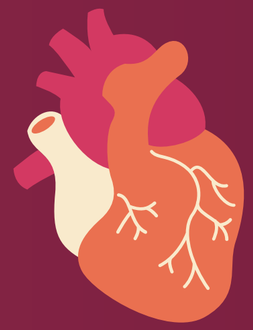
Norhanalyse

BIOPHYSIQUE CARDIAQUE

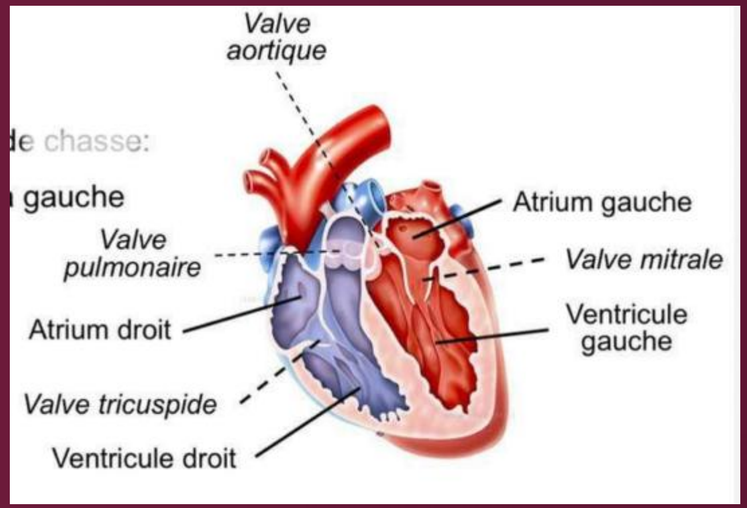


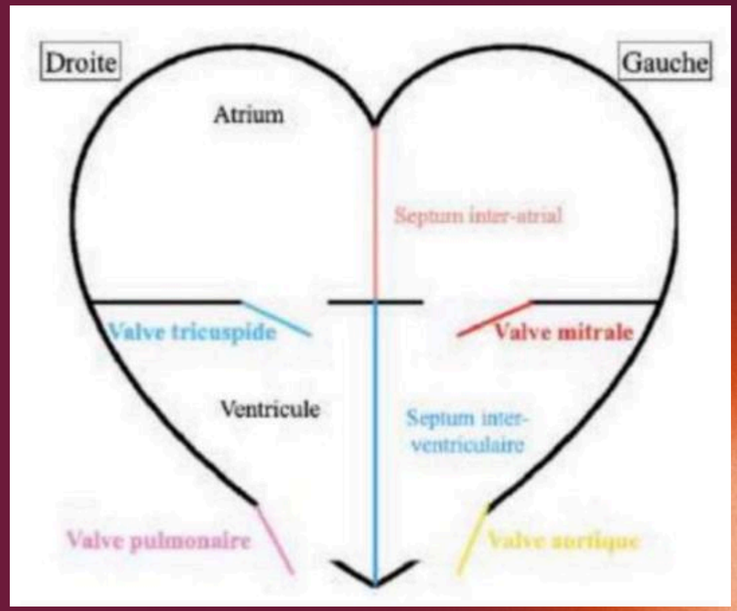


Tut-rentrée 2026-2027

Norhanalyse

ANATOMIE CARDIAQUE





2 moitiés <u>INDÉPENDANTES :</u>

🫀 ATRIUM

🫀 VENTRICULE

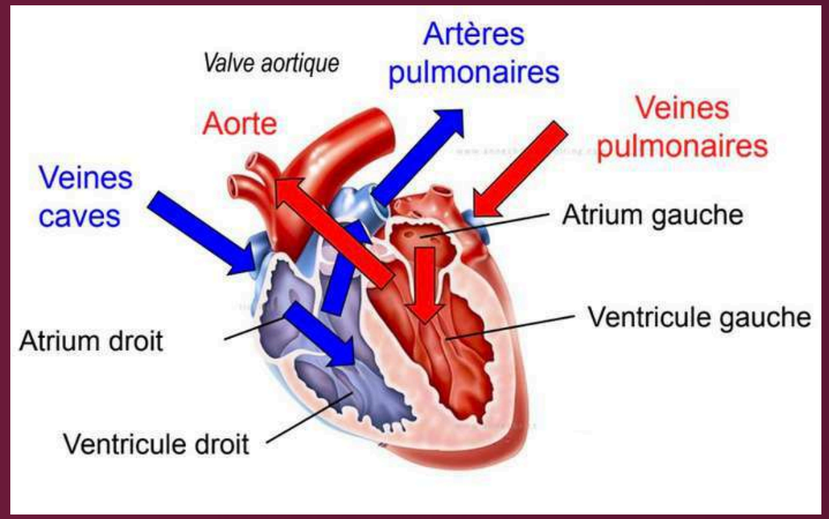
Puis valves, septums

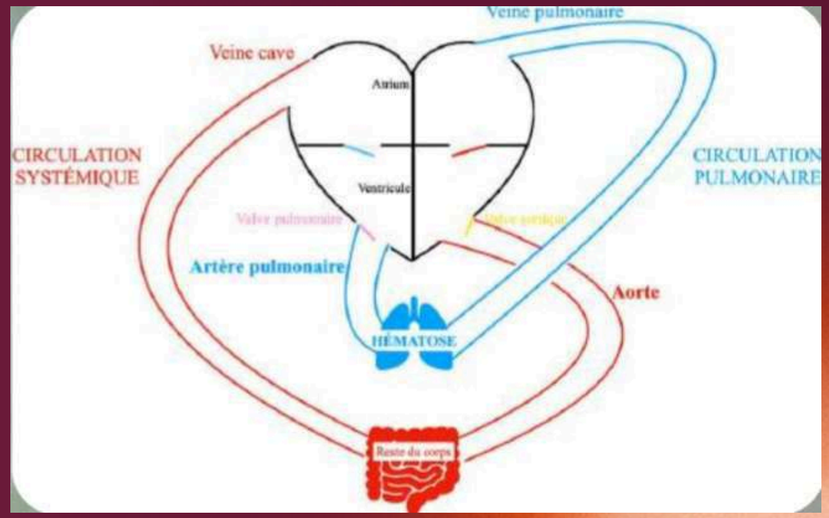
Norhanalyse

FONCTION CARDIAQUE

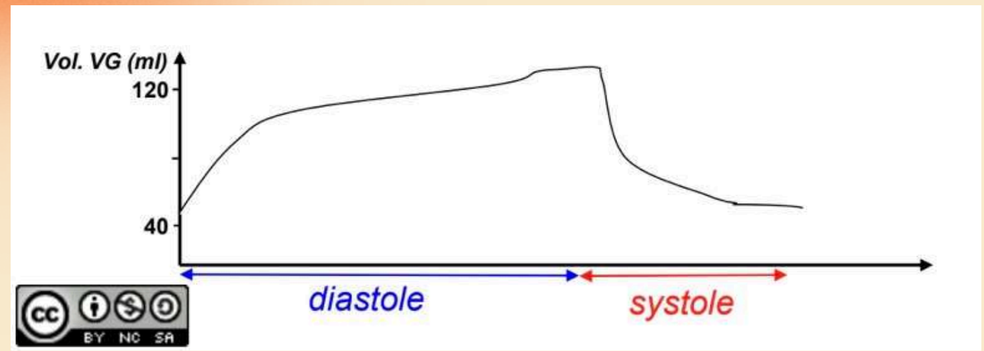
Cœur droit → circulation pulmonaire

Coeur gauche → circulation systémique





Norhanalyse



FONCTIONNEMENT DISCONTINU

1 cycle cardiaque = 2 phases :

- SYSTOLE = contraction → ⅓ du cycle
- DIASTOLE = remplissage → ⅔ du cycle

La durée de la DIASTOLE S'ADAPTE

Volumes cardiaques → 2 extrêmes :

Volume télédiastolique : VTD ≈ 120mL

Volume télésystolique : VTS ≈ 50mL

Calculs

Volume d'éjection systolique : **VES = VTD-VTS**

→ VES ≈ 70-80mL

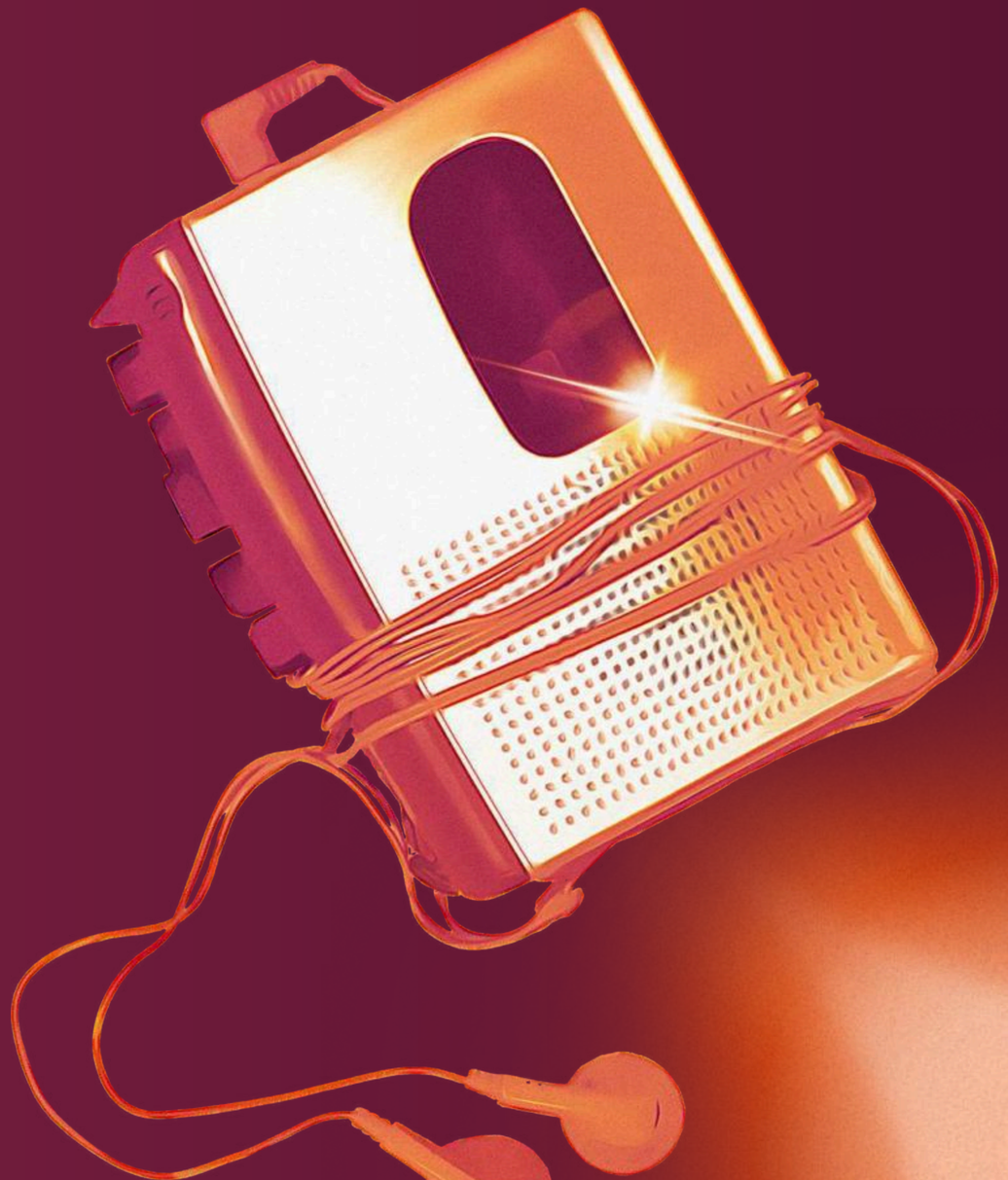
Fraction d'éjection : **FE = VES/VTD = (VTD-VTS)/VTD**

FEVG (= fraction d'éjection du ventricule gauche)**> 50%**

Débit cardiaque **: Q= VES X Fc = VTD x FE X Fc**

Norhanalyse

QCM TIME !!!!



QCM 1 : Un patient à un VTS de 70ml et un VTD de 100ml :

A) Le VES du patient est égal à 70ml
B) Le patient à un VES normal
C) La fraction d’éjection du patient est égale à 30%
D) Le patient est en insuffisance cardiaque
E) Toutes les réponses sont fausses

Volume d’éjection systolique : VES = VTD-VTS
→ VES ≈ 70-80mL
Fraction d’éjection : FE = VES/VTD = (VTD-VTS)/VTD
FEVG (= fraction d’ejection du ventricule gauche)> 50%

QCM 1 : Un patient à un VTS de 70ml et un VTD de 100ml :

A) Le VES du patient est égal à 70ml → FAUX: VES = VTD - VTS = 100 - 70 = 30ml

B) Le patient à un VES normal → FAUX: VES normal entre 70-80 mL

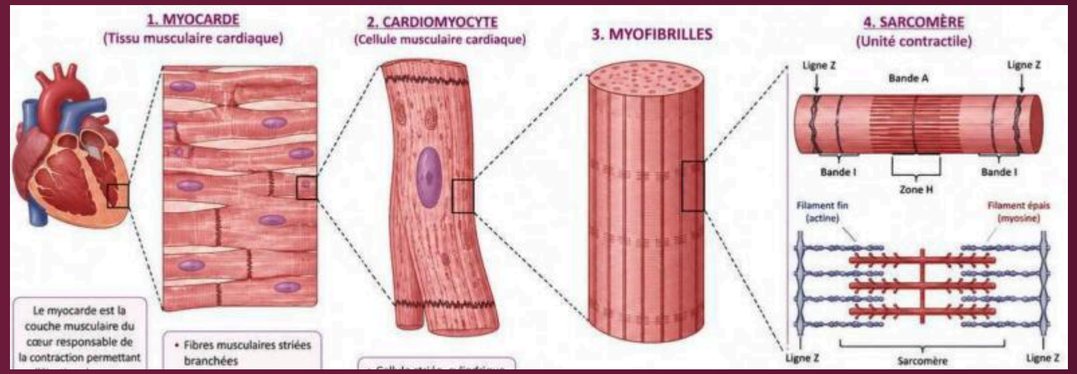
C) La fraction d'éjection du patient est égale à 30% → VRAI: FE = VES/VTD = 30/100 = 0,3 = 30%

D) Le patient est en insuffisance cardiaque → VRAI: car inférieur à 50%

E) Toutes les réponses sont fausses

Norhanalyse

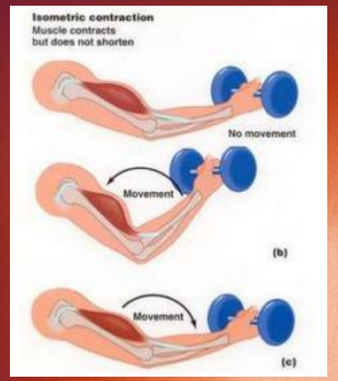
PHYSIOLOGIE CONTRACTILE



Contraction d’une fibre musculaire en 3 étapes +++ :

- Contraction isométrique → sans mouvement, pas de travail musculaire
- Contraction isotonique → raccourcissement fibre, travail musculaire
- Relaxation → retour longueur repos



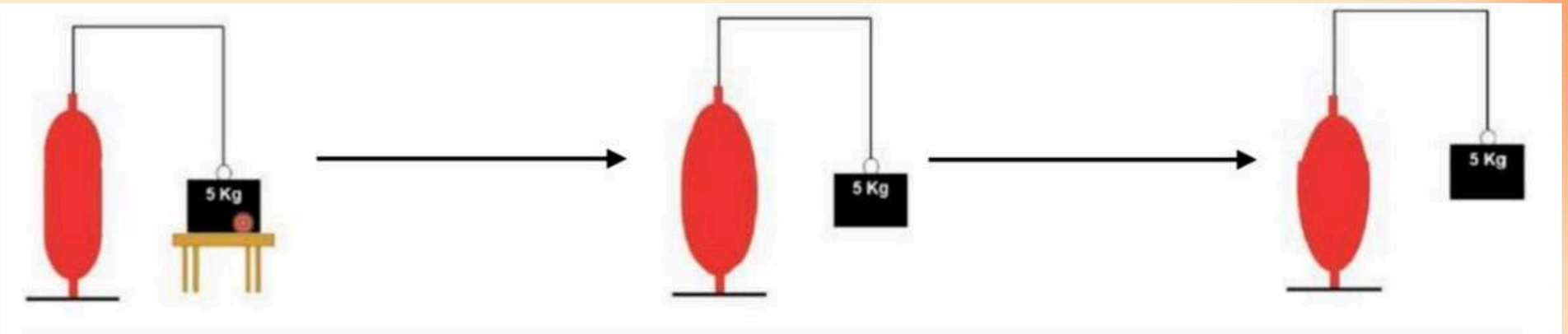


Norhanalyse

PHYSIOLOGIE CONTRACTILE

POST-CHARGE

→ Force contre laquelle travaille la fibre musculaire



Au repos : pas de contraction musculaire

Sans tabouret : contraction isométrique (sans raccourcissement)

Soulèvement poids : contraction isotonique (raccourcissement)

Norhanalyse

PHYSIOLOGIE CONTRACTILE



PRE-CHARGE

→ Force de l’étirement qui va allonger les fibres musculaires

Durant le remplissage diastolique et lié au VTD

→ **plus le VTD est grand plus la pression télédiastolique exercée sur les parois du ventricule sera grande plus l’étirement des fibres sera important**

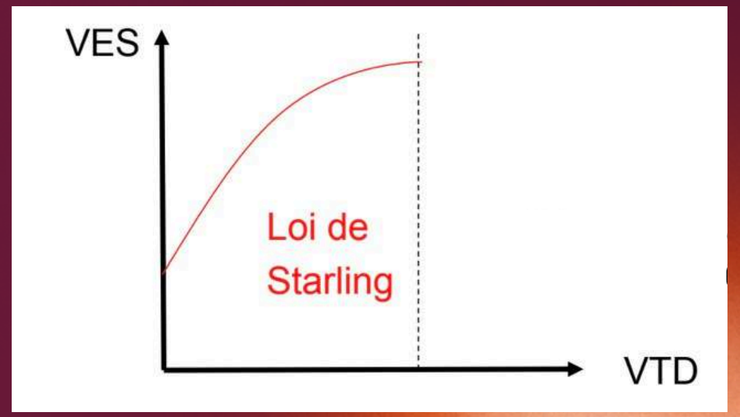
Dépend du retour (pompe muscu + respi , veino-constriction) et de contraction auriculaire

Norhanalyse

LOI DE FRANCK STARLING

→ La force de contraction du ventricule est d'autant plus grande que les cellules myocardiques sont plus étirées avant leur contraction.

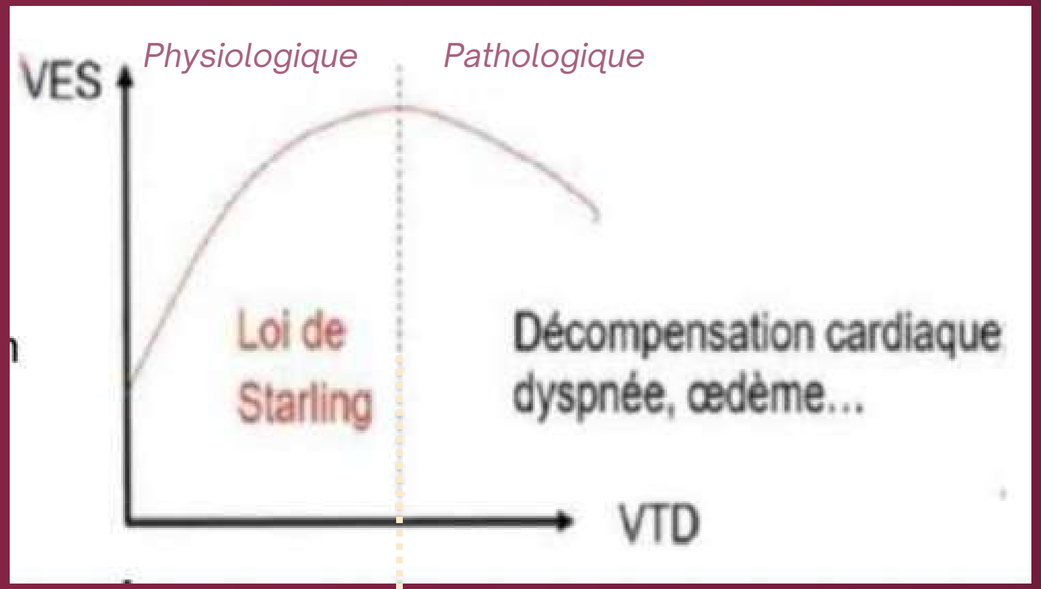
↑ du retour veineux → ↑ du VTD du ventricule → ↑ de l'étirement des fibres musculaires → ↑ l'énergie produite pour éjecter le sang donc ↑ VES.



Norhanalyse

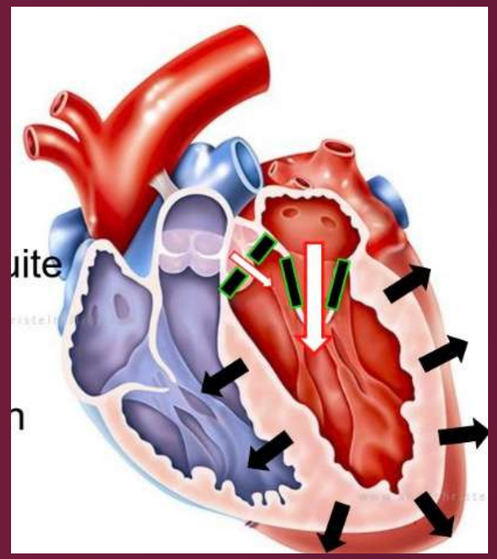
LOI DE FRANCK STARLING

Insuffisance aortique



augmentation linéaire du VES avec le VTD

augmentation du VTD mais diminution du VES



- *reflux de sang → ↑ volume de remplissage du VG → ↑ précharge → dilatation du VG*
- *Si la fuite s'aggrave → décompensation → insuffisance cardiaque*

Norhanalyse

DIAGRAMME PRESSION/TEMPS DU VG



2 phases en SYSTOLE :

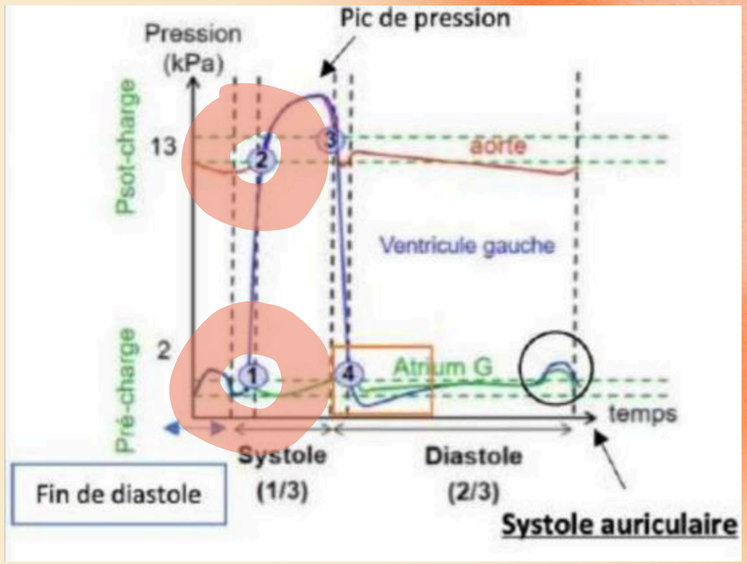
1) CONTRACTION ISOVOLUMETRIQUE *(fermeture valve mitrale)* :

- tout orifice valvulaire fermé,
- pression intraventriculaire ↑ jusqu'à pression aortique

2) EJECTION *(ouverture valve aortique)* :

- pression intraventriculaire > pression aortique,
- pression ventriculaire atteint pic pression
- puis pression ventriculaire < pression aortique

→ fermeture valve aortique



Norhanalyse

DIAGRAMME PRESSION/TEMPS DU VG



2 phases en DIASTOLE :

3) RELAXATION ISOVOLUMETRIQUE *(fermeture valve aortique)* :

- 2 valves fermées,
- relaxation myocarde
- pression ventriculaire ↓
- pression ventriculaire < pression atriale

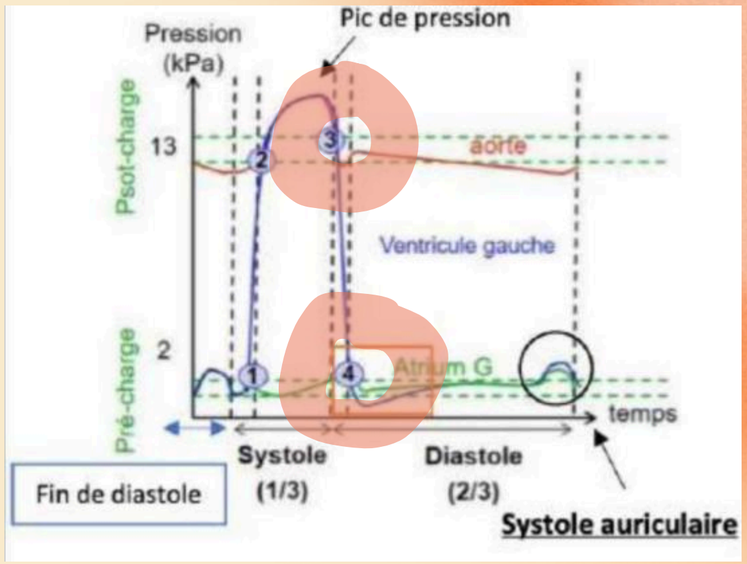
→ ouverture valve mitrale

4) REMPLISSAGE *(ouverture valve mitrale)* :

- pression ventriculaire < pression atriale

→ gradient de pression

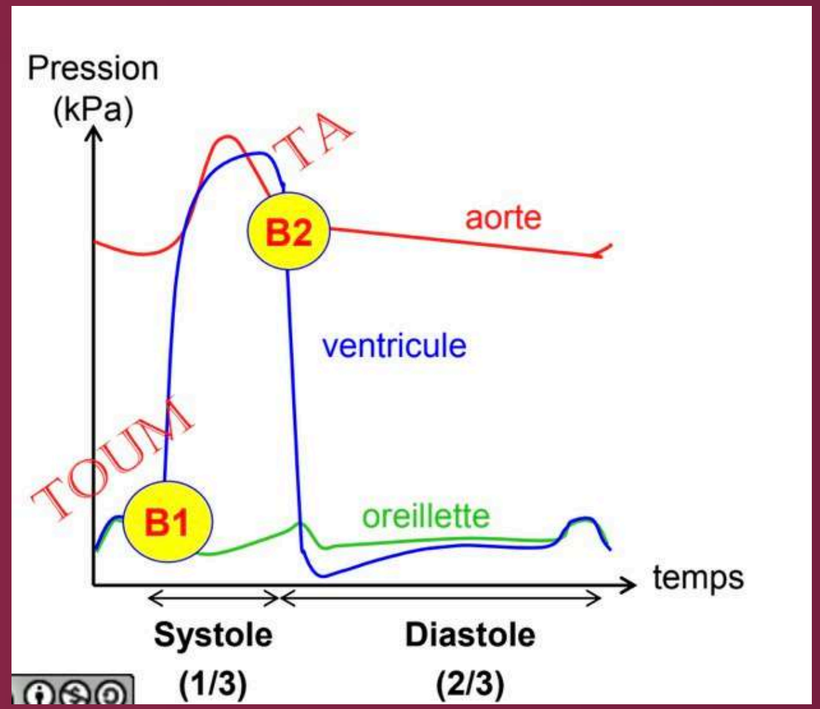
- puis pression ventriculaire = pression atriale
- pression atriale ↑ , pression ventriculaire ↑ → SYSTOLE AURICULAIRE



Norhanalyse

ETUDE DES BRUITS DU COEUR

= Phonocardiographie



Bruits = ouverture / fermeture valves

2 bruits :

- *B1 : fermeture valves auriculoventriculaires → "TOUM"*
- *B2 : fermeture valves sigmoïdes → "TA"*

SYSTOLE (entre B1 et B2) → ⅓ cycle

DIASTOLE (entre B2 et B1) → ⅔ cycle

😷 Souffles cardiaques

⚠️⚠️⚠️ *les contractions du cœur droit et gauche sont SIMULTANÉES → B1 et B2 correspondent aux bruits simultanés des fermetures des valves à droite et à gauche*

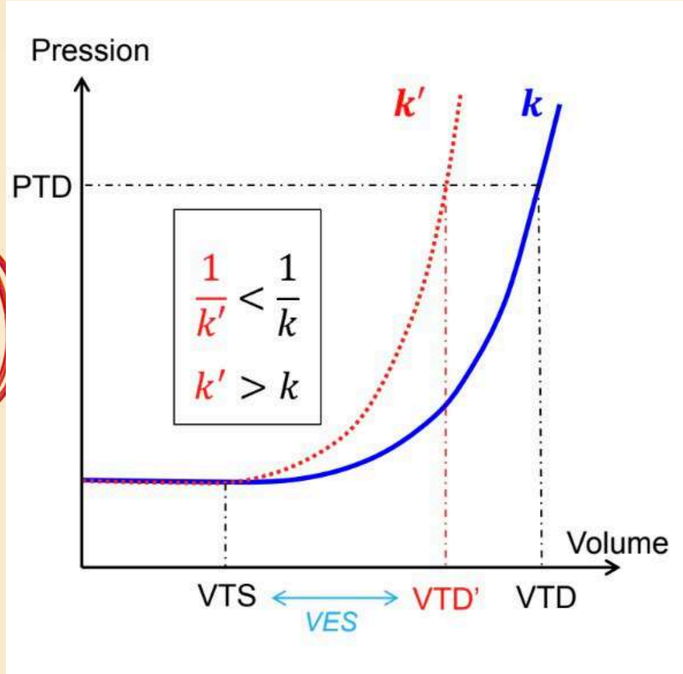
😷 Asynchronisme du cœur

Norhanalyse

COMPLIANCE CARDIAQUE

→ **Capacité de distension passive des fibres musculaires pendant la DIASTOLE**





Pression intraventriculaire :

$$P = a \cdot e^{k \cdot V} + b$$

a et b = constante

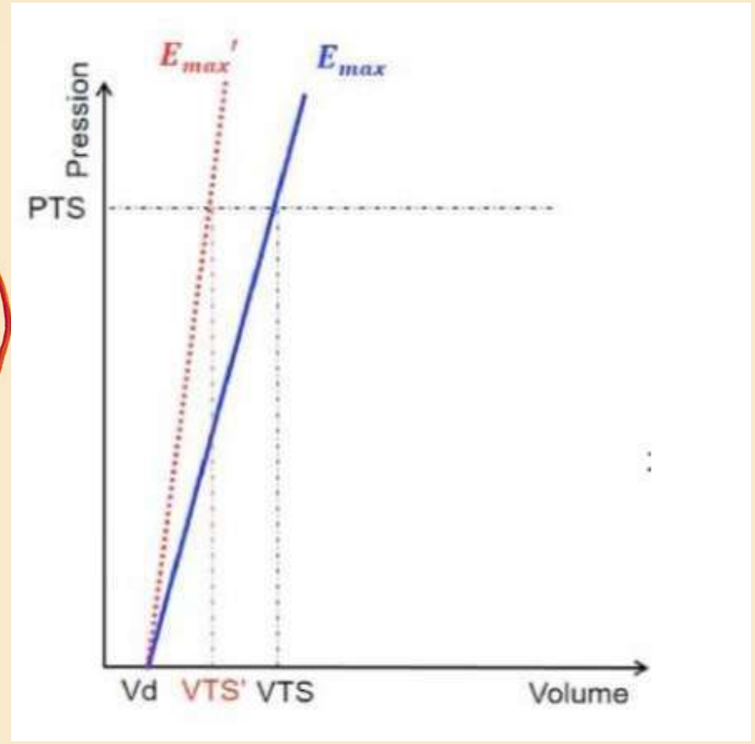
1/k=l'élasticité ≠k

→ Si la compliance (1/k) ↑, alors k ↓, le VTD ↑, le VES ↑.
→ Si la compliance (1/k) ↓, alors k ↑, le VTD ↓, et le VES ↓

Norhanalyse

CONTRACTILITE CARDIAQUE

→ **La vigueur, la force de contraction des fibres musculaires cardiaques lors de la SYSTOLE**



Pression télésystolique :

$$PTS = E_{max} \cdot (VTS - Vd)$$

Emax, la pente appelée élastance maximale.

Vd, le volume mort du ventricule

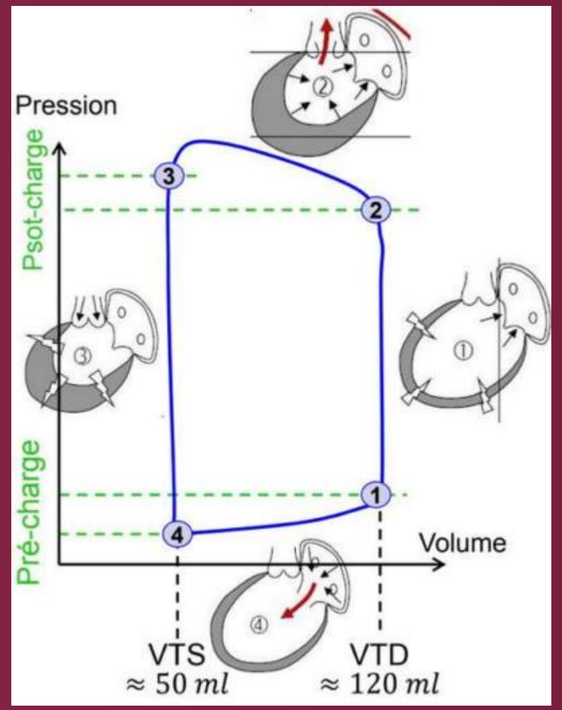
→ Si la contractilité ↑, alors Emax ↑, PTS=, VTS ↓, VES ↑

→ Si la contractilité ↓, alors Emax ↓, VTS ↑, VES ↓

Norhanalyse

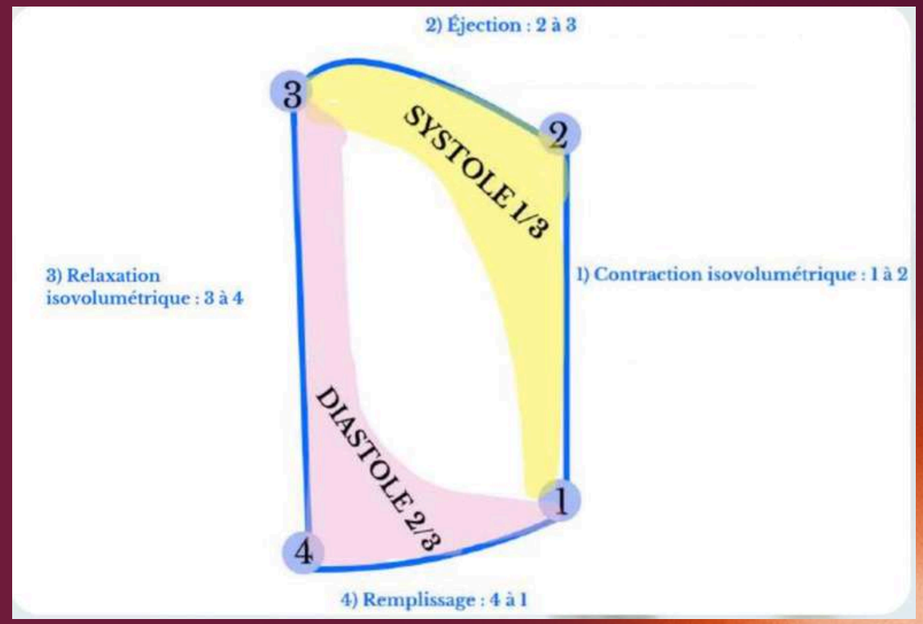
DIAGRAMME PRESSION/VOLUME DU VG

Représentation cycle sans le temps



Ferme valve aortique → ouvre valve mitrale

Ouvre/ferme valve aortique



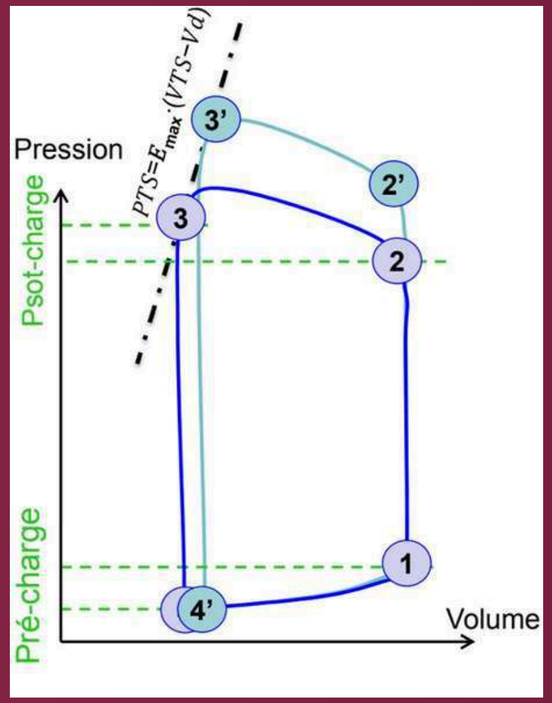
Ferme valve mitrale → ouvre valve aortique

Ouvre/ferme valve mitrale

Norhanalyse

DIAGRAMME PRESSION/VOLUME DU VG

Augmentation post-charge (force contre laquelle se fait l'ejection systolique du sang)



Cnsqces de l'augmentation des résistances artérielles périphériques → pression aortique moyenne

Augmentation post-charge =

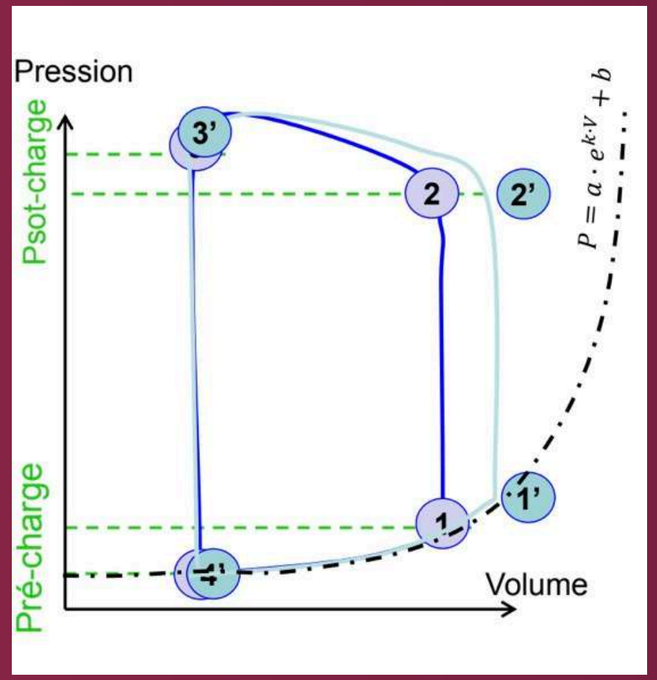
- **↑ PTS**
- **↑ VTS (↓ VES & ↓ Qc)**

→ volume d'éjection cardiaque ↓ et donc débit cardiaque ↓

Norhanalyse

DIAGRAMME PRESSION/VOLUME DU VG

Augmentation pré-charge (force de l'étirement qui allonge les fibres musculaires en diastole)



Cnsqces de l'augmentation de la PTD → augmentation du volume de remplissage

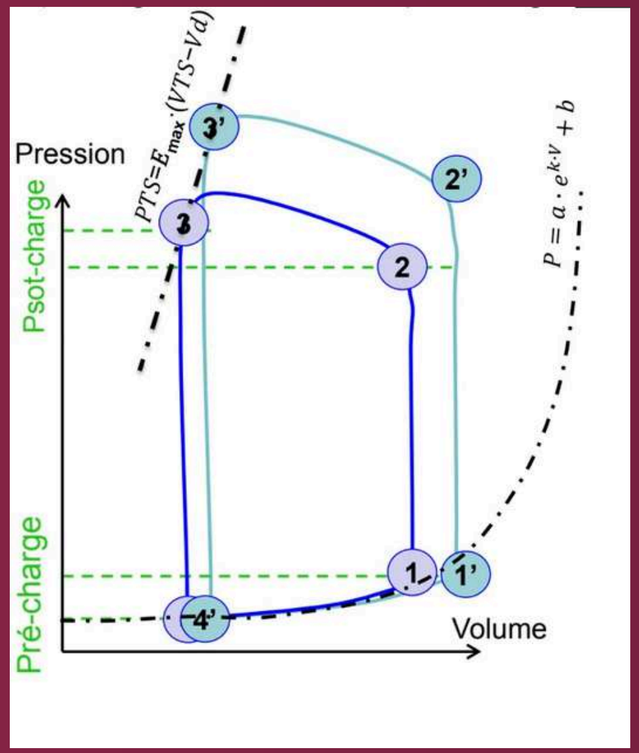
Augmentation pré-charge =

- **↑ VTD**
- **↑ PTD**
- **VTS = , PTS =**
- **↑ VES**

Norhanalyse

DIAGRAMME PRESSION/VOLUME DU VG

Augmentation pré-charge + post-charge



En général, ↑ pré-charge → ↑ VES (Franck Starling) → ↑ pression aortique moyenne → ↑ post-charge

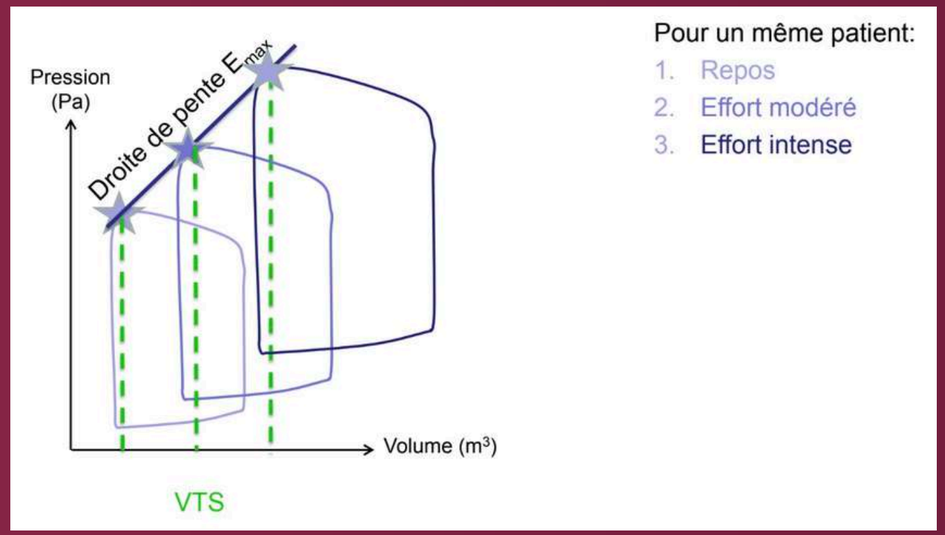
Augmentation pré-charge + post-charge =

- **↑ PTS**
- **↑ VTS**
- **↑ VTD**
- **↑ VTD > ↑ VTS → ↑ VES**

Norhanalyse

DIAGRAMME PRESSION/VOLUME DU VG

Impact de la contractilité cardiaque

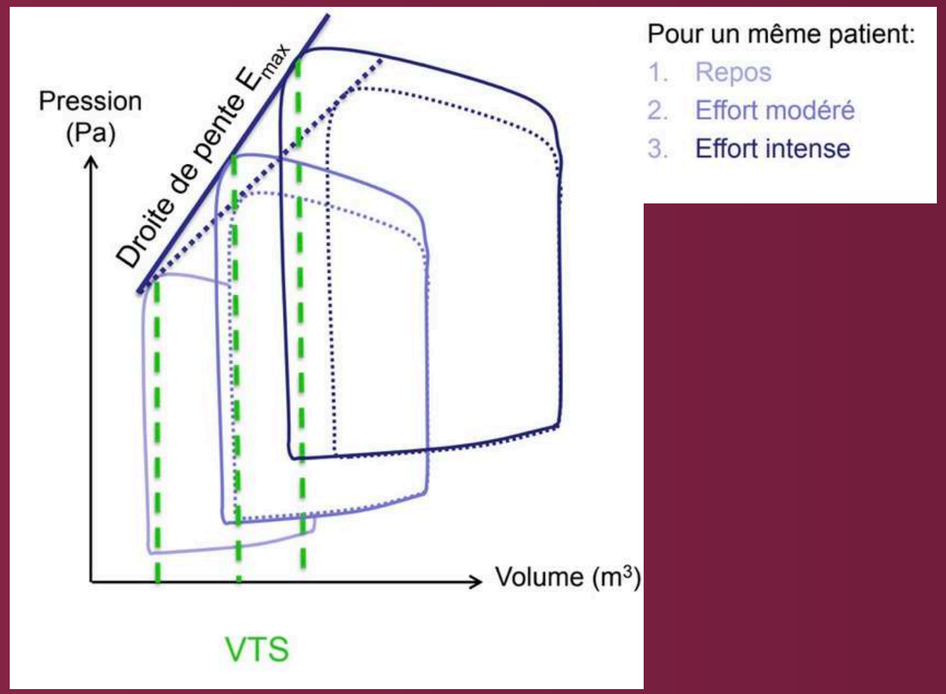


- Éjection cardiaque dépend de la pré-charge et de la post-charge
- FEVG = variation des volumes du VG → dépendante de la pré/post-charge → ne rend pas compte des performances globales du ventricule
- Contractilité (Emax) = indépendante de la pré-charge et post-charge → meilleur reflet de la performance cardiaque.
- À l'effort : ↑ pré-charge → ↑ VTD ; ↑ post-charge → ↑ PA.
- Malgré ces variations, Emax reste inchangée chez un même patient.

Norhanalyse

DIAGRAMME PRESSION/VOLUME DU VG

Augmentation de la contractilité cardiaque



Médicaments inotropes + → ↑ contractilité → ↑ Emax → ↑ pente de la droite :

- À même intensité d'effort : VTD ≈ inchangé.
- ↑ contractilité → ↓ VTS.
- Donc : ↑ VES = VTD – VTS.
- ↑ VES → ↑ pression aortique moyenne → ↑ post-charge et pressions systoliques.
- Les inotropes augmentent la contractilité et le VES.

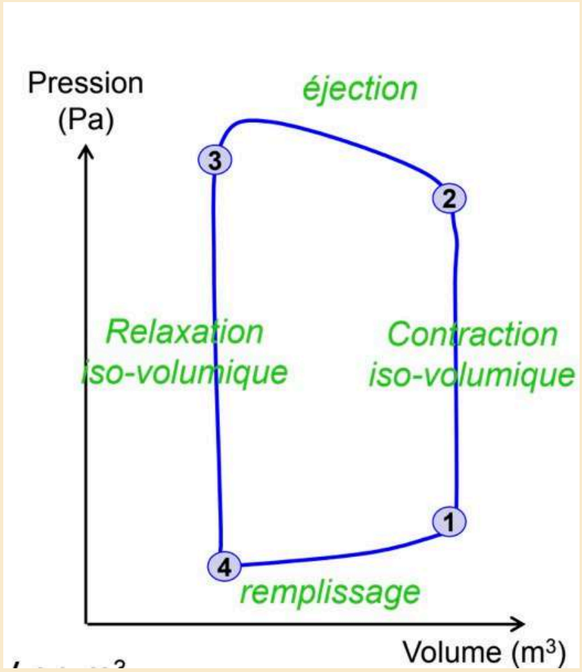
Norhanalyse

TRAVAIL CARDIAQUE



$$W = Fxd = Pxd = \int PxdV$$

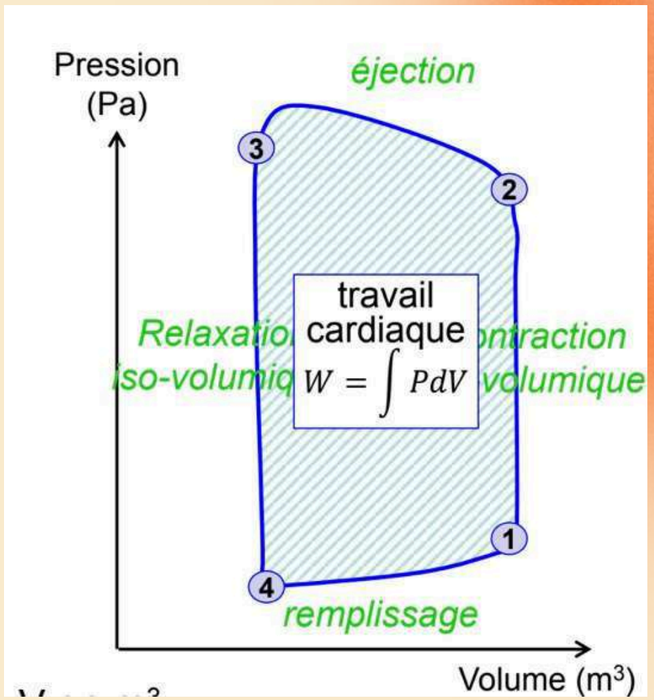
P est en Pascal ($N.m^{-2}$) et V est en m^3. Le travail s'exprime en N.m ou encore en Joules J.gal à l'intégrale des différentes valeurs que peuvent prendre V et P



Le travail est représenté par l'aire de la boucle pression/volume.

Aire de la boucle ↑ = le travail ↑

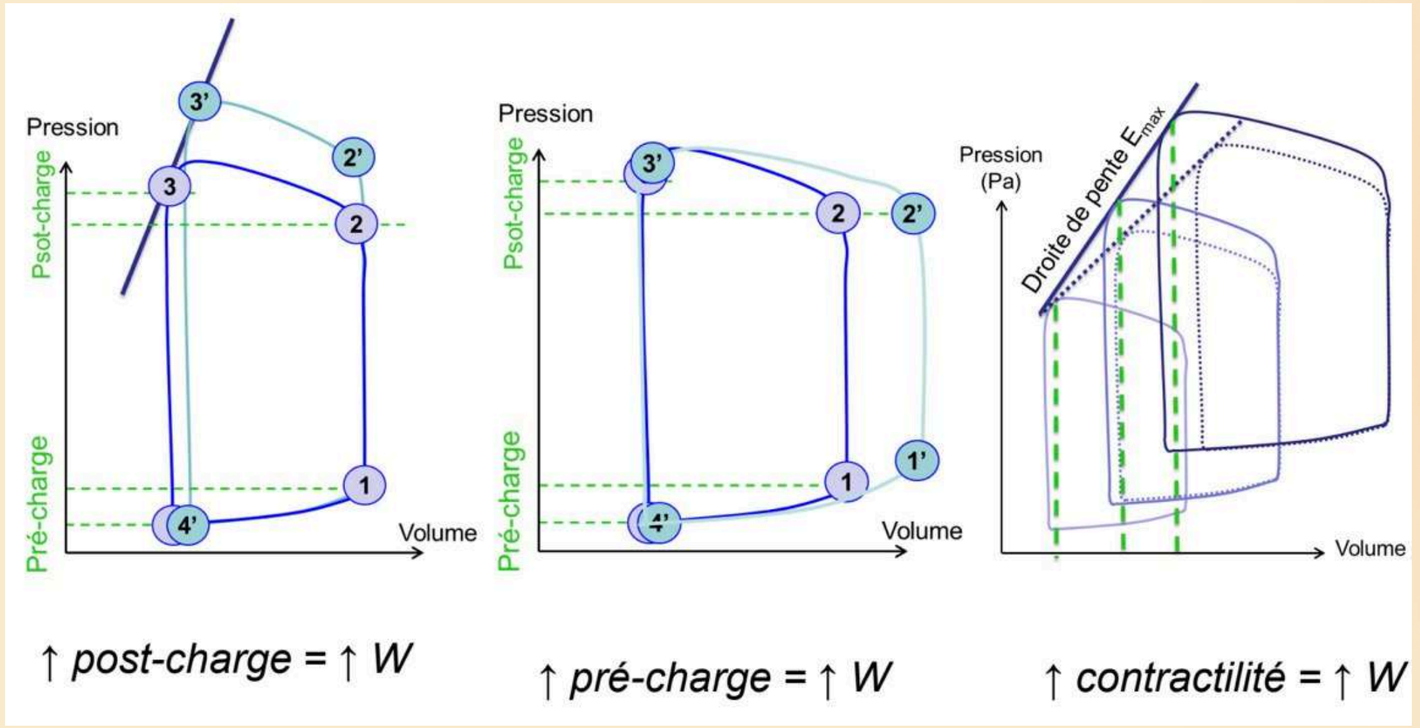
Aire de la boucle ↓ = le travail ↓



Norhanalyse

TRAVAIL CARDIAQUE

Augmentation de la post-charge, pré-charge et contractilité



↑ *post-charge = ↑ W*

Tut'rappel : ↑ *PTS et* ↑ *VTS donc* ↓ *VES + décalage boucle vers le haut et la droite.*

↑ aire de la boucle donc ↑ travail cardiaque (W)
Mais SANS bénéfices

↑ *pré-charge = ↑ W*

Tut'rappel : ↑ *VTD,* ↑ *PTD,* ↑ *VES + décalage vers la droite du cycle*

↑ aire de la boucle donc ↑ travail cardiaque (W)
AVEC bénéfices

↑ *contractilité = ↑ W*

Tut'rappel : ↑ *pente de la droite (Emax* ↑*),* ↓ *VTS et* ↑ *VES (*↑ *PTS).*

↑ l'aire donc ↑ du travail cardiaque.
La vigueur de la contraction est plus élevée, on travaille plus qu'avant.

Norhanalyse

TRAVAIL CARDIAQUE



$W = VES \times \overline{P}$

- Pour un cycle, le travail du VG est de 1 J et sa puissance est de 1 W

- Travail du VD = ⅙ du VG

- AU REPOS, l'énergie consommée pour un cycle ≈ 10 J alors que le travail cardiaque est de 1 J → différence entre ce qui est consommé et produit

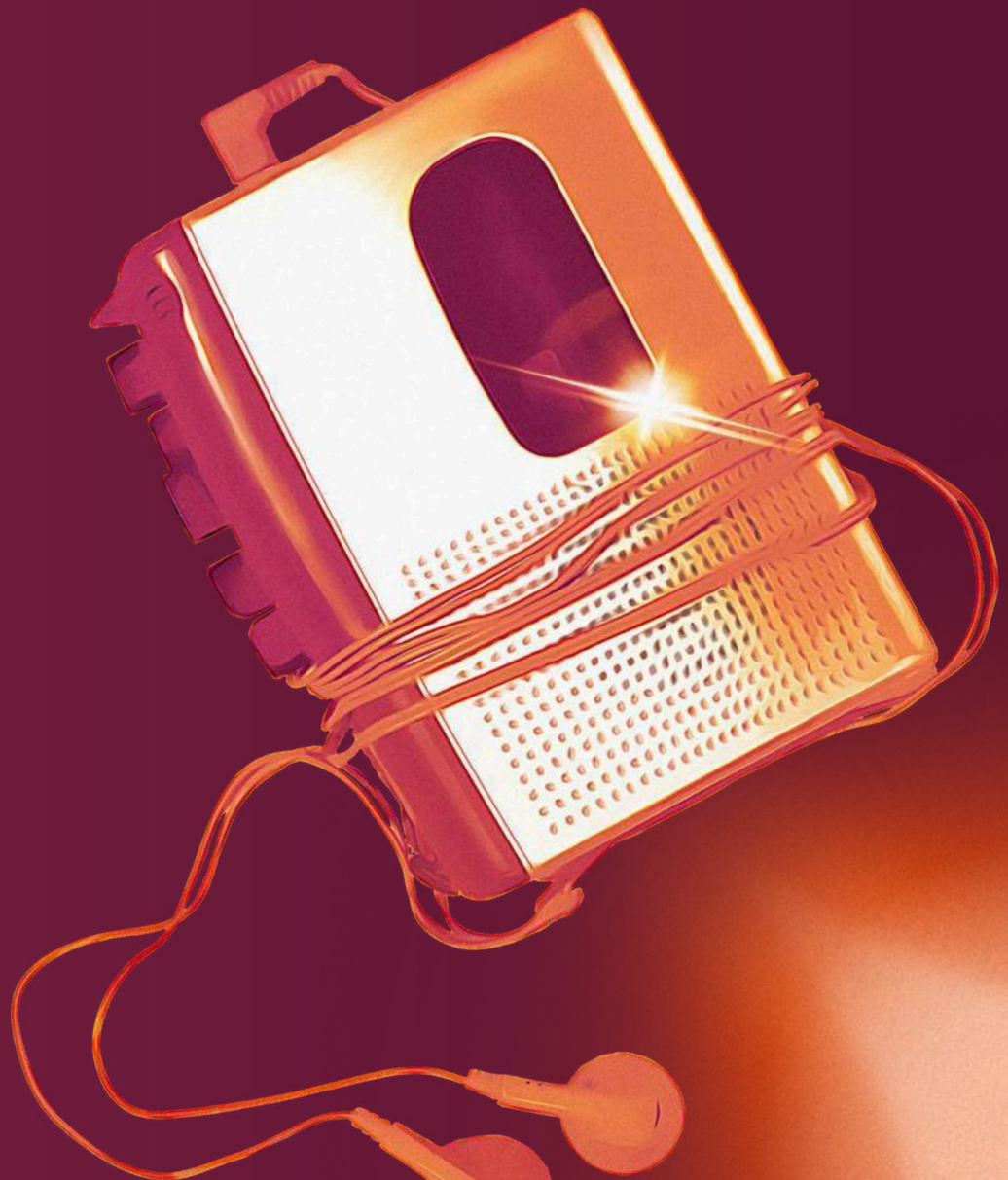
- $Rendement\ mécanique\ cardiaque = \frac{W\ mécanique\ fourni}{Energie\ consomée}$

→ au repos, rendement de 10% (1/10)

→ à l'effort, il passe à 15%

Norhanalyse

QCM TIME !!!!



QCM 17 : Un patient arrive dans votre service avec un débit cardiaque de 7 L/min, une fréquence cardiaque de 70 bpm et une pression ventriculaire de 12 kPa. Quel est son travail cardiaque ?

A) 0,9 J
B) 1,2 J
C) 1,4 J
D) 2 J
E) Les propositions A, B, C et D sont fausses

Q = VES x FC
W = VES x P

QCM 17 : Un patient arrive dans votre service avec un débit cardiaque de 7 L/min, une fréquence cardiaque de 70 bpm et une pression ventriculaire de 12 kPa. Quel est son travail cardiaque ?

A) 0,9 J FAUX

B) 1,2 J VRAI : Q = VES x FC => VES = Q/FC = 7/70 = 0,1 L = $1,0 \times 10^{-4}$ m^3

d'où W = VES x P = $1,0 \times 10^{-4} \times 1,2 \times 10^{4} = 1,0 \times 1,2 \times 10^{-4} \times 10^{4}$ = 1,2 J

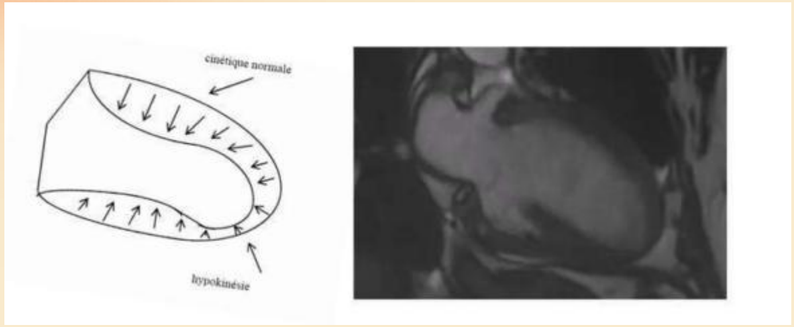
C) 1,4 J FAUX

D) 2 J FAUX

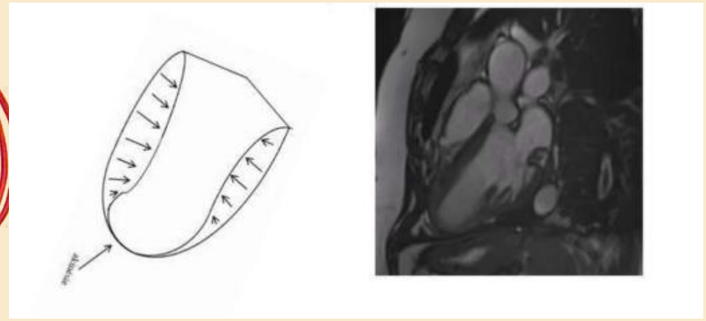
E) Les propositions A, B, C et D sont fausses

Norhanalyse

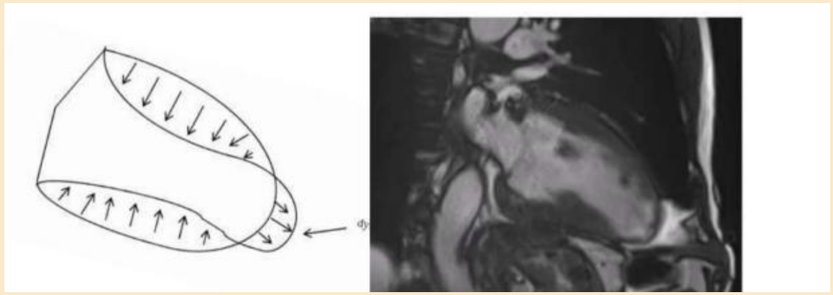
ANOMALIES DE LA CONTRACTION CARDIAQUE



L'HYPOKINÉSIE: Altération PARTIELLE de la contraction myocardique localisée ou globale → baisse FEVG



L'AKINÉSIE : Absence TOTALE de contraction du myocarde, localisée sur un territoire du myocarde.



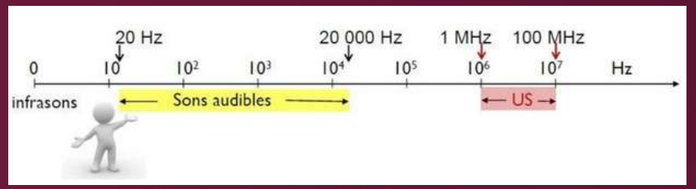
LA DYSKINÉSIE : Mouvement paradoxal du myocarde (dilatation en systole lié à l'augmentation de la pression intraventriculaire durant la systole)

Infarctus du myocarde, Myocardite, autres étiologies...

Norhanalyse

TECHNIQUE D'EXPLORATION DE LA FONCTION MECANIQUE DU COEUR

ÉCHOGRAPHIE CARDIAQUE





- Non invasive et non ionisante +++ (US entre 20000 et 100000 Hz)
- US vont être réfractés et réfléchis puis renvoyés vers la sonde.

🫀 image des tissus en profondeur

🫀 visualise correctement l'anatomie cardiaque et ses contractions

🫀 mesure/calcule les volumes cardiaques

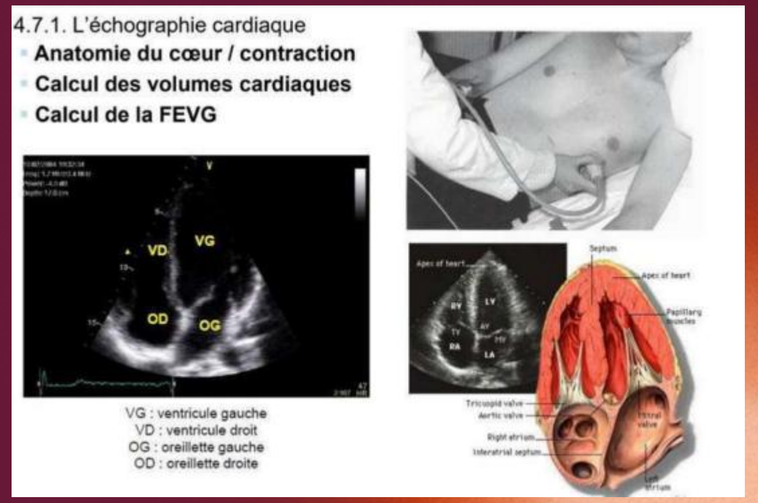
🫀 calcule la FEVG

✅ innocuité ++

✅ rapide et facile

❌ mauvaise pénétration

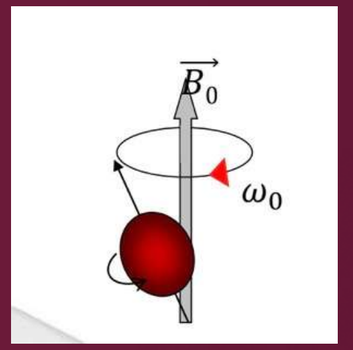
❌ visualisation incomplète

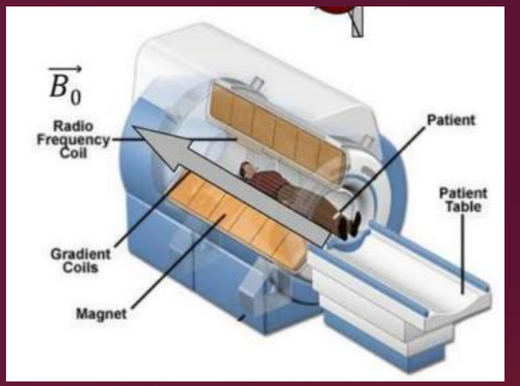


Norhanalyse

TECHNIQUE D'EXPLORATION DE LA FONCTION MECANIQUE DU COEUR

IRM cardiaque : imagerie par résonance magnétique

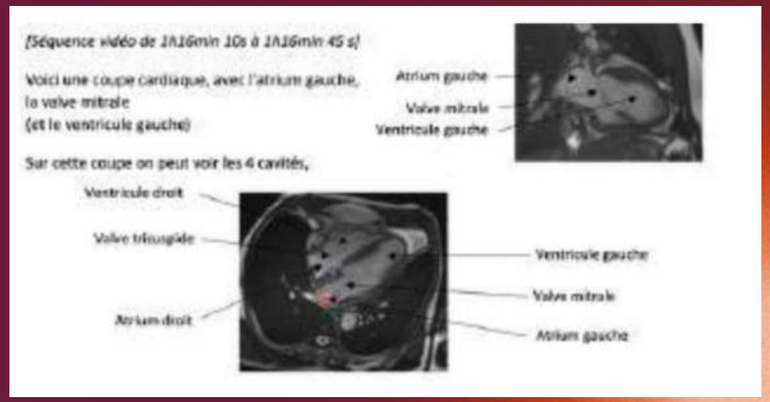




- Non invasive et non ionisante +++
- Grand tube avec ondes radiofréquences
- Propriétés magnétiques protons

🫀 synchronisation de l'image IRM au mouvement du cycle cardiaque

🫀 obtention de séquences plus rapides qu'avant

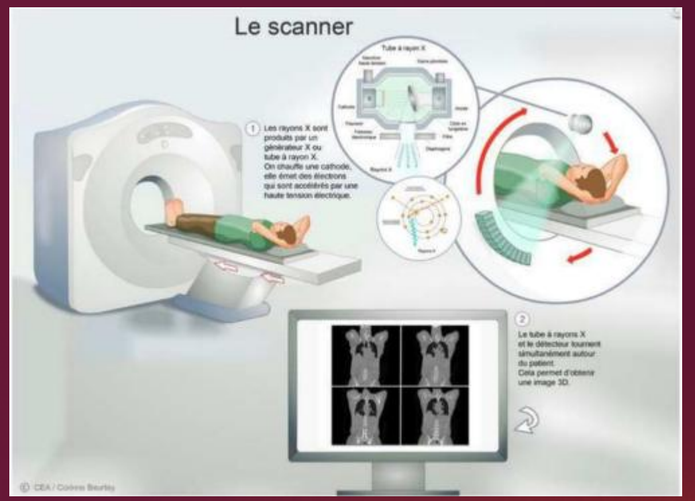


✅ imagerie morphologique et fonctionnelle en 3D
✅ meilleure visualisation des cavités qu'avec l'échographie
✅ très bon contraste de l'image entre sang et muscles
✅ mesure fiable et reproductible de la FEVG
❌ bcp artefacts
❌ long
❌ peu de disponibilité

Norhanalyse

TECHNIQUE D'EXPLORATION DE LA FONCTION MECANIQUE DU COEUR

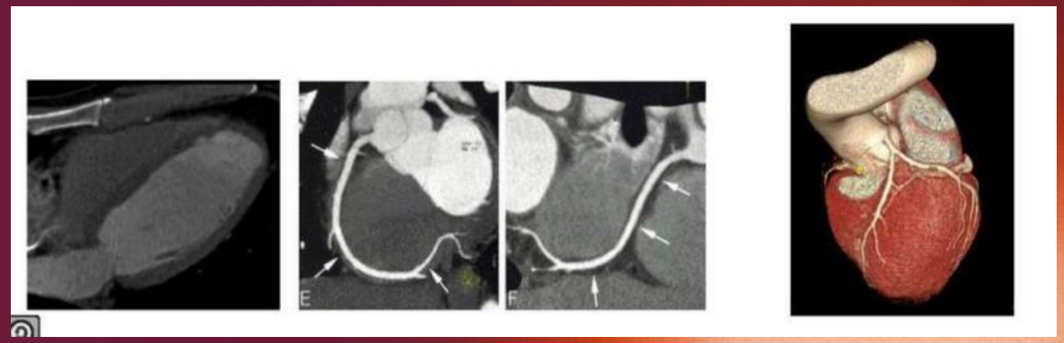
TOMODENSITOMÉTRIE : Scanner



- Imagerie morphologique peu invasive MAIS ionisante +++ (rayon X)
- Pas de différence entre sang et muscle

→ nécessaire d'injecter , en IV, produit contraste iodé

- Etude coronaires

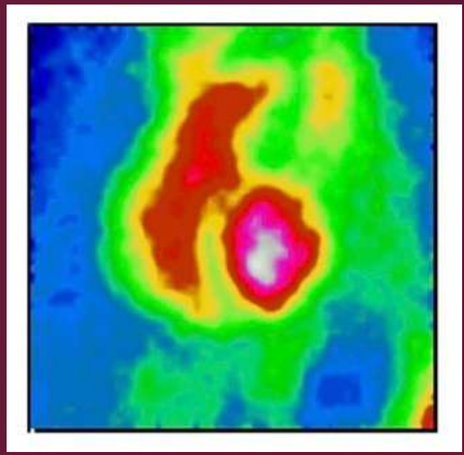


✅Rapide
✅Image 3D
✅Contraste très bon
✅Bonne visualisation des cavités du cœur
✅Bonne résolution spatiale
❌Dose significative de rayons X qui sont assez irradiants

Norhanalyse

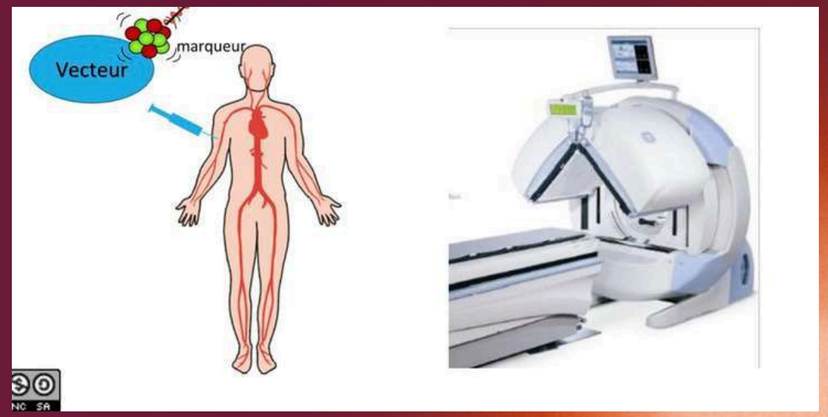
TECHNIQUE D'EXPLORATION DE LA FONCTION MECANIQUE DU COEUR

METHODES RADIO-ISOTOPIQUES



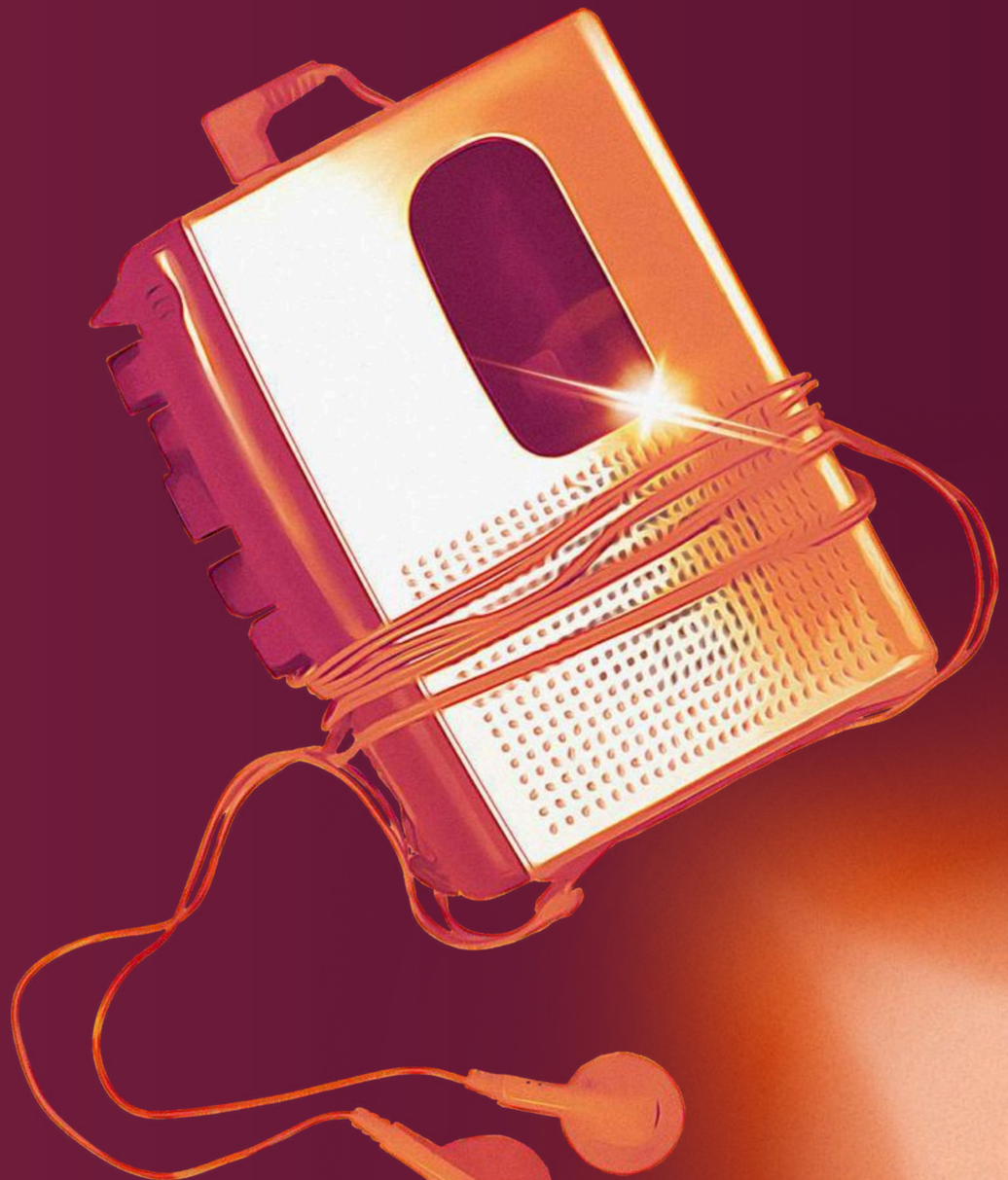
- Peu invasive MAIS ionisante → rayons gamma +++
- Examen principal : angio-scintigraphie
- Faible injection de technétium 99 métastable (99m Tc)
- Calcul FEVG :

$$FEVG\ (\%) = \frac{Radioact^{té}\ VG\ fin\ de\ diastole - Radioact^{té}\ VG\ fin\ de\ systole}{Radioact^{té}\ VG\ fin\ de\ diastole}$$



Norhanalyse

QCM TIME !!!!



QCM 3 : À propos de la biophysique cardiaque, indiquez-la (les) proposition(s) exacte(s) :

A) La loi de Franck Starling indique que la force de contraction du ventricule est d'autant plus grande que les cellules myocardiques sont plus étirées avant leur contraction.
B) Lors de la contraction isovolumétrique, la pression intraventriculaire diminue
C) Lors de la relaxation isovolumétrique, la pression du ventricule augmente
D) La systole auriculaire contribue de 10 à 20% au remplissage du ventricule
E) Toutes les réponses sont fausses

QCM 3 : À propos de la biophysique cardiaque, indiquez-la (les) proposition(s) exacte(s) :

A) La loi de Franck Starling indique que la force de contraction du ventricule est d'autant plus grande que les cellules myocardites sont plus étirées avant leur contraction VRAI

B) Lors de la contraction isovolumétrique, la pression intraventriculaire diminue FAUX : elle augmente

C) Lors de la relaxation isovolumétrique, la pression du ventricule augmente FAUX ; elle diminue

D) La systole auriculaire contribue de 10 à 20% au remplissage du ventricule VRAI

E) Toutes les réponses sont fausses

QCM 4 : A propos des anomalies de la fonction cardiaque, indiquez la (les) proposition(s) exacte(s) :

A) La dyskinésie est une absence totale de contraction d’une myocarde sur une zone localisée
B) L’hypokinésie est une absence partielle de contraction sur la totalité du myocarde uniquement
C) L’akinésie est une absence totale de contraction sur la totalité du myocarde
D) L’hypokinésie est une dilatation du muscle du myocarde au moment de la systole
E) Les propositions A, B, C et D sont fausses

QCM 4 : A propos des anomalies de la fonction cardiaque, indiquez la (les) proposition(s) exacte(s) :

A) FAUX : Dyskinésie = mouvement paradoxal donc dilatation pendant la systole
B) FAUX : Hypokinésie = absence partielle de contraction GLOBALE ou LOCALISÉE
C) FAUX: Akinésie = absence totale de contraction LOCALISÉE
D) FAUX : cf B
E) VRAI

QCM 35 : Un patient insuffisant cardiaque arrive aux urgences. L'échographie révèle un débit cardiaque de 3L/min. Sa fréquence cardiaque est de 50 battements par minute. Sa pression ventriculaire gauche est de 13kPa. Quelle est la valeur de son travail ventriculaire gauche ?

A) 94×10^{-1} J
B) 25×10^{-2} J
C) 46×10^{-2} J
D) 78×10^{-2} J
E) Les propositions A, B, C et D sont fausses

W = VES x P
Q = VES x Fc

QCM 35 : Un patient insuffisant cardiaque arrive aux urgences. L'échographie révèle un débit cardiaque de 3L/min. Sa fréquence cardiaque est de 50 battements par minute. Sa pression ventriculaire gauche est de 13kPa. Quelle est la valeur de son travail ventriculaire gauche ?

A) Faux

B) Faux

C) Faux

D) Vrai : W = VES x P donc on doit trouver VES → Q = VES x FC => VES = Q/FC = 3/50 = 0,06 L et on convertit en m^3

donc 6×10^{-5} m^3

On oublie pas de convertir kPa en Pa donc 13 kPa = 13×10^3 Pa donc

$W = VES \times P = 6 \times 10^{-5} \times 13 \times 10^3 = 78 \times 10^{-2}$J

E) Faux

Norhanalyse

MERCII

