

DISCIPLINE : SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

NIVEAU : Terminale

SÉRIE : D

MODULE : BIOLOGIE

SOUS MODULE : PHYSIOLOGIE

SUPPORT PÉDAGOGIQUE N° 9

OG 8 : COMPRENDRE LES FONCTIONS DE RELATION ET L'ACTIVITÉ CARDIAQUE

OS₈₋₄ : Expliquer l'activité et l'automatisme cardiaques, la circulation sanguine

I- L'activité cardiaque

A- L'automatisme cardiaque :

1- Mise en évidence de l'automatisme cardiaque :

1^{ère} expérience : Ouvrons la cage thoracique d'un crapaud décérébré et déméduillé, observons son cœur.

Résultat : Le cœur continue à battre.

2^{ème} expérience : Isolons le cœur du reste de l'organisme, plaçons-le dans une cuve contenant un liquide physiologique (le liquide de Ringer par exemple).

Résultat : Le cœur continue à battre.

Conclusion : Les battements du cœur ne dépendent ni du système nerveux, ni du reste du corps. Ils sont indépendants de la volonté et ont leurs origines dans le cœur lui-même. On dit que le cœur est un organe à fonctionnement automatique.

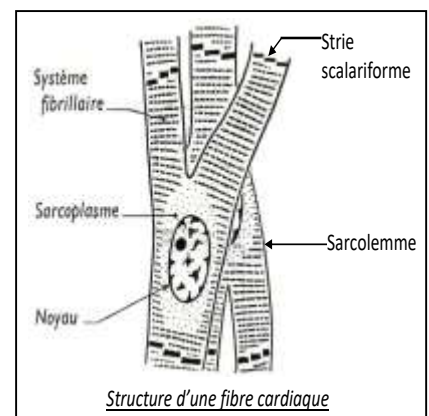
2- Localisation du siège de l'automatisme cardiaque :

Le tissu musculaire cardiaque est le myocarde, recouvert d'une fine membrane, le péricarde.

a) Structure du myocarde :

❖ Chez le crapaud : Le myocarde du crapaud est formé par un réseau de fibres musculaires en forme de « Y ». Chaque fibre cardiaque comprend un sarcolemme, un sarcoplasme et des myofibrilles. Le sarcoplasme est peu abondant, renferme un seul noyau central. Deux fibres cardiaques successives sont séparées l'une de l'autre par une strie scalariforme.

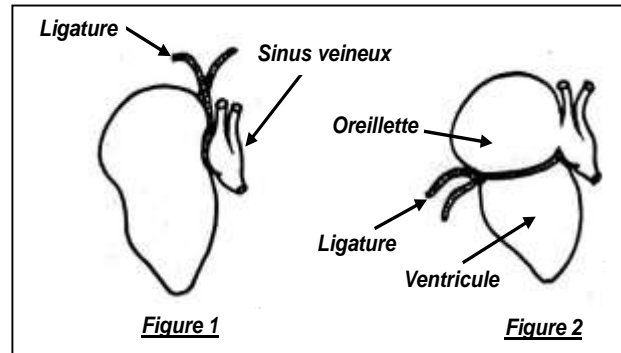
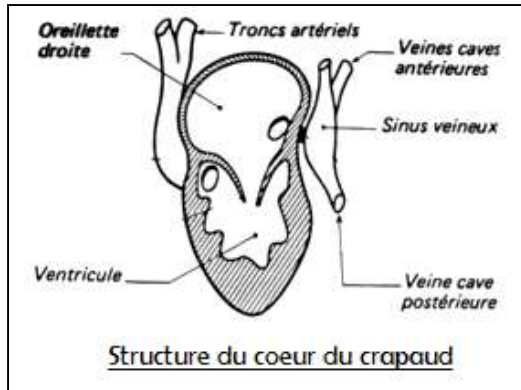
❖ Chez les mammifères : Le myocarde est semblable à celui du crapaud mais les fibres musculaires sont pauvres en myofibrilles et riches en sarcoplasme.



b) Localisation de l'automatisme cardiaque :

Comme tout muscle, le myocarde se contracte sous l'effet des excitations. Le myocarde étant automatique, l'excitation provient d'un centre intracardiaque appelé le « Pace maker ».

❖ Chez le crapaud :



1^{ère} expérience : L'animal est décérébré et déméduillé. On dégage le cœur, celui-ci continue à battre. On fait une ligature serrée entre le sinus veineux et l'oreillette droite (fig. 1). On constate que le cœur s'arrête alors que le sinus veineux continue à battre.

Conclusion : Les contractions cardiaques prennent naissance dans le sinus veineux, donc le Pace maker est situé dans le sinus veineux.

2^{ème} expérience : Une ligature auriculo-ventriculaire (fig. 2) montre que le ventricule s'arrête puis se remet à battre lentement pendant que le sinus veineux et les oreillettes battent normalement.

Conclusion : Au niveau du ventricule, il existe aussi un « Pace maker ».

Remarque : L'étude histologique met en évidence trois ganglions nerveux dans le myocarde du crapaud : un (O1) dans le sinus veineux, un (O1) dans l'oreillette droite et un (O1) dans le ventricule. Ces ganglions jouent le rôle de centre moteur de l'automatisme cardiaque.

❖ Chez les mammifères :

Chez les mammifères il n'y a pas de sinus veineux, les veines caves débouchent directement dans l'oreillette droite.

Expérience : Si on inactive par refroidissement une région bien délimitée de la paroi de l'oreillette droite, le nœud sinusal, on observe une diminution du rythme cardiaque.

La destruction de cette zone entraîne un très fort ralentissement du cœur et un trouble du rythme cardiaque est observable.

Observation : Des cellules cardiaques dissociées, prélevées chez un embryon de rat, sont mises en culture : quelques-unes se contractent rythmiquement alors que d'autres restent immobiles. Après multiplication, les cellules finissent par rentrer en contact les unes avec les autres : toutes battent alors au même rythme.

Interprétation : Dans le cœur, certaines cellules se contractent automatiquement et sont capables de communiquer « l'ordre de contraction » aux autres cellules du muscle cardiaque.

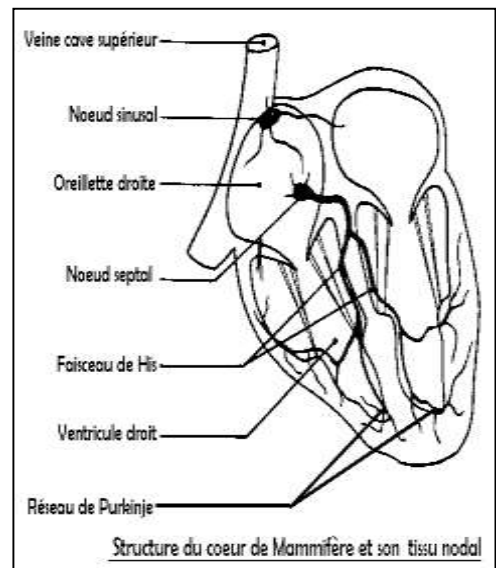
Ces cellules dans le cœur forment deux amas principaux :

- Le premier, situé dans la paroi de l'oreillette droite, le nœud sinusal, est le stimulateur principal qui impose au cœur son rythme normal ;
- Le deuxième, situé dans la paroi qui sépare les deux oreillettes, le nœud septal, est un « stimulateur de secours » qui, en cas de « panne » du premier, est capable d'entretenir un rythme plus lent mais avec une grosse perturbation du fonctionnement cardiaque : les oreillettes et les ventricules se contractent simultanément.

Conclusion : Les contractions débutent dans la région de l'oreillette droite au niveau du nœud sinusal et se propagent aux autres segments du cœur par dépolarisation successive. Cette dépolarisation est captée par le nœud septal qui la transmet au faisceau de His puis arrive au réseau de Purkinje.

L'activité cardiaque est une propriété spécifique du tissu nodal, il peut se contracter d'une façon rythmique.

Tissu nodal = Nœud sinusal + Nœud septal + Faisceau de His + Réseau de Purkinje.



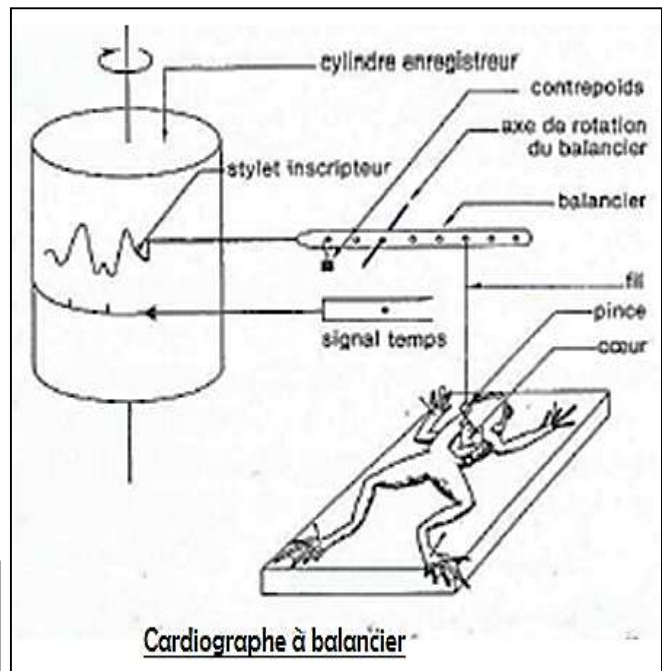
B. La contraction cardiaque

1) Dispositif expérimental

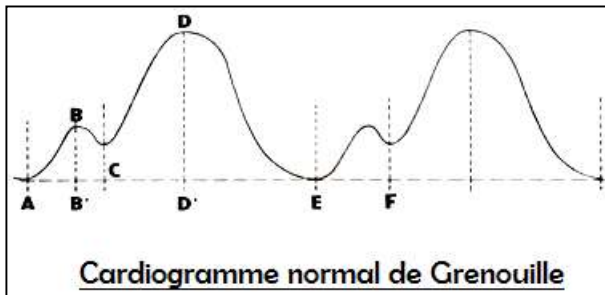
L'animal est décérébré et déméduillé. On ouvre la cage thoracique puis on dégage le cœur. On fixe la pointe du ventricule à la pince serre fine d'un appareil spécial, le cardiographe à balancier. Le balancier est un levier mobile autour de son axe, il est muni d'un stylet inscripteur qui inscrit la courbe sur le cylindre tournant, le cardiogramme.

2. Obtention d'un enregistrement cardiaque :

Chaque contraction entraîne le déplacement du stylet qui inscrit sur le cylindre enregistreur une courbe, le cardiogramme.



Analyse d'un cardiogramme



Le tracé d'un battement cardiaque comprend deux courbes successives d'amplitudes différentes :

- La courbe ABC correspond à l'activité des oreillettes ;
- La courbe CDE correspond à l'activité du ventricule.
AB : contraction des oreillettes ou *systole auriculaire*, le sang est chassé des oreillettes vers le ventricule ;
BC : décontraction des oreillettes ou *diastole auriculaire* qui se poursuit jusqu'en E. Ce relâchement entraîne une pénétration du sang du sinus veineux dans les oreillettes ;
CD : contraction du ventricule ou *systole ventriculaire*, le sang est poussé du ventricule vers le bulbe artériel ;
DE : décontraction du ventricule ou *diastole ventriculaire* qui se poursuit jusqu'en F.

Remarque : DE, phase commune du relâchement des oreillettes et du ventricule est appelée diastole générale.

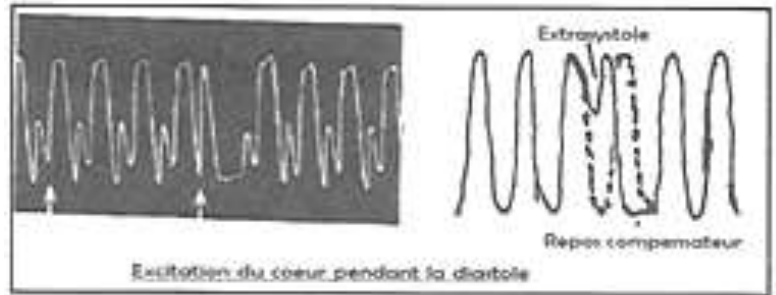
N.B : L'ensemble de ces deux courbes (ABC + CDE) constitue une révolution cardiaque. En comparant les systoles des diastoles, on constate que, les systoles sont inférieures aux diastoles : on dit que le cœur se repose plus qu'il ne travaille ; *ce qui explique que le cœur soit un muscle infatigable*.

3. Effets d'excitations électriques sur le rythme cardiaque

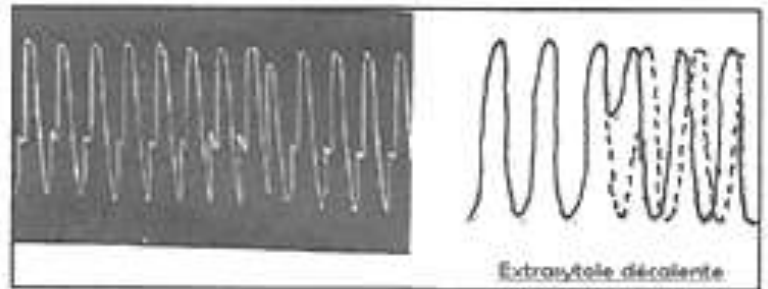
On ajoute au cardiographe un dispositif d'excitations électriques :

- Si une excitation électrique est portée sur le cœur pendant les systoles (systole auriculaire et systole ventriculaire), le cardiogramme n'est pas modifié ; le cœur n'est donc pas excitable pendant les systoles : C'est la période réfractaire.

- Si une excitation électrique est portée sur le cœur pendant la diastole, on observe une systole anticipée ou extrasystole suivie d'un repos plus long appelé repos compensateur.



- Si on porte une excitation sur le sinus veineux, on observe des extrasystoles uniquement pendant la diastole mais ces extrasystoles ne sont pas suivies d'un repos compensateur ; on parle d'extrasystoles décalées.

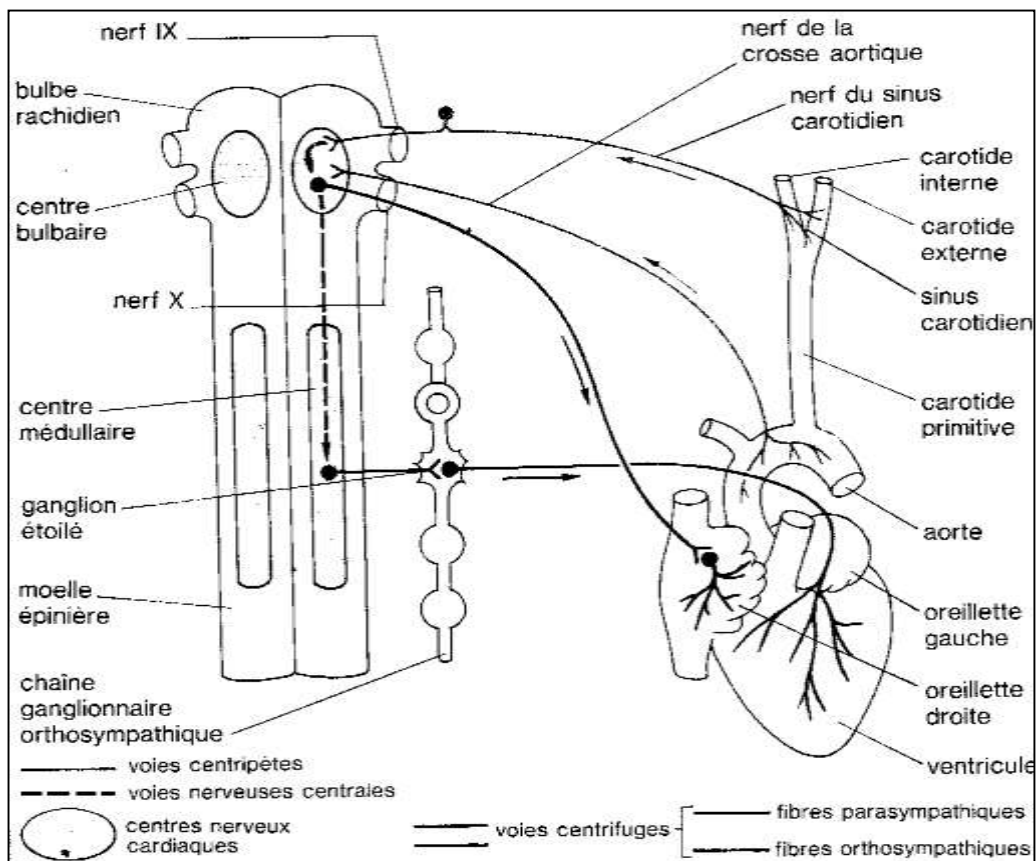


II- LA RÉGULATION DE L'ACTIVITÉ CARDIAQUE

A. L'innervation cardiaque

Le cœur est innervé par :

- Des nerfs moteurs :
 - des fibres du parasympathique dont les corps cellulaires sont situés dans le centre bulbaire cardio-accélérateur et font synapse dans l'oreillette droite ;
 - des fibres du système orthosympathique qui partent de la moelle épinière, font synapse dans la chaîne ganglionnaire et arrive au cœur.
- Des nerfs sensitif qui partent du cœur: le nerf de Cyon (nerf du sinus carotidien) et le nerf de Hering (nerf de la crosse aortique).

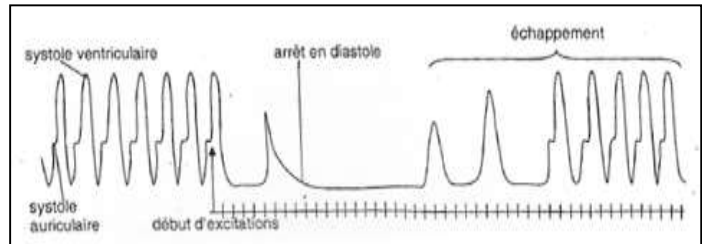


B- Action des nerfs sur le rythme cardiaque

Les expériences sont effectuées chez le chien.

1. Action du parasymphatique (action du nerf pneumogastrique)

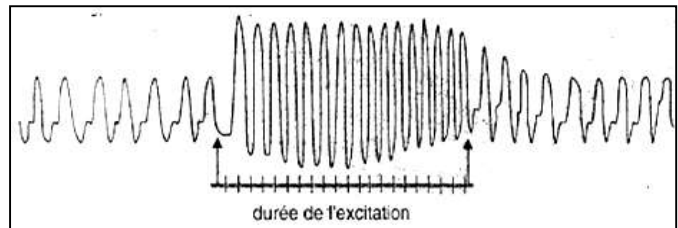
- Chez un chien, la section des deux nerfs pneumogastriques ou nerfs X (10) est suivie d'une accélération permanente du cœur : Le pneumogastrique exerce une action modératrice sur le rythme cardiaque.
- Chez un autre chien, l'excitation électrique du nerf pneumogastrique provoque un ralentissement du rythme cardiaque et une diminution de la pression artérielle puis un arrêt du cœur en diastole ; C'est le phénomène d'échappement.
- L'excitation du bout central du nerf pneumogastrique est sans effet ; le nerf X n'est pas un nerf *sensitif ou afférent*. Par contre, l'excitation du bout périphérique du nerf pneumogastrique a le même effet que celle du nerf intact ; le nerf pneumogastrique est un nerf moteur cardio-modérateur.



Conclusion : Le pneumogastrique exerce donc un effet modérateur sur le rythme cardiaque. Le centre nerveux de cette modulation se trouve dans le bulbe rachidien : c'est le centre cardio-modérateur (CCM).

2. Action de l'orthosymphatique (action du nerf sympathique)

- Chez le chien, la section des nerfs orthosymphatiques est suivie d'une baisse permanente du cœur : l'orthosymphatique exerce une action accélératrice sur le rythme cardiaque.
- L'excitation électrique du nerf orthosymphatique provoque une accélération du rythme cardiaque.
- L'excitation électrique du bout central est sans effet. Par contre, l'excitation du bout périphérique du nerf orthosymphatique provoque une accélération du rythme cardiaque ; l'orthosymphatique est donc un nerf cardio-accélérateur.



Conclusion : Ce nerf a un effet accélérateur sur le rythme cardiaque.

Le centre nerveux de cette accélération se trouve dans la moelle épinière : c'est le centre cardio-accélérateur (CCA).

Bilan : Le cœur est donc soumis à l'action antagoniste du pneumogastrique et de l'orthosymphatique.

C- NOTION DE MÉDIATEURS CHIMIQUES

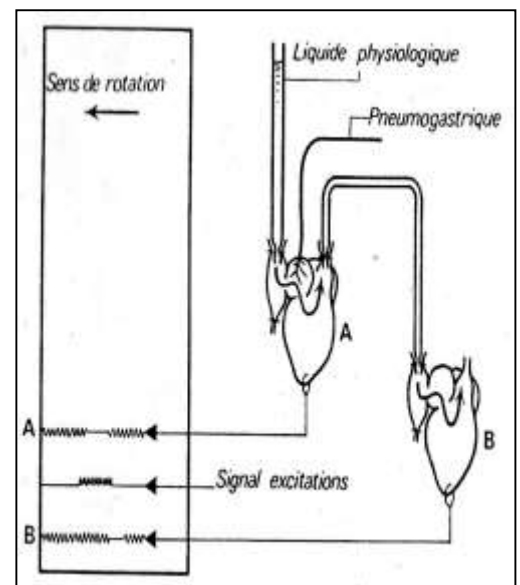
1- Mise en évidence : expérience de Loewi

OTTO LOEWI (1921) opère sur deux cœurs de grenouille en perfusion, dont l'un demeure rattaché au pneumogastrique. Ces deux cœurs sont reliés à des stylets inscripteurs.

Expérience 1 : Des excitations électriques répétées sur le pneumogastrique pendant une période assez longue montre un ralentissement du rythme cardiaque, une diminution d'amplitude des contractions du cœur A suivie d'un arrêt en diastole puis d'une reprise des contractions ; c'est le phénomène d'échappement.

Le cardiogramme B montre les mêmes phénomènes de ralentissement, d'arrêt et d'échappement mais ils se produisent avec un certain retard par rapport au cœur A.

Conclusion : Le liquide physiologique a acquis des propriétés modératrices à la suite de son passage dans le cœur A.



Interprétation : Pour Loewi, ce sont les fibres parasympathiques du pneumogastrique qui ont libéré la substance modératrice ou substance vagale responsable de l'inhibition des fibres musculaires. Cette substance chimique qui assure l'intermédiaire entre les nerfs et le muscle cardiaque est un neuromédiateur appelé acétylcholine.

L'acétylcholine est rapidement détruite par la cholinestérase, ce qui explique le phénomène d'échappement.

Remarque:

L'atropine inhibe l'action du parasympathique en bloquant les récepteurs cardiaques de l'acétylcholine. Il s'en suit une accélération du rythme du cœur A puis un peu plus tard, celui du cœur B.

Expérience 2 : Si on réalise la même expérience sur les cœurs des crapauds, on observe une accélération du rythme cardiaque et une augmentation d'amplitude des contractions du cœur A puis un peu plus tard celui du cœur B.

Interprétation : Pour Loewi, ce sont les fibres orthosympathiques qui ont libéré la substance accélératrice appelée noradrénaline qui est voisine de l'adrénaline.

Bilan : *Le pneumogastrique libère l'acétylcholine et l'orthosympathique, la noradrénaline. Ces deux substances servent d'intermédiaires entre les neurones et le muscle cardiaque. Elles sont appelées médiateurs biochimiques ou régulateurs biochimiques.*

D- ETUDE DE QUELQUES REPONSES ADAPTATIVES DU CŒUR : influence des ions

1- Action des ions Na⁺

Les ions Na⁺ permettent le maintien de l'automatisme cardiaque mais ils peuvent à la longue entraîner un arrêt du cœur en diastole ; on dit que ces ions exercent une action déprimante sur le cœur.

2- Action des ions K⁺

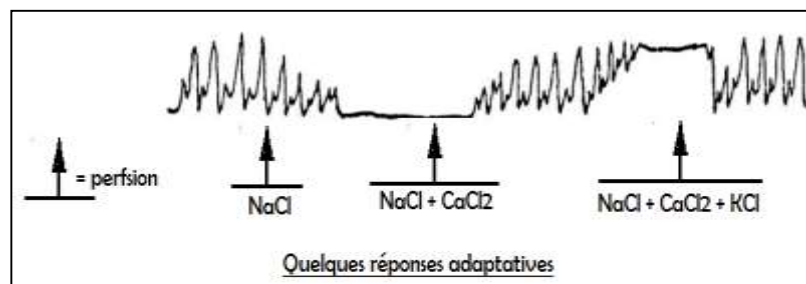
Un excès des ions K⁺ dans le milieu rend la fibre myocardique inexcitable et le cœur s'arrête en diastole ; ces ions ont une action diastolisante sur le cœur.

3- Action des ions calcium

Un excès des ions Ca²⁺ dans le milieu augmente l'excitabilité et la contractilité du cœur qui finalement s'arrête en systole, les ions calcium ont une action systolisante sur le cœur.

Expériences et résultats :

Un cœur isolé de grenouille est perfusé à l'aide du liquide de Ringer. Les battements parfaitement normaux sont enregistrés sur un cylindre de cardiographe. On ferme le robinet permettant l'arrivée du liquide dans la canule puis, lorsque celle-ci est presque vide, on introduit quelques gouttes de NaCl, NaCl + CaCl₂, NaCl + CaCl₂ et KCl. On obtient les résultats suivants :



Interprétation :

- ❖ La solution de NaCl pure ne suffit pas pour maintenir les contractions cardiaques : l'ion Na⁺ a une action diastolysante ;
- ❖ Les contractions reprennent quand on ajoute au NaCl, une solution de CaCl₂, mais s'arrête vite en systole : les deux ions ensemble ne suffisent pas pour maintenir les contractions cardiaques. L'ion Ca²⁺ semble dominé l'ion Na⁺ ;
- ❖ Avec la perfusion du NaCl + CaCl₂ + KCl, la contraction reprend et ne s'arrête pas : les trois ions sont nécessaires au maintien des contractions cardiaques.

Conclusion :

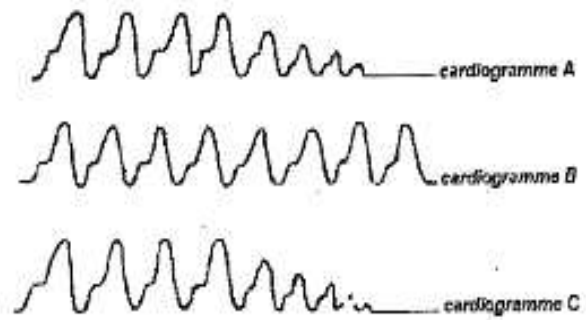
Le fonctionnement normal du cœur nécessite un mélange équilibré de ces trois types d'ions.

Exercices d'entraînement

Exercice n°1 :

Sur une grenouille, on dégage le nerf de cyon. On l'excite et l'on obtient le cardiogramme A. On sectionne ce nerf puis on excite le bout périphérique : on obtient le cardiogramme B. Cependant, si on excite le bout central, on obtient le cardiogramme C.

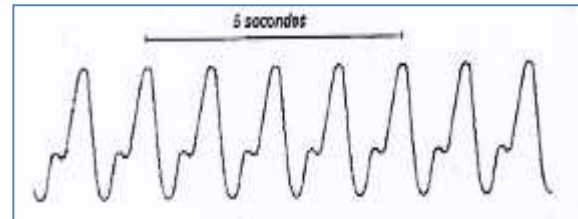
Après avoir analysé chaque cardiogramme, dites quelles précisions ces cardiogrammes apportent-elles sur le rôle et la nature du nerf cyon.



Exercice n°2 :

1. Pour étudier l'activité cardiaque, on procède à des enregistrements des contractions du myocarde ; chez la grenouille, on obtient le tracé de la figure ci-contre.

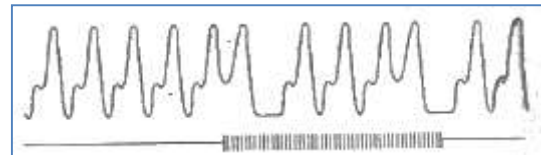
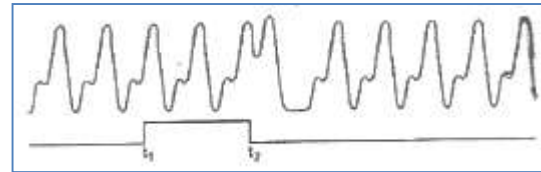
- Analysez ce tracé ; quel nom lui donne-t-on ?
- Reproduisez à une grande échelle, une révolution cardiaque en délimitant, avec précision, les différentes phases.
- Évaluez les fréquences des battements cardiaques.



2. a. Au cours de l'enregistrement, on a porté directement sur le myocarde deux stimulations électriques aux instants t1 et t2, le résultat obtenu est indiqué sur la figure ci-contre.

Dégagez l'analyse de ce tracé, une propriété particulière du myocarde.

b. on soumet alors le myocarde à une série répétées et rapprochées (80 excitations / seconde) : la figure ci-contre indique le résultat obtenu. Que pensez-vous de ce résultat ?



Exercice n°3 :

Dans le cœur des Mammifères existe un tissu particulier, schématisé sur le document ci-contre.

- Nommez-le
- Annotez ce document ;
- Précisez la répartition et la structure de ce tissu.

Le cœur d'un chien a la même structure que celui des autres mammifères ; sur ce cœur de chien perfusé, on réalise les expériences suivantes :

Expérience n°1 : si on détruit l'élément A, les oreillettes et les ventricules cessent de battre, puis ces quatre cavités reprennent leurs contractions simultanément sur un rythme ralenti.

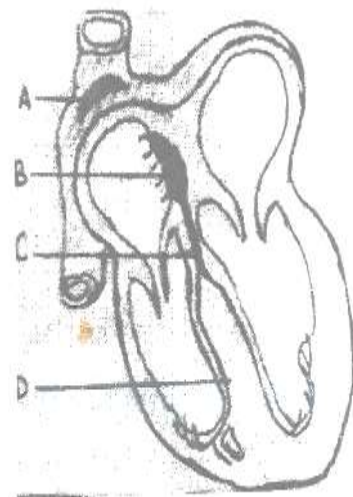
Expérience n°2 : sur un autre cœur si l'on sectionne l'élément C, les oreillettes conservent leur rythme normal tandis que les ventricules s'arrêtent à battre puis se remettent à battre à un rythme très lent.

4. Que montrent ces expériences quant au rôle des tissus ?

Le cœur d'un chien bat normalement à un rythme de 80 à 90 révolutions cardiaques par minute.

Si l'on supprime l'innervation cardiaque (cœur isolé), la fréquence cardiaque passe de 135 à 150 battements par minute.

- Que déduisez-vous de cette expérience ?
- Définissez : révolution cardiaque, systole, diastole.



Exercice n° 4 :

On veut savoir pourquoi dans un organisme normal, le rythme cardiaque ralentit ou s'accélère chez un chien endormi. Pour cela on réalise les opérations suivantes :

- Si on place une ligature en amont (B), le sinus carotidien se rétracte et le rythme cardiaque s'accélère.
- Si on sectionne le nerf de Hering ou le nerf vague, la ligature en (B) n'a plus d'effets sur le rythme cardiaque.
- Si on place la ligature en aval (A) du sinus carotidien, ce dernier se renfle et le rythme cardiaque ralentit.

A partir de ces observations (voir document ci-dessous), on vous demande de répondre aux questions suivantes :

- Indiquez la cause provoquant la réponse du cœur ;
- Expliquez les réactions du cœur lors des différentes opérations ;
- Quel est le rôle du sinus carotidien ?
- Dégagez la nature et le rôle du nerf de Hering et du nerf vague ;
- Représentez par un schéma précis le trajet de l'influx nerveux provoquant le ralentissement du cœur.

