محاضره 2 و3 فسلجه الجهاز العصبي

Physiology of Nervous system

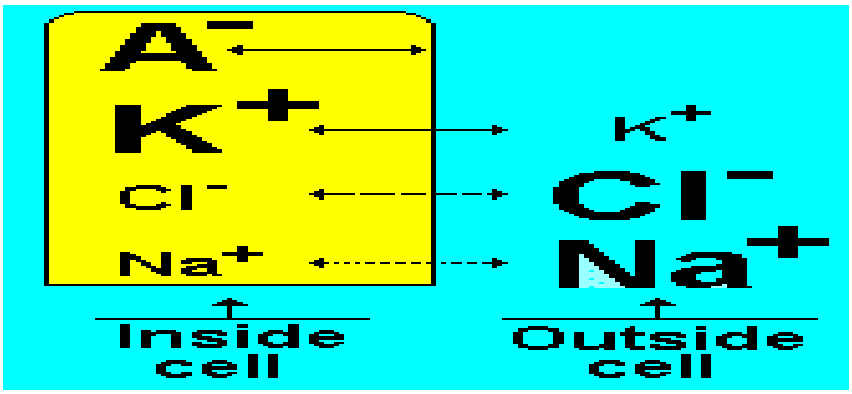
<u>الظواهر الكهربائية للتنبه</u>: للتنبه ثلاث مظاهر كهربائية هي:

1- <u>جهد الراحة Resting Potential:</u>

الغشاء البلازمي لجميع الخلايا بما فيها الخلايا العصبية يحمل فرقا في الجهد الكهربائي على جانبيه يدعى بجهد الراحة حيث يكون السطح الداخلي للغشاء سالبا بالنسبة للسطح الخارجي ويعود ذلك الى عوامل يمكن ايجازها بما يأتي:

1- الأختلاف في درجة نفاذية غشاء الخلية لبعض الأيونات المهمة فهو شديد النفاذية لآيونات البوتاسيوم (K^+) وقليل النفاذية لآيونات الصوديوم (Na^+) والكلور (Cl^-).

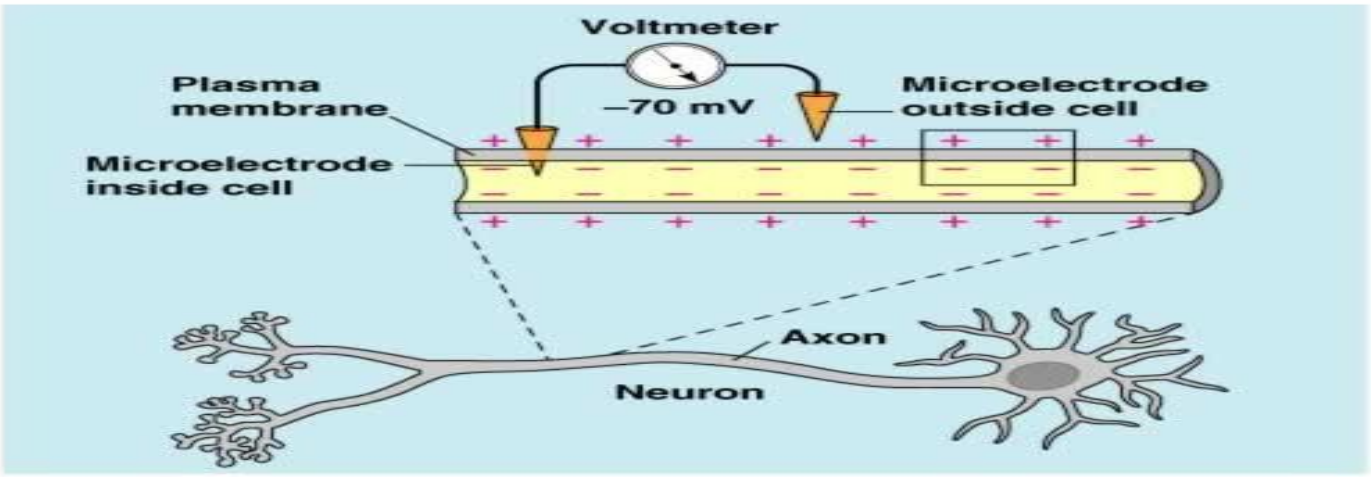
2- الفرق في تركيز آيونات البوتاسيوم بين داخل الخلية وخارجها حيث ان التركيز في الداخل اعلى من التركيز في الخارج بينما يكون تركيز كل من ايونات الصوديوم والكلور في الخارج أعلى من تركيزهما في الداخل .



تراكيز الآيونات على جانبي الغشاء

3- وجود آيونات عضوية سالبة (Anions =A) داخل الخلية العصبية ذات حجم كبير لا تستطيع المرور خلال غشاء الخلية وهذه تشمل البروتينات المتأينة والأحماض العضوية.

تحت تأثير هذه العوامل تخرج كميات قليلة جدا من ايونات البوتاسيوم من داخل الخلية وتتراكم على السطح الخارجي للغشاء بأستمرار فيكتسب شحنة كهربائية موجبة بينما يصبح السطح الداخلي ذو شحنة سالبة وهنا يدعى الغشاء مستقطبا (Polarized).



جهد الراحة في الليف العصبي

2- <u>جهد الفعل Action Potential:</u>

عند تحفيز الليف العصبي تتغير نضوحية غشاءه فيصبح شديد النضوحية لآيونات الصوديوم بينما تقل نضوحيته لآيونات البوتاسيوم ونظرا لوجود آيونات الصوديوم بتركيز اعلى خارج الليف العصبي فأن جزءا من هذه الآيونات يدخل الليف العصبي مما يؤدي الى انخفاض في فرق الجهد على جانبي الغشاء وتدعى هذه العملية زوال استقطاب (Depolarization) وبأستمرار هذه العملية يتساوى الجهد الكهربائي على جانبي الغشاء أي يصبح فرق الجهد الكهربائي صفرا ولكن العملية لا تتوقف عند هذا الحد وانما تستمر الى ان يصبح السطح الخارجي سالبا بالنسبة للسطح الداخلي وهذا يدعى بأنقلاب الأستقطاب .

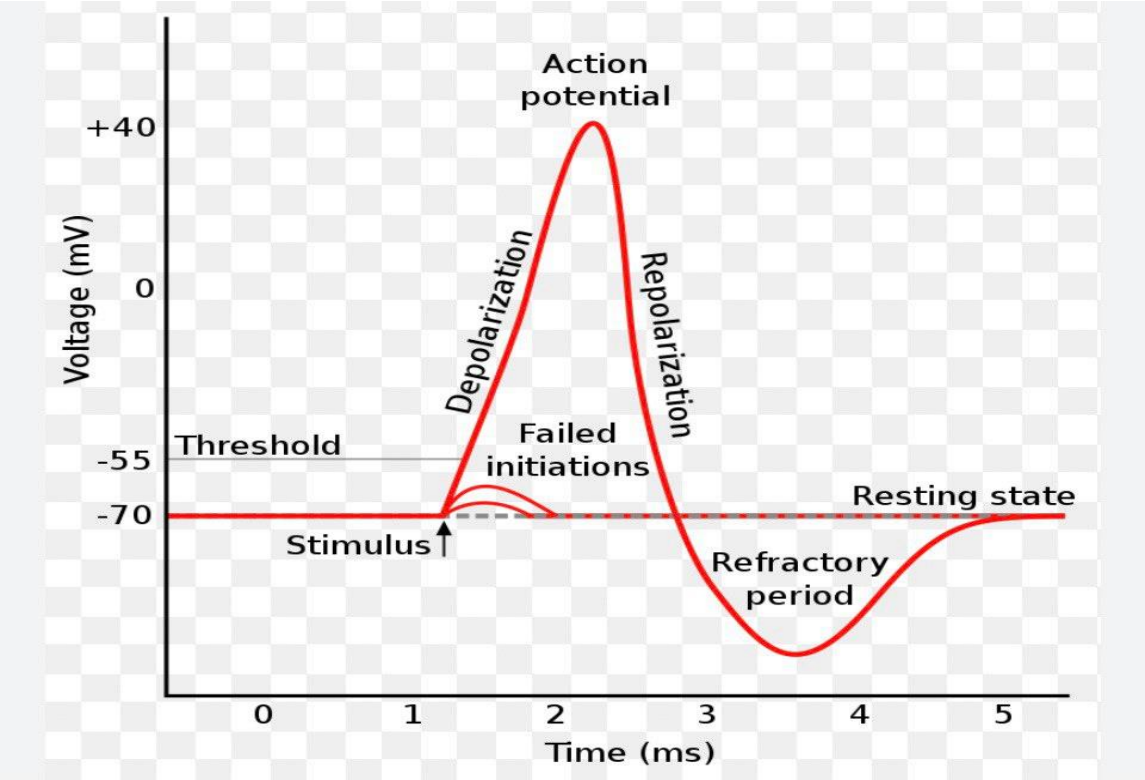
- لا يقتصر هذا التغير الكهربائي على منطقة التحفيز بل يسري من نقطة الى اخرى من غشاء الليف العصبي وهذا السريان في جهد الفعل هو الأيعاز العصبي Nerve Impulse.

- ان هذا التغير في نضوحية غشاء الليف العصبي للآيونات والذي يسبق تولد الأيعاز العصبي يكون قصير العمر لا يتجاوز اكثر من بضع مليثواني في اية منطقة محدودة من الغشاء وبعدها يعود الغشاء الى خواصه النضوحية السابقة أي يصبح مرة اخرى اكثر نضوحية لآيونات البوتاسيوم مما هو لأيونات الصوديوم حيث يؤدي ذلك الى خروج كمية من آيونات البوتاسيوم وتراكمها على السطح الخارجي لغشاء الليف العصبي وبذلك يعود الغشاء الى وضعه السابق من الأستقطاب أي يصبح السطح الخارجي موجبا بالنسبة الى السطح الداخلي من جديد وتدعى هذه العملية عودة الأستقطاب (Repolarization).

أما ايونات الصوديوم التي دخلت فيتم التخلص منها بآلية النقل الفعال أو مضخة الصوديوم- البوتاسيوم Sodium-Potassium Pump التي تتطلب صرف طاقة لذلك تتوقف هذه الآلية عند تعرض الليف الى مثبطات ايضية كالسيانيد .ان مجمل العمليات التي تشمل زوال استقطاب وانقلابه ومن ثم عودته مرة اخرى الى جهد الراحة يشكل مايدعى بجهد الفعل.

يظهر جهد الفعل على شاشة المخطاط الذبذبي (Oscilloscope) بشكل موجة حادة يشار لها بالشوكة (Spike) لذلك يطلق عليه بجهد الشوكة Spike Potential حيث تنطلق الموجة من مستوى جهد الراحة (70 -) ملي فولت لتبلغ مستوى الصفر ثم تتجاوزه لتبلغ الذروة (40 +) ملي فولت التي تمثل اقصى درجة لأنقلاب الأستقطاب ثم تنخفض لتعود الى فرق جهد يساوي صفرا ثم تنحدر دون الصفر الى ان تصل الى مستوى جهد الراحة يتبع ذلك جهد تلوي يدعى الجهد التلوي السالب (negative after-potential)

ثم جهد تلوي يدعى الجهد التلوي الموجب (positive after-potential) قبل ان يستقر النشاط الكهربائي في المنطقة المنبهة عند جهد الراحة .



شكل يوضح جهد الفعل و الجهود التلوية

يمكن قياس فرق الجهد آليا بأستخدام جهاز المخطاط الذبذبي أو حسابيا (نظريا) بأستخدام معادلة نيرنست (Nernst equation).

3- <u>التوتر الكهربائي (الجهد الموضعي) Electrotonus</u>

عندما يحفز الليف العصبي بمنبه دون حد العتبة الخاصة به فأنه يفشل في توليد جهد فعل منتشر على هيئة ايعاز عصبي أي بعبارة اخرى يحدث زوال استقطاب جزئي للغشاء يتلاشى بسرعة ويعود الغشاء الى وضع الراحة دون قيام جهد فعل و توليد سيالة عصبية.

- العتبة Threshold: هي ادنى قوة حافز تحدث استجابة في الليف العصبي.
- عند استخدام رجات كهربائية متتالية ذات شدة دون العتبة قد تتآزر الجهود الموضعية وتولد جهد فعل سارٍ .
- لكي يتولد جهد الفعل ويسري في الليف العصبي يجب ان ينخفض جهد الراحة في منطقة التحفيز بمقدار الثلث على الأقل اما اذا كان زوال الأستقطاب اقل من ذلك فأن التبدل الكهربائي يكون موضعيا وسرعان ما يضمحل في مكانه دون ان يتحول الى جهد فعل سارٍ في الليف العصبي.

<u>الخصائص التجريبية للتنبه :</u>

1- العتبة Threshold:

ان الحوافز الضعيفة لاتحدث استجابة في الليف العصبي أي لا تولد ايعازا عصبيا ولكن عند وصول الحافز الى شدة معينة كافية لتوليد ايعاز عصبي يقال بأن هذا الحافز او المنبه قد وصل الى حد العتبة وهنا تبلغ الأستجابة اقصى حد لها ولا تزداد بزيادة شدة الحافز ويطلق على هذه الخاصية قانون الكل أو اللا شيء (All or none law) علما بأن الألياف العضلية تخضع لهذا القانون ايضا.

2- التلاؤم Accomodation:

عند تعرض الليف العصبي الى حافز يعاني غشاء الليف من عمليتين متضادتين اولاهما عملية التنبه والأخرى عملية مقاومة المنبه حيث تعمد الثانية الى تقليل تأثير المنبه او تأخير الأستجابة وهذا يعرف بالتلاؤم ويحدث عندما يكون المنبه دون حد العتبة.

3- زمن العصيان Refractory Period:

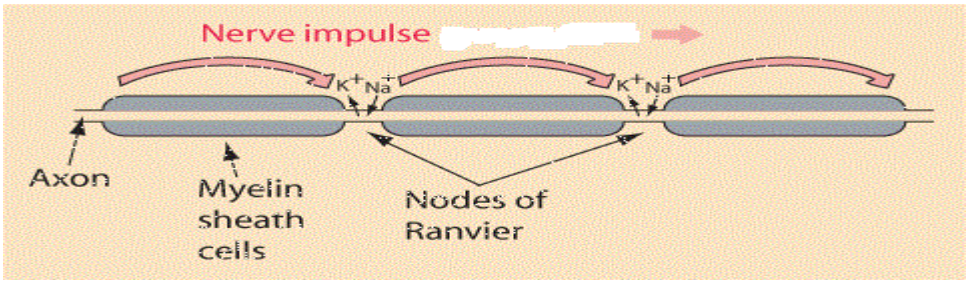
ليتم تحفيز الليف العصبي يجب ان يكون في حالة الراحة أي يكون غشاءه مستقطبا ولا يمكن تنبيهه عندما يكون في حالة زوال استقطاب او انقلاب استقطاب وعليه يمتنع الليف العصبي عن الأستجابة ثانية اذا كان الفاصل الزمني بين الحافزين قصير جدا (2 ملي ثانية أو اقل) وتسمى هذه الفترة الزمنية بزمن العصيان المطلق (Absolute Refractory Period) .

- عندما تكون الفترة الزمنية بين الحافزين اكثر من ذلك فأن الليف العصبي يستجيب بشرط زيادة شدة الحافز عن حد العتبة و عندها يطلق على الفترة الزمنية بين الحافزين بزمن العصيان النسبي (Relative Refractory Period).

- عندما تكون الفترة الزمنية بين الحافزين (20-15) ملي ثانية او اكثر تتولد استجابة خاصة بكل حافز أي ان قوة الحافز المطلوبة تكون قريبة من حد العتبة كلما ازداد الزمن بين الحافزين المتتاليين.

تعتمد سرعة سريان الأيعاز العصبي على العوامل الآتية:

1- **نوع الحيوان**: حيث تكون سرعة الايعازات العصبية في الحيوانات متغيرة درجة الحرارة اوطأ مما في الحيوانات الثابتة درجة الحرارة , وفي اللا فقريات اوطأ مما في الفقريات, كما انها تكون في الحيوانات الخاملة اوطأ مما في الحيوانات النشطة حتى في الأنواع المتقاربة.
2- **الغلاف الدهني (النخاعيني)** Myelinated Sheath: حيث تكون سرعة الأيعاز في الألياف ذات الغلاف الدهني Myelinated Fibers أكبر من سرعته في الألياف غير المغلفة وذلك يعود لأنتقال الأيعاز بالقفز من عقدة رانفير الى اخرى على طول الليف العصبي وهذا يدعى بالسريان الوثبي (Saltatory Conduction).



السريان الوثبي للأيعاز العصبي

3- **قطر الليف العصبي**: حيث تتناسب سرعة الأيعاز العصبي طرديا مع قطر الليف العصبي أي ان الألياف العصبية السميكة اسرع في ايصال الأيعاز مقارنة بالألياف النحيفة.

المستقبلات Receptors:

هي بروتينات او بروتينات سكرية تتاثر بنوع معين من المؤثرات التي تحدث في البيئة الداخلية او الخارجية وتحولها الى سيالات عصبية فالمستقبلات هي محطات لتحويل الطاقة المسلطة على الحيوان في بيئته الداخلية او الخارجية (طاقة الكهرومغناطيسية أو الميكانيكية أو الكيميائية) الى طاقة كهربائية على هيئة سيالات, ان تخصص المستقبل لحافز معين كالضغط او الضوء او الحرارة يعود الى كون الحافز له القدرة على تغيير نفوذية غشاء المستقبل للآيونات.

تقسم المستقبلات وفقا الى موقعها في الجسم الى ثلاثة أنواع هي:

1- المستقبلات الخارجية Exteroceptors: التي تقع على سطح الجسم وتتحفز بالتغيرات التي تحدث في البيئة الخارجية وتشمل مستقبلات اللمس والألم والضغط والحرارة والشم والبصر والسمع.
2- المستقبلات الداخلية Interoceptors: التي تقع في الأحشاء الداخلية وتتحفز بالتغيرات التي تحدث في درجة حرارة الجسم وضغط الدم وتركيز الآيونات والمواد الكيميائية وضغوط الغازات.

- ان وظائف المستقبلات تتلخص بـأستلام الطاقة وتحويلها, وانتقال الحافز المناسب , كما ان للمستقبلات القدرة على تضخيم طاقة المحفز ليصبح قادرا على احداث فرق جهد كهربائي يكفي لأحداث الأستجابة.

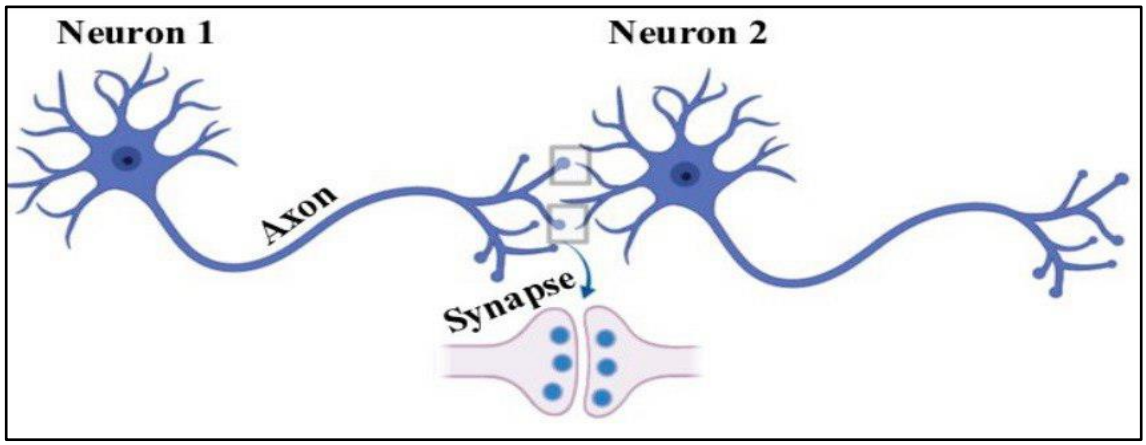
- في العادة يتخصص مستقبل واحد لنوع واحد من الحوافز ولكن هناك حالات معينة يستجيب فيها المستقبل لأكثر من نوع من الحوافز كما هو الحال مع المستقبل الضوئي photoreceptor الذي يمكن ان يتنبه بالضغط ايضا, فمثلا عند ضغط جانب من مقلة العين المغلقة اثناء الظلام تظهر للشخص بقعة زرقاء اللون.

انتقال التنبه :

يشيرفكرة المشبك العصبي Nerve Synapse الى ان التنبه ينتقل من الخلية العصبية قبل المشبكية Presynaptic nerve cell ويستقبل من الخلية العصبية بعد التشابك Postsynaptic nerve cell.

يختلف ترتيب المشابك العصبية ولكن بصورة عامة فأن نهايات محاور الخلايا العصبية قبل التشابك العصبي تقترب من الزوائد الشجيرية ومن اجسام الخلايا بعد المشابك. أي لايوجد اتصال فعلي بين سايتوبلازم او غشاء الخليتين

العصبيتين بل توجد فسحة بين التفرعات النهائية لمحور الخلية قبل التشابك والتفرعات الشجيرية لجسم الخلية بعد التشابك ومع ذلك ينتقل الأيعاز العصبي من الخلية الأولى الى الثانية وعليه فأن الأتصال وظيفي وليس تشريحي.



تشابك عصبي-عصبي (أي بين خليتين عصبيتين)

<u>للمشبك العصبي اربعة خصائص هي:</u>

1- القطبية Polarity : حيث ان انتقال المنبه يسلك اتجاها واحدا من الخلية قبل المشبك الى الخلية بعد المشبك ولا ينتقل بالأتجاه المعاكس.
2- الأبطاء Delay: حيث ان الزمن الذي يتطلبه انتقال الأيعاز العصبي عبر المشبك اكبر من الزمن اللازم لقطع المسافة نفسها على الليف العصبي.
3- التيسير Facilitation : ان انتقال الأيعاز الى الخلية بعد التشابك يعتمد على عدد جهود الفعل التي تتولد في الخلية قبل المشبك وقد تفشل جهود فعل متعددة في عبور الأيعاز الى الخلية بعد المشبك لضعف ترددها او لقلة عددها.
4- التثبيط Inhibition: حيث لايصل الأيعاز العصبي الى الخلية العصبية بعد المشبك اذا عرضت الخلية قبل المشبك الى مثبط معين.

<u>التركيب المجهري الدقيق للمشابك العصبية:</u>

يتفرع محور الخلية العصبية (أي الليف العصبي) في نهايته الى فروع عديدة وتنتهي هذه الفروع بتراكيب منتفخة تدعى الأزرار النهائية Terminal Buttons او الأقدام النهائية End Feet وهذه الأقدام النهائية مناطق نشطة وظيفيا وتحوي عددا كبيرا من المايتوكوندريا وعدد كبير من اكياس تختزن مادة تدعى بالناقل الكيميائي وهو الذي له اهمية كبيرة في انتقال الأيعاز العصبي من خلية عصبية الى اخرى وهذه الأكياس تدعى بحويصلات التشابك Synaptic Vesicles .

تفصل بين الخليتين العصبيتين فجوة تدعى بالفالق المشبكي Synaptic Cleft تحوي مادة مخاطية متعددة السكريات Mucopolysaccharides.

<u>الأنتقال الكيميائي Chemical Transmission:</u>

عند وصول الأيعاز العصبي الى نهاية فروع المحور في الخلية العصبية قبل التشابك يؤدي الى فتح قنوات في غشاء الأزرار النهائية تسمح بدخول ايونات الكالسيوم Ca^{++} وترتبط هذه الأيونات مع حويصلات التشابك وتؤدي الى اندماج هذه الحويصلات مع غشاء الأزرار النهائية وتفرغ

محتوياتها من الناقل الكيميائي الى الفالق المشبكي بوسيلة الأخراج الخلوي وعند وصول جزيئات الناقل الكيميائي الى الغشاء بعد المشبك ترتبط بمستقبلاتها على الغشاء مما يؤدي الى تبدل في نفاذية الغشاء بعد التشابكي حيث تفتح قنوات لمرور ايونات الصوديوم وهذا يؤدي الى حدوث زوال استقطاب في غشاء الخلية بعد التشابكية ومن ثم يتولد ايعاز عصبي (اذا كانت الخلية بعد التشابك خلية عصبية) او يحدث تقلص عضلي (اذا كانت الخلية بعد التشابك ليف عضلي)وبعد حدوث زوال الأستقطاب يجب ان يعود الغشاء الى حالة الأستقطاب (جهد الراحة) مرة اخرى .

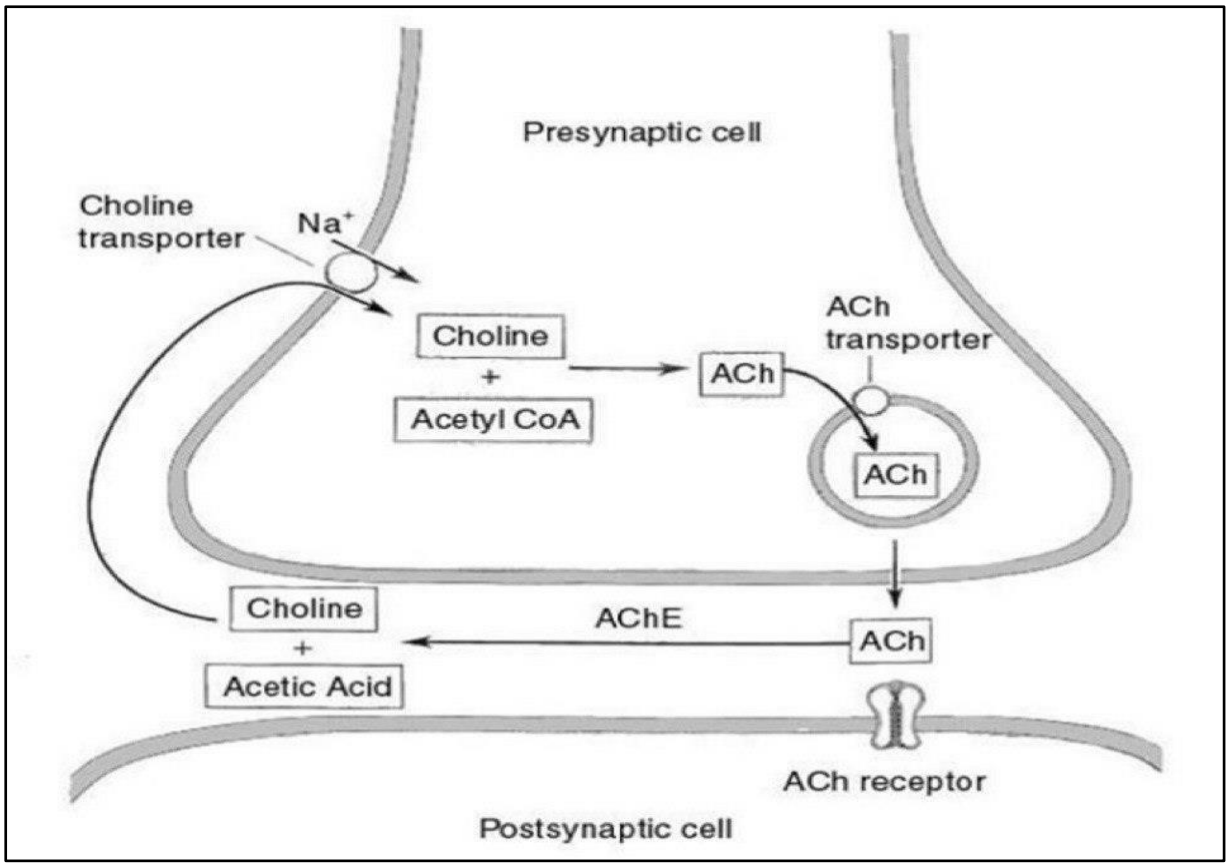
- يكون الناقل الكيميائي الموجود في الحويصلات التشابكية اما الأستل كولين Acetylcholine وتدعى المشابك في هذه الحالة بالمشابك النظير ودية او تدعى بالمشابك الكولينرجية cholinergic Synapses التي تؤثر في العضلات الهيكلية بينما تفرز النهايات العصبية الودية مادة النورادرينالين التي تؤثر في العضلات الملساء وفي هذه الحالة تدعى المشابك بالمشابك الأدرينرجية Adrenergic Synapses

بناء النواقل العصبية

البناء الحيوي للناقل استل كولين

يبنى الأستل كولين Acetylcholine (Ach) في الخلايا العصبية الفارزة له المسماة بالخلايا العصبية الكولينرجية cholinergic Neurons ويتكون هذا الناقل من مركبين هما استيل كو انزيم

Acetyl co enzyme A والكولين Choline اما الانزيم اللازم لبنائه والذي يدعى كولين استيل ترانسفيريز Choline Acetyl Transferase (ChAT) وبعد قيام الاستيل كولين بعمله في نقل الاشارة العصبية الى الخلية بعد المشبكية يجب ان يزال الأستل كولين اذ يتحلل بواسطة انزيم يدعى كولين استريز (Cholinesterase) الذي يحلل الاستل كولين الى كولينCholine و حامض الخليك Acetic acid على سطح الغشاء بعد المشبك ويتم امتصاص الكولين من قبل خليةالعصبية قبل الاشتباكية لاعادة استخدامه في تكوين الاستيل كولين مرة ثانية.



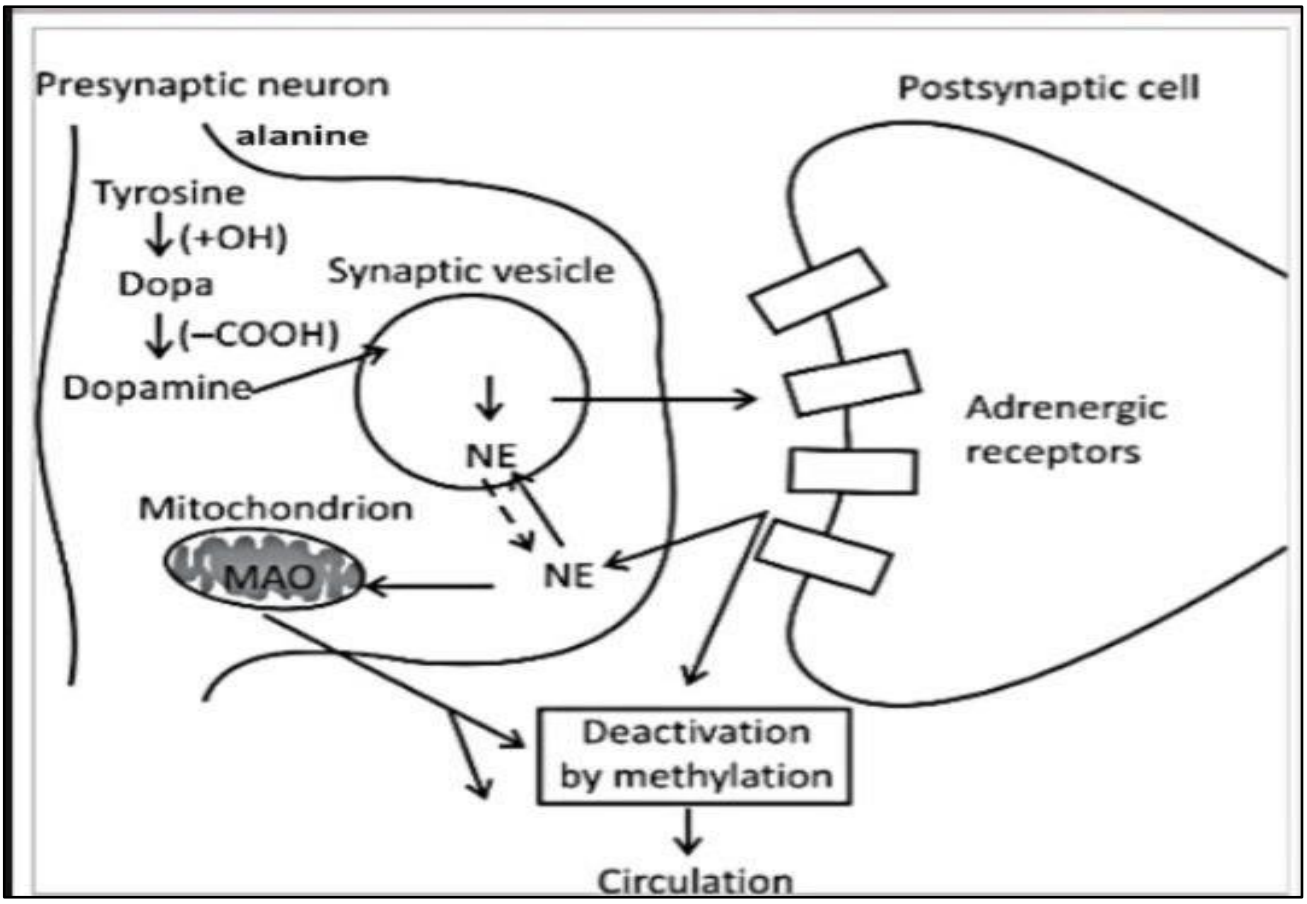
بناء الناقل الكيميائي الأستل كولين

<u>البناء الحيوي للناقل الكيميائي النورادرينالين او النورابينفرين</u>

يتم تحضير النورادرينالين من الحامض الأميني (الانين) الذي يتحول الى التايروسين الذي يتحول بدوره الى مركب يدعى دوبا وهذا يتحول الى الدوبامين الذي يدخل الى حويصلات التشابك ثم يتحول الى النورادرينالين.

- ان المادة التي تقوم بتحليل النورادرينالين هي انزيم مونوأمين اوكسديز Monoamine Oxidase.

- يمتص بعض النورادرينالين من النهايات قبل المشبك بعد تحرره ويعطل قسم منه بعملية المثيلة Methylation ويحمل مع الدم للتخلص منه اما النورادرينالين الذي يعاد الى الأزرار النهائية فيتم خزنه في الحويصلات التشابكية مرة ثانية أو يتم تحليله بفعل انزيم مونوأمين اوكسديز في المايتوكوندريا.



بناء الناقل الكيميائي (النورادرينالين)

- في حالة الملتقى العصبي - العضلي الهيكلي ينتهي القدم النهائي عند منطقة على الليف العضلي تدعى بالصفيحة النهائية الحركية Motor End Plate ولقد وجد بأن جهد الفعل في الليف العضلي يكون مسبوقا بجهد يدعى جهد الصفيحة النهائية End (EPP) Plate Potential>

ملتقى عصبي-عضلي (اي بين نهاية خلية عصبية وليف عضلي)

- ان الآلية التي تسيطر على عمل المشابك العصبية بين خليتين عصبيتين لا تختلف من حيث الأساس عما تم ذكره حول التشابك العصبي - العضلي حيث يتولد جهد بعد المشبك Post Synaptic Potential (PSP) بدلا عن جهد الصفيحة النهائية الحركية (EPP).

-الجهد بعد المشبك اما يكون جهدا مهيجا (حيث يكون بأتجاه انخفاض جهد الغشاء نحو العتبة مما يؤدي الى تهيج الخلية العصبية بعد التشابكية لذلك يدعى بالجهد مابعد التشابكي التهيجي Excitatory Post Synaptic Potential (EPSP) و يحدث نتيجة تسهيل دخول ايونات الصوديوم واحداث زوال استقطاب في غشاء الخلية بعد المشبك.أو يكون جهدا مثبطا (أي يكون بأتجاه زيادة جهد الغشاء Hyperpolarization مما يؤدي الى اعاقة حدوث استجابة اذ يؤدي الى زيادة نفاذية غشاء الخلية بعد المشبك لأيونات الكلور والبوتاسيوم أو كليهما فيحدث فرط استقطاب وتثبيط. ويدعى في هذه الحالة بالجهد مابعد المشبكي التثبيطي Inhibitory Post Synaptic Potential (IPSP) .

الأنتقال الكهربائي Elecetrical Transmission:

وهو انتقال الأيعاز العصبي بين خليتين عصبيتين بنفس الآلية التي يسري بها الأيعاز على طول الليف العصبي وذلك عن طريق سريان تيارات موضعية ويوجد هذا النوع من المشابك الكهربائية في مواقع مختلفة من الجهاز العصبي المركزي وفي الألياف العضلية القلبية والخلايا العصبية لبعض الأسماك والسرطان النهري ولكي يتحقق هذا النوع من الأنتقال يجب توفر بعض الشروط التي تشمل:

1- تمر التيارات الموضعية المتولدة في الأزرار النهائية الى الخلية العصبية المجاورة بدون ان يحدث تسريب جانبي كبير لها عبر الفالق المشبكي.
2- ان تكون التيارات الموضعية كبيرة بما يكفي لتوليد جهد فعل في الخلية بعد المشبك وكلما كان الفالق المشبكي ضيقا ازدادت امكانية حدوث الأنتقال الكهربائي .
3- الأبطاء في حالة المشابك الكهربائية اقل مقارنة بالمشابك الكيميائية.
4- القطبية موجودة في حالة كون المشابك الكهربائية داخل الجسم ولكن تنعدم هذه الخاصية في التحضيرات المفصولة من الجسم حيث عندها يمكن حدوث الأنتقال بالأتجاهين وهذا لا يحدث في حالة المشابك الكيميائية لأن قنوات دخول الآيونات في الغشاء بعد التشابك تخضع لآلية كيمياوية ولا تفتح بطرق كهربائية .
5- يحدث الأنتقال الكهربائي بين الخلايا العصبية فقط ولا يحدث بين خلية عصبية وخلية عضلية.

التزود (التجهيز الثنائي) Dual Innervation:

ان اكثر الأعضاء الداخلية كالقلب والقناة الهضمية والغدد اللعابية تكون مزودة بألياف عصبية مابعد عقدية ودية ونظير ودية .

- هناك اعضاء اخرى كالغدد العرقية ومعظم الأوعية الدموية الصغيرة والعضلات المحركة للشعر تكون مزودة بألياف ودية فقط .
- عند التزود الثنائي قد يعمل النوعان من الألياف العصبية بصورة متضادة (تضاد) Antagonism كما في الحالتين الآتيتين:

1- الألياف نظير الودية تقلل من ضربات القلب بينما الودية تزيد من هذه الضربات.

2- الأمر معكوس في القناة الهضمية حيث تزيد الألياف نظير الودية من حركة الجدران العضلية وتزيد من كمية الأفراز بينما الألياف الودية تهدىء القناة الهضمية (علما بأن نشاط العضو المعين يعتمد على التوازن بين شدة تحفيز كلا النوعين من الألياف)

- قد يعمل النوعان من الألياف العصبية الودية ونظير الودية بشكل متآزر (تآزر) Synergism كما في حالة الغدد اللعابية حيث يعمل كلا التحفيزين الودي ونظير الودي على تنشيط هذه الغدد مع ان نوع اللعاب ومحتواه الأنزيمي يعتمد على النسبة بين النوعين من التحفيز.

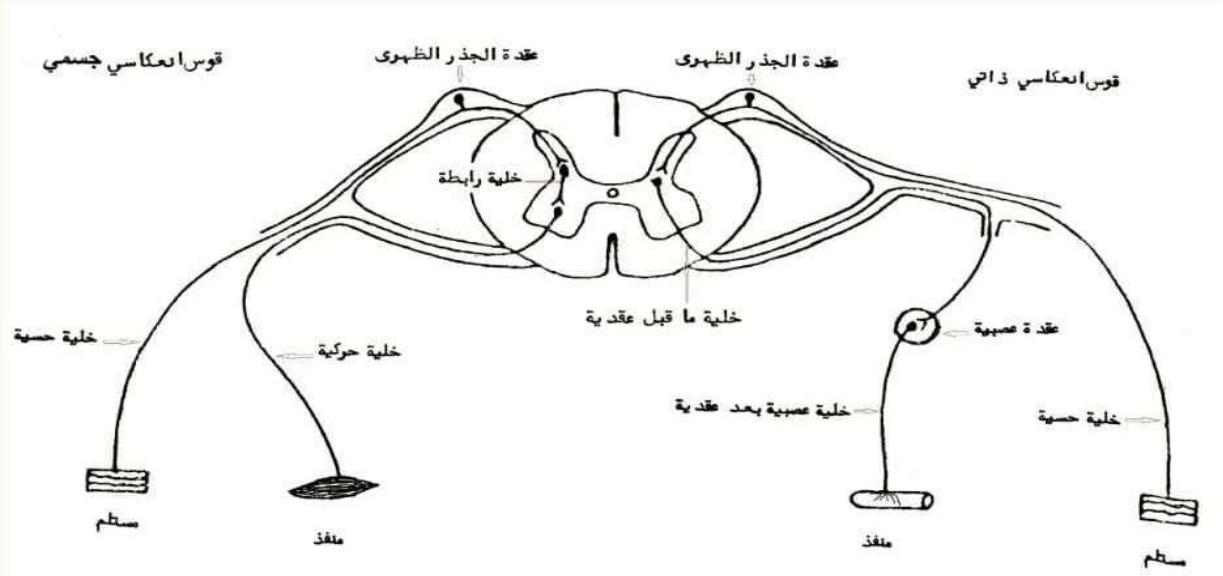
المنعكسات (الأفعال الأنعكاسية) Reflexes وتشمل:

1- منعكسات جسمية Somatic Reflexes: تنظم علاقة الحيوان ببيئته الخارجية ويتألف القوس الأنعكاسي Reflex Arc المسؤول عنها من العناصر الآتية : مستقبل Receptor, خلية حسية (واردة) Afferent Nerve Cell , خلية حركية (صادرة) Efferent Nerve Cell , منفذ Effector وقد تربط بين الخلايا العصبية في القوس الأنعكاسي خلايا عصبية رابطة (بينية) Connecting Nerve Cells.

نموذج يمثل المنعكسات الجسمية:

منعكس نفضة الركبة Knee Jerk وهو من ابسط الأفعال الأنعكاسية يحدث عند الضرب تحت منطقة الركبة ويسمى هذا المنعكس بالمنعكس احادي التشابك Monosynaptic Reflex حيث يتكون القوس الأنعكاسي المسؤول عنه من مستقبل شد عبارة عن مغزل عضلي وخلية حسية واردة وخلية عصبية حركية والعضو الهدف هو العضلة الرافعة للساق .حيث يؤدي ضرب وتر هذه العضلة الى سحبها وتقلصها فتركل الساق الى الأمام .

2- **منعكسات ذاتية Autonomic Reflexes**: تنظم فعاليات الأعضاء الداخلية ويتألف القوس الأنعكاسي المسؤول عنها من العناصر الآتية : مستقبل , خلية عصبية واردة , خلية عصبية قبل عقدية , خلية عصبية بعد عقدية , منفذ .



مكونات القوس الأنعكاسي الذاتي (يمين) و القوس الأنعكاسي الجسمي (يسار)

.