Adaptation à l'effort
Physiologie cardio-vasculaire

Vincent LAFAY

CHP Beauregard, Marseille

vincent.lafay@medecins-saint-antoine.fr

Club des Cardiologues du Sport

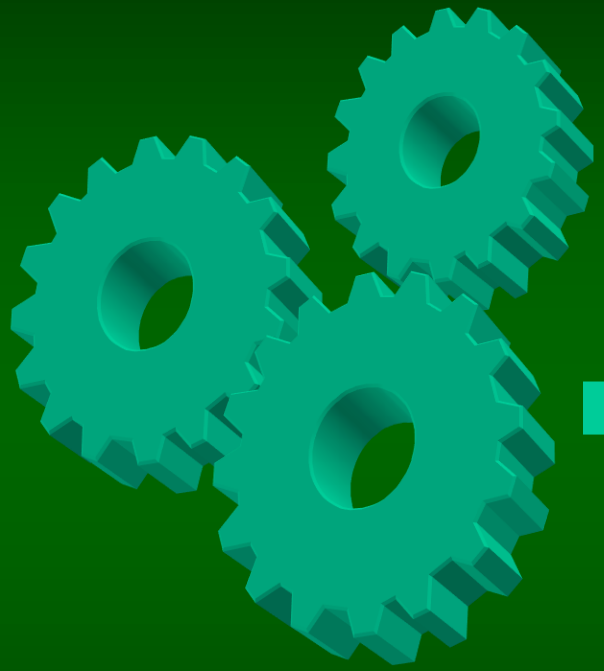
Marseille 01/2020

Carburant

Glucides
Lipides …

Comburant

O2



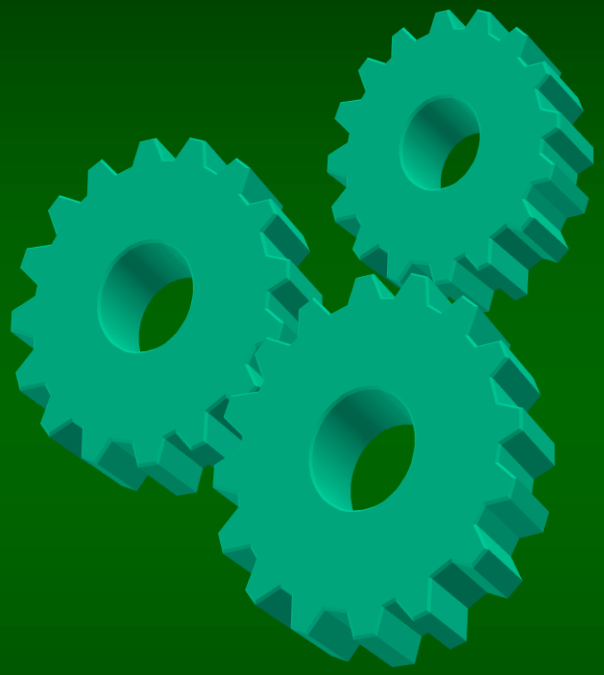
H+

70 %

30 %

Comburant

O2



Demande

x 80 !

VO2 = Débit x DAV

20 à 25 **3 à 4**

La différence artério - veineuse

DAV: Cont artériel O2 – Cont Veineux 02

O2 dissout : négligeable en quantité
Hb O2 : 1,34 ml / g

- **Au repos :**
  - **CaO2 = 20 ml / 100 ml CvO2 = 15 ml / 100 ml**
  - **DAV au repos = 5 ml O2**
  - **=> Coef d'Extract : DAV/Ca02 = 0,25**

La différence artério - veineuse

- A l'effort:
  - DAV = 16 ml O2 chez sédentaire
    - Coef Extrac = 0,80
  - DAV = 19 ml O2 chez athlète
    - Coef Extrac = 0,95
  - Soit 1l VO2 pour 5l débit cardiaque
  - Augmentation surtout à la phase initiale (VO2 < 50%) puis plateau

Le débit sanguin musculaire

x 20 à 25 !

Alors que le
débit cardiaque x 4 à 5

?

Réponse

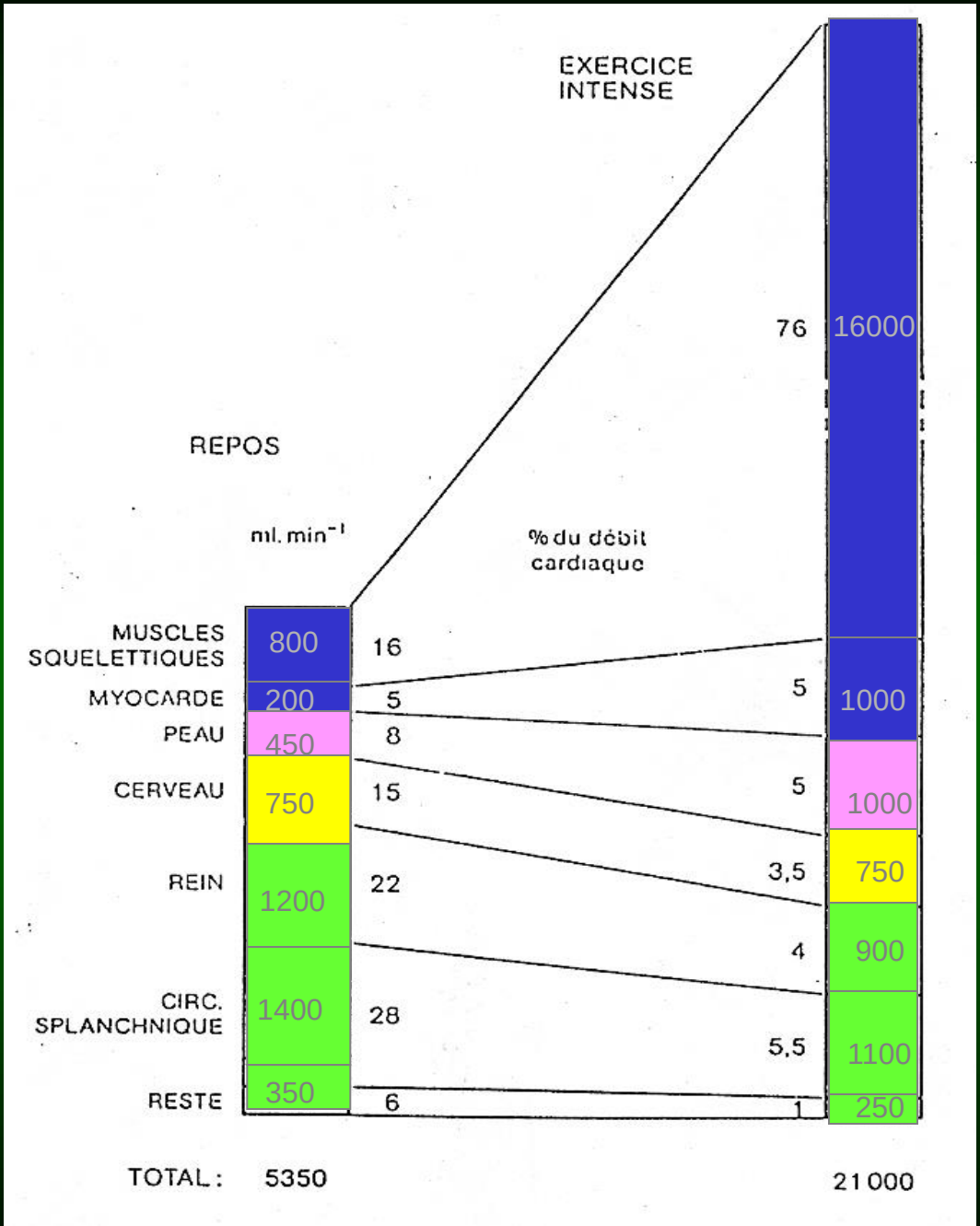
La balance circulatoire

Débit augmenté

Débit stable

Débit diminué

Débit diminué puis augmenté



Adaptation artérielle

A l'effort

Dilatation réseau artériolo-capillaire

⇒ Résistances périphériques / 3 à 4

⇒ En particulier dans les muscles

Capacités maximales 300-400ml/100g jamais atteinte

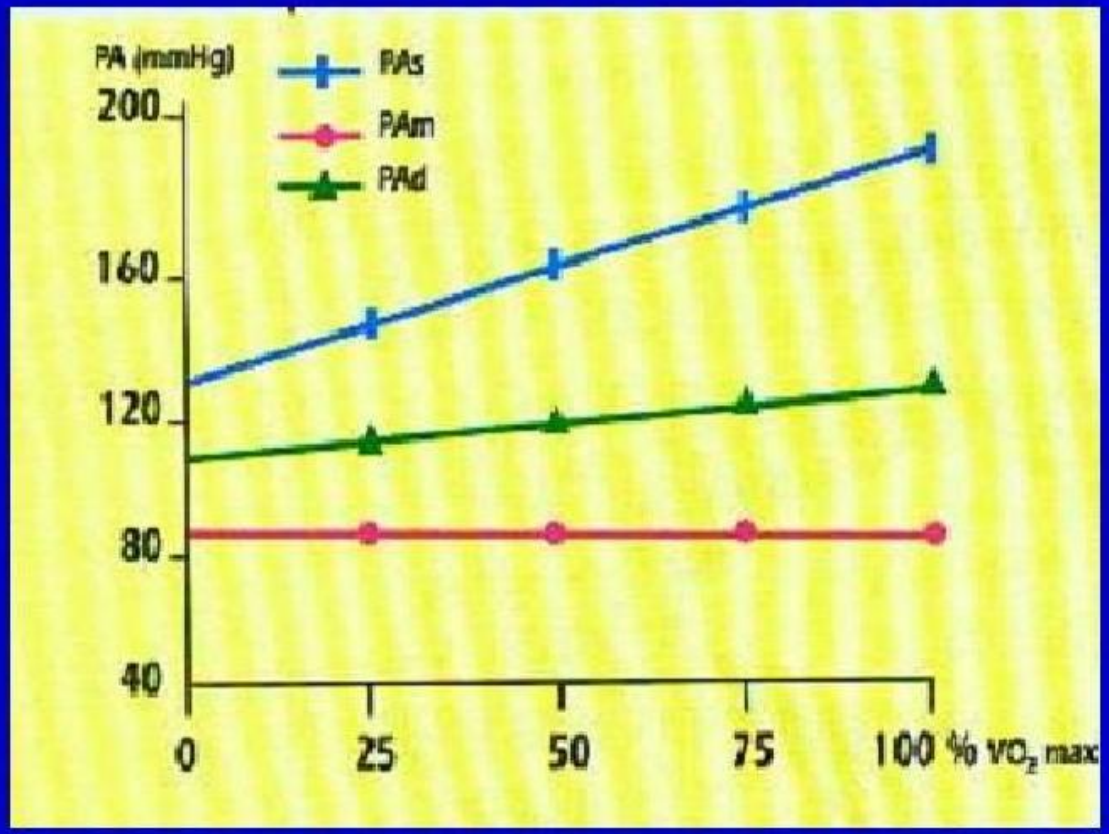
Surface capillaire x 50 (500 m2) / pulmonaire 100m2

Pression artérielle

La PAs augmente

La PAd reste sable

La PAm augmente peu
(traduit la post-charge)

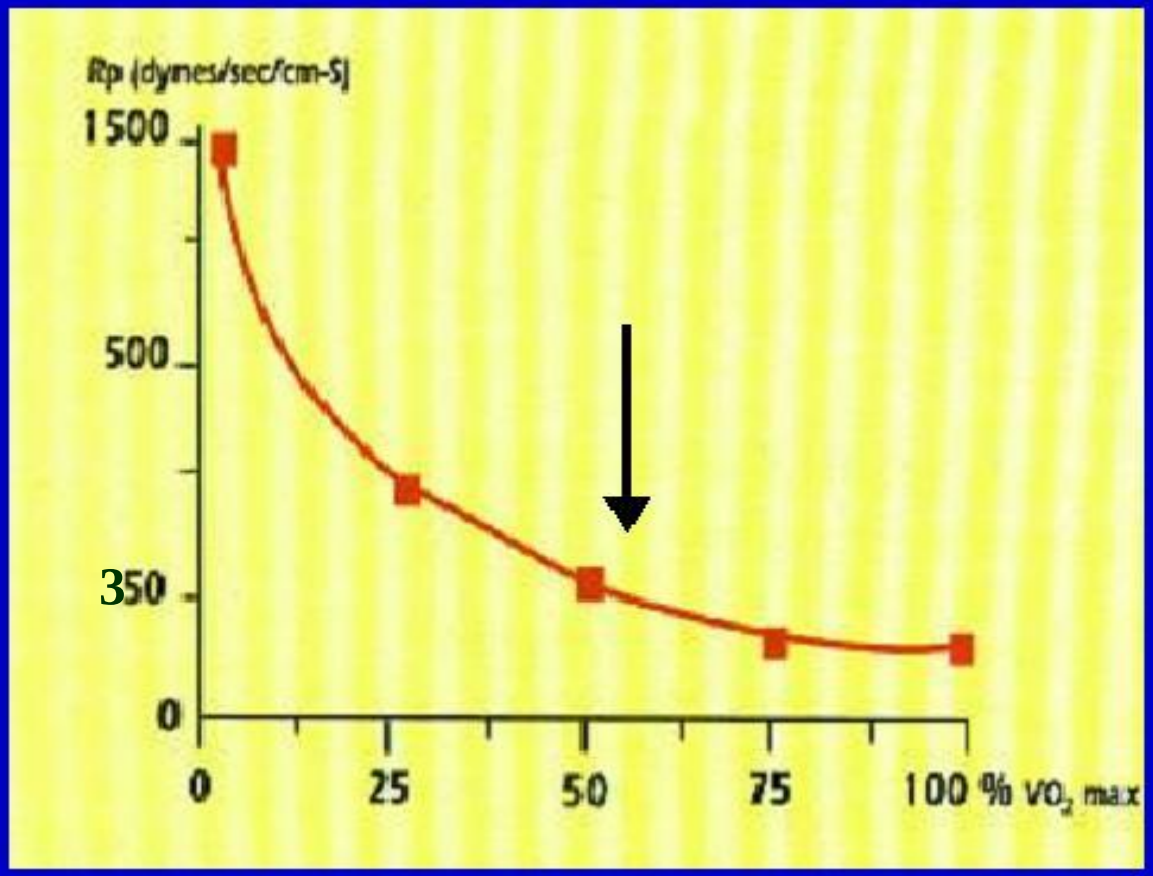


Résistances périphériques

Diminution

Très rapide au début

Plateau à partir 50%

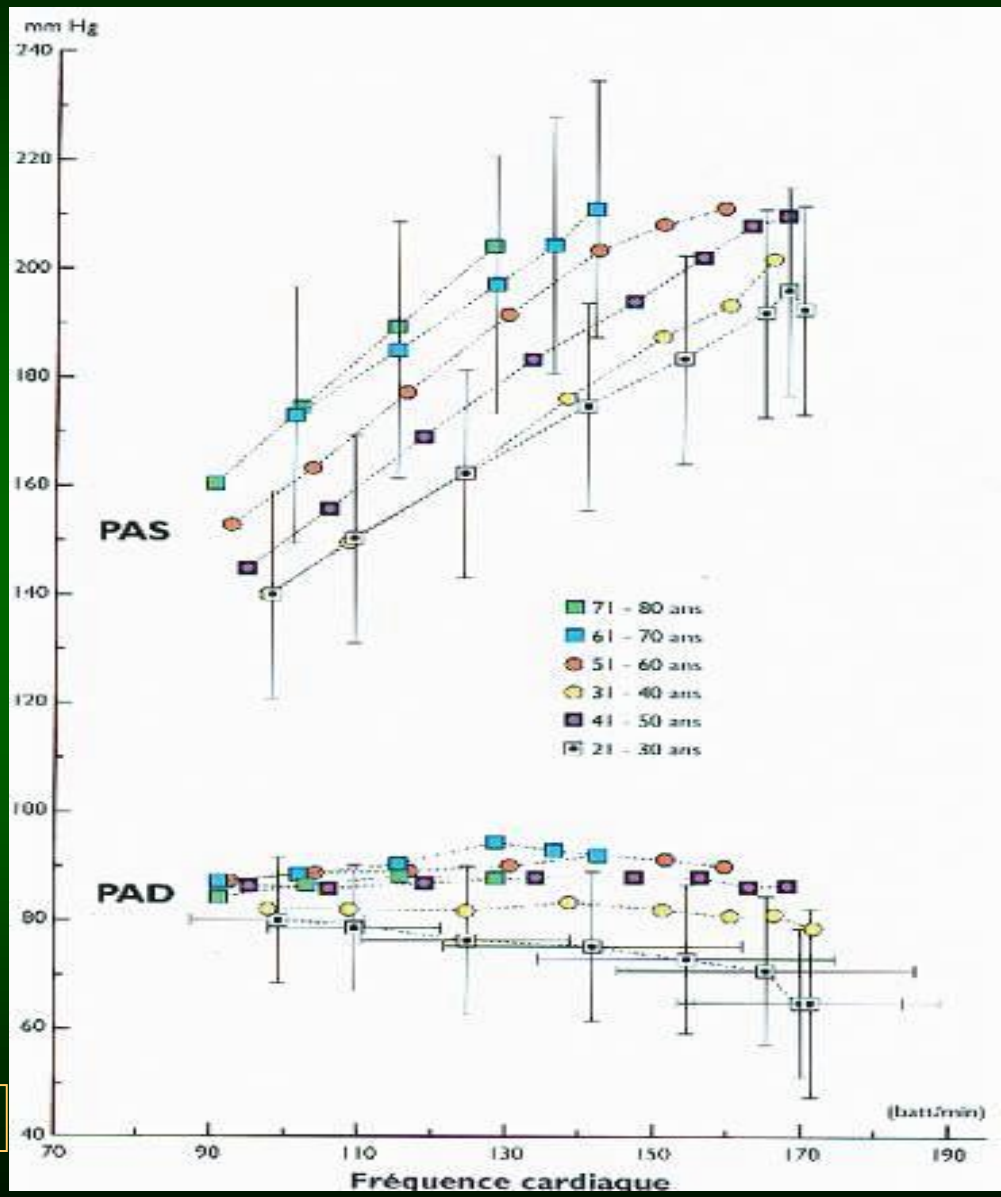


Adaptations de la pression artérielle systémique

Rôle de l'âge

Ergocycle

Hommes



Douard et al. Arch Mal Cœur, 1994

Adaptation artérielle pulmonaire

- Circuit à basse pression (PAPm : 15mmHg)
- Vascularisation pulmonaire au repos => position

- A l'effort: augmentation du régime de pression
- PAPm => 45 mmHg (x 3)
- Il y a donc là aussi vaso-dilatation art-cap pulm. < Rés syst
- Volume de distribution capillaire 80ml => 140ml
- Augmentation de la surface d'échanges gazeux
- Attention efforts à glotte fermée (40mmHg)
  => PAPm 65mmHg

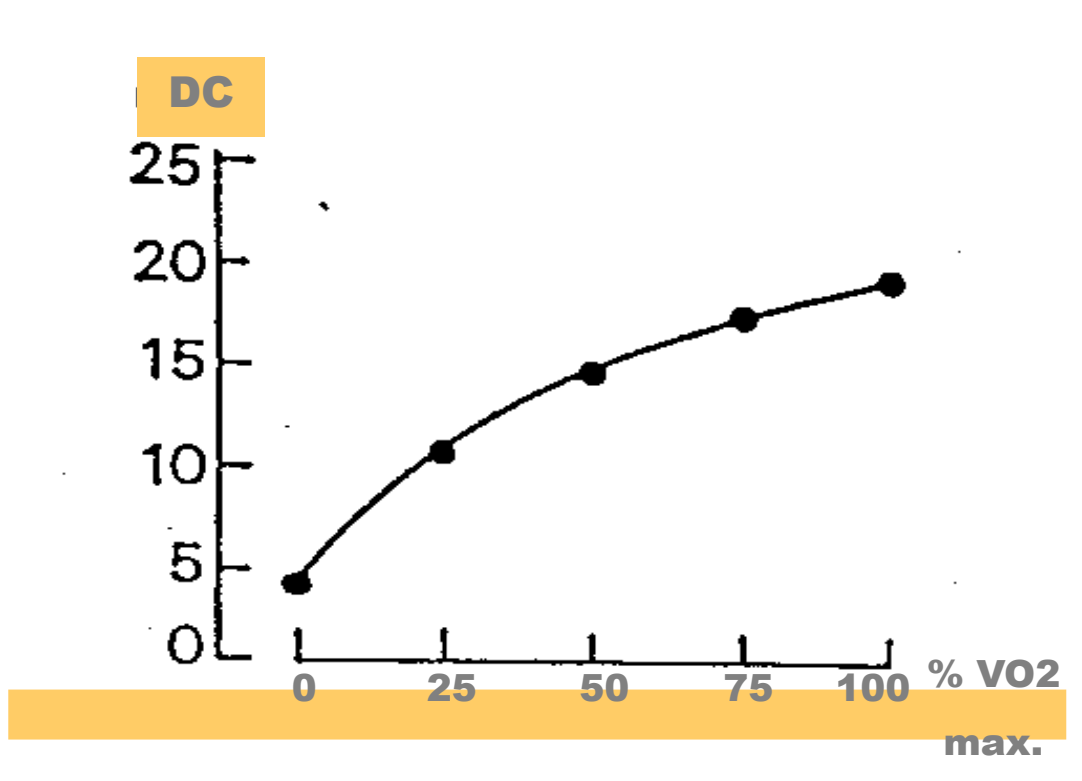
Adaptation cardiaque

Débit cardiaque = Fréquence x VES

- **Au repos:**
  - **5 à 6 l/min (majoré de 10 à 20% en décubitus)**
  - **Indice cardiaque : 3 à 3,5 l/m2**

- **A l'effort: débit x 4 à 5**
  - **Augmentation proportionnelle à la VO2 si isotonique**
  - **Augmentation > à V02 si isométrique**

Adaptation cardiaque :
débit et exercice musculaire dynamique

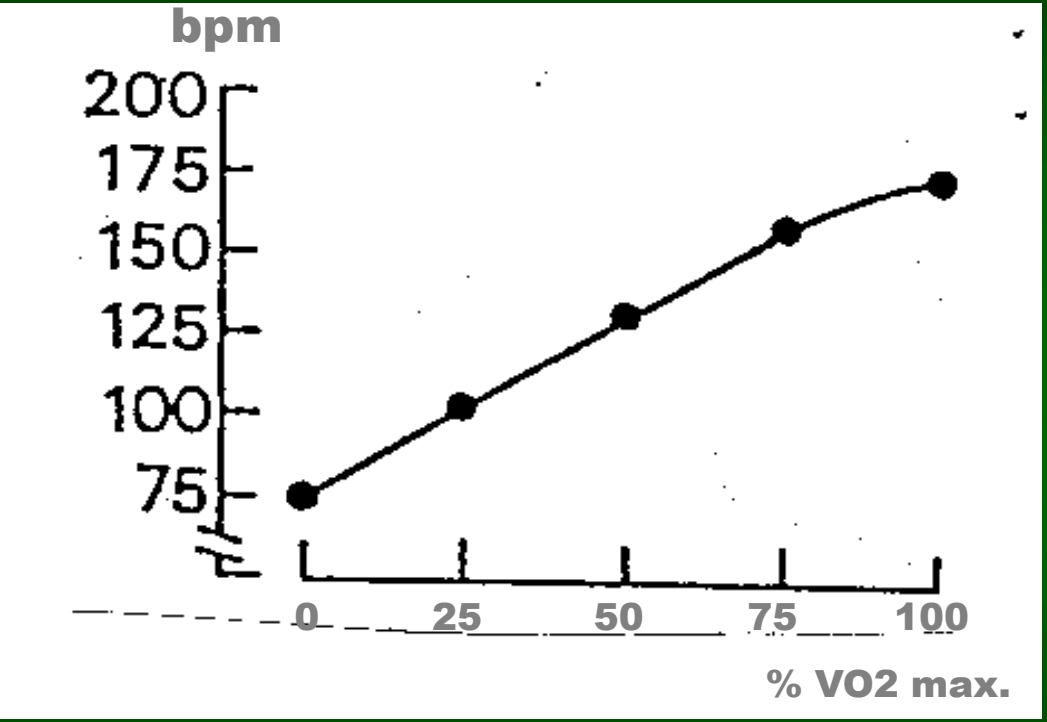


DC = FC x VES

Adaptation cardiaque

Fréquence cardiaque

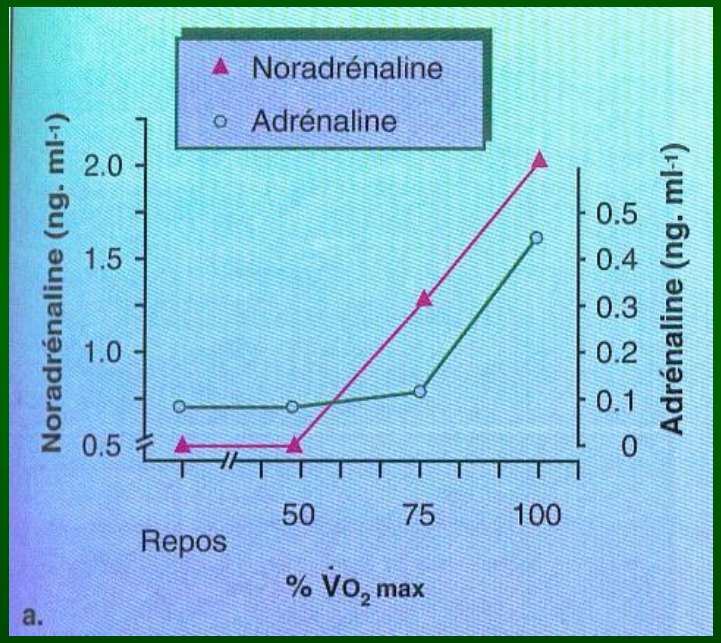
Susceptible
x 2,5 à 3,5

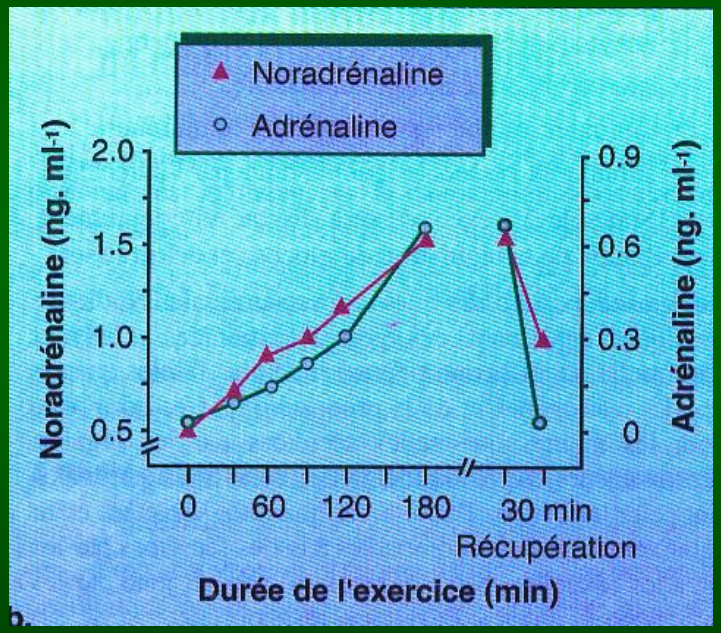


Adaptations neuro-hormonales

- < 50-60% VO2 max. → baisse du tonus parasympathique
- > 50-60% VO2 max. → augmentation du sympathique
  → augmentation des catécholamines

Les catécholamines lors de l'exercice dynamique





Wilmore et Costill
Nutr Rev, 2001

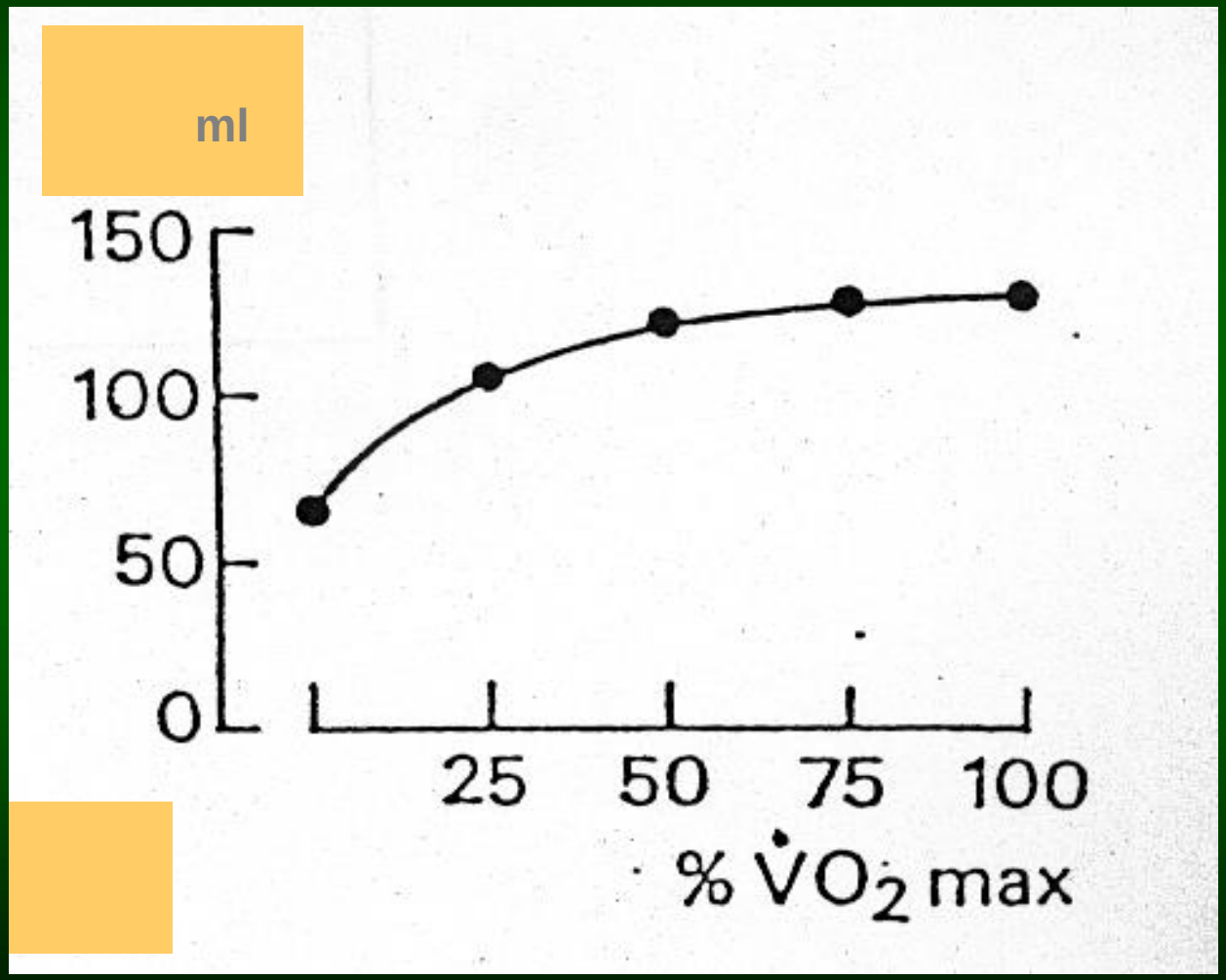
Adaptation cardiaque

VES

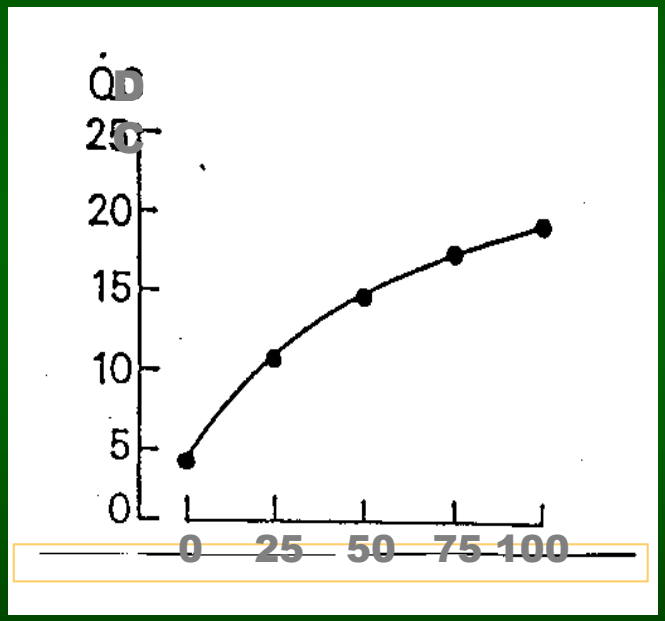
Susceptible d'augmenter x 1,5 à 1,7

- **Augmentation précoce**
- **Puis plateau pour des valeurs > 50% VO2 max**
- **Secondaire à:**
  - **Augmentation de la pré-charge (Franck Starling)**
  - **Augmentation de la post-charge**
  - **Catécholamines**
  - **Diminution intervalle R-R => [CA++]**

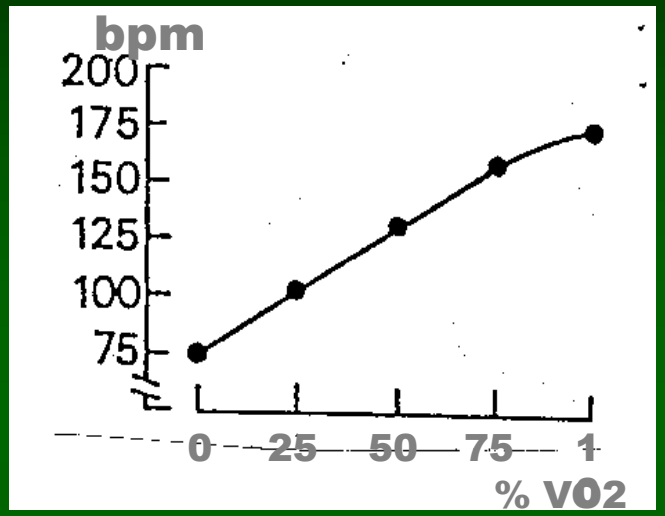
Adaptation du volume d'éjection systolique



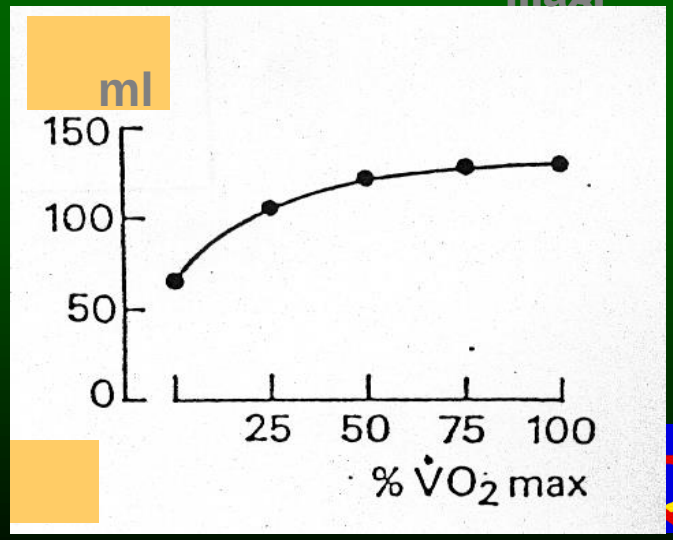
Adaptation cardiaque :
débit et exercice musculaire dynamique



FC



VES

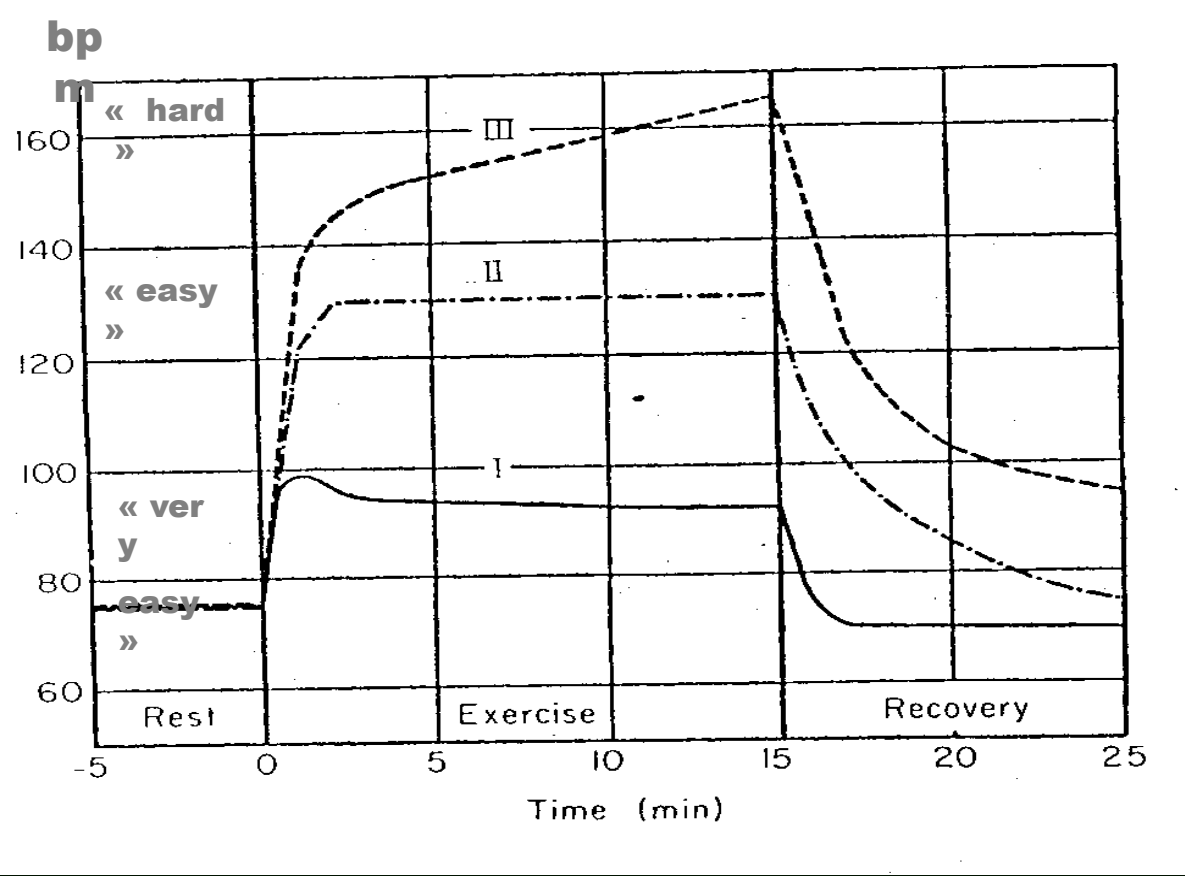


DC = FC x VES

Adaptation cardiaque

- En cas d'effort continu en plateau
  - Augmentation se poursuit (température ?)

- Récupération
  1/ Frein vagal
  2/ Baisse Symp



Adaptation coronaire

Coût énergétique x 5

Augmentation du débit coronaire x 5

(200ml/min => > 1l/min)

Car DAV déjà max au repos

MAIS

Comparaison « statique / dynamique »

Sport Disciplines

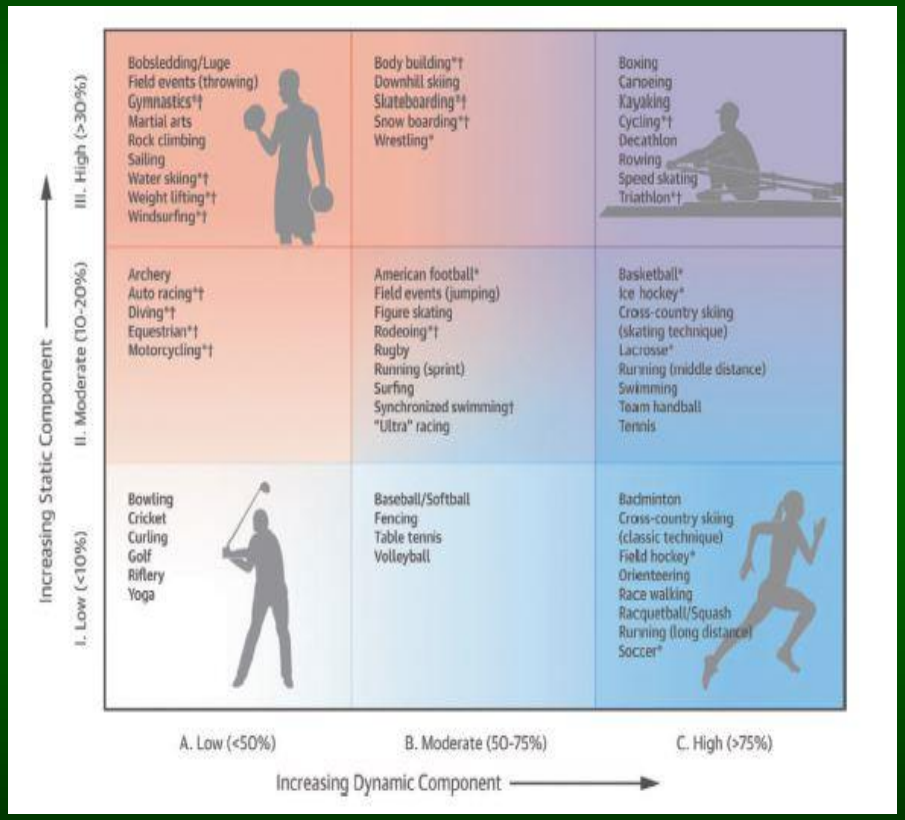
Skill		Power		Mixed		Endurance	
Heart rate	+/++	Heart rate	++	Heart rate	++/+++	Heart rate	+++
Blood pressure	+	Blood pressure	+++	Blood Pressure	++	Blood Pressure	++
Cardiac output	+	Cardiac output	++	Cardiac Output	++/+++	Cardiac output	+++
Volume of training	-	Volume of training	+	Volume of training	++	Volume of training	+++
Cardiac remodeling	-	Cardiac remodeling	+	Cardiac remodeling	++	Cardiac remodeling	+++

- Archery
- Car/ motor racing
- Curling
- Equestrian
- Golf
- Sailing
- Shooting
- Table Tennis

- Alpine skiing
- Bobsleigh
- Discus / javelin
- Shot-putting
- Snowboarding
- Sprinting
- Water skiing
- Weightlifting
- Wrestling

- Basketball
- Cricket
- Fencing
- Football
- Handball
- Ice / field hockey
- Rugby
- Soccer
- Tennis
- Waterpolo
- Volleyball

- Canoeing
- Cross-country skiing
- Cycling
- Mid-long distance swimming
- Mid-long distance running
- Mid-long distance skating
- Pentathlon
- Rowing
- Triathlon

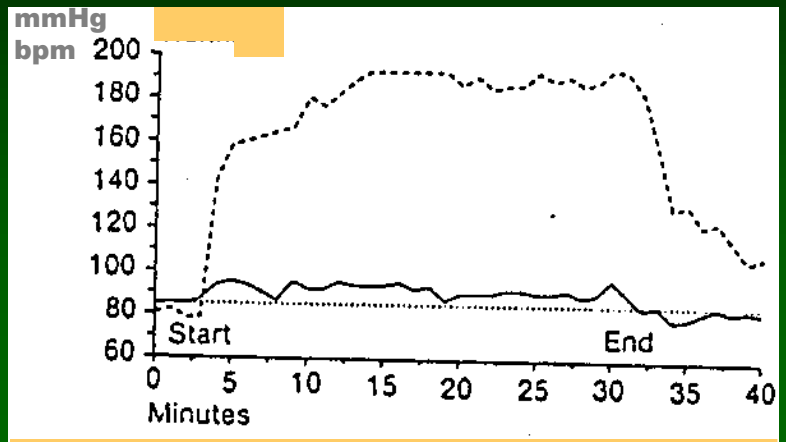


Adaptation artérielle

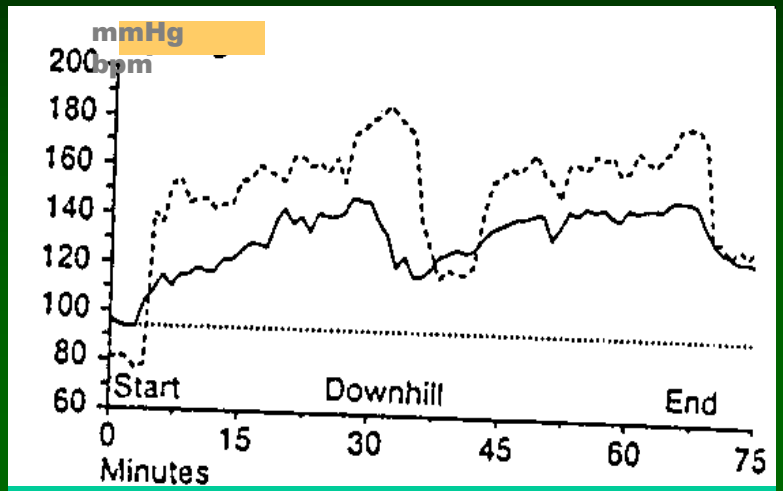
Plus le travail est isométrique, plus les chiffres de pression augmentent:

- **Course à pied: 170 / 60**
- **Cyclisme: 200 / 60**
- **100m: 230 / 125**
- **Haltérophilie: 350 / 240 => 480 / 390 !!!!**

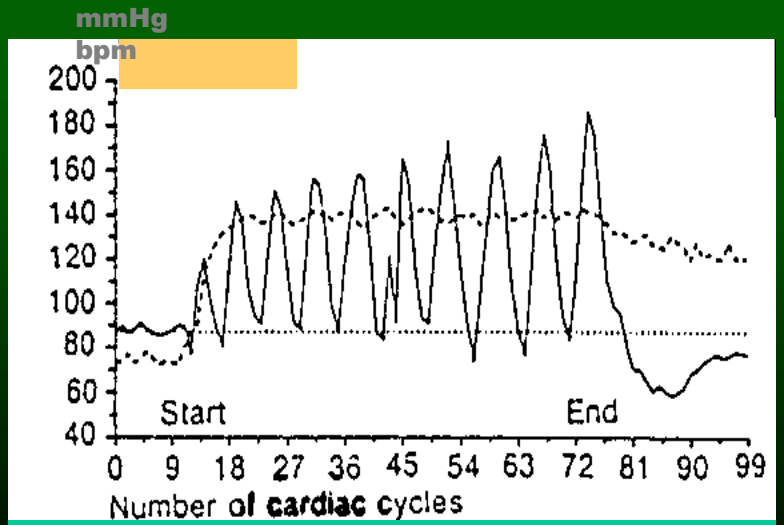
Pression artérielle : adaptations selon le sport



Running



Cycling



Weightlifting

Pression artérielle moyenne

Fréquence cardiaque

Palatini P. Sports Med. 1988

Régulation

- Stimulus = demande en O2 (Exercice dynamique)

- Régulation double
  - Nerveuse (centrale et réflexe)
    - Centrale: recrutement des unités motrices (VO2) => SNA
    - Réflexe (SNA): mécano, baro, chémo récepteurs
  - Humorale (générale et locale)
    - Générale: catécholamines circulantes
    - Locale: métabolites (NO)

Conclusions

Chacun sa part d'adaptation

- Cœur => x 4 à 5
- Vaisseaux musculaires => x 4 à 5
- DAV => x 3 à 4

Apport O2 à la mitochondrie musculaire
x 50 à 100

Classification des sports

Augmentation composante statique ==========>

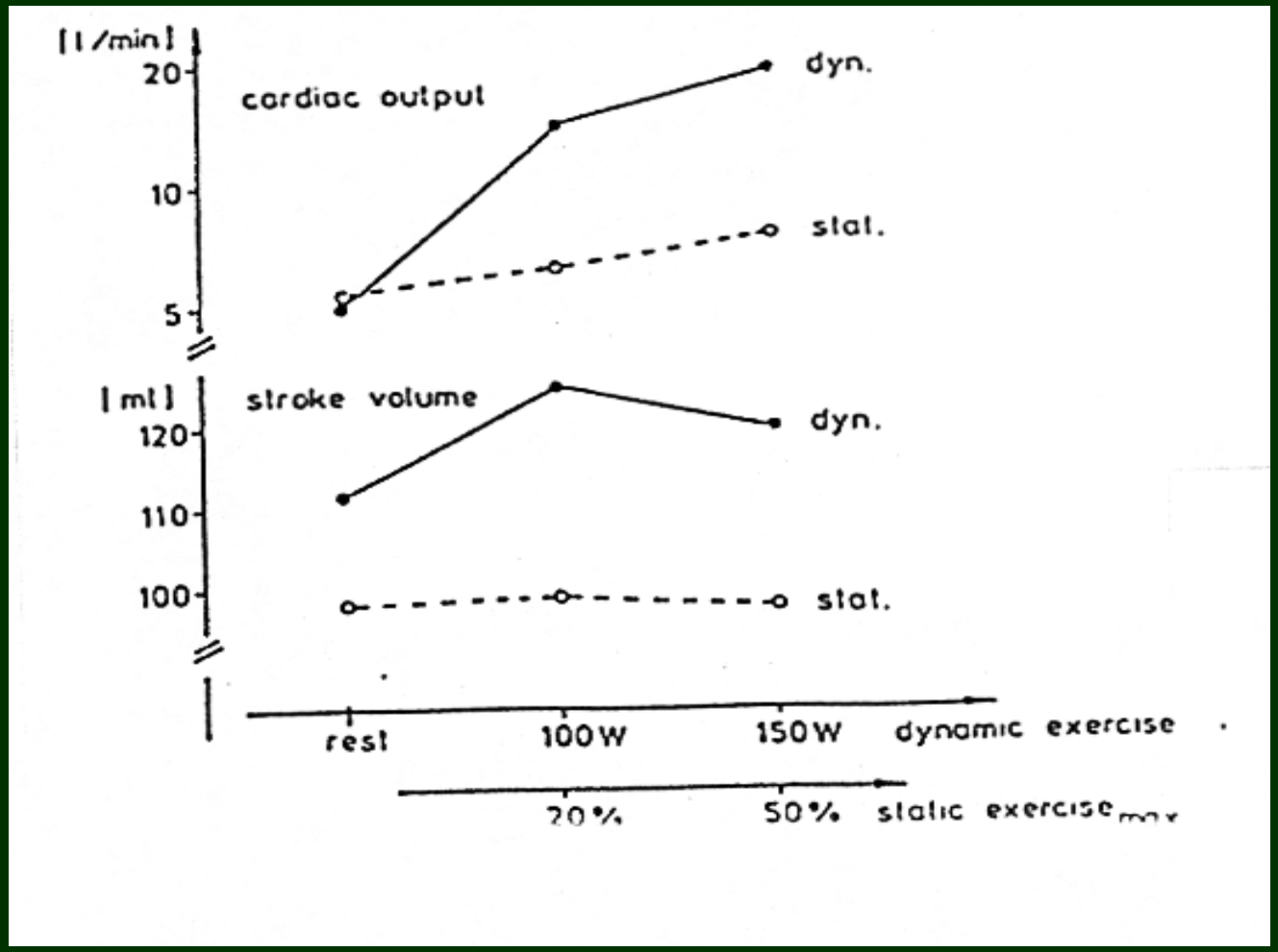
3 : > 50% FMV	Bobsleigh / Luge[1,2], Sports de lancer, Gymnastique[1,2], Haltérophilie[1,2] Arts martiaux[1], Voile, Windsurf[1,2] Escalade, Ski nautique[1,2]	Body building[1,2], Ski alpin[1,2], Snowboard[1,2], Skateboard[1,2], Lutte[1]	Canoë / Kayac, Aviron, Cyclisme[1,2], Boxe[1], Triathlon[1,2], Décathlon, Patinage de vitesse[1,2]
2 : 20-50% FMV	Tir à l'arc, Course automobile[1,2], Course motocycliste[1,2], Plongée sous-marine [2], Sports équestres[1,2]	Football américain[1], Rugby[1] Epreuves de saut, Patinage artistique[1], Course de vitesse, Surf[1,2], Natation synchronisée[2]	Basket[1], Handball Hockey sur glace[1], Ski de fond (skating), Course de demi-fond, Natation
1 : < 20% FMV	Billard, Bowling, Cricket, Golf, Tir	Baseball[1], Escrime, Tennis de table, Volley	Football[1], Course à pied, Course d'orientation , Ski de fond (classique), Badminton, Hockey[1], Squash, Tennis

A : faible < 40% VO2 B : moyen 40-70% VO2 C : Intense > 70% VO2

Augmentation de la composante dynamique ==========>

1: risque de collision 2: Risque de syncope

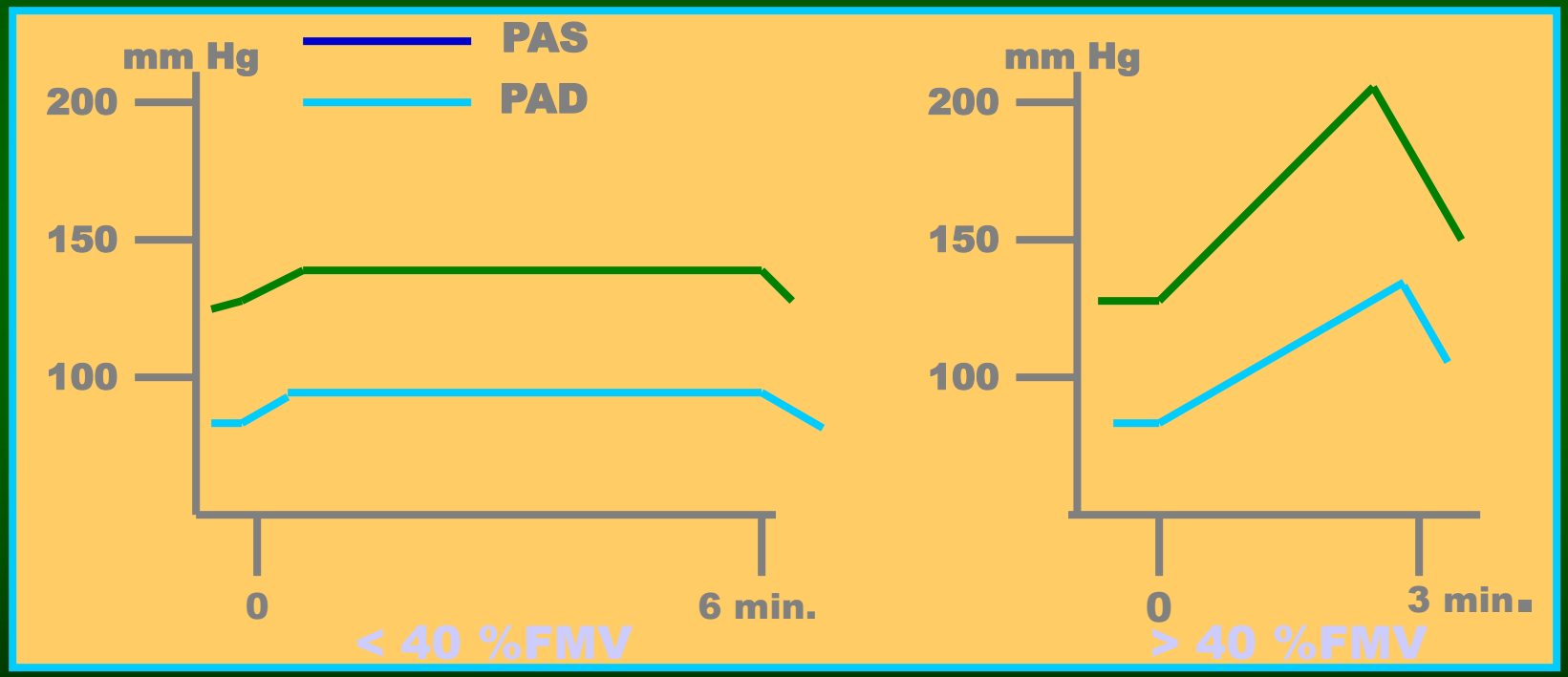
Exercice dynamique et statique : comparaison des adaptations cardiaques



Keul et al.
Circ Res, 1981

Adaptations de la pression artérielle : exercice musculaire statique

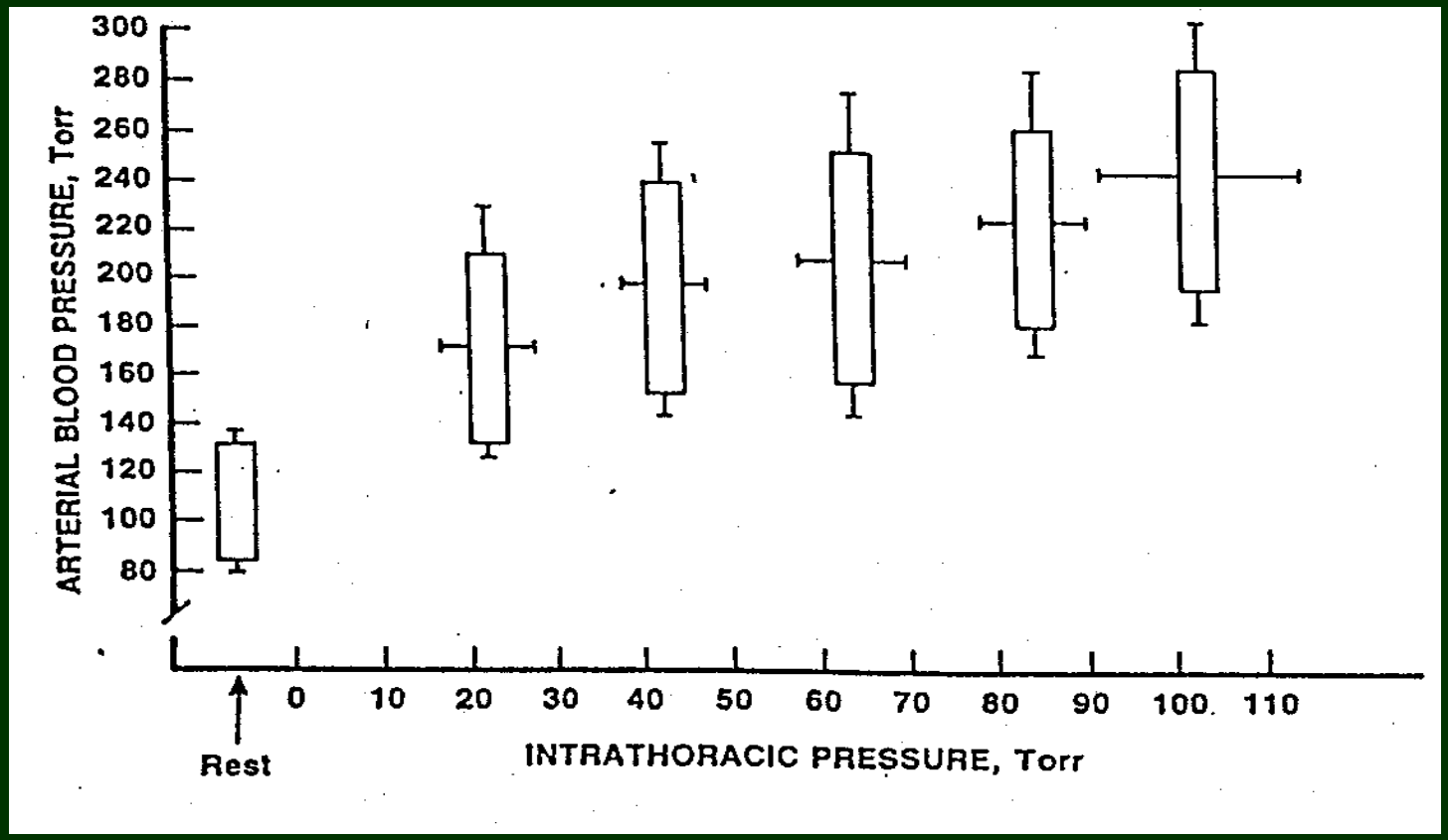
1 - Intensité : % FMV 2 - Temps de maintien



DC → RPt → ou ↑

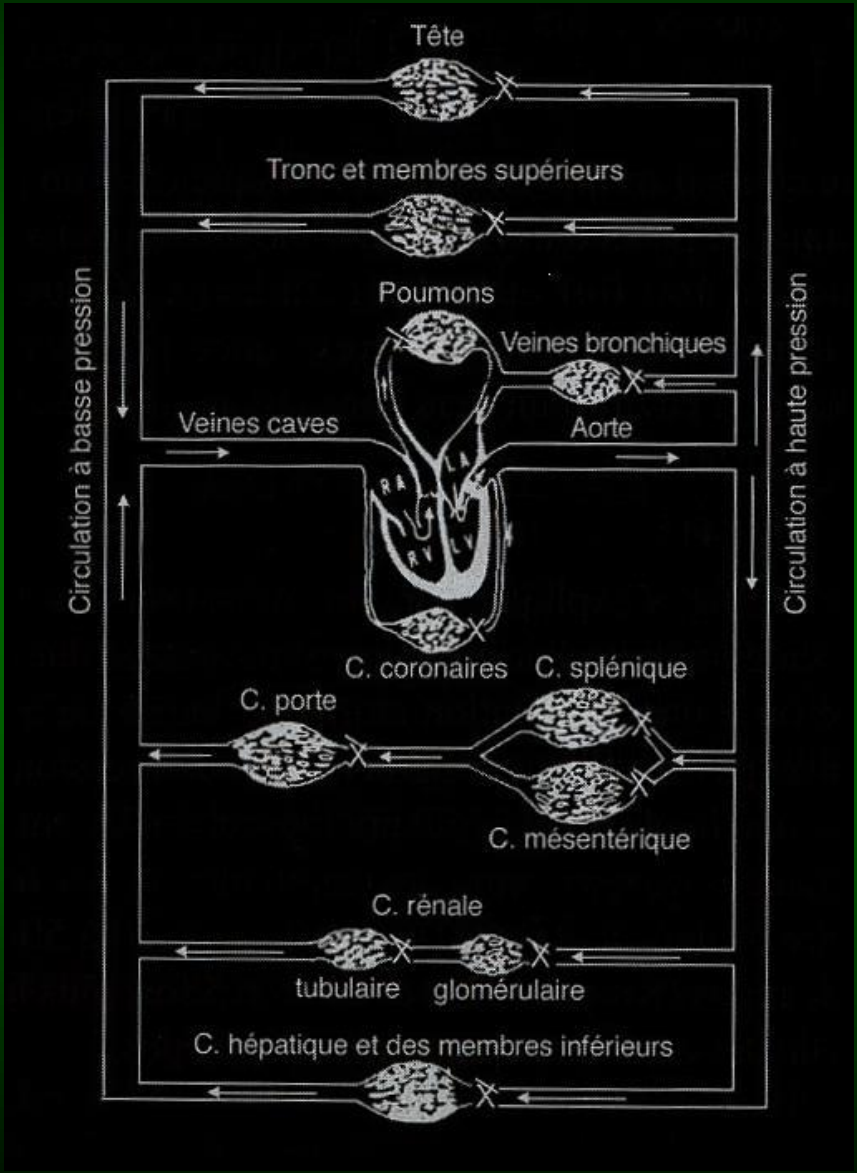
Adaptations de la pression artérielle : exercice musculaire statique

Rôle de la manœuvre de Valsalva



Mc Dougall et al. JAP 1992

Rappel anatomique



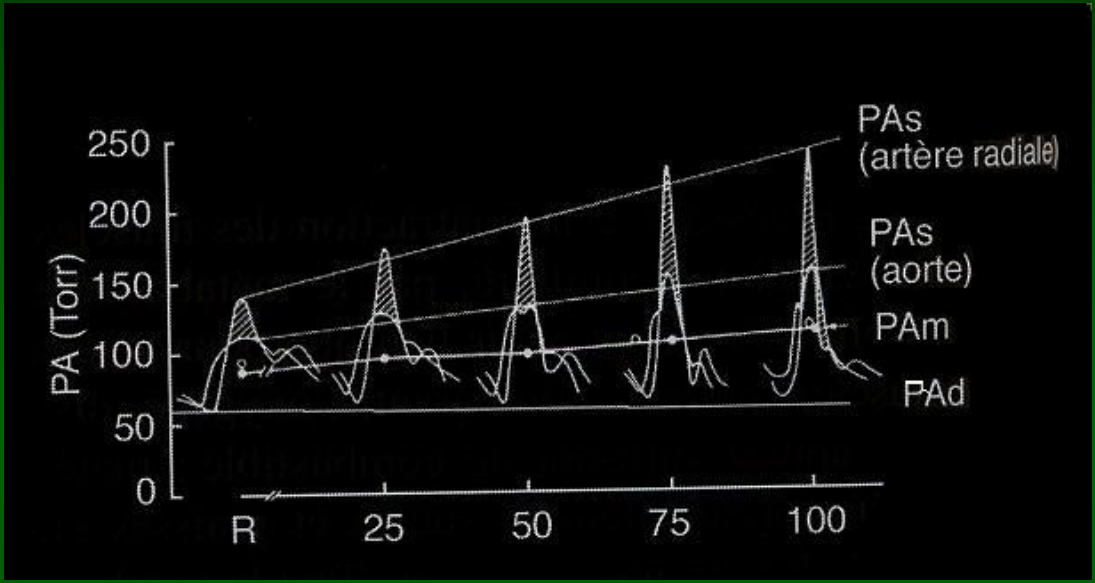
- **Circuit à haute pression à gauche**

- **Circuit à basse pression à droite**

Travail VG = 8 x Travail VD

Adaptation artérielle

- **Pression artérielle**

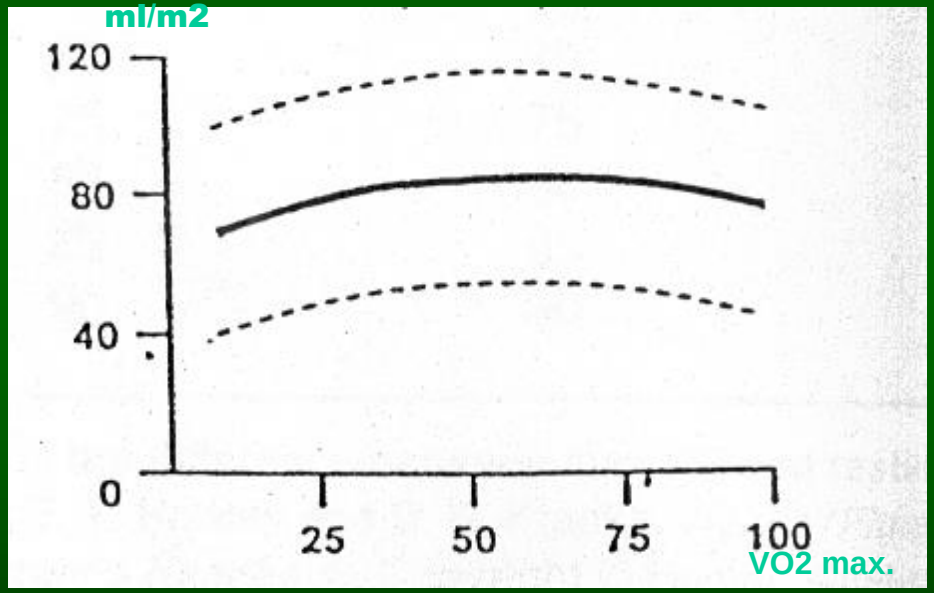


- **La PAs augmente (périphérie >> aortique)**
- **La PAd reste diminue modérément**
- **La Pam augmente peu (traduit la post-charge)**

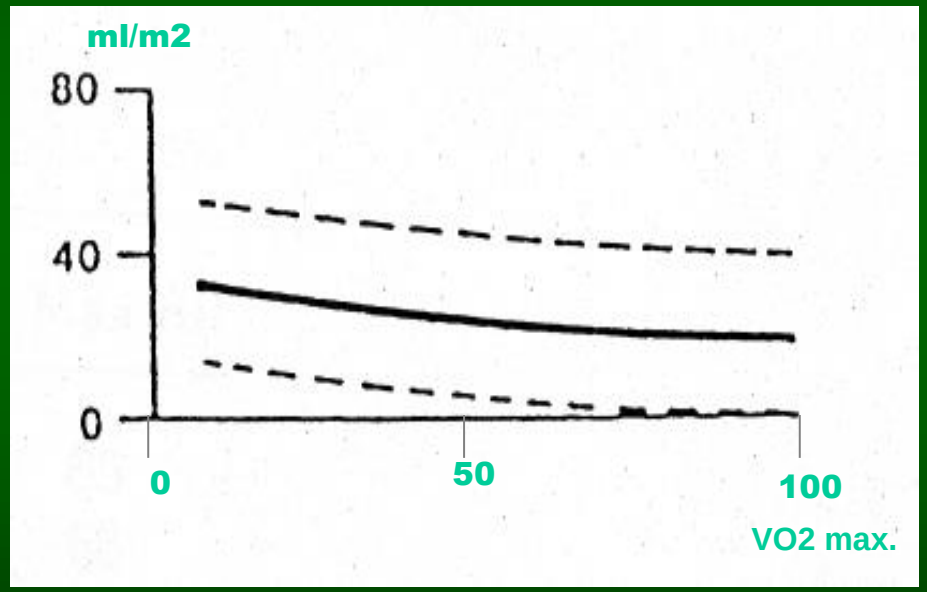
Adaptation du volume d'éjection systolique

VES = VTD – VTS

Compliance, Précharge — **Contractilité, Postcharge**



Volume télédiastolique = VTD



Volume télésystolique = VTS

D'après Higginbotham M et al. Circ Res, 1986

➔ + FEVG 5 à 10%