



FONCTION MECANIQUE

I- Introduction

- La révolution cardiaque comprend la période située entre la fin d'une contraction et la fin de la contraction suivante.
- Elle comprend :
 - **La systole** ventriculaire où le cœur se contracte **pour éjecter le sang** dans l'aorte et l'artère pulmonaire : phase d'activité.
 - **La diastole** ventriculaire où le cœur se **relâche et se remplit** : phase de repos -Chez l'homme au repos, **la durée de chaque cycle est 0,8sec (800 msec)**:
- **La systole ventriculaire : 0,3 sec**
- **La diastole: 0,5sec**
- Le cœur se repose au cours de la diastole, ceci est important car c'est durant cette période que s'effectue l'irrigation sanguine du myocarde.
- La durée de la systole est relativement constante**, l'accélération ou le ralentissement **se font aux dépens de la diastole**

II- La systole ventriculaire :

(Durée inchangeables) :

Phase de contraction isovolumétrique :

- Les 2 valves auriculoventriculaire et sigmoïde sont fermées.
- Il y a une mise en tension des parois ventriculaires: Pression intra-ventriculaire augmente rapidement mais le volume ventriculaire ne change pas.
- Située entre la fermeture des valves auriculoventriculaires et l'ouverture des sigmoïdes.
- Située entre les bruits B1 et B2
- Lorsque la pression ventriculaire gauche, dépasse la pression diastolique de l'aorte (80 mmHg) et la pression du VD dépasse la pression diastolique de l'AP (10 mmHg): **OUVERTURE DES VALVES AORTIQUE ET PULMONAIRE**: la phase d'éjection systolique commence

Phase d'éjection :

- Dès que les valves sigmoïdes s'ouvrent, le ventricule communique librement avec l'aorte ou l'artère pulmonaire, le sang est éjecté d'abord rapidement puis lentement .
- a/ Phase d'éjection rapide :**
- Où la pression ventriculaire est légèrement supérieure à la pression aortique et la plus grande partie de l'éjection systolique a lieu dans cette période.

III-Diastole ventriculaire :

-Elle commence après la fermeture des valves aortique ou pulmonaire (B2) et se termine avec la fermeture des valves auriculo-ventriculaires.
Elle comprend : *** la relaxation isovolumétrique * le remplissage ventriculaire * la contraction des oreillettes**

1- La relaxation isovolumétrique (Volume ventriculaire invariable) :

- Comprise entre la fermeture des valves sigmoïdes et l'ouverture des valves auriculoventriculaires.
- Pendant cette phase : les ventricules sont des cavités closes et la relaxation myocardique continue contribuant à une chute rapide des pressions intra-ventriculaires sans changement de volume ventriculaire.
- Quand les pressions intra-ventriculaires descendent au dessous des pressions intraauriculaires les valves AV s'ouvrent marquant la fin de cette période et le début du remplissage ventriculaire.

2-Le Remplissage

- La chute de pression est d'autant plus rapide que le myocarde est capable de se relâcher facilement c-à-d compliance ou distensibilité ↑
- Durée plus fiable que le remplissage ventriculaire**
- L'ouverture des valves AV à leur fermeture

b/Phase d'éjection lente :

- Lorsque la pression aortique dépasse légèrement la pression ventriculaire : fermeture des valves sigmoïdes.
- A chaque systole: - **Volume du sang chassé par le ventricule dans l'aorte: le volume d'éjection systolique (VES)**
- À la fin de l'éjection, un certain volume reste dans le ventricule: **volume télé systolique (VTs) ou volume résiduel.**

Ventriculaire

-Phase de remplissage rapide (plus grande partie) :
Les valves AV s'ouvrent, la pression légèrement élevée des oreillettes d'une part et le vide post systolique des ventricules d'autre part font passer rapidement le sang auriculaire dans les ventricules, d'où accroissement rapide des volumes ventriculaires (75% du remplissage effectué). Cette phase dure le 1/3 de la diastole.

-**Remplissage lent (diastasis)** : Le sang continue à passer des veines dans les oreillettes et passe directement dans les ventricules.

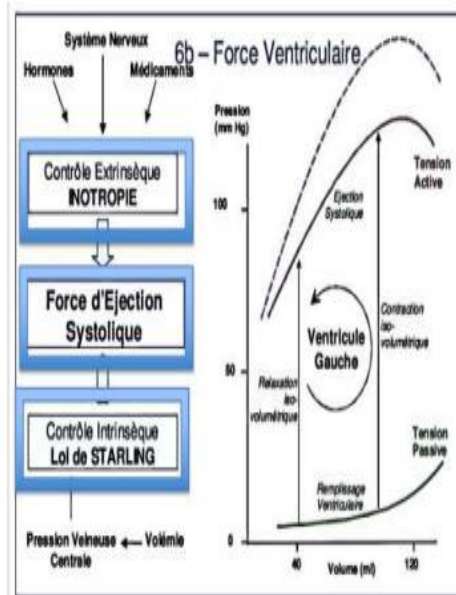
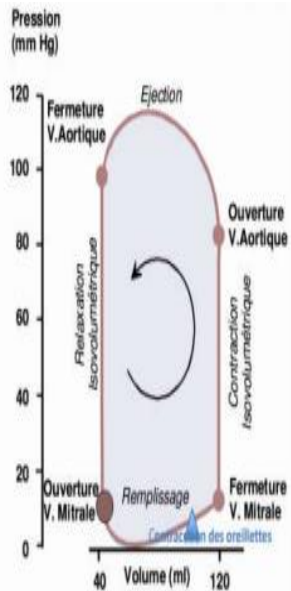
3- Remplissage actif : contraction des oreillettes

-C'est le dernier **1/3 de la diastole**, les oreillettes se contractent et éjectent les 25% du restant du sang dans les ventricules. A la fin de la contraction auriculaire, la pression légèrement plus élevée dans les Ventricules que dans les Oreillettes, les valves AV s'affrontent et **commence la phase de contraction isovolumétrique.**

Courbe pression volume :

- Pression aortique normale: 120/80mmHg
- Pression d'artère pulmonaire normale : 25/10mmHg
- Pression moyenne de l'OG normale: 8mmHg
- Pression moyenne de l'OD normale: 5mmHg
- Pression VG normale: 120/8mmHg
- Pression VD normale: 25/5mmHg

6c-Boucle Pression - Volume



Contrôle de force de contraction ventriculaire :

- Positifs : ● Catécholamines circulantes (Adrénaline) ● Angiotensines ● Ca^{++}
- Négatifs : ● Acétylcholine (Parasympathique) ● Hyperglycémie ● hyperkaliémie ● Hypoxie ● Acidose ● bétabloquants

Système Para-Sympathique

Acétylcholine \rightarrow Récepteurs muscariniques

Innervation limitée à l'atrium et au tissu nodal

Effets :

- (Inotrope -)
- Chronotrope -
- (Dromotrope -)

Ralentissement de la dépolarisation spontanée

Système Sympathique

INOTROPE

Noradrénaline

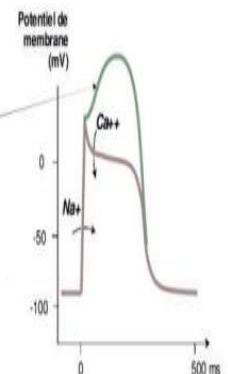
Récepteurs β_1

Rehaussement du plateau

Effets :

- Inotrope +
- Chronotrope +
- Dromotrope +

(augmentation d'ouverture des canaux Ca^{++})





IV-Etude Pression, résistance et débit cardiaque :

a-Pression :

Méthode d'étude :

Cathétérisme cardiaque :

consiste à introduire à partir d'un vaisseau superficiel (artère ou veine) un fin tube (cathéter) jusque dans les cavités cardiaques.

1-Cathétérisme cardiaque droit :

.Veine fémorale → OD → VD → AP → Cap. pulm ≈ OG

.Réalise par une sonde de Swan-Ganz

.Permet de mesure la pression capillaire pulmonaire

2- Cathétérisme cardiaque gauche :

.Artère fémorale → Aorte descendante → Crosse aorte → VG

mmHg	Systole	Diastole	Moyenne
OD	+3	-1	0
VD	25	0-3	
A.Pulmonaires	25	8	12
Cap.pulmonaires	10	2	8
VG	120	0-5	
AO	120	70	85

-La pression qui règne dans le ventricule immédiatement avant la systole ou pression télédiastolique, présente un intérêt certain, en pathologie, car elle indique l'état de distension des fibres myocardiques ventriculaires

b- Volumes :

Méthodes d'étude :

1-Invasives :

.Cinéangiographie : injection d'un produit de contraste directement dans la cavité ventriculaire après cathétérisme cardiaque

2-Non invasives :

. Echographie (ultra-sons) : Reflet de la fonction systolique du ventricule gauche +++

Débit cardiaque = $VES \times FC$ (fréquence cardiaque)

$$Qc = (VTD - VTS) \times FC$$

Signes et moyens d'exploration de l'activité du cœur

1- Pulsations cardiaques :

-Choc précordial ou choc de pointe.

-La palpation de la région précordiale permet de sentir périodiquement un choc qui siège normalement au 4-5 ème espace intercostal gauche et sur la ligne médico-claviculaire.

- L'apex vient s'appuyer sur la paroi traduit la systole ventriculaire.

2- Bruits du cœur (stéthoscope) :

a- Foyers d'auscultation :

-Mitral : pointe du cœur 4-5 ème EICG -Tricuspidé : appendice xyphoïde

-Aorte : 2-3 ème EIC droit et Pulmonaire : 2-3ème EIC gauche

b- Bruits normaux

B1 : - Pointe du cœur 5ème EICG

- Fermeture des valves mitrales et tricuspidé

- Synchrone avec le pouls

- Sourd, grave et prolongé

B2 : - Base du cœur - fermeture des valves aortiques et pulmonaires

- Claqué et bref L'intensité des bruits est proportionnelle au gradient de pression de part et d'autre des valves auriculo-ventriculaire et sigmoïdes



LE DÉBIT CARDIAQUE

Définition :	<p>Le débit cardiaque est le volume de sang expulsé par chaque ventricule par unité de temps</p> <p>.Chez un sujet normal au position couchée il augmente</p> <p>. Il est généralement exprimé en litre/mn $Q_{VD} = Q_{VG} / Q_c = VES \times Fc / Q_c = (VTD - VTS) \times Fc$ Importance primordiale, puisqu'il conditionne toute l'hémodynamique circulatoire.</p> <p>-Volume d'éjection systolique (VES) : .Volume de sang éjecté du cœur par les ventricules à chaque contraction (100 ml)</p> <p>.Augment en cas de d'augmentation de la contractilité myocardique</p> <p>-Volume télédiastolique (VTD) : Volume de sang contenu dans les ventricules juste avant la systole ventriculaire (160 ml) = volume précharge</p> <p>-Volume télésystolique (VTS) : Volume de sang contenu dans les ventricules à la fin de chaque systole (60 ml)= volume postcharge $VES = VTD - VTS$</p> <p>-Fréquence cardiaque (Fc) : nombre de contractions ventriculaires par seconde. Est exprimée en battements par minute bats/min (moyenne = 60 - 70 bats/min).</p> <p>- Fc max théorique = variable suivant les individus, elle diminue progressivement avec l'âge et avec l'entraînement. = 220 - âge</p>				
Méthodes de mesure du débit cardiaque :	<table><tr><td data-bbox="385 724 712 1091">Principe de Fick :</td><td data-bbox="712 724 2188 1091"><p>-Le débit sanguin à travers un organe peut être calculé, si une substance est enlevée ou ajoutée au sang au cours de son passage à travers l'organe.</p><p>- Quantité O2 consommé VO_2 = quantité d'O2 dans les v pulmonaires - la quantité d'O2 dans les artères pulmonaires.</p>$Q_c = \frac{VO_2}{CaO_2 - CvO_2}$<p>$VO_2 = Q(CaO_2 - CvO_2)$ et $VO_2 = Q(CaO_2 - CvO_2)$</p><p>VO_2: étude spirométrie</p><p>CaO_2 : ponction d'une artère systémique</p><p>CvO_2 : par cathétérisme cardiaque droit au niveau de l'artère pulmonaire (Sang veineux mêlé).</p></td></tr><tr><td data-bbox="385 1091 712 1251">Technique de dilution d'un colorant : principe de Stewart Hamiton :</td><td data-bbox="712 1091 2188 1251"><p>Principe : On démontre que le débit du fluide est égal au rapport de la masse connue de l'indicateur injecté sur l'aire de la surface comprise entre la courbe de dilution et l'axe des abscisses.</p>$Q = \frac{1}{S} : Q : \text{Quantité injectée}, S : \text{Surface courbe}$</td></tr></table>	Principe de Fick :	<p>-Le débit sanguin à travers un organe peut être calculé, si une substance est enlevée ou ajoutée au sang au cours de son passage à travers l'organe.</p> <p>- Quantité O2 consommé VO_2 = quantité d'O2 dans les v pulmonaires - la quantité d'O2 dans les artères pulmonaires.</p> $Q_c = \frac{VO_2}{CaO_2 - CvO_2}$ <p>$VO_2 = Q(CaO_2 - CvO_2)$ et $VO_2 = Q(CaO_2 - CvO_2)$</p> <p>VO_2 : étude spirométrie</p> <p>CaO_2 : ponction d'une artère systémique</p> <p>CvO_2 : par cathétérisme cardiaque droit au niveau de l'artère pulmonaire (Sang veineux mêlé).</p>	Technique de dilution d'un colorant : principe de Stewart Hamiton :	<p>Principe : On démontre que le débit du fluide est égal au rapport de la masse connue de l'indicateur injecté sur l'aire de la surface comprise entre la courbe de dilution et l'axe des abscisses.</p> $Q = \frac{1}{S} : Q : \text{Quantité injectée}, S : \text{Surface courbe}$
Principe de Fick :	<p>-Le débit sanguin à travers un organe peut être calculé, si une substance est enlevée ou ajoutée au sang au cours de son passage à travers l'organe.</p> <p>- Quantité O2 consommé VO_2 = quantité d'O2 dans les v pulmonaires - la quantité d'O2 dans les artères pulmonaires.</p> $Q_c = \frac{VO_2}{CaO_2 - CvO_2}$ <p>$VO_2 = Q(CaO_2 - CvO_2)$ et $VO_2 = Q(CaO_2 - CvO_2)$</p> <p>VO_2 : étude spirométrie</p> <p>CaO_2 : ponction d'une artère systémique</p> <p>CvO_2 : par cathétérisme cardiaque droit au niveau de l'artère pulmonaire (Sang veineux mêlé).</p>				
Technique de dilution d'un colorant : principe de Stewart Hamiton :	<p>Principe : On démontre que le débit du fluide est égal au rapport de la masse connue de l'indicateur injecté sur l'aire de la surface comprise entre la courbe de dilution et l'axe des abscisses.</p> $Q = \frac{1}{S} : Q : \text{Quantité injectée}, S : \text{Surface courbe}$				
Mesure du débit cardiaque	<table><tr><td data-bbox="385 1251 712 1458">Méthode invasive</td><td data-bbox="712 1251 2188 1458"><p>-Méthode simple (dispense spirométrie) :</p><p>Produits utilisés : - Marqueurs colorés : vert indocyane (cardiogreen) - sérum froid +++ : variation de T° (courbe de thermodilution) - Isotopes : radioéléments -Angiocardiographie -Doppler cardiaque : permet de déterminer le diamètre aortique donc la surface de l'orifice aortique (SA). Le temps d'éjection ventriculaire (TE) et la vitesse du sang (Vm) lors de la systole. $Q_c = SA \times TE \times V_n$</p></td></tr><tr><td data-bbox="385 1458 712 1527">Méthode non invasifs</td><td data-bbox="712 1458 2188 1527">Échographie Doppler</td></tr></table>	Méthode invasive	<p>-Méthode simple (dispense spirométrie) :</p> <p>Produits utilisés : - Marqueurs colorés : vert indocyane (cardiogreen) - sérum froid +++ : variation de T° (courbe de thermodilution) - Isotopes : radioéléments -Angiocardiographie -Doppler cardiaque : permet de déterminer le diamètre aortique donc la surface de l'orifice aortique (SA). Le temps d'éjection ventriculaire (TE) et la vitesse du sang (Vm) lors de la systole. $Q_c = SA \times TE \times V_n$</p>	Méthode non invasifs	Échographie Doppler
Méthode invasive	<p>-Méthode simple (dispense spirométrie) :</p> <p>Produits utilisés : - Marqueurs colorés : vert indocyane (cardiogreen) - sérum froid +++ : variation de T° (courbe de thermodilution) - Isotopes : radioéléments -Angiocardiographie -Doppler cardiaque : permet de déterminer le diamètre aortique donc la surface de l'orifice aortique (SA). Le temps d'éjection ventriculaire (TE) et la vitesse du sang (Vm) lors de la systole. $Q_c = SA \times TE \times V_n$</p>				
Méthode non invasifs	Échographie Doppler				

I-Résultats et variations physiologiques du débit cardiaque :

Le débit cardiaque en décubitus est de 5 à 6 l/mn En fait, on mesure l'index cardiaque pour avoir des chiffres comparables entre des sujets de poids et de taille différents. On rapporte le débit cardiaque à la surface corporelle dont la valeur normale est de 3l/mn/m² de surface corporelle. Si IC < 3l/mn/m² à **Bas débit cardiaque Insuffisance cardiaque**

Variations physiologiques :

Les facteurs physiologiques susceptibles de faire varier le débit cardiaque sont nombreux (âge, sexe, altitude, T°...).

1-Position du corps : Le débit cardiaque d'un sujet en position couchée est de **20 à 25% supérieur au débit mesuré chez le même sujet en orthostatisme.**

2- Anxiété/Stress : ↑débit cardiaque ↑ Fréquence cardiaque :

3- Age, sexe : Débit cardiaque avec l'âge, 2 ans : IC 4,4l/mn/m², 80 ans : IC = 2,5l/mn/m², L'index cardiaque est plus faible chez la femme.

4- Altitude : ↑ débit cardiaque

5- Grossesse : ↑ débit card 2^o- 6^o mois ↑ Qc du 6ème mois 9^omois

Fc :Fréquence cardiaque

-L'augmentation de la fréquence cardiaque est mise en jeu rapidement →↑ **Qc pour un VES fixe** . Cette tachycardie n'est efficace que dans la mesure où le retour veineux ↑

Ce mécanisme a ses limites :

-Réduction du temps du remplissage cardiaque ventriculaire

-Mauvaise perfusion myocardique pour les coronaires

- Ce rôle devient **inefficace pour des Fc > 160 batt/min** Elle est déterminée par le noeud sinusal, celui-ci est innervé par le système sympathique (Noradrénaline) cardio-accelérateur et le système parasympathique (acétylcholine) cardiomodérateur

● **Fréquence propre du nœud sinusal est 120/mn**

● Fréquence cardiaque normale au repos est de l'ordre de **70/mn**

● il existe en permanence un tronc cardiomodérateur vagale.

● ce mécanisme nerveux est surtout réflexe (**barosensibilité**)

Variations pathologiques :

1-Anémie : ↑ **débit cardiaque** (↓ résistance artérielle)

2-Hyperthyroïdie : Qc > par ↑ Fq card ↑ Contractibilité myocardique

3- Fièvre : ↑ débit cardiaque et **4- Insuffisance card :** ↓ **débit cardiaque**

Régulation du débit cardiaque et facteurs d'adaptation :

$$Qc = VES \times Fc = (VTD - VTS) \times Fc$$

● **VES dépend :** – La précharge, – la post-charge et – la contractilité cardiaque

1-Précharge :

a-Loi de Starling : La force de contraction musculaire et le degré de raccourcissement de la fibre myocardique dépend de la longueur de la fibre myocardique avant la contraction. La précharge est représentée par PTD (Pression télédiastolique).

b-Longueur de la fibre dépend :

b1-Retour veineux ↑ Facteur extracardiaque

.Dépend * de la **masse sanguine totale** * et sa répartition entre le secteur intrathoracique (ou central) et le secteur extra thoracique périphérique

-**Facteur déterminants cette répartition sont :**

.**La position du corps :** de préférence debout

.**Pression intrathoracique :** P. intrapleurale est négative → facilite le retour veineux

.**Tonus veineux :** Veino-constriction → ↑Retour veineux

Veino- dilatation → ↑ Retour veineux

.**Pompe musculaire :** le retour veineux par la contraction

b2- Systole auriculaire ↑ Facteur cardiaque :

Contribue à un remplissage ventriculaire **à 25%**.

2- Contractilité : (inotropisme d'éjection). Les variations de contractilité sont sous la dépendance du système sympathique adrénergique.

3- Postcharge : résistance artérielle aboutie à l'éjection systolique