



ROYAUME DU MAROC
UNIVERSITE MOHAMMED V
FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE
- RABAT -



ANNEE : 2021

MS0602021

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du Diplôme National de Spécialité

En : CARDIOLOGIE

Intitulé

Apport de l'IRM cardiaque dans la recherche de viabilité myocardique

Présenté par :

Dr. Maryam NADIF

Sous la direction du :

Pr. ILYASS ASFALOU

REMERCIEMENTS

*A NOTRE MAITRE ET DIRECTEUR DE MEMOIRE
MONSIEUR ASFALOU ILYASS*

Professeur,

Vous nous avez fait l'honneur de nous guider tout au long de la réalisation de ce travail. Nous avons pu bénéficier de votre expérience clinique et théorique dans le domaine de la cardiologie. Vos compétences dans cette discipline représentent pour nous une référence. Pour votre bienveillance, votre humanisme et votre grande disponibilité, un grand merci. Puisse ce travail vous exprimer notre estime, notre profonde reconnaissance et notre amitié.

Je tiens à remercier également tous nos professeurs de Cardiologie pour le très beau parcours que nous avons passé ces quatre années, pour nous avoir appris le sens de la rigueur du sérieux et de la persévérance.

Vous nous avez assisté avec patience pendant toutes ces années d'études, avec le souci de bien nous apprendre le savoir-faire de notre métier.

LISTE DES ABREVIATIONS

IC : insuffisance cardiaque

IDM : infarctus du myocarde

IRM : imagerie par résonance magnétique

TDM : tomodensitométrie

ANT : antérieur

Inf : inférieur

FE : fraction d'éjection

ECG : électrocardiogramme

ETT : échocardiographie Trans thoracique

VG : ventricule gauche

VD : ventricule droit

OD : oreillette droite

TDM : tomodensitométrie

PA : plan petit axe

HLA : horizontal long axe

SSFP-IRM : steady state free precession MRI

RT : rehaussement tardif

HMIMV : Hôpital Militaire d'instruction Mohamed V

ATCD : antécédents

IVA : interventriculaire antérieure

FEVG : fraction d'éjection ventriculaire gauche

DT2 : diabète type 2

PAC : pontage aorto-coronaire

ATL : angioplastie

ICP : intervention coronaire percutanée

ESC : European society of cardiology

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Liste des figures

Figure 1 : les différents plans de coupe à l'IRM cardiaque.	22
Figure 2 : segmentation cardiaque en « œil de bœuf »	23
Figure 3 : Caractéristiques de la perfusion de premier passage/Rehaussement tardif. Dans le myocarde sain, l'élimination du gadolinium est rapide.	28
Figure 4 : Distribution des patients selon le sexe.	33
Figure 5 : A : coupes 2 cavités en séquences de rehaussement tardif montrant un IDM ANT transmural du VG. B : coupe petit axe en rehaussement tardif montrant une nécrose inférieure viable vu que le rehaussement est sous endocardique < 25 %.....	39
Figure 6 : A : coupe petit axe de rehaussement tardif qui montre un IDM antérieur du VG. B : Rehaussement Tardif sous endocardique <25 % en faveur de viabilité. C : Rehaussement Tardif sous endocardique > 75 % en faveur de l'absence de viabilité. D : Relation entre la présence de viabilité et l'étendue du rehaussement tardif.....	39
Figure 7 : Quantification de la viabilité régionale	40
Figure 8 : Algorithme du diagnostic de l'hibernation myocardique par CMR [18]	41
Figure 9 : Illustration schématique des bénéfices de la revascularisation au cours de la dysfonction du ventricule gauche d'origine ischémique	43

Liste des tableaux

Tableau 1 : résumé les différentes séquences d'IRM utilisées en fonction des paramètres recherchés.	29
---	----

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	2
LISTE DES ABREVIATIONS	5
LISTE DES ILLUSTRATIONS	8
SOMMAIRE	11
INTRODUCTION.....	14
I. Généralités	18
1. Les avantages de l'IRM	18
2. Les inconvénients et les limites de l'IRM cardiaque.....	18
3. Contre-indications.....	19
4. Comment réaliser un examen IRM.....	20
4.1. Préalable technique	20
4.2. Plans spécifiques du cœur:.....	21
5. Segmentation cardiaque	22
6. Les séquences.....	23
7. Protocole d'IRM cardiaque utilisé en routine en post infarctus	29
MATERIELS ET METHODES	30
I. POPULATION	31
II. Méthode de recrutement	31
III. Paramètres techniques.....	31
RESULTATS	32
I. CARACTÉRISTIQUE DE NOTRE POPULATION:	33
II. DONNEES DE L'IRM CARDIAQUE DE LA POPULATION.....	33
1. Etude du ventricule gauche	33
2. Etude du ventricule droit.....	34
3. Etude des oreillettes et péricarde:	35
4. Thrombus	35

DISCUSSION.....	36
I. Généralités sur la viabilité myocardique	37
1. Définitions	37
1.1. Le myocarde viable.....	37
2. Implications cliniques	42
3. Implications pronostiques	43
4. Implications thérapeutiques	44
CONCLUSION.....	46
RESUMES.....	48
REFERENCES.....	49

INTRODUCTION

La pathologie coronaire est la première cause de dysfonction ventriculaire gauche systolique responsable d'IC [1]. Plus de 70 % des patients avec IC symptomatique ont une pathologie coronaire sous-jacente et la majorité des patients avec cardio- myopathie ischémique ont déjà présenté un IDM [2]. La fonction ventriculaire gauche est un déterminant important du pronostic. Ainsi, il a été démontré que la mortalité des patients avec IC augmente rapidement avec la réduction de la FE et que la mortalité à un an est réduite de 24 % avec le traitement médical à 15 % après revascularisation chez les patients avec une FE inférieure à 25 % [3]. La mortalité périopératoire chez ces patients avec dysfonction ventriculaire gauche est élevée et il convient de ne revasculariser donc que les patients qui en tireront bénéfice.

Quand la symptomatologie douloureuse est prédominante, la décision est relativement simple parce qu'on dispose de différentes méthodes validées permettant de préciser la présence, la sévérité et l'étendue de l'ischémie. Mais quand les symptômes de dysfonction ventriculaire prédominent, la décision est beaucoup plus difficile, car il devient hasardeux de distinguer entre dysfonction ventriculaire permanente et dysfonction capable de s'améliorer après traitement.

Les différentes causes de la dysfonction ventriculaire gauche ischémique sont l'infarctus transmural, l'infarctus sous- endocardique, la sidération et l'hibernation myocardiques. Ces différentes entités sont difficiles à différencier et peuvent coexister chez le même patient.

Les deux dernières décennies ont été marquées par le développement de différentes méthodes non invasives permettant d'étudier la viabilité, le métabolisme, la perfusion et la fonction ventriculaire gauche. Isolées ou

combinées, ces différentes techniques permettent actuellement de distinguer l'altération myocardique permanente de la dysfonction réversible.

Le but de ce travail illustré par l'étude de la viabilité myocardique chez une population de coronariens est de montrer l'intérêt diagnostique et pronostic de l'IRM cardiaque devenu comme examen de référence à la recherche de myocarde viable.

*PRINCIPALES SEQUENCES EN IRM
POUR L'EXPLORATION DE LA
VIABILITE MYOCARDIQUE*

I. Généralités

L'IRM cardio-vasculaire a connu un progrès remarquable au cours de ces dernières années, permettant son application dans plusieurs domaines cliniques ainsi que dans le domaine de la recherche scientifique. Le domaine des champs magnétiques est en perpétuel évolution et les progrès technologiques intéressant l'acquisition spiralée de l'espace K, les techniques d'encodage de mouvement, l'imagerie de RT ainsi que l'imagerie de perfusion ultra-rapide ont révolutionné la démarche diagnostique et thérapeutique des cardiopathies à la fois ischémiques et non ischémiques. L'IRM cardiaque est devenue le « gold standard » pour le diagnostic positif et étiologique de nombreuses affections cardiaques.

1. Les avantages de l'IRM

L'IRM apporte de nombreuses informations complémentaires en un seul examen intégré de 20 à 30 minutes.

2. Les inconvénients et les limites de cette technique

Le principal facteur qui pourra gêner la réalisation de l'examen est la claustrophobie, à laquelle on peut remédier par l'usage des anxiolytiques mais aussi par l'utilisation des nouveaux aimants plus larges et plus courts.

L'insuffisance rénale sévère ($CC < 30$ ml/mn) représente une contre-indication à l'injection de gadolinium, vu le risque bien qu'exceptionnel de fibrose systémique néphrogénique [4].

Les patients avec Pacemaker non IRM compatibles ainsi que ceux ayant des troubles cardiaques qui pourront gêner la réalisation technique de l'examen ne pourront pas bénéficier de l'IRM cardiaque.

Disponibilité modeste des machines d'IRM cardiaque.

3. Contre-indications

Les contre-indications classiques à passer une IRM sont représentées par :

- Les corps étrangers intraoculaires sont à rechercher particulièrement chez les travailleurs des métaux et chez les patients ayant un antécédent de traumatisme oculaire balistique vu le risque qu'ils se déplacent et d'entraîner une hémorragie de la vitré ou une déchirure rétinienne, avec comme conséquence une cécité. L'interrogatoire reste la meilleure prévention contre ces incidents, et, si disponible, une TDM, est justifiée au moindre doute, particulièrement chez les patients à risque.
- Les clips vasculaires ferromagnétiques intracérébraux peuvent être responsables d'hémorragie, voire de décès. Placés dans un champ magnétique puissant, ces clips peuvent engendrer des lésions vasculaires.
- La présence d'un stimulateur cardiaque ou d'un défibrillateur reste une contre-indication à la pratique de l'IRM cardiovasculaire. Ces patients devront être contrôlé par un rythmologue, avec interrogation du stimulateur avant et après l'examen d'IRM et conversion du boîtier en mode veille pendant l'examen. Cela ne pourra être possible qu'en milieu spécialisé et si l'indication de l'examen et le rapport bénéfice/risque de l'examen est très élevé.

- les dispositifs électroniques implantés (pompes à perfusion, matériels de surveillance implantés, neurostimulateurs, implants cochléaires).
- Les porteurs de valves mécaniques peuvent passer l'examen en dehors des porteurs de valves de Starr-Edwards .
- Les stents coronaires ne représentent pas une contre-indication à passer l'IRM cardiovasculaire.
- Le matériel orthopédique et les prothèses de hanche, ainsi que les fils sternaux ne sont pas des contre-indication dans la plupart d'entre eux.

4. Comment réaliser un examen IRM

4.1. Préalable technique

La salle d'examen doit être équipée de matériel de sécurité d'urgence (un défibrillateur et un chariot d'urgence). En dehors des CI le patient sera perfusé si une injection est prévue (par un injecteur automatique), il sera entraîné à la pratique de l'apnée. Il est utile de faire reproduire systématiquement le même mouvement de blocage du diaphragme. Une bonne installation du patient est primordiale pour avoir un bon examen, ainsi qu'un tracé ECG de bonne qualité en utilisant soit le module commercialisé avec l'IRM, ou le module externe blindé. L'installation des électrodes suivra les consignes du constructeur [5].

L'examen commence toujours par une séquence de repérage du massif cardiaque sans synchronisation, après vérification des étapes précédentes et protection des oreilles par un casque anti-bruit [5].

4.2. Plans spécifiques du cœur:

Pour explorer le cœur, les plans conventionnels (axial, coronal, sagittal) ne sont pas adaptés. Cependant, le plan axial reste intéressant pour analyser le péricarde, le VD, et dans l'étude des rapports anatomiques en matière de cardiopathies congénitales [6].

- **Plan long axe Ventricule gauche (2 cav) :**

On l'obtient à partir du plan axial tout en suivant l'orientation du SIV. Il visualise d'arrière en avant l'oreillette gauche, la valve mitrale et le ventricule gauche. Ce plan permet de définir la coupe axiale 4 cavités [5].

- **Plan axial 4 cavités (HLA) :**

Ce plan passe par les 4 cavités principales du cœur.

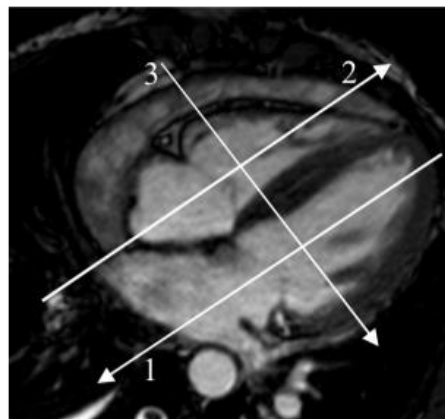
L'axiale 5 cavités inclut la racine de l'aorte thoracique ascendante, elle est située un peu plus haut selon le même axe [5].

- **Plan Petit Axe :**

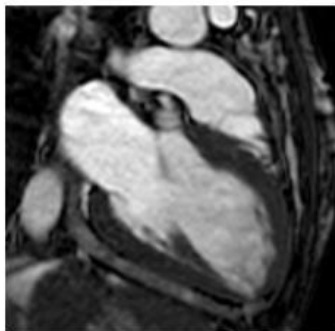
Plan essentiel pour la quantification de la fonction ventriculaire gauche avec des résultats comparables à ceux obtenus en ETT et en tomoscintigraphie [4]. De multiples coupes seront répétées depuis le plan valvulaire mitral à l'apex du ventricule. Ces séquences serviront à la mesure de l'épaisseur télésystolique et télédiastolique des parois ventriculaires, des diamètres et des volumes télésystolique et télédiastolique du ventricule, de la masse ventriculaire et la détermination de la fraction d'éjection [5].

- **Analyse du ventricule droit**

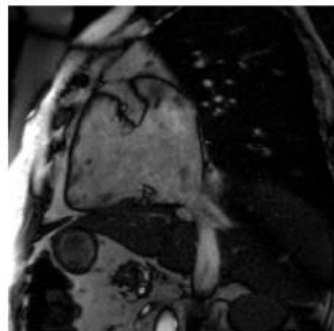
La géométrie complexe du ventricule droit rend son analyse un peu délicate. L'IRM permet une analyse de la morphologie ainsi que de la fonction de cette cavité très antérieure à paroi fine mal explorée par l'échographie [5].



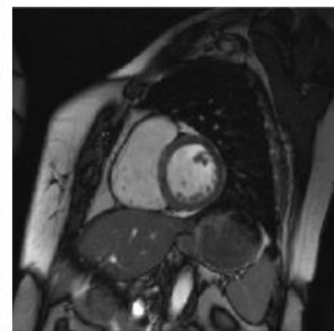
Plan axial des 4 cavités



1- coupe long axe
du VG



2- coupe long axe
du VD



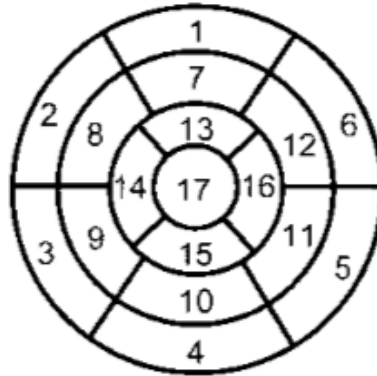
3- coupe petit axe

Figure 1 : les différents plans de coupe à l'IRM cardiaque.

5. Segmentation cardiaque

La segmentation cardiaque obéit à un consensus international en 17 segments (figure 2). Quatre coupes se succèdent d'avant en arrière : l'apex

(segment 17), l'apicale (4 segments, du segment 13 au segment 16), la médio ventriculaire (6 segments, du segment 7 au segment 12) et la basale (6 segments, du segment 1 au segment 6).



1 antéro basal	6 antérolatéro basal	11 inférolatéro median
2 antérosepto basal	7 antéro median	12 antérolatéro median
3 inférosepto basal	8 antérosepto median	13 antéro apical
4 inféro basal	9 inférosepto median	14 septo apical
5 inférolatéro basal	10 inféro médian	15 inféro apical
16 latéro apical	17 apex	

Figure 2 : segmentation cardiaque en « œil de bœuf »

6. Les séquences

La réussite des séquences repose sur la qualité d'enregistrement ECG. On dispose de deux modes de synchronisation. Le mode rétrospectif qui permet une acquisition simultanée du signal et de l'ECG avec un tri secondaire des données. C'est le mode utilisé pour les séquences ciné-IRM segmentées en écho de gradient équilibré. Il n'expose pas au risque de repliement temporel « aliasing » et apparaît très adapté aux mesures des paramètres fonctionnels ventriculaires [7].

l'onde R sert à déclencher les acquisitions en mode prospectif. Le risque d'artéfact avec ce mode d'acquisition est élevé, prévenu par l'opérateur par la programmation d'une fenêtre d'acquisition plus courte que l'intervalle R-R. Le type de séquence conditionne le choix du mode de synchronisation [7].

- **Séquence spin-écho**

Ce sont les premières utilisées pour l'explorer le cœur de façon morphologique. Il faut impérativement réaliser ces séquences au décours des séquences ciné-IRM qui seront utilisées pour optimiser le TR (temps qui sépare deux impulsions de RF) et repérer la phase d'immobilité relative du cœur [7].

- **Séquence de ciné-IRM**

Appelé aussi séquence SSFP (Steady State Free Précession), balanced FFE, FIESTA (en fonction du constructeurs) est réalisé à partir d'une séquence écho gradient donne une imagerie dynamique d'excellente qualité, elle permet le calcul des volumes et de la fraction d'éjection ventriculaire. Il s'agit d'une séquence pondérée T1 /T2, Elle offre un bon contraste entre le sang qui apparaît blanc (hypersignal) et le myocarde ventriculaire qui est gris (hyposignal). Les images sont acquises en apnée, mais peuvent être réalisées en respiration libre avec une moindre qualité image. La séquence est composée de 20 à 30 images (ou phases) offrant une résolution temporelle entre 20 à 50 millisecondes. Leur qualité se dégrade en cas d'arythmie.

- **Séquence de tagging**

Le tagging est une technique de marquage myocardique permettant une analyse des déformations intrinsèques (torsions) permettant ainsi, d'affiner l'analyse segmentaire de la fonction ventriculaire gauche. Le principe du tagging utilisé souvent sur la séquence SSFP, repose sur une présaturation du muscle cardiaque sous forme de lignes orthogonales qui suivent les déformations des parois myocardiques en systole comme en diastole. Il offre une bonne qualité de l'imagerie anatomique, une bonne résolution spatiale et une bonne visualisation du flux, ce qui facilite en outre le diagnostic des complications mécaniques du post-infarctus en IRM. Ce bénéfice s'applique particulièrement au diagnostic des épanchements péricardique, des insuffisances mitrales, des faux anévrismes et des thrombus intracavitaires

- **Séquence de perfusion du premier passage**

L'imagerie de perfusion constitue un apport fondamental de l'IRM dans le contexte du post infarctus. L'injection intraveineuse de gadolinium révèle les altérations microcirculatoires et de la perfusion tissulaire et permet l'identification de deux situations physiopathologiques. Le no-reflow observé au cours du premier passage dynamique du produit de contraste est également visible sur les séquences de rehaussement tardif réalisées à 10 minutes après injection du gadolinium.

- **Séquence de rehaussement tardif**

Séquence primordiale dans l'étude de la pathologie ischémique avec les résultats de l'étude de Kim et Judd [12]. Son principe repose sur la mise en évidence des territoires avec cinétique ralentie des chélates de gadolinium: les zones pathologiques se présentent sous forme d'hyper-signaux tardifs sur des séquence pondérée T1 à distance de l'injection du produit de contraste.

Chez les sujets sains, un rehaussement précoce du myocarde après injection de Gd reflète le passage du produit de contraste dans le tissu conjonctif de soutien (phénomène étudié par la séquence de perfusion). Puis le gadolinium sera rapidement éliminé (« Wash out ») [8].

L'infarctus, et surtout à sa phase aiguë, s'accompagne de beaucoup d'altération au niveau cellulaire et histologique. La membrane des myocytes devient perméable ce qui explique le passage du Gd dans le milieu intracellulaire.

L'accumulation du produit de contraste au sein du territoire ischémié s'explique par un deux phénomènes :

- augmentation du volume de distribution.
- ralentissement de la cinétique d'élimination (Wash out).

À distance d'un infarctus, une cicatrice fibreuse se constitue et qui va représenter un espace de diffusion avec accumulation et défaut d'élimination du Gd.

Beaucoup d'affections partagent cette inflation du secteur extracellulaire (œdème inflammatoire et fibrose) associée à un Wash out ralenti [8].

On procède à l'annulation du signal du myocarde sain pour un meilleur contraste entre le myocarde normal et les territoires de rétention, Ce contraste sera mis en évidence par une séquence d'inversion-récupération. Le choix du temps d'inversion (Ti) est primordial pour obtenir un bon contraste. Lequel est déterminé pour chaque patient à l'aide d'une séquence dite de « Ti scouting » (ou « look-locker ») réalisée juste avant la séquence de rehaussement tardif [7].

Cette séquence consiste en la réalisation d'une série d'images pondérées T1 à Ti variable progressivement croissant après un pulse de radiofréquence de 180°.

La séquence de RT est réalisée 10 à 20 minutes après injection de 0,2 à 0,3 ml/kg de chélate de gadolinium par voie IV. Une imagerie trop précoce peut surestimer le myocarde pathologique (Gd persiste dans le myocarde sain), alors que l'imagerie trop tardive (après 30 mn) peut causer des faux négatifs (Gd lavé des territoires pathologiques).

Les zones de rétention du Gd seront mises en évidence par plusieurs séquences :

Les séquences d'écho de gradient contraste de phase inversion-récupération type PSIR 2D. Séquences moins dépendantes du Ti, mais mono coupes (Celles qu'on utilise le plus).

Les séquences d'écho de gradient inversion-récupération Turbo FLASH 3D avec segmentation de l'espace K. Séquences de référence, très dépendantes du choix du Ti mais permettant un balayage du cœur en une seule apnée.

Nous utilisons généralement les deux séquences décrites ci-dessus.

Le choix des séquences varie en fonction des constructeurs et des centres ; et on peut utiliser plusieurs séquences au cours d'un même examen.

De nouvelles séquences de mapping tissulaire notamment T1 et le T2 mapping sont actuellement en plein développement et font partie désormais du domaine de la recherche scientifique [9].

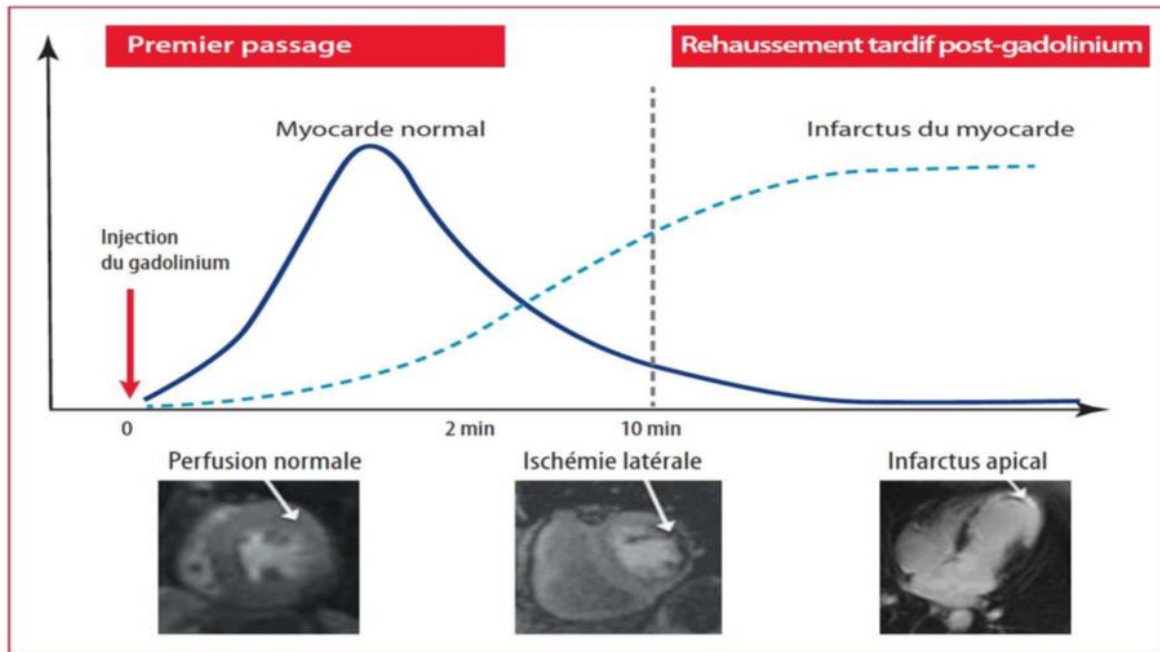


Figure 3 : Caractéristiques de la perfusion de premier passage/Rehaussement tardif. Dans le myocarde sain, l'élimination du gadolinium est rapide.

7. Protocole d'IRM cardiaque utilisé en routine en post infarctus

Tableau 1 : résume les différentes séquences d'IRM utilisées en fonction des paramètres recherchés.

Technique & Sequences	Pathophysiological point of View	MRI analysis
Rest Cine Imaging: multislice SSFP cine short axis view (Slice thickness 6-10 mm, gap 0-4 mm; spatial resolution: 1-2 mm x 1-2mm in plane, temporal resolution: < 45 ms)	Contractile function; morphological assessment	Global evaluation: LV & RV volumes, mass, stroke volumes, ejection fraction; Regional evaluation: wall thickness, wall motion score index
T2-weighted spin echo images: short axis view (Slice thickness 8-10 mm)	Hyperenhancement: myocardium at risk; Hypoenhancement core: Myocardial hemorrhage	Age of infarction; Area of myocardium At Risk (AAR, %); Presence, area of myocardial hemorrhage (%)
Rest First Pass Perfusion (3 short axis)	Myocardial blood flow	Positive first pass in chronic infarction (see thickness) Microvascular obstruction (presence, segment location; size)
Early gadolinium enhancement (2 min post-contrast T1-weighted IR GRE)	Microvascular function	Thrombus detection Microvascular damage (presence and area)
Late gadolinium enhancement (LGE) 10-15 min post-contrast T1-weighted IR GRE (Slice thickness 7-8 mm, gap 0-4 mm; spatial resolution: 1.4-1.8x 1.4-1.8 mm ²)	Myocardial necrosis; persistent microvascular damage	Infarct size: presence, transmurality; size (gr, %) Myocardium salvaged: area at risk minus LGE Persistent microvascular damage: presence, n° segments; area (%)

*MATÉRIELS
ET MÉTHODES*

I. POPULATION

Nous avons effectué une étude rétrospective monocentrique chez des patients porteurs d'une cardiopathie ischémique ayant bénéficié d'une IRM cardiaque à la recherche de viabilité entre Janvier 2017 et Janvier 2021 incluant 35 patients.

Le diagnostic de viabilité myocardique est confirmé en présence d'un RT ne dépassant pas les 50 % de la paroi myocardique et intéressant au moins 2 segments contigu d'un territoire vasculaire.

II. Méthode de recrutement

Ces données ont été recueillies au niveau du service d'explorations non invasives de cardiologie de l'HMIMV De Rabat., les comptes rendus d'IRM cardiaque ont été obtenu à partir de la base de données du service d'explorations non-invasive. Le diagnostic de viabilité cardiaque a été retenu chez 11 de ces patients.

III. Paramètres techniques

Tous les examens ont été réalisés sur un appareil d'IRM 1,5 Tesla de type Toshiba Vantage Titan. Post-processing sur logiciel Myriasis Qmass. avec synchronisation à l'électrocardiogramme et acquisition rétrospective. Les séquences ont été acquises en apnée. Nous avons utilisé comme chélates de gadolinium : le gadovist® (DTPA-Gd, structure linéaire)

RESULTATS

I. CARACTÉRISTIQUE DE NOTRE POPULATION:

Les patients inclus sont âgés de 46 à 78 ans. Leur âge moyen était de 61 ans. On retrouve, une prédominance masculine ; 29 hommes pour 6 femmes avec un sex-ratio de **5,83**.

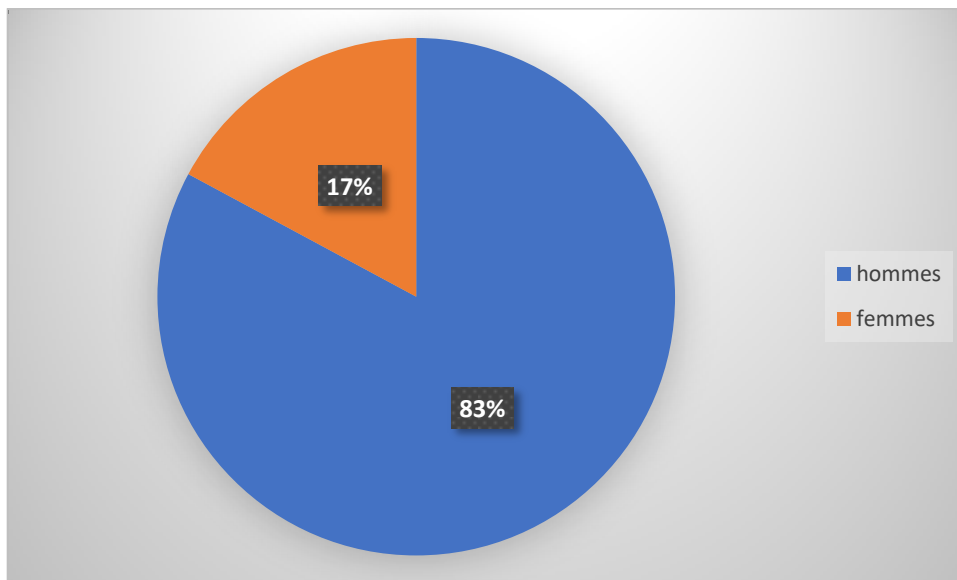


Figure 4 : Distribution des patients selon le sexe.

II. DONNEES DE L'IRM CARDIAQUE DE LA POPULATION

1. Etude du ventricule gauche

- ✓ Le VG était dilaté chez 40% des patients avec une moyenne de DTD VG de 66.5 mm.
- ✓ Les anomalies de la cinétique segmentaire étaient retrouvées chez tous les patients.
- ✓ La fonction systolique du ventricule gauche était altérée chez 71% de nos malades avec une moyenne de FEVG à 29%.

- ✓ La séquence T2Fat-Sat a montré un œdème myocardique chez 6 patients.
- ✓ L'analyse de la perfusion myocardique au premier passage était normale avait montré un phénomène de No-reflow chez 19 malades.
- ✓ Étude de rehaussement tardif a montré une viabilité cardiaque positive chez 11 patients
 - Viabilité sur 2 segments : 2 patients
 - Viabilité sur 3 segments : 4 patients
 - Viabilité sur 4 segments : 2 patients
 - Viabilité sur 5 segments : 1 patient
 - Viabilité sur 6 segments : 1 patient
 - Viabilité sur 7 segments : 1 patient

Le rehaussement tardif intéressait < 50 de la paroi sous endocardique chez les patients avec viabilité positive.

Chez les patients avec un myocarde non viable, le rehaussement tardif était transmural ou intéressait > 75 de la paroi myocardique.

2. Etude du ventricule droit

- ✓ La fonction systolique du VD qui était préservée aussi chez tous nos patients.

3. Etude des oreillettes et péricarde:

- ✓ L'OG était dilatée dans 48 % des cas, et l'OD dans 20 % des cas.
- ✓ Un décollement péricardique était présent chez 4 de nos malades.

4. Thrombus

- ✓ L'étude du ventricule gauche a montré la présence d'un thrombus apical chez 9 patients, lequel était associé à un anévrysme chez 2 patients.

DISCUSSION

I. Généralités sur la viabilité myocardique

1. Définitions :

Le myocarde viable

Le myocarde viable désigne le myocarde dont les cellules sont encore vivantes, avec une fonction membranaire, contractile, nucléaire et métabolique conservée. Le myocarde des cardiopathies ischémiques se distingue par la présence d'un myocarde partiellement viable dans les zones où l'infarctus est non transmural jusqu'au myocarde non viable dans des zones où l'infarctus est total et la destruction des myocytes est complète. Le terme viable n'est pas synonyme de contractilité conservée et donc un myocarde viable peut être siège de dysfonction contractile.

La sidération myocardique

Il s'agit d'un état hypo contractile du muscle viable suite à une ischémie brève avec rétablissement de la perfusion [10], qu'on peut voir dans le syndrome de reperfusion avec libération de calcium intramyocytaire et de radicaux libres.

Un épisode ischémique sévère tel un IDM thrombolysé, épisode d'angor instable et après ischémie d'effort peut s'accompagner d'une sidération.

La sidération peut persister entre une heure et quelques jours et le rétablissement d'une perfusion myocardique adéquate corrige la fonction ventriculaire gauche .

L'hibernation myocardique

L'hibernation est une autre forme de myocarde viable avec dysfonction contractile faisant suite dans ce cas à une ischémie chronique [11]. Elle requiert une intervention de revascularisation pour la récupération d'une fonction contractile normale.

L'hibernation myocardique est un mécanisme d'adaptation du myocarde à une situation où les apports sont diminués[11]. Le myocarde réduit sa contractilité pour faire baisser ses besoins. Ainsi, le caractère hypocontractile n'est qu'un mécanisme protecteur dont l'objectif principal est de diminuer la consommation d'oxygène d'un muscle malperfusé et de limiter ainsi l'ischémie et la nécrose [12]. L'ultrastructure du myocarde en hibernation est modifiée, on retrouve un mélange de myocytes normaux, atrophiés et hypertrophiés avec présence ou non de nécrose. Une perte considérable de protéines contractiles, de sarcomères et de myofibrilles est remarquée, ainsi que la présence de plages de fibrose intercellulaire et une expression anormale de protéines fœtales[13]. On observe aussi une perte des sarcomères et des tubules T et un remaniement de l'espace intercellulaire[14–16]. Ainsi qu'une altération des protéines du cytosquelette. L'hibernation est une forme d'altération fonctionnelle et structurelle de la cellule myocardique qui évoluera vers l'apoptose si les processus d'adaptation sont insuffisants.

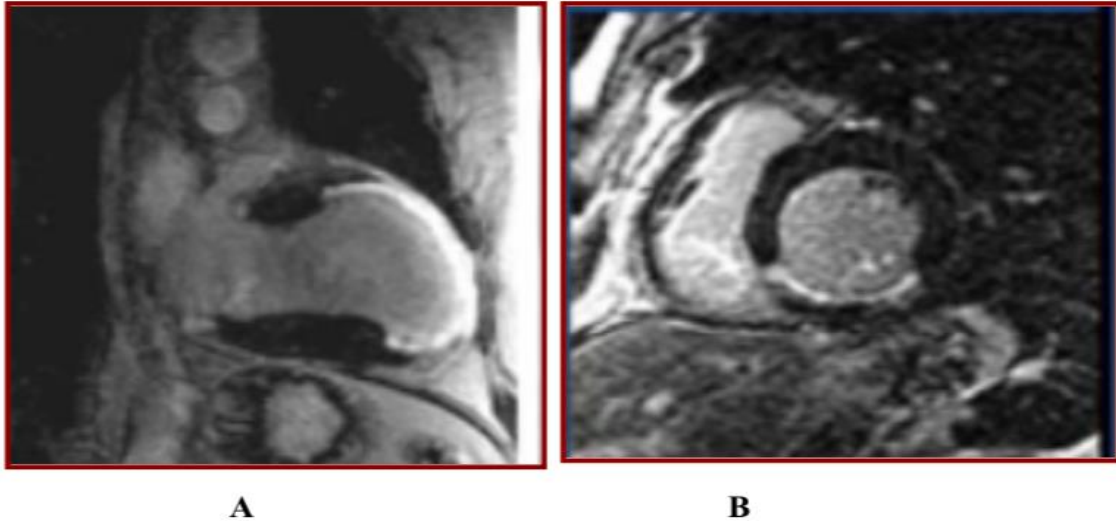


Figure 5 : A : coupes 2 cavités en séquences de rehaussement tardif montrant un infarctus du myocarde ANT transmural du ventricule gauche.
B : nécrose du territoire inférieure viable (RT sous endocardique < 25 %).

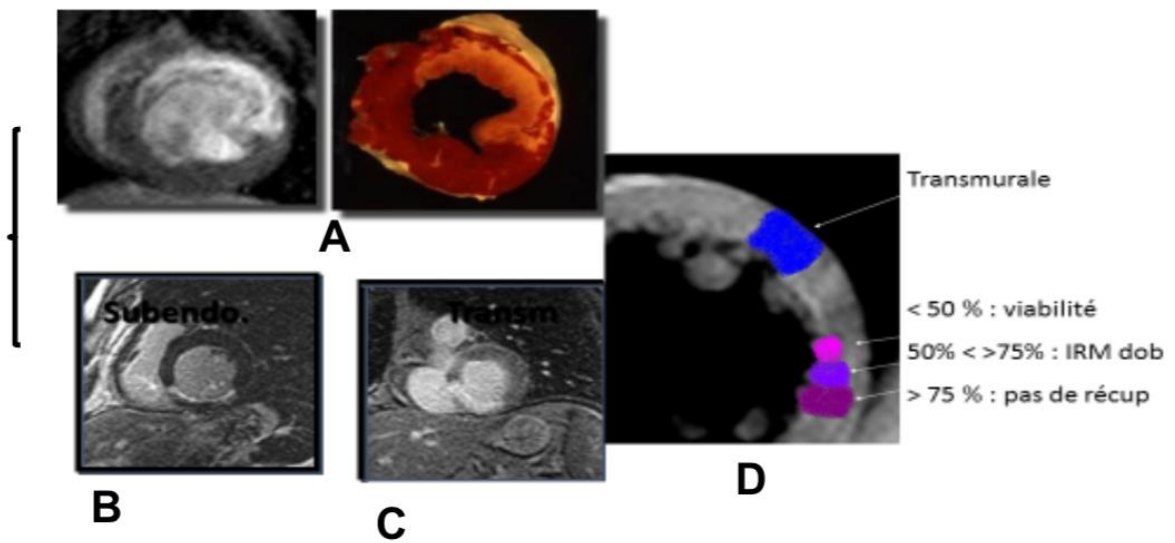


Figure 6 : A : coupe petit axe de rehaussement tardif qui montre un infarctus du myocarde antérieur du VG.
B : Rehaussement tardif sous endocardique <25 % en faveur de viabilité.
C : Rehaussement tardif sous endocardique > 75 % en faveur de l'absence de viabilité.
D : corrélation entre la viabilité et l'étendue du rehaussement tardif.

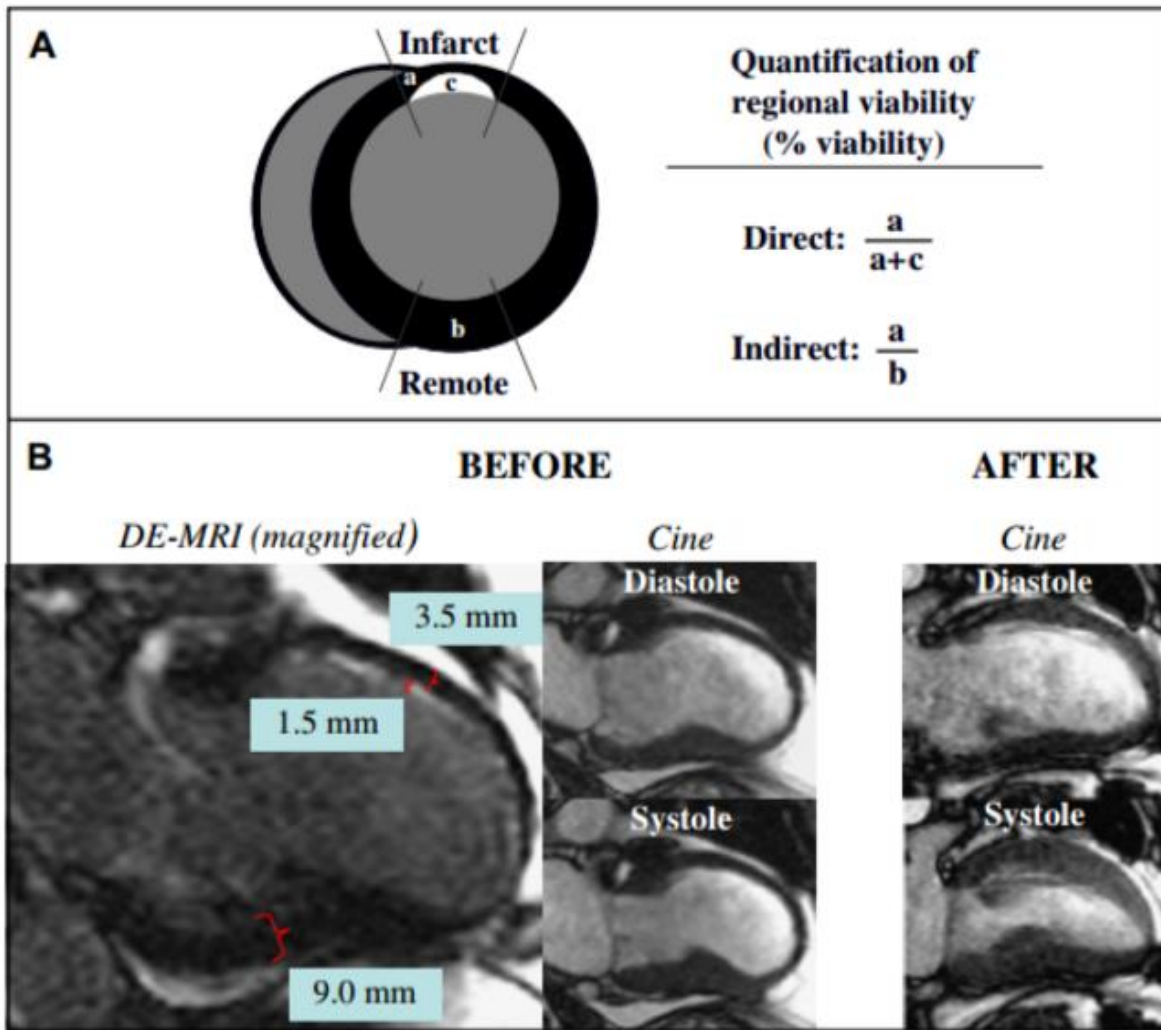


Figure 7 : Quantification de la viabilité régionale [17].

(A) Cartoon illustrating the differences between a direct and an indirect method of quantifying regional viability. Viable myocardium is displayed in black; infarcted myocardium is displayed in white. (B) Long-axis MRI views of a patient before and 2 months after revascularization. Although the akinetic anterior wall is “thinned”

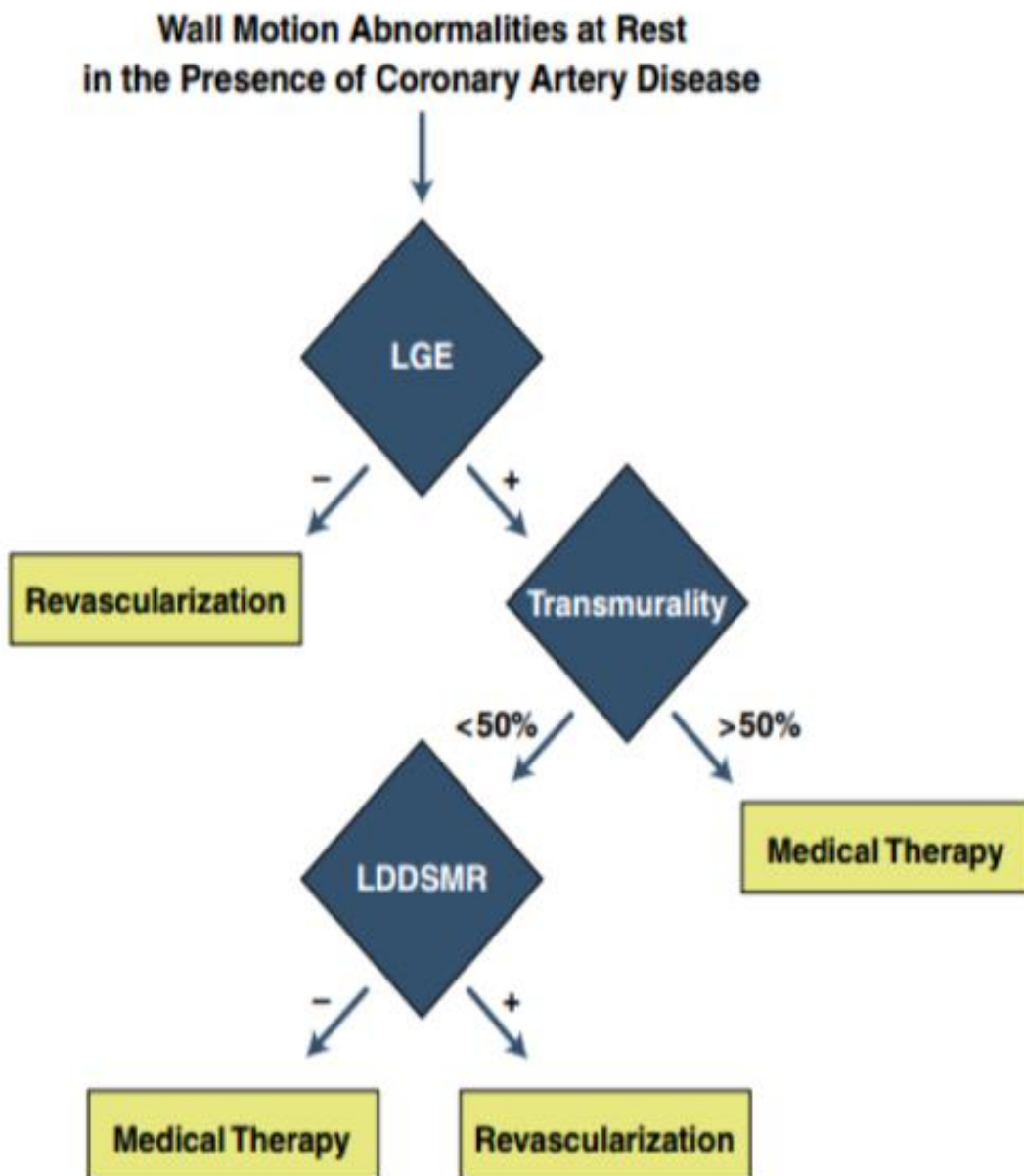


Figure 8 : Algorithme du diagnostic de l'hibernation myocardique par CMR [18].

B. Apport de l'IRM dans la recherche de viabilité myocardique

1. Implications cliniques

La recherche de viabilité myocardique trouve son intérêt chez les patients ayant une atteinte coronaire sévère, chez qui le pronostic sans intervention est sombre et le risque d'un geste de revascularisation est important (prendre en considération l'âge, ATCD de revascularisation, comorbidités associées et le choix du patient)

Le remodelage du VG dans les suites d'un IDM conduit le patient à l'IC latente ou patente.

La revascularisation à distance permet une régression du remodelage et la récupération de la fonction VG, mais la décision de cette revascularisation doit être rationnelle du fait du caractère invasif de cette procédure et afin d'en tirer les éventuels bénéfices [19].

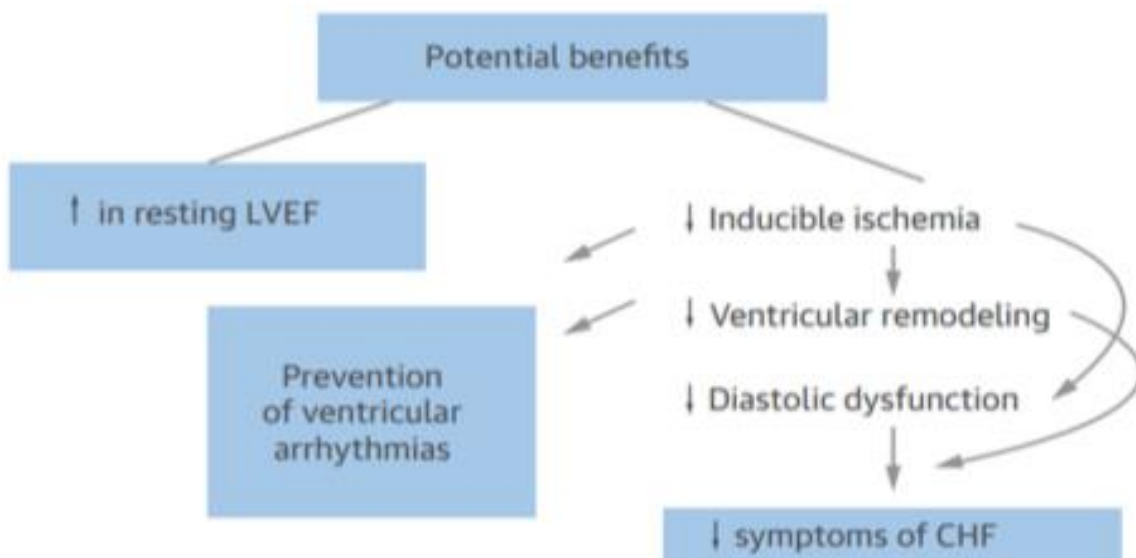


Figure 9 : Illustration schématique des bénéfices de la revascularisation au cours de la dysfonction du ventricule gauche d'origine ischémique

Idéalement, le clinicien ne doit revasculariser que les patients qui vont en bénéficier. Cette sélection passe par un processus réfléchi dont participe toute une équipe médico-chirurgicale (**multi-disciplinary “heart team”**) afin d'atteindre les objectifs thérapeutiques définis via des moyens optimaux

2. Implications pronostiques

L'effet bénéfique de la revascularisation sur le pronostic des patients ayant un myocarde viable paraît être corrélé à la sévérité de la dysfonction ventriculaire. Toutefois, les patients qui n'ont aucune preuve radiologique de viabilité n'ont aucun gain lorsqu'ils sont revascularisés [20].

L'IRM a l'avantage de détecter les petits infarctus non transmuraux avec une supériorité pour détecter la nécroses sous-endocardiques de manière plus fine que les techniques scintigraphiques[21]. Ces infarctus sont dans la plupart du temps non détectables sur l'ECG, ni par une échocardiographie. La découverte d'une cicatrice de nécrose en IRM de contraste chez des patients avec une suspicion d'insuffisance coronaire, chez qui aucun infarctus n'avait été documenté auparavant, est généralement associée à un pronostic défavorable .

Sur le plan rythmologique , des études ont démontré la relation entre le volume de la cicatrice et la survenue d'arythmies indépendamment de ses éventuelles étiologies. Il n'est pas clair ; par contre ; si l'étendue du myocarde viable modifie ce risque ou s'il existe d'autres facteurs qui peuvent contribuer à cette complication [22].

3. Implications thérapeutiques

Indications de revascularisation myocardique (ESC 2018) [23]:

Une revascularisation myocardique sera indiquée en présence d'une :

Dysfonction VG $\leq 35\%$ avec lésions bitronculaires ou tritronculaires avec preuve de viabilité (I A).

- **En pratique :**

- En cas de dysfonction chronique ischémique, la revascularisation par pontage est indiscutablement utile mais doit être discutée au cas par cas
- Nécessité de prendre en compte le type de symptôme (angor, dyspnée), état anatomique coronaire, comorbidités (DT2) et la présence de viabilité voire d'ischémie induite par la méthode utilisée .

- **Quel moyen de revascularisation ?**

- Dépend du risque chirurgical et la faisabilité technique de l'angioplastie.
- Autres critères : rapport bénéfice/ risque, le diabète, dysfonction VG et le caractère complet de la revascularisation
- La priorité doit être donnée au caractère complet de la revascularisation (IIa).
- Évaluation du risque chirurgical : (mortalité post opératoire) Le score STS (Society of Thoracic Surgeons) est recommandé (I, B) et Le score EuroSCORE II peut être utilisé (IIb, B).
- Évaluation de la complexité de la coronaropathie : Le score SYNTAX est recommandé en cas atteinte du tronc ou une atteinte pluritronculaire afin

d'évaluer la complexité anatomique et le risque à long terme de décès et de morbidité après ICP (I).

- Le score syntax prend en compte (Dominance dt/gche, le Siège sténose, son degré, lésions de bifurcation ou trifurcation, lésions ostiale, tortuosité, longueur, calcification, thrombus)
- Le Score STS (Type de chirurgie (Pontage, valvulaire ou les 2), Age, sexe, race, comorbidité rénale, respiratoire, hépatique, neurologique, HTA, FE, état de choc)
- L'ICP est préconisée en cas de haut risque chirurgical.
- Le pontage en cas de lésion complexes.
- Chez les patients à risque bas et des lésions qui peuvent bénéficier d'une angioplastie :

✚ Dans les lésions mono et bitronculaire : l'ICP(I) fait mieux que la chirurgie(IIb), sauf en cas d'atteinte de l'IVA proximale où la chirurgie(I) est égale à l'ICP(I) voir mieux si l'IVA prox est associée à une atteinte bitronculaire.

- Dans les lésions du TC et tri tronculaire :

✚ Score SYNTAX élevé ($TC \geq 33$; Tritronc > 22) : la chirurgie (I,A) fait mieux que l'ICP non recommandée (III)

✚ Score SYNTAX faible (0-22) : Les deux techniques sont recommandées (I,A) sauf chez le diabétique tritronculaire où la chirurgie (I,A) fait mieux que l'ICP (IIb).

+ TC avec SYNTAX intermédiaire (23-32) : La chirurgie (I,A) fait mieux que l'ICP (IIa).

CONCLUSION

L'IRM est une technique d'imagerie essentielle dans l'exploration de la cardiopathie ischémique. Elle permet l'étude de la contractilité, la fonction ventriculaire, localiser l'infarctus et d'apporter des éléments pronostics prédictifs d'une récupération fonctionnelle après revascularisation ce qui rend sa sensibilité et sa spécificité comparable aux méthodes scintigraphiques.

L'IRM cardiaque explorant la cardiopathie ischémique repose essentiellement sur l'étude morphologique et fonctionnelle en ciné-IRM et l'IRM de perfusion qui permet l'étude du rehaussement tardif.

Ses indications comprennent notamment la recherche de viabilité cardiaque grâce à la séquence du rehaussement tardif.

La recherche de la viabilité myocardique a des implications cliniques et thérapeutiques, et a permis la sélection des patients pour revascularisation chirurgicale ou percutanée et par conséquent l'amélioration du pronostic des patients revascularisés.

Le progrès de cette technique d'imagerie ne cesse d'augmenter, et l'avènement des machines à 3 teslas et plus ainsi que les nouvelles séquences de mapping va permettre d'élargir les indications de cette méthode d'imagerie et d'améliorer la technique d'analyse.

RESUMES

RESUME

Titre : Apport de l'IRM cardiaque dans la recherche de viabilité myocardique

Auteur : Nadif maryam

Mots clés : Viabilité myocardique, dysfonction myocardique, hibernation myocardique, sidération myocardique.

L'hibernation et la sidération myocardiques représentent la base de l'étude de la viabilité myocardique.

Ces évènements résultent d'une succession d'évènements moléculaires complexes faisant suite à un ou plusieurs épisodes ischémiques.

Le myocarde hibernant est une forme d'adaptation myocardique suite à des épisodes ischémiques répétitifs qui serait réversible après revascularisation coronaire.

L'avènement de l'IRM cardiaque et ses indications dans la recherche de viabilité cardiaque a permis une appréciation plus fine de cette pathologie et une amélioration du pronostic des patients coronariens bénéficiant de cette technique d'imagerie.

La viabilité cardiaque permet de limiter un groupe de personne qui tireront le plus bénéfice des techniques de revascularisation et chez qui le pronostic est plus réservé.

Le but de ce travail illustré par l'étude de la viabilité myocardique chez une population de coronariens est de montrer l'intérêt diagnostique et pronostic de l'IRM cardiaque devenu comme examen de référence à la recherche de myocarde viable.

ABSTRACT

Title: Contribution of cardiac MRI in the search for myocardial viability

Author: NADIF MARYAM

Key words: «myocardial viability», «myocardial dysfunction», « myocardial hibernation », « myocardial stunning»

Hibernating and stunned myocardium represent the basis of the study of myocardial viability.

These events result from a cascade of complex molecular events following one or more ischemic episodes.

Hibernating myocardium is a form of myocardial adaptation following repetitive ischemic episodes that is said to be reversible after coronary revascularization.

Cardiac MRI and its indications in the search for cardiac viability have enabled a more detailed assessment of this pathology and an improvement in the prognosis of coronary patients benefiting from this imaging technique.

Cardiac viability limits a group of people who will benefit the most from revascularization techniques and in whom the prognosis is more reserved.

The aim of this work, illustrated by the study of myocardial viability in a population of ischemic patients, is to show the diagnostic and prognostic value of cardiac MRI, which has become a benchmark examination in the search for a viable myocardium.

ملخص

العنوان: مساهمة التصوير بالرنين المغناطيسي للقلب للكشف عن قابلية عضلة القلب لاستعادة القلوصية

المؤلف: الناضيف مريم

الكلمات الأساسية: قابلية عضلة القلب لاستعادة القلوصية ، ضعف عضلة القلب ، سبات عضلة القلب دهشة عضلة القلب

تشكل دهشة وسبات عضلة القلب أحد أسس دراسة قابلية عضلة القلب لاستعادة القلوصية تنتج هذه الأحداث عن سلسلة من الأحداث الجزيئية المعقدة التي تعقب فترة أو فترات متتالية من انخفاض الصبيب الدموي التاجي

لذلك فسبات عضلة القلب يعتبر شكلا من أشكال تكيف عضلة القلب وذلك بالتخلي عن وظيفة التقلص

المستهلة للطاقة، حيث إنها قابلة للعكس بعد إعادة مستوى الصبيب الدموي

يمكن الكشف عن قابلية عضلة القلب لاستعادة القلوصية عبر تقنية التصوير بالرنين المغناطيسي للقلب من تحسين تشخيص مرضى الشريان التاجي الذين يستفيدون من تقنية التصوير هذه.

يمكن الكشف عن قابلية عضلة القلب لاستعادة القلوصية تحديد مجموعة من الأشخاص الذين سيستفيدون أكثر من تقنيات تحسين الصبيب الدموي التاجي

الهدف من هذا العمل ، الذي يتضح من خلال دراسة قابلية عضلة القلب لاستعادة القلوصية عند مجموعة من مرضى الشريان التاجي ، هو إظهار القيمة التشخيصية والتكهنية للتصوير بالرنين المغناطيسي للقلب والذي أصبح اختباراً معيارياً مهماً في الكشف عن قابلية عضلة القلب لاستعادة القلوصية

REFERENCES

1. SR, Bax JJ, Vom Dahl J, et al. Imaging techniques for the assessment of myocardial hibernation. *Eur Heart J* 2004;25:815–36.
2. Schinkel AF, Bax JJ, Poldermans D, et al. Clinical assessment of myocardial hibernation. *Heart* 2005;91:111–7.
3. Mock MB, Ringqvist I, Fisher LD, et al. Survival of medically treated patients in the Coronary Artery Surgery (CASS). *Circulation* 1982;66:562–8.
4. Garot J, Ohanessian A, Hovasse T. IRM et scanner cardiaque dans la CI . *Annales de Cardiologie et d'Angéiologie*. 2008 ; 57 (6): 359–64.
5. Dacher JN, Gahide G, Gerbaud E, Varin C, Manrique A et Laissy JP. Plans de Coupe en IRM Cardiaque. *J Radiol* 2004; 85(1): 11-6.
6. Clarke CJ, Gurka MJ, Norton PT, Kramer CM, Hoyer AW. Assessment of the accuracy and reproducibility of RV volume measurements by CMR in congenital heart disease. *JACC Cardiovasc Imaging* 2012; 5(1): 28–37.
7. Vignaux O, Deux J-F, Chabrilat Y, Willoteaux S, Marie P-Y, Laurent F et Garot J. Les conditions techniques d'utilisation de l'IRM cardiaque. *Archives of Cardiovascular Diseases Supplements* 2009 ; 1(1) : 23-33.
8. Rehwald WG, Fieno DS, Chen EL, Kim RJ and Judd RM. Myocardial magnetic resonance imaging contrast agent concentrations after reversible and irreversible ischemic injury. *Circulation* 2002; 105 (2): 224–9.
9. Kramer CM, Chandrashekar Y, Narula J. T1 Mapping by CMR in Cardiomyopathy: A Noninvasive Myocardial Biopsy? *J Am Coll Cardiol Img*. 2013; 6(4): 532-4.
10. Braunwald E, Kloner RA. The stunned myocardium: prolonged, postischemic ventricular dysfunction. *Circulation* 1982;66:1146–9.
11. Rahimtoola SH. The hibernating myocardium. *Am Heart J* 1989;117:211–21.
12. Frangogiannis NG. Myocardial hibernation clinical and pathological perspectives. *Min Cardiol Ang* 2003;51:261–74.

13. Schwarz ER, Schaper J, Vom Dahl J, et al. Myocyte degeneration and cell death in hibernating human myocardium. *J Am Coll Cardiol* 1996;27:1577–85.
14. Ausma J, Thone F, Dispersyn GD, et al. Dedifferentiated cardiomyocytes from chronic hibernating myocardium are ischemia-tolerant. *Mol Cell Biochem* 1998;186:159–68.
15. Borgers M, Ausma J. Structural aspects of the chronic hibernating myocardium in man. *Bas Res Cardiol* 1995;90:44–6.
16. Borgers M, Thone F, Wouters L, et al. Structural correlates of regional myocardial dysfunction in patients with critical coronary stenosis: chronic hibernation? *Cardiovasc Pathol* 1993;2:237–45.
17. Kim RJ, Shah DJ. Fundamental concepts in myocardial viability assessment revisited: when knowing how much is “alive” is not enough. *Heart* 2004;90:139;
18. Eike Nagel et al. Myocardial Viability Dead or Alive Is Not the Question! *V O L.5, N O5, 2 0 1*
19. Anavekar, N.S. et al. *J Am Coll Cardiol*. 2016;67(24):2874–87
20. Allman KC, Shaw LJ, Hachamovitch R, Udelson JE. Myocardial viability testing and impact of revascularization on prognosis in patients with CAD and left ventricular dysfunction: a meta-analysis. *J Am Coll Cardiol* 2002;39:115-8
21. Ricciardi MJ, Wu E, Davidson CJ et al. Visualization of discrete microinfarction after percutaneous coronary intervention associated with mild creatine kinase-MB elevation. *Circulation* 2001;103(23):2780-3.
22. Gao P, Yee R, Gula L, Krahn AD, Skanes A, Leong-Sit P, et al. Prediction of arrhythmic events in ischemic and dilated cardiomyopathy patients referred for implantable cardiac defibrillator: evaluation of multiple scar quantification measures for late gadolinium enhancement magnetic resonance imaging. *Circ Cardiovasc Imaging* 2012;5:448–56.

23. Franz-Josef Neumann, Miguel Sousa-Uva, Anders Ahlsson, Fernando Alfonso, Adrian P Banning, Umberto Benedetto, Robert A Byrne, Jean-Philippe Collet, Volkmar Falk, Stuart J Head Adnan Kastrati, Akos Koller, Steen D Kristensen, Josef Niebauer, Dimitrios J Richter, Petar M Seferović, Dirk Sibbing, Giulio G Stefanini, Stephan Windecker, Rashmi Yadav, Michael O Zembala, 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization . *European Heart Journal*, Volume 40, Issue 2, 07 January 2019, Pages 87–165,