

Explorations fonctionnelles en cardiologie congénitale et pédiatrique

Antoine Legendre, M3C-Necker
DU de Cardiologie Pédiatrique
2023-2024

Epreuve d'effort chez l'enfant

Particularités



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

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)

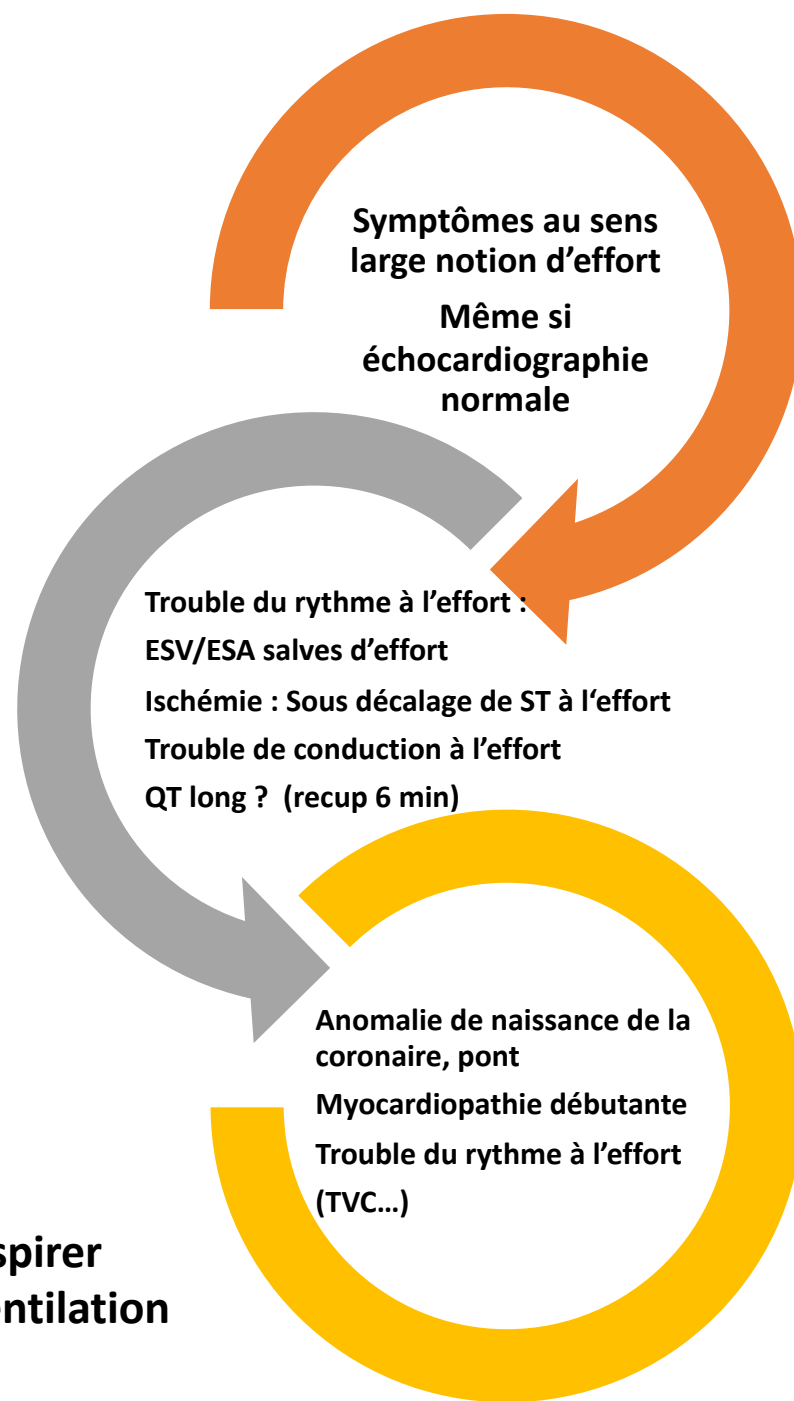
1375 tests :

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

Indication de d'ECG d'effort

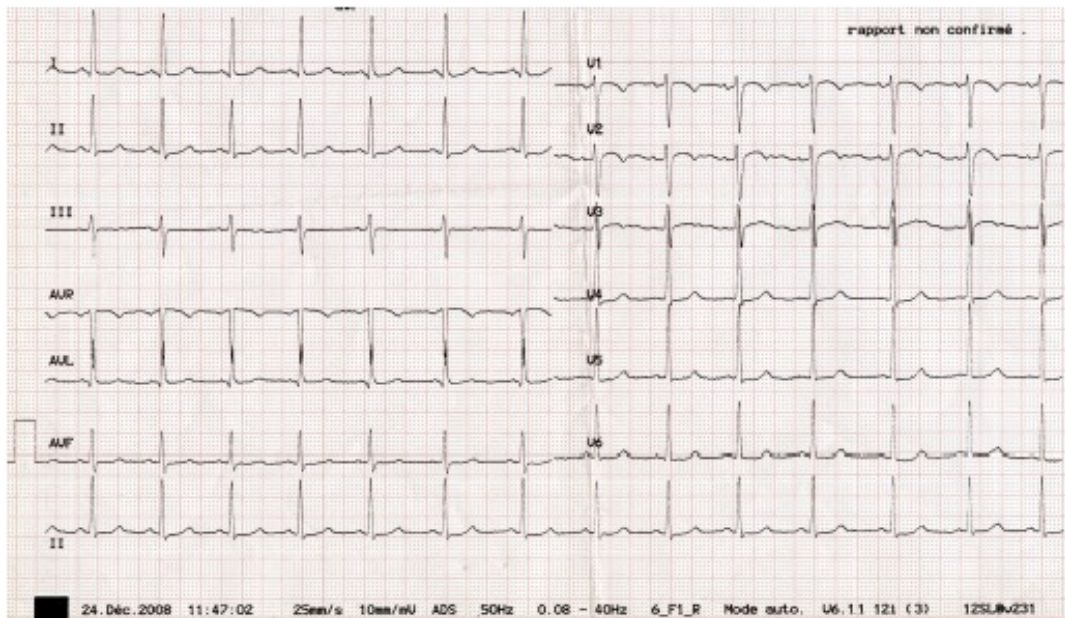
Première fois en
consultation
(Pas de pathologie
connue)

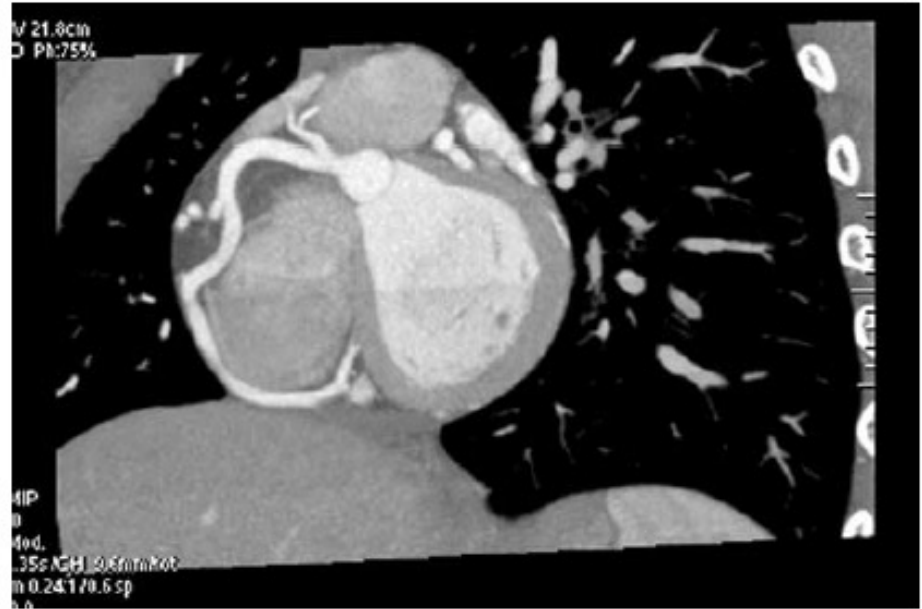
99,...% des cas : normale, ne sait pas respirer
sensation de cœur qui bat fort, hyperventilation
inadaptée...



Jeune fille de 13 ans

- ECG normal, VG normal, pas de fuite mitrale
- Dyspnée d'effort... EE positive





ALCAPA

ECG d'effort

Dépistage – suspicion échographique

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

Anomalie de connexion au sinus et anomalie de trajet

Circonstances de découverte

- Découverte fortuite +++
- Symptôme d'effort:
 - Angor d'effort
 - Exploration de douleur thoracique chez l'enfant le plus souvent d'effort
 - Syncope
 - Arythmie
 - Mort subite récupérée

Anomalie de connexion au sinus et anomalie de trajet Diagnostic

- Echocardiographie

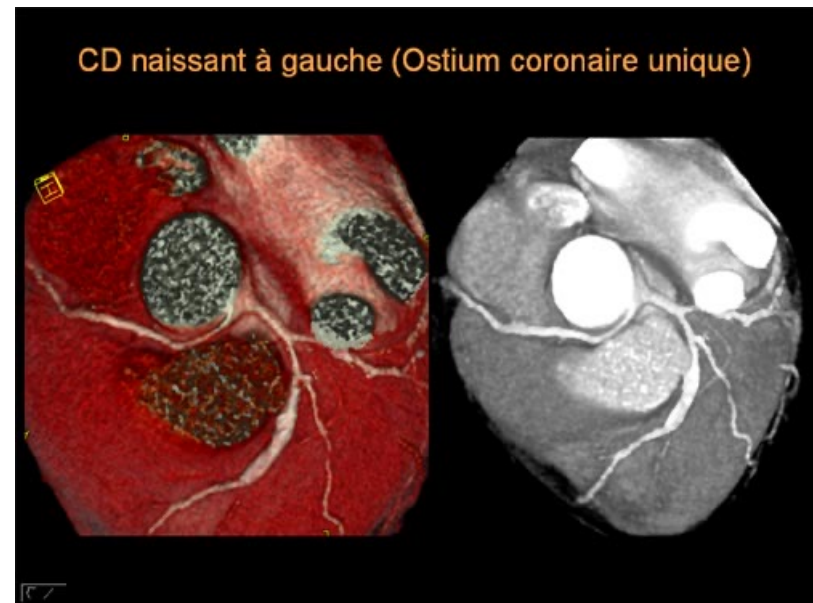
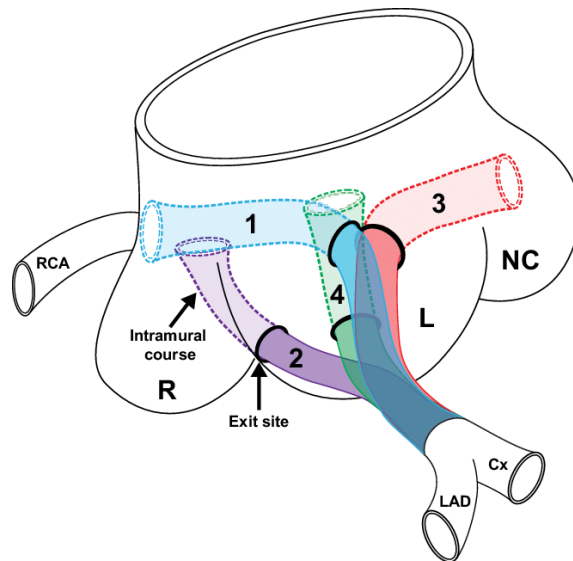
Fait le diagnostic

Suspecte le diagnostic

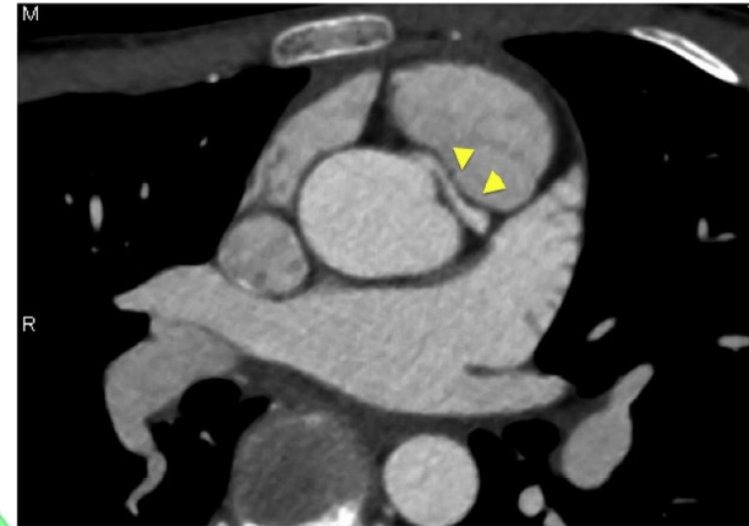
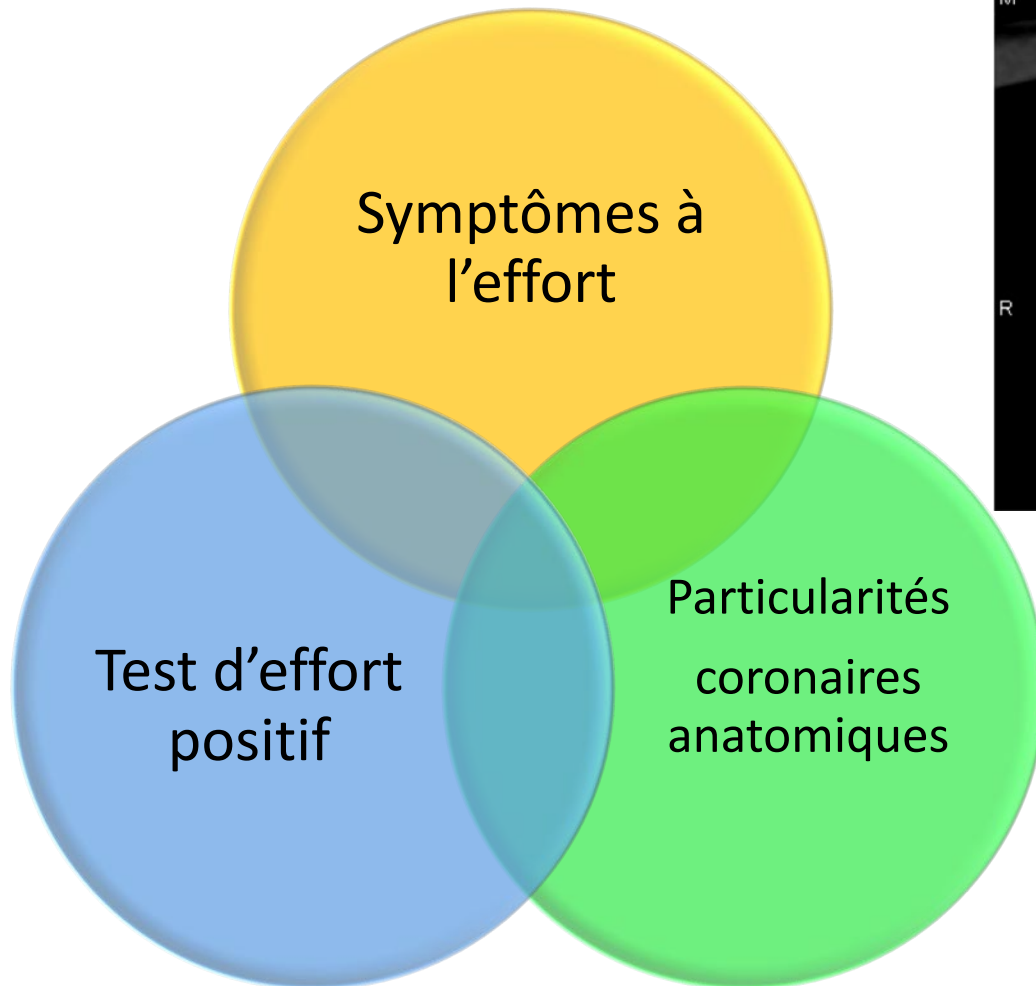
-----→ scanner pour confirmer au moindre doute ++++ meme si echo normale en cas de symptomes typiques et faire le diagnostic de gravité

Anomalies de trajet : place de l'épreuve d'effort

- 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



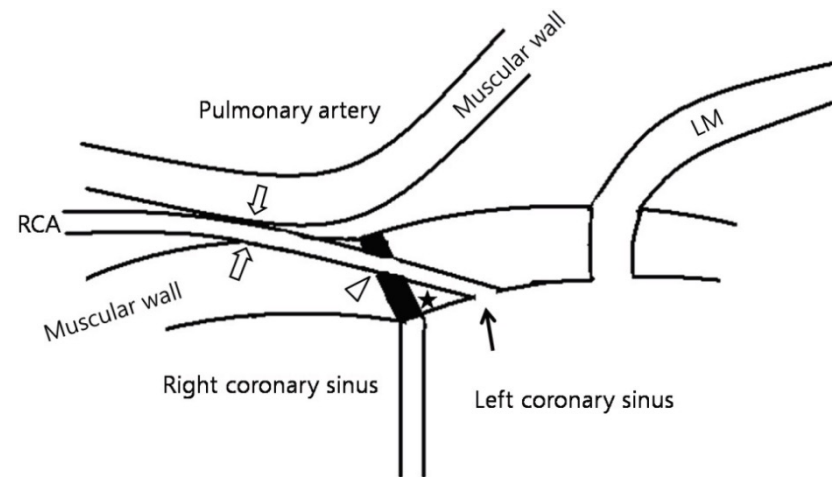
AORCA / AOLCA: place du test d'effort dans l'évaluation du risque d'ischémie



Anomalie de connexion au sinus et anomalie de trajet Trajet inter aortico pulmonaire

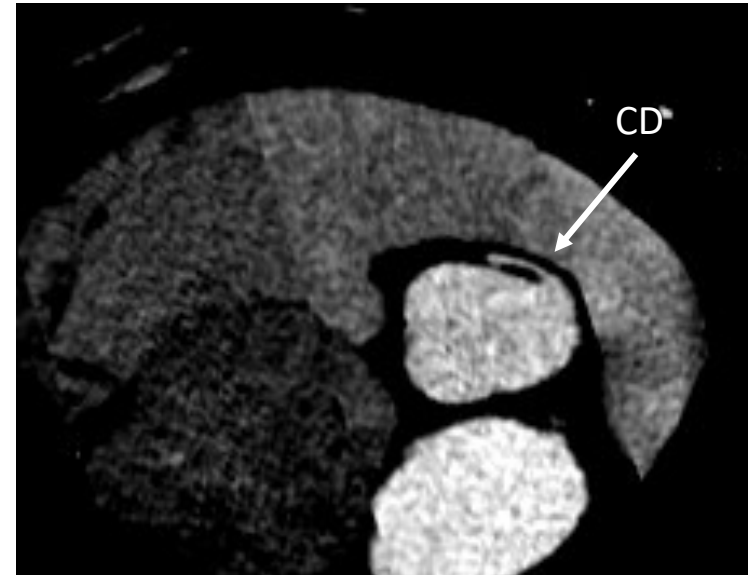
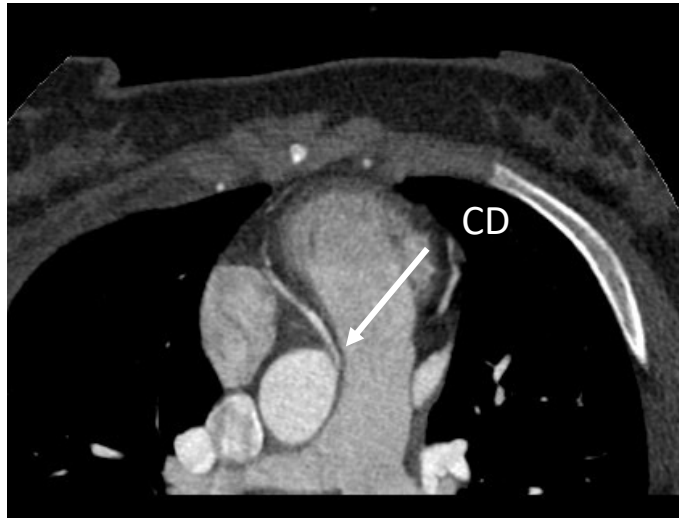
FDR de mort subite :

- Angle aigu
- Sténose ostiale
- Ostium en fente
- **Segment intramural +++**
- Implication de la coronaire gauche

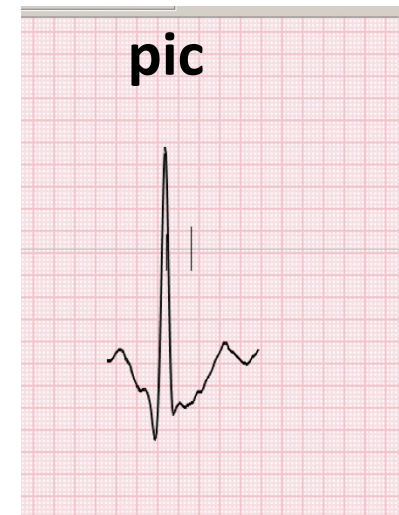
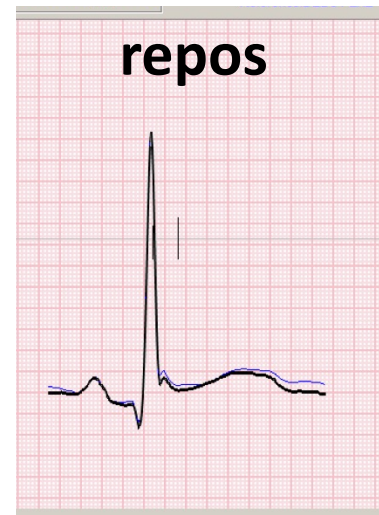


AORCA

2 cas récents (Necker)



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



- Douleur angineuse

Naissance coronaire du « mauvais » sinus

Indications opératoires

- Anomalie de trajet avec symptômes (syncope, précordialgie suspecte d'origine ischémique ou arythmie prouvé/suspectée), mort subite récupérée : **chirurgie** (1, B)
- CG naissant du sinus droit : **chirurgie** (1, B)
- CD naissant du sinus G ???
 - Ischémie prouvée (IIa, C) **IRM de stress ? FFR ?** : **chirurgie**
 - Quelle activité interdite si test négatif...?
 - Prendre en compte les autres FDR (trajet intra mural, forme de l'ostium, dominance coronaire, habitude sportive ...): **chirurgie**
 - **Quasiment pas d'évènement après 35 ans (Warner AmJ Cardiol 2023)**

ECG d'effort

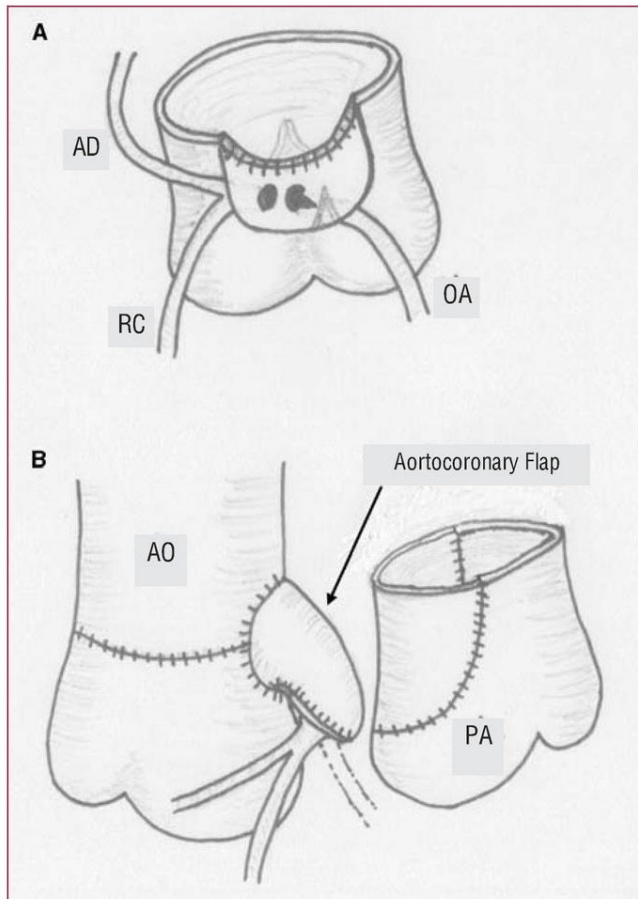
Rythmologie

- ESV bénignes ou malignes : disparition à l'effort = 1 des critères de benignité
- Trouble de conduction supra-hissien ? Troubles de conduction qui disparaissent à l'effort
- Maladie sinusale : accélération à l'effort ?
- Pre-éxcitation maligne ou bénigne : disparition de la pre excitaion au cours de l'effort
- QT long : 6' de récup : potentialise le diagnostic
- Beta-bloquage : FC <130/140/min
- Pace maker : trouble de l'écoute ou de la stimulation ?
- ...

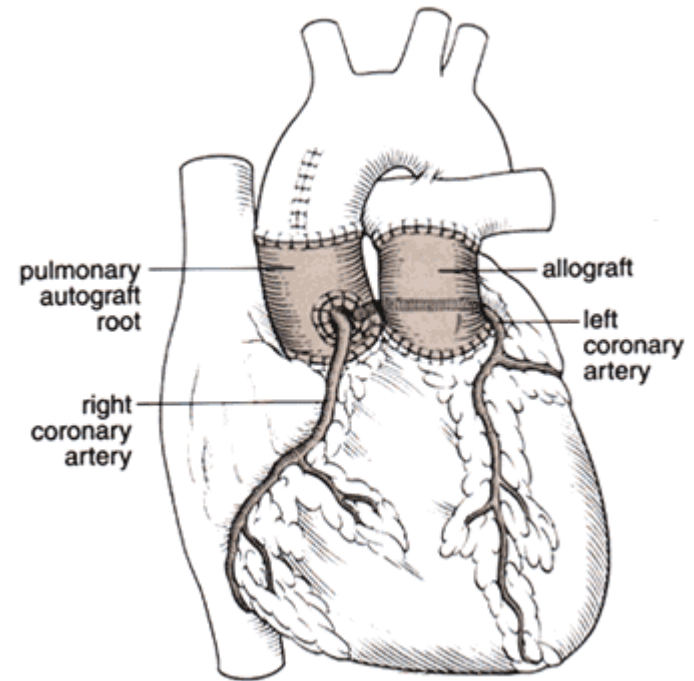
Test d'effort

Séquelles coronaires post chirurgicales

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

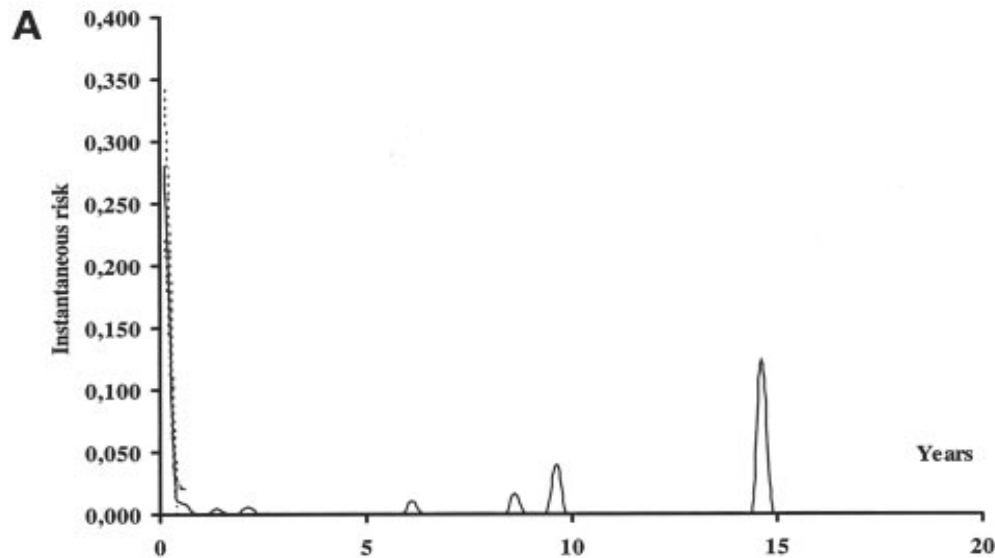


SWICH ARTERIEL



ROSS

Evènements coronaires après switch artériel



Legendre Circulation 2003



Ou JTCS 20013,
Raimondi JACC imaging 2018

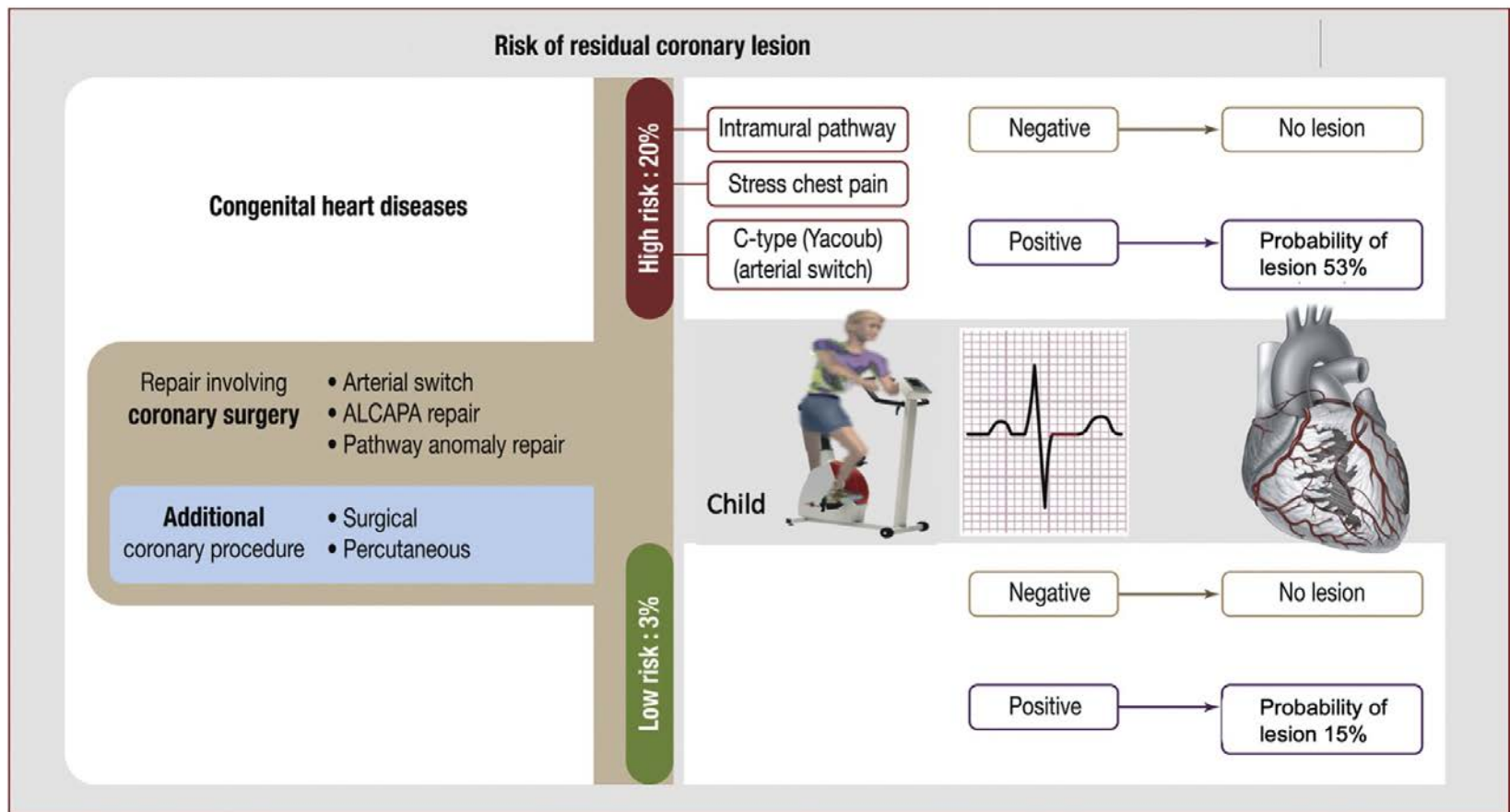
post switch artériel

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

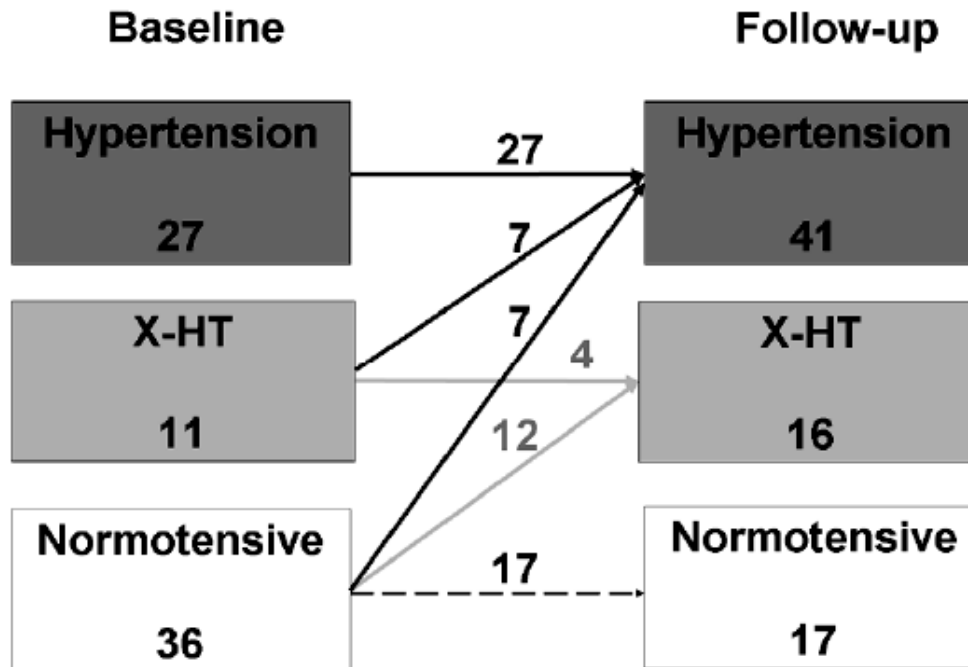
Age Range (years)	Systolic blood pressure (SBP)			Diastolic blood pressure (DBP)		
	SBP R	SBP max	SBP R6	DBP R	DBP max	DBP R6
	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD
10 - 11	106.4 ± 6.6	126.1 ± 14.4	107.9 ± 8.8	65.3 ± 4.8	56.0 ± 10.9	61.9 ± 7.3
12 - 13	110.5 ± 10.9	133.9 ± 21.1	111.1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

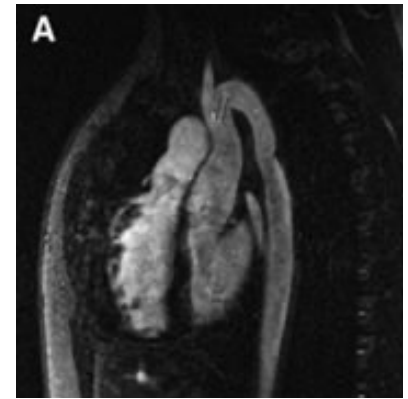
Age Range (years)	Systolic blood pressure (SBP)			Diastolic blood pressure (DBP)		
	SBP R	SBP max	SBP R6	DBP R	DBP max	DBP R6
	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD
10 - 11	105.3 ± 8.7	120.0 ± 18.5	101.5 ± 6.8	65.0 ± 6.9	47.9 ± 11.2	55.9 ± 7.6
12 - 13	107.1 ± 7.6	125.0 ± 15.4	105.8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

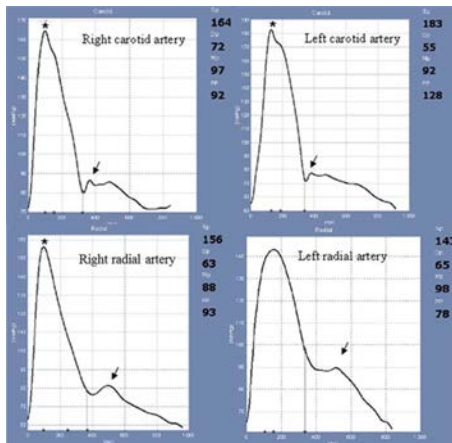
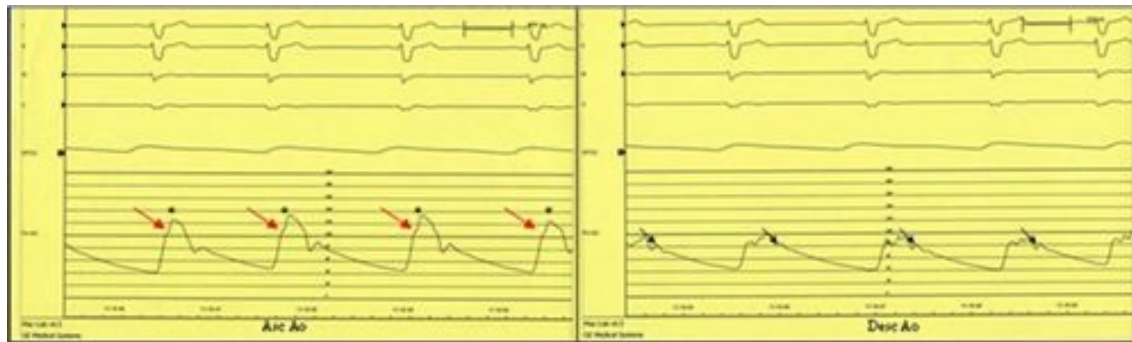


Coarctation opérée, mécanisme HTA

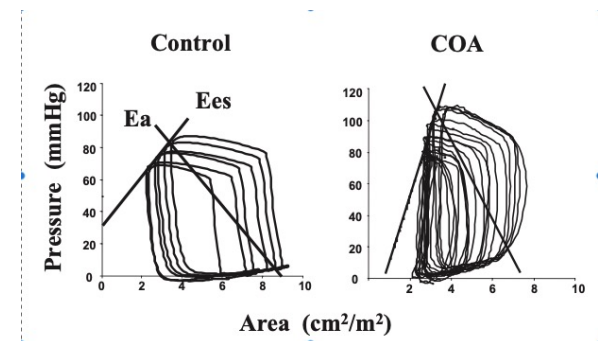


- Arche gothique

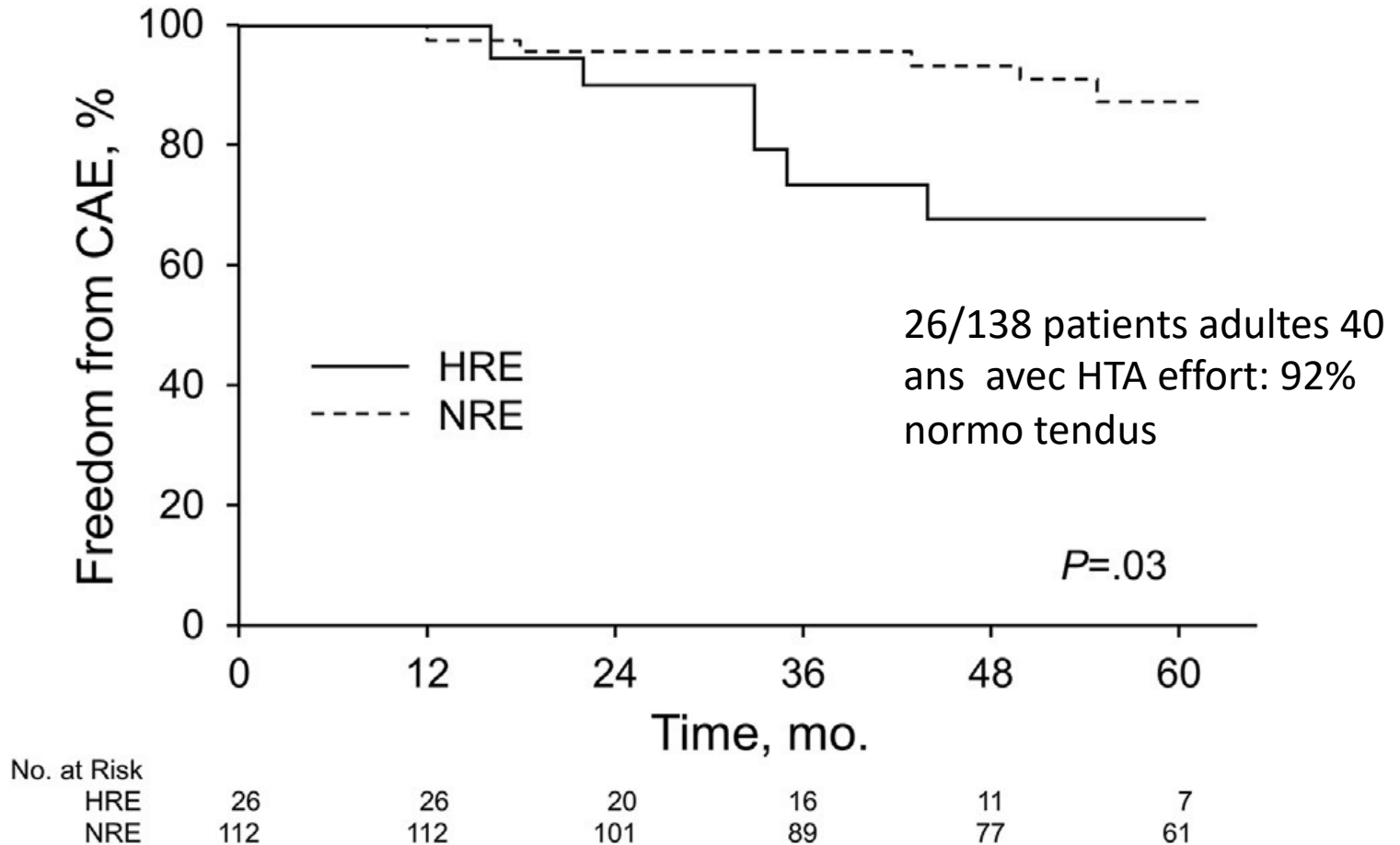
Facteur de risque d'HTA d'effort et HTA (MAPA)



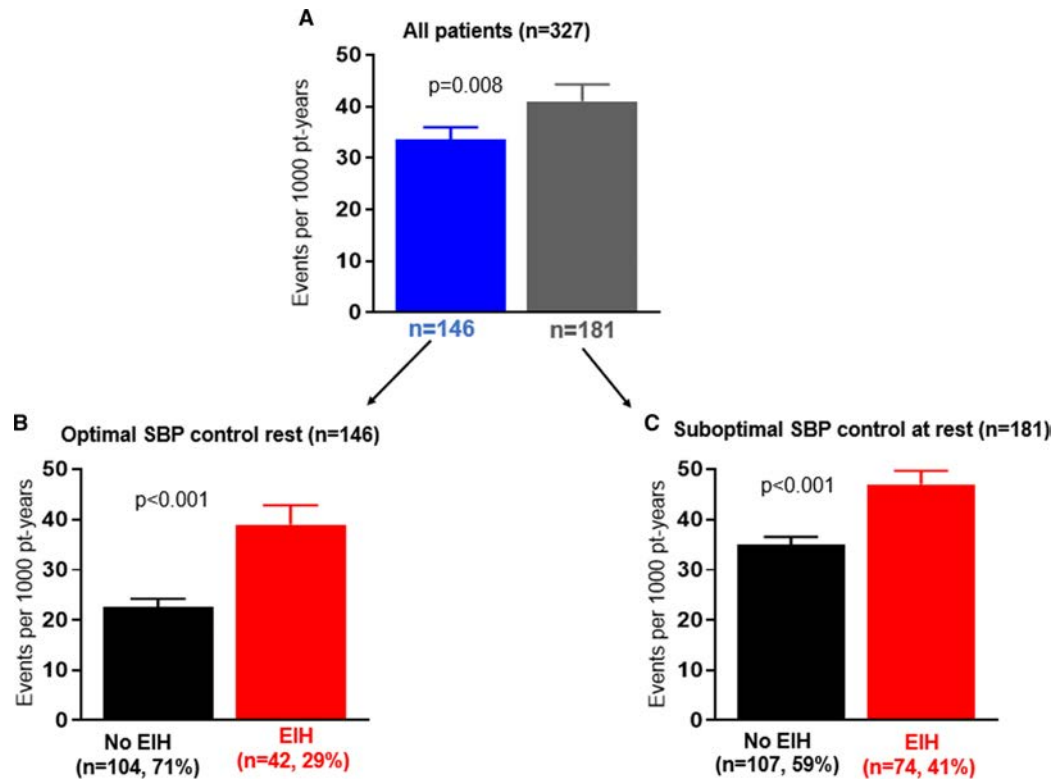
Ladouceur, Circulation 2013



HTA d'effort prédit les accidents cardiovasculaires ?



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



Traitement de l'HTA d'effort ?

Par IEC /ARAII. ?

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

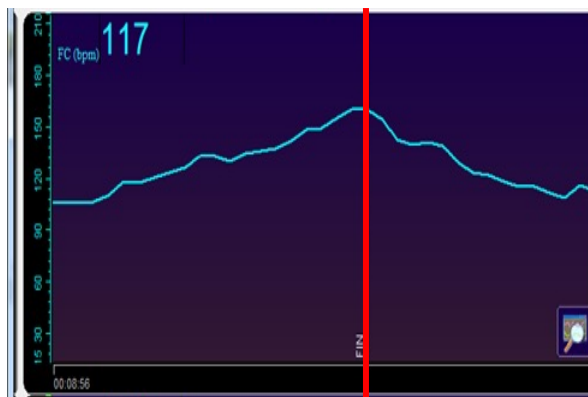
- Trouble de la fonction diastolique / ischémie (TDR)
- Mauvaise adaptation des RVS
- Ischémie /TDR ventriculaire - auriculaire

Bicuspidie stenosante (14 ans)

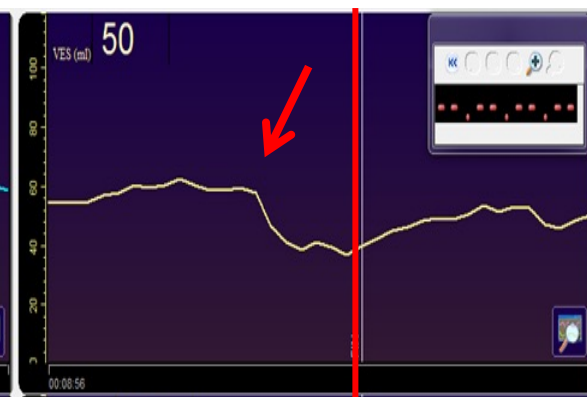
Gradient moyen 50 mmHg,
FE VG : 60%,
Hypertrophie modérée

Exercice
Augmentation PA
Pas d'ischémie

FC



Stroke volume



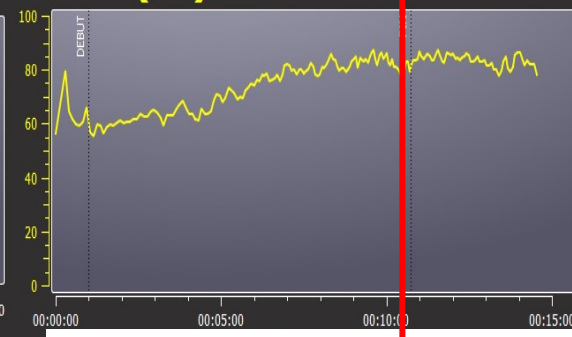
commisuroplastie

Gradient moyen
20 mmHg

FC (bpm): 187



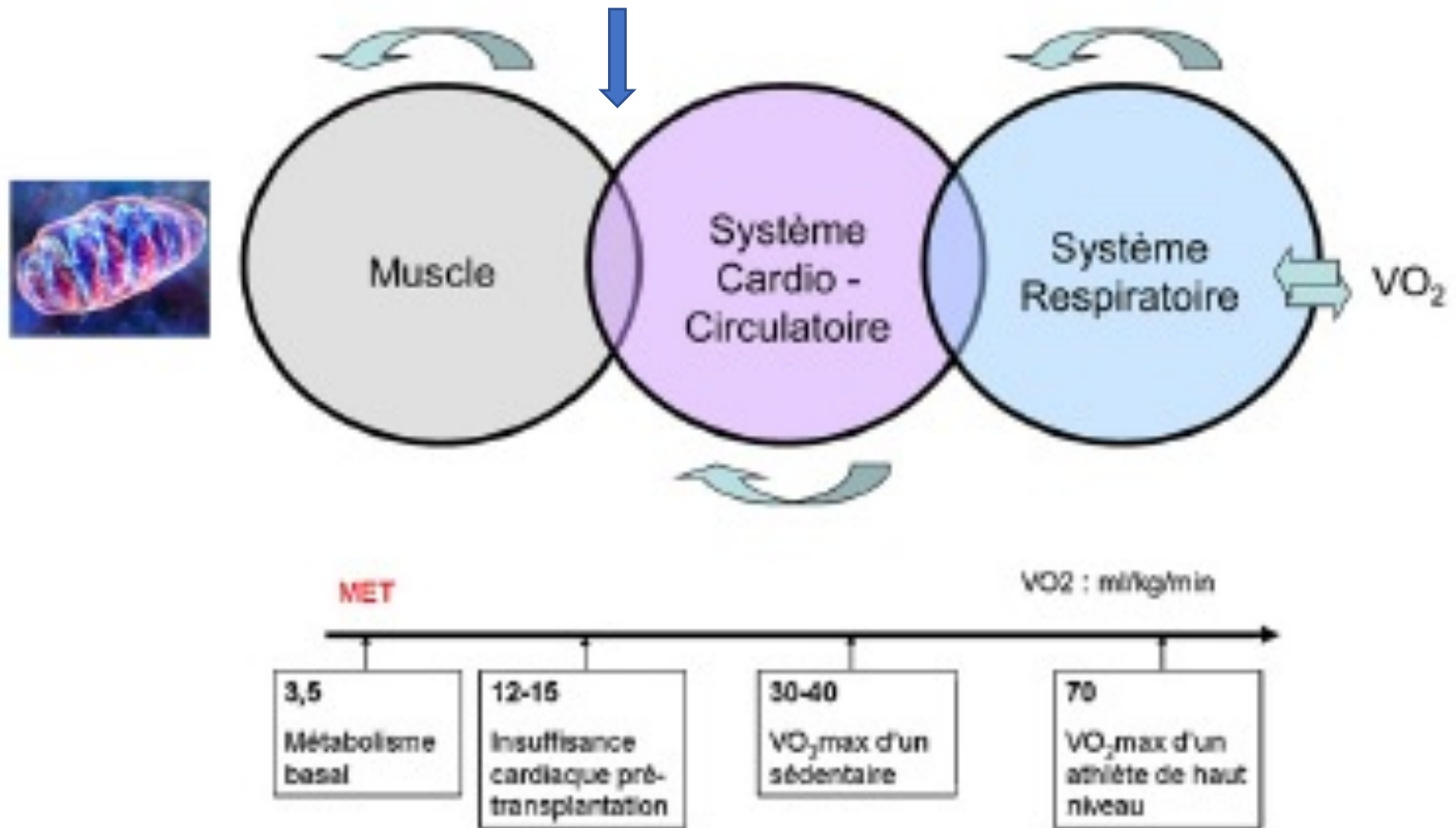
VES (ml): 79.2



Test d'effort cardiopulmonaire

Avec mesure de la consommation d'oxygène ($\dot{V}O_2$)

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

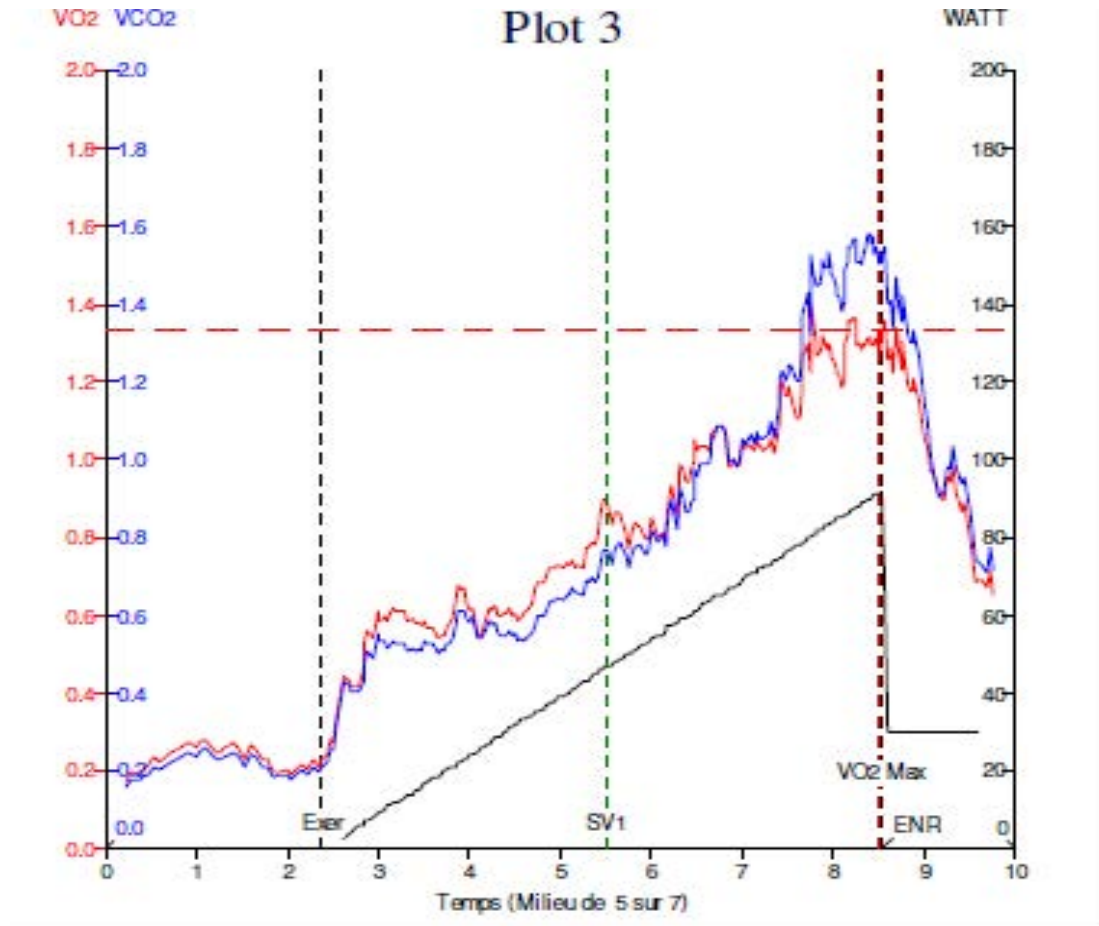




Capteur de débit

Vers analyseur de gaz
(O₂/CO₂)

Effort en rampe – VO2max



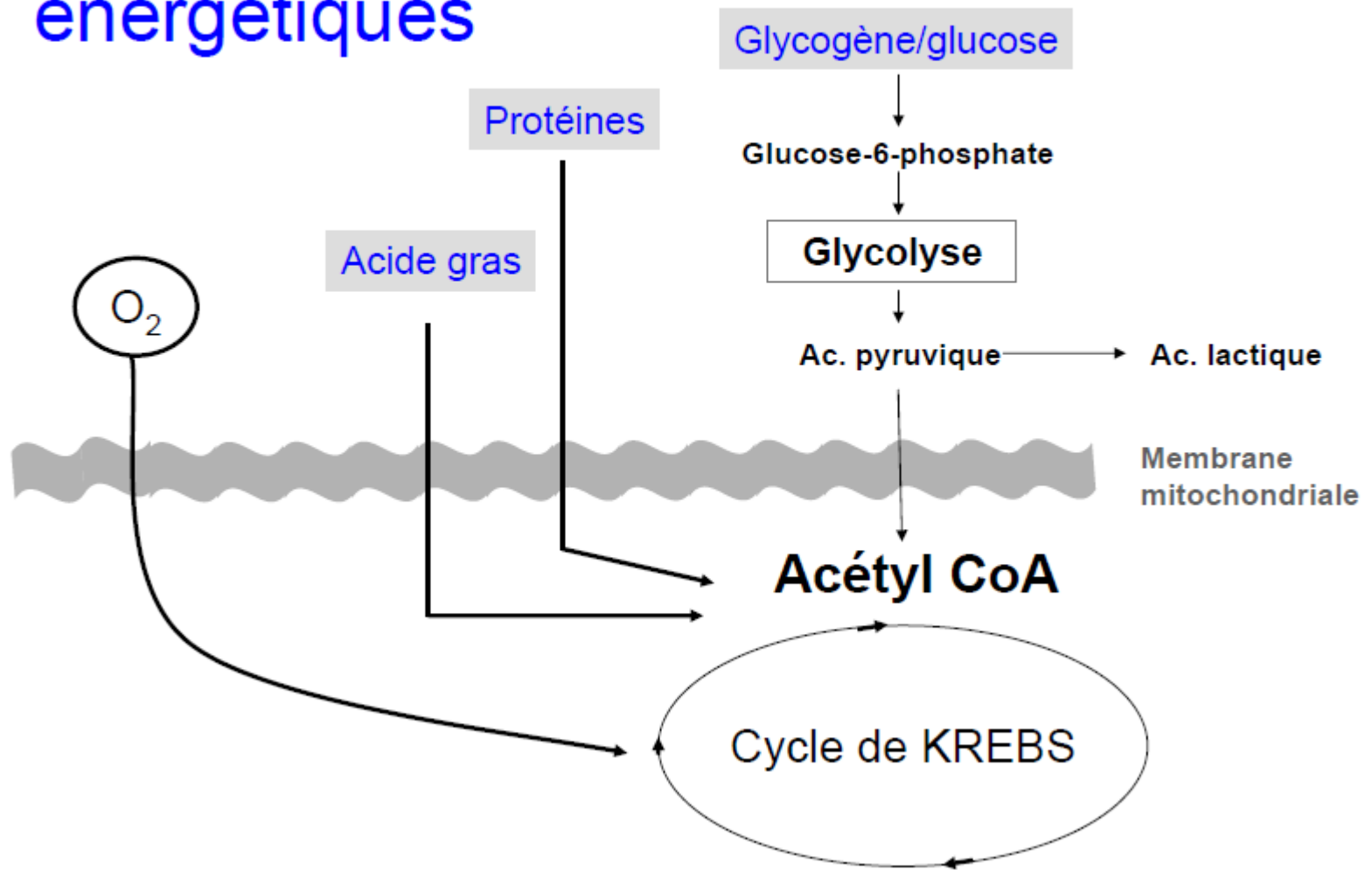
VO2 max normes enfant : équation de Cooper Ped Research 1984

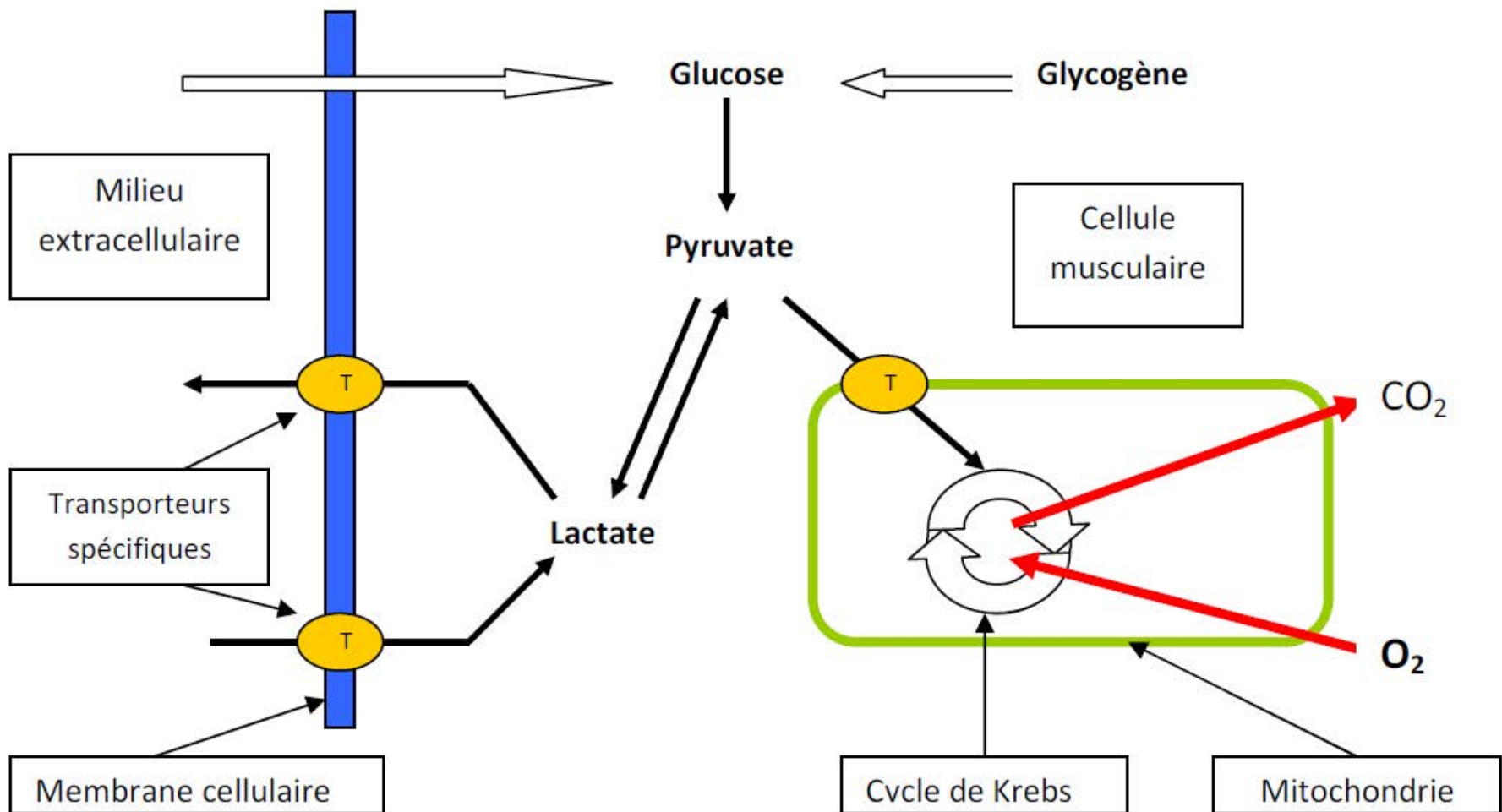
VO2 max normes enfant : équation de Cooper Ped Research 1984

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

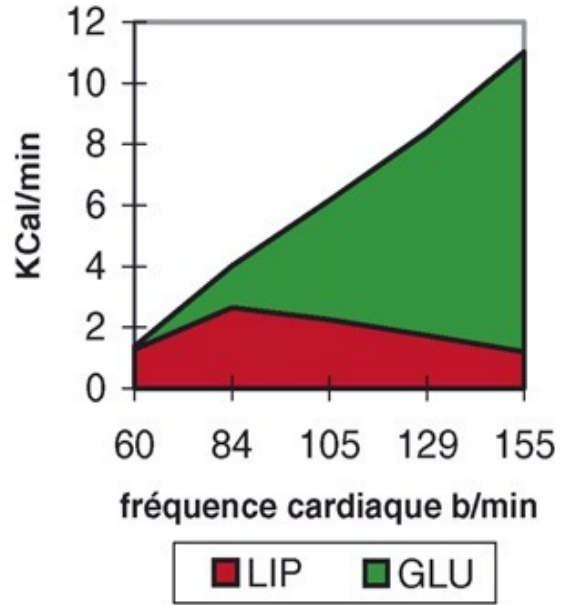
	kcal/g (1)	O ₂ (l/g)	kcal/l O ₂	QR $\frac{CO_2}{O_2}$
Hydrtes de carbone	4,2	0,84	5,0	1,00
Protéines	4,3 (2)	0,96	4,5	0,81
Graisses	9,4	2,00	4,7	0,71

Substrats énergétiques

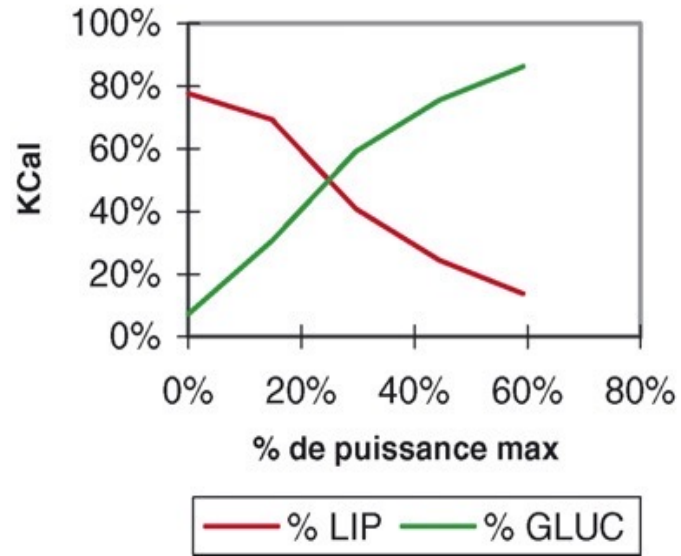




DEPENSE CALORIQUE D'EFFORT

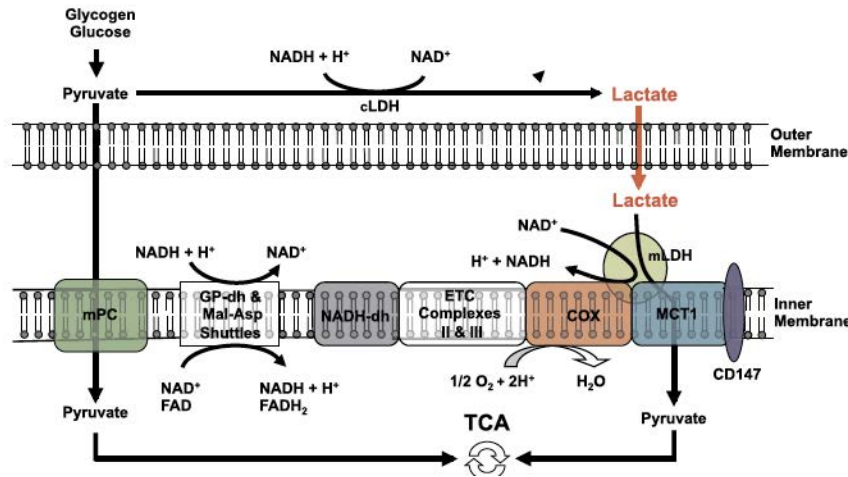


% RESPECTIF DE SUBSTRATS OXYDES

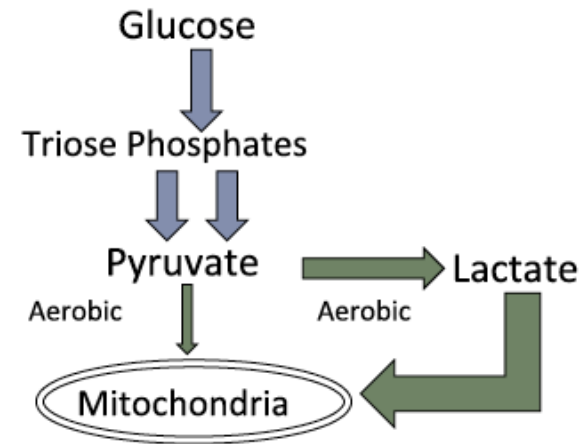


Seuil anaérobie ?

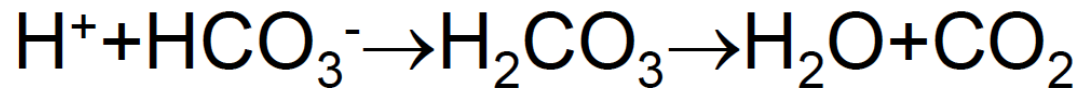
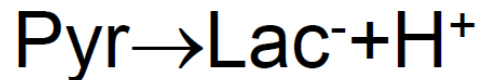
- En fait : production aerobie pure (ou quasi pure tout au long du test)
- La production de lactate ne veut pas dire : metabolisme anaérobie



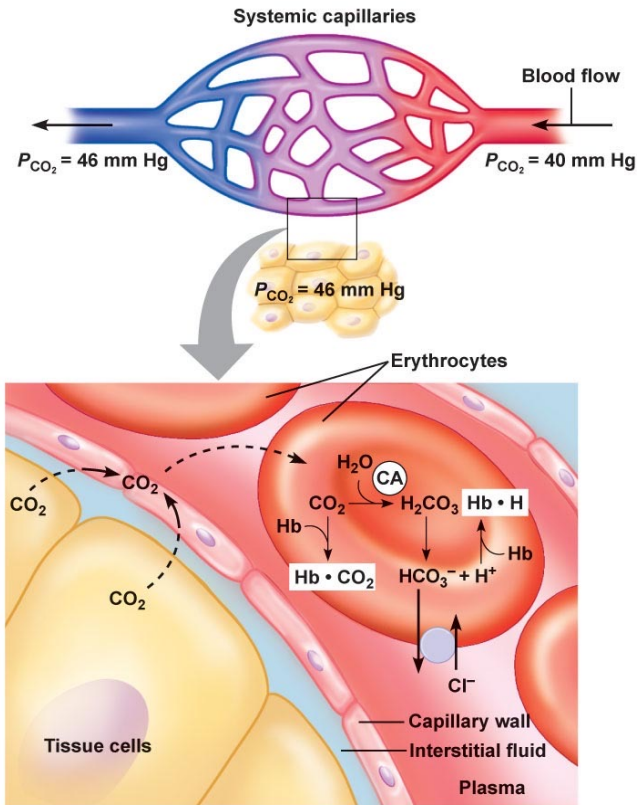
Lactate Shuttle View of the Link Between
Lactate Shuttle View of the Link Between
Glycolysis and Oxidative Metabolism



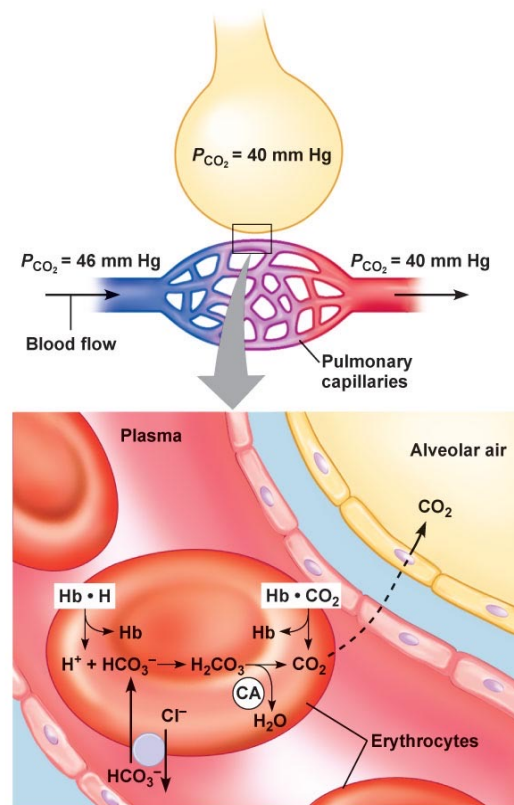
Apparition de CO₂ d'origine métabolique
(captation d'utilisation de l'acide pyruvique par le cycle
de KREBS dépassée)



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

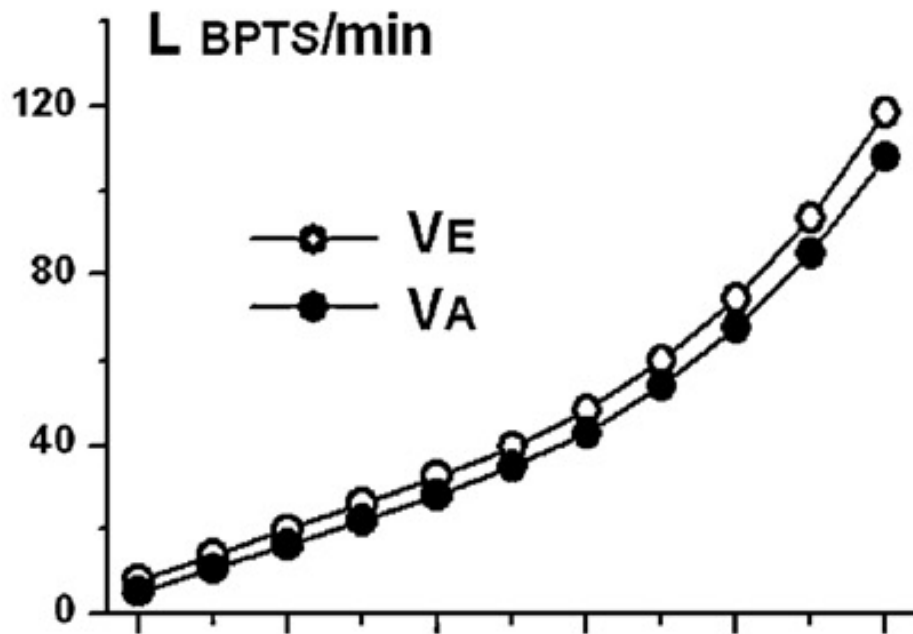


(a)



(b)

Seuil ventilatoire



Des stimuli provenant des membres qui travaillent et qui parviennent au cerveau par des afférences spinales contribuent à l'hyperpnée de l'exercice.

Principes d'interprétation

- Effort maximal ?
 - VO2 max abaissée ? Par rapport à des normes théoriques
 - Limitation de la VO2 max : cardiaque / musculaire périphérique / ventilatoire / anémie ? / maladie métabolique ...
-
- Profil TA
 - Analyse ECG
 - Saturation périphérique
 - Ventilation

Test maximal ?

- Maximalité de l'épreuve

- Plateau de VO_2 +++
- FC max (> 85-90 % de la FMT) mais insuf. chronotrope post chir, BB
- Quotient respiratoire > 1,1 / 1,15
- Critères cliniques : raison de l'arrêt, borg > 7,
- réserve ventilatoire atteignant 35 % (normale 25-35%)
 - Calcul de la VE_{th} = VEMS mesuré avant l'effort x35
 - Réserve ventilatoire = $(VE_{\text{au pic de l'effort}} - VE_{th}) / V_{eth}$
(Si < 25% = réserve entamée = possible limitation ventilatoire)
- pH < 7,25

Fsx d'arguments - expérience

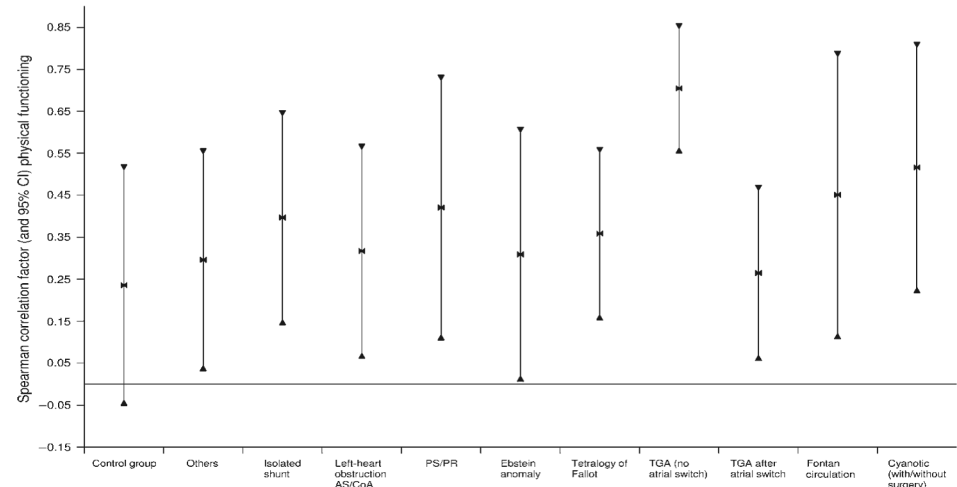
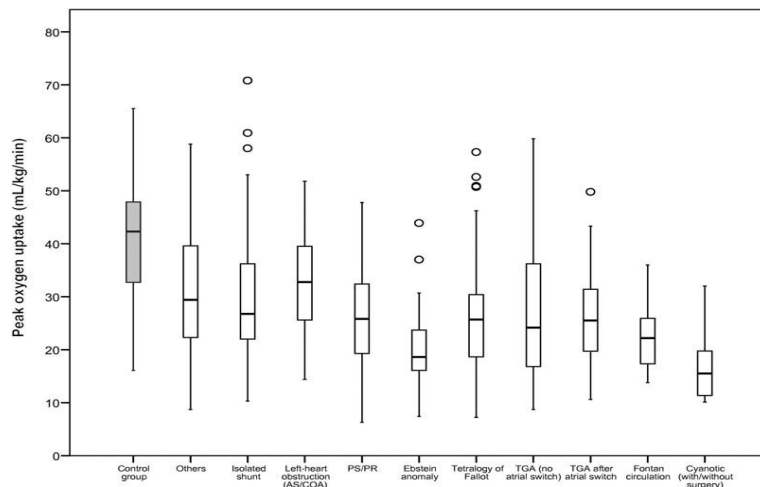
Indications du test d'effort cardiopulmonaire

- 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

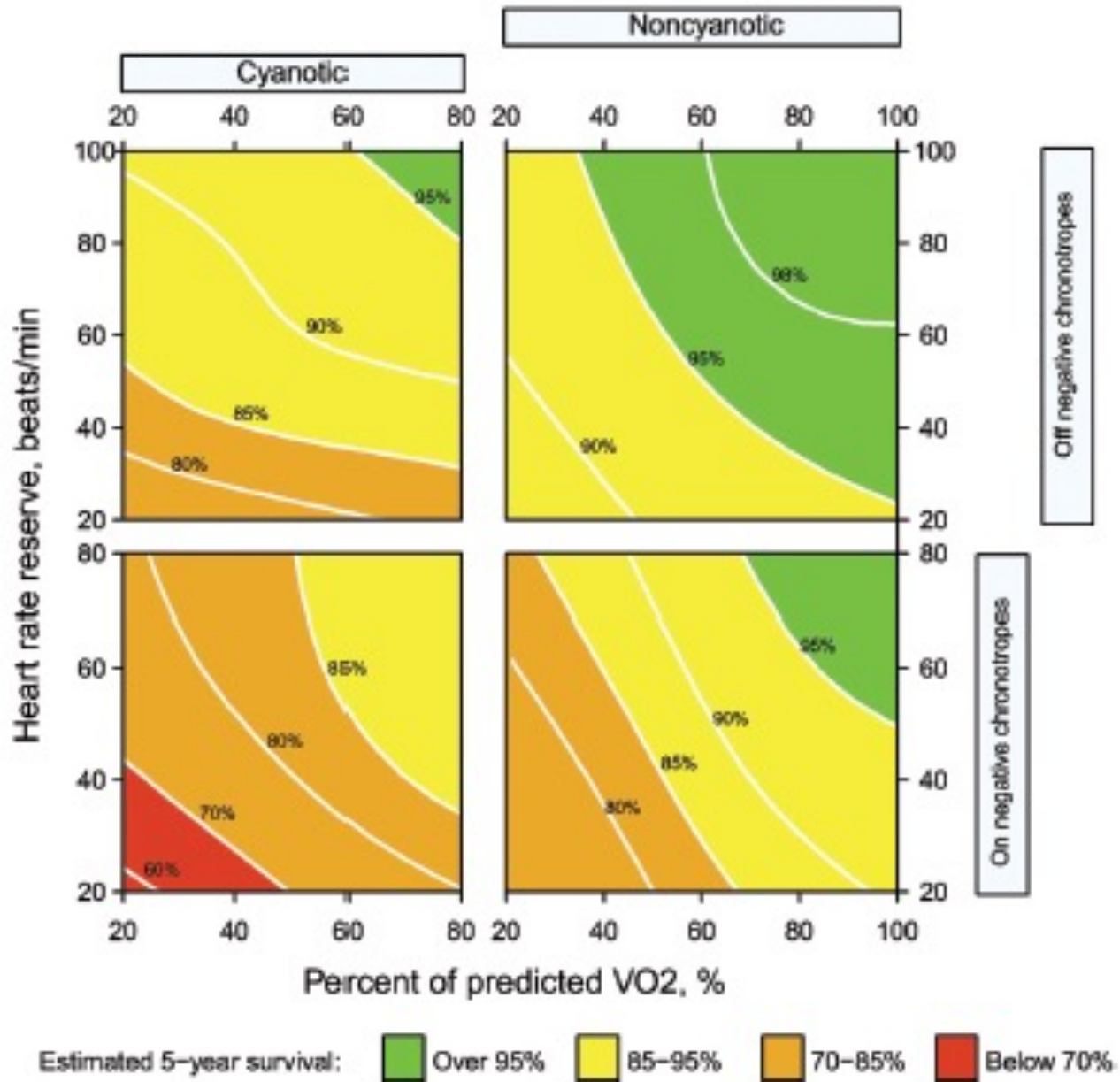
Desaturation

Diminution de la $P_{et} CO_2$

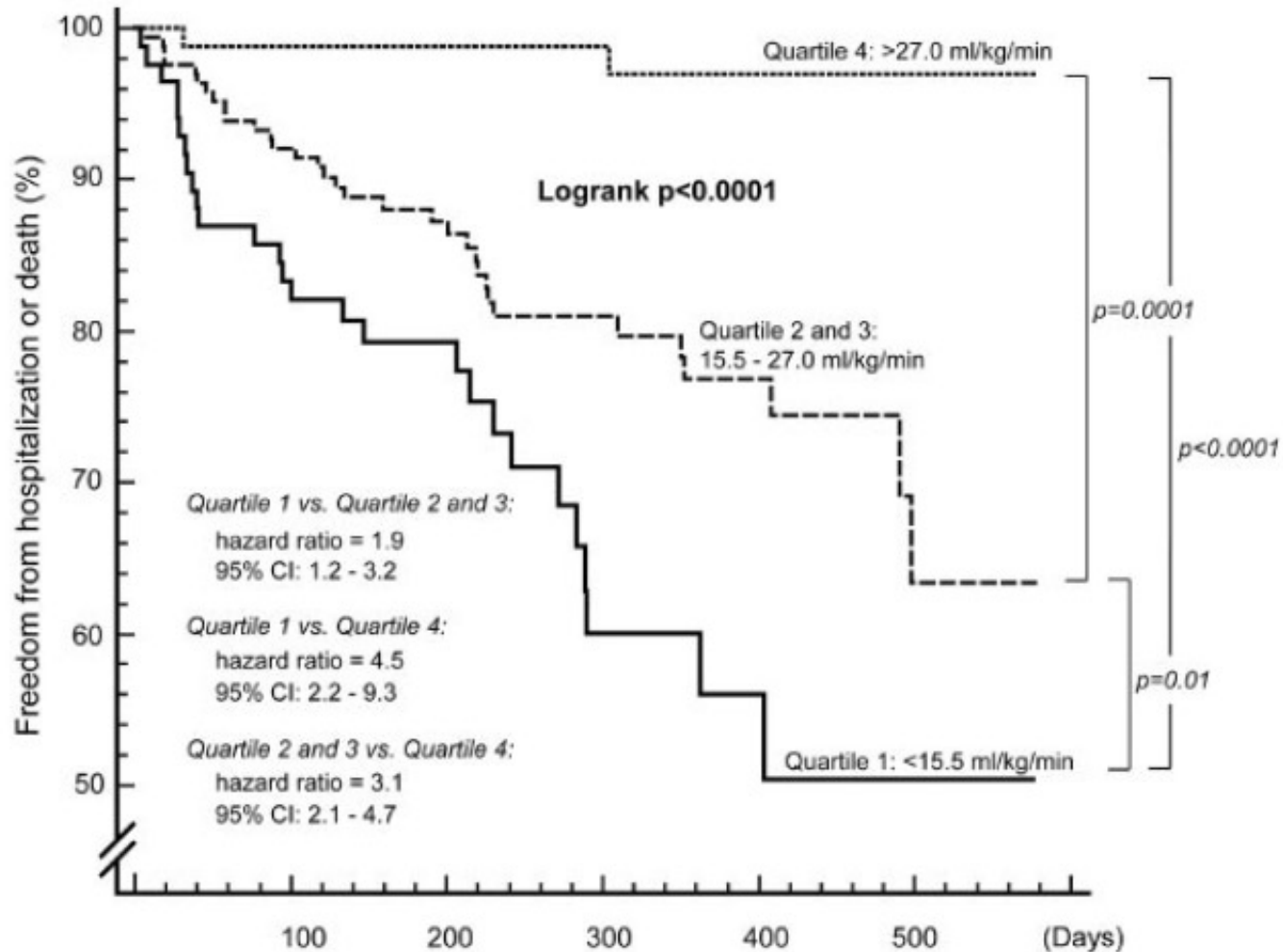
Test cardiopulmonaire

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

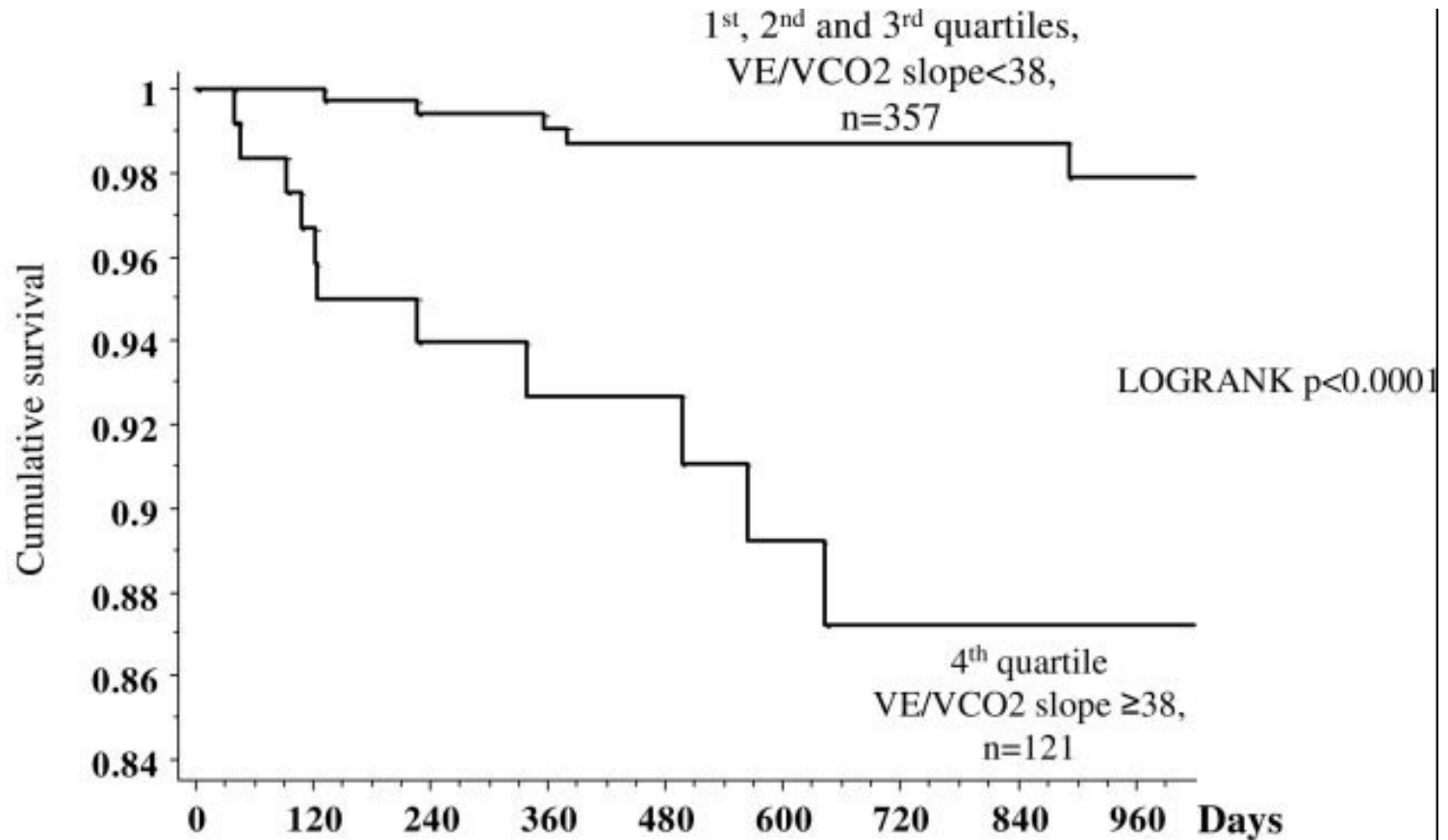


Test cardiopulmonaire valeur pronostique

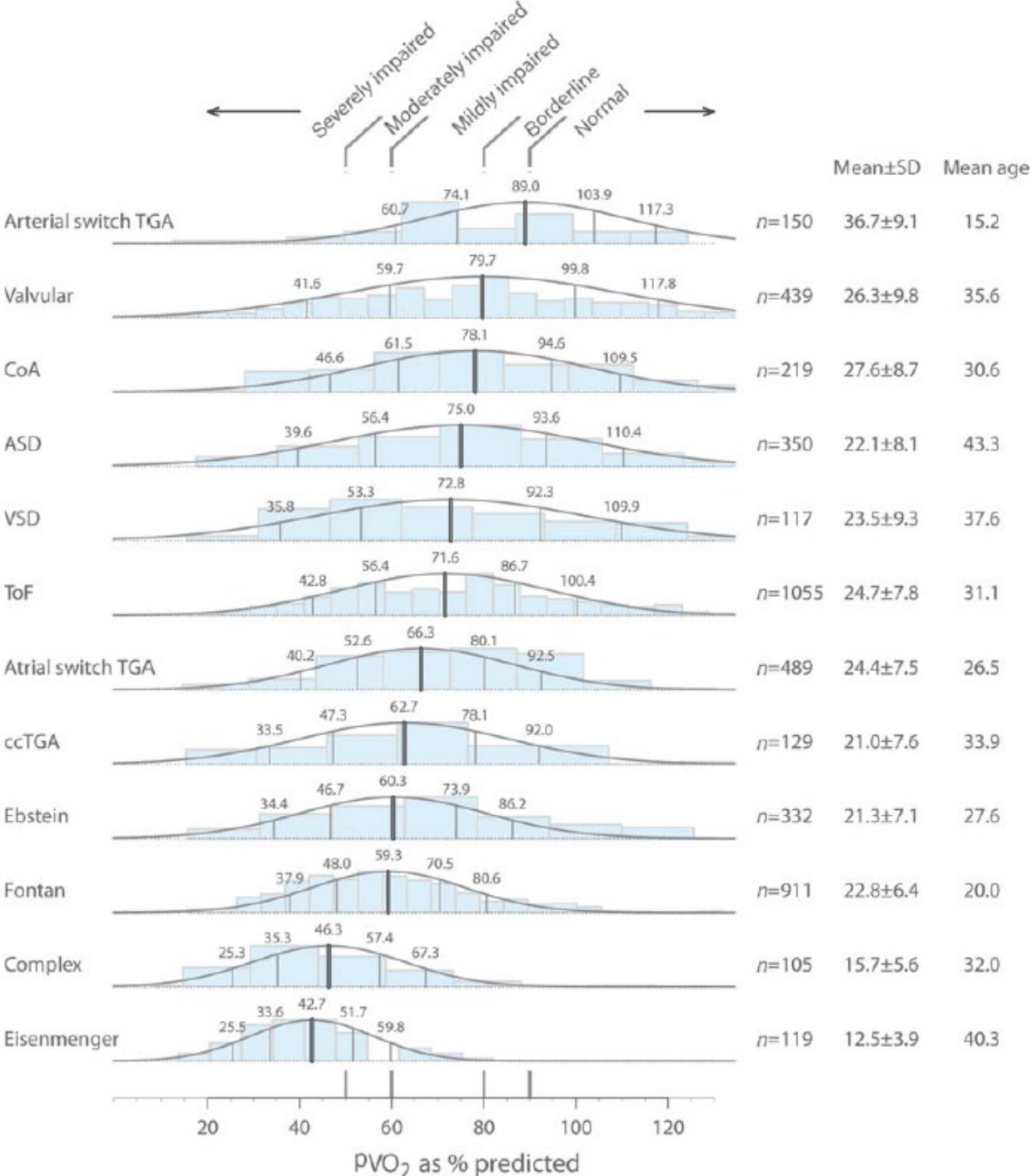


Test cardiopulmonaire

valeur pronostique



Kempny
EHJ 2012



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)

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

Test cardiopulmonaire

Décision thérapeutique: la limitation est elle d'origine cardiaque?

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}

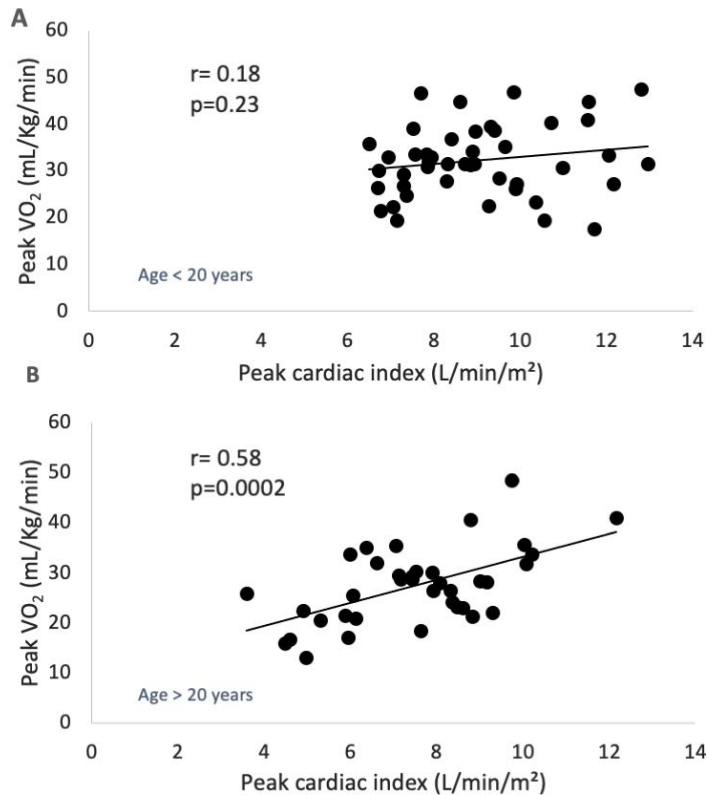
PR resulting from treatment of isolated PS may have progressive impact on RV size and function, and may result in symptoms, such that pulmonary valve replacement would be considered. Serial follow-up for clinical evaluation, CPET, and imaging to evaluate for symptoms, exercise intolerance attributable 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}

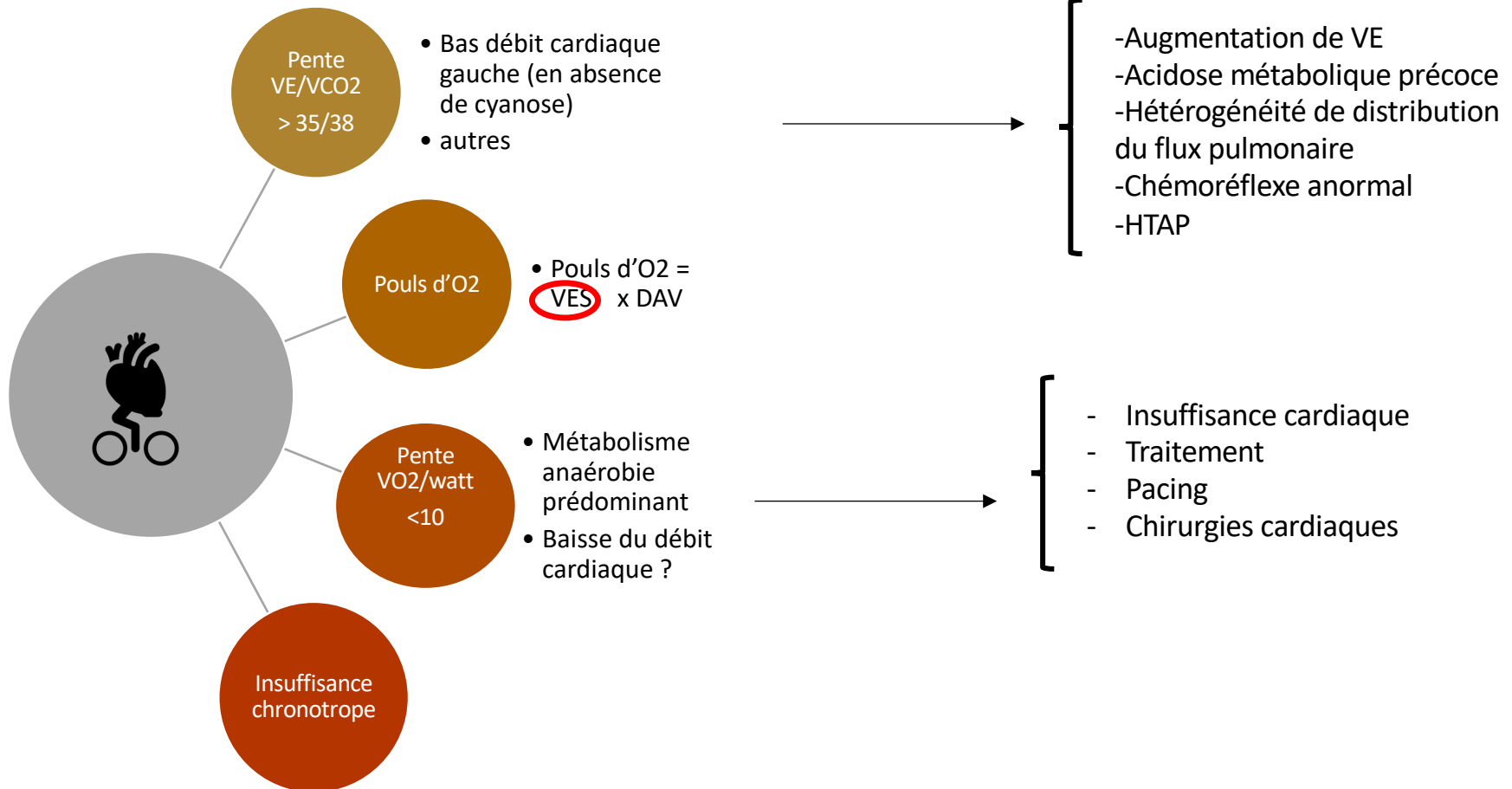
Recommendations for Right Ventricle-to-PA Conduit		
Referenced studies that support recommendations are summarized in Online Data Supplement 44 .		
COR	LOE	Recommendations
Therapeutic		
Ila	B-NR	4. Right ventricle-to-PA conduit intervention is reasonable for adults with right ventricle-to-PA conduit 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}

Patients avec fuite pulmonaire sévère



VO_2 : pâle reflet de l'IC d'effort

Performance cardiaque à l'effort : indices

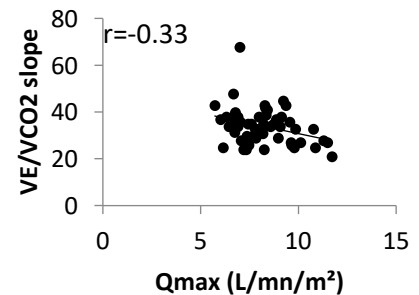
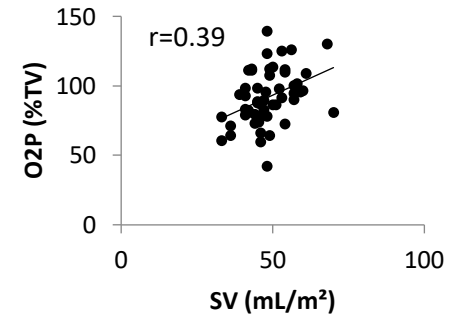


Performance cardiaque à l'effort : indices

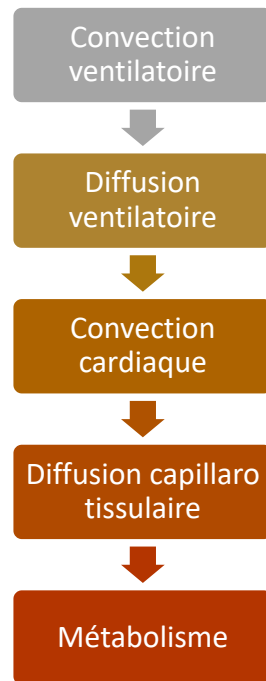
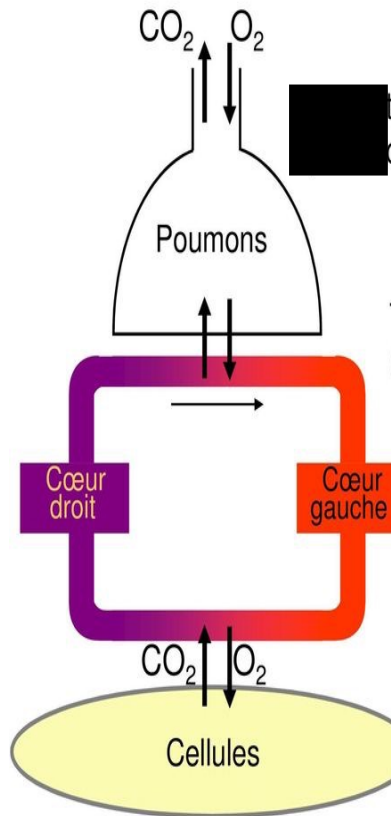
- VE/VCO₂, degré d'insuffisance chronotrope : puissant facteur pronostique d'hospitalisation et mortalité
- Mais *individuellement* :
 - Corrélation faible entre pouls d'O₂ et VESi
 - Corrélation faible entre pente VE/VCO₂ et VESi

Enfant avec lésions résiduelles (Guirgis 2019)

Adultes Fallot avec fuite pulmonaire sévère (non publié)



Déterminants de la VO2



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

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

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

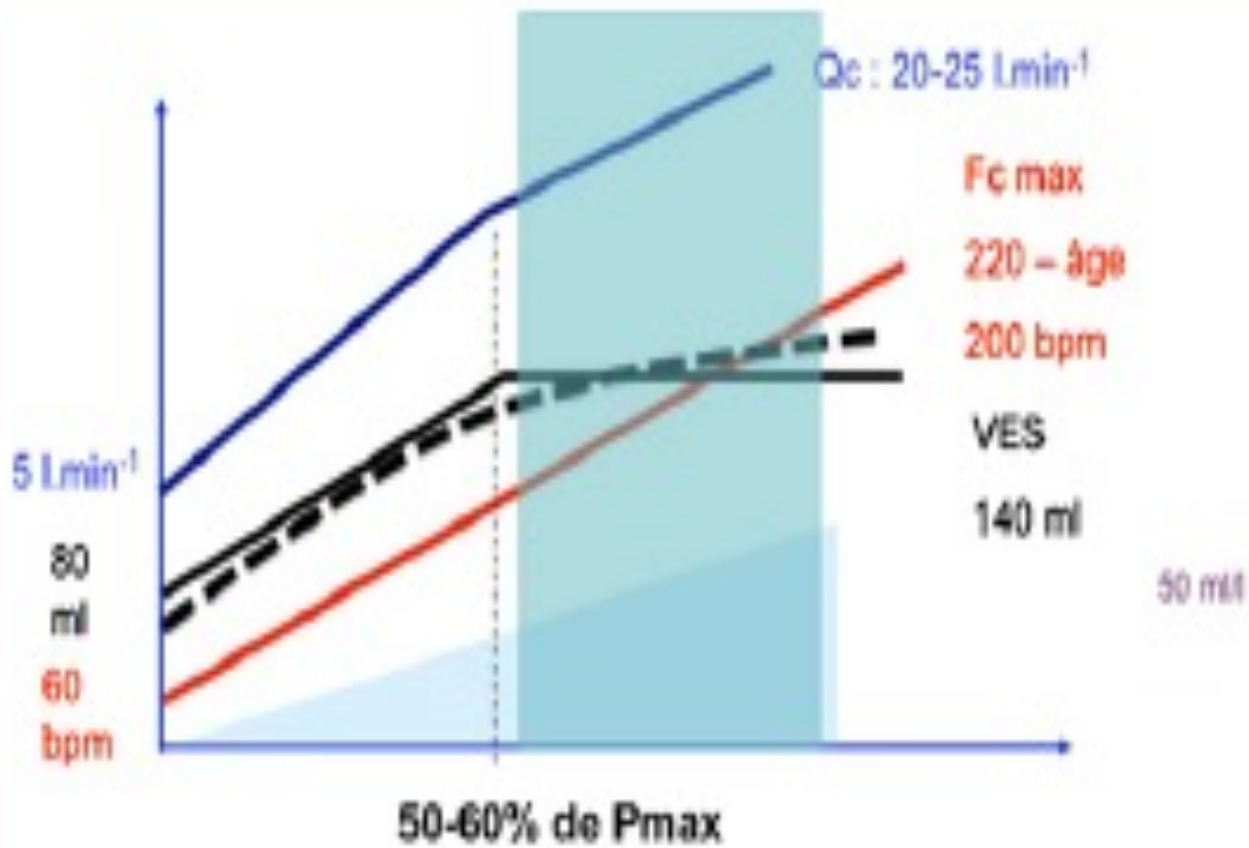
$$C_{aO_2} = 1,34 \times Hb \times S_{aO_2}$$

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

- $\boxed{M_{vO_2}}$

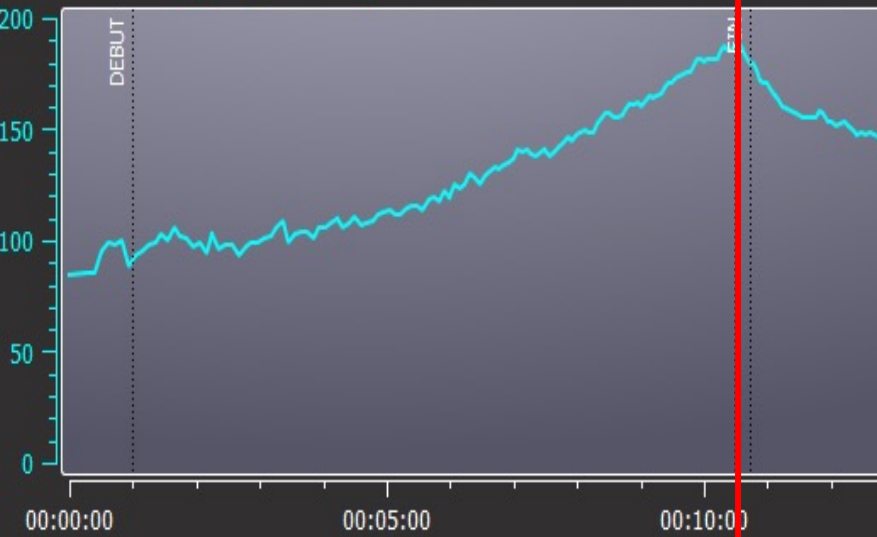
Mesure a l'effort de la VO_2
et du débit cardiaque (Q)
par impédancemétrie



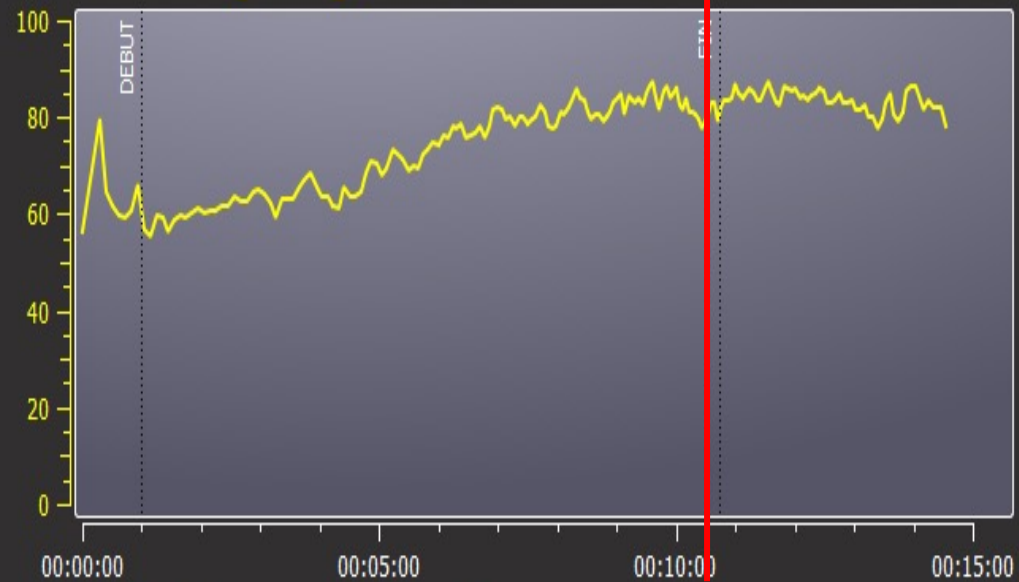


Revue des Maladies Respiratoires, Perrault, Richard (2012)

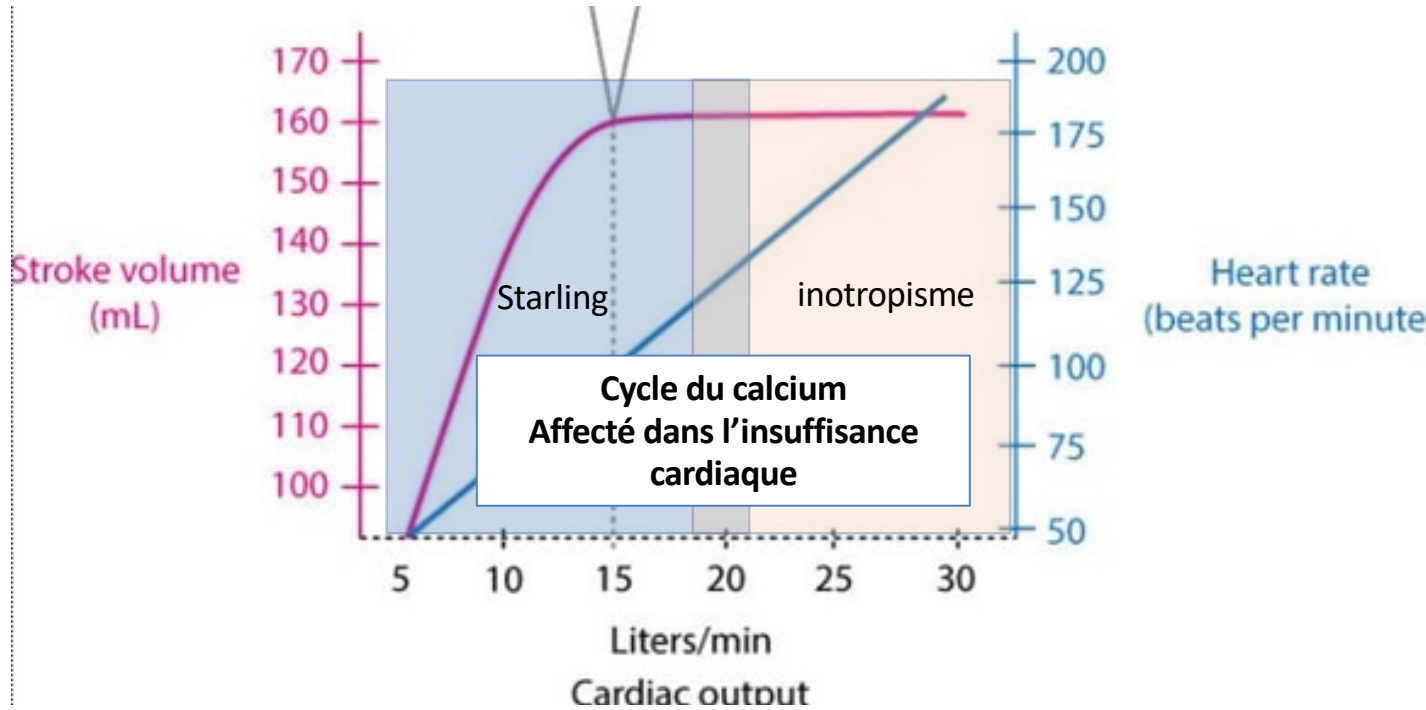
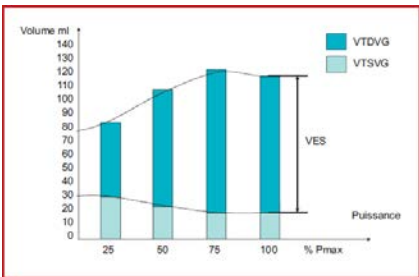
FC (bpm): 187



VES (ml): 79.2



Adaptation du volume d'éjection systolique (VES)

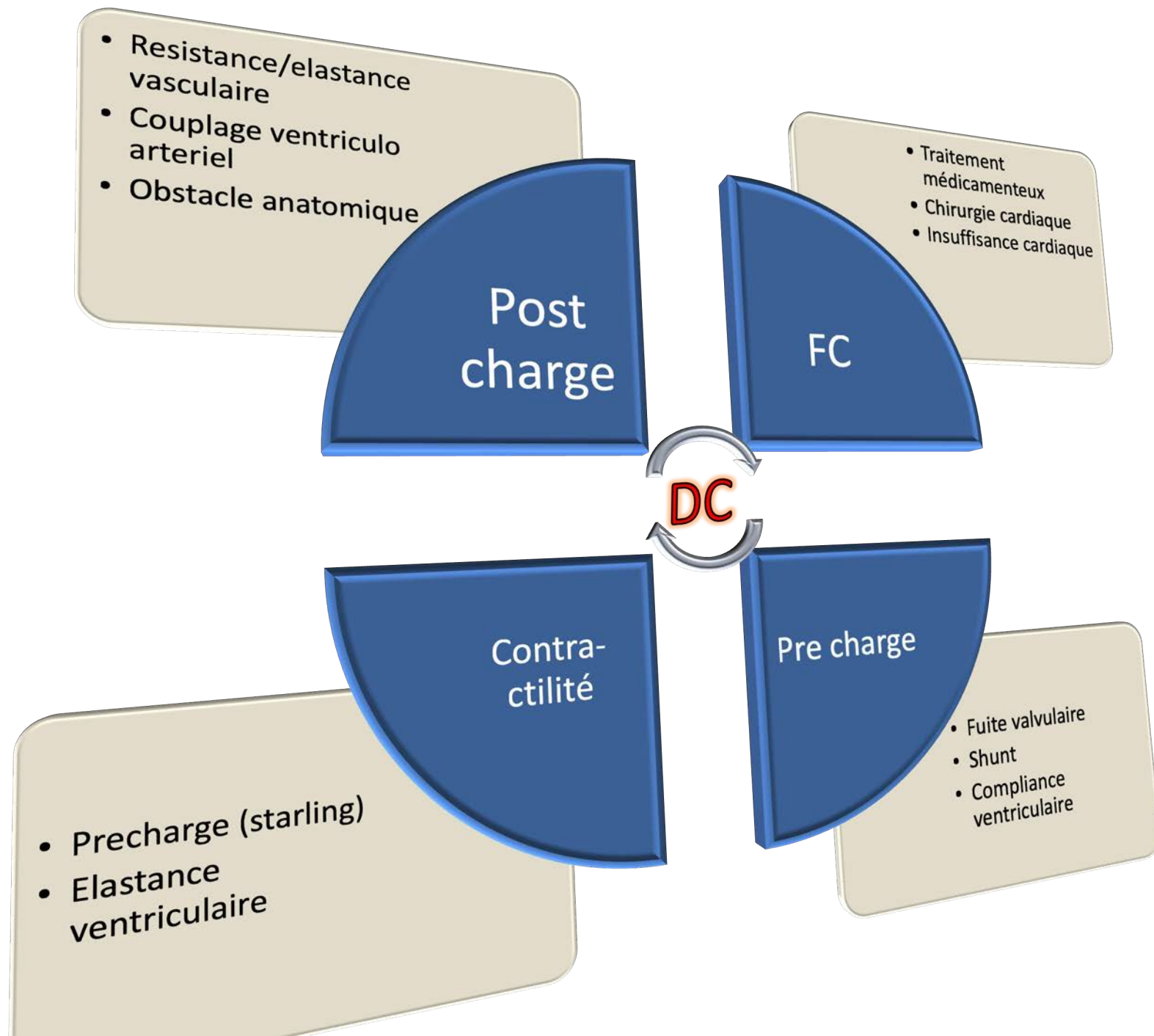


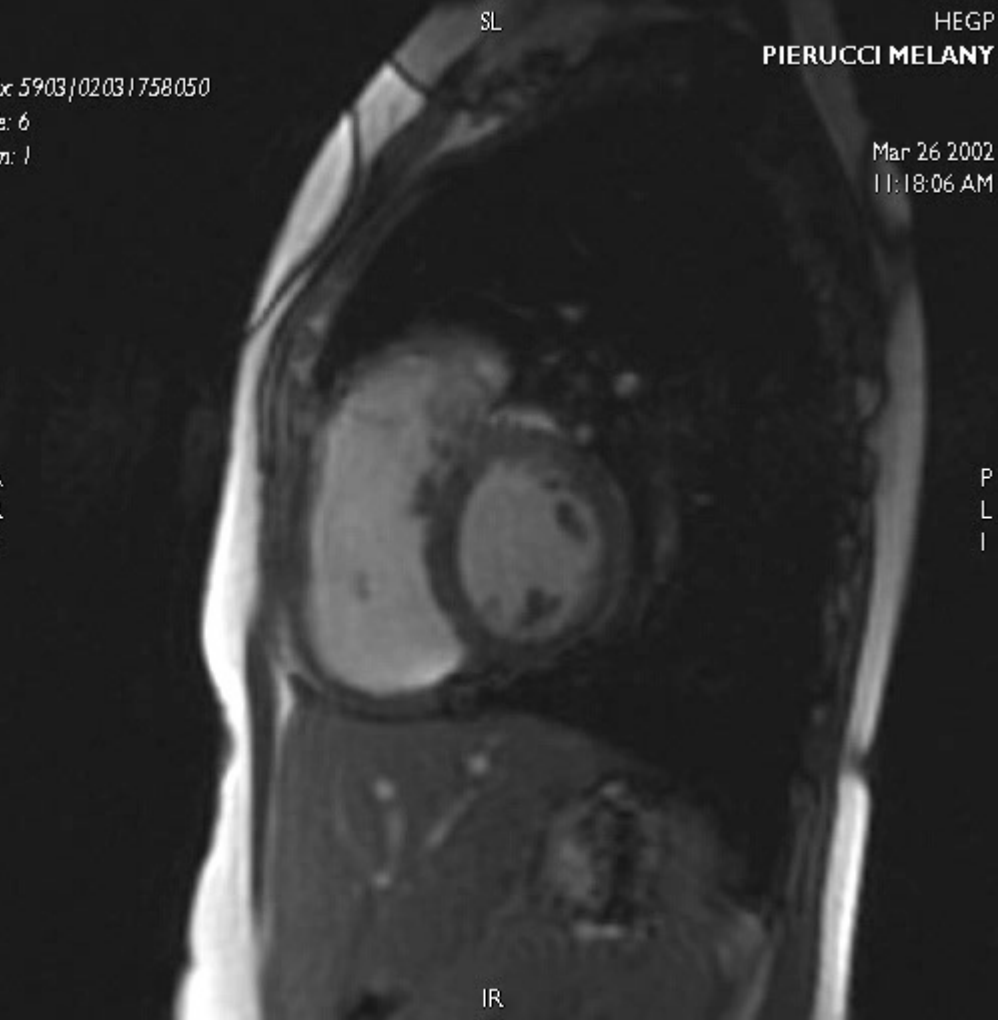
Débit cardiaque maximal : valeur pronostique indépendante (patients insuffisants-cardiaque chroniques)

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

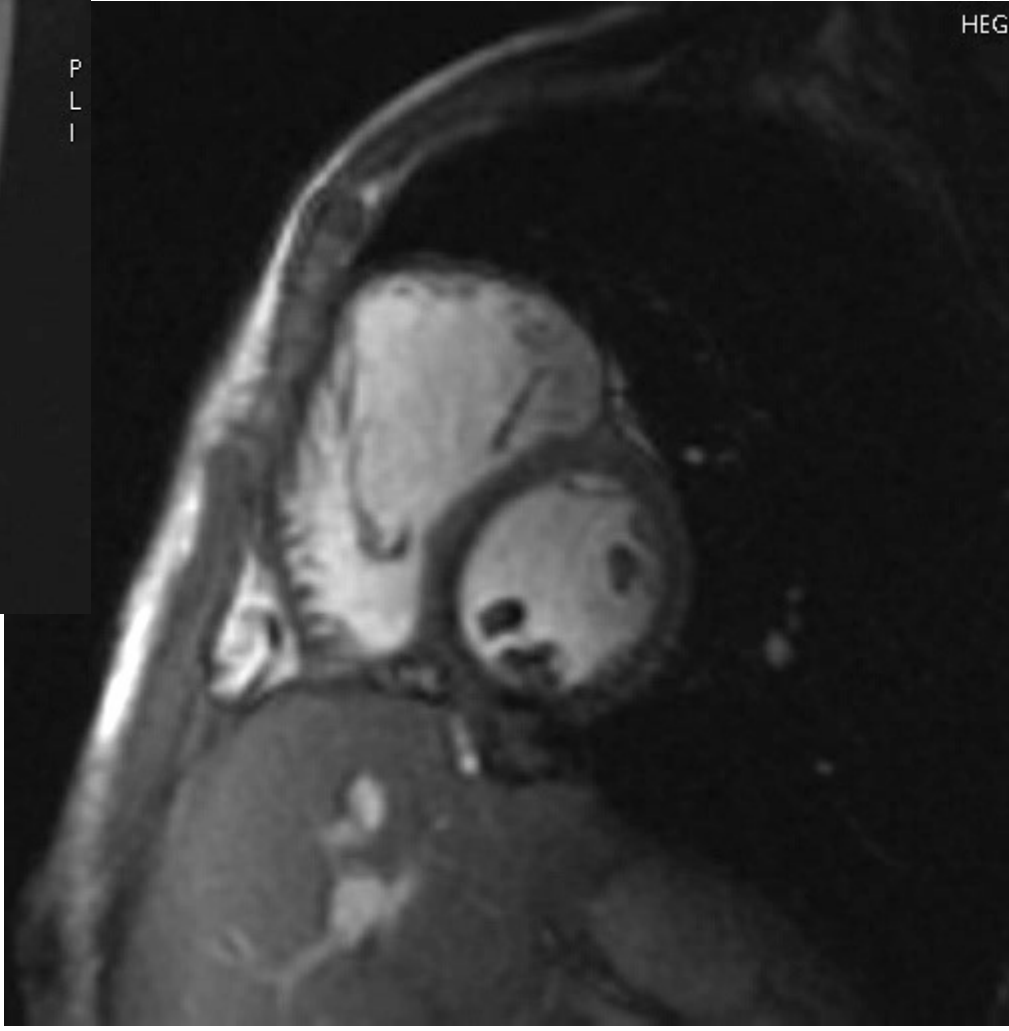
	HR	95% CI	% Event Free	<i>P</i> Value
All 3 responses normal	1.00 (reference)		94	
1 response abnormal	2.28	1.0–5.0	86	.04
2 responses abnormal	2.57	1.3–5.2	81	.009
3 responses abnormal	5.08	2.5–10.5	62	<.001

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.





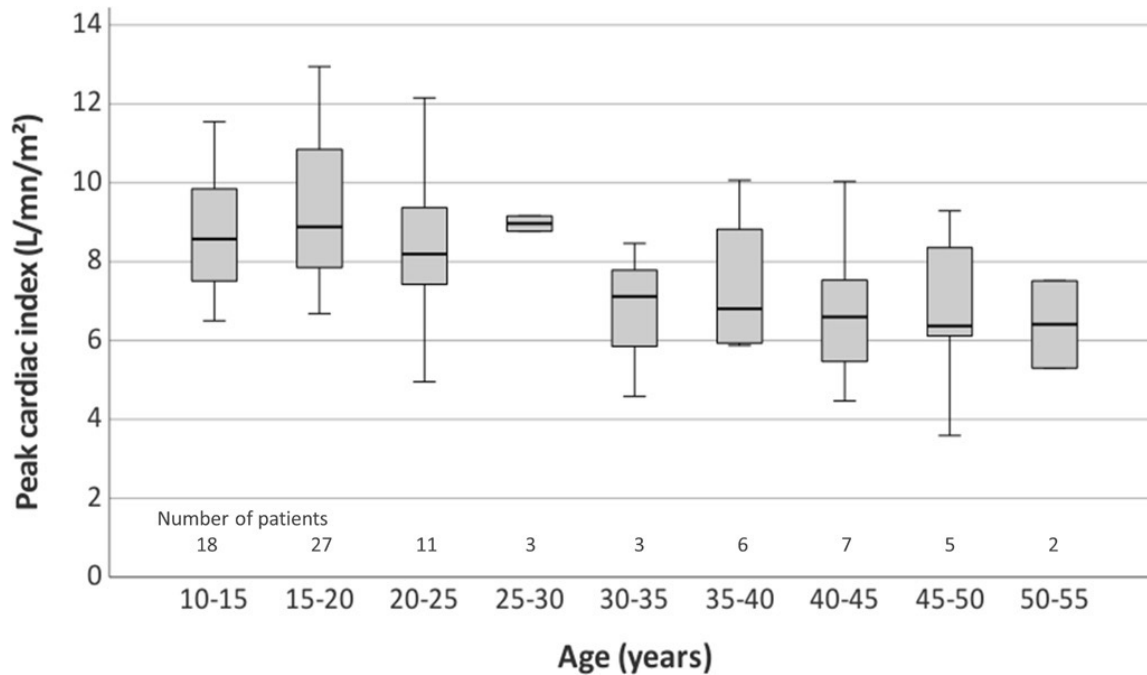
Fuite pulmonaire
post réparation de
Fallot



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 ?

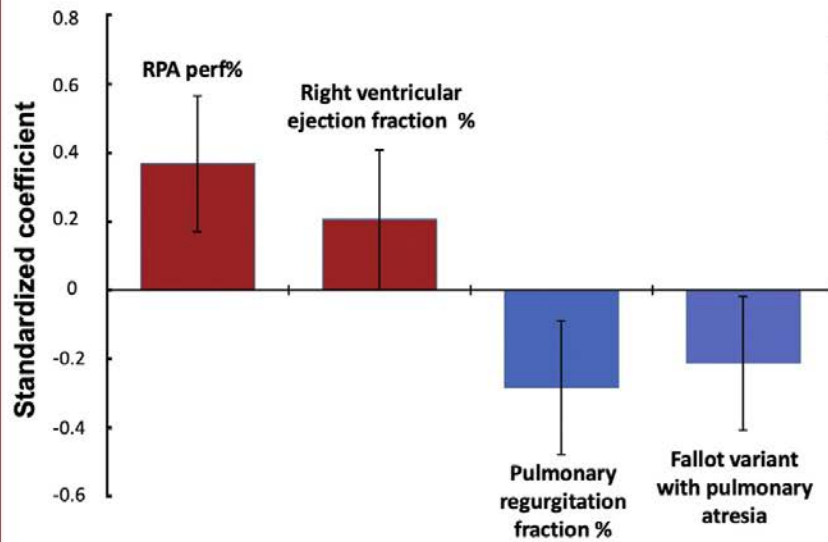


Seul le temps (âge) prédit le débit cardiaque d'effort indépendamment volumes / FE VD

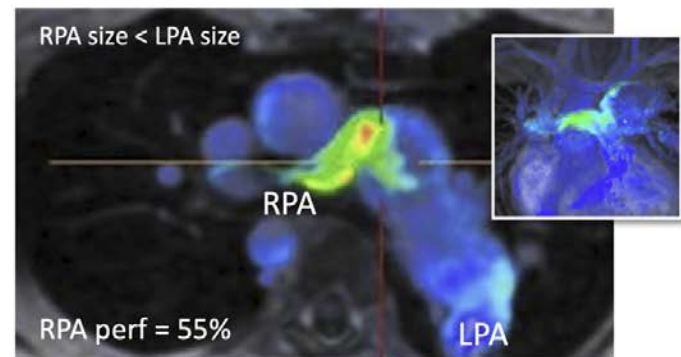
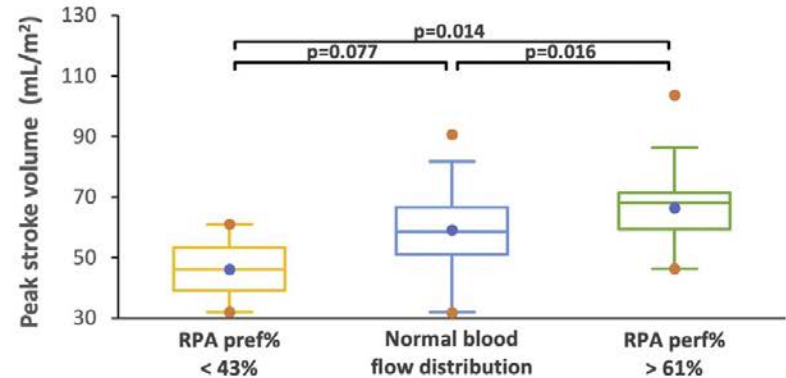
Nécessité d'étude sur valeur pronostique et détermination d'un seuil de débit cardiaque d'effort

Karsenty, Heart 2020

Predictors of peak exercise stroke volume in young patients after Fallot repair



Rightward imbalanced pulmonary perfusion predicts higher stroke volume during exercise

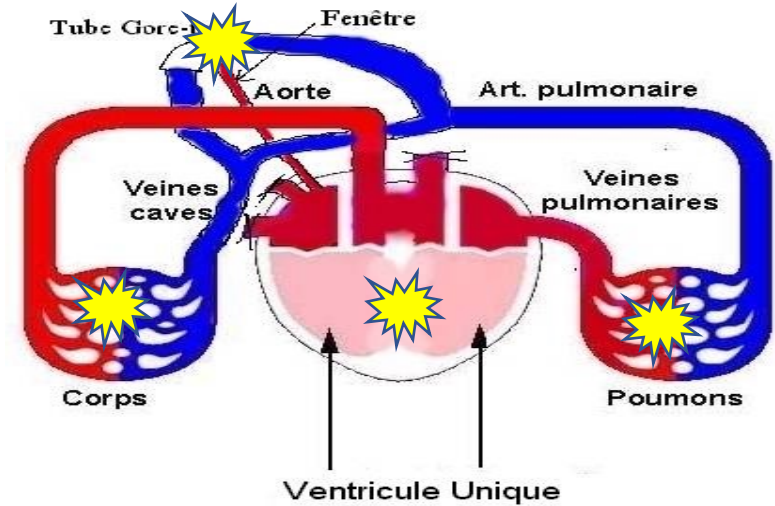
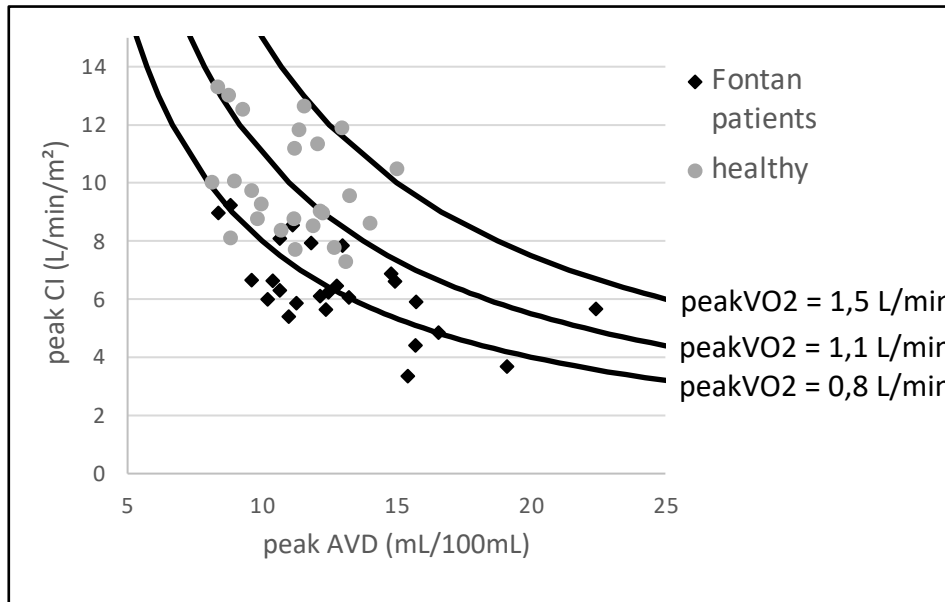
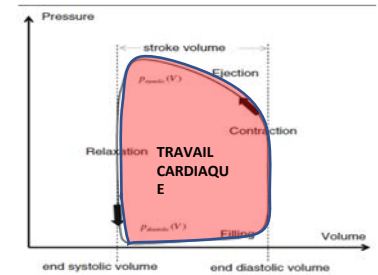


Pulmonary perfusion distribution does not depend exclusively on pulmonary arteries anatomy

LPA: left pulmonary artery, RPA: right pulmonary artery, RPA perf%: RPA perfusion (%).

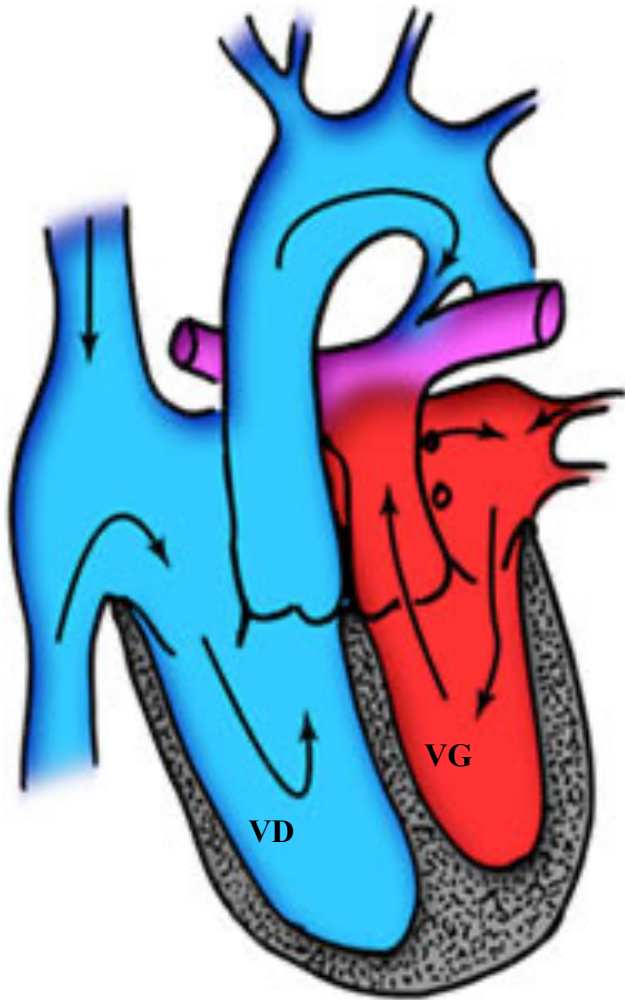
Performance cardiaque = débit cardiaque ?

- Travail cardiaque : $DC \times P_{am}$ (post charge)
- Volémie
- Fontan: baisse du débit cardiaque multifactorielle

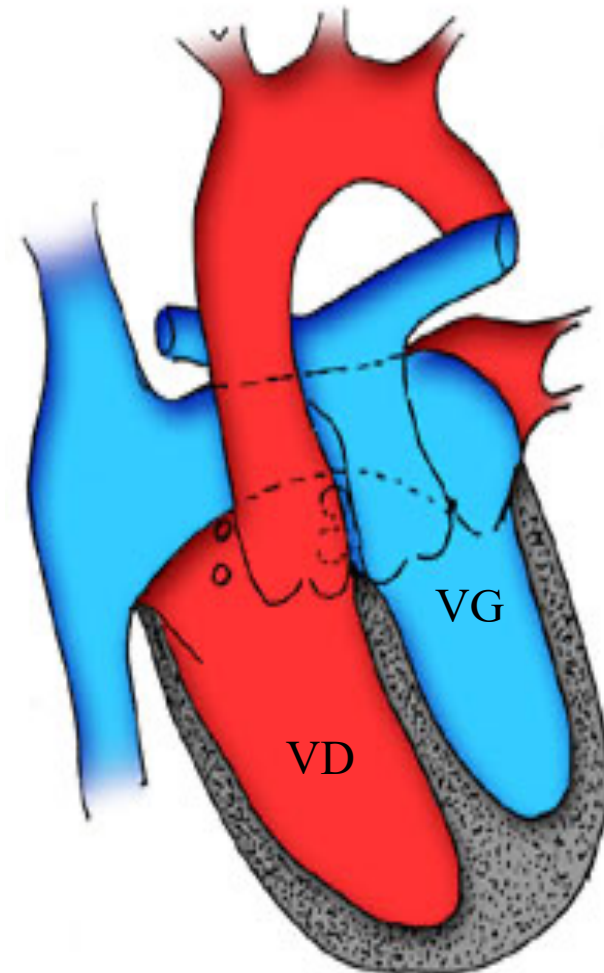


Cas particulier : switch atrial

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

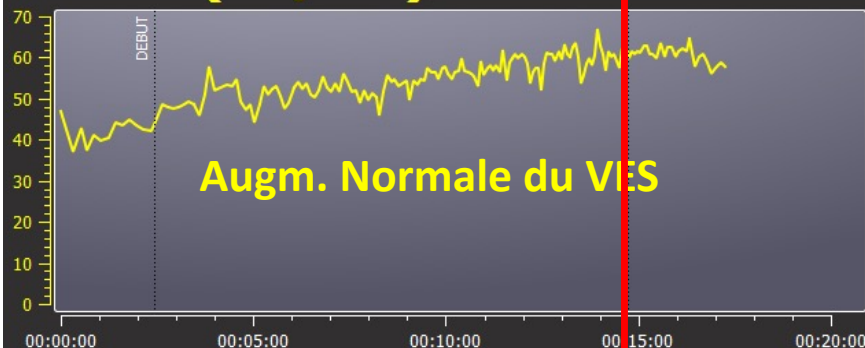
Kammeraad, JACC 2004

Wheeler, cong heart dis 2014

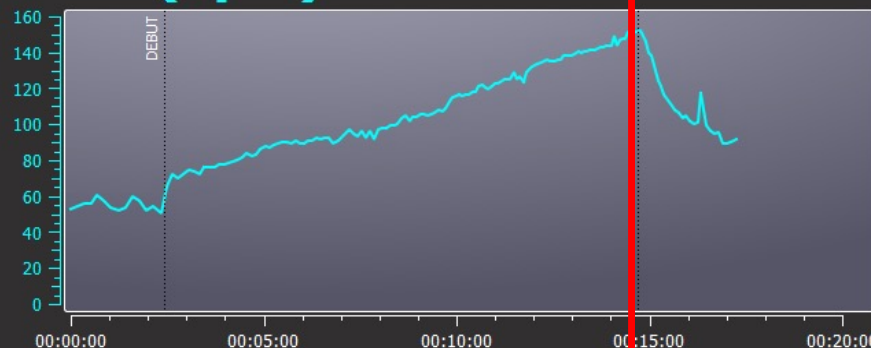
Khairy, curr opin cardiol 2017

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

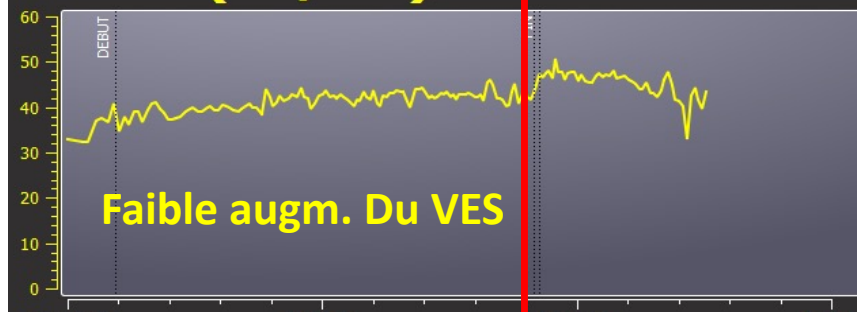
VESi (ml/m²): 61.6



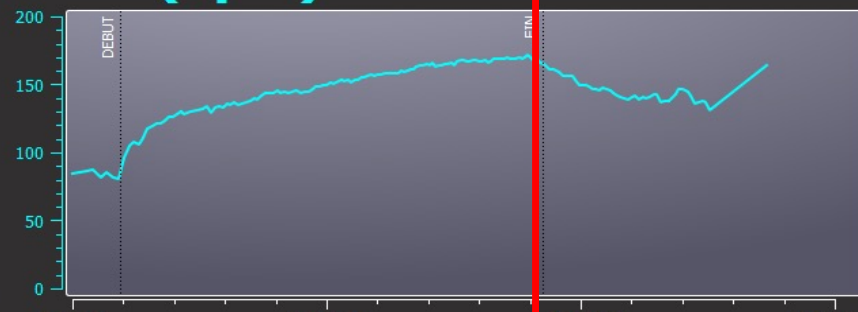
FC (bpm): 151



VESi (ml/m²): 43.2



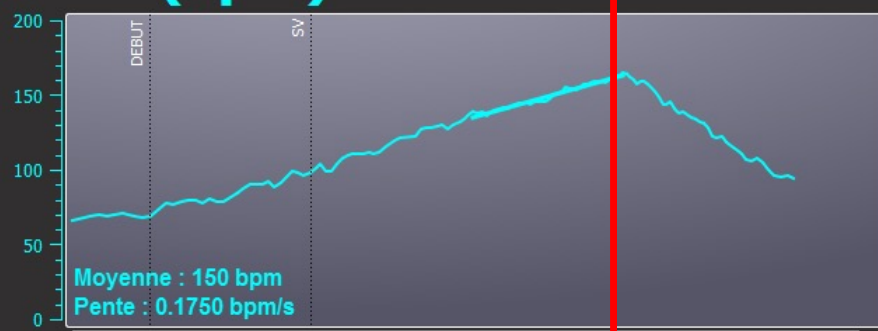
FC (bpm): 169



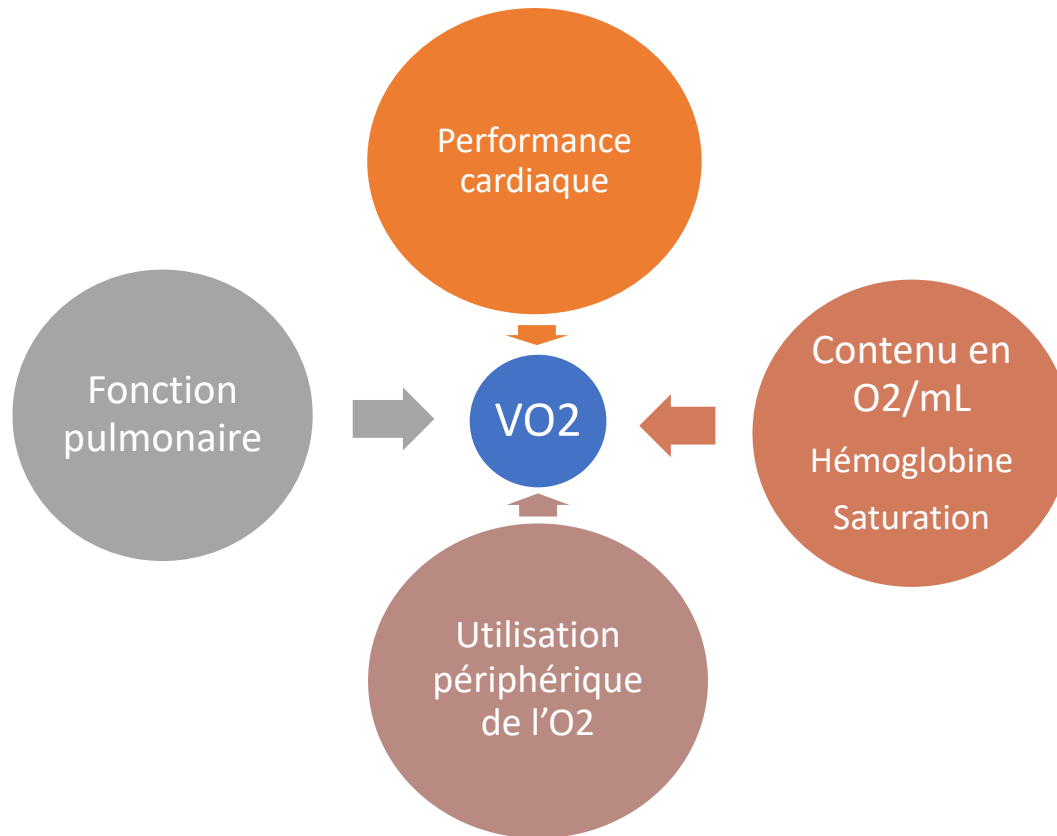
VESi (ml/m²)



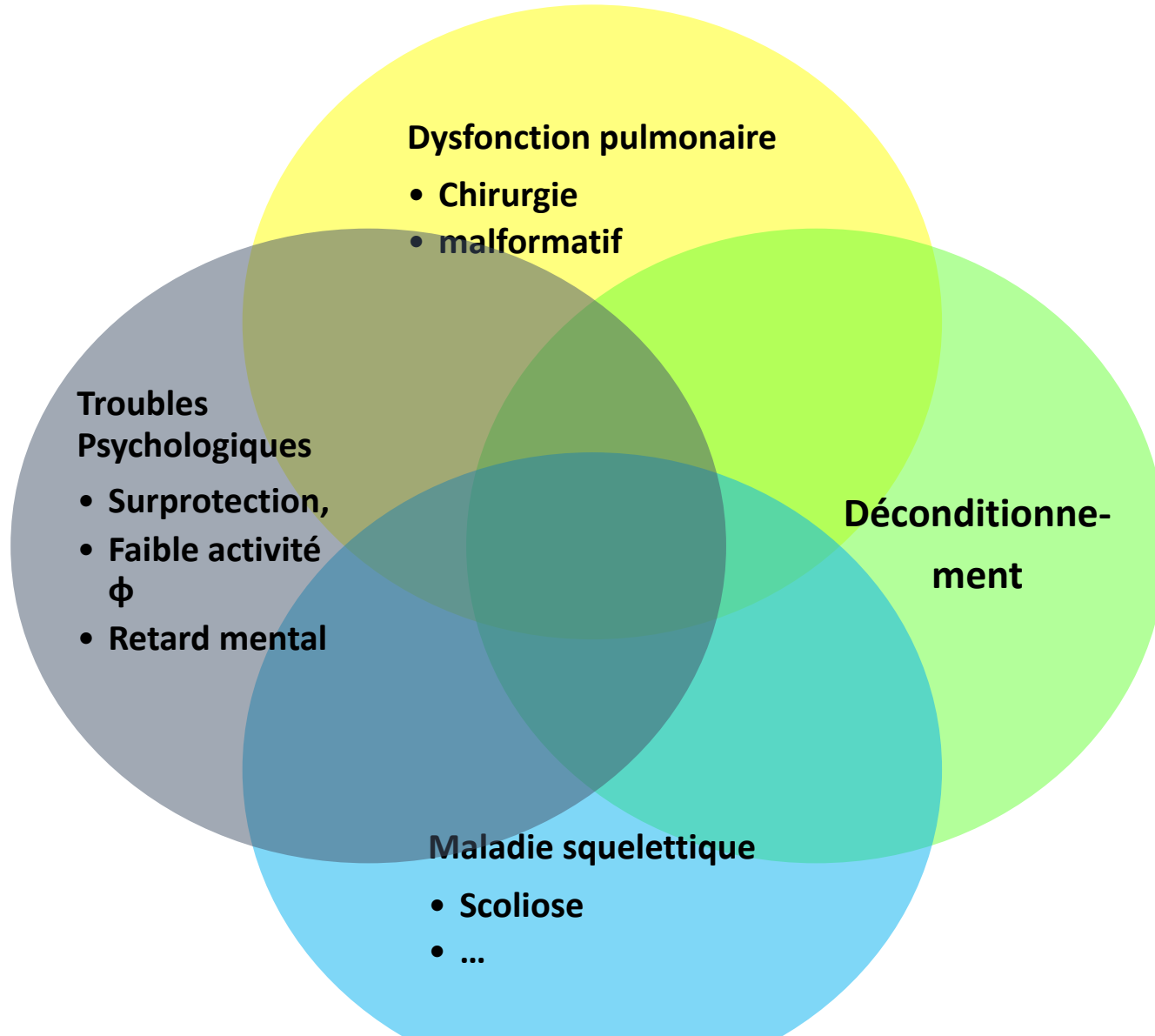
FC (bpm): 140



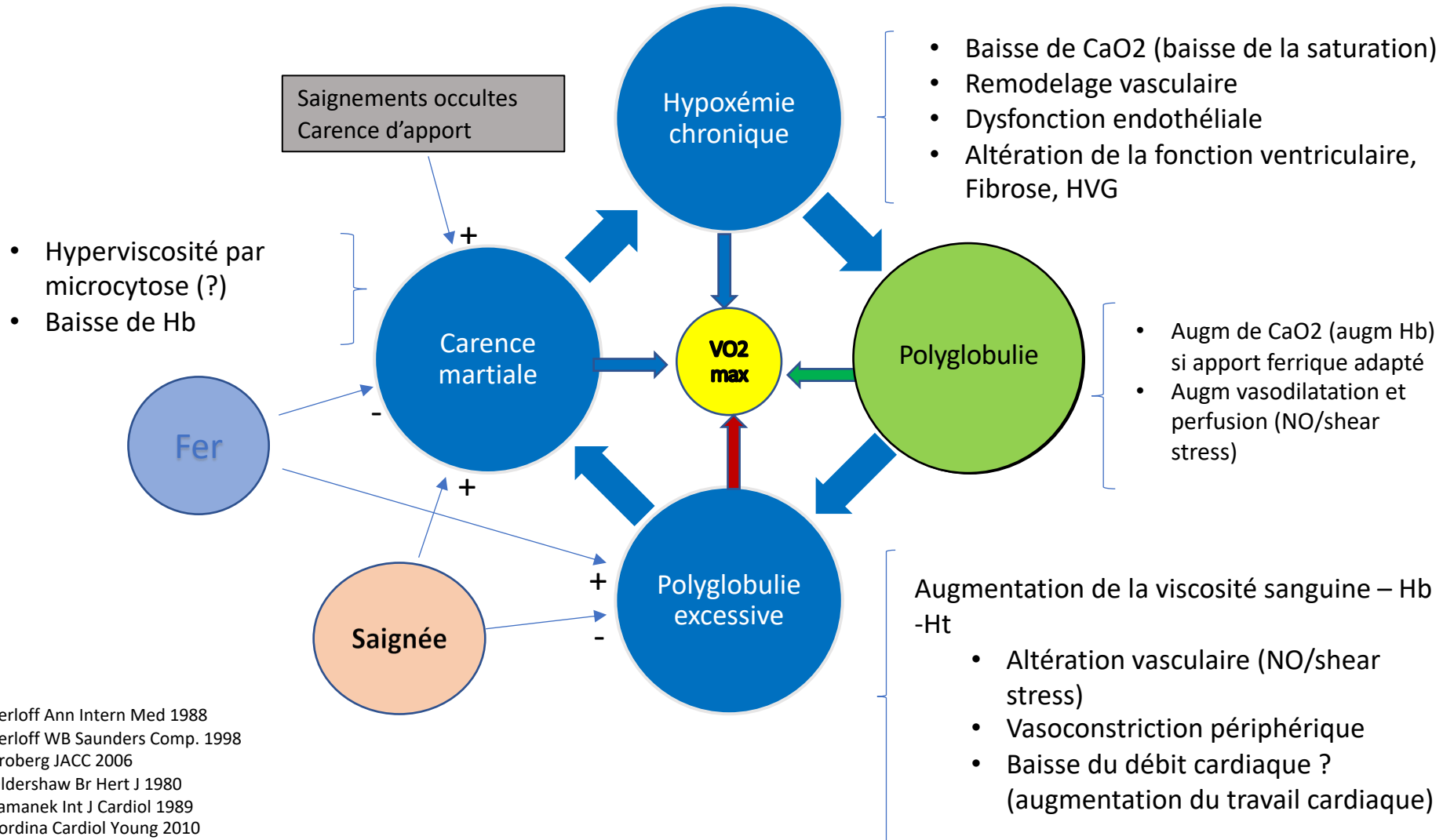
Facteurs influençant la VO2max



limitations extracardiaques



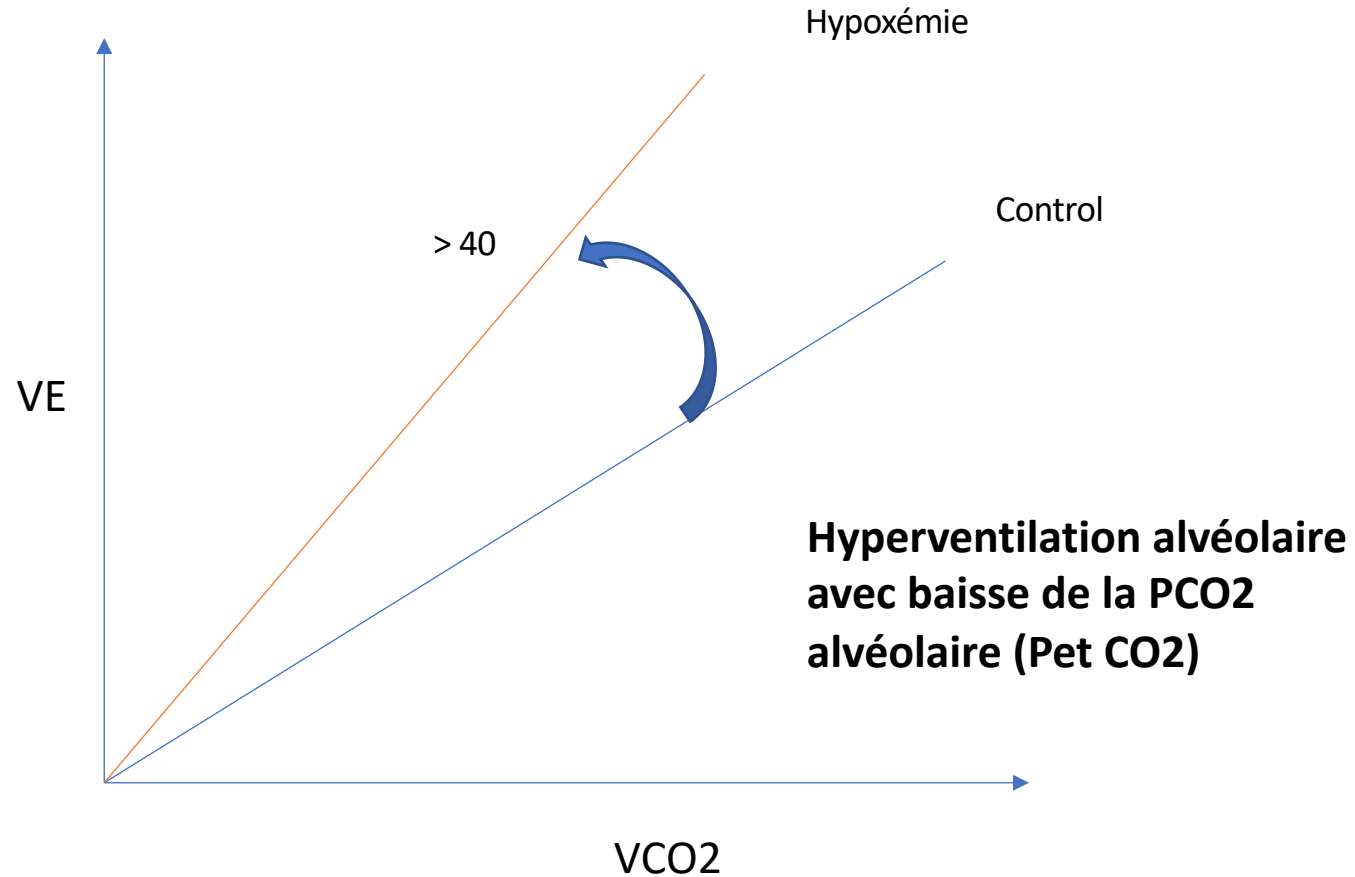
Cyanose et VO2max



Cyanose

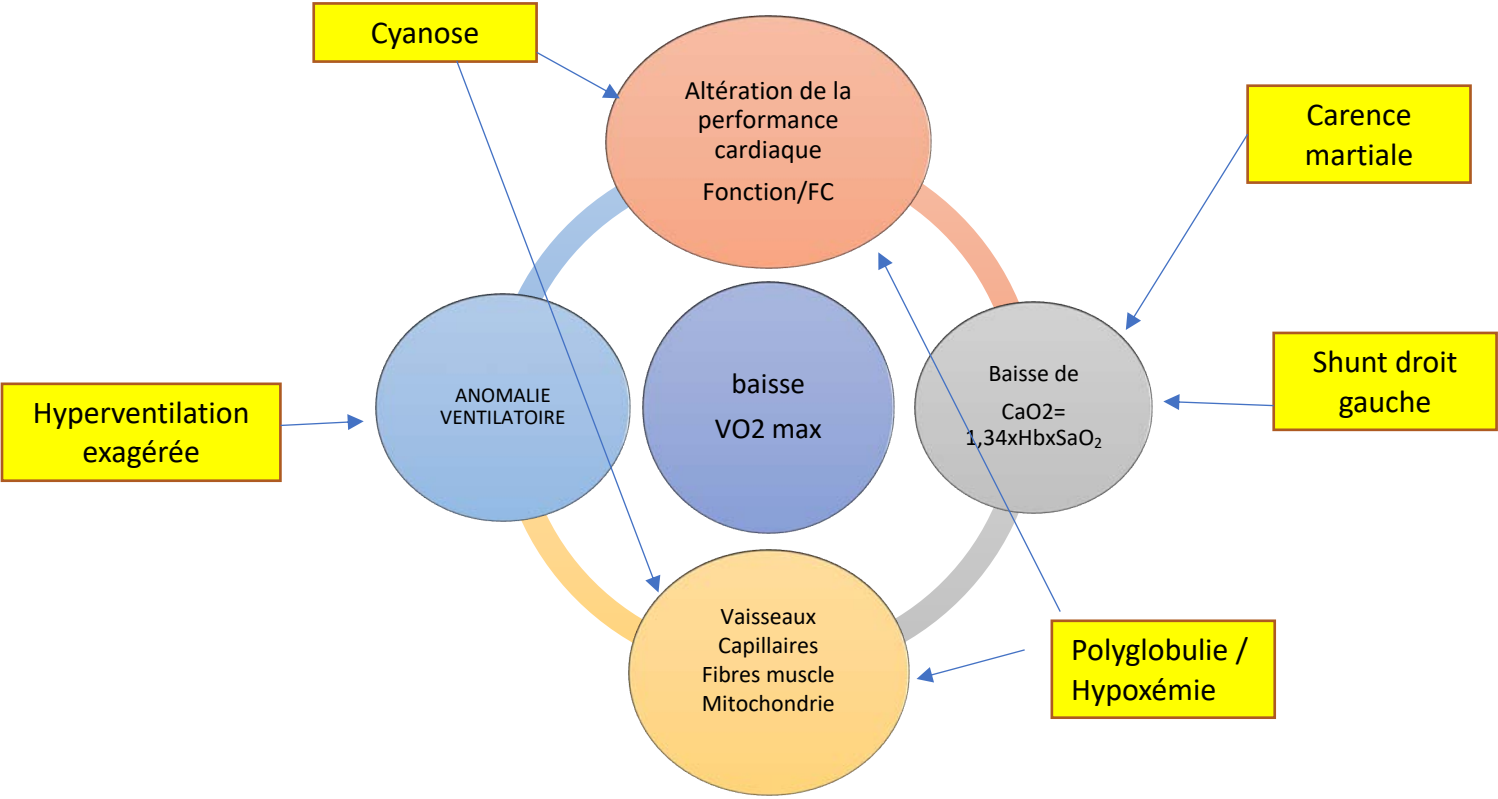
Hyperventilation exagérée à l'effort

- Shunt D-G : shunt de sang veineux riche en protons et CO₂
- Augmentation de l'espace mort physiologique : baisse de la perfusion pulmonaire
- Dysrégulation (hypersensibilité) des chimiorécepteurs centraux et périphériques



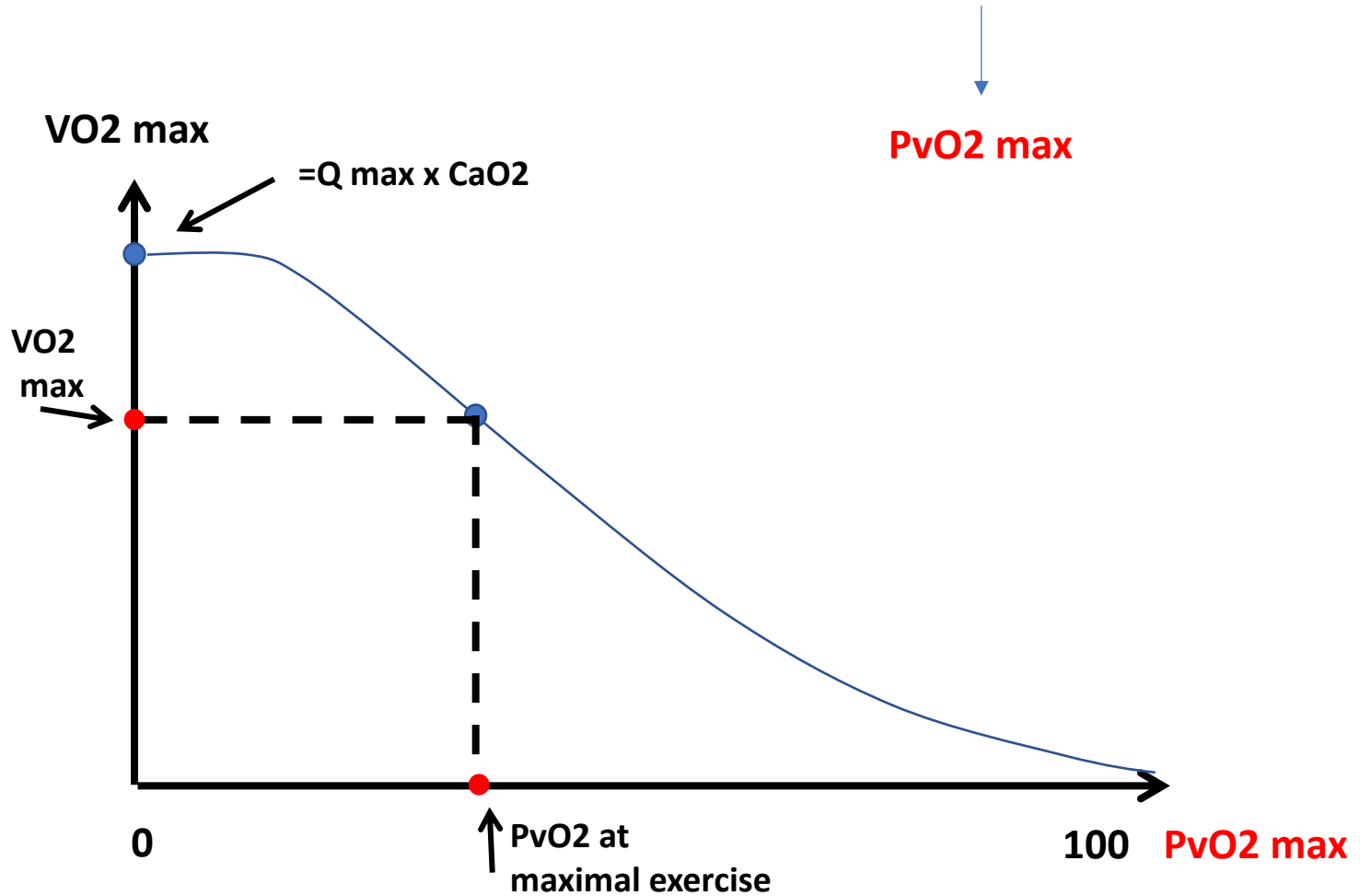
Cyanose

Facteurs influençant la VO2max

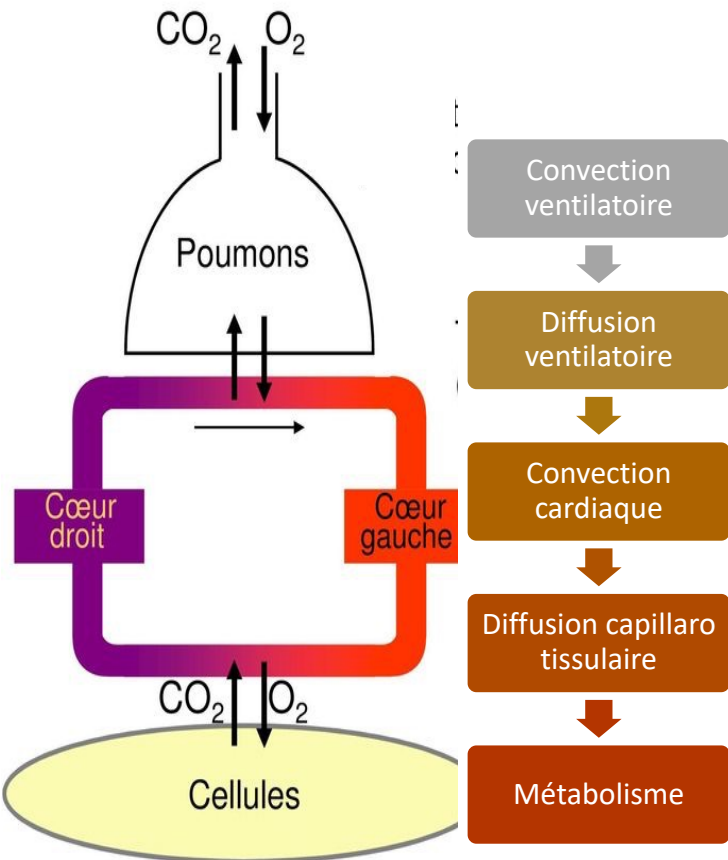


$$VO_2 = Q \times DAV$$

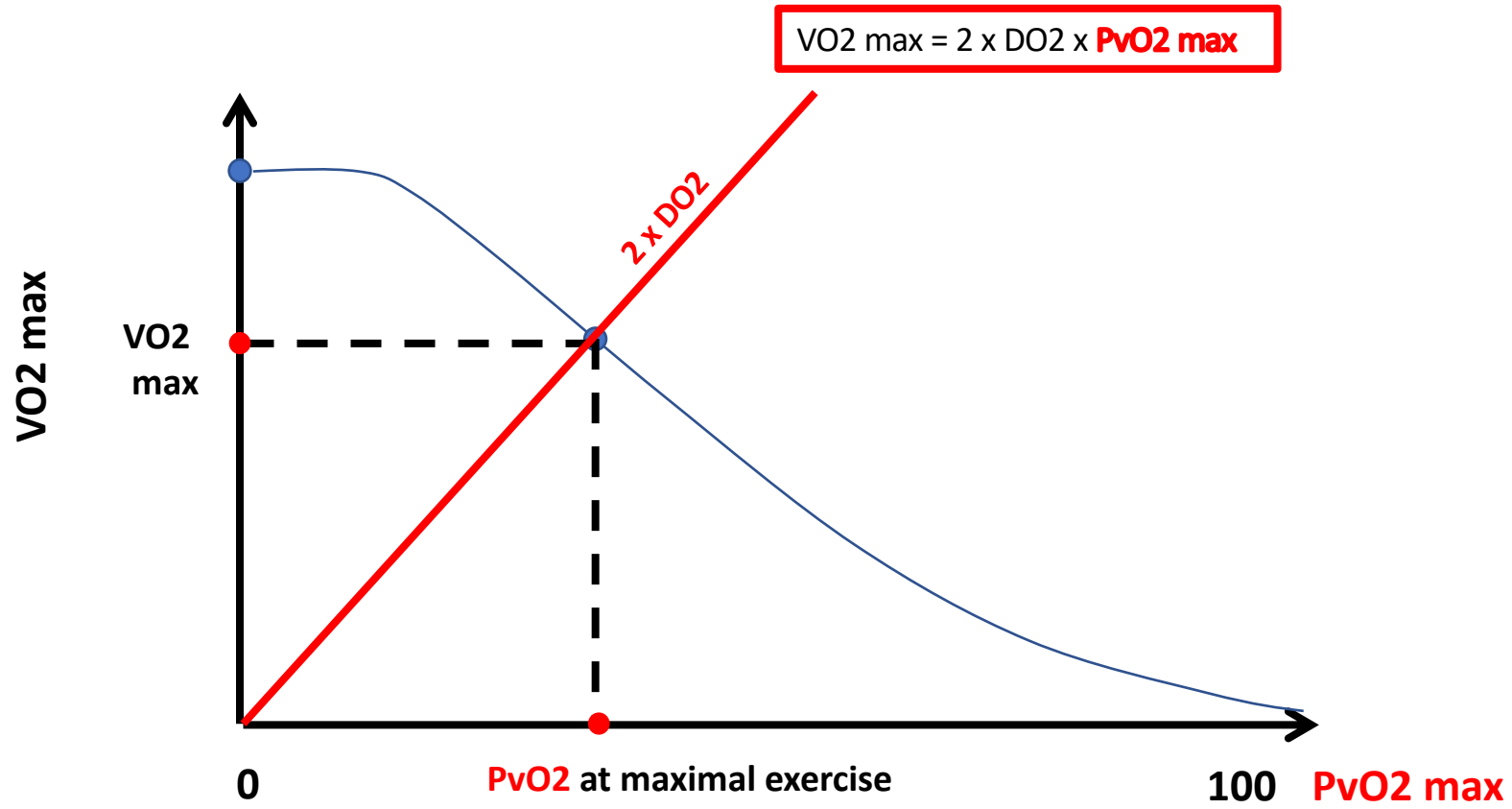
$$VO_{2max} = Q_{max} (CaO_2 - CvO_2) = - Q_{max} \times CvO_2_{max} + Q_{max} CaO_2$$



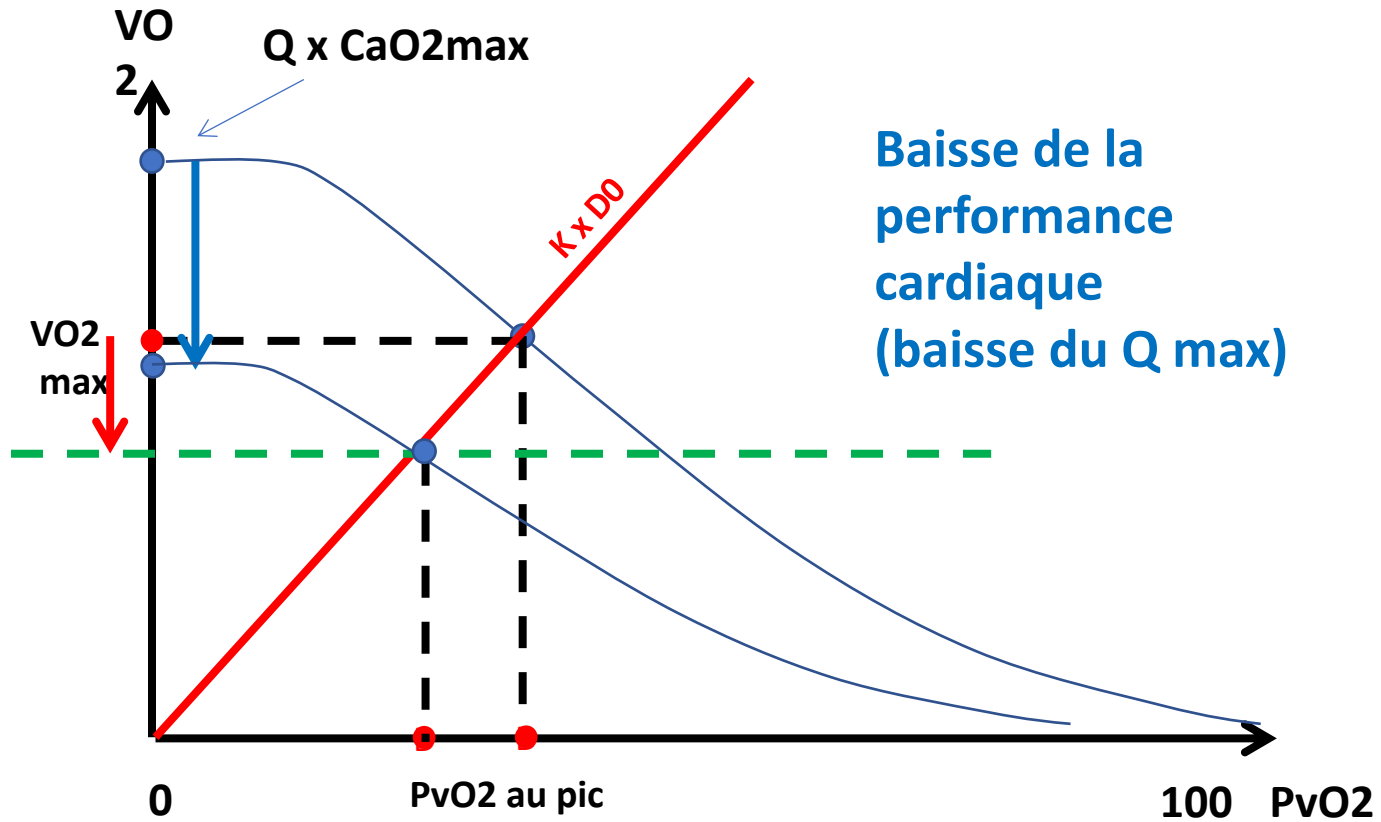
Facteurs influençant la VO₂max: plus précisément



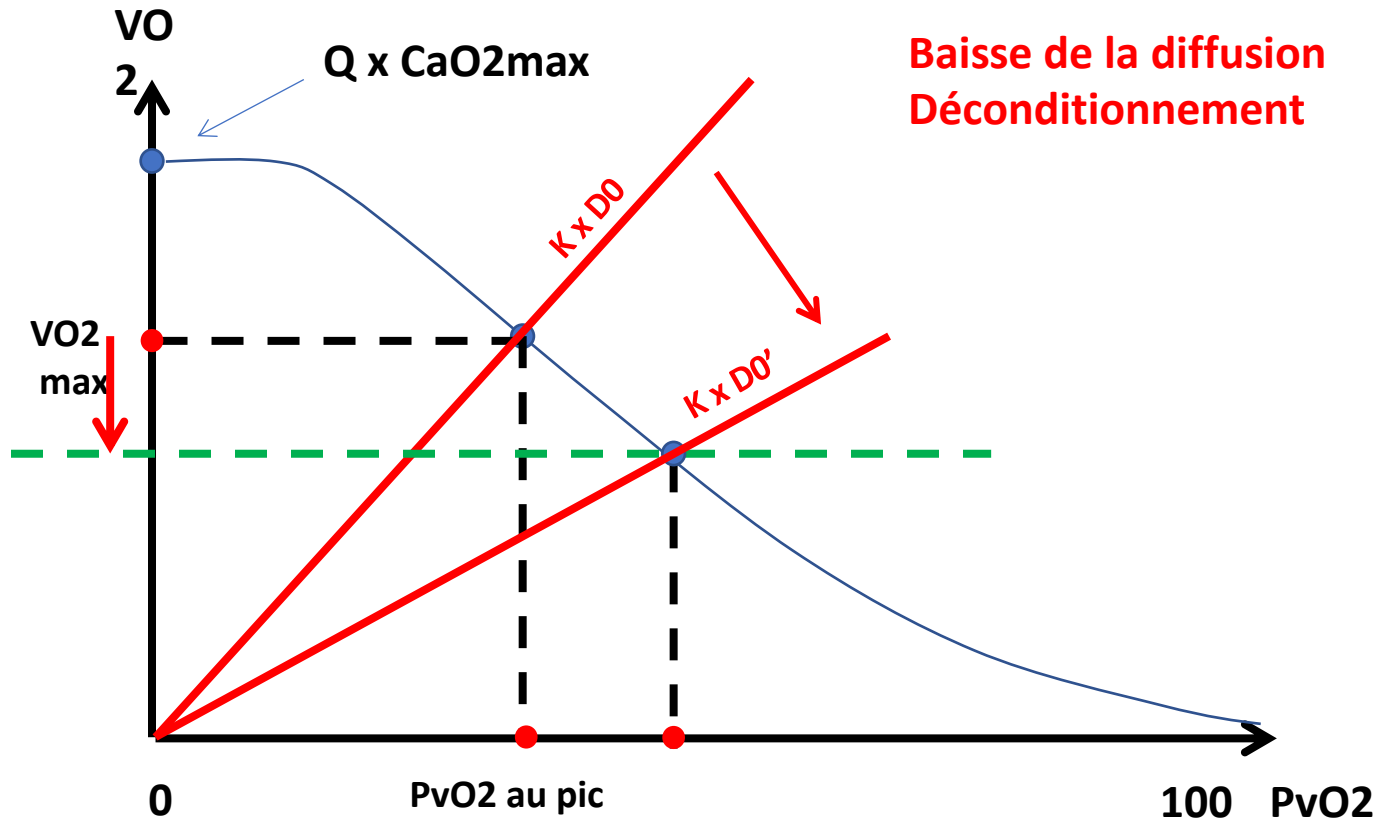
- $VO_2 = V_i \times FiO_2 - V_E \times FE_{O_2}$
- $VO_2 = D_{L_{O_2}} \times (PA_{O_2} - P_{cap\ O_2})$
- $VO_2 = DC \times (Ca_{O_2} - Cv_{O_2})$
- $VO_2 = \boxed{D_{O_2}} \times (Pv_{O_2} - P_{mit\ O_2})$
- Mv_{O_2}



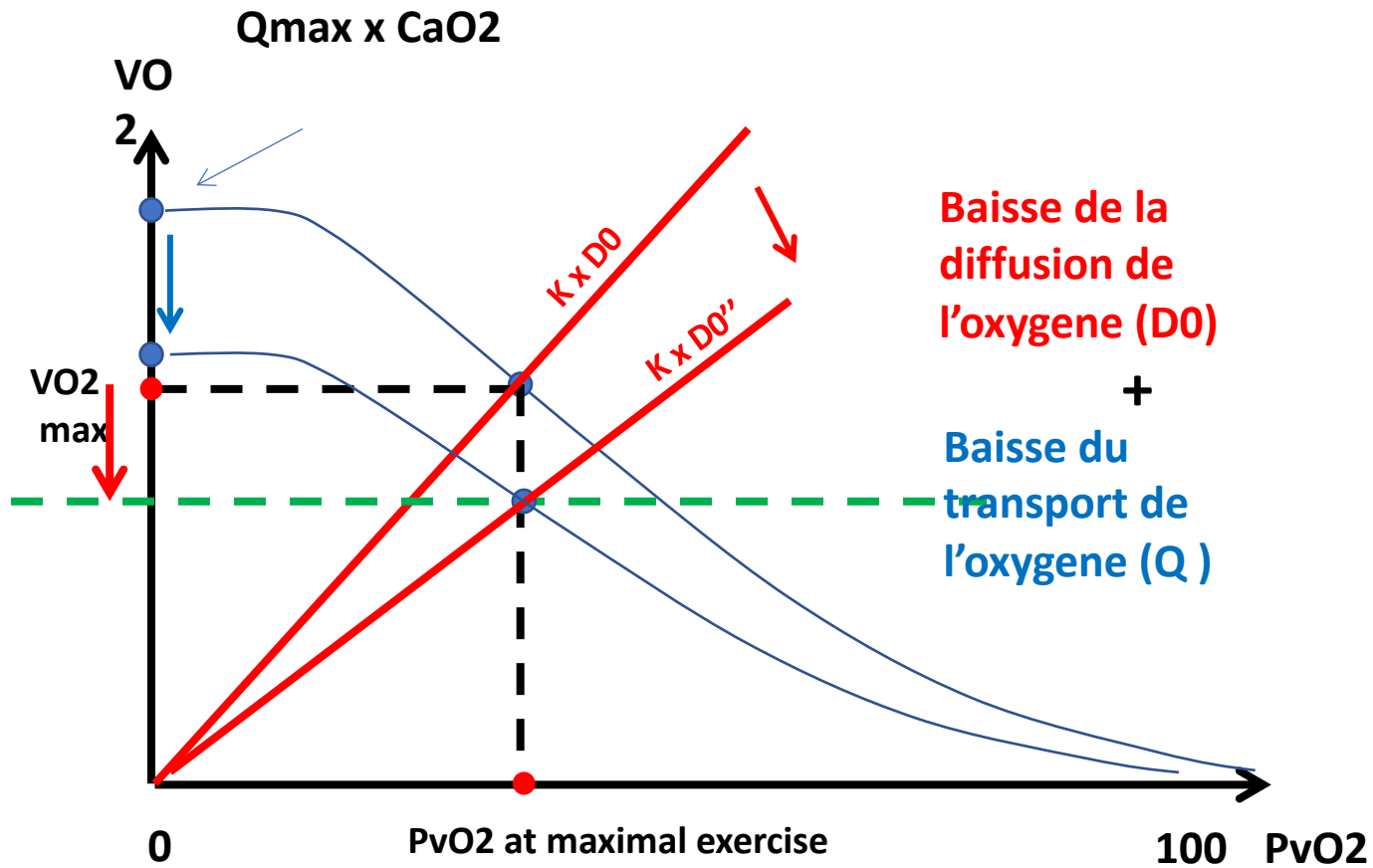
Baisse de la VO₂ max



Baisse de VO₂ max

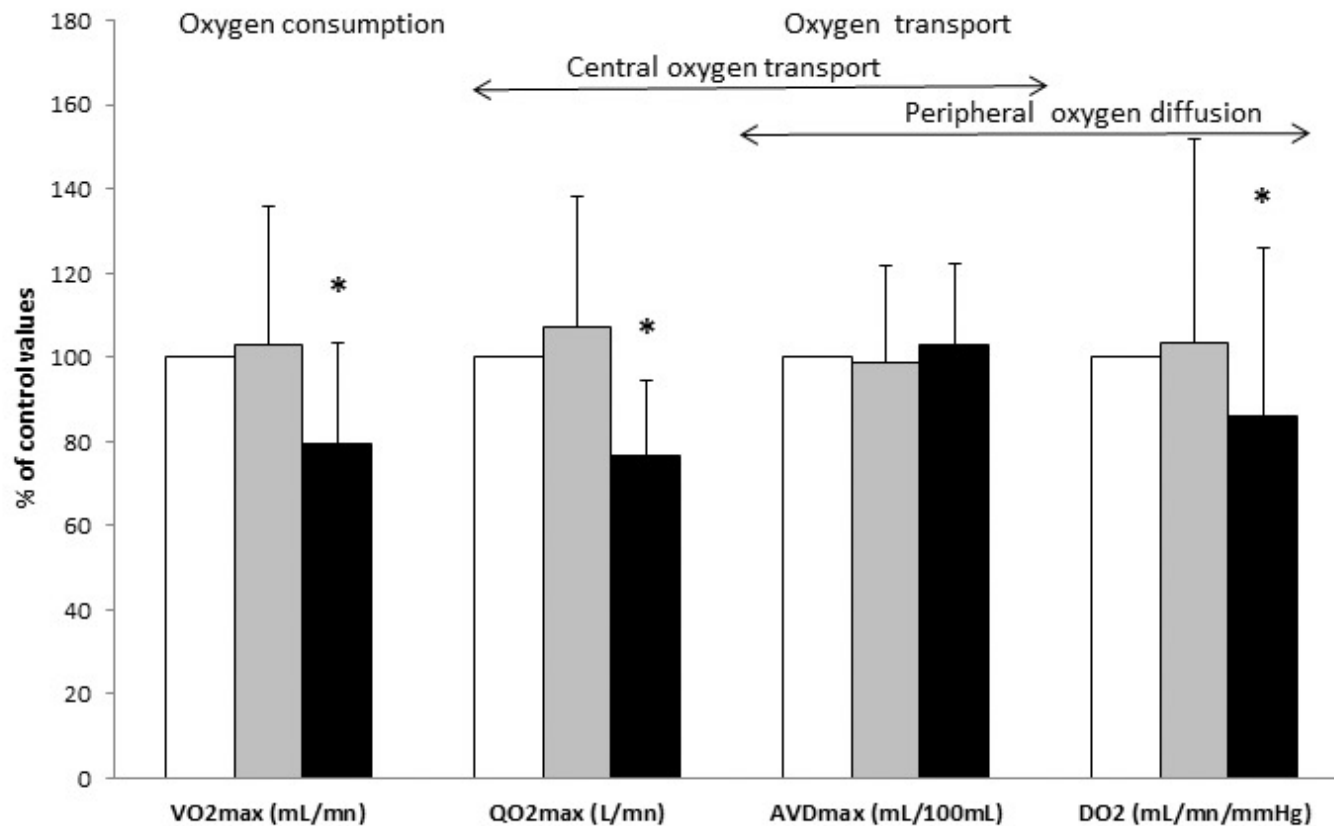


Baisse de la VO₂ max



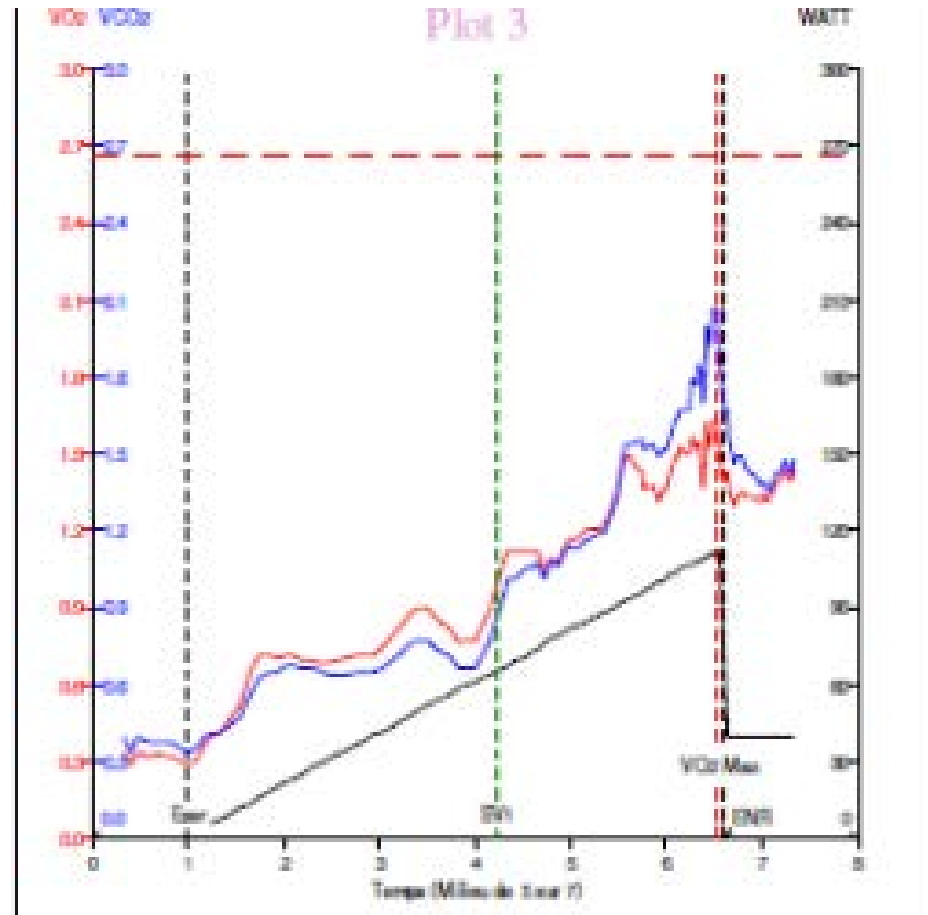
Déterminants VO₂max

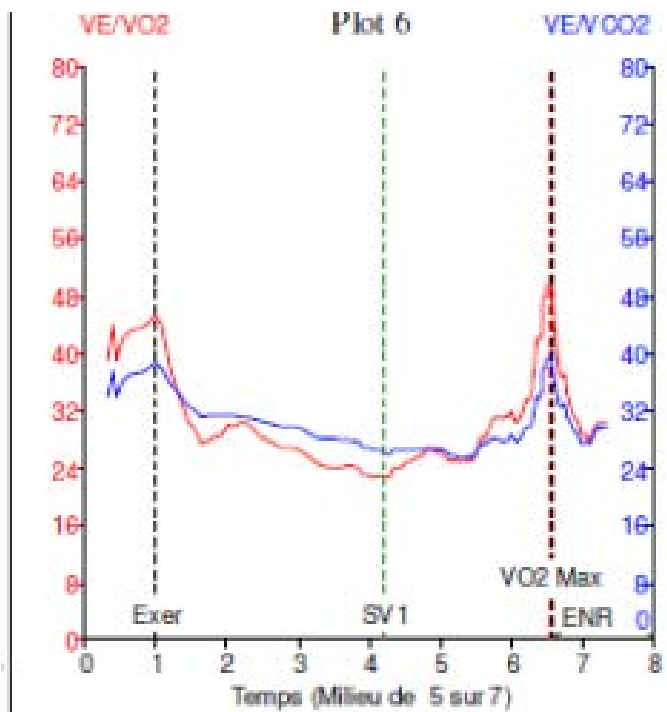
Cardiopathies congénitales



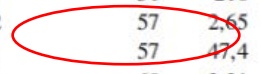
TOF IP

- Sport scolaire
- Bilan systématique





	<u>Repos</u>	<u>SVI / VO2 Max (%) / 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
VO2 (L/min)	0,25	1,16	77	44	1,52
VO2/Kg (mL/kg/min)	4,4	20,8	77	44	27,1
VCO2 (L/min)	0,28	1,04	54	33	1,93
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
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
VE/VCO2	38	27	71	97	38
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
VO2/FC (mL/beat)	2,4	8,1	95	63	8,5
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

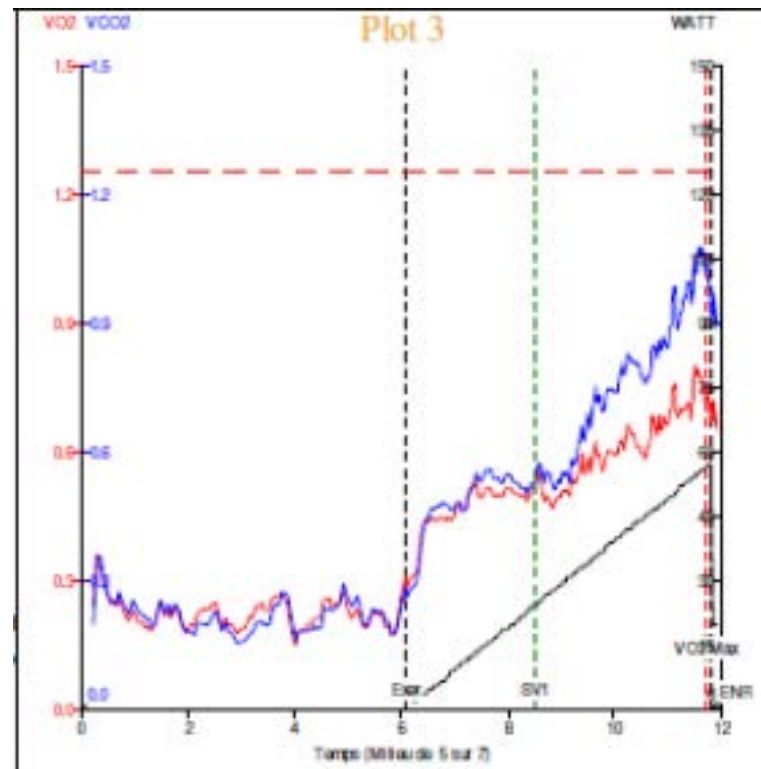
Conclusion

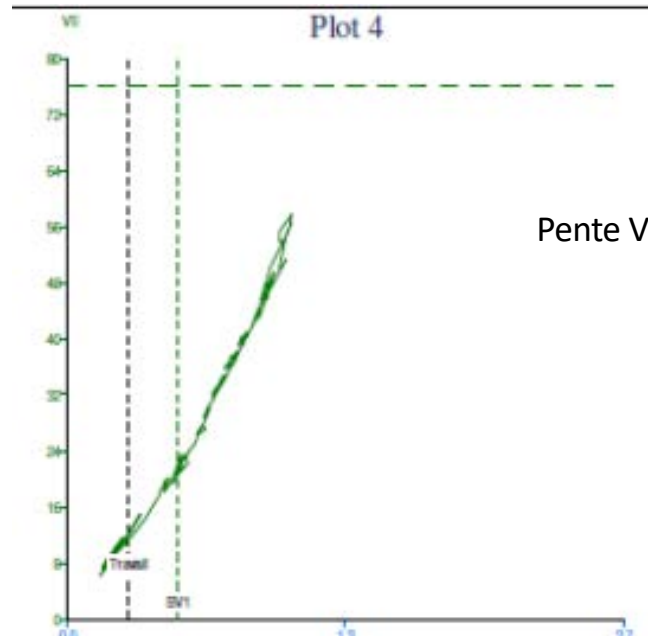
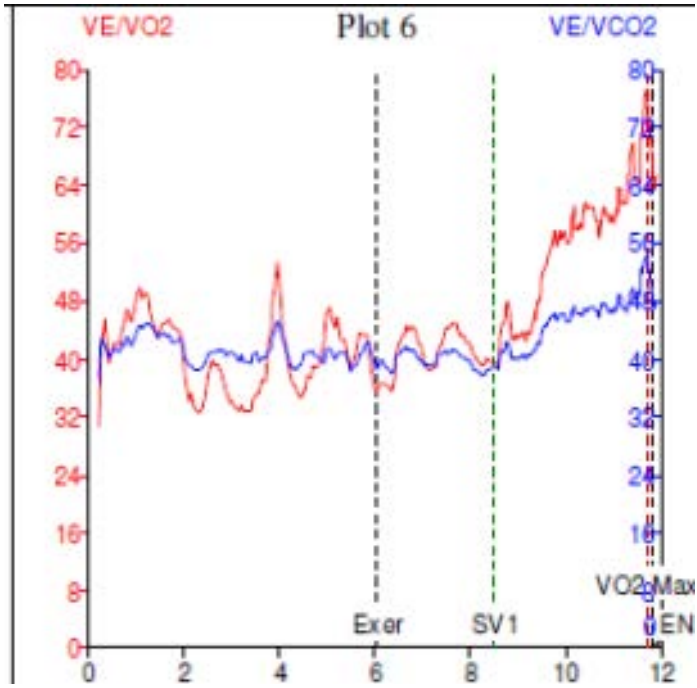
- Effort maximal
- Limitation importante de la VO₂ max
- Pas de limitation cardiaque (IC = 10 L/mn/m²)
- DAV = VO₂/ DC = 9ml/100mL, Hb = 12 g, DO₂ = 20
= deconditionnement

Cardiopathie cyanogène

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

SaO₂ 66% au pic

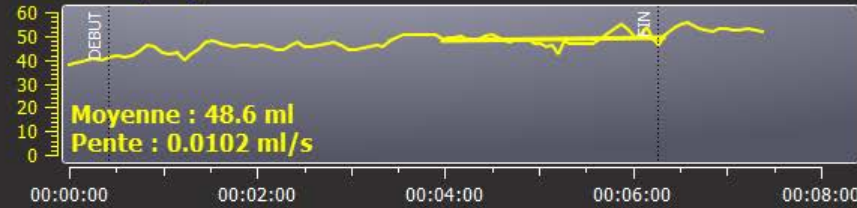




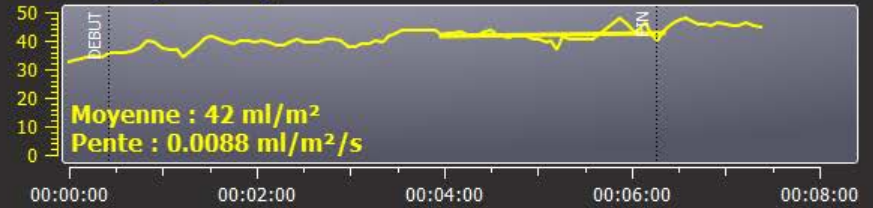
Pente VE/VCO2 = 57

	<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		

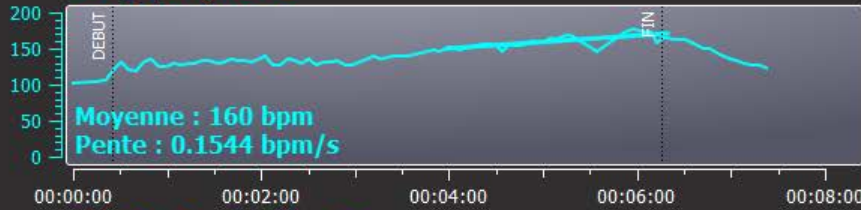
VES (ml): 48.6



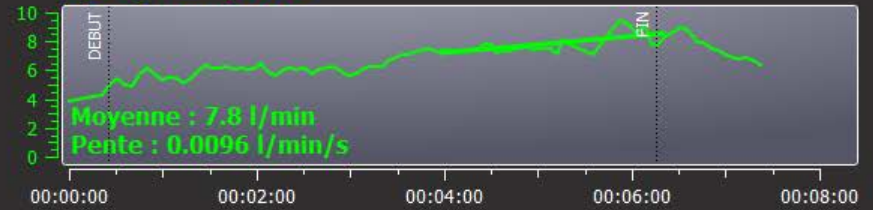
VESi (ml/m²): 42



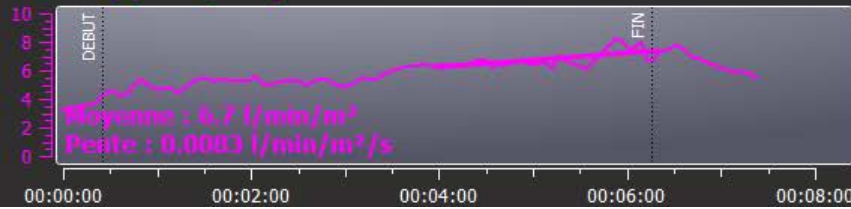
FC (bpm): 159



QC (l/min): 7.8



IC (l/min/m²): 6.7

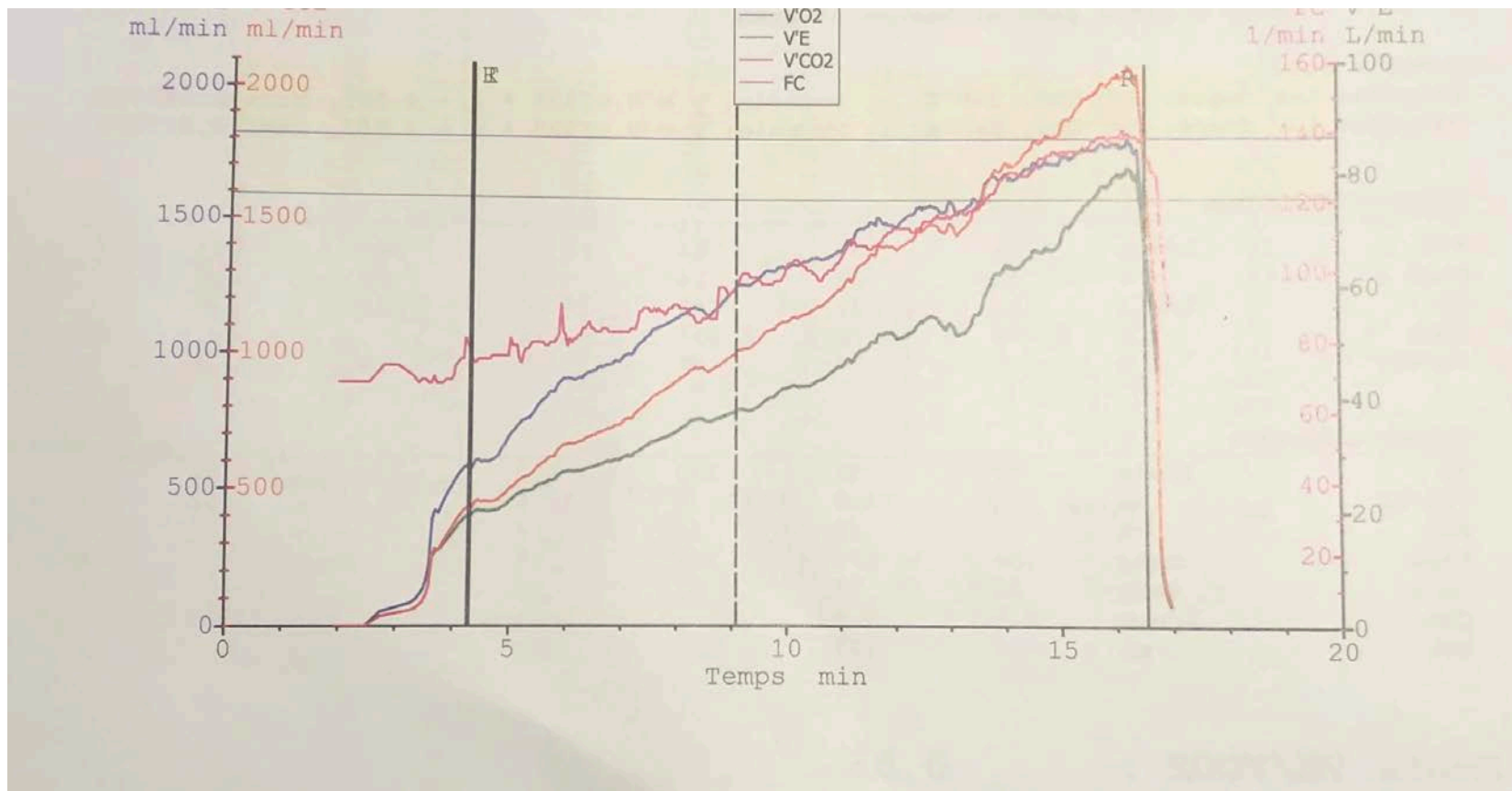


Conclusion

- $DC = 7,2 \text{ L/mn/m}^2$ (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)

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
VTex	L	0.794	1.326	2.037	2.037		0.
VD/VTc	%	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

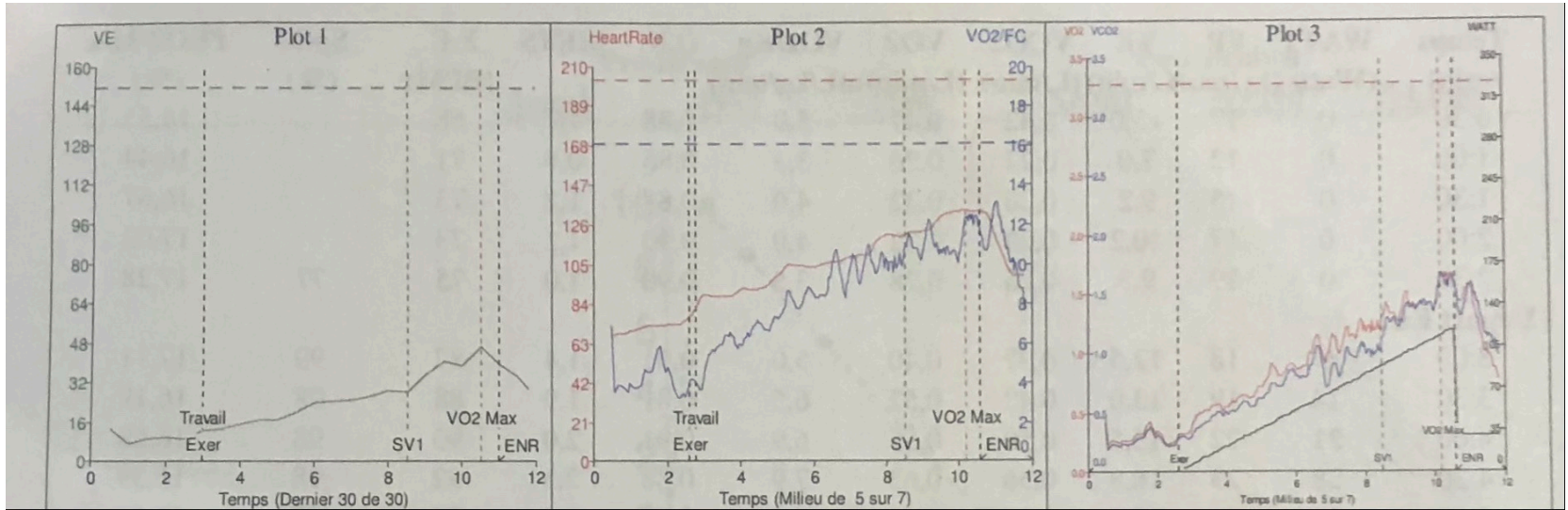
(pente VE/VCO₂ = 36)

DVDA avec dysfonction bi V

BB IEC

	<u>Repos</u>	<u>SV1</u>	<u>/ VO2 Max (%) / Pred (%)</u>		<u>V02 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 ?)