



الدرس رقم 4 Cours n°4

الجهاز القلبي الوعائي والجهد البدني

Systeme cardiovasculaire et effort physique

الجزء الأول:

* الجهاز القلبي الوعائي

Systeme cardiovasculaire

Le système cardiovasculaire occupe au sein de l'organisme une place essentielle puisqu'il est indispensable au bon fonctionnement de tous les autres systèmes. il comprend :

- Une pompe (le cœur) ;
- Un système de canaux ;
- Un liquide circulant (le sang).

Le cœur a un rôle de pompe, il donne l'impulsion à la masse sanguine :

- Il pèse en moyenne 200 à 300g chez la femme et de 300 à 350g chez l'homme

-Taille : taille d'un poing. Volume : de 500 à 600 mL chez la femme et de 700 à 800 mL chez l'homme

-Il draine les 5-7 litres de sang du corps

-En moyenne, 5 litres de sang passe par minute

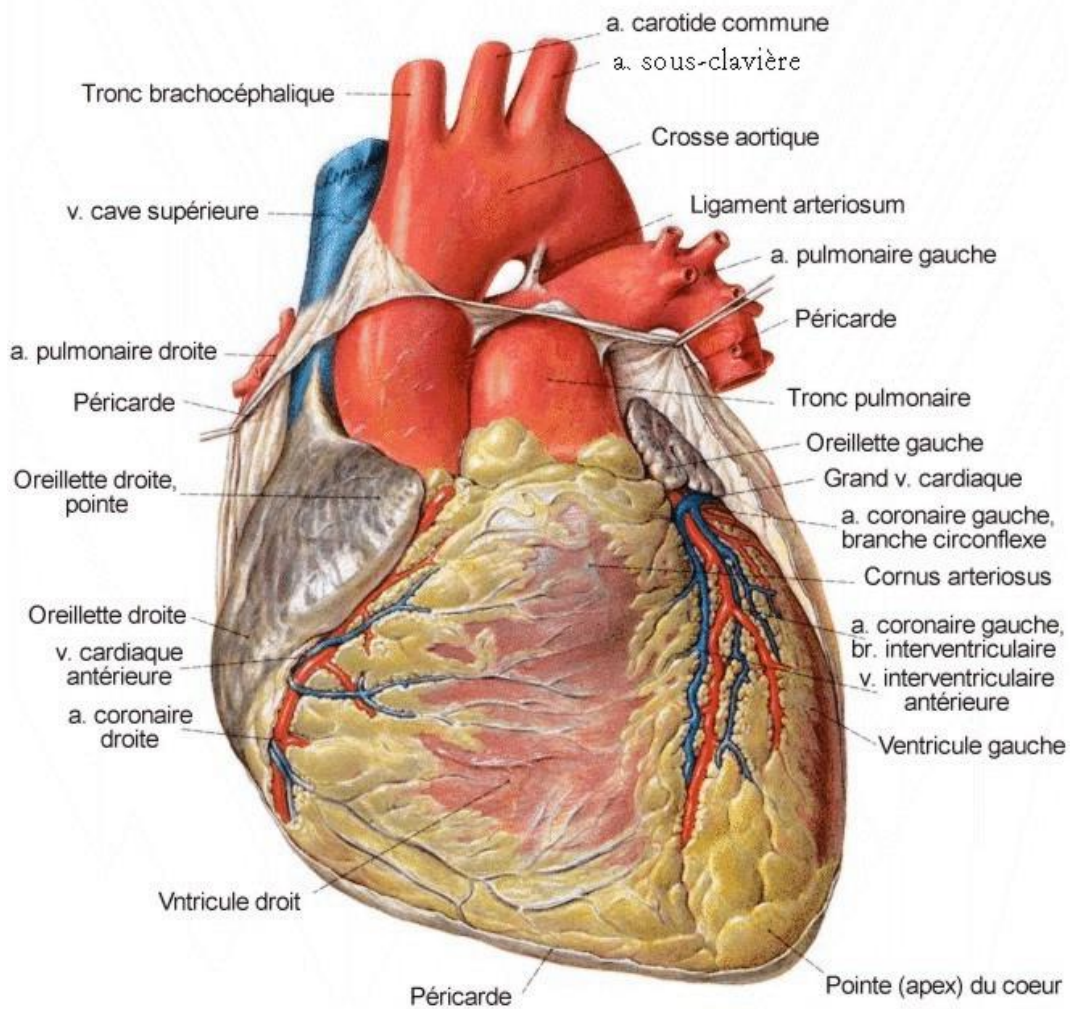
-A l'effort, il peut multiplier de 5 à 7 fois ce volume (jusqu'à 35 L/min)

-Il possède 4 cavités (2 oreillettes et 2 ventricules)

-La fréquence cardiaque est en moyenne entre 50 et 80 au repos (il n'y a pas de norme)

-Sa position n'est pas à gauche, mais en position centrale orientée vers la gauche.

Le coeur = moteur principal + point de départ de la circulation sanguine



Le système cardiovasculaire a un rôle de :

- distribution aux cellules : nutriments et oxygène
- élimination : déchets produits par les cellules (CO₂, lactate)
- transport : hormones des glandes endocrines aux organes.
- régulation : température corporelle, pH sanguin, volume d'eau, sels minéraux.
- Fonction immunitaires.

Le système cardiovasculaire participe à l'homéostasie : maintien de certaines valeurs physiologiques à un niveau constant

- La petite circulation, ou circulation pulmonaire, qui comprend le ventricule droit, l'artère pulmonaire et ses branches, les capillaires pulmonaires, les veines pulmonaires et l'oreillette gauche.

- La grande circulation, ou circulation générale, qui comprend le ventricule gauche, l'aorte et ses branches, le réseau capillaire, le système des 2 veines caves et l'oreillette droite.

Le cycle systole/diastole dure environ une seconde. On parle de volume d'éjection systolique, c'est la quantité de sang envoyée par systole. Elle est de l'ordre de 70ml et peut atteindre le double de cette valeur.

Toute cette liste montre combien les diverses fonction du système CV vont faire jouer a celui-ci un rôle fondamental dans les adaptations générales de l'organisme a l'activité physique.

Une des caractéristiques essentielles du système CV est la rapidité avec laquelle il répond a toute modification des besoins. Toutes les fonctions de notre corps, de chaque cellule dépendent de cet appareil.

Débit cardiaque (Qc) = volume de sang expulsé par chaque ventricule par unité de temps

La notion de débit cardiaque est donnée par le volume d'éjection systolique multiplié par le nombre de contractions à la minute, soit la fréquence cardiaque :

Débit $Qc = Fc \times Ves$

Soit par exemple au repos : $Qc = 70 \text{ bat./min} \times 70\text{ml} = 4,90 \text{ litres/min}$

$Qc \text{ moyen} = 5\text{l/ min}$

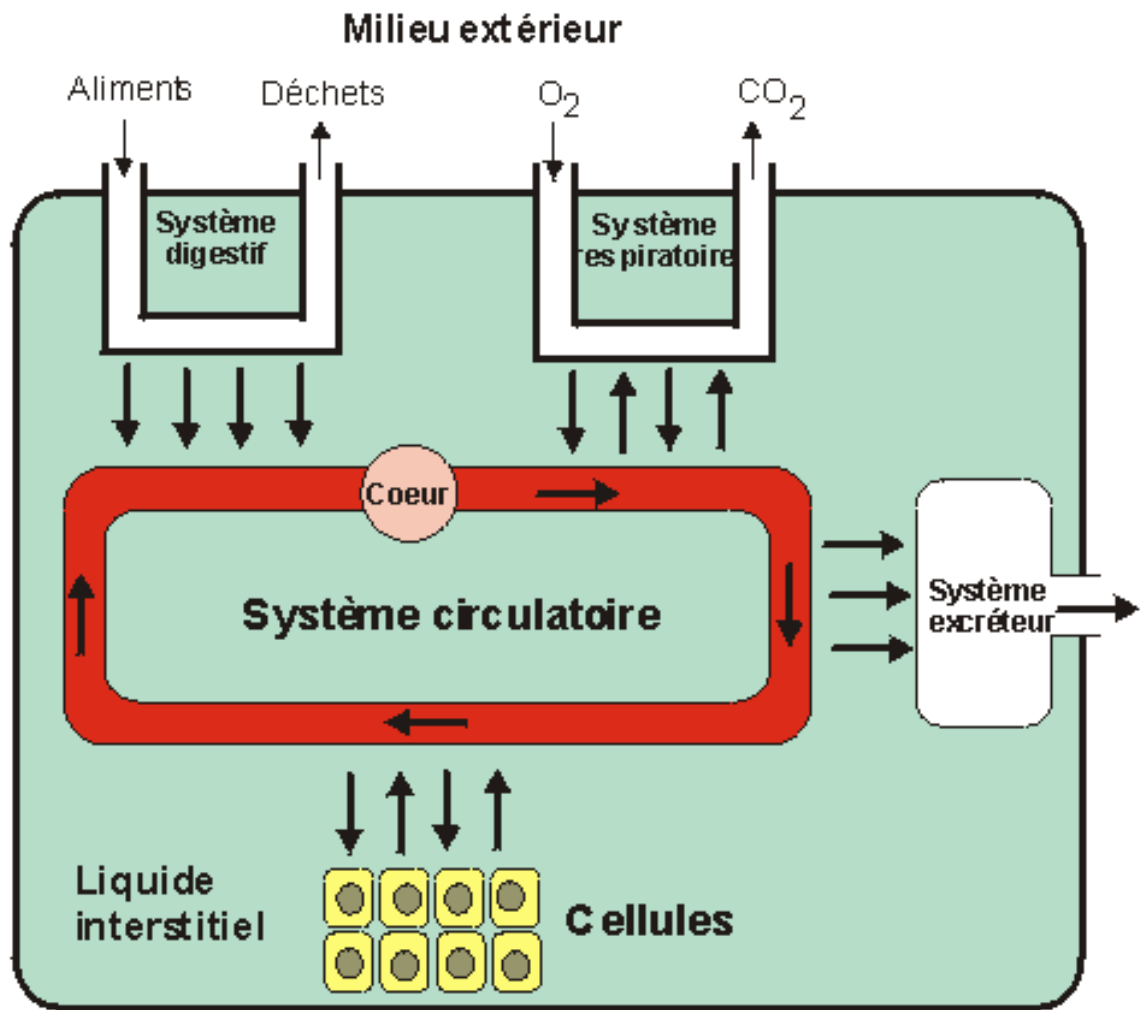
- ☀ Varie en fonction des besoins de l'organisme
- ☀ **Volume d'éjection systolique (VES)** : Volume de sang éjecté du cœur par les ventricules à chaque contraction (100 ml)
- ☀ Volume télédiastolique (VTD) : Volume de sang contenu dans les ventricules juste avant la systole ventriculaire (160 ml) = *volume précharge*
- ☀ Volume télésystolique (VTS) : Volume de sang contenu dans les ventricules à la fin de chaque systole (60 ml) = *volume postcharge*

$$\text{VES} = \text{VTD} - \text{VTS}$$

- ☀ **Fréquence cardiaque (Fc)** : nombre de contractions ventriculaires par seconde. Exprimée en battements par minute bats/min (moyenne = 60 - 70 bats/min).

- Fc max = variable suivant les individus, elle diminue progressivement avec l'âge et avec l'entraînement.

$$= 220 - \text{âge}$$



* الجزء الثانى :

تكيفات جهاز القلب والدوران إثر الجهد

les adaptations cardiovasculaires a l'effort

L'exercice nécessite que le système cardiovasculaire soit l'objet d'adaptations diverses et spécifiques. Toutes n'ont qu'un seul but : permettre au système cardiovasculaire de répondre au mieux à l'augmentation des besoins en optimisant les conditions de transport.

Ces adaptations vont concerner :

- La fréquence cardiaque (FC).
- Le volume d'éjection systolique(VES).
- Le débit cardiaque(Q).
- Le débit sanguin.
- Les dimensions cardiaques.

Le volume d'éjection systolique

L'entraînement aérobic aboutit à une augmentation du volume d'éjection systolique(VS).le tableau1 indique les valeurs notées chez des sujets non entraînés, entraînés, et chez des spécialistes de haut niveau.

Comment peut-on l'expliquer ?

sujets	VS repos(ml)	VS maximum(ml)
Non entraînés	55-75	80-110
Entraînés	80-90	130-150
Très entraînés	100-120	160-220

Nous savons que l'entraînement aérobie induit une hypertrophie du septum et du mur postérieur. L'augmentation de la masse ventriculaire permet une contraction plus puissante. L'amélioration de la contractilité diminue le volume résiduel de fin de systole ou VTS en éjectant davantage de sang dans la circulation.

Le (VS) augmente linéairement jusqu'à la moitié de l'intensité de l'effort (50% VO₂ Max). Au delà, il se stabilise, voir diminue, gêné par l'accélération du rythme cardiaque; la diminution du VES quand le patient atteint presque VO₂ Max (90%) signe la prépondérance du travail anaérobique. On note des valeurs de 50 cm³ au repos et 120 cm³ à l'effort en moyenne. Ces valeurs peuvent être augmentées de 50% par l'entraînement. Le volume systolique maximum est atteint à 40-50% de VO₂ Max.

Le débit cardiaque

Le débit cardiaque est le produit de la fréquence cardiaque par le volume d'éjection systolique. $DC = Fc \times VES$.

Il augmente linéairement avec l'effort, grâce à l'augmentation de VES et Fc jusqu'à 50% des capacités physiques. Au delà, seule l'augmentation de Fc assure l'accroissement du débit cardiaque. Le débit cardiaque de 4 à 6 litres au repos chez un sujet non entraîné peut au mieux quadrupler à l'effort (14-20 l/m) par augmentation de Fc alors qu'il peut être multiplié par 8 (jusqu'à 40 l/m) chez le sportif entraîné par augmentation de Fc et de VES.

Les dimensions du cœur :

En réponse à l'augmentation de la charge de travail induite par l'entraînement aérobie, apparaît une augmentation du poids et du volume du cœur, s'y ajoute un épaississement de la paroi et une augmentation des dimensions du ventricule gauche.

L'entraînement chronique en endurance induit une hypertrophie du muscle cardiaque « le cœur d'athlète ». Elle est bien répertoriée comme une adaptation à l'entraînement.

Des 4 cavités, c'est le ventricule gauche qui connaît les modifications les plus importantes. Pendant longtemps, on a pensé que l'augmentation ventriculaire gauche constituait la seule adaptation liée à l'entraînement aérobie. Des études récentes montrent pourtant que l'entraînement aérobie peut induire un épaississement de la paroi myocardique plus important qu'avec un entraînement de force.

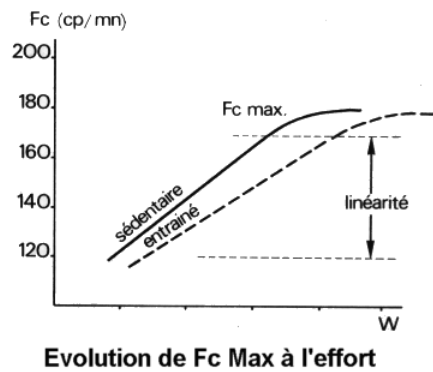
En utilisant l'imagerie par résonance magnétique « Miliken et Coll » notent que la paroi du ventricule gauche des skieurs de fond, des cyclistes sur route et des coureurs de longues distances est plus épaisse que celle des sujets non entraînés.

La fréquence cardiaque

La fréquence cardiaque reflète le travail qui doit être fourni par le cœur pour répondre à l'augmentation des besoins imposés par l'exercice(BPM).

Comme les besoins en oxygène des muscles actifs augmentent avec la charge de travail, il est logique que la fréquence cardiaque augmente proportionnellement.

La fréquence cardiaque(Fc) de repos : correspond à la FC après un repos complet en position allongée(environ 10' d'inactivité).elle diminue nettement après une période d'entraînement aérobie.



Chez le sujet moyen, la Fc de repos est de 70 bats/min et peut s'élever jusqu'à 220 - âge \pm 10.

Chez les athlètes très endurants elle peut varier entre 30-40 BPM elle est liée à vos habitudes de vie. Elle varie en fonction de votre état de

forme, votre faculté de récupération après un effort, la qualité de votre sommeil, le niveau de stress et les habitudes alimentaires.

Mesure de la fréquence cardiaque de repos : relever la FC dès le matin au réveil avec votre cardiofréquencemètre, renouveler l'opération 5 jours de suite, calculer la moyenne des FC relevées et obtenir ainsi votre FC de repos.

D'autres facteurs influencent la fréquence cardiaque: émotion, apport alimentaire, posture, groupes musculaires sollicités, modalité de travail (continu ou par intervalles) et type de contraction musculaire (isométrique ou anisométrique). Par exemple, au cours d'un travail exécuté par les membres supérieurs ou lors de contractions musculaires isométriques (statiques), la fréquence cardiaque est beaucoup plus élevée que si le travail sous-maximal était accompli par les membres inférieurs. Par conséquent, si on utilisait la relation entre la fréquence cardiaque et la consommation d'oxygène, établie au cours d'un exercice à bicyclette ou à la course, pour estimer la consommation d'oxygène à partir d'une fréquence cardiaque relevée au cours d'un exercice sollicitant le tronc ou comportant des contractions isométriques, on obtiendrait une valeur surestimée de la consommation d'oxygène.

la fréquence cardiaque d'exercice :

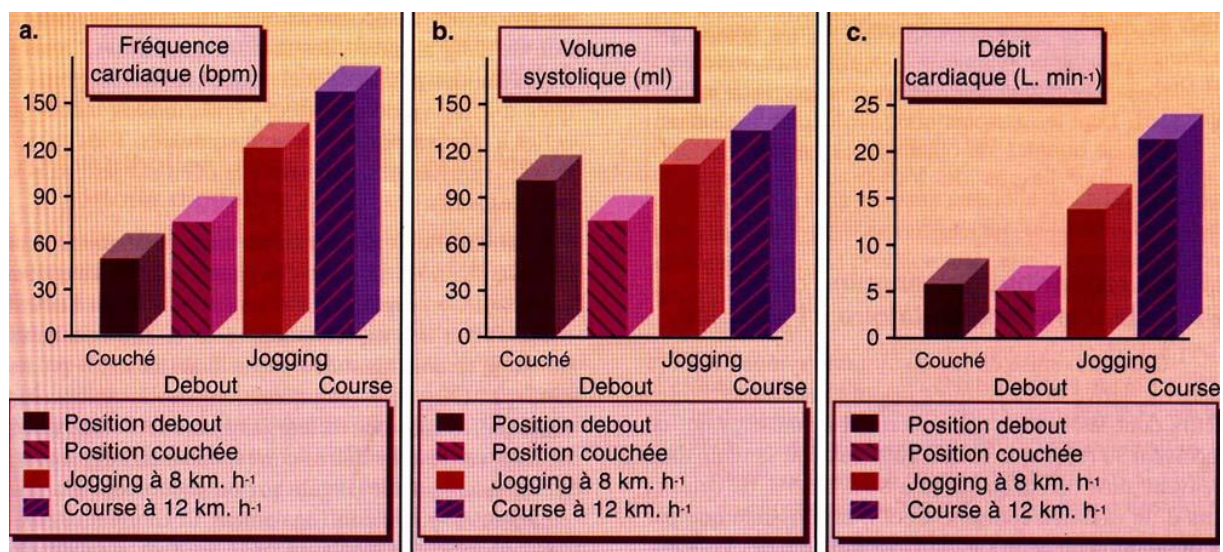
La (FC max) est la FC la plus haute obtenue lors d'un effort a la limite de l'épuisement. Elle reste relativement constante. Un certain nombre d'études suggèrent pourtant qu'une longue période d'entraînement aérobic peut la diminuer sensiblement.

C'est ainsi que chez certains athlètes de haut niveau, spécialistes d'endurance, les valeurs de FC max ont tendance a être inférieures a celles des sujets non entraînés du même âge.

La fréquence cardiaque post exercice :

La récupération après un exercice bref, ou un exercice de basse intensité est généralement rapide. Les vitesses de récupération varient d'un individu à un autre et sont fonction du niveau d'entraînement en endurance. Pour une même puissance absolue d'exercice, le sportif entraîné à une fréquence cardiaque inférieure a celle du non entraîné, il revient donc plus rapidement a une valeur de 100 BPM.

La fréquence cardiaque est le reflet de l'activité sportive...



La fréquence cardiaque est généralement définie comme le nombre de contractions ventriculaires par minute tels qu'on peut le définir avec un ECG.

En condition aérobie stable, elle reflète la demande métabolique. Se propageant le long des artères périphériques.

Fréquence cardiaque et intensité d'exercice

« L'American collège of sport medecine(ACSM) », association américaine de chercheurs et de médecins spécialistes des activités physiques et sportives a établi le consensus scientifique et médicale concernant la zone d'intensité idéale pour s'entraîner, dans une perspective d'amélioration de l'endurance et de la santé de la population. La zone de fréquence cardiaque(FC) cible est de 60 – 90 % de la FC max calculée selon la méthode de Karnoven (1983) :

$$\%FC \text{ max} = (FC_{\text{exercice}} - FC_{\text{repos}}) / (FC_{\text{max}} - FC_{\text{repos}}).$$

Fréquence cardiaque de réserve :

$$FC \text{ réserve} = FC_{\text{max}} - FC_{\text{repos}}$$

X (28 ans) doit courir entre 65 et 75 % de sa fréquence cardiaque pour faire de l'angiogénèse = capillarisation

En fait il faut connaître sa FC max. $220 - \text{Age} = 192\dots$

Donc, x devrait courir avec une FC théorique ($192 \times 65\% = 124$) jusqu'à ($192 \times 75\% = 144$).

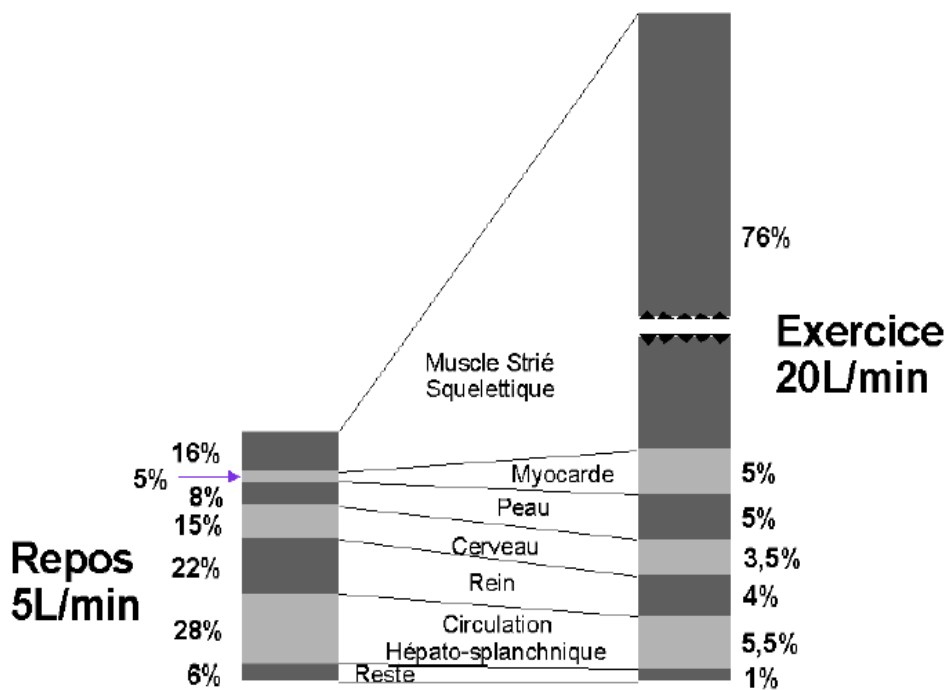
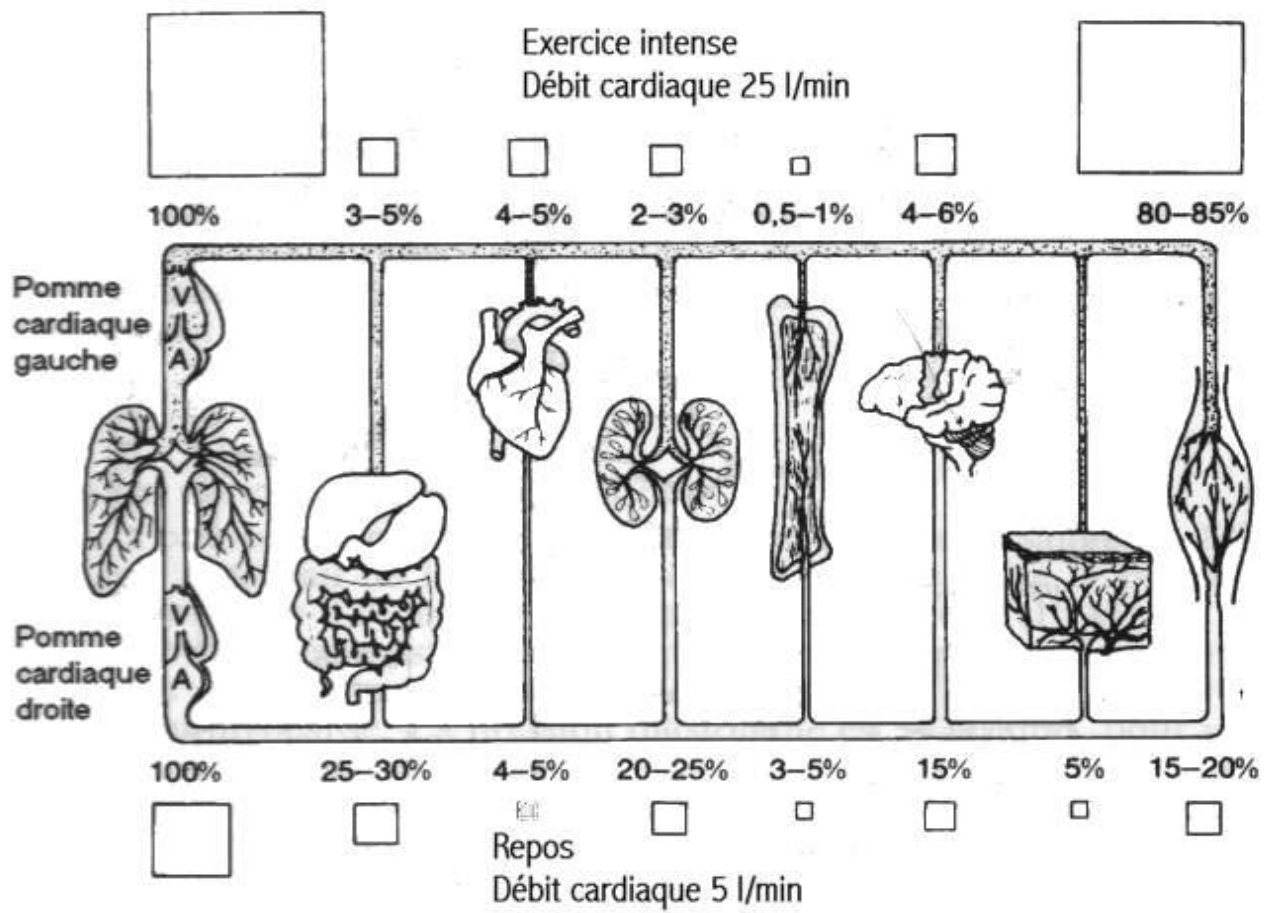
Et ce pendant 15' a 60' par séance, 2 a 3 fois par semaine. Cette charge de travail serait optimale pour se maintenir en bonne santé sans objectif de compétition.

Adaptation de la distribution sanguine régionale

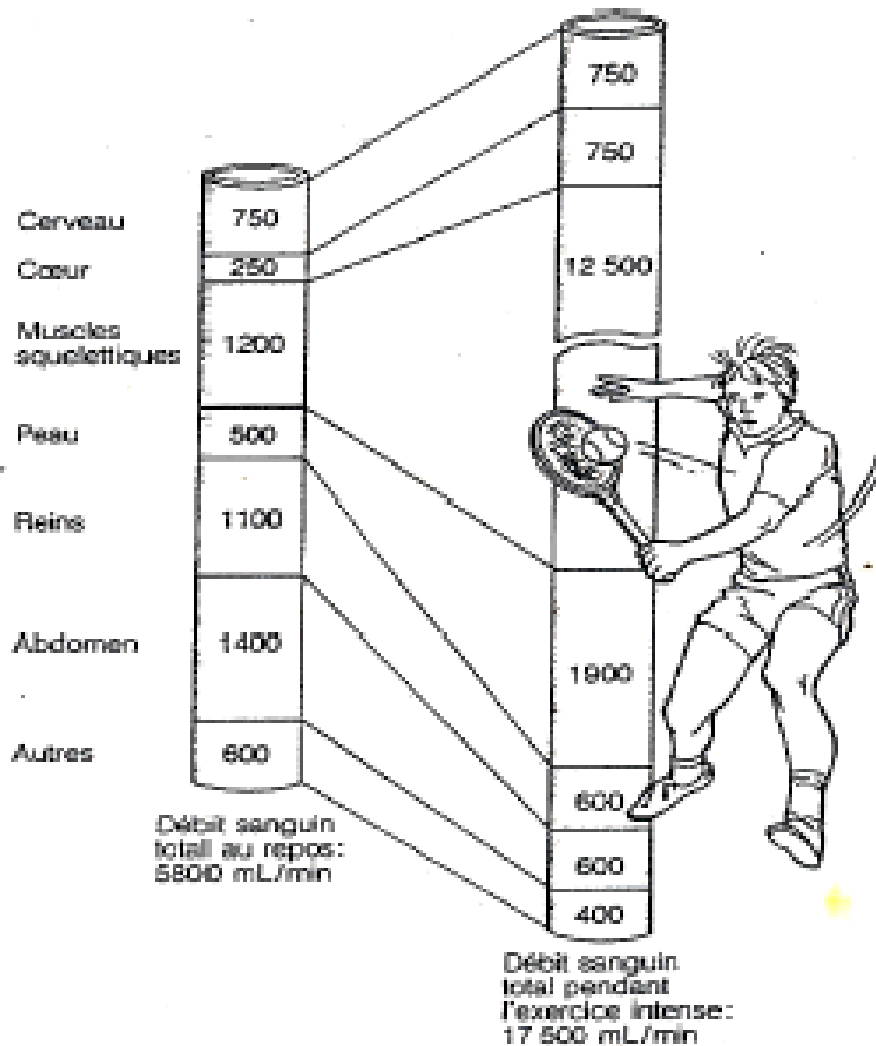
Le débit sanguin est fortement diminué dans les territoires non concernés par l'exercice, et notamment le débit splanchnique au profit des muscles en action qui peuvent ainsi décupler leur débit de repos. Cette fonction permet d'alimenter le muscle en oxygène et de drainer les déchets de son travail. Cette redistribution se fait après 3 à 4 mn d'effort expliquant la nécessité d'un échauffement, pour alimenter les muscles jusqu'à 15 fois le débit initial.

L'augmentation du débit sanguin musculaire constitue un des facteurs les plus importants du gain de performance aérobie. Elle est due à une meilleure capillarisation musculaire (apparition de capillaires nouveaux et dilatation des capillaires existants). On constate aussi une augmentation du diamètre des artères.

Il faut noter cependant que seul le travail en endurance permet ce genre d'adaptation.



Débit sanguin dans certains organes, au repos et à l'exercice, en ml/min et en pourcentage du débit total



Les adaptations générales de la fonction cardiaque :

Prenons l'exemple suivant :

Vous passez successivement de la position allongée à la position assise puis debout. Vous vous mettez ensuite à marcher, à trotter et enfin à courir. Que se passe-t-il au niveau cardiaque ? Votre système

cardiovasculaire doit s'ajuster en permanence pour assurer l'augmentation progressive de votre niveau d'activité.

Si en position allongée votre fréquence cardiaque est de 50 BPM, elle s'élève à 55 BPM en position assise puis 60 environ en position debout. Pourquoi ?

En raison du changement de posture qui fait chuter le VES. Le sang s'accumule dans les territoires inférieurs sous l'effet de la pesanteur. Pour compenser ce phénomène, la FC augmente. Dans ces conditions, l'augmentation de la FC résulte d'une simple adaptation destinée à maintenir constant le débit cardiaque.

Lorsque vous vous mettez en mouvement (marche simple) la (FC) passe de 60 à environ 90 BPM. Si vous trottez, elle monte à 140 et peut atteindre 180 BPM et plus en cas de course rapide. L'augmentation constatée dans ces conditions est destinée à augmenter l'apport d'oxygène aux muscles actifs.

Les adaptations métaboliques à l'entraînement :

1- Le seuil lactique :

L'entraînement aérobie élève le niveau du seuil lactique ou seuil aérobie. Cela signifie qu'après entraînement, on peut réaliser un effort plus intense ou correspondant à un plus fort pourcentage de la consommation max d'O₂ sans que le lactate sanguin ne s'élève au-dessus de ces valeurs de repos. Ceci est dû principalement à une meilleure élimination du lactate produit par les muscles et une concentration plus importante en

enzymes musculaires oxydatives. il s'en suit une production de lactate plus faible pour un même niveau d'effort.

L'élévation du seuil aérobie est un des facteurs majeurs de l'amélioration de la performance en endurance. Chez les athlètes entraînés, cette adaptation contribue à élever leur vitesse moyenne de course.

2- la consommation maximale d'O₂ (VO₂ MAX).

La consommation maximale d'O₂ est souvent considérée comme le meilleur indicateur de l'aptitude cardiorespiratoire à l'endurance.

Toutes les adaptations liées à l'entraînement aérobie, contribuent à augmenter VO₂ MAX dans des proportions importantes. (Tableau 9.4) P 296.

3- facteurs influençant la réponse à l'entraînement aérobie :

A/ les enzymes oxydatives des mitochondries : c'est-à-dire l'inaptitude des mitochondries à utiliser tout l'oxygène mis à leur disposition. (théorie 1).

B/ la fourniture de l'oxygène aux muscles : les possibilités de transport d'O₂ représente le facteur limitant de VO₂ MAX. (théorie 2).

(RF : tableau 9.4)

variables	Sujet normal sédentaire		Coureur a pied international
	Avant entraînement	Après entraînement	
Fc repos (bpm)	71	59	36
Fc max	185	183	174
Vs au repos (ml)	65	80	125
Vs max	120	140	200
Q repos (l /m)	4,6	4,7	4,5
Qmax	22,2	25,6	34,8
Volume card	750	820	1200
VO2 MAX	40,5	49,8	76,7
Taux de graisse	16	12,5	7,5

3 nouveaux facteurs de risque de mort subite de l'adulte :

- une fréquence cardiaque élevée au repos,
- une élévation insuffisante de cette fréquence durant l'exercice,
- une diminution trop faible et lente après l'exercice.

Ce travail devrait permettre une identification plus précoce des patients à risque de mort subite. Cette pathologie représente en effet 5 à 10% de la mortalité totale et près de la moitié des décès de cause cardiaque.

Conclusion : le risque de mort subite est multiplié :

- par 4 chez les personnes ayant une FC au repos > à 75 battements par minute ;

-par 6 chez ceux ne parvenant pas au cours du test d'effort, à augmenter leur rythme cardiaque de plus de 89 battements par minute ;

-2 fois supérieur à la normale chez ceux ayant une diminution trop faible, trop lente (moins de 25 battements par minute) de leur rythme cardiaque après la fin de l'épreuve d'effort...

Possibilité de faire un bilan dans les salles de musculation ?