



JOURNEE D'ACTUALITES THERAPEUTIQUES

Samedi 13 SEPTEMBRE 2025

Novotel Nice Arénas

Intérêt de l'hémodynamique invasive au repos et à l'effort dans l'insuffisance cardiaque en 2025

Patrick Yerly
Service de Cardiologie
CHUV – Lausanne
Suisse



Cathétérisme et hémodynamique invasive

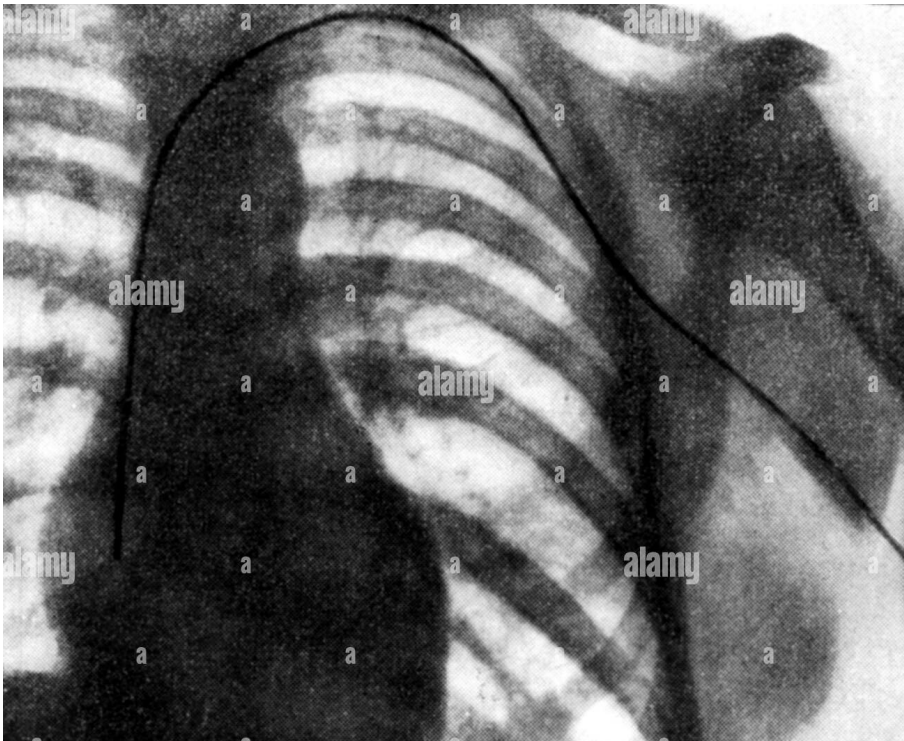


Werner Forssmann, Berlin 1929

1^{er} enregistrement de l'onde de pression de l'OD

« self » cathétérisation > avant-bras G
(contre l'avis de ses chefs)

Prix Nobel de médecine en 1956



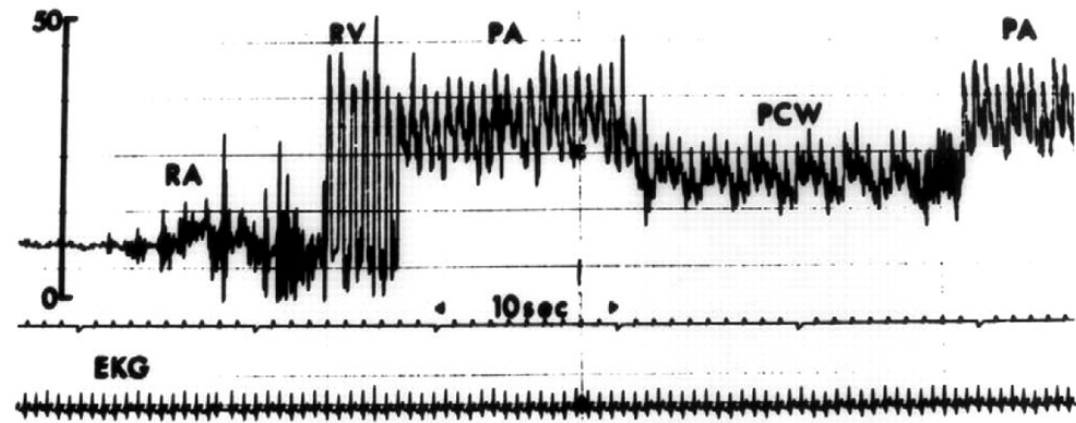
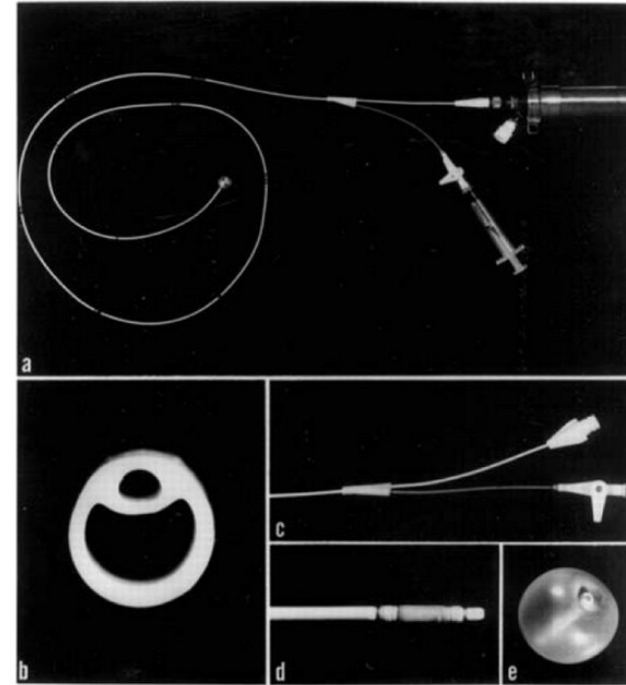


Cathétérisme et hémodynamique invasive



Dr Swan and Dr Ganz

Pulmonary artery catheter, 1970



Swan H and Ganz W et al, NEJM 1970



Adoption rapide et étendue

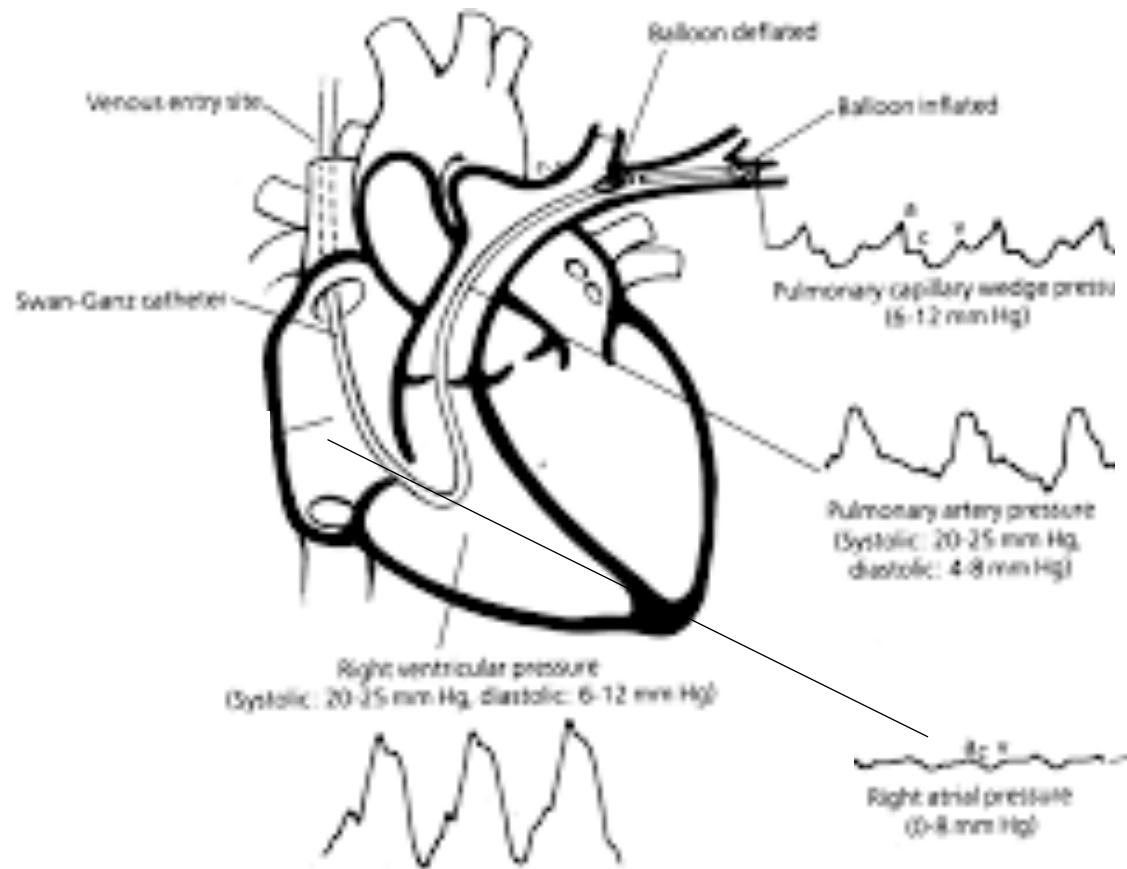


Table 1—Profile of Acute Myocardial Infarction (MI) Patients Receiving A Pulmonary Artery Catheter

	1975		1978		1981		1984	
	n	%*	n	%	n	%	n	%
Total	763	7.2	833	13.8	978	14.8	689	19.9
Hospital type								
Teaching	530	10.4	579	19.2	708	18.1	503	23.3
Non-teaching	232	0	254	1.6	270	6.3	185	10.8
Peak CPK								
<2× normal	156	8.3	132	11.4	310	7.4	125	9.6
2-4.9× normal	109	5.5	147	4.8	282	12.1	210	13.8
>5× normal	484	7.4	554	16.8	386	22.8	337	27.6
MI extent								
Q-wave	527	8.2	515	17.7	536	19.4	411	24.8
Non-Q wave	235	5.1	318	7.5	442	9.3	277	12.6

*Proportion of patients receiving a pulmonary artery catheter.



THE ESCAPE Trial: un coup d'arrêt à l'HD invasive dans l'IC

Essai randomisé-contrôlé, 433 pat. HFrEF décompensés/ hospitalisés

- Décongestion basée sur la clinique
- Décongestion basée sur HD invasive (PAPO <15 et POD <8 mmHg)

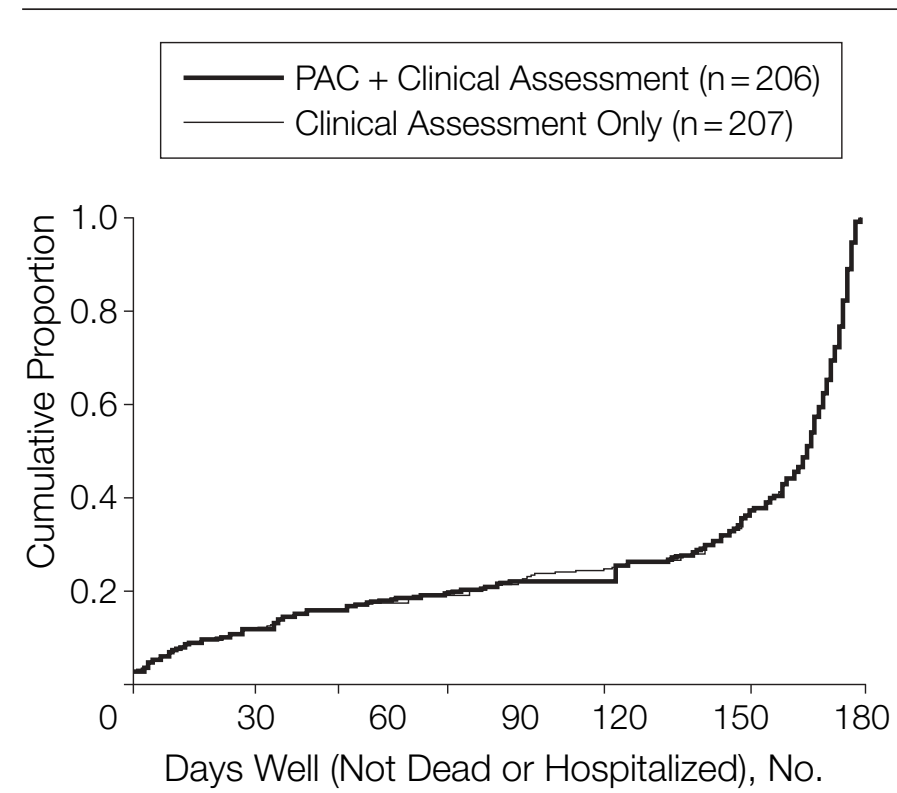


Table 4. Primary Outcomes: Mortality and Hospitalizations

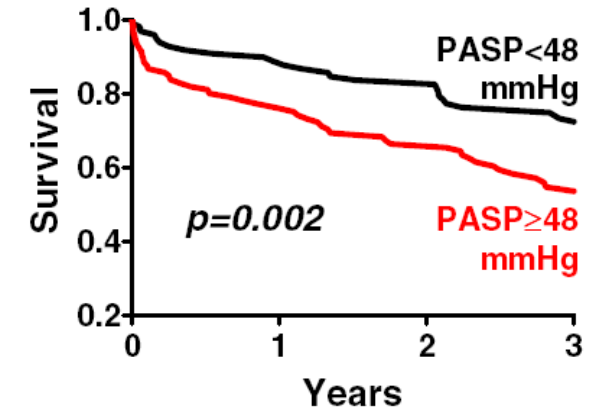
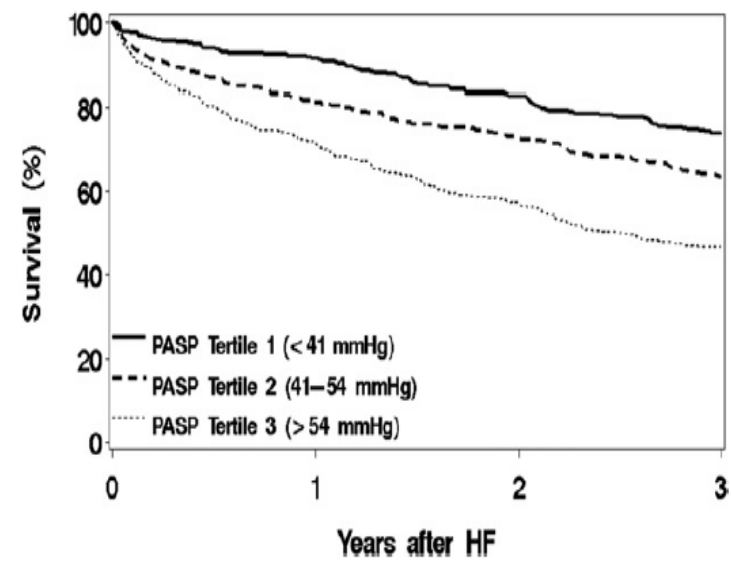
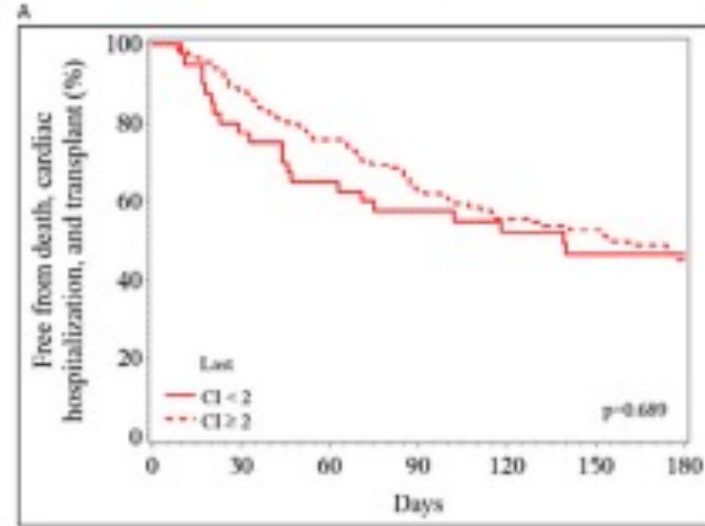
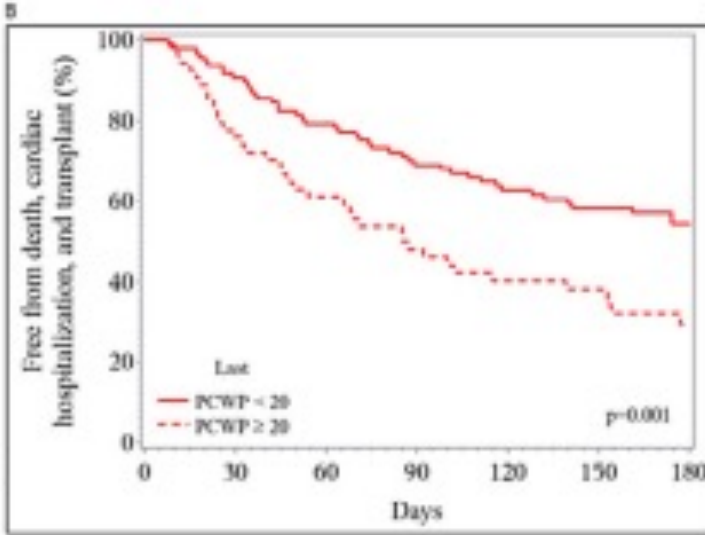
Measure	PAC Group	Clinical Assessment Group	End Point Estimate (95% CI)*	χ^2	P Value
Days alive out of hospital, mean					
LVADs/transplants coded dead	133	135	Hazard ratio, 1.00 (0.82-1.21)	0.00	.99
LVADs/transplants coded well	141	143	Hazard ratio, 0.99 (0.82-1.21)	0.00	.95
Mortality (dead at 180 d), No.	43	38	Odds ratio, 1.26 (0.78-2.03)	0.86	.35
Total days initial hospitalization, mean	8.7	8.3	Hazard ratio, 1.04 (0.86-1.27)	0.18	.67
PAC-related deaths, No.	0	0	NA	NA	NA
Early deaths (in-hospital plus 30 d), No.	10	11	Odds ratio, 0.97 (0.38-2.22)	0.04	.97

Abbreviations: CI, confidence interval; LVAD, left ventricular assist device; NA, not applicable; PAC, pulmonary artery catheter.
*Values less than 1 favor PAC.



Implications pronostiques des valeurs dérivées par le PAC

Valeur pronostique de la pression pulmonaire / PCWP HFrEF et HFpEF



	Number remaining			
PASP < 48 mmHg	98	86	80	44
PASP ≥ 48 mmHg	105	78	67	38

Intérêt pronostic des éléments traduisant la congestion

Plus faible intérêt pronostic du débit cardiaque

Bursi F C et al. JACC 2012

Lam C et al, JACC 2009

Cooper LB et al., J Card Fail 2016



Les années 2010-2020: regain d'intérêt

Registre US des décompensations cardiaques (>8'500'000) et chocs cardiogènes (>915'000)

- ➔ Utilisation PAC : 1% (HF) et 8,7% (CS), stable,
- ➔ Patients PAC très différents (plus jeune, moins de co-morbidités) MAIS HF/CS + sévère (↗ FA, insuffisance hépatique/ rénale/ respiratoire ET MCS)

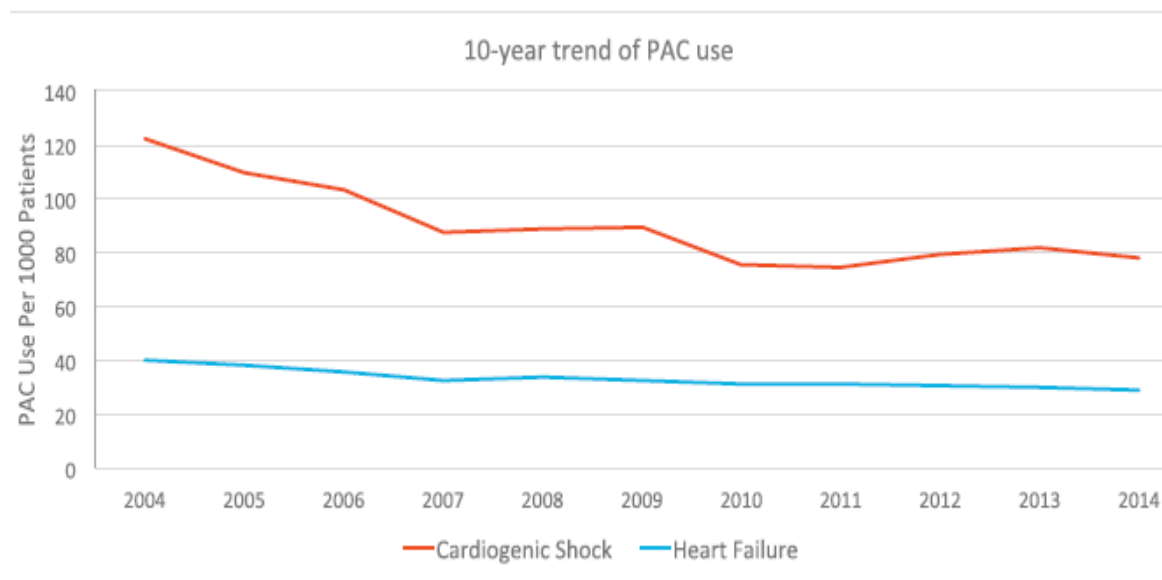


Fig. 1. Trends of pulmonary artery catheterization use in heart failure and cardiogenic shock.

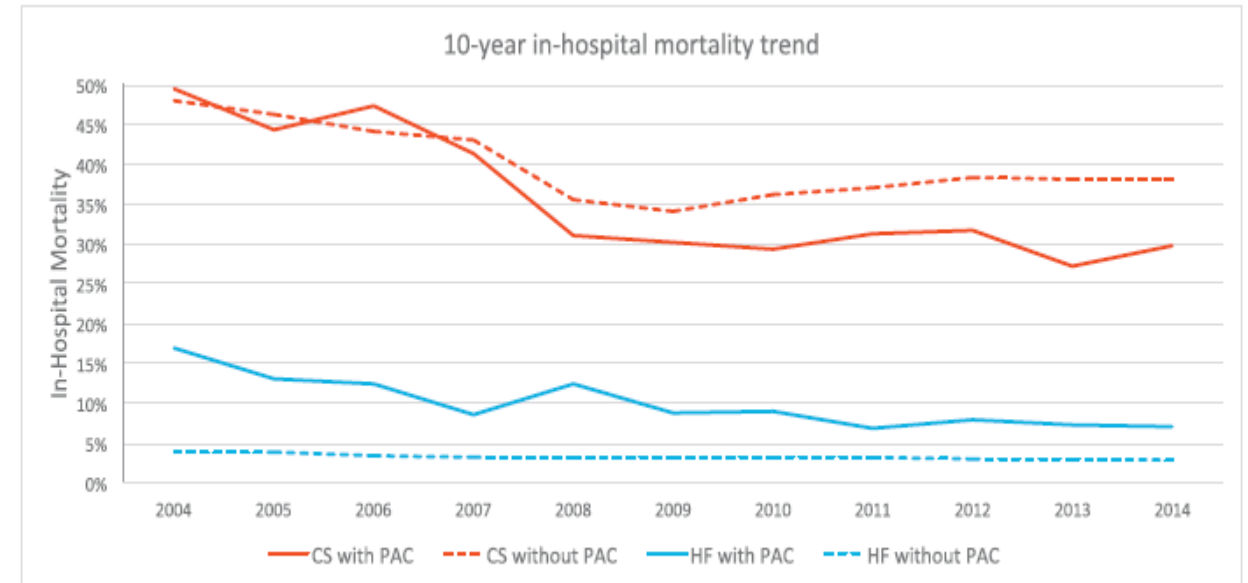
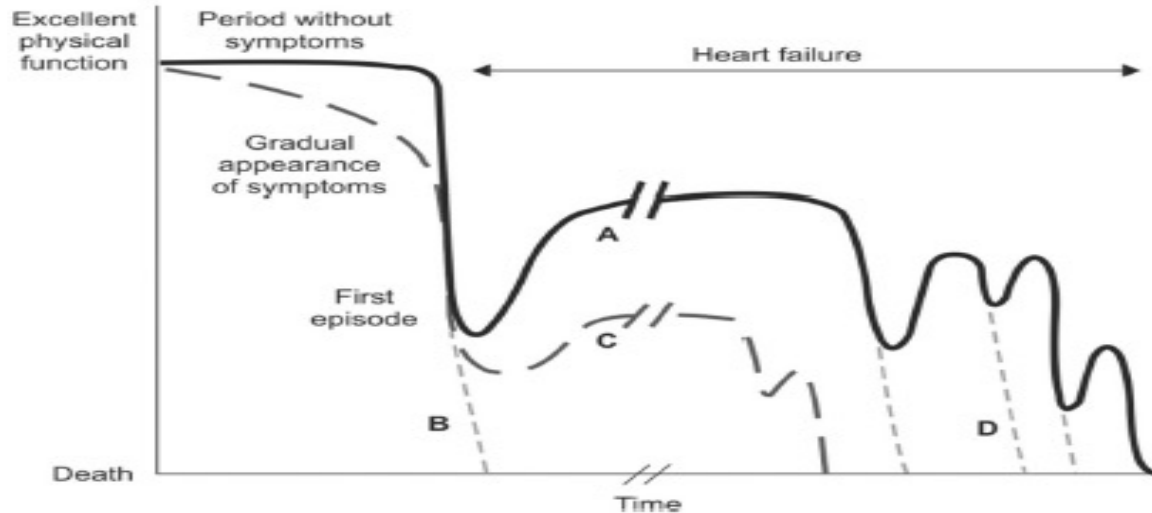


Fig. 2. Mortality in heart failure (HF) and cardiogenic shock (CS) with and without pulmonary artery catheterization (PAC) use.



Scénarios cliniques d'intérêt pour HD invasive : IC à FE réduite



WARM-DRY	WARM-WET	CONGESTION (+) Pulmonary congestion Orthopnoea/paroxysmal nocturnal dyspnoea Peripheral (bilateral) oedema Jugular venous dilatation Congested hepatomegaly Gut congestion, ascites Hepatojugular reflux
COLD-DRY	COLD-WET	
		HYPERPERFUSION (+) Cold sweated extremities Oliguria Mental confusion Dizziness Narrow pulse pressure

Phase initiale

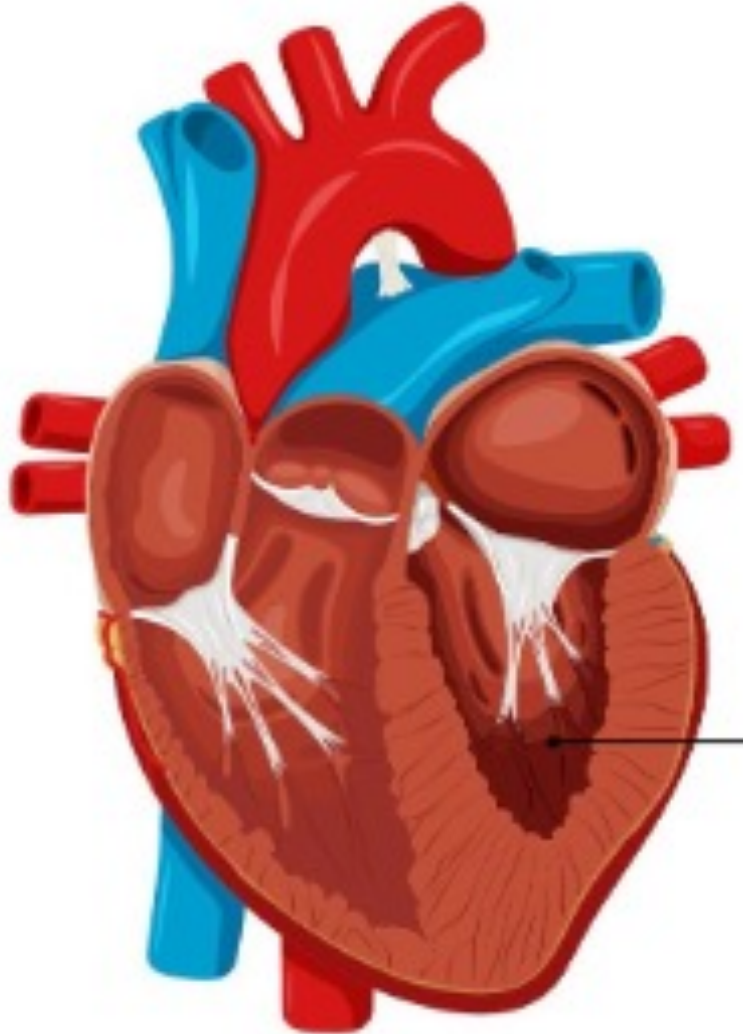
- Diagnostic? Clinique, BNP, écho
Ø critère hémodynamique
- Traitement? Donné pour $\searrow$ Sympt + $\nearrow$ pronostic
Ø objectif hémodynamique

Phase de décompensation

- Diagnostic ? Clinique «wet/ dry» et «warm/ cold»
 - > Loin d'être toujours clair
 - > Intérêt ++ HD invasive: critères diag congestion/ débit/ adaptation du débit aux besoins métabolique.
 - > Orientation du tt
- Choc cardiogène ?
 - > de + en + d'intérêt pour HD invasive

Phase d'IC avancée

- Indispensable avant transplantation ou implantation de LVAD.



Phase initiale

- Diagnostic? Toujours peu clair (au moins 2 algorithmes) clinique, écho +/- BNP
 - Très mauvais rendement
 - Définition hémodynamique de HFpEF
 - Repos
 - Effort



Scénarios cliniques d'intérêt pour HD invasive : IC à FE réduite

A. Volémie peu claire / perfusion peu claire

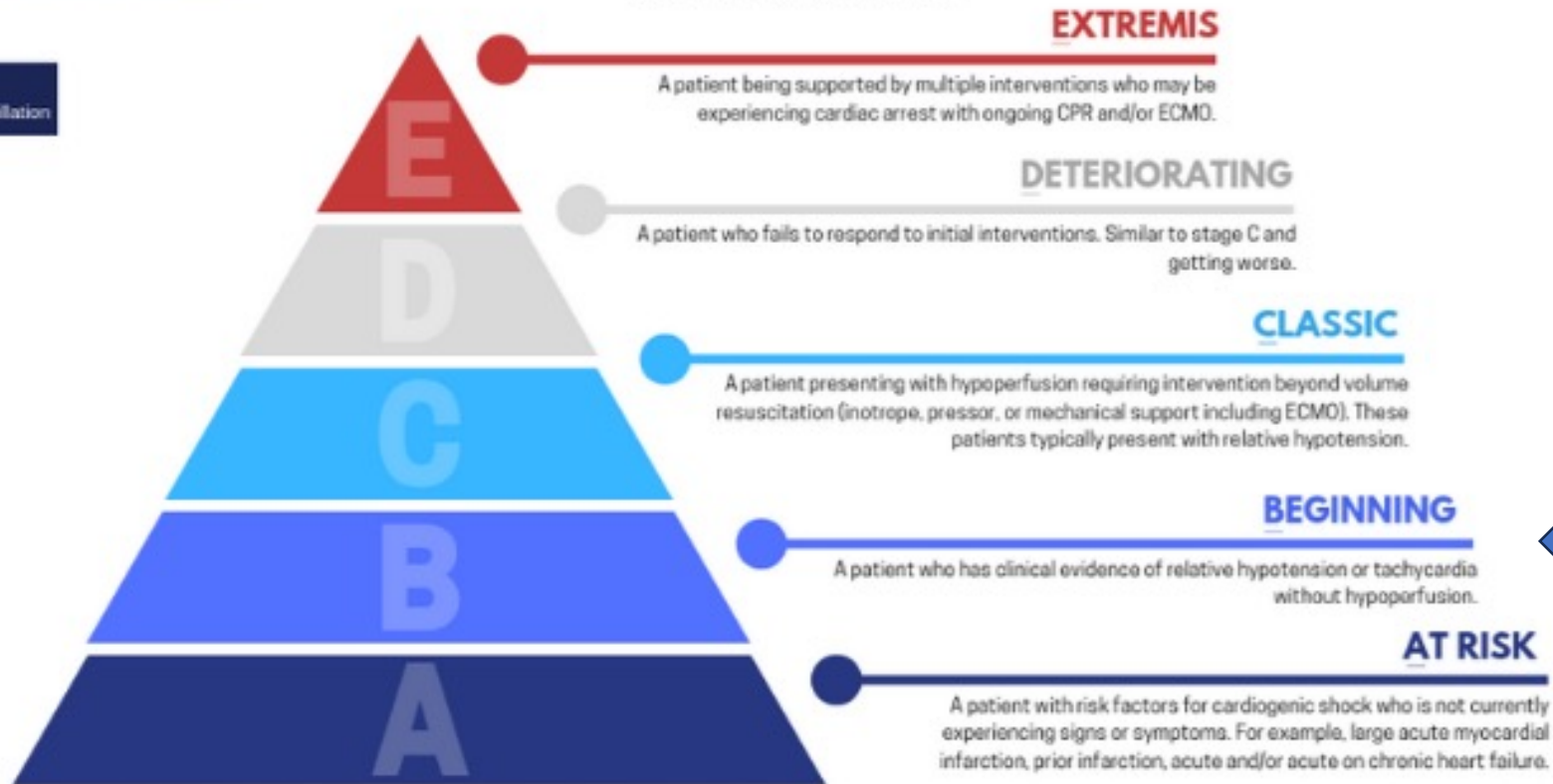
Patient «wet and warm» à l'admission, bonne réponse initiale au furosemide ► installation d'une résistance au furosémide ► escalade furosémide ► $\searrow$ TA (<90 mmHg) ► $\nearrow$ urée/ créat + **Persistance OMI, lactate 1,8**



SCAI Stages of Cardiogenic Shock

Adapted from the SCAI Clinical Expert Consensus Statement on the Classification of Cardiogenic Shock
Endorsed by ACC, AHA, SCCM, and STS

Arrest (A) Modifier:
CPR, including defibrillation

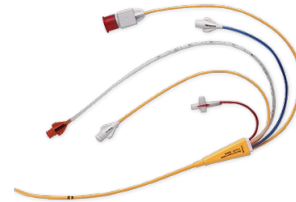




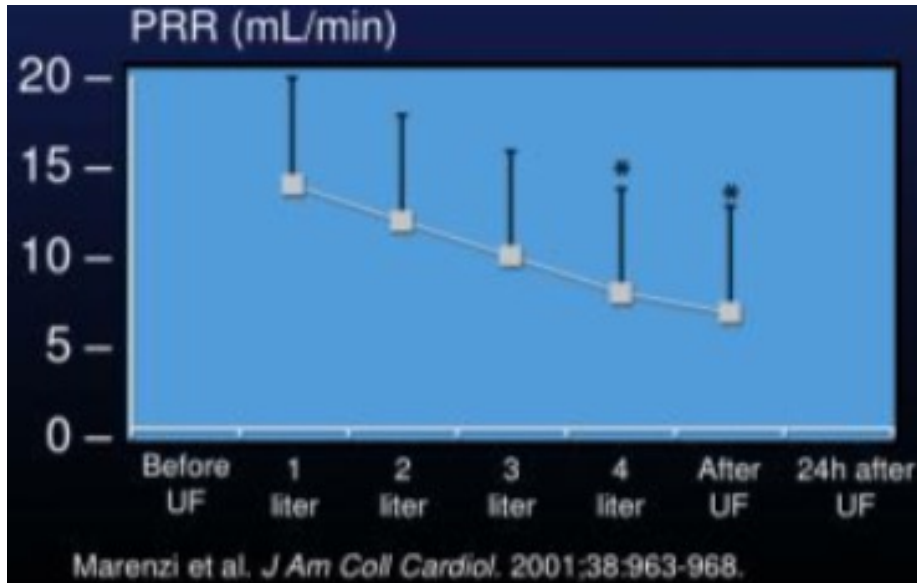
Scénarios cliniques d'intérêt pour HD invasive : IC à FE réduite

A. Volémie peu claire / perfusion peu claire

Patient «wet and warm» à l'admission, bonne réponse initiale au furosemide ► installation d'une résistance au furosémide ► escalade furosémide ► $\searrow$ TA (<90 mmHg) ► $\nearrow$ urée/ créat + **Persistance OMI, lactate 1,8**



Scénario 1: Volémie inefficace (over-diuresis) : diurèse > «plasma refill rate»



DC: souvent abaissé

PAWP : peu élevée /normale ou élevée

POD : franchement abaissée ou normale



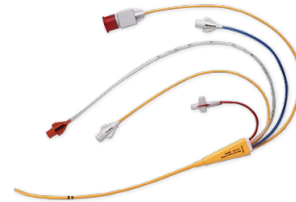
Stop diurétique transitoirement
Remplissage transitoire éventuel



Scénarios cliniques d'intérêt pour HD invasive : IC à FE réduite

A. Volémie peu claire / perfusion peu claire

Patient «wet and warm» à l'admission, bonne réponse initiale au furosemide ► installation d'une résistance au furosémide ► escalade furosémide ► $\searrow$ TA (<90 mmHg) ► $\nearrow$ urée/ créat + **Persistance OMI, lactate 1,8**



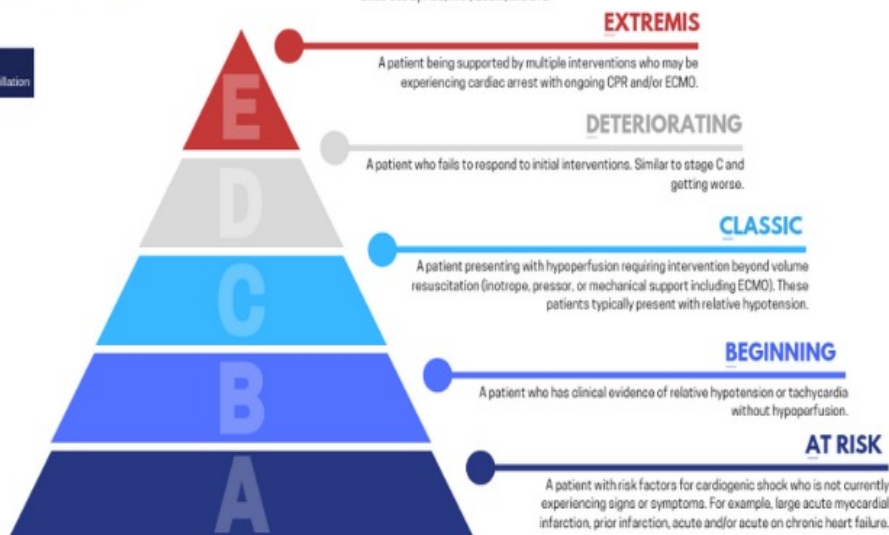
Scénario 2: Evolution défavorable vers le choc cardiogène



SCAI Stages of Cardiogenic Shock

Adapted from the SCAI Clinical Expert Consensus Statement on the Classification of Cardiogenic Shock
Endorsed by ACC, AHA, SCCM, and STS

Arrest (A) Modifier:
CPR, including defibrillation



DC: abaissé ++ / SvO2 abaissée ++

PAWP : élevée/ très élevée

POD : élevée/ très élevée



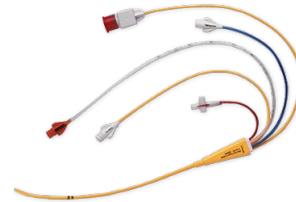
Maintien des diurétiques
Vasopresseurs / inotropes
Vasodilatateurs si TA préservée



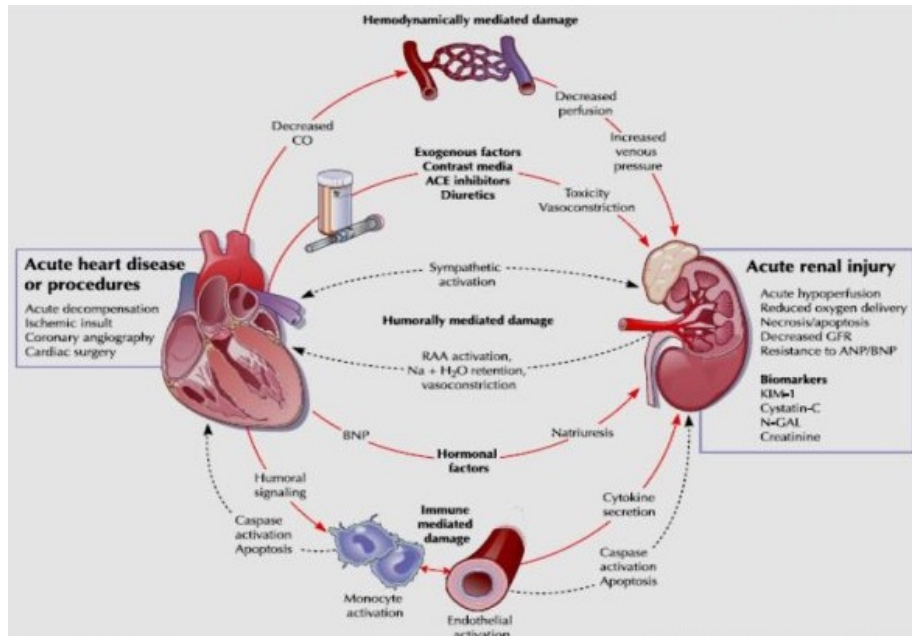
Scénarios cliniques d'intérêt pour HD invasive : IC à FE réduite

A. Volémie peu claire / perfusion peu claire

Patient «wet and warm» à l'admission, bonne réponse initiale au furosemide ► installation d'une résistance au furosémide ► escalade furosémide ► $\searrow$ TA (<90 mmHg) ► $\nearrow$ urée/ créat + **Persistance OMI, lactate 1,8**



Scénario 3: Syndrome cardiorénal sans bas débit avec congestion persistante



DC: normal / lég abaissé

PAWP : élevée/ très élevée

POD : élevée/ très élevée



Maintien des diurétiques de l'anse
Ajout thiazique / ultrafiltration



IC à FE réduite en phase avancée: avant transplantation cardiaque

↗ PVR ou TPG

➔ défaillance aigue du VD du greffon

➔ Mortalité ++

476 HTx, Columbia University

Endpoint = mortalité 30 j

	Baseline strata		
	Low risk	Average risk	High risk
PVR			
Risk stratum range	<2 WU	2-3 WU	>3 WU
SSLR*	0.46 (0.26-0.83)	0.97 (0.55-1.71)	1.62 (1.24-2.10)
30-Day mortality	9/177 (5.1%)†	10/94 (10.6%)	28/158 (17.7%)
TPG			
Risk stratum range	<10 mm Hg	10-14 mm Hg	>14 mm Hg
SSLR*	0.44 (0.27-0.74)	1.28 (0.81-2.03)	1.95 (1.38-2.75)
30-Day mortality	11/226 (4.9%)†‡	14/100 (14.0%)	22/103 (21.4%)

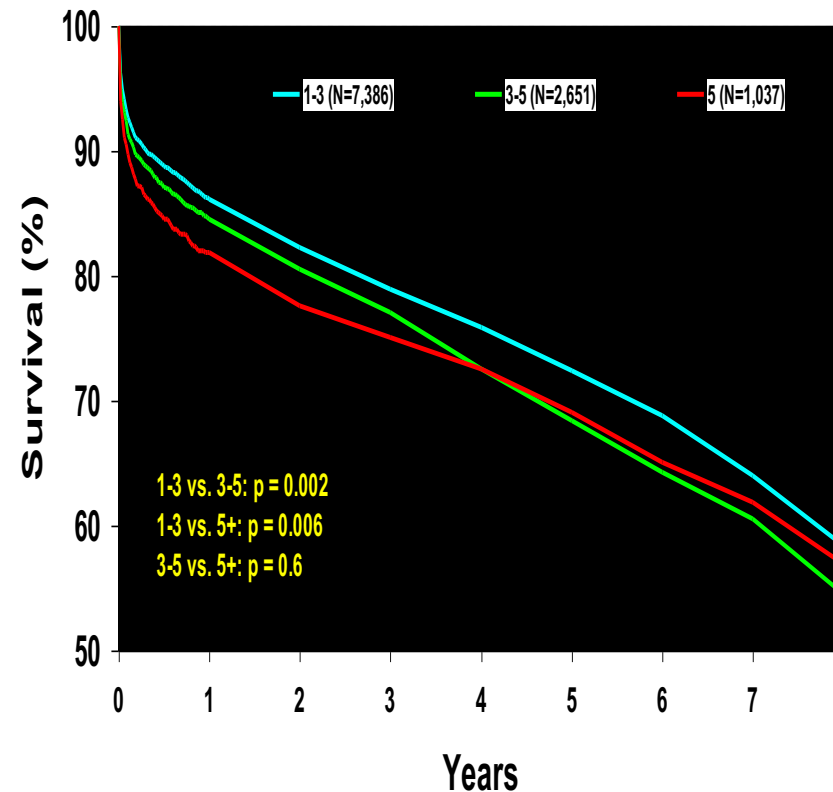
Chen J et al, J Thorac Cardiovasc Surg 1997

Continuum PVR~ mortalité, pas de cut-off magique

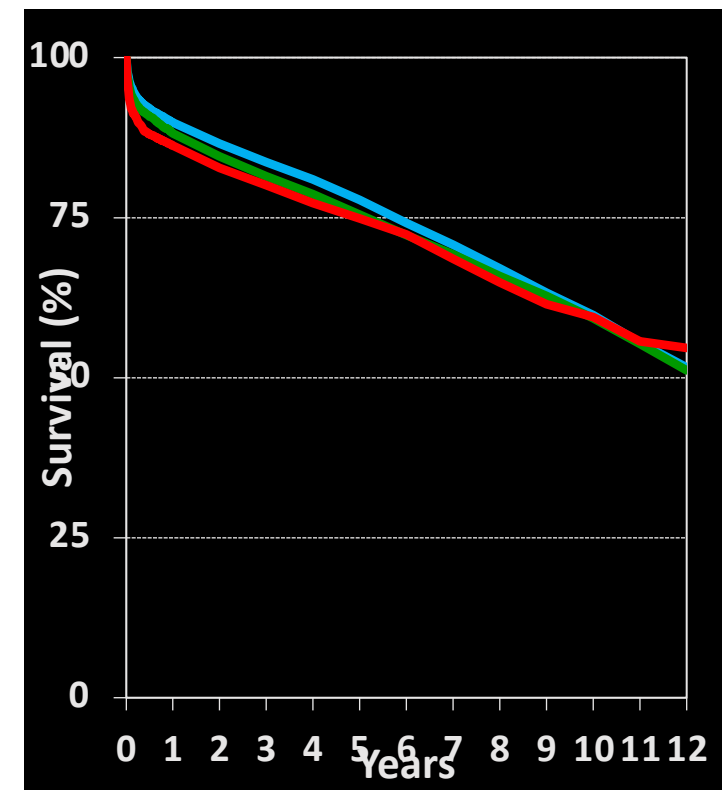
Importance du tt (sildenafil, LVAD)

Période 1994 – 2001

Période 2004-2016



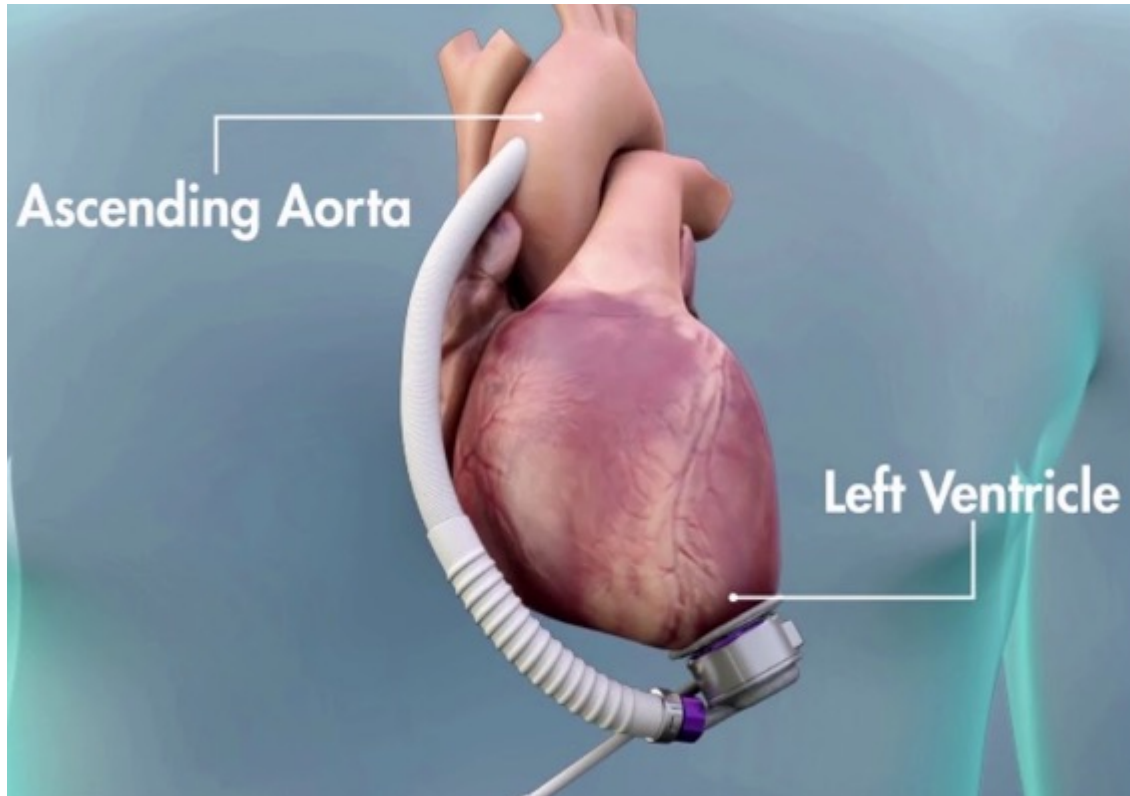
Rosenpud, JHLT 2002



Kirklin, JHLT 2017



IC à FE réduite en phase avancée: avant implantation de LVAD



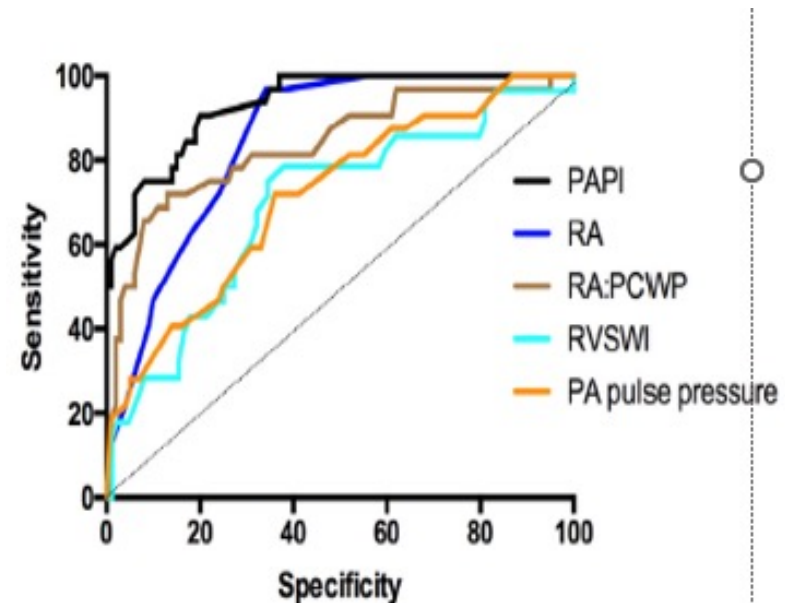
Défaillance droite complique ~20% des LVAD
Associée à mortalité, hémorragie, MOF....
-> Prédiction nécessaire avant implantation

PAPi : pulmonary artery pulsatility index

$(sPAP-dPAP) / RAP$

Indice permettant de quantifier la précharge nécessaire au VD pour générer de la pression

→ indice de la contractilité inverse



Cut-off à 1,85

NPV 95%

PPV 85%



IC à FE préservée: un diagnostic difficile...

H₂FPEF (Mayo Clinic)

Co-morbidités + paramètres echo pondérés

Validé par HD invasive

	Clinical Variable	Values	Points
H ₂	Heavy	Body mass index > 30 kg/m ²	2
	Hypertensive	2 or more antihypertensive medicines	1
F	Atrial Fibrillation	Paroxysmal or Persistent	3
P	Pulmonary Hypertension	Doppler Echocardiographic estimated Pulmonary Artery Systolic Pressure > 35 mmHg	1
E	Elder	Age > 60 years	1
F	Filling Pressure	Doppler Echocardiographic E/e' > 9	1
H ₂ FPEF score			Sum (0-9)

0-1 points: faible probabilité diagnostique

6-9 points: forte probabilité diagnostique

2-5 points: probabilité intermédiaire

HFA-PEFF (consensus experts HFA de l'ESC)

Approche par paliers (prob pré-test -> BNP/ echo: score -> evt stress test

Dérivé d'un consensus d'experts

	Functional	Morphological	Biomarker (SR)	Biomarker (AF)
Major	septal e' < 7 cm/s or lateral e' < 10 cm/s or Average E/e' ≥ 15 or TR velocity > 2.8 m/s (PASP > 35 mmHg)	LAVI > 34 ml/m ² or LVMI ≥ 149/122 g/m ² (m/w) and RWT > 0,42 #	NT-proBNP > 220 pg/ml or BNP > 80 pg/ml	NT-proBNP > 660 pg/ml or BNP > 240 pg/ml
Minor	Average E/e' 9 -14 or GLS < 16 %	LAVI 29-34 ml/m ² or LVMI > 115/95 g/m ² (m/w) or RWT > 0,42 or LV wall thickness ≥ 12 mm	NT-proBNP 125-220 pg/ml or BNP 35-80 pg/ml	NT-proBNP 365-660 pg/ml or BNP 105-240 pg/ml
Major Criteria: 2 points		≥ 5 points: HFpEF		
Minor Criteria: 1 point		2-4 points: Diastolic Stress Test or Invasive Haemodynamic Measurements		

45-55% de patients avec une probabilité diagnostique intermédiaire

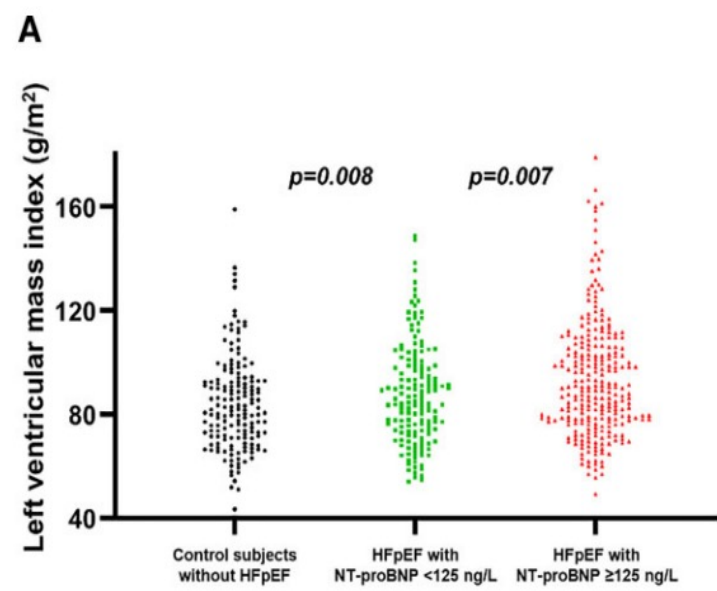


IC à FE préservée: un diagnostic difficile...

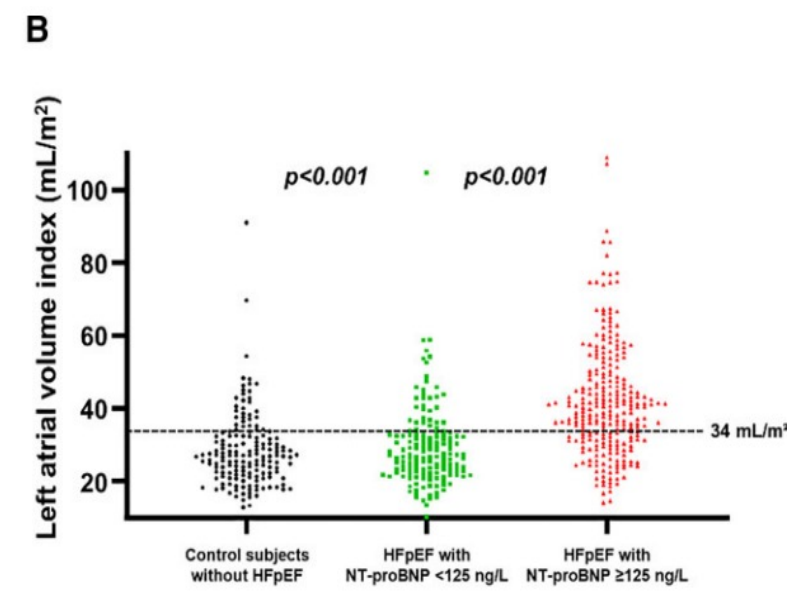
Mayo clinic: 581 patients investigués pour dyspnée d'origine indéterminée -> KT de repos et d'effort

➔ 420 (72%): diagnostic HFpEF posé au KT: PAPO repos/ effort $\geq 15/ 25$ mmHg

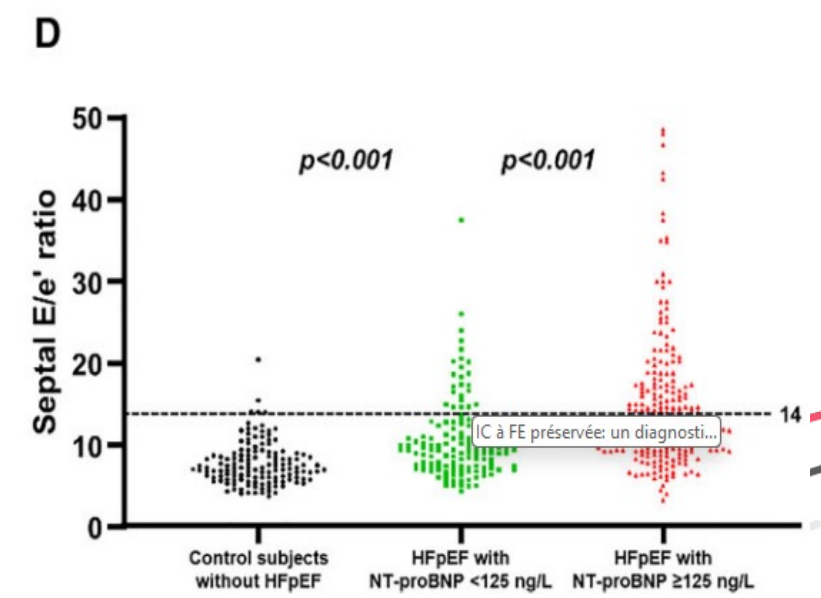
➔ 37% des HFpEF ont un NTproBNP normal (<125 ng/L) : **peu sensible**



Peu sensible
Peu spécifique



Peu sensible
Plus spécifique

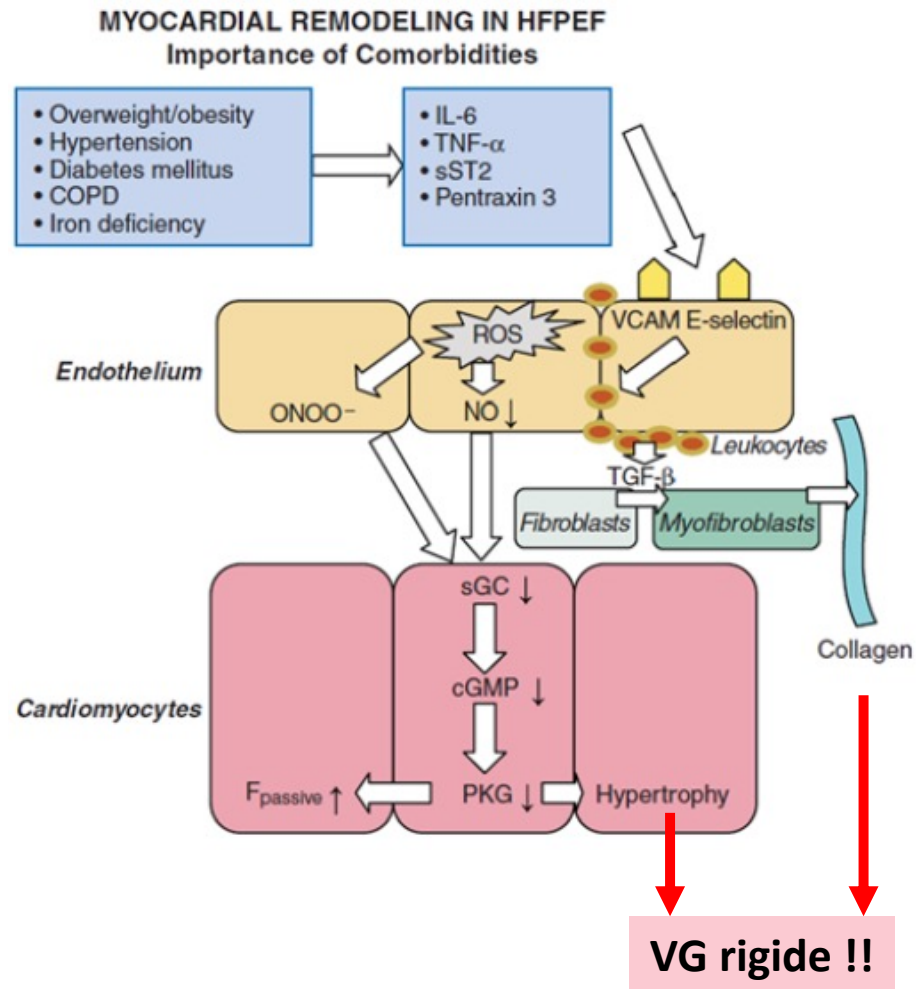


Peu sensible
Plus spécifique

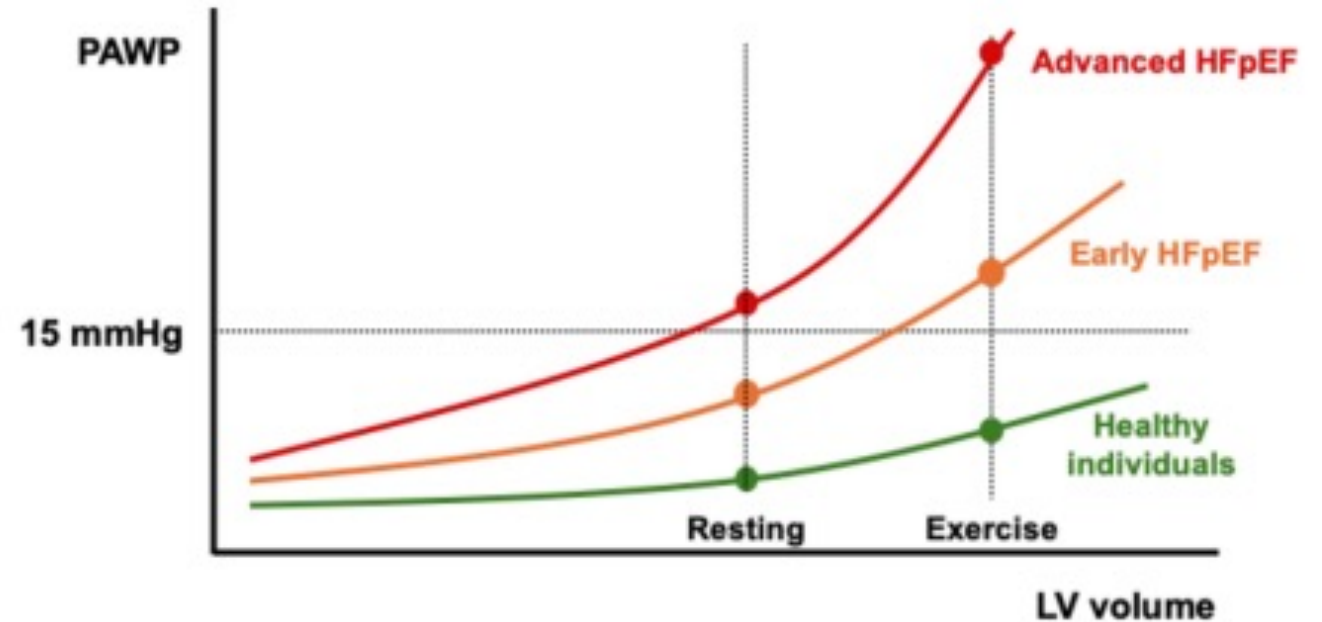


IC à FE préservée: physiologie et sensibilité des tests

Une sensibilité des tests non invasifs qui dépend du stade de la maladie



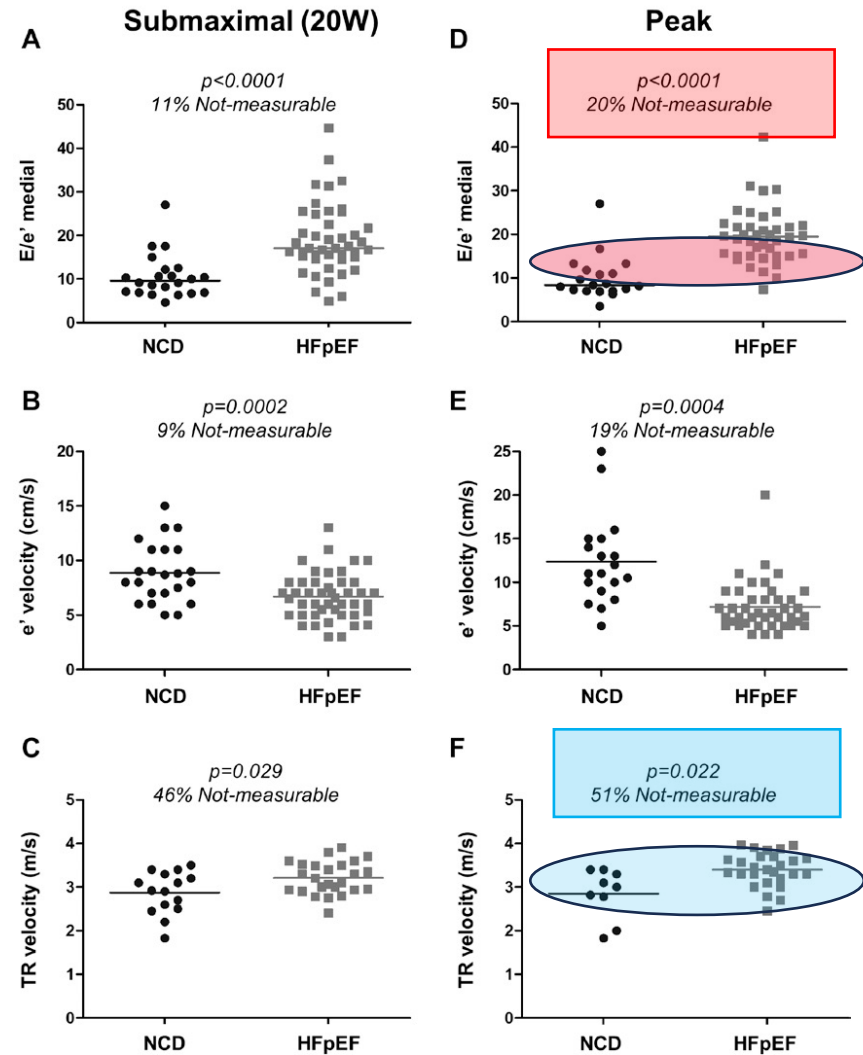
Hemodynamic changes during exertion in HFpEF vs. healthy individuals.





Evaluation alternative au KT d'effort: l'écho d'effort.

EXERCISE



Evaluation du E/e' et TR velocity à l'effort

Bonne corrélation avec PCWP

MAIS...

E/e':

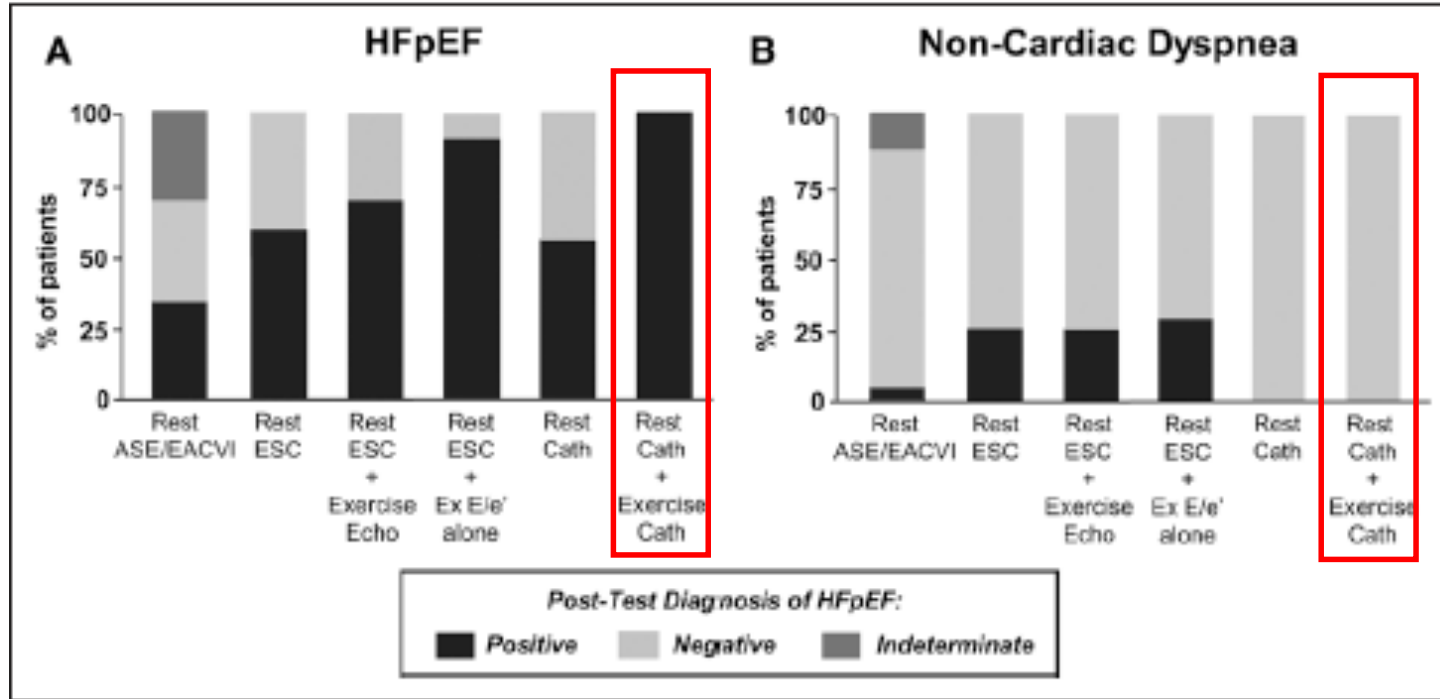
- Obtenu dans 80% des cas uniquement.
- Sensibilité imparfaite: zone grise entre 10-15
- Diagnostic en 3 strates avec une zone de probabilité intermédiaire

Gradient d'IT

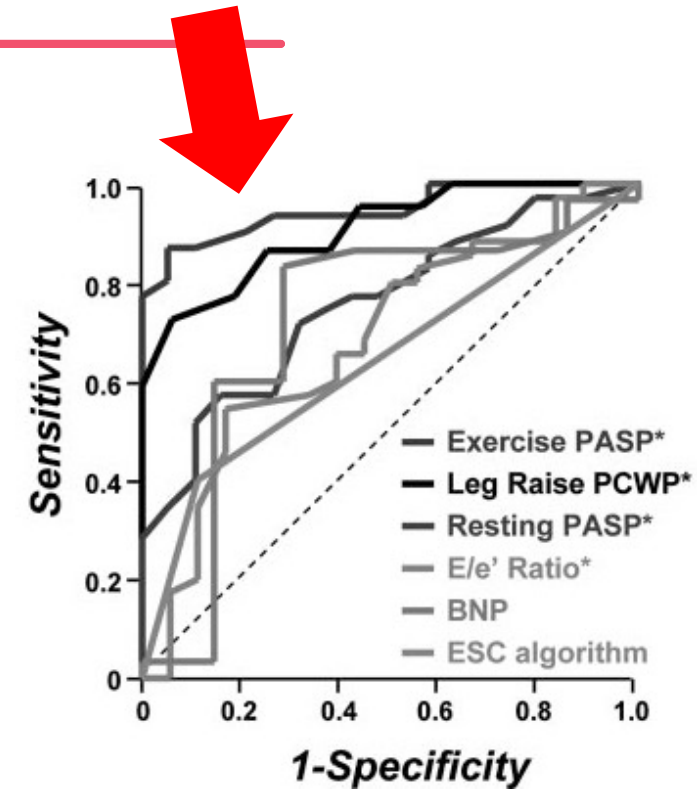
- Obtenu dans seulement 49% des cas
- Sensibilité très faible



Pourquoi le cathétérisme d'effort?



Meilleure sensibilité et spécificité!
.... Mais + invasif !!



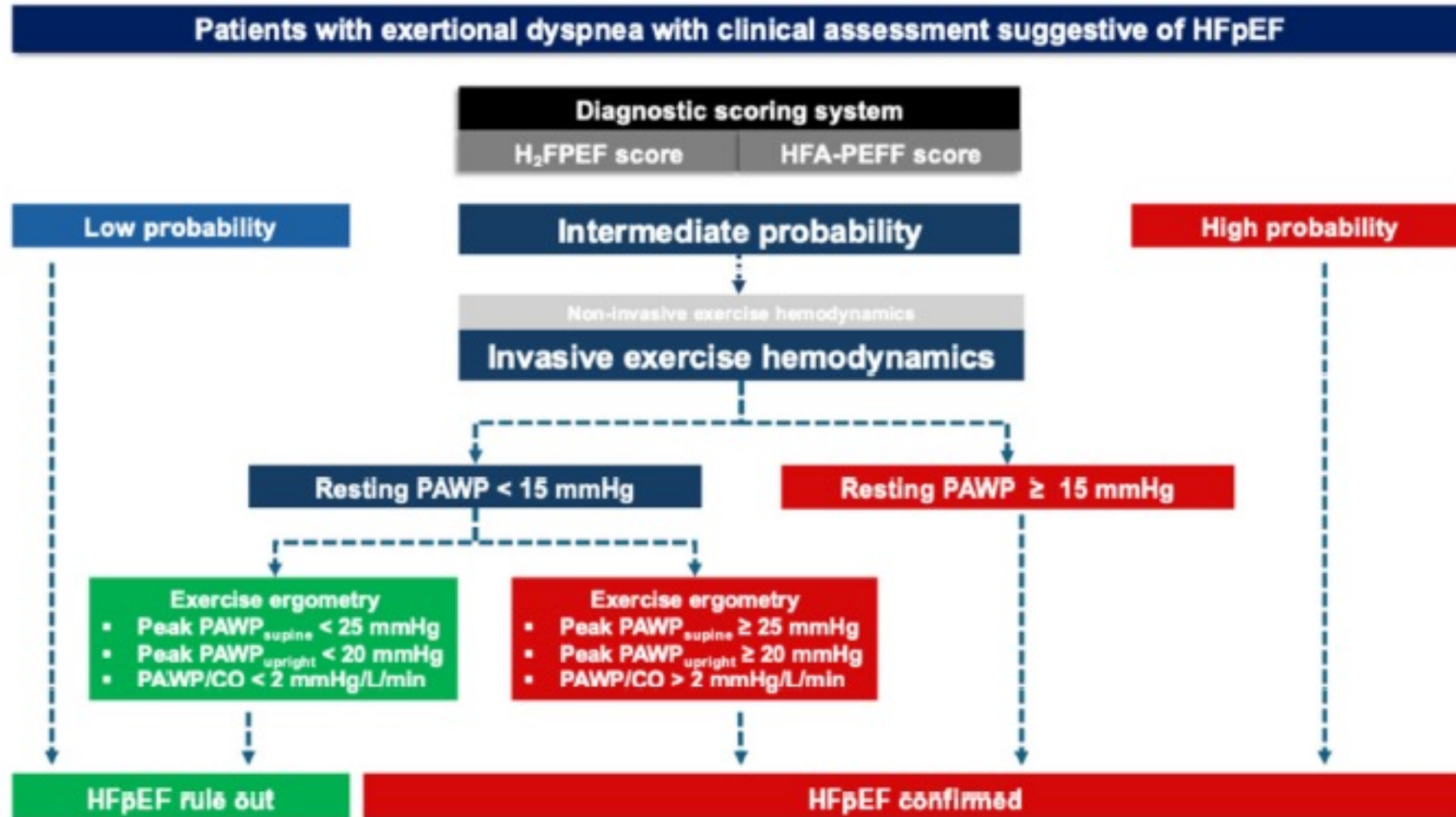
Cut-off PCWP exercise > 15 mmHg

Borlaug BA, Nishimura A, et al. Exercise Hemodynamics Enhance Diagnosis of Early HFpEF. *Circ Heart Fail*. 2010;3:588-595

Obokata M, et al. Role of diastolic stress testing in the evaluation of HFpEF. *Circulation* 2017; 135: 825-838.



Indication à une hémodynamique invasive de repos +/- effort



Hémodynamique invasive de repos +/- effort: Comment procéder ?



Mme D, 82 ans

HTA de longue date (lisinopril 10 mg), dyslipidémie traitée (atorvastatine 40 mg)

Maladie coronaire: NSTEMI > 15 ans (IVA moyenne), Resténose intra-stent > 7 ans

Dyspnée progressive en stade 2-3 (1 étage d'escaliers)

Status : sp, pas de congestion

ECG : RS 60 bpm, BBG axe G

NTproBNP: 565 (intermédiaire à 82 ans, eGFR à 50 ml/min/1,73m²)

Echo: petit VG, remodelage concentrique sans hypertrophie, FE 52%

LAVI 34 ml/m², A>E, E/e' = 13

Probabilité HFpEF intermédiaire

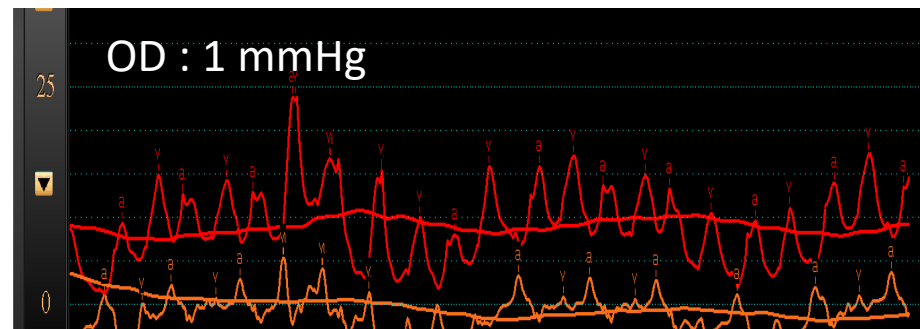
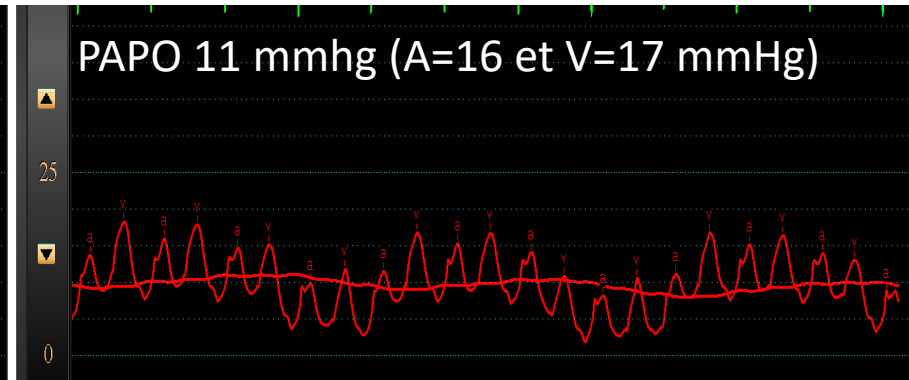
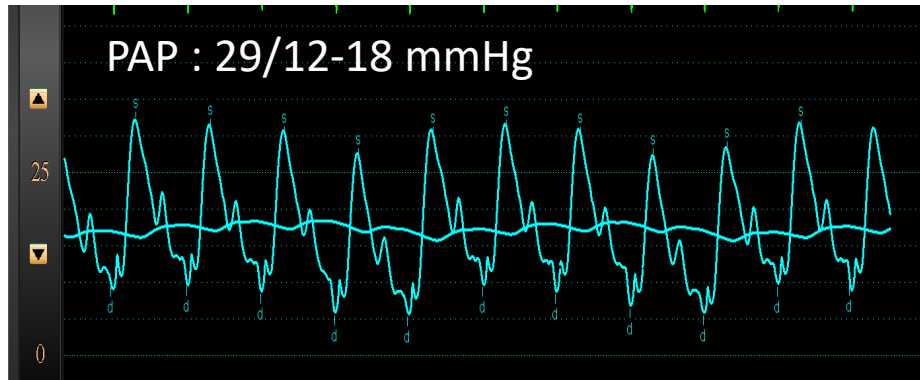


KT de repos

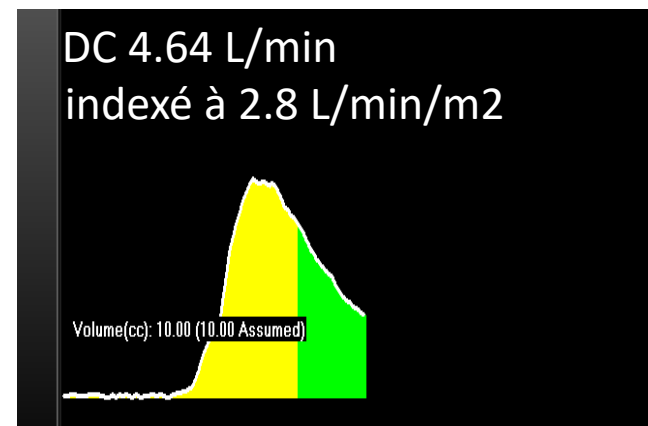
Position couchée à plat

Insertion de KT de SG par la jugulaire (la patiente devra ensuite pédaler !!)

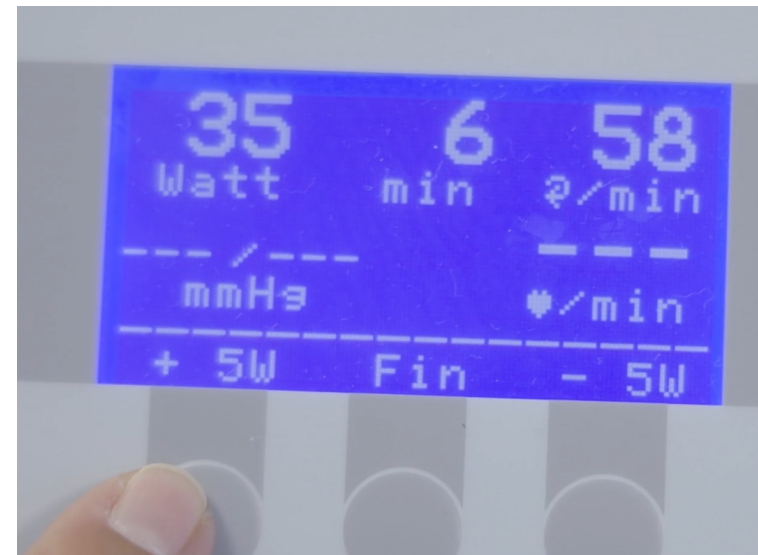
Mesures moyennées insp-exp (swing > 5 mmHg)



RVP : 1.5 WU



KT effort





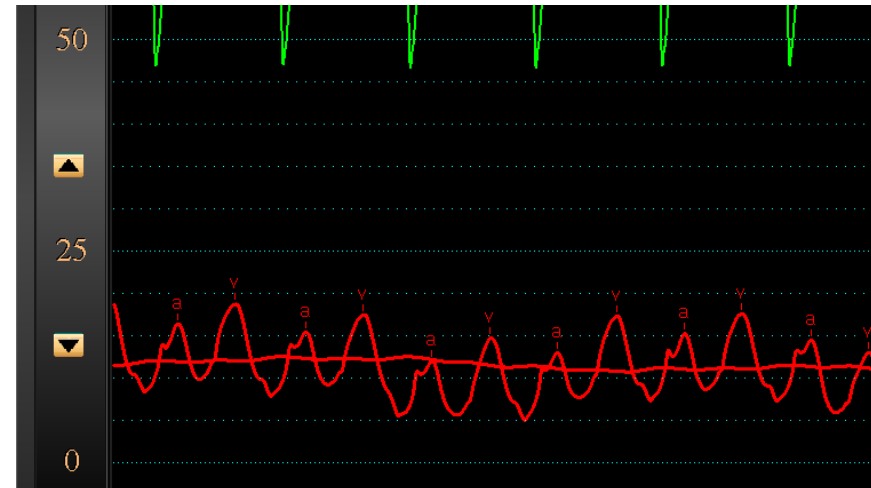
HD de repos sur vélo assise: diminution des pressions

PAP : 24/13-17 mmHg

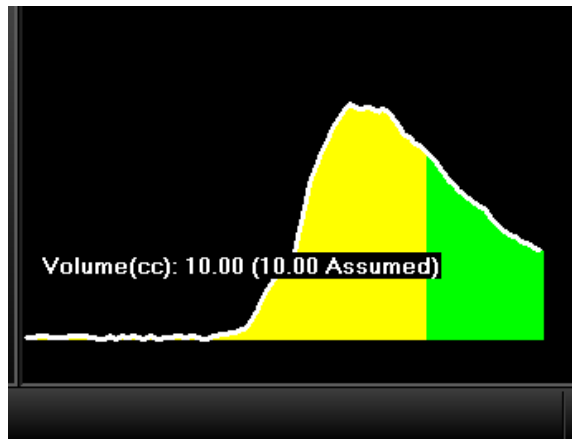
POD 1 mmhg



PAPO 11 mmhg



DC 4.85 L/min

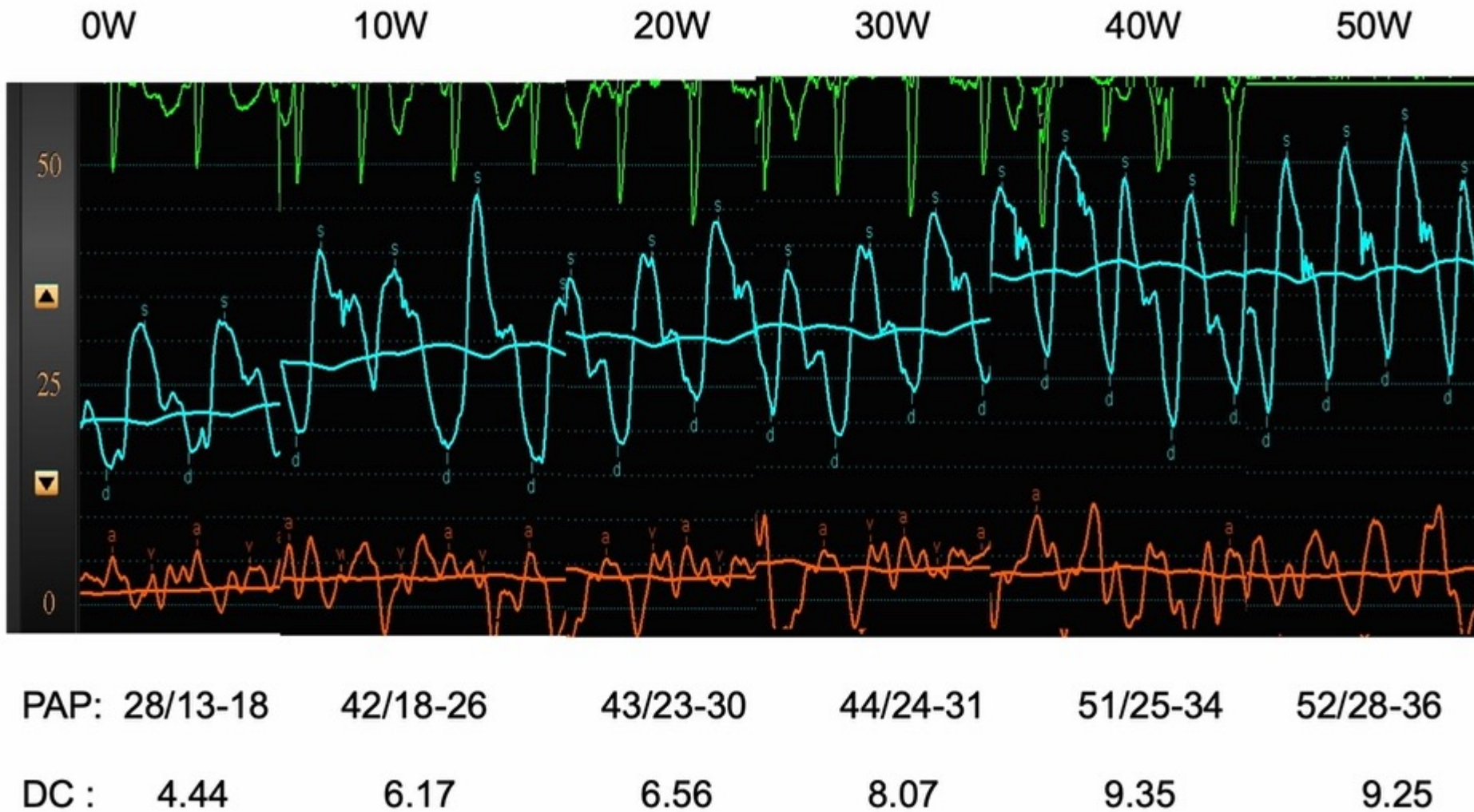


RVP : 1.5 WU

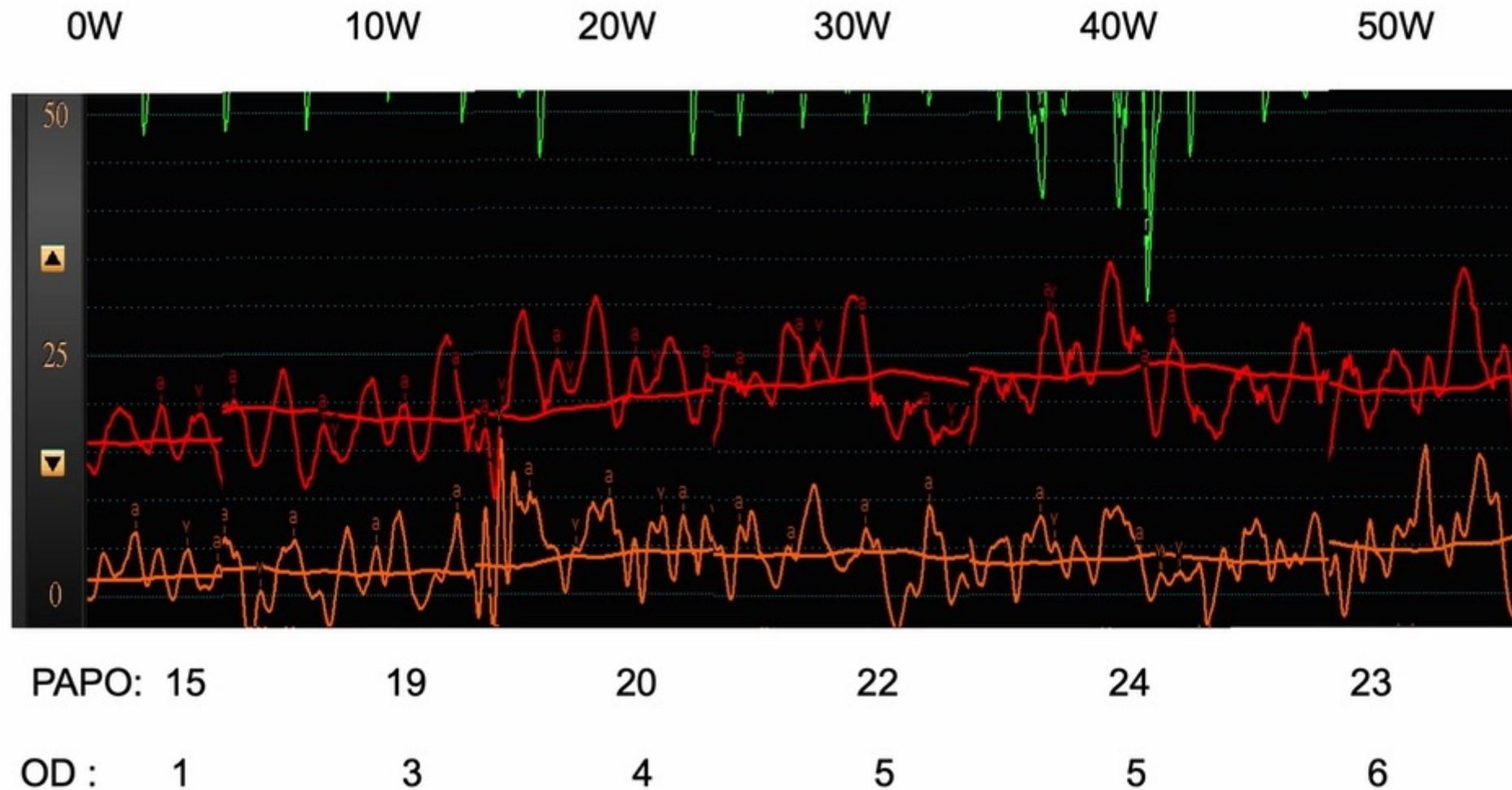




Pression pulmonaire / POD / DC à l'effort



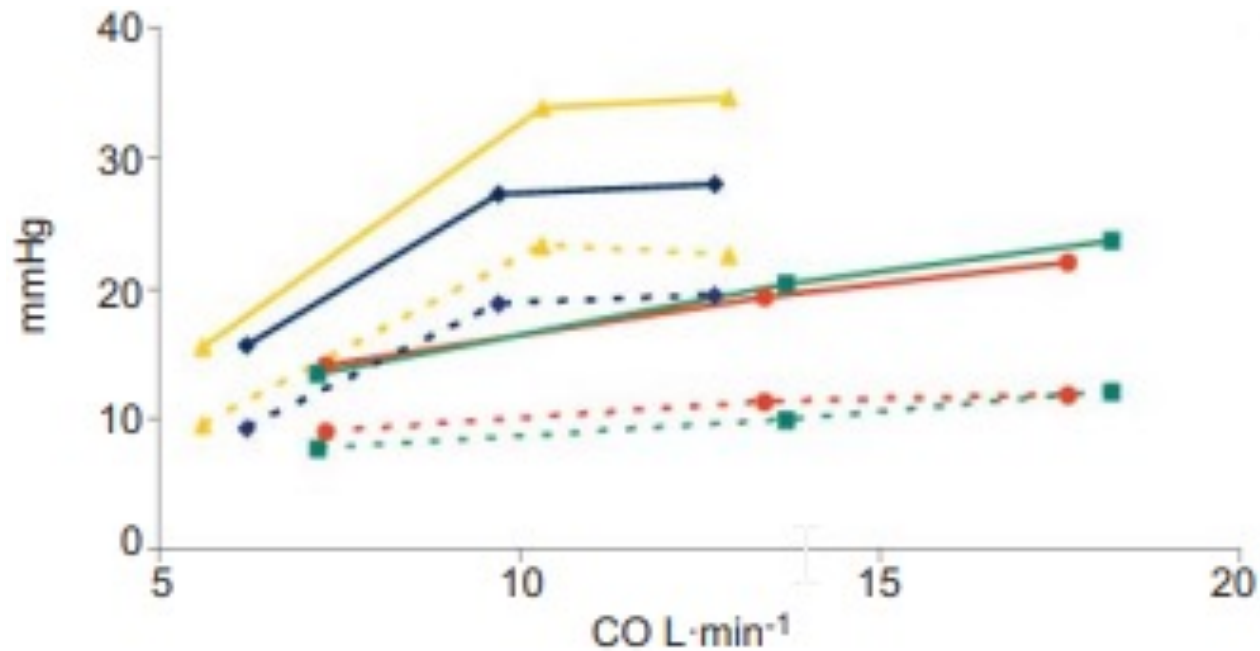
PAWP à l'effort





Interprétation du cathétérisme à l'effort : la normalité

Sujet sain



Méta-analyse 1187 sujets sains
EFFORT EN POSITION COUCHEE

Trait plein : PAPm

Trait pointillé: PAPO

Vert: < 24y, orange: 24-50y, bleu: 51-69y, jaune: >70y

Physiologie de l'effort :

- Augmentation du DC à l'effort:
 - Par $\uparrow$ FC
 - Par $\uparrow$ vol éjection :
 - $\uparrow$ FE ($\uparrow$ contractilité, $\downarrow\downarrow\downarrow$ RVS)
 - $\uparrow$ précharge : recrutement de volume veineux > MI et viscères abdo -> remplissage / volume VG: mécanisme Frank-Starling
- Myocarde normal compliant :
 - Peu d' $\uparrow$ pressions de remplissage (faible $\uparrow$ PAPO)
 - Diminution de compliance avec l'âge
- PAPO normale n'excède pas 23 mmHg
- **PAPO > 25 mmHg à l'effort = anormale**

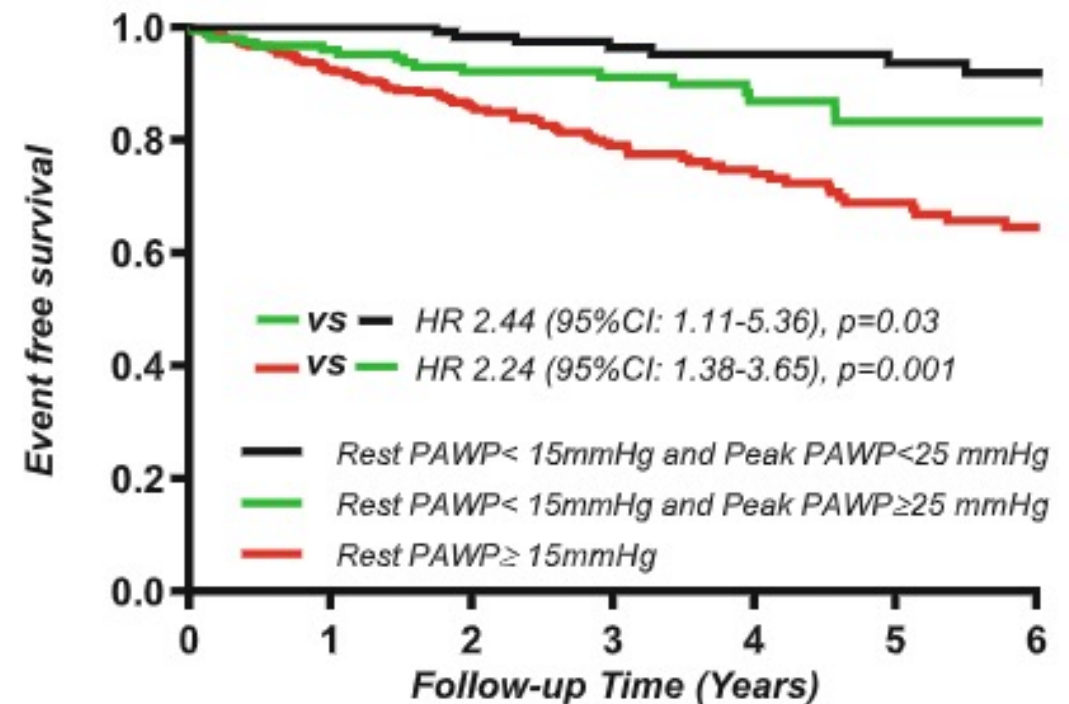
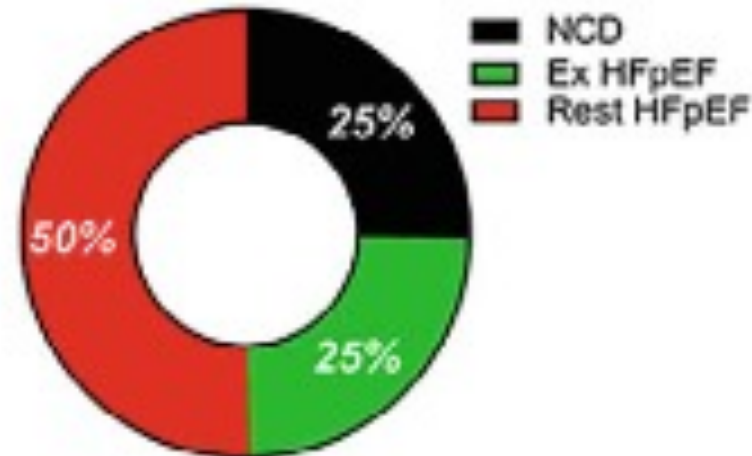
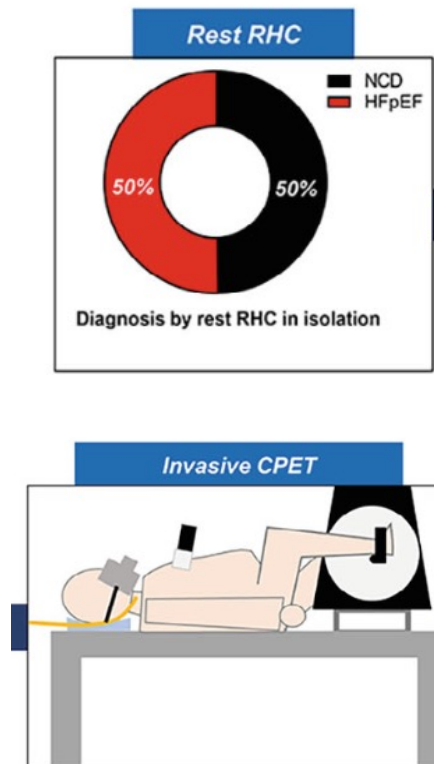


Interprétation du cathétérisme à l'effort : validité de la PAPO > 25 mmHg pour définir HFpEF

Consensus HFA: PAPO ≥ 25 mmHg = définition HFpEF

764 patients avec dyspnée d'effort et FEVG >50% -> HD invasive d'effort -> FUP moy 2,7 y

Events : Mortalité et hospitalisation pour IC



Interprétation du cathétérisme à l'effort : limitation de PAPO seuil



- Aucune considération pour le niveau d'effort / le niveau de débit cardiaque auquel ce seuil est atteint
(à 25 W ou 5 L/min plus grave qu'à 100 W ou 10 L/min ?)
- Case reports de sujets normaux et très entraînés capables d'augmenter la PAPO à plus de 25 mmHg (pour des débits très élevés)
- Quid de la normalité au grand âge (> 80 ans) ?
- Quid du patient avec HFpEf qui n'arrive pas à tolérer 25 mmHg et s'arrête avant ?
- Quid de la position à l'effort ?



Interprétation du cathétérisme à l'effort : limitation de PAPO seuil importance de la position à l'effort



Position couchée	Position assise (upright)
Plus pratique, plus rapide, pas de transfert du patient	Mobilisation du patient avec un KT ds le cou
Position du zéro mieux validée	Position du zero par rapport à l'OD plus aléatoire
Jambes plus hautes que le cœur: $> 30^\circ$ NON physiologique	Position adoptée dans pratiquement tous les types d'effort, plus physiologique
Augmentation non physiologique du retour veineux -> Risque de SUR-diagnostic de HFpEF	Augmentation plus physiologique du retour veineux -> Effort ds les conditions de vie/ symptômes du patient
Cut-off diagnostic 25 mmHg	Cut-off diag. ≥ 21 mmHg (expert opinion)

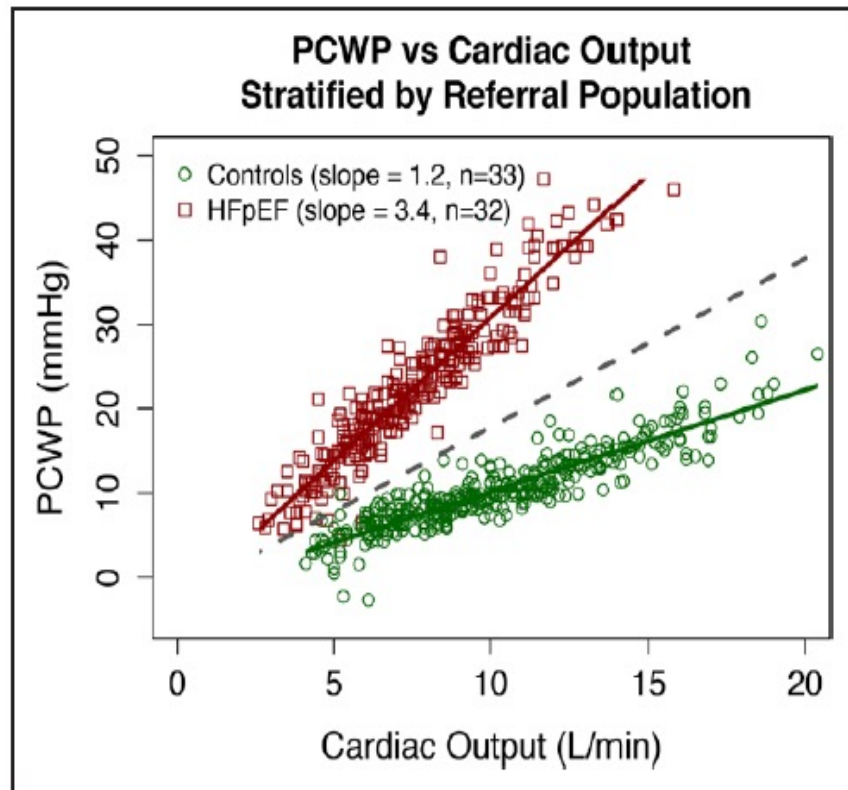


Interprétation du cathétérisme à l'effort: relation débit - PAPO

Comparaison de 33 sujets normaux et 32 sujets avec HFpEF établie (PAPO ≥ 15 mmHg au repos)

Evaluation du débit cardiaque par Fick direct (Gold standard)

Considération de l'intégralité de l'effort (et non pas un seul point)



HFpEF : slope 3,4 mmHg/L/min

Normaux: slope 1,2 mmhg/l/min

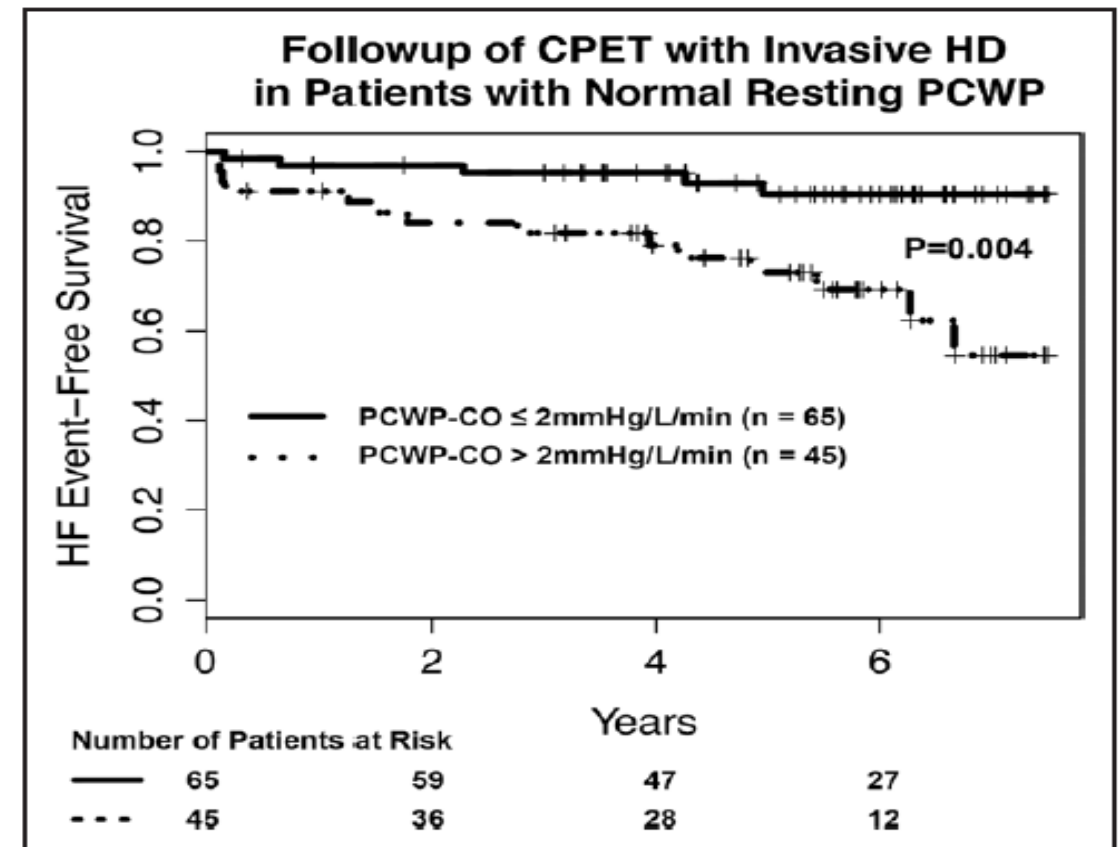
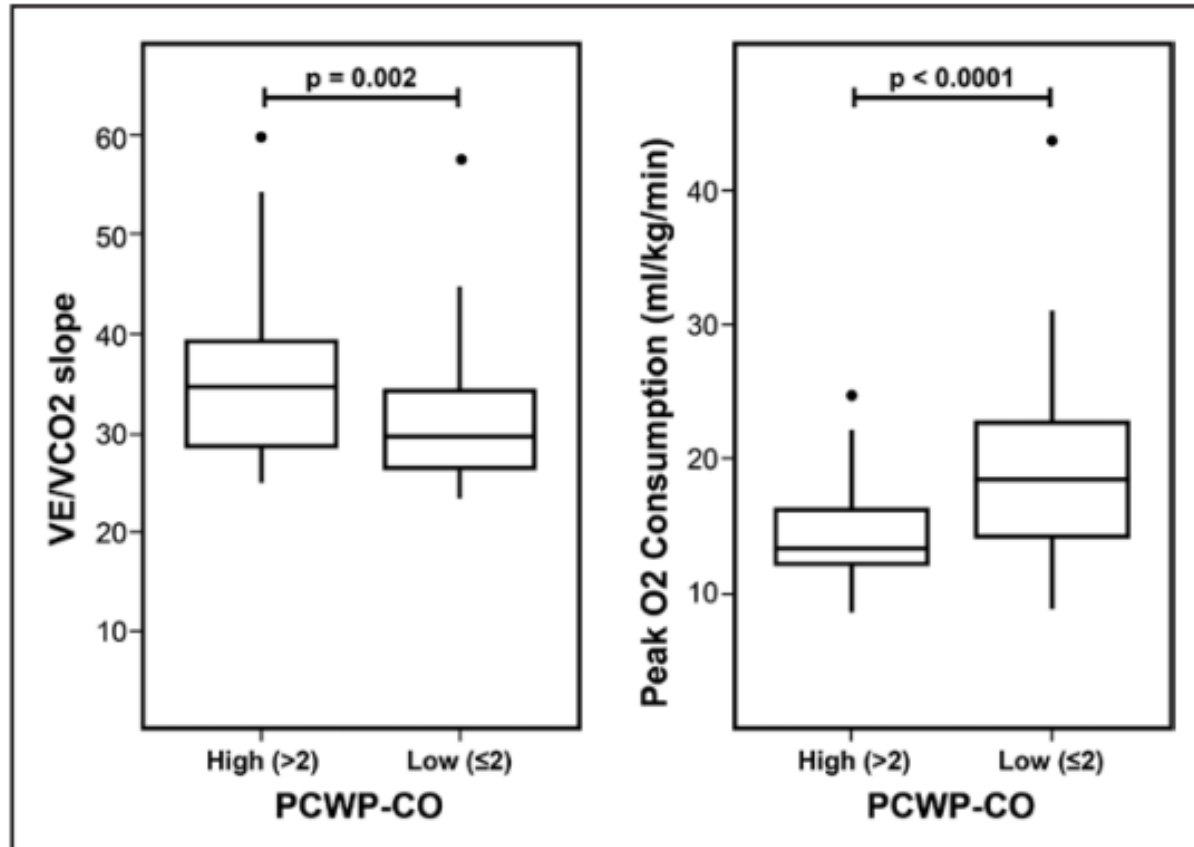
Seuil PAWP /CO slope > 2 mmHg/L/min = HFpEF

VPP et VPN proches de 100%

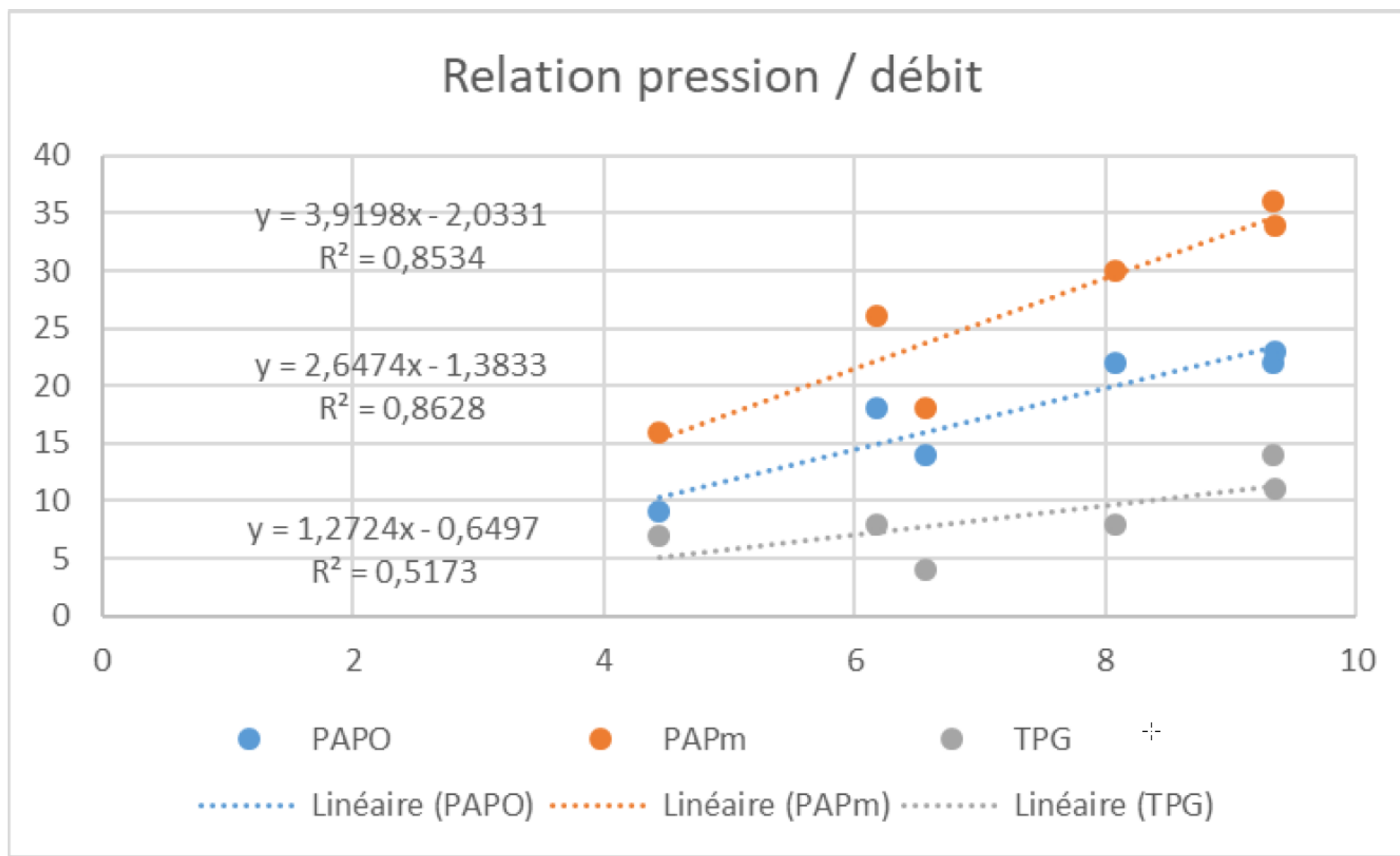


Interprétation du cathétérisme à l'effort: relation débit - PAPO

Evaluation de 110 patients avec dyspnée d'origine indéterminée; KT de repos avec PAPO normale
KT d'effort et catégorisation par pente de la relation pression – débit $>$ ou $<$ 2mmhg/l/min



Relation pression-débit chez Mme D





Merci pour votre attention

