**فسيولوجيا الاعصاب Nerve Physiology**

يعد الجهاز العصبي من اعقد اجهزة الجسم في عالم الحيوان ، التي ظهرت نتيجة التطور العضوي . ويبلغ عدد خلاياه البلايين من العصيات ، ويقدر في الانسان بحوالي 1010 – 1110 عصبة . وتوجد اعداد مقاربة من الخلايا السائدة غير القابلة للتهيج او التنبه تسمى بالخلايا الدبقية Glia Cells ، التي تقوم بمهمة النسيج الرابط للجهاز العصبي ، بالاضافة الى وظائف اخرى منها تغذية العصيات ومنع وصول المواد السمية اليها من الدم . وتتدرج الاجهزة العصبية في تعقيدها فلا يتجاوز عدد العصيات على عشرات او مئات الالاف في بعض اللافقريات . ولمتابعة الخطوات الرئيسة التي مر بها تطور الجهاز العصبي ، يفحص اولا التنسيق الجاري لفعاليات الاحياء الوحيدة الخلية مثل الاميبا والبرامسيوم . في هذه الاحياء نجد ان التنسيق ذو طبيعة كيمياوية والنواة هي مركز السيطرة ولها مقام الدماغ في الحيوانات المتقدمة . فهي مهيمنة على السايتوبلازم الذي يتعامل بدوره مع الوسط الخارجي والمؤثرات السائدة فيه . ويعزى سيطرتها الى اشرافها على بناء البروتينات (بما في ذلك الانزيمات) ولبعض البروتينات القدرة على التقلص وتسهم في تحريك الكائن الحي بوساطة اسواطه او اهدابه وفق ظروف البيئة وعواملها من ضوء وحرارة ومنبهات الية وغيرها .

ولفهم عملية التنسيق في متعددات الخلايا لابد من مراعاة جوانب اخرى من اهمها الاتصال بين الخلايا المنتشرة في الجسم ، ولا سيما انها متنوعة ومتخصصة في وظائفها . في الاحياء الصغيرة يبقى الاتصال كيمياوياً ولكن عند بلوغها حجوماً كبيرة يصبح الوقت الذي يستغرقه انتقال المواد طويلاً وتتأخر الاجابة ، ومثل هذا الوضع غير مناسب لحياة الحيوان ولا بقاء نوعه . فقد وجد ان الوقت المطلوب لانتشار الكيمياويات يتناسب طرديا مع مربع المسافة المقطوعة . لا يعني ذلك انعدام هذه الالية كلياً في الحيوانات الكبيرة ، فالتنسيق الكيمياوي قائم في حالتين : الاولى عندما تكون سرعة الاستجابة غير مهمة ، والثانية عند وجود وسيلة لتسريع انتشار المواد مثل دوران السوائل الجسمية ، وهذا مما يحدث فعلا عند انتقال الهرمونات في اجسامنا .

ولتحقيق استجابات سريعة وموضعية بوساطة الالياف العصبية حيث تفرز نهاياتها عوامل كيمياوية تنبه عصيات اخرى او تنبه منفذات مثل العضلات والغدد.

**العصبة The Neuron**

كان العالم الاسباني كاجال (Cajal) (1934) من الدعاة الاوائل للفكرة القائلة بأن الجهاز العصبي مؤلف من وحدات مستقلة ، هي العصبات التي سبق لوالداير (Waldeyer) أن تقدم بها وأطلق عليها نظرية العصبة Neuron Theory . وقد صار مضمونها اخيراً ، أن الاتصالات الوظيفية تكمن بتقارب الخلايا العصبية من بعضها دون اندماجها ، وبذلك دحضت النظرية الشبكية Reticular Theory لكيرلاش (Gerlach) وكولجي (Golgi) ، ذات المفهوم المعاكس . ويعزى تسمية مناطق الاتصال بين العصبات بالمشابك Synapses الى شيرنكتن (Sherrington) (1897) وهو الذي اوكل اليها اهمية كبيرة في عمل الجهاز العصبي المعقد من خلال دورها في زيادة الفعالية العصبية او تثبيطها ، الامر الذي يحدد نشاط الجهاز المذكور في كل لحظة .

تعد العصبات من اكبر الخلايا في الجسم ويصل طولها الى اكثر من مئة سنتمتراً وتقسم بحسب عدد زوائدها ، فمنها احادية الاستقطاب Unipolar بزائدة واحدة ، او ثنائية الاستقطاب Bipolar بزائدتين ، او متعددة الاستقطاب Multipolar بزوائد عديدة . وعلى الرغم من اختلافها في الشكل والحجم ، تبقى العصبات متشابهة في بنيتها الاساسية فهي مكونة من جسم الخلية Perikaryon الذي يحتوي على النواة وعلى عدد كبير من المايتوكوندريا ، وعلى جهاز كولجي والجسيمات الحالة والشبكة البلازمية الداخلية في السايتوبلازم . ان كون الاخير غني بالعضيات يؤكد اهميته في تجهيز بقية اجزاء الخلية بالمواد الضرورية لعملها ولغرض الافراز العصبي .

تتفرع الزوائد من جسم الخلية وهي اما زوائد صغيرة متعددة وتعرف بالزوائد او البروزات الشجيرية Dendrites أو ان تكون بهيئة زائدة او بروز طويل نسبياً يدعى المحور Axon تسرى فيها السيالات العصبية الى عصيات اخرى او الى المنفذات Effectors . ويختلف سايتوبلازم المحور من سايتوبلازم جسم الخلية باحتوائه على النبيبات الدقيقة Micro – tubules والخيوط Filaments ، التي تتوضع بموازاة المحور ، ويقتصر على قليل من الجسيمات الحالة . يستنتج من هذا عدم قدرة سايتوبلازم المحور على بناء المواد الاساسية للإدامته ، غير ان ذلك يعوض بتدفق نشط للمواد المطلوبة من جسم الخلية . ينتهي المحور بتفرعات دقيقة تدعى بالتشجرات الانتهائية Telodendria ومن النواحي الوظيفية تمثل البروزات الشجيرية السبيل لمدخلات الخلية لأنها تجمع المعلومات الواردة بينما تمثل المحاور المخرجات ولو ان لهذه القاعدة بعض الشواذ ، فقد اصبح من المؤكد ان البروزات الشجيرية لخلايا مناطق معينة من الدماغ تعمل كمخرجات اضافة الى عملها بوصفها مدخلات .

**قابلية التهيج (التنبه) : Excitability**

ان استجابة الكائن الحي للمؤثرات الخارجية (التغيرات الفيزيائية او الكيميائية) في الواقع رد فعل لتلك المؤثرات ، ويطلق على هذه الخاصية بقابلية التهيج ، ويشمل رد الفعل زيادة في فعالية معينة او نقصان قد تصل احياناً الى حد الامتناع التام . كما ترتبط نوعية الاستجابة بطبيعة الخلايا وتخصصها الوظيفي على الرغم من تنوع المنبهات . فالخلايا العضلية تستجيب بالتقلص والغدية بالافراز والعصبية بنقل السيالة العصبية Impulse . ولمزيد من التوضيح فإن المستقبلات في شبكية العين تستجيب عادة للضوء ولو صادف ان تعرضت المقلة لضربة مباشرة فإن التنبيه الآلي للشبكية يؤدي الى استجابة على هيئة شرار متطاير في حقل الرؤيا . وفي مقابل ذلك يحصل تقلص عضلة العضد بالتنبيه الكهربائي او العصبي الارادي او حتى بالتنبيه الالي عند ضرب العضلة بقوة فالاستجابة واحدة وان تنوعت المنبهات . وتصنف المنبهات عادة على منبهات آلية تشمل اللمس والضغط والاهتزاز ، أو كهرومغناطيسية او اشعاعية وفي حالات تكون المنبهات تنافذية تعتمد على استجابة الخلايا للضغط التناضحي في الوسط الخارجي ، كما يحدث لبيوض قنفذ البحر عند وضعها في محلول مفرط التوتر Hypertonic لتحفيزها على الانقسام . وقد استعان علماء الفسيولوجيا العصبية بالمنبهات الكهربائية في بحوثهم اكثر من غيرها بالنظر لسهولة التحكم بها وضبط شدتها وتحديد زمن التنبيه .

ومن الجدير بالذكر ان اهم ميزة للمنبه هي قدرته على احداث تغيير فجائي في حالة الاستتباب للمادة الحية . فقد وجد ان التنبيه البطيء والمتدرج في الشدة يقاوم وتظهر اثاره ولذلك يفقد صفة المنبه بالمعنى الفسيولوجي . فالضغط المفاجيء على عصب متصل بعضلة يؤدي الى تقلصها غير ان تسليط ضغط متدرج وبطيء قد يتلف العصب دون حدوث تقلصاً في العضلة . ويحدث التنبيه في الحيوانات المتقدمة استجابة لعوامل المحيط الخارجي او ينشأ من داخلها ، مثل الشعور بالجوع والعطش والانفعال وما تمليه الارادة .

عند مراجعة تجربة تنبيه العصب المتصل بعضلة نتوصل الى استنتاجين اساسيين أولهما ان تسليط ضغط على العصب ينبهه وهذه الحالة تدعى بخاصية التهيج Excitation ، وثانيهما ان تقلص العضلة يعني انتقال نشاط عصبي اليها .

وهذه الحالة تدعى خاصية النقل Conduction وقد توصل علماء القرن الماضي الى ان النشاط العصبي هو نشاط كهربائي ، وتأيد هذا الاعتقاد من خلال بحوث استغرقت العقود الاولى من هذا القرن ، وبات مؤكداً ان المحور هو اسطوانة غلافها الغشاء البلازمي ومحتواها سايتوبلازم ذي مقاومة كهربائية ضعيفة (40 أوم/سم2) وان الغلاف في حالة الراحة يكون مستقطباً تراوح فرق الجهد بين سطحه الداخلي والخارجي ما بين – 50 و – 100 ملي فولت (مف) ويعني ذلك ان السطح الداخلي سالب بالنسبة للسطح الخارجي ، ويدعى فرق الجهد هذا بجهد الراحة Resting Potential . وفي حالة تنبيه المحور في موضع معين ، ينعكس الاستقطاب فيصبح داخل المحور سالباً موازنةً بخارجه ، يحدث هذا الانقلاب على مراحل تبدأ بزوال الاستقطاب ، فانعكاسه وأخيراً عودته الى حالته عند الراحة وفق آلية ، ويطلق على انعكاس الاستقطاب بجهد الفعل Action Potential .

ان الانقلاب الموضعي في استقطاب غشاء المحور يولد تيارات كهربائية ضعيفة محمولة على ايونات تسرى من المناطق الموجبة الشحنة الى المناطق السالبة الشحنة المجاورة لها وتعمل التيارات التي تسري بالسايتوبلازم المحوري وتعبر من خلال الغشاء الى الخارج في المناطق المجاورة للمنطقة المنبه على انقلاب الاستقطاب فيها . وبهذه الالية تسري السيالة العصبية على طول المحور .

**طرق تسجيل النشاط الكهربائي :**

من أهم الاجهزة الحديثة لدراسة الفسيولوجيا الكهربائية في العصيات اينما وجدت في الجهاز العصبي هو المخطاط الذبذبي (المنظار الذبذبي) Oscill Oscope . يتألف هذا الجهاز من انبوب الاشعة المهبطية Cathode Ray Tube المكون بإيجاز من فتيل يولد شعاعاً من الالكترونات ينتج نقطة مضيئة عندما يرتطم بشاشة متألقة يمر الشعاع في طريقه الى الشاشة بين زوجين من الالواح ، زوج أفقي وآخر عمودي . تتحرك النقطة المضيئة على الشاشة أفقياً من اليسار الى اليمين ، بفعل تغير متدرج في الجهد بين اللوحين العموديين اما الاشارات الكهربائية الصادرة عن الخلايا العصبية فتغذي في الجهاز بعد ان تضخم عن طريق اللوحين الافقيين ، وبذلك تتحرك النقطة المضيئة الى الاعلى والاسفل وفق التغيرات التي تطرأ على الجهود في الأغشية العصبية التي هي موضع الدراسة . وبهذه الطريقة ترسم النقطة المضيئة على الشاشة موجبة ذات بعدين أحدهما أفقي زمني يقاس عادة بالملي ثوان وآخر عمودي جهدي يقاس بالملي فولتات .

تلتقط النشاطات العصبية (فروق الجهود – والتيارات الكهربائية) بواسطة مساري Electrodes من السوائل المحيطة بالعصبات او من داخلها حيث تسرى التيارات الكهربائية الضعيفة والتي تتولد عند التنبيه وعندما تخترق المسراة غشاء الخلية ، ويمكن قياس فرق الجهد على جهتيه في حالة الراحة وعند التنبيه .

**بعض الخصائص التجريبية للتنبيه :**

1. **العتبة Threshold :**

يلاحظ عند تعرض الليف العصبي لصدمات كهربائية متدرجة في الشدة ، إخفاق الضعيفة منها في ظهور سيالة عصبية ، ولكن بمجرد وصولها الى شدة معينة تكفي لتوليد السيالة ، يقال عندئذ ان المنبه قد وصل حد العتبة ، وتكون الاستجابة قد بلغت حدها الاقصى ولا تتأثر باي زيادة في شدة المنبه في الاقل في الالياف المحركة . ينطبق ذلك على الالياف العضلية ايضاً وقد أطلق على هذه الخاصية قانون الكل او اللاشيء All or None Law .

1. **التلاؤم Accomodation :**

أشرنا فيما تقدم الى مقاومة المادة الحية للتأثيرات الخارجية وذلك للبقاء في حالة الاستتباب ، وتسلك العصبات هذا السلوك عندما تتعرض الى منبه ، حيث يعاني غشاء العصبة من عمليتين متضادتين أولهما عملية التنبه في حين تكون الاخرى معرقلة لها وتعمد الى تقليل تأثير المنبه أو تأخير الاستجابة وهذه الخاصية تدعى بالتلاؤم . ويحدث التلاؤم عادة عندما يكون المنبه دون العتبة او عندما يستغرق وقتاً طويلاً للوصول الى أقصى شدته .

1. **زمن العصيان Refractory Period :**

يتنبه الليف العصبي عندما يكون في حالة الراحة أي عندما يكون غشاؤه مستقطباً ويتعذر تنبيهه عندما يكون في حالة زوال الاستقطاب أو إنقلابه . لذلك نجد ان الليف العصبي يمتنع عن الاستجابة ثانية اذا كان الفاصل الزمني بين المنبهين قصيراً جداً (2 ملي ثانية أو أقل) وتسمى هذه الفاصلة الزمنية بزمن العصيان المطلق Absolute Refractory Period . اما في حالة زيادة الفاصلة الزمنية على 2 ملم ثوان ، نلاحظ ضرورة زيادة شدة المنبه عن حد العتبة لليف لكي يستجيب ويطلق على هذه الفاصلة الزمنية بزمن العصيان النسبي Relative Refractory Period ، بينما تتولد استجابة خاصة بكل منبه عند تباعد الصدمات الكهربائية زمنياً (15 ـــــــــ 20 ملي ثانية) ، وتقترب الشدة المطلوبة للتنبيه من قيمة العتبة كلما زادت الفاصلة الزمنية بين صدمتين متتاليتين .

**الظواهر الكهربائية للتنبيه :**

ترافق التنبه ثلاث ظواهر كهربائية يمكن متابعتها باستخدام المخطاط الذبذبي ويوضع مساري التسجيل في موضع التنبيه او على مقربة منه وفي حالة الراحة على جهتي غشاء العصبة .

1. **جهد الراحة Resting Potential :**

يمثل جهد الراحة في العصبات فرق الجهد الكهربائي بين جهتي الغشاء البلازمي ، ويقاس عادة بوضع مساري التسجيل كل في جهة وعند وضعهما على جهة واحدة يكون الفرق صفراً واذا اخترق احدهما الغشاء حدث على شاشة المخطاط الذبذبي ازاحة الى الاسفل من مستوى الصفر ، يمثل جهد الراحة . لقد توصل هكسلي (Huxley) (1951) الى قياس جهد الراحة في ليف عصبي للضفدع منغمس في محلول رنكر ووجده يساوي 71 ملي فولت ، غير ان هذه الجهود تختلف باختلاف الالياف العصبية وتتراوح عادة بين – 50 الى – 100 ملي فولت .

1. **التوتر الكهربائي (الجهد الموضعي) Electrotonus :**

يخفق الليف العصبي بتوليد جهد فعل منتشر على هيئة سيالة عصبية عندما يهيج لمنبه دون العتبة الخاصة به وتلتقط مسارات التسجيل في المنطقة المنبهة توتراً كهربائياً في الغشاء البلازمي على هيئة ازاحة جزئية لا تبلغ درجة جهد الراحة ويتصف هذا النشاط الكهربائي بكونه غير سار ويتلاشى بسرعة ولا يلتقطه مساراً لتسجيل الموضوعان بعيداً عن المنطقة المنبهة . وفي الوقع ان الجهد الموضعي ما هو الا زوال جزئي لاستقطاب الغشاء ، يقاومه الليف العصبي بعملية التلاؤم ليعيد الغشاء الى حالة الراحة قبل ان يبلغ الحد الذي يسمح بقيام جهد الفعل وعند استخدام رجات كهربائية متتابعة ذات شدة دون العتبة ، قد يحصل عدم انطفاء الجهود الموضعية وتأزرها لتوليد جهود فعل سارية .

1. **جهد الفعل Action Potential :**

يرافق تنبيه الليف العصبي في منطقة ما على طوله اضطراب في النشاط الكهربائي يبدأ على هيئة جهد موضعي وعند بلوغه عتبة الليف او تجاوزها يتولد جهد سار يطلق عليه جهد الفعل الذي يظهر على شاشة المخطاط الذبذبي بشكل موجة حادة عادةً . يكون جهد الفعل ظاهرة سارية فبإمكان مسراة التسجيل التقاطه في المنطقة المهيجة او من مناطق بعيدة عنها. تنطلق الموجة من مستوى جهد الراحة لتبلغ مستوى الصفر ثم تتجاوزها لتبلغ الذروة (+ 40 ملي فولت) التي تمثل اقصى درجة لانقلاب الاستقطاب . ثم تتنكس لتعود الى فرق جهد يساوي الصفر وينحدر دونه الى ان تصل الى مستوى جهد الراحة . يتبع ذلك جهد تلوى يسمى ما بعد الجهد السالب Negative After Potential ثم جهد تلوى موجب يسمى ما بعد الجهد الموجب Positive After Potential قبل ان يستقر النشاط الكهربائي في المنطقة المنبهة عند جهد الراحة . ويرافق الجهدان التلويان الموجب والسالب انخفاضاً وارتفاعاً على التوالي في قابلية الليف على التنبه . ويشار غالبا الى جهد الفعل بالشوكة Spike بسبب المظهر الحاد للموجة ، وعند تحفيز الليف برجات متتالية وبفواصل زمنية تتجاوز زمن العصيان المطلق نحصل على شوكات متواترة .

***العلاقة بين نفوذية الايونات في قيام جهد الفعل :***

*بالنظر لأهمية العلاقة بين نفوذية ايونات البوتاسيوم* وأيونات الصوديوم *في توليد جهد الفعل ، نحاول الان تحليلها باختصار :-*

*عند بداية قيام جهد الفعل من مستوى جهد الراحة للغشاء ، تزداد وتبقى بنفس مستواها في جهد الراحة ، ويؤدي ذلك الى اتجاه جهد الغشاء نحو مروراً بزوال الاستقطاب . غير ان ذلك لا يتحقق كلياً ، لأن تبدأ في هذا الاثناء بالزيادة و بالهبوط وتحصل عن ذلك هبوط جهد الغشاء للوصول الى جهد الراحة في حالات عديدة يتجاوز جهد الغشاء جهد الراحة لاستمرار زيادة نفوذية البوتاسيوم وتوقف نفوذية الصوديوم عند حدها في مستوى جهد الراحة ، وهذا ما يسحب جهد الغشاء نحو الذي يفوق جهد الراحة قليلاً . من هذا التحليل نستطيع ان نفسر فروقات جهد الغشاء بسبب الفروقات الحاصلة في نفوذية الغشاء للأيونات .*

*ومما يعزز المفاهيم الحديثة المذكورة آنفاً المتعلقة بتفسير التهيج في الليف العصبي تجارب عديدة نذكر منها تجربة كيرتز* (Curtis) *حول تأثير أيونات البوتاسيوم على جهد الراحة وتأثير ايونات الصوديوم على جهد الفعل .*

*فقد وجد كيرتز باستخدامه مسراة دقيقة* (Micro – electrode) *إن جهد الراحة في المحور العملاق للحبار تؤيد تناسب ذروة جهد الفعل تناسباً طردياً مع ولما كانت الاخيرة تتغير بتغير نسبة تركيز أيونات الصوديوم بين داخل وخارج الليف ، كان جهد الفعل منخفضاً الى ان يختفي باقتراب النسبة من واحد مع الاحتراس والمحافظة على توتر المحلول الفسيولوجي في مثل هذه التجارب ، باستعمال الديكستروز* D-glucose *.*

***خصائص الاعصاب الحسية :***

*تنتقل المعلومات في الليف العصبي بصورتين فإما ان يكون الانتقال محدوداً يسري لمسافة قصيرة بتيارات ضعيفة تولد جهداً موضعياً ، أو ان يكون سارياً ينشأ عن جهود فعل ، تنشأ هذه المعلومات بتأثير منبهات في البيئة وذلك من خلال دراسة فسيولوجيا المستقبلات ونهايات الالياف الحسية .*