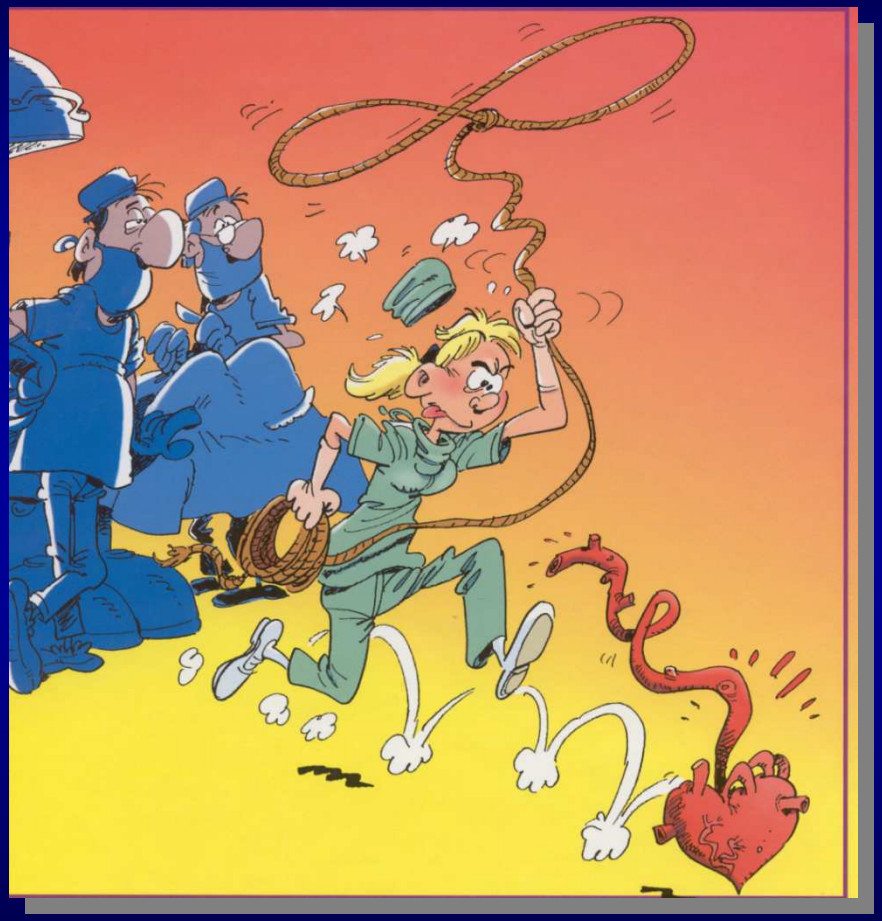
Physiologie cardiovasculaire appliquée à l'anesthésie-réanimation



Philippe Van der Linden MD, PhD
CHU Brugmann-HUDERF

Physiologie cardiovasculaire appliquée à l'anesthésie-réanimation

- ✓ La circulation systémique
- ✓ Le cœur
- ✓ Le débit cardiaque et sa régulation

La circulation systémique

- ✓ Composants
- ✓ Caractéristiques physiques de la circulation systémique
- ✓ Caractéristiques physiques du sang
- ✓ Déterminants et mécanismes de contrôle du flux sanguin tissulaire
- ✓ Régulation de la pression artérielle

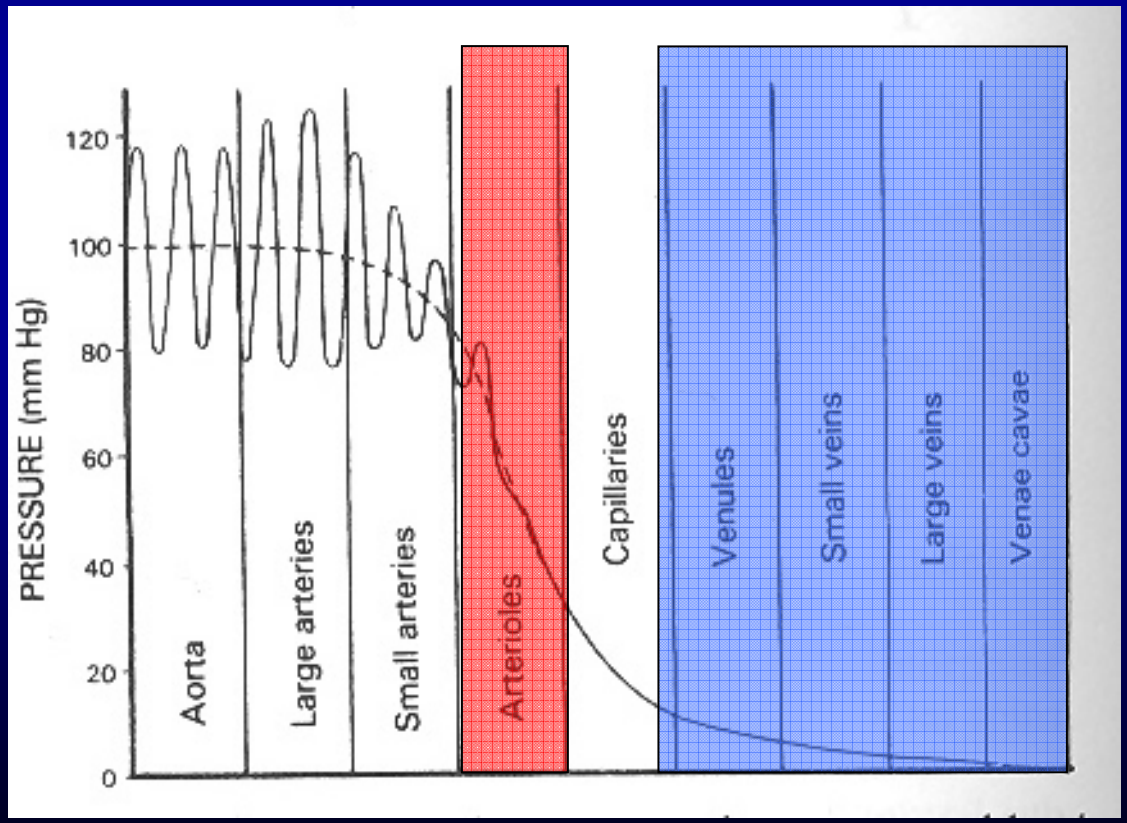
La circulation systémique: composants

- ✓ Artères: transport du sang à haute pression → tissus
- ✓ Artérioles (artères dont le diamètre est < 200 µ): contrôle du flux sanguin dans les capillaires.

  Méta-artérioles < des artérioles et se ramifient en un réseau de 10 à 100 capillaires
- ✓ Capillaires: transfert O2, éléments nutritifs et métabolites
- ✓ Veines et veinules: transport du sang à faible pression des tissus vers le cœur. Parois musculaires !

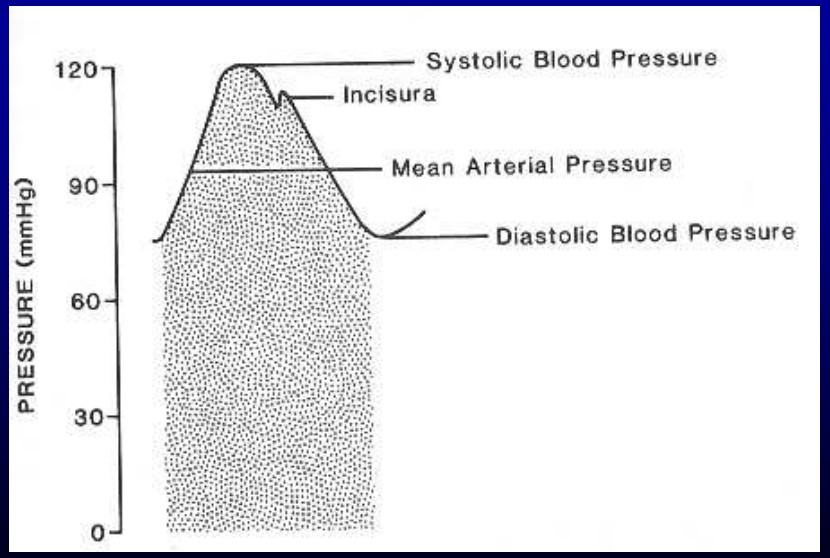
La circulation systémique

- ✓ Contient 80% du volume sanguin circulant



Pression pulsée

- ✓ Pression pulsée = P systolique – P diastolique
- ✓ Reflète l'éjection intermittente de sang dans l'aorte
- ✓ Facteurs modifiant la pression pulsée:
  - Volume d'éjection systolique du VG
  - Vitesse du flux sanguin
  - Compliance du réseau artériel



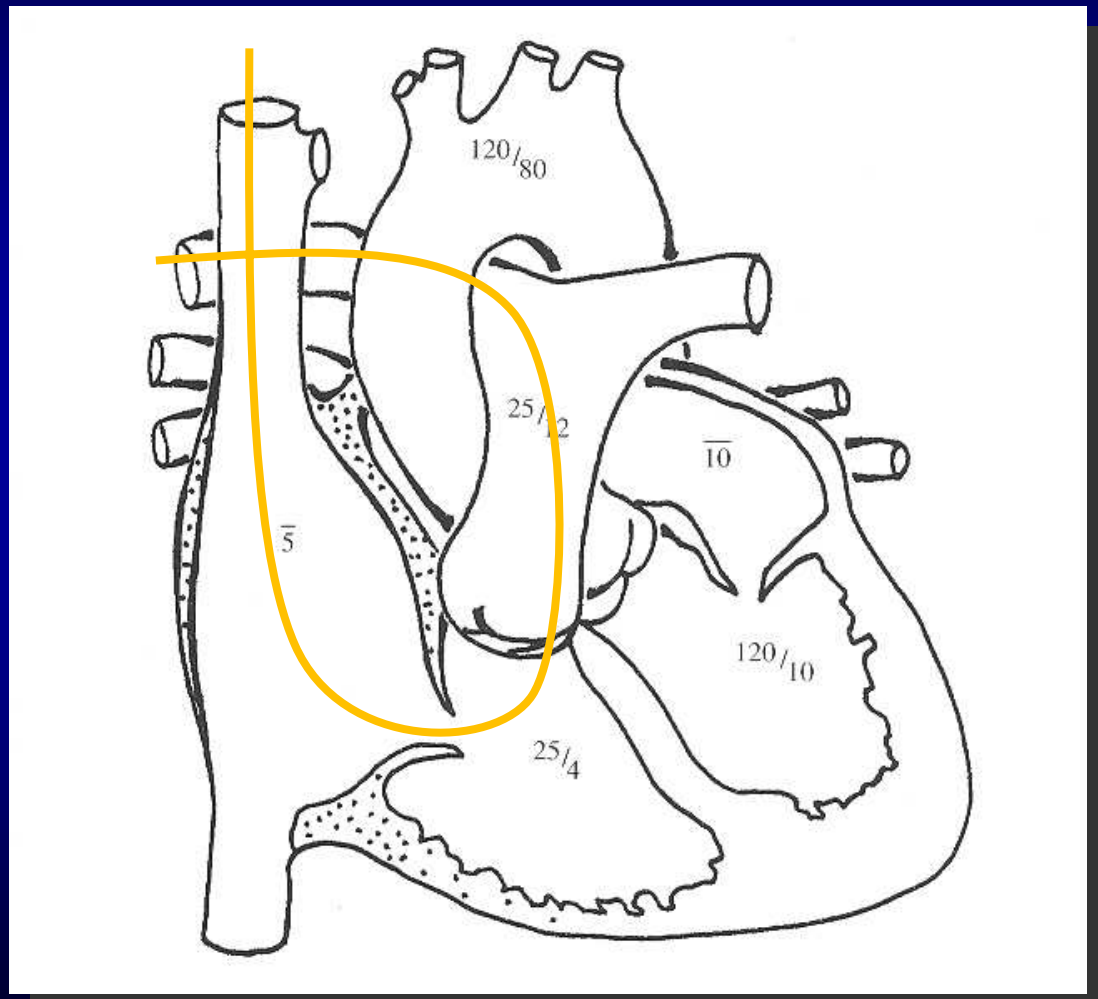
Pression pulsée

- ✓ Variations de la pression pulsée
  - Physiologique: du centre vers la périphérie en fonction de la diminution de compliance des vaisseaux et de l'importance de l'onde réfléchie
- ✓ Pouls paradoxal: ↓ pression sytolique > 10 mm Hg à l'inspiration
- ✓ Pouls « alterne »: alternance de pouls bien frappé et de pouls plus faible
- ✓ Déficit de pouls: ≠ pouls auscultatoire et pouls radial

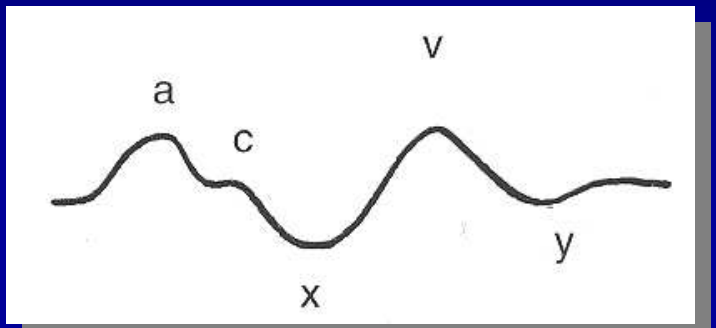
Circulation systémique: pressions

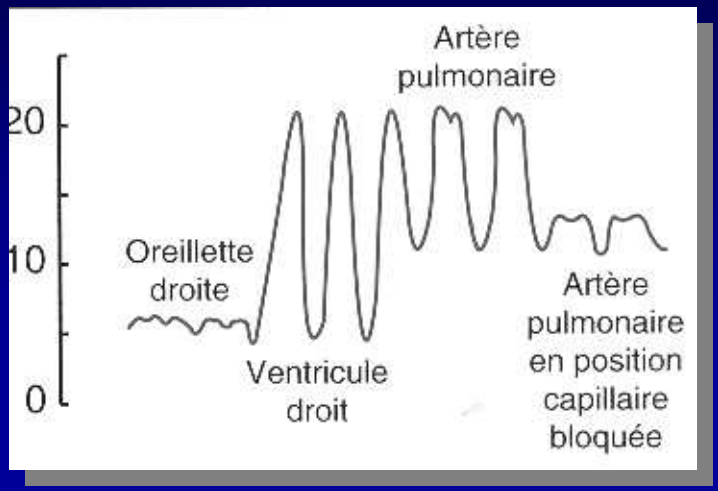
	Valeur moyenne (mm Hg)	Extrêmes (mm Hg)
Pression artérielle		
systolique	120	90-140
diastolique	80	70-90
moyenne	92	77-97
Pression télé-diastolique VG	6	0-12
Oreillette gauche	8	2-12
onde a	10	4-16
onde v	13	6-20
Oreillette droite	5	3-8
onde a	6	2-10
onde c	5	2-10
onde v	3	0-8

Les pressions cardiaques et vasculaires

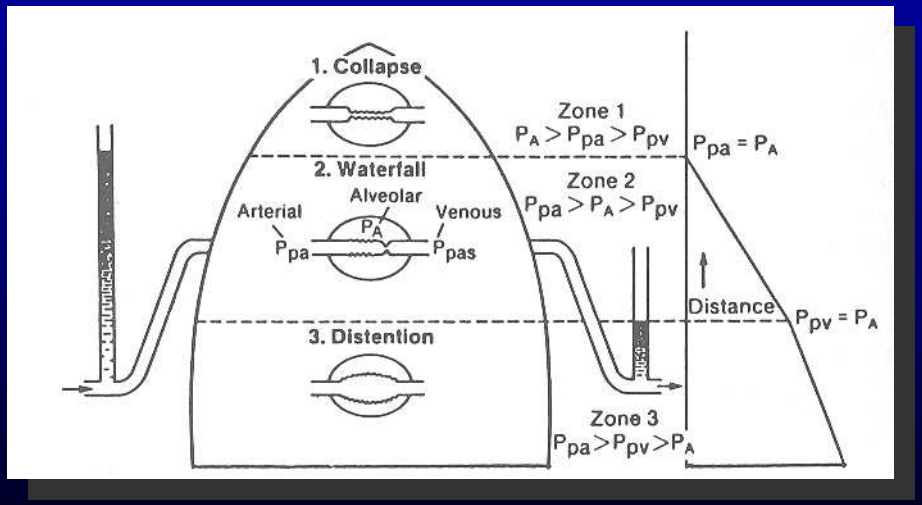


Les pressions auriculaires

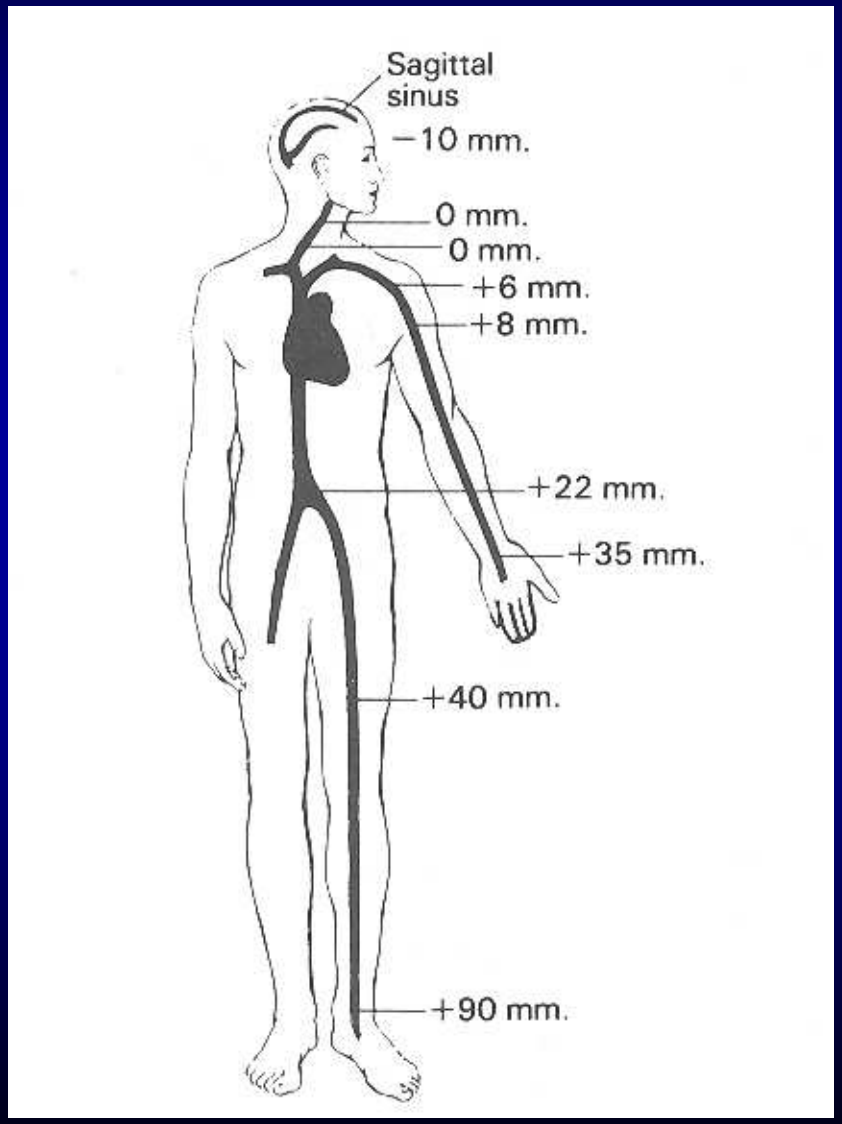




a: contraction auriculaire
c: contraction du VD
x: relaxation auriculaire
v: remplissage auriculaire
y: vidange de OD dans VD



Effets de la pression hydrostatique



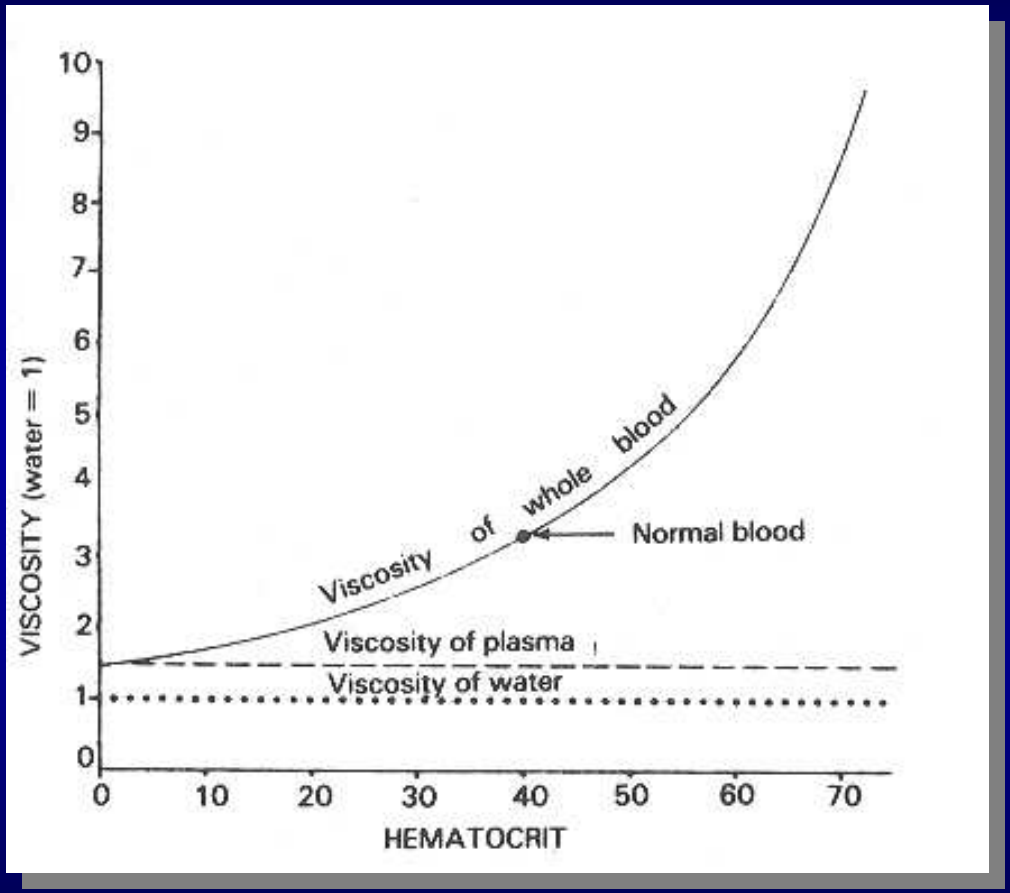
0.77 mmHg/cm

Mesure des pressions

- ✓ Point de référence: niveau de la valve tricuspide (pas d'effet de la pression hydrostatique sur la mesure des pressions artérielle et veineuse à ce niveau). Correspond aux 2/3 de l'épaisseur du thorax mesuré à partir du plan de la table

- ✓ 10 mmHg = 13,6 cm H_2O

Caractéristiques physiques du sang



Effet de l'hématocrite sur la viscosité dépend largement du « shear stress » (fction de la vitesse circulatoire)

Déterminants du flux sanguin tissulaire

- ✓ Flux sanguin tissulaire = $\frac{\text{P entrée – P sortie}}{\text{Resistance}}$
- ✓ Résistance = $8l\eta/\pi r^4$ (Loi de Poseuille)
- ✓ Distensibilité vasculaire: veines = 6-10x celle des artères
  - Pression critique de fermeture: 20 mmHg
  - Pression circulatoire moyenne: 7 mmHg
- ✓ Compliance vasculaire: $\Delta V / \Delta P$; ± 100 ml/mmHg
  - Beaucoup plus grande au niveau des veines que des artères

Contrôle du flux sanguin tissulaire

- ✓ Mécanismes locaux
- ✓ Réponses du système nerveux autonome
- ✓ Réponse hormonales

	ml/min	ml/min.100g	% CO
Cerveau	750	50	15
Coeur	225	75	5
Foie	1450	100	29
Reins	1000	320	20
Muscles	750	4	15
Peau	400	3	8
Autres tissus	425	2	8

Contrôle du flux sanguin tissulaire

- ✓ Contrôle local du flux sanguin
  - Besoins métaboliques (O_2, glucose, acides gras…)
- ✓ Auto-régulation du flux sanguin
  - Maintien d'un flux sanguin ± constant sur une plage étendue de pression artérielle moyenne
- ✓ Contrôle du flux sanguin à long terme
  - Modification de la densité vasculaire des tissus (ex: dysplasie rétrolentale)

Contrôle du flux sanguin tissulaire

- ✓ Rôle du système nerveux autonome: redistribution du flux sanguin entre les organes
  - Importance du système sympathique α-adrénergique
  - Centre vasomoteur
    - Partie supérieure: transmission des influx vasoconstricteurs
    - Partie médiane et inférieure: fonction inhibitrice

Contrôle du flux sanguin tissulaire

- ✓ Contrôle hormonal du flux sanguin
  - Effet vasconstricteur: adrénaline, noradrénaline, angiotensine, ADH
  - Effet vasodilatateur: bradykinine, sérotonine, histamine, prostaglandines
  - Rôle de facteus chimiques locaux: K^+, H^+, CO_2

Régulation de la pression artérielle

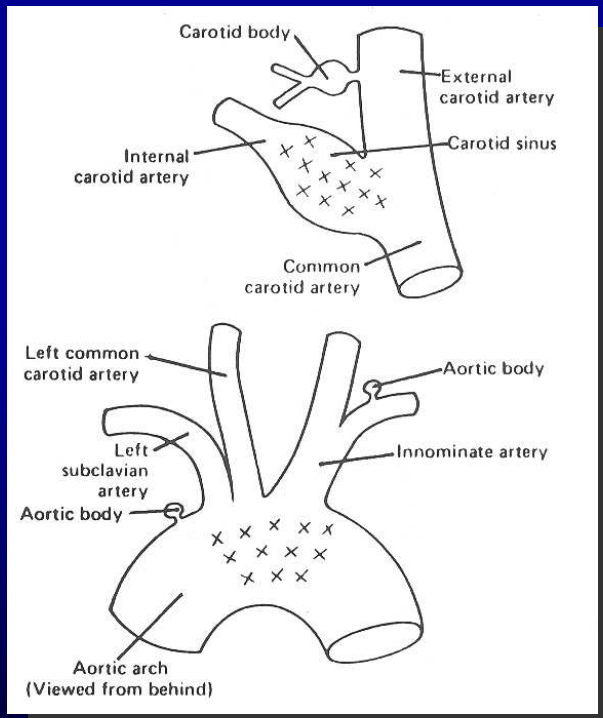
- ✓ Pression artérielle: élément contrôlé >< débit cardiaque
- ✓ Maintien de la pression artérielle: < modifications inverses du débit cardiaque et des résistances vasculaires systémiques
- ✓ PAM: le déterminant du flux sanguin tissulaire
- ✓ Mécanismes de régulation: court – moyen – long terme
- ✓ Variations physiologiques: respiratoires, 2^{daires} aux « ondes vasomotrices »

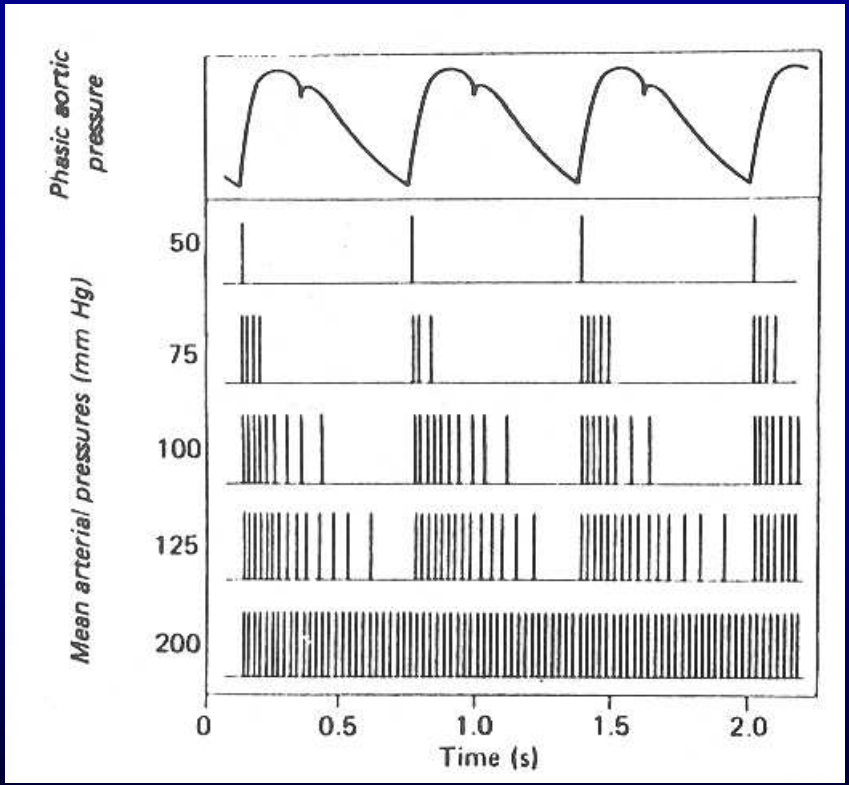
Régulation de la pression artérielle: mécanismes à court terme

- ✓ Baro-réflexes
  - Haute pression (aortique et carotidien)
  - Basse pression (auriculaires et ventriculaires)
- ✓ Chémo-reflexes
- ✓ Réflexe ischémique du système nerveux central

Les baro-réflexes à haute pression

- ✓ Baro-récepteurs situés dans la paroi de la crosse aortique et des carotides internes



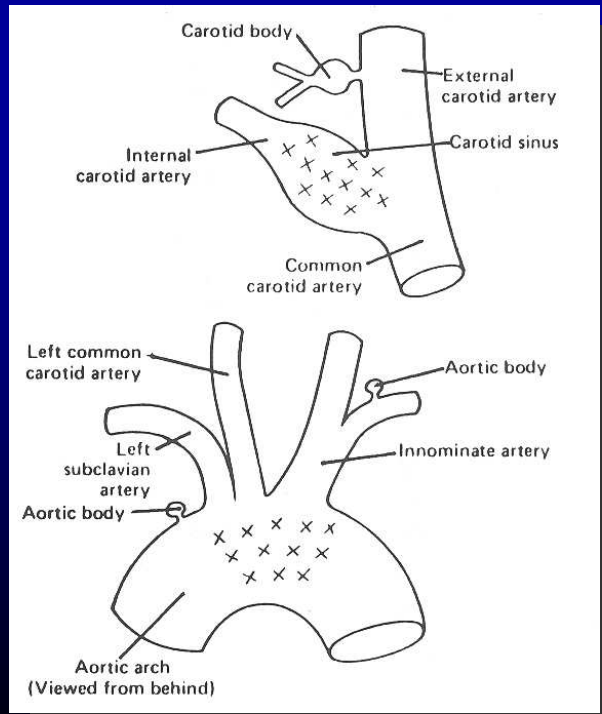


Les réflexes à basse pression

- ✓ Récepteurs atriaux à basse pression comparables aux baro-récepteurs des grosses artères
- ✓ ↑ pression auriculaire:
  - Vasodilatation
  - Augmentation du rythme cardiaque par action sur le nœud sinusal

Les chémo-réflexes

- ✓ Cellules chimio-sensibles situés dans les corps carotidiens et aortiques
- ✓ Sensibles à O_2, H^+ et CO_2
- ✓ Réponse importante pour PA< 80 mmHg
- ✓ Impliqués également dans la réponse ventilatoire à l'hypoxie (PaO_2 < 60 mmHg)



Régulation de la pression artérielle: mécanismes à moyen terme

- ✓ Phénomène de tension-relaxation (de + 30% à -15% du volume circulant))
- ✓ Mécanismes hormonaux
  - Système adrénergique
  - Système rénine-angiotensine
  - Hormone anti-diurétique (ADH)

→ Vasoconstriction

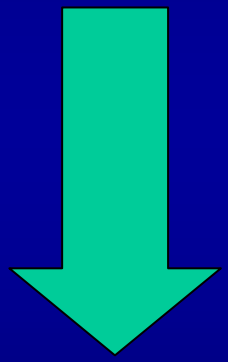
- ✓ Passage de liquide trans-capillaire

Régulation de la pression artérielle: mécanismes à long terme

- ✓ Modification de la volémie: élimination/rétention de Na^+ et d'eau par les reins
  - Système rénine-angiotensine
  - Aldostérone
  - ADH

Régulation de la pression artérielle: effets de l'anesthésie

Dépression des baroréflexes: effet central par inhibition de la réponse sympathique



↓ Tolérance à l'hémorragie

↓ Adaptation aux changements de position

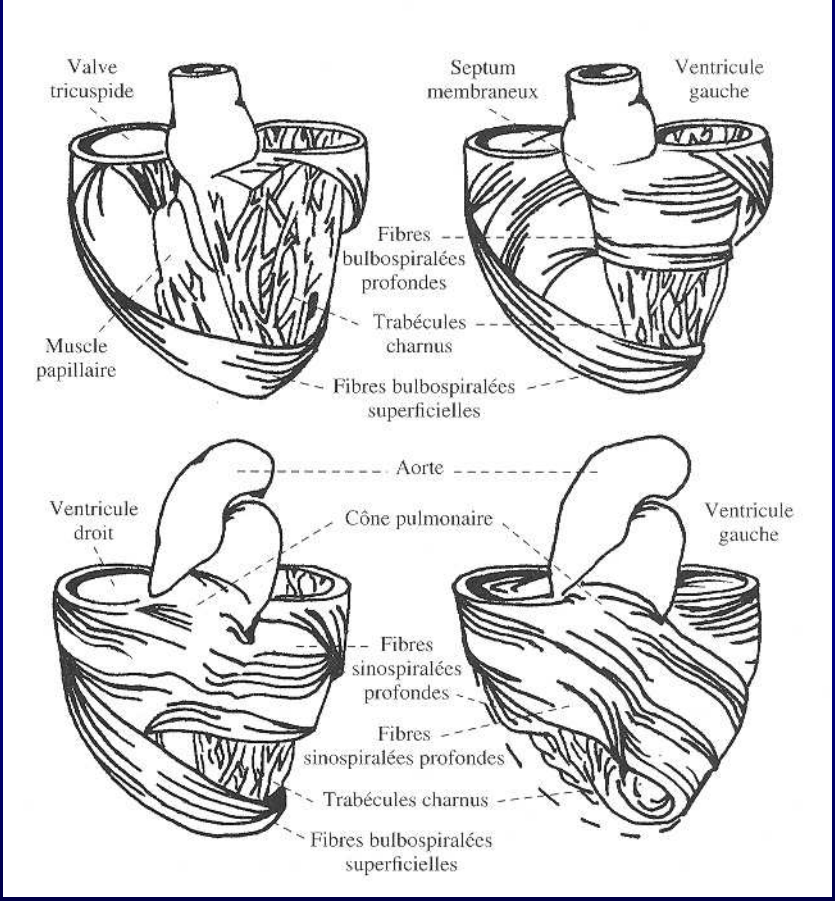
↑ Gravité du choc anaphylactique

Le coeur

✓Organe musculaire et de conduction partageant avec les vaisseaux le rôle de faire circuler le sang dans l'organisme

- ✓ Architecture fonctionnelle
- ✓ Fonction cardiaque

Architecture fonctionnelle du myocarde



✓ Fibres musculaires enroulées à la façon d'un turban:

- Contraction: ↓ diamètre et raccourcissement longitudinal
- Apex se contracte avant la base: onde « péristaltique » assurant la progression du sang

Anatomie fonctionnelle du myocarde

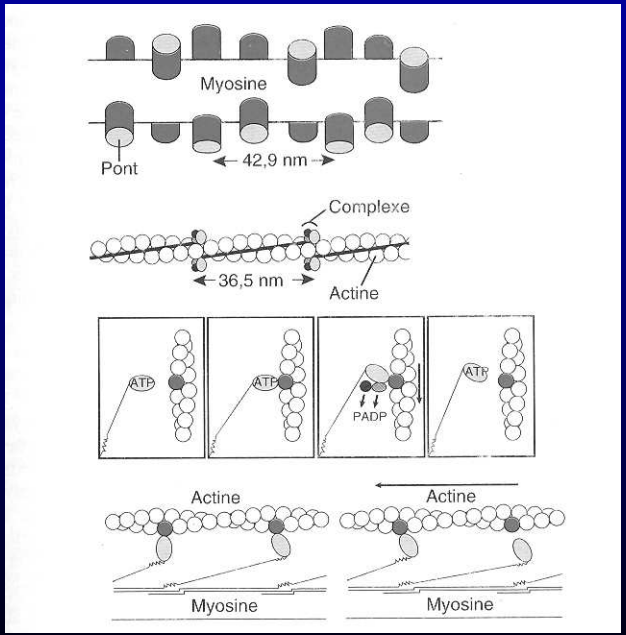
- ✓ Rôle du péricarde
  - Fonction mécanique: empêche une dilatation excessive du cœur en diastole
  - Fonction de membrane
  - Fonction ligamentaire

Anatomie fonctionnelle du myocarde

- ✓ Interdépendance ventriculaire
  - • Volumes d'éjection s'équilibrent par le biais d'adaptation de la précharge et de la postcharge
  - • Adaptation d'un ventricule à des conditions de charge inadéquates se fait au détriment de l'autre

Cycle contraction-relaxation cardiaque

- ✓ Contraction
  - • Interaction entre les molécules d'actine et de myosine dépendant de [Ca++] libre dans la cellule
  - •Le calcium modifie la forme des protéines régulatrices (troponines)
  - • La relation entre force et [Ca++] est sigmoïde

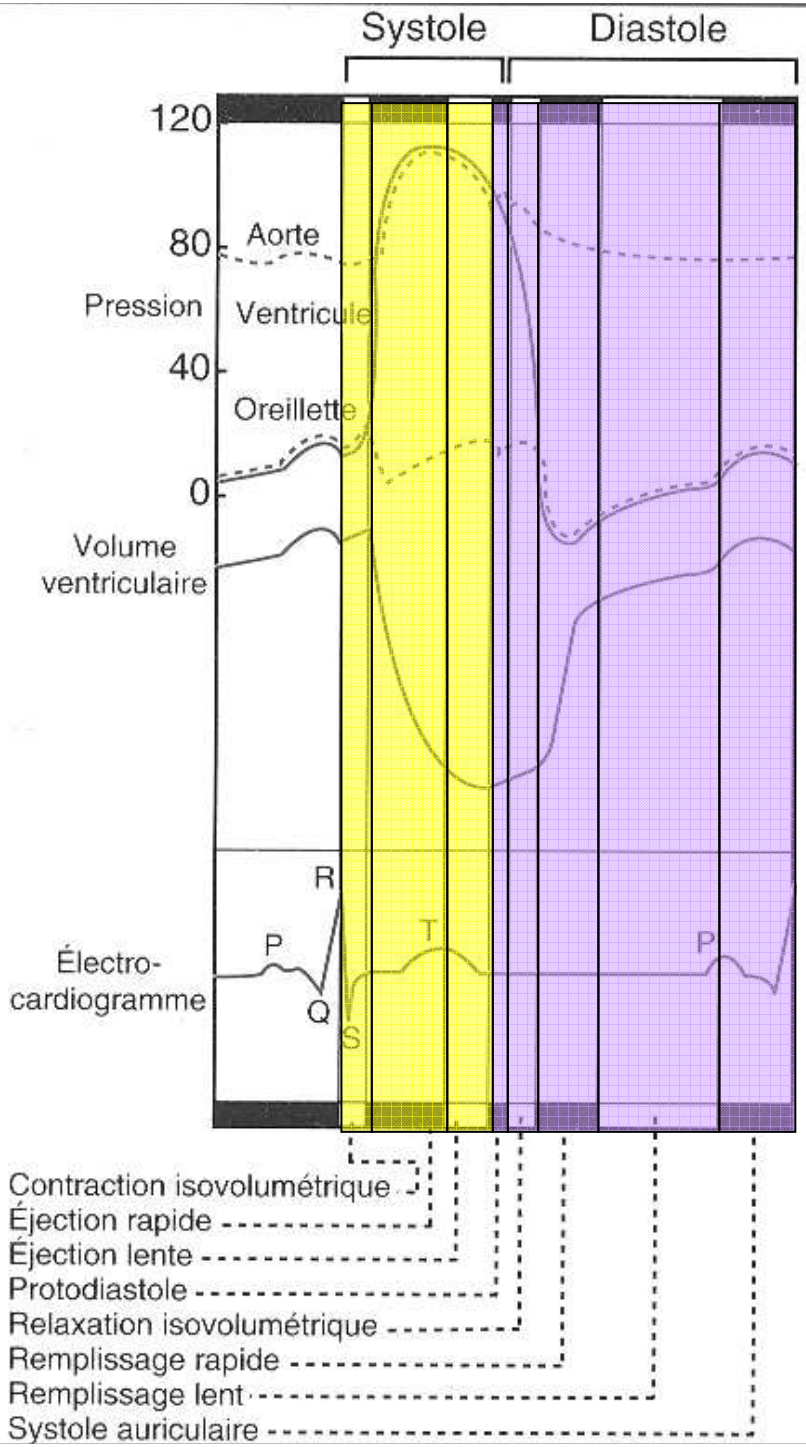


Cycle contraction-relaxation cardiaque

✓Relaxation

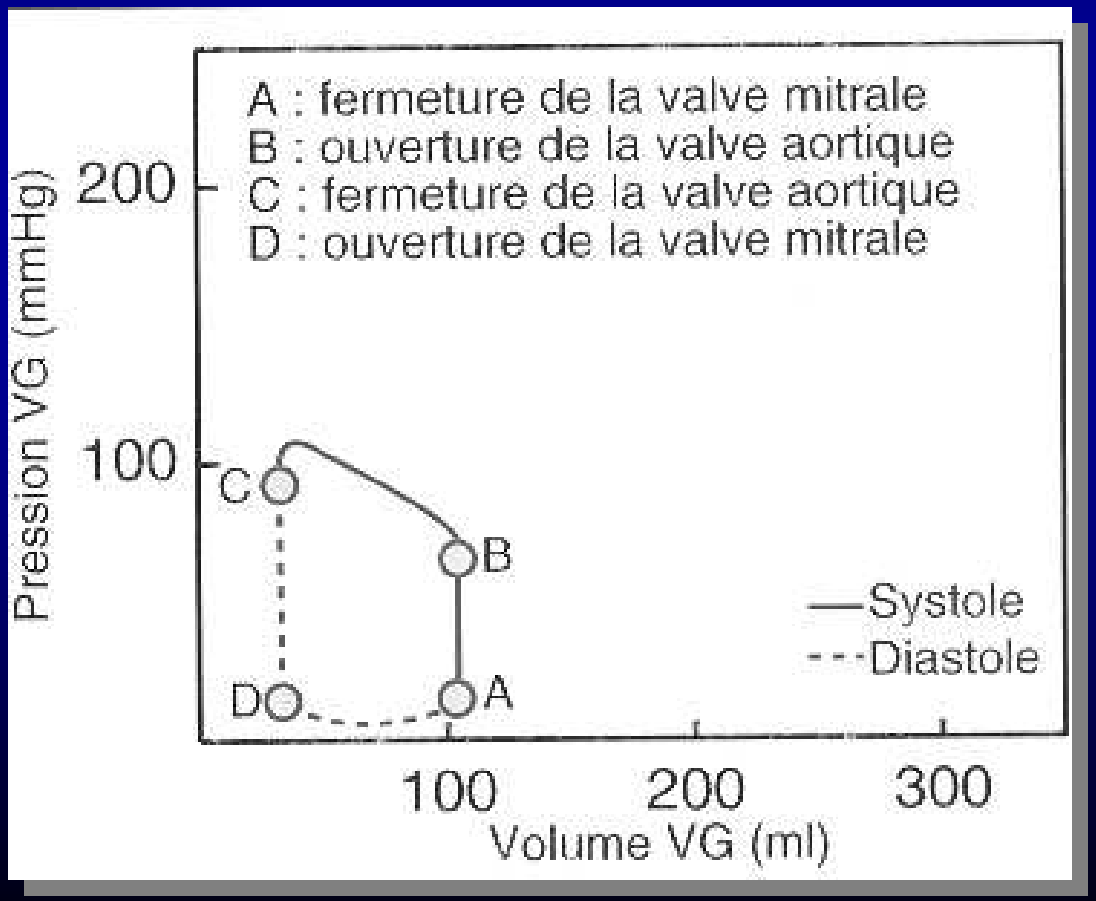
- Phénomène actif lié à la reprise du calcium par le réticulum sarcoplasmique
- Se termine avant la fin de la diastole et dépend des conditions de charge des fibres musculaires
- Facteurs clés: affinité de la troponine C pour le calcium et vitesse de recaptage du calcium par le réticulum sarcoplasmique

Le cycle cardiaque

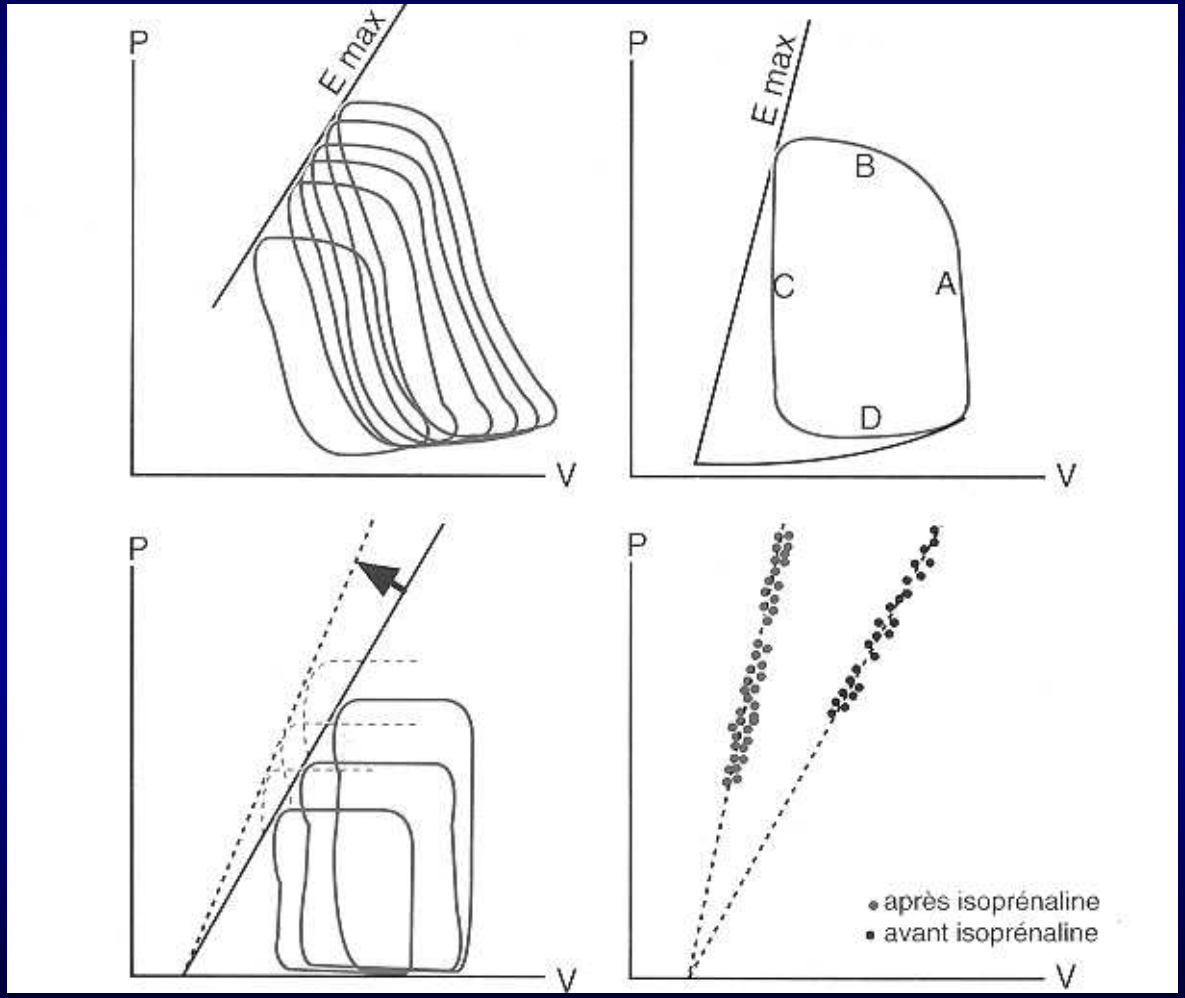


Le travail cardiaque

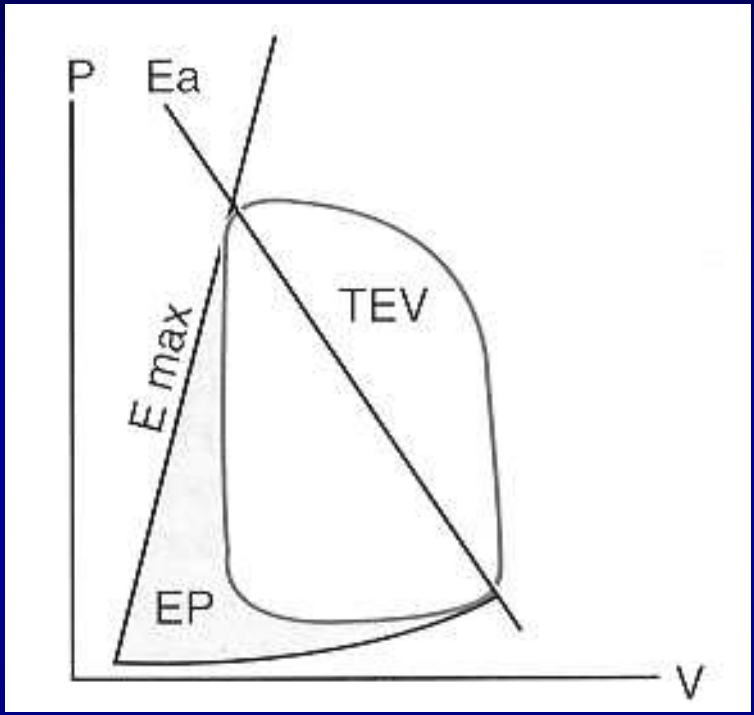
✓Produire une pression et par là faire progresser le sang dans l'arbre vasculaire



Le travail cardiaque



Le travail cardiaque



- ✓Emax: reflète l'inotropisme
- ✓Ea: index de postcharge ventriculaire: correspond aux variations de l'élastance maximale de l'aorte à son origine

✓Travail global du ventricule: travail d'éjection ventriculaire (TEV) + l'énergie potentielle du ventricule (EP)

La fraction d'éjection (FE)

- ✓FE = volume d'éjection systolique / volume télédiastolique

  = 80 ml / 120 ml: 66%

- ✓ FE = 1 –PTS / (VTD x Emax)
  - PTS: pression télésystolique du VG
  - VTD: volume télédiastolique
  - Emax: inotropisme

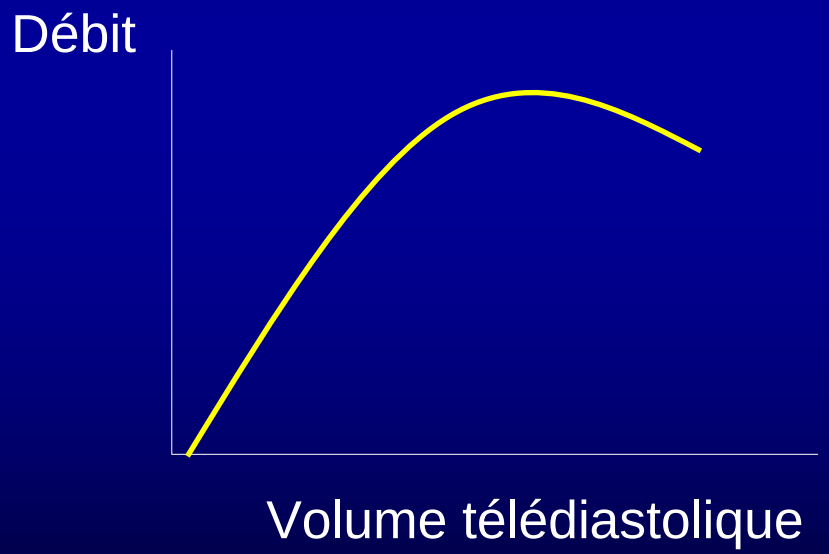
- ✓ FE = Emax / (Emax + Ea)

Fonction ventriculaire: la précharge

✓La précharge détermine le degré d'étirement des fibres myocardiques (= le volume télédiastolique ventriculaire)

✓Le retour veineux détermine la précharge ventriculaire

- Masse sanguine
- Tonus veineux
- Systole auriculaire
- Régime ventilatoire



✓Remplissage diastolique: 80% < phase de remplissage rapide, 20% < systole auriculaire

Fonction ventriculaire: la postcharge

- ✓« Tout ce qui s’oppose à l’ éjection ventriculaire »
  - Dynamique ventriculaire
  - Résistances vasculaires
  - Compliance artérielle

Fonction ventriculaire: fréquence cardiaque

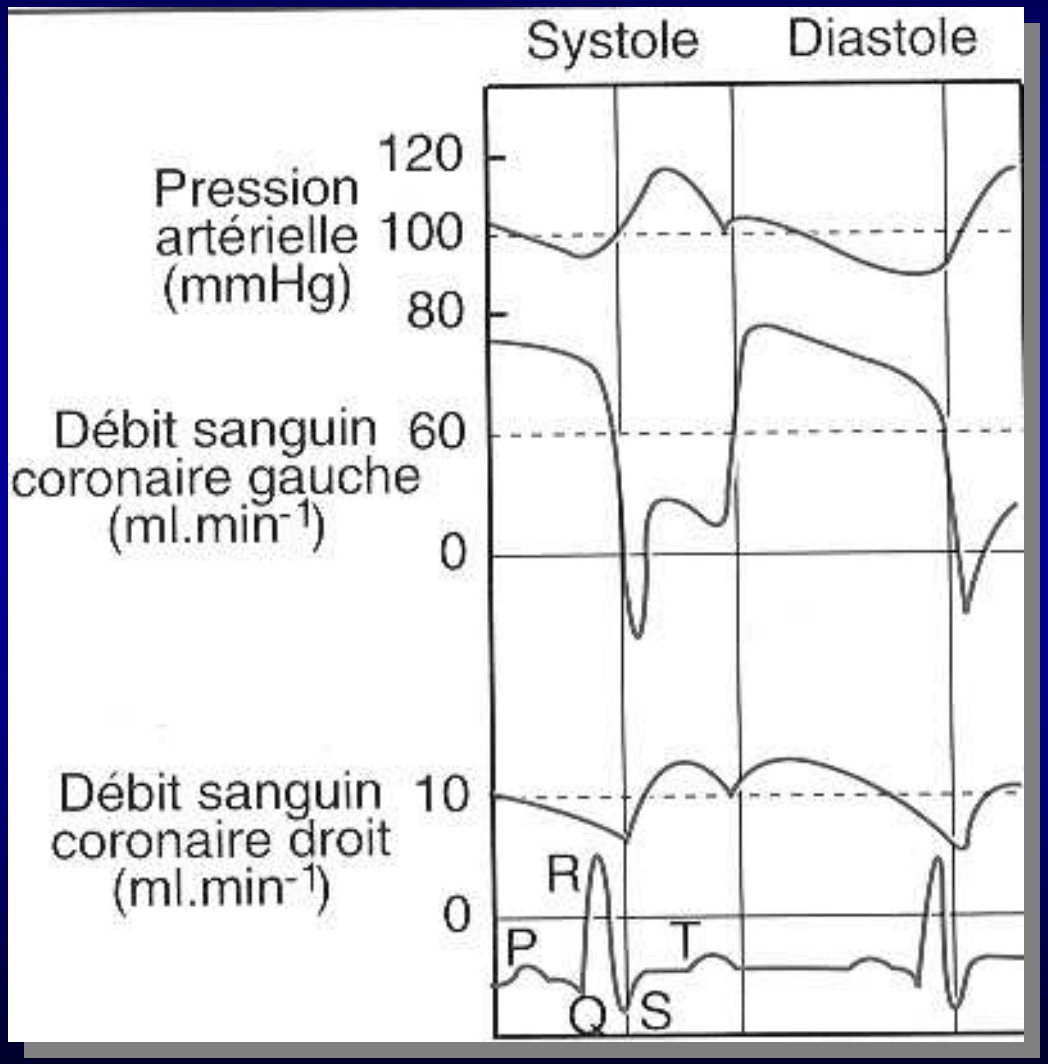
✓Rôle complexe sur le débit cardiaque

- Effets directs sur le coeur
- Effets indirects par le biais des baroréflexes

✓ Fréquence optimale pour laquelle le débit cardiaque l'est aussi en fonction de la précharge: vers 120/min

✓Une bradycardie importante n'augmente pas le volume télédiastolique du fait de l'inextensibilité du péricarde

Pression artérielle et débit coronaire



Déterminants du débit cardiaque

Débit cardiaque =

rythme cardiaque x volume d'éjection systolique

Précharge Postcharge Contractilité

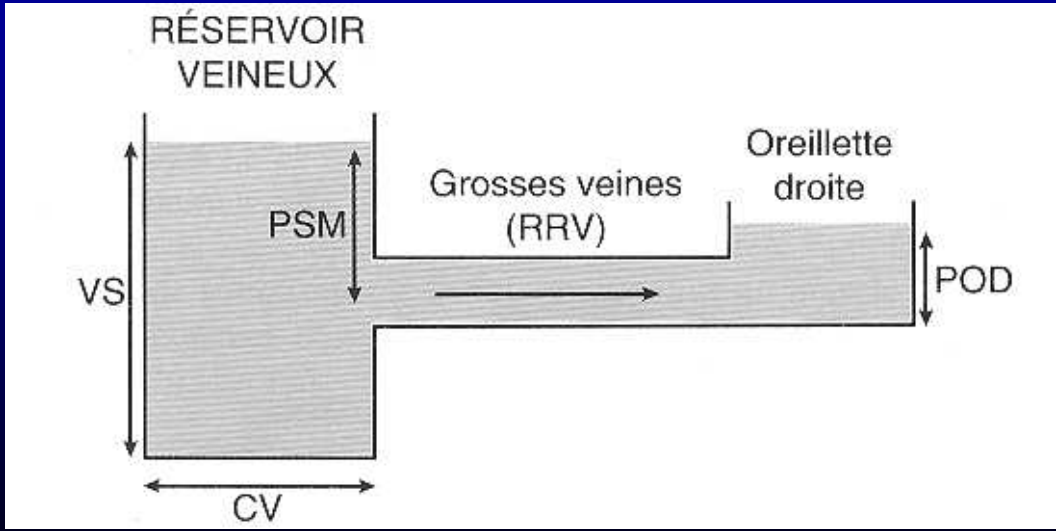
Déterminants du débit cardiaque

- ✓ Le retour veineux est un déterminant plus important du débit cardiaque que la contractilité myocardique
- ✓ Les besoins métaboliques contrôlent le débit cardiaque en modifiant la résistance au flux sanguin tissulaire
- ✓ Le système sympathique ↑ le débit cardiaque
  - ✓ ↑ rythme cardiaque
  - ✓ ↑ volume d'éjection systolique
    - ✓ ↑ contractilité
    - ✓ ↑ retour veineux

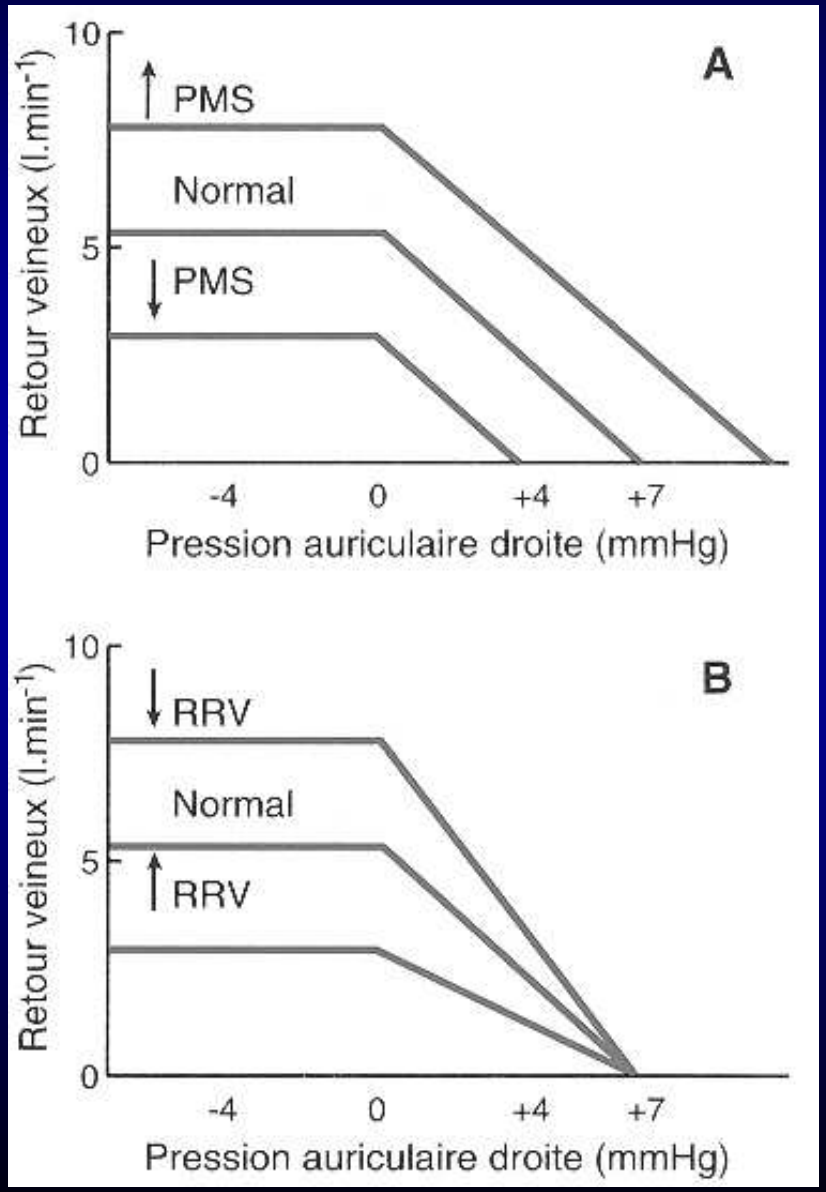
Rôle du retour veineux dans la régulation du débit cardiaque

$$\text{Retour veineux} = \frac{\text{PSM} - \text{POD}}{\text{RRV}}$$

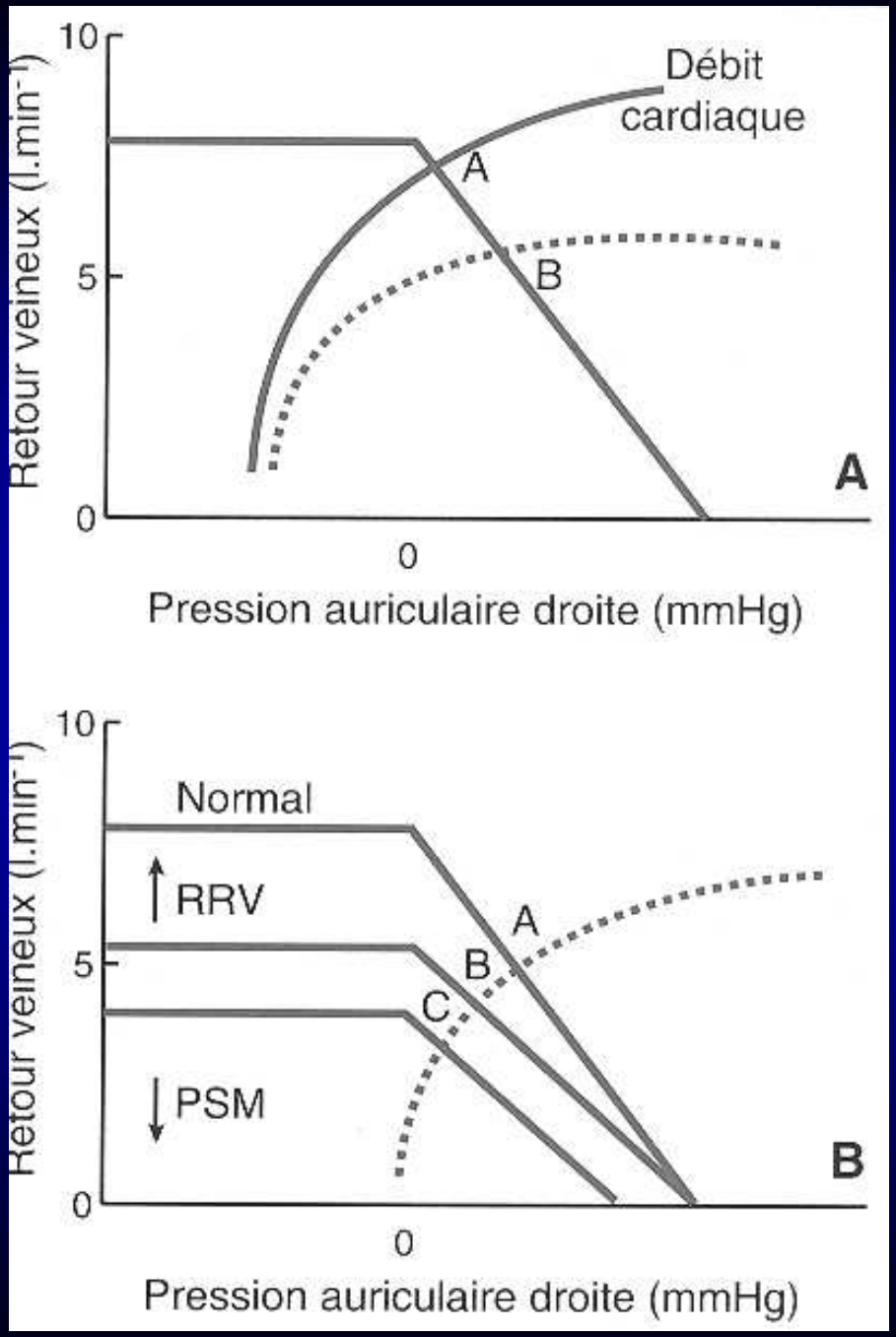
- PSM: pression systémique moyenne de remplissage
- POD: pression oreillette droite
- RRV: resistance au retour veineux



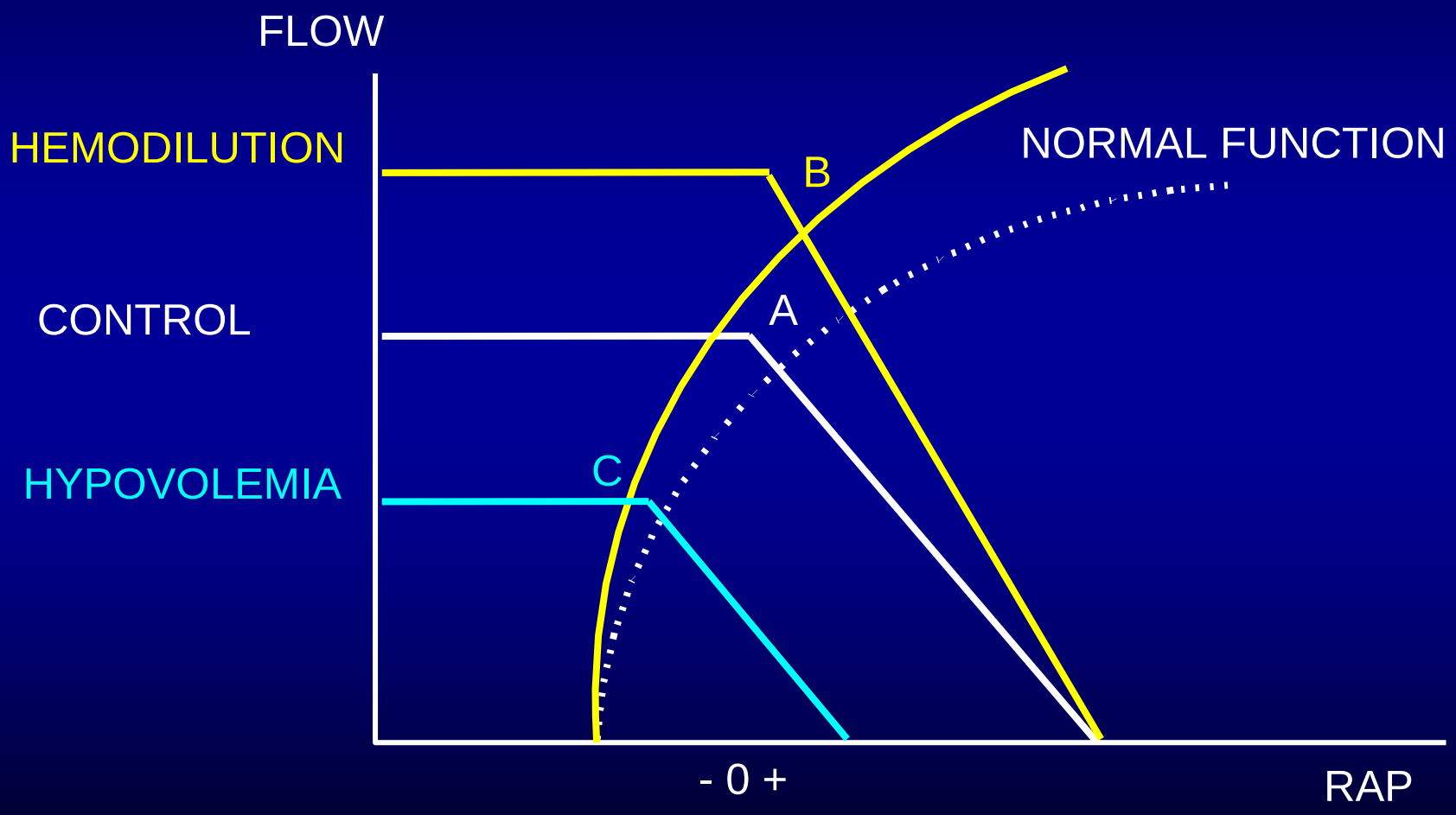
Courbes de retour veineux



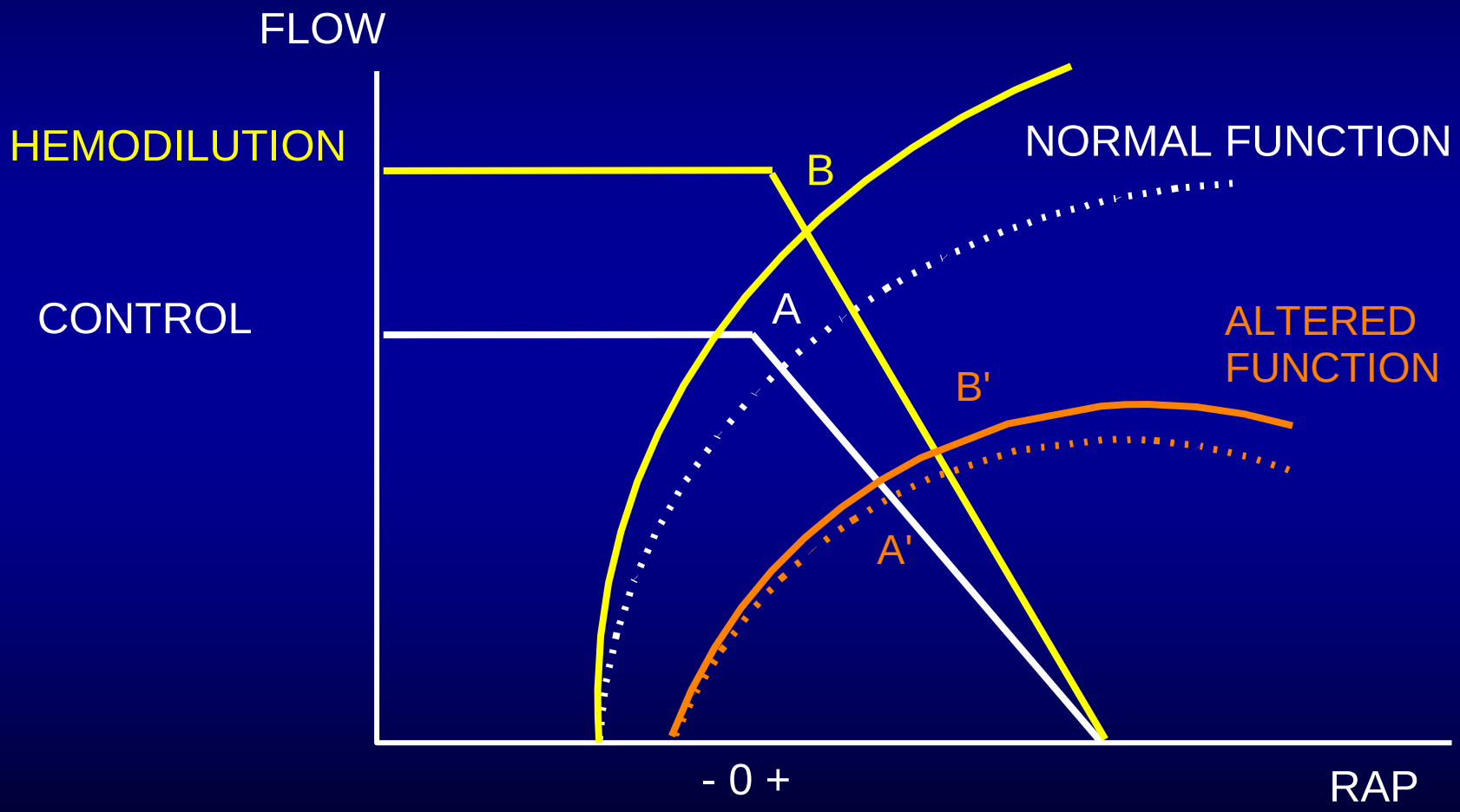
Fonction cardiaque et retour veineux

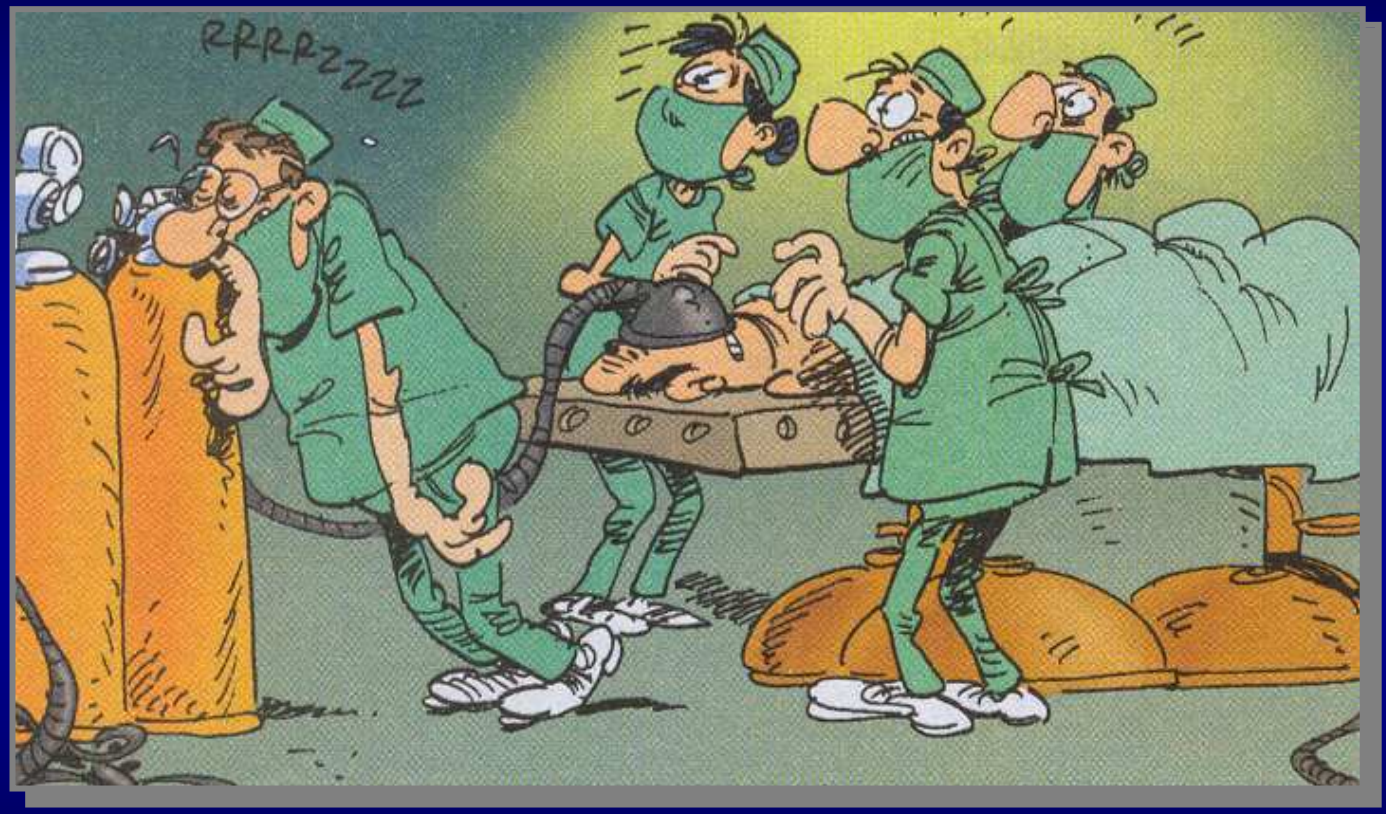


Hemodilution & Cardiac Output

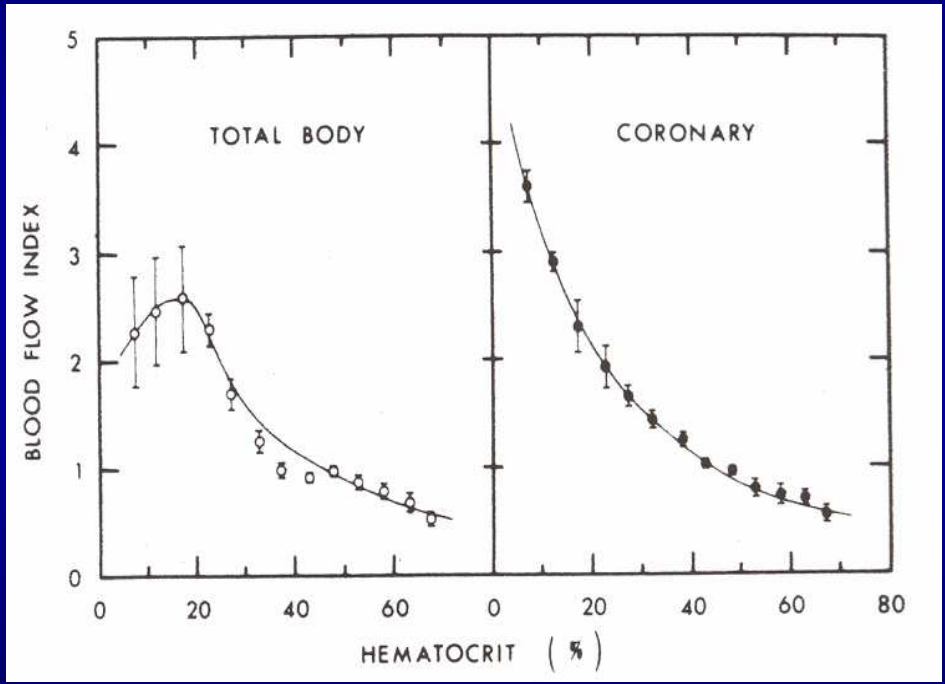


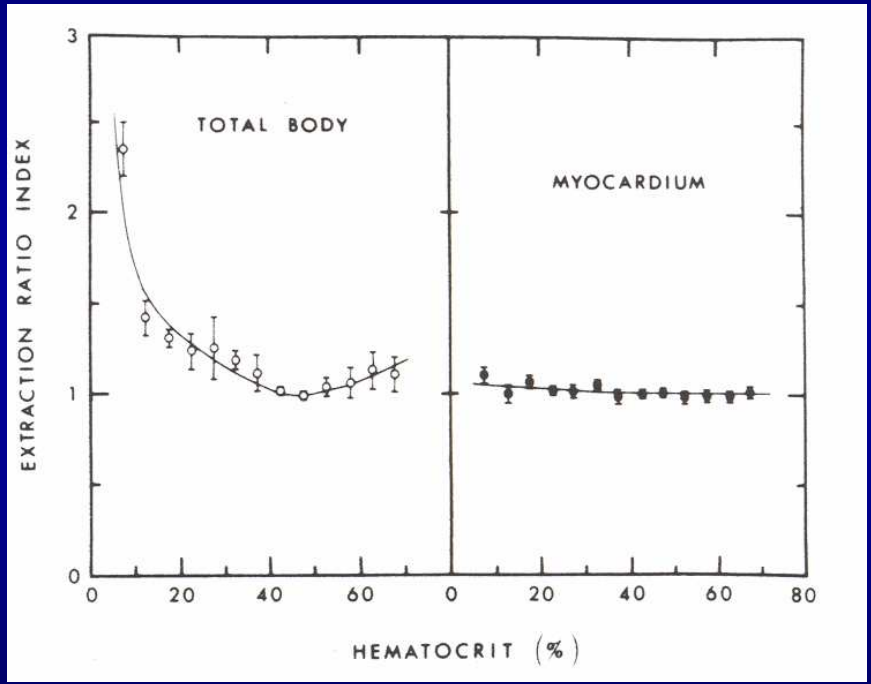
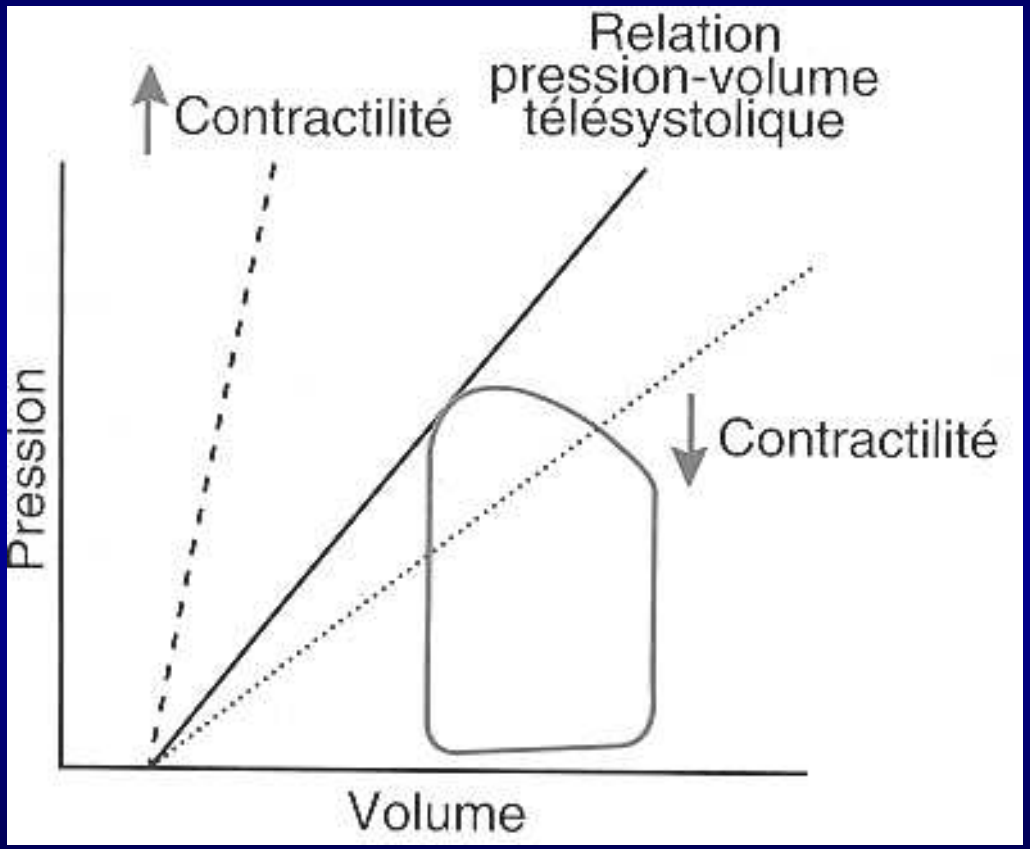
Hemodilution & Cardiac Output




RRRRZZZZ

Merci de votre attention


TOTAL BODY
CORONARY
BLOOD FLOW INDEX
HEMATOCRIT (%)
0
1
2
3
4
5
0
20
40
60
0
20
40
60
80


TOTAL BODY
MYOCARDIUM
EXTRACTION RATIO INDEX
HEMATOCRIT (%)
0
1
2
3
0
20
40
60
0
20
40
60
80

Le travail cardiaque