (السيال العصبي) Nervous impulse إذ يكون جهد الفعالية الناتج من التنبيه (عديم الفائدة) إذا بقي في مكان التنبيه فقط . إلا أنه في الواقع يسري جهد الفعالية في الليف العصبي متجها نحو نهاية محور الخلية العصبية كما تسري النار في خيط البارود وذلك اعتمادا على المنطقة المنبهة التي حدثت فيها جهد الفعالية ويكون بمثابة المنبه للمناطق المجاورة للغشاء العصبي وهكذا تستمر العملية من منطقة الغشاء العصبي إلى المنطقة المجاورة إلى أن يصل المنبه إلى نهايات تفرعات محور الخلية الثانية عبر ما يسمى بالتشابك العصبي synapse . وكما مبين في الشكل ادناه



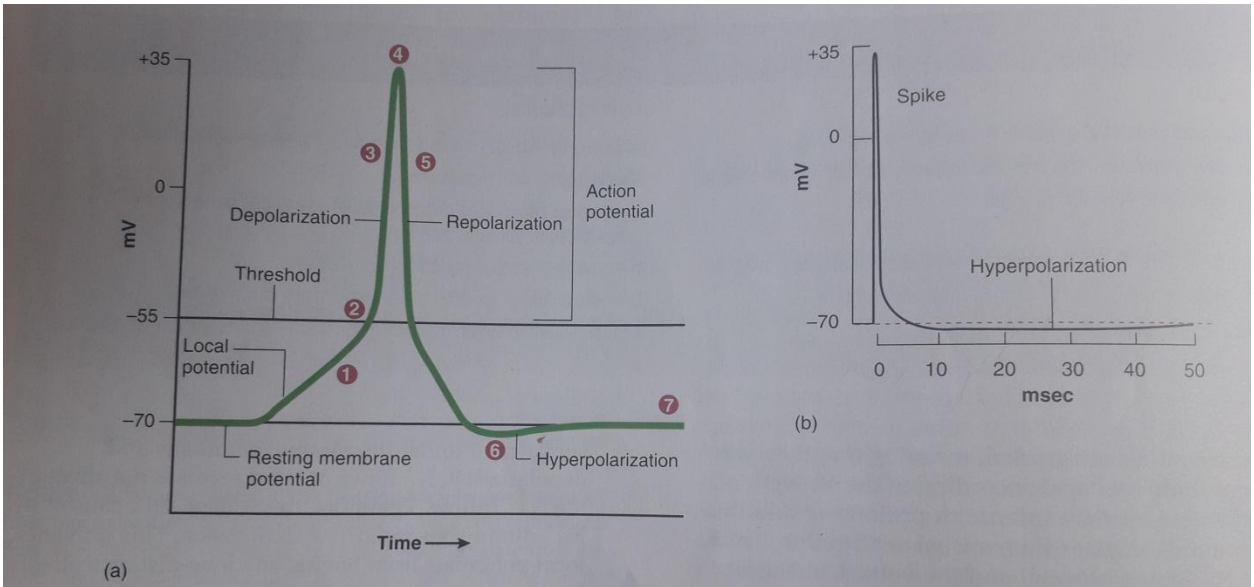
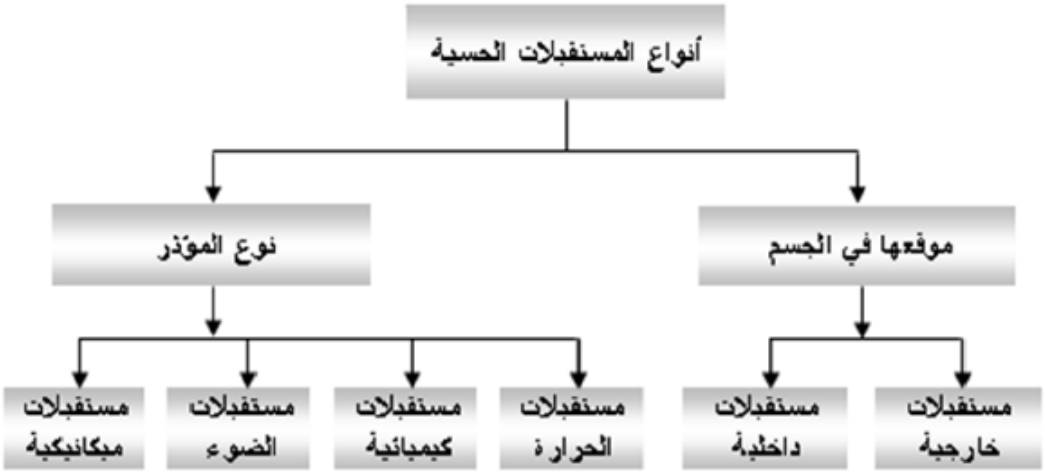


Figure 12.11 An Action Potential. (*a*) Diagrammed with a distorted timescale to make details of the action potential visible. Numbers o stages discussed in the text. (*b*) On an accurate timescale, the local potential is so brief it is imperceptible, the action potential appears as a he hyperpolarization is very prolonged.

التشابك العصبي synapse

إن البلايين العديدة من الخلايا العصبية المؤلفة للجهاز العصبي مترابطة فيما بينها تركيبية ووظيفية بعكس خلايا الجسم الأخرى الذي ينعدم فيها هذا الترابط ، يتم هذا الترابط بواسطة تراكيب أطلق عليها العالم الانكليزي الشهير شر بتكتون بالتشابكات العصبية synapse توجد التشابكات العصبية بين **التفرعات النهائية لخلية عصبية والتفرعات الشجرية أو الجسم الخلية عصبية ثانية** ،تكون نهايات التفرعات النهائية منتفخة على شكل حبات العنب تدعى الأقدام النهائية end feet وهذه تكون ملامة تقريباً لأغشية التفرعات الشجرية أو لجسم الخلية العصبية التالية ، وقد أظهر المجهر الضوئي وجود الالف من الأزرار (الأقدام) على أجسام بعض أنواع الخلايا العصبية وتفرعاتها الشجرية كما في الخلية العصبية الحركية ، وفي السنوات الأخيرة اظهر المجهر الالكتروني إن الأقدام النهائية تكون على شكل كمثري مملوء بأكياس صغيرة تدعى الحويصلات التشابكية synaptic vesicles تحتوي في داخلها مواد كيمياوية لها أهمية كبيرة في انتقال الحافز العصبي من خلية عصبية الأخرى وانما توجد بينها فسحة ثابتة العرض 400 انكستوم تدعى بالهوة التشابكية synaptic gap .

أنواع التشابك العصبي
تشابك عصبي بين خليتين عصبيتين
تشابك عصبي بين خلية عصبية وليفة عضلية
تشابك عصبي بين خلية عصبية وخلايا غدية


أنواع المستقبلات الحسية
موقعها في الجسم
نوع المؤثر
مستقبلات خارجية
مستقبلات داخلية
مستقبلات الحرارة
مستقبلات كيميائية
مستقبلات الضوء
مستقبلات ميكانيكية

التشابك العصبي بين نهايات خلايا العصيبة مع خلايا عضلية وخلايا هيكلية

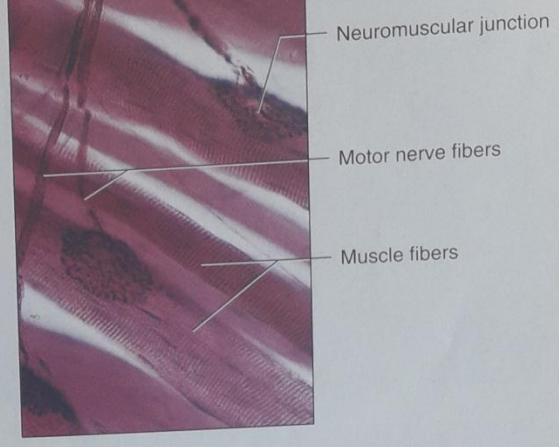


Figure 11.5 Innervation of Skeletal Muscle.

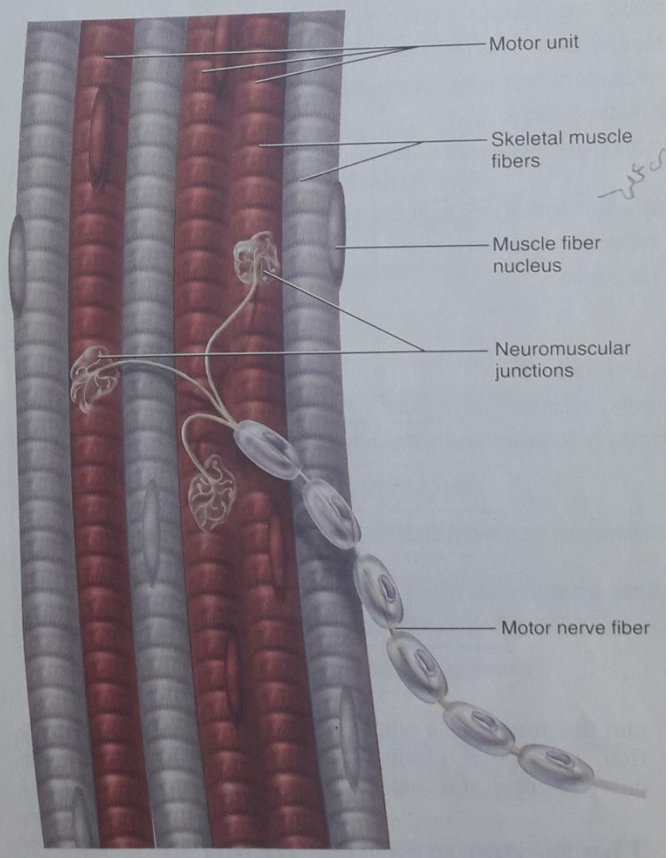


Figure 11.6 A Motor Unit. The motor nerve fiber shown here branches to supply those muscle fibers shown in color. The other muscle fibers *(gray)* belong to other motor units.

ثانيا: منطقة الاتصال العصبي الحركي

عند وصول الاشارة العصبية من المنطقة الحركية بالمخ عبر القرن الأمامي للحبل الشوكي مرورا بالخلايا لتصل بواسطة محور الخلية العصبية الى النهايات العصبية التي تتصل بالعضلات من خلال (منطقة الاتصال العصبي العضلي) ، اذ ان وصول هذه الاشارة يؤدي الى تغير فرق الجهد الكهربائي لسطح غشاء الخلية العضلية المسمى بالساركوليما ، مما يسمح بمرور المركب الكيميائي (الاستيل كولين) الذي يفرز من الحويصلات الموجودة في نهاية العصب المغذي للعضلة ، اذ تحتوي هذه النهاية العصبية على مل يقرب من (300 – 350 حويصلة) كل حويصلة تحتوي بحدود (5000 - 10000 جزيئة) من (الاستيل كولين)، فعند وصول الاشارة العصبية تعمل على تحرير (Ca^{++}) الموجود في هذه النهاية العصبية مما يحفز اطلاق هذه الحويصلات اللاستيل كولين ليبدأ (الاستيل كولين) بالتفاعل في منطقة التشابك العصبي العضلي مع المستقبلات (Recepter) ، ليؤدي هذا التفاعل الى تعديل قطبية غشاء ليفة العضلة (ازالة الاستقطاب) في نقطة الاتصال العصبي العضلي (صفيحة نهاية العصب الحركي) ويوجد في شق الاتصال العصبي العضلي انزيم (كولين استرايز) الذي يساعد على تحليل مادة (الاستيل كولين Acetyl choline) التي تلعب دورا مهما في نقل السيالة العصبية من الليفة العضلية ، وتجري هذه العملية في الوقت نفسه في الالياف العضلية المكونة للوحدة الحركية جميعها ، ولهذا تنقبض هذه الألياف في وقت واحد ، بعدها يبدا كولين استرايز بمهاجمة الاستيل كولين وتحليلها مسببة اعادة الاستقطاب للغشاء مرة أخرى وانبساط الياف العضلية.

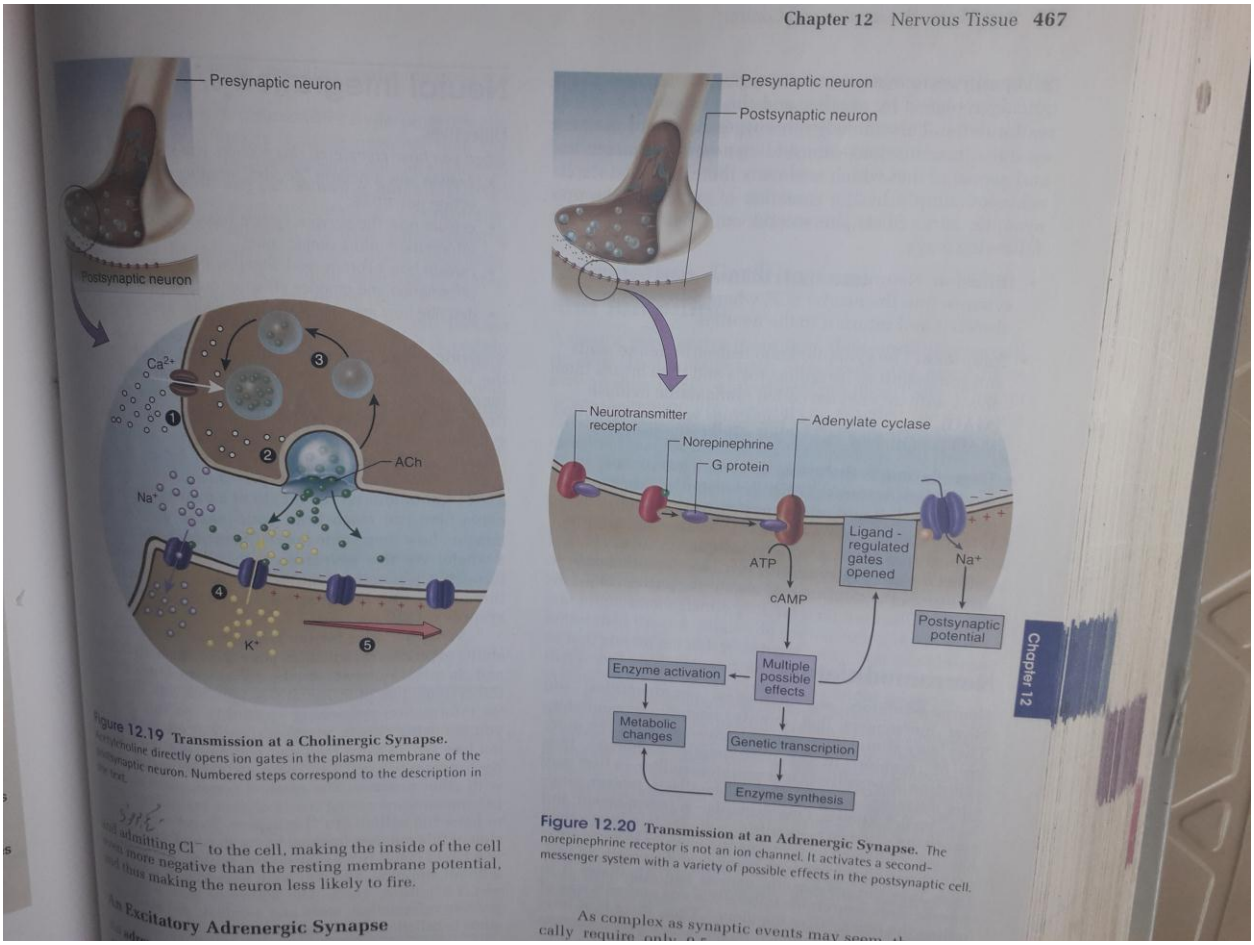


Figure 12.19 Transmission at a Cholinergic Synapse. Acetylcholine directly opens ion gates in the plasma membrane of the postsynaptic neuron. Numbered steps correspond to the description in the text.

admitting Cl^- to the cell, making the inside of the cell more negative than the resting membrane potential, and thus making the neuron less likely to fire.

An Excitatory Adrenergic Synapse

Figure 12.20 Transmission at an Adrenergic Synapse. The norepinephrine receptor is not an ion channel. It activates a second-messenger system with a variety of possible effects in the postsynaptic cell.

As complex as synaptic events may seem, cally require only

ثالثا : الانتقال الحركي

بعد وصول الاشارة العصبية الى نهاية العصب وافراز (الاستيل كولين) الذي يتفاعل مع المستقبلات الموجودة في منطقة الاتصال العصبي العضلي (شق الاتصال) ليقوم بتغيير قطبية غشاء الخلية لذلك فان هناك متغيرات فسيولوجية وبيوكيميائية عديدة تسبب ما يدعى بالية الانقباض العضلي ، لذلك فان هذه التغيرات تشمل ما يأتي:-

1. التغيرات الكهربائية Electrical Changes : التي تبدا بارسال الاشارات العصبية الكهربائية من المنطقة الحركية بالمخ لتنتقل بواسطة الاعصاب الحركية للقرن الامامي في الحبل الشوكي الى العضلات وتؤثر في منطقة الاتصال العصبي العضلي بصفائح نهايات الاعصاب الحركية .

2. التغيرات الكيميائية Chemical Changes : عند وصول الاشارات العصبية الكهربائية الى صفائح نهاية العصب الحركي ، فان هذه الإشارات تحفز الكالسيوم الموجود في النهايات العصبية على اطلاق الصفائح التي تحتوي على الاستيل كولين) ، الذي يتفاعل مع المستقبلات الموجودة على سطح غشاء الخلية العضلية في منطقة التشابك العصبي العضلي . ينتج عن هذا التفاعل انتشار جهد كهربائي موجب الشحنة على طول سطح الليفات العضلية ، ولسرعة توصيل الاشارات العصبية من لوحة النهاية الحركية الى بروتينات (الساركومير) القابلة اللانقباض (اللاكتين المايوسين)

تنتقل الاشارة العصبية بين الخلايا العصبية بواسطة الناقل العصبي وهو مادة كيميائية تتفاعل مادة كيميائية أخرى تسمى بالمستقبل (Receptor) لتنتشر بعد ذلك الإشارة العصبية الى الخلية الأخرى ،

تحتوي هذه المستقبلات على مكونين هامين (1) مكون رابط يبرز من الغشاء للخارج ويرتبط مع الناقل العصبي من النهاية بل المشبكية (2) مكون حامل للايون يسري كل المسافة خلال الغشاء إلى داخل العصبون بعد المشتكي ويأخذ حامل الايون

شكلين هما :

أولا : قناة أيونية تسمح بمرور أنواع معينة من الأيونات خلال القناة.

ثانيا : منشط (مرسال ثاني) ليس هو بقناة بل يسقط إلى هيولي الخلية وينشط مادة واحدة أو أكثر داخل العصبون بعد المشبكي وتخدم هذه المواد بدورها كمراسيل ثانية لتغيير وظائف خلوية ثابتة.

تختلف النواقل العصبية في تأثيرها ، إذ إن لبعضها تاثير تهيجي (منبه) وبعضها الآخر له تاثير تثبيطي(مثبط)، وهناك أكثر من (40 -75) ناقل عصبي يمكن تصنيفها الى ناقلات عصبية سريعة الحركة صغيرة الجزيئ ، وناقلات عصبية بطيئة الحركة (النيوربينيد) ويعد (الاستيل كولين) و (النورابنفرين) الناقلين الأساسيين لتنظيم الاستجابات الفسيولوجية في اثناء الجهد البدني ، اذ يعد (الاستيل كولين Acetyl Choline) هو الناقل العصبي الأساس

للخلايا العصبية الحركية لاثارة العضلات الهيكلية ، وهو بشكل عام يعد ناقلا تنبيهية ، ولكن بامكانه ان يلعب دورا ناقلا تثبيطي النهايات بعض الاعصاب (الباراسمبثاوية) في عضلة القلب ، وكذلك (النوراينفرين Norepine Phrine) الذي يكون منبه او مثبط على وفق نوع المستقبلات التي يتعامل معها ، ويتم التخلص من هذه النواقل العصبية بعد خروجها إلى الشق بين الخليتين اما بتدميرها بواسطة الأنزيمات او استرجاعها إلى النهايات العصبية لاستخدامها مرة اخرى فان الخلية العضلية تمتلك جهاز خاصا يسمى (الأنابيب العمودية والمستعرضة) ، وهو عبارة عن انابيب عمودية في غشاء الخلية تصل إلى حويصلات الشبكة الساركوبلازمية التي تحتوي على الكالسيوم ("Ca) ، مما يسفر عن انطلاق او تحرير الكالسيوم ("Ca) من هذه الحويصلات إلى ما يحيط بهذه الخيوط البروتوبلازمية (الاكتين والمايوسين) ، وتستغرق هذه العملية (وصول الكالسيوم الى ما يحيط بالخيوط البروتوبلازمية) (1-4 / 1000 من الثانية).

دور ايونات الكالسيوم في تحرير الناقل العصبي في نهايات الخلايا العصبية؟

يعد الكالسيوم مسؤولا أو مفتاحا للامدادات المسؤولة عن عملية التقلص العضلي جميعها ، لذا يتحد الكالسيوم ("Ca) بكبح نشاط التربوتين) و (التربوميوسين) إذ يتحرر نشاط انزيم ATPase) ليؤدي إلى تحويل طاقة (ATP) غير مثارة إلى طاقة مثارة في رؤوس (المايوسين) وتتكون نتيجة لذلك عملية فيزيائية كيميائية مركبة من الاكتين والمايوسين) لتكوين الاكتومايوسين) المعقد ، أن تكوين هذا المركب يؤدي الى اطلاق نشاط ال (ATP ليتحول بواسطة انزيم (ATPase) إلى ("ADP) فوسفات بطاقة عالية (بكمية قليلة) فالطاقة المتحررة بفعل تحطيم ال (ATP تسمح لجسور الوصل بالدوران والاحاطة لينزلق (الاكتين على المايوسين) باتجاه مركز الساركومير) ، وعندها يحدث الانقباض العضلي .

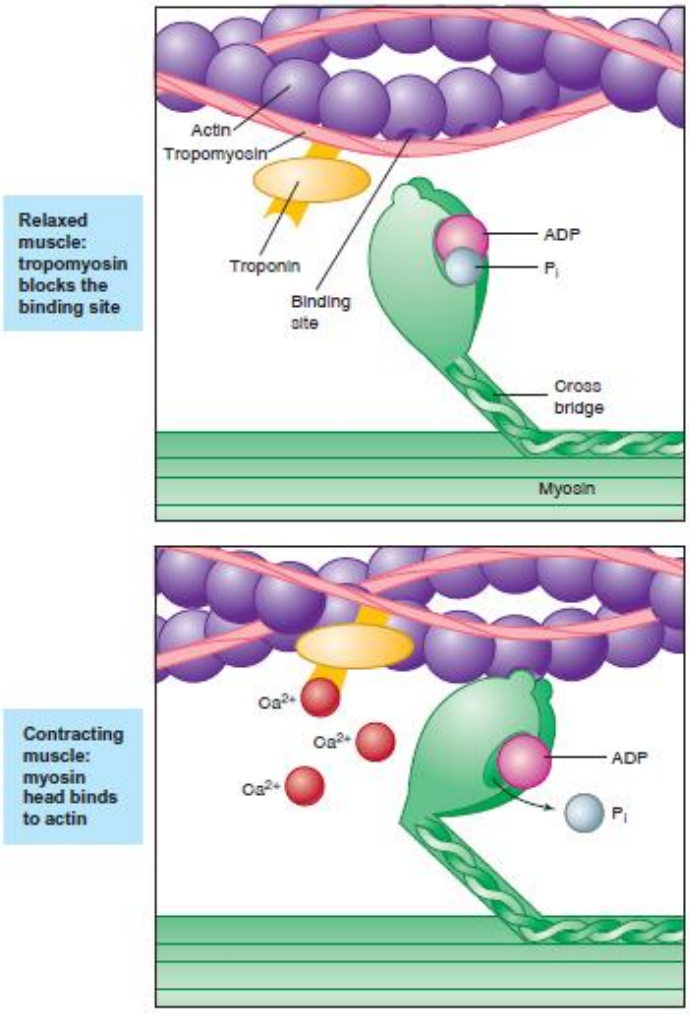


Figure 12.14 **The role of Ca^{2+} in muscle contraction.** The attachment of Ca^{2+} to troponin causes movement of the troponin-tropomyosin complex, which exposes binding sites on the actin. The myosin cross bridges can then attach to actin and undergo a power stroke.

3. التغيرات الميكانيكية : عند زيادة تأثير الجهد الكهربائي ذي الشحنة الموجبة والناتج عن تفاعلات (الاستيل كولين) وانتشار هذا التأثير إلى الألياف العضلية من منطقة الاتصال العصبي العضلي ، فان هذا الجهد يبدأ بالانتشار على طول الياف العضلة في كلا الاتجاهين ليبدا الانقباض الميكانيكي ، اذ يحدث الانقباض العضلي بالتوتر وقصر العضلة ليقترب منشأ العضلة من مدغمها ، ولما كانت العضلة تنشأ من عظمة وتندغم في عظمة اخرى عبر احد المفاصل ، فان عظمة المنشأ تقترب من عظمة الأندغام عند انقباض العضلة او المجموعات العضلية العاملة على المفصل