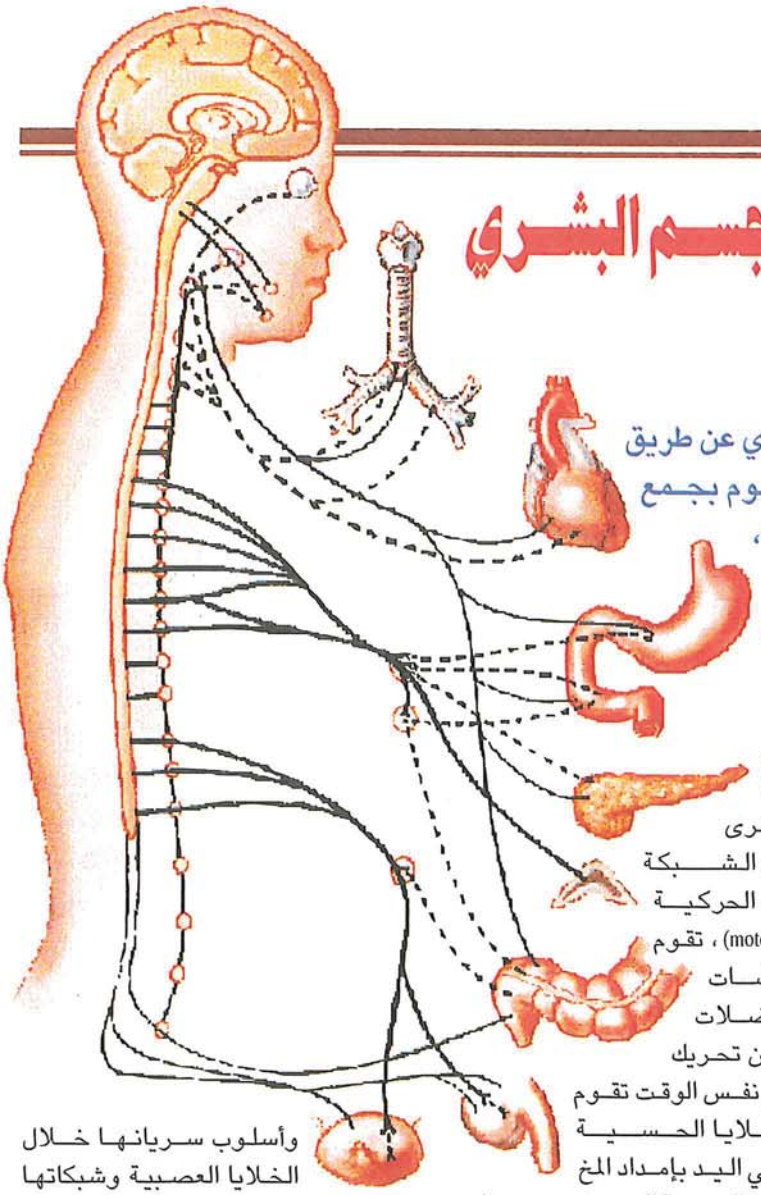
الاتصال والتحكم داخل الجسم البشري

د. السيد محمود السيد سليمان



يتم الاتصال والتحكم داخل الجسم البشري عن طريق الجهاز العصبي (nervous system). الذي يقوم بجمع المعلومات عن طريق حواس الجسم المختلفة، ومن ثم يحللها بهدف إعطاء الاستجابة الملائمة لاحتياجاته التي من أهمها المحافظة على الحياة.

ويمكن تقسيم الجهاز العصبي للإنسان إلى جزئين رئيسيين هما :

- الجهاز العصبي المركزي ويتكون من المخ (Brain)، والحبل الشوكي (Spinal cord)، والأعصاب الطرفية (Peripheral nerves).
- الجهاز العصبي اللاإرادي (Autonomic nervous system) ، ويتحكم لا إرادياً في عمل الأعضاء الداخلية المختلفة مثل : القلب والأمعاء والغدد والجهاز الهضمي وغيرها من الأجهزة. وينقسم الجهاز العصبي اللاإرادي إلى قسمين هما: الأعصاب السمباثاوية (sympathetic)، والباراسمباثاوية (parasympathetic). وكلاهما يعمل ضد الآخر ، بحيث تكون النتيجة ثبات فاعلية عمل العضو تحت الظروف المختلفة. يقوم الجهاز العصبي اللاإرادي بالسيطرة على الغدد الصماء (Endocrine) ، وهي مجموعة من الغدد تفرز الهرمونات اللازمة لوظائف الجسم مباشرة في الدم ، وذلك لتنظم العلميات الحيوية (الأيض) والنمو والجنس وما إلى ذلك.

ويعتمد عمل الجهاز العصبي على النبضات الكهربائية العصبية التي تحدث نتيجة إثارة حواس الإنسان بواسطة المؤثرات البيئية المختلفة. وتنتقل هذه النبضات بسرعة تبلغ حوالي مائة متر لكل ثانية (100m/s) في الشبكات العصبية الحسية (sensory nervous net)، إلى أن تصل إلى المخ فيقوم بتحليلها واتخاذ القرار المناسب حيالها. فمثلاً إذا كان القرار تحريك اليد، فإن المخ يقوم بإرسال مجموعة مناسبة من النبضات العصبية التي تنتقل عبر شبكة عصبية أخرى تسمى الشبكة العصبية الحركية (motor nervous net) ، تقوم هذه النبضات بإثارة العضلات المسؤولة عن تحريك اليد ، وفي نفس الوقت تقوم أطراف الخلايا الحسية الموجودة في اليد بإمداد المخ بالنبضات الحسية التي تخبره بعمل الحركة وما إذا كانت ملائمة أو تحتاج إلى تعديل ، وهذا مايطلق عليه في علم الالكترونيات بالتغذية المرتجعة (Feed back) ، وبذا يتم الاتصال والتحكم في الحركة. ويفسر هذا عدم تعثر الإنسان في مشيته عند المشي في طريق تتخلله بعض الحفر الصغيرة، والتي لا ينتبه إليها. في هذه الحالة يقوم الجسم بحفظ توازنه بفضل نهايات الأعصاب الحسية الموجودة في الأرجل والتي تقوم بإعطاء المخ المعلومات الكافية عن السير، وبالتالي يقوم بحفظ التوازن في الوقت المناسب. ومن الأمثلة الأخرى فإنه عندما يتحدث الإنسان فإنه في نفس الوقت يسمع الكلام الصادر منه. وهذا يعطي المخ القدرة على المراقبة والتحكم في الكلام وهل كان الكلام واضحاً وبالشدة المطلوبة أم لا.

يستعرض هذا المقال ماهية النبضات الكهربائية العصبية؟ وكيف تتكون؟ وأسلوب سريانها خلال الخلايا العصبية وشبكاتها (المسارات) العصبية (neural path-ways)، وتخزين المعلومات في المخ، ويستعرض المقال كذلك النشاط الكهربائي لبعض أعضاء الجسم وكيفية استخدامه في التشخص الطبي.

النبضات الكهربائية العصبية

كان المصريون القدماء أول من لاحظ وجود الكهرباء داخل جسم الكائنات الحية وذلك منذ ٤٠٠٠ عام قبل الميلاد، حيث كانوا يجدون صعوبة في صيد سمك القط (cat fish) بسبب الصدمات الكهربية التي يحدثها عند صيده. كما أكتشف لاحقاً نوع من ثعبان سمك الإيل (eel fish) - موجود في أمريكا الجنوبية - ينتج كهرباء ذات قوة دافعة تقدر بعدة مئات من الفولتات تكفي لصعق فريسة في حجم الحصان ، وبذلك يستخدم هذه الكهرباء في الحصول على غذائه.

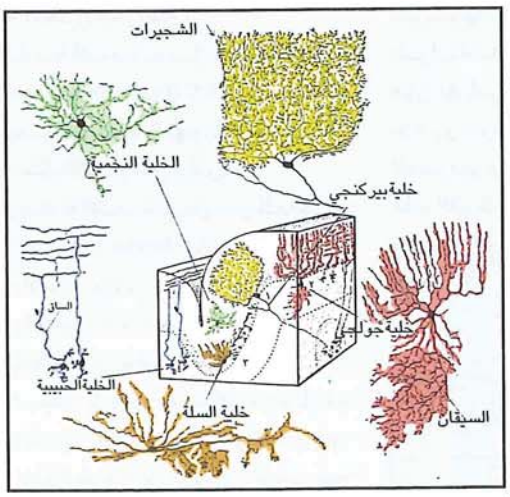
وقد بدأت الأبحاث التجريبية في الكهرباء داخل جسم الكائنات الحية بأعمال العالم الإيطالي **جلفاني** (Luigi Galvani) عام ١٧٨٦م، عندما لاحظ أنه عند تعليق ضفدعة من رجلها بخطاف من النحاس في حديد شرفته فإن رجلها تنقبض عند ملامسة جسمها للحديد. كان تفسير جلفاني لهذا الانقباض هو وجود كهرباء داخل جسم الضفدعة. إلا أن هذا التفسير تم تعديله بواسطة العالم **فولتا** (A. Volta) الذي أقر بوجود الكهرباء داخل جسم الضفدعة، إلاأن الانقباض الذي حدث كان ناتجاً عن أن كلا من الحديد والنحاس عملا وصلة أنتجت قوة دافعة كهربائية أثارت رجل الضفدعة، وبالتالي سببت الانقباض الذي حدث. توالت الأبحاث بعد ذلك إلى أن تم قياس النبضة الكهربائية في عضلة الضفدعة بواسطة العالم **ماتيوس** (Carlo Mateuci). وفي عام ١٨٨٧م قام العالم **أوجست ولر** (August Waller) بتسجل أول رسم كهربائي للقلب. وتوالت الأبحاث بعد ذلك إلى الآن، حيث تم تسجيل النشاط الكهربائي لأعضاء الجسم المختلفة بهدف استخدامها في التشخيص والعلاج.

تنقسم الكهرباء داخل جسم الإنسان إلى قسمين هما: كهرباء ساكنة وكهرباء متحركة تنتقل من مكان إلى آخر عن طريق الشعيرات العصبية. ويمكن تسجيل الكهرباء المتحركة على سطح الجسم معلنة عن نشاطه. ومن أمثلة هذه الأنشطة تسجيل النشاط الكهربائي للقلب (Electrocardiogram - ECG)، وتسجيل النشاط الكهربائي للمخ (Electroencephalogram - EEG)، وتسجيل النشاط الكهربائي للعضلات (Electromyogram - EMG) وتسجيل النشاط الكهربائي للعين (Electroretinogram - ERG,).

ينشأ عن النشاط الكهربائي للأعضاء نشاط مغناطيسي يستغل الآن في التشخيص، ومن أمثلة ذلك تسجيل النشاط المغناطيسي للقلب (Magnetocardiogram - MCG) والمخ (Magnetoencephalogram -MEG).

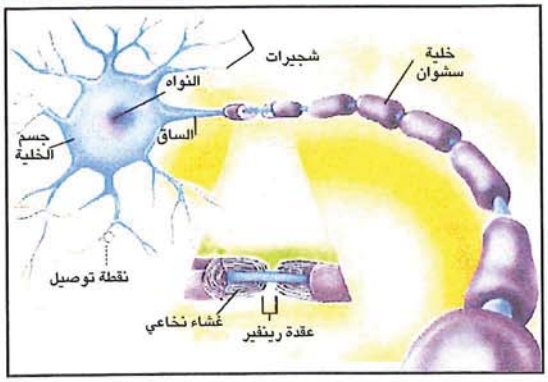
● إنتاج النبضات

تعد الخلية العصبية (Nerve cell) هي اللبنة الأساسية في الجهاز العصبي، فهي التي تقوم بإرسال واستقبال الرسائل الكهربائية (Electrical messages)، وتحليلها، وتوجد عدة أنواع من الخلايا العصبية تختلف باختلاف وظيفتها. فمثلاً من بين خلايا المخ ـ حوالي مائة بليون خلية ـ أمكن التعرف على خمسة أنواع من الخلايا العصبية كما هو مبين في الشكل (١). ويلاحظ أنه في جميع أنواع هذه الخلايا فإن جسمها يتصل بمجموعة هائلة من النهايات العصبية.



● شكل (١)، بعض الخلايا العصبية الموجودة في طبقة معينة من المخ وتفريعاتها.

تتكون الخلية العصبية في شكلها المبسط، شكل (٢)، من جسم الخلية (cell body) الذي يستقبل النبضات العصبية عن طرق نهايات توصيل (contacts) تسمى نقاط الاتصال العصبي(synapses)، والتي توجد إما على سطح الخلية أو على الشجيرات الطرفية (dendrities) التي تعد جزء من الخلية العصبية، وتختص نقاط الاتصال بتلقي المعلومات من الخلايا المجاورة، وبذلك فإنها تعمل على إثارتها، فإذا كانت الإثارة كافية فإن الخلية سوف تنتج نبضة كهربائية تسري إلى خارجها عن طريق الشعيرة العصبية المتصلة بها والمعروفة بالساق (Axon). ويختلف طول هذا الساق من خلية لأخرى، فقد يصل إلى متر واحد في بعض الخلايا. وهو يعمل على حمل النبضات الكهربائية العصبية إلى الأنسجة والأعضاء المختلفة، أو إلى خلايا عصبية أخرى عن طريق نقاط الاتصال.



● شكل (٢)، رسم تخطيطي لخلية عصبية حركية.

● الجهد الساكن

تحتوي جميع الخلايا الحية الساكنة على كمية من الشحنات السالبة في جدارها الداخلي وأخرى موجبة على جدارها الخارجي، وهو مايطلق عليه جهد الخلية (Membrane Potential)، أو الجهد الساكن (resting Potential)، وقد شهدت حقبة الثلاثينيات من القرن الماضي بداية تسجيل الجهد الساكن عن طريق إدخال أقطاب متناهية الصغر (microelectrodes). داخل الخلية، حيث يتم تسجيل هذا الجهد بمجرد اختراق تلك الأقطاب لجدار الخلية، ولذا يسمى هذا الجهد أحياناً بجهد الغشاء (membrane potential). وقد أتضح لاحقاً أن هذا الجهد ـ جهد الغشاء ـ يتكون نتيجة تراكم الشحنات حول غشاء الخلية الحية، ولكنه يختفي بموتها، وعليه فإن هذا الغشاء يلعب دوراً هاماً في منشأ هذا الجهد، وأنه ناشئ عن سببين رئيسين هما:

١ ـ وجود الغشاء الخلوي شبه المنفذ (semipermeable) الذي يسمح بمرور بعض الأيونات ولا يسمح بمرور الأيونات الأخرى، وتعتمد نفاذيته على حالة الخلية.

٢ ـ اختلاف تركيز أيونات المواد المختلفة داخل الخلية الحية عن تركيز الأيونات الموجودة خارجها، وقد أثبتت الدراسات أن أيونات البوتاسيوم والصوديوم والكلور وبعض الأيونات الأخرى ـ ولكن بدرجة أقل ـ مثل أيونات الكالسيوم تلعب الدور الرئيسي في الجهود الحيوية. فعندما تكون الخلية في الحالة الساكنة يكون تركيز أيونات البوتاسيوم في الداخل أكبر بكثير من الخارج (بحوالي مائة مرة)، بينما يكون تركيز أيونات الصوديوم والكلور

وغيرها في الداخل أقل بكثير منها في الخارج. وأن كلا من البوتاسيوم والكلور يوجدان في حالة اتزان يسمى اتزان دونان (Donan equilibrium) ، وذلك حسب المعادلة الآتية:

$$\frac{[K]_i}{[K]_o} = \frac{[Cl]_o}{[Cl]_i}$$

حيث $[K]_i$ و$[Cl]_i$ يرمزان إلى تركيز كل من البوتاسيوم (K) والكلور (Cl) داخل الخلية ، أما $[K]_o$ و$[Cl]_o$ فيرمزان إلى تركيزهما في الخارج ، وقد أثبتت التجارب العملية أن الجهد الساكن في كثير من الخلايا يتغير بتغير تركيز البوتاسيوم خارج الخلية ، ويصل إلى الصفر عندما يتساوي كلاً من تركيز البوتاسيوم الخارجي والداخلي ، وبهذا فإنه يمكن وصف هذا الجهد تقريبًا باستخدام معادلة نرنست (Nernst) :

$$E_k = \frac{RT}{F} \text{ Ln } \frac{[K]_i}{[K]_o}$$

حيث R الثابت العام للغازات، T درجة الحرارة المطلقة، F ثابت فراداي.

بجانب هذا الجهد فإن للغشاء خواص كهربائية أخرى مثل السعة الكهربائية والمقاومة لأنه مكون تقريباً من مواد عازلة معظمها عبارة عن دهون وجزيئات بروتينية. مما يجدر ذكره أن غشاء الخلية يفقد جميع خواصه السابقة الذكر عند موت الخلية، وذلك لفقدانه صفه شبه النفاذية التي ترتبط بتركيبه والمعتمدة على فرق الجهد بين سطحي غشاء الخلية الخارجي والداخلي ، والذي بدوره يكّون مجالاً كهربائياً كبيراً جدًا. فمثلاً عند جهد ساكن مقداره ٠,١ فولت ، ولغشاء خلية سمكه ١٠ نانومتر تكون شدة المجال عشرة ملايين فولت لكل متر ، حيث يعمل هذا المجال الكهربائي الهائل الشدة على المحافظة على تركيب الغشاء الذي يعتمد بدوره على النظام الحيوي للخلية.

● الجهد النشط

الجهد النشط (Action Potential) ، عبارة عن الجهد الناجم عن تحول الخلايا والأنسجة الحية من الحالة الساكنة إلى الحالة النشطة عن طريق إثارتها بأي مثير مناسب والذي يختلف باختلاف خلايا الجسم ، وذلك كمايلي:

- المثير الكيميائي وتستقبله وتتأثر به خلايا الجلد، وخلايا حاسة الشم، وخلايا حاسة التذوق.
- المثير الميكانيكي وتتأثر به الخلايا السمعية - يؤدي إلى الإحساس بالسمع - وبعض الخلايا الأخرى.
- المثير الضوئي ، وتتأثر به خلايا شبكية العين مما يؤدي إلى الإحساس بالرؤية.
- المثير الكهربائي وتتأثر به الأعصاب والعضلات.

وتُستقبل المؤثرات المذكورة بالحواس التخصصية المناسبة والموجودة في البيئة ، فمثلاً لايمكن لشخص الرؤية بدون وجود ضوء مرئي له شدة مناسبة ، لأنه هو المثير المناسب لخلايا شبكية العين ، وبالمثل فإن الخلايا السمعية لا يمكن إثارتها بالضوء لأنها لا تثار إلا بالمثير الصوتي المناسب (له شدة مناسبة وتردد مناسب).

وقد أوضحت التجارب العملية أن المثير الكهربائي يعد أنسب هذه المثيرات ، وذلك لسهولة التحكم في كل من : شدته (Intensity)، واستمراريته (Duration)، وتدرجه (steepness) ، وكذلك لأن تأثيره يكون عكسيًا ، كما أن الجهد النشط الناتج من استخدام المثير الكهربائي المناسب يزول عند إزالة هذا المؤثر لترجع الخلية إلى وضعها السابق ، وهذا يفسر سبب استخدام التيار الكهربائي بترددات المختلفة في العلاج وخاصة الأمراض الروماتيزمية.

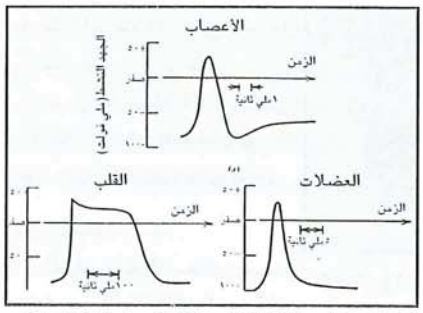
يتكون الجهد النشط إذا تعرضت الخلية للمثير المناسب والكافي لتحويل جهد الغشاء (لا يتغير بالنسبة للزمن) إلى جهد نشط، أي جهد تتغير قيمته بالنسبة للزمن ، وتكون على هيئة نبضة (impulse). ليتم تسجيله بأحدى الطريقتين :

(أ) طريقة التسجيل من الخارج (Extracellular recording) كالتي تستخدم في تسجيل النشاط الكهربائي للأعضاء المختلفة مثل القلب والمخ وغيره.

(ب) طريقة التسجيل من الداخل (Interacelluar recording) بإدخال أقطاب متناهية الصغر يكون قطر طرفها أقل بكثير من قطر الخلية ، وغالبًا ما تستخدم أقطاب زجاجية ذات سن قطره يتراوح مابين ٠,٥ إلى ٠,١ ميكرون مملوءة بسائل موصل ذو تركيز كبير من كلوريد البوتاسيوم ، وتمتاز هذه الطريقة عن الأولى بأنها تسمح بدراسة الجهد النشط المتكون من خلية واحدة ، حيث تعد هذه الطريقة مثالية لمعرفة تأثر الخلية بالمؤثرات المختلفة بعكس الطريقة الأولى التي تسجل من مجموعات من الخلايا. ولذا فإنه لفهم كيفية تكون الجهد النشط تستخدم طريقة التسجيل من الداخل. فبمجرد اختراق سن القطب المتناهي الصغر جدارالخلية الحية الموجود نسيجها في محلول فسيولوجي مناسب يظهر على شاشة نظام التسجيل جهدًا سالباً. وعند إثارة الخلية بمثير كهربائي مناسب فإن هذا الجهد يبدأ في التغير ليتحول إلى جهد موجب ، ثم يرجع ثانيًا إلى مستواه الأصلي بعد مدة معينة.ويبين الشكل (٣) الجهد النشط لخلايا الأعصاب والعضلات وعضلات القلب. ومنه يلاحظ أن الشكل العام واحد ولكن قيمة الجهد والاستمرارية تزيد في حالة العضلات عن الأعصاب، أما في حالة عضلة القلب فإن الاستمرارية تزيد حتى ٣٠٠ ملي ثانية. ولكي تقوم الخلية بإنتاج جهد نشط آخر يجب أن يمر زمن محدد يسمى زمن عدم الاستجابة (refractory period)، خلال هذا الزمن - زمن الصمود - تقوم الخلية بإعادة تركيز أيوناتها في الداخل والخارج إلى مستواها كما في الحالة الساكنة .

● أسباب تكون الجهد النشط

أجريت دراسات عديدة لمعرفة أسباب تكون الجهد النشط وكيفية تحول الخلية من حالة السكون، من أهمها دراسة العالمان **هود جكن و هكسلي** (Hodgkin & Huxly) عام ١٩٥٣، وذلك باستخدام تقنية تثبيت الجهد والنماذج الرياضية، التي حصلا بموجبها على جائزة نوبل. وتتلخص هذه الدراسة أنه عند إثارة الخلية بمثير مناسب فإن نفاذية (permeability) غشاء الخلية تتغير ، وتبدأ في الزيادة بالنسبة لأيون الصوديوم الذي يتحرك من خارج الخلية ذات التركيز العالي إلى داخل الخلية ، أي

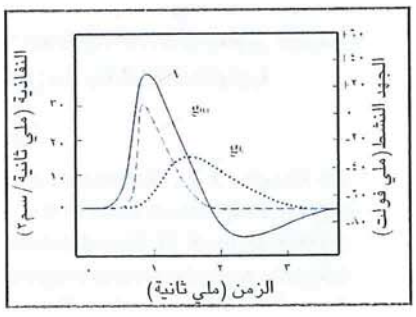


● شكل (٣)، الجهد النشط المتولد من خلايا الأعصاب ، العضلات ، القلب.

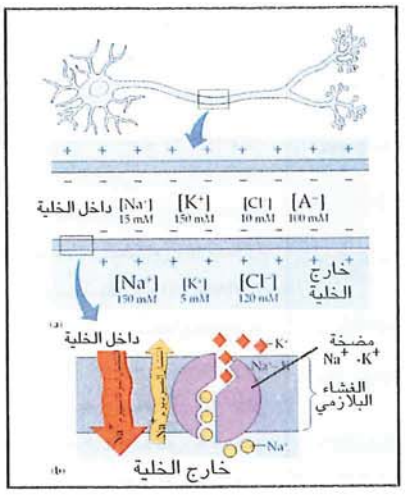
تبعًا للتدرج في التركيز. ونتيجة لذلك يقل جهد الغشاء، وبالتالي تزيد نفاذية الغشاء للصوديوم، ليزيد من استمرار دخوله، وينعكس ذلك على صورة مزيد من الانخفاض في الجهد الساكن إلى أن يصل إلى الصفر ويتعداه إلى قيم موجبة. عند هذا الحد تتكون في الغشاء عمليات تسمى عمليات الإخماد (inactivation) تكون من نتائجها وقف النفاذية بالنسبة لأيون الصوديوم وبداية زيادتها بالنسبة لأيون البوتاسيوم، كما هو موضح في الشكل (٤). في هذا الوقت يبدأ أيون البوتاسيوم في الخروج من داخل الخلية ـ حيث تركيزه كبير ـ إلى خارج الخلية تبعًا للتدرج في التركيز. ويستمر خروج البوتاسيوم إلى أن تستعيد الخلية جهدها الساكن مرة ثانية. ويلاحظ أنه بعد حدوث الجهد النشط فإن تركيز أيونات الصوديوم داخل الخلية تكون أعلى من المعتاد مع نقص في تركيز أيونات البوتاسيوم، وفي هذه الحالة فإن الخلية تكون غير قادرة على إنتاج جهد نشط آخر أو نبضة كهربائية إلا إذا عاد التركيز الأيوني داخلها كالمعتاد، ويتم ذلك بطرد أيون الصوديوم وإدخال أيون البوتاسيوم في عملية تسمى مضخة الصوديوم والبوتاسيوم (Na-K pump). وتحتاج هذه العملية إلى طاقة ـ بعكس عملية تكون الجهد النشط ـ تستمد من تفكك مركبات الفوسفات (ATP)، كما تحتاج أيضًا إلى زم، وذلك كما هو موضح في الشكل (٥).

آلية انتقال النبضات

يمكن للشعيرات العصبية تمرير النبضة الكهربائية إلى غيرها من الخلايا عن طريق نقاط الإتصال التي تسمح



● شكل (٤)، تغير نفاذية غشاء الخلية لأيونات الصوديوم والبوتاسيوم أثناء الجهد النشط.



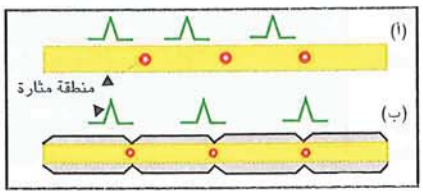
● شكل (٥) كيفية عمل مضخة الصوديوم بوتاسيوم خلال الغشاء عكس تركيز الأيونات داخل الخلية وخارجها.

بمرورها فقط في اتجاه واحد. وتعتمد سرعة توصيل النبضة الكهربائية العصبية على نوع العصب، قطره، وخواصه الكهربائية (المقاومة والسعة). ومن المعلوم أن الأعصاب تنقسم إلى نوعين هما:

* **العصب المغطى (myelinated nerve)**، ويتميز بأن غشاء نخاعه (myelin) ـ يغطي الساق ـ سميك بعض الشيء وتتخلله على مسافات متساوية فجوات صغيرة غير مغطاة يطلق عليها عقد رانفير (nodes of Ranveir)، نسبة لمكتشفها، ويوجد هذا النوع من الأعصاب في الثدييات والإنسان، ولكنه لايوجد في الكائنات ذات الحركة البطيئة مثل القواقع والديدان.

* **العصب غير المغطى (unmyelinated nerve)**، وهو عبارة عن عصب مغطى بغشاء رقيق متصل. يوجد في الإنسان في الأماكن التي لاتحتاج إلى ردة فعل عالي مثل حركة الأمعاء.

يوضح الشكل (٦) كيفية مرور النبضة العصبية خلال كل نوع من الأعصاب، ففي حالة العصب غير المغطى فإن النبضة تنتقل من مكان إلى آخر عن طريق التتابع، أي أن النبضة في منطقة معينة تعد مثيرًا كافيًا للأنتقال إلى المنطقة الأخرى، وبالتالي تنتج



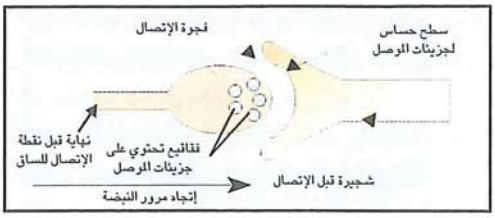
● شكل (٦) مرور النبضات الكهربائية (الجهد النشط) في العصب غير المغطى (أ) والمغطى (ب).

نبضة عصبية مشابهة تمامًا للأولى. بهذه الطريقة يمكنها قطع مسافات كبيرة دون أن يحدث لها أي تغير في خواصها. ولا يحدث هذا بالطبع في حالة مرور نبضة كهربائية خلال موصل (سلك كهربائي) إذ تتغير خواصها وتقل قيمتها بعد قطعها مسافة معينة نتيجة مقاومة الموصل ومن ثم تحتاج إلى تكبير لأن طريقة الانتقال مختلفة في الحالتين، ولو تمكن الانسان تقليد هذه الطريقة في التوصيل لأمكنه توفير كميات هائلة من الطاقة.

وفي حالة العصب المغطى، الشكل (٦ ب)، فإن النبضة العصبية تتكون عند العقدة لأنها أكثر الأماكن حساسية للإثارة. حيث يتم إثارة العقدة التالية والتي بدورها تنتج نبضة عصبية أخرى. أي أن النبضات عند إنتقالها تقفز من عقدة إلى أخرى، ولهذا فإن ميكانيكية سريان النبضات في هذه الحالة تسمى ميكانيكية القفز (Saltatory Mechanism). وتعد سرعة سريان النبضات في العصب المغطى أكبر بكثير من سريانها في الأعصاب غير المغطاة ذات القطر الواحد. وللمقارنة بين نوعي الأعصاب وجد أن سرعة مرور النبضة في عشرة آلاف شعيرة عصبية (nerve fiber) ذات الغشاء المغطى والتي يبلغ قطر كل منها ١٠ ميكرون ومساحة مقطعها من١ إلى٢مم٢ تماثل سرعة مرورها في نفس العدد من الشعيرات العصبية ذات الغشاء غير المغطى بمساحة مقطع يبلغ ١٠٠سم٢ لكل شعيرة. أي أن مساحة المقطع يجب أن تزيد بمقدار عشرة آلاف مرة عن حالة الغشاء المغطى. عليه فإن وجود الأعصاب ذات الغشاء المغطى في جسم الإنسان ليس الغرض منه إعطاء سرعة عالية لمرور النبضات العصبية فحسب، بل أنه في نفس الوقت يشغل حيزًا أقل، وبذلك تكون هناك أقصى إستفادة. فلو تخيلنا جدلاً أن الإنسان بسرعته ووظائفه الحالية كانت أعصابه جميعًا من النوع غير المغطى للزم زيادة في حجمه ووزنه نتيجة لزيادة أقطار أعصابه، وهذا بالتالي يقلل الحركة ويزيد من استهلاك الطاقة، فسبحان الله الذي أتقن وصور.

الموصلات الكهربائية

ترتبط الخلايا العصبية مع بعضها البعض إما عن طريق ارتباط نهايات السوق (axon) بعضها مع بعض، أو مع الشجيرات أو الشجيرات بعضها مع بعض، أو أن كلا



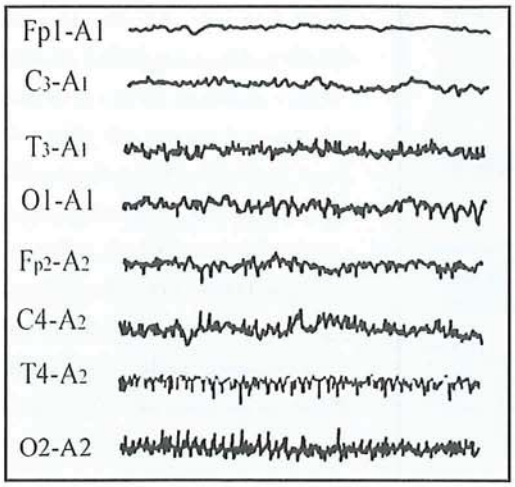
● شكل (٧) الطريقة الكيميائية لتوصيل النبضات من نهاية الساق عبر نقطة الاتصال إلى شجيرات الخلية الأخرى.

من السوق والشجيرات تتصل بجسم الخلية. وتتم جميع هذه الإتصالات عن طريق نقاط التوصيل (Synapses) التي تقوم بتوصيل الجهد النشط (النبضة الكهربائية) من مكان إلى آخر ولاتسمح له بالمرور في الاتجاه المضاد. كذلك تتم طريقة عمل نقاط التوصيل إما عن طريق موصلات كيميائية أوموصلات كهربائية. يعتمد التوصيل عن طريق الموصلات الكيميائية، شكل (٧)، على الإثارة التي يحدثها السائل الموصل (Transmitter) لسطح المستقبل على الشجيرات العصبية، ويتم ذلك بواسطة نقاط التوصيل والتي هي عبارة عن عقد يفصل بينها وبين نهاية الساق فجوة (gap) يبلغ مداها واحد ميكرون من سطح مستقبل على شجيرة نهاية الساق تسمى قبل نقطة التوصيل (Presynaptic)، وتحتوي على فقاقيع تتضمن السائل الموصل، فعند وصول الجهد النشط إلى نهاية الساق فإن الفقاقيع المحتوية علي السائل الموصل ـ أشهر أنواعه الأستيل كولين ـ تنتشر وتنفجر خلال فجوة نقطة الإتصال في زمن أقل من جزء من الألف من الثانية لتقوم بإثارة السطح المستقبل على الشجيرة لينتج جهد نشط مماثل للأول. في نفس الزمن تتكسر مادة الأستيل كولين الموجودة في الفجوة وتختفي، وذلك بفضل إنزيم الاستيل كولين إستريز (acteylcholinesterase)، وبذلك يوقف مرور أي جهد من الناحية الأخرى وفي نفس الوقت يُعد الفجوة لاستقبال جهد نشط آخر. وبفضل نقط الإتصال هذه فإن مرور النبضات الكهربائية العصبية يكون إما صاعدًا إلى المخ كما في حالة الإشارات الحسية، أو هابطًا كما في حالة الإشارات الحركية.

بالإضافة إلى مادة الاستيل كولين أمكن أخيراً التعرف على موصلات كيميائية أخرى منها موصلات جاما أمينوبيوتريت (aminobutyrate) وأسبرتيت (aspartate) ودوبامين (dopamine) وابنفيرين (epinephrine) وجلوتاميت (glutamate) وجليسن (glycine)، والهستامين (histamine) ونورابنفيرين (norepinephrine) وسيروتونن (serotonin)، ومواد عديدة أخرى.

من جانب آخر وجُد أن أي خلل في إفراز الموصلات المذكورة يسبب أمراضاً نفسية وأمراضاً تتعلق بالذاكرة. وتلعب الموصلات سابقة الذكر دورًا هامًا في حفظ المعلومات في المخ عن طريق تغيير مسارات الشبكات العصبية الهائلة الموجودة في المخ بطرق لا يتسع هذا المقال لذكرها، ويمكن تسجيل النشاط الكهربائي الهائل لخلايا المخ ـ كثيرة العدد ـ بواسطة رسم ذبذبات المخ (Electroencephalogram-EEG)، شكل (٨)، باستخدام أقطاب توضع في أماكن محددة على المخ كما هو موضح في شكل (٩)، وتعد قيم الجهود المسجلة قليلة ـ في حدود ٥٠ ميكروفولت ـ وهذا يستلزم وجود أجهزة تسجيل متناهية الدقة، كذلك يعتمد تردد هذه الموجات على الحالة الذهنية للشخص تحت الاختبار، فمثلا عندما يكون الشخص في حالة راحة فإن الترددات السائدة تكون في حدود ٨ إلى ١٣ هيرتز (Hz)، وتسمى موجات ألفا (alpha waves). أما إذا كان منتبهًا تكون الموجات أكثر ترددًا ـ أكثر من ١٣ هرتز (HZ) ـ وتسمى موجات بيتا (beta waves).

توجد أيضًا موجات ذات ترددات أقل وتظهر في الحالات المرضية مثل موجات ثيتا ... (٤ إلى ٧ هيرتز)، موجات دلتا (٠,٥ إلى ٣,٥ هيرتز)، كما أن انعدام



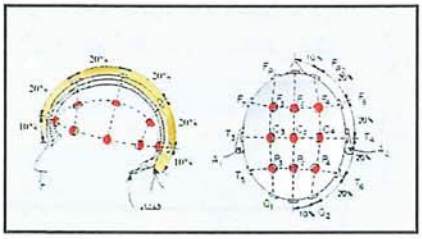
● شكل (٨) رسم ذبذبات المخ بأقطاب موضوعة في مسافات معينة من القطب المرجعي الموضوع على الأذن A1 أو A2.

الذبذبات المسجلة بواسطة جهاز (EEG) يعد دليلاً دامغاً على الوفاة الدماغية، خاصة في الحالات الحرجة عندما يكون المريض في غرفة العناية المركزة، حيث يعتمد على الحياة بفضل التغذية والتنفس الصناعي.

كذلك يمكن تسجيل النشاط الكهربائي للأعضاء المختلفة للجسم مثل العضلات وشبكية العين والقلب، وذلك بغرض التشخيص والعلاج.

الخلاصة

يتم الاتصال والتحكم في الجسم بواسطة طرق معقدة جدًا عن طريق عمل الأعضاء المختلفة ورقابة وإدارة المخ عن طريق المعلومات التي تصل إليه وتصدر منه بواسطة النبضات الكهربائية العصبية ذات الإتجاه المحدد. كما أن هذه النبضات مسؤولة عن حفظ المعلومات في طبقات المخ المختلفة، وبعددها الهائل وتفرعاتها. وقد قلد الإنسان هذه الطريقة في عمل الحواسب السريعة (super computsers) بتطوير ذاكرتها بحيث تعمل بطريقة الطبقات المتوازية.



● شكل (٩) الأماكن العالمية لأماكن وضع ١٠ ـ ٢٠ نظام للأقطاب المستخدمة في تسجيل رسم ذبذبات المخ (EEGS).

المراجع :

(1) Cameron J. R., Skofromick J. G. Medical Physics, John Wiley & Sons (1978).

(2) De Callatay A. M. Natural and artifical intelligence processor systems compared to the human brain. Elesevier science Pub., 1986.

(3) Rose S. The making of memory (from molecules to mind), Bantam Book, 1993.