

## طاقة جسم الانسان و النبض العصبي

### Human body energy and the nerve impulse

زاوي كاميليا<sup>1</sup>،

<sup>1</sup> قسم العلوم و الهندسة ، جامعة Uni 24K ستراسبورغ (فرنسا)، Kamilyazouaoui15@gmail.com

تاريخ النشر: جوان/2025

تاريخ القبول: 2025/06/01

تاريخ الإرسال: 2025/04/22

#### المخلص: Abstract:

نحاول في هذا المقال المرجعي في كهربية الاعصاب، توضيح مناطق تمركز الطاقة داخل جسم الانسان، وتقديم نظرة للتطورات التي أدت إلى المفهوم الحالي لإمكانية الفعل كظاهرة كهربائية وتوضيح وظائف الخلايا العصبية ومهام الدافع العصبي ونقل الموجات العصبية .

في بداية مقالنا هذا تم التطرق الى الأنظمة البيولوجية، ووصف الخلية العصبية وأجزائها، مبرزا المهام التي تؤديها في أجزاء مختلفة من جسم الانسان، وأنواع العمل لديها، ونقل الإشارات الخلوية، وتحديد الخصائص الكهروكيميائية التي يمكن أن تختلف حسب حجم جسم الخلايا العصبية.

لقد قدمنا في المقال وصفا لمفهوم الازدواج في التفاعلات الحية و التذكير بخصائص الطاقة وتمركزها وإعطاء أمثلة عن مفهوم الميتابوليزم(الايض)، مبرزا حاجيات الخلية من الطاقة ومواد البناء الأساسية.

كما حاولنا أن نعطي شرحا مبسطا عن الجهاز العصبي عند الانسان وتميزه بعدة سبل تسهل انتقال المعلومات والاحساسات الى الدماغ، الذي بدوره يقوم بارسال أوامر وتعليمات لعضلات الجسم المختلفة، لتتجاوب مع تلك المعلومات وتسلك هذه الأوامر سبلا غير التي سلكتها المعلومات الواصلة للدماغ، كما وضحنا كذلك مكونات الجهاز العصبي واختصاصه بتنظيم العديد من وظائف الجسم الداخلية.

وفي الأخير تطرقنا الى شرح مميزات الخلايا العصبية عند ارسالها أو تلقيها رسائل، فانها بذلك تنقل نبضات كهربائية على طول محاورها، التي تتم تغطيتها بغلاف المايلين متعدد الطبقات، مما يسرع من انتقال الإشارات الكهربائية على طول المحاور العصبي، وتؤكد على أهميتها في اكتساب فهم أكمل لطبيعة الدافع العصبي، وآلية انتشارها على طول الليف العصبي، وعلاقة مضخة الصوديوم و البوتاسيوم، بعودة الدافع العصبي الى كمون الراحة، وتستحق هذه النماذج مزيدا من الاهتمام في أبحاث علم الأعصاب، وتوضيح هاته المفاهيم، حيث تساعد في معالجة وحل عدد من الأسئلة في علم الأحياء والأعصاب الأساسي والتطبيقي، التي ظلت حتى الان موضع اهتمام و دراسة بحثية.

**الكلمات المفتاحية:** الطاقة، نبض العصب، كمون العمل، العصبون، الإشارات الكهربائية.

### **Abstract:**

In this reference article on neuroelectronic, we attempt to clarify the areas of energy concentration within the human body, provide insight into the developments that led to the current concept of action potential as an electrical phenomenon, and clarify the functions of neurons, the functions of nerve impulses, and the transmission of nerve waves.

The beginning of this article touched on biological systems, describing the neuron and its parts, highlighting the tasks they perform in different parts of the human body, their types of work, the transmission of cellular signals, and identifying the electrochemical properties that can vary depending on the size of the neuron cell body.

In this article, we described the concept of duality in living interactions, recalled the characteristics of energy and its concentration, and provided examples of the concept of metabolism, highlighting the cell's need for energy and basic building materials.

We also attempted to provide a simplified explanation of the human nervous system and its distinctions in several ways that facilitate the transmission of information and sensations to the brain, which in turn sends commands and instructions to the body's various muscles, so that they respond to this information and follow these commands in ways different from those taken by the information reaching the brain. We also explained the components of the nervous system and its role in regulating many of the body's internal functions.

Finally, we addressed the characteristics of neurons when sending or receiving messages. They transmit electrical impulses along their axons, which are covered by a multi-layered myelin sheath, accelerating the transmission of electrical signals along the axon. This emphasizes their importance in gaining a more complete understanding of the nature of nerve impulses, the mechanism of their propagation along the nerve fiber, and the relationship between nerve impulses and impulses. The sodium-potassium pump, with the return of the nerve impulse to the resting potential, and these models deserve more attention in neuroscience research, and the clarification of these concepts, as they help address and solve a number of questions in basic and applied biology and neuroscience, which have remained the subject of interest and research study until now.

solve a number of questions in basic and applied neurobiology, which have so far been at our fingertips.

**Keywords:** energy, nerve impulse, action potentials, neuron, electrical signals

## المدخل Introduction

يتطلب مسار العمليات الحياتية في جسم الإنسان طاقة ، من أجل فهم أساسي لظاهرة الصحة و الآليات الأساسية لحدوث خلل في انتاج الخلايا للطاقة و توزيعها في الجسم حسب الحاجة وتقوم هذه الخلايا بعدة أنواع من العمل لغرض الحفاظ على حياتها وضمان بقائها، يمكن تقسيم هذه الأعمال إلى ثلاثة أنواع :

- ١- **العمل الميكانيكي** : وهو التغير في الموضع أو الإتجاه بحيث يؤدي هذا العمل إلى تحرك الكائن الحي أو الخلية ضد قوى الجاذبية أو الإحتكاك ومن أمثلة هذا العمل تقلص العضلات عند الجري .
- ب- **العمل الكهربائي أو النقل الفعال**: وهو إنتقال الجزيئات أو الأيونات عبر الغشاء البلازمي ضد التدرج .
- ج- **العمل الكيميائي** : وهو العمل الذي يؤدي إلى تكوين الروابط الكيميائية لغرض بناء المركبات التي تحتاجها الخلايا، مثل عمليات بناء البروتينات ، السكريات ، الدهون (دوناتو، اليساندرا، 2019).<sup>6</sup>

## الأنظمة البيولوجية

الأنظمة البيولوجية عبارة عن شبكة معقدة من الكيانات ذات الصلة بيولوجيا، يمتد التنظيم البيولوجي على عدة مقاييس ويتم تحديده بناء على هياكل مختلفة اعتمادا على طبيعة النظام، أمثلة على النظم البيولوجية على نطاق واسع هي تجمعات الكائنات الحية، على مقياس الأعضاء والأنسجة في الثدييات والحيوانات الأخرى، نجد على سبيل المثال الجهاز الدوري والجهاز التنفسي والجهاز العصبي، من المقياس الصغير أن تشمل أمثلة الأنظمة البيولوجية بالمناظير النانوية الخلايا والعضيات والمجمعات الجزيئية والمسارات التنظيمية، حيث لا ينبغي الخلط بين النظام البيولوجي والنظام الحي، مثل الكائن الحي، ان المحاكاة والتقليد يضعاك في موقف القوة والحيوية والنشاط الذي تتمتع بهم القدرة المختارة لك ان المحاكاة والتقليد تفيد بخلق الامكانية ولا يمكن ان يتم ذلك بطريقة سريعة ونشطة الا من خلال الفيزيولوجيا انها أداة التغير السريع عبر إدارة الجسد الا انه أيضا يوجد مدخل اخر يفيد كذلك في عملية التغير نحو الأفضل، انه التحكم بالطاقة إذا أردنا ان نعيش كما ينبغي فعلينا الاهتمام كثيرا بأمر طاقتنا، فالطاقة هي حياة، والحياة زمن وحياتك طاقة وزمن، والزمن موجود دائما وبشكل متساوي بين كل البشر، والذي ينقصنا هو الطاقة والتحكم بها، ان الطاقة المشغل الأساسي لكل النشاطات على الأرض، والطاقة هي قوة محرك تولد النشاط والحيوية والحماس اللازمين لانجاز المهام والحصول على النتائج المرغوبة ان الطاقة هي الكيمياء الحيوية داخل جسدك وإذا عمت هذه الكيمياء الفوضى، فان الدماغ سيصبح ضعيفا في أدائه مما سيؤثر علنا الجسم بأكمله ان الحصول على النشاط والحيوية يتطلب نظام غذائي يمدك بأفضل وأعلى طاقة ممكنة التي تعمل على تقوية جسدك ليكون داعم حقيقي لعقلك وافكارك

ومشاعرك، يتم التنظيم البيولوجي على عدة مقاييس و يتم تحديده بناء على هياكل مختلفة اعتماداً على معرفة النظام، (واو موجيانو، و اخرون 2018)<sup>11</sup>.

ان الدراسات الحديثة تؤكد على ان الجسم يحتوي على 114 مركز محدد تتجمع أو تتمركز الطاقة فيها بشكل أكبر من المناطق الأخرى ، وتسمى بالشاكرات (CHAKRAS)، والتي تعني العجلة الدائرة ، وهو الشكل الذي تكونه مراكز الطاقة هذه داخل الجسم، وللجسم سبعة مراكز (شكرات) أساسية للطاقة بالجسم و هي :

1- العجز (توجد بين العصعص وسرة البطن ، وهي منطقة أسفل الظهر)،

2 – الجذر ( منطقة العصعص )،

3 – البلعوم،

4 – القلب،

5 – السرة،

6 - العين الثالثة ( توجد بين الحاجبين)،

7- التاج،

لهذه المراكز وظائف اتصال باثني عشر مساراً داخل الجسد ودور هذه المسارات هو إيصال الطاقة إلى كل جزء من أجزاء الجسم على شكل أنماط اهتزازية ، وعرفت منذ القدم هذه المراكز بالتحديد. ( اميمة السلوم ، 2019)<sup>1</sup>.

و يأتي بحثنا هذا لالقاء الضوء على علاقة طاقة الجسم بطبيعة النبض العصبي او ما يعرف بالدفع (impulse) العصبية او كمون العمل (action potential ، Carolyn L powell and al, 2021; Xinvu Wang and al, 2024)<sup>13,27</sup> و لمحاولة الإجابة على التساؤلات التالية :

1- ما علاقة طاقة الجسم بالنبض العصبي ؟

2- كيف يمكن توليد النبض العصبي؟

3- ماهو سبب انتشار النبض العصبي على طول المحوار العصبي (Axone) ؟

و لمعالجة هذه التساؤلات تطرقنا للنقاط التي لها علاقة بالموضوع و التي تكمن فيما يلي:

## 5. الطاقة

ان الجسم آلة معقدة، حيث يدخل الطعام اليه ويخرج طاقة. فرغم قدرته على استخلاص الجلوكوز من جميع العناصر الغذائية الكبرى ، إلا أن الجسم يفضل استخدام الكربوهيدرات كمصدر للطاقة. جميع المغذيات الكبرى يمكن أن تكون مصدراً للطاقة، والدهون في الواقع تحتوي على أكبر قدر منه. لكن الدهون والبروتينات تستغرق وقتاً أطول بكثير للتحلل، لذا يفضل الجسم الكربوهيدرات.

لا يستطيع الدماغ استخدام الدهون مباشرة كمصدر للطاقة، و يستخدم البروتين كملاذ أخير نظراً لوظائفه الأكثر أهمية كمحفز للتفاعلات الكيميائية، رسخت صناعة الحمية الغذائية هذا الاعتقاد الخاطئ بأن جميع الكربوهيدرات ضارة.

الكربوهيدرات البسيطة، مثل السكر المكرر، تعالج بسرعة كبيرة، مما يؤدي إلى ارتفاع كبير في الطاقة ثم انخفاض حاد، أما الكربوهيدرات المعقدة، مثل الأرز البني، فتتحلل ببطء أكبر، مما يؤدي إلى إطلاق تدريجي ومستدام للطاقة.

حتى في حال عدم توفر الكربوهيدرات، سيستمر الجسم في العمل بتحويل الدهون والبروتينات إلى طاقة، تستغرق هذه العملية وقتاً أطول، ولهذا السبب غالباً ما يشعر متبعو حمية الكيتو [حمية شائعة لإنقاص الوزن منخفضة الكربوهيدرات وعالية الدهون] بالخمول.

وبضيف أن وقت تناول الطعام يلعب دوراً أيضاً في مستويات الطاقة طوال اليوم، "على سبيل المثال، قد يؤدي عدم تناول وجبة الإفطار إلى الخمول [الإرهاق]، إذ لا يتوفر للجسم مصدر طاقة فوري، تظهر الأبحاث أن تناول خمس وجبات صغيرة يومياً، بدلاً من ثلاث وجبات كبيرة، يوفر طاقة أكثر استدامة طوال اليوم."

### 1.5/ انفاق الطاقة

يستهلك الجسم حوالي 8700 كيلوجول يومياً ليبقى على قيد الحياة، إن الدماغ يستهلك الجزء الأكبر من هذا الرقم مقارنة بأي عضو آخر، ثم تأخذ الأجهزة الوظيفية، مثل الجهاز القلبي الوعائي والجهاز الهضمي، نصيبها، بينما تقلل أجهزة الصيانة التي تصلح الخلايا أو تنتجها من الطاقة المتاحة، بينما يستهلك الجهاز المناعي بعض الطاقة للوقاية من الأمراض - وأكثر من ذلك بكثير لمكافحة العدوى، ثم يتم تخزين أي طاقة غير مستخدمة على شكل دهون في الجسم لاستخدامها عند الحاجة الى وقود إضافي.

يؤثر النشاط البدني على استهلاك الطاقة، على سبيل المثال، يحرق الجري لمسافة خمسة كيلومترات ما بين 1300 و 1500 كيلوجول لدى شخص متوسط الطول والوزن، فإذا كان النشاط البدني يحرق الطاقة، فلماذا يوصي الخبراء بممارسة الرياضة لزيادة مستويات الطاقة؟.

على المدى القصير، يستهلك التمرين الطاقة، وقد يشعر الجسم بالتعب بعده، أما على المدى الطويل، فيعلم التمرين الجسم استخدام الطاقة بكفاءة أكبر، مع مرور الوقت، يبدأ الجسم في استخدام طاقة أقل للقيام بالأنشطة اليومية العادية، مما يجعلك تشعر بنشاط أكبر، قد يستغرق هذا التأثير من أسبوعين إلى شهرين، حسب نوع التمرين وتكراره.

### 2.5/ مفهوم الطاقة الحرة: تسمى كذلك بطاقة (جيبس) الحرة نسبة إلى العالم (Gibbs William)

ويرمز لها بالحرف G .

كما تم الإشارة إليه سابقا يصعب قياس الكمية الكلية للطاقة الحرة لذلك يلجأ إلى قياس التغير في الطاقة الحرة  $\Delta G$  حيث :  $\Delta G$  لتفاعل ما ( $A \rightarrow B$ ) هو الفرق بين طاقة النواتج وطاقة المواد المتفاعلة :

$$\Delta G = G_B - G_A$$

### 3.5/ كيفية قياس التغير في الطاقة الحرة $\Delta G$

لقياس التغير في الطاقة الحرة نميز حالتين :

- إذا كانت  $\Delta G$  سالبة ( $G_A < G_B$ ) فإن التفاعل تلقائيا ويسمى تفاعل ناشر.
  - إذا كانت  $\Delta G$  موجبة ( $G_A > G_B$ ) فإن التفاعل لا يسير تلقائيا ( ماص ).
- ملاحظة :** تسير التفاعلات تلقائيا نحو الحالة الأقل طاقة حرة (طاقة النواتج تكون ذات طاقة أقل من طاقة مواد التفاعل).

**4.5/ التغير في الطاقة الحرة القياسي  $\Delta G^0$ :** يعتمد التغير في الطاقة الحرة  $\Delta G$  لتفاعل ما على نوع وتركيز المواد المتفاعلة والنواتجة والشروط التجريبية من حرارة و PH (نيلسون دفيد، كوكس، م. ميكائيل 2013).<sup>10</sup>

لنأخذ مثلا يوضح هذا بحيث نفترض التفاعل التالي :  $A + B \rightarrow C + D$

يحدد التغير في الطاقة الحرة بالقانون التالي :  $\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln \frac{[C][D]}{[A][B]}$  التغير في الطاقة القياسي.

**R :** ثابت الغازات ، **T :** درجة الحرارة المطلقة ، **Ln :** اللوغاريتم النيبيري ، **Keq :** ثابت الإتزان للتفاعل.

عند الإتزان تكون :  $\Delta G^0 = 0$  و  $\frac{[C][D]}{[A][B]} = Keq$

بعد التعويض نتحصل على :  $\Delta G^0 = - RT \ln Keq$

$$2,3RT \log Keq \rightarrow Keq = 10^{-\Delta G^0 / 2.3RT}$$

إذا إعتبرنا أن درجة الحرارة  $25^0$  تصبح :  $T = 273 + 25 = 298$  ، وبتعويض قيمة

$$R = 1,98 \times 10^{-3}$$

$$\Delta G^0 = -1.36 \log Keq \quad \text{و} \quad Keq = 10^{-\Delta G^0 / 1.36}$$

من خلال هذا القانون يمكن حساب التغير في الطاقة الحرة القياسي وذلك عند تحديد ثابت الإتزان

Keq للتفاعل :

| حالة التفاعل     | $\Delta G^0(\text{KJ/mol})$ | Keq       |
|------------------|-----------------------------|-----------|
| تلقائي (ناشر)    | -23                         | 104       |
| تلقائي (ناشر)    | -11                         | $10^2$    |
| اتزان            | 0                           | $10^0=1$  |
| غير تلقائي (ماص) | 11                          | $10^{-2}$ |
| غير تلقائي (ماص) | 23                          | $10^{-4}$ |

جدول (1) يبين العلاقة بين  $\Delta G^0$  و keq

### 5.5/ مفهوم الإزدواج في التفاعلات الحية couplées Réactions

تسير العديد من التفاعلات الحيوية الأساسية ضد الإتجاه التلقائي ( $\Delta G^0 > 0$ ) ( من أمثلة هذه التفاعلات عملية تصنيع المركبات الكبيرة).

تتم هذه التفاعلات غير التلقائية (الماصة للطاقة) عن طريق الازدواج مع تفاعلات تلقائية (ناشرة للطاقة) . يمكننا تحديد الإتجاه التلقائي لزوج من التفاعلات الحيوية عن طريق حساب محصلة المعادلتين وجمع الطاقة في كلا التفاعلين .

يلاحظ أن محصلة الطاقة تكون سالبة مما يدل على أن محصلة التفاعلين تعطي تفاعل ناشر للطاقة.

### 6.5/ المركبات الغنية بالطاقة:

تنقسم الكائنات الحية من حيث مصدر الطاقة إلى ضوئية وكيميائية حيث تستمد الأولى طاقتها من الشمس في حين تستمد الثانية طاقتها من المركبات الكيميائية، وبالرغم من هذا الاختلاف في مصدر الطاقة إلا أنها تشترك كلها في إنتاج صور محددة من الطاقة الكيميائية ( تشترك كلها في إنتاج نفس النوع من المركبات الغنية بالطاقة ) . أهم هذه الصور نجد المركبات الفوسفاتية الغنية بالطاقة والمساعدات الإنزيمية المرجعة (دوناتو، اليساندرا، 2019).<sup>6</sup>

هناك العديد من المركبات الغنية بالطاقة منها ما يعرف بأن هيدريد الفوسفوريك مثل ( ATP و ADP ) ومركبات الإينولفوسفات (PEP) (phosphoenolpyruvate) والأسيل فوسفات (مثل: ثنائي فوسفوجليسيريك 1,3DPG) ((diphosphoglycerate) .

ومركبات قوانيدينوفوسفات مثل: الفوسفات كرياتين (PC) (phosphate) créatine كما تشمل المركبات الغنية بالطاقة مركبات الأستر الكبريتية (مثل) AcetylCoA .

**ملاحظة:** تحرر المركبات الغنية بالطاقة عند إماقتها طاقة أكبر من المركبات الأيضية العادية (مثل الجلوكوز) ، وتتميز المركبات الغنية بالطاقة بكونها مستقرة في حين أنها لا تخزن لفترات طويلة.

## 7.5 / موقع ATP بين المركبات الغنية بالطاقة :

بالرغم من وجود العديد من المركبات التي تحرر طاقة أكبر مما تحرره جزيئة ATP إلا أن هذه الأخيرة تعتبر أهم المركبات الأساسية الغنية بالطاقة وذلك راجع لكون أن ATP يحتل موقعا وسطيا بين المركبات الغنية جدا بالطاقة مثل (PC، DPG 3,1، PEP) وباقي المركبات الأخرى ذات الطاقة المنخفضة .

هذا الموقع الهام يمكن جزيء ال:ADP من إستقبال الفوسفات والطاقة من المركبات ذات الطاقة العالية لتكوين ATP، كما يمكن لجزيئة ATP أن تتخلى عن الفوسفات والطاقة لصالح المركبات ذات الطاقة المنخفضة (وهي أغلب المركبات) يمكن إعتبار الزوج (ADP/ATP) كنظام مستقبل ومعطي وسطي خاصة مع العديد من الإنزيمات التي تنشط تفاعلات الإزدواج (بار جوزاف، و اخرون 2003).<sup>2</sup>

## 8.5 / أنواع المركبات الغنية بالطاقة

1. أنهيدريد حمض الفوسفوريك، مثل: ATP, ADP , GTP, GDP وغيرها من النيكليوتيدات ثلاثية وثنائية الفوسفات والنيكليوتيدات السكرية مثل UDP- glucose وثنائي الفوسفات ppi.

2. أنهيدريد حمض الفوسفوريك والكربوكسيل، مثل : DPG

3. مركبات الإينول فوسفات، مثل: PEP

4. مركبات قوانيدين فوسفات، مثل: الفوسفات كرياتين و أرجينين فوسفات.

5. النيكليوتيدات الحلقية، مثل: AMP الحلقي و GMP الحلقي.

6. إسترات الARN: مع الأحماض الأمينية: وهو ما يعرف بتنشيط الأحماض الأمينية ونقلها لتصنيع البروتين ( طاقة التحلل تعادل تقريبا تلك الناتجة عن تحلل ATP) .

7. مركبات ثيول إستر، مثل CoA Acetyl: و CoA Succinyl.

8. المرافقات الإنزيمية البيريدينية، مثل NADH: و NADPH

9. مركبات أخرى، مثل : النيكليوتيدات السكرية ومركبات (S-AdenosylMethionine) (SAM) .

| $\Delta G^0$ (KJ/mol) | إسم المركب                   |
|-----------------------|------------------------------|
| -62                   | Phosphoenolpyruvate (PEP)    |
| -49                   | Diphosphoglycerate (1,3-DPG) |
| -43                   | Phosphocréatine (PC)         |
| -33                   | Pyrophosphate                |
| -32                   | Phospho - arginine           |
| -32                   | ATP→(AMP+PPi)                |
| -32                   |                              |
| -30                   | Acetyl → A                   |
| -21                   | ATP → (ADP+PPi)              |
| -14                   | Glucose,1 - phosphate        |
| -9                    | Glucose,6 - phosphate        |
|                       | Glycerol,3 - phosphate       |

### جدول (2) يبين أنواع المركبات الغنية بالطاقة

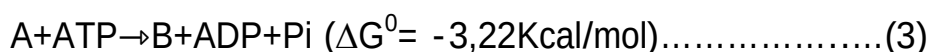
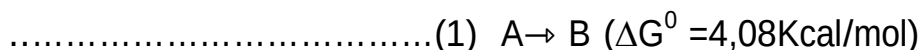
**ملاحظة :** يقوم الـ ATP بدور فعال في جعل التفاعلات الماصة (غير التلقائية) ممكنة وذلك عن طريق توفير الطاقة اللازمة لحدوثها.

**مثال:** ليكن لدينا التفاعل التالي: (A→B) ،

التغير في الطاقة الحرة القياسي لهذا التفاعل =  $\Delta G$  (mol/08Kcal,4

عند درجة حرارة 25 درجة مئوية . نقوم بحساب ثابت الإتزان -10 =  $Keq = 10^{-\Delta G^0/2,3RT}$

$\Delta G^0/1,36 = 10^{-4,08/1,36} = 10^{-3}$  لدينا من ناحية أخرى  $Keq = [A] [B] = 1000$  : هذه القيمة تدل على أن هذا التفاعل مستحيل لأن تركيز النواتج أقل بكثير من تركيز مواد التفاعل . لحدوث هذا التفاعل يجب توفير طاقة عن طريق حدوث إزدواج مع تفاعل إمامة (تحلل) .



$$Keq = 10^{-\Delta G^0/2,3RT} = 10^{-(-3,22)/1,36} = 10^{2,36} = 233,15$$

$$K_{eq} = \frac{[B][ADP][Pi]}{[A][ATP]} \rightarrow \frac{[B]}{[A]} = \frac{[ATP]}{[ADP][Pi]} \times K_{eq} = \frac{[ATP]}{[ADP][Pi]} \times 233,15 / \frac{[ATP]}{[ADP][Pi]} = 500 \rightarrow \frac{[B]}{[A]} = 500 \times 233,15 = 116575$$

أي عند الإتزان يكون تركيز B أكثر بكثير من تركيز A مما يدل على أن التفاعل تام تقريبا.

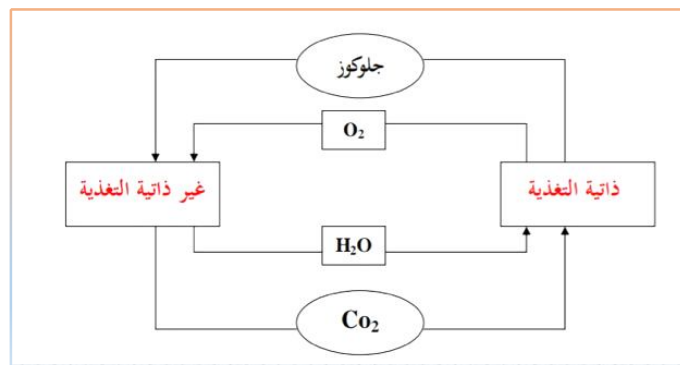
**مفهوم الميتابوليزم:** الميتابوليزم كلمة أتت من الإغريقية والتي تعني التحول أو التغير، يعرف الميتابوليزم على أنه مجموع التحولات الكيميائية التي تحدث داخل الكائنات الحية والضرورية للحفاظ على حياتنا.

تتم التفاعلات الكيميائية داخل الخلايا الحية بشكل منظم ومنسق وغالبا ما تتم هذه التفاعلات في صورة سلسلة مفتوحة أو حلقة (دورة) ويتم التداخل بين هذه السلاسل والدورات لينتج عن ذلك شبكة معقدة جدا من التفاعلات الحيوية، يسمى الميتابوليزم باللغة العربية الإستقلاب أو الأيض (ج . بيرنستوك، و آخرون 2009).<sup>4</sup>

#### ملاحظات:

**1.** رغم الاختلاف الكبير بين الكائنات الحية من حيث الحجم والشكل والوظائف التي تقوم بها إلا أنها جميعا تشترك في الكثير من الدورات الإستقلابية الأساسية.

**2.** يمكن تقسيم الكائنات الحية من حيث مصدر الطاقة ( كيفية حصولها على الطاقة ) إلى قسمين ذاتية التغذية وغير ذاتية التغذية ، كما يمكن تقسيمها حسب إحتياجها للأوكسجين إلى قسمين كائنات هوائية وكائنات غير هوائية ( يعمل الأوكسجين كمستقبل للإلكترونات لإنتاج الطاقة ) .



شكل (1) تخطيطي يبين كيفية تبادل مختلف الجزيئات الحيوية بين الكائنات الحية ذاتية التغذية وغير ذاتية التغذية

**طرق الهدم وطرق البناء:** يمكن تقسيم التفاعلات الحيوية التي تحدث داخل الخلايا الحية إلى قسمين أساسيين هما :

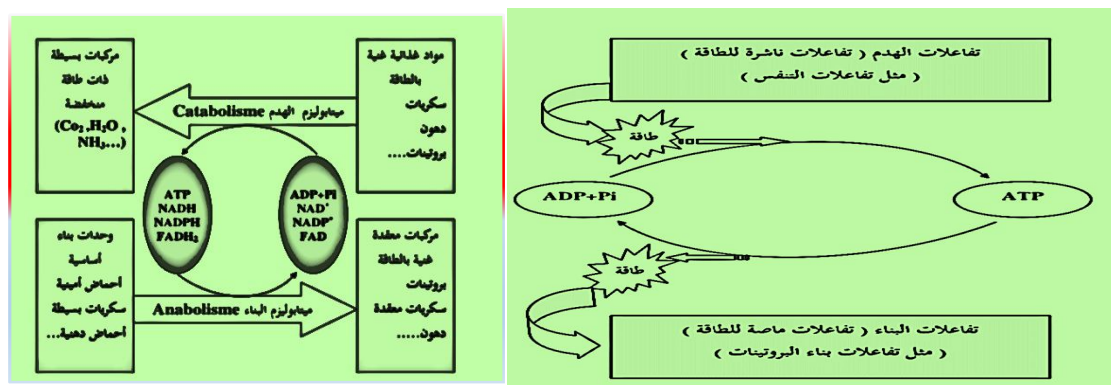
## ( ميتابوليزم الهدم - Catabolisme ) و ( ميتابوليزم البناء - Anabolisme ).

( أ ) ميتابوليزم الهدم **Catabolisme**: يشمل كل التفاعلات التي تؤدي إلى أكسدة وتفكك الجزيئات الغذائية (سكريات، دهون، بروتينات...) إلى مركبات بسيطة ( حمض اللبن، الإيثانول،  $\text{CO}_2$  ..... ).

ينتج عن هذه العملية طاقة على شكل ATP، كما يمكن أن تظهر على شكل إلكترونات محمولة على المرفقات الإنزيمية  $\text{NAD}^+$  ,  $\text{NADP}^+$ .

( ب ) الايض البنائي **Anabolisme** يشمل كل التفاعلات التي تؤدي إلى بناء المركبات التي تحتاجها الخلية ابتداء من المركبات البسيطة، من بين المركبات التي يتم بناؤها ( البروتينات ، السكريات المعقدة ...).

تفاعلات البناء هي تفاعلات (ماصة للطاقة ) لذلكفها تحتاج إلى إمداد مستمر من الطاقة لتكوين الروابط الجديدة ، يوفر الـ ATP جزء كبير من هذه الطاقة كما يمكن لـ  $\text{NADPH}$  أن يوفر جزء من تلك الطاقة ( جون ووكر و آخرون 1997؛ كازاو ياماداو آخرون 2006.<sup>5,8</sup>



شكل (2) تخطيطي يوضح كيفية إنتقال الطاقة بين تفاعلات الهدم وتفاعلات البناء شكل (3) تخطيطي يوضح درجة التداخل بين ميتابوليزم الهدم و ميتابوليزم البناء

**تنظيم الميتابوليزم:** يتم تنظيم الميتابوليزم بطريقة محكمة ودقيقة وسريعة التكيف حيث يتم هدم المركبات بالقدر اللازم لسد حاجيات الخلية من الطاقة ومواد البناء الأساسية، بينما يتم تخزين الفائض لإعادة إستعماله عند الحاجة.

لوحظ أن أغلب الكائنات الحية تقوم بتخزين المواد المنتجة للطاقة من سكريات ودهون لإستعمالها عند الحاجة، لكنها عادة لا تقوم بتخزين البروتينات والأحماض النووية، تعيش الكائنات الحية في بيئة متقلبة وغير مستقرة كما أن الكائن الحي يمكن أن يتحول من حالة الراحة إلى حالة النشاط الأقصى في فترة زمنية وجيزة ، هذا التحول الفيزيولوجي يتطلب تغير سريع في الميتابوليزم لتوفير الطاقة اللازمة لهذا النشاط ( ر.ل فايشو آخرون (1969).<sup>7</sup>

نستنتج ان الطعام الذي يتناوله الانسان بمختلف اشكاله (بروتينات، دهون، كربوهيدرات)، ينتج بعض الايض طاقة، يستعملها الجسم في نشاطاته الحيوية، و من ذلك نجد ان الجهاز العصبي يستعمل هاته الطاقة في نشاطاته، وعلى راسها النبض العصبي، الذي هو عيار على تغيرات كهروكيميائية.

### الجهاز العصبي

يعتبر الجهاز العصبي من أهم أجهزة الإنسان وهو المسؤول عن إحساسه بالمتغيرات البيئية حوله من ضوء وحرارة وحركة عن طريق النهايات العصبية أو أعضاء الحس الخاصة كالعين والأنف، بالإضافة إلى أنه الجهاز المسؤول عن تنظيم العمليات الحيوية اللازمة وذلك بالتعاون مع جهاز الغدد الصم، وينقسم الجهاز العصبي إلى قسمين أساسيين هما الجهاز العصبي المركزي والجهاز العصبي المحيطي (تورتورا وآخرون، 2016<sup>3</sup>)

يشكل المخ الجزء الأساسي في الجهاز العصبي المركزي فهو المسؤول عن تنظيم مختلف الوظائف التي تقوم بها باقي الأعضاء الأخرى كالحركة والإحساس وغيره ، وتنقسم قشرة المخ وظيفيا إلى ثلاثة أقسام أساسية قسم يتحكم في حركات الجسم وقسم يتحكم في وظائف الإحساس وقسم ثالث يتحكم في الوظائف الحسية الحركية.

### مكونات الجهاز العصبي (Nervous System)

يقسم الجهاز العصبي إلى قسمين أساسيين هما:

#### 1- الجهاز العصبي المركزي (Central nervoussysteme (CNS

ويشمل الدماغ والحبل الشوكي، ويتحكم الدماغ في معظم وظائف الجسم، بما في ذلك الإدراك و الحركة والشعور والفكر والكلام والذاكرة، حيث يرتبط الحبل الشوكي بالدماغ في جذع الدماغ ويتم حمايته بالفقرات التي تشكل العمود الفقري.

#### 2- الجهاز العصبي المحيطي (Périphérique nerveussysteme (PNS

يقسم الجهاز العصبي المركزي بدوره إلى قسمين هما : **المخ والنخاع الشوكي** ، كما يقسم الجهاز العصبي المحيطي بدوره إلى:

-الجهاز العصبي الطرفي الجسدي (الإرادي) والجهاز العصبي الطرفي المحيطي (الذاتي الإرادي) (معهد brain، 2011).<sup>9</sup>

### جهد العمل، النبض العصبي

يحدث جهد الفعل عندما تكون الخلية العصبية في حالة الإثارة أثناء إجراء النبضات العصبية. في هذه الحالة، يتم فتح قنوات الصوديوم وإغلاق قنوات البوتاسيوم، ينتج عن هذا تدفق هائل من أيونات الصوديوم داخل الخلايا مما يؤدي إلى توصيل النبضات العصبية.

**الاستقطاب** هو الحالة التي يكون فيها الغشاء مشحوناً الحالة، أثناء الاستقطاب، يكون الغشاء في حالة راحة محتملة، ان تركيز أيونات الصوديوم يزيد بحوالي 16 مرة خارج المحور العصبي عن تركيزه في الداخل. في المقابل، فإن تركيز أيونات البوتاسيوم يكون 25 مرة داخل المحور العصبي أكثر من الخارج تُعرف حالة الاستقطاب أيضاً باسم "الحالة غير المحفزة أو غير الموصلة"، نظراً للاختلاف في تركيز الأيونات داخل الغشاء وخارجه، يتم إنشاء تدرج محتمل يتراوح بين -20-200 مللي فولت) في حالة البشر، يكون التدرج المحتمل في حالة الاستقطاب تقريباً -70 مللي فولت).

في حالة الاستقطاب يكون الغشاء المحوري أكثر بدلاً من أيونات الصوديوم، نفاذ الأيونات البوتاسيوم ونتيجة لذلك، يتسبب في الانتشار السريع لأيونات البوتاسيوم<sup>24</sup> (Nino wili and al, 2022).

في حالة الراحة، تصبح إمكانات الغشاء مشحونة كهربائياً سالباً بسبب حركة أيونات البوتاسيوم موجبة الشحنة خارج الخلية ووجود بروتينات سلبية كهربائية في الفضاء داخل الخلايا.

نزع الاستقطاب حاف عتبة يبلغ حوالي -55 مللي فولت يسبب تغييراً في إمكانات الغشاء. يجب أن يكون منبه يشير إلى حالة محتملة متدرجة لأن العتبة قويا بدرجة كافية لتغيير إمكانات غشاء الراحة إلى إمكانات غشاء العمل. ينتج عن هذا تناوب في السلبية الكهربائية للغشاء لأن التحفيز يتسبب في تدفق أيونات الصوديوم (أيونات موجبة للكهرباء) بمقدار 10 مرات أكثر من حالة الراحة. لهذا، يتم فتح قنوات الصوديوم ذات الجهد الكهربائي. تعتمد حالة إمكانية الإجراء على طريقة "الكل أو لا شيء" ولها احتمالان :

- إذا لم يكن الحافز أكثر من قيمة العتبة، فلن يكون هناك حالة محتملة للعمل عبر طول المحاور العصبي.
  - إذا كان المنبه أكثر من قيمة العتبة، فإنه سيولد دفعة عصبية تنتقل عبر كامل طول المحاور العصبي.
- عودة الاستقطاب:** إنها حالة يتم خلالها استعادة التوازن الكهربائي داخل وخارج الغشاء المحوري. بسبب التركيز العالي لأيونات الصوديوم داخل الأكسوزالزم، ستفتح قنوات البوتاسيوم. أثناء حالة عودة الاستقطاب، يحدث تدفق أيونات البوتاسيوم عبر قناة البوتاسيوم. نتيجة لفتح القنوات ذات الجهد الكهربائي البوتاسيوم، سيتم إغلاق قنوات الصوديوم ذات الجهد الكهربائي. وبالتالي، لن تتحرك أيونات الصوديوم داخل الغشاء. لذلك، تساعد إعادة الاستقطاب في الحفاظ على حالة الغشاء الأصلية المحتملة أو استعادتها. حتى تغلق قنوات البوتاسيوم، فإن عدد أيونات البوتاسيوم التي تحركت عبر الغشاء يكفي لاستعادة حالة الاستقطاب الأولية.<sup>21</sup> (Kashmira Dey and al, 2021) نتيجة لذلك، يصبح الغشاء مفرط الاستقطاب ولديه فرق محتمل قدره -90 مللي فولت<sup>23</sup> (Naomi E Leydman and al, 2024).

**فترة الحرارة:** المرحلة المقاومة للحرارة هي فترة وجيزة بعد انتقال النبضات العصبية بنجاح. خلال هذه الفترة، يعد الغشاء نفسه لتوصيل الحافز الثاني بعد استعادة حالة الراحة الأصلية. يستمر لمدة 2 مللي

ثانية فقط .خلال ذلك، تسمح مضخة الصوديوم ATPase بإعادة التوزيع الأصلي لأيونات الصوديوم والبوتاسيوم. تساعد مضخة ATPase للصوديوم والبوتاسيوم، التي يتم تشغيلها باستخدام ATP ، على استعادة حالة الغشاء السكون لتوصيل النبضة العصبية الثانية للمنبهات الأخرى. يتسبب في حركة الأيونات ضد التدرج التركيزي. مقابل كل اثنين من أيونات البوتاسيوم التي تحرك استجابةً داخل الخلية، يتم نقل ثلاثة أيونات الصوديوم إلى الخارج. تتطلب هذه العملية ATP لأن حركة الأيونات تتعارض مع تدرج تركيز عال الأيونات.

**المشابك:** تُعرف عملية انتقال النبضة العصبية من خلية عصبية إلى أخرى، بعد الوصول إلى الطرف المشبكي للمحور العصبي، باسم نقاط الاشتباك العصبي.

يتضمن انتقال النبضات العصبية عن طريق المشابك التفاعل بين النهاية المحورية لعصب واحد (العصبون قبل المشبكي) إلى التغصنات في عصبون آخر (عصبون ما بعد المشبكي)، هناك مسافة بين العصبون ما قبل المشبكي والعصبون ما بعد المشبكي والذي يعرف بالشق المشبكي أو الفجوة المشبكية، بعد الانتقال من خلية عصبية إلى أخرى، يولد الدافع العصبي استجابة معينة بعد الوصول إلى الموقع المستهدف، إذا كانت الفجوة المشبكية بطريقة ما لا تسمح بمرور النبضات العصبية، فلن يحدث انتقال النبضات العصبية وبالتالي تتطلب الاستجابة أيضا.

**أنواع المشابك:** هناك نوعان من نقاط الاشتباك العصبي: **المشابك الكهربائية** و **المشابك الكيميائية**.

**1/ المشابك الكهربائية:** يتم توصيل اثنين من الخلايا العصبية من خلال بروتينات القناة لنقل نبضة عصبية، ينتقل الدافع العصبي عبر غشاء المحور العصبي في شكل إشارة كهربائية، تنتقل الإشارة في شكل أيونات وبالتالي فهي أسرع بكثير من المشابك الكيميائية.

في المشابك الكهربائية، تبلغ الفجوة المشبكية حوالي 2.0 نانومتر والتي تفضل أيضا توصيل النبضات العصبية بشكل أسرع،

**2/ المشابك الكيميائية:** يحدث توصيل النبضات العصبية من خلال لإشارات الكيميائية، هذه الإشارات الكيميائية هي نواقل عصبية، في هذا النوع من توصيل النبضات العصبية، تكون الفجوة المشبكية أكبر من المشابك الكهربائية وهي حوالي 10-20 نانومتر. نتيجة لذلك، يكون انتقال النبضات العصبية أبطأ من المشابك الكهربائية. الجهاز العصبي المركزي والنبضات العصبية تساعد الخلايا العصبية في نقل الإشارات على شكل نبضات عصبية من الجهاز العصبي المركزي إلى أجزاء الجسم المحيطة، الخلايا العصبية هي شبكة معقدة من الألياف التي تنقل المعلومات من نهاية محور عصبون إلى تغصن خلية عصبية أخرى، تصل الإشارة أخيرا إلى الخلية المستهدفة حيث تظهر استجابة في إجراء النبضات العصبية

يلعب المحور العصبي دوراً رئيسياً في العملية من خلال إرسال إشارات في شكل نبضات عصبية عبر نقاط الاشتباك العصبي إلى الخلايا المستهدفة، العصبون مسؤول عن نقل الإشارات إلى ثلاث خلايا مستهدفة: عضلة، السداة، خلية عصبية أخرى وهذا يؤدي إلى تقلص العضلات وإفرازها بواسطة الغدد ويساعد الخلايا العصبية على نقل جهد الفعل.

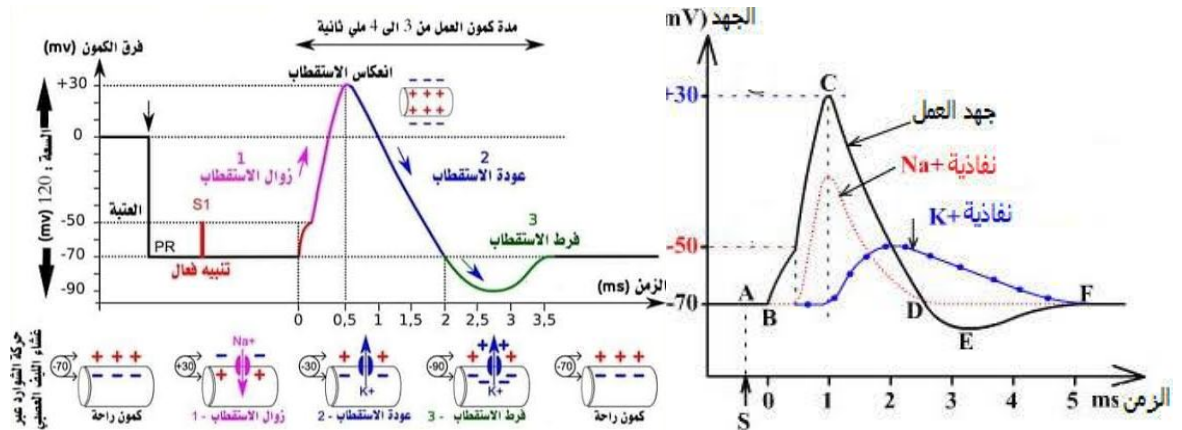
### العوامل المؤثرة في سرعة النبضات العصبية (سرعة انتقال جهد الفعل)

فيما يلي بعض العوامل الرئيسية التي تؤثر على سرعة النبض العصبي: **غمد المايلين، قطر محور عصبي، درجة الحرارة،**

**1/ غمد المايلين:** يوجد غمد المايلين حول الخلايا العصبية ويعمل كعازل كهربائي. بسبب هذا الغمد، لا يتم تشكيل جهد فعل على سطح العصبون. يحتوي غمد المايلين هذا على فجوات منتظمة، حيث لا يكون موجوداً تسمى عقد رانفييه، يمكن أن يتشكل جهد الفعل عند هذه الفجوات وسوف يقفز الدافع من عقدة إلى أخرى عن طريق التوصيل الملحي، يمكن أن يكون هذا عاملاً لزيادة سرعة النبضات العصبية من حوالي 1-30 م / إلى 1-90 م / ث.

**2/ قطر المحوار العصبي:** كلما زاد قطر المحور العصبي، زادت سرعة النبضات العصبية أيضاً. وذلك لأنمحوراً أكبر يقلل من تسرب الأيونات من المحور العصبي. هذا يساعد في الحفاظ على إمكانات الغشاء وبالتالي يفضل نبضات عصبية أسرع.

**3/ درجة الحرارة:** تسبب درجة الحرارة تغيرات في معدل انتشار الأيونات عبر غشاء العصبون. ترتبط درجة الحرارة ارتباطاً مباشراً بنقل النبضات العصبية، إذا كانت درجة الحرارة أعلى، فسيكون معدل انتشار أيونات الصوديوم والبوتاسيوم مرتفعاً وسيصبح محور الاستقطاب سريعاً مما يؤدي إلى توصيل نبضات عصبية أسرع، وبالتالي، فإن النبضة العصبية هي طريقة مهمة لتوصيل الإشارات لإثارة استجابة في أجزاء الجسم الرئيسية بسبب المنبه القوي. أي إلهاء في هذه العملية يمكن أن يكون له آثار وخيمة على الجسم.



منحنى يوضح جهد العمل منحنى يوضح المراحل الثلاثة لكمون العمل

نستنتج ان كيفية توليد النبض العصبي (كمون العمل )، تكون كما يلي :

عندما تتحفز الخلية العصبية، تتغير كهربيتها من كمون الراحة 70- مليفولط نحو 0مليفولط، نتيجة لانفتاح قنوات الصوديوم و البوتاسيوم في الغشاء، حيث تصل الى زوال الاستقطاب، و يستمر هذا التغير الى ان تصل كهربيتها الى 30+مليفولط ، حيث تغلق قنوات الصوديوم و البوتاسيوم التي فتحت، لينعكس هذا التغير بالعودة نحو الصفر مرة أخرى، و يستمر الى ان يصل الى 90-مليفولطو هو ما يسمى فرط الاستقطاب<sup>12,14</sup> (Ben J Tickner and al 2022, Christian bengs,2024)

ثم تتدخل مضخات الصوديوم و البوتاسيوم فيعود هذا التغير الكهروكيميائي الى حالة الراحة.

### انتقال السيل العصبي ( النبض العصبي)

**أالسيل العصبي :** هو عبارة عن رسالة ذات طبيعة كهروكيميائية , تترجم إليه المؤثرات المختلفة في الجسم إحداث استجابة معينة، إن عملية انتقال السيل العصبي تتضمن مرحلتين و هما:

- انتقال السيل العصبي على طول العصبون (محور الخلية العصبية. )
- انتقال كيميائي للسيل من خلية لأخرى عبرالتشابك العصبي أو التشابكات العصبية (النقل المتواصل أو المستمر).

#### ب)الانتقال الإشارة العصبية :يفصل غشاء الخلية العصبية بين وسطين؛ أولهما: السائل الخلوي،

وثانيهما: السائل الموجود خارج الخلية، ويتفاوت الوسطان في نوع العناصر الموجودة وتركيزها، و يمكن تقسيم الخلايا العصبية تبعالوظائفها إلى ثلاثة أنواع رئيسية وهي:

- 1-الخلايا العصبية الحسية (الموردة) : وظيفتها نقل الإشارات العصبية من خارج الجسم إلى داخله.
- 2-الخلايا العصبية الحركية (المصدرة) : وظيفتها نقل الإشارات العصبية من الجهاز العصبي المركزي إلى الأجهزة والأعضاء الخاصة بالحركة.

3- الخلايا العصبية الداخلية: وظيفتها الربط بين الخلايا العصبية الموردة والمصدرة، ويفصل غشاء الخلية العصبية بين شحنتين كهربائيتين متضادتين، الأولى شحنة موجبة، وتوجد على السطح الخارجي، والثانية شحنة سالبة، وتوجد على السطح الداخلي، لذلك يوصف غشاء الخلية بأنه يعاني فرقا في الجهد الكهربائي أيّ فرقاً في الشحنة.

#### ج)اتوصيل النبضات(الانتشار)

يمكن أن يكون توصيل النبضات فيما يلي :

#### 1-التوصيل المستمر

يحدث التوصيل المستمر للاندفاع العصبي في المحاور غير النخاعية. ينتقل جهد الفعل على طول المحور العصبي بالكامل. ومن ثم ، يتم أخذ المزيد من الوقت في توليد ثم نقل النبضات العصبية أثناء جهد الفعل . يتطلب التوصيل المستمر المزيد من الطاقة لنقل النبضات وهي عملية أبطأ ( حوالي

1.0 م / ث)، يؤخر عملية توصيل الإشارات لأنه يستخدم عدداً أكبر من القنوات الأيونية لتغيير حالة الراحة للخلايا العصبية.

## 2- التوصيل المملحي

يعتبر التحمل أسرع من التوصيل المستمر ويحدث في الخلايا العصبية النخاعية. في الخلايا العصبية النخاعية ، توجد الأغلفة النخاعية. بين هذه الأغلفة النخاعية ، تُعرف الفجوات غير الملقحة حالياً باسم عقد رانفييه. ينتشر الدافع العصبي عن طريق القفز من عقدة في Ranvier إلى التي تليها. هذا يجعل عملية النبض العصبي أسرع حيث لا ينتقل الدافع العصبي بطول المحور العصبي بالكامل ، ( يحدث هذا في حالة التوصيل المستمر).

النبضة العصبية تنتقل بسرعة 100 م / ث في التوصيل المملحي.، إن عدد القنوات المستخدمة في التوصيل المملحي أقل من التوصيل المستمر بسبب عدم حدوث تأخير في النبضات العصبية، يستخدم هذا النمط من نقل النبضات العصبية طاقة أقل أيضاً.

إذا كنت تعتبر المحور العصبي بم ثابتة سلك أو حلقة كهربائية، والنبضات العصبية التي تنتقل على طول المحور العصبي كتيار، والجسيمات المشحونة (أيونات الصوديوم والبوتاسيوم) كجسيمات إلكترونية، فيمكن فهم العملية بسهولة تامة. نظراً لأن تدفق التيار في السلك يحدث عند جهد معين فقط، فإن توصيل النبضات العصبية بالمثل يحدث عندما يكون للمحفز قيمة عتبة قصوى تبلغ -55 ملي فولت، هذا ضروري لتغيير حالة الغشاء الساكن لإمكانية عمل الغشاء، عندما يحتوي الجهد على العدد المطلوب من جسيمات الإلكترون، فإنه يقوم بتوصيل التيار. وبالمثل، في حالة التوصيل النبضي العصبي، يجب أن يكون للخلايا العصبية المنبه قيمة عتبة للتسبب في حركة الأيونات عبر طول المحور العصبي (لإجراء النبضات العصبية) عن طريق فتح القنوات الأيونية ذات الجهد الكهربائي.

## جاء عملية انتقال النبضات العصبية

فيما يلي المراحل لنقل النبضات العصبية: الاستقطاب، نزع الاستقطاب، عودة الاستقطاب، فترة الحرارية، تشابك عصبي .

قبل الخوض في تفاصيل عملية انتقال النبضات العصبية، أولاً نناقش الإجراء واستراحة الحالات المحتملة، يستريح غشاء المحتملة يشير احتمال غشاء الراحة إلى الحالة غير المثارة للخلية العصبية في حالة الراحة عندما لا يتم إجراء أي نبضة عصبية. إمكانات غشاء الراحة للخلية العصبية هي -70 ملي فولت، إنها حالة ثابتة ويتم إغلاق قنوات الصوديوم والبوتاسيوم خلال هذه الحالة مع الحفاظ على تركيز عالٍ من أيونات الصوديوم بالخارج وتركيز عالي لأيونات البوتاسيوم داخل الخلية. يرجع فرق الجهد الكهربائي إلى الأسباب الأتية:

- 1- يكون السائل الخلوي في عنصرا غنيا بعنصر البوتاسيوم، وفقيراً الصوديوم، بعكس السائل الموجود خارج الخلية. وذرات البوتاسيوم والصوديوم بطبيعتها متعادلة كهربياً.
  - 2- توجد أيونات البوتاسيوم ( $K^+$ ) في السائل الخلوي بتركيز يزيد 30+ ضعفاً عن تركيزها في السائل الموجود خارج الخلية، في حين ينقص تركيز أيونات الصوديوم ( $Na^+$ ) في السائل الخلوي من (10 - 15) مرة عن تركيزها في السائل الموجود خارج الخلية.
  - 3- تمتلئ الخلية العصبية بالمواد العضوية (مثل البروتينات) التي توجد على هيئة أيونات ذات شحنة سالبة.
  - 4- يتميز غشاء الخلية العصبية بنفاذيته للبوتاسيوم حتى يسمح بتسرب كمية من أيونات البوتاسيوم من داخل الخلية إلى خارجها، في حين تستطيع أيونات الصوديوم الدخول إلى الخلية.
  - 5- تستطيع أيونات المركبات العضوية (السالبة) أن ترافق أيونات البوتاسيوم (الموجبة)، نظراً إلى كبر أوزانها الجزيئية، الأمر الذي يمنع خروجها من فتحات الغشاء الخلوي .
  - 6- تستقر أيونات البوتاسيوم المتسربة على السطح الخارجي للغشاء الخلوي لكونها منجذبة من قبل الأيونات العضوية سالبة الشحنة داخل الغشاء الخلوي، والباقية داخل الخلية فيكتسب الغشاء الخلوي شحنة موجبة على سطحه الخارجي.
  - 7- ينتج عن توزيع الشحنات على جانبي الغشاء الخلوي حالة من الاستقطاب الكهربائي (Polarisation) الأمر الذي يولد فرقاً في الجهد الكهربائي (Différence Potentiel Electrical) على جانبي الغشاء الخلوي يتكون السيل العصبي عند وصول مؤثر يؤدي إلى تغيير مقدار الجهد الكهربائي على جانبي غشاء العصبون.
- سجلنا خصائص وصول الإشارة إلى الخلية المستهدفة حيث تظهر استجابة في إجراء النبضات العصبية ونميز مايلي:
- المحوار العصبي يساعد في انتشار النبضات العصبية للخلية المستهدفة
  - التشعبات في استقبال الإشارات من نهايات محوار عصبي
  - إنهاء (Axon) يعمل كمرسل لإشارات.
- و يمكن التذكير بالمعطيات التالية :
- يحيط العصبون غشاء بلازمي يفصل مكونات السيتوبلازم عن السائل بين الخلوي المحيط به و يتميز به مايلي :
- أ) يكون العصبون في حالة استقطاب عندما يكون السطح الداخلي للغشاء البلازمي يحمل شحنة سالبة والسطح الخارجي يحمل شحنة موجبة
- ب) وجود فرق الجهد على جانبي الغشاء مقداره ( 70- ) ملي فولت يسمى بجهد الراحة ( حالة الراحة) وهي حالة وجود فرق في الجهد الكهربائي (70- ) على جانبي غشاء العصبون حيث يكون مشحون من الداخل بشحنة سالبة ومن الخارج بشحنة موجبة .

(ج) تتوزع الأيونات على جانبي الغشاء بصورة غير متساوية، حيث تتركز أيونات الصوديوم "موجبة الشحنة ( $Na^+$ )" والكلوريد "سالبة الشحنة ( $Cl^-$ )" خارج العصبون، في حين تتركز أيونات البوتاسيوم "موجبة الشحنة ( $K^+$ )" وبروتينات أخرى كبيرة الحجم "سالبة الشحنة" داخل العصبون.

(د) يؤدي اختلاف توزيع الأيونات داخل العصبون وخارجه بجعل الغشاء البلازمي في حالة "استقطاب" أي أن داخل الغشاء البلازمي يكون سالب وخارجه موجب .

(و) يؤدي هذا الاختلاف في تراكيز الأيونات إلى توليد فرق جهد كهربائي بين داخل الغشاء البلازمي وخارجه تسمى هذه العملية بجهد الراحة ( $-70$ ) ملي فولت .

(هـ) تستهلك الخلايا العصبية كمية هائلة من الطاقة، للمحافظة على فرق الجهد الكهربائي، ثابتاً فهي تنقل الأيونات الموجبة إلى خارج الخلية، وبهذه الطريقة تحافظ هذه الخلايا على بقاء شحنة موجبة خارج الخلية، والشحنة الكلية داخل الخلية سالبة باستمرار وعند تنبيه خلية عصبية بمؤثر خارجي (مثل رؤية خطر أو شم رائحة)، فإن هذا التنبيه سرعان ما ينتقل عبر الخلية العصبية وحتى نهاية محورها، و يكون انتقال الإشارة العصبية مصحوباً بالتغيرات الآتية :

**1-** يحدث تنبيه الخلية تغيراً بتغيرات أخرى في نفاذية الخلية لأيونات هذا التغير مصحوباً بالصوديوم والبوتاسيوم الموجبة.

**2-** عند تغير فرق الجهد من ( $-65$  إلى  $-50$ ) ملي فولت، تفتح قنوات خاصة (Voltage Dependent Sodium Channels)، تمكن أيونات الصوديوم من التدفق إلى داخل الخلية، مؤدية إلى زيادة كمية الشحنة الموجبة داخل الخلية وزيادة الشحنة السالبة خارجها، ويصبح للحظة وقتية داخل الخلية موجبا بالقياس إلى خارجها، وهو ما يطلق عليه "زوال الاستقطاب" (Depolarisation)

<sup>25</sup> (Soumya Bhattacharyya and al, 2021)

**3-** فإذا ما بلغ فرق الجهد  $+40$  ملي فولت، فإن قنوات الصوديوم غلق، ثم يتوقف دخول أيونات الصوديوم إلى داخل الخلية، وعندئذٍ ومن فتح قنوات خاصة تسمح بخروج أيونات البوتاسيوم إلى خارج الخلية، معيدة الاستقطاب ثانية إلى الخلية. (Repolarisation)

**4-** على الرغم من أن التغيرات الموضعية في نفاذية غشاء الخلية تتجاوز اللحظات الوجيزة، فإنها تسبب تغيرات مماثلة في المنطقة الهادئة المجاورة للمنطقة المنبهة، وهكذا ينتقل فعل الجهد من منطقة إلى منطقة تليها حتى نهاية محور الخلية العصبية.

**5-** يطلق على موجات زوال الاستقطاب، وإعادته عبر محور الخلية فعل الجهد المحور (Axonal action Potentiel) وهو المسؤول عن نقل الإشارة العصبية من مكان صدورها إلى المكان المراد توصيلها إليه.

نستنتج ان التنبيه يحدث في منطقة معينة تسمى (منطقة التنبيه)، و هي التي تحدث فيها التغيرات الكهروكيميائية، المعروفة بالنبضة العصبية او كمون العمل، و عندما يصل هذا التغير الى زوال الاستقطاب، فانه يحفز (ينبه) المنطقة المجاورة، ليحدث لها ما حدث في منطقة التنبيه بالضبط، و عندما يصل التغير في المنطقة المجاورة الاولى الى زوال الاستقطاب، فانه يحدث في المنطقة المجاورة الثانية ما حدث للمنطقة المجاورة الاولى، و هكذا الى ان يصل هذا النبض الى المركز العصبي ليترجم هناك الى حس او حركة مثلا.

## الخلاصة ( Conclusion )

في هذا المقال المرجعي حاولنا معالجة الاستفسارات الثلاث التي طرحناها في بداية بحثنا، و من خلاله توصلنا الى الخلاصة العامة التالية:

مما سبق نستنتج ان الطعام الذي يتناوله الانسان بمختلف اشكاله ( بروتينات، دهون، كربوهيدرات)، ينتج بعض الايض طاقة، يستعملها الجسم في نشاطاته الحيوية، ومن ذلك نجد ان الجهاز العصبي يستعمل هاته الطاقة في نشاطاته، وعلى راسها النبض العصبي، الذي هو عيار على تغيرات كهروكيميائية.

نستنتج أن توليد النبض العصبي " كمون العمل"، تكون كما يلي :

عندما تتحفز الخلية العصبية، تتغير كهربيتها من كمون الراحة 70-مليفولط نحو 0 مليفولط، نتيجة لانفتاح قنوات الصوديوم و البوتاسيوم في الغشاء، حيث تصل الى زوال الاستقطاب، و يستمر هذا التغير الى ان تصل كهربيتها الى +30 مليفولط ، حيث تغلق قنوات الصوديوم و البوتاسيوم التي فتحت، لينعكس هذا التغير بالعودة نحو الصفر مرة أخرى، و يستمر الى ان يصل الى 90- مليفولط ، ثم تتدخل مضخات الصوديوم و البوتاسيوم فيعود هذا التغير الكهروكيميائي الى حالة الراحة.

كما أننا لاحظنا ان التنبيه يحدث في مكان معين يسمى (منطقة التنبيه)، وهي التي تحدث فيها التغيرات الكهروكيميائية، المعروفة بالنبضة العصبية او كمون العمل، وعندما يصل هذا التغير الى زوال الاستقطاب، فانه يحفز (ينبه) المنطقة المجاورة، ليحدث لها ما حدث في منطقة التنبيه بالضبط، وعندما يصل التغير في المنطقة المجاورة الأولى الى زوال الاستقطاب، فانه يحدث في المنطقة المجاورة الثانية ما حدث للمنطقة المجاورة الأولى، و هكذا الى ان يصل هذا النبض الى المركز العصبي ليترجم هناك الى حس او حركة مثلا.

## References: المراجع

## - العربية -

- 1-ميمة السلوم، 2019، التخاطر و علم الطاقة ، دمشق- سوريا .
- 2- بار جوزاف، جبرير ج ك، ليلي تي رينالدي،(2003) الاكتشاف الحسابي للوحدات الجينية و الشبكات التنظيمية (21)، ص 1337-1342 .
- 3-تورتورا ، جي جي ، ديريكسون، ب. (2016)، "مبادئ علم التشريح و علم وظائف الأعضاء " (15)، ص 1248 .
- 4-ج.بيرنستوك، ب. براكشيرو، م . ب زيمارمان ه، أ. فرخراتسكي " (2009) الجهاز العصبي : نظرة عامة ، (32) ص (19-29).
- 5-جون ووكر ، بول بوير ، جينيسكو ، "الكيمياء في بريطانيا "، /الأكاديمية السويدية للعلوم و جامعة أوكسفورد (1997) السويد – أوكسفورد.
- 6- دوناتو، اليساندرا (2019)، تجزئة الخلايا العصبية، معهد كوبنزلاند برين – أستراليا).
- 7- ر.ل فايش، ل.ف اغليستون، ش . أ كرابس (1969)، حالة الأكسدة و الاختزال في فوسفات النيكوتيناميد و الاديين ثنائي النوكليوتيد في سيتوبلازم كبد الفئران ، مجلة الكيمياء الحيوية (2019)، و.م. أ ، المجلد رقم 115، ص 609-619 .
- 8-كازاو يامادا، نوبومازا هارا، توموكو شيباتا، هارومي أوزاكو، ميكافو توشيبا(2006)، القياس المتزامن للنيكوتيناميد الأدينين ثنائي النوكليوتيد و المركبات ذات الصلة بالكروماتوجرافيا السائلة / قياس التأين بالرش الكهربائي بالتزادف ، و.م. أ ، المجلد رقم 352 ، ص 282-285 .
- 9- معهد (2010)BRAIN، عمل الجينات في الدماغ ، بيتيسدا - ميريلاند(و.م.أ)، منشور رقم 10-5475 .
- 10- نيلسون دفيد، كوكس، م. ميكائيل(2013) مبادئ الكيمياء الحيوية، نيويورك، الطبعة السادسة، ص 502.
- 11- واو موجيانو، أ.بينسو، ر.بارديني، أي هو ، بوليتانو-اس دي كارلو(2018) ( نمذجة التعقيد البيولوجي باستخدام لغة وصف نظام (BiSDL) )، (إيطاليا)، ص(713-717) .

## -الأجنبية-

- 12-Ben J Tickner, Vladimir V Zhivonitko(2022): Advancinghomogeneouscatalysis for parahydrogen-derivedhyperpolarization and its NMR application.chem Sci.2022 Mar 22;13(17):4670-4696.
- 13-Carolyn L powell, Angus M Brown(2021): A classic experiment revisited: membrane permeability changes during the action potential. Adv physiol Educ. 2021 Mar 1;45(1):178-181.
- 14-Christian Bengs(2024):Hyperpolarisation Criteria in magnetic resonance.JMagn Reson.2024 Mar;360:107631.
- 15-delia du toit (2023), university of the Witwatersrand Johannesburg.
- 16-Elaine N. Marieb,Katja Hoehn(2014);Human Anatomy and Physiology, sanfrancisco ,california, pearson education journal.
- 17-Geoffrey R Tanner, Anastasios V Tzingounis(2022): The mammalian nodal action potential: new data bring new perspectives. Adv physiol Educ. 2022 Dec 1;46(4):693-702.

- 18-Georgios kimourtzis, Natasha Rangwani,...(2024): Prostaglandin E2 depolarises sensory axons in vitro in an AN01 and Nav1.8 dependent manner. Sci Rep. 2024 Jul 29;14(1): 17360.
- 19-Harvey F.Lodish, H.berk, A.kaiser, Monty Krieger, Anthony Bretscher, A.Ploegh, H.Amon, (2000) Molecular cell biology, Seventh edition,New York, W.H. Freeman and company, p 695
- 20-John squire (2019) , muscle contraction group, school of physiology , Uk university-bristol, Uk.
- 21-Kashmira Dey, shubhajit Roy Chowdhury(2021): inverse neurovascular coupling and associated spreading depolarization models for traumatic brain injury. Annu int conf IEEE Eng Med Biol Soc. 2021 Nov:2021:4242-4248.
- 22-Kathy Parisi, James A Mckenna, Rohan Lowe,...(2024): Hyperpolarisation of mitochondrial membranes is a critical component of the antifungal mechanism of the plant defensin, ppdef1.J Fungi (Basel).2024 jan 7;10(1):54.
- 23-Naomi E Leydman, Philip L Norcott(2024):Aldoximes enable proton-relayed NMR hyperpolarization. Chem Commun (Camb). 2024 sep 5;60(72):9764.
- 24-Nino wili, janhenrikardenikjaer-larsen, Gunnar jaschke (2022):reverse dynamic nuclear polarisation for indirect detection of nuclear spins close to unpaired electrons. Magnreson (Gott).2022 aug 10;3(2):161-168.
- 25-Soumya Bhattacharyya, Basudeb Dasgupta(2021): fast flavor depolarization of supernova neutrinos.Phys REV Lett.2021 feb 12;126(6):061302.
- 26-Xinvu Wang, Julian Landaw, Zhilin Qu(2024):Intracellular ion accumulation in the genesis of complex action potential dynamics under cardiac diseases. Phys Rev E.2024 Feb;109(2-1):024410.
- 27-Xueyong Wang, Murad Nawaz,...(2022): The role of action potential changes in depolarization-induced failure of excitation contraction coupling in mouse skeletal muscle.Elife.2022 Jan 5;11:e71588.
- 28-Yingyu Lu, Yongerchen,...(2023): Monotropien inhibits colitis associated cancer through VDR/JAK1/STAT1 regulation of macrophage polarization.