

FORMATION EN SOINS INFIRMIERS

2022 - 2023

PREFMS CHU DE TOULOUSE



UECP 20 Anatomie et physiologie cardio-vasculaire et respiratoire

Physiologie cardio-vasculaire

Partie 1

COURS

Ce cours proposé a été fait bénévolement par un étudiant, pour les étudiants. Il est un outil complémentaire, qui ne subsiste en aucun cas par ce qui est proposé par la Faculté. Ce cours se base sur les cours de l'année 2022 – 2023. Il pourrait y avoir des erreurs malgré nos relectures : merci de nous faire remonter tout errata remarqué, pour que nous puissions le réajuster. Attention, les **marges** du document ont été **réduites**, pensez à modifier les paramètres de l'imprimante en cas d'impression. Ce cours est la propriété du Tutorat.

Réalisé par : Dorian SOURD – étudiant de première année

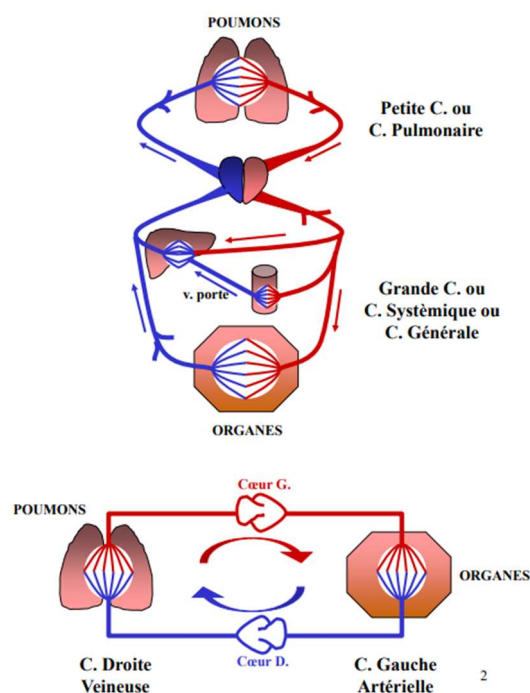
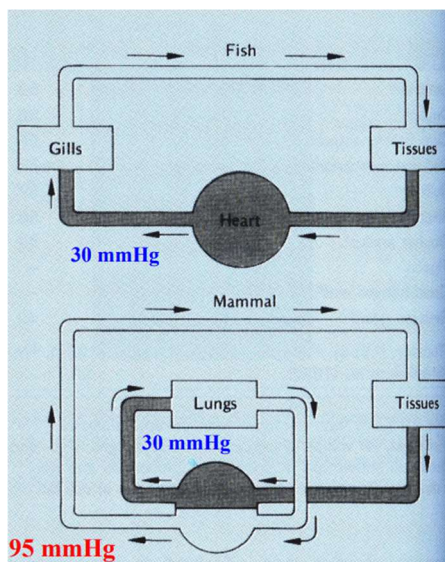
Contact : dsourd12@gmail.com

I. La petite et la grande circulation (voir cours généralités)

Tous les mammifères disposent d'un cœur qui associe 2 pompes en série formant la grande (oxygénation des organes) et la petite circulation (oxygénation du sang).

Chaque globule rouge met 1 minute à faire un tour complet (en empruntant la grande et la petite circulation)

Chez le poisson, le sang circule en circuit fermé et ne dispose que d'un ventricule. Cela est possible car la pression artérielle ne dépasse pas 30mmHg. Le sang chez l'homme doit être sous « haute » pression, ce qui impose un deuxième ventricule. Dans l'artère qui conduit au poumon on a 30mmHg (faible pression) tandis qu'à la sortie du ventricule gauche il y a 95 mmHg (haute pression). (A retenir)



II. Fonctions de l'appareil cardio-vasculaire

La grande fonction de cet appareil est le transport du sang. Ce transport permet 5 fonctions :

- La nutrition avec un apport d'O₂, de nutriments, d'eau aux cellules de l'organisme et l'élimination du CO₂ et des déchets (rôle des reins, du foie).
- La communication via les hormones
- La défense de l'organisme : anticorps, globules blancs
- La coagulation : plaquettes
- La thermorégulation

Trajet de la circulation pulmonaire (petite circulation) : Ventricule droit → Artère pulmonaire → capillaires pulmonaires (hématose) → 4 veines pulmonaires → oreillette gauche

Trajet de la circulation systémique (grande circulation) : Ventricule gauche → aorte → artères, artérioles → capillaires totalité des organes → Veine cave sup' et veine cave inf' → oreillette droite

III. Le cœur

a. Généralités (voir cours précision anatomie)

Le cœur est un muscle creux (270-300g chez l'adulte) à 4 cavités. Les parties droite et gauche sont séparées par une paroi : le septum inter auriculaire et inter ventriculaire. Par convention, les artères sont les vaisseaux qui amènent le sang du cœur aux organes (oxygéné ou non). Les veines sont les vaisseaux qui ramènent le sang des organes vers le cœur (oxygéné ou non). Le fonctionnement des valves est passif et ne dépend que de la pression du sang contrairement à la contraction des ventricules. Elles sont maintenues par des piliers et des cordages aux parois des

ventricules. Quand elles sont fermées, elles sont étanches et si elles ne sont plus fonctionnelles, elles peuvent être remplacées. Ces valves unidirectionnelles orientent et imposent le sens d'écoulement du sang.

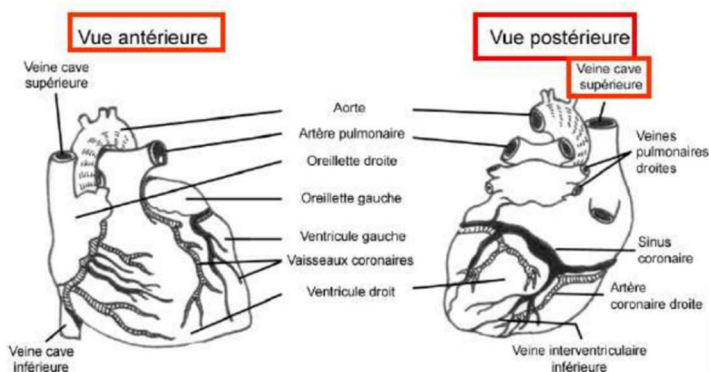
Le cœur est composé de tissu conducteur sauf au niveau du plancher fibreux qui sépare les oreillettes des ventricules.

b. Vascularisation du cœur

Le cœur est vascularisé par les artères coronaires droite et gauche issues de l'artère aorte thoracique ascendante. 2 veines coronaires ramènent le sang appauvri en O₂ vers l'oreillette droite (sinus coronaire).

Remarque : l'occlusion d'une artère coronaire entraîne un infarctus du myocarde.

L'irrigation du cœur se fait pendant la phase de relâchement général du cœur (diastole). Quand la fréquence cardiaque (FC) augmente, les besoins du cœur augmente alors que l'irrigation diminue.



c. Le sang

Le sang est composé du plasma (liquide) et des éléments figurés (cellules). Le plasma est composé d'eau (90%) et des éléments nutritifs.

Les éléments figurés sont les globules rouges (transport d'O₂ et de CO₂), les globules blancs (immunité) et les plaquettes (coagulation).

Erythrocytes, ou hématies, ou globules rouges sont au nombre d'environ 4 à 6 millions par mm³. Chaque globule rouge contient environ 280 millions molécules d'hémoglobine (transport O₂) et ne contiennent pas de noyau.

L'évaluation du nombre de globule rouge est le taux d'hématocrite. Pour l'homme : 40-52%, pour la femme : 37 à 48%.

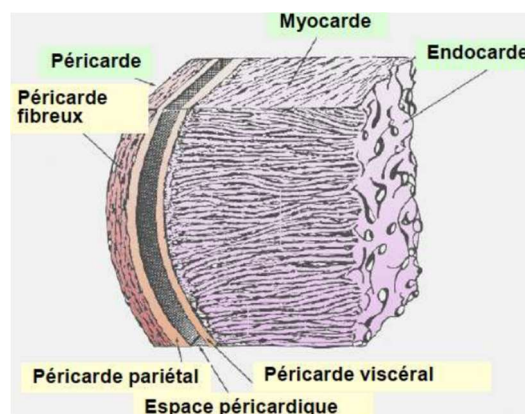
d. Le tissu myocardique

L'endocarde est un épithélium de revêtement qui recouvre les cavités cardiaques. C'est un tissu conjonctif de soutien d'épaisseur de moins de 1mm. L'endocarde est en contact avec le sang.

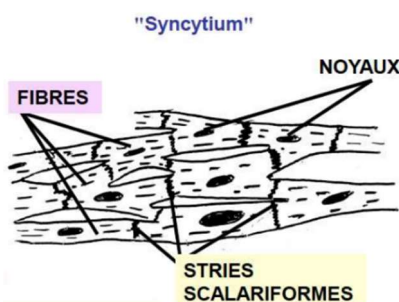
Le myocarde est un tissu musculaire strié cardiaque. L'épaisseur du ventricule > oreillette.

Le péricarde est un sac fibreux à double parois qui permet les glissements sans frottement. Il est composé de 2 feuillets formant une cavité virtuelle :

- Epicarde (feuillet viscéral) enveloppe le cœur
- Feuillet pariétal



Les fibres musculaires striées sont rattachées les unes aux autres par des stries scalariformes (en forme d'échelle). La structure qui permet la contraction en masse du cœur est un syncytium (masse cytoplasmique limité par une membrane et comportant plusieurs noyaux). Les fibres de l'oreillette se contractent toutes en même temps, puis vient celle du ventricule (rôle de pompe).



Rappel : attention, le plancher auriculo ventriculaire ne se contracte pas (tissu fibreux).

Les cellules cardiaques sont particulières puisqu'elles sont polarisées, excitables (la polarité peut être modifiée sous l'effet d'un stimulus, mais il y a une longue période réfractaire), conductrices (conduisent les Potentiels d'Actions) et contractiles (capables de transformer le phénomène électrique en mécanique).

En revanche, il n'y a pas de sommation possible des contractions (période réfractaire longue).

Période réfractaire : Période durant laquelle l'état de polarisation de la cellule la rend incapable d'émettre un nouveau signal électrique.

IV. Phénomènes électro-ioniques ou comment sont générés les signaux électriques du cœur ? (Annexe 1 P.12)

a. 1^{er} phénomène

Dans la cellule cardiaque, il y a une pompe Na⁺/K⁺ ATPase. Cette pompe va se servir de l'ATP pour expulser 3 ions sodium Na⁺ vers l'extérieur de la cellule et dans la foulée faire entrer 2 ions potassium K⁺ à l'intérieur de la cellule.

b. 2^e phénomène

A l'extérieur de la cellule du cœur il y a une forte concentration en ion sodium Na⁺ (150mM) alors qu'à l'intérieur il y a une forte concentration en ion potassium K⁺. Lorsqu'un soluté est plus concentré dans un compartiment qu'un autre, il va y avoir un phénomène d'équilibrage des concentrations. Les ions potassium K⁺ vont donc se diriger vers le compartiment extracellulaire via les canaux potassiums (car la membrane plasmique est perméable aux ions). Ce mouvement de diffusion naissant d'une différence de concentration s'appelle un gradient de concentration.

Une différence de potentiel (gradient électrique) apparaît car en se déplaçant, les ions potassium K⁺ amènent des charges + (K⁺), causant un excès de charge + à l'extérieur de la cellule et un excès de charge - à l'intérieur de la cellule.

Ainsi, plus les ions potassium K⁺ s'accumulent à l'extérieur de la cellule, plus ils vont être attirés par les charges négatives à l'intérieur de la cellule. Cela va donner le potentiel d'équilibre du potassium. On passe donc d'un phénomène chimique à un phénomène électrique.

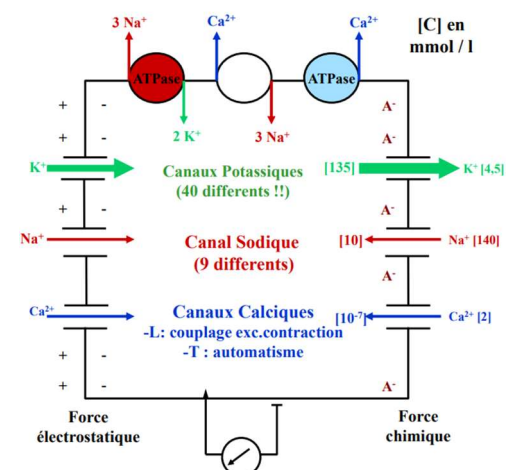
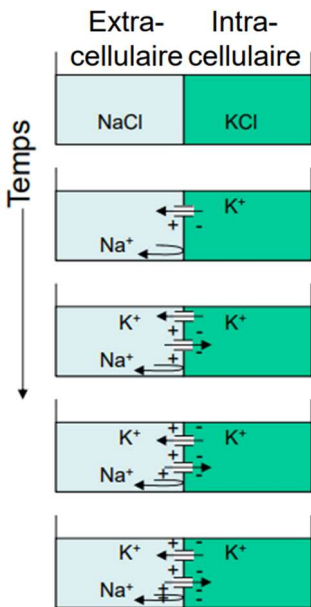
c. 3^e phénomène

Les ions sodium Na⁺ ont eux aussi un gradient de concentration : ils sont plus concentrés à l'extérieur de la cellule qu'à l'intérieur. Parallèlement, plus le temps avance, et plus ils sont attirés par le potentiel - de l'intérieur de la cellule en raison de l'accumulation des charges + des ions potassium K⁺ à l'extérieur de la cellule. Au bout d'un certain moment, les ions sodium Na⁺ vont s'engouffrer dans la cellule, ce qui donne naissance au potentiel d'action de la cellule.

Le potentiel d'équilibre du potassium est de l'ordre de -90 à -100mV. Le potentiel d'équilibre du sodium est de +60mV. Un neurone au repos a un potentiel de -70mV car la conductance membrane des ions potassium K⁺ est la plus importante au repos. Le potentiel de repos de la cellule cardiaque est de -90mV.

Lorsque l'on suspecte un déséquilibre du potassium, on fait un électrocardiogramme pour savoir s'il y a trop ou pas assez de potassium.

La concentration de calcium libre à l'intérieur de la cellule est faible par rapport à ce qui a dans le sang (mais crucial pour la contraction). C'est les petites augmentations qui vont permettre la contraction de la cellule.



Le potentiel membranaire des cellules du tissu nodal est instable, ce qui explique la dépolarisation diastolique lente (car les charges mettent du temps à se répartir pour donner -90mV).

NB : Pour capter la tension d'une cellule, on considère que l'électrode capte l'intérieur de la cellule, donc au repos la valeur est négative.

d. Potentiel d'Action (PA) et tissu nodal

Le potentiel d'action est le signal élémentaire des cellules cardiaques. Ce PA dure 250ms et va permettre une entrée de calcium dans la cellule.

Les fibres nodales représentent 1% des fibres musculaires du cœur (99% sont des fibres contractiles). Elles ont une capacité d'autoexcitabilité qui est une propriété originale et fondamentale à l'origine de l'automatisme cardiaque. Cet automatisme consiste en la dépolarisation spontanée (émission de potentiels d'actions spontanés à intervalles réguliers). Elles sont polarisées, elles sont excitables et non contractiles (quasiment pas de myofibrilles).

Pour mettre en évidence cet automatisme cardiaque, on place le cœur dans des conditions idéales d'O2, de T°, de nutrition... et en enlevant petit à petit un de ces éléments, on regarde s'il continue à battre.

La dépolarisation est spontanée mais hiérarchisée.

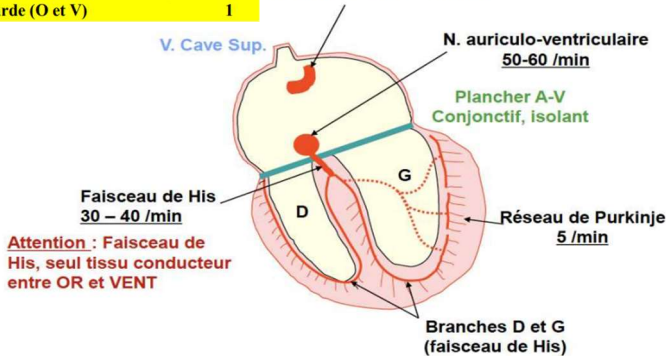
Les cellules du tissu nodal se situent dans des régions du cœur précises :

- Nœud sinusal
- Nœud auriculo-ventriculaire
- Faisceau de His
- Branches droite et gauche du faisceau de His
- Réseau de Purkinje

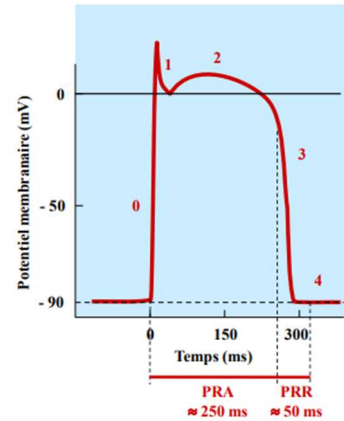
Vitesses de propagation (m / sec)

| | |
|----------------------------------|-------|
| Nœud S-A et Nœud A-V | < 0,1 |
| F. de His | 4 |
| Br. Faisc. His et R. de Purkinje | 2 |
| Myocarde (O et V) | 1 |

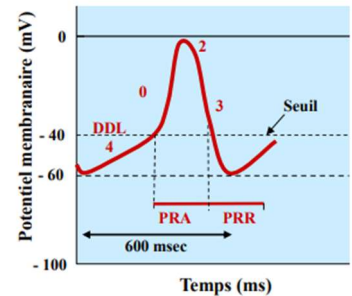
N. Sinusal, 100 (-120) /min



Cardiomyocyte

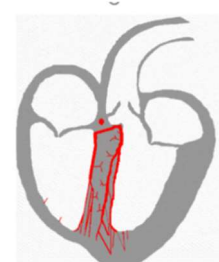
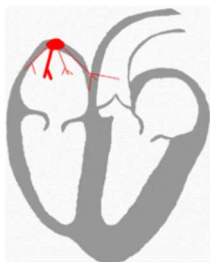


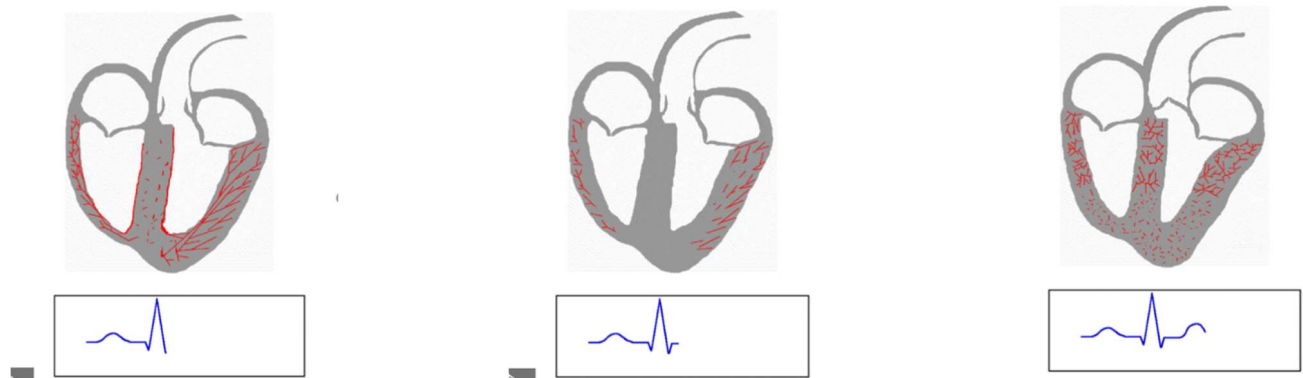
Fibre nodale du nœud sinusal
Fréquence spontanée : 100 / min



Le nombre de signaux par minutes générés par le tissu nodal est différents selon les régions. Il y a plus de signaux générés par le nœud sinusal que par le réseau de Purkinje. Le faisceau de His est le seul tissu conducteur entre les oreillettes et les ventricules car le plancher atrio-ventriculaire est conjonctif et isolant.

Au niveau des branches, la conduction est plus rapide (2m/s) que dans le muscle lui-même (1m/s) ce qui fait qu'il va y avoir une contraction homogène du muscle cardiaque. L'activation musculaire se fait de la paroi interne du myocarde vers sa paroi externe. La plus épaisseur paroi du myocarde fait environ 1cm (au niveau du ventricule).





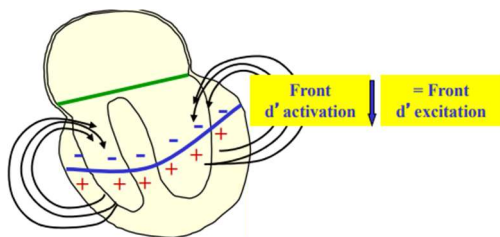
La courbe bleue traduit les évènements électriques enregistrés par l'électrocardiogramme.

V. Point sur l'électrocardiogramme

Dans notre corps, il y a 3 grands types de cellules qui peuvent générer de l'électricité :

- Neurones (électroencéphalogramme)
- Muscle cardiaque
- Muscle strié squelettique.

Le muscle peut se contracter de manière volontaire avec le mouvement et involontaire avec le frisson. Quand on enregistre un électrocardiogramme, il faut donc que le sujet soit au repos et dans une pièce chaude (pour éviter les frissons) .



Le principe de l'électrocardiogramme est d'enregistrer les potentiels électriques qui se produisent à l'extérieur des cellules du cœur (la membrane plasmique est imperméable et on ne peut pas capturer les signaux à l'intérieur de la cellule) pendant les changements d'état électrique.

Si on reprend les principes électro-ionique, ce sont les déplacements de charges en fonction du gradient électrique qui vont être enregistrés par

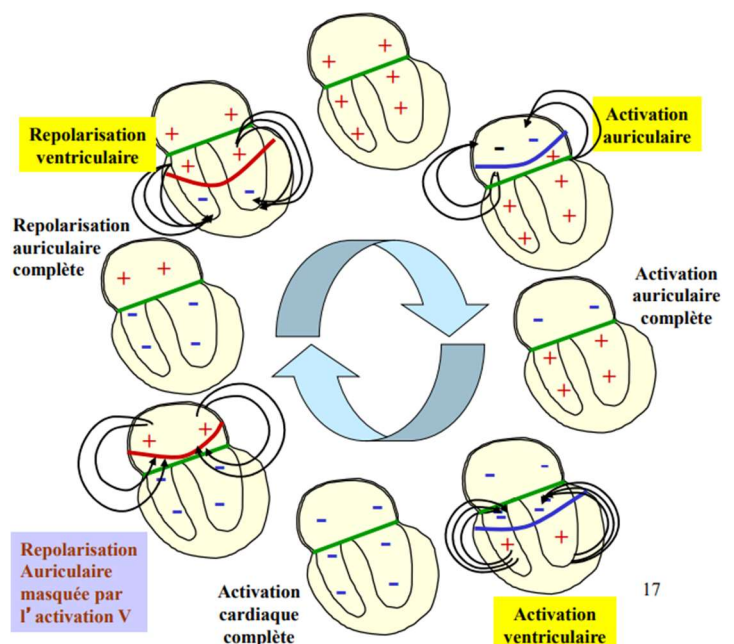
l'électrocardiogramme.

La diffusion du Potentiel d'Action membranaire s'identifie grâce à un changement de polarité membranaire. En effet, au repos, l'extérieur de la membrane est positif et l'intérieur négatif. Les phénomènes électro-ionique qui conduisent à la création du Potentiel d'Action vont conduire à l'inversement des charges sur un cours instant : l'intérieur devient positif et l'extérieur négatif. Le front d'excitation correspond donc à ce mouvement global de dépolérisation sur une région donnée.

3 évènements sont à identifier :

- L'activation des oreillettes
- Activation des ventricules
- Repolarisation ventriculaire

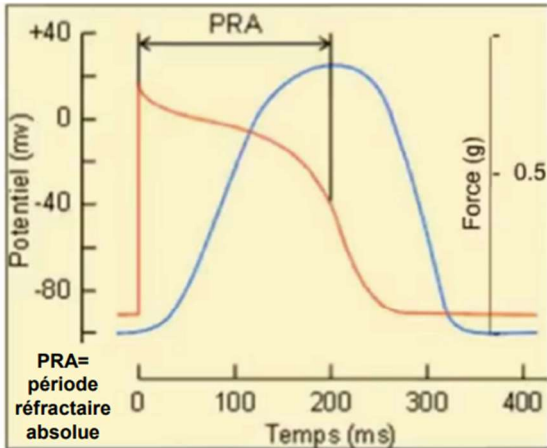
La repolarisation des oreillettes ne s'identifie pas à l'électrocardiogramme car elle est masquée par l'activation des ventricules.



Enregistrement de l'activité du cœur

Pour capter les signaux électriques du cœur, nous avons besoin d'électrodes. Ces électrodes sont placées près du cœur via un schéma en dérivation. *Les détails de l'ECG ne sont pas abordés dans ce cours et les diapos 18, 19 et 20 ont été passées.*

VI. Couplage excitation-contraction



Nous avons représenté en orange le potentiel d'action d'un cardiomyocyte et en bleu sa contraction. Au repos, l'activité électrique est de -90mV. L'entrée rapide d'ions sodium Na^+ provoque la dépolarisation et la membrane interne de la cellule devient positive. (Rappel : pour capter la tension d'une cellule, on considère que l'électrode capte l'intérieur de la cellule, donc au repos la valeur est négative puis elle passe positive avec l'arrivée du PA). S'en suit un plateau qui dure environ 200ms et une repolarisation et un retour au repos à -90mV.

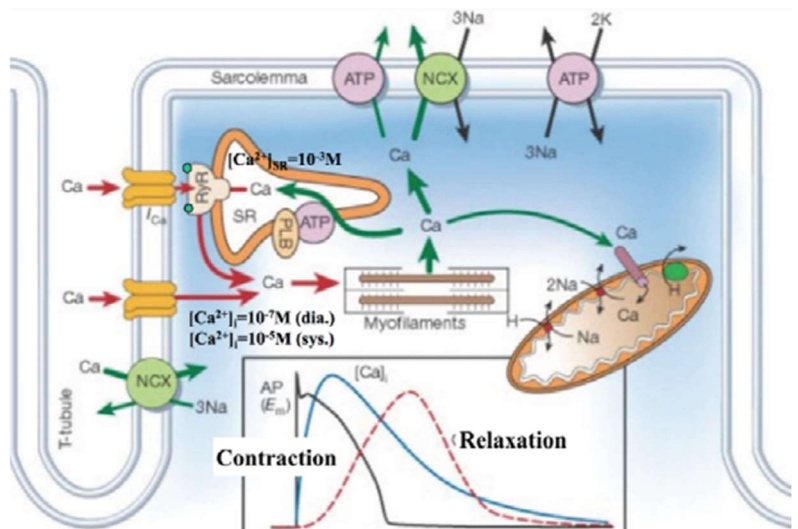
Les événements électriques de la cellule vont induire des modifications moléculaires à l'intérieur de la cellule aboutissant à la libération du calcium, contenu dans le réticulum endoplasmique,

dans le cytoplasme. Ce calcium va activer les filaments fins et épais de myosine et d'actine qui sont responsable de la contraction.

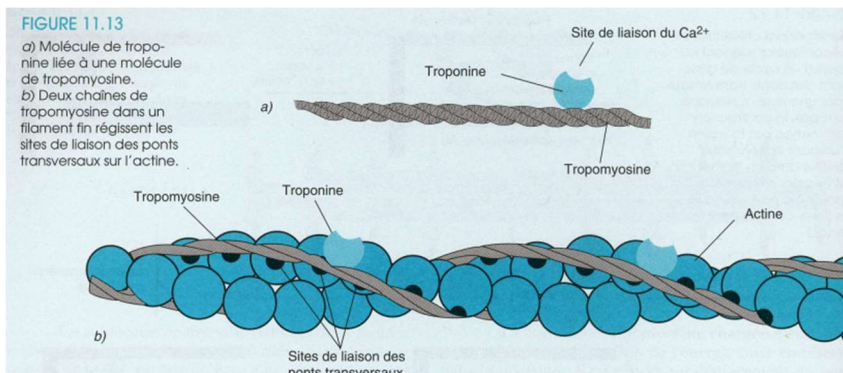
Sur le graphique on remarque que l'apogée de la contraction musculaire est liée à la fin du passage du Potentiel d'Action. Il y a un décalage d'environ 100 ms entre les événements électriques et mécaniques.

Il n'y a pas d'intérêt en rentrer dans les détails moléculaires pour cette licence. Ce qu'il vous faut comprendre c'est ce couplage extrêmement intime entre les événements électriques et mécaniques.

S'il y a une défaillance électrique, il n'y aura donc pas de contraction. Le Pace Maker permet de substituer l'activité électrique spontanée afin de provoquer une contraction.



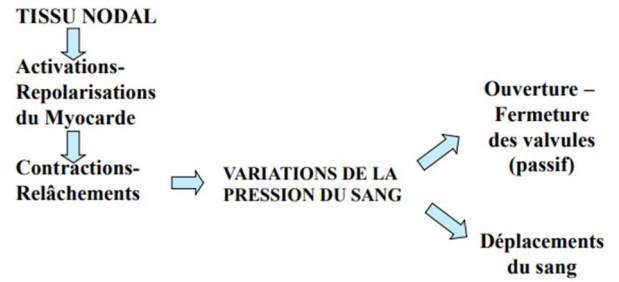
La contraction (Voir Annexe 2)



La contraction se fait grâce à des molécules sophistiquées de myosines et d'actine. Les têtes de myosine vont, sous l'effet de l'ATP, se fixer aux filaments d'actine. Le système va fonctionner comme une rame aux deux extrémités. C'est grâce à la sommation de ces petits mouvements présent à des millions d'exemplaire que la contraction cardiaque née.

VII. Phénomènes mécaniques de la révolution cardiaque

La révolution cardiaque est la répétition de la naissance à la mort du schéma suivant : le tissu nodal active et repolarise le myocarde, celui-ci se contracte et se relâche causant une variation de la pression du sang qui va elle-même conditionner l'ouverture et la fermeture des valvules par des mouvements passifs ainsi que le déplacement du sang. La contraction correspond au phénomène de systole et la relaxation au phénomène de diastole.

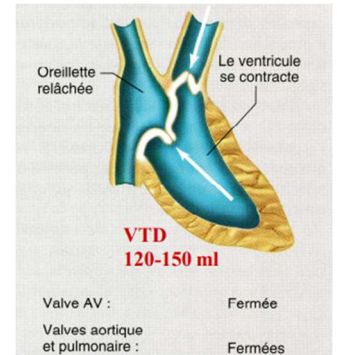
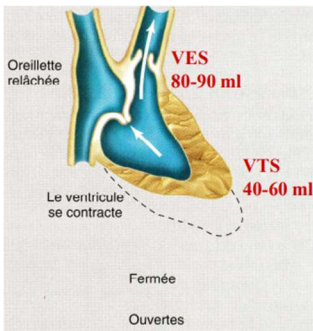


a. Illustration du fonctionnement au niveau du ventricule droit.

L'activité au niveau du ventricule droit est similaire à celle du ventricule gauche à la différence qu'à droite il y a 5 fois moins de pression qu'à gauche.

1) Phase systolique

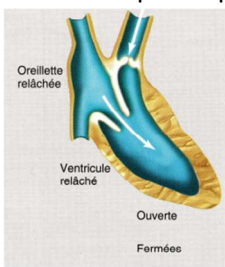
On commence la description au moment où le ventricule est rempli à 120-150mL. Ce remplissage exerce une pression sur la valve atrio-ventriculaire permettant de la fermer et d'empêcher un afflux de sang supplémentaire. La valve aortique (à gauche) et pulmonaire à droite sont aussi fermées car il n'y a pas de pression assez grande au niveau des ventricules pour permettre leur ouverture.



La contraction des ventricules a lieu et les valves pulmonaire et aortiques peuvent s'ouvrir. Lors de la contraction, il y a toujours une pression sur la valve atrio-ventriculaire empêchant un retour de sang dans le sens inverse. Environ 2/3 du sang contenu dans le ventricule va être éjecté : 80 à 90mL. A la fin de la contraction, il reste 40 à 60mL.

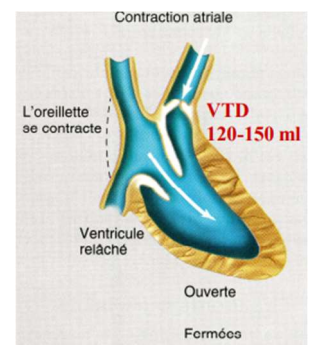
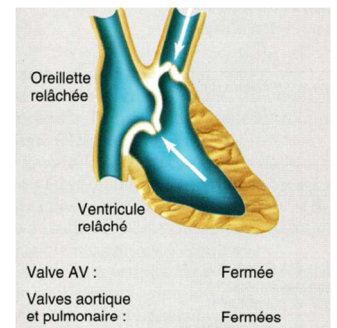
2) Phase diastolique

Cette phase commence par la relaxation du muscle cardiaque. La pression diminue à l'intérieur des ventricules et la pression devient alors plus grande dans l'artère correspondante (artère aortique ou artère pulmonaire) ce qui provoque la fermeture de la valve aortique ou pulmonaire.



La pression continue à diminuer dans le ventricule au fur et à mesure du relâchement et elle devient inférieure à la pression de l'oreillette. A ce moment-là, de façon passive, la valve auriculo-ventriculaire s'ouvre. Va ainsi pouvoir se produire le remplissage du ventricule avec le sang contenu dans l'oreillette.

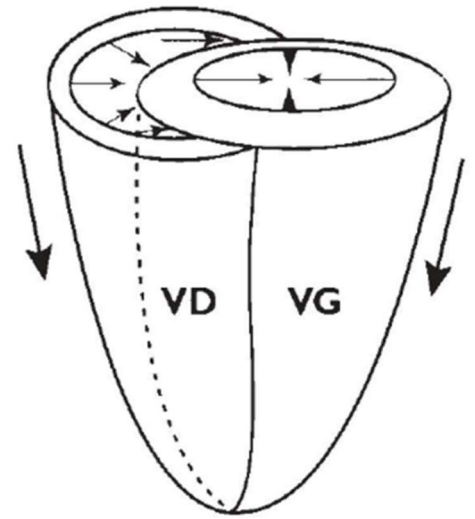
A la fin du remplissage passif a lieu le remplissage actif. En effet, l'oreillette se contracte pour expulser le reste du sang dans le ventriculaire : c'est la systole auriculaire. Cela concerne 15 à 20% du remplissage du ventricule. L'essentiel du remplissage est donc passif (ce qui explique qu'en cas de fibrillation auriculaire, l'individu peut quand même vivre). La systole auriculaire est d'autant plus importante en termes d'efficacité que le cœur s'accélère car le cœur a moins de temps pour se remplir.



b. La contraction des ventricules

La pompe du cœur est le ventricule gauche. C'est le plus épais et aussi celui qui génère la plus de pression (90mmHg et 130mmHg au max de la systole). Le ventricule droit est beaucoup plus fin et il va se servir de la puissance du ventricule gauche pour fonctionner en partie.

La forme en soufflet des ventricules permet un faible déplacement de la paroi libre permettant un grand volume d'éjection. La forme cylindrique : le volume diminue selon le carré du rayon, donc la contraction selon le petit axe est plus efficace.



On a pu étudier les pressions dans les cavités cardiaques grâce au cathétérisme. En 1861, 2 chercheurs ont effectué un cathétérisme chez un cheval.

3 grands pionniers qui ont eu le prix Nobel de médecine en 1956 pour leur contribution à la notion de cathétérisme. Forssmann croyait tellement au cathétérisme qu'il s'est implanté un cathéter jusqu'à l'oreillette droite.

Le cathéter permet :

- Mesure de pression (micromanomètre)
- Injection de produits (contraste)
- Prélèvements sanguins

Diapo 27 passée

c. PiCCO

Le PiCCO est un système qui utilise le numérique consistant à mesurer le débit cardiaque en injectant un liquide froid dans l'oreillette droite et à mesurer, grâce à un autre cathéter dans une artère de la grande circulation, le temps que met le liquide froid de passer de gauche à droite. Plus le liquide met de temps à arriver au détecteur, plus le débit cardiaque est faible. Cette technique est pratique car faiblement invasive.

d. Angiographie et échographie

Le PiCCO est remplacé par d'autres moyens d'exploration comme l'angiographie ou l'échographie. L'échographie permet d'avoir des infos sur la façon dont les cavités cardiaques se contractent et la façon dont les flux diffusent (fuites éventuelles).

e. Mise en relation des notions

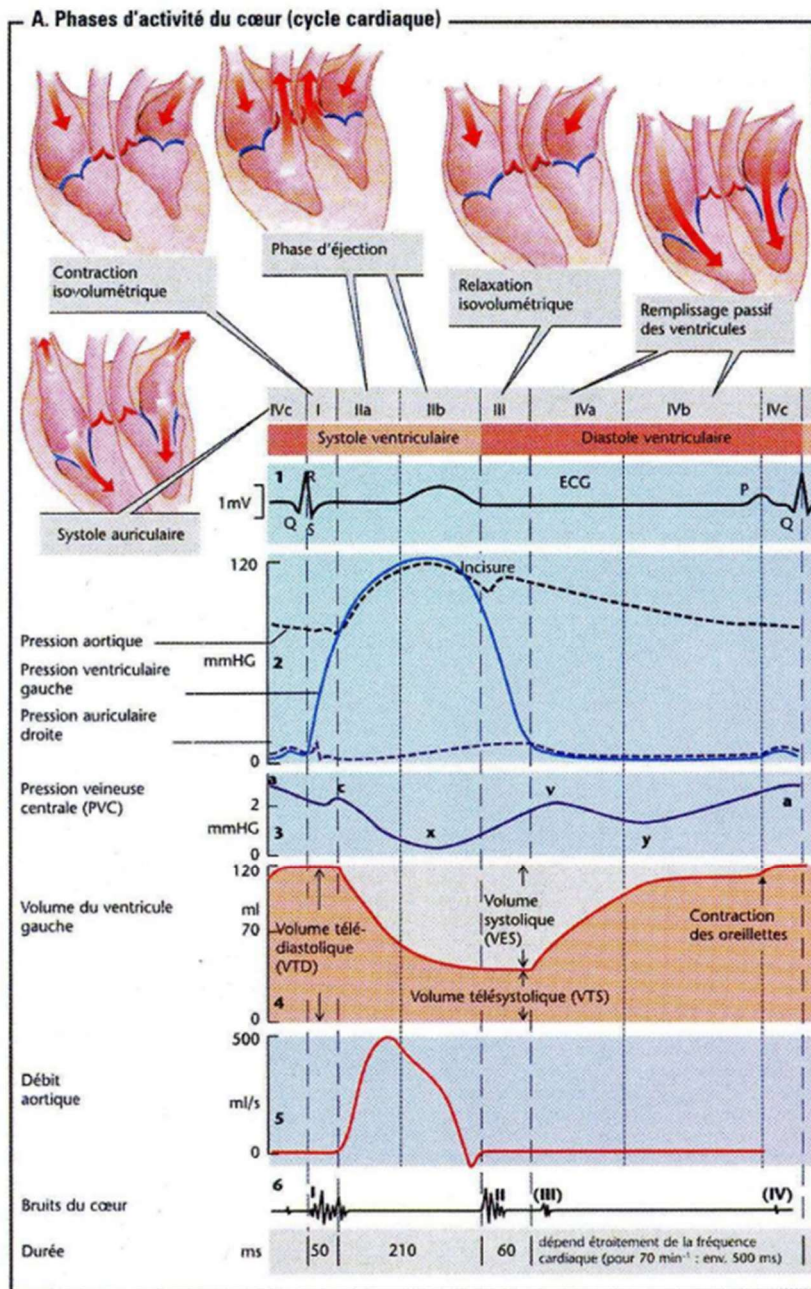
La figure montre en fonction du temps les différents aspects. On retrouve l'électrocardiogramme en haut. Le QRS montre l'activation des ventricules, l'onde T montre la repolarisation des ventricules et l'onde P l'activation des oreillettes.

La mesure de la pression ventriculaire nous montre qu'une fois la contraction du ventricule réalisée, il y a une augmentation de la pression et du débit aortique associé. La pression ventriculaire maximale est d'environ 120 à 130mmHg.

Lors de la contraction, le volume du ventricule diminue (2/3 du contenu éjecté dans l'aorte).

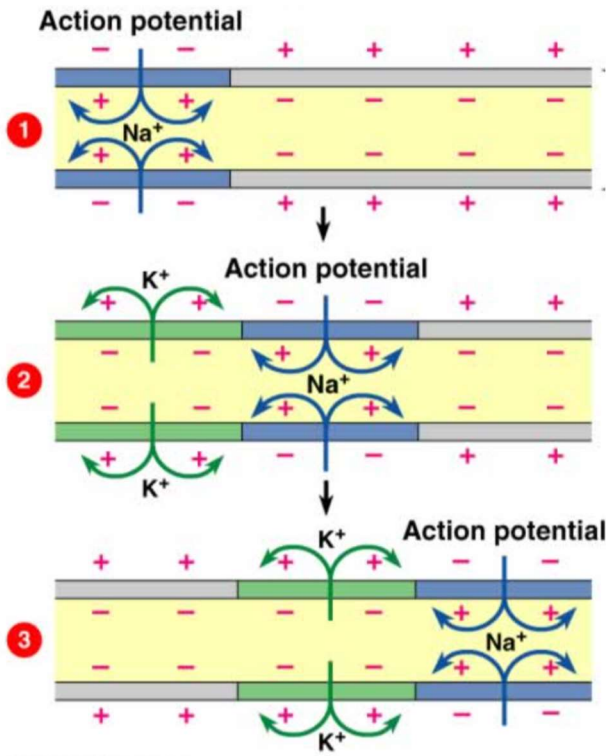
La pression diminue et la valve mitrale s'ouvre et le remplissage s'effectue ce qui fait augmenter le volume du ventricule.

La pression dans les artères suit très étroitement ce qui se passe dans le ventricule et quand l'éjection est terminée et que la pression des ventricules est inférieure à la pression des artères (aorte), la valve aortique se ferme mais la pression reste relativement élevée (diminue lentement). Les chiffres en jaune sont à retenir.



| mmHg | Min. | Max. | Moy. |
|------|-------|---------|-------|
| O.G. | 2 | 8 | 5 |
| V.G. | 2 | 120-130 | |
| Ao. | 70-80 | 120-130 | 90-95 |
| O.D | -3 | 3 | 2 |
| V.D | 0 | 25 | 8 |
| A.P | 8 | 25 | 12 |

Annexe 1 (hors diapositives)



Annexe 2 (hors diapositive)

