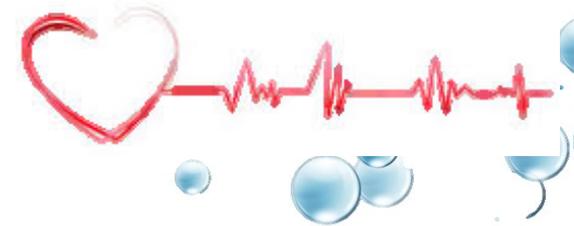


Explorations fonctionnelles en cardiologie congénitale et pédiatrique

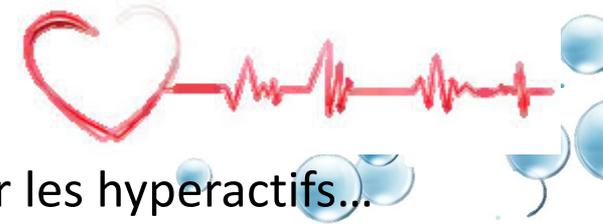
Dr Antoine Legendre
DU de Cardiologie Pédiatrique
Necker
2018-2019

Epreuve d'effort chez l'enfant

Particularité



Epreuve d'effort chez l'enfant

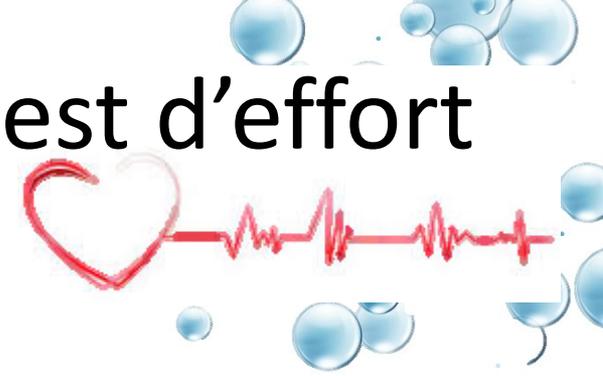


Avant:

- Détendre l'enfant (parfois un peu de musique), calmer les hyperactifs...
- Présence des parents : avantages et inconvénients... perso à priori sans les parents
- Demander le niveau d'activité physique
- Faire cracher les schwemgums
- Pour les tous petits en faire un jeu
- en faire un challenge, un plaisir, valoriser
- Pour les réfractaires : expliquer l'enjeu...
- Pour les plus jeunes : peu d'explication avant, on explique pendant
- Adapter la taille du pédalier, hauteur de selles, taille du brassard
- Si tapis : trop petit pour le velo (1m/20) ou ne sait pas pédaler (<5-6 ans parfois grand enfant !)

....

Particularités pratiques du test d'effort chez l'enfant



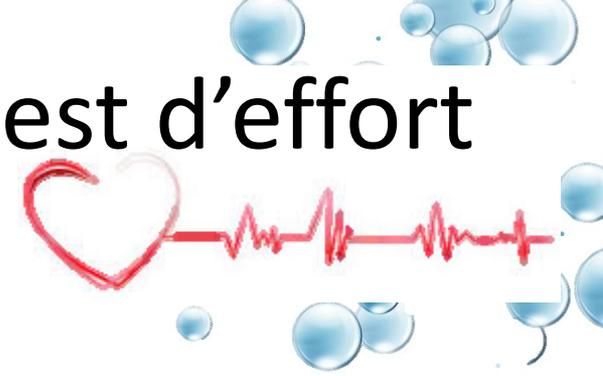
Pendant:

- Expliquer le pédalage avec rythme régulier : un vrai challenge
- Fréquence de pédalage élevé entre 70 et 90 tr/mn
- Coaching +++
- Bien valoriser
- Apprendre à respirer,
- Poser les questions sur les éventuels symptômes
- Essayer d'atteindre au moins 85 % de la FMT
- Rampe plutôt que paliers pour les moins de 10 ans
- Faut pas que ça dure trop < 8 mn
- Accélérer sur la fin ! Le sprint final après une mini pause éventuellement
- Tapis : De 4 km/h jusqu'à 8-9 km/h avec pente de 4 à 7 % sur 5-6 min

Après:

- Valoriser – féliciter.
- Médaille pour les tout petits!
- Puis la torture d'enlever les électrodes

Particularités pratiques du test d'effort chez l'enfant



Vélo

- à partir d'1m20 (7 ans) (2 selles)
- selon l'âge, le sexe et la pratique d'un sport scolaire et en club
 - Echauffement de 15 à 40 watt
 - Incrément de 5 à 20 watt/min
- Vitesse de pédalage : en général > 70 tr/min (< 90 tr/min)

Tapis roulant

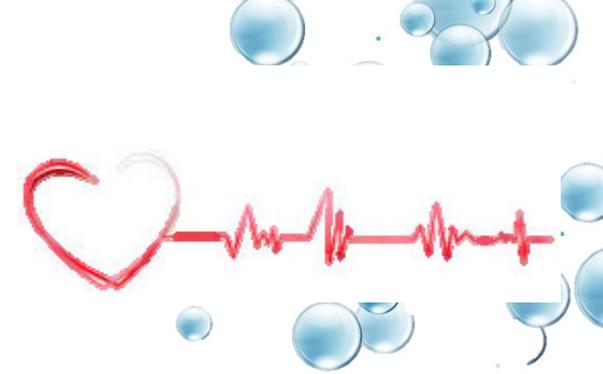
- en général (4 à 6-7 ans) (pas de VO_2 , ECG de mvse qualité)
De 4 km/h jusqu'à 8-9 km/h avec pente de 4 à 7 % sur 5-6 min

VO_2 max norme enfant : équation de Cooper Ped Research 1984

- Encouragement -valorisation-conseils sur la fréquence et la respiration.

ECG d'effort

Rythmologie



- ESV bénignes ou malignes
- Trouble de conduction supra-hissien ?
- Maladie sinusale : accélération à l'effort
- Pre-éxcitation maligne ou bénigne
- QT long : vrai QT long ? (6' de récup)
- Beta-blocage
- Pace maker
- ...

ECG d'effort



Enfant sans pathologie connue auparavant

A qui ?

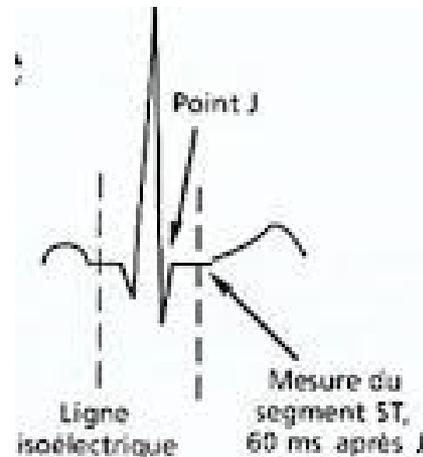
- Symptômes Interrogatoire de l'enfant peu fiable: dès qu'il y a notion d'effort au sens large au sens large : douleur thoracique, palpitation, malaise
- Dans cadre d'un bilan avec échocardiographie +/- Holter ECG
- Même si échocardiographie normale

Pour voir quoi ?

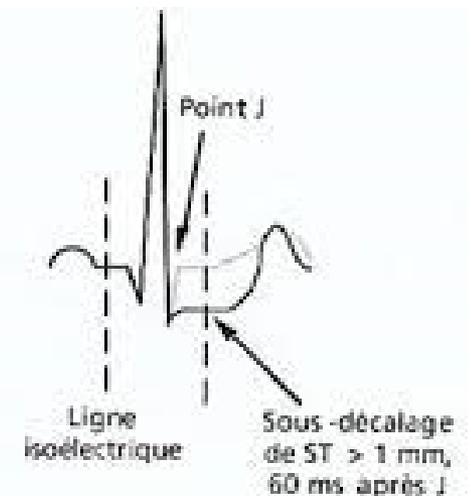
- Trouble du rythme à l'effort :
- ESV/salves d'effort
- ESA/salves d'effort
- Sous décalage de ST à l'effort
- Trouble de conduction à l'effort
- Intolérance à l'effort
- Profil TA
- QT long ? (recup 6 min)

Pour dépister quoi ?

- Anomalie de naissance de la coronaire
- Mycardiopathie débutante
- Trouble du rythme à l'effort
- TVC
- HTA



Tracé normal



Sous-décalage horizontal

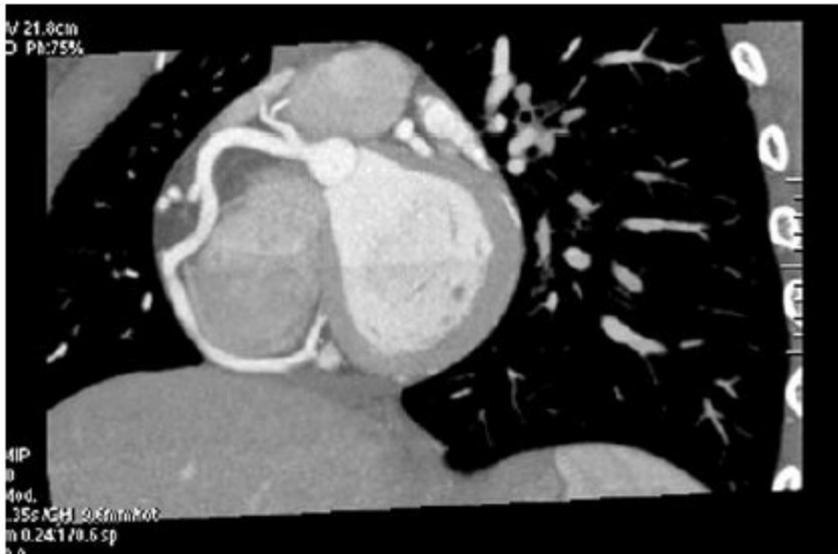
99,...% des cas : normale, ne sait pas respirer sensation de cœur qui bat fort, hyperventilation inadaptée...

ECG d'effort

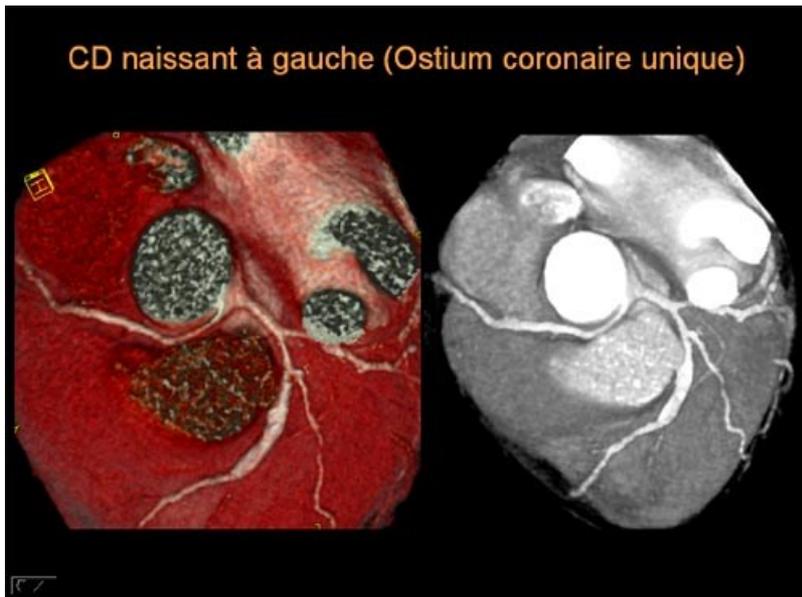
Dépistage – suspicion échographique



- Dépistage DVDA / QT long...
- Suspicion d'anomalie coronaire

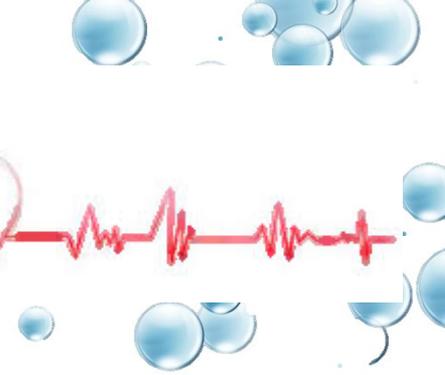


CD naissant à gauche (Ostium coronaire unique)



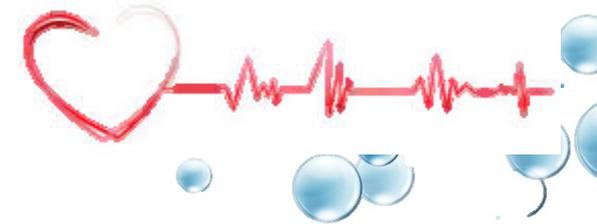
ECG d'effort

Anomalie de naissance

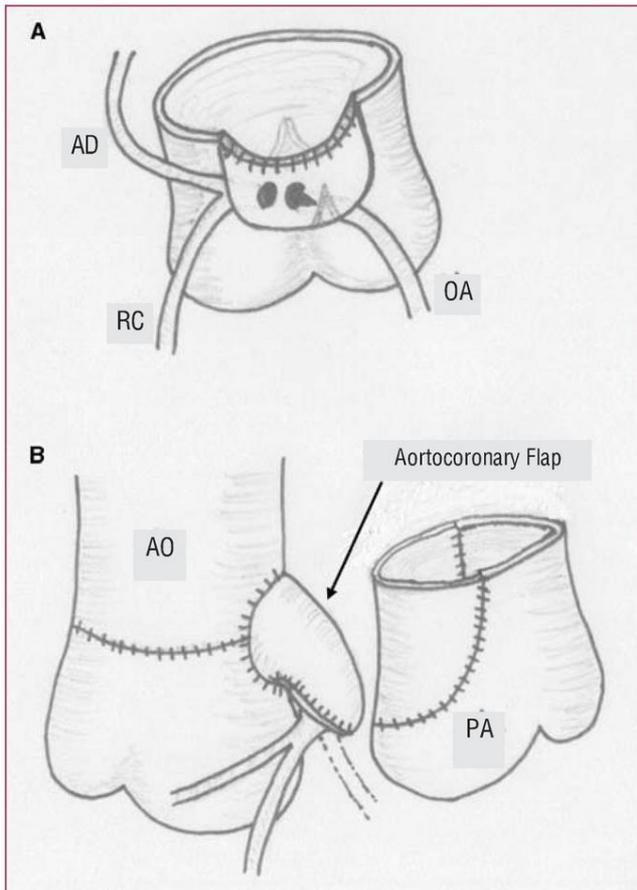


- Peu contributive pour dépister une anomalie de naissance
- Peu contributive pour décision de réparer
 - En général chirurgie systématique en cas de symptômes et/ou d'ischémie prouvée et/ou de trajet inter aortico pulmonaire de la coronaire gauche

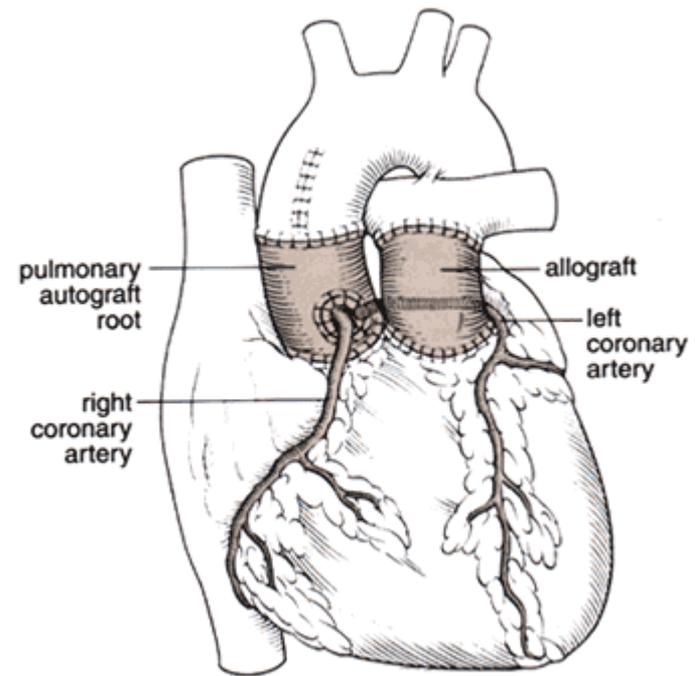
Séquelles coronaires



Réimplantation des coronaires : switch, ross, **ALCAPA...**



SWICH ARTERIEL



ROSS

Lesions post switch arteriel

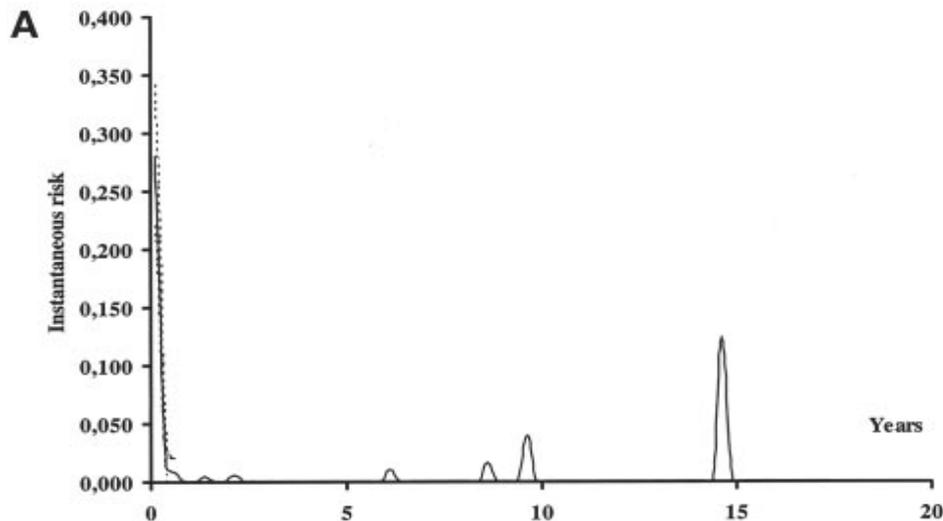
Recherche d'ischémie

Réimplantation des coronaires

	ECG	Echo	Exercise Test	Myocardial Scintigraphy
Sensitivity %	32	36	21	50
Specificity %	98	98	98	90
Positive predictive value %	54	53	43	38
Negative predictive value %	95	95	93	94

	ECG+ Echo	ECG+Echo+ MS	ECG+Echo+ ET	All Tests
Number of patients	324	115	174	85
Sensitivity %	41	75	43	73
Specificity %	96	81	93	74
Positive predictive value %	41	31	33	23
Negative predictive value %	96	97	95	95

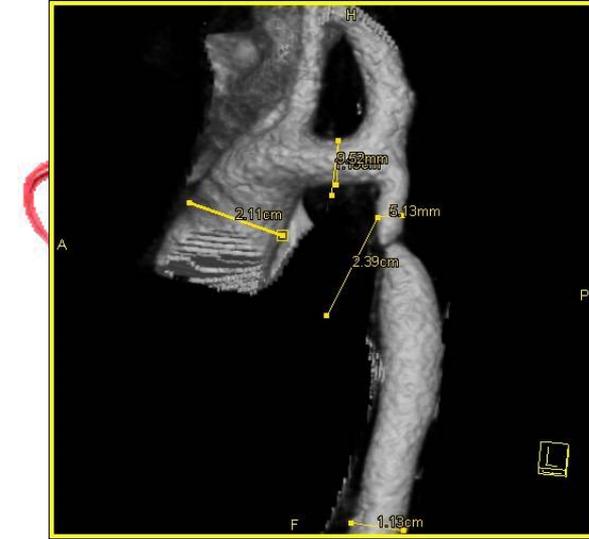
Evènements coronaires après switch artériel (détransposition des gros vsx)



Legendre Circulation 2003

Ou JTCS 20013,
Raimondi JACC imaging 2018

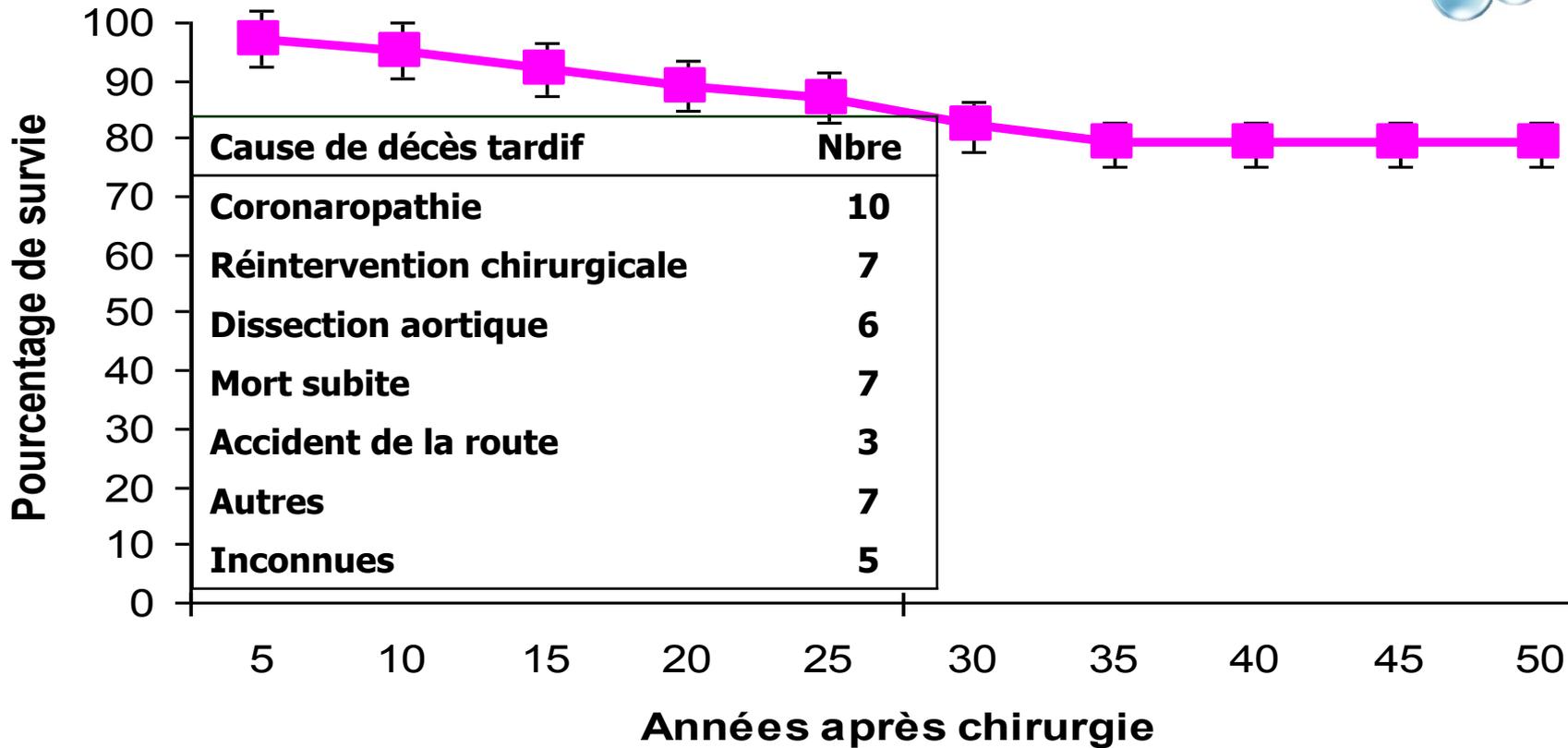
coarctation opérée



HTA

- Les patients opérés d'une coarctation sont plus de risque d'être hypertendus quelle que soit la qualité de la réparation
- Difficulté à définir l'HTA d'effort chez l'enfant
- Arche gothique : facteur de risque d'HTA d'effort ?
- HTA d'effort dépiste t-elle l'HTA ou prédit elle une HTA future ?

COURBE DE SURVIE APRES CU COARCTATION

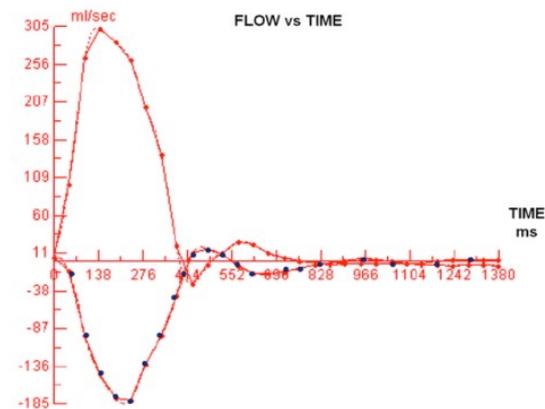
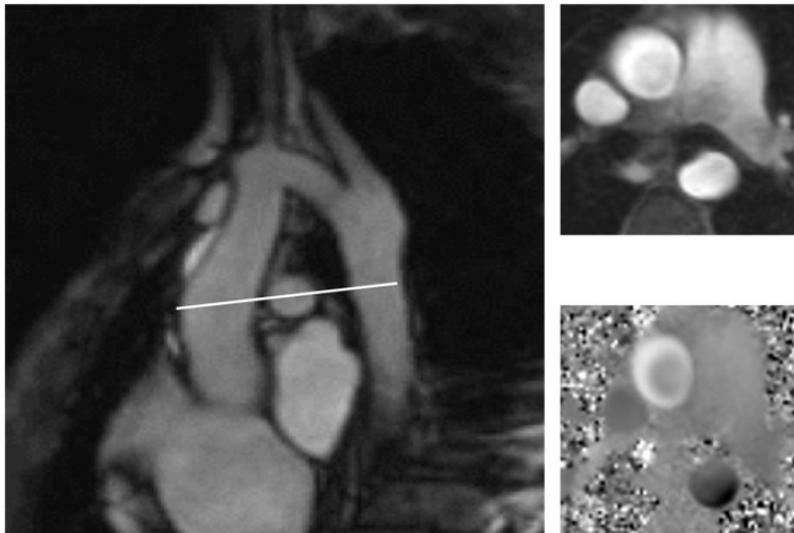


Coarctation opérée

- Arche gothique

Facteur de risque d'HTA d'effort et HTA (MAPA)

Ou JTCS 2006, Donavazzan World Journal for Pediatric and
Congenital Heart Surgery 2014,



Coarctation opérée

- HTA d'effort chez l'enfant et adulte jeune
 - James et al Circulation 1980
 - Sieira et al apunt med sport 2010
 - Becker Arq Bras Cardiol 2007

Table 1 - Systolic and diastolic arterial pressure (mmHg) at rest (R), maximal effort (Max), and 6 min after exertion (R6) by age bracket in male adolescents evaluated by exercise stress test from April /1998 to April/2004 – Recife/PE

Age Range (years)	Systolic blood pressure (SBP)			Diastolic blood pressure (DBP)		
	SBP R mean ± SD	SBP max mean ± SD	SBP R6 mean ± SD	DBP R mean ± SD	DBP max mean ± SD	DBP R6 mean ± SD
10 - 11	106.4 ± 6.6	126.1 ± 14.4	107.9 ± 8.8	65.3 ± 4.8	56.0 ± 10.9	61.9 ± 7.3
12 - 13	110.5 ± 10.9	133.9 ± 21.1	111.1 ± 11.0	67.3 ± 7.0	49.1 ± 17.6	60.8 ± 9.2
14 - 15	117.8 ± 9.4	154.2 ± 19.7	117.0 ± 12.6	72.8 ± 5.5	55.5 ± 17.0	63.0 ± 8.5
16 - 17	122.6 ± 9.7	162.2 ± 21.8	123.4 ± 11.3	74.6 ± 8.0	63.0 ± 16.3	65.4 ± 2.8
18 - 19	127.8 ± 4.4	174.4 ± 11.8	133.3 ± 10.9	78.9 ± 3.3	71.1 ± 10.8	70.6 ± 9.5
Total	114.6 ± 11.3	144.7 ± 24.6	115.5 ± 13.1	70.2 ± 7.5	56.4 ± 16.5	63.4 ± 10.0

Table 2 - Systolic and diastolic arterial pressure (mmHg) at rest (R), maximal effort (Max), and 6 min after exercise (R6) by age bracket of female adolescents evaluated by exercise stress tests from April /1998 to April/2004 – Recife/PE

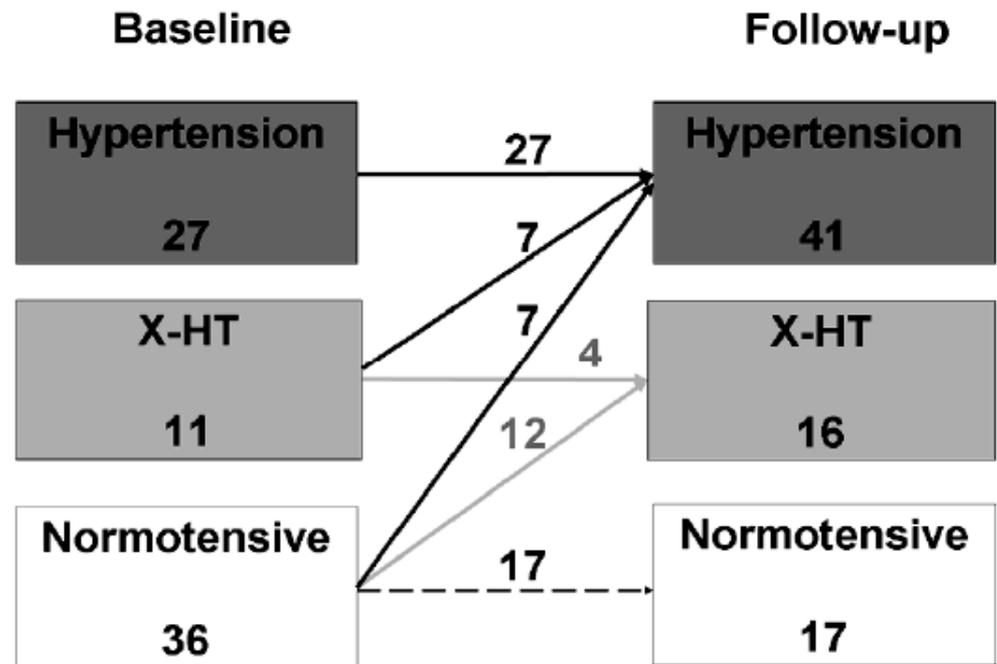
Age Range (years)	Systolic blood pressure (SBP)			Diastolic blood pressure (DBP)		
	SBP R mean ± SD	SBP max mean ± SD	SBP R6 mean ± SD	DBP R mean ± SD	DBP max mean ± SD	DBP R6 mean ± SD
10 - 11	105.3 ± 8.7	120.0 ± 18.5	101.5 ± 6.8	65.0 ± 6.9	47.9 ± 11.2	55.9 ± 7.6
12 - 13	107.1 ± 7.6	125.0 ± 15.4	105.8 ± 7.3	68.7 ± 6.1	57.5 ± 10.5	62.3 ± 6.3
14 - 15	111.4 ± 10.5	136.9 ± 15.4	111.1 ± 9.0	68.6 ± 6.1	63.3 ± 12.5	65.6 ± 8.4
16 - 17	114.2 ± 10.4	135.8 ± 10.2	108.3 ± 9.1	77.5 ± 5.4	66.3 ± 9.3	65.4 ± 8.7
18 - 19	112.8 ± 11.8	138.9 ± 11.9	112.2 ± 8.3	72.8 ± 9.4	62.8 ± 10.0	67.2 ± 8.7
Total	109.3 ± 9.9	129.6 ± 16.8	107.1 ± 8.7	69.6 ± 7.4	58.5 ± 12.2	62.7 ± 8.4

Coarctation opérée

- HTA d'effort : pathologie ou pre pathologie

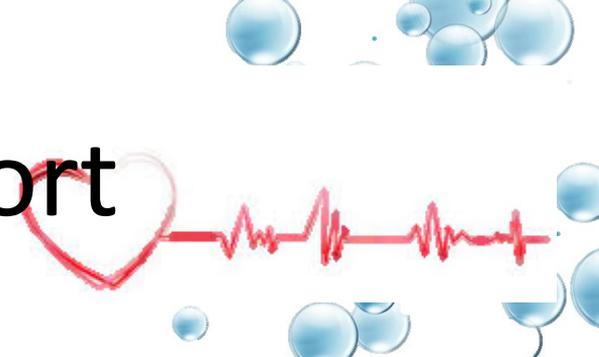
“Echocardiography demonstrated abnormalities suggestive of a chronic cardiac burden despite resting normotension.”

Maduene Cardiol Young 2013



Luijendijk Am J Cardiol 2011

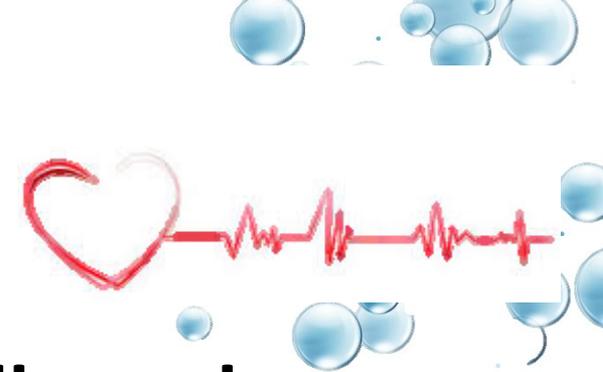
HTA d'effort et sport



- Profil TA normal : surveillance EE tous les 2 ans
- Profil TA anormal : MAPA 24 h,
 - Recoarctation ? → scanner, IRM, KT → dilatation ?
 - Traitement ? IEC, BB si anomalie fonction morpho cardiaque ?
 - Eviction des sport a forte composante statique, compétition
 - Répéter l'EE et les MAPA ?

ECG d'effort

Rao et CMH



- **Mauvaise adaptation tensionnelle : valeur pronostique**
 - RAO :
 - Excès de post charge : bas débit
 - Ischémie d'effort : bas débit +/- TDR
 - CMH
 - Trouble de la fonction diastolique / ischémie (TDR)
 - Mauvaise adaptation des RVS
- **Ischémie /TDR ventriculaire - auriculaire**

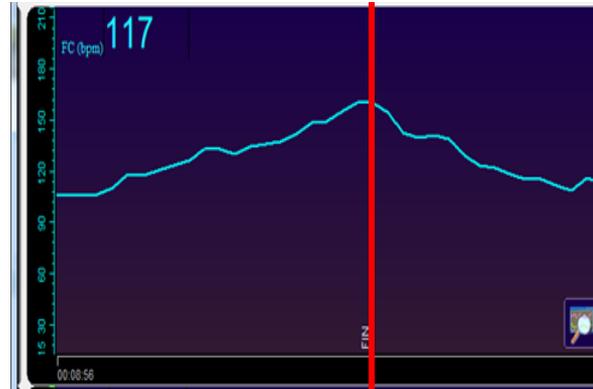
Aortic stenosis (14 y



Mean gradient 50 mmHg,
LVEF : 60%,
Moderate hypertrophy

Exercise
increase of BP
No ischemia

FC



Stroke volume



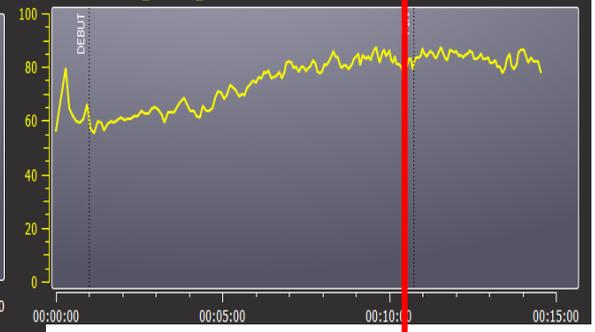
commisuroplasty

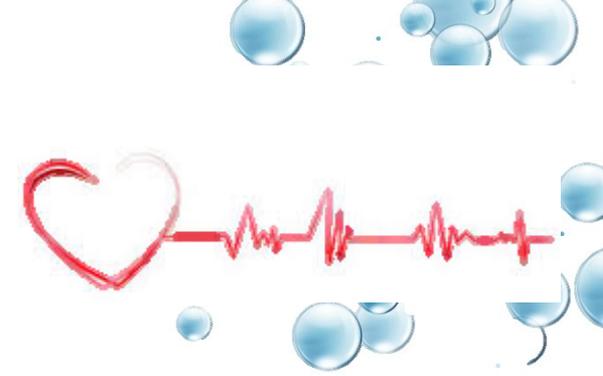
Mean gradient : 20
mmHg,

FC (bpm): 187



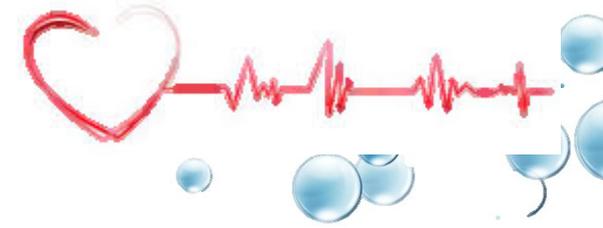
VES (ml): 79.2





Cardiopathies congénitales

Test d'effort avec mesure de la VO_2



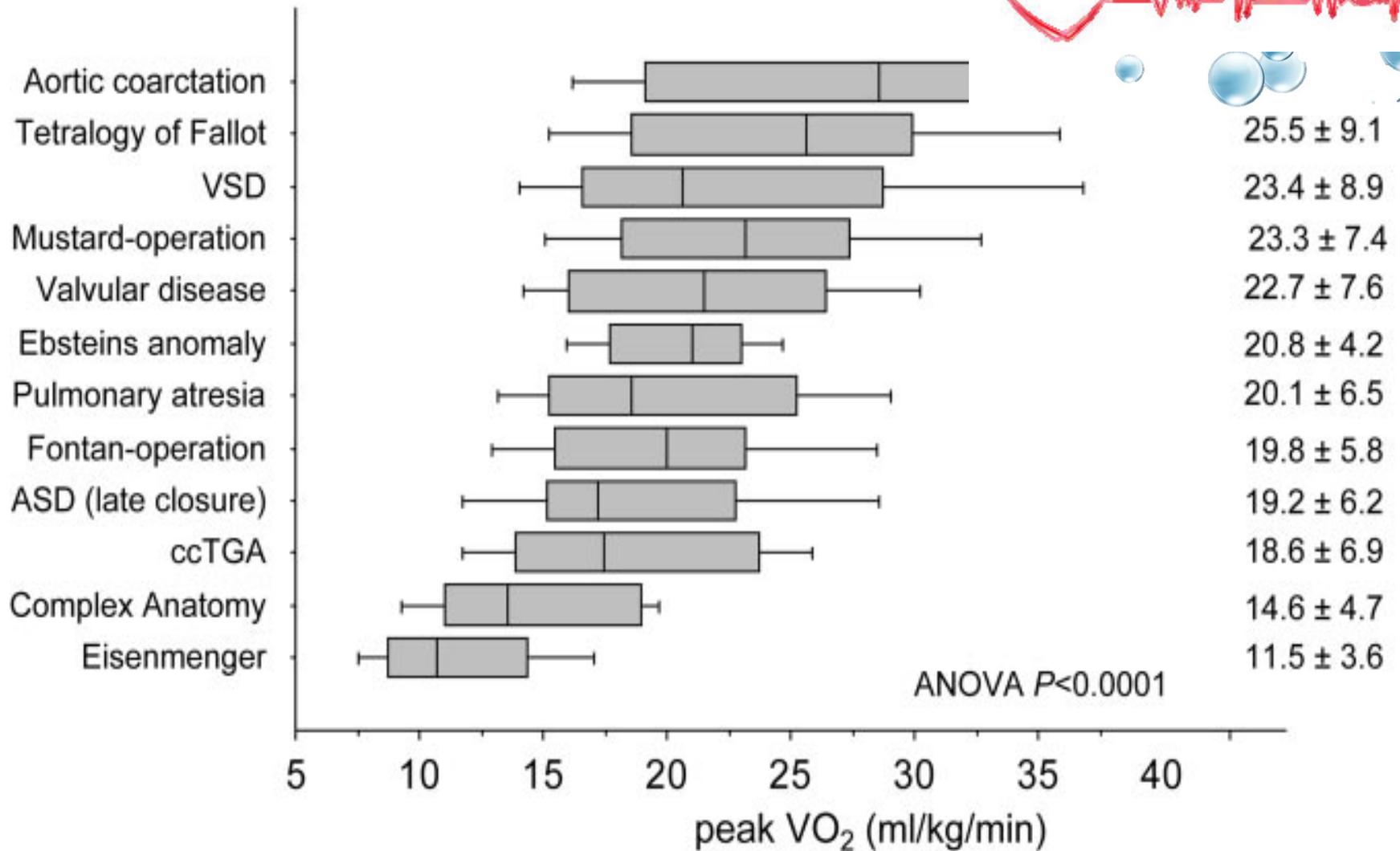
Test d'effort et cardiopathie congénitale en pratique



Risque pendant un CPET : 2500 : pas
d'événement grave (40) Tutarel 2013

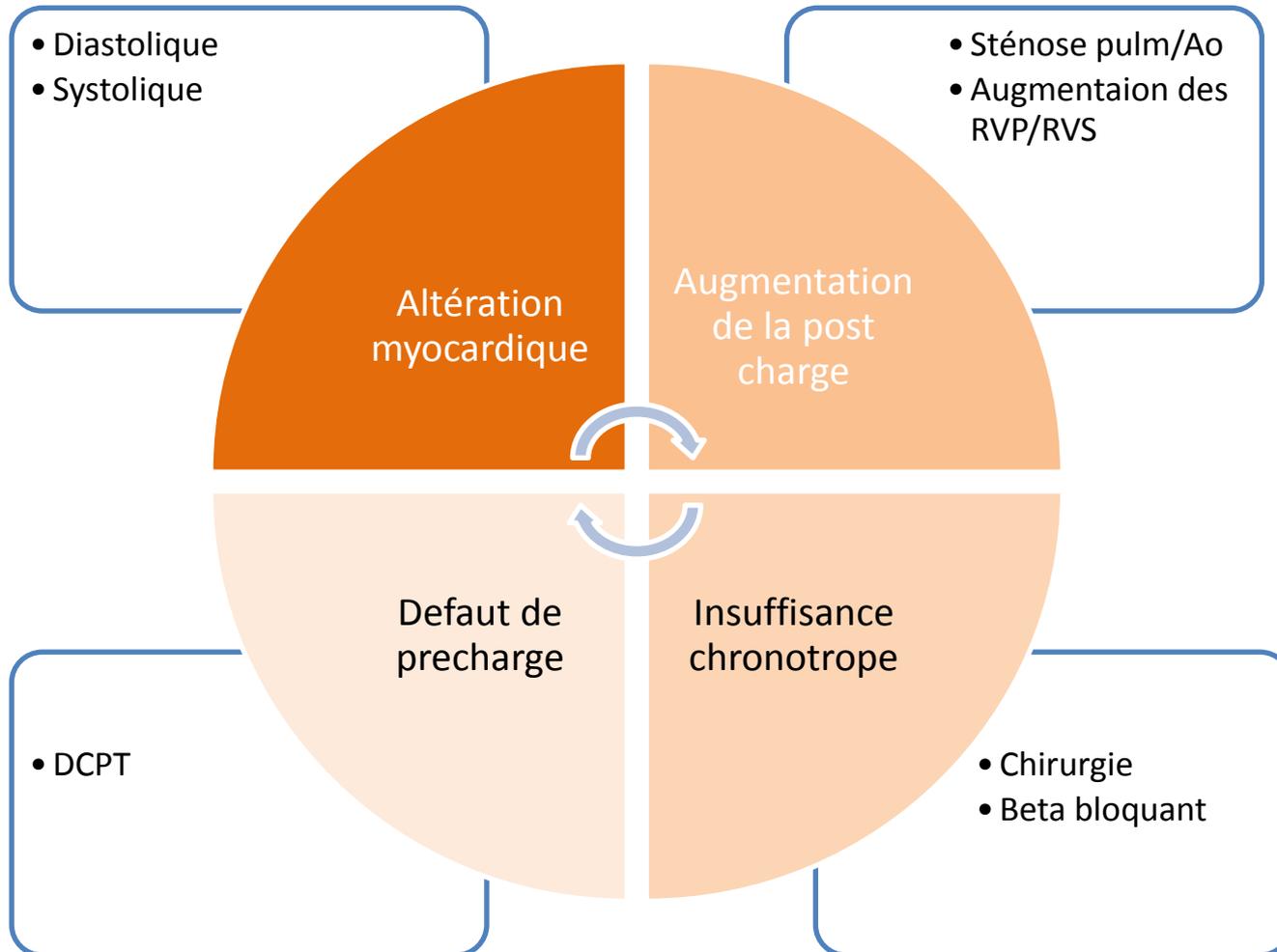
1375 CPET : arrêt pour arythmie dans 2,5
% des cas, ST elevation ,0,5% et
desaturation : 0,2 %) (41) (Inuzuka 2012)

VO2 max et CC



Cardiopathies congénitales et CPET

Limitation cardiaque/vasculaire



Cardiopathies congénitales et CPET



Shunt Droite – Gauche à l'effort

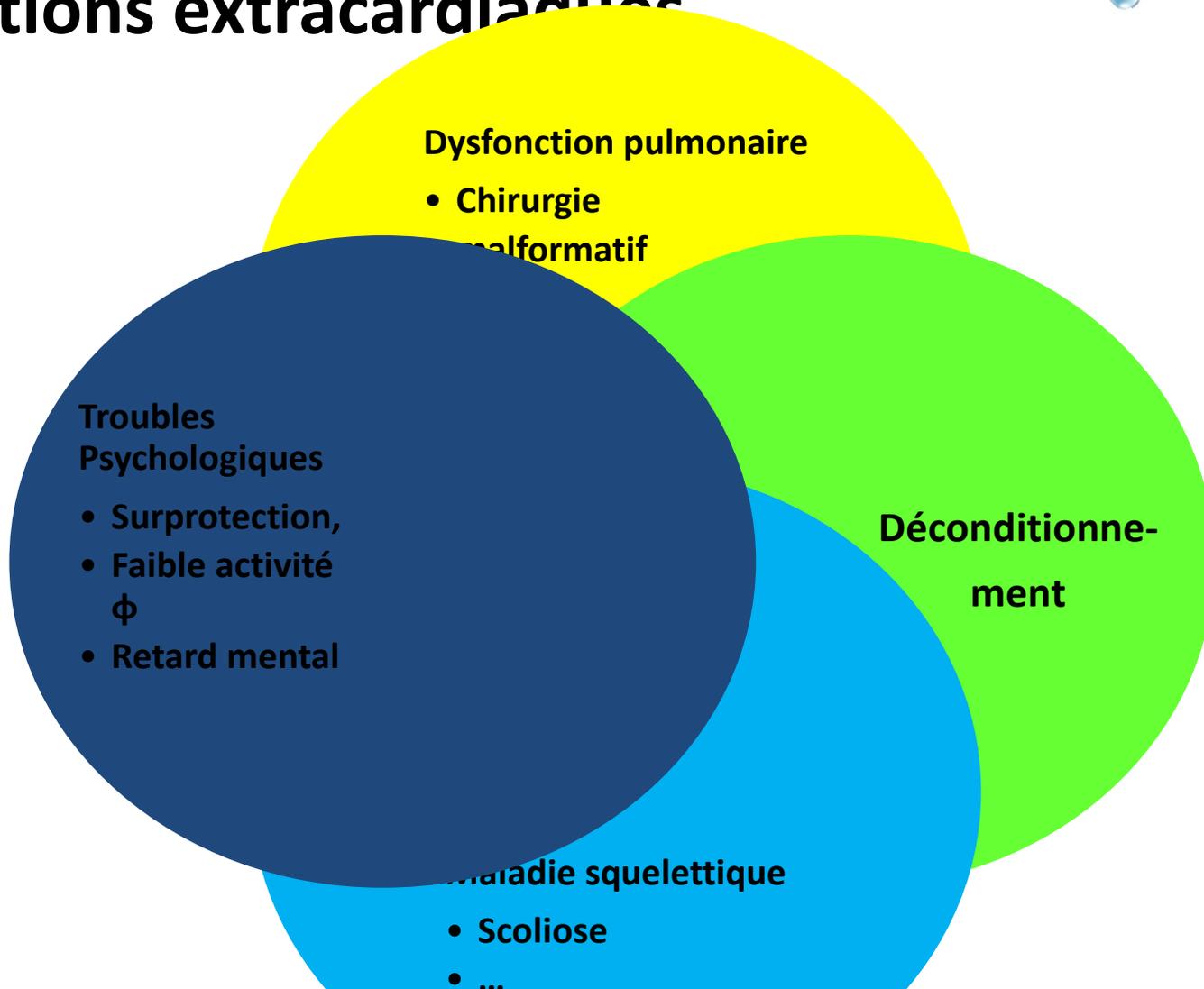
- Par CIA/PFO par défaut de compliance du VD
 - VD défaillant (Fallot),
 - VD restrictif (APSI, SVP...),
 - Ebstein...
- Cardiopathie à sang mélangé (VU...)
- Fontan fenestré ou fistule veino cadiaque
- (Pré) Eisenmenger : shunt + RVP élevée

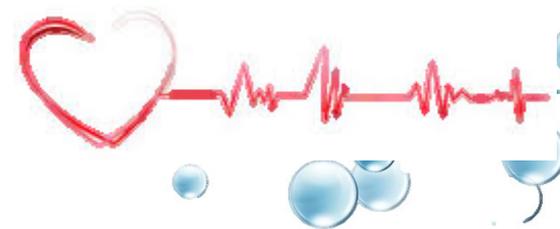
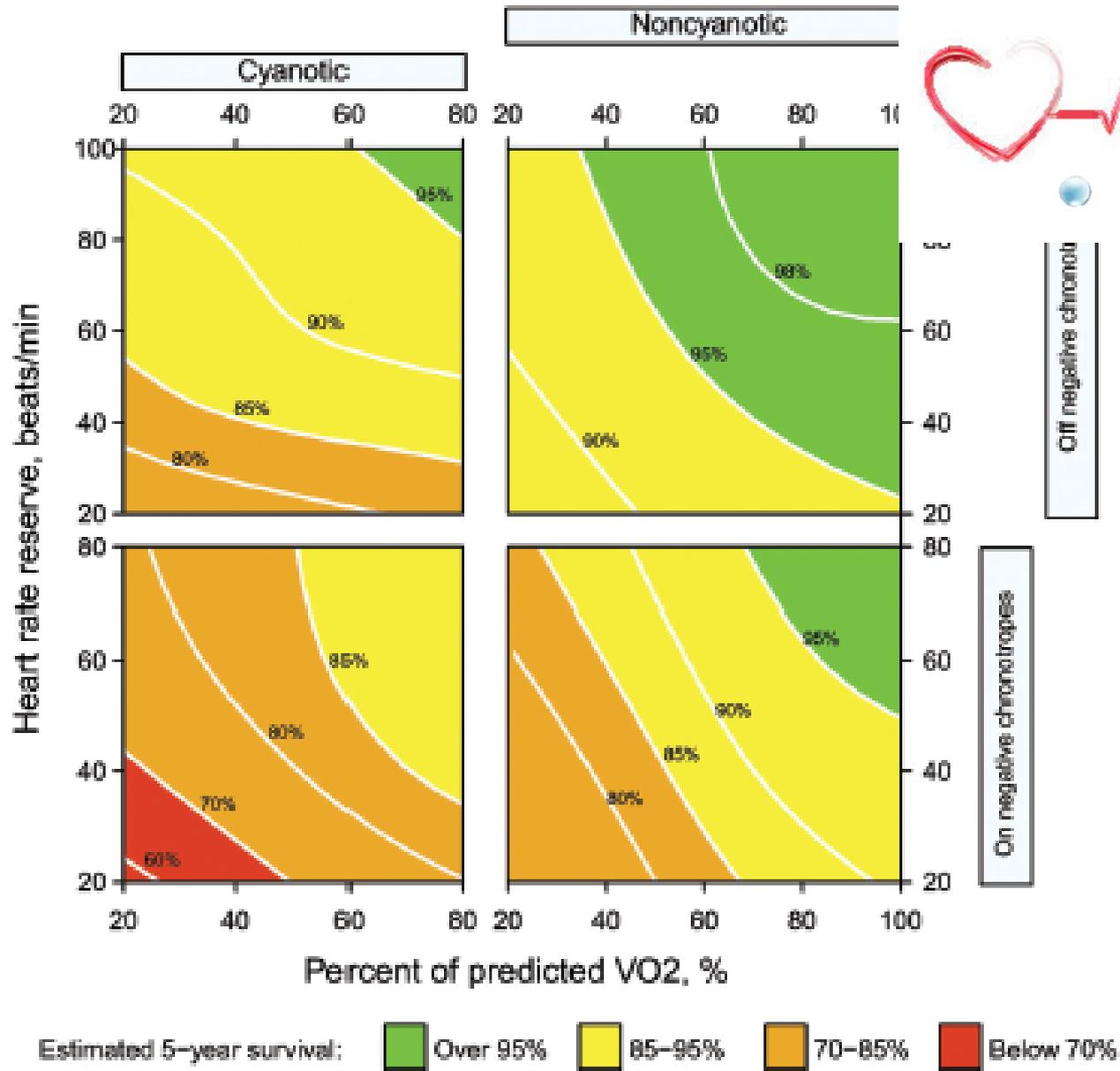
Hyperventilation : augmentation de VE/VCO₂

Altération de l'inotropisme

Cardiopathies congénitales et CPET

limitations extracardiaques





Off negative chronotropes

On negative chronotropes

Cardiopathies congénitales et CPET

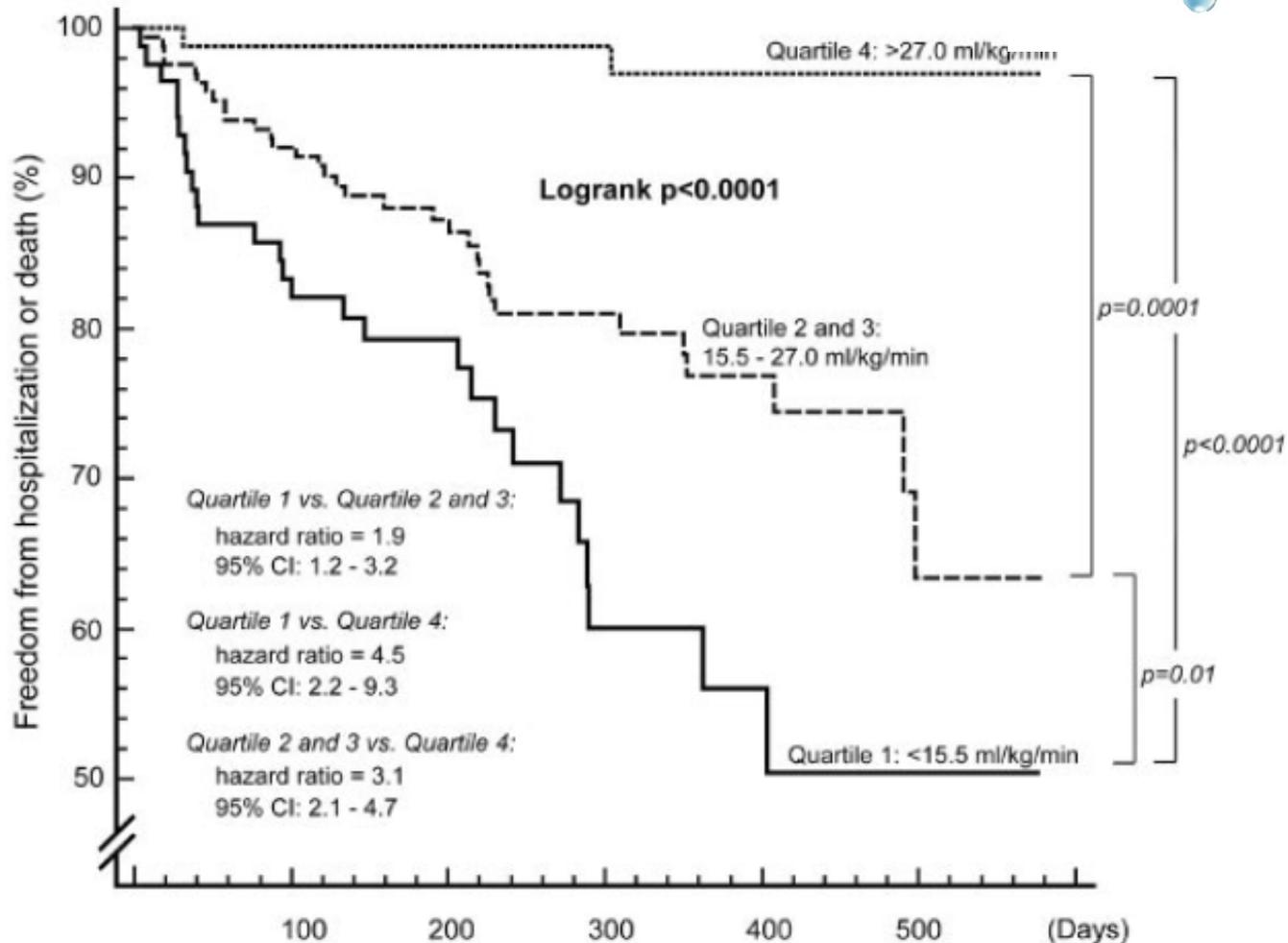


Facteur pronostic de mortalité

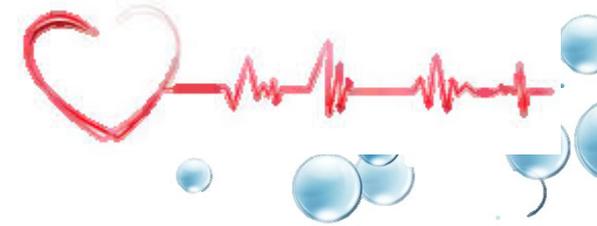
- Pic de VO₂ (< 64% th)
- Reserve de FC (> 71/min)
- Saturation de repos
- Baisse de la saturation à l'effort de plus de 5%
- Pente VE/VCO₂ (non cyanosé) (39)
- Seuil ventilatoire
- Âge

VO2 max et Cardiopathie congénitale

facteur pronostique



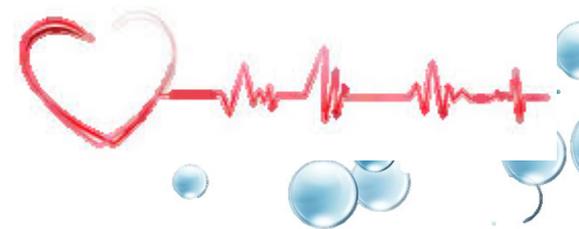
Guidelines 2018



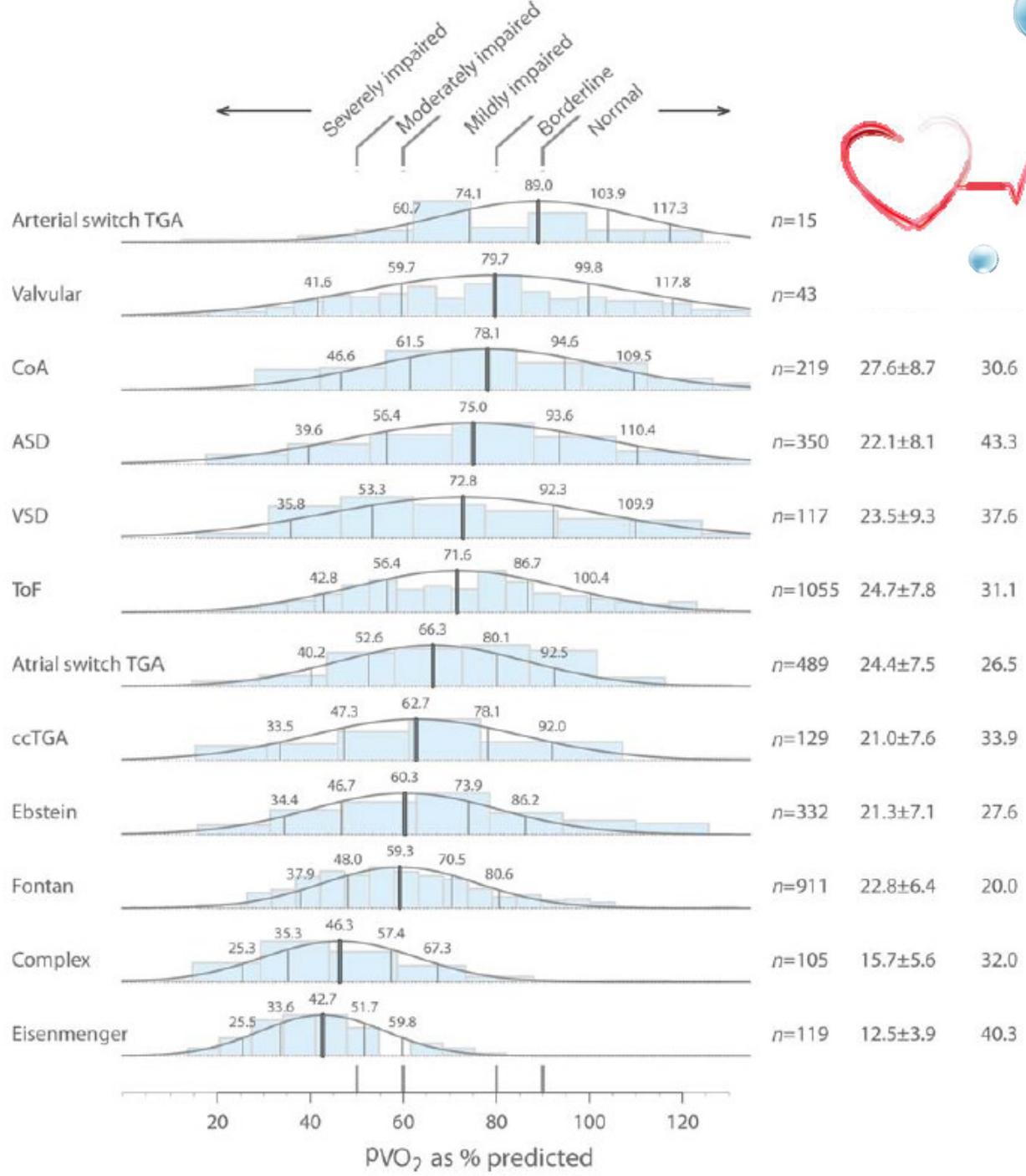
- AHA Guidelines 2018

Exercise capacity	<p>Patients with ACHD are often asymptomatic notwithstanding exercise limitations demonstrated as diminished exercise capacity when evaluated objectively (S2.2-12–S2.2-14). Thus, assessment of both subjective and objective exercise capacity is important (see NYHA classification system below). Exercise capacity is associated with prognosis (S2.2-15–S2.2-17).</p> <ul style="list-style-type: none">• Abnormal objective cardiac limitation to exercise is defined as an exercise maximum ventilatory equivalent of oxygen below the range expected for the specific CHD anatomic diagnosis (S2.2-18).• Expected norms for CPET values should take into account age, sex, and underlying congenital diagnosis. Published studies with institution-specific norms can be used as guides, bearing in mind variability among institutional norms and ranges.
--------------------------	--

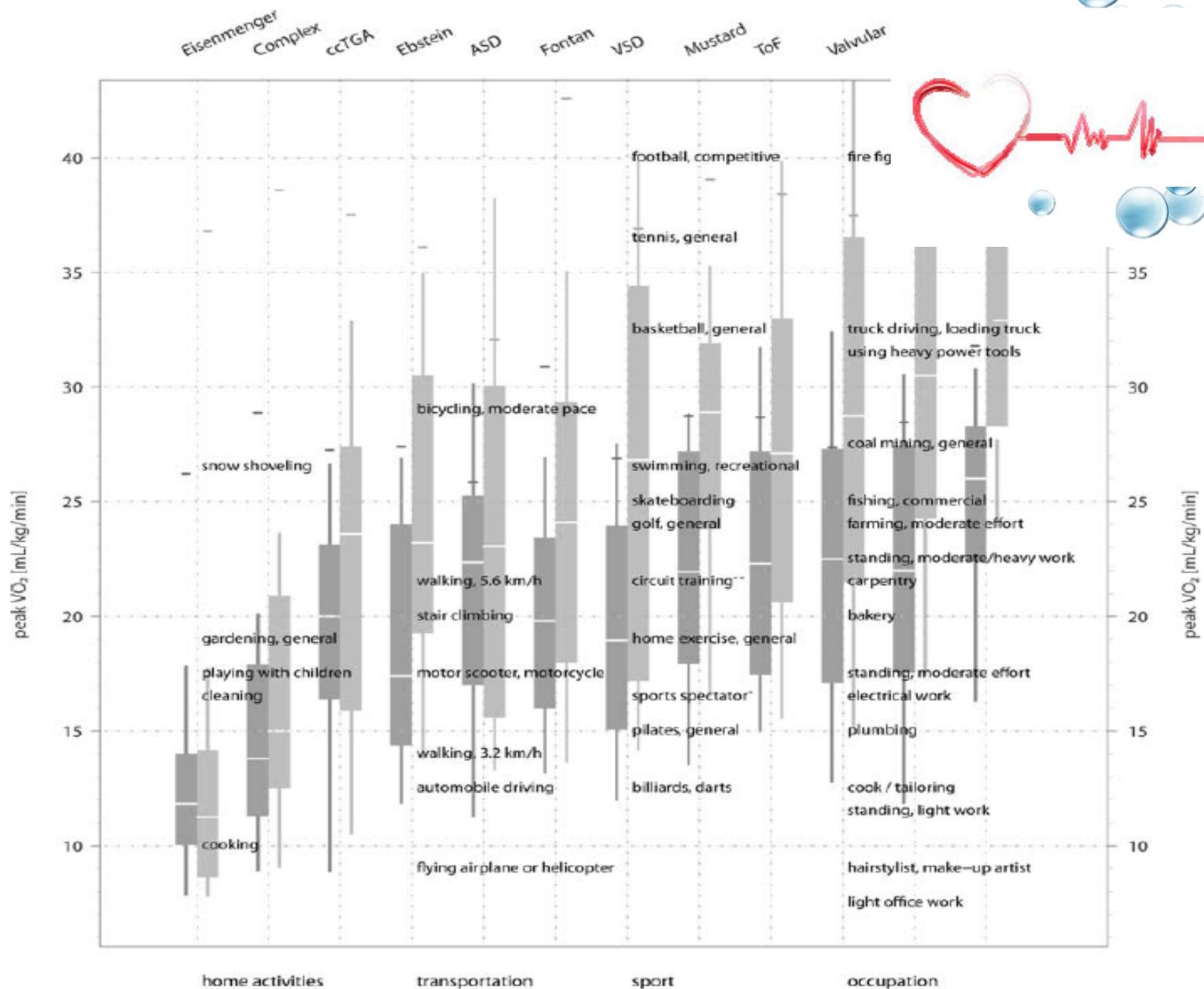
(Stout circulation 2018)



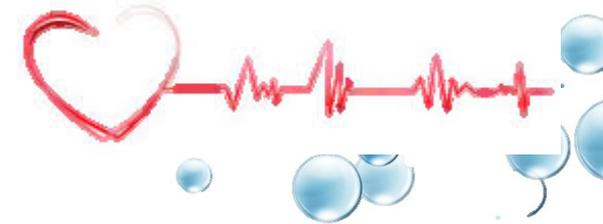
Kempny
EHJ 2012



← Severely impaired Moderately impaired Mildly impaired Borderline Normal →

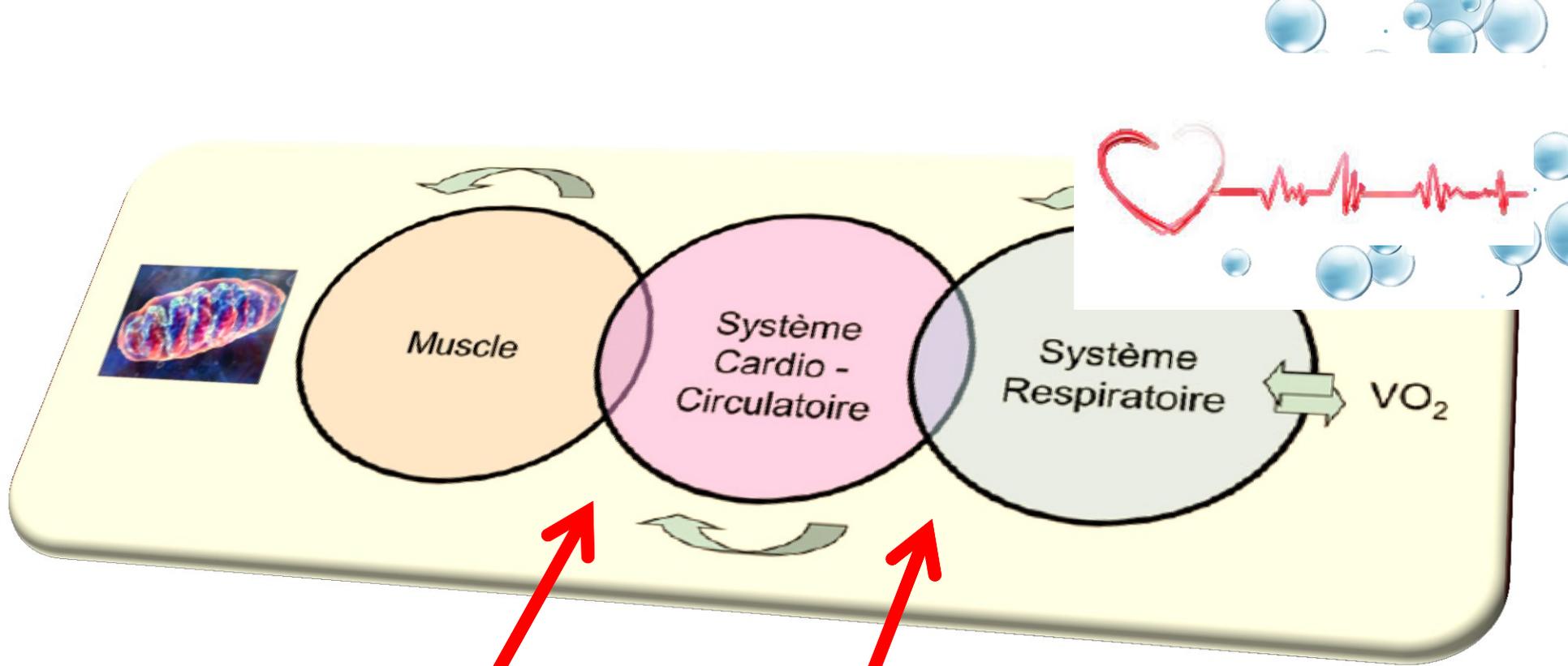


Mais !!



- Quel est l'intérêt de cantonner des patients avec une certaine cardiopathie à normalité une VO2 max spécifique? Alors même que:
 - Les lésions sont extrêmement variables d'un pt à l'autre au sein d'un même groupe
 - Les indications de traitement/prise en charge de ces patients/ lésions résiduelles doivent/sont sans cesse améliorée... pour augmenter la VO2 ?
 - Les patients connus pour être sédentaires

Mieux vaut affiner les outils de détections des facteurs limitants de la VO2



$$VO_2 = Q \times (CaO_2 - CvO_2)$$

$$VO_2 = V_I \times 0,2093 - V_E \times FEO_2$$

FICK

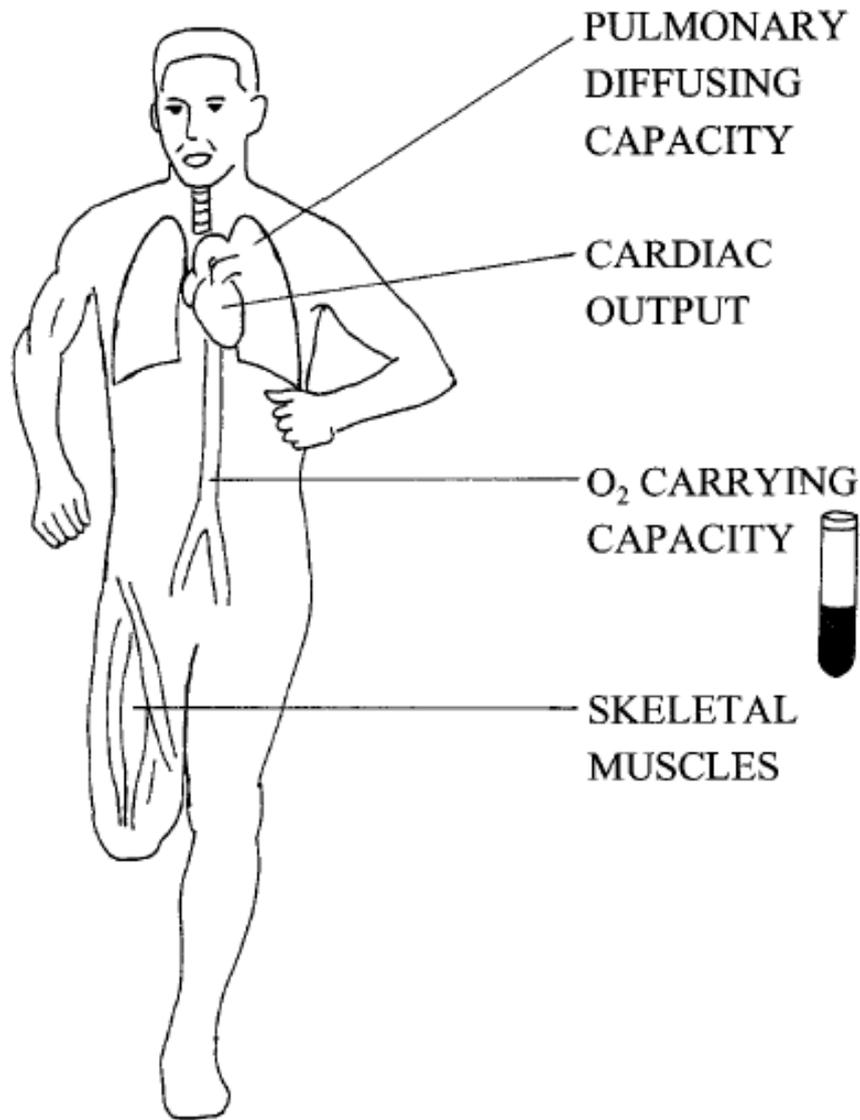


Figure 4—Physiological factors that potentially limit maximum oxygen uptake ($\dot{V}O_{2\max}$) in the exercising human.

- VENTILATION
- DIFFUSION ALV-CAP de l'O₂

- DEBIT CARDIAQUE
- Capacité de transport de l'O₂ : $Q \times CaO_2$ (Hb, saturation...)
- « Capillarisation » musculaire

- Type de fibre musculaire
- Activité des enzymes oxydatives

Interprétation du test cardiopulmonaire

Identifier les limites



- Cardiocirculatoires et/ou musculaires périphériques

Insuffisance chronotrope

$$\begin{aligned} \text{VO}_2 &= \text{débit cardiaque} \times \text{extraction périphérique d'O}_2 \\ &= \text{Volume d'éjection systolique} \times \text{FC} \times (\text{CaO}_2 - \text{CvO}_2) \end{aligned}$$

Inadaptation du VES

$$\text{Diminution du pouls d'oxygène} = \text{VO}_2 / \text{FC}$$

$$\begin{aligned} \text{VO}_2 &= \text{débit cardiaque} \times \text{extraction périphérique d'O}_2 \\ &= \text{Volume d'éjection systolique} \times \text{FC} \times (\text{CaO}_2 - \text{CvO}_2) \\ \text{VO}_2 / \text{FC} &= \text{vol d'éjection syst} \times (\text{CaO}_2 - \text{CvO}_2) \end{aligned}$$



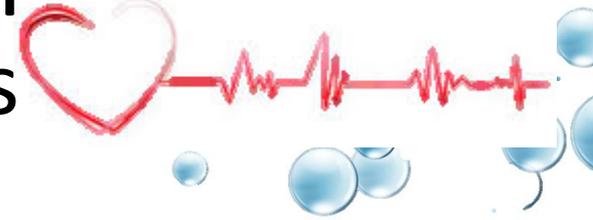
Limitation cardiaque



Limitation extraction periph

Interprétation du test cardiopulmonaire

Identifier les limites



- **Ventilatoires**

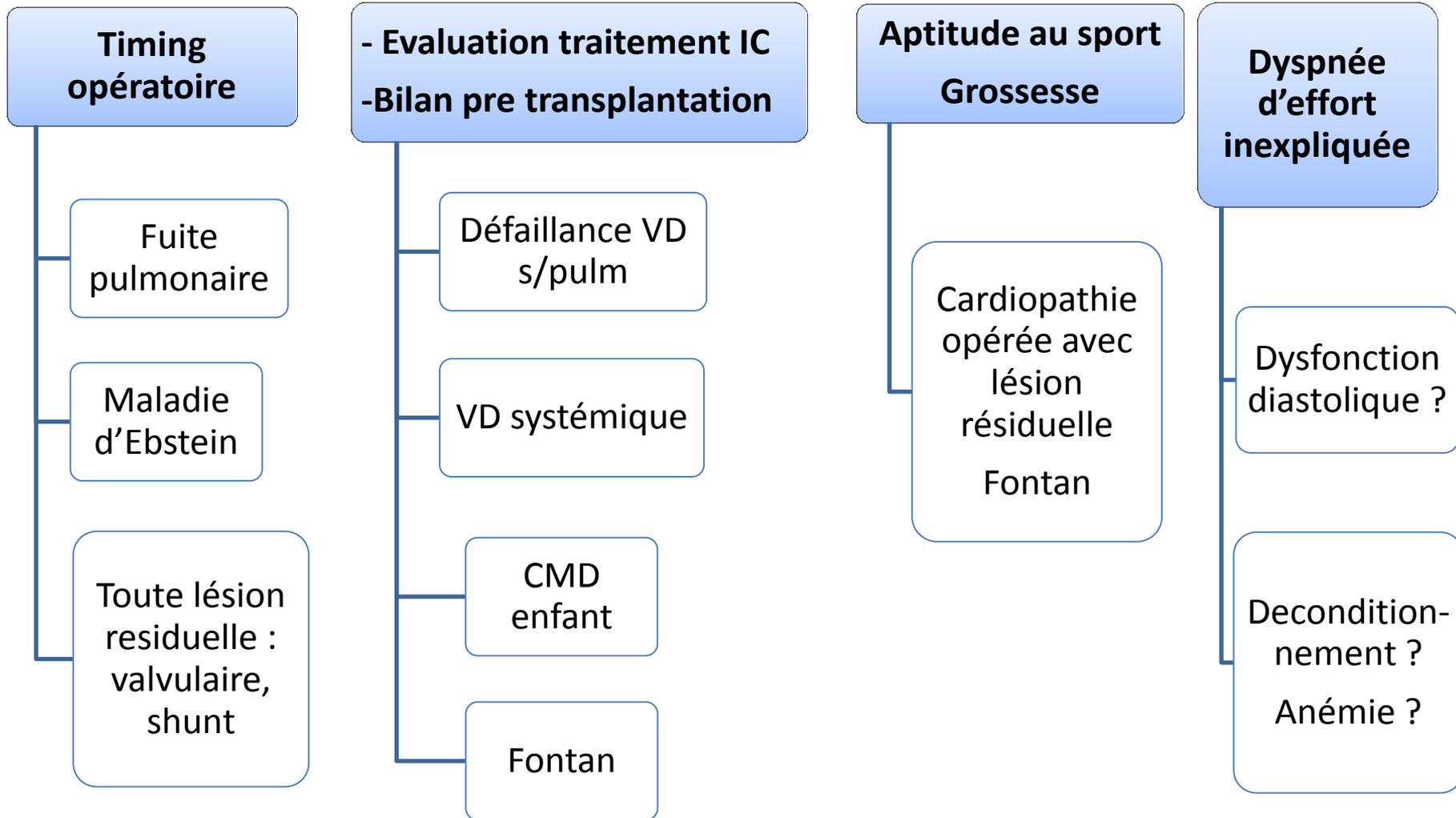
Épuisement de la réserve ventilatoire $(VMV - VE_{max}/VMV) \times 100$
avec $VMV = 35$ (ou 40) \times VE_{MS}
normalement $30 \pm 15\%$

- **Deconditionnement musculaire peripherique**

Seuil ventilatoire abasissé (% th)

Cardiopathie congénitale et CPET

Indications



Grossesse : prédiction du risque

Predictors of cardiovascular events

CARPREG

	Points	Total points	Risk %
• Prior arrhythmias or cardiac event	1	0	5
• NYHA functional class > II or cyanosis	1	1	27
• Left heart obstruction	1	>1	75
• Systemic ventricular dysfunction (EF < 40%)	1		

Siu 2001

ZAHARA I

	Points	Total points	Risk %
• Prior arrhythmias	1.5	0	2.9
• NYHA functional class > II	0.75	0.5 - 1.5	7.5
• Left heart obstruction	2.5	1.51 - 2.50	17.5
• Cardiac medication before pregnancy	1.5	2.51 - 3.50	43.1
• Systemic AV valve regurgitation	0.75	> 3.51	70.0
• Pulmonary AV valve regurgitation	0.75		
• Mechanical valve prosthesis	4.5		
• Cyanotic heart disease	1.0		

Drenthen 2010

Khairy et al.

- Severe pulmonary regurgitation or subpulmonary ventricular dysfunction
- Smoking history

Khairy 2006

Table 1 Preconception evaluation in any women with valvular heart disease planning a pregnancy or assessment in early pregnancy

Careful history, family history, and physical examination, including screening for connective tissue disorders

12-lead electrocardiogram

Echocardiogram including assessment of left- and right-ventricular and valve function

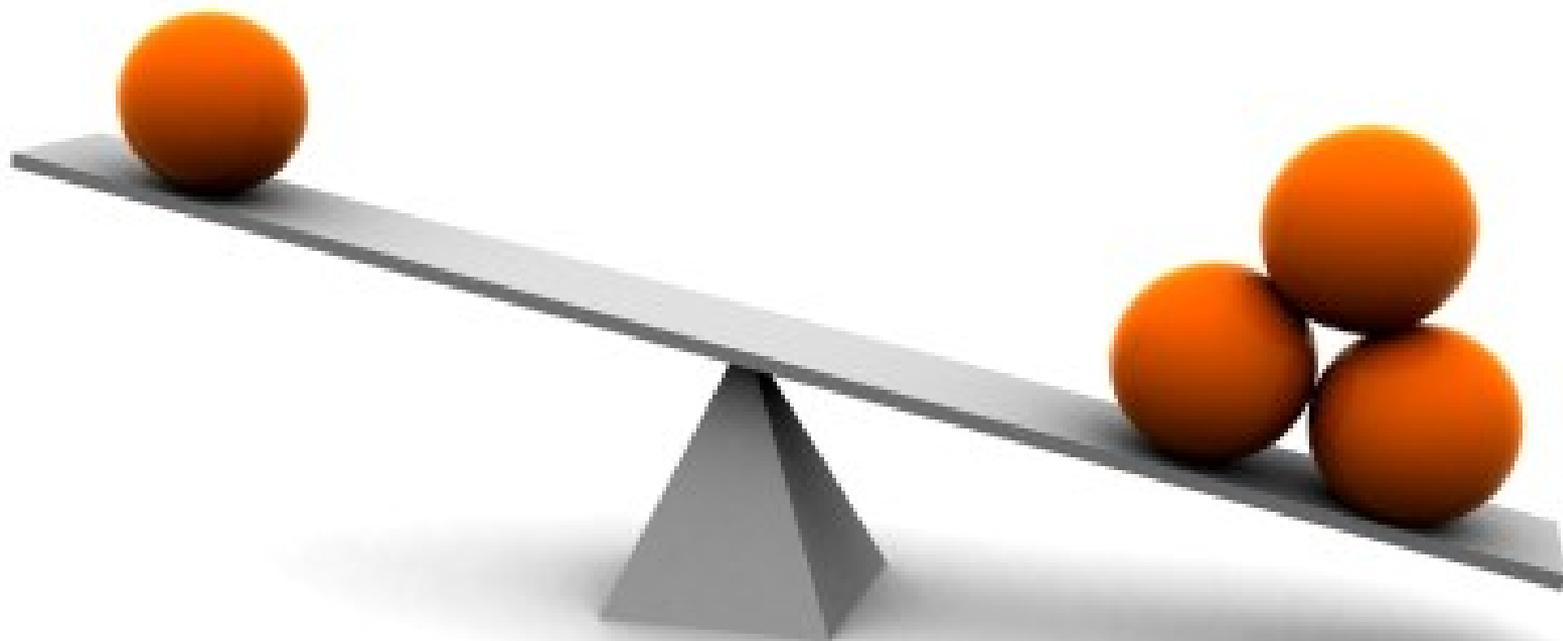
Exercise test to be considered for objective assessment of functional classification

Careful counselling including maternal risks for complications and mortality, information on choices of therapy (heparin vs. Vitamin K), risk of miscarriage, risk of early delivery, and small for gestational age and, when applicable, risk of foetal congenital defect (inheritance risk)

- CPX parameters predict pregnancy outcome
 - peak HR \geq 150 beats/min and/or peak VO₂ \geq 25 ml/kg/min may be reference value(s) for a safer pregnancy outcome in WCHD. (Ohuchi 2013)

**Risque de mort
subite à l'effort**

**Benefice de la
pratique régulière du
sport**



**Prescription personnalisée
de l'activité sportive**

European Journal of Preventive Cardiology

<http://cpr.sagepub.com/>

Recommendations for physical activity, recreation sport, and exercise training in paediatric patients with congenital heart disease: a report from the Exercise, Basic & Translational Research Section of the European Association of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation, the European Congenital Heart and Lung Exercise Group, and the Association for European Paediatric Cardiology

T Takken, A Giardini, T Reybrouck, M Gewillig, HH Hövels-Gürich, PE Longmuir, BW McCrindle, SM Paridon and A Hager

European Journal of Preventive Cardiology 2012 19: 1034 originally published online 22 August 2011
DOI: 10.1177/1741826711420000

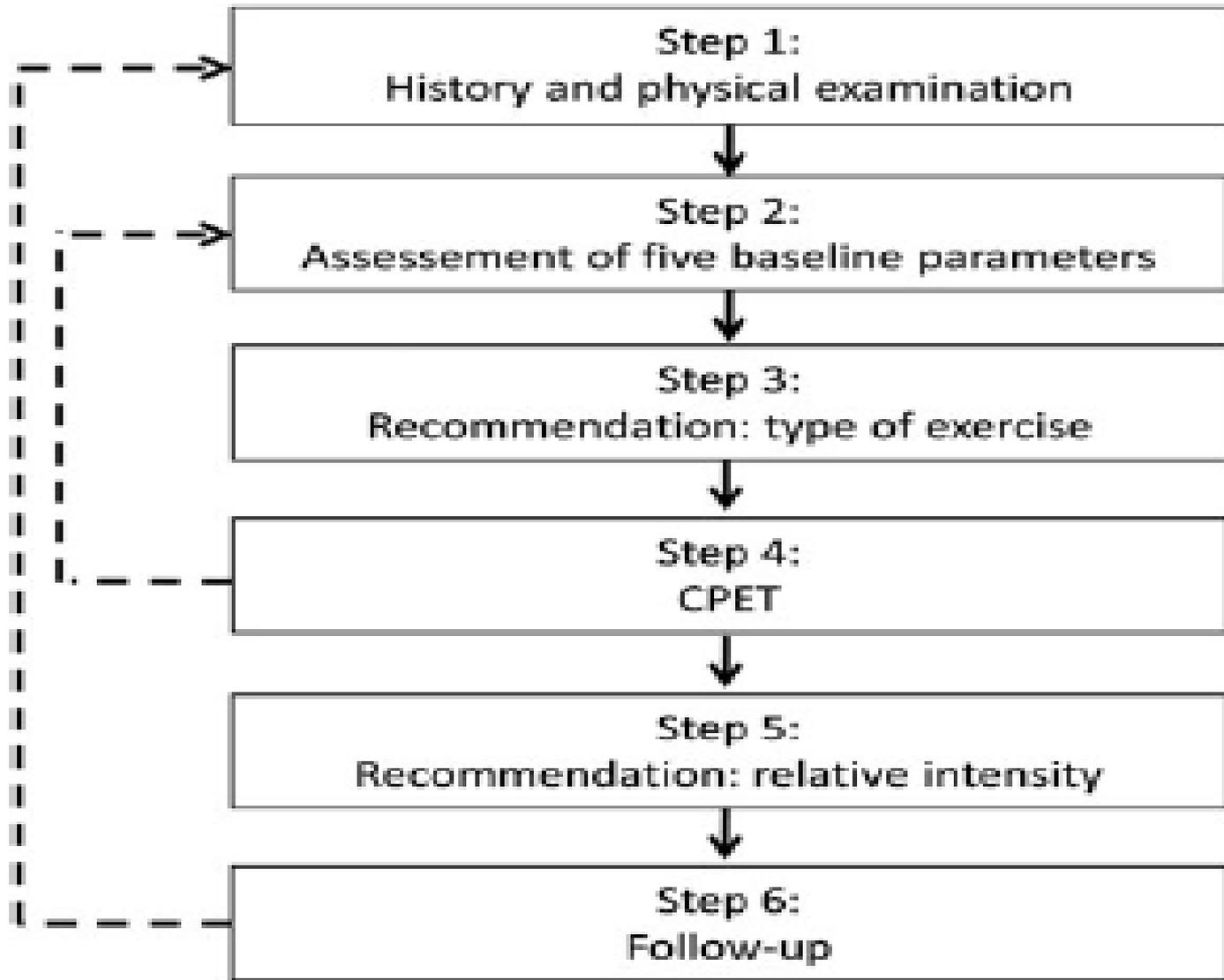
The online version of this article can be found at:
<http://cpr.sagepub.com/content/19/5/1034>

Recommendations for Exercise and Sports

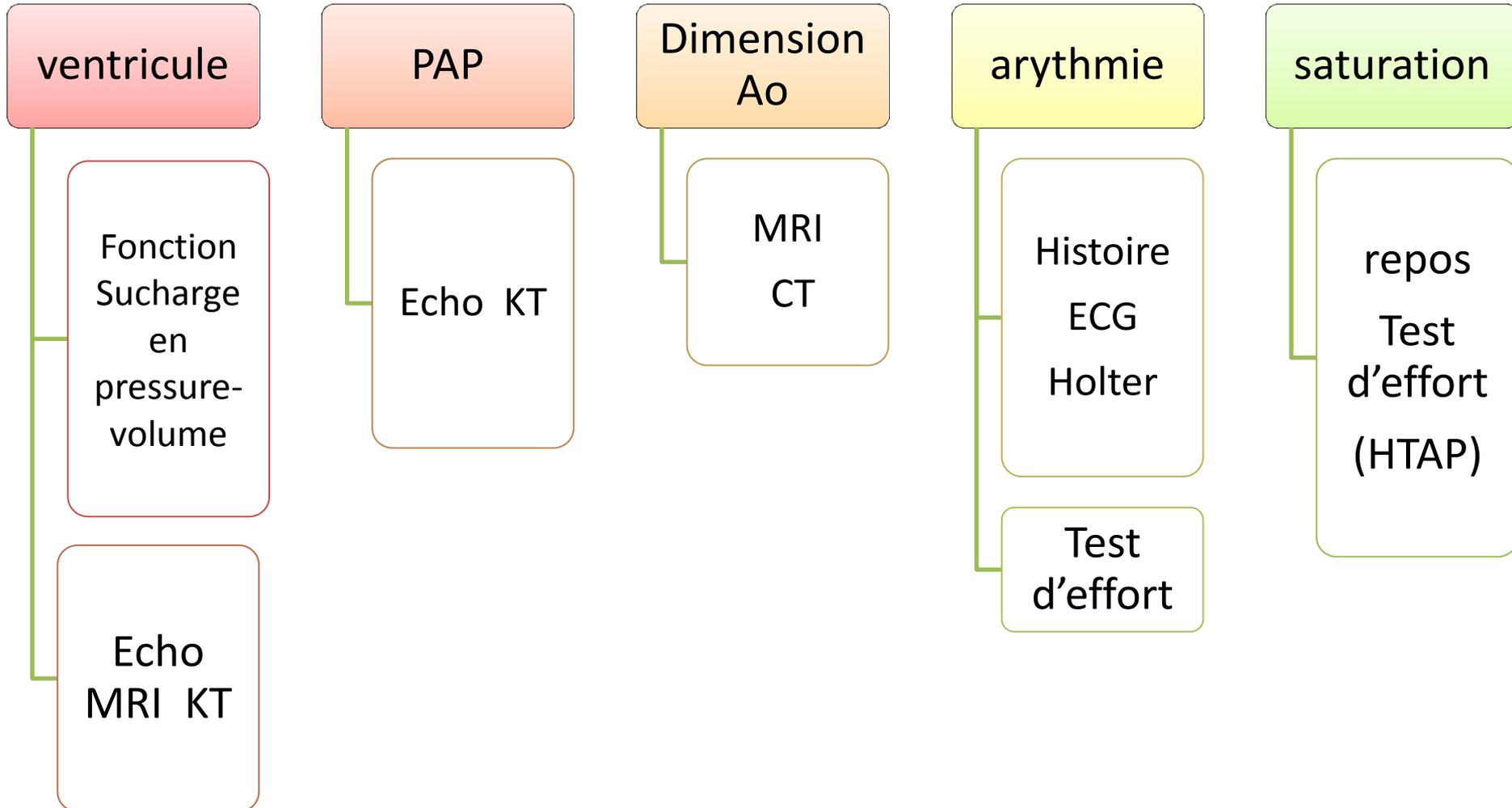
Referenced studies that support recommendations are summarized in Online Data Supplement 13.

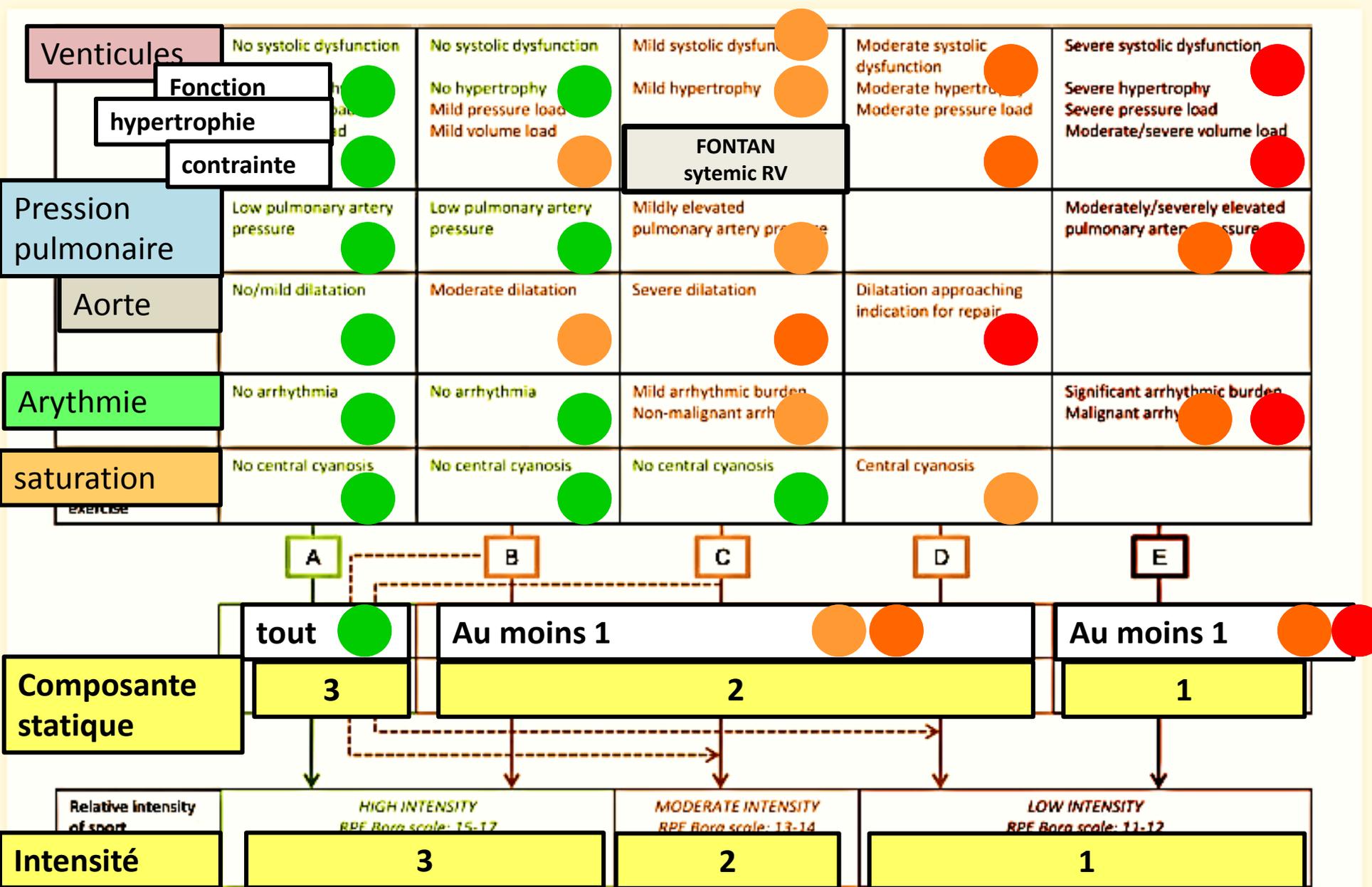
COR	LOE	Recommendations
I	C-LD	1. Clinicians should assess activity levels at regular intervals and counsel patients with ACHD about the types and intensity of exercise appropriate to their clinical status (S3.6-1–S3.6-9).
Ila	C-LD	2. CPET can be useful to guide activity recommendations for patients with ACHD (S3.6-10, S3.6-11).
Ila	B-NR	3. Cardiac rehabilitation can be useful to increase exercise capacity in patients with ACHD (S3.6-12, S3.6-13).

En pratique: évaluation des patients



5 points importants:



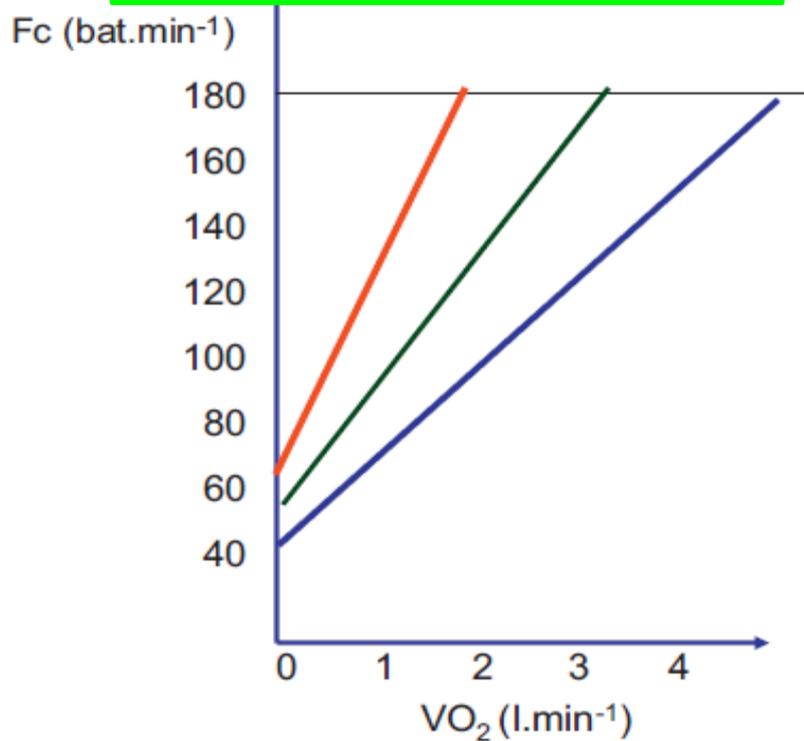


Monitoring de l'intensité de l'effort dynamique

Frequence
cardiaque



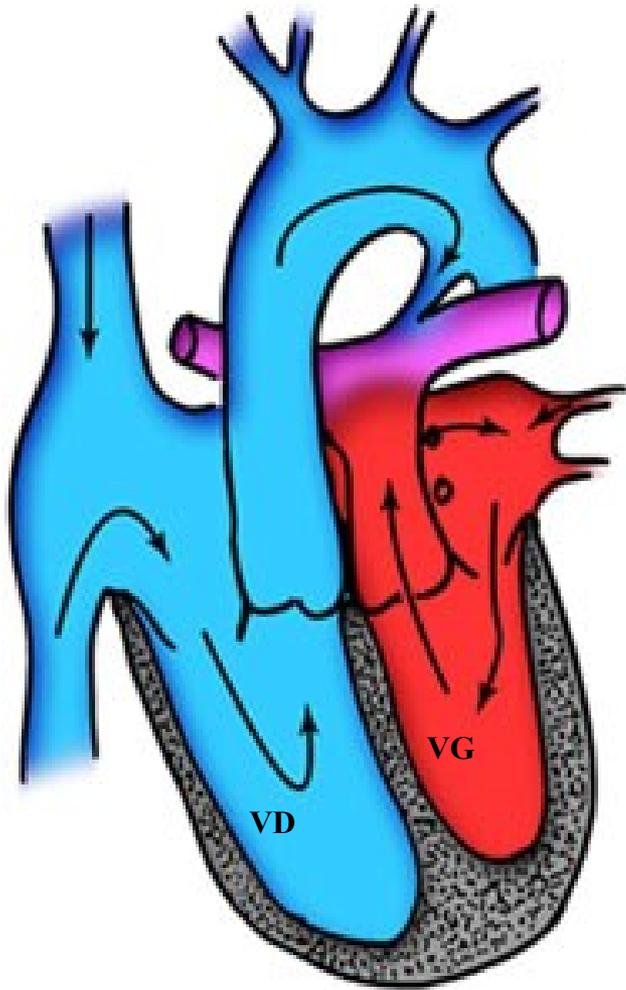
Echelle de
Borg



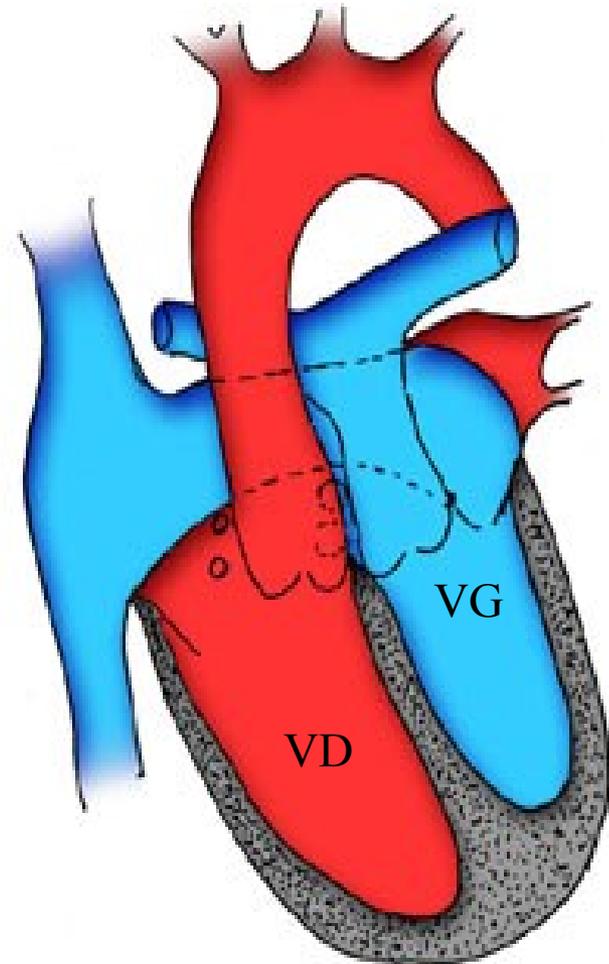
RPE (Borg scale, ranging 6–20)	Subjective description of exercise intensity	Feels like	% of MHR
< 10	Very light	Nothing	< 35
10–11	Light	Something	35–54
12–13	Moderate	Perspiring	55–69
14–16	Hard	Sweating working	70–89
17–19	Very hard	Hard working	≥ 90
20	Maximal	Can't breathe anymore	100

Cas particulier : switch atrial

TGV



Switch atrial



Cas particulier : switch atrial

Mort subite

- Plus de 80% des morts subites surviennent à l'effort
- Facteur de risque: atrial arrhythmia (trigger de TV)
- Faible augmentation du volume d'ejection à l'effort
- Hypothese de l'ischemie myocardique

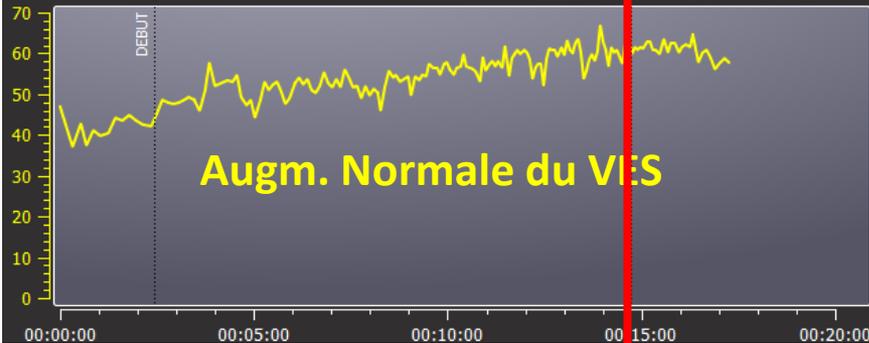
Kammeraad, JACC 2004

Wheeler, cong heart dis 2014

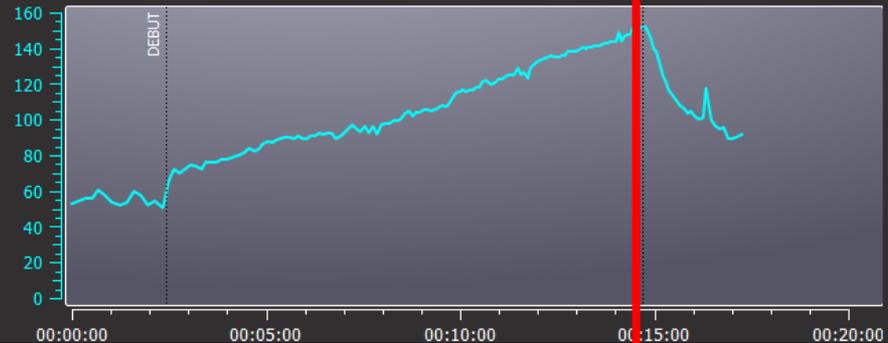
Khairy, curr opin cardiol 2017

Switch atrial: monitoring du vol. d'ejection systolique (VES)

VESi (ml/m²): 61.6



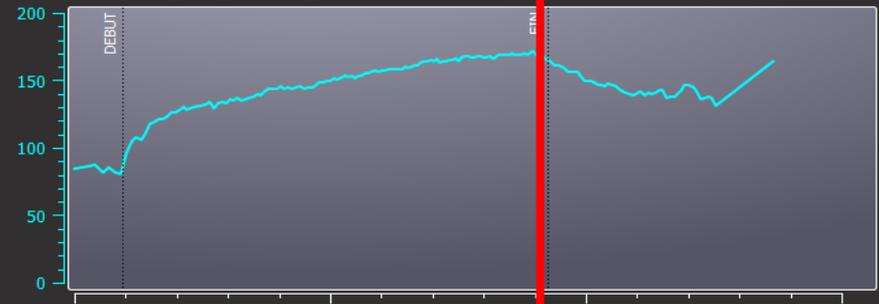
FC (bpm): 151



VESi (ml/m²): 43.2



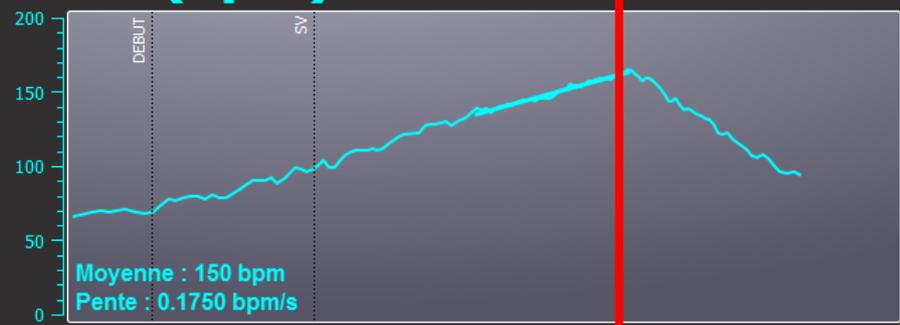
FC (bpm): 169



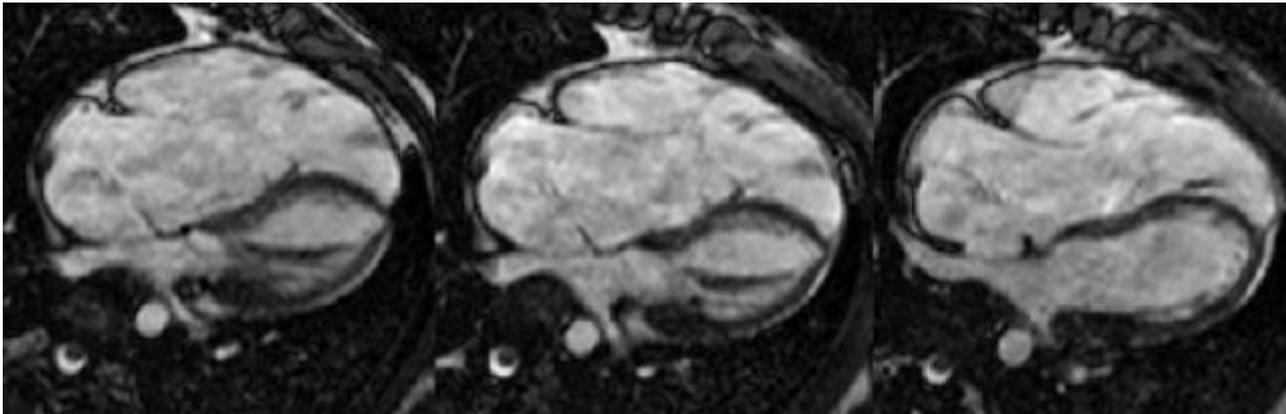
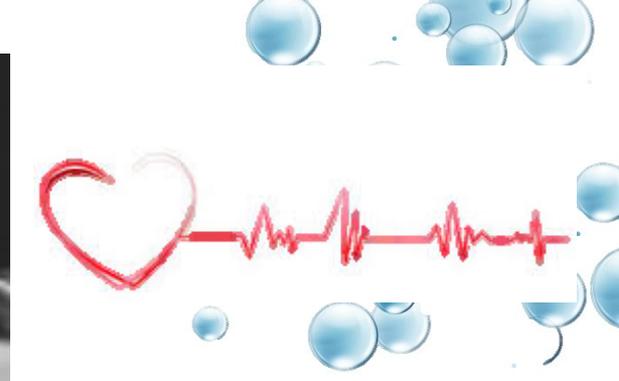
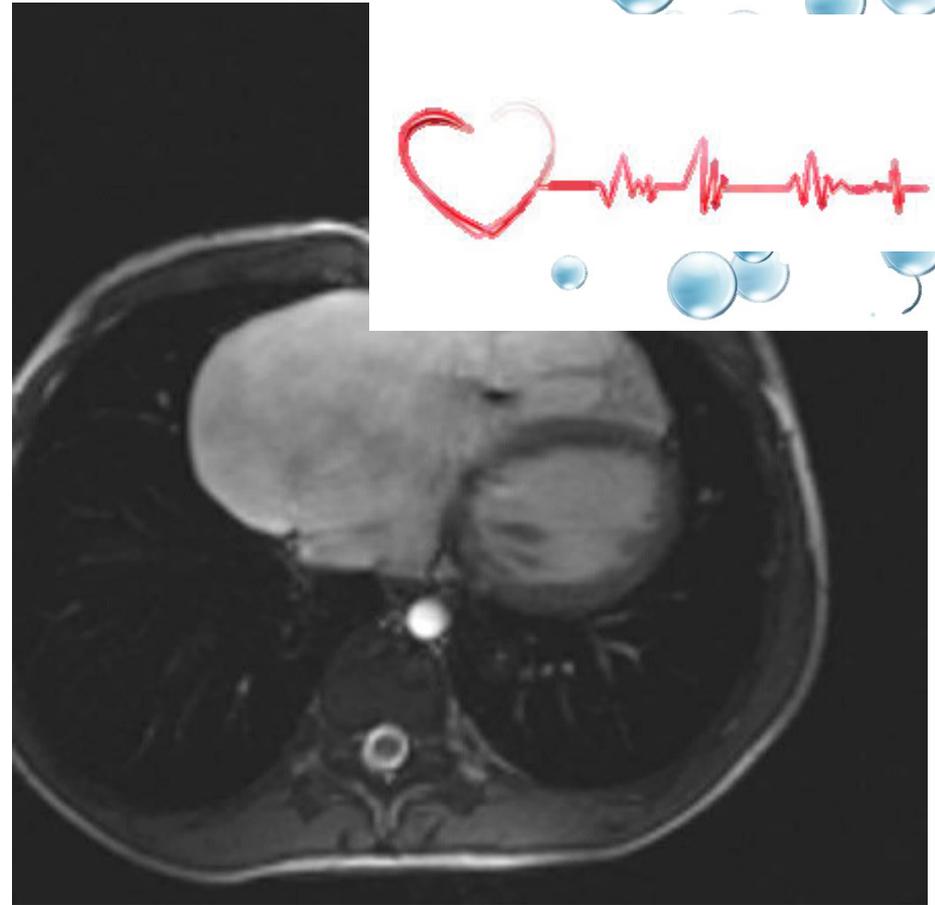
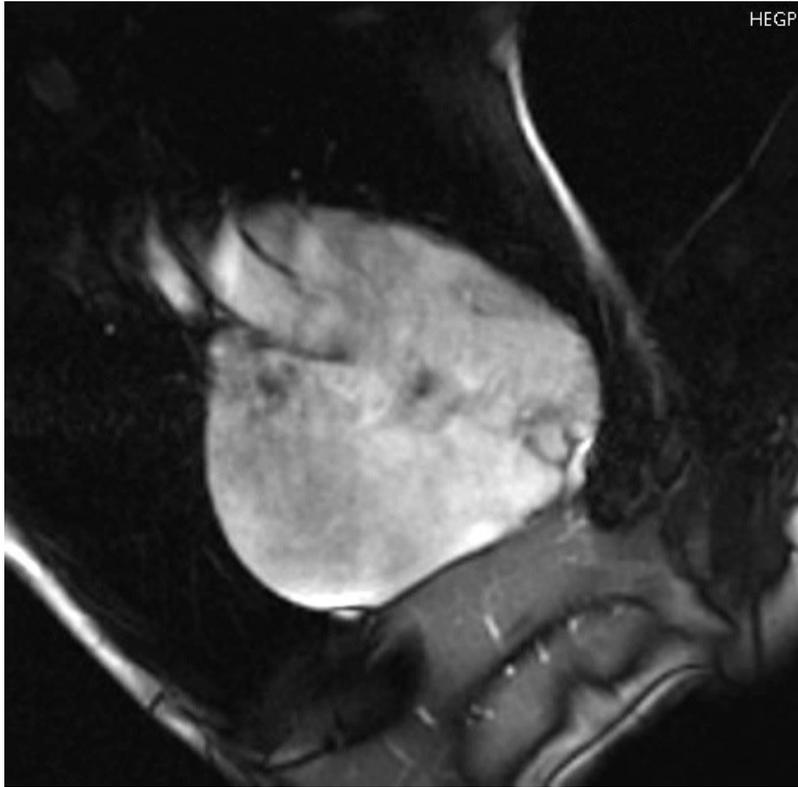
VESi (ml/m²)

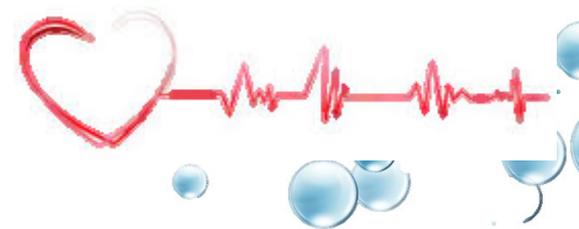


FC (bpm): 140

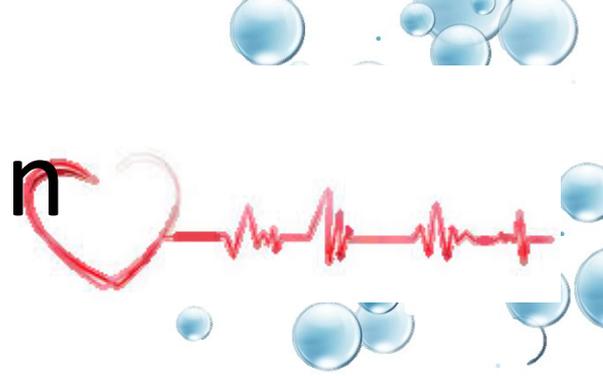


Ebstein





Maladie d'Ebstein

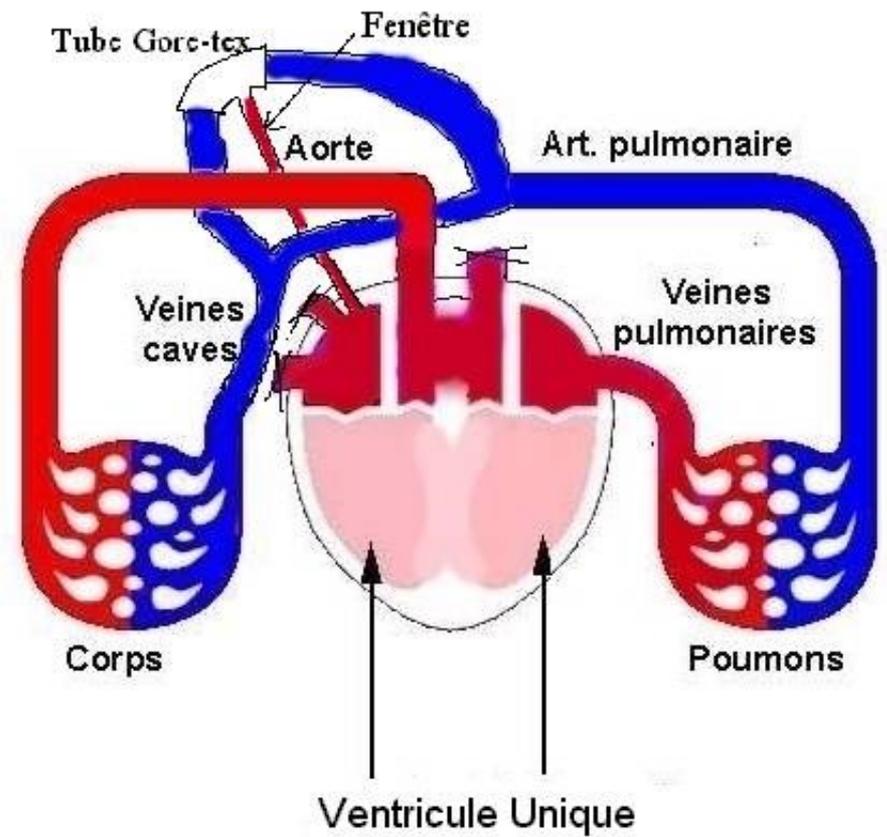
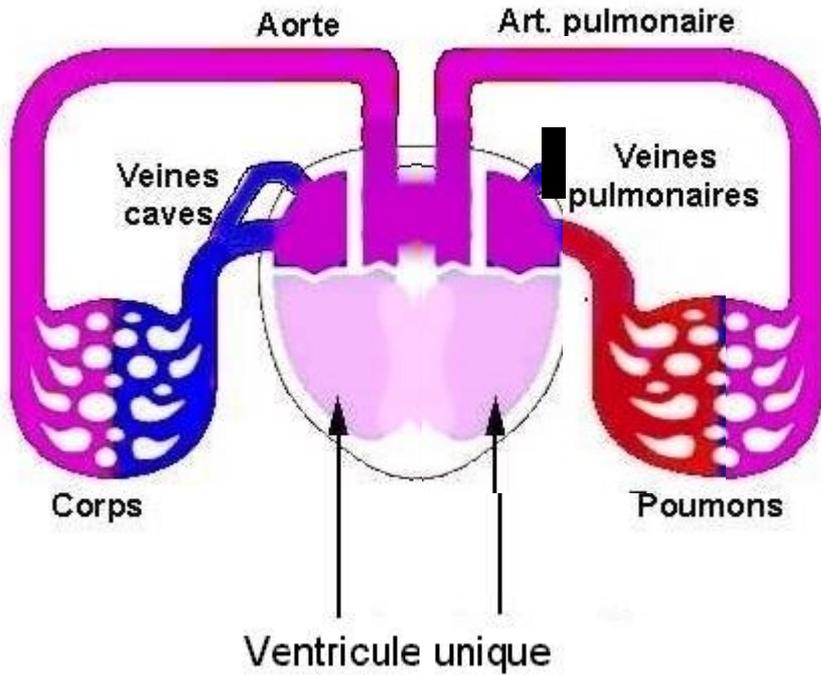


Indication opératoire

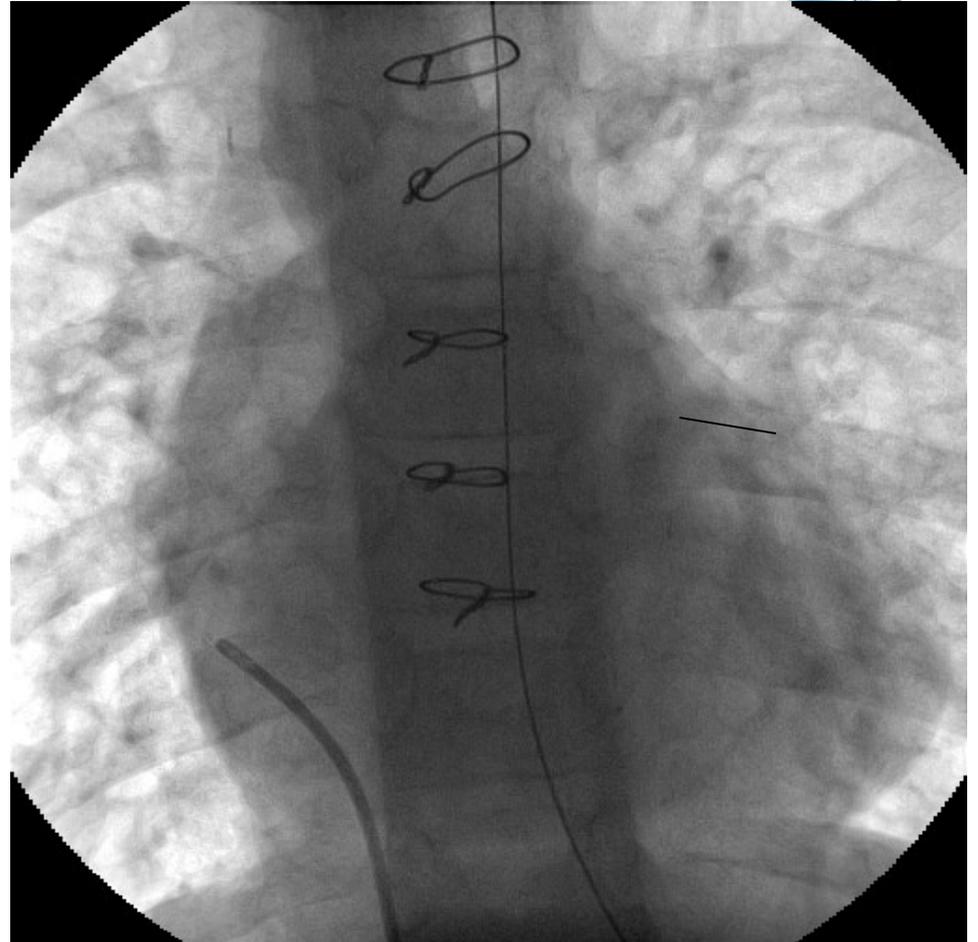
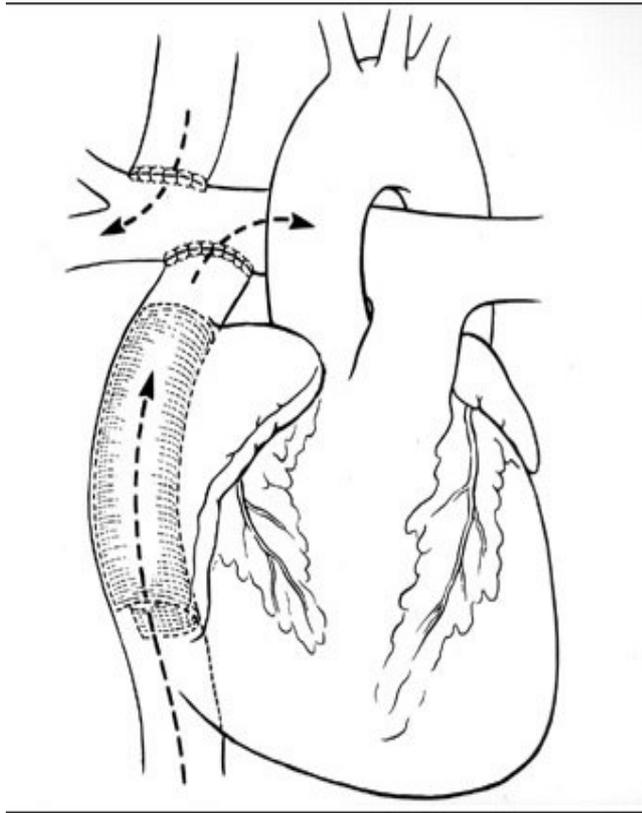
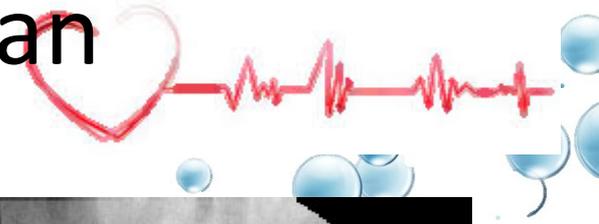
- Tolérance fonctionnelle
- Fonction VD
- Importance de la fuite
- Cyanose
- TDR
- Réparabilité de la valve antérieure

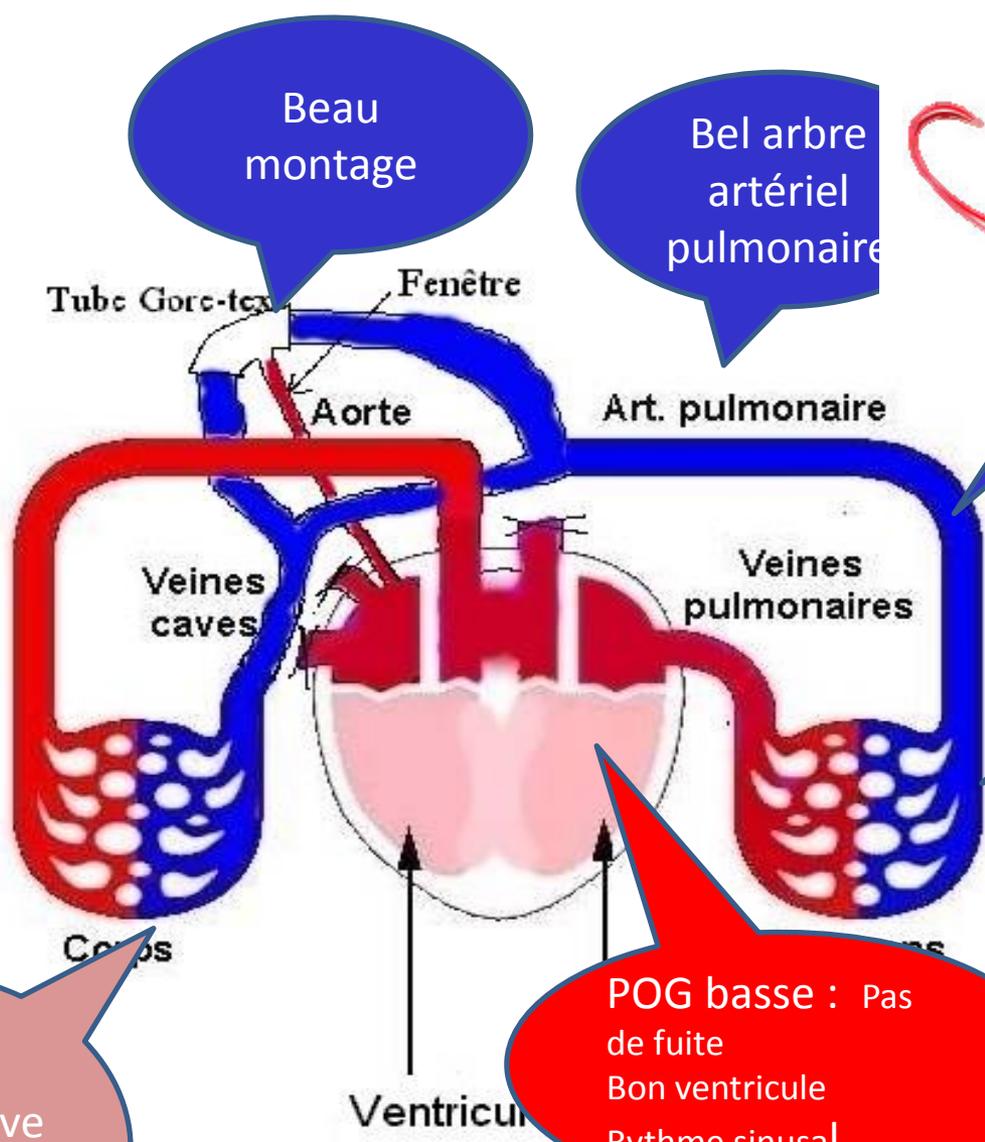
Echo, IRM, Holter, EE + VO2max

Fontan



Circulation de Fontan





Beau montage

Bel arbre artériel pulmonaire

Pression pulmonaire basse (avant Fontan)

Résistance vasculaire pulmonaire basse

Pression veineuse cave la plus basse possible !!

POG basse : Pas de fuite
Bon ventricule
Rythme sinusal

Ventricule unique : FONTA

Défaut de précharge

Résistances vasculaires
pulmonaires

Pompe
respiratoire

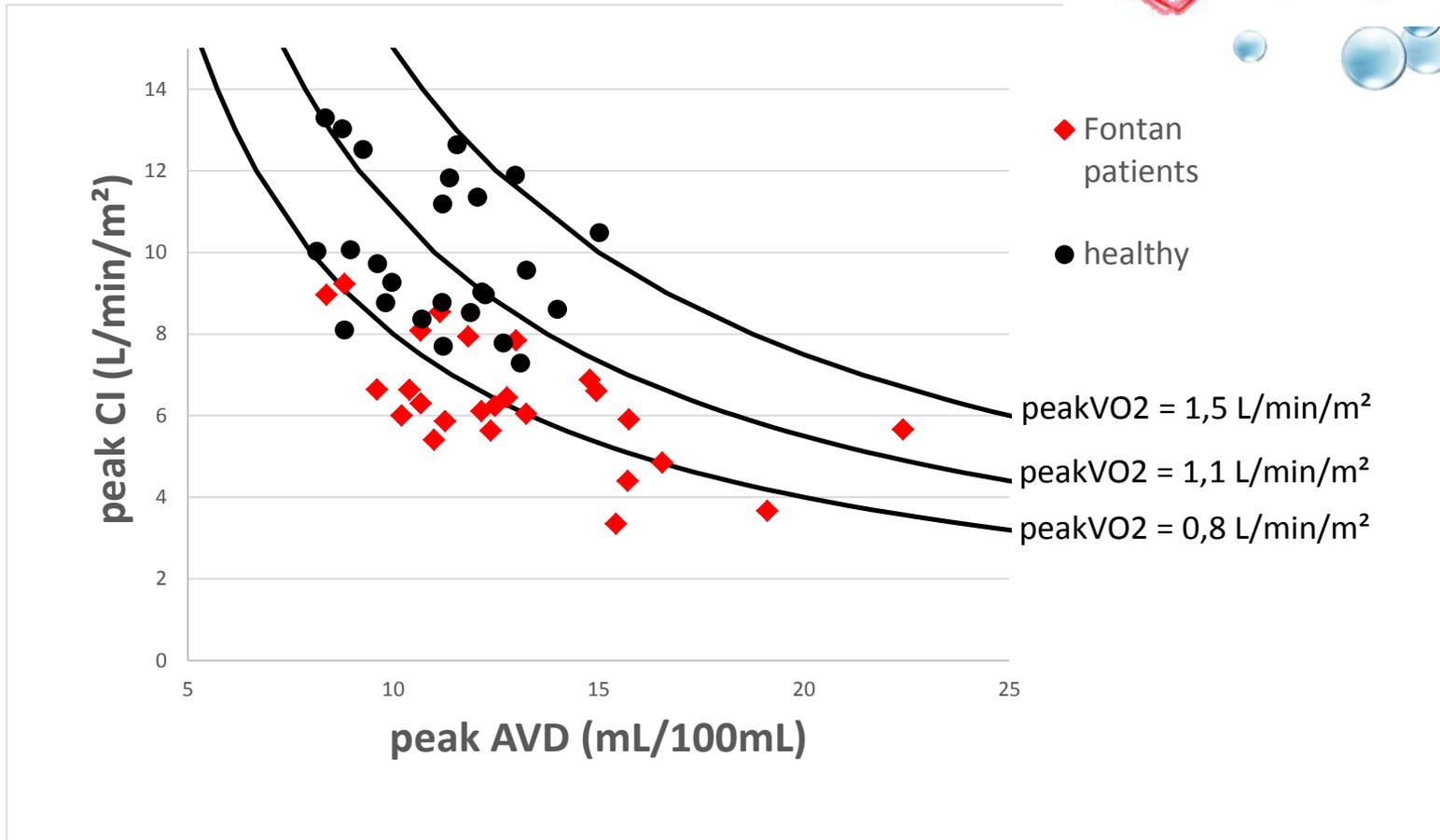
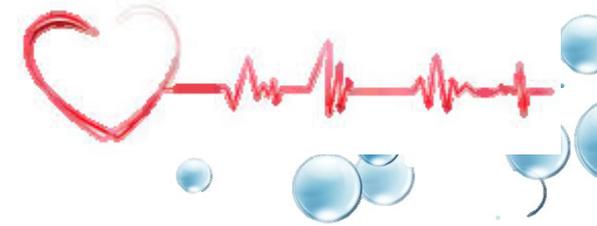
Pompe
musculaire

Fonction du
ventricule
unique

Resistances
vasculaire
périphériques

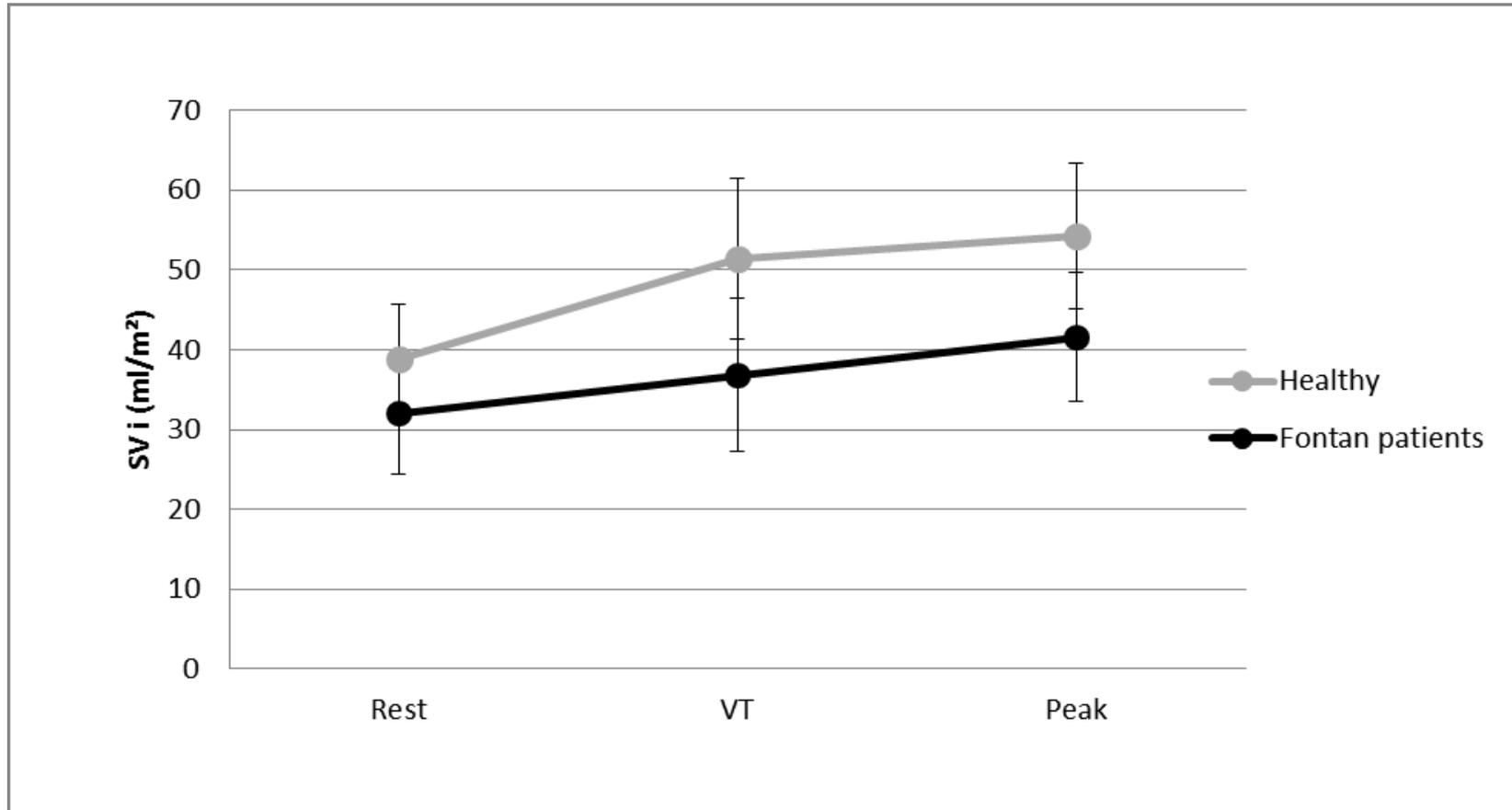
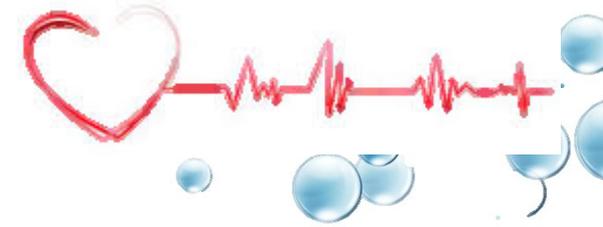
Extraction
tissulaire

Fontan effort

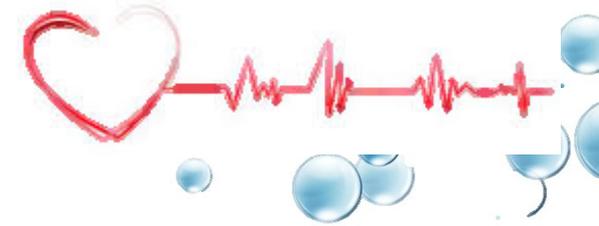


$$VO_2 = DC \times \text{Diff AV}$$

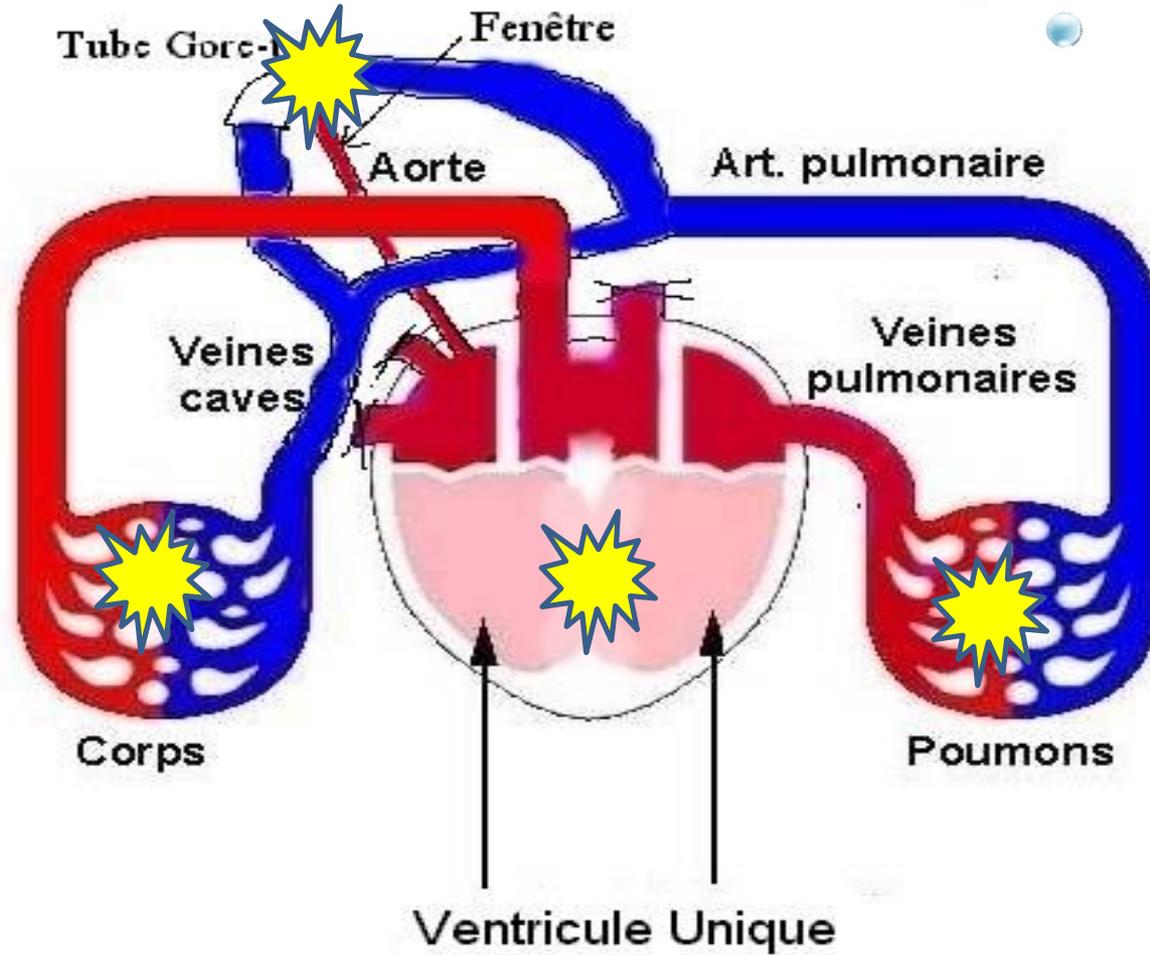
Fontan effort



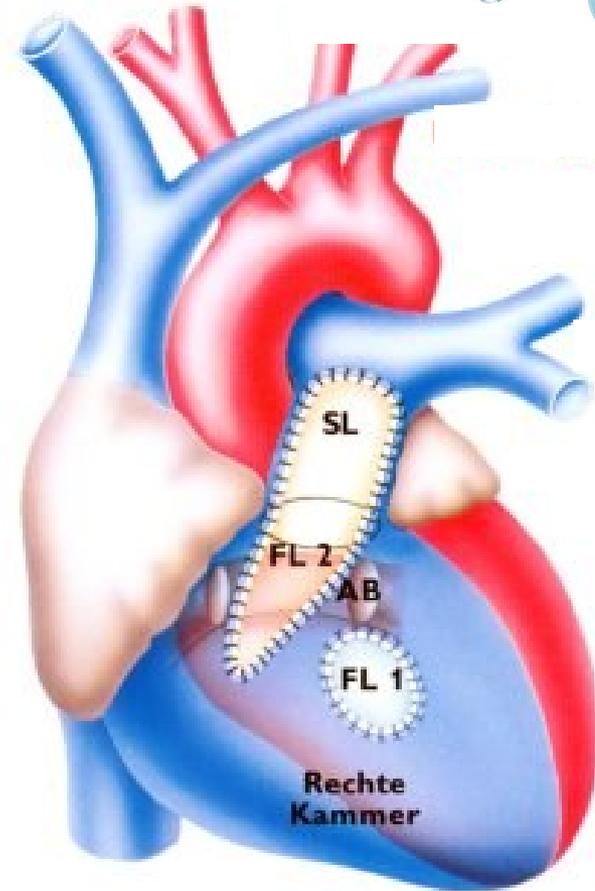
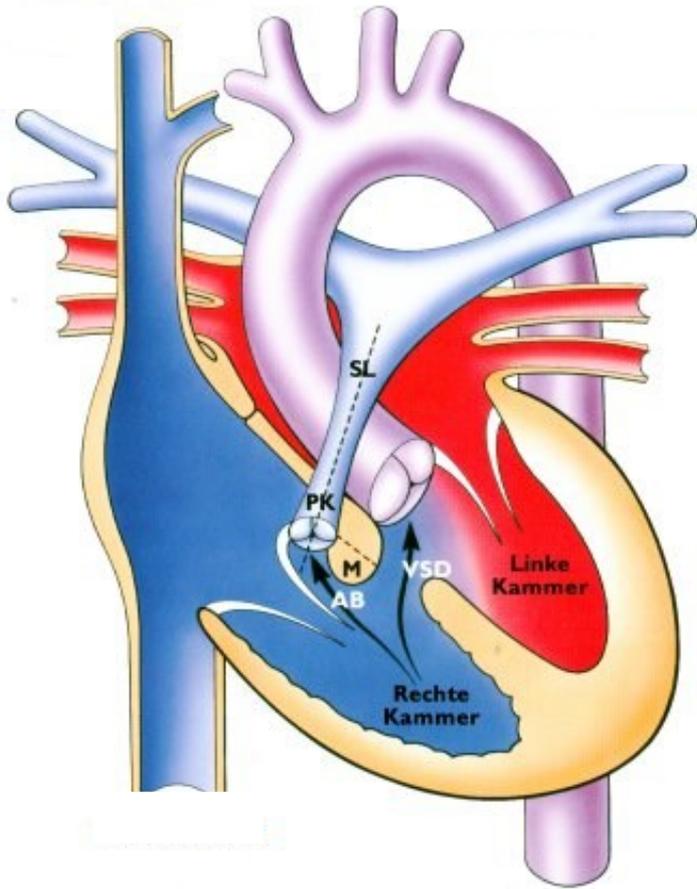
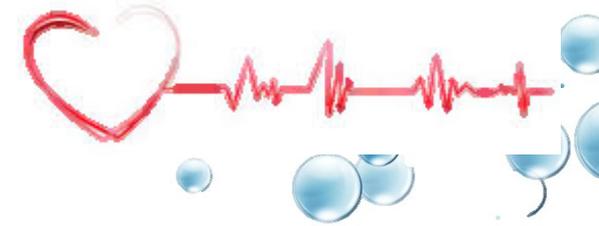
Fontan : effort

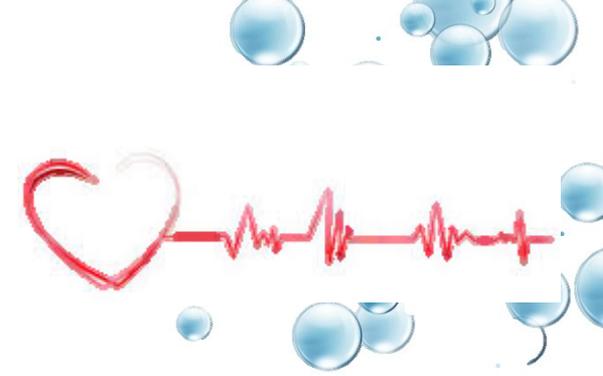


A l'effort



Tétralogie de Fallot ré





Timing du remplacement valvulaire pulmonaire pour fuite pulmonaire est un des principaux problèmes dans le suivi d'une tétralogie de Fallot

**Valver pas trop tôt
mais pas trop tard, avant qu'apparaisse une
dysfonction VD irréversible**

5903/0203/758050

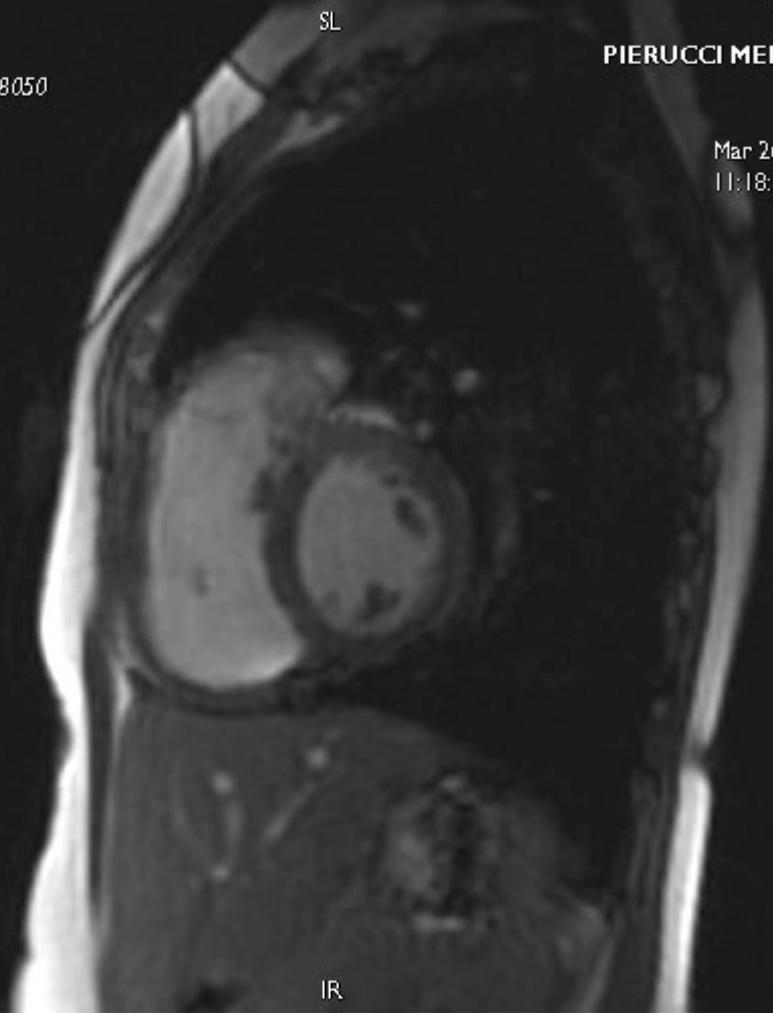
e: 6

n: 1

SL

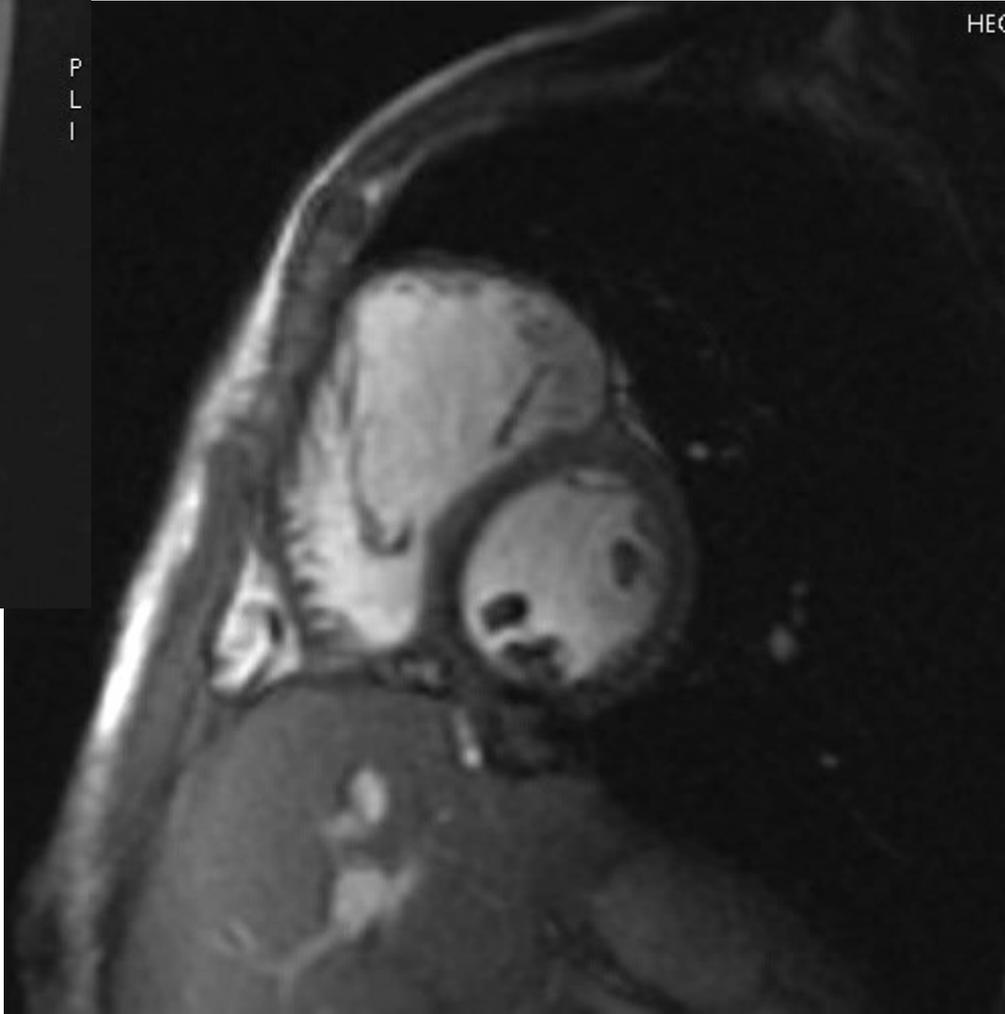
HEGP
PIERUCCI MELANY

Mar 26 2002
11:18:06 AM

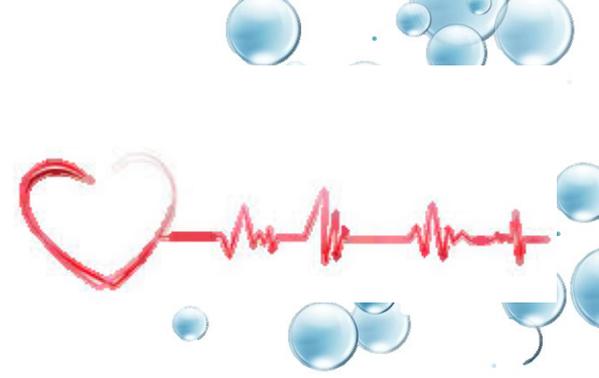


IR

P
L
I



HEG



Indication du RVP basée principalement sur les volumes VD



Stratégie décevante

- Pas d'effet sur fonction VD

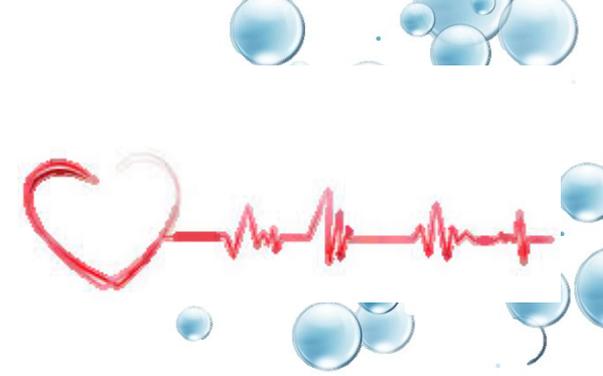
(méta analyse Cheung 2010)

- Améliore un peu la fonction VG au repos

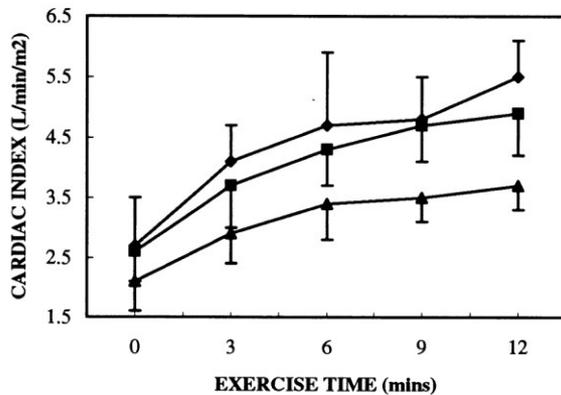
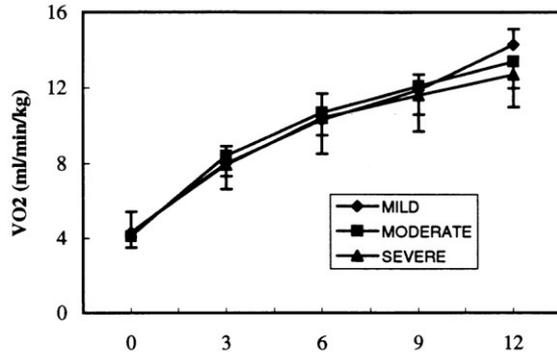
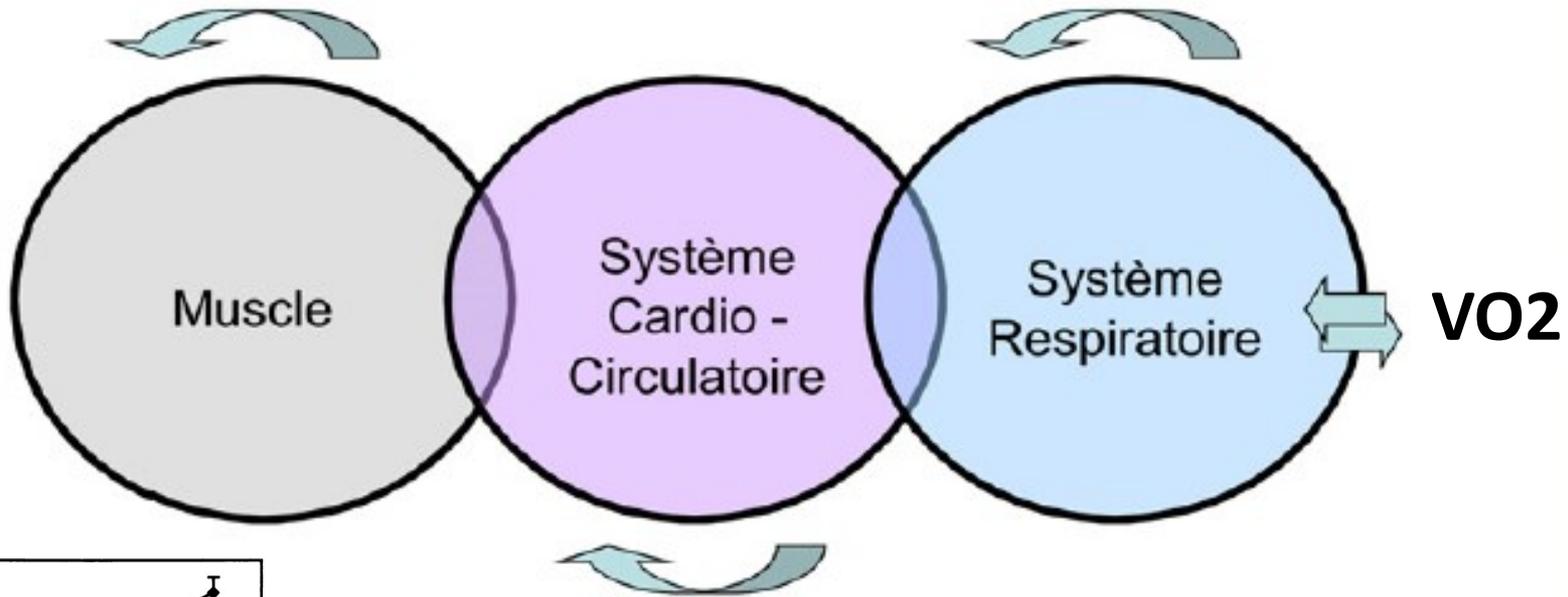
(Tobler 2012, Chalard 2012)

- Pas/peu d'effet sur la VO₂ max

(Gengsakul 2007, Geva 2010, Tang 2010, Legendre 2015)



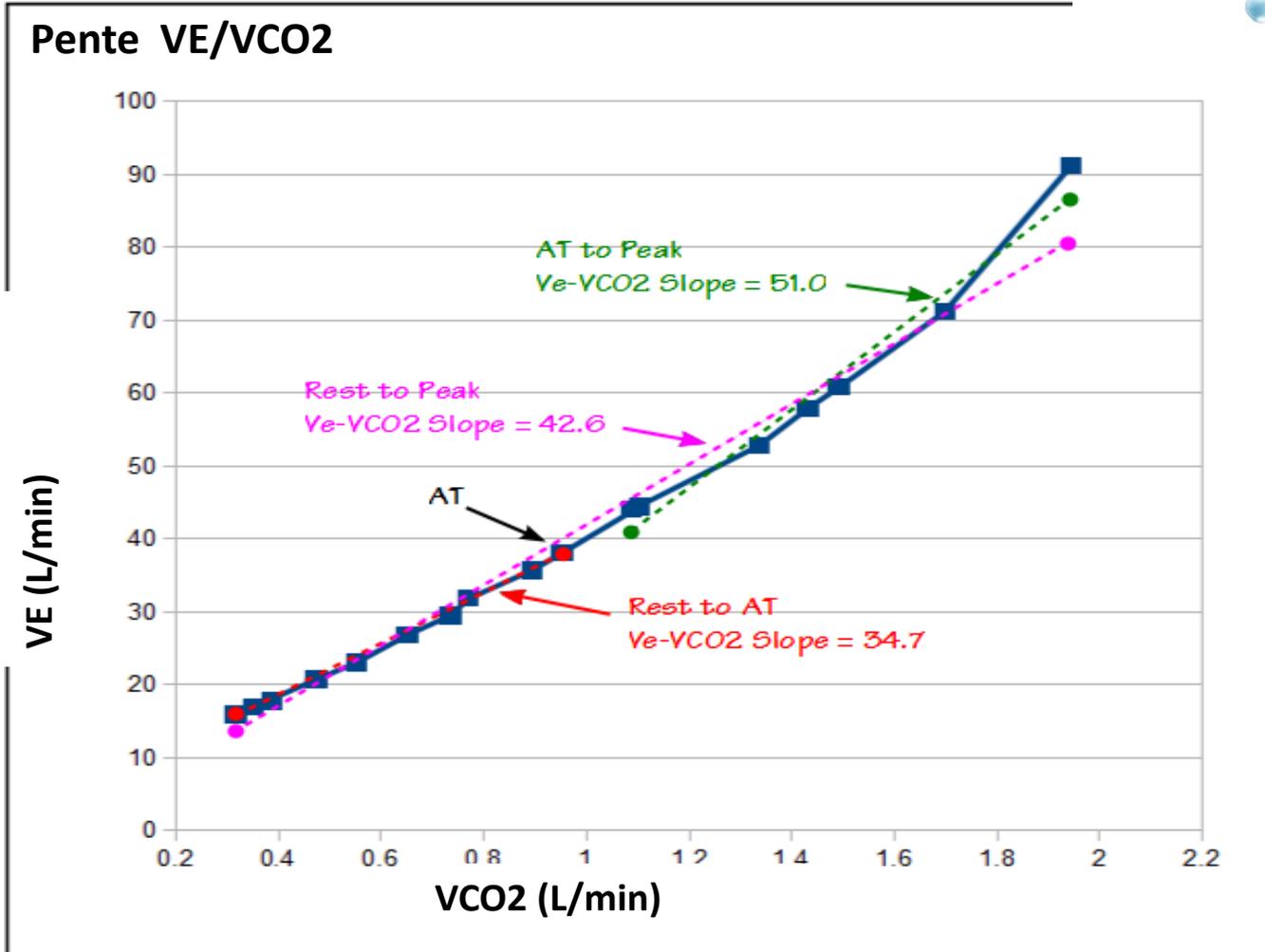
Est-ce que la VO₂ max, ne pourrait pas être
un marqueur d'une dysfonction cardiaque
précoce, pour mieux sélectionner les candidats
au RVP?



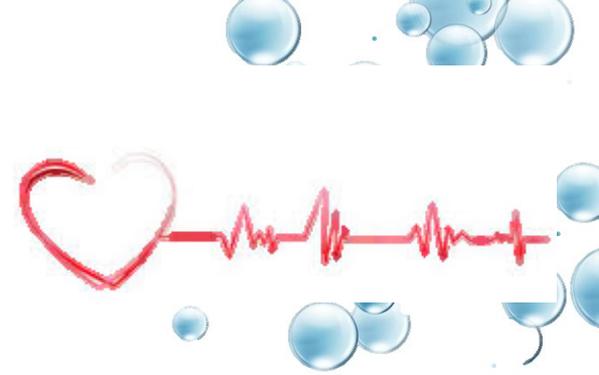
Le débit cardiaque au pic apporte un complément en plus de la VO₂ et pente VE/VCO₂ dans la stratification du risque est patients insuffisants cardiaques Myers 2013

Autres paramètres disponibles au cours du test d'effort cardiovasculaire

Pente VE/VCO2



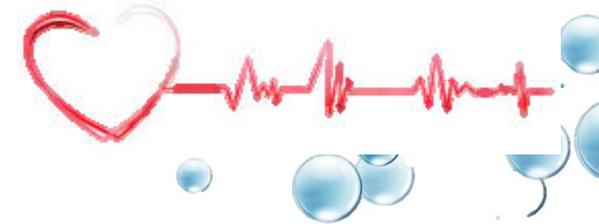
Pente VE/VCO₂



- Valeur pronostique
 - Insuffisance cardiaque
 - Cardiopathie congénitale

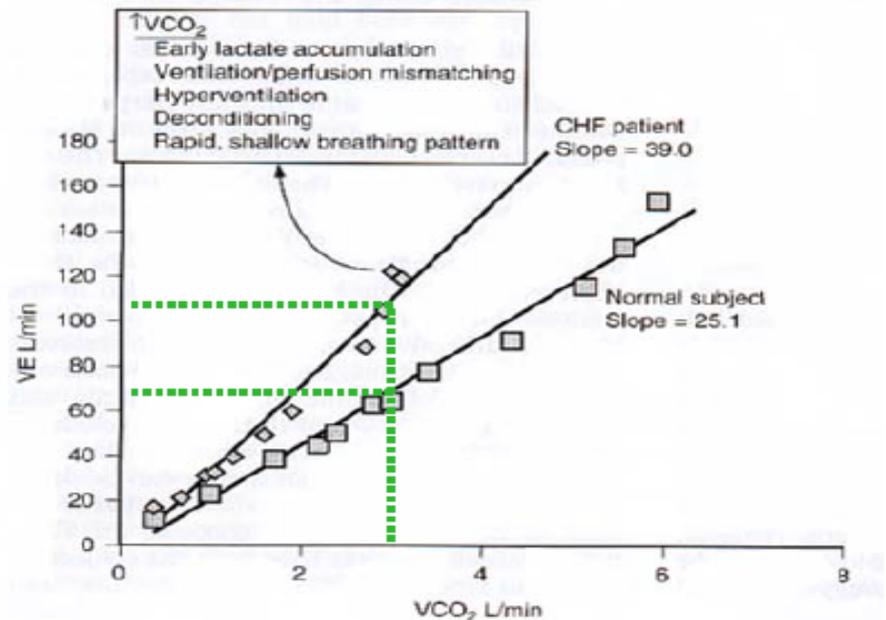
(Dinopoulos 2006, Buys 2012, Muller 2015, Babu-Narayan 2014)

Pente V_E/V_{CO_2}



Pente de V_E/V_{CO_2} : régression linéaire de la progression du ratio V_E/V_{CO_2}

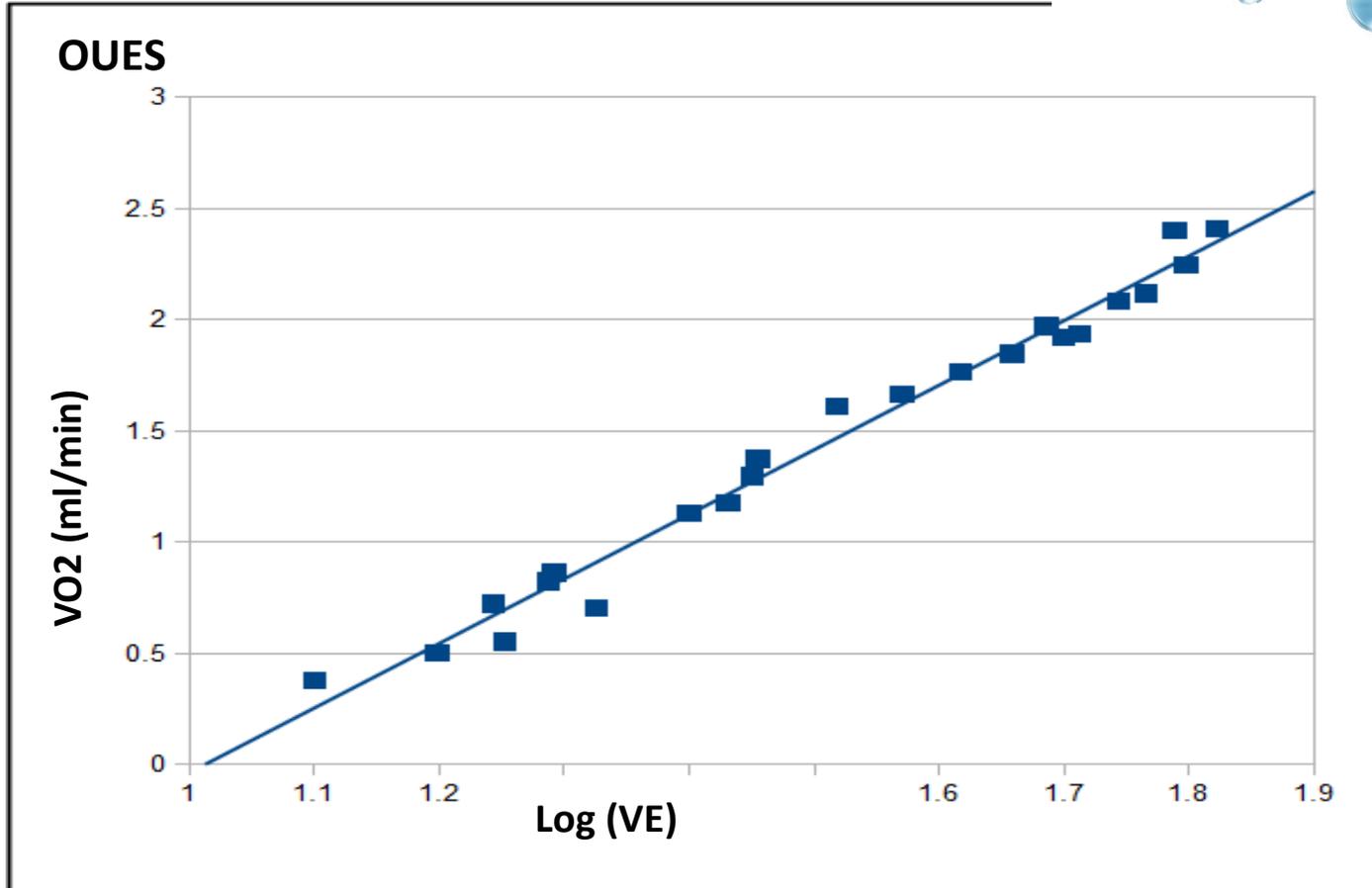
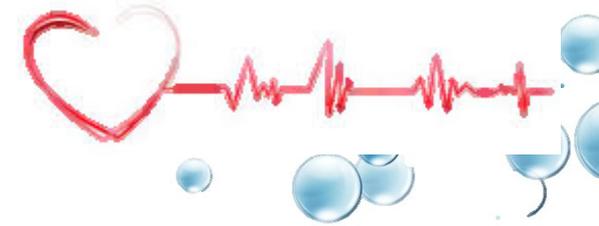
- Démontre une accumulation précoce de lactate
- Déséquilibre ventilation/perfusion
- Hyperventilation
- Déconditionnement
- Respiration rapide et peu profonde
- Faible débit cardiaque à l'effort
- Hausse des "wedge pressures" artérielles et capillaires pulmonaire
- Hausse du ratio V_D/V_T
- Hausse de la sensibilité des chémorécepteurs



Froelicher 1997, Guazzi 2014

Outil de stratification du risque du a des modifications hémodynamiques multifactorielles

OUES



OUES

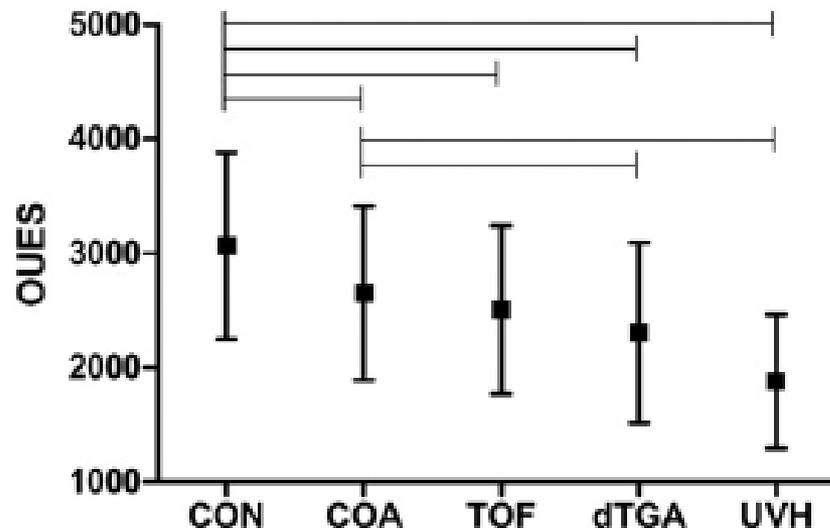


- OUES/SC prédictif d'hospitalisation d'origine cardiaque dans une population d'enfant avec Fallot

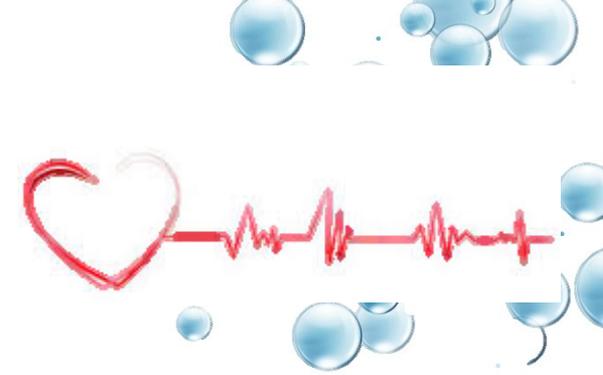
(Tsai 2015)

- OUES lié à la sévérité de la cardiopathie

(Buys 2010)



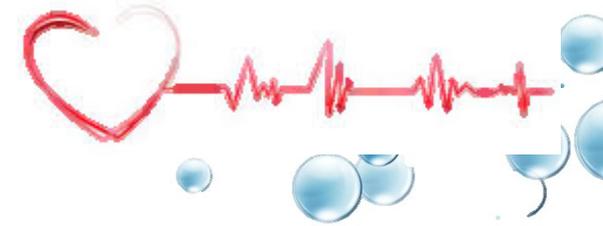
QUES



- Corrélation avec $VO_2\text{max}$ et seuil ventilatoire
- Indépendant du pic de l'effort (enfants)
- Signification physiologique ?

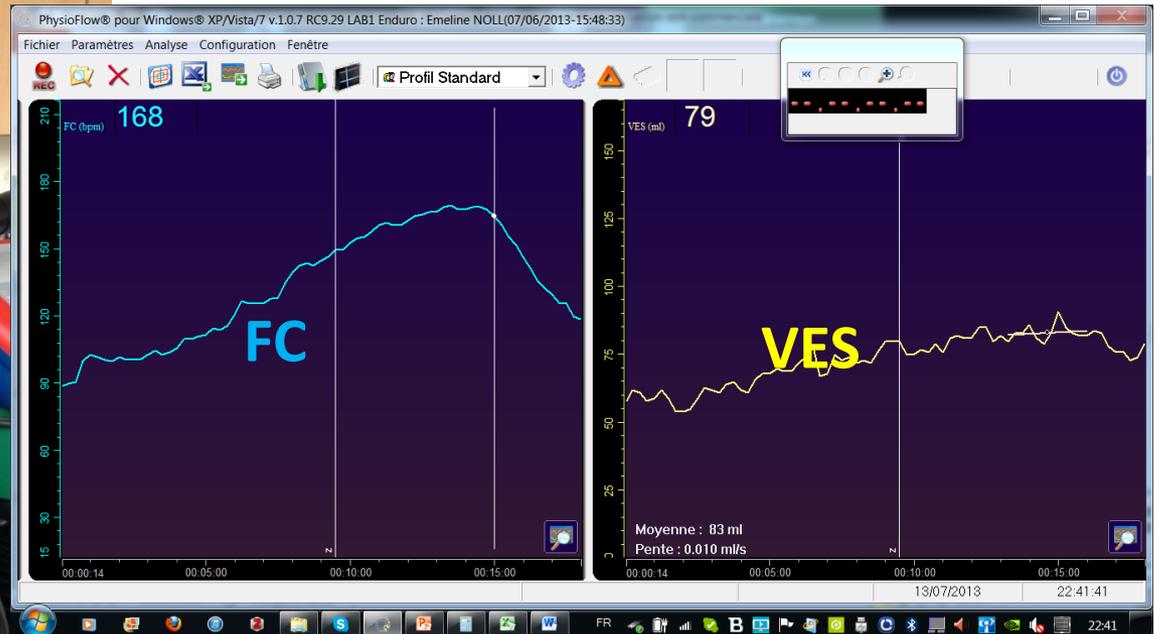
Pouls d'O₂

$$VO_2/FC = VES \times DAV$$



- Valeur pronostique dans l'insuffisance cardiaque
- Valeur de la cinétique dans les cardiopathies ischémiques
- Peu d'effet du RVP sur pouls d'O₂ : valver dès que le pouls d'O₂ est anormal ? pb de la DAV (Legendre 2015)
- Population de Fontan : pas de corrélation pouls d'O₂/VES (Legendre 2017)

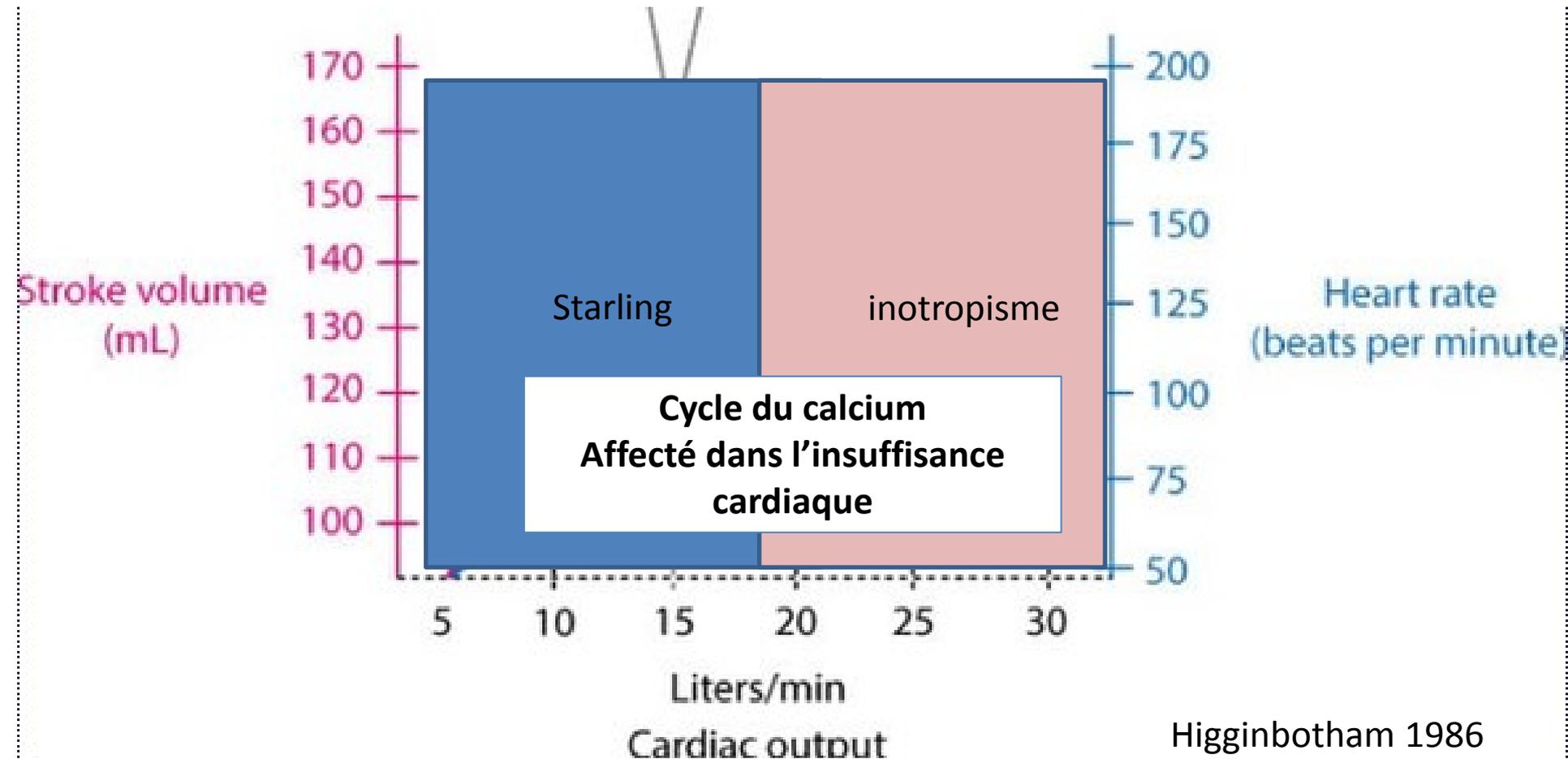
Mesure directe des paramètres hémodynamiques cardiaques à l'effort : Volume d'éjection systolique/ l'index cardiaque



Impedancemétrie
cardiothoracique

VES à l'effort : physiologie

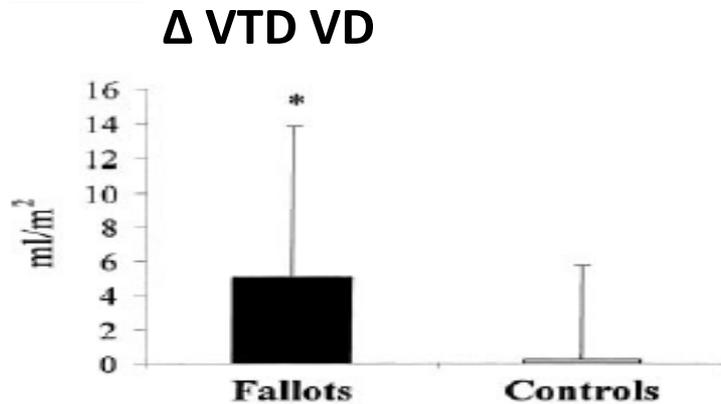
- Physiologie normale



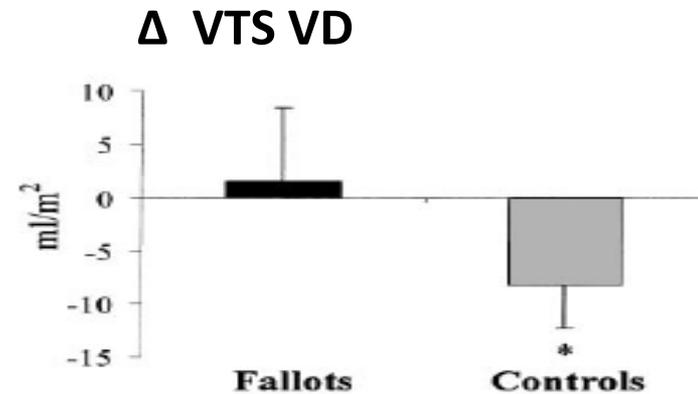
Higginbotham 1986

Neves 2016

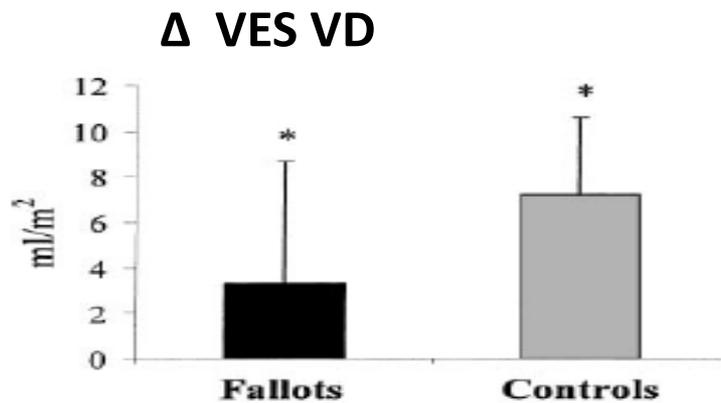
VES à l'effort et Fallot spécifique de la fonction VD ?



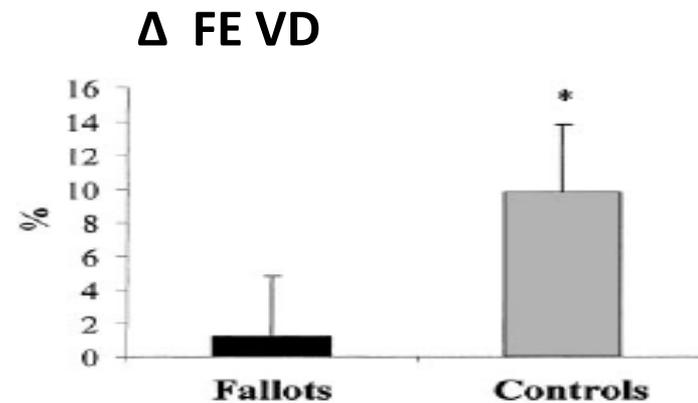
a.



b.

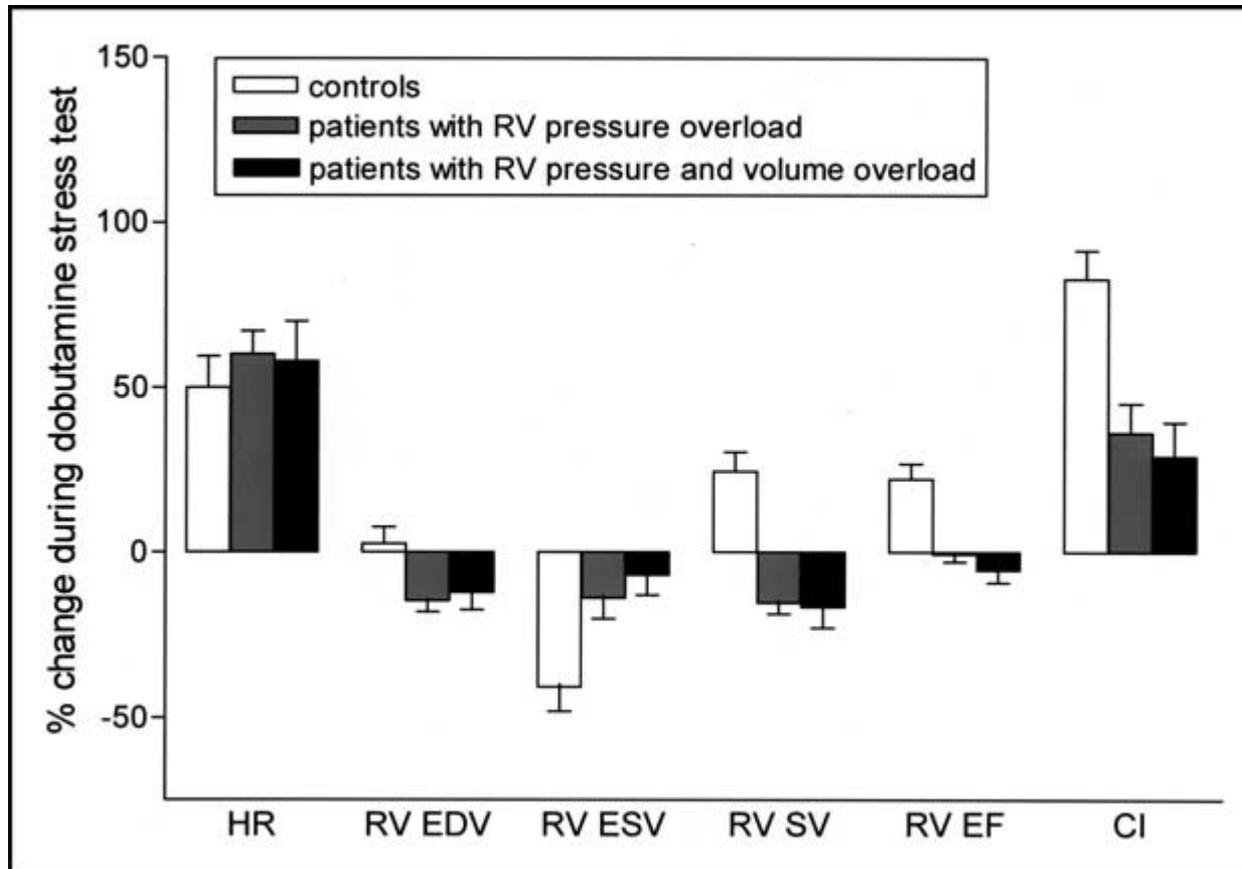


c.

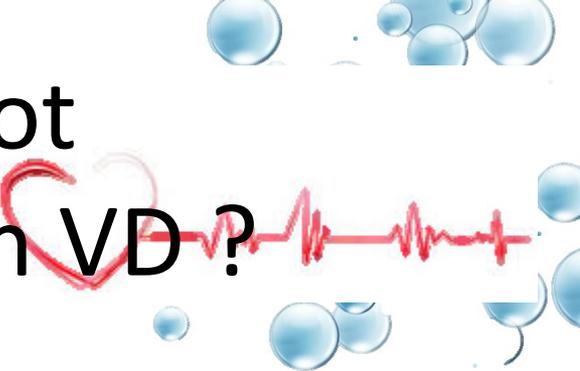


d.

VES à l'effort et Fallot spécifique de la fonction VD ?

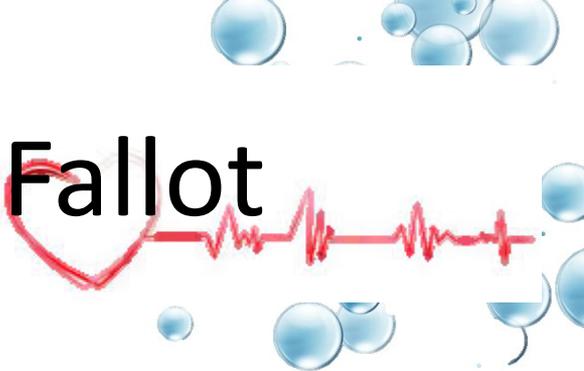


VES à l'effort et Fallot spécifique de la fonction VD ?



- Patches infundibulaires et CIV
 - Baisse de la fuite pulmonaire (Lurz 2012, Roest 2002)
 - Dysfonction VG
 - liée à l'importance et le temps de la cyanose avant réparation, block, défaut de protection myocardique
 - La dilatation du VD (mouvement septal interdépendance VD/VG)
- Mais le VTD VD ne corrèle pas avec la FEVG et VES VG de repos (O' Meagher, Yap 2014)**

Le VES/IC à l'effort et Fallot

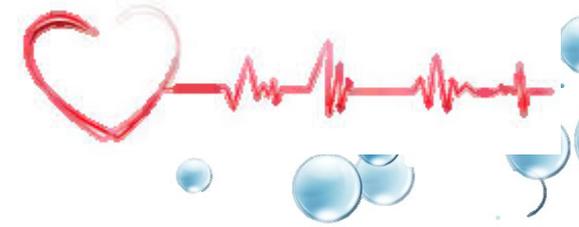


Mesure directe de la performance ventriculaire/cardiaque
à l'effort

Une baisse de VES/IC pourrait être le marqueur précoce
d'une dysfonction VD

Place dans l'organigramme décisionnel ?

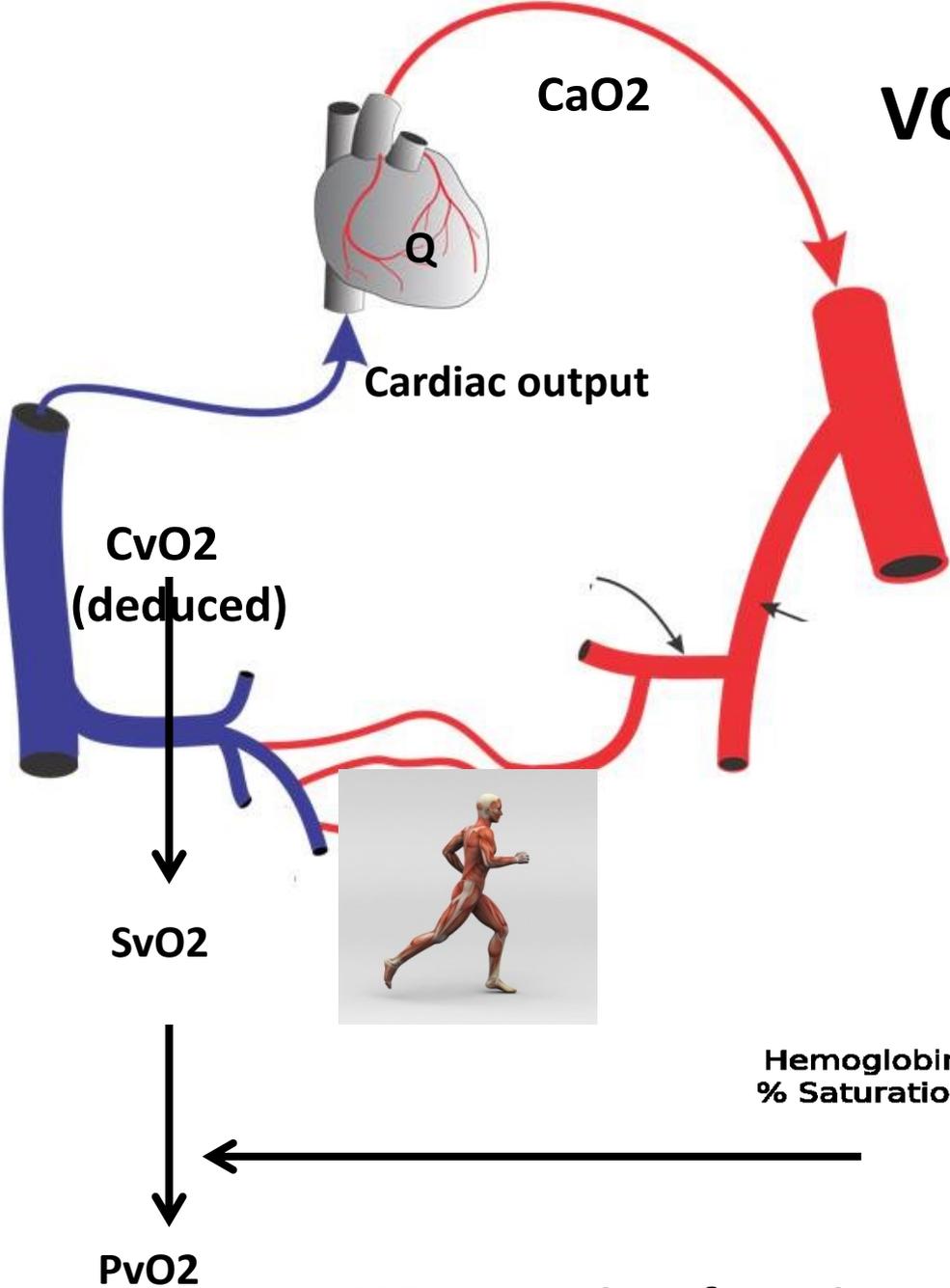
- Baisse, seuil



Même si la VO_2 max n'est pas spécifique de la réponse cardiaque à l'effort, sa mesure combinée aux paramètres hémodynamiques (VES/IC) peut s'avérer très utile

$$VO_2 = Q \times (CaO_2 - CvO_2)$$

$CaO_2 = Hb \times 1.34 \times SaO_2 + \text{dissolved } O_2$
 Dissolved O_2 very low
 $SaO_2 = 100\%$
 $Hb = 14\text{g/dL}$
 So, **$CaO_2 = 200\text{ ml/L}$**



VO₂ max is a function of PvO₂ (curve)

Principe de FICK

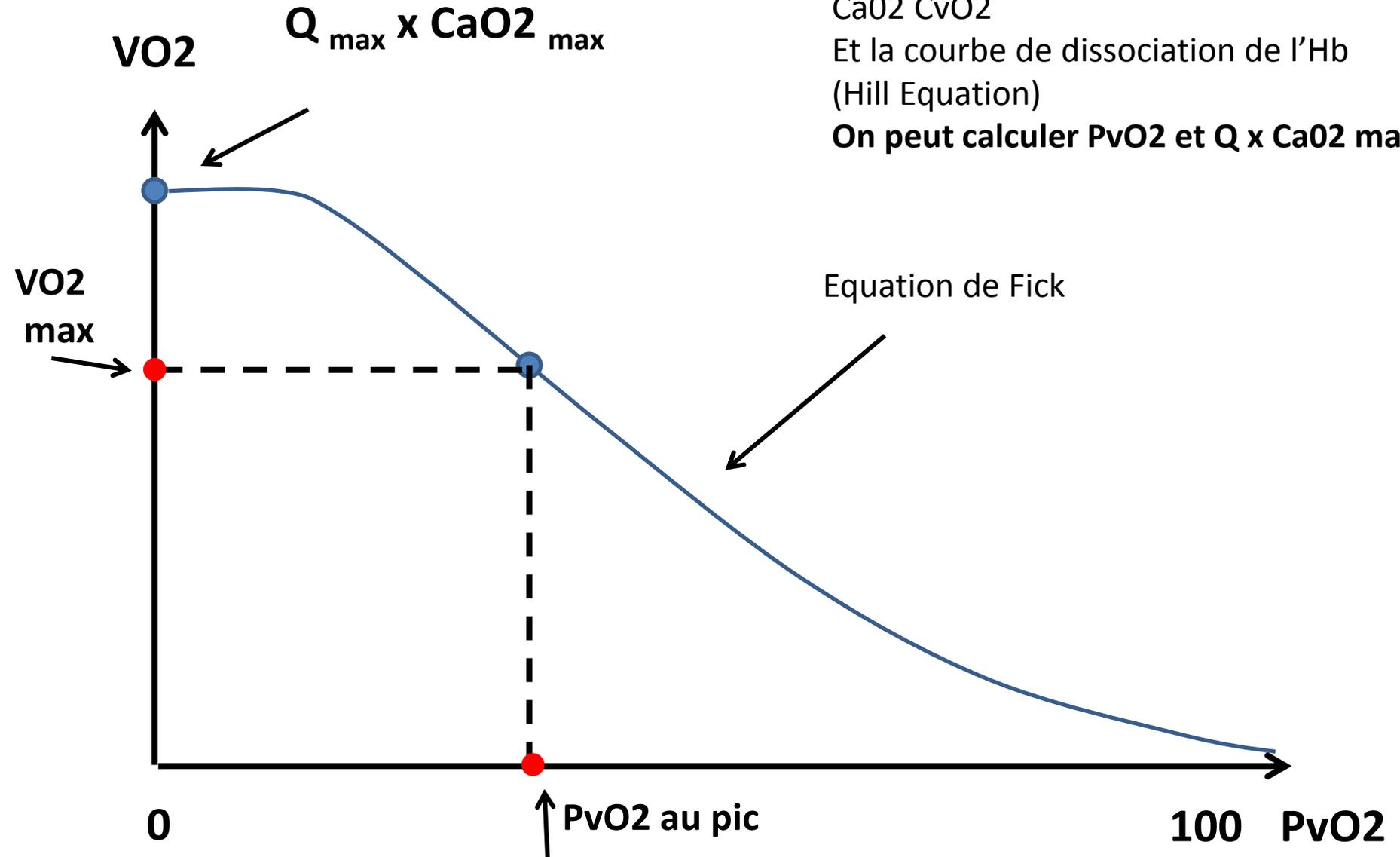
On connaît

V_{O_2} , Q ,

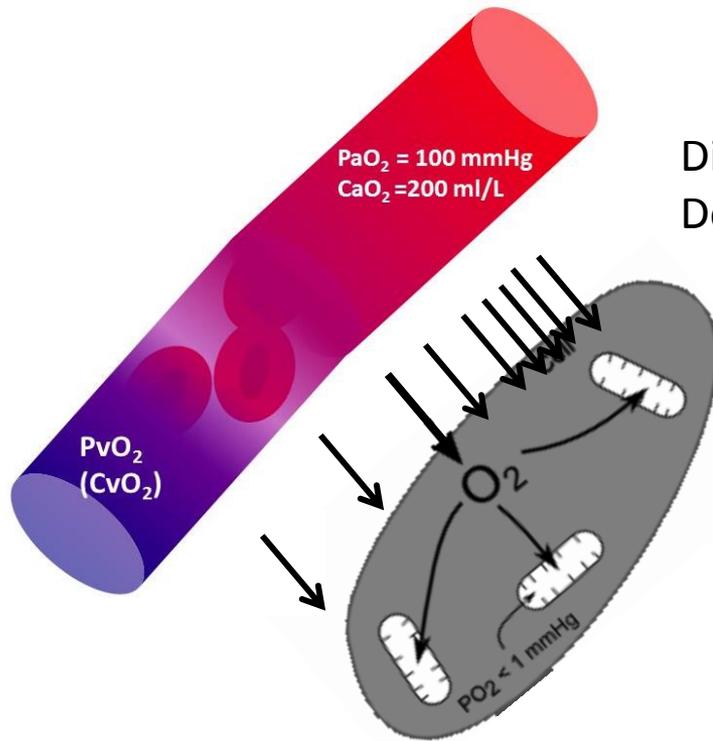
Ca_{O_2} Cv_{O_2}

Et la courbe de dissociation de l'Hb
(Hill Equation)

On peut calculer Pv_{O_2} et $Q \times Ca_{O_2} \max$



Diffusion tissulaire de l'oxygène des capillaires aux mitochondries



Distance capillaire

Densité capillaires/mitochondries

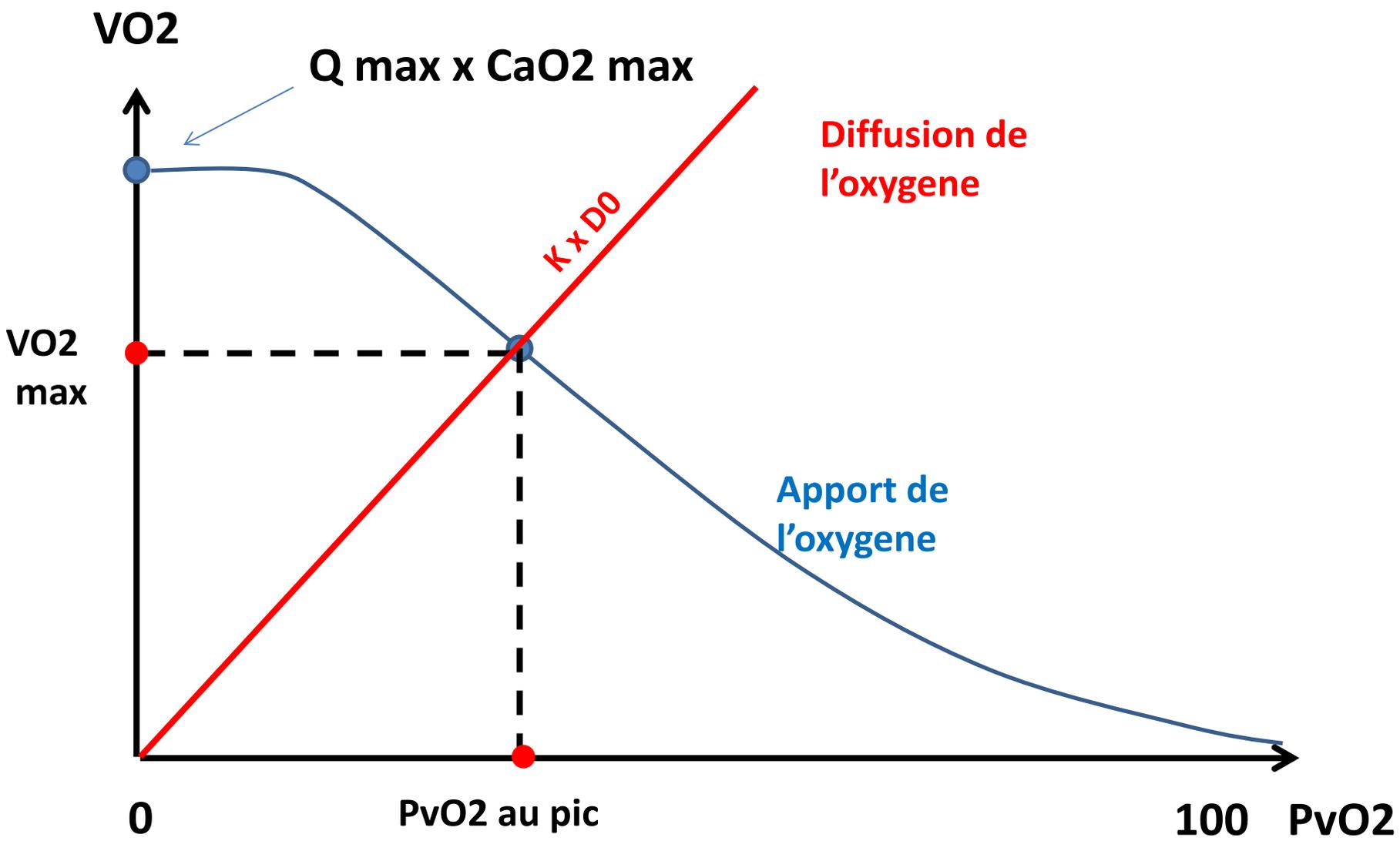
$$\dot{V}O_2 = \int_a^v (P_{cO_2} - P_{mitoO_2}) d DO_2$$
$$= (P_{CAPO_2} - P_{mitoO_2}) \cdot DO_2$$

$$\dot{V}O_{2max} = P_{vO_2} \cdot k \cdot DO_2.$$

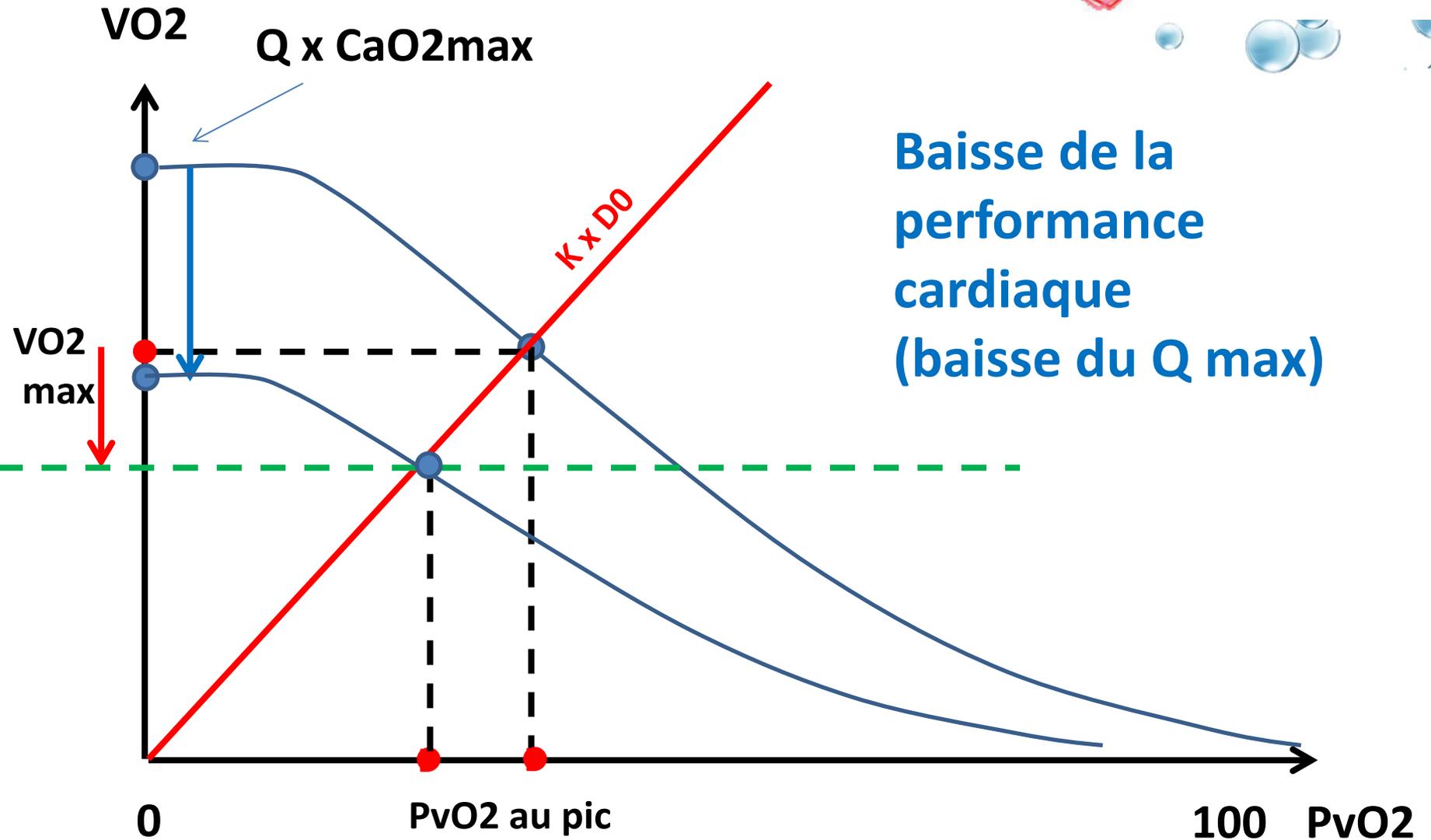
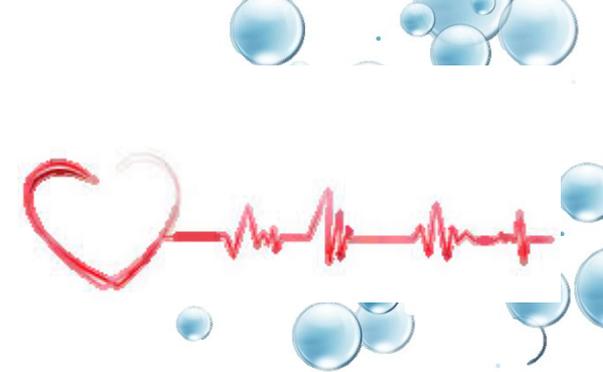
K=2

Wagner 1995

On connaît PvO2
On peut calculer DO, k=2



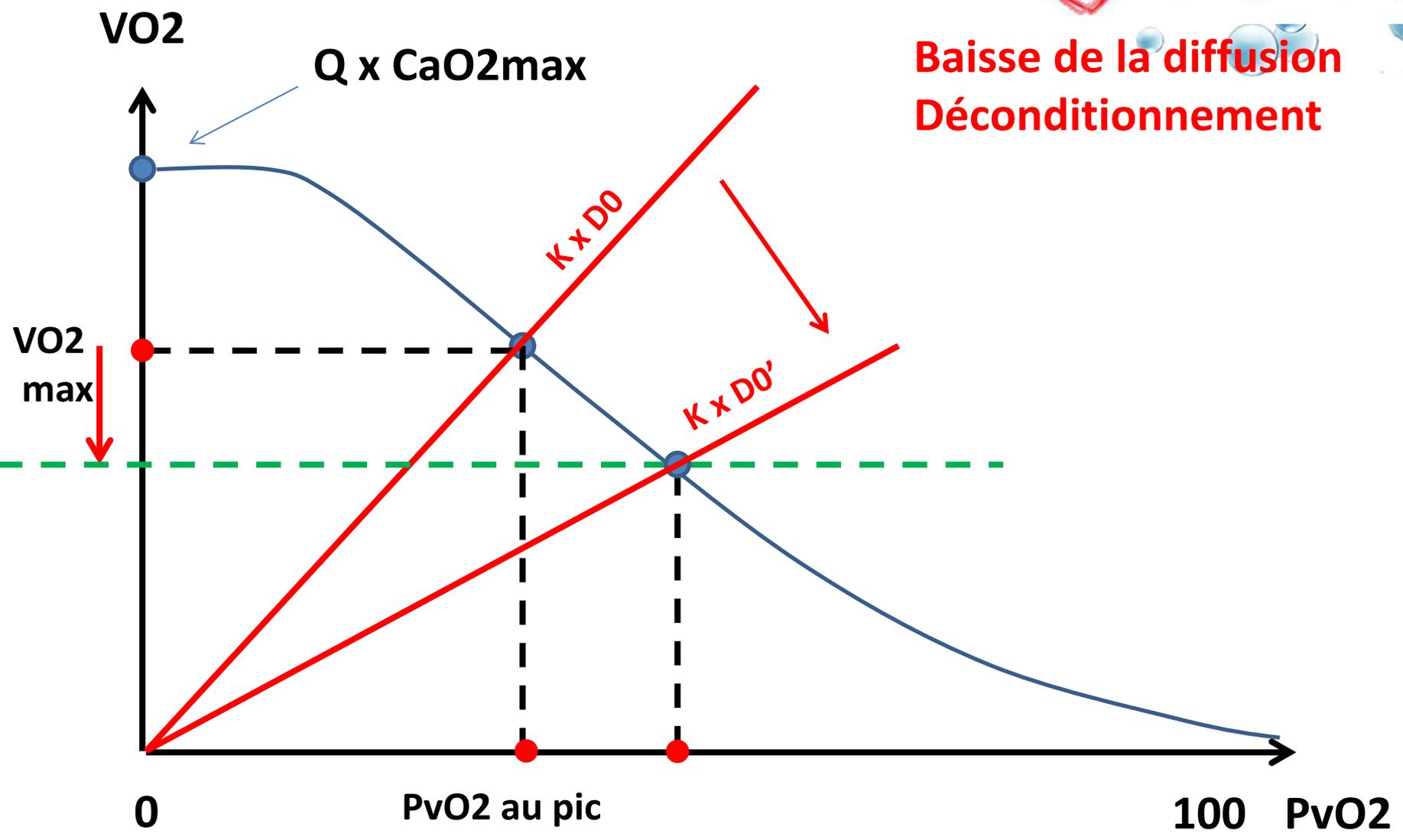
Baisse de la VO2 max



Baisse de VO2 max



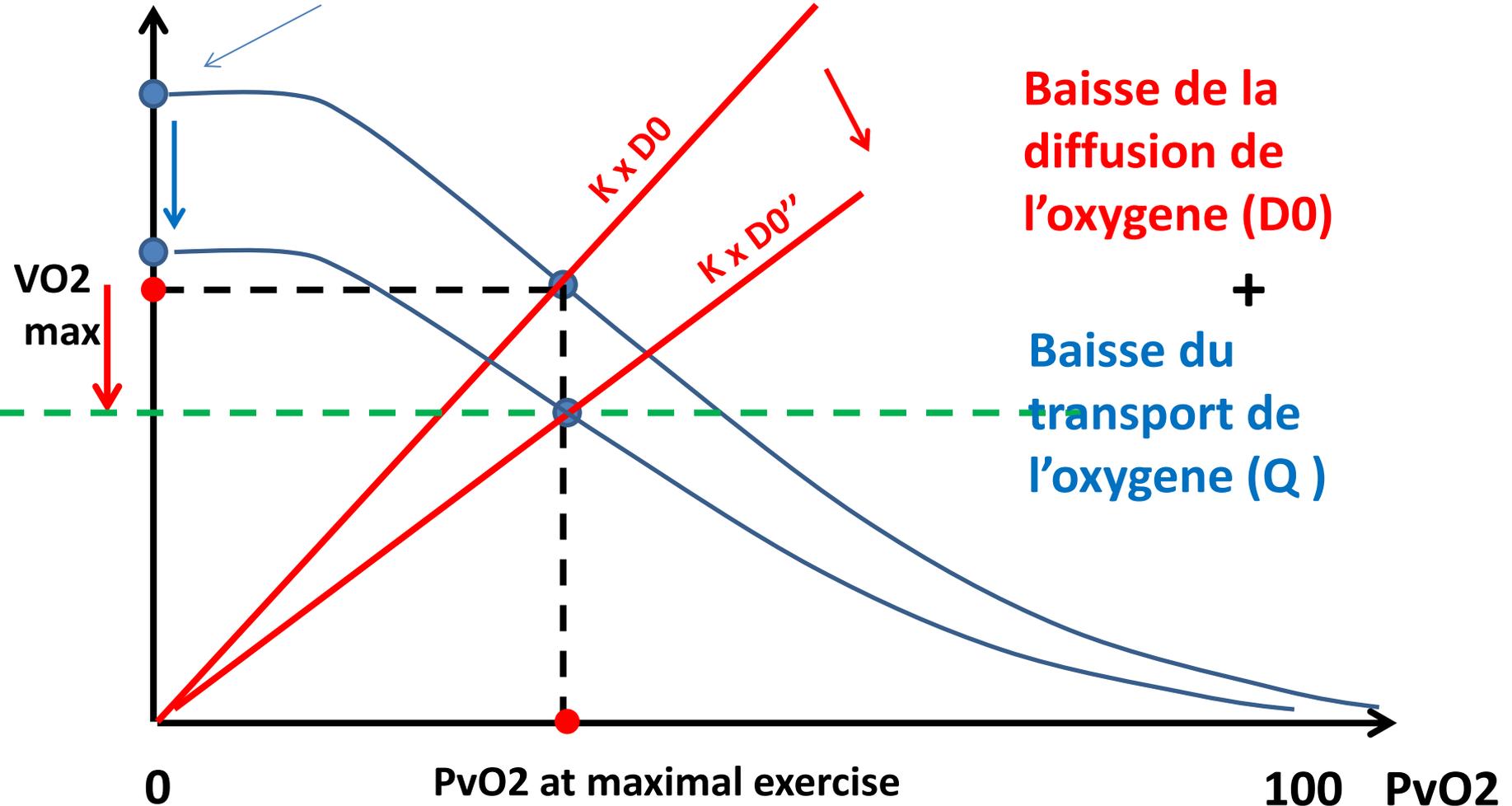
**Baisse de la diffusion
Déconditionnement**



Baisse de la VO2 max

$Q_{max} \times CaO_2$

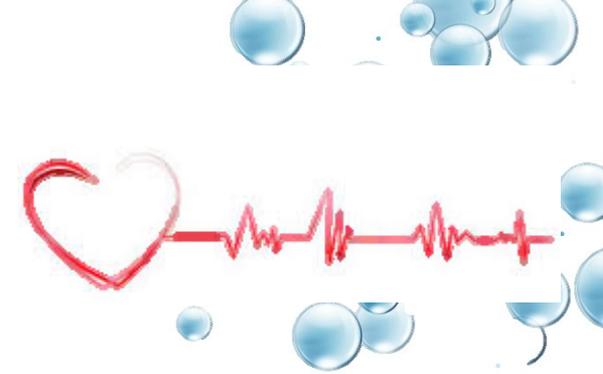
VO2



Baisse de la diffusion de l'oxygene (D_0)

+

Baisse du transport de l'oxygene (Q)



Conclusion

- La VO₂ et paramètres CPET pas suffisants pour dépister une dysfonction précoce
- Intérêt de la mesure directe des paramètres hémodynamique (VES et IC) à l'effort : étude en cours pour intérêt dans la décision PVR
- Combinés à la VO₂ : vue intégrée de l'adaptation cardiovasculaire et musculaire du patient pour améliorer sa prise en charge