

corrigé de l'exercice n° 1 : potentiel d'action

a) À quel moment le potentiel de membrane est-il le plus proche du potentiel d'équilibre de l'ion K^+ ?

Lors de la phase 5, d'hyperpolarisation. En effet, étant donné que seuls les canaux potassium sont ouverts à ce moment-là, les conductances aux autres ions sont négligeables devant la conductance au potassium, et le potentiel membranaire est par conséquent très proche du potentiel d'équilibre de l'ion K^+ .

b) Quel est le phénomène responsable du changement de la situation 1 à la situation 3 ?

L'ouverture des canaux Na^+ dépendants du potentiel, activés lorsque la dépolarisation initiale atteint le seuil d'activation. Le potentiel membranaire se déplace vers le potentiel d'équilibre du Na^+ .

a) Quel est le phénomène responsable du changement de la situation 3 à la situation 4 ?

L'inactivation des canaux Na^+ et l'ouverture des canaux K^+ , ce qui tend à déplacer le potentiel membranaire vers le potentiel d'équilibre du K^+ .

d) Le TEA est un bloqueur des canaux K^+ . Quel sera son effet sur le potentiel de membrane ?

le TEA va allonger l'amplitude et la durée du potentiel d'action ; la repolarisation sera plus lente – due uniquement à l'inactivation des canaux Na^+ , et on n'observera pas d'hyperpolarisation.

e) À quoi correspondent les valeurs de potentiel a, b & c ?

a : potentiel de pointe

b : seuil d'activation du potentiel d'action

c : potentiel de repos

corrigé de l'exercice n°2 : conduction électrotonique

a) *Qu'appelle-t-on la conduction électrotonique d'un potentiel membranaire ?*

C'est la conduction passive du courant de part et d'autre d'un point de dépolarisation initiale, qui entraîne une propagation passive de la dépolarisation. L'amplitude de la dépolarisation décroît exponentiellement en fonction de la distance du point initial, et finit par s'annuler.

b) *En absence de potentiel d'action, comment se propage une dépolarisation à partir de son point d'initiation ?*

En absence de potentiel d'action, une dépolarisation se propage passivement par conduction électrotonique, de manière symétrique de part et d'autre du point initial de dépolarisation, et s'annule rapidement.

c) *On étudie une cellule dont le potentiel de repos est de -70 mV. On dépolarise un point de la membrane à $+50$ mV. Sachant que pour ce type cellulaire $\lambda = 1,5$ mm, calculer jusqu'à quelle distance du point initial la dépolarisation reste supérieure à -50 mV.*

On utilise la formule $V_x = V_o e^{-x/\lambda}$ pour déterminer x en fonction de V_o et des caractéristiques électriques de la cellule. On obtient :

$$V_x / V_o = e^{-x/\lambda} \quad \text{d'où} \quad \ln(V_x / V_o) = -x/\lambda \quad \mathbf{x = \lambda \ln(V_o / V_x)}$$

$$V_o = +50 - (-70) = +120 \text{ mV} \quad V_x = -50 - (-70) = +20 \text{ mV}$$

$$V_x = 1,5 \ln(120/20)$$

$$\mathbf{V_x = 2,69 \text{ mm}}$$

corrigé de l'exercice n° 3 : vitesse de conduction

a) Calculer le rapport de la vitesse de conduction sur le diamètre, pour chaque fibre. Comment varie la vitesse de conduction en fonction du diamètre ?

classe de fibre	vitesse/diamètre	classe de fibre	vitesse/diamètre
axones (type 1)	6,0	muscle squelettique	0,12
	5,8	muscle cardiaque	0,03
	6,0	muscle lisse	0,01
axones (type 2)	1,3		
	1,3		

La vitesse de conduction augmente en fonction du diamètre, en première approximation de manière linéaire pour chaque type d'axone, puisque pour chacun d'eux, le rapport vitesse/diamètre est constant.

c) Pourquoi la vitesse de conduction dépend-elle du diamètre de la fibre ?

La vitesse de conduction dépend de la constante λ . Or, λ dépend de la résistance membranaire R_m et de la résistance longitudinale R_i selon la formule :

$$\lambda = \sqrt{\frac{R_m}{R_i}}$$

Pour une longueur de fibre donnée l , R_m est inversement proportionnel à la surface de la fibre, soit $2\pi r l$ (r étant le rayon de la fibre), alors que R_i est inversement proportionnel à son volume, soit $\pi r^2 l$. R_m est donc inversement proportionnel au diamètre de la fibre, tandis que R_i est inversement proportionnel à son carré. Le rapport R_m/R_i augmente donc proportionnellement au diamètre de la fibre, et par conséquent λ augmente proportionnellement à sa racine carrée. Une augmentation du diamètre, en augmentant la valeur de la constante λ , augmente la vitesse de conduction.

c) Comparer les résultats obtenus pour les axones de type 1 avec ceux obtenus pour les axones de type 2. Comment peut-on expliquer les résultats observés ?

Le rapport vitesse/diamètre des axones de type 2 est très inférieur à celui des types 1. Les axones de type 2 sont probablement amyéliniques, alors que ceux de type 1 sont myélinisés, étant donné que la gaine de myéline augmente la vitesse de conduction, pour un diamètre donné.

d) Quelle serait la vitesse de conduction d'une fibre nerveuse de 10 μm de diamètre ? Quel temps serait nécessaire pour la transmission par une telle fibre chez l'homme d'une commande motrice jusqu'au pied ?

Si on suppose que la vitesse de conduction est directement proportionnelle au diamètre, la vitesse de conduction d'une fibre de 10 μm de diamètre serait de $50(10/500)$ m/sec, soit 1 m/sec. Le temps de transmission d'une commande motrice au pied serait de l'ordre de 2 sec.

corrigé de l'exercice n° 4 : conduction saltatoire de l'influx nerveux

a) *Décrire ce qu'est une fibre nerveuse myélinisée. Qu'est-ce qu'un nœud de Ranvier ? Quel est le rôle de la gaine de myéline ?*

Une fibre nerveuse myélinisée est une fibre entourée de feuillets de myéline (jusqu'à une centaine), constitués par des replis de la membrane plasmique de la cellule de Schwann. Son rôle est d'isoler électriquement la fibre nerveuse, ce qui modifie profondément ses propriétés électriques. Cette gaine de myéline est régulièrement interrompue (tous les 1 à 2 mm en moyenne). Les zones d'interruption sont appelées nœud de Ranvier.

b) *Lors de la transmission de l'influx nerveux, de quelle manière s'effectue la conduction dans la région internodale ? Que se passe-t-il au niveau du nœud de Ranvier ? Que se passerait-il en absence de nœuds de Ranvier ?*

La transmission internodale s'effectue de manière électrotonique. Au niveau du nœud de Ranvier, la dépolarisation engendre un potentiel d'action, dont la dépolarisation va se transmettre électrotoniquement jusqu'au nœud de Ranvier suivant. En absence de nœud de Ranvier, l'influx nerveux s'éteindrait rapidement, car la conduction électrotonique décroît de manière exponentielle (cf. exercice n° 3).

c) *Pourquoi la transmission de l'influx nerveux est-elle plus rapide dans une fibre myélinisée que dans une fibre amyélinisée ?*

La gaine de myéline est isolante. Elle augmente donc la résistance membranaire R_m , et par conséquent le rapport R_m/R_i . Elle entraîne donc une agmentation de la constante λ , et donc une augmentation de la vitesse de conduction (cf ; exercice n°4).

d) *Calculer la distance maximale entre deux nœuds de Ranvier pour que l'influx nerveux puisse se propager le long de cette fibre.*

Pour qu'un influx nerveux puisse se propager le long d'une fibre myélinisée, il faut que la dépolarisation transmise électrotoniquement entre 2 nœud de Ranvier demeure supérieure au seuil d'excitation de la fibre. Les caractéristiques électriques de cette fibre correspondent à celle de l'exercice n°3, V_x correspondant au seuil d'excitation de la fibre, -50 mV. La distance maximale entre deux nœuds de Ranvier correspond donc à la distance x précédemment calculée, soit 2,69 mm. Lors nœuds de Ranvier étant espacés de 2 mm, l'influx nerveux sera transmis par conduction saltatoire.

e) *On suppose que la fibre nerveuse étudiée est démyélinisée à tel point que la résistance membranaire R_m est divisée par 4. Quelles en seront les conséquences sur la transmission de l'influx nerveux ?*

La démyélinisation se traduit par une diminution de la résistance membranaire, et par conséquent du rapport R_m/r_i . Dans le cas présent, R_m étant divisé par 4, le rapport R_m/r_i également. La constante de longueur l , étant égale à la racine carrée de R_m/r_i , sera donc divisée par 2. La distance maximale entre 2 nœuds de Ranvier sera alors égale à $2,69/2 = 1,35$ mm. Or cette distance est inférieure à celle séparant 2 nœuds de Ranvier. Le potentiel membranaire au niveau du nœud de Ranvier aval sera inférieure au seuil d'excitation de la fibre ; le potentiel d'action ne sera pas engendré, et la conduction nerveuse ne se fera pas.

corrigé de l'exercice n° 5 : le potentiel de plaque

a) Calculer le potentiel de repos au niveau de la plaque motrice (on en tient pas compte des autres ions)

Le potentiel de repos peut être calculé à l'aide de l'équation de conductance, puisque l'on connaît le potentiel d'équilibre de chaque ion et sa conductance relative. Le potentiel de repos est donc :

$$\begin{aligned}E_m &= E_{Na}(g_{Na} / \Sigma g_x) + E_K(g_K / \Sigma g_x) \\E_m &= 60(0,1) - 94(0,9) \text{ mV} \\E_m &= \mathbf{-78,6 \text{ mV}}\end{aligned}$$

b) Pourquoi observe-t-on une dépolarisation induite par l'ouverture des canaux nicotiques ? Calculez la valeur du potentiel de plaque dans l'exemple ci-dessus. Quelle est la conséquence de l'apparition de ce potentiel de plaque ?

L'ouverture de canaux nicotiques se traduit par une augmentation de la conductance au Na^+ , dont le poids relatif dans le potentiel de membrane va donc augmenter. Le potentiel va se déplacer vers le potentiel d'équilibre de l'ion Na^+ (+60 mV), ce qui correspond à une dépolarisation.

La valeur de ce potentiel de plaque peut être calculée à partir de l'équation de conductance, les valeurs des conductances relatives au Na^+ et K^+ étant égales :

$$\begin{aligned}E_m &= E_{Na}(g_{Na} / \Sigma g_x) + E_K(g_K / \Sigma g_x) \\E_m &= 60(0,5) - 94(0,5) \text{ mV} \\E_m &= \mathbf{-17 \text{ mV}}\end{aligned}$$

Cette valeur est supérieure au seuil d'activation des canaux Na^+ sensibles au potentiel qui sont donc être activés. Leur ouverture va entraîner une augmentation encore plus importante de la conductance relative au sodium et une large dépolarisation correspondant à un potentiel d'action.

Au niveau de la plaque motrice, l'activation des canaux nicotiques n'entraîne pas à elle seule l'apparition du PA post synaptique, mais en dépolarisant la membrane au delà du seuil d'activation des canaux voltage-dépendants, induit la genèse de ce PA.