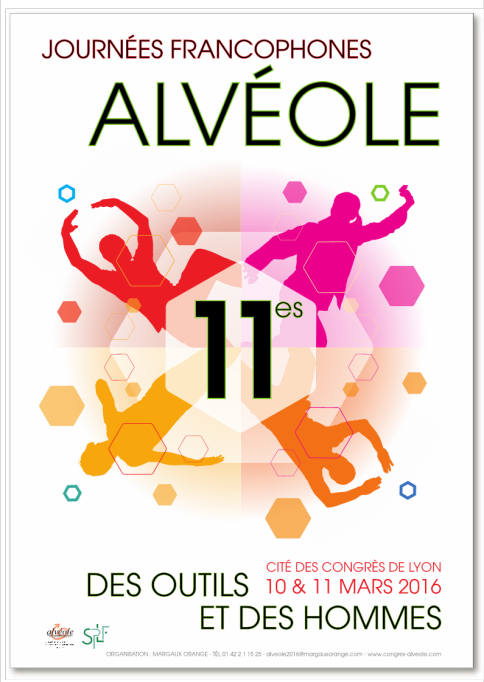
Faculté de Médecine
UdA | Université d'Auvergne

CRNH
CENTRE DE RECHERCHE EN NUTRITION HUMAINE
AUVERGNE

La mesure du débit cardiaque à l'effort

Ruddy RICHARD

Centre de Recherche en Nutrition Humaine
CRNH Auvergne
ruddy.richard@udamail.fr
et
Service de Médecine du Sport et des Explorations Fonctionnelles
CHU G. Montpied, 58 rue Montalembert,
63003 Clermont-Ferrand Cedex 1
rrichard@chu-clermontferrand.fr



Conflits d'intérêts

Mise à disposition d'appareils

- Manatec Biomedical
- MGC Diagnostics

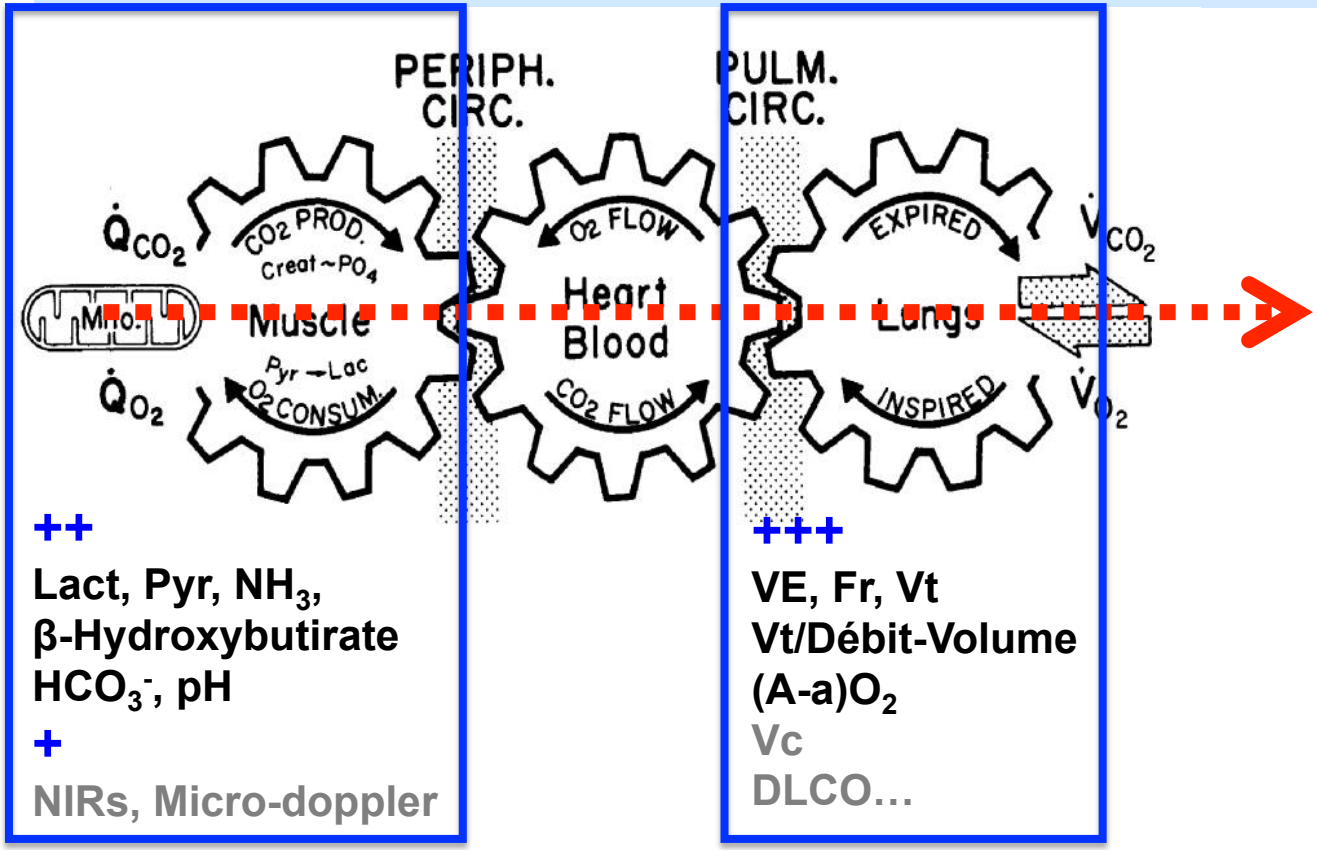
Présentation (débit Cardiaque Qc)

- Pourquoi faut-il mesurer le Qc à l'effort
- Pourquoi le Qc n'est pas mesuré à l'effort
- Comment mesurer le Qc à l'effort
- Les extrapolations sont-elles utiles
- Applications pratiques

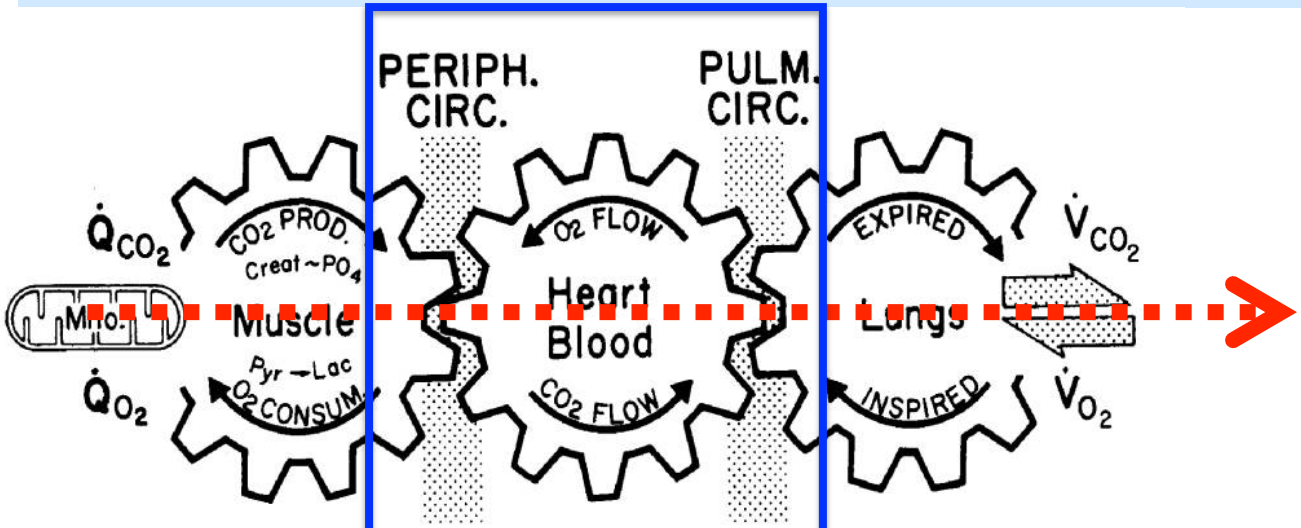
Présentation

- Pourquoi faut-il mesurer le Qc à l'effort
- Pourquoi le Qc n'est pas mesuré à l'effort
- Comment mesurer le Qc à l'effort
- Les extrapolations sont-elles utiles
- Applications pratiques

Pourquoi faut-il mesurer le Qc



Pourquoi faut-il mesurer le Qc



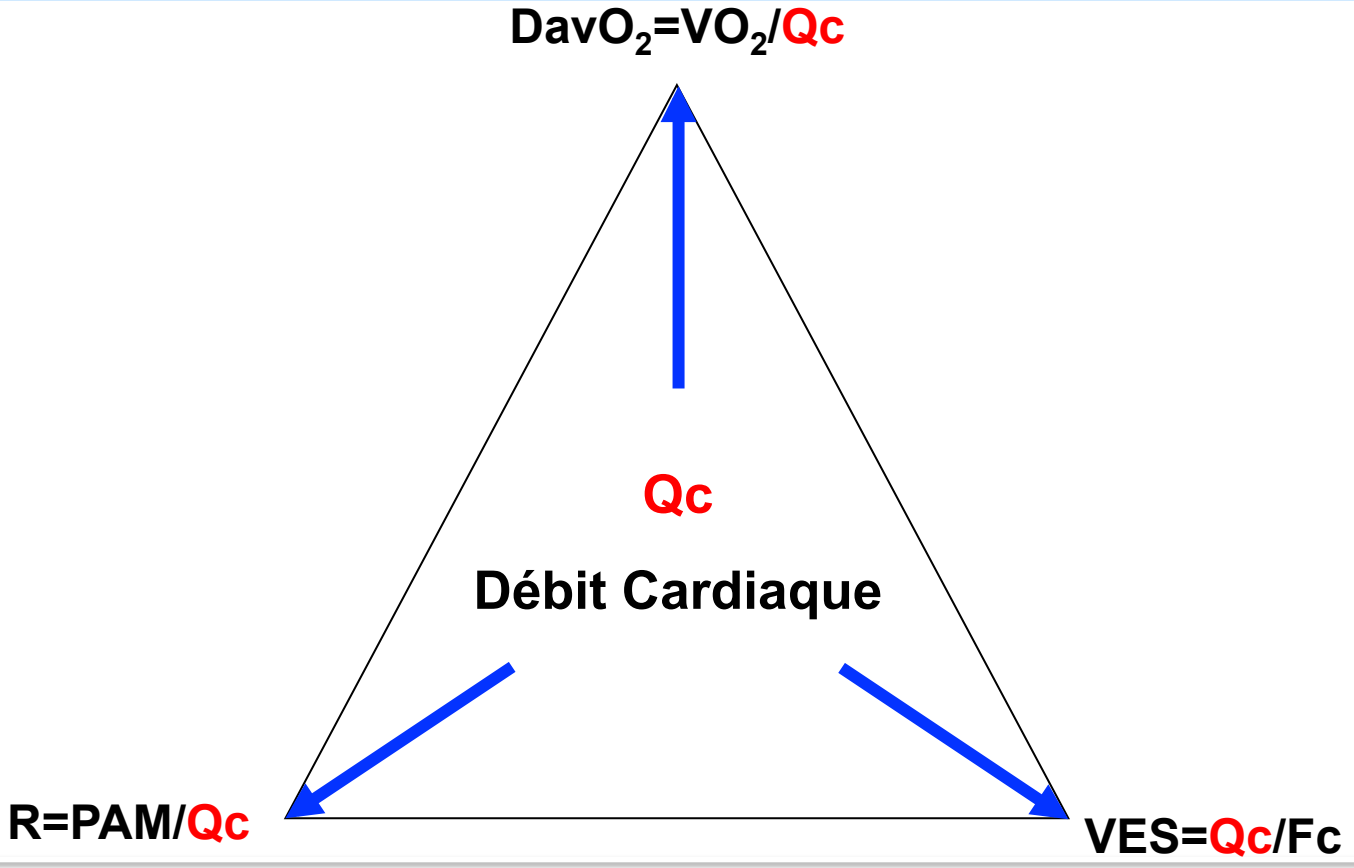
+++

Fc, TAS-TAD

+

Qc → **+++** → **VES, $DavO_2$, RVS**

Pourquoi faut-il mesurer le Qc



Présentation

- Pourquoi faut-il mesurer le Qc à l'effort
- Pourquoi le Qc n'est pas mesuré à l'effort
- Comment mesurer le Qc à l'effort
- Les extrapolations sont-elles utiles
- Applications pratiques

Pourquoi le Qc n'est pas mesuré

Techniques de références

- Difficiles à mettre en œuvre à l'effort
- Notion bénéfice/risque difficile à correctement évaluer

Techniques gazeuses

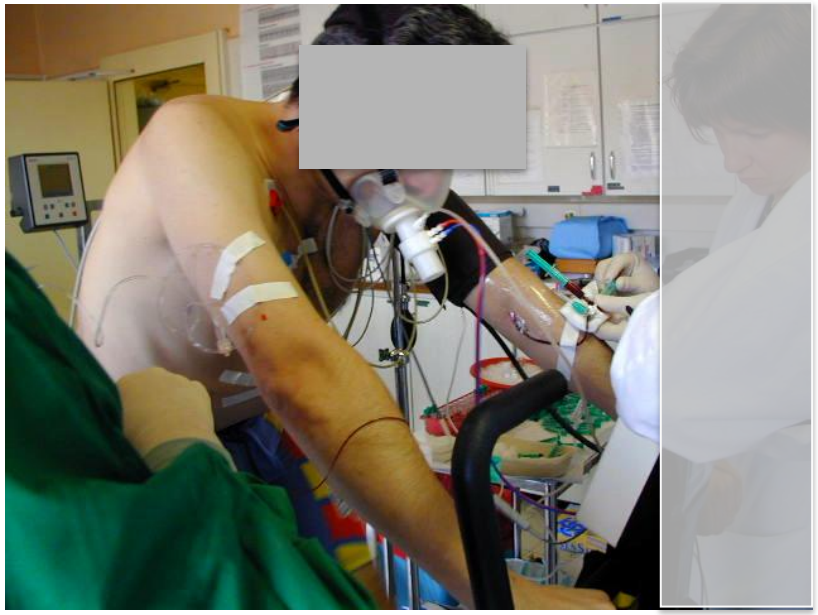
- Discontinues
- Bonne coopération du patient
- Difficiles à mettre en œuvre à haute intensité quelque soit la méthode (y compris pour les gaz inertes)

Echographie à l'effort

- Discontinue, dans une position peu physiologique
- Opérateur et patient dépendant

Pourquoi le Qc n'est pas mesuré

Techniques de références



Présentation

- Pourquoi faut-il mesurer le Qc à l'effort
- Pourquoi le Qc n'est pas mesuré à l'effort
- Comment mesurer le Qc à l'effort
- Les extrapolations sont-elles utiles
- Applications pratiques

Comment mesurer le Qc

CE QUE JE PENSE…

Mesure par impédancemétrie

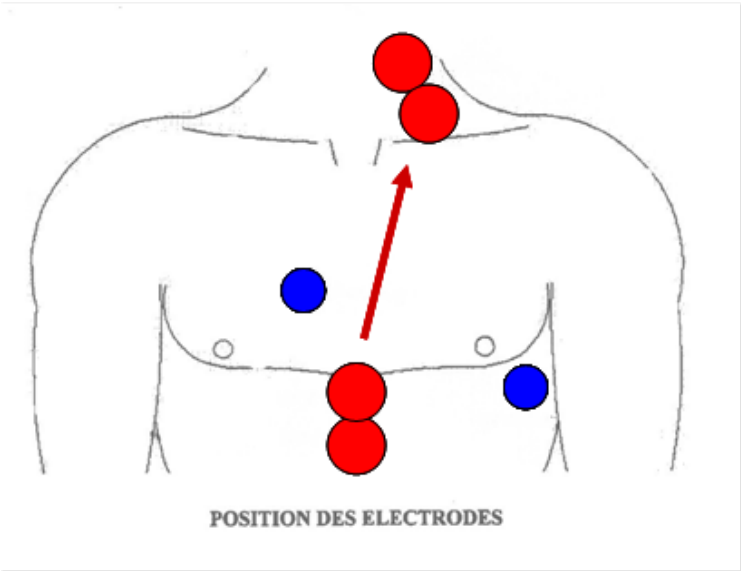
- Mesure est continue
- Validée par rapport aux méthodes de référence
- Réalisable du repos au pic d'effort
- Indépendante de la mesure de VO_2 et permet l'application du principe de Fick (VO_2=Qc×DavO_2)

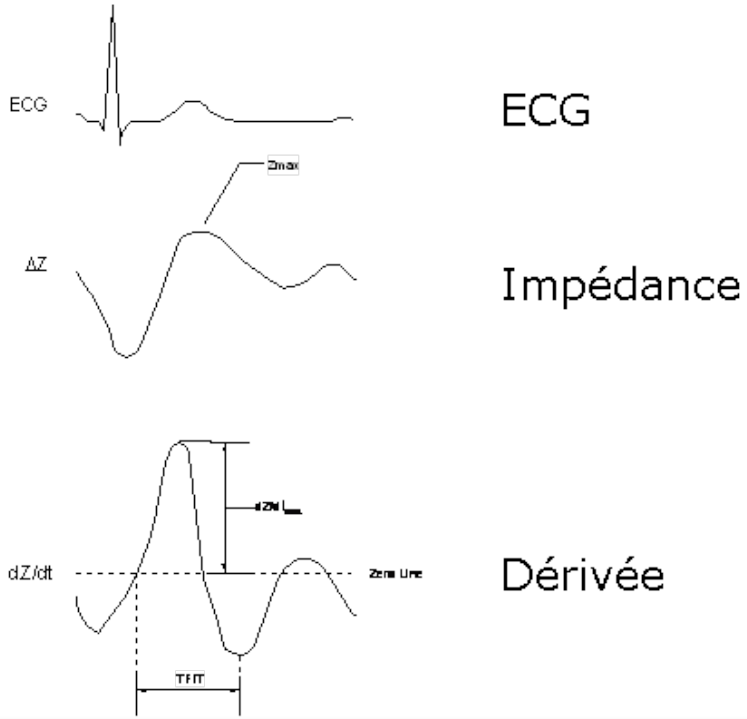
Couplée à une méthode gazeuse

- Double validation des valeurs de référence
- Calcul des shunts intra-thoraciques

Comment mesurer le Qc

Mesure par impédancemétrie (Bioimpédance Thoracique)



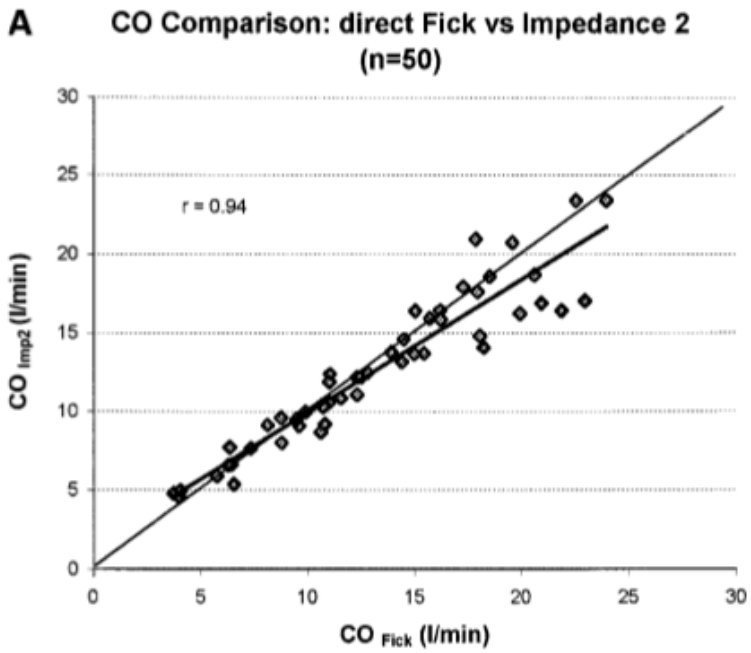


Comment mesurer le Qc

Mesure par impédancemétrie (Bioimpédance Thoracique)

Comment mesurer le Qc

Mesure par impédancemétrie (Bioimpédance Thoracique)



Validation versus Fick direct au repos et à l'effort

Validation à l'effort chez des sujets sains
Richard R et al. *Eur J Appl Physiol*. 2001

Validation à l'effort chez des BPCO
Charloux A et al. *Eur J Appl Physiol*. 2000

Plus de 200 publications indexées

Comment mesurer le Qc

Méthode gazeuse

La vitesse de disparition, au niveau des alvéoles, du gaz inhalé est proportionnelle au débit sanguin au travers des alvéoles

Deux types de gaz :

- Composé non inerte CO_2 (état stable, intensité sous-maximale)
  - A l'équilibre
  - Exponentielle
- Composé inerte C_2H_2, N_2O
  - Rebreathing
  - Extrabreath

Warburton DE et al (Part I). *Sports Med*. 1999
Warburton DE et al (Part II). *Sports Med*. 1999

Comment mesurer le Qc

Méthode gazeuse

La vitesse de disparition, au niveau des alvéoles, du gaz inhalé est proportionnelle au débit sanguin au travers des alvéoles

Deux types de gaz :

-Composé non inerte CO_2 (état stable, intensité sous-max)

A l'équilibre

Exponentielle

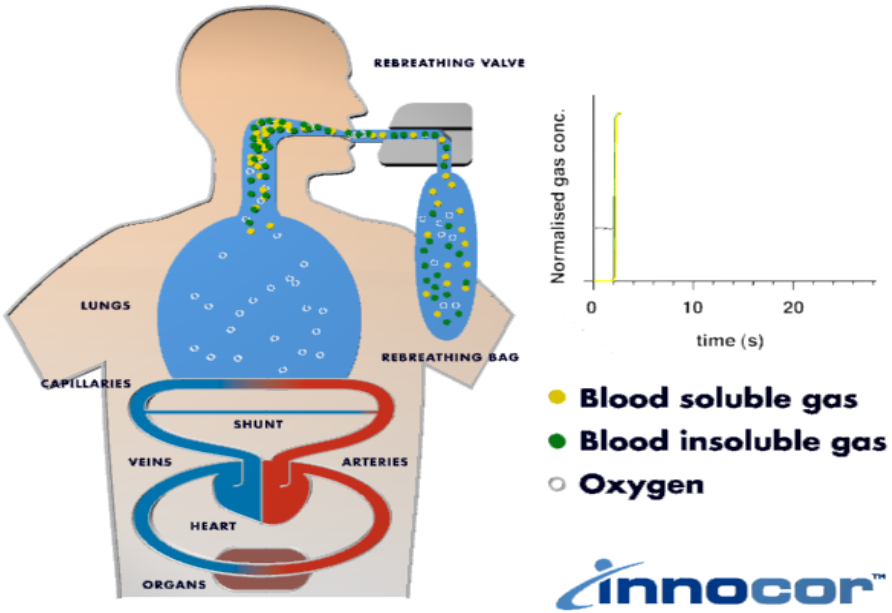
-Composé inerte C_2H_2, N_2O

Rebreathing

Extrabreath

Comment mesurer le Qc

Méthode gazeuse



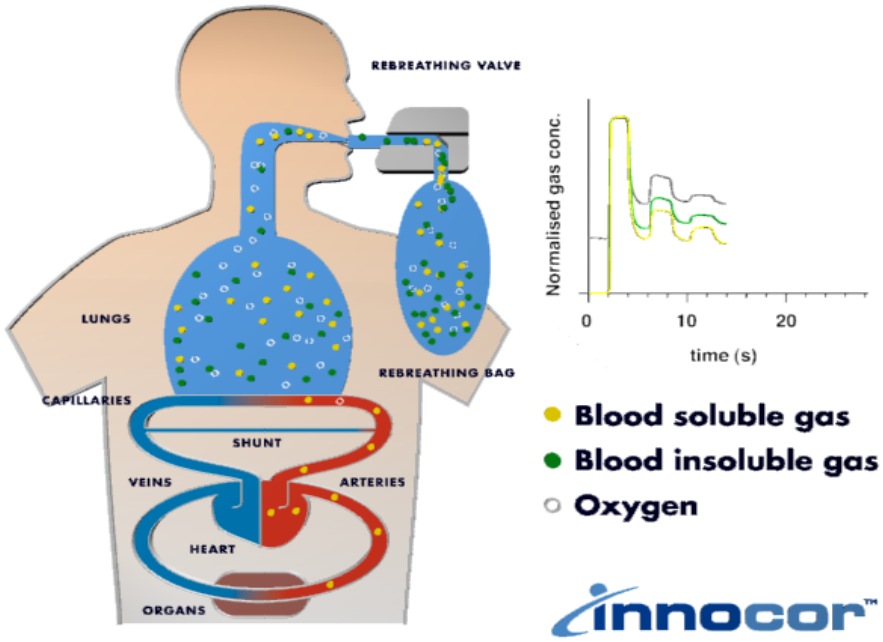
http://www.innovision.dk/Products

Phase 1 :
- Remplir le sac de Douglas du mélange
- Connecter le sujet sur le sac, sur une fin d'expiration normale

Mes trucs :
A partir des données d'ergospirométrie :
- Mettre 1,5 × Vt dans le sac
- Ajuster la fréquence sur Fr

Comment mesurer le Qc

Méthode gazeuse



innocor™

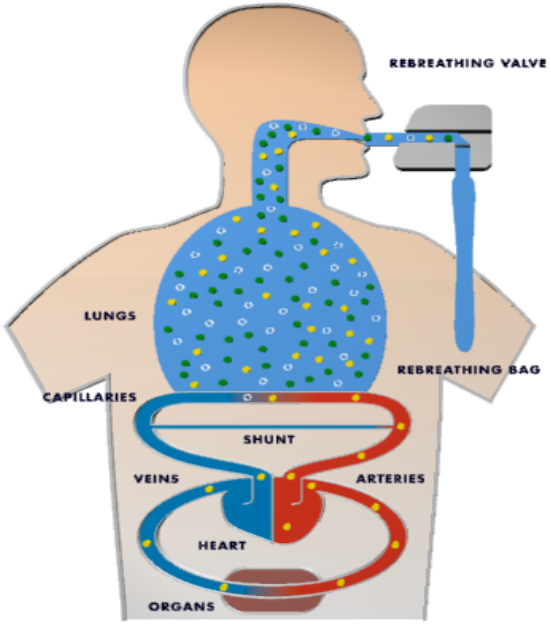
http://www.innovision.dk/Products

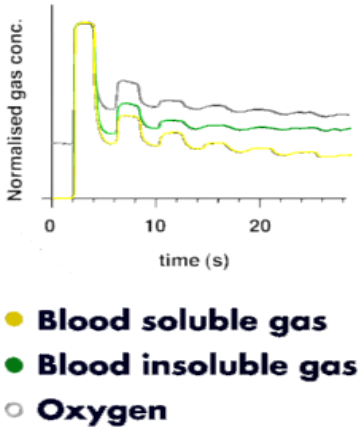
Phase 2 :

- Laisser le sujet respirer sur sa fréquence spontanée

Comment mesurer le Qc

Méthode gazeuse





innocor™

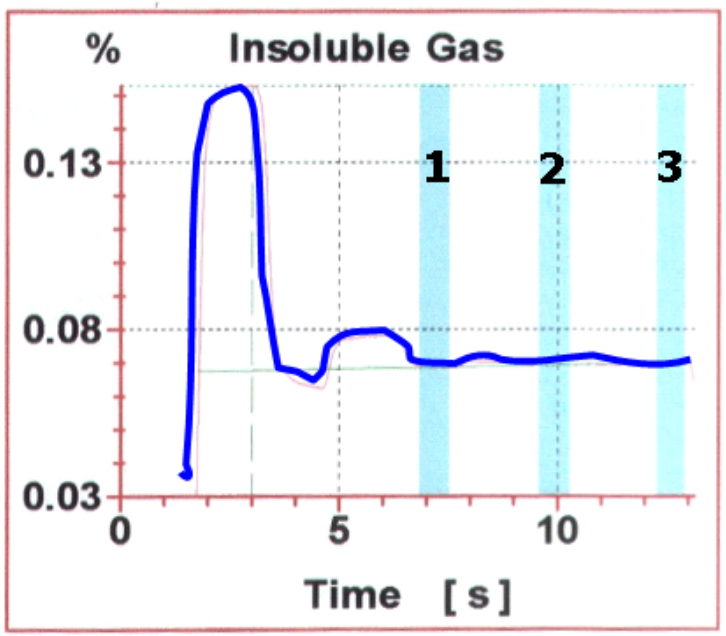
http://www.innovision.dk/Products

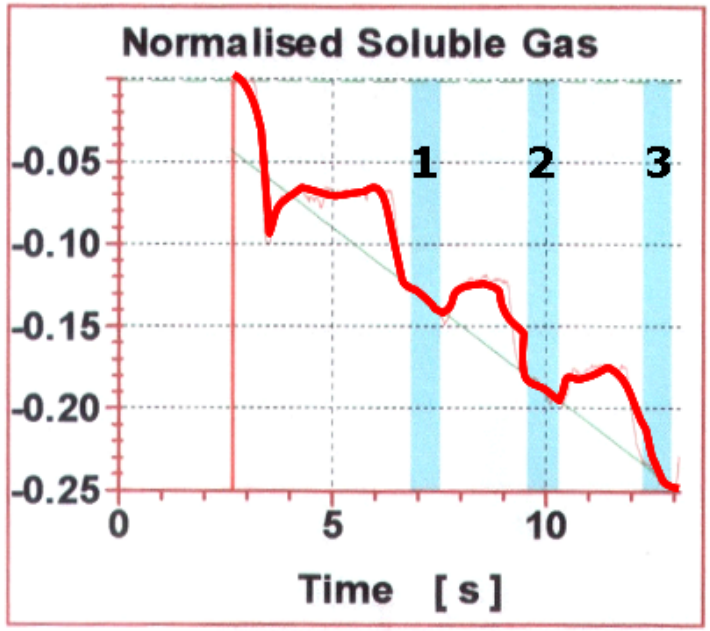
Phase 3 :

- Déconnecter le sujet du sac dès que la mesure est effectuée
- Attendre 2 à 4 minutes pour faire la mesure suivante

Comment mesurer le Qc

Méthode gazeuse





http://www.innovision.dk/Products

Présentation

- Pourquoi faut-il mesurer le Qc à l'effort
- Pourquoi le Qc n'est pas mesuré à l'effort
- Comment mesurer le Qc à l'effort
- Les extrapolations sont-elles utiles
- Applications pratiques

Les extrapolations

Equations théoriques

- Toutes les extrapolations sont faites à partir d'une mesure de VO_2 ou d'un pourcentage de VO_2max estimé
- Elles supposent que les échanges gazeux sont normaux
- Elles ne permettent pas en théorie d'extrapoler des $DavO_2$

Pouls d'oxygène

- Très prisé par les cardiologues
- Utile pour le diagnostic étiologique des dyspnées d'effort, mais…

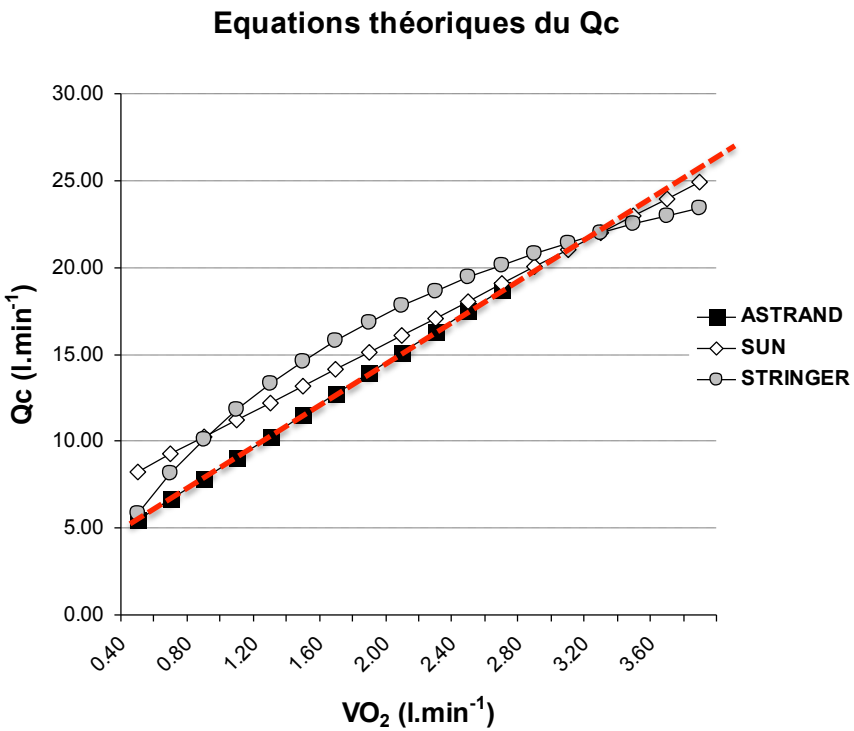
Les extrapolations

Equations théoriques

Référence	Equation	Population	Remarques
Astrand PO et al. *JAP* 1964	**<70% Pic de puissance** ♂ $Q=3.07+(6.01\times VO_2)$ ♀ $Q=3.66+(6.81\times VO_2)$	♂ et ♀ 23 ± 3 ans VO_2 max : 3,29 ± 0,7 l/min	**Fick** **Etat stable**
Sun XJ et al. *JAP* 2001	$Q=6.3+(4.9\times VO_2)$	♂ 25 ± 5 ans VO_2 max : 3,91 ± 0,6 l/min	**Fick appliqué à l'O_2 et au CO_2**
Stringer at al. *JAP* 1997	$DavO_2=5.7+(0.105\times\%VO_2max)$ $Q=VO_2/(5.7+(0.105\times\%VO_2max))$	♂ 25 ± 6 ans VO_2 max : 3,77 ± 0,6 l/min	**Equation de $DavO_2$** **Rampe**

Les extrapolations

Equations théoriques



$Qc(l/min)=5,5\times VO_2(l/min)+5$

ATTENTION :

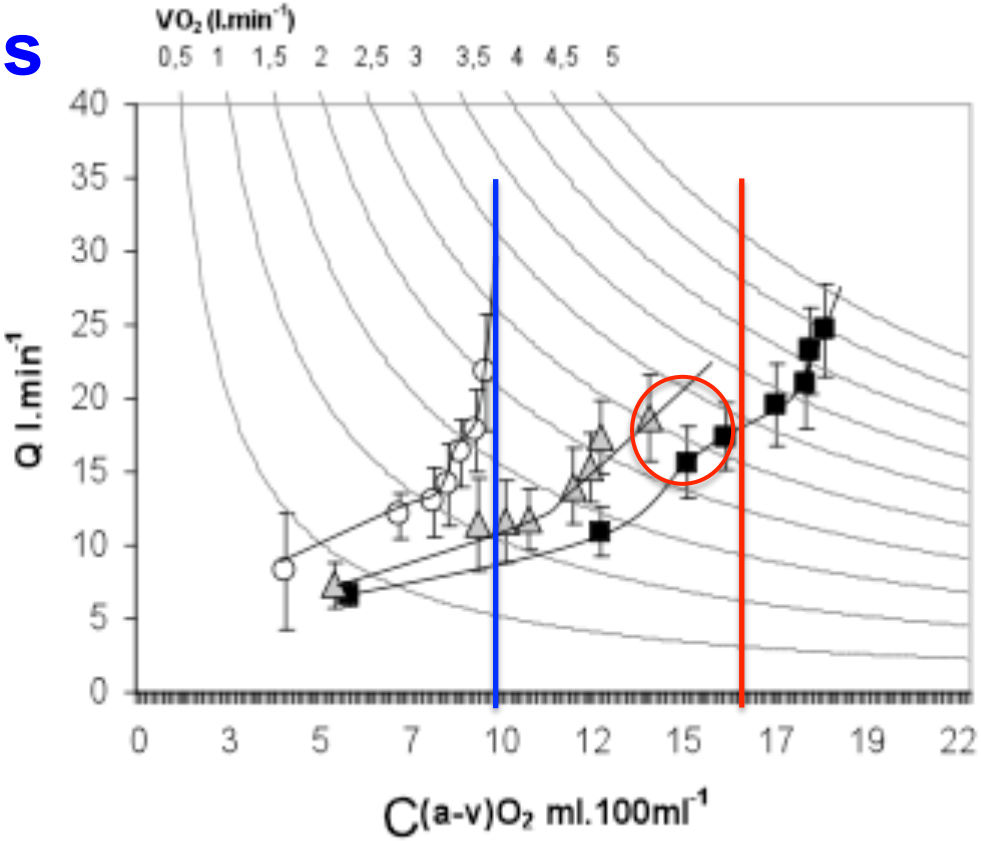
-Equations déterminées à partir de populations saines

-Ne s'appliquent qu'à des sujets de la même tranche d'âge

Les extrapolations

Equations théoriques

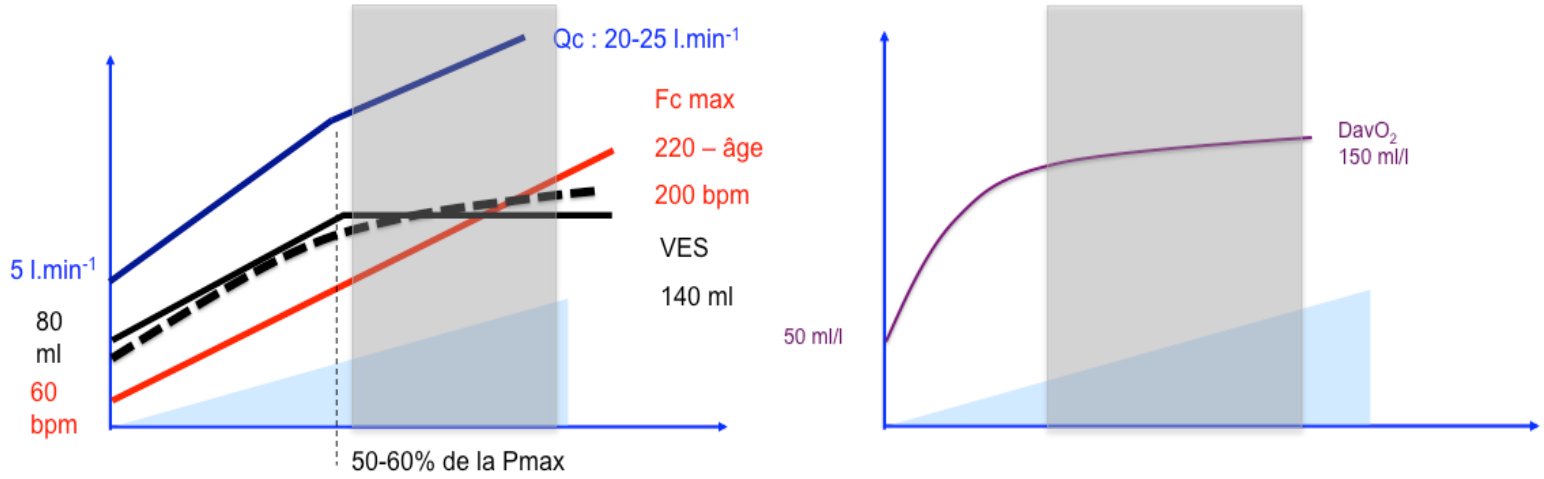
Sujets jeunes entraînés
30 ans, Pmax 350W
Sujets sédentaires
40 ans, Pmax 240W
Sujets sédentaires âgés
60 ans, Pmax 180W



$DavO_2=5.7+(0.105\times\%VO_2max)$
$DavO_2(max)=5,7+10,5=16,2$ ml/100 ml

Les extrapolations

Pouls d'oxygène



Equation de Fick : $VO_2 = VES \times Fc \times DavO_2$ ➔ $VO_2/Fc = VES \times DavO_2$

Hypothèses : 1) Plateau de VES au dessus de 50% de la PMT

2) Plateau de $DavO_2$ au dessus de 50% de la PMT

3) La $DavO_2$ ne peut pas baisser

Les extrapolations

Pouls d'oxygène

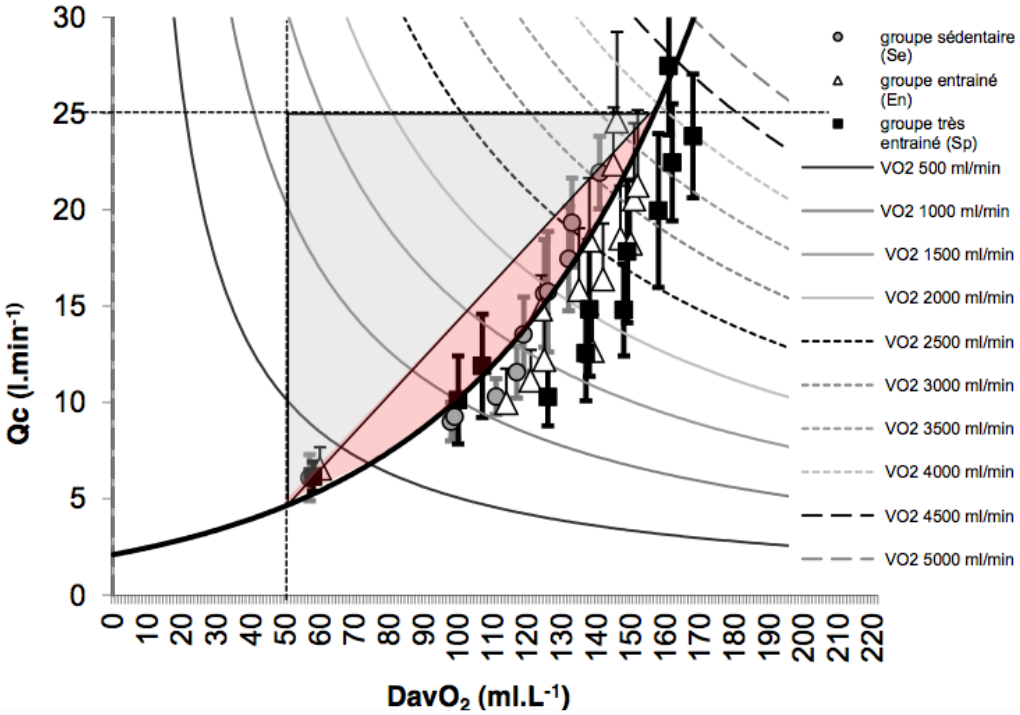
- Le pouls d'oxygène ne peut pas être utilisé pour évaluer une dysfonction ventriculaire à l'effort.
- Une valeur basse du pouls d'O_2 doit être une alarme sur une anomalie du VES et/ou de la $DavO_2$ (exprimée par rapport au pouls d'O_2 max théorique)
- Les deux grandeurs (VES et $DavO_2$) peuvent se compenser et « masquer » une anomalie

Présentation

- Pourquoi faut-il mesurer le Qc à l'effort
- Pourquoi le Qc n'est pas mesuré à l'effort
- Comment mesurer le Qc à l'effort
- Les extrapolations sont-elles utiles
- Applications pratiques

Applications de la mesure à l'effort

Différence artério-veineuse en oxygène $DavO_2$



La $DavO_2$ à l'effort représente principalement la consommation d'oxygène du muscle en activité :

Elle va dépendre :

- De la masse musculaire solliciter
- De la micro-vascularisation
- De la densité mitochondriale
- Du potentiel oxydatif

Applications de la mesure à l'effort

Différence artério-veineuse en oxygène $DavO_2$

	Sujets A (32 ans)	Sujet B (43 ans)	Sujet C (58 ans)
Pmax (W)	70	50	80
Pic VO_2 (ml/min)	810	703	980
QR	1,23	1,08	1,12
Fc Max (Bat/min)	190	118	156
Pouls d'O_2 (ml/bat)	4,2 (9,3)	5,9 (8,5)	6,2 (8,4)

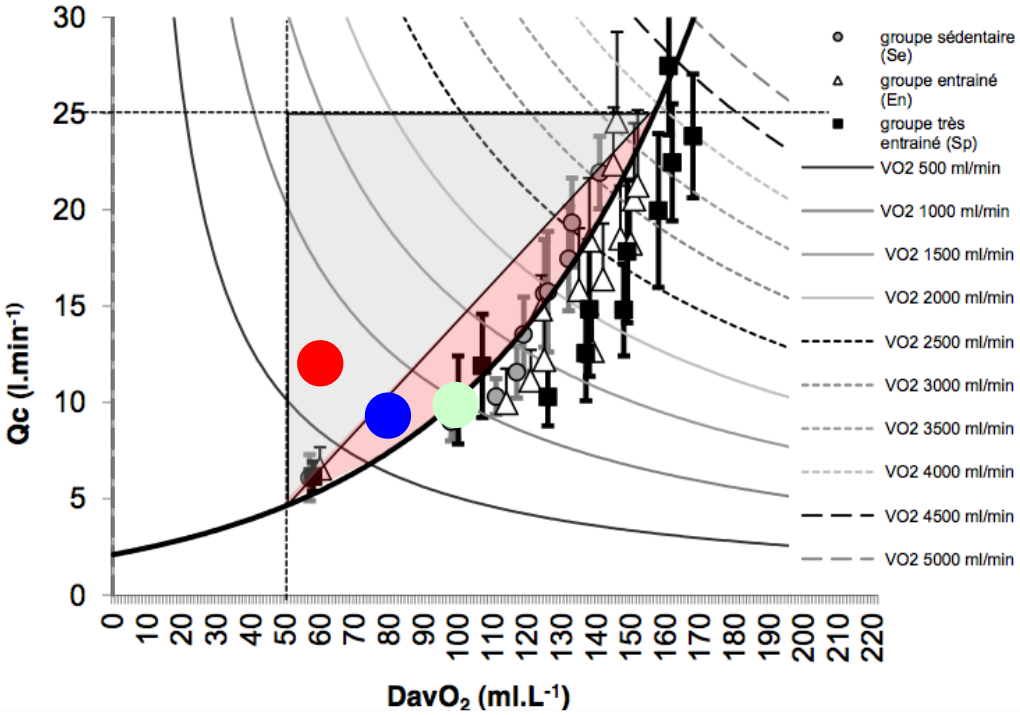
Applications de la mesure à l'effort

Différence artério-veineuse en oxygène $DavO_2$

	Sujets A (32 ans)	Sujet B (43 ans)	Sujet C (58 ans)
Pmax (W)	70	50	80
Pic VO_2 (ml/min)	810	703	980
QR	1,23	1,08	1,12
Fc Max (Bat/min)	190	118	156
Pouls d'O_2 (ml/bat)	4,2 (9,3)	5,9 (8,5)	6,2 (8,4)
Qc max (l/min)	13,3	8,8	9,6
VES max (ml)	70	74	62
$DavO_2$ (ml/100ml)	6,1	7,9	10,2

Applications de la mesure à l'effort

Différence artério-veineuse en oxygène $DavO_2$



Sujet A
Maladie mitochondriale

Sujet B
Traitement corticoides
Connectivite

Sujet C
Patiente sédentaire

Applications de la mesure à l'effort

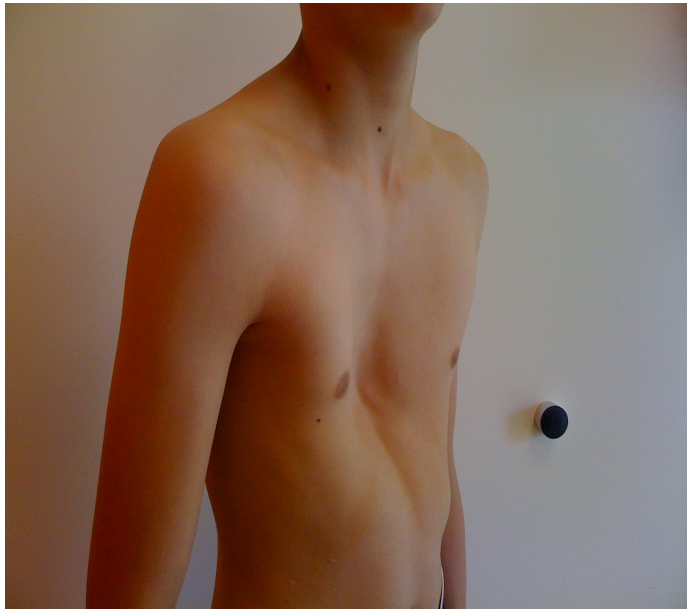
Différence artério-veineuse en oxygène $DavO_2$

	Sujets A (32 ans)	Sujet B (43 ans)	Sujet C (58 ans)
Pmax (W)	70	50	80
Pic VO_2 (ml/min)	810	703	980
QR	1,23	1,08	1,12
Fc Max (Bat/min)	190	118	156
Pouls d'O_2 (ml/bat)	4,2 (9,3)	5,9 (8,5)	6,2 (8,4)
Qc max (l/min)	13,3	8,8	9,6
VES max (ml)	70	74	62
$DavO_2$ (ml/100ml)	6,1	7,9	10,2

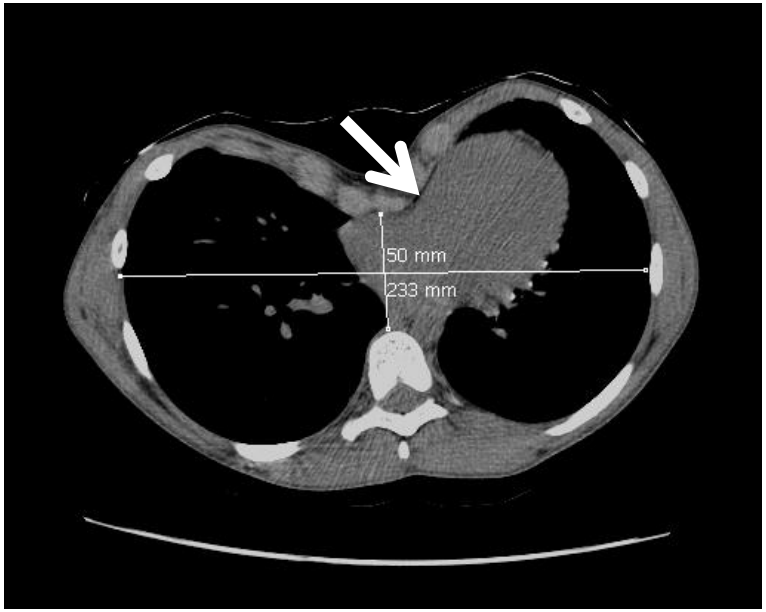
Applications de la mesure à l'effort

Mesure du volume d'éjection systolique (VES)

Répercussions hémodynamiques des *Pextus Excavatum*



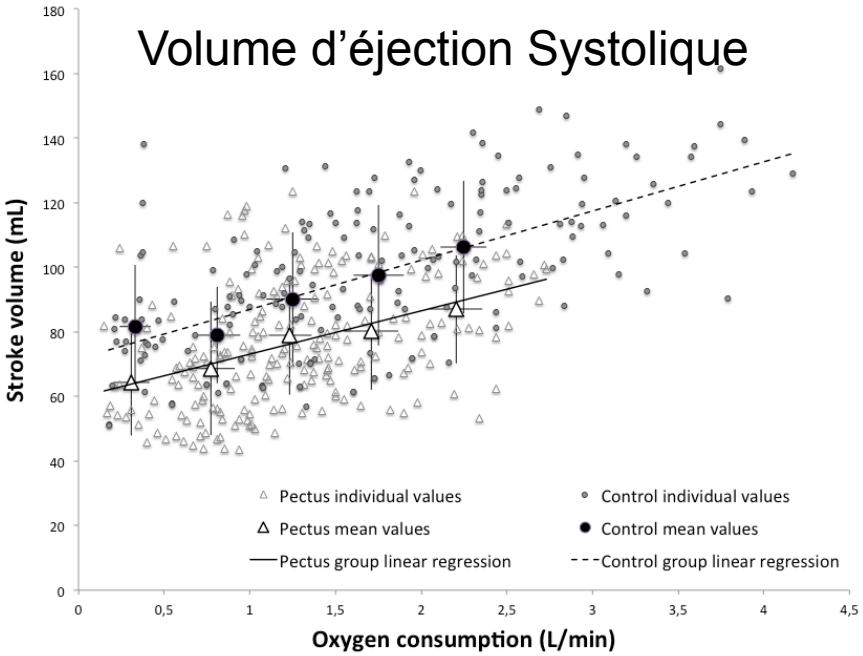
Pectus Excavatum



Index de Haller 4,66 (Nle < 3,2)

Applications de la mesure à l'effort

Mesure du volume d'éjection systolique (VES)



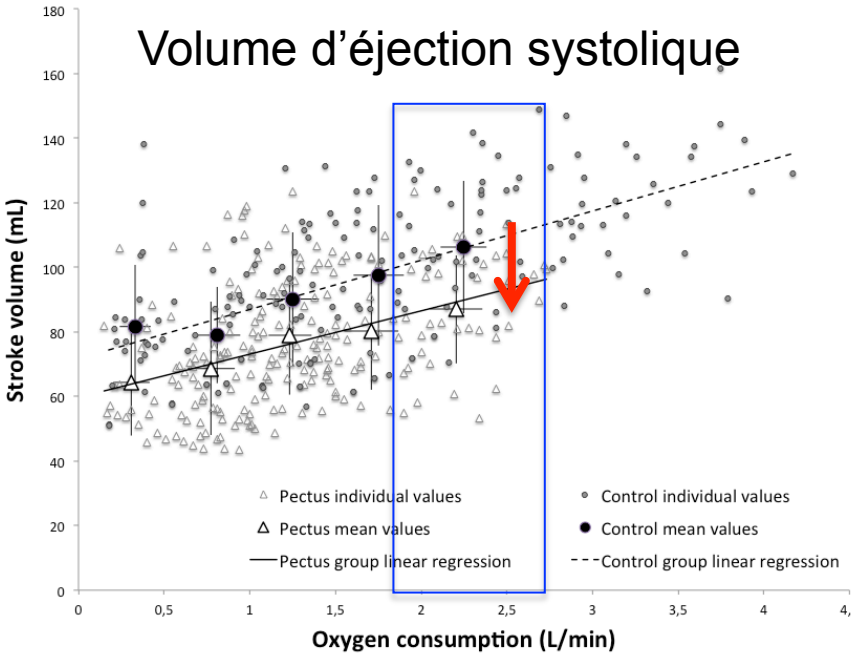
Tardy M et al. *J Am Coll Cardiol*. 2015

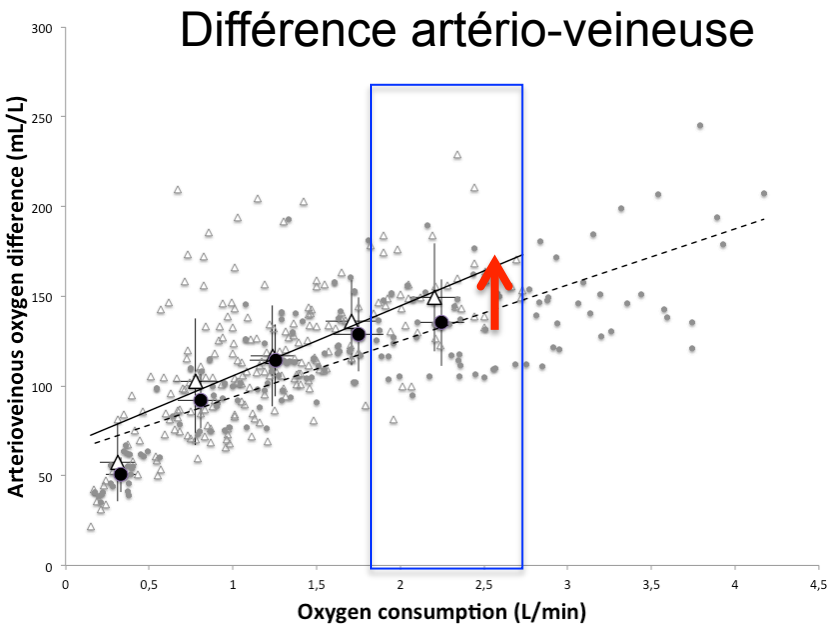
17 sujets *Pectus Excavatum*
Index de Haller 5,8 ± 3,9

17 témoins appariés sur l'âge, le poids, la taille et le niveau de capacité physique

Applications de la mesure à l'effort

Mesure du volume d'éjection systolique (VES)

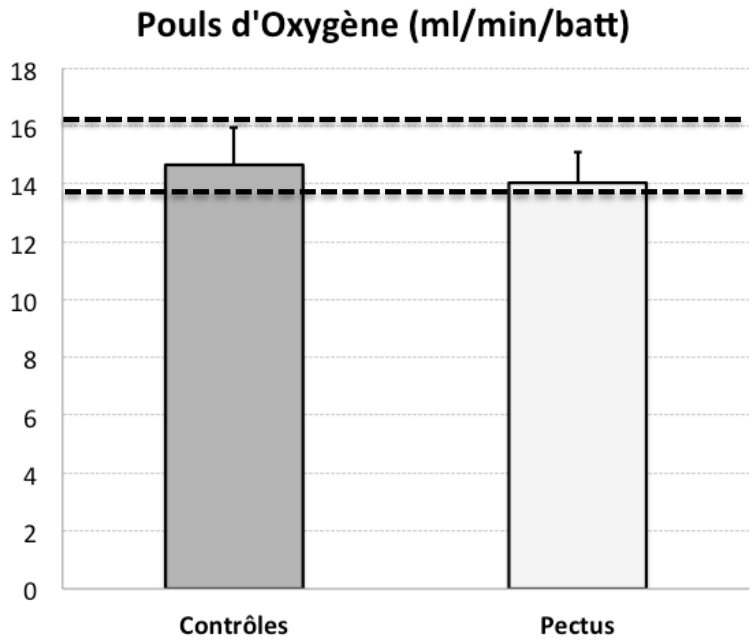




Tardy M et al. *J Am Coll Cardiol*. 2015

Applications de la mesure à l'effort

Mesure du volume d'éjection systolique (VES)



PO_2 à une VO_2 de 2,2 l/min (180W)

Equation de Fick

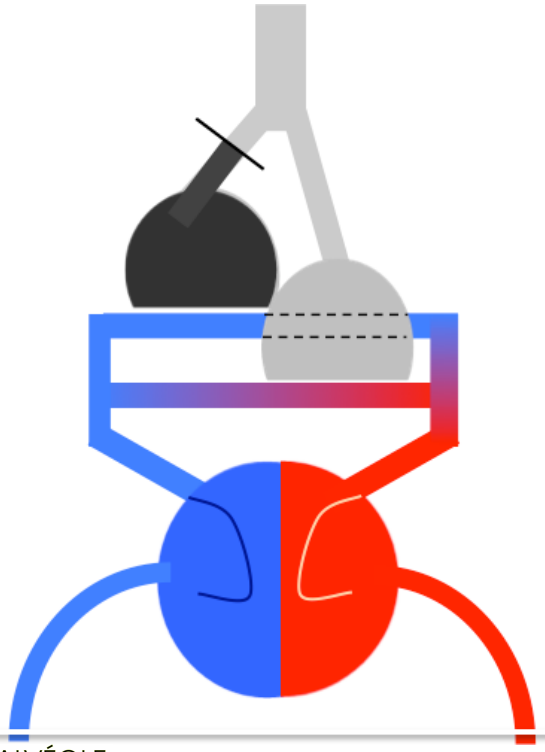
$VO_2 = Qc \times DavO_2$

$VO_2 = Fc \times VES \times DavO_2$

$VO_2/Fc = VES \downarrow \times DavO_2 \uparrow$

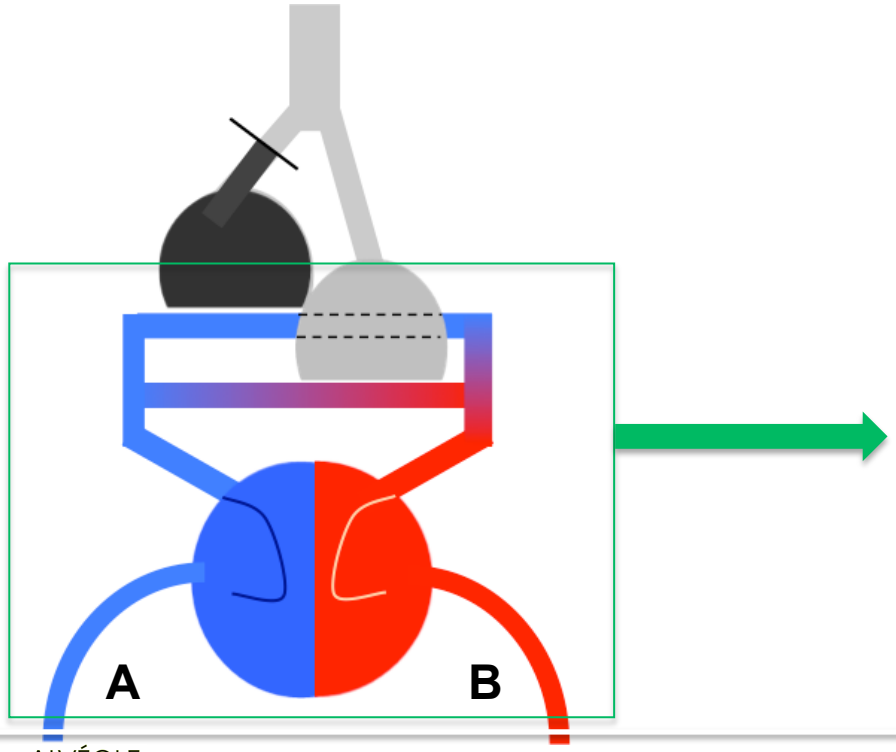
Applications de la mesure à l'effort

Estimation des shunts intra-thoraciques



Applications de la mesure à l'effort

Estimation des shunts intra-thoraciques



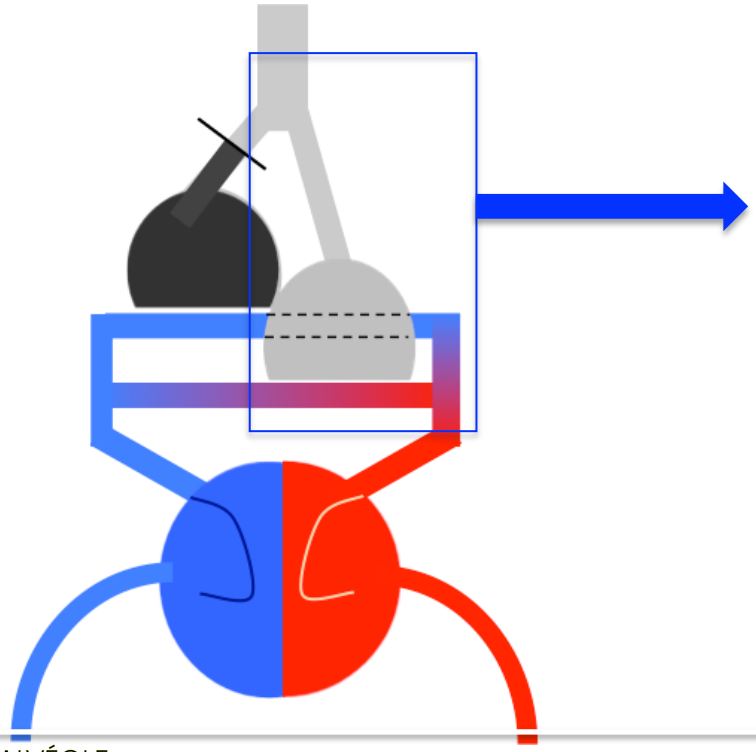
Mesure du débit par impédancemétrie (Q_{Imp})
La mesure est réalisée entre :

A – « Porte d'entrée » thoracique
Veine cave
B – « Porte de sortie » thoracique
Carotide

Tous les circuits vasculaires sont pris en compte

Applications de la mesure à l'effort

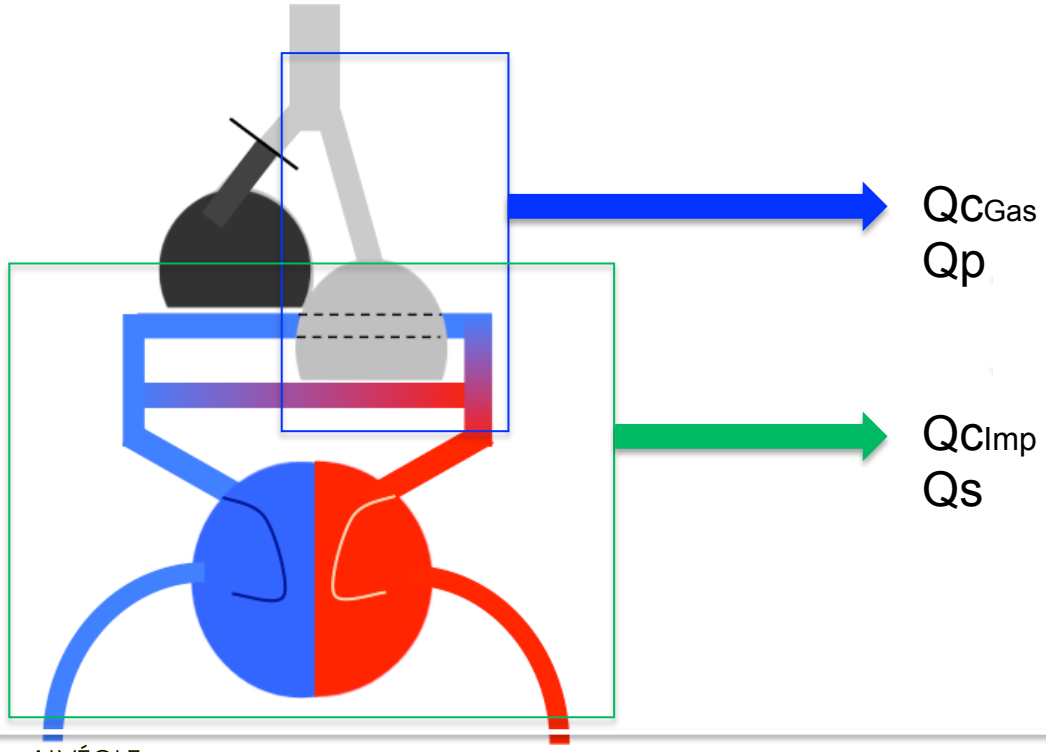
Estimation des shunts intra-thoraciques



Mesure du débit par technique gazeuse (Q_{Gaz})
La mesure ne prend en compte que le débit dans les alvéoles fonctionnelles

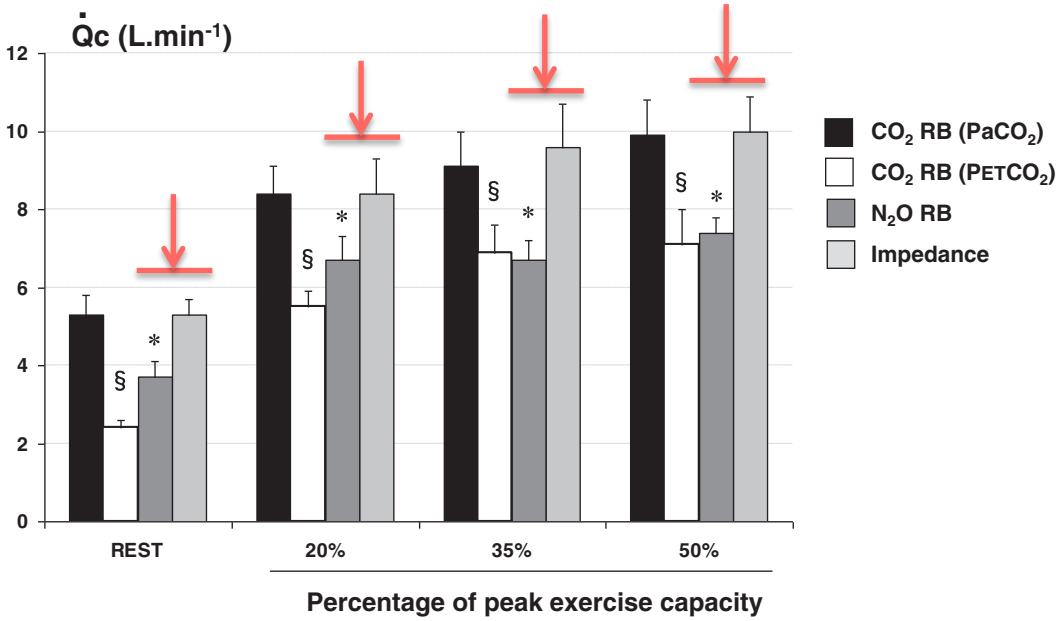
Applications de la mesure à l'effort

Estimation des shunts intra-thoraciques



Applications de la mesure à l'effort

Estimation des shunts intra-thoraciques

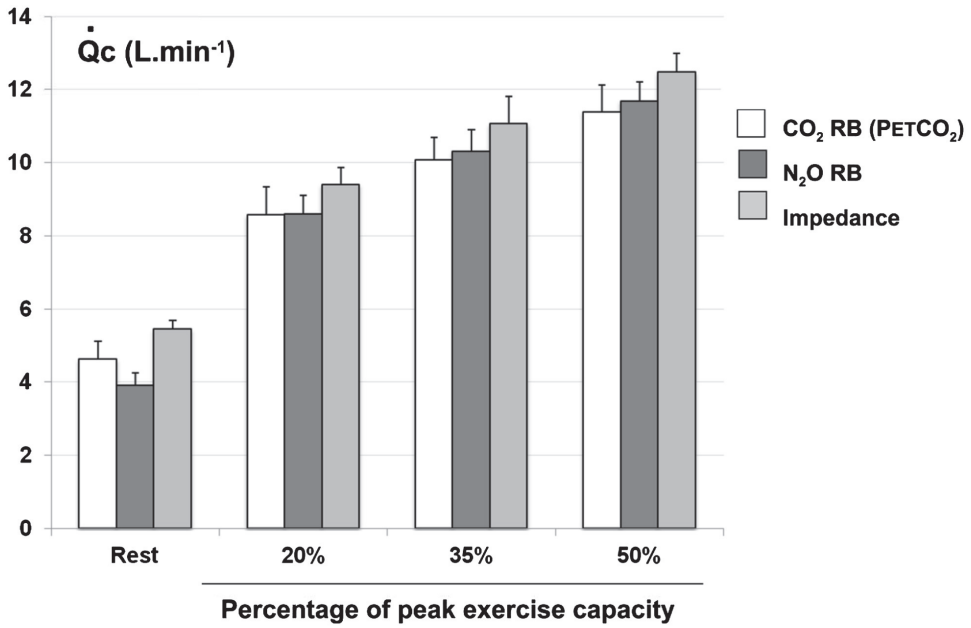


Perrault H et al. *COPD*. 2015

BPCO
Âge 66 ± 1 an
Valeurs repos
VEMS 58 ± 3 %(Théor)
DLCO 55 ± 4 %(Théor)
PaO_2 73 ± 3 mmHg

Applications de la mesure à l'effort

Estimation des shunts intra-thoraciques



Sujets contrôles
Sédentaires appariés

Perrault H et al. *COPD*. 2015

Conclusion

OUI il faut mesurer le Qc, dans le cadre de l'EFx et du diagnostic étiologique des limitations et des dyspnées.

MAIS il reste des progrès à faire au niveau des appareils pour mesurer le Qc

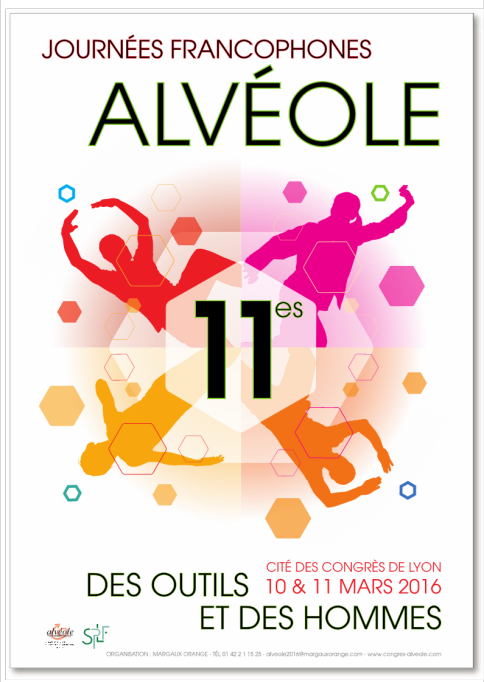
PLUS nous généraliserons son utilisation, PLUS ses indications seront précisées

POURQUOI ne pas prendre de l'avance sur les cardiologues…

Faculté de Médecine
UdA | Université d'Auvergne

CRNH
CENTRE DE RECHERCHE EN NUTRITION HUMAINE
AUVERGNE

La mesure du débit cardiaque à l'effort

Ruddy RICHARD

Centre de Recherche en Nutrition Humaine
CRNH Auvergne
ruddy.richard@udamail.fr
et
Service de Médecine du Sport et des Explorations Fonctionnelles
CHU G. Montpied, 58 rue Montalembert,
63003 Clermont-Ferrand Cedex 1
rrichard@chu-clermontferrand.fr