

Comment explorer le flux et la réserve coronaire par échocardiographie-Doppler transthoracique dans l'infarctus du myocarde aigu ?

RÉSUMÉ : L'exploration de la réserve de flux coronaire (RFC) par échographie transthoracique s'effectue dans l'infarctus antérieur au niveau de l'artère interventriculaire antérieure (IVA) dans sa portion distale, dans des conditions hémodynamiques stables, à l'aide d'un puissant vasodilatateur de la microcirculation coronaire (adénosine intraveineux), 24 heures après angioplastie réussie de l'IVA.

La mesure de la RFC (rapport du flux hyperémique sur le flux de repos), ainsi que l'analyse du flux coronaire de repos, permettent d'apprécier la qualité de la reperfusion microcirculatoire. La RFC a une valeur prédictive indépendante pour identifier les patients qui vont récupérer la fonction systolique régionale et globale du ventricule gauche (VG), ainsi que ceux qui vont évoluer vers un remodelage adverse du VG à distance de l'infarctus, et ceux à risque de complications hospitalières.

Par rapport à d'autres outils susceptibles de fournir des renseignements similaires, la RFC non invasive a l'avantage, entre autres, d'être un outil totalement non invasif, peu coûteux, offrant une mesure quantitative du flux coronaire sans dépendre d'un logiciel complexe, et facilement accessible au lit du malade.



→ P. MEIMOUN

Service de Cardiologie-USIC, CH,
COMPIÈGNE.

Mesure du flux et de la réserve coronaire par échocardiographie-Doppler transthoracique (ETT)

1. Rappels techniques

Le flux coronaire peut être mesuré avec une grande faisabilité au niveau de la partie distale de l'**artère interventriculaire antérieure (IVA)** qui est une structure superficielle, proche du capteur Doppler à ce niveau. Si les premières études dans ce domaine ont utilisé logiquement des sondes de haute fréquence, la technicité actuelle est telle que l'analyse du flux coronaire au niveau de l'IVA peut être effectuée avec la même sonde que celle utilisée pour réaliser l'échographie standard [1].

L'incidence pour repérer l'IVA se situe à mi-chemin entre l'incidence parasternale et apicale, au niveau du mur interventriculaire antérieur. Il faut pour cela faire glisser progressivement le capteur vers la pointe en partant de l'incidence parasternale petit axe, de façon à ce que le ventricule droit ne soit plus visible. Le Doppler couleur est alors activé avec une échelle de vitesses basses (12 à 15 cm/s) et, après un léger mouvement de rotation antihoraire de la sonde, l'IVA est visualisée sous forme d'une structure tubulaire plus ou moins longue, un peu oblique, qui chemine vers la pointe (**fig. 1**). Le Doppler pulsé est alors activé (fenêtre d'échantillonnage de 3-4 mm) au niveau de l'IVA et permet de mettre en évidence un flux biphasique à nette prédominance diastolique (**fig. 1**).

REVUES GÉNÉRALES

Echographie

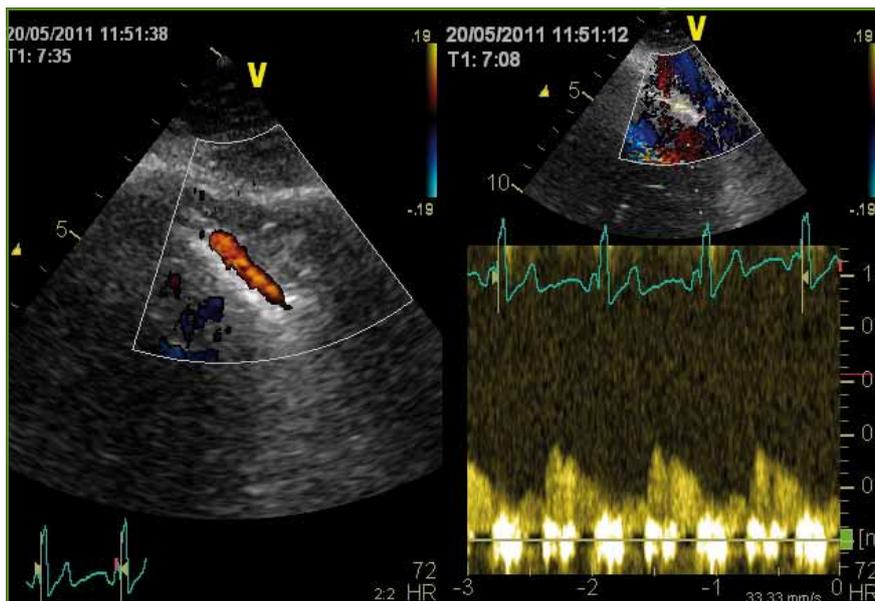


FIG. 1: A gauche, visualisation de l'IVA distale en Doppler couleur. Flux oblique, dirigé vers la pointe; à droite flux coronaire correspondant en Doppler pulsé, biphasique, à nette prédominance diastolique.

Dans certains cas, il ne faut pas hésiter à faire glisser le capteur un peu plus vers la pointe et l'incliner un peu dans le sens horaire pour visualiser l'IVA toute distale. Avec cette méthode, la faisabilité pour visualiser l'IVA est de l'ordre de 80 à 100 % avec l'entraînement [1, 2]. L'utilisation de produit de contraste (Sonovue) peut être utile dans les cas les plus difficiles (bolus intraveineux de 0,1 mL, répété si nécessaire) permettant d'améliorer sensiblement la qualité du Doppler couleur et/ou du Doppler pulsé au niveau de l'artère. Seul l'infarctus (IDM) antérieur aigu a été évalué avec cette technique à ce jour. La faisabilité, bien moindre, pour mesurer le flux et la réserve de flux coronaire (RFC) au niveau de l'artère circonflexe et de l'artère interventriculaire postérieure (qui sont profondes par rapport au capteur), est une raison majeure à l'absence d'études dans l'IDM aigu non antérieur.

2. Mesure de la réserve de flux coronaire

La RFC non invasive est testée à l'aide d'un puissant vasodilatateur de la micro-

circulation coronaire administré par voie intraveineuse (IV). **L'adénosine** est l'agent de choix dans le contexte de l'IDM aigu car c'est un produit très maniable, avec une demi-vie courte (de

l'ordre de 10 secondes), un pic d'action rapide, des effets qui s'estompent rapidement après la fin de l'injection, et une bonne tolérance du test à condition de respecter les contre-indications classiques (asthme, BAV) [3-7]. Une fois l'artère repérée, sans bouger les réglages préalables et la position de la sonde d'échographie-Doppler, l'infirmière administre l'adénosine en IV, à la dose de 140 µg/kg/min sur 2 minutes, et la séquence est enregistrée en continu sur l'appareil. La RFC, mesurée après la fin de l'injection, est le rapport entre le flux coronaire au pic d'hyperémie sur le flux à l'état basal (**fig. 2 et 2 bis**).

La durée totale du test à l'adénosine est de l'ordre de 10 minutes. La mesure de la RFC non invasive est basée sur le même principe que la mesure invasive par Doppler intra-coronaire, avec une excellente corrélation entre les 2 techniques ($r = 0,85$) et des flux similaires enregistrés [2]. La RFC étant un rapport de vitesses au niveau du même site, il n'y a pas lieu d'utiliser la correction angulaire pour l'IVA. La variabilité inter- et intra-

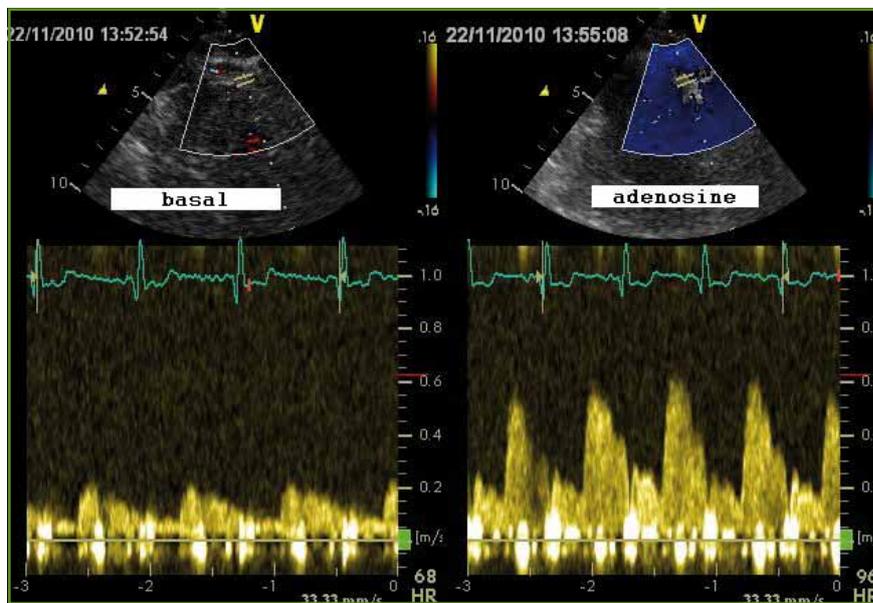


FIG. 2: Exemple de réserve coronaire normale: à gauche, flux à l'état basal, à droite flux sous adénosine. La RFC, rapport entre le pic de vitesse diastolique sous adénosine sur le flux de repos (ou le rapport entre les vitesses moyennes de flux), est dans cet exemple égale à 3.

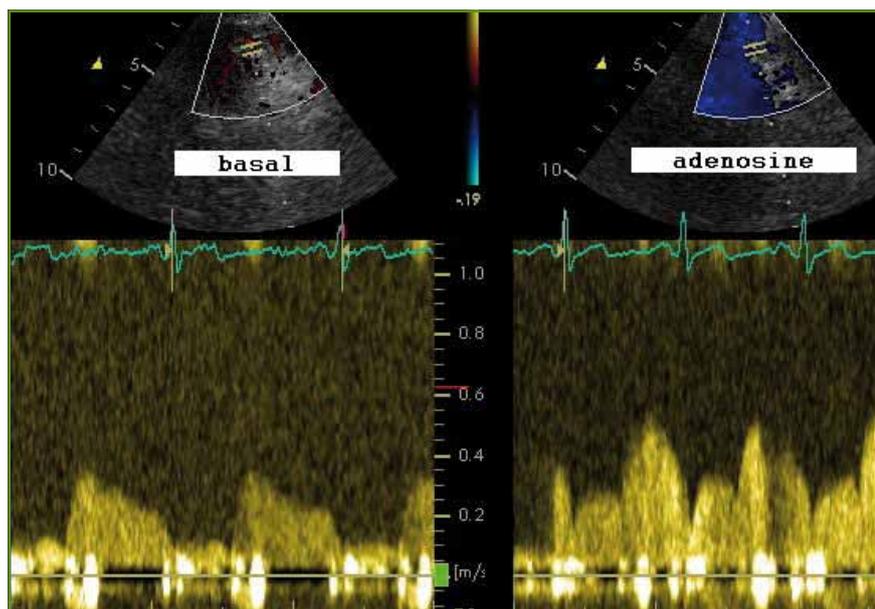


FIG. 2 BIS : Exemple de réserve coronaire abaissée: à gauche flux de repos, à droite flux sous adénosine. La RFC est à 1,6.

observateur est très bonne (de l'ordre de 5 %), et la variabilité intra-individuelle à court terme (20 minutes) et à moyen terme (1 mois) est bonne avec l'adénosine, de l'ordre de 10 % [2].

De nombreux paramètres hémodynamiques et rhéologiques peuvent influencer la RFC. En pratique, la situation hémodynamique doit être stable. En particulier, la fréquence cardiaque ne doit pas être trop rapide à l'état basal, autrement la vitesse de flux de repos s'élève en raison de l'autorégulation du débit coronaire en fonction des besoins métaboliques, et la RFC qui est le rapport entre le flux hyperémique sur le flux de repos sera d'autant plus amortie dans ces conditions. Enfin, la mesure de la RFC doit se faire en aval d'une éventuelle sténose résiduelle [2].

Intérêt de la mesure du flux et de la RFC non invasive dans l'infarctus du myocarde

Une revascularisation réussie à l'échelon épicaire (flux TIMI 3 final angiogra-

phique après angioplastie primaire), est une condition nécessaire mais pas suffisante pour assurer un sauvetage myocardique après un infarctus aigu. Ce sauvetage passe obligatoirement par une bonne reperfusion microcircula-

toire. L'évaluation du flux coronaire à l'état basal et lors d'un test d'hyperémie permet d'évaluer dans ce contexte la qualité de la reperfusion à l'échelon microcirculatoire de façon simple et non invasive. On note d'ailleurs une corrélation inverse significative entre la RFC non invasive réalisée dans les 24 heures suivant l'angioplastie primaire et le pic de troponine, la persistance du sus-décalage du segment ST sur l'ECG [4], et la leucocytose (avant et après angioplastie), dont on connaît le rôle dans l'atteinte microcirculatoire et la valeur pronostique dans ce contexte [6].

1. No-reflow

Le *no-reflow* est l'absence de reperfusion microcirculatoire malgré une recanalisation réussie au niveau de l'artère épicaire. La morphologie du flux coronaire à l'état basal prend un aspect particulier en cas de *no-reflow*. Il se caractérise par un temps de décélération diastolique court (≤ 600 ms), un reflux systolique court (≤ 600 ms), une composante systolique absente ou très amortie (**fig. 3**). La sévérité du *no-reflow* croît avec le nombre

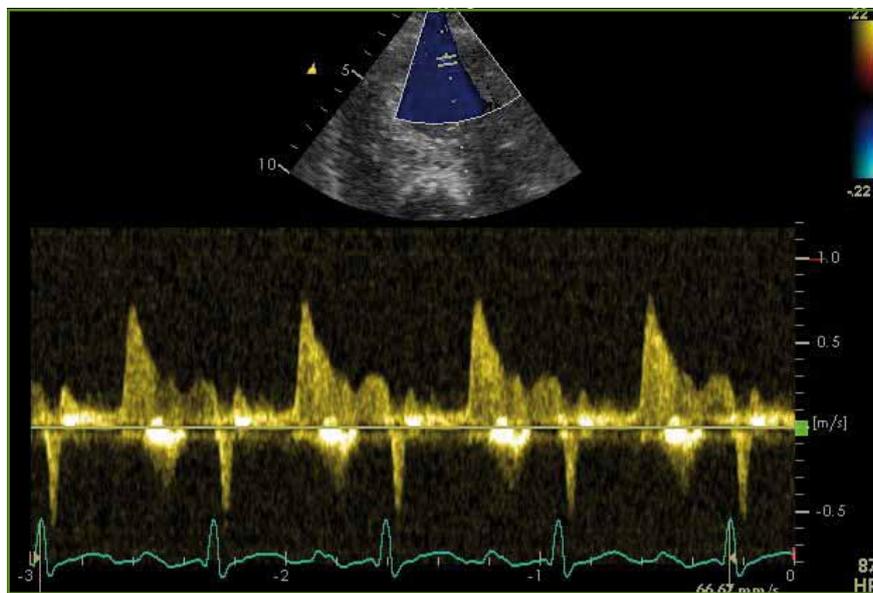


FIG. 3 : Exemple d'aspect morphologique de *no-reflow* sur le flux coronaire à l'état basal. La composante systolique antérograde du flux est quasi absente, il y a un franc reflux systolique précoce, et le temps de décélération de la composante diastolique du flux est très court (< 600 ms).

REVUES GÉNÉRALES

Echographie

de critères présents. Même si la physiopathologie de cet aspect morphologique n'est pas complètement élucidé [8], sa valeur pronostique est bien établie par de nombreuses études. La présence d'un flux coronaire de type *no-reflow* comme décrit ci-dessus prédit l'absence de récupération de la fonction régionale VG, le remodelage adverse VG, et les complications après IDM [9-13].

2. RFC et prédiction de la viabilité du ventricule gauche après IDM

Beaucoup moins d'études sont disponibles concernant l'intérêt de la RFC non invasive en phase aiguë d'IDM. Lorsqu'elle est réalisée après angioplastie primaire, la RFC non invasive prédit la récupération de la fonction VG régionale [3-5] et globale [4] avec une bonne fiabilité. Ainsi, dans une étude récente réalisée chez 51 patients avec IDM antérieur recanalisés avec succès (avant H12), une RFC au niveau de l'IVA distale $\geq 1,7$ (réalisée 24 heures après angioplastie primaire) prédit la récupération de la fonction VG globale à distance (définie par une amélioration de la FEVG d'au moins 10 %) avec une sensibilité de 76 % et une spécificité de 96 % (aire sous la courbe = 0,87 par analyse de ROC, $p < 0,001$) [4].

De plus, après avoir inclus les données cliniques, angiographiques, ECG, biologiques et échographiques, la RFC est, en analyse multivariée, un prédicteur indépendant de la récupération de la fonction VG globale et régionale à distance, et de la survenue de complications hospitalières [4].

3. RFC et prédiction du remodelage adverse du VG après IDM

La survenue d'un remodelage adverse du VG à distance de l'IDM, défini par une dilatation du volume systolique du VG avec pour corollaire une diminution de la fraction d'éjection, est reconnue par de nombreuses études comme étant un élément de mauvais pronostic. La RFC

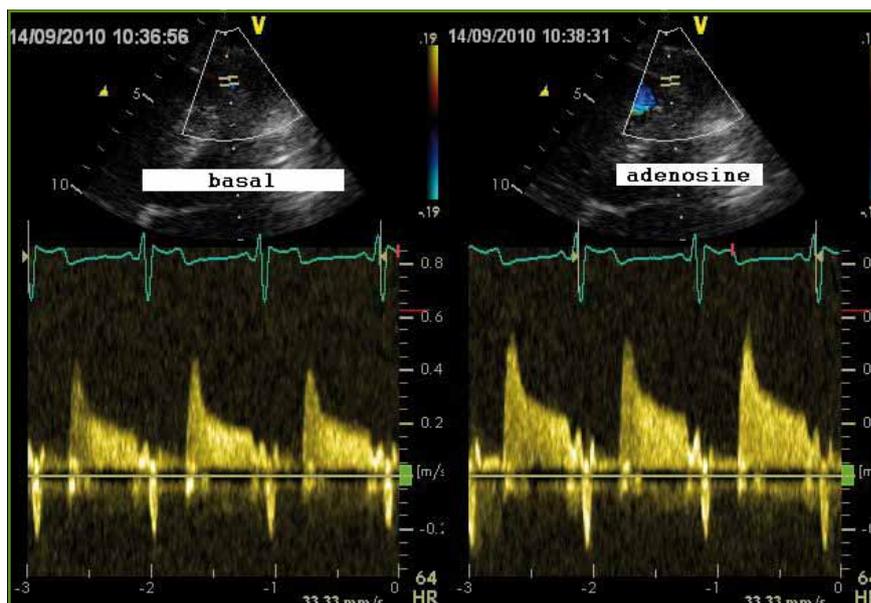


FIG. 4 : Exemple de réserve coronaire basse chez un patient admis pour infarctus antérieur 24 heures auparavant et traité par angioplastie primaire à H6 sur une artère initialement occluse. Il évoluera vers un remodelage du VG malgré un traitement médical optimal. A gauche, le flux coronaire basal ; à droite, le flux sous adénosine. La RFC est à 1,3. Remarquez également la morphologie du flux coronaire basal et sous adénosine qui a l'aspect d'un *no-reflow*.

non invasive est significativement plus basse chez les patients qui vont développer un remodelage adverse que chez les patients indemnes de remodelage à 6 mois (**fig. 4**) [7, 14].

De plus, la RFC non invasive réalisée 24 heures après recanalisation réussie dans l'IDM antérieur est un prédicteur indépendant du remodelage adverse du VG [7]. Plus généralement, la RFC non invasive est corrélée significativement à la FEVG et au volume télésystolique VG à distance de l'IDM, ainsi qu'à la variation de ces paramètres dans le temps [4, 7].

4. Diagnostic différentiel

La recherche du flux coronaire par ETT peut être utile pour aider à différencier l'IDM d'une autre pathologie comme la cardiomyopathie de stress ou syndrome de tako-tsubo (STT) dont la présentation classique mime un IDM antérieur [15]. La coronarographie est normale dans le STT, alors que dans l'IDM antérieur aigu, l'IVA est occluse par définition. La visua-

lisation de l'IVA distale avec un flux normal peut dans ce cas aider à différencier les 2 pathologies quand le contexte est compatible, alors que quand l'IVA est non visible malgré une recherche méthodique, on peut raisonnablement penser qu'elle est occluse.

Il faut toutefois noter que l'artère responsable de l'IDM peut se reperméabiliser spontanément ou sous l'effet des antithrombotiques administrés en amont de l'angioplastie dans un certain nombre de cas. Une étude avait d'ailleurs montré une corrélation diagnostique intéressante entre la visualisation du flux coronaire à l'état basal, sa vitesse en Doppler pulsé, et le grade TIMI angiographique après thrombolyse dans l'IDM antérieur aigu [16].

Quel est le meilleur outil : flux coronaire basal ou RFC ?

On a vu que la RFC ne pouvait se mesurer que chez un malade stable. Par consé-

quent, le patient en état de choc, en état hémodynamique instable, ne peut bénéficier d'une telle technique. Par contre, rien n'empêche d'aller mesurer le flux de repos spontané et rechercher une morphologie de no-reflow chez de tels malades en quelques secondes. Néanmoins la mesure du seul flux de repos se heurte à quelques limites.

Selon certains auteurs, les artefacts de mouvement de paroi peuvent influencer la morphologie du flux de repos [8], de plus, l'IVA est oblique et sa vitesse en valeur absolue est influencée par l'angle de tir Doppler, le temps de décélération diastolique peut être modifié par l'inclinaison de la sonde, et le reflux systolique n'est pas toujours facile à visualiser en raison des mouvements cardiaques en systole. La RFC, ratio sans dimension, est un paramètre dynamique qui n'est pas limité par ces facteurs.

Quand réaliser la RFC après IDM ?

L'atteinte de la microcirculation après un IDM est un phénomène complexe, dynamique, évolutif, et l'évaluation à un instant t par la RFC ne peut être qu'un instantané de cet événement [3-7]. Se pose donc la question du moment optimal pour réaliser la RFC, sachant qu'elle ne doit être réalisée ni trop tôt, ni trop tard. Dans le premier cas, on est confronté à l'hyperémie post-ischémique survenant immédiatement après la reperfusion, ainsi que la progression des lésions microcirculatoires initiées par la réaction inflammatoire (infiltration locale par les leucocytes, l'œdème, les micro-emboles...), tandis que dans le second cas, les lésions myocardiques sont déjà constituées et la valeur pronostique de la RFC s'est diluée dans le temps. Tenter de renverser le cours des événements par une intervention thérapeutique trop tardive semble aléatoire. D'après les données de la littérature et notre propre expérience, la réalisation

POINTS FORTS

- ➔ L'échographie Doppler transthoracique au niveau de l'IVA distale permet d'évaluer la reperfusion microcirculatoire après infarctus antérieur aigu recanalisé.
- ➔ Le flux coronaire de repos est biphasique, à prédominance diastolique.
- ➔ La réserve de flux coronaire non invasive (RFC) s'effectue à l'aide d'adénosine intraveineuse, dans des conditions hémodynamiques stables. C'est le rapport entre le flux hyperémique sur le flux de repos.
- ➔ La morphologie du flux coronaire de repos prend un aspect caractéristique en cas de *no-reflow*: reflux systolique précoce, composante systolique antérograde amoindrie, temps de décélération diastolique court.
- ➔ L'aspect de *no-reflow* est de mauvais pronostic.
- ➔ La RFC réalisée 24 heures après angioplastie réussie prédit la récupération de la fonction systolique régionale et globale, ainsi que le remodelage adverse du ventricule gauche et les complications hospitalières.
- ➔ Plus la RFC est élevée, plus les chances de récupération sont grandes, et le risque de remodelage adverse à distance est faible. Le seuil de 1,7 offre une précision diagnostique intéressante.

de la RFC à J1 post-IDM semble être un bon compromis temporel entre ces deux extrêmes. La corrélation entre la RFC et la fonction systolique VG régionale à la sortie de l'hôpital est meilleure si la RFC est réalisée à J1, par rapport à une mesure faite immédiatement après angioplastie primaire ou juste avant la sortie [3]. De plus, la RFC réalisée juste après l'angioplastie primaire est identique chez ceux qui vont récupérer la fonction systolique VG à distance et ceux qui ne récupéreront pas, tandis que la RFC réalisée à J1 est significativement plus élevée dans le groupe récupération [17].

Conclusion

Outre la RFC non invasive, de nombreux outils sont disponibles pour évaluer directement ou indirectement la qualité de la reperfusion myocardique après IDM. Les données cliniques, la résolution du segment ST sur l'ECG, le

pic de troponine et les données angiographiques sont des outils classiques et facilement accessibles [3, 6, 7, 10]. La RFC non invasive a une valeur prédictive indépendante de ces outils pour identifier les patients qui vont récupérer une fonction systolique VG globale et régionale à distance, ainsi que pour identifier les patients qui vont évoluer vers un remodelage adverse du VG [4, 7].

D'autres outils plus complexes comme l'échographie de contraste, l'imagerie nucléaire, et bien sûr l'IRM cardiaque considérée maintenant comme le gold standard sont plus ou moins disponibles pour apprécier la reperfusion myocardique après IDM. La RFC par ETT est un outil facilement accessible au lit du malade, totalement non invasive, peu coûteuse (en termes de drogue et de personnel utilisés, de temps dépensé), non irradiante, non polluante, non limitée par la capacité physique du patient, les anomalies ECG de base, les troubles de

REVUES GÉNÉRALES

Echographie

cinétique du VG, un traitement bêtabloquant préalable, et fournit une mesure quantitative du flux coronaire sans dépendre d'un logiciel plus ou moins compliqué. C'est donc un outil fort utile, mais malheureusement sous-utilisé. En dehors des contre-indications (asthme, BAV de haut degré), la principale limite réside dans une faisabilité bien moindre pour explorer la coronaire droite et la circonflexe, par comparaison à l'IVA [2].

Bibliographie

1. MEIMOUN P, SAYAH S, LUYCX-BORE A *et al.* Comparison between non-invasive coronary flow reserve and fractional flow reserve to assess the functional significance of left anterior descending artery stenosis of intermediate severity. *J Am Soc Echocardiogr*, 2011 ; 24 : 374-381.
2. MEIMOUN P, TRIBOUILLOY C. Non-invasive assessment of coronary flow and coronary flow reserve by transthoracic Doppler echocardiography: a magic tool for the real world. *Eur J Echocardiogr*, 2008 ; 9 : 449-457.
3. UENO Y, NAKAMURA Y, KINOSHITA M *et al.* Can coronary flow velocity reserve determined by transthoracic Doppler echocardiography predict the recovery of regional left ventricular function in patients with acute myocardial infarction? *Heart*, 2002 ; 88 : 137-141.
4. MEIMOUN P, MALAQUIN D, BENALI T *et al.* Non-invasive coronary flow reserve after successful primary angioplasty for acute anterior myocardial infarction is an independent predictor of left ventricular recovery and in-hospital cardiac events. *J Am Soc Echocardiogr*, 2009 ; 22 : 1071-1079.
5. MONTISCI R, CHEN L, RUSCAZIO M *et al.* Non-invasive coronary flow reserve is correlated with microvascular integrity and myocardial viability after primary angioplasty in acute myocardial infarction. *Heart*, 2006 ; 92 : 1113-1118.
6. MEIMOUN P, ELMKIES F, BOULANGER J *et al.* Influence of leukocytes on coronary flow reserve, left ventricular systolic function, and in-hospital events, in patients with acute anterior myocardial infarction treated by primary angioplasty. *Ann Cardiol Angeiol*, 2010 ; 59 : 263-270.
7. MEIMOUN P, BOULANGER J, LUYCX-BORE A *et al.* Non-invasive coronary flow reserve after successful primary angioplasty for acute anterior myocardial infarction is an independent predictor of left ventricular adverse remodelling. *Eur J Echocardiogr*, 2010 ; 11 : 711-718.
8. VOCI P, PIZZUTO F, ROMEO F. The slippery slope. *Eur Heart J*, 2004 ; 25 : 1480-1482.
9. HOZUMI T, KANZAKI Y, UEDA Y *et al.* Coronary flow velocity analysis during short term follow up after coronary reperfusion: use of transthoracic Doppler echocardiography to predict regional wall motion recovery in patients with acute myocardial infarction. *Heart*, 2003 ; 89 : 1163-1168.
10. IWAKURA K, ITO H, KAWANO S *et al.* Assessing myocardial perfusion with the transthoracic Doppler technique in patients with reperfused anterior myocardial infarction: comparison with angiographic, enzymatic and electrocardiographic indices. *Eur Heart J*, 2004 ; 25 : 1526-1533.
11. NOHTOMI Y, TAKEUCHI M, NAGASAWA K *et al.* Persistence of systolic coronary flow reversal predicts irreversible dysfunction after reperfused anterior myocardial infarction. *Heart*, 2003 ; 89 : 382-388.
12. KATEYAMA M, YAMAMURO A, UEDA Y *et al.* Coronary flow velocity pattern assessed noninvasively by transthoracic color Doppler echocardiography serves as a predictor of adverse cardiac events and left ventricular remodeling in patients with acute myocardial infarction. *J Am Soc Echocardiogr*, 2006 ; 19 : 335-340.
13. TANI T, TANABE K, KUREHA F *et al.* Transthoracic Doppler echocardiographic assessment of left anterior descending coronary artery and intramyocardial artery predicts left ventricular remodeling and wall-motion recovery after acute myocardial infarction. *J Am Soc Echocardiogr*, 2007 ; 20 : 813-819.
14. RIGO F, VARGA Z, DI PEDE F *et al.* Early assessment of coronary flow reserve by transthoracic Doppler echocardiography predicts late remodeling in reperfused anterior myocardial infarction. *J Am Soc Echocardiogr*, 2004 ; 17 : 750-755.
15. MEIMOUN P, MALAQUIN D, SAYAH S *et al.* The coronary flow reserve is transiently impaired in tako-tubo cardiomyopathy: a prospective study using serial transthoracic Doppler echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*, 2008 ; 21 : 72-77.
16. LEE S, OTSUJI Y, MINAGOE S *et al.* Noninvasive Evaluation of Coronary Reperfusion by Transthoracic Doppler Echocardiography in Patients With Anterior Acute Myocardial Infarction Before Coronary Intervention. *Circulation*, 2003 ; 108 : 2763-2768.
17. LEPPER W, HOFFMAN R, KAMP O *et al.* Assessment of Myocardial Reperfusion by Intravenous Myocardial Contrast Echocardiography and Coronary Flow Reserve After Primary Percutaneous Transluminal Coronary Angiography in Patients With Acute Myocardial Infarction. *Circulation*, 2001 ; 101 : 2368-2374.

L'auteur a déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.