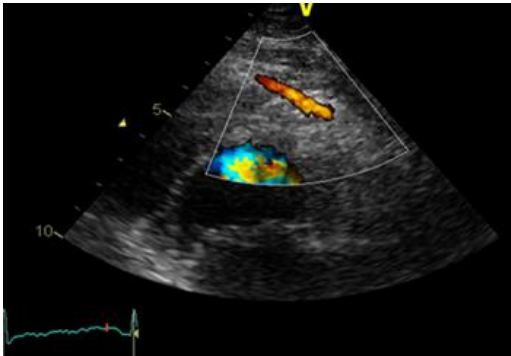
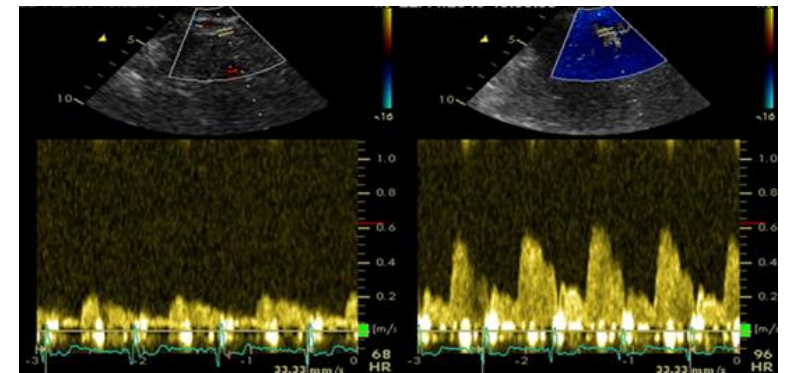


MALADIE CORONAIRE

La mesure de la réserve coronaire est-elle possible par voie non invasive (Doppler transthoracique) ?



**Dr Meimoun Patrick
CH Compiègne**



Conflits d'intérêts

Je n'ai pas de lien d'intérêt potentiel à déclarer

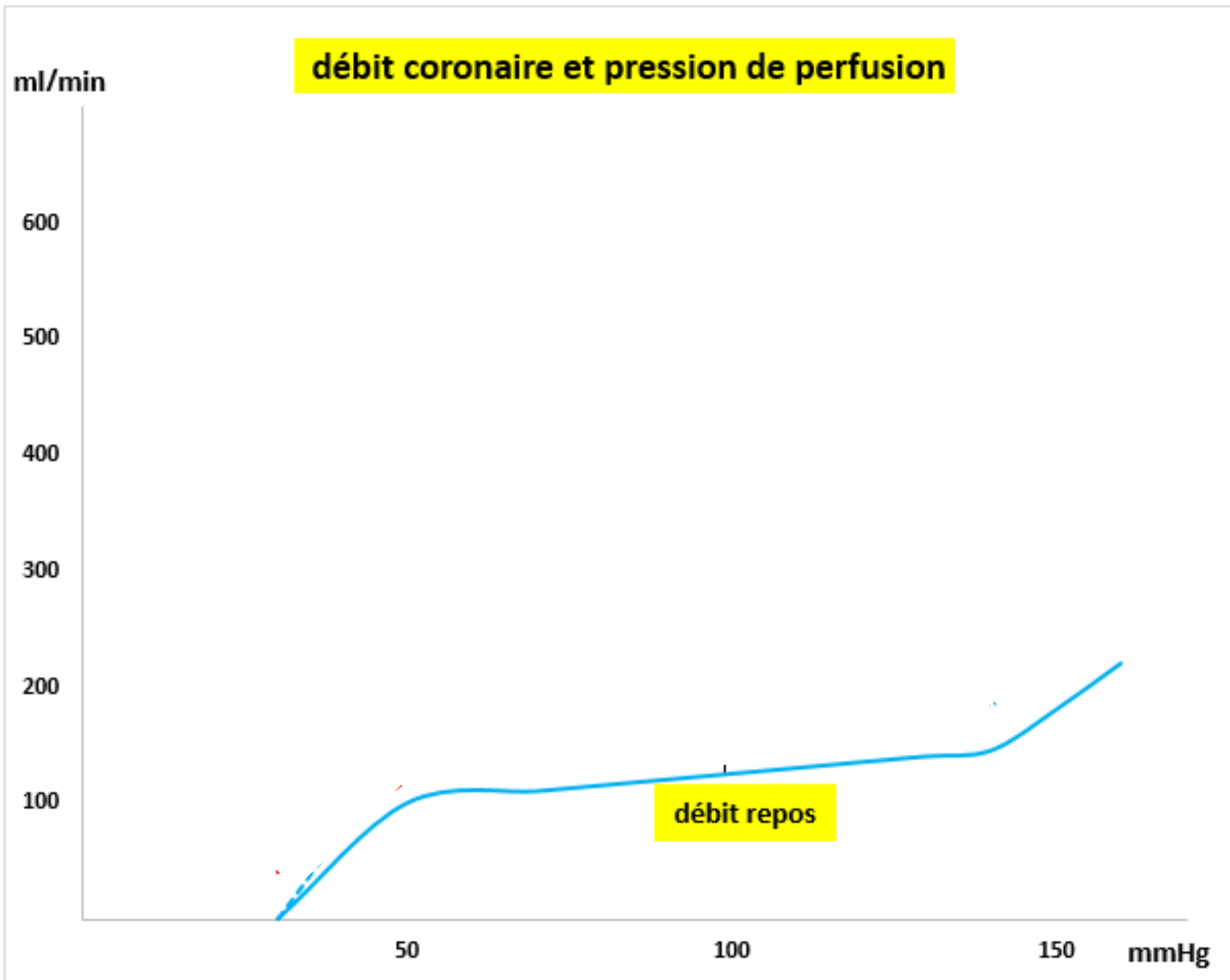


**La mesure de la réserve coronaire
est-elle
possible par voie non invasive
(Doppler transthoracique) ?**

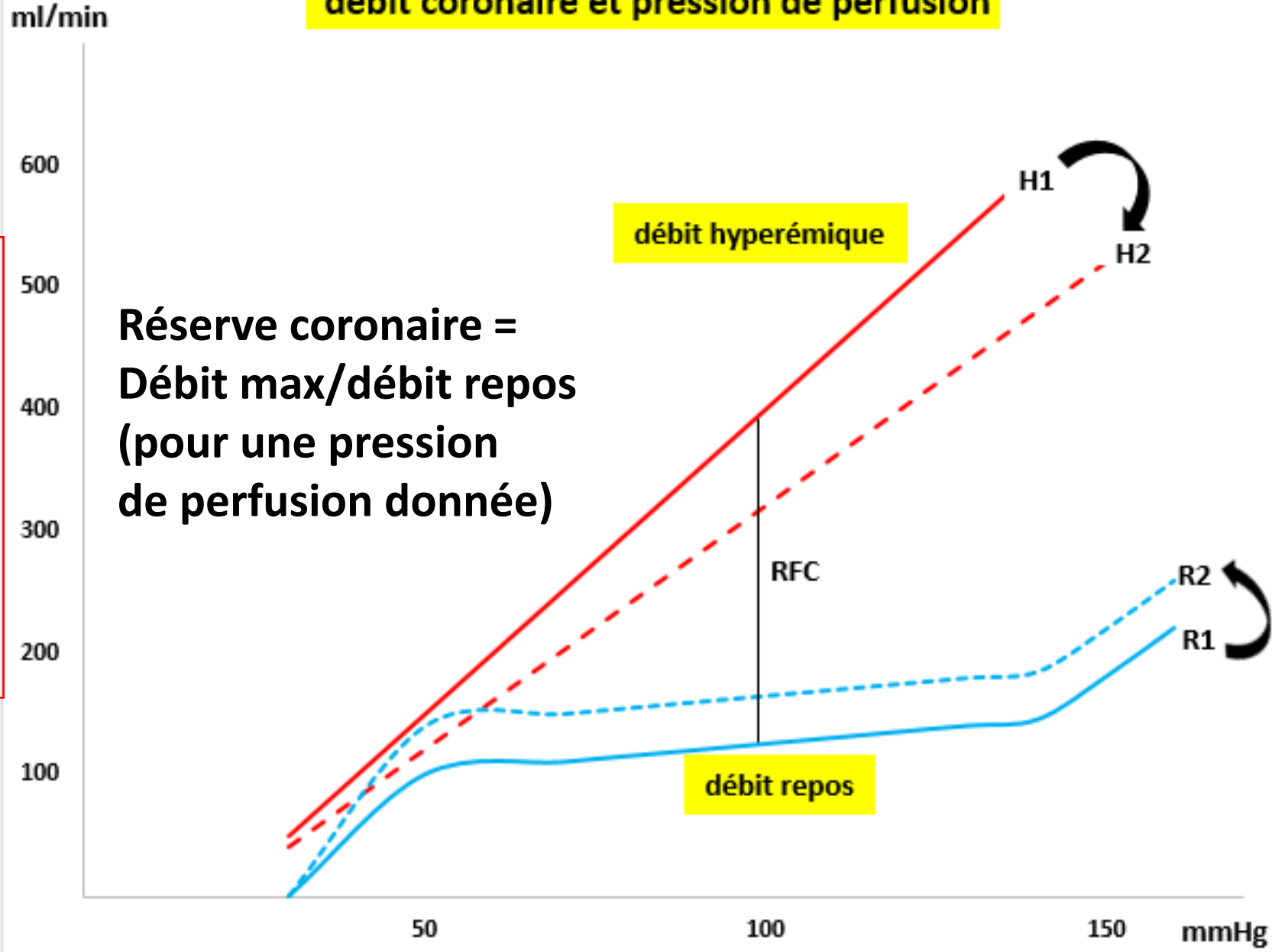
Oui

Comment ?

Pourquoi ?



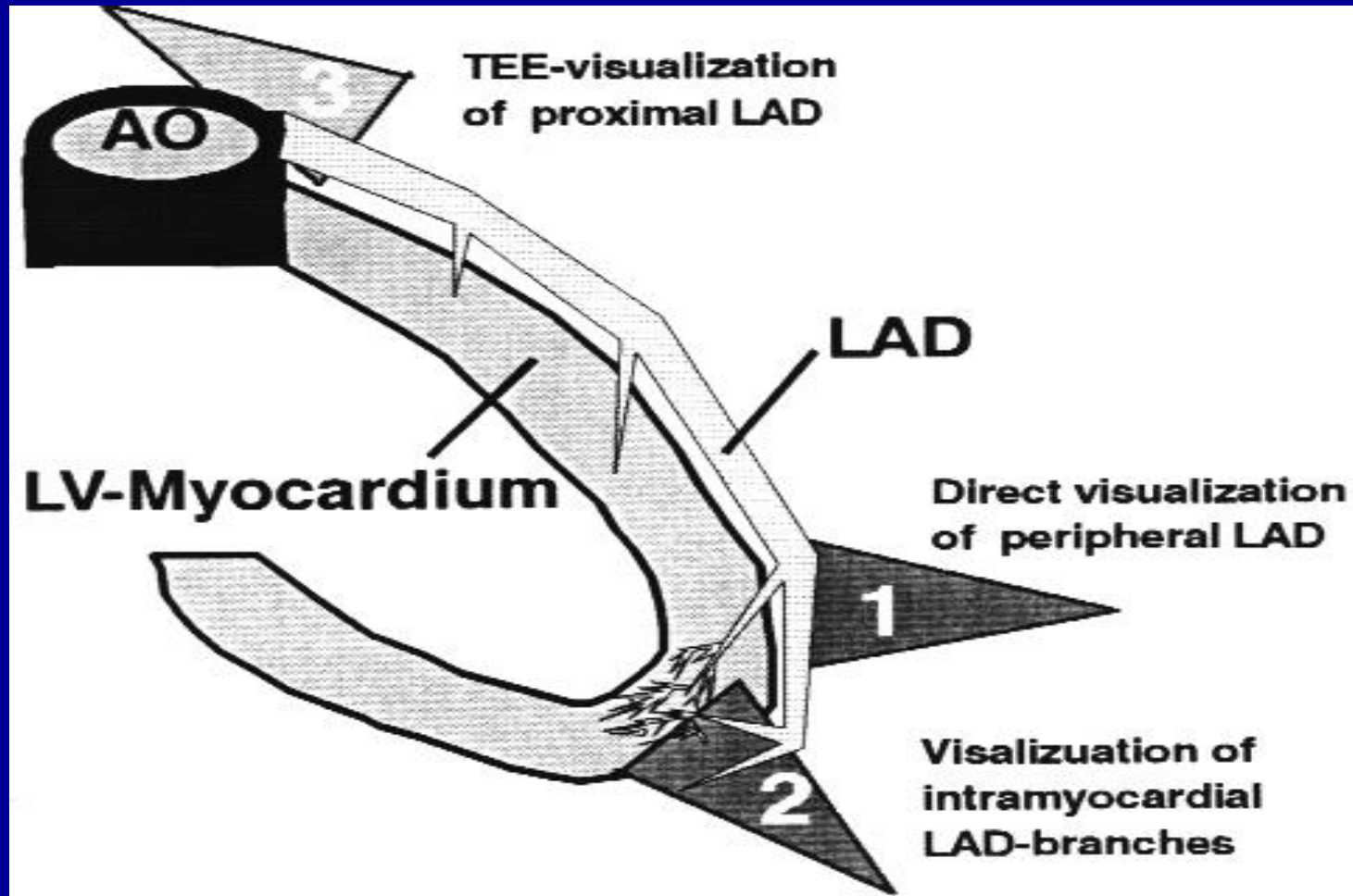
débit coronaire et pression de perfusion



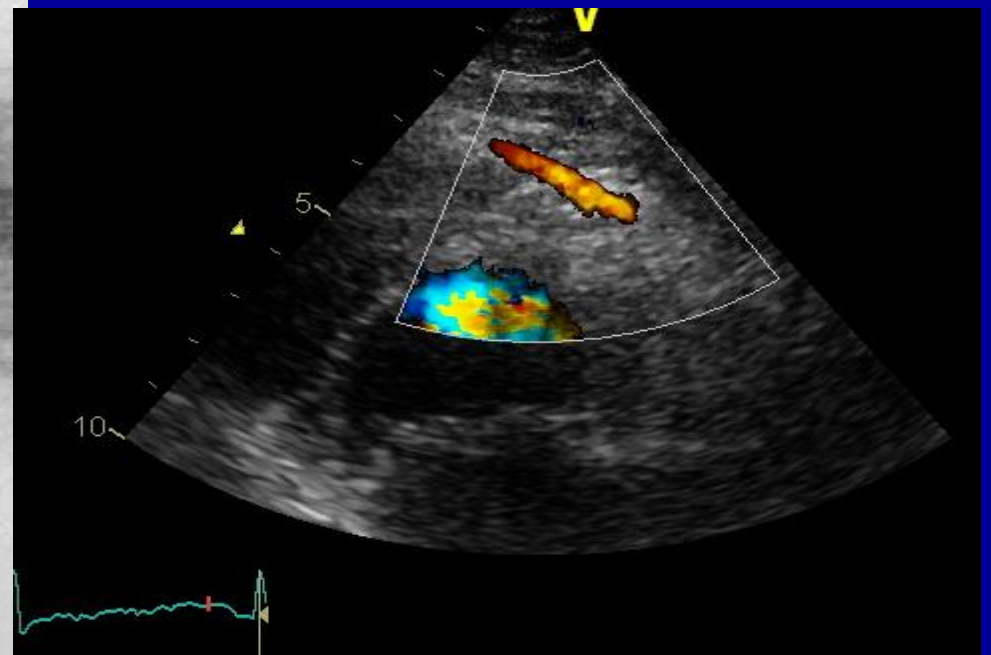
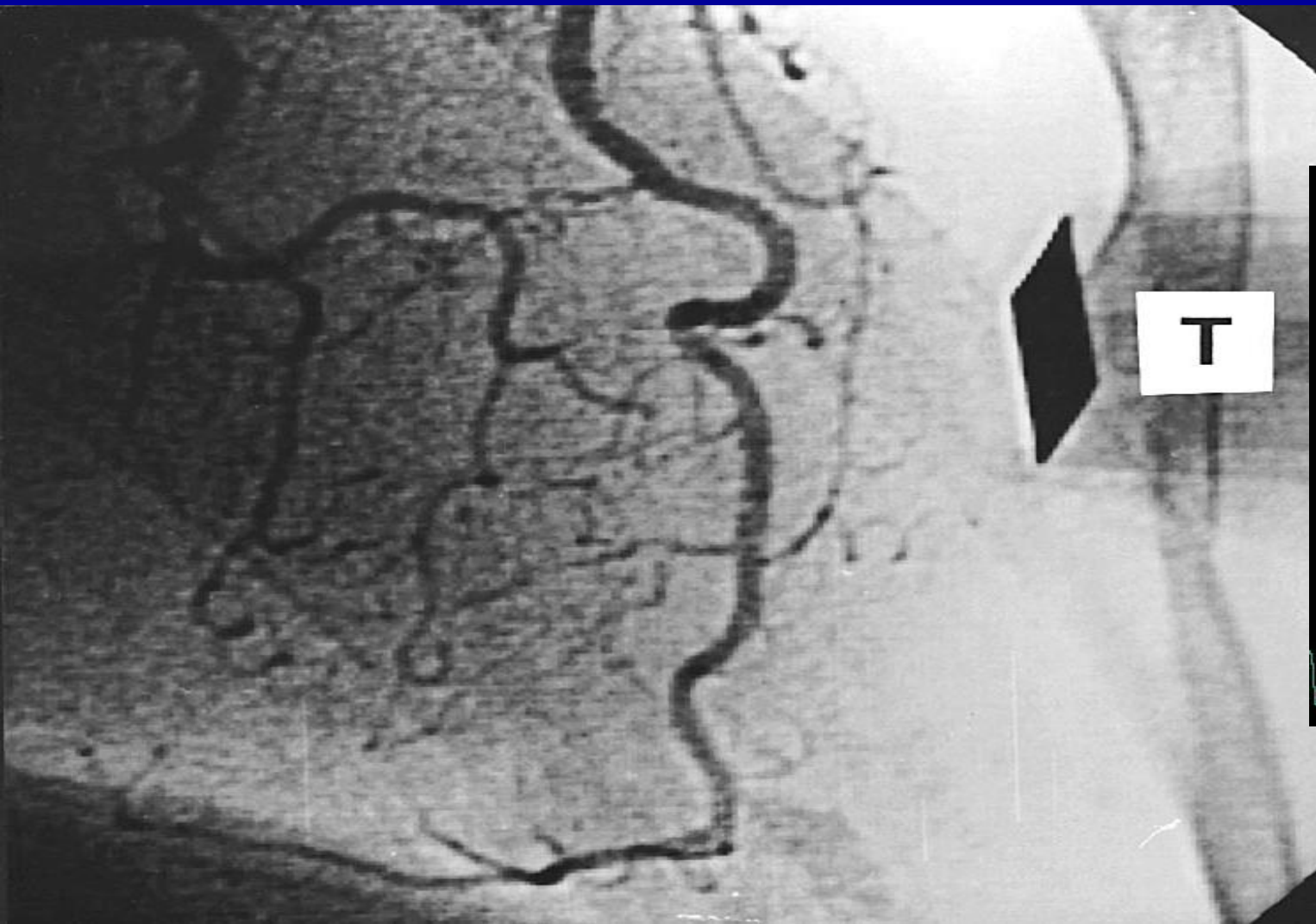
**Réserve coronaire =
Débit max/débit repos
(pour une pression
de perfusion donnée)**

- RFC influencée par:
- . pression de perfusion
 - . gradient transmural du flux coronaire
 - . résistance vasculaire coronaire
 - . fréquence cardiaque
 - . masse et volume VG
 - . précharge (PTDVG)
 - . tension pariétale VG
 - . rhéologie

Différentes portions d'IVA analysables



IVA distale

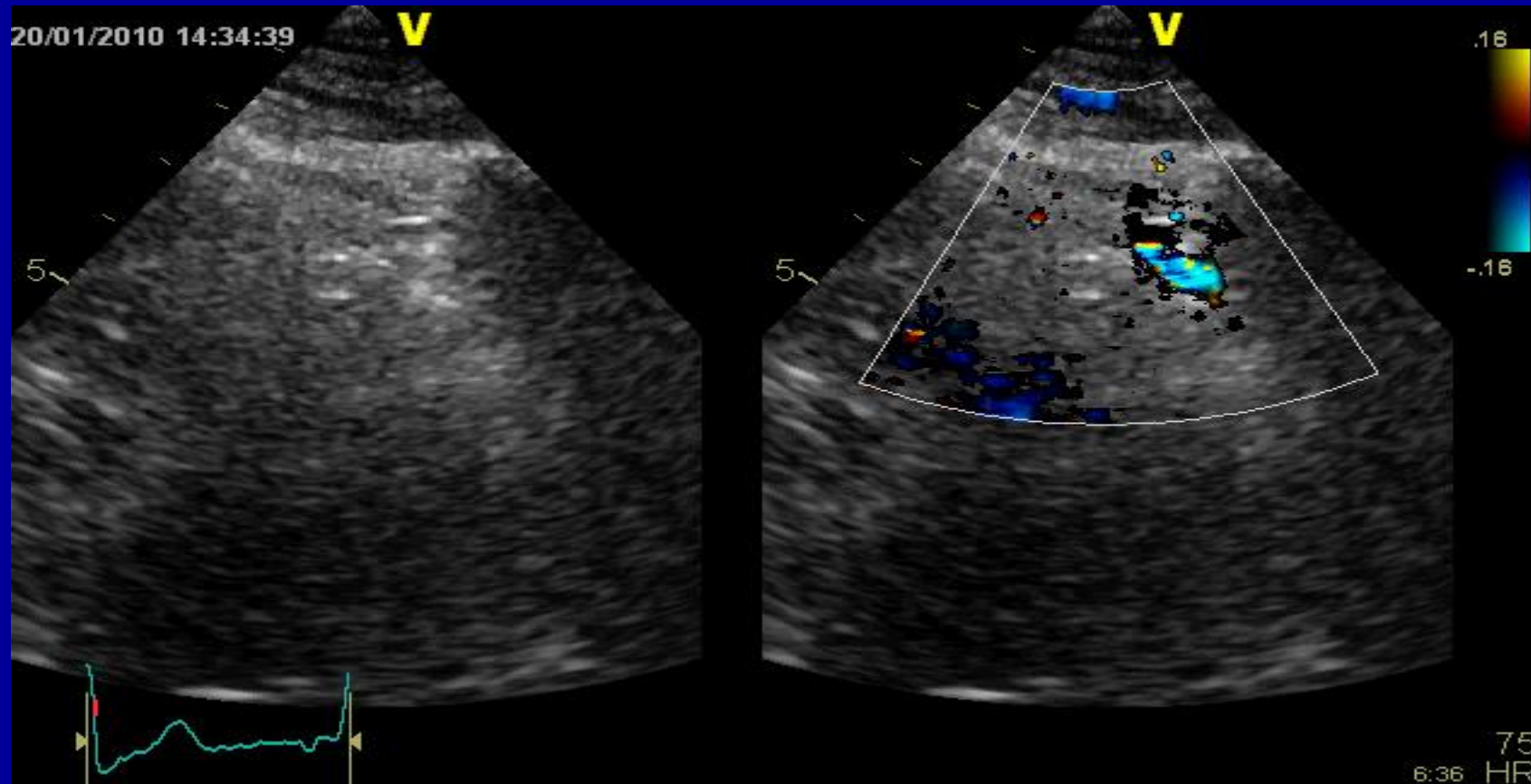


IVA distale

Parasternale modifiée

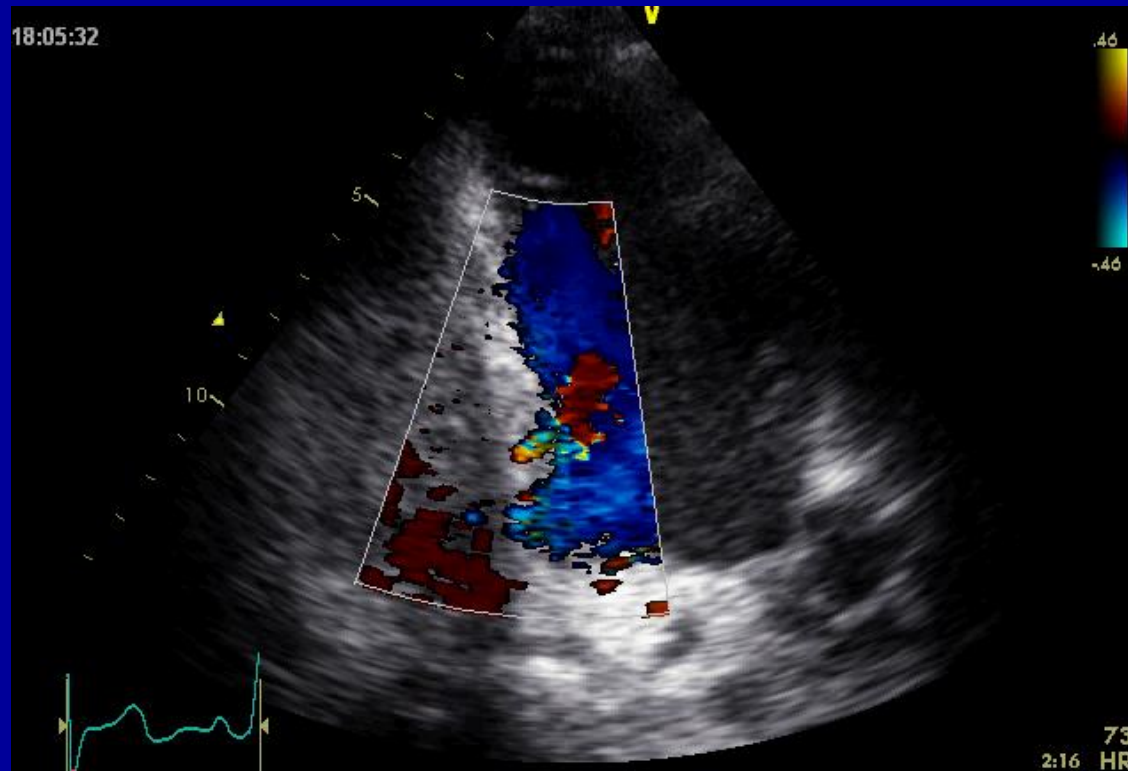
Sonde multifréquence (3V2C, M5S) ou haute fc (7 Mhz)

Échelle de vitesse basse en Doppler couleur

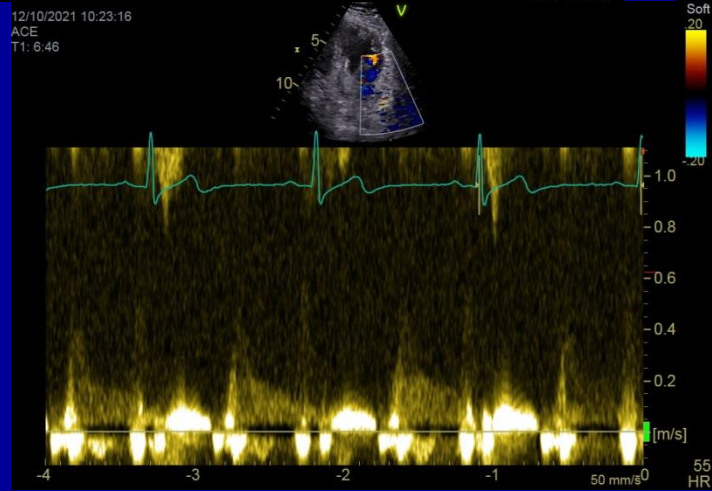
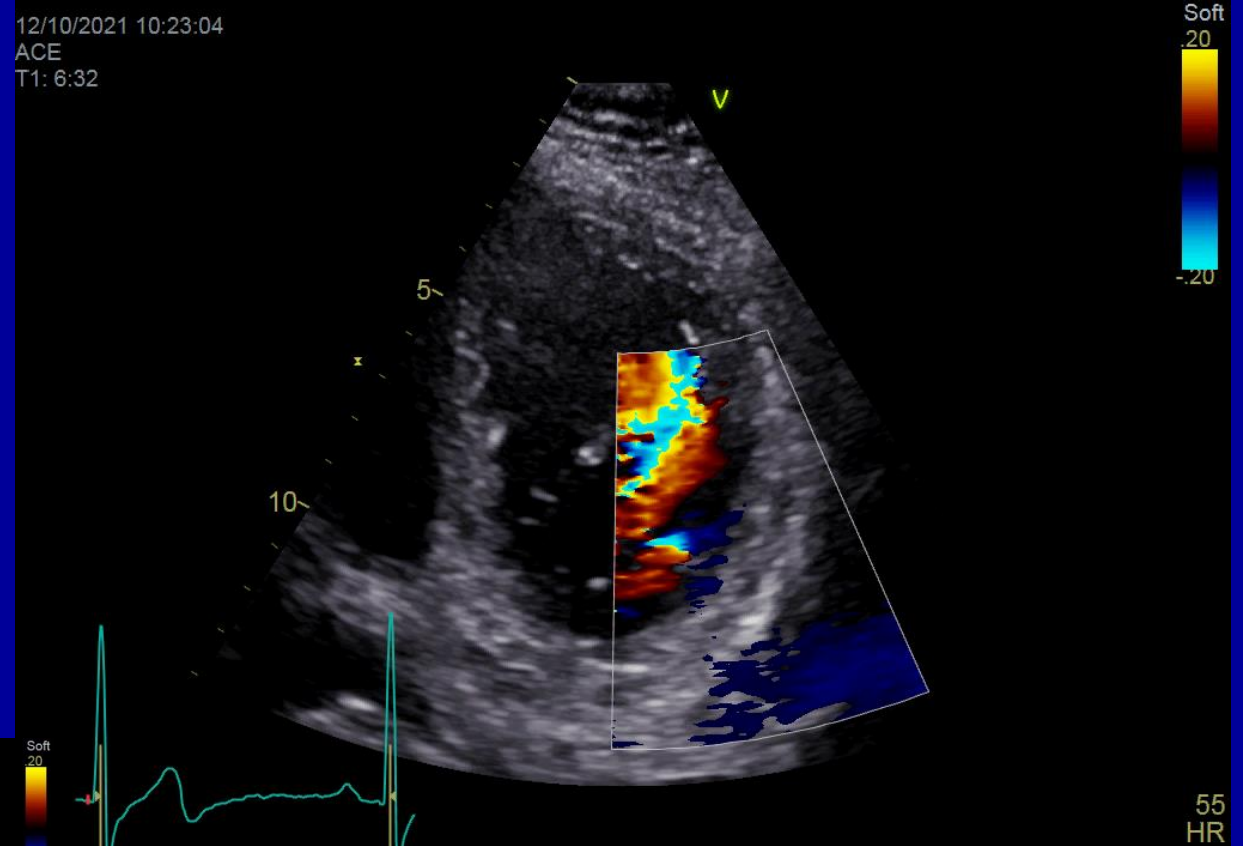
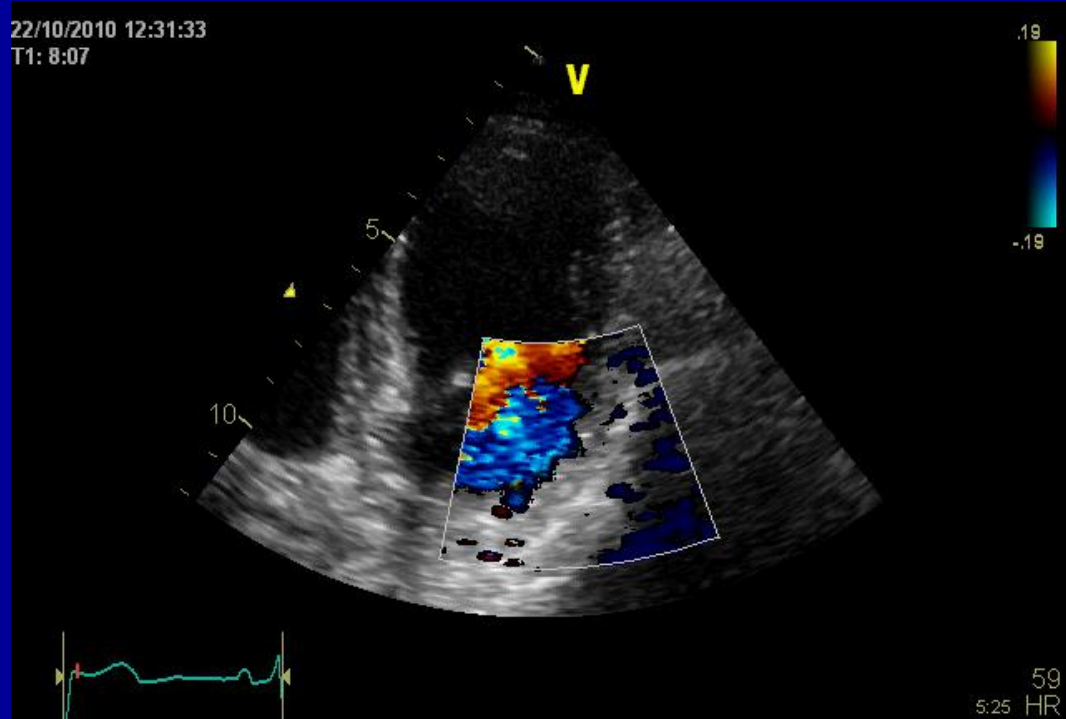


Exploration de l'artère IVP par Échographie transthoracique

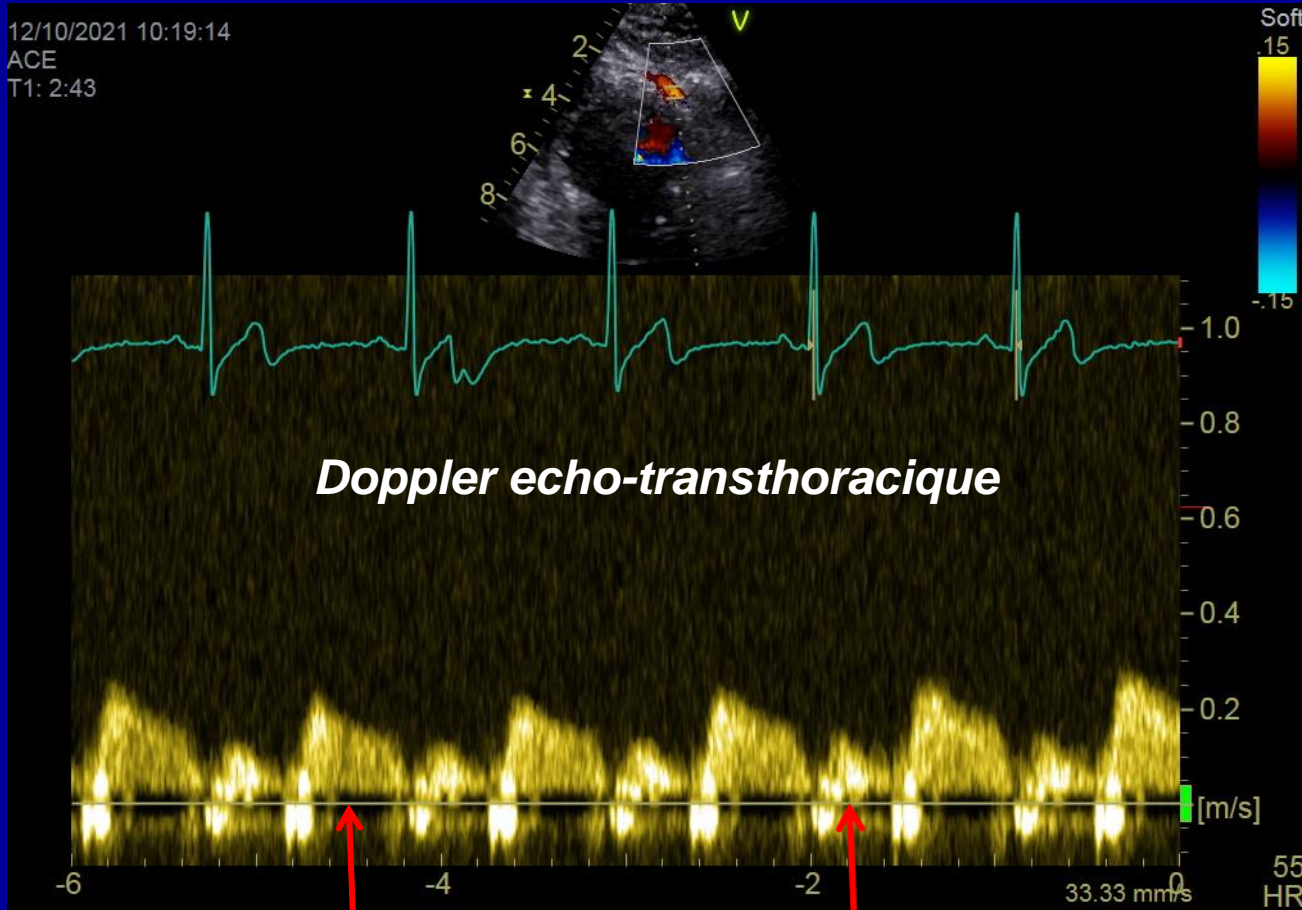
Artère profonde (sonde M5S)
Incidence 2 cavités modifiée
sinus coronaire: repère
parallèle au flux Doppler
notion de dominance coronaire



artère circonflexe et branches

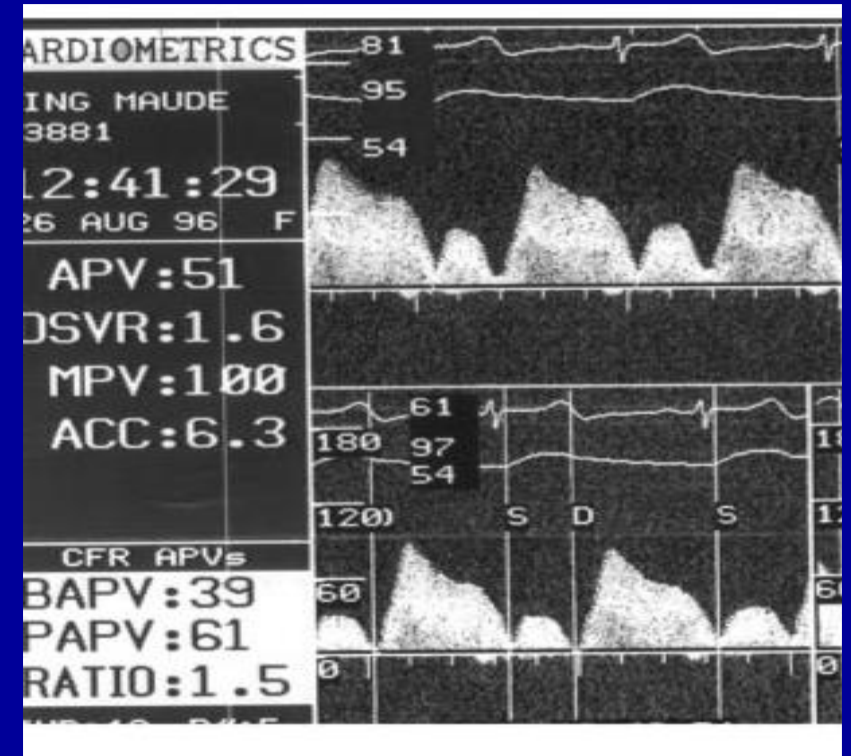


Flux Doppler pulsé coronaire



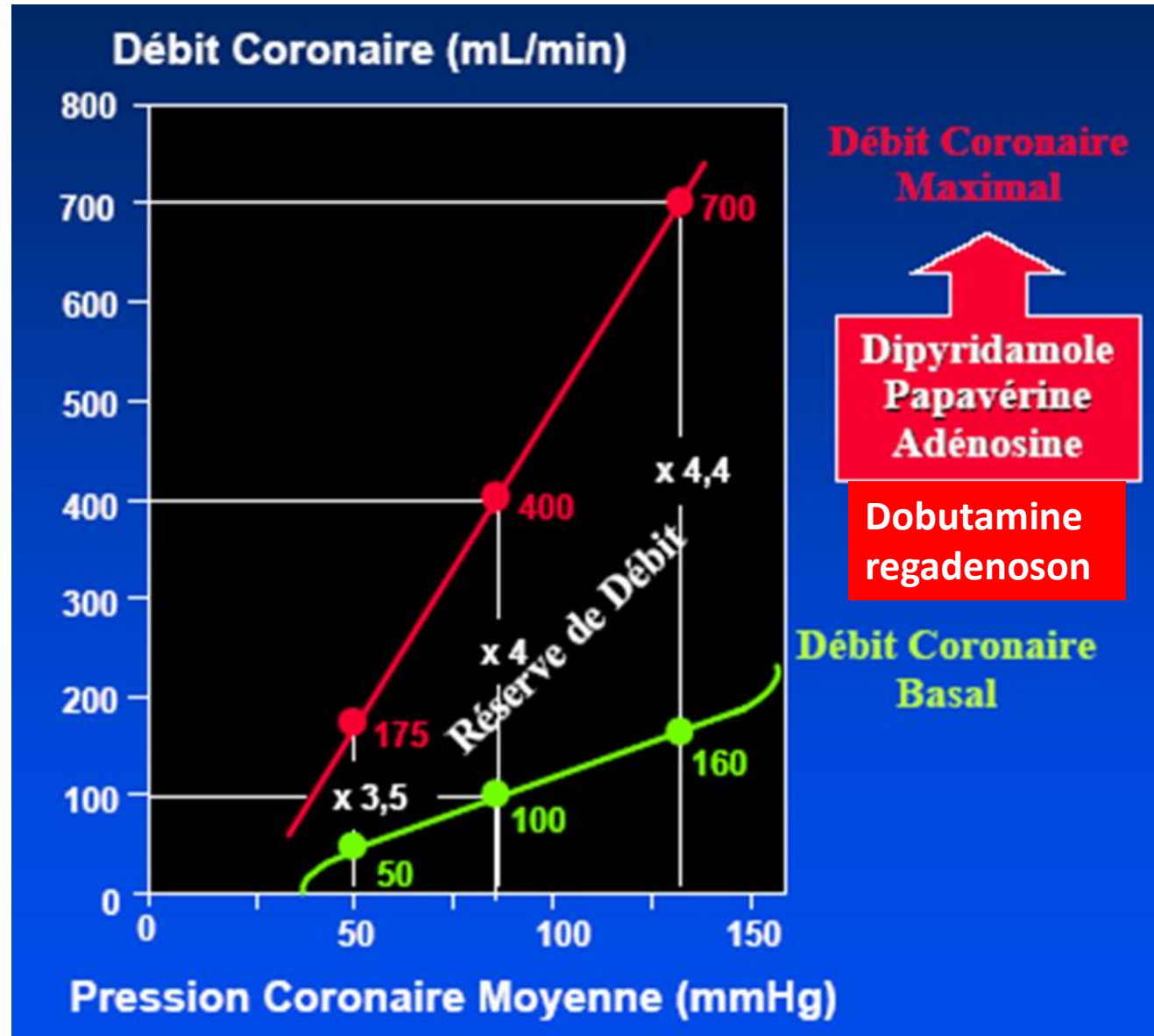
Flux diastolique

Flux systolique

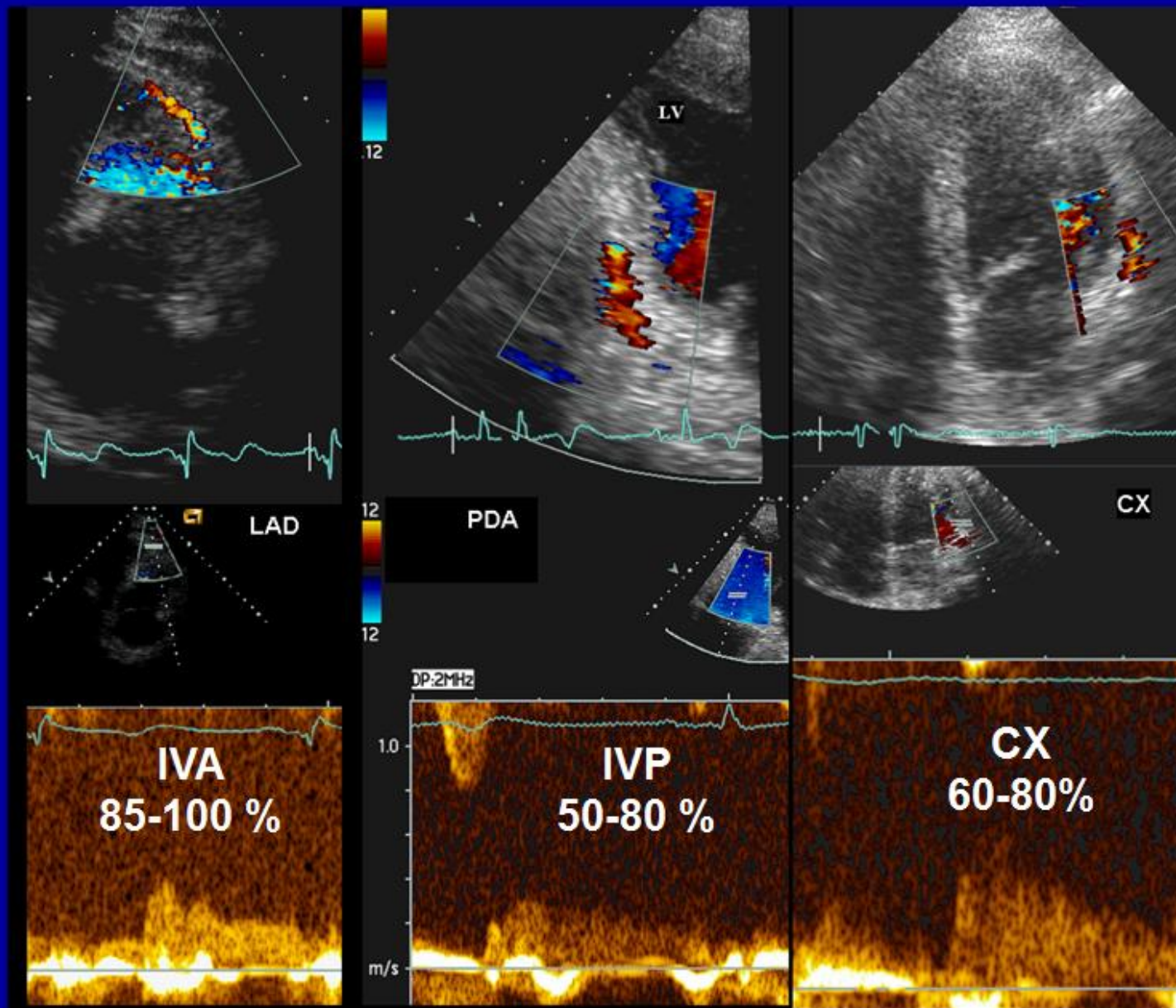


Doppler invasif

vasodilatateurs pour mesurer la réserve coronaire



FAISABILITE DE LA RFC NON INVASIVE



Hozumi et al, *JACC* 1998
Lambertz et al, *JASE* 1999
Caiati et al, *Circulation* 1999
Lethen et al, *Eur Heart J* 2003
Voci et al, *JASE* 2003
Hyodo et al, *JASE* 2010

.....

Produit de contraste et étude du flux coronaire par ETT

- SONOVUE IV en bolus de 0.1 ml (répété si nécessaire)

UTILISATION DE CONTRASTE IV:

Augmente la faisabilité de mesure du flux coronaire par ETT
iva, ivp, cx

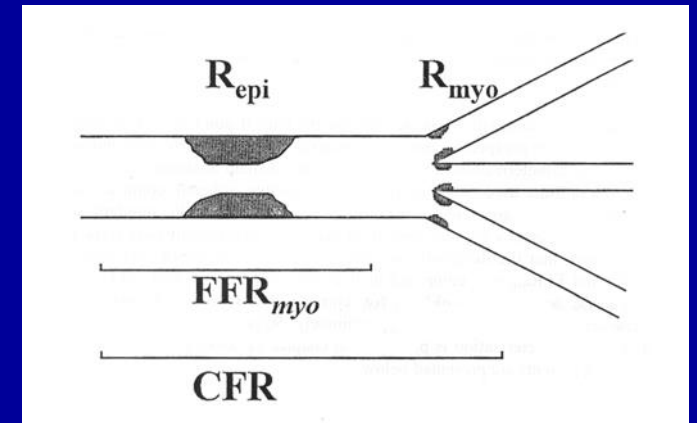
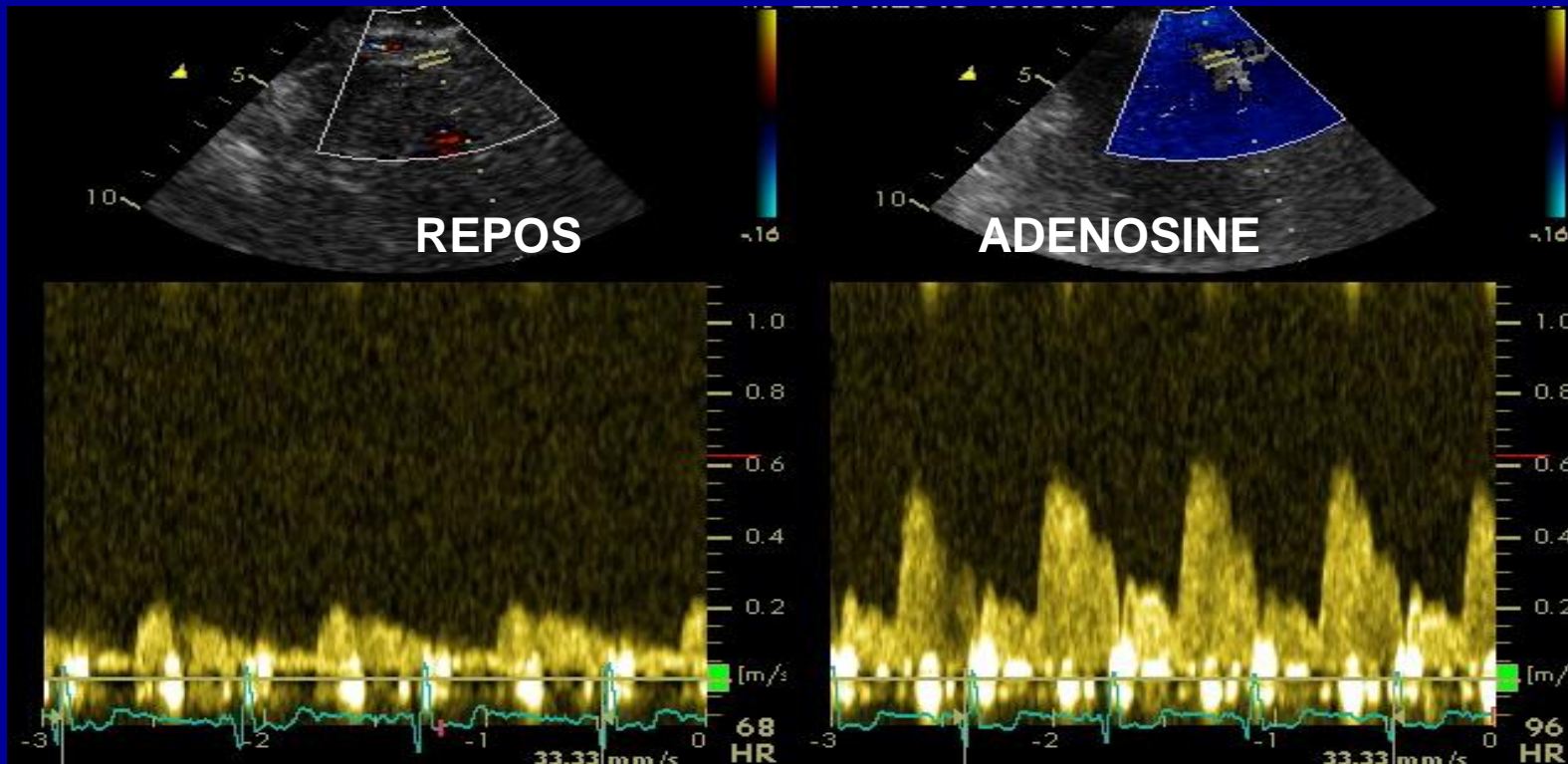
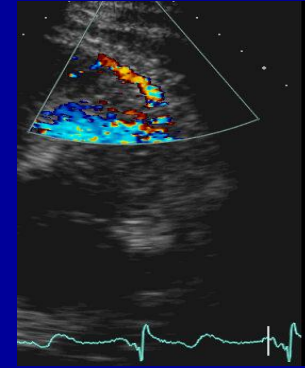
Jusqu'à 100 % au niveau de l'IVA



Caiati et al, *Circulation* 1999 (100% au repos après levovist versus 68% avant); CFR(dipyridamole) 98 % avec levovist vs 58% sans); Caiati et al, *JACC* 1999 (100% CFR adénosine avec levovist)

Mesure de la Réserve Coronaire par Echographie Doppler Transthoracique

- Calcul de la réserve du flux coronaire: RFC
- $RFC = V_{\text{hyperémie}} / V_{\text{repos}}$
- V : Vitesse de flux coronaire
- V_{max} ou V_{moyenne}



**RFC = évaluation globale:
artère épiscopordique
+ microcirculation coronaire**



Two-Compartment Model of the Coronary Circulation

Conductance Arteries

Resistance Arteries

>500 μ

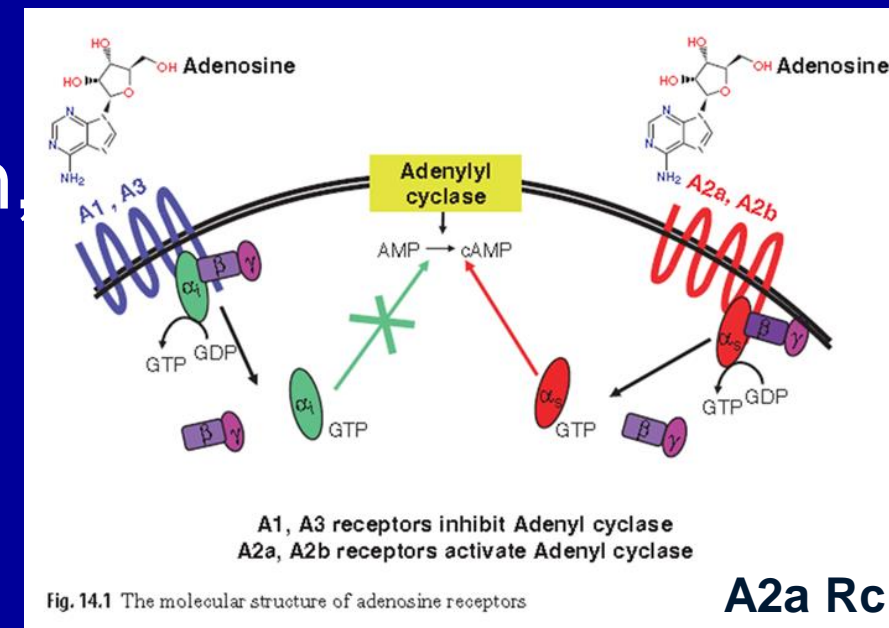
<500 μ

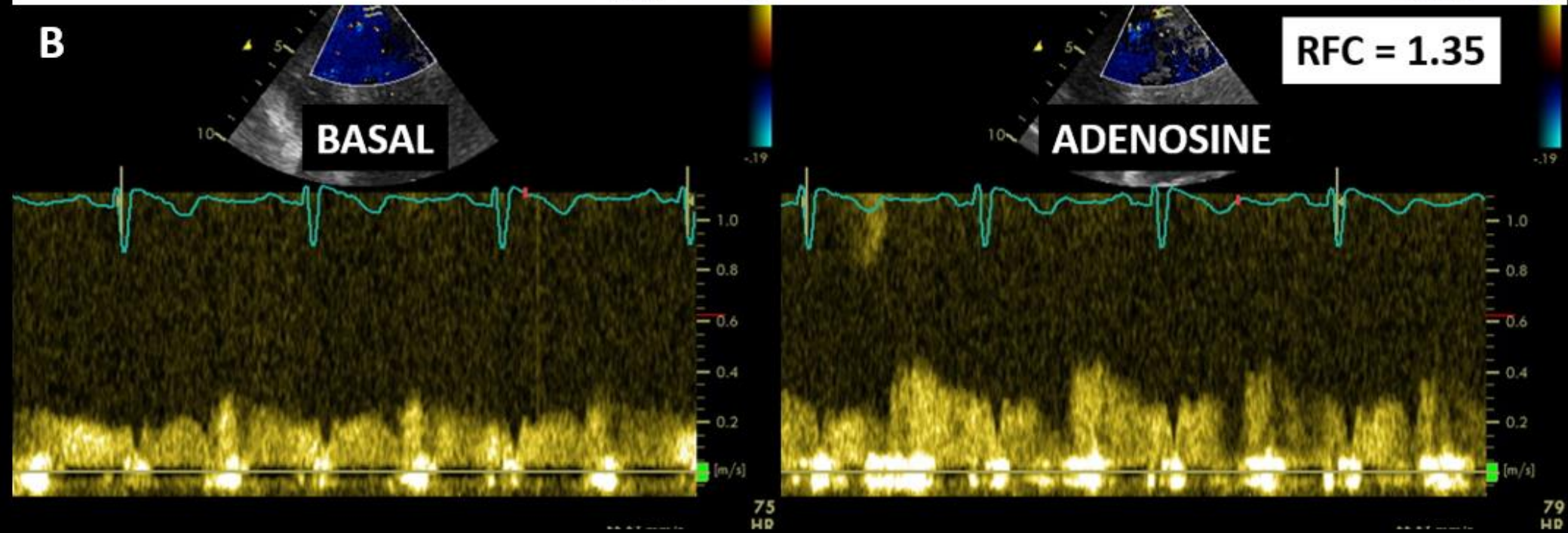
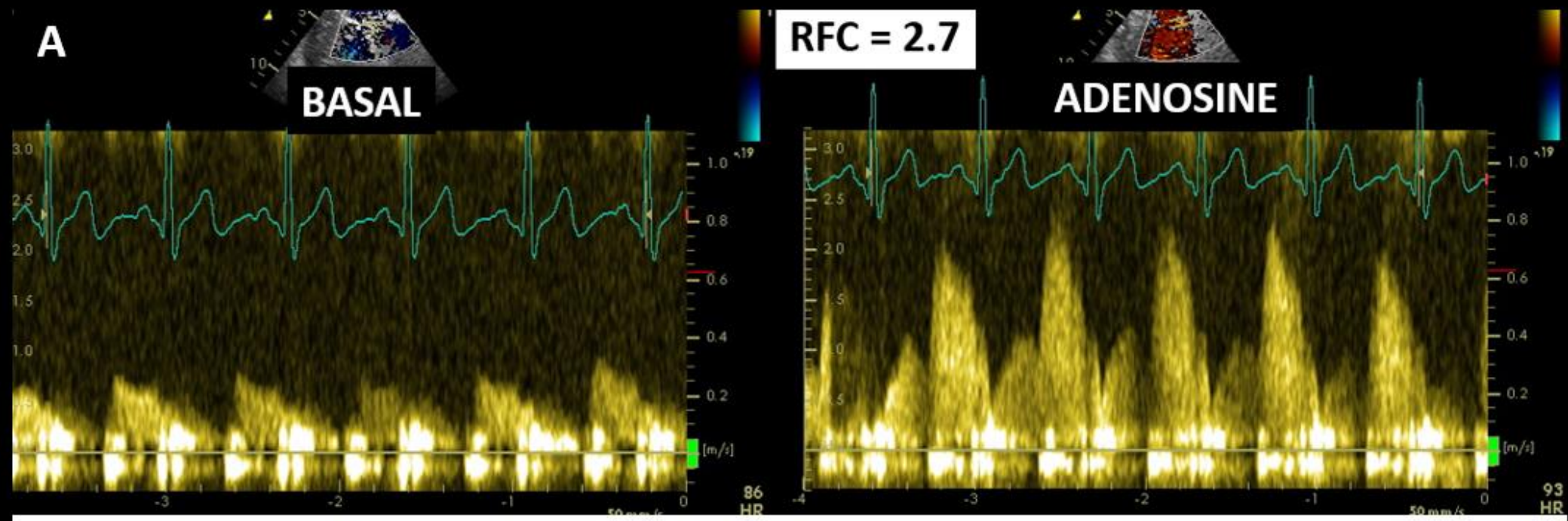
Microvasculature



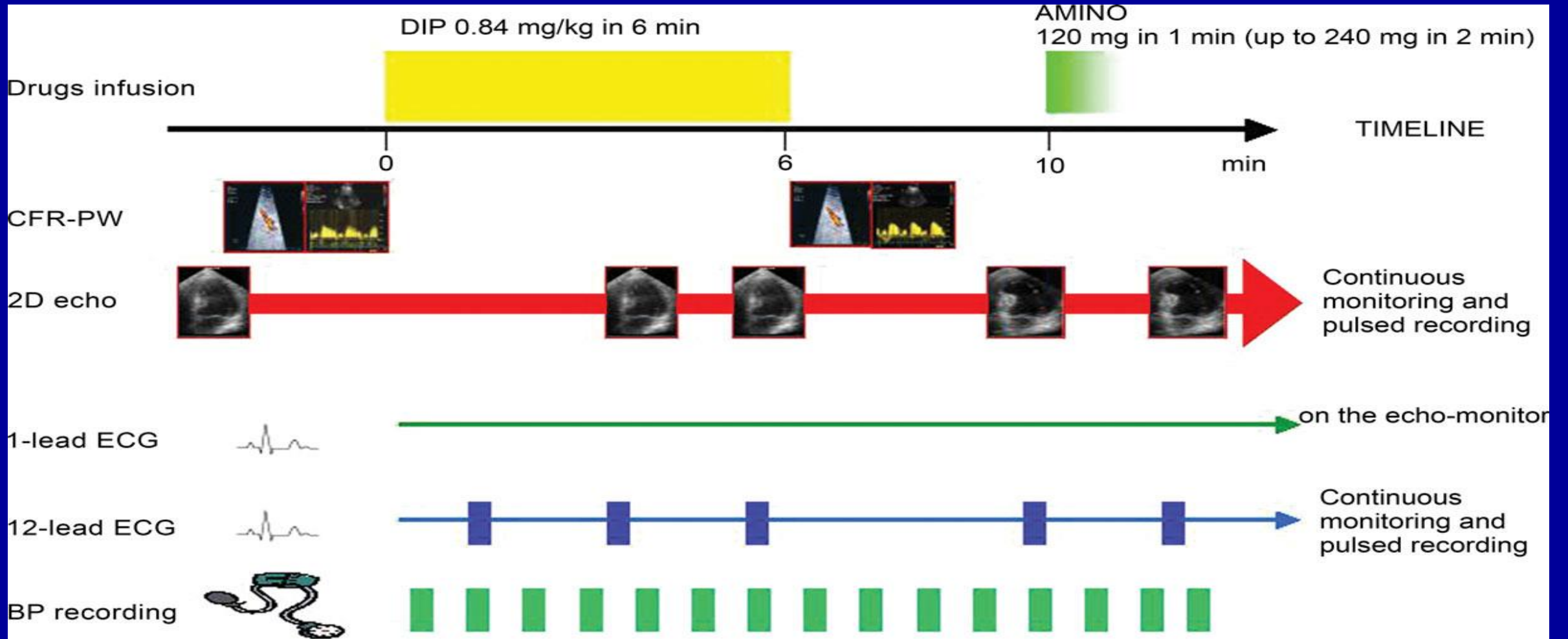
Mesure de la Réserve Coronaire par Echographie Doppler Trans thoracique Adénosine

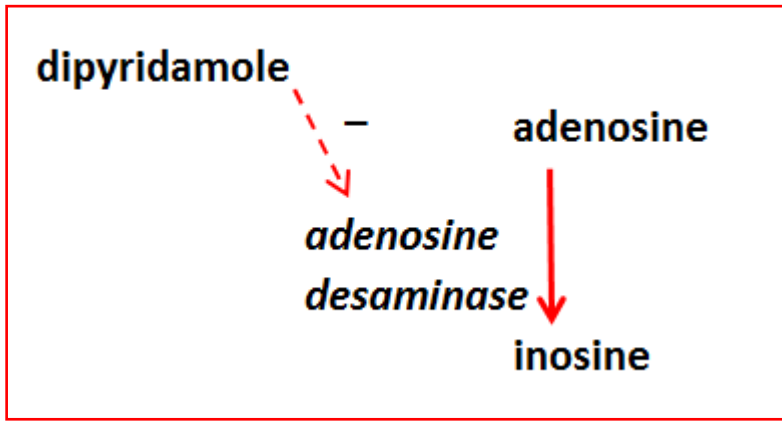
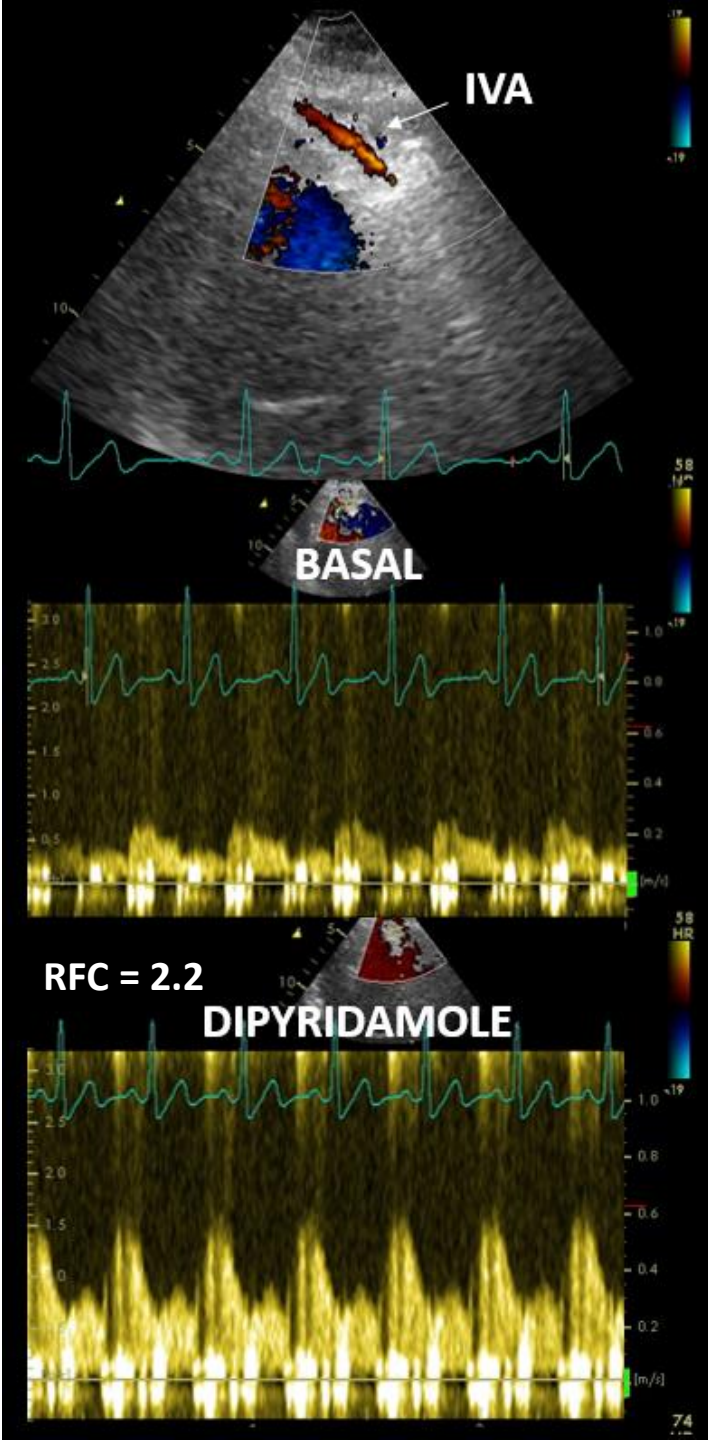
- Adénosine 0.14 mg/kg/mn IV sur 2 min
- effet max $55 \pm 33s$ (demi-vie 10s)
- effets 2° : hyperpnée (flush, oppression, bradycardie, hypotension)
- monitoring : TA, fc, scope, ECG
- arrêt des dérivés avec xanthine (café, thé, 12h avant, théophylline 24h avant)
- CI: asthme, BAV 2 et 3





Dipyridamole stress écho





Dipyridamole 0.84mg/kg (sur 6 min):

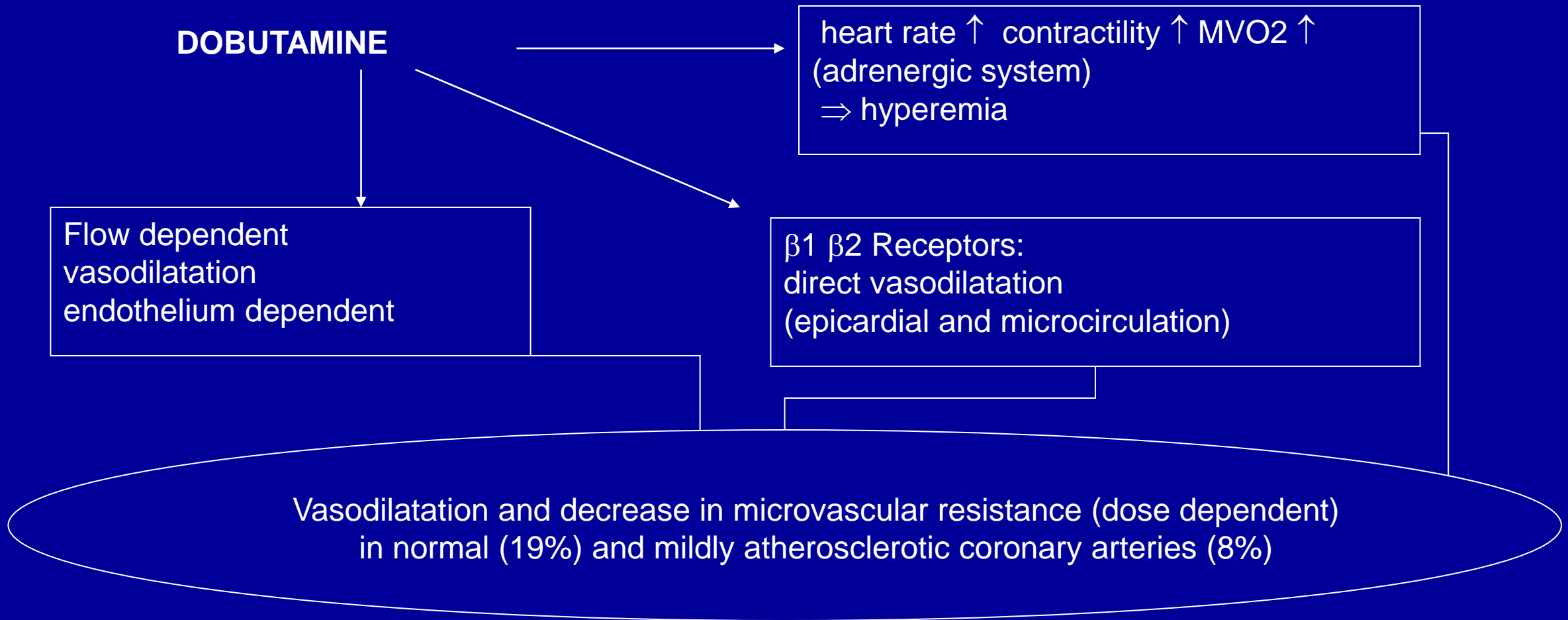
CFR adénosine = 2.85 ± 0.78

CFR dipyridamole = 3.03 ± 0.7 (P = NS)

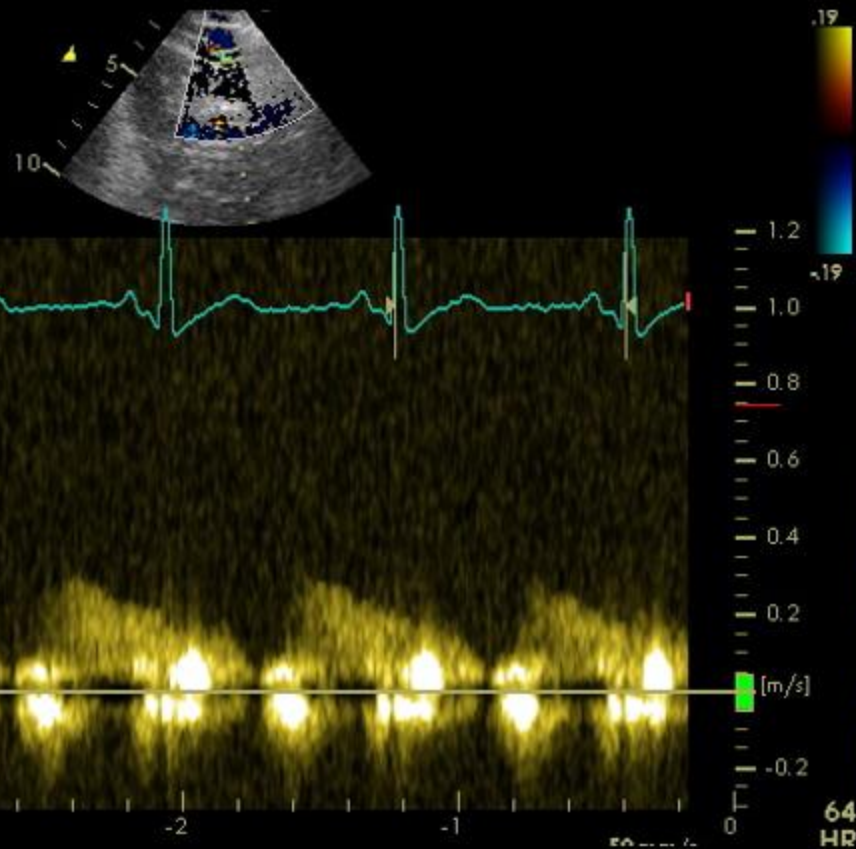
N = 20 patients, IVA perméable

Lim et al, *JASE* 2000

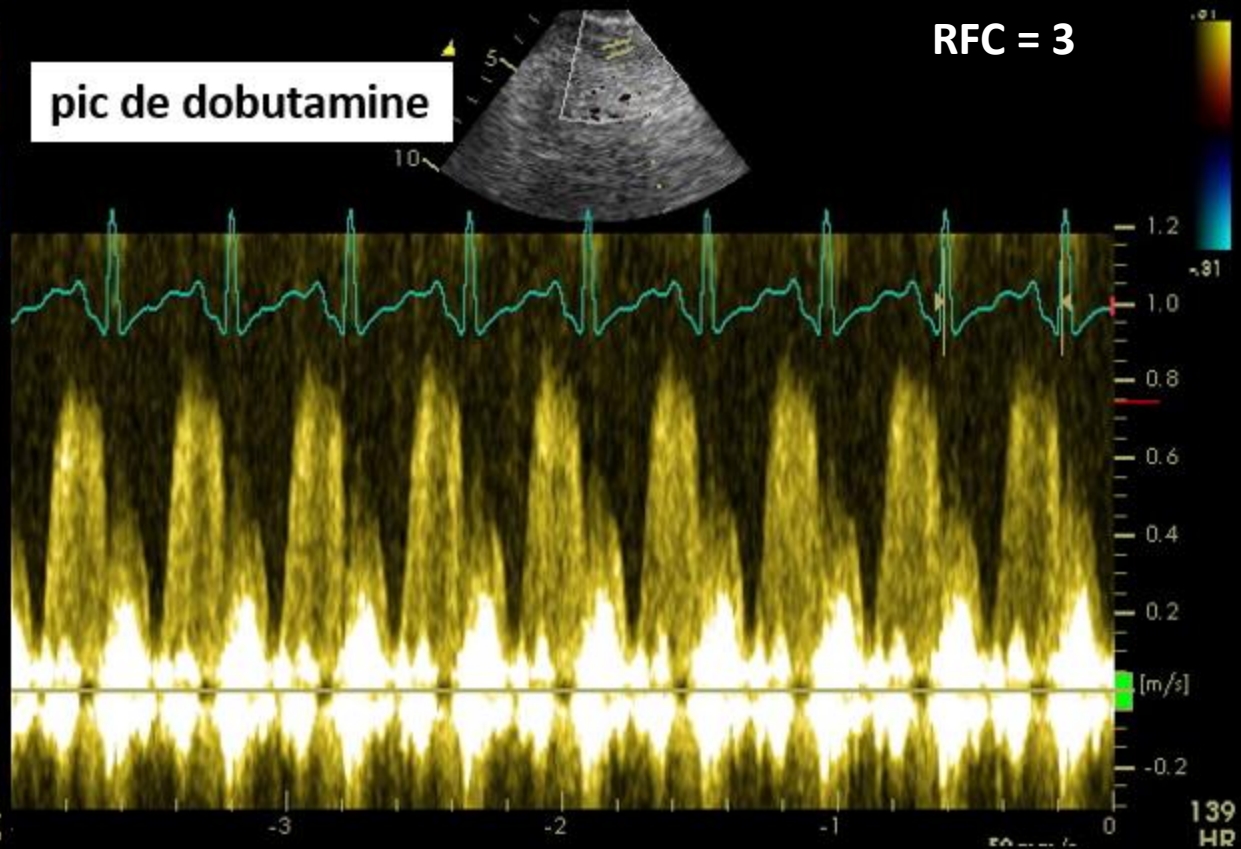
Flux coronaire et dobutamine



État basal

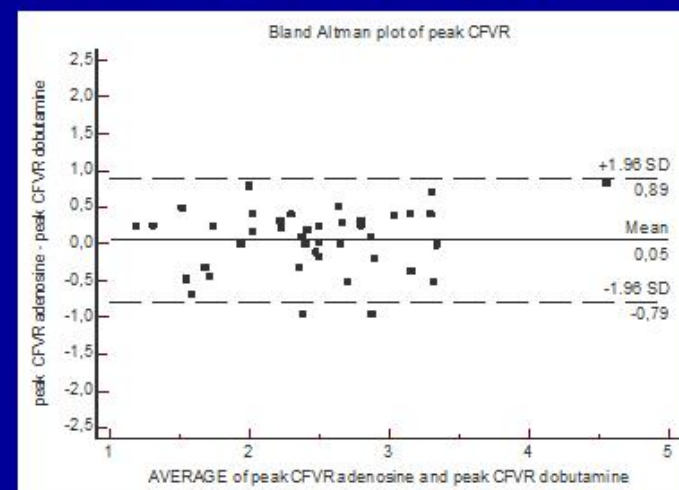
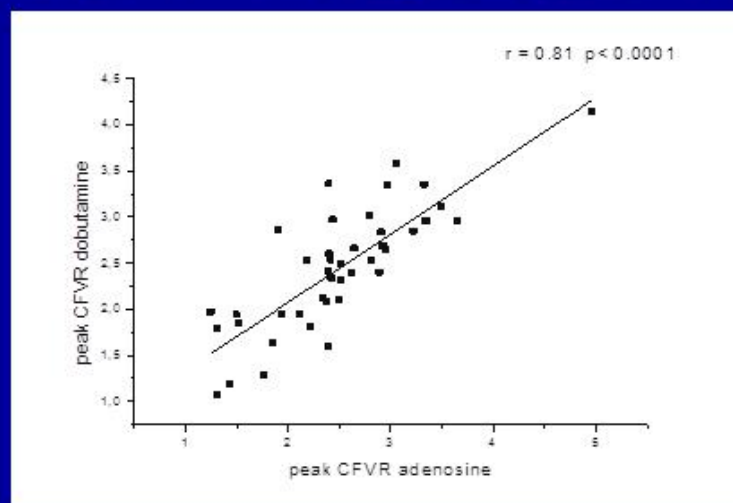
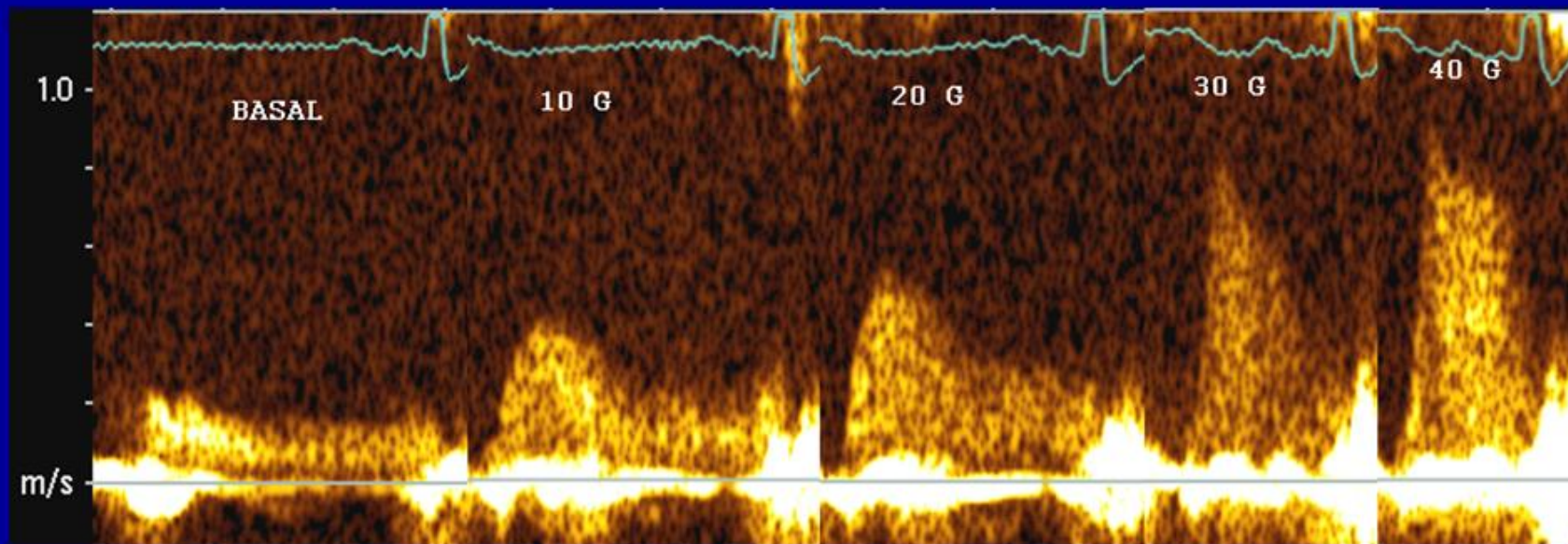


pic de dobutamine



RFC = 3

CORONARY FLOW RESERVE: COMPARISON BETWEEN ADENOSINE AND DOBUTAMINE



A quoi sert la mesure de la RFC et du flux coronaire ?

TABLEAU 2

Indications potentielles de la mesure de la réserve de flux coronaire (RFC) par Doppler transthoracique

- détection de sténose coronaire significative
- détection de restenose après revascularisation
- évaluation de sténose coronaire intermédiaire (40-70%)
- détection d'atteinte microcirculatoire après infarctus
- évaluation des pontages coronaires
- couplage perfusion-fonction lors de l'échographie de stress
- évaluation de la microcirculation dans diverses pathologies (HTA, valvulopathies, cardiomyopathies, ...)
- évaluation pronostique (maladie coronaire, cardiomyopathies, transplantation cardiaque)

Indications potentielles du recueil du flux coronaire basal

- diagnostic de reperfusion après infarctus aigu (thrombolyse)
- diagnostic différentiel avec syndrome de tako-tsubo typique
- diagnostic de no-reflow microcirculatoire après infarctus recanalisé
- évaluation des pontages coronaires
- aide au réglage du ballon de contre pulsion intra aortique
- détection de pont myocardique *
- diagnostic d'occlusion coronaire d'amont
- diagnostic de sténose coronaire très sévère par le rapport D/S **

* aspect en doigt de gant de la portion initiale du flux diastolique

** D/S rapport du flux diastolique sur le flux systolique:

D/S < 1.5-1.6 si la fonction systolique et la taille du VG sont normales
et D/S < 1.8 si dysfonction systolique et dilatation VG

Réserve coronaire non invasive

. Comparaison avantageuse de la RFC non invasive avec

Médecine nucléaire (scintigraphie myocardique, TEP); Échographie de stress;

Coronarographie, Coro scanner; FFR IFR ...

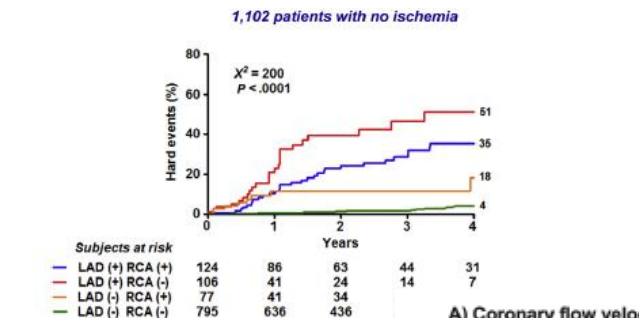
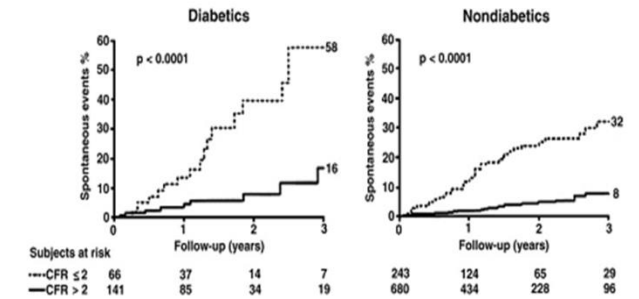
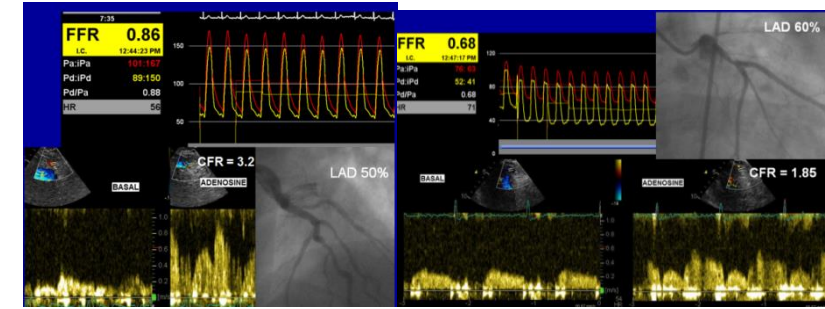
Pour prédire une sténose fonctionnellement significative

. Valeur pronostique indépendante dans maladie coronaire,

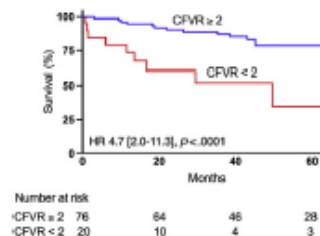
cardiomyopathies diverses, après transplantation cardiaque, ...

. Prédit la capacité d'effort dans des situations diverses,

incluant le RAC serré, la maladie coronaire



A) Coronary flow velocity reserve (CFVR)



Rigo et al, *Eur Heart J* 2006, 2008; Cortigiani et al, *JACC* 2007, *JACC* 2012, *JASE* 2019, Lowenstein et al, *JASE* 2014; Meimoun et al, *JASE* 2005,

JASE 2011, *JASE* 2017, Diamon et al, *JACC* 2001, Fujimoto et al, *J Cardiol* 2004, Tona et al, *Circulation* 2006, Bjerre et al, *JASE* 2021, Gan et al, *J Am Heart Assoc* 2017

ARTERE EPICARDIQUE

Valeur seuil de RFC = 2

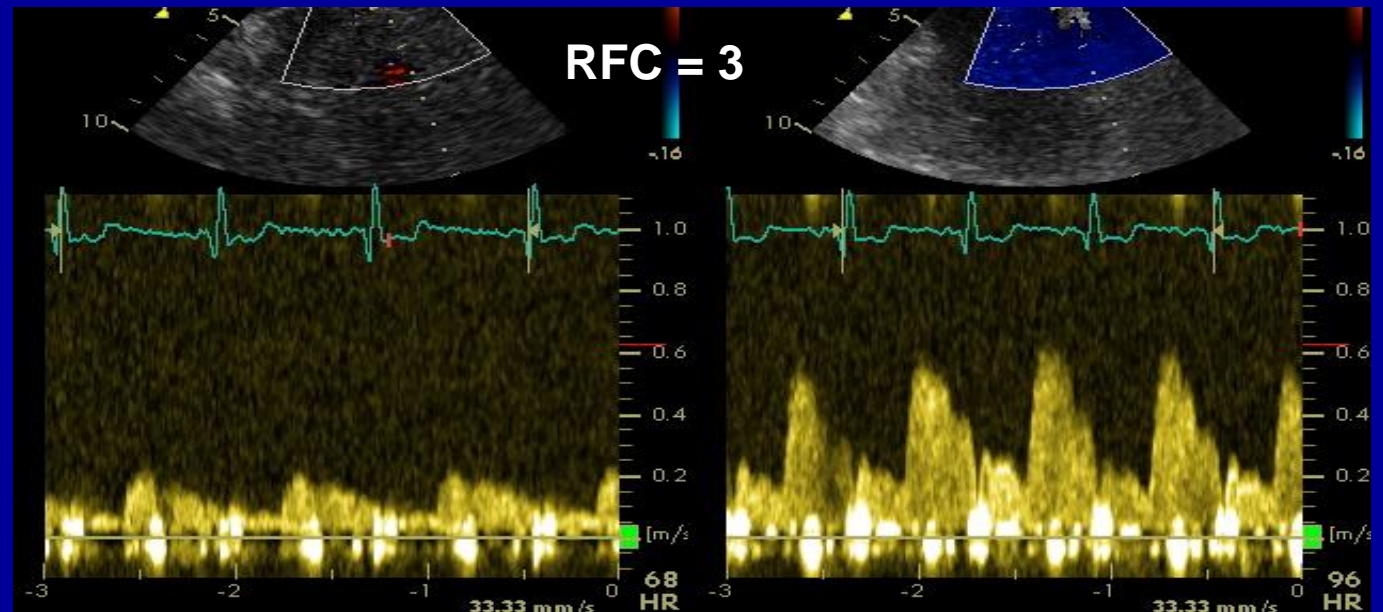
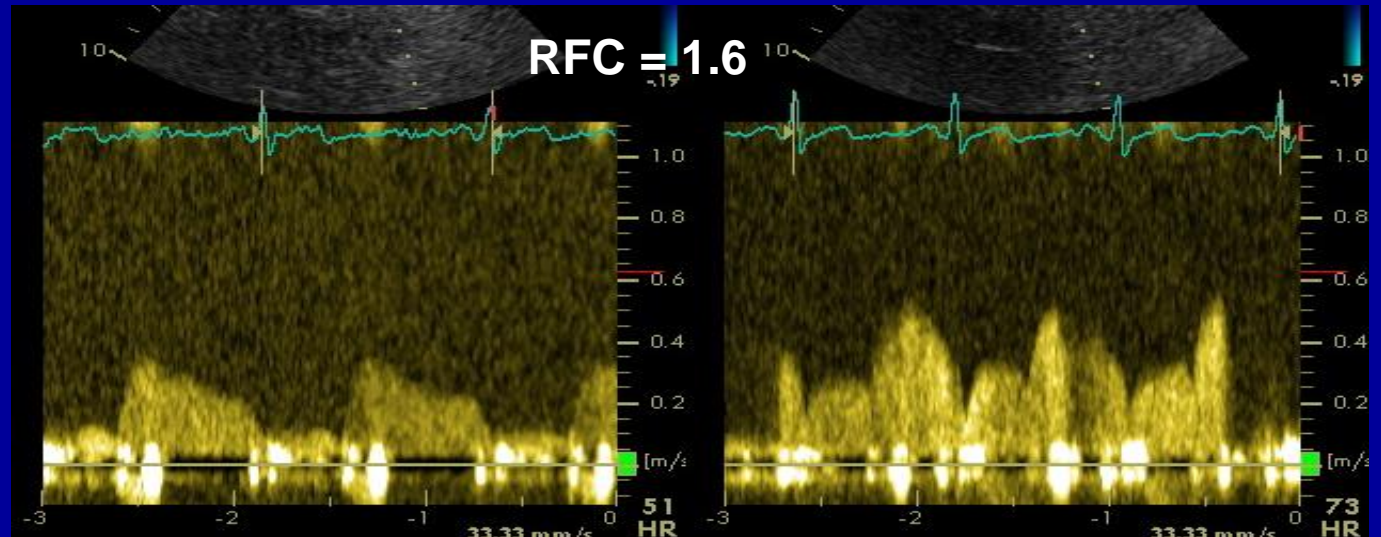
pour le diagnostic
de sténose significative

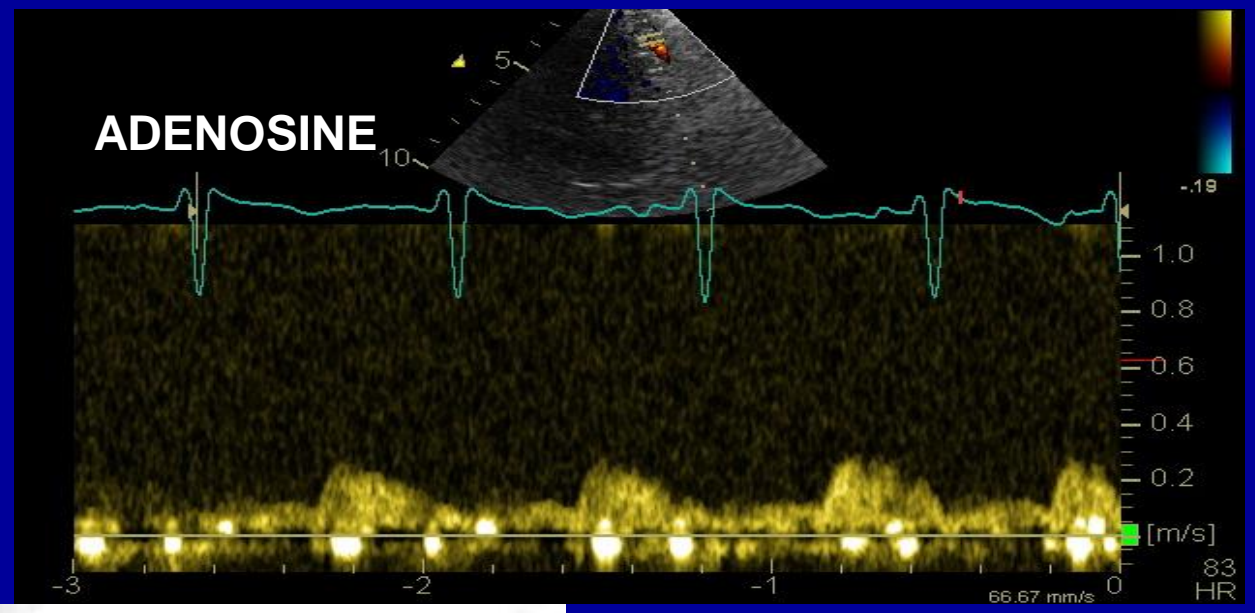
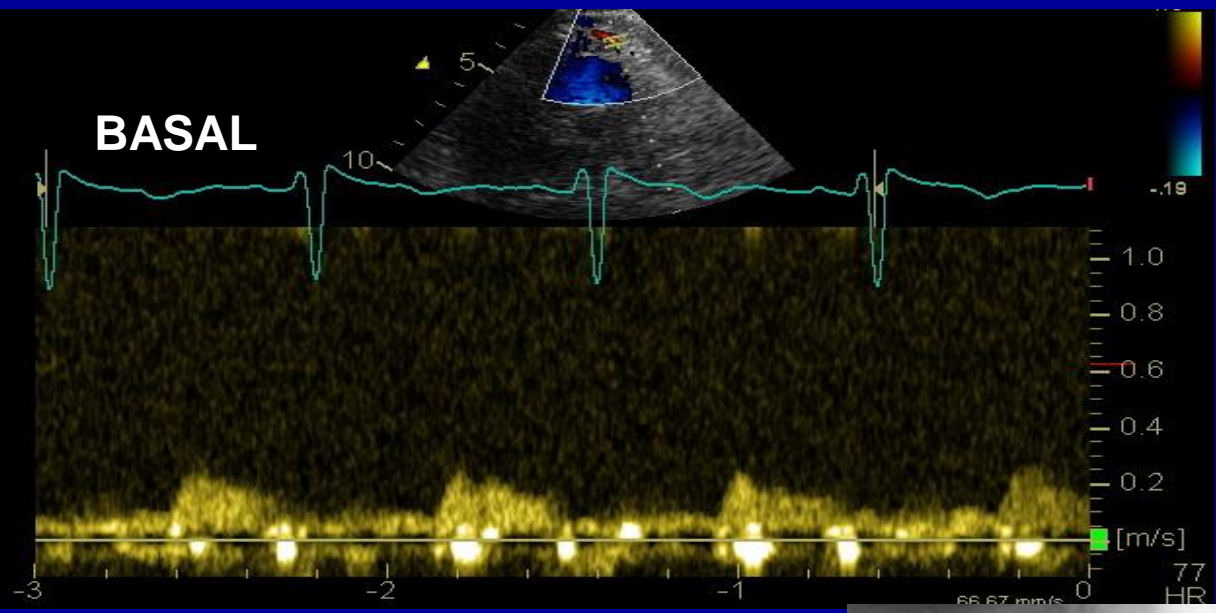
IVA, IVP, CX

Se 86-92%

Sp 76-90%

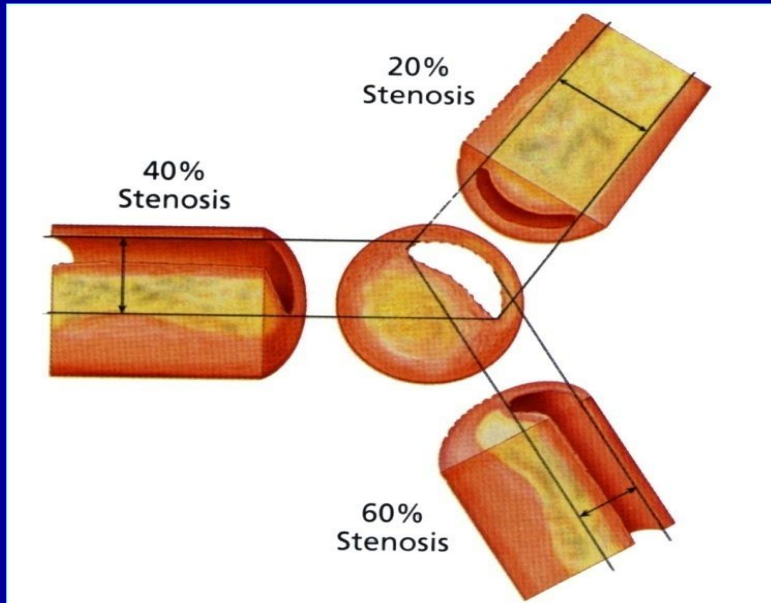
Hozumi et al, *Circulation* 1998, Caiati et al, *Circulation* 1999, J Am Col Cardiol 1999; Matsumara et al, *Am J Cardiol* 2003; Voci Am J Cardiol 2002, Lethen et al, *Eur Heart J* 2003; Meimoun et al, *JASE* 2005; Diamon et al *JACC* 2001; Wada et al, *Eur Heart J Cardiovasc Im* 2014;





RFC = 1.2

Évaluation de sténose intermédiaire



Faible corrélation entre degré de sténose et retentissement fonctionnel coronaire, surtout dans les sténoses intermédiaires. Miller, *Circulation* 1994

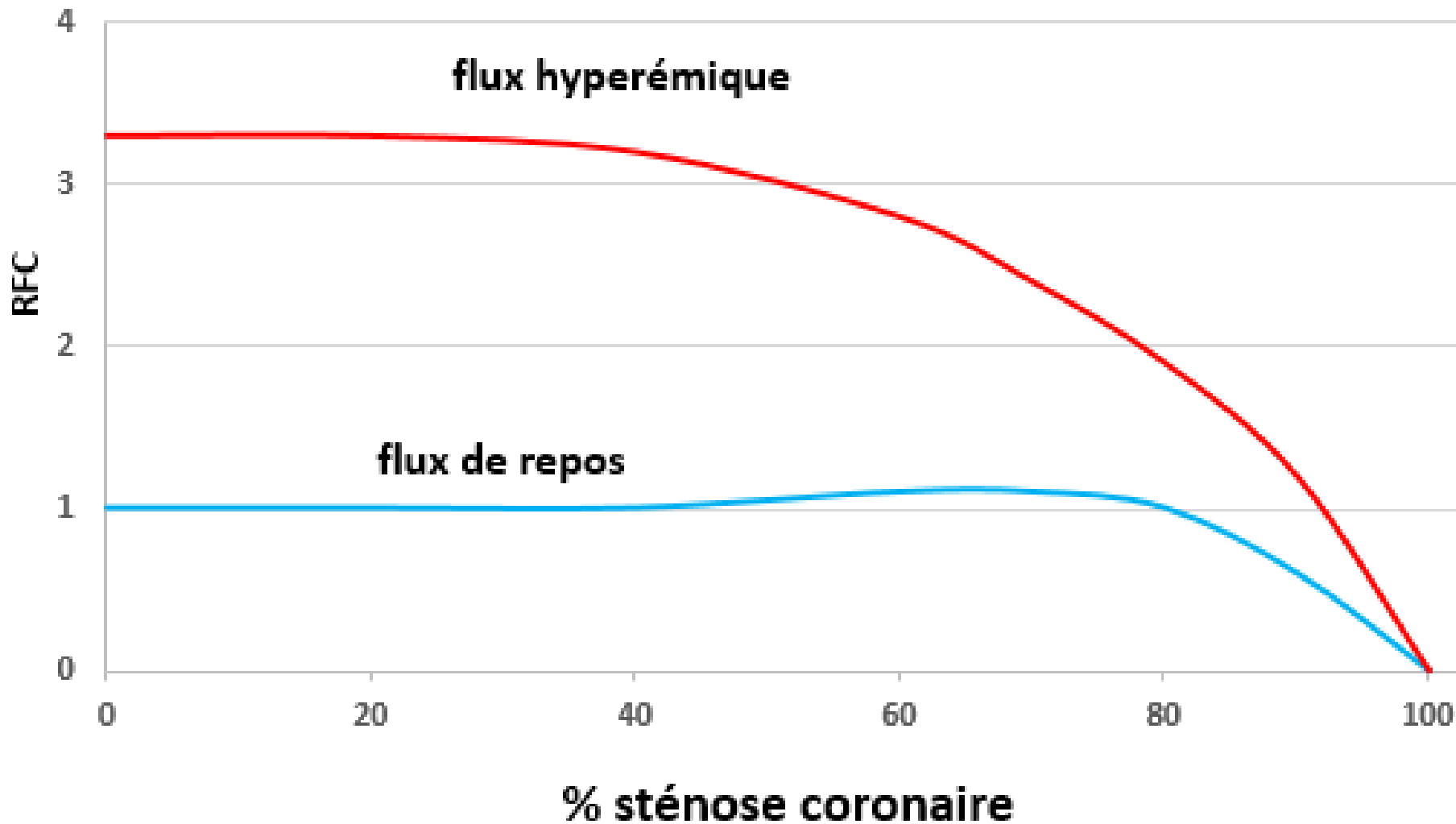
Table 2

Lesion Characteristics per Category of Angiographic Stenosis Severity

	% Stenosis by Angiography*		
	50% to 70% (n = 620, 47%)	71% to 90% (n = 513, 39%)	91% to 99% (n = 96, 15%)
FFR >0.80	402 (65)	104 (20)	7 (4)
FFR ≤0.80	218 (35)	409 (80)	189 (96)
Mean FFR for all lesions	0.81 ± 0.12	0.67 ± 0.15	0.52 ± 0.15
Mean FFR >0.80	0.89 ± 0.05	0.87 ± 0.05	0.87 ± 0.04
Mean FFR ≤0.80	0.68 ± 0.10	0.62 ± 0.13	0.51 ± 0.13

Tonino et al, *FAME study*,
J Am coll Cardiol 2010

Evolution du flux coronaire en fonction du degré de sténose



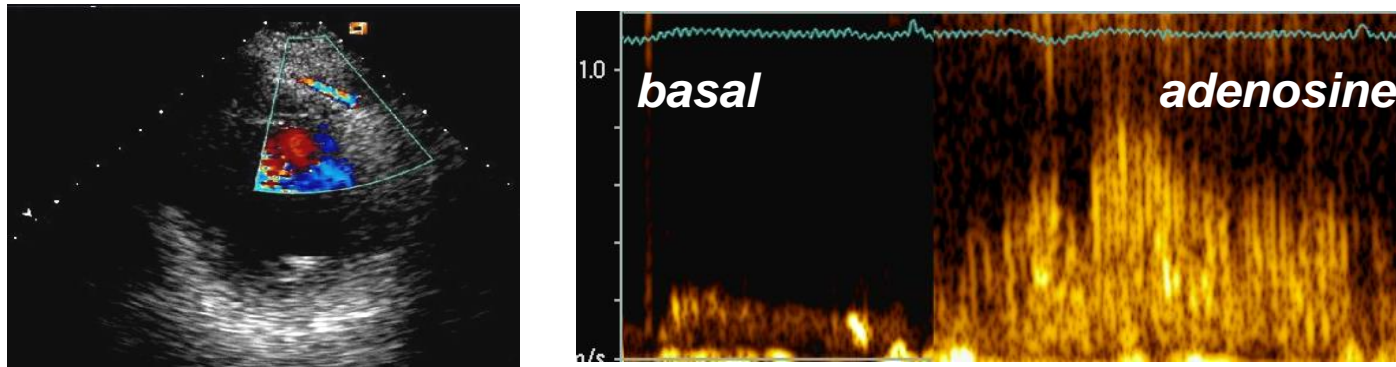
Réserve
coronaire
inversement
corrélée au
degré de
sténose
coronaire

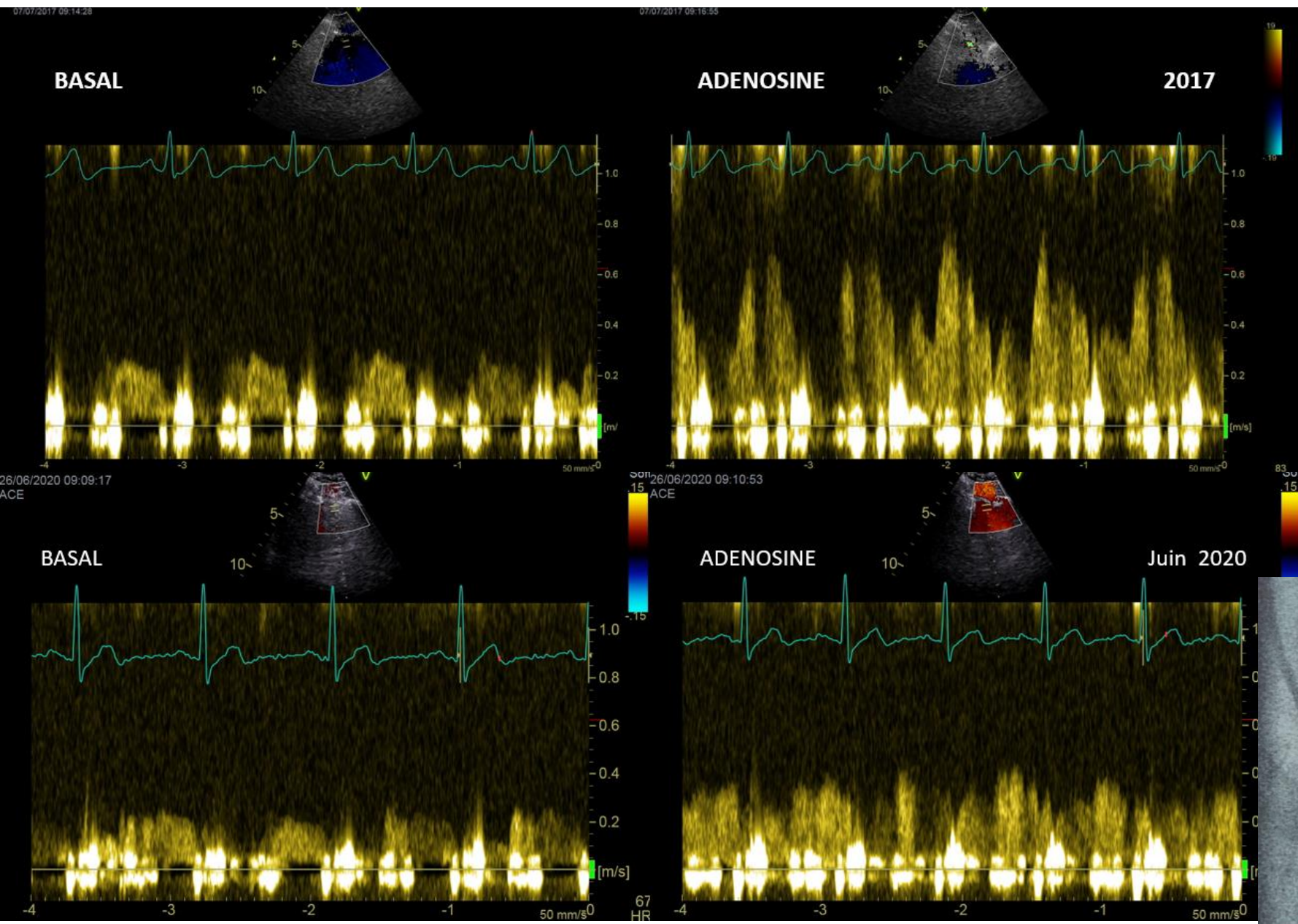
Gould,
Am J Cardiol 1974

Intérêt de la RFC non invasive pour le suivi après angioplastie

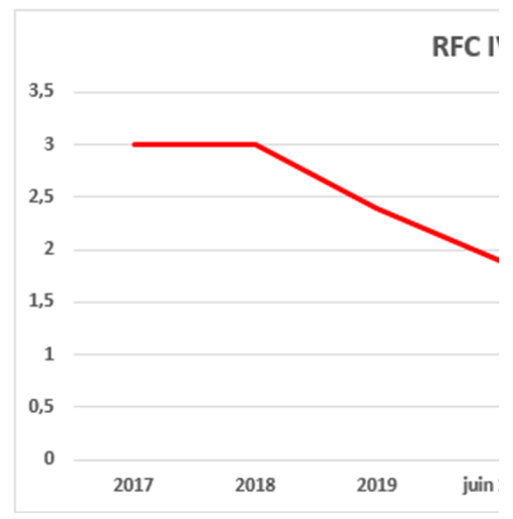
détection de la resténose : RFC < 2

Se = 78-89 % Sp = 90-93%

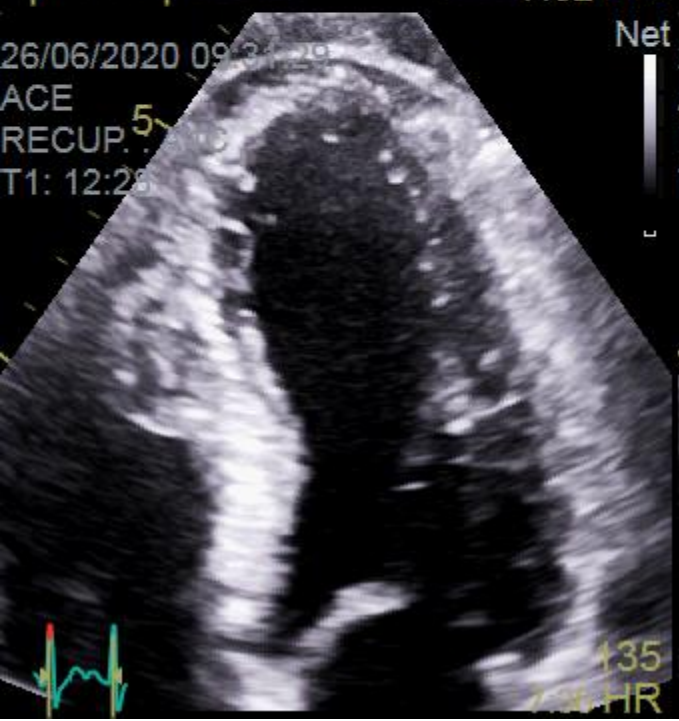
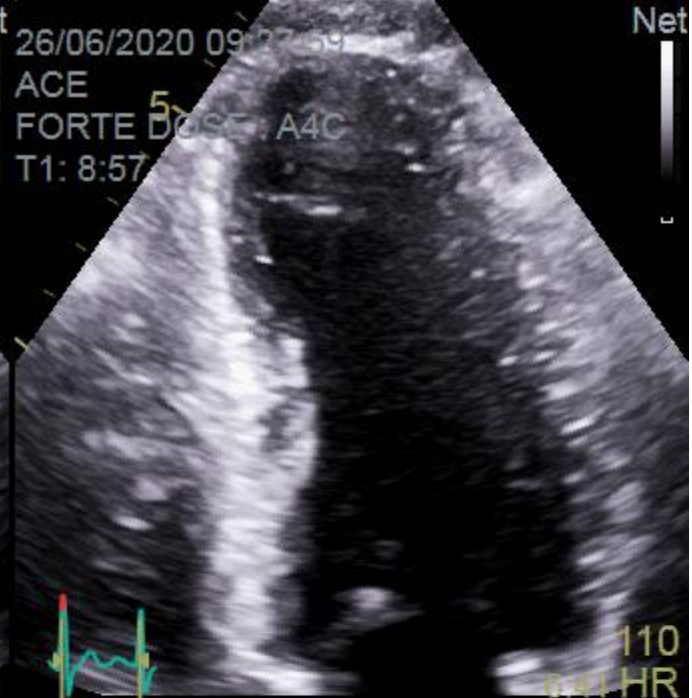
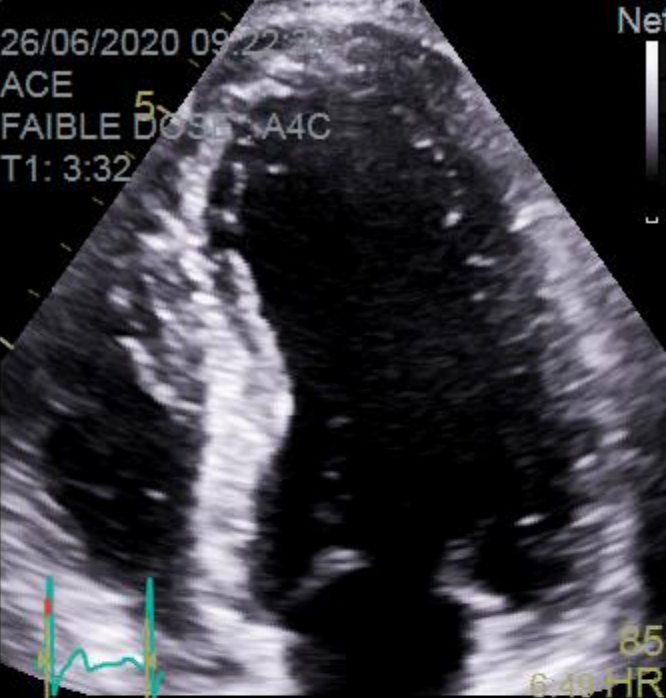




année	2017	2018	2019	juin 20
RFC IVA	3	3	2,4	1,9

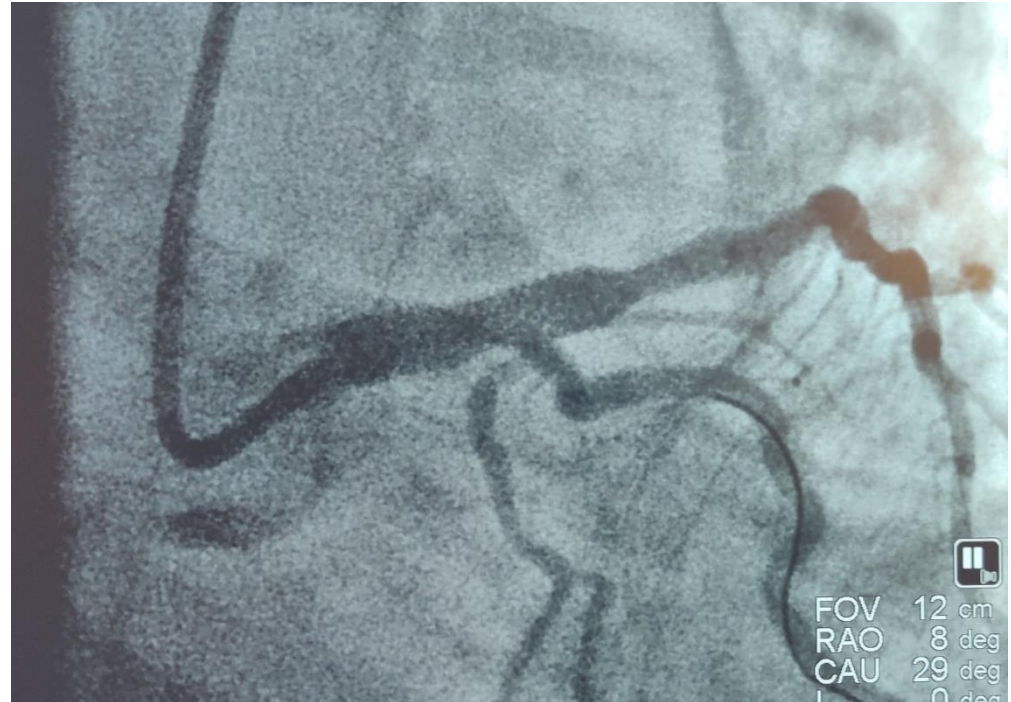


Homme 60 ans, antcd angioplastie iva prox, surveillance

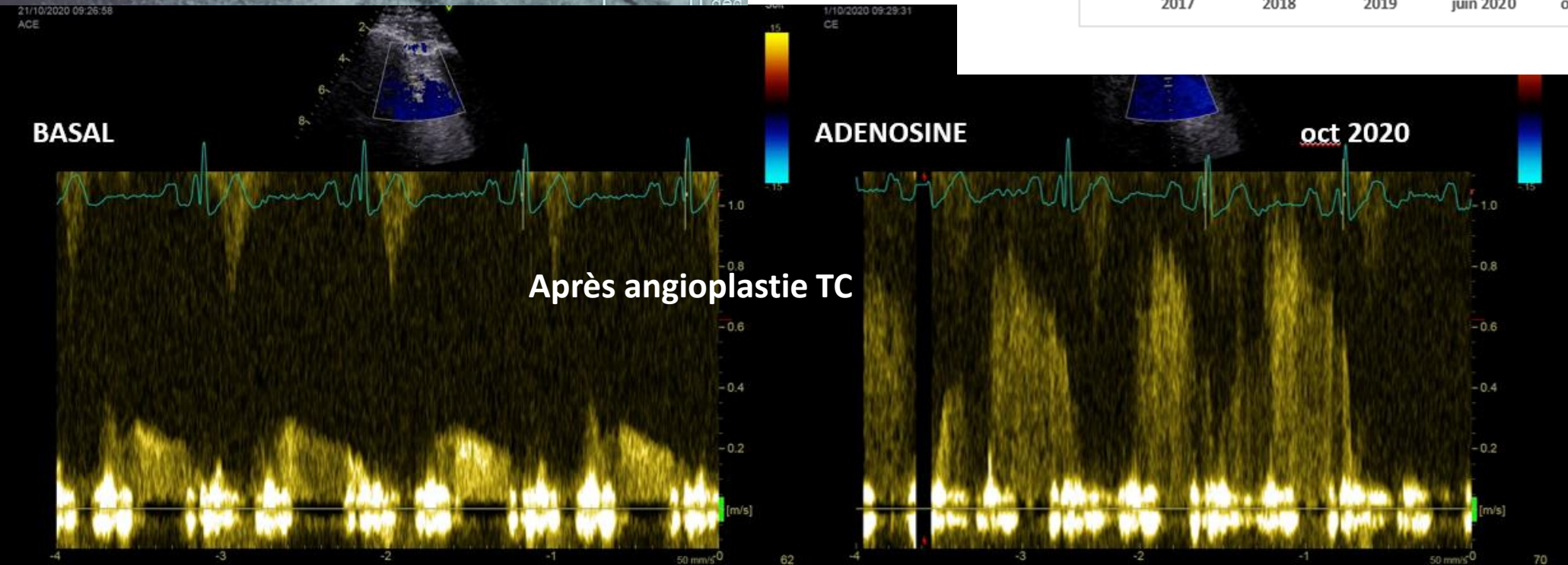
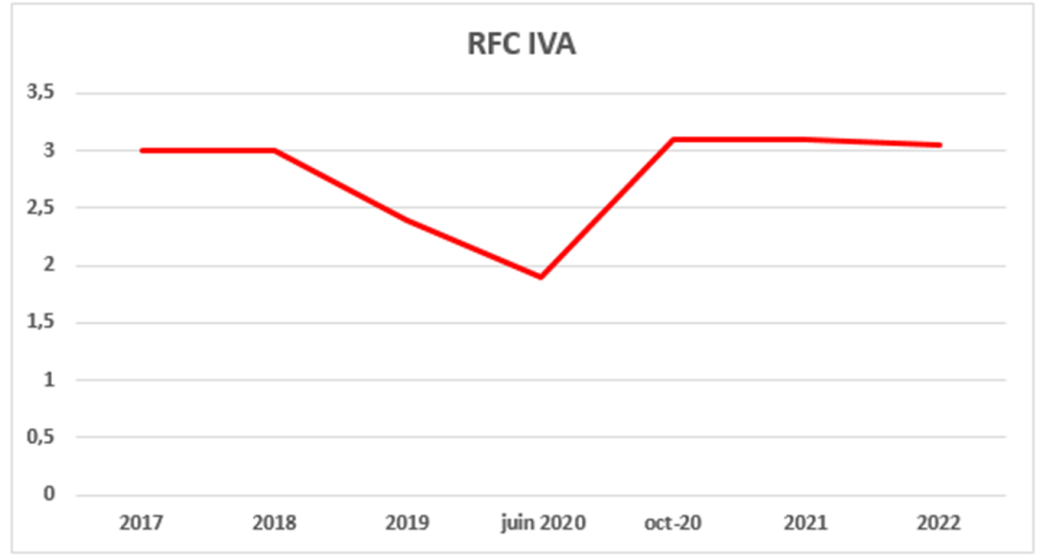


ECHO EFFORT JUIN 2020
Avant angioplastie TC

Charge 210 W
(110 % de la théorique)
87 % de la fmt
Pas d'ischémie ECG



année	2017	2018	2019	juin 2020	oct-20	2021	2022
RFC IVA	3	3	2,4	1,9	3,1	3,1	3,05



Microcirculation coronaire

Valeurs de RFC variables selon les populations étudiées

influence de:

- . âge
- . Facteurs de risque vasculaires
- . Habitudes de vie (café, thé, repas,...)
- . Pathologie sous jacente
- . Sexe
- . Traitement en cours
- . État hémodynamique

TABLEAU 1

Valeur de la réserve coronaire par Doppler transthoracique chez des patients sans sténose coronaire épigardique

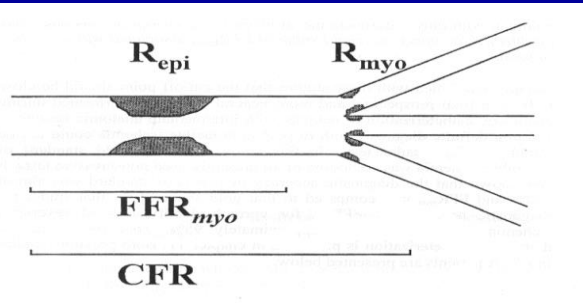
TYPE DE POPULATION	RFC
Athlètes endurance (54)	5.9 ± 1
Hypertension (40)	2.5 ± 0.6
RAC serrée (57)	
avant RVA	1.8 ± 0.5
après RVA	2.6 ± 0.7
femme jeune (53)	
phase folliculaire	4.8 ± 0.4
phase menstruelle	3.7 ± 0.8
homme jeune (53)	4.5 ± 0.9
RAC serré asymptomatique (88)	2.4 ± 0.8
tako-tsubo (51)	
phase aigue	2.2 ± 0.4
récupération	2.9 ± 0.3
CMH (56)	2.1 ± 0.5
CMD (49)	2 ± 0.5
diabète (59)	
< 10 ans	1.89 ± 0.37
≥ 10 ans	1.71 ± 0.23

RAC, retrecissement aortique calcifié

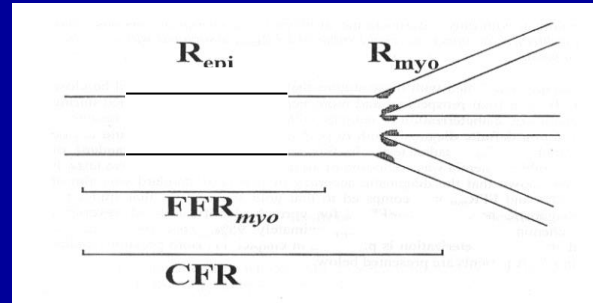
CMH, cardiomyopathie hypertrophique

CMD, cardiomyopathie dilatée

Évaluation de la RFC à J + 1 après angioplastie primaire infarctus antérieur aigu: Teste la microcirculation coronaire



Primary
PCI



Mécanismes de l'atteinte

Microcirculatoire:

- Afflux de leucocytes
- Activation plaquettaire
- Œdème myocardique
- Thrombose
- Micro-embols
- Vasoconstriction
- Destruction capillaire

RFC reliée de façon indépendante à:

- la récupération de la fonction VG segmentaire et globale
- Aux complications hospitalières
- Taille de l'infarctus
- Au remodelage adverse du VG à distance

RFC corrélée significativement à:

- Résolution du sus décalage ECG
- Leucocytose avant et après angioplastie
- Pic de troponine

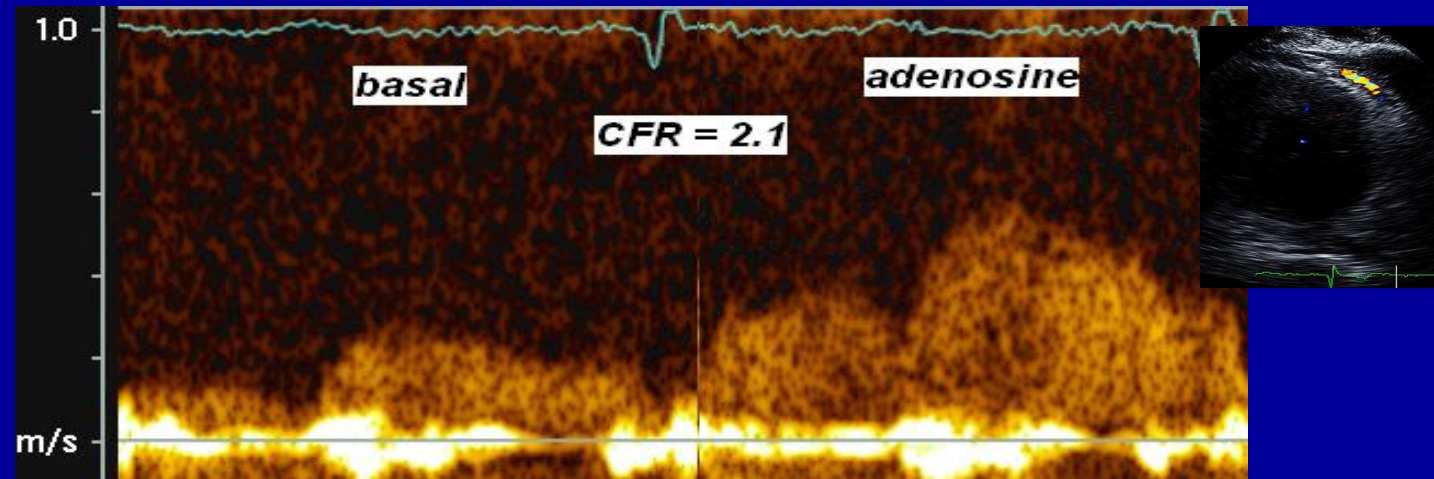


TABLEAU 3

QUELQUES ETUDES EVALUANT LA RFC en PHASE AIGUE D'INFARCTUS ANTERIEUR par DOPPLER TRANSTHORACIQUE

auteur	date	n patients	age (ans) moyen	délai moyen avant angioplastie primaire	la RFC prédit	seuil RFC	délai RFC après angioplastie primaire	analyse statistique
Ueno et al (65)	2002	29	61 ± 13	325 ± 213 min	récupération régionale fonction VG à J 20	1.5	J1	univariée
Rigo et al (66)	2004	31	58 ± 13	113 ± 119 vs 197 ± 283 min	remodelage VG à 6 mois	nc	J1	univariée
Montisci et al (67)	2006	24	54 ± 7	180 min	viabilité sous dobu intégrité en ECM	< 2,5 *	J 4 ± 2	multivarié
Florenciano Sanchez et al (69)	2007	57	60 ± 15	150 min	récupération globale VG 1 mois	1,54	J 4 (médiane)	univariée
Meimoun et al (68)	2009	51	59 ± 13	4.9 ± 2.9 h	récupération régionale et globale fonction VG à 3 mois complications hospitalières	1.7	J1	multivariée
Meimoun et al (70)	2010	65	58 ± 13	4.9 ± 2.6 h	remodelage VG à 6 mois	1.7	23 ± 3 h	multivariée
Sadauskiene et al (73)	2011	44	51 ± 10	44% vs 5.2 % > 6 h	taille infarctus à 5 mois fonction VG globale	1,75	H 72	univarié
Trifinovic et al (71)	2014	59	57 ± 12	274 ± 165 min	taill infarctus à 6 semaines en médecine nucléaire	1.7	J 2	multivariée

VG, ventricule gauche; ECM, échographie de contraste myocardique; le délai moyen, dans la ref 66 entre patients avec et sans remodelage, p = NS et dans la ref 73 p < 0.01 entre infarctus de petite et grande taille; * dans la ref 67, le seuil de rfc est défini à priori, tandis que dans les autres études il est obtenu par analyse statistique des résultats (courbe ROC)



FORUM EUROPÉEN, CŒUR, EXERCICE & PRÉVENTION

Conclusion

Mesure du flux et réserve coronaire par Doppler transthoracique:

- . Intérêt diagnostique, pronostique, physiopathologique dans multiples situations
- . Facilement accessible au lit du malade
- . Peu coûteux en matériel, temps, personnel,..
- . Non irradiant, RFC-10 min d'examen
- . Non limité par:
 - la capacité d'exercice du patient
 - La présence d'une anomalie ECG de repos (BBG, ...)
 - Des troubles de cinétique de repos
 - L'arrêt ou non d'un bêta-bloquant
- . Par contre, faisabilité non équivalente pour tous les territoires ...