

Explorations fonctionnelles en cardiologie congénitale et pédiatrique

Antoine Legendre, M3C-Necker
DU de Cardiologie Pédiatrique
2022-2023

Epreuve d'effort chez l'enfant

Particularités



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 schewing-gums
- 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 !)

....

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 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

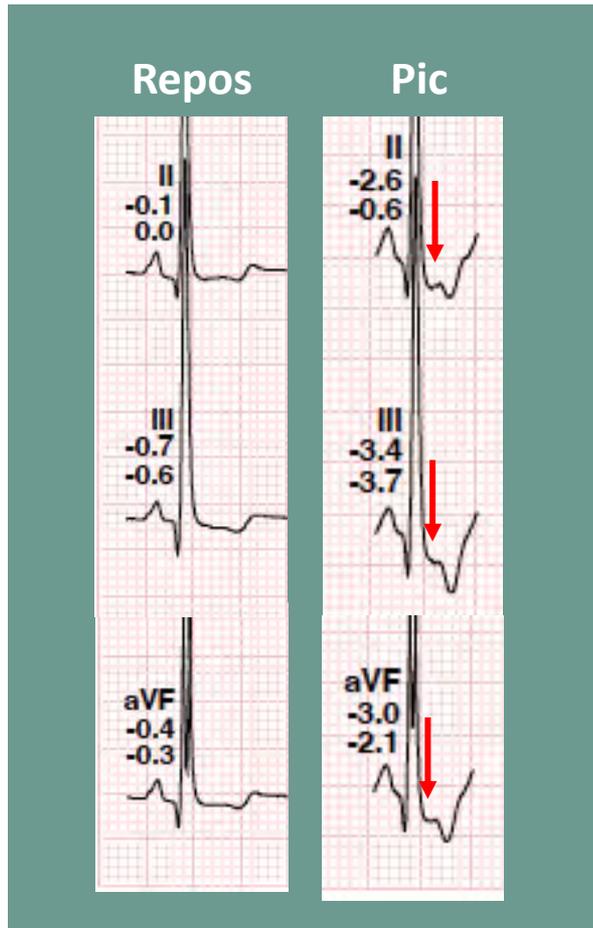
- en général (4 à 6-7 ans) (pas de VO_2 , ECG de mvse qualité)
 - De 4 km/h jusqu'à 8-9 km/h avec pente de 4 à 7 % sur 5-6 min

VO_2 max normes enfant : équation de Cooper Ped Research 1984

Importance de la technique du test d'effort ?

ST-: 1 mm à 60 ms du point

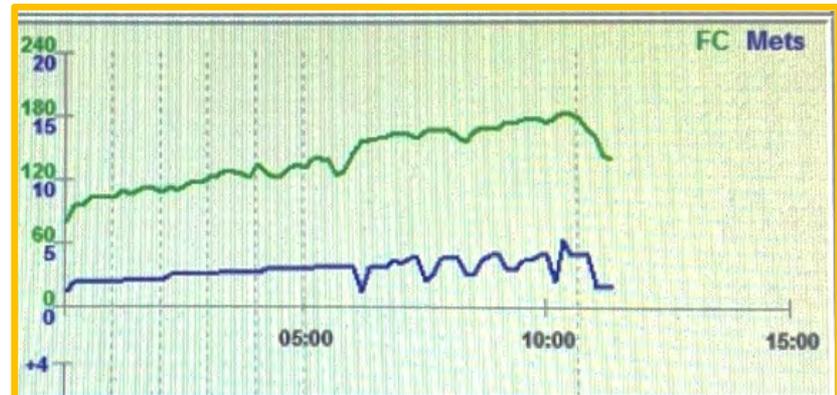
J



Effort le plus poussé possible

BORG +++

FC >>85% FMT



Test d'effort

Risque

2500 tests

- pas d'évènement grave (Tutarel 2013)

1375 tests :

- arrêt du test pour arythmie dans 2,5 % des cas,
- ST élévation ,0,5%
- désaturation : 0,2 %) (Inuzuka 2012)

ECG d'effort

Pas de pathologie connue

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**
- **Même si échocardiographie normale**

Pour voir quoi ?

- **Trouble du rythme à l'effort :**
- **ESV/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**
- **Myocardiopathie débutante**
- **Trouble du rythme à l'effort**
- **TVC**
- **HTA**

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

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 : 6' de récup
- Beta-bloquage
- Pace maker
- ...

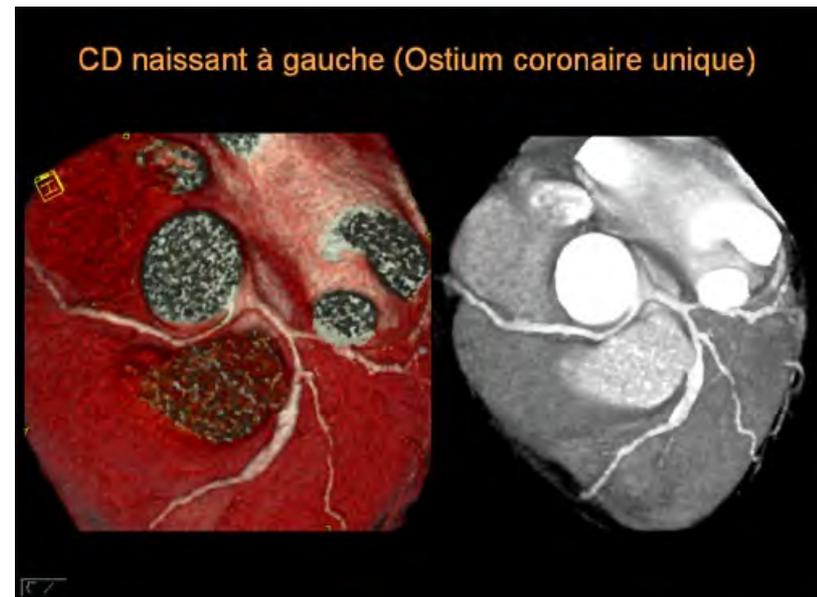
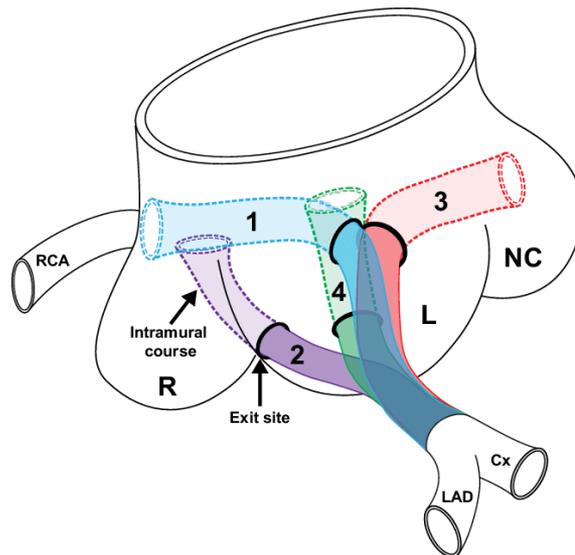
ECG d'effort

Dépistage – suspicion échographique

- Dépistage DVDA / QT long...
- Suspicion d'anomalie coronaire : naissance ou trajet

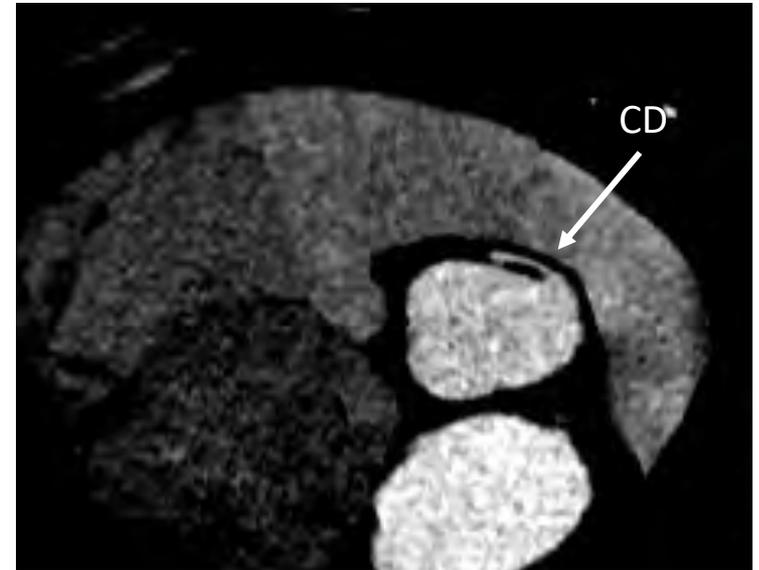
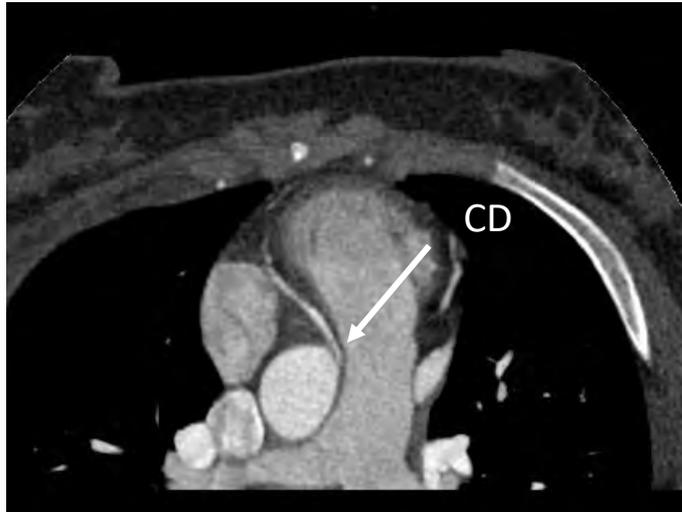
Anomalies de trajet

- 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

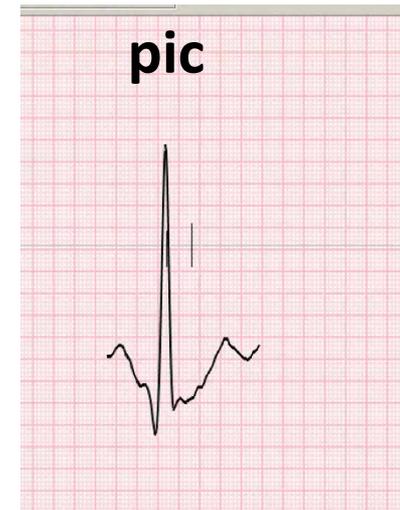
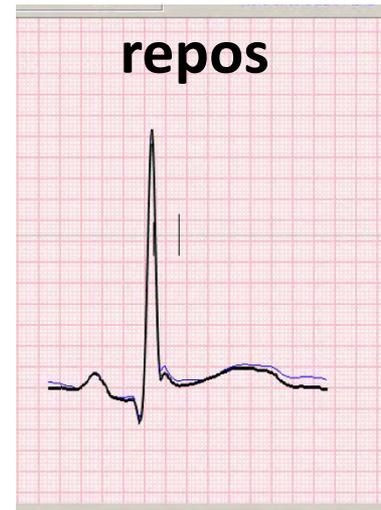


AORCA

2 cas récents (Necker)

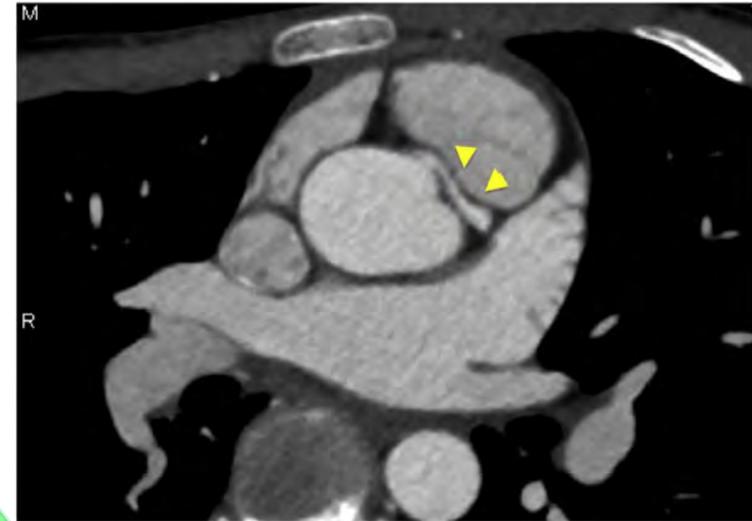
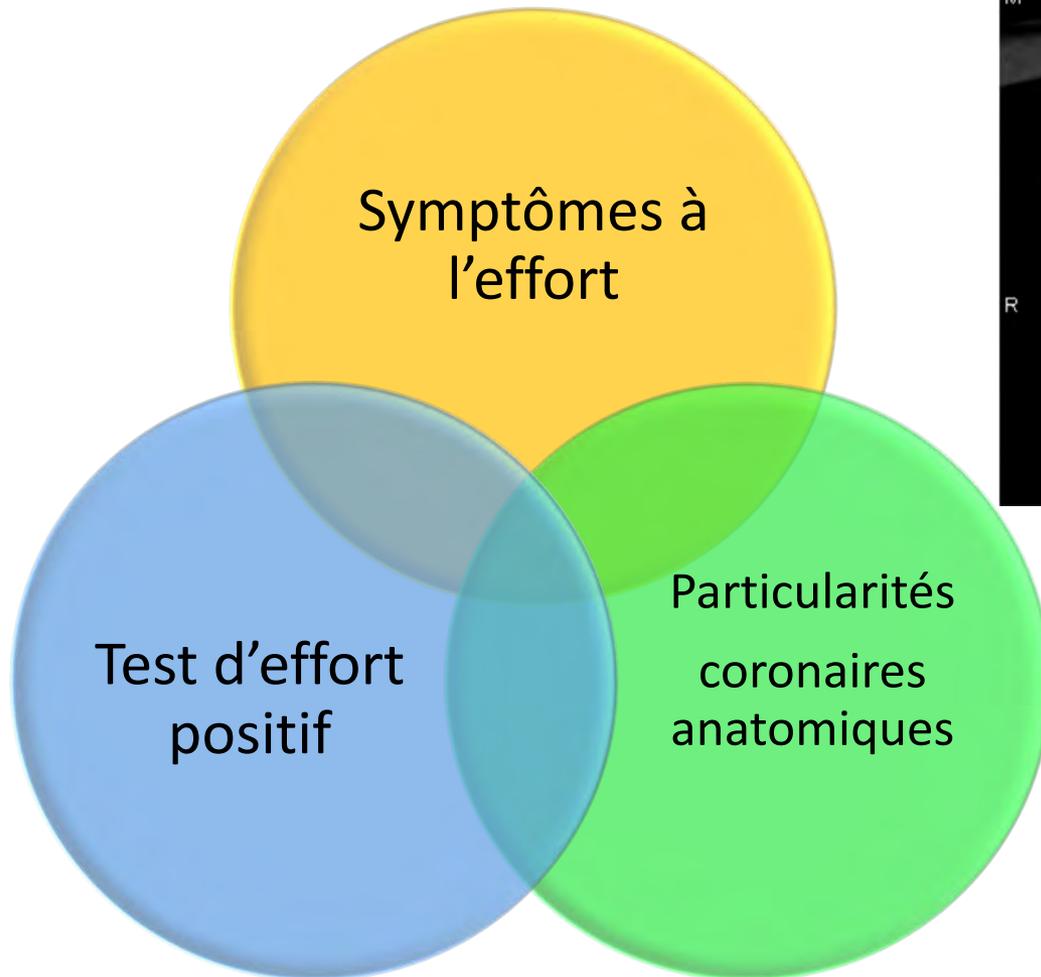


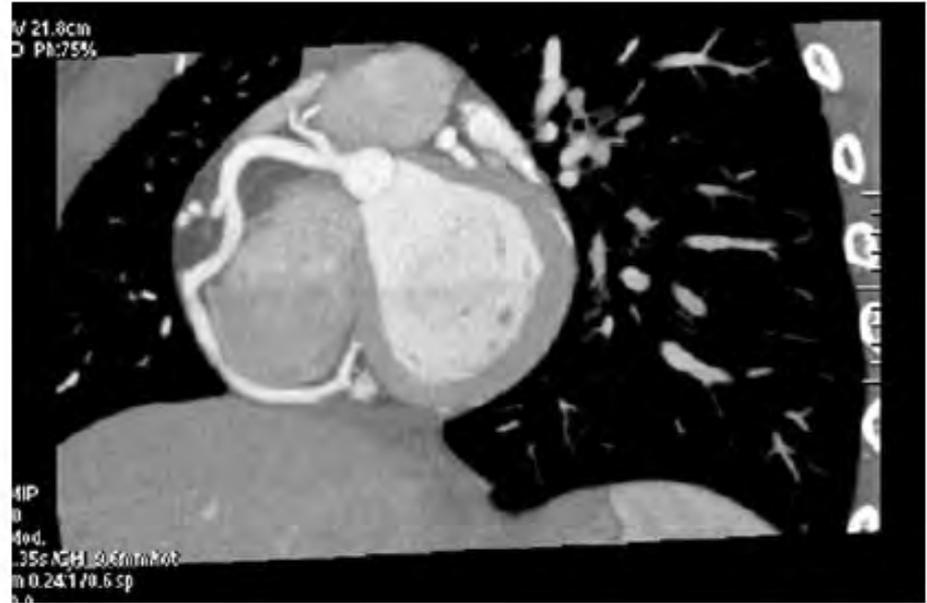
- ECG de repos et d'effort normal
- Douleur angineuse



- Douleur angineuse

AORCA / AOLCA: place du test d'effort dans l'évaluation du risque d'ischémie



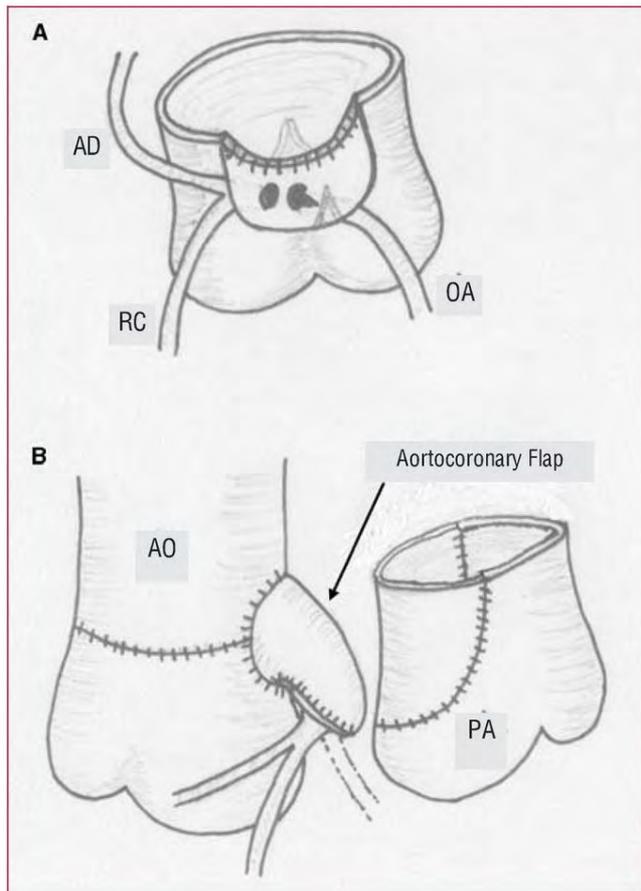


ALCAPA

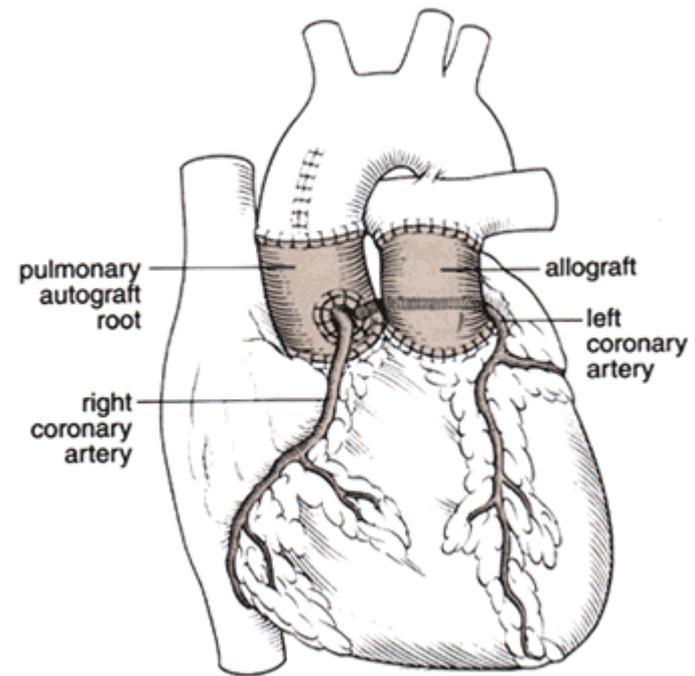
Test d'effort

Séquelles coronaires post chirurgicales

Réimplantation des coronaires : switch, ross, ALCAPA, AORCA/AOLCA...

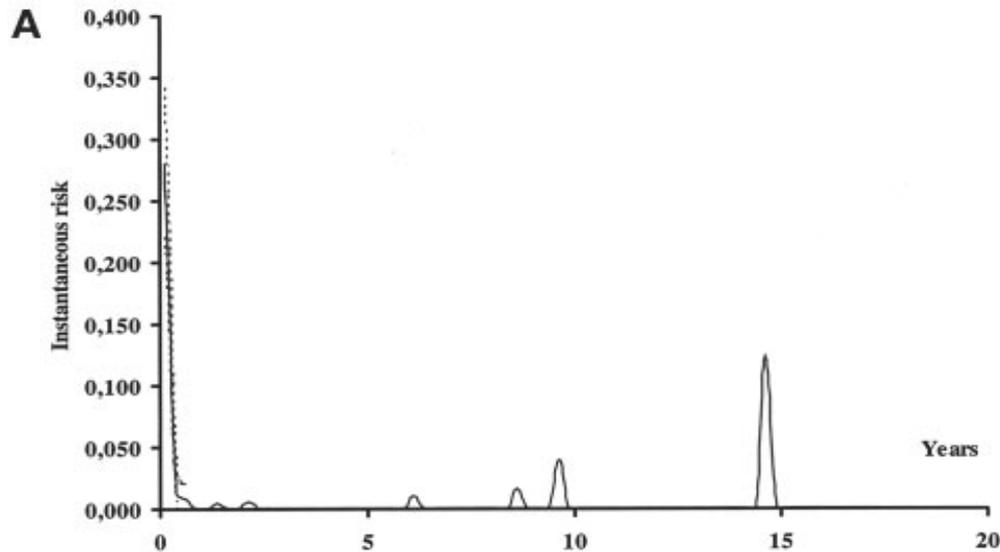


SWICH ARTERIEL



ROSS

Evènements coronaires après switch artériel



Legendre Circulation 2003



Ou JTCS 20013,
Raimondi JACC imaging 2018

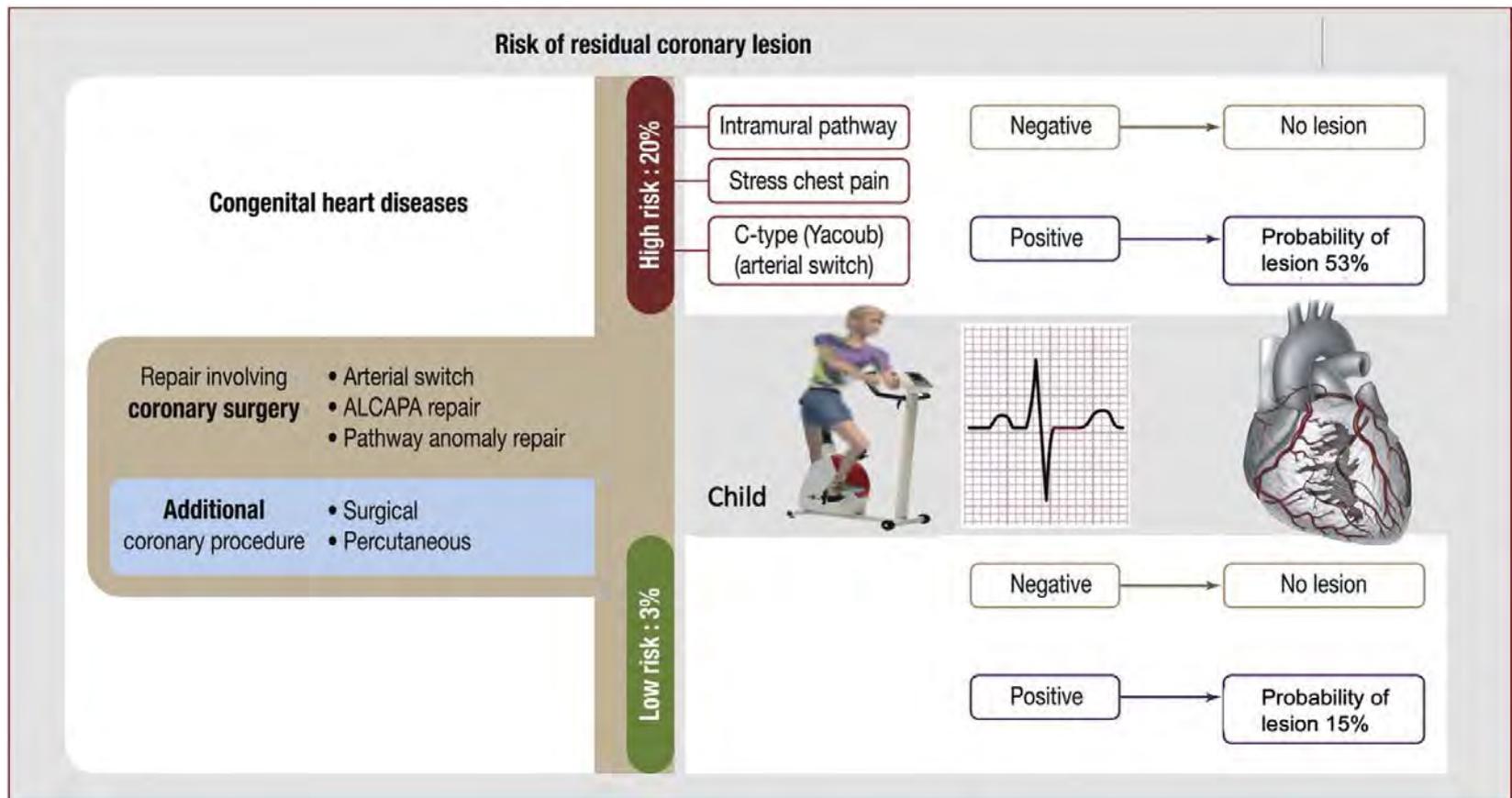
post switch artériel

Recherche d'ischémie

	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

Valeur de l'ECG d'effort dans le dépistage des lésions sévères post chirurgicales



Test d'effort

Profil TA -coarctation opérée



HTA

- Les patients opérés d'une coarctation ont 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 ?

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

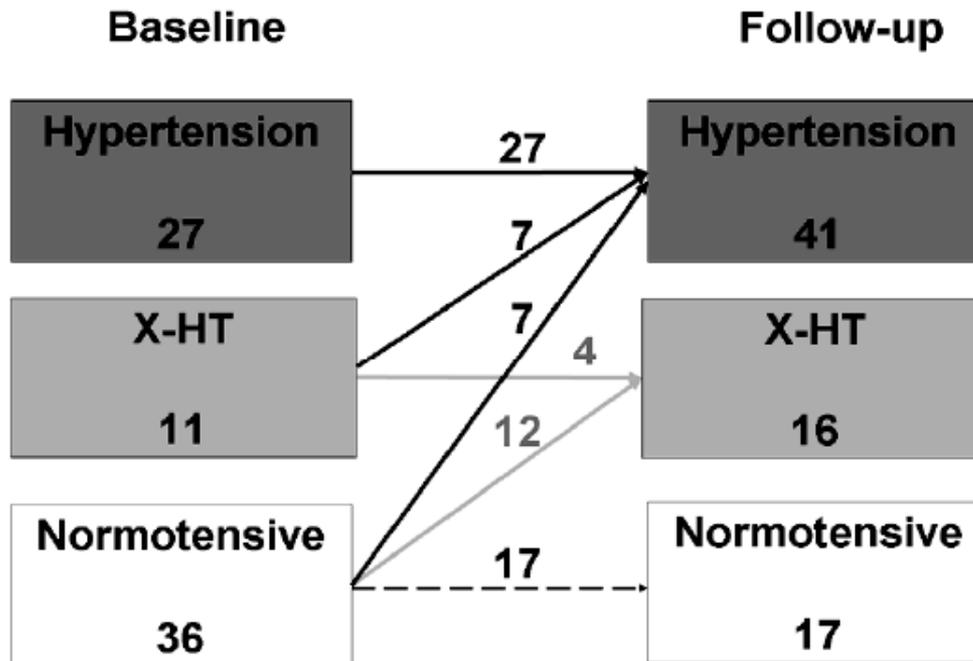
Age Range (years)	Systolic blood pressure (SBP)			Diastolic blood pressure (DBP)		
	SBP R	SBP max	SBP R6	DBP R	DBP max	DBP R6
	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD
10 - 11	106.4 ± 6.6	126.1 ± 14.4	107.9 ± 8.8	65.3 ± 4.8	56.0 ± 10.9	61.9 ± 7.3
12 - 13	110.5 ± 10.9	133.9 ± 21.1	111.1 ± 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

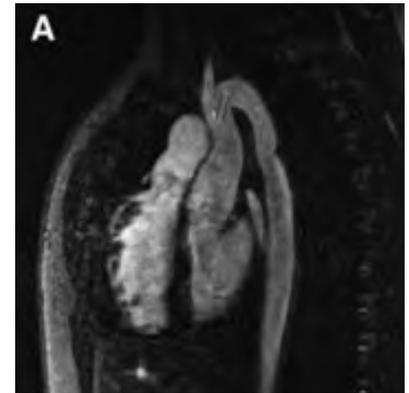
Age Range (years)	Systolic blood pressure (SBP)			Diastolic blood pressure (DBP)		
	SBP R	SBP max	SBP R6	DBP R	DBP max	DBP R6
	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD
10 - 11	105.3 ± 8.7	120.0 ± 18.5	101.5 ± 6.8	65.0 ± 6.9	47.9 ± 11.2	55.9 ± 7.6
12 - 13	107.1 ± 7.6	125.0 ± 15.4	105.8 ± 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

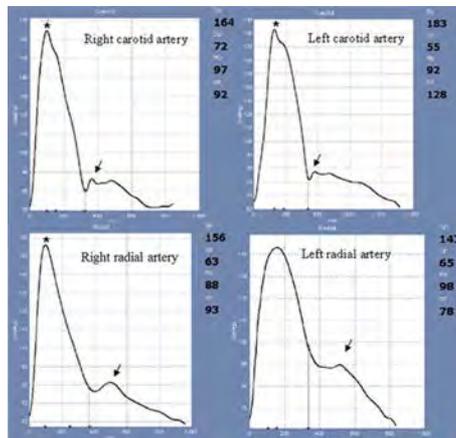
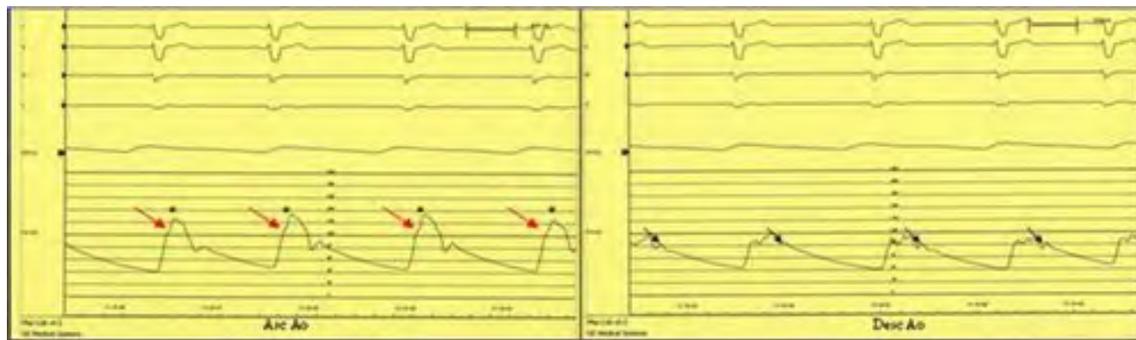


Coarctation opérée, mécanisme HTA

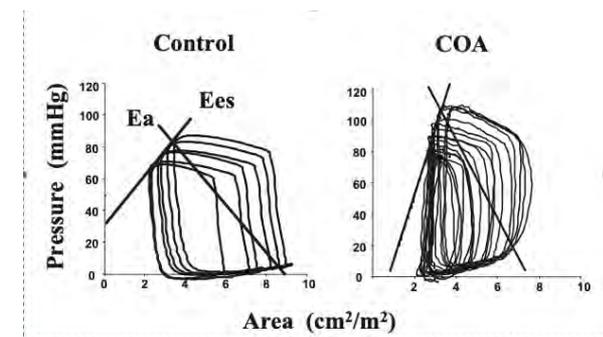


- Arche gothique

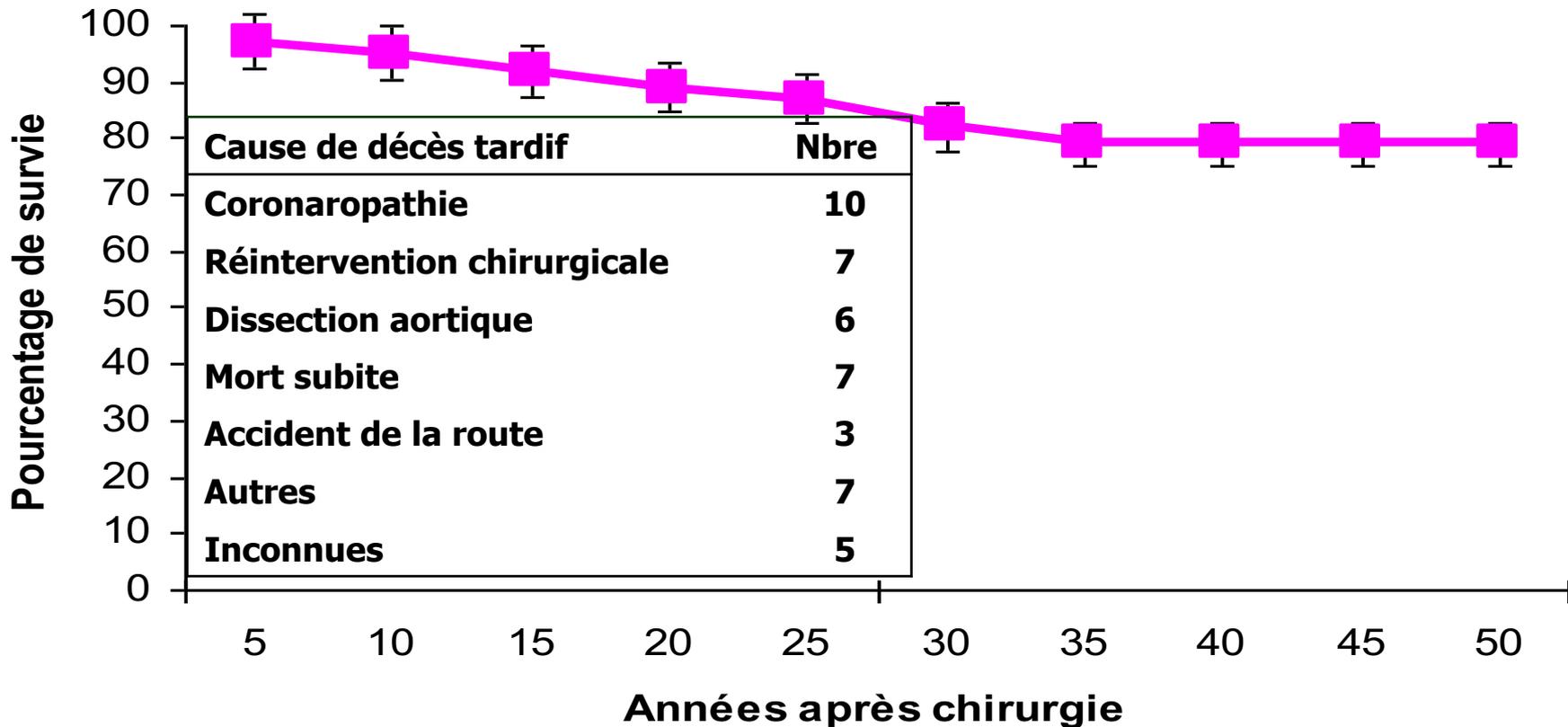
Facteur de risque d'HTA d'effort et HTA (MAPA)



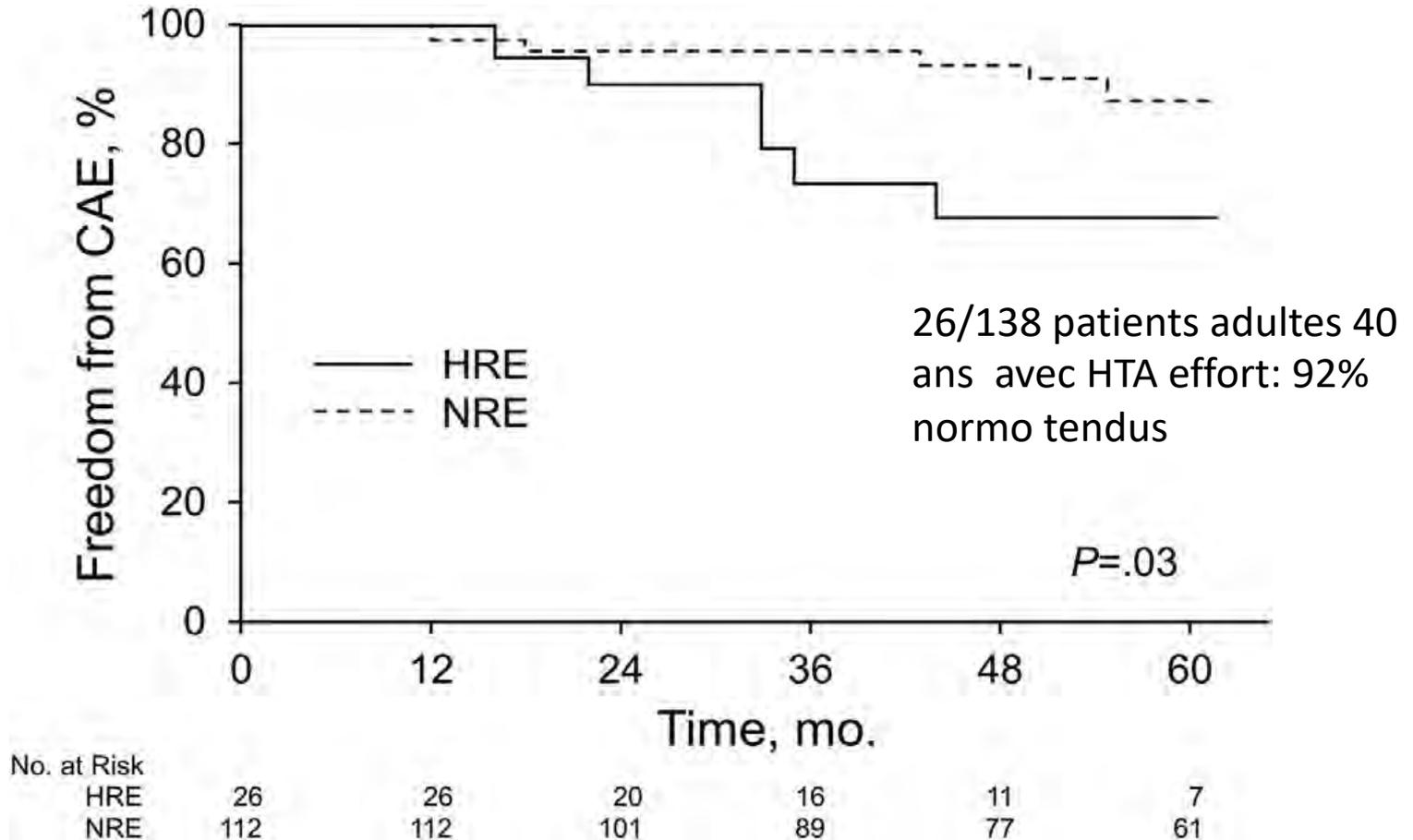
Ladouceur, Circulation 2013



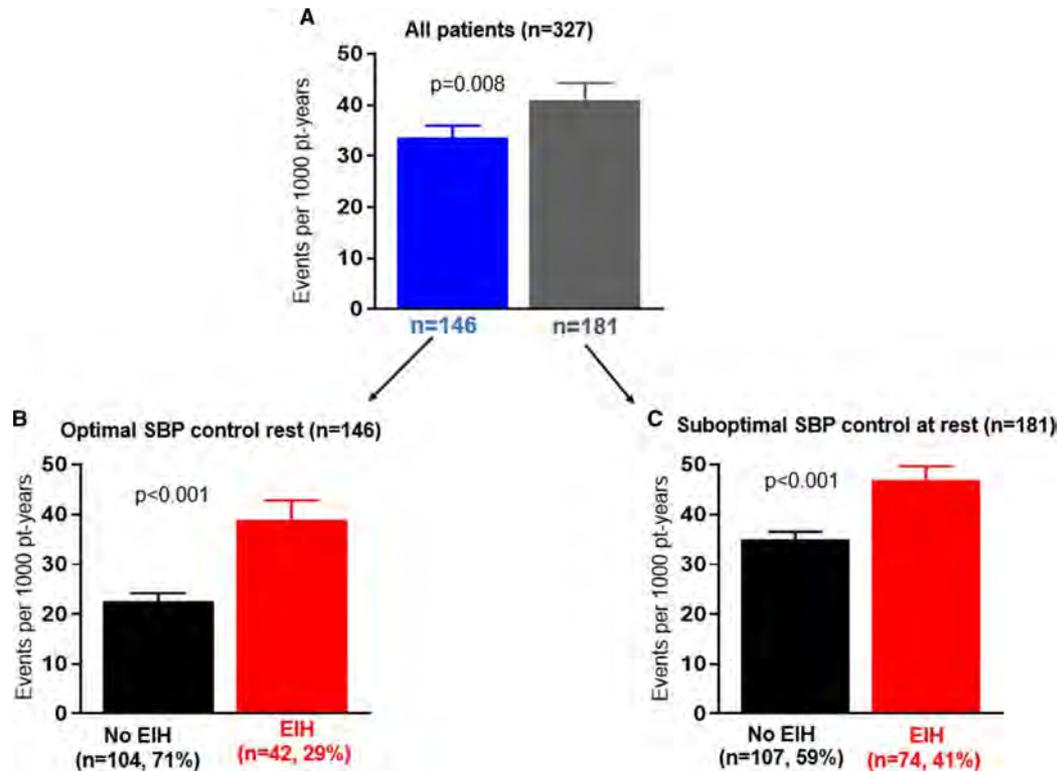
COURBE DE SURVIE APRES CURE DE COARCTATION



HTA d'effort prédit les accidents cardiovasculaires ?



Valeur pronostique de l'HTA d'effort chez patient avec coa opérée



HTA d'effort : CAT

- 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 sports à 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

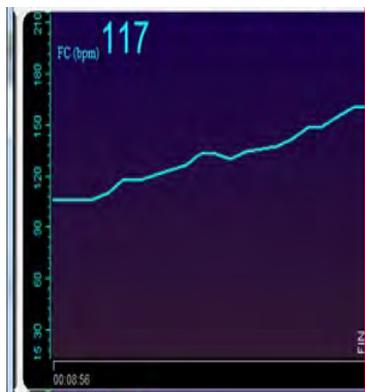
- Trouble de la fonction diastolique / ischémie (TDR)
- Mauvaise adaptation des RVS
- Ischémie /TDR ventriculaire - auriculaire

Bicuspidie stenosante (14 ans)

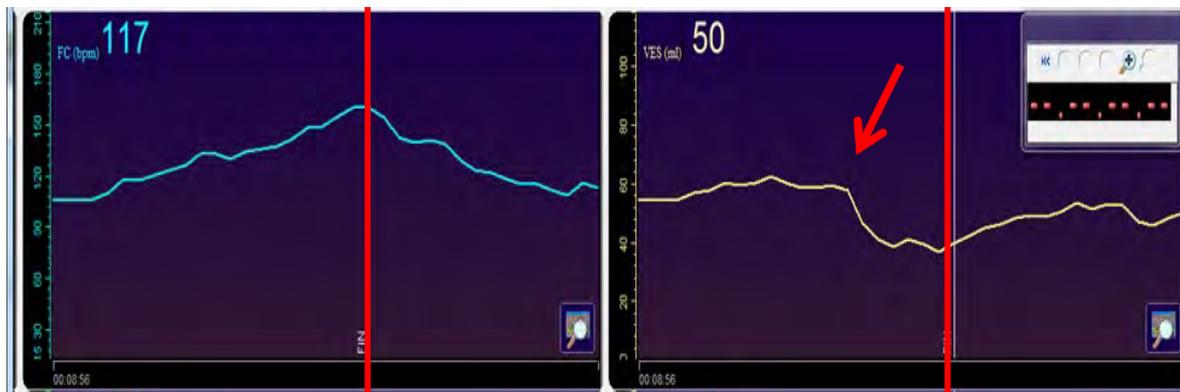
Gradient moyen 50 mmHg,
FE VG : 60%,
Hypertrophie modérée

Exercice
Augmentation PA
Pas d'ischémie

FC



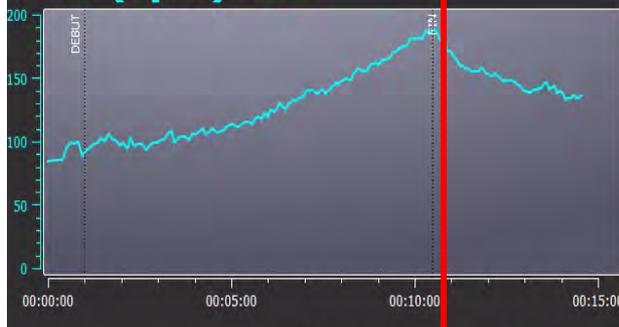
Stroke volume



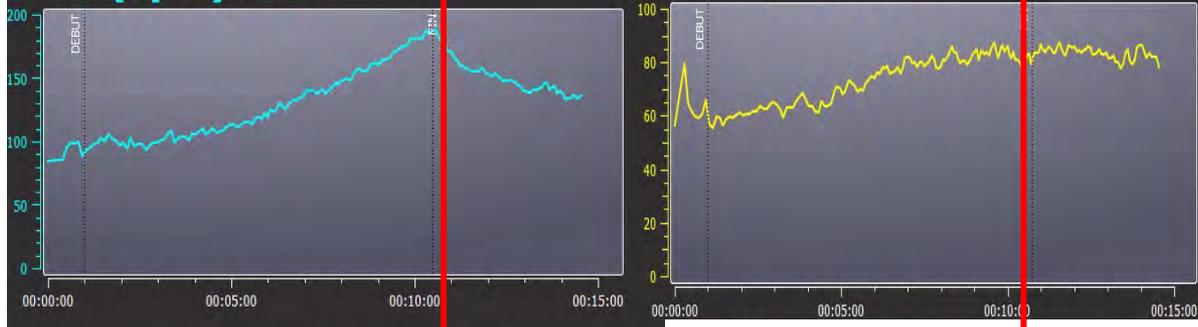
commisuroplastie

Gradient moyen
20 mmHg

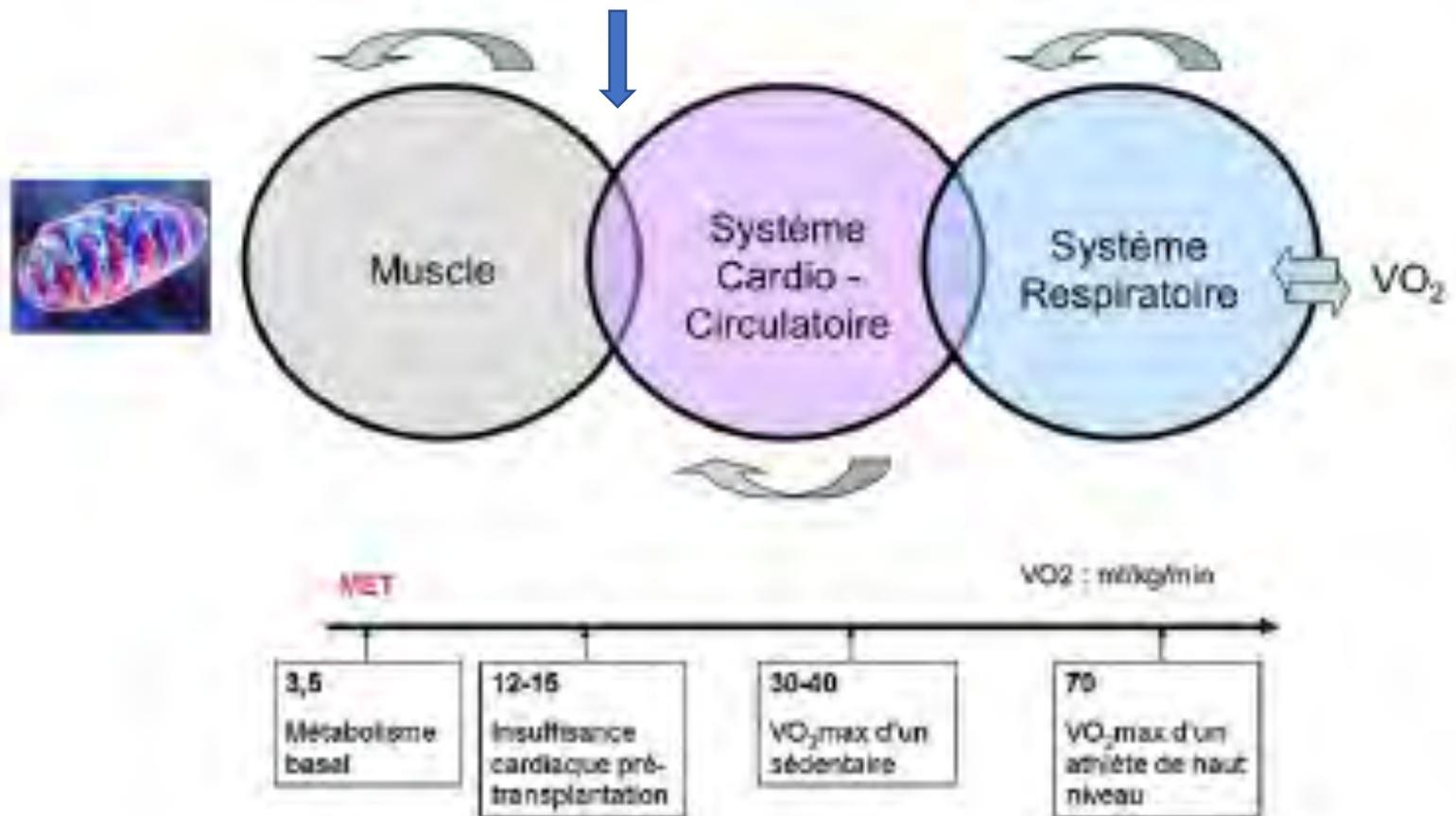
FC (bpm): 187



VES (ml): 79.2



Fick equation : $VO_2 = \text{debit cardiaque} \times \text{Difference arterio-veineuse}$

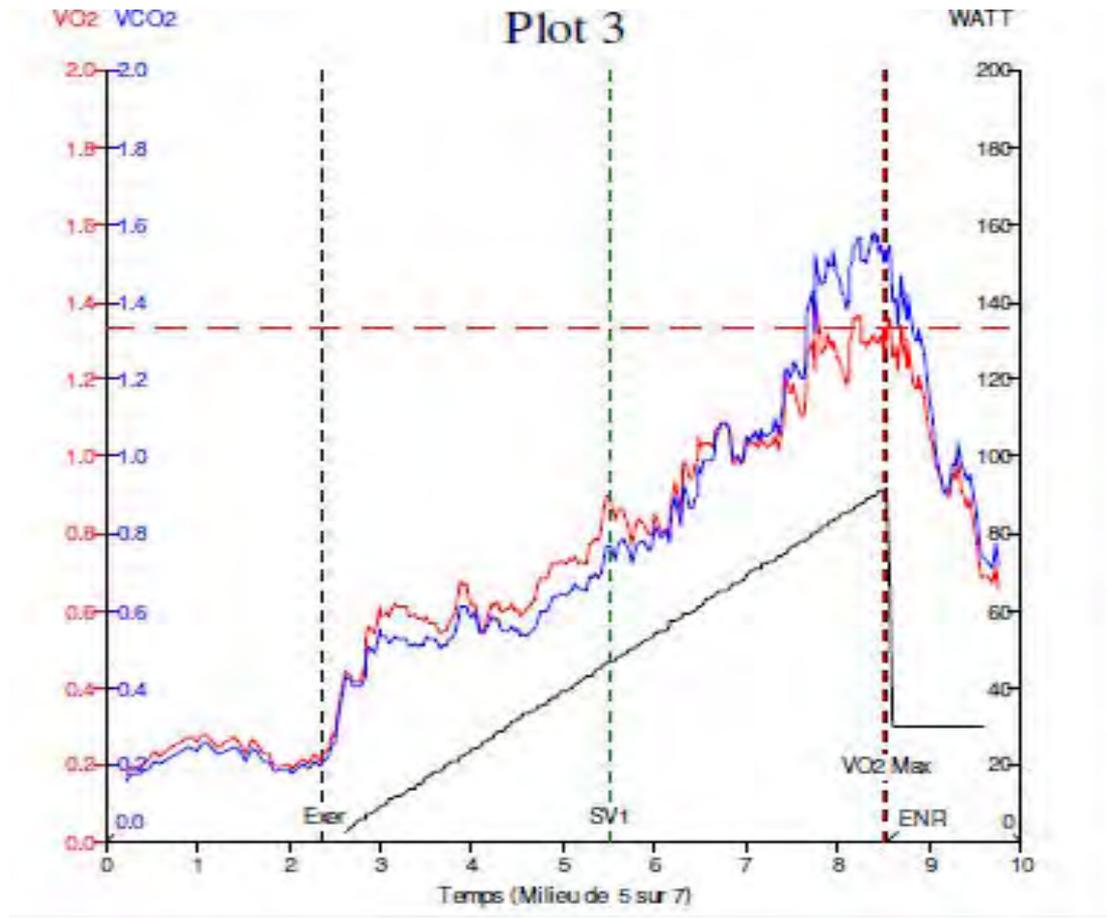




Capteur de débit

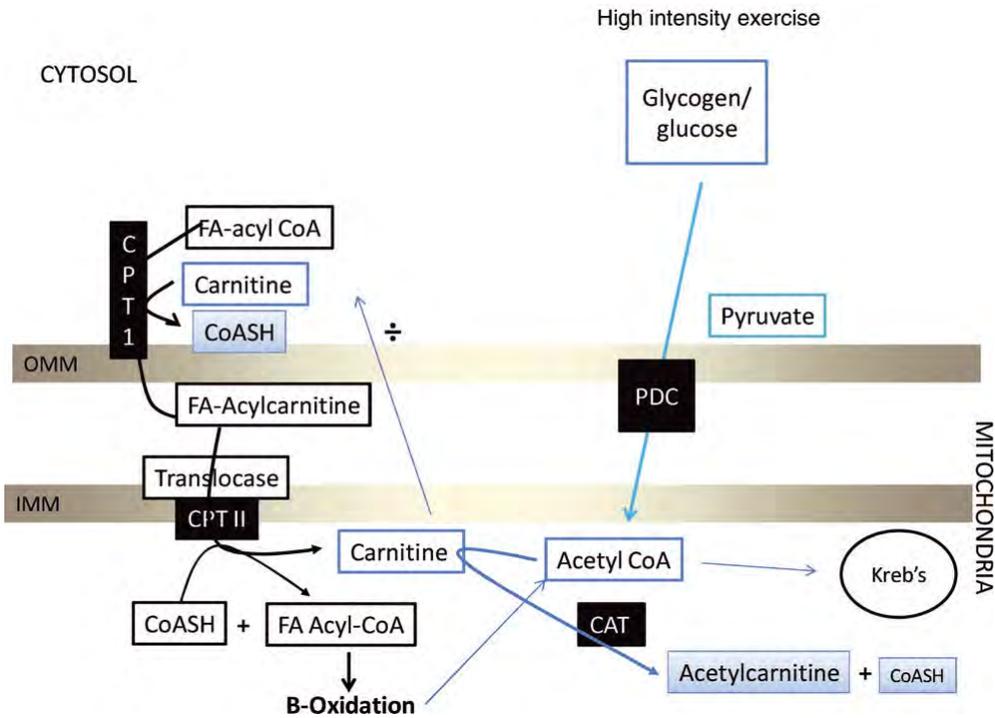
Vers analyseur de gaz
(O₂/CO₂)

Effort en rampe – VO2max

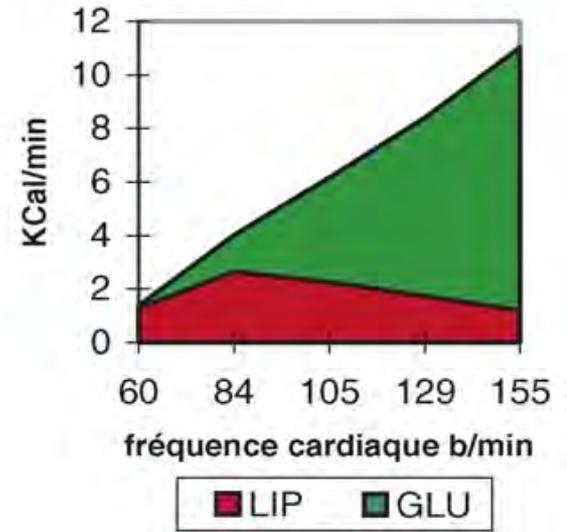


1 quotient respiratoire (CO₂/O₂) pour chaque type de substrat

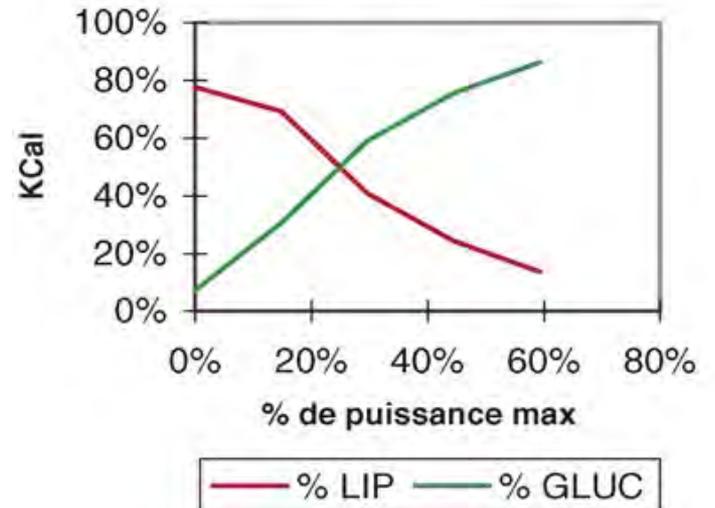
	kcal/g (1)	O ₂ (l/g)	kcal/l O ₂	QR $\frac{CO_2}{O_2}$
Hydrtes de carbone	4,2	0,84	5,0	1,00
Protéines	4,3 (2)	0,96	4,5	0,81
Graisses	9,4	2,00	4,7	0,71



DEPENSE CALORIQUE D'EFFORT

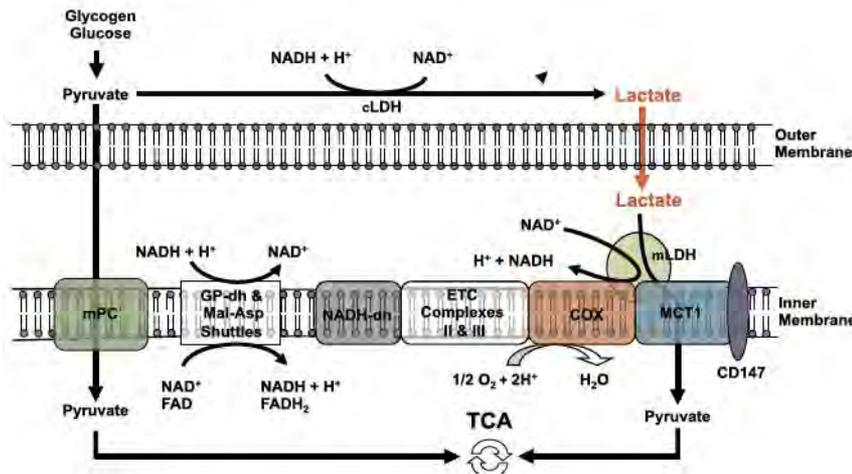


% RESPECTIF DE SUBSTRATS OXYDES

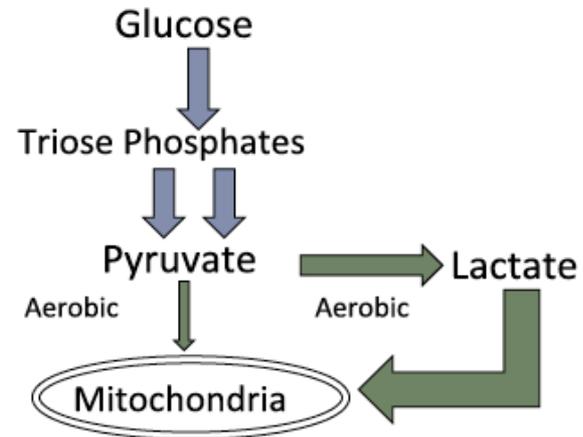


Seuil anaérobie ?

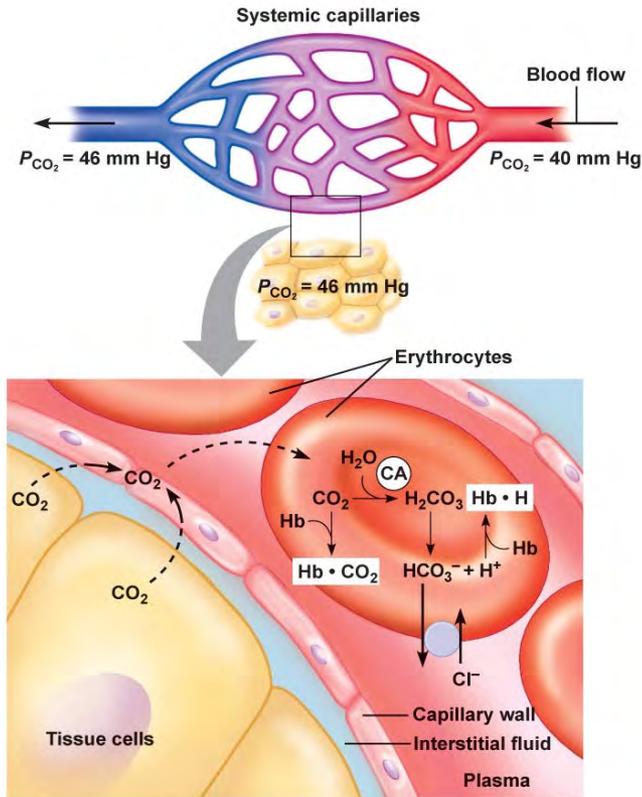
- En fait : production aerobique pure (ou quasi pure tout au long du test)
- La production de lactate ne veut pas dire : metabolisme anaérobie



Lactate Shuttle View of the Link Between Lactate Shuttle View of the Link Between Glycolysis and Oxidative Metabolism

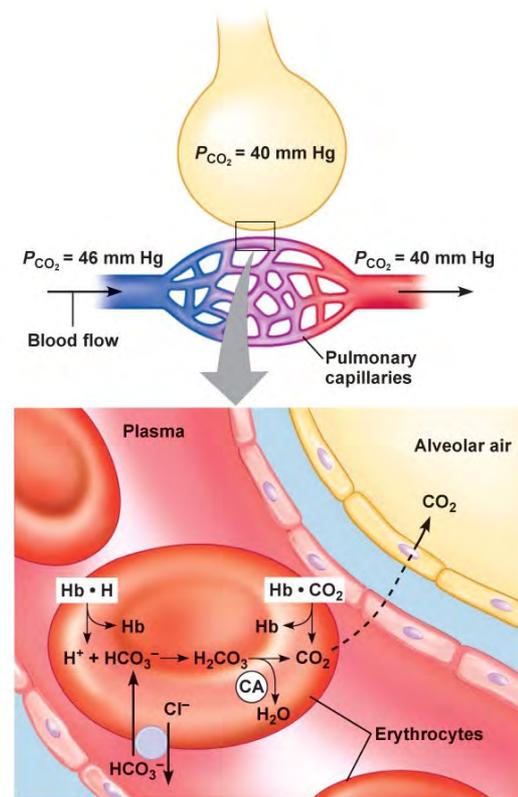


Tampon : production de CO₂ « non métabolique » dans les capillaires pulmonaires



(a)

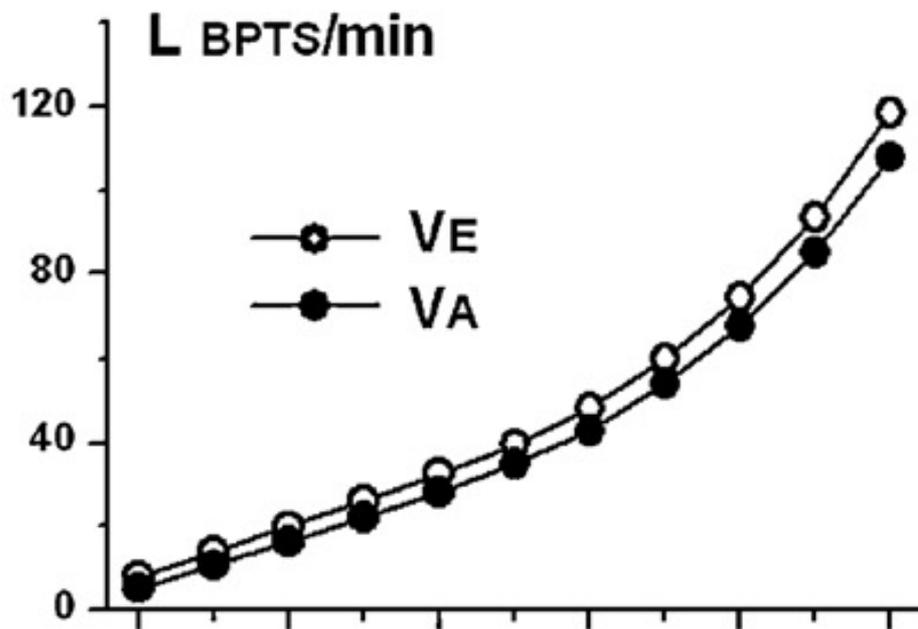
© 2011 Pearson Education, Inc.



(b)

© 2011 Pearson Education, Inc.

Seuil ventilatoire



Regulation of exercise hyperpnea

- Motor cortical activation
- Muscle afferents (type III & IV, spindles?)
- CO₂ flux to the lung (chemoreceptor?)
- Increased K⁺, H⁺, lactate?
- Elevated catecholamines and temperature
- Lung and chest wall mechanoreflexes
- No role for O₂

Test maximal ?

- Maximalité de l'épreuve
 - Critères cliniques : raison de l'arrêt, borg > 7,
 - FC max (> 85-90 % de la FMT) mais insuf. chronotrope post chir, BB
 - réserve ventilatoire atteignant 35 %
 - Quotient respiratoire > 1,15
 - Plateau de VO2 +++
 - pH < 7,25
- Fsx d'arguments - experience

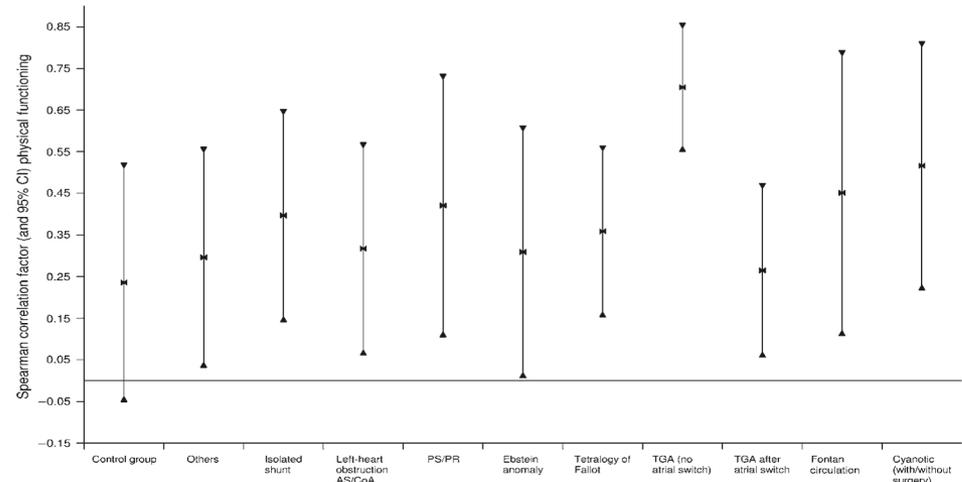
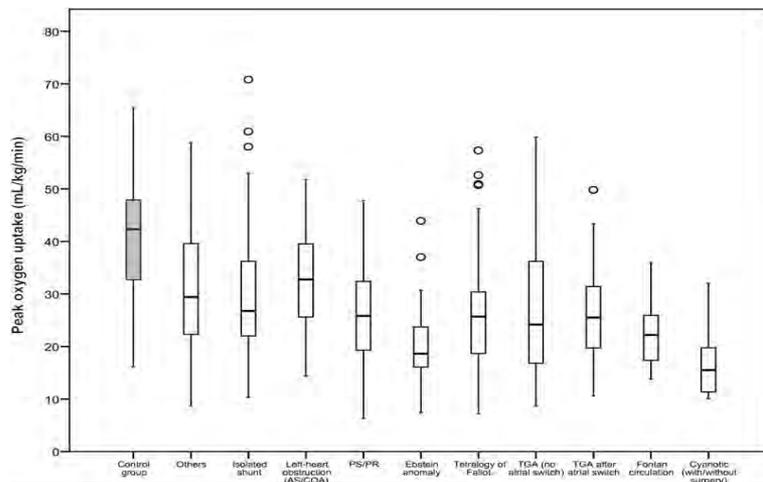
Indications du test d'effort cardiopulmonaire

- Vérifier et mesurer le symptôme d'intolérance à l'effort
- Outils diagnostique
- Outil pronostique
- Envisager une grossesse
- Aide à la décision thérapeutique
- Outil de réhabilitation cardiaque

Test cardiopulmonaire

Vérifier et mesurer le symptôme d'intolérance à l'effort

- Difficulté pour le patient d'apprécier lui-même son degré d'intolérance à l'effort (controversé)
- Bonne corrélation avec la classe NYHA et correspondance avec patient en insuffisance cardiaque chronique
- Mesure avec valeur continue (VO₂max) plutôt que par classe



Test cardiopulmonaire

Diagnostic

Shunt Droite – Gauche à l'effort

- Par CIA/PFO par défaut de compliance du VD
 - VD défaillant (Fallot),
 - VD restrictif (APSI, SVP...),
 - Ebstein...

Hyperventilation : augmentation de VE/VCO_2

Desaturation

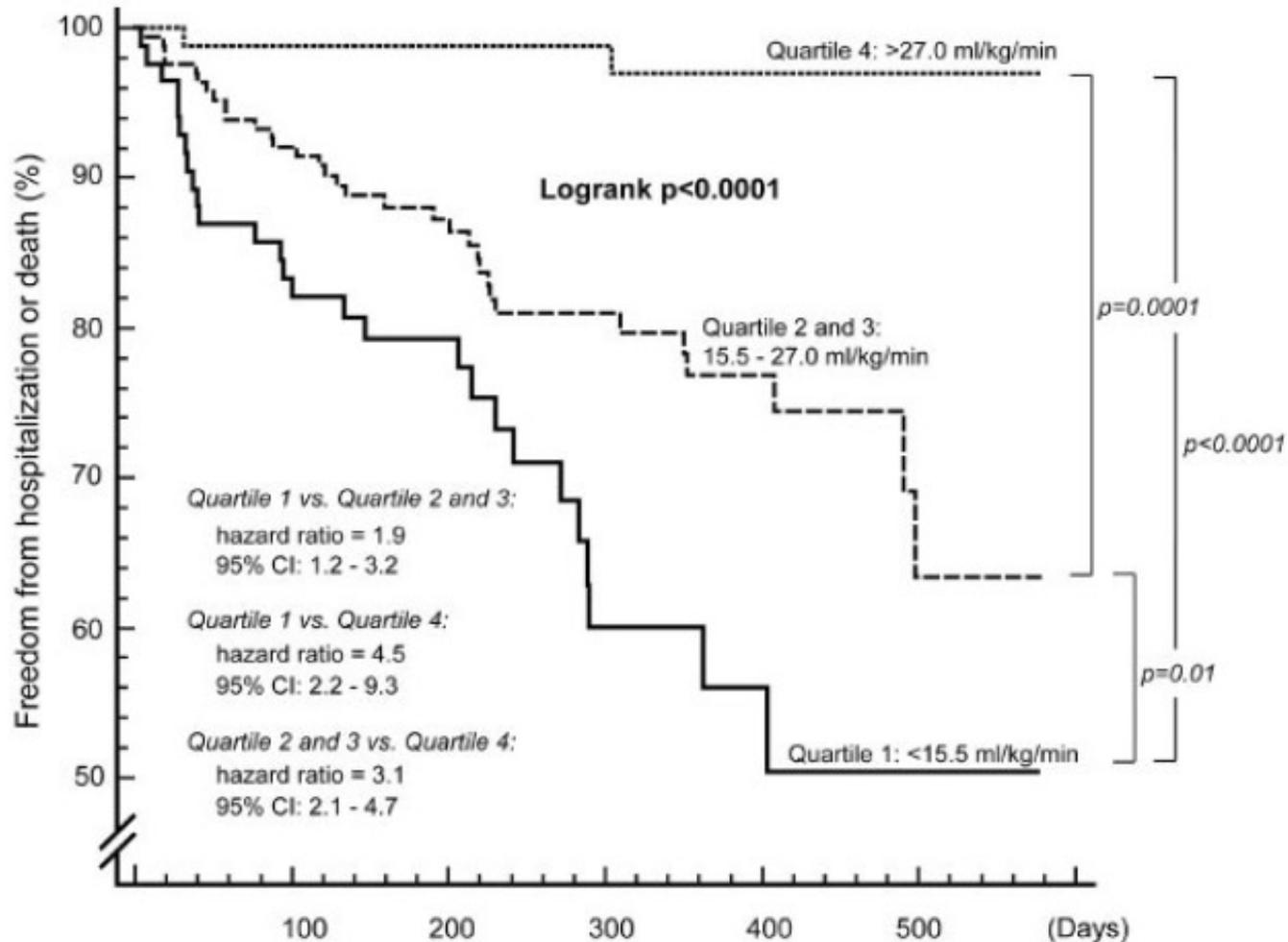
Diminution de la $P_{et} CO_2$

Test cardiopulmonaire

valeur pronostique

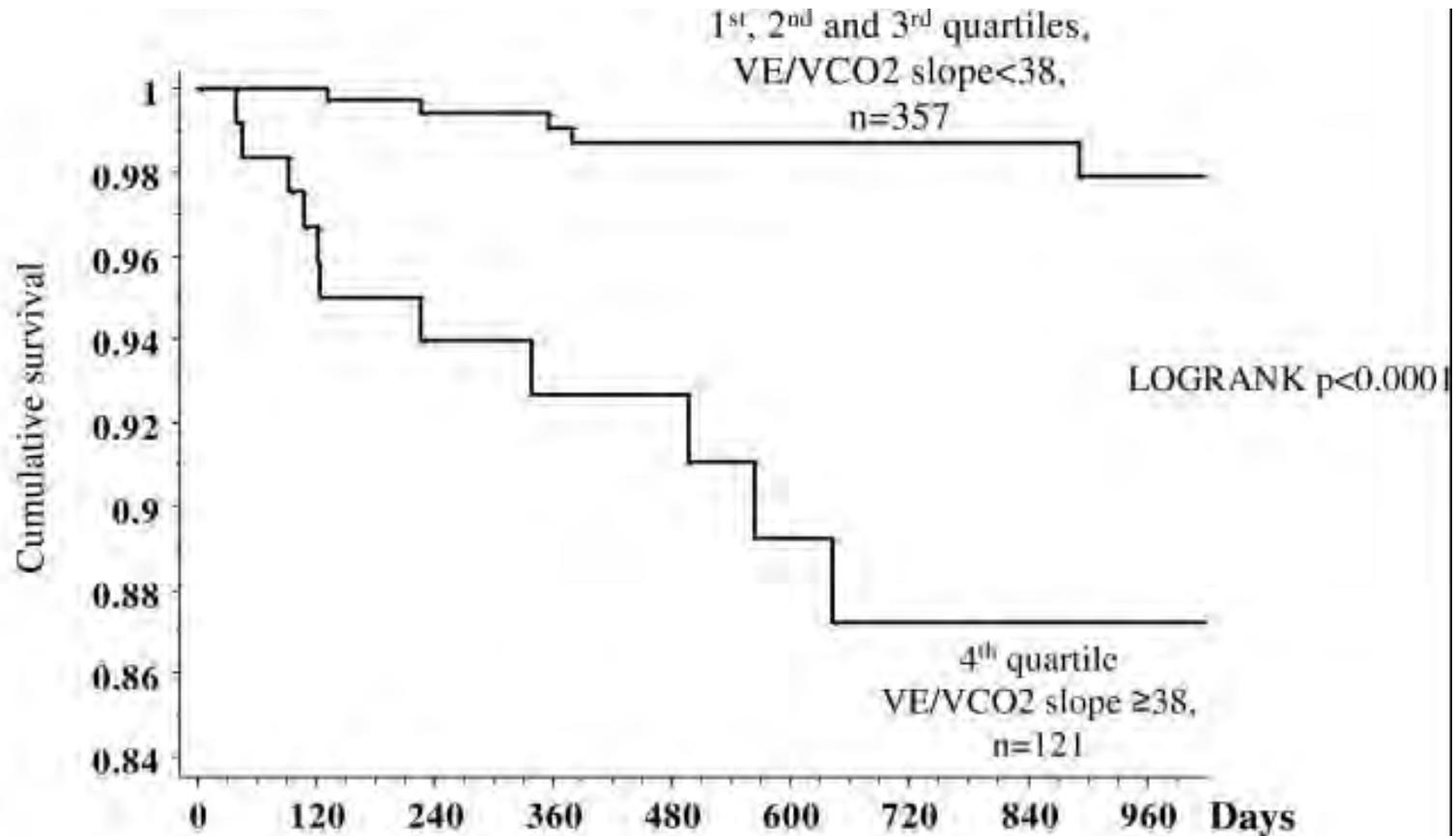
- Pic de VO₂ (< 64% th)
- Reserve de FC (> 71/min)
- Saturation de repos
- Baisse de la saturation à l'effort de plus de 5%
- Pente VE/VCO₂ (non cyanosé) (39)
- Seuil ventilatoire
- Âge

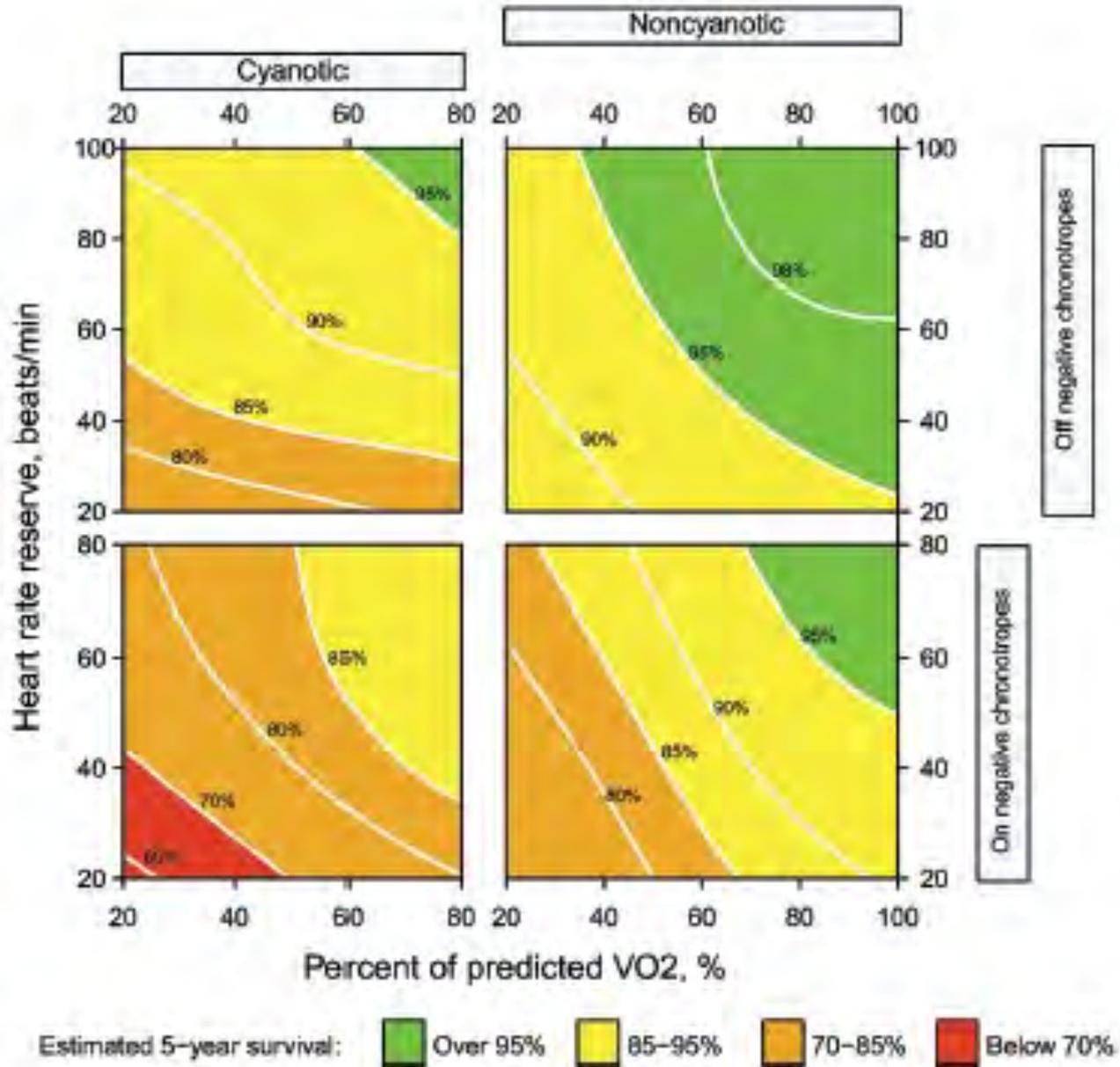
Test cardiopulmonaire valeur pronostique



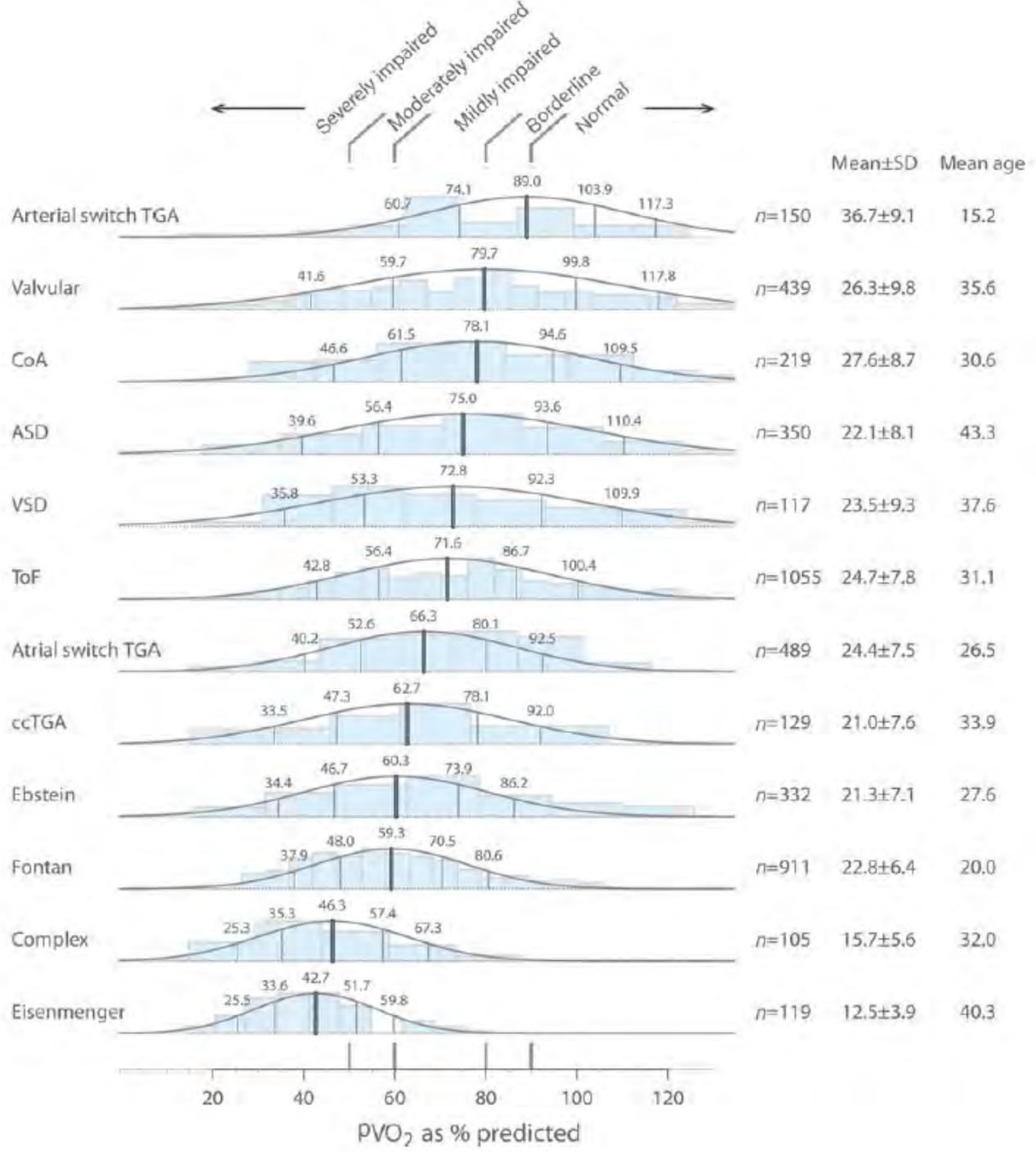
Test cardiopulmonaire

valeur pronostique

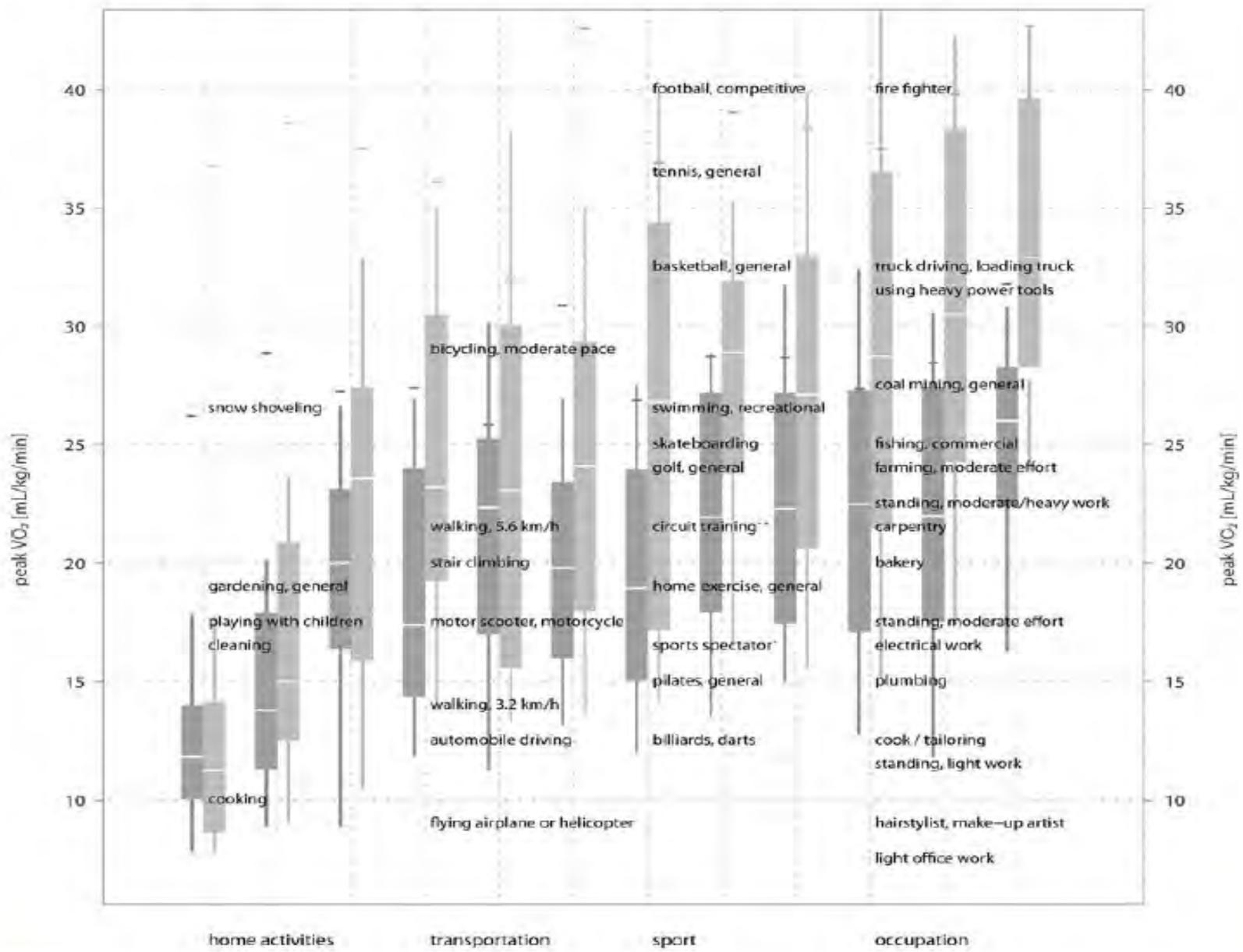




Kempny
EHJ 2012



Eisenmenger
Complex
cCTGA
Ebstein
ASD
Fontan
VSD
Mustard
ToF
Valvular
CoA
Jatene



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)

- $VO_2\max < 22$, $FC\ max < 150$: ev cardiaques maternels
- $VO_2\max < 26$, ev néonatal
- $VO_2\max < 25$, $FC\ max < 150$: ev maternel cardiaques et/ou néonatal

Test cardiopulmonaire

Décision thérapeutique

3.4.7. Exercise Testing

Recommendations for Exercise Testing

Referenced studies that support recommendations are summarized in [Online Data Supplement 11](#).

COR	LOE	Recommendations
Ila	B-NR	1. In patients with ACHD, cardiopulmonary exercise testing (CPET) can be useful for baseline functional assessment and serial testing. ^{S3.4.7-1,S3.4.7-2}

PR resulting from treatment of isolated PS may have progressive impact on RV size and function, and may result in symptoms, such that pulmonary valve replacement would be considered. Serial follow-up for clinical evaluation, CPET, and imaging to evaluate for symptoms, exercise intolerance attributable to PR, and/or RV dilation or RV dysfunction will allow appropriate timing of intervention if needed.

Recommendations for TOF (Continued)

COR	LOE	Recommendations
Therapeutic		
I	B-NR	5. Pulmonary valve replacement (surgical or percutaneous) for relief of symptoms is recommended for patients with repaired TOF and moderate or greater PR with cardiovascular symptoms not otherwise explained. ^{S4.3.5.9-S4.3.5-11}

Recommendations for Fontan Palliation of Single Ventricle Physiology (Continued)

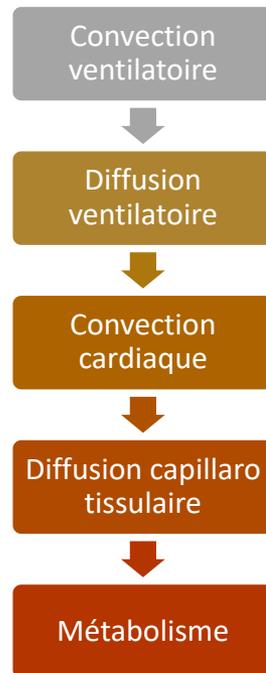
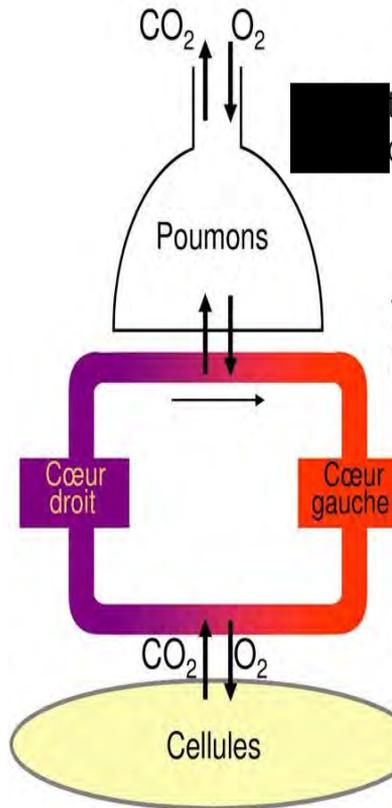
COR	LOE	Recommendations
IIb	C-LD	16. Reoperation or intervention for structural/anatomic abnormalities in a Fontan palliated patient with symptoms or with failure of the Fontan circulation may be considered. ^{S4.3.7.7}

Recommendations for Right Ventricle-to-PA Conduit

Referenced studies that support recommendations are summarized in [Online Data Supplement 44](#).

COR	LOE	Recommendations
Therapeutic		
Ila	B-NR	4. Right ventricle-to-PA conduit intervention is reasonable for adults with right ventricle-to-PA conduit and moderate or greater PR or moderate or greater stenosis (Table 22) with reduced functional capacity or arrhythmia. ^{S4.3.6.7-S4.3.6-11}

Déterminants de la VO2



- $VO_2 = V_i \times F_{iO_2} - \boxed{V_E} \times F_{E O_2}$

- $VO_2 = \boxed{D_{LO_2}} \times (P_{AO_2} - P_{cap O_2})$

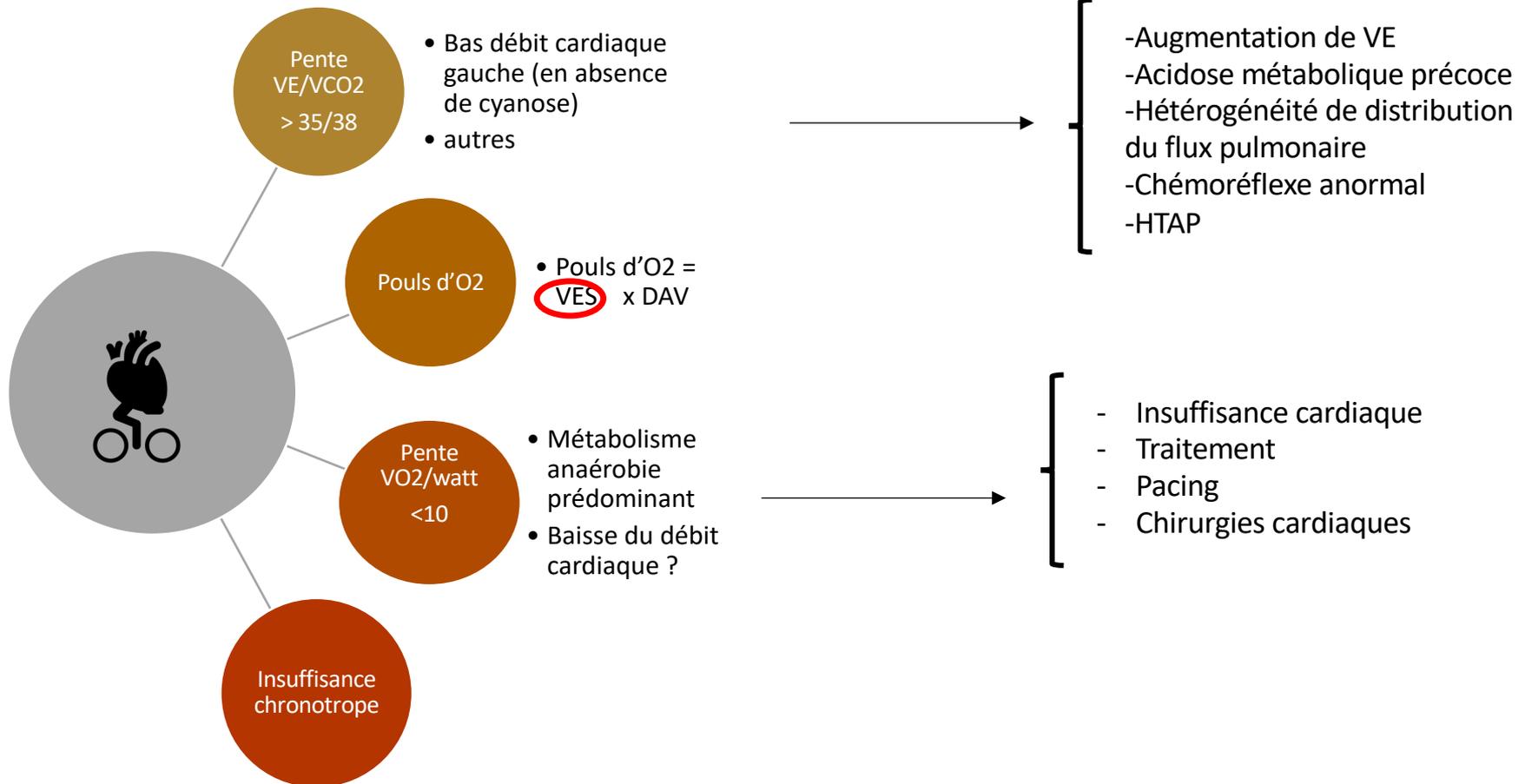
- $VO_2 = \boxed{DC} \times (C_{aO_2} - C_{vO_2})$

$$C_{aO_2} = 1,34 \times Hb \times S_{aO_2}$$

- $VO_2 = \boxed{D_{O_2}} \times (P_{capO_2} - P_{mit O_2})$

- $\boxed{M_{vO_2}}$

Performance cardiaque à l'effort : indices

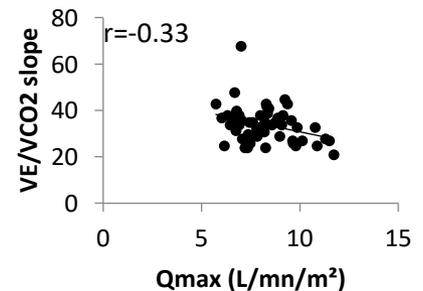
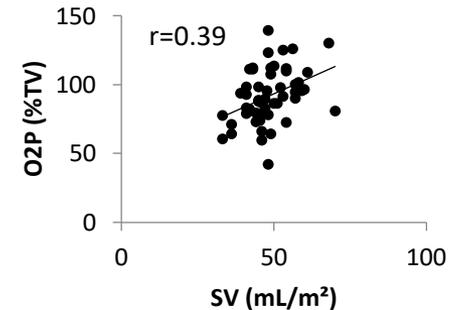


Performance cardiaque à l'effort : indices

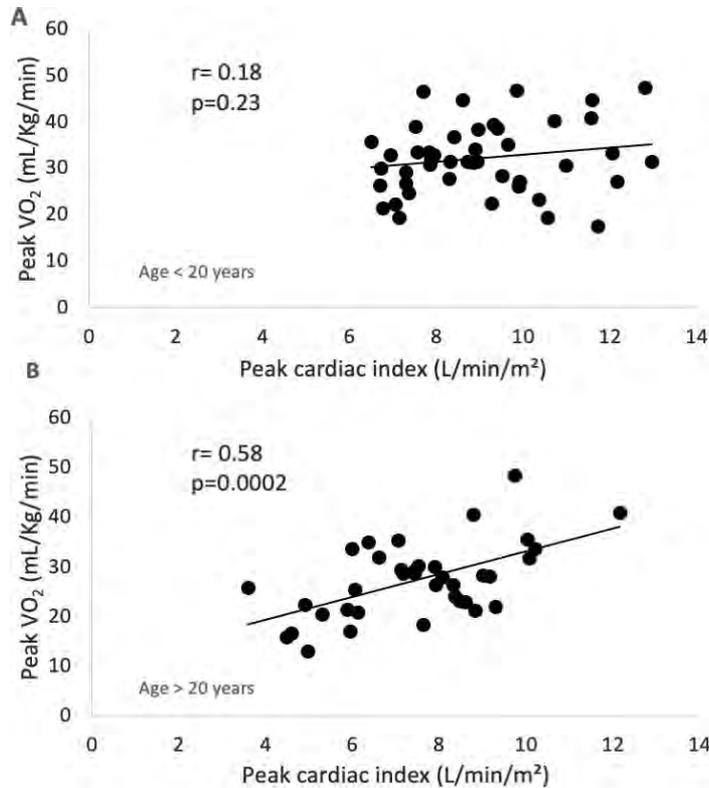
- VE/VCO₂, degré d'insuffisance chronotrope : puissant facteur pronostique d'hospitalisation et mortalité
- Mais *individuellement* :
 - Corrélation faible entre pouls d'O₂ et VESi
 - Corrélation faible entre pente VE/VCO₂ et VESi

Enfant avec lésions résiduelles (Guirgis 2019)

Adultes Fallot avec fuite pulmonaire sévère (non publié)



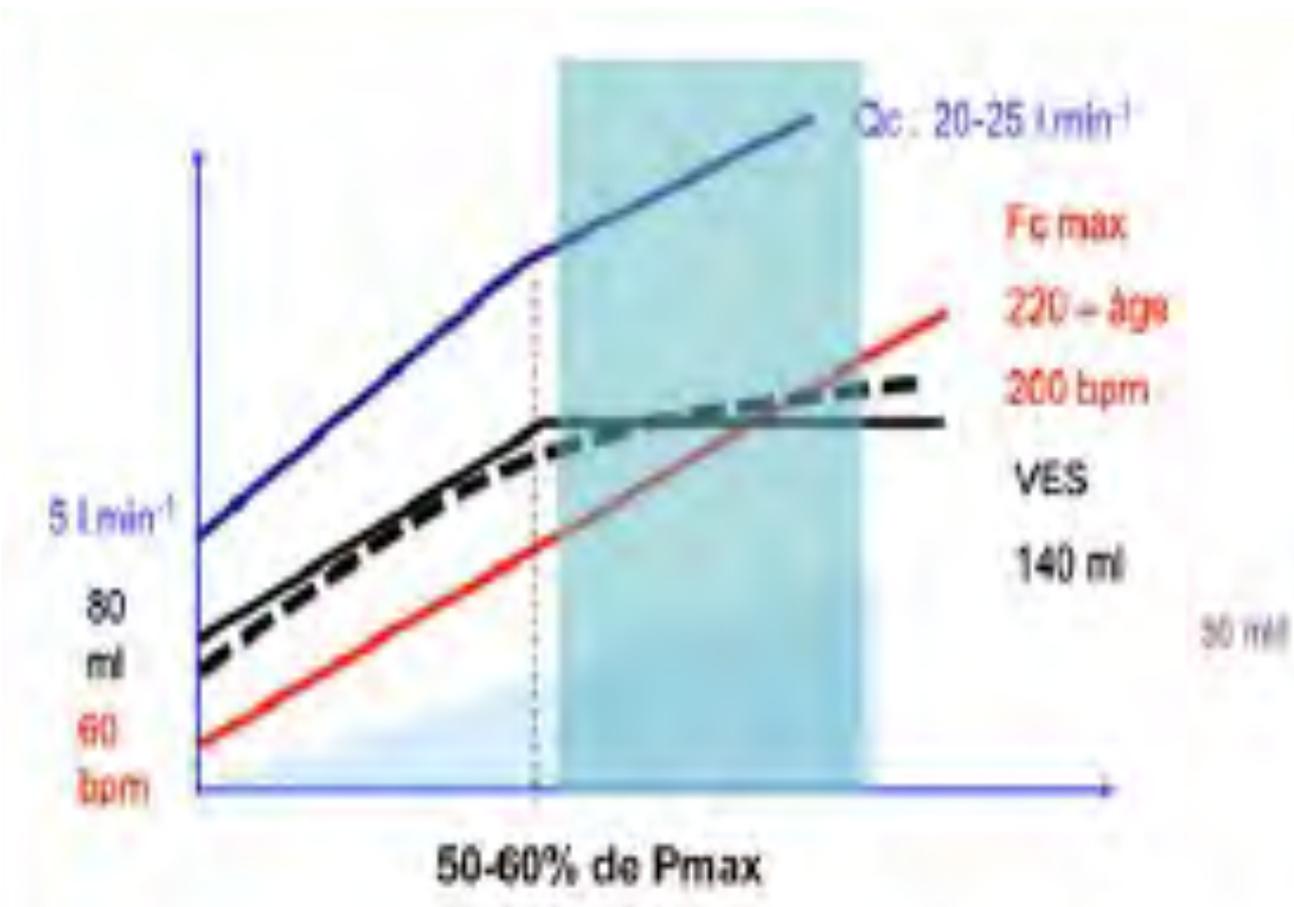
Patients avec fuite pulmonaire sévère



VO_2 : pâle reflet de l'IC d'effort

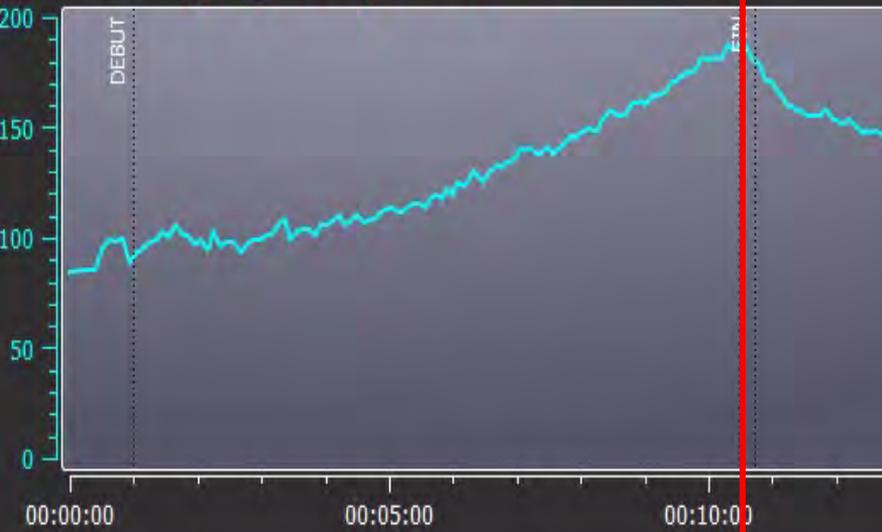
Mesure à l'effort de la VO_2
et du débit cardiaque (Q)
par impédancemétrie



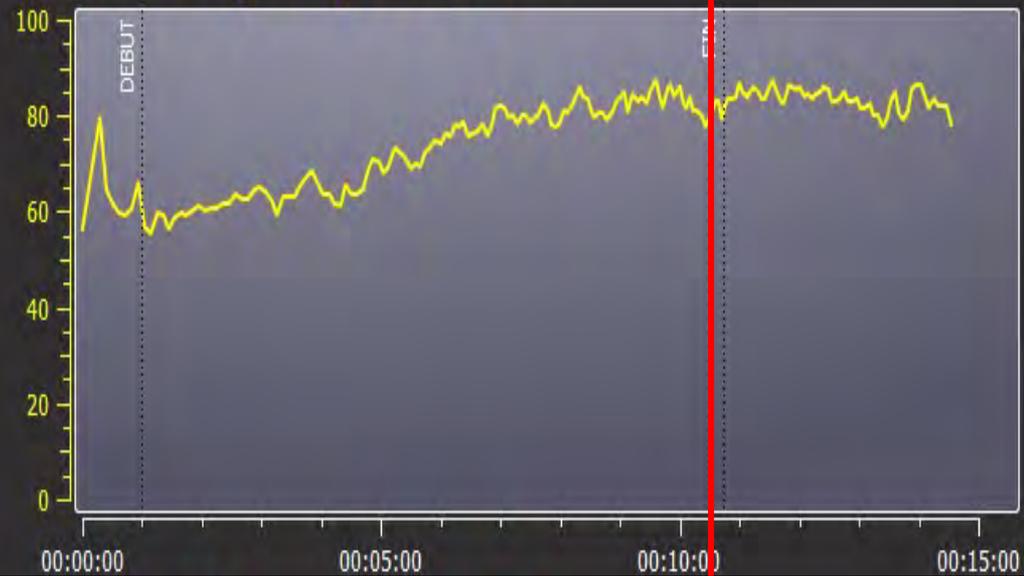


Revue des Maladies Respiratoires, Perrault, Richard (2012)

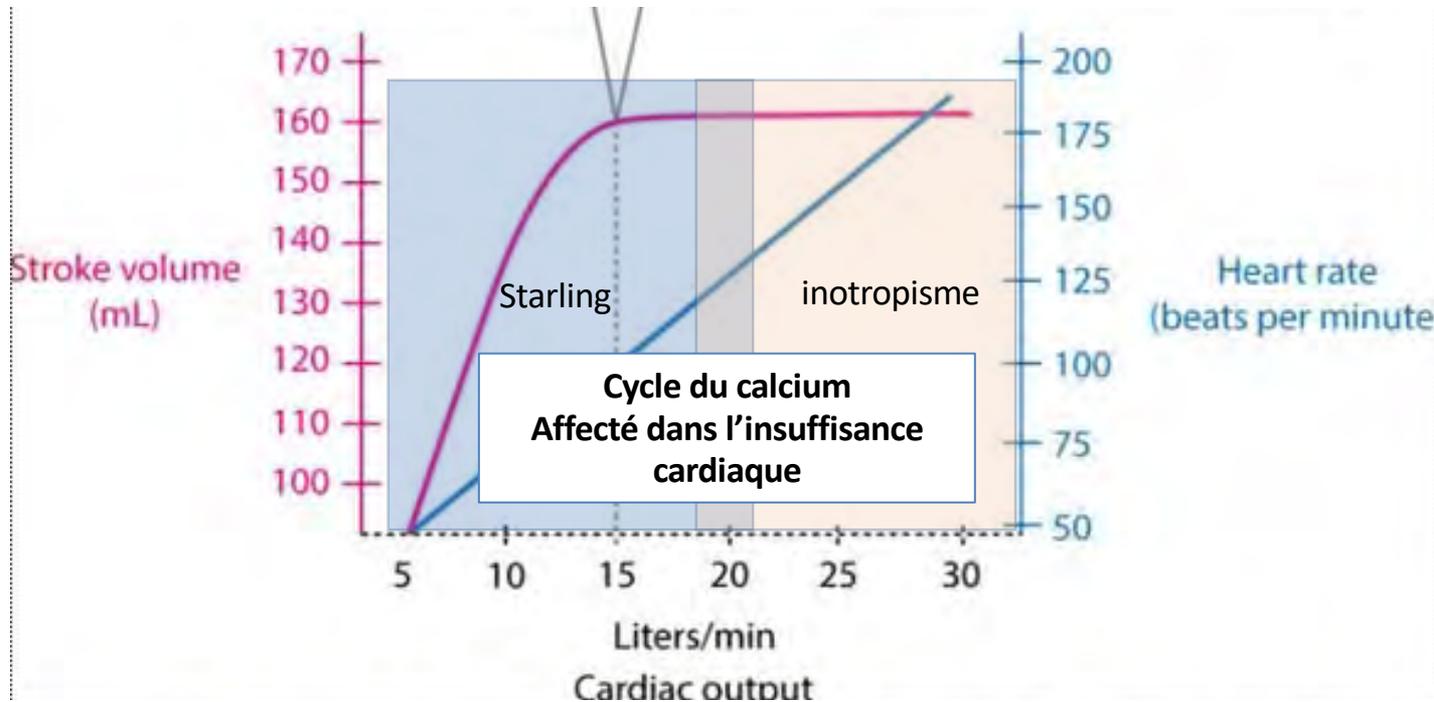
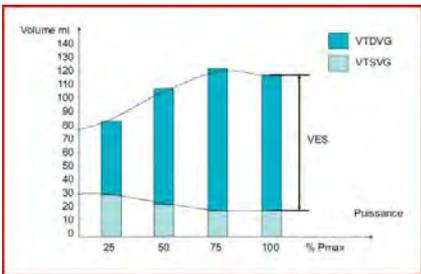
FC (bpm): 187



VES (ml): 79.2



Adaptation du volume d'éjection systolique (VES)



Débit cardiaque maximal : valeur pronostique indépendante (patients insuffisants-cardiaque chroniques)

Table 5. Age-Adjusted Incremental Risks for Exercise Capacity, VE/VCO₂ Slope, and Peak Cardiac Index

	HR	95% CI	% Event Free	<i>P</i> Value
All 3 responses normal	1.00 (reference)		94	
1 response abnormal	2.28	1.0–5.0	86	.04
2 responses abnormal	2.57	1.3–5.2	81	.009
3 responses abnormal	5.08	2.5–10.5	62	<.001

Abbreviations as in Tables 1 and 3. Cutpoints: peak VO₂ <18.5 mL kg⁻¹ min⁻¹; peak cardiac index <7.9 L/min; VE/VCO₂ slope >30.0.

- Resistance/elastance vasculaire
- Couplage ventriculo arteriel
- Obstacle anatomique

Post charge

- Traitement médicamenteux
- Chirurgie cardiaque
- Insuffisance cardiaque

FC

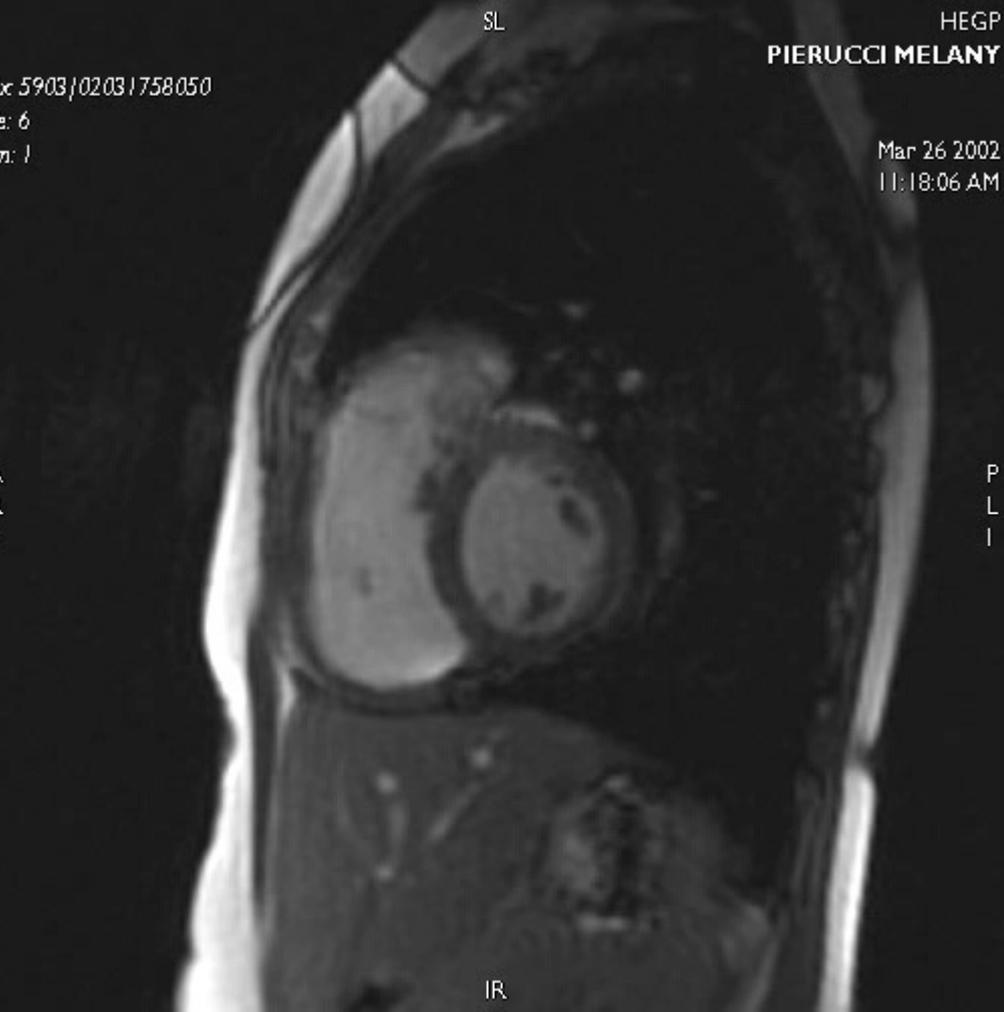


Contra-ctilité

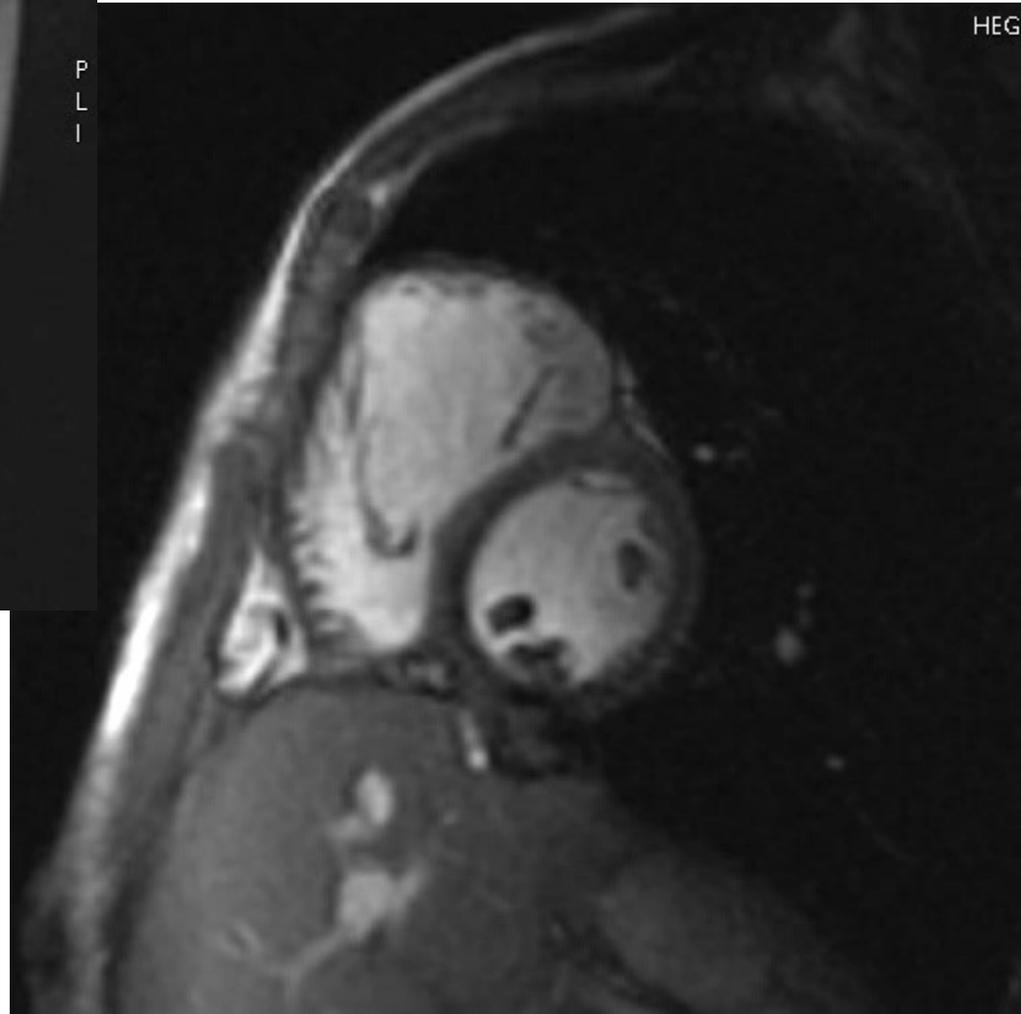
- Precharge (starling)
- Elastance ventriculaire

Pre charge

- Fuite valvulaire
- Shunt
- Compliance ventriculaire



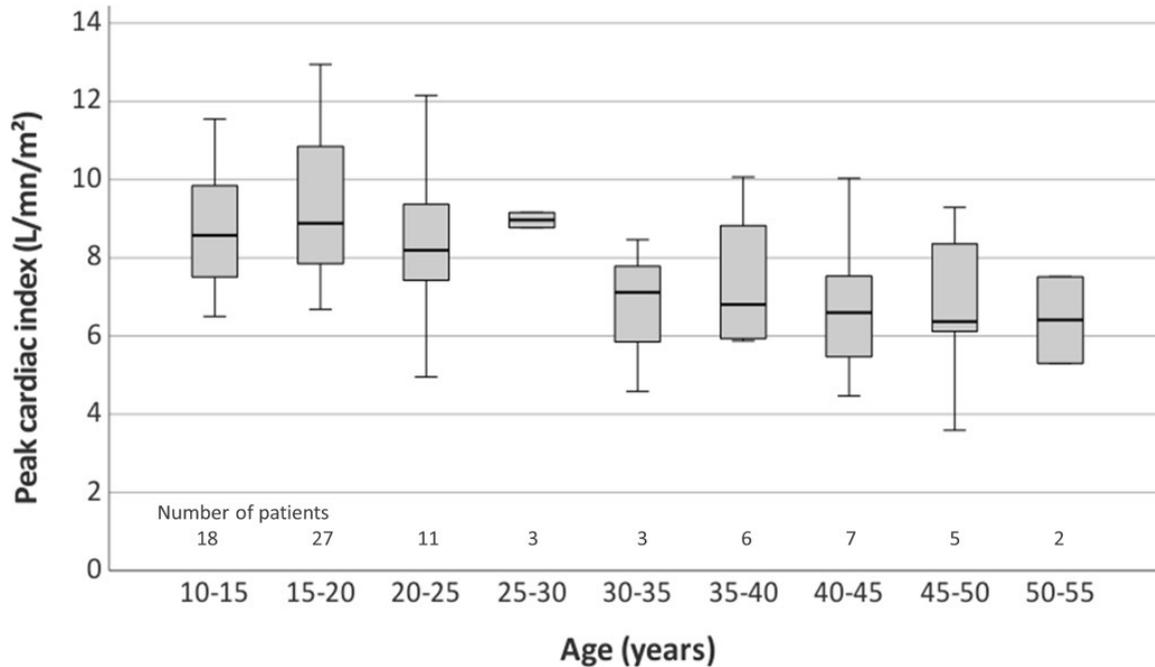
Fuite pulmonaire
post réparation de
Fallot



Stratégie de valvulation
pulmonaire basée sur les
volumes VD en IRM, symptômes
et baisse de la VO2max

Pas de corrélation entre débit cardiaque d'effort et volumes / FE VD en cas d'IP severe

Est-ce pertinent de se baser sur les volume/FE VD de repos pour valver ? Faut il se baser sur débit cardiaque d'effort ?

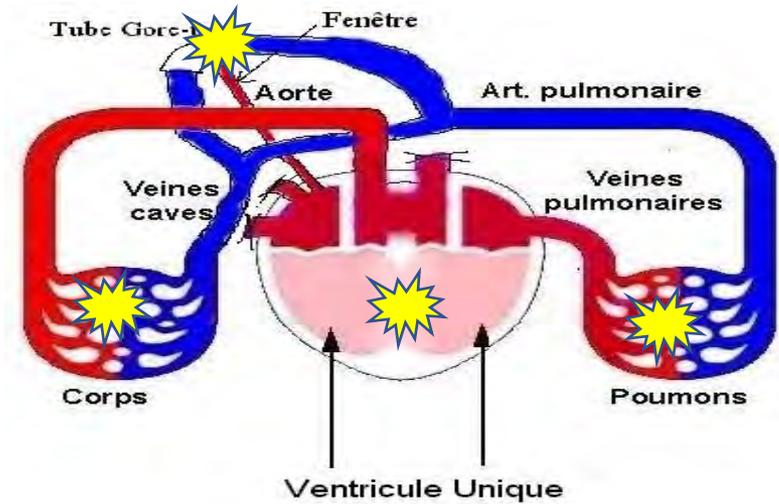
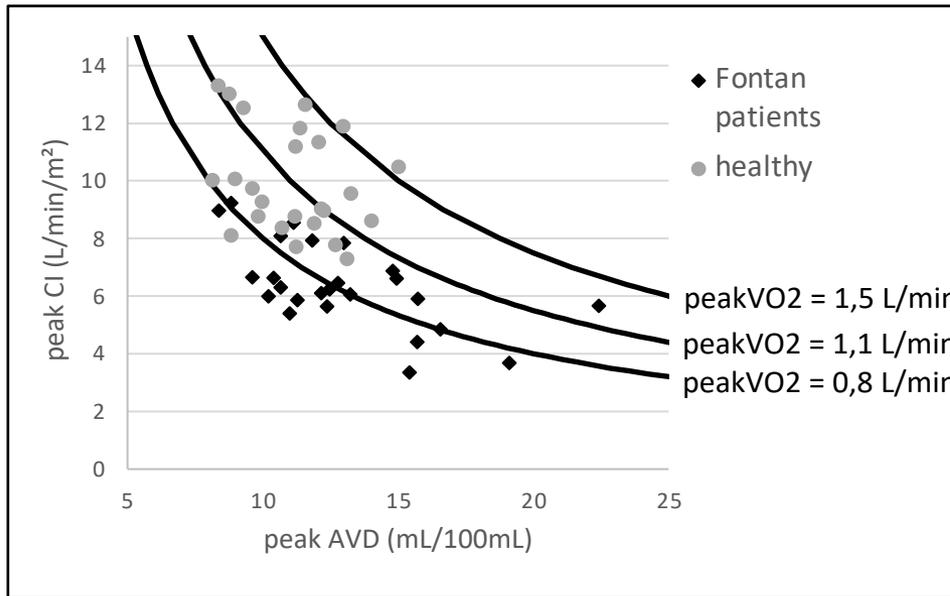
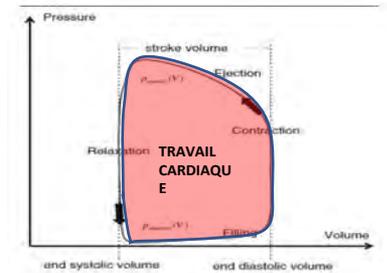


Seul le temps (âge) prédit le débit cardiaque d'effort indépendamment volumes / FE VD

Nécessité d'étude sur valeur pronostique et détermination d'un seuil de débit cardiaque d'effort

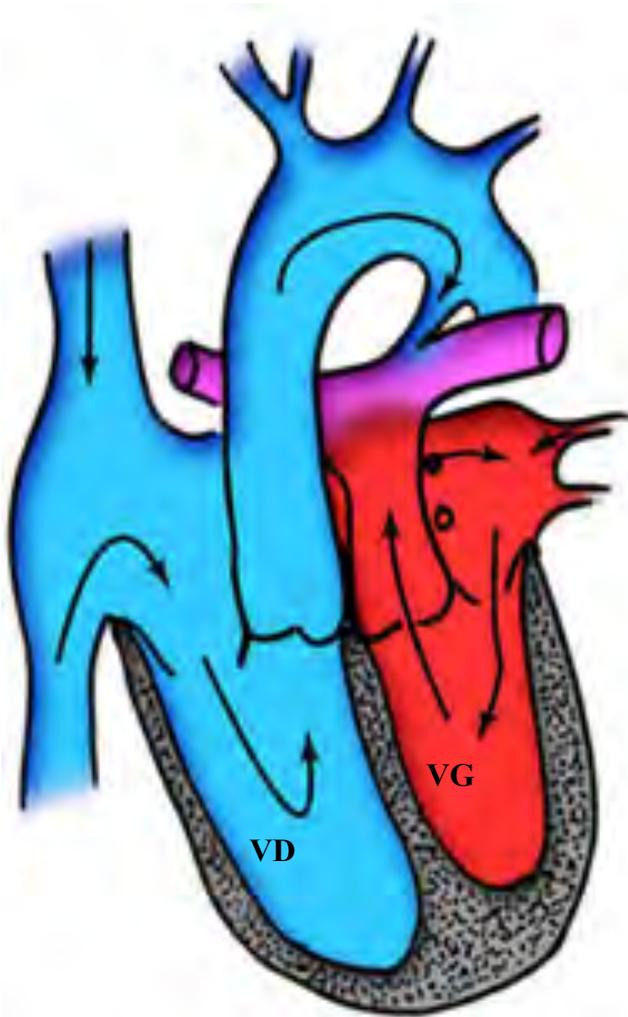
Performance cardiaque = débit cardiaque ?

- Travail cardiaque : DC x Pam (post charge)
- Volémie
- Fontan: baisse du débit cardiaque multifactorielle

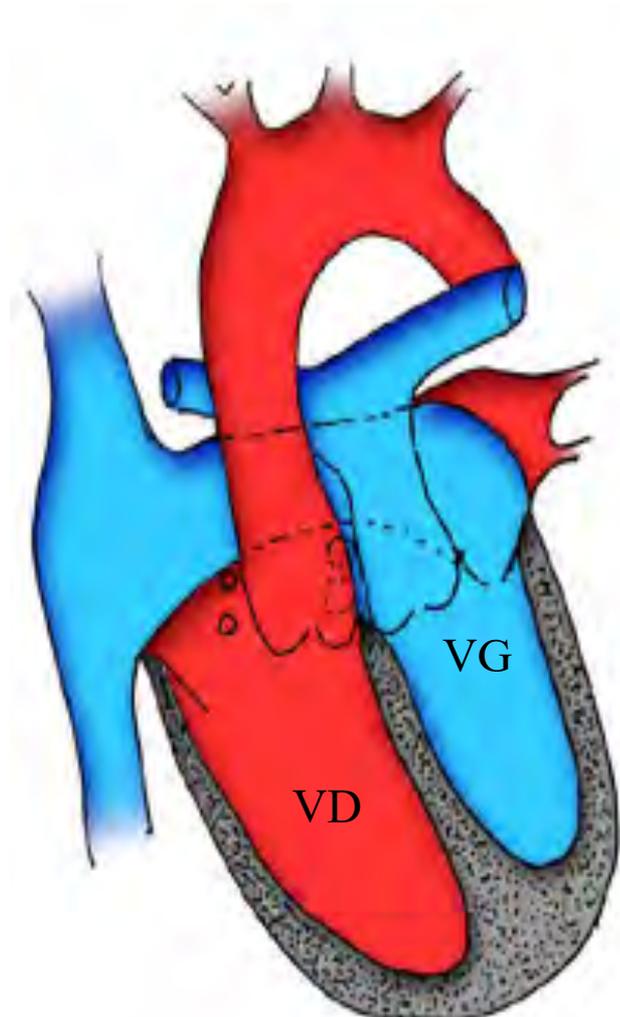


Cas particulier : switch atrial

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

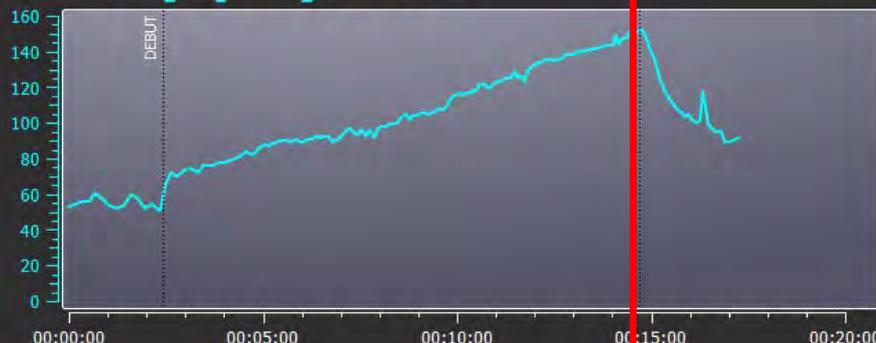
Khairy, curr opin cardiol 2017

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

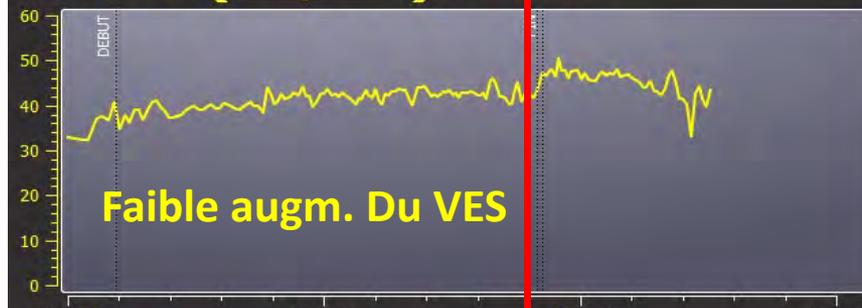
VESi (ml/m²): 61.6



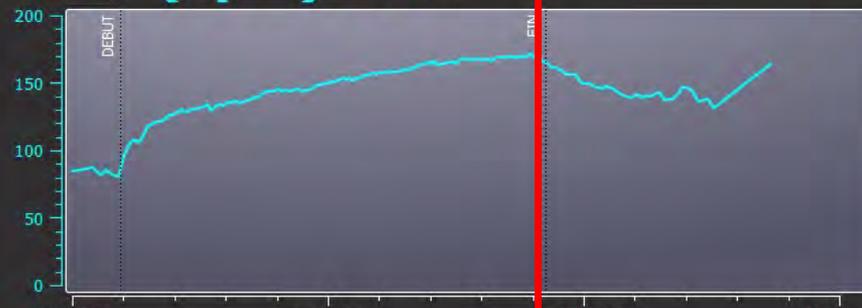
FC (bpm): 151



VESi (ml/m²): 43.2



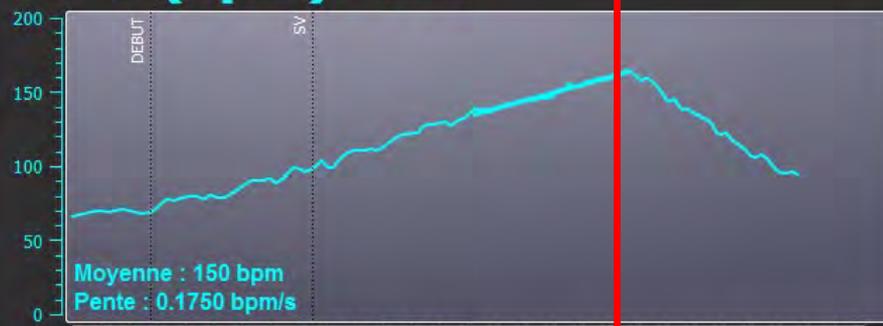
FC (bpm): 169



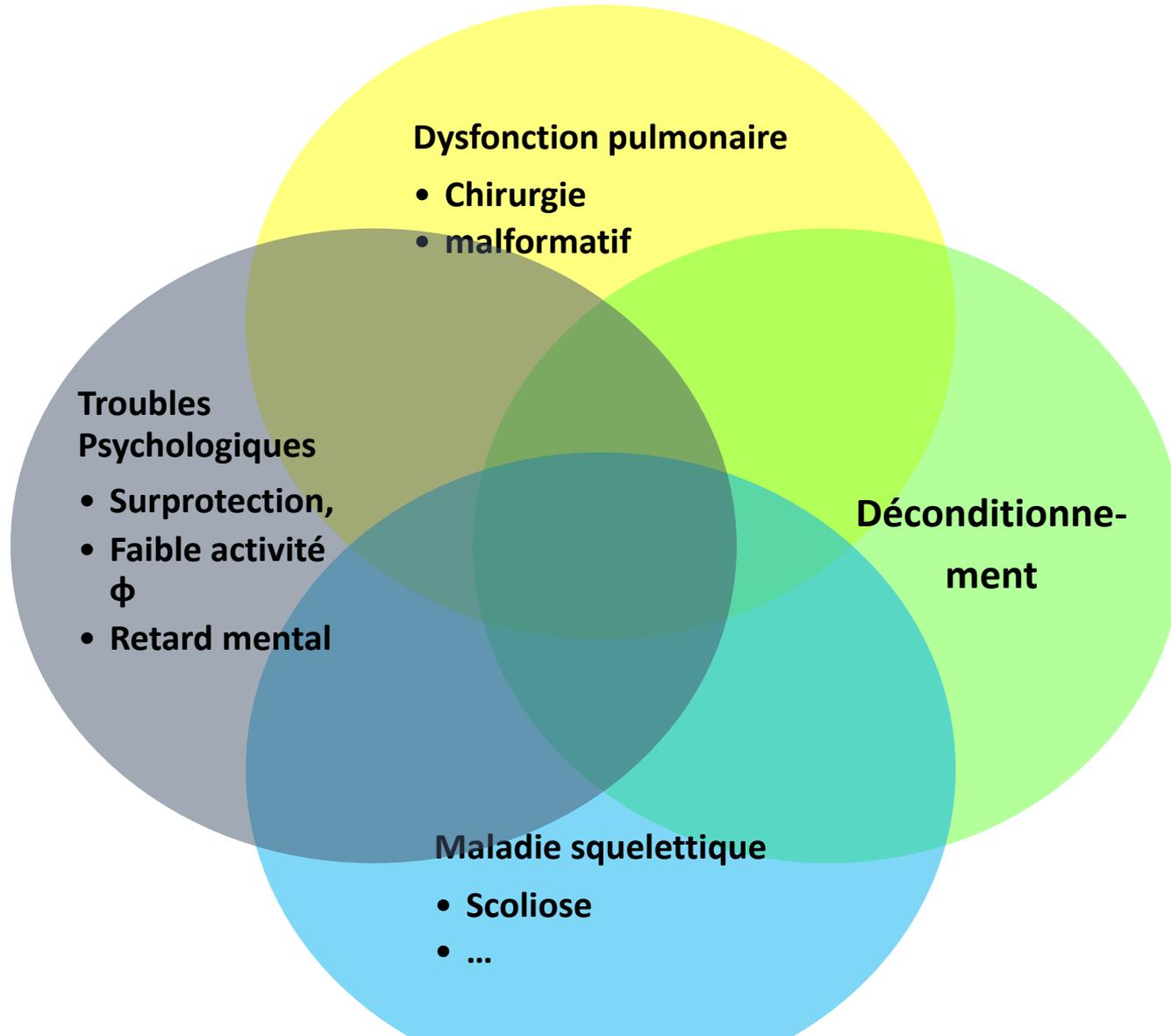
VESi (ml/m²)



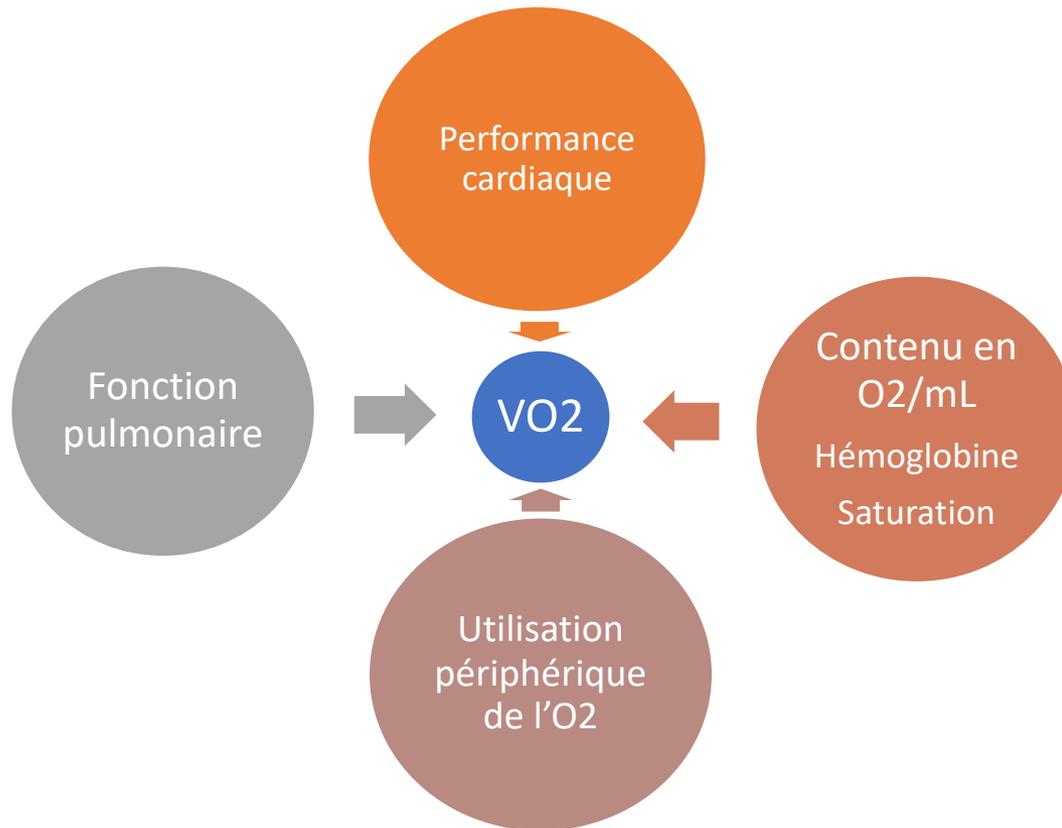
FC (bpm): 140



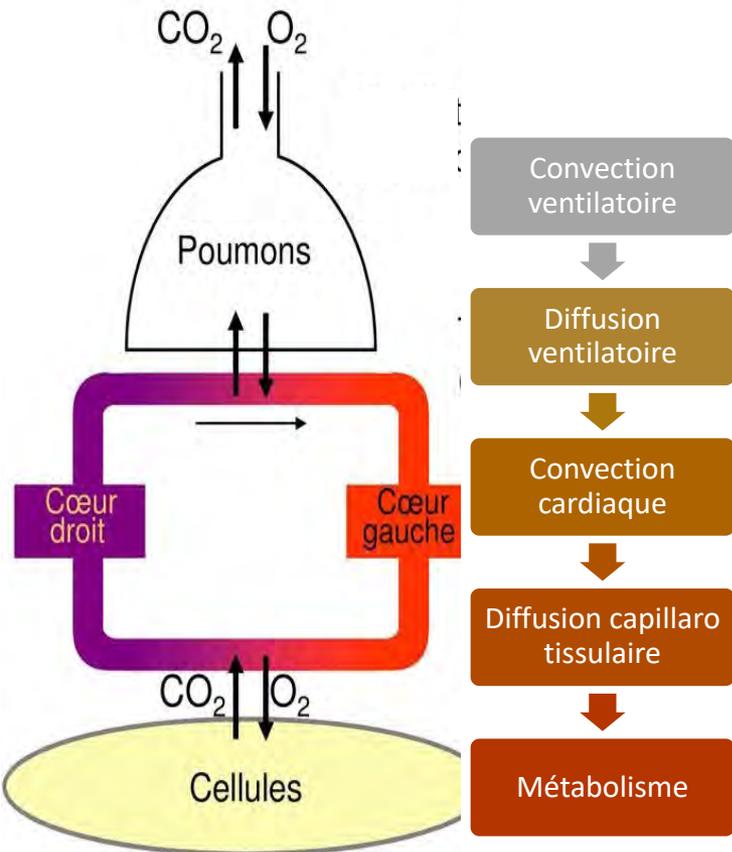
limitations extracardiaques



Facteurs influençant la VO2max



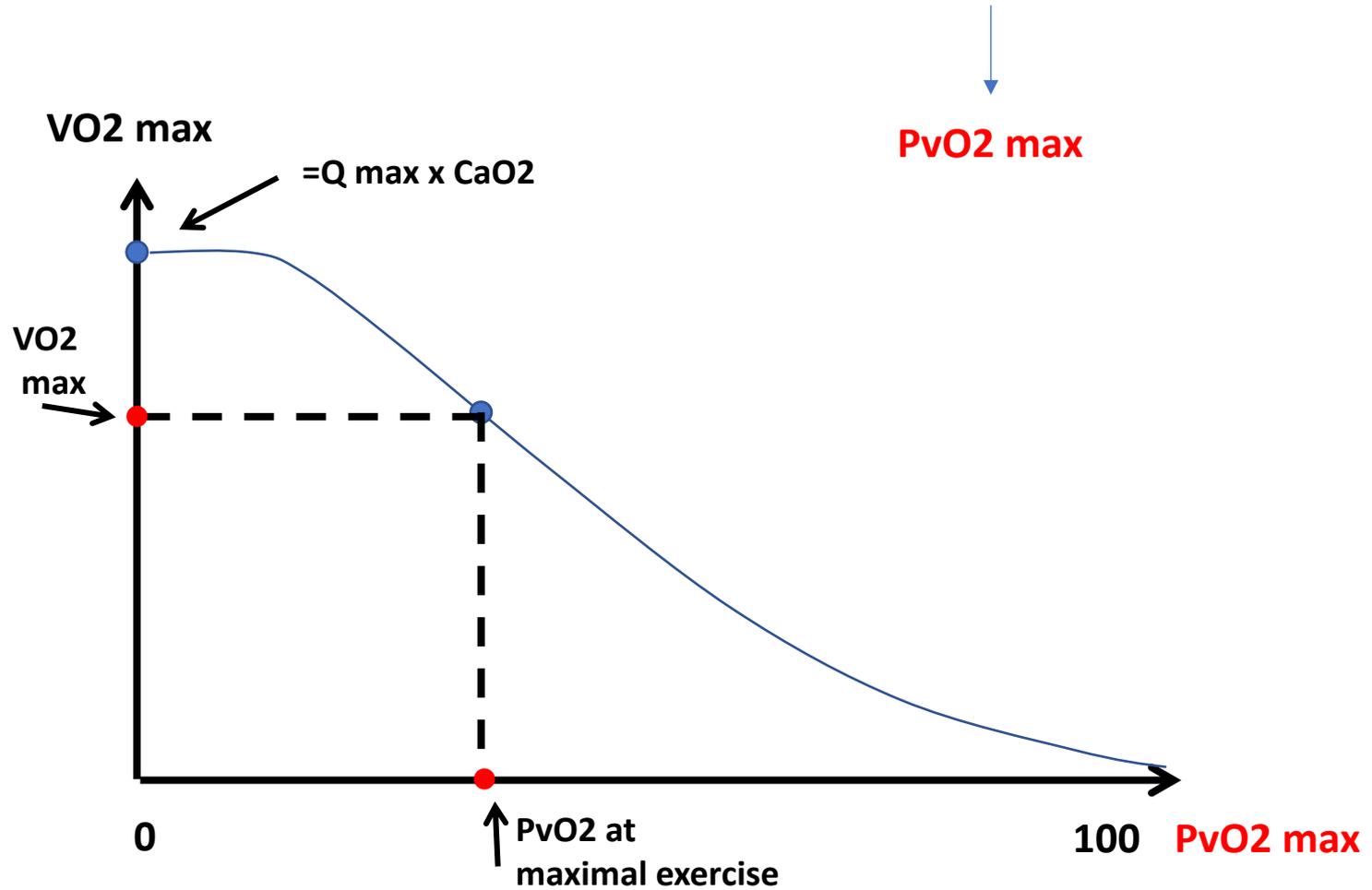
Facteurs influençant la VO₂max: plus précisément

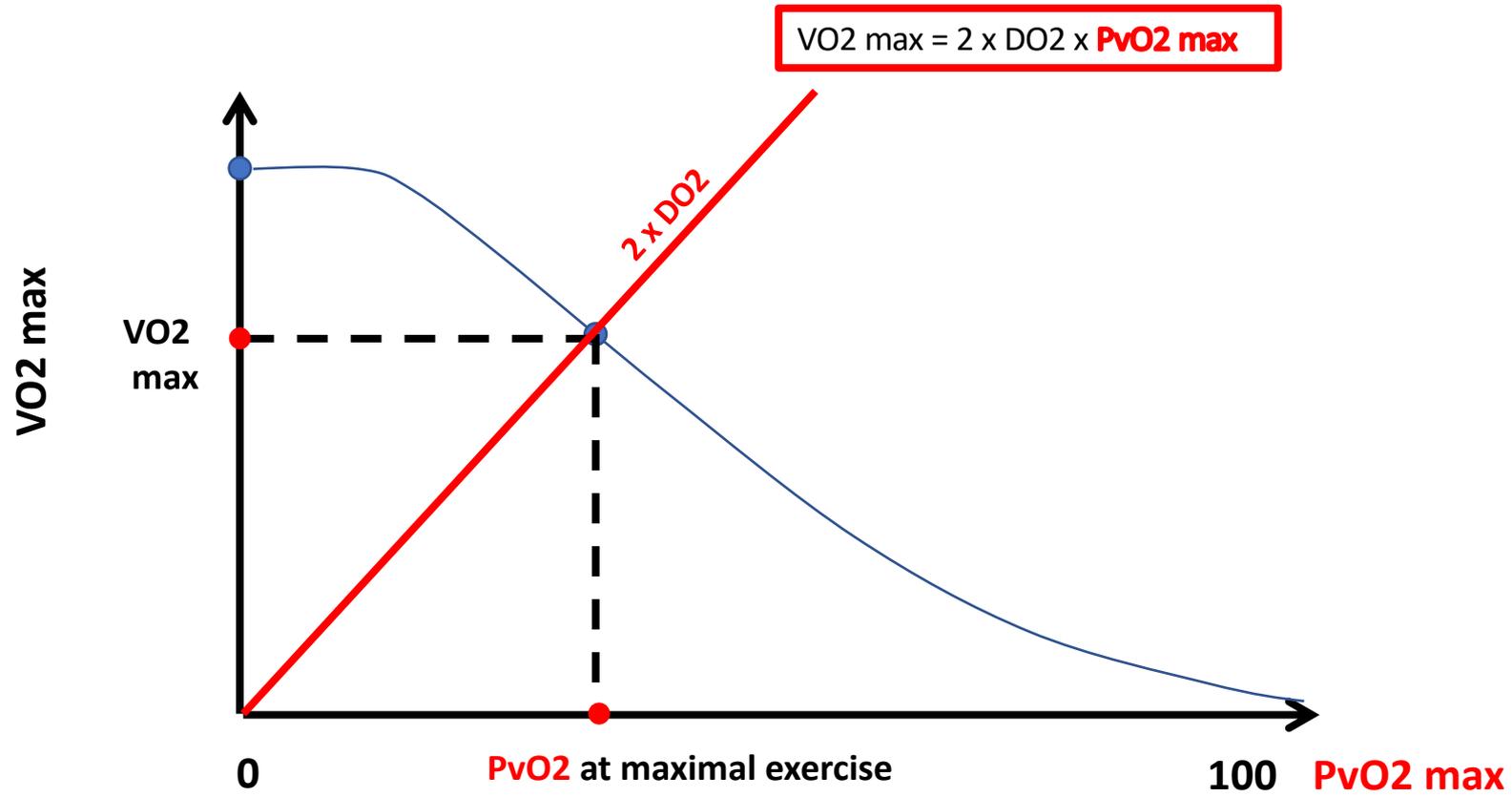


- $VO_2 = V_i \times FiO_2 - V_E \times FE_{O_2}$
- $VO_2 = D_{LO_2} \times (PAO_2 - P_{cap O_2})$
- $VO_2 = DC \times (CaO_2 - CvO_2)$
- $VO_2 = DO_2 \times (PvO_2 - P_{mit O_2})$
- MvO_2

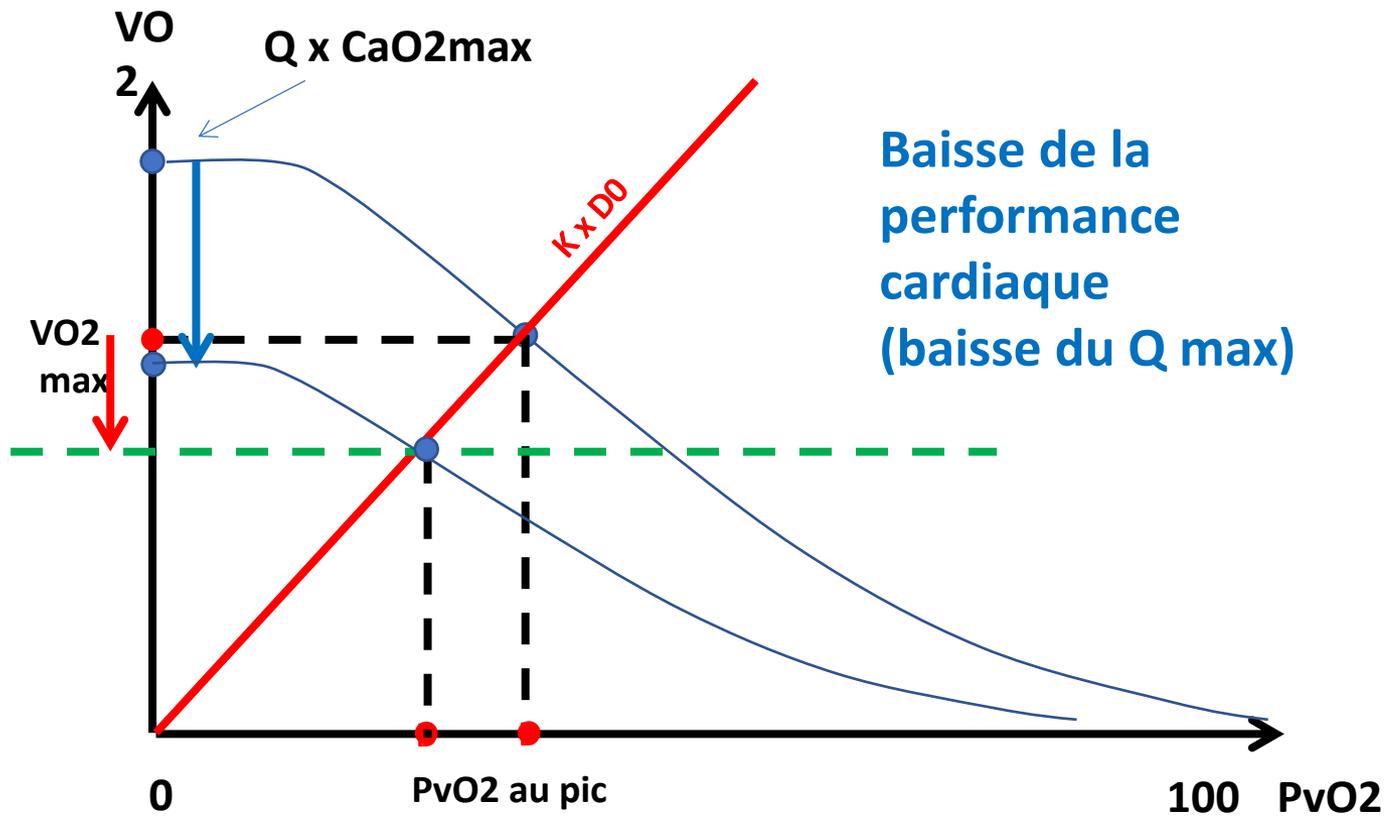
$$VO_2 = Q \times DAV$$

$$VO_{2max} = Q_{max} (CaO_2 - CvO_2) = - Q_{max} \times CvO_2_{max} + Q_{max} CaO_2$$

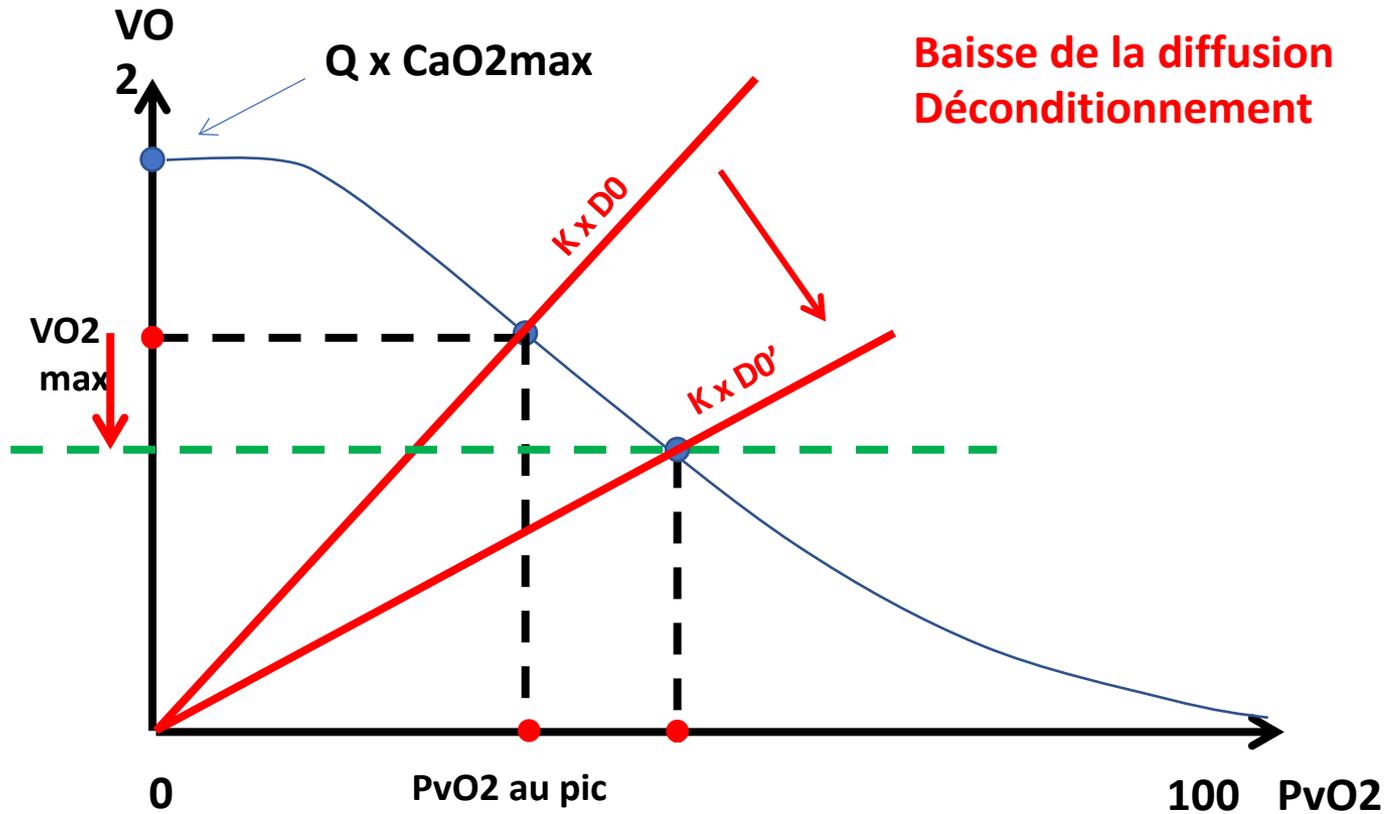




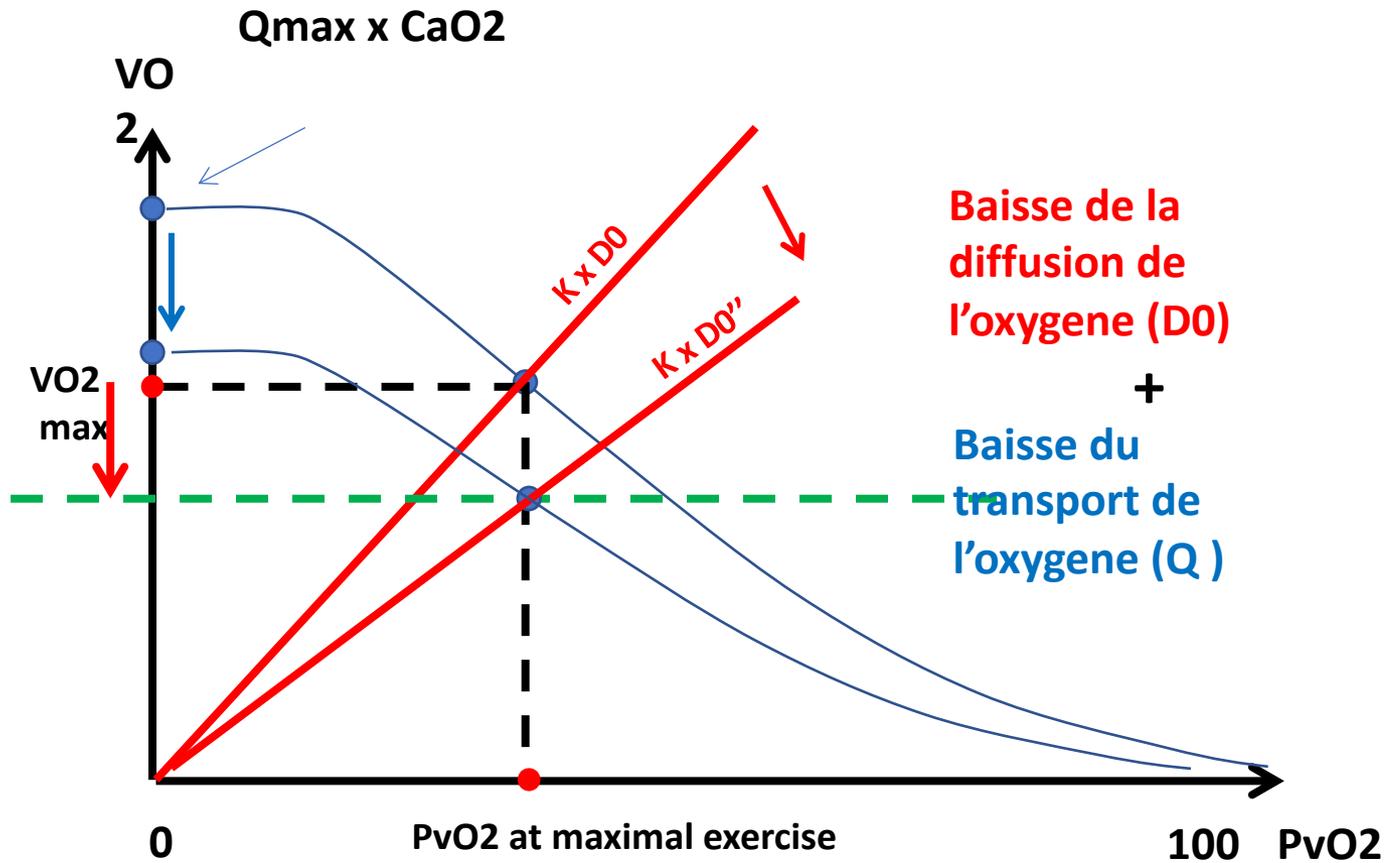
Baisse de la VO₂ max



Baisse de VO₂ max

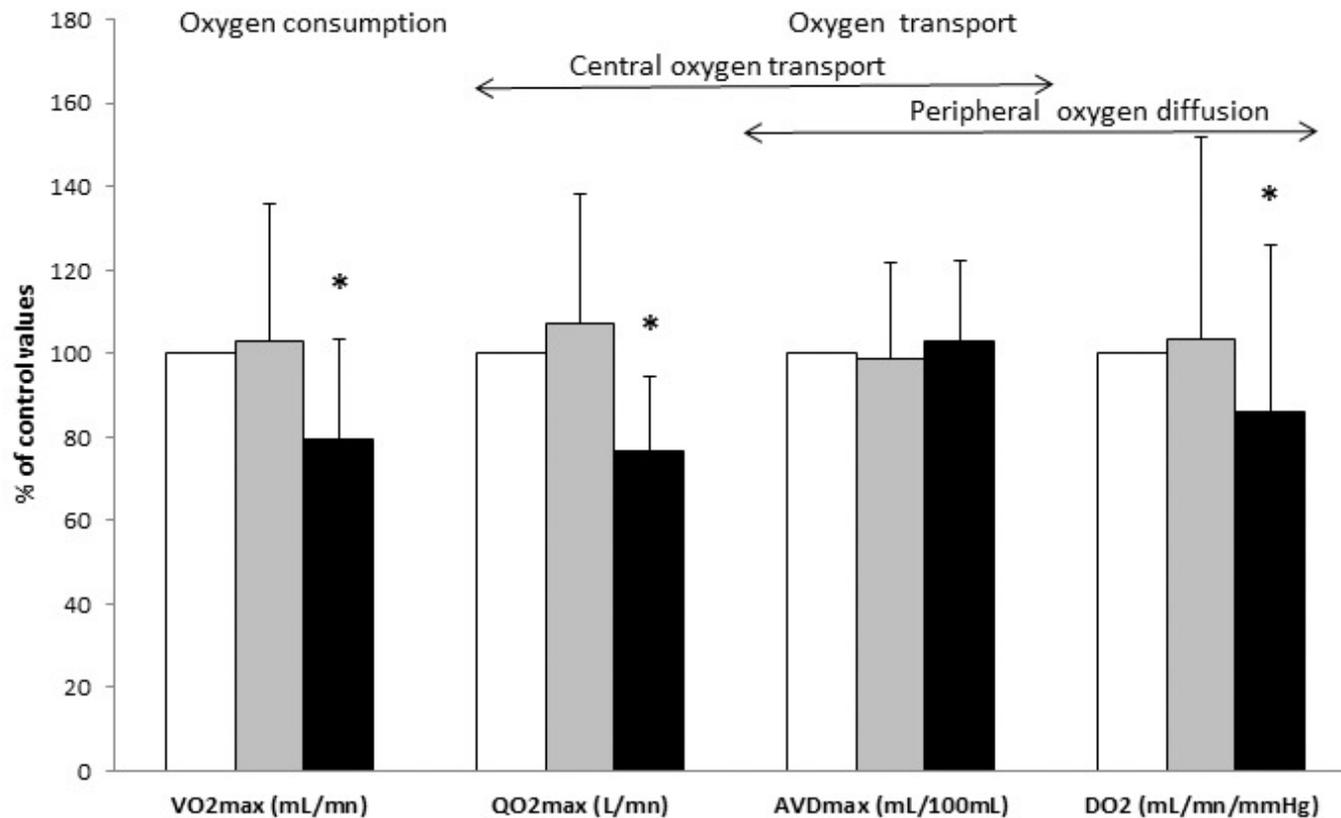


Baisse de la VO₂ max



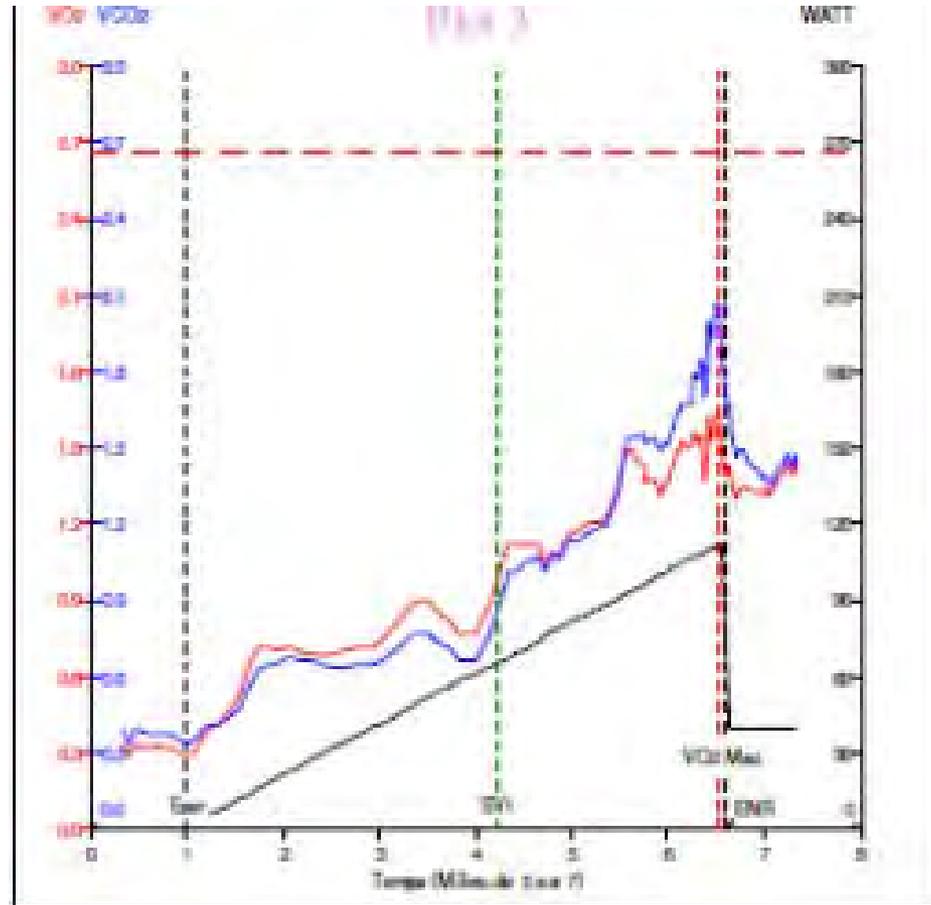
Déterminants VO₂max

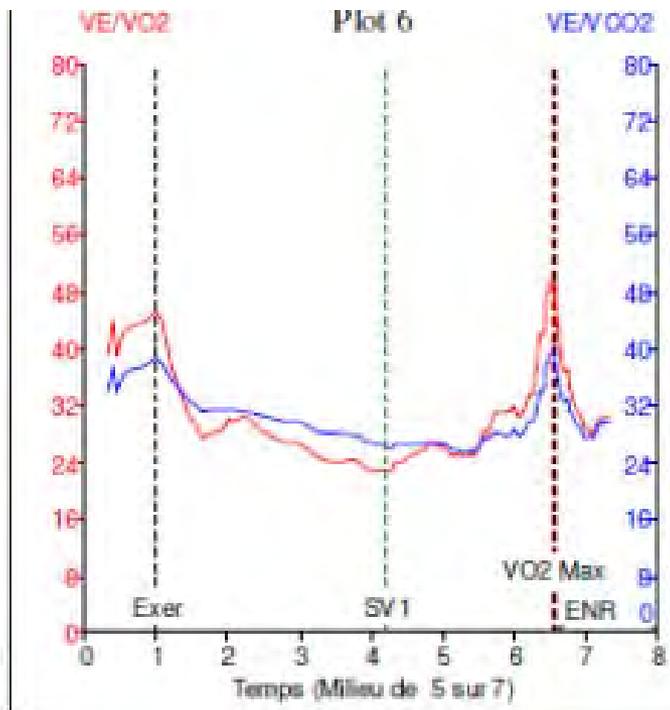
Cardiopathies congénitales



TOF IP

- Sport scolaire
- Bilan systématique





	<u>Repos</u>	<u>SVI</u>	<u>/ VO2 Max (%)</u>	<u>/ Pred (%)</u>	<u>VO2 Max</u>	<u>Max/Pred (%)</u>	<u>Pred</u>
Temps (min)	0:50	4:10			6:30		
Ex Time (min)		3:16			5:36		
. DEP.METABOLIQUE							
WATT (Watts)	0	64	58	30	111	51	216
VO2 (L/min)	0,25	1,16	77	44	1,52	57	2,65
VO2/Kg (mL/kg/min)	4,4	20,8	77	44	27,1	57	47,4
VCO2 (L/min)	0,28	1,04	54	33	1,93	60	3,21
Q.R.	1,14	0,90	71		1,27		
VO2WorkSlope (mL/		9,4	110		8,6		
. VENTILATOIRE							
VE (L/min)	10,8	28,4	38	22	74,1	57	129,0
Vt (L)	1,67	2,11	143		1,48		
FR (br/min)	6	13	27		50		
Rés.Vent (%)	91,6	78,0	184		42,4		
SpO2 (%)	100	100	100		100		
VE/VO2	43	24	50	72	49	144	34
VE/VCO2	38	27	71	97	38	137	28
Vd/Vt - est	0,14	0,13	92		0,14		
Vd/Vt - meas							
Borg PE							
. CARD.VASCULAIRE							
E.C. (BPM)	105	144	80	70	179	87	205
VO2/FC (mL/beat)	2,4	8,1	95	63	8,5	66	12,9
sysBP (mmHg)	139	139	80		173		
diaBP (mmHg)	67	77	104		74		
. HEMATOSE							
PaO2_man (mmHg)							
PaCO2_man (mmHg)							
pH							
SaO2 (%)	100	100	100		100		
PaO2 (mmHg)							

= VES x DAV

VESI = 57 mL/m²

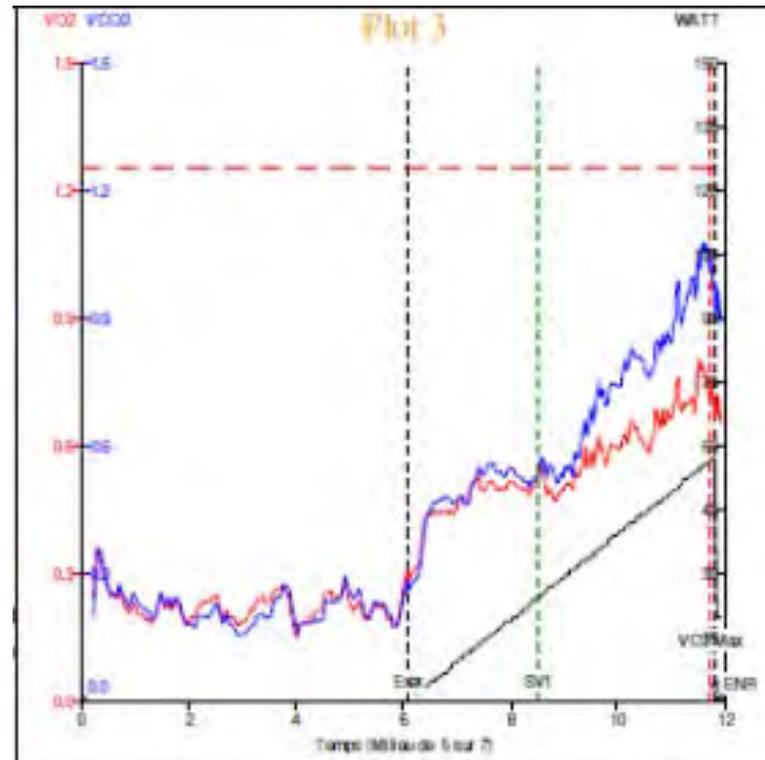
Conclusion

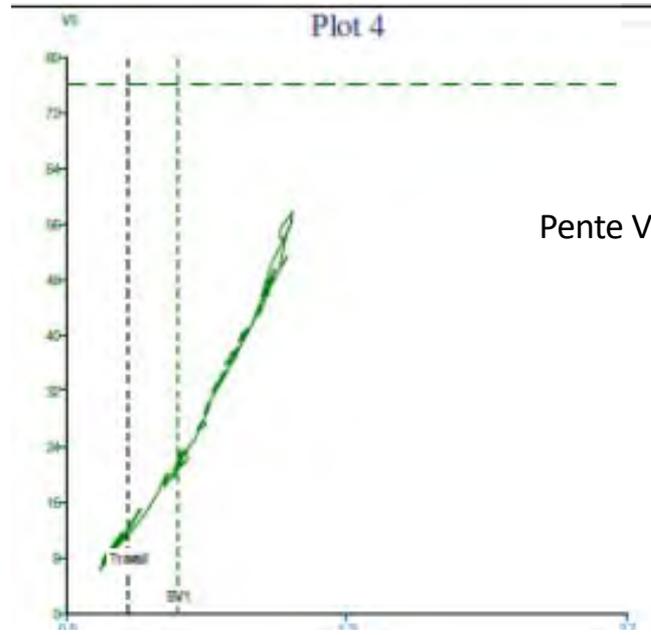
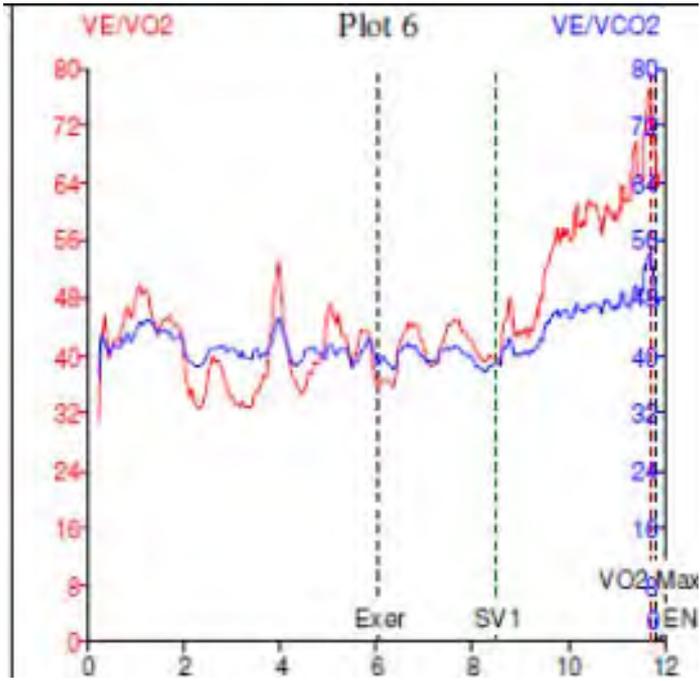
- Effort maximal
- Limitation importante de la VO₂ max
- Pas de limitation cardiaque (IC = 10 L/mn/m²)
- DAV = VO₂/ DC = 9ml/100mL, Hb = 12 g, DO₂ = 20
= deconditionnement

Cardiopathie cyanogène

- DD CIV cerclage AP
- SaO2 = 85% a repos

SaO2 66% au pic

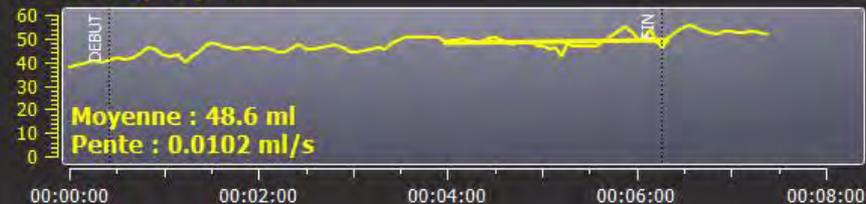




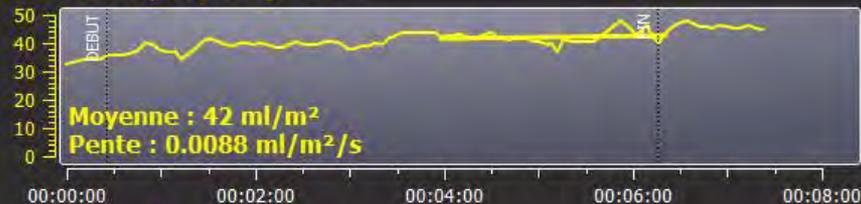
Pente VE/VCO2 = 57

	<u>Repos</u>	<u>SV1</u>	<u>VO2 Max (%)</u>	<u>/ Pred (%)</u>	<u>V02 Max</u>	<u>Max/Pred (%)</u>	<u>Pred</u>
Temps (min)	6:00	8:30			11:40		
Ex Time (min)		2:27			5:37		
.							
DEP.METABOLIQUE							
WATT (Watts)	0	24	43	27	56	62	90
VO2 (L/min)	0,27	0,52	71	41	0,74	59	1,26
VO2/Kg (mL/kg/min)	8,0	15,3	71	41	21,7	59	37,0
VCO2 (L/min)	0,25	0,53	52	35	1,03	68	1,52
Q.R.	0,91	1,02	73		1,40		
VO2WorkSlope (mL/		14,3	151		9,5		
.							
VENTILATOIRE							
VE (L/min)	9,6	20,8	38	27	55,1	72	76,0
Vt (L)	0,39	0,73	73		1,00		
FR (br/min)	24	28	52		55		
Rés.Vent (%)	87,4	72,6	264		27,5		
SpO2 (%)					73		
VE/VO2	35	40	54	95	75	177	42
VE/VCO2	39	39	73	112	53	153	35
Vd/Vt - est	0,18	0,14	107		0,13		
Vd/Vt - meas							
Borg PE							
.							
CARD.VASCULAIRE							
F.C. (BPM)	172	172	100	82	172	82	209
VO2/FC (mL/beat)	1,6	3,0	71	50	4,3	71	6,0
sysBP (mmHg)	89	133	114		116		
diaBP (mmHg)	61	70	118		59		

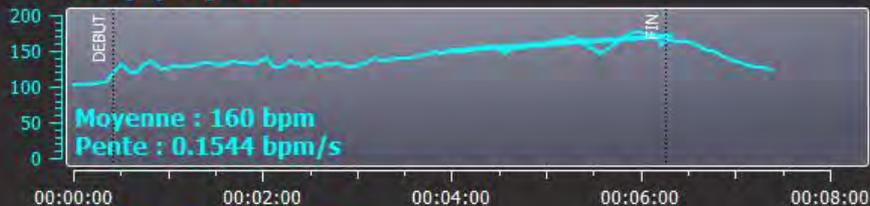
VES (ml): 48.6



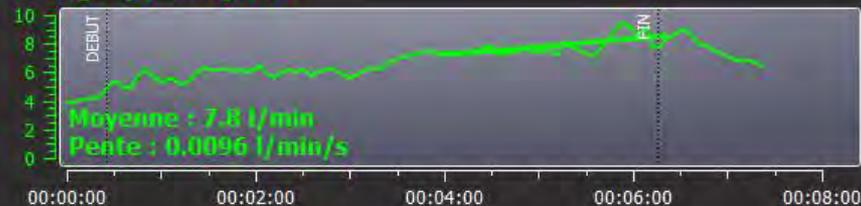
VESi (ml/m²): 42



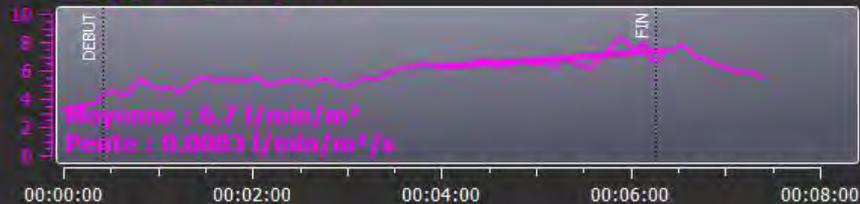
FC (bpm): 159



QC (l/min): 7.8



IC (l/min/m²): 6.7



Conclusion

- $DC = 7,2 \text{ L/mn/m}^2$ (faible) : VES et insuf chronotrope
- $DO_2 = 13,8$: tres bas= deconditionnement
- CaO_2 tres bas : shunt D-G
- Sensation de dyspnée : hyperpnée importante (cyanose)

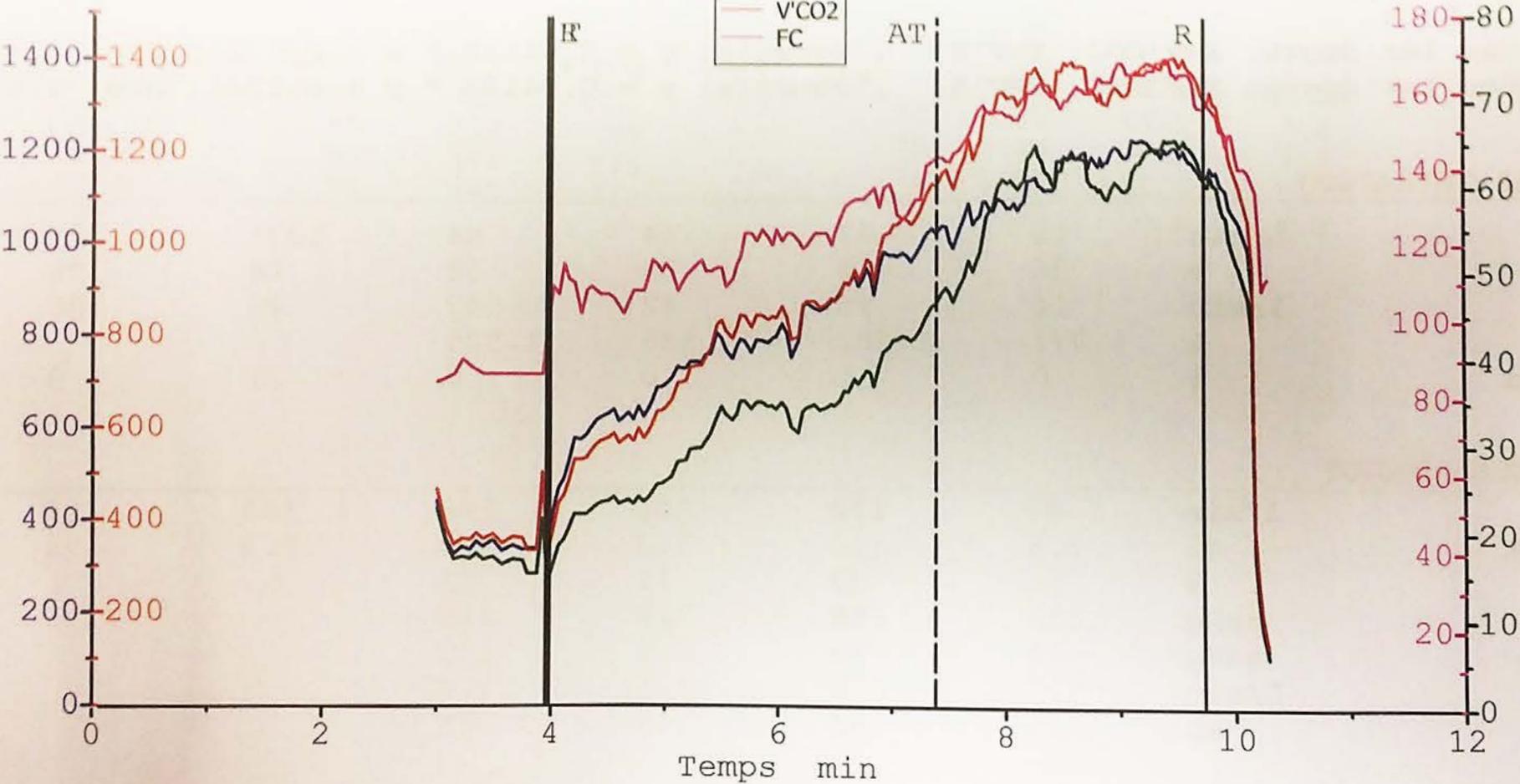
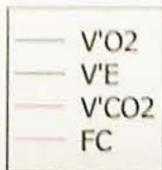
Stenose valvulaire pulmonaire non opérée

- 31 ans
- 1 grossesse 2016
- PVDs infra systemique, obstacle modéré

Temps min

$\dot{V}'O_2$ $\dot{V}'CO_2$
/min ml/min

FC $\dot{V}'E$
l/min L/min



Ergomètre:	Vélo	Protocole:	CARDIOSOFT					
REPONSE GLOBALE								
Résumé	Repos	AT	MaxVO2	Max	Théo	Max 1	Re	
		Manuel		Watts		%théo	60	
Moyennage temporel	30 Secondes							
Temps	min	03:55	07:30	09:30	09:30			10
Watt	W	0	65	85	85	128	66	
ECHANGES GAZEUX								
V'O2	ml/min	307	956	1227	1227	1865	66	
VO2/kg	ml/min/kg	4.5	14.1	18.0	18.0	27.4	66	
V'CO2	ml/min	321	1032	1394	1394			
QR		1.04	1.08	1.14	1.14			
EqCO2		44.0	39.6	45.0	45.0			
EqO2		46.0	42.8	51.1	51.1			
SpO2	%	100	98	94	94			
VO2% _m	%	25	78	100	100			
PETCO2	kPa	3.47	3.63	3.02	3.02			
SpO2	%	100	98	94	94			
11:57	Champ d'infos général Mesure stoppée							
11:57	Champ d'infos général Mesure stoppée							
Echelle Auto								
Polynôme 1er degré: X=V'CO2, Y=V'E , Formule: $y = 0.04138 * x + 0.1221$, Std: 1.534376								
Polynôme 1er degré: X=V'CO2, Y=V'E , Formule: $y = 0.04138 * x + 0.1221$, Std: 1.534376								
REPONSE VENTILATOIRE								
V'E	L/min	15	42	64	64	103*	62*	
ResR	%	86	60	38	38	28	135	
FR	1/min	14	25	42	42	42	100	
VTex	L	1.071	1.682	1.535	1.535			1.
VD/VTc	%	0	0	0	0	21	0	
REPONSE CARDIAQUE								
FC	1/min	86	132	168	168	189	89	
VO2/HR	ml	3.6	7.2	7.3	7.3	10.3	71	
RC%	%	54	30	11	11			
Psys	mmHg	138	188	226	226			
Pdia	mmHg	74	79	155	155			
Qtc	L/min	3.7	6.9	7.6	7.6			
SVc	mL	43	52	45	45			

Fermer la mesure

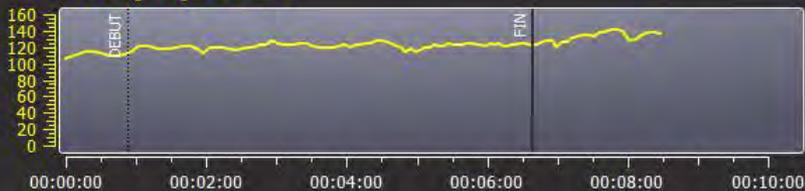
Analyse

Exporter

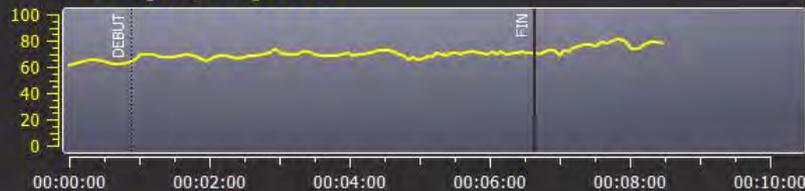
Commentaires sur la mesure

00:06:39

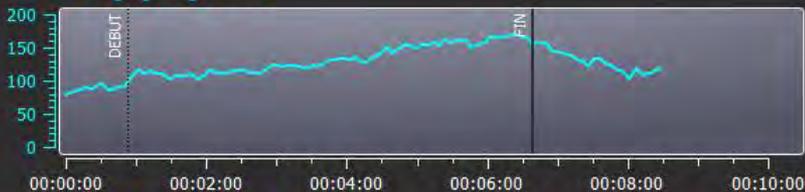
VES (ml): 123.6



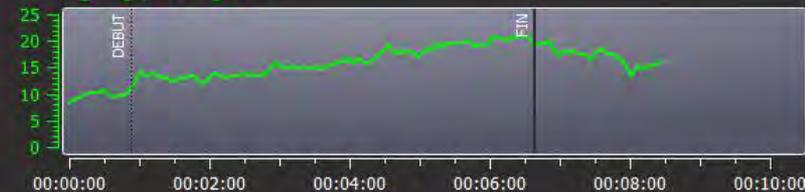
VESi (ml/m²): 70.4



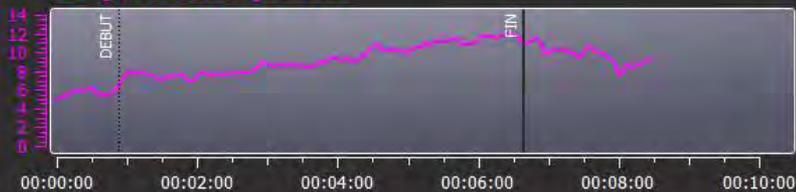
FC (bpm): 153



QC (l/min): 19



IC (l/min/m²): 10.8



Informations patient

Paramètres de Mesure

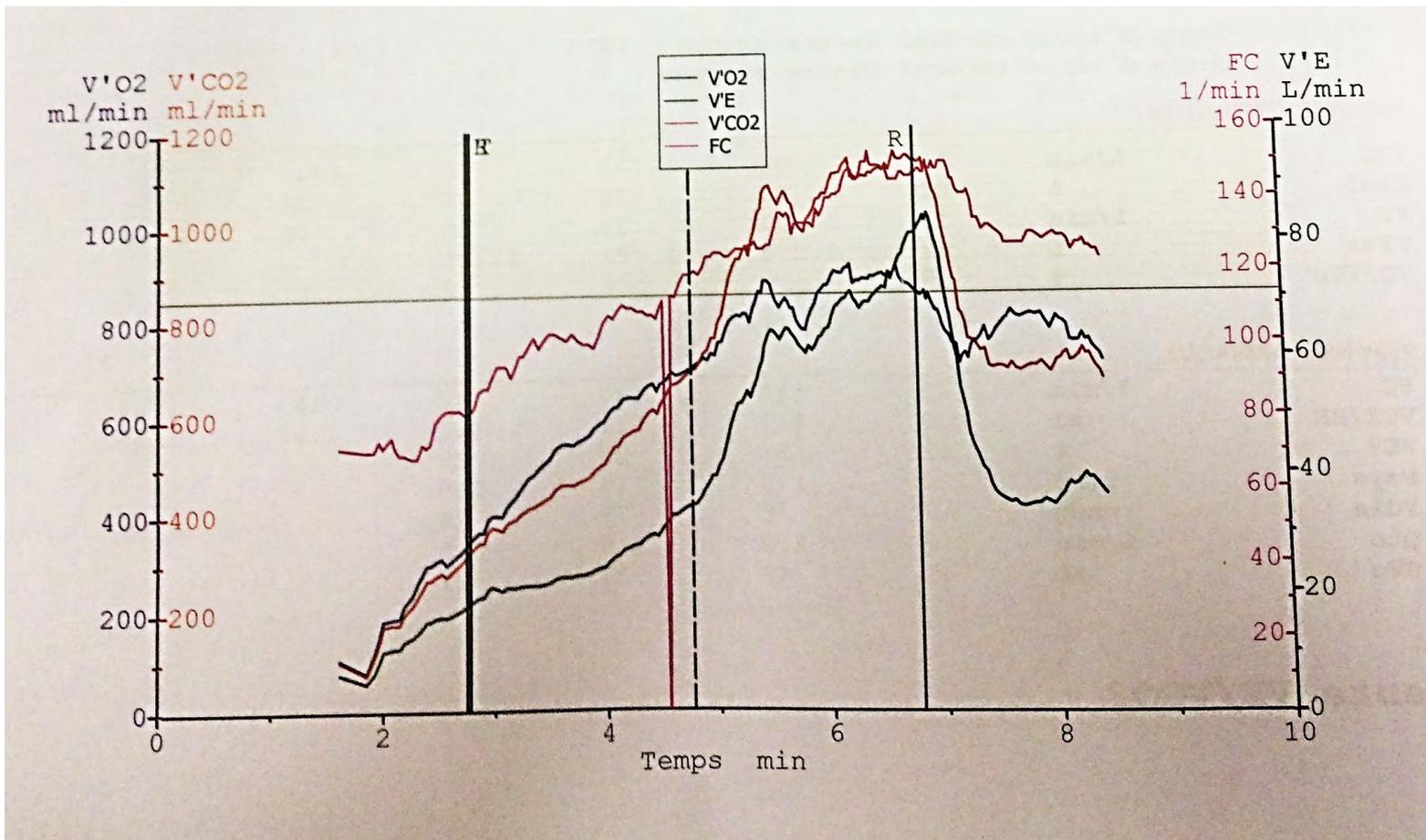
Informations appareil

conclusion

- Effort maximal
- Limitation nette de la VO₂ max
- SV un peu précoce (51% VO₂ th)
- IC = 12L/mn/m²
- DO₂ 11 (tres bas) Déconditionnement ++++

CAV réparé

- PM (FC max 150)
- Bisoprolol
- NYHA III, IM modérée, RT (11mmHg moyen), IT grade 2- 3



Date: 10/06/2020

Ergomètre: Vélo Protocole: CARDIOSOFT

REPONSE GLOBALE

Résumé	Repos	AT Manuel	MaxVO2	Max Watts	Théo	Max l %théo	Re 60
Moyennage temporel 30 Secondes							
Temps	min 02:43	05:00	06:30	06:30			08
Watt	W 0	52	67	67	123	54	

ECHANGES GAZEUX

V'O2	ml/min	303	683	892	892	1886	47
VO2/kg	ml/min/kg	3.8	8.5	11.1	11.1	23.6	47
V'CO2	ml/min	262	672	1105	1105		
QR		0.86	0.98	1.24	1.24		
EqCO2		52.3	48.8	62.1	62.1		
EqO2		45.2	48.1	-	-		
SpO2	%	66	96	96	96		
VO2%m	%	34	77	100	100		
PETCO2	kPa	3.03	2.89	2.16	2.16		
SpO2	%	66	96	96	96		

08:48 Champ d'infos général Mesure stoppée
08:48 Champ d'infos général Mesure stoppée

REPONSE VENTILATOIRE

V'E	L/min	14	34	70	70	109+	64+
ResR	%	87	69	36	36	28	128
FR	l/min	19	27	39	39	42	94
VTex	L	0.747	1.254	1.795	1.795		1.
VD/VTe	%	0	0	0	0	21	0

REPONSE CARDIAQUE

FC	l/min	72	119	147	147	183	80
VO2/HR	ml	4.2	5.7	6.1	6.1	11.1	55
RC%	%	61	35	20	20		
Psyst	mmHg	119	119	119	119		
Pdia	mmHg	77	78	78	78		
Qtc	L/min	3.3	5.0	5.5	5.5		
Svc	mL	45	42	37	37		

Pente VE/VCO2 :

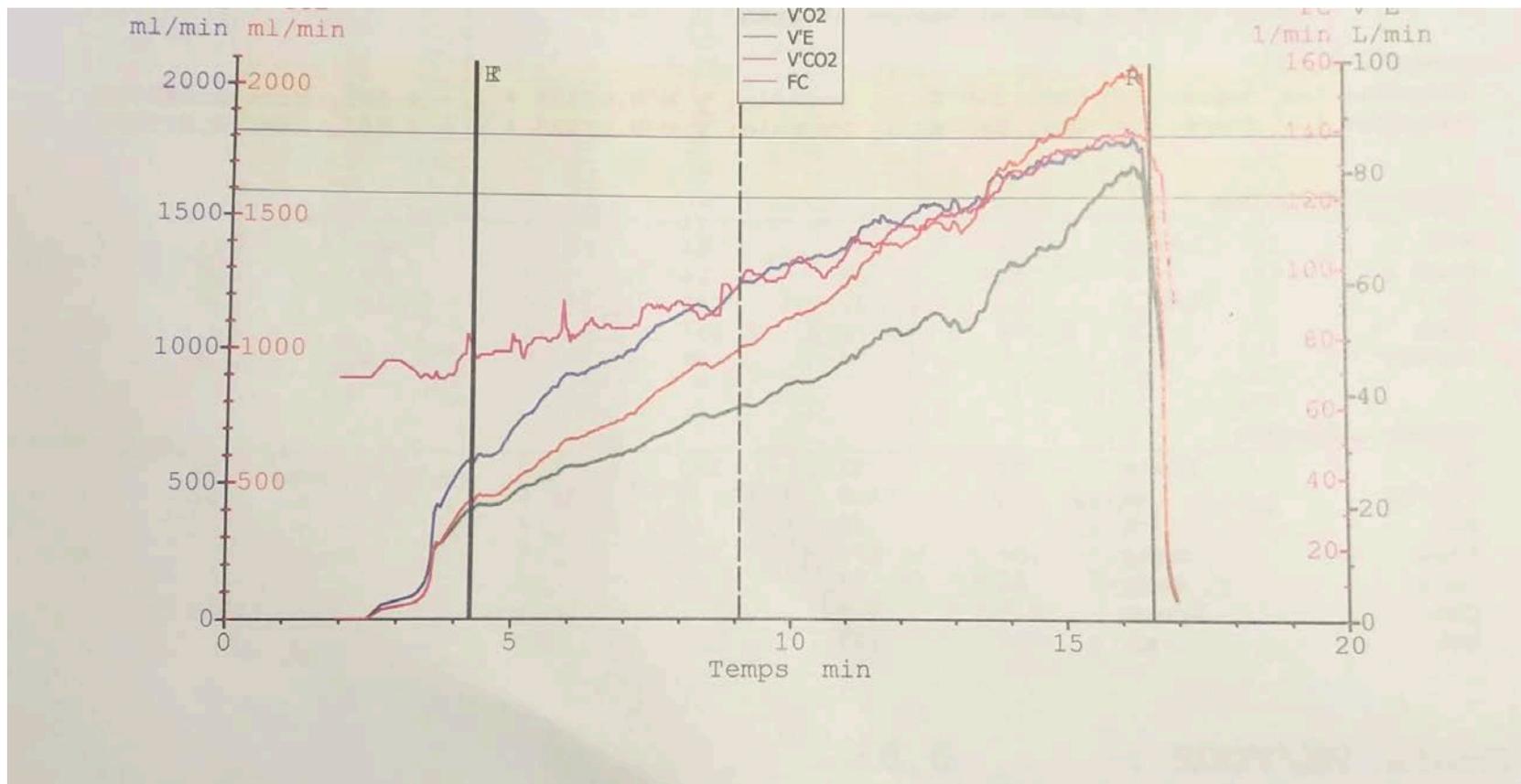
VESi = 43 ml/m²

Conclusion

- Effort maximal (plateau , QR > 1.2)
- Limitation majeure de la VO₂ max (47%)
- Débit cardiaque au pic FAIBLE 6,3 L/mn/m² (VESi et FC)
- SV = 36 % VO₂ th
- DO₂ = 10 et SV très précoce ++++ Déconditionnement

TOF réparée 55 ans

- IP modérée
- Covid 19 il y a 6 mois
- Essoufflé à l'effort
- VEMS au repos : 75% th



REPONSE GLOBALE

Résumé	Repos	AT Vslope	MaxVO2	Max Watts	Théo	Max 1 %théo	Re 60
Moyennage temporel 30 Secondes							17
Temps	min	04:14	09:00	16:30	16:30		
Watt	W	0	77	152	152	156	97

ECHANGES GAZEUX

V'O2	ml/min	603	1169	1798	1798	2195	82
VO2/kg	ml/min/kg	8.0	15.6	24.0	24.0	29.3	82
V'CO2	ml/min	424	953	2072	2072		
QR		0.70	0.82	1.15	1.15		
EqCO2		41.5	37.1	38.3	38.3		
EqO2		29.2	30.3	44.2	44.2		
SpO2	%	50	95	92	92		
VO2%m	%	34	65	100	100		
PETCO2	kPa	4.06	4.11	3.70	3.70		
SpO2	%	50	95	92	92		

19:17 Champ d'infos général Mesure stoppée

19:17 Champ d'infos général Mesure stoppée

Echelle Auto

Polynôme 1er degré: X=V'CO2, Y=V'E , Formule: $y = 0.03325 * x + 4.503$, Std: 0.847780,
Polynôme 1er degré: X=V'CO2, Y=V'E , Formule: $y = 0.03325 * x + 4.503$, Std: 0.847780,

REPONSE VENTILATOIRE

V'E	L/min	18	36	81	81	96*	84*
ResR	%	81	62	16	16	28	58
FR	l/min	23	27	40	40	42	95
VText	L	0.794	1.326	2.037	2.037		0.
VD/VTe	%	0	0	0	0	19	0

REPONSE CARDIAQUE

FC	l/min	69	87	139	139	161	86
VO2/HR	ml	8.7	13.4	12.9	12.9	13.4	96
RC%	%	57	46	14	14		
Psys	mmHg	156	173	193	193		
Pdia	mmHg	91	73	80	80		
Qtc	L/min	6.5	9.3	11.1	11.1		
SVC	mL	95	107	80	80		

VESi = 86 ml/m2

- Effort maximal (Borg, QR, petit plateau ?)
- Peu de limitation
- IC au pic très élevé (12 L/min/m²)
- RV entamée mais non épuisée
- Hb = 11,6 et DO₂ = 25: deconditionnement

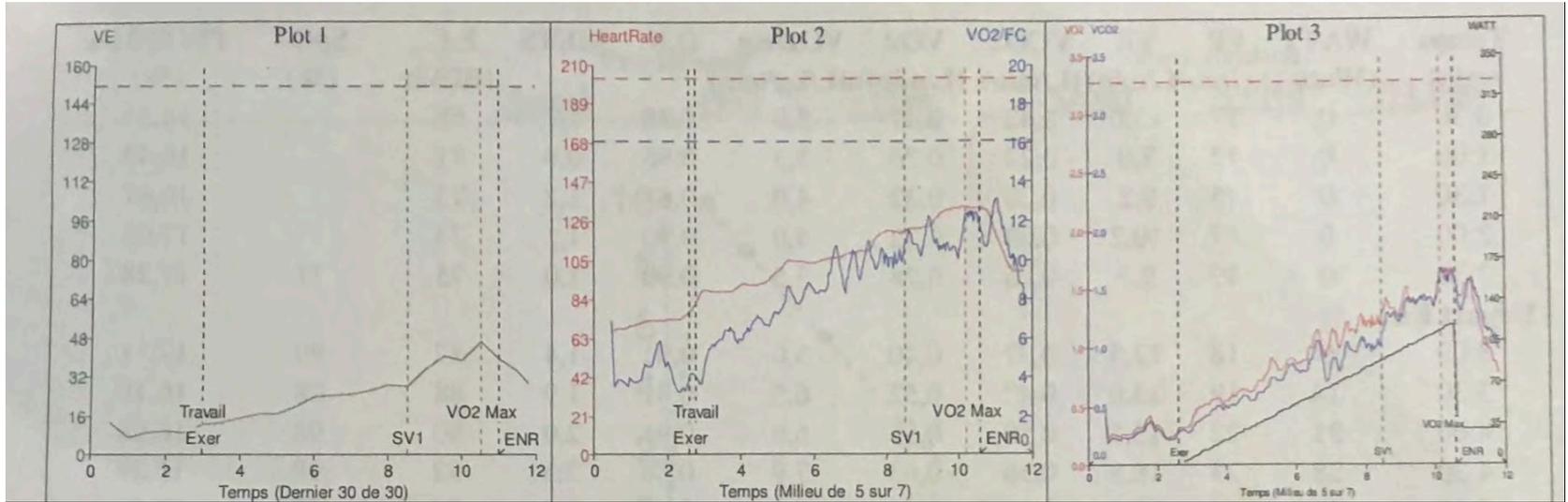
(pente VE/VCO₂ = 36)

DVDA avec dysfonction bi V

BB IEC

	<u>Repos</u>	<u>SV1</u>	<u>/ VO2 Max (%)</u>	<u>/ Pred (%)</u>	<u>VO2 Max</u>	<u>Max/Pred (%)</u>	<u>Pred</u>
Temps (min)	2:30	8:30			10:10		
Ex Time (min)		5:55			7:35		
DEP.METABOLIQUE							
WATT (Watts)	0	88	78	31	113	30	288
VO2 (L/min)	0,33	1,33	76	41	1,75	54	27
VO2/Kg (mL/kg/min)	4,2	16,6	76	41	21,9	54	40,9
VCO2 (L/min)	0,29	1,11	65	28	1,70	43	3,95
Q.R.	0,88	0,84	86		0,97		
VO2WorkSlope (mL/		11,0	88		12,5		
VENTILATOIRE							
VE (L/min)	10,6	28,4	59	19	48,1	32	151,0
Vt (L)	0,55	1,30	82		1,59		
FR (br/min)	19	22	72		30		
Rés.Vent (%)	92,9	81,1	119		68,0		
SpO2 (%)	99	98	98		99		
VE/VO2	32	21	78	66	27	85	32
VE/VCO2	36	26	90	96	28	106	27
Vd/Vt - est	0,20	0,15	103		0,14		
Vd/Vt - meas							
Borg PE							
CARD.VASCULAIRE							
F.C. (BPM)	78	121	90	59	134	66	203
VO2/FC (mL/beat)	4,3	11,0	84	68	13,1	81	16,1
sysBP (mmHg)							
diaBP (mmHg)							
HEMATOSE							
PaO2_man (mmHg)							
PaCO2_man (mmHg)							
pH							
SaO2 (%)	99	98	98		99		
PAO2 (mmHg)							
P(A-a)O2 (mmHg)							
PETCO2 (mmHg)	35	41	108		38		

VESi = 40 ml/m2



- Effort maximal ? Pas loin
- IC tres faible par l'insuffisance chronotrope et le faible VESi
- Hb = 15, DO2 = 35 correcte

Conclusion

- ECG d'effort

- ❖ Diagnostic

- ✓ Rythmologie, DVDA
 - ✓ Ischémie (pathologies coronaires acquises post chirurgicales)

- ❖ Aide thérapeutique

- ✓ Rythmologie (QT , WPW...)
 - ✓ Ischémie (pathologies coronaires acquises post chirurgicales)
 - ✓ Rao/CMH

- ❖ Pronostic

- ✓ ESV
 - ✓ Coarctation réparée

- Test cardiopulmonaire

- ❖ Diagnostic

- ✓ Shunt D/G

- ❖ Test d'aide à la thérapeutique

- ✓ intérêt de la mesure du débit cardiaque ...

- ❖ Pronostic +++

- ✓ (+ débit cardiaque ?)