

LA VENTRICULOGRAPHIE
ISOTOPIQUE :

EXPERIENCE DU SERVICE DE
MEDECINE NUCLEAIRE DE
L'HOPITAL IBN SINA
CHU RABAT-SALE

Mots clé : Ventriculographie – Globule
Rouge – Pyrophosphate – ^{99m}Tc – fraction
d'éjection

Plan

Introduction

Rappel anatomique et physiologique du cœur :

Généralités sur la médecine nucléaire

La ventriculographie isotopique

Faisabilité : expérience du service de médecine nucléaire du CHU IBN SINA, Rabat-Salé

Discussion

Conclusion

Résumé

Bibliographie

ABBREVIATIONS

^{99m}Tc	: Technétium 99 métastable.
FEVG	: Fraction d'éjection ventriculaire gauche
FDG	: FluoroDeoxyGlucose
Gated SPECT	: Tomographie d'émission monophotonique synchronisée à l'ECG
IDM	: Infarctus du myocarde
VTD	: Volume télédiastolique
VTS	: Volume télésystolique
VG	: Ventricule gauche
Fc	: Fréquence cardiaque
ECG	: Electrocardiogramme
MBq	: méga becquerel
mCi	: millicurie

I- INTRODUCTION

La cardiologie nucléaire, constitue actuellement dans les pays développés, un moyen performant pour l'exploration non invasive du cœur. C'est une discipline jeune par rapport à la radiologie. Elle est à la fois diagnostique, pronostique et parfois thérapeutique reposant sur l'utilisation de substances radioactives qui vont se localiser spécifiquement dans un organe ou dans un tissu et fournir une information sur une fonction biochimique ou physiologique. L'obtention d'une telle information nécessite la mise au point de traceurs spécifiques et des moyens de détection appropriés.

La cardiologie nucléaire occupe une place privilégiée en médecine nucléaire. Le domaine d'application de la médecine nucléaire s'élargit de jour en jour ; et concerne actuellement pratiquement toutes les disciplines médicales.

La ventriculographie isotopique dynamique est une méthode physiologique non invasive, Elle permet l'étude de la contractilité des ventricules et est devenue un des examens de référence explorant directement le volume ventriculaire.

Son intérêt réside dans l'apport diagnostique en matière de maladie coronaire. Mais également, grâce au calcul des paramètres fonctionnels (Fraction d'éjection ventriculaire gauche FEVG, cinétique segmentaire) et l'évaluation pronostique (Perfusion et viabilité myocardique), elle constitue un élément important dans la prise en charge thérapeutique. La ventriculographie isotopique occupe une place de choix dans la pathologie cardiaque et peut être utilisée chez les patients sous chimiothérapie pour la détection des signes pré cliniques de la cardiotoxicité.

Notre travail consiste à montrer l'apport de la ventriculographie isotopique dans la pathologie cardio-vasculaire, ses avantages, ses limites et sa faisabilité au sein du service de médecine nucléaire de l'hôpital Ibn Sina, dans le but de sensibiliser les cliniciens à l'apport des explorations isotopiques dans la pathologie cardiaque.

II. RAPPEL ANATOMIQUE ET PHYSIOLOGIQUE DU COEUR :

A/ anatomie du cœur (1, 2, 3, 4, 5) :

1) généralités

Le cœur est un organe musculéux d'environ 250 grammes, ayant la forme d'une pyramide triangulaire. Sa pointe est orientée vers le bas, vers la gauche et vers l'arrière. Il est situé dans le médiastin antérieur entre les deux poumons à l'abri du grill costal antérieur et du sternum.

Le cœur est un organe creux composé de deux entités distinctes séparées: le cœur droit et le cœur gauche (figure 1, 2, 3, 4, 5).

Chaque cœur est composé d'un ventricule et d'une oreillette séparés par la valve tricuspide pour le cœur droit et la valve mitrale pour le cœur gauche. Les limites entre ces quatre parties sont indiquées sur la face extérieure du cœur par :

- ♣ Le septum inter auriculaire est la cloison séparant les oreillettes.
- ♣ Le septum inter ventriculaire est la cloison séparant les ventricules.
- ♣ Le sillon auriculo ventriculaire qui sépare les oreillettes des ventricules.

Le cœur est formé de trois parois qui sont de l'extérieur vers l'intérieur : l'endocarde, le myocarde, le péricarde composé lui-même de deux feuillets, le péricarde viscéral et le péricarde pariétal entre lesquels se trouvent quelques centimètres cubes de liquide péricardique.

2) le fonctionnement du cœur et de la circulation (figure 6) :

On distingue la grande circulation et la petite circulation :

- ♣ La grande circulation : comprend la partie gauche du cœur (dite le cœur gauche) avec l'oreillette et le ventricule gauche, et l'aorte qui va distribuer l'oxygène à tout l'organisme en particulier les organes vitaux : cerveau, reins, foie...
- ♣ La petite circulation : c'est la circulation pulmonaire. Elle comprend l'oreillette et le ventricule droit (dit le cœur droit), l'artère pulmonaire, les poumons, et les veines pulmonaires. Elle permet au sang de se recharger en oxygène.

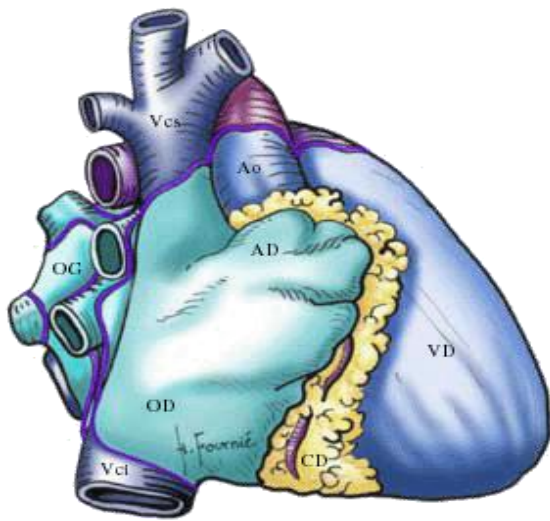
L'oreillette droite reçoit le sang veineux par les veines caves supérieur et inférieur.

Le sang est ensuite propulsé dans le ventricule droit à travers la valve tricuspide.

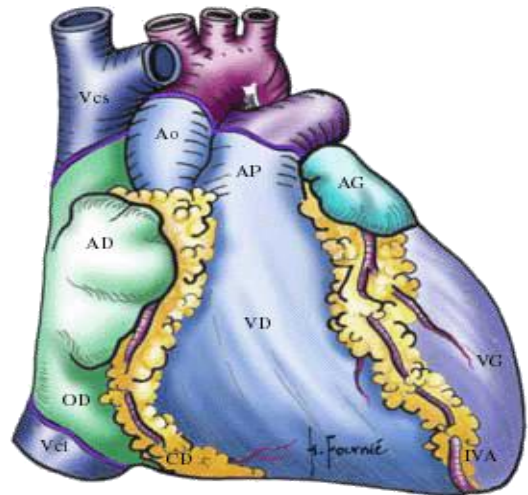
Le sang rejoint ensuite le poumon en franchissant la valve pulmonaire qui le sépare de l'artère pulmonaire.

Après oxygénation dans le poumon, le sang rejoint l'oreillette gauche par les veines pulmonaires. Il est ensuite propulsé dans le ventricule gauche à travers la valve mitrale.

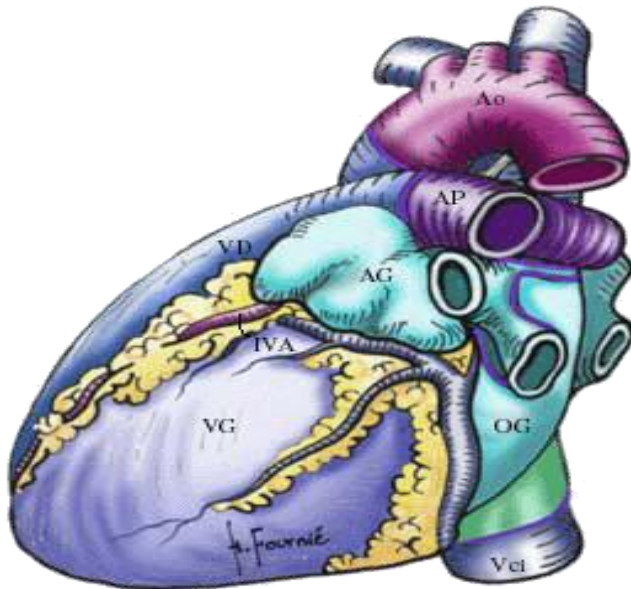
La contraction du myocarde éjecte ensuite le sang dans l'aorte à travers la valve aortique. Le sang reviendra ensuite à l'oreillette droite par les veines caves.



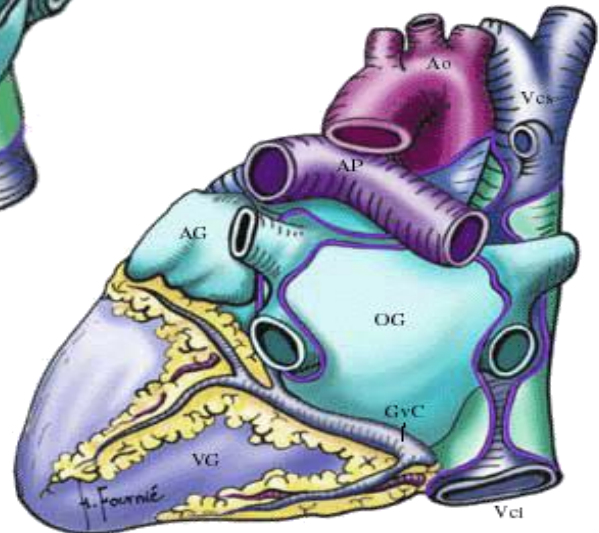
- vue droite du cœur -



- vue antérieure du cœur -
(d'après L. Delpech)



- vue gauche du cœur -
(d'après L. Delpech)



- vue postérieure du cœur -
(d'après L. Delpech)

Figures 1 ; 2 ; 3 ; 4 :
les différentes faces
du cœur [A].

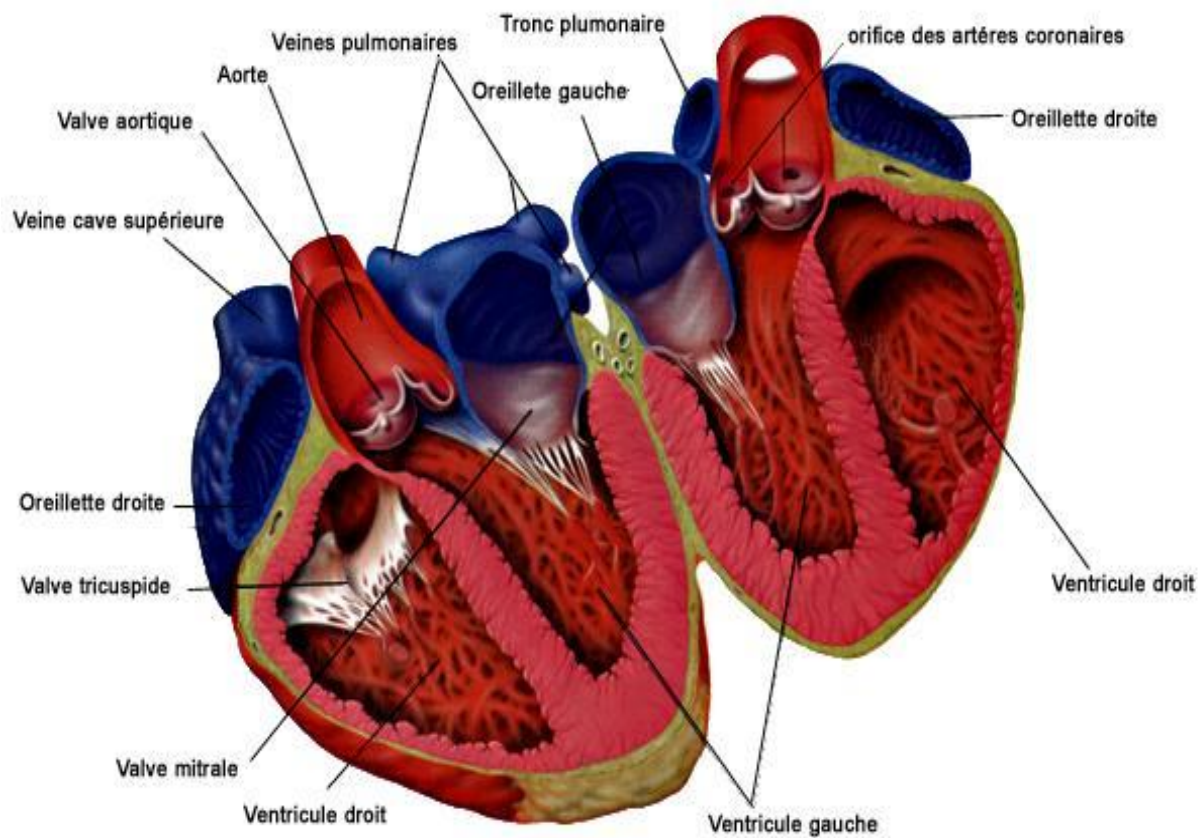


Figure5 : coupe frontale du cœur montrant les différentes cavités cardiaques [B].

Circulation sanguine

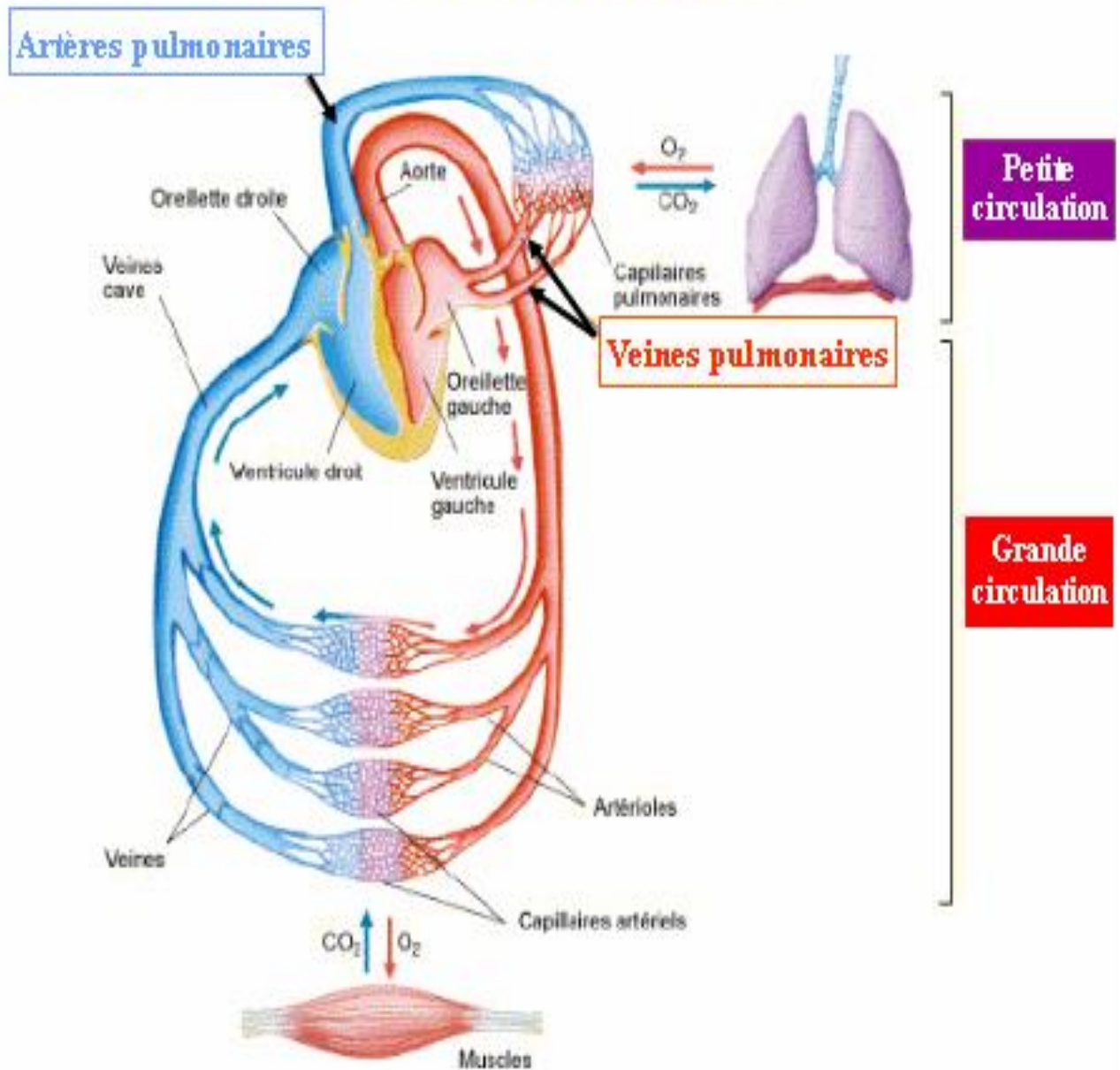


Figure 6: la petite et la grande circulation sanguine [C]

3)la perfusion du myocarde :

Elle est assurée par les artères coronaires. Ce sont les artères nourricières du cœur et elles parcourent celui-ci à sa surface externe (figure 7 et 8).

Les artères coronaires droite et gauche naissent directement de la base de l'aorte et alimentent le myocarde. Cette vascularisation est de type terminale.

Les gros troncs sont superficiels épigardique donnant naissance à un réseau capillaire sous épigardique et sous endocardique important (3500 cap/mm²).

Les veines ne sont pas satellites des artères.

Il existe des shunts artério-veineux permettant la respiration cellulaire.

Le sang cavitaire représente un flux nutritif pour la région endocardique du ventricule droit.

***. L'artère coronaire gauche :**

Elle naît au-dessus de la sigmoïde antéro-gauche. Elle comporte une première partie ou tronc commun, de 1 à 3 cm, qui se divise en une inter ventriculaire antérieure (donnant les artères septales et une ou deux diagonales) et une circonflexe (donnant des collatérales descendantes pour la face postérieure du ventricule gauche, des collatérales ascendantes pour l'oreillette gauche, et une marginale pour la face antéro-latérale du ventricule gauche).

***. L'artère coronaire droite :**

Elle naît au-dessus de la sigmoïde antéro-droite. Elle contourne le cœur dans le sillon auriculo-ventriculaire droit et atteint la partie supérieure du sillon inter-ventriculaire postérieur qu'elle empreinte : inter ventriculaire postérieure.

Chez quatre-vingts à quatre-vingt-dix pour cent des individus, la circulation est ainsi à prédominance droite avec l'artère inter ventriculaire postérieure et les artères postéro latérales prenant bien naissance dans la coronaire droite. Cependant, il existe des variations anatomiques.

4)la régulation nerveuse (figure 9):

Si le faisceau primitif règle l'automatisme propre du cœur, il existe un système nerveux extracardiaque qui modifie cet automatisme en fonction des besoins de l'organisme.

Ce système est constitué par le plexus cardiaque auquel sont annexés des ganglions intracardiaques.

*** activité nerveuse dans le cœur et les vaisseaux :**

- ♣ Parasympathique : récepteur bêta vasodilatateur.
- ♣ Sympathique : récepteur alpha vasodilatateur.

* innervation extrinsèque du cœur :

- ♣ centre de commande bulbaire
- ♣ voies centrifuges : parasympathique et sympathique.

* innervation des vaisseaux: vasomotricité

- ♣centres bulbo-médullaires

* la régulation neurovégétative : du débit peut être mise en jeu :

- ♪ Par action direct sur les centres
- ♪ Par voie réflexe
- ♪ Par des facteurs physiques :
 - *pression artérielle
 - *volorécepteurs
- ♪ Par des facteurs humoraux :
 - *facteurs endocriniens
 - *facteurs chimiques : PaO₂, PaCO₂, pH

Les récepteurs muscariniques de l'acétylcholine sont présents dans l'ensemble du myocarde surtout le ventricule gauche, il en est de même pour les récepteurs bêta1 et bêta2 adrénergiques.

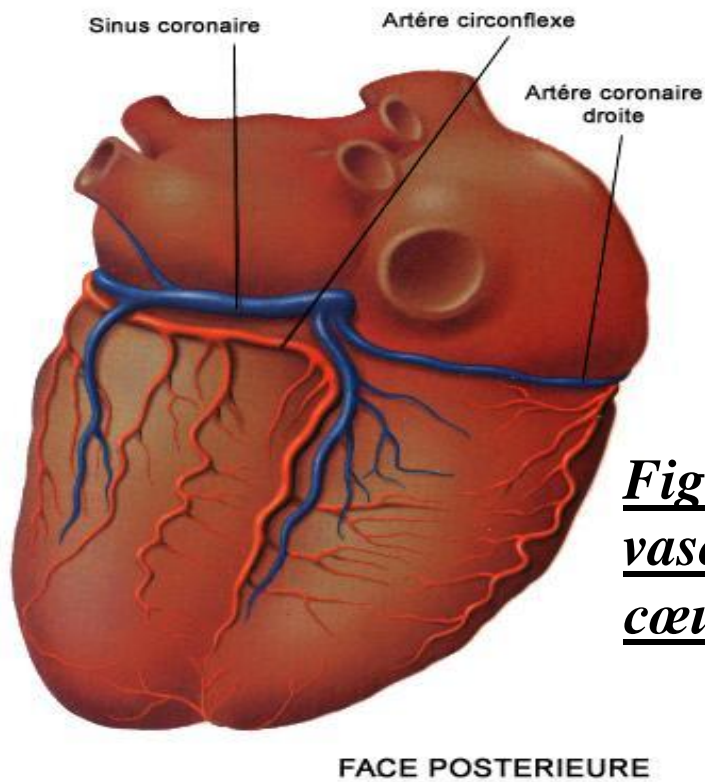
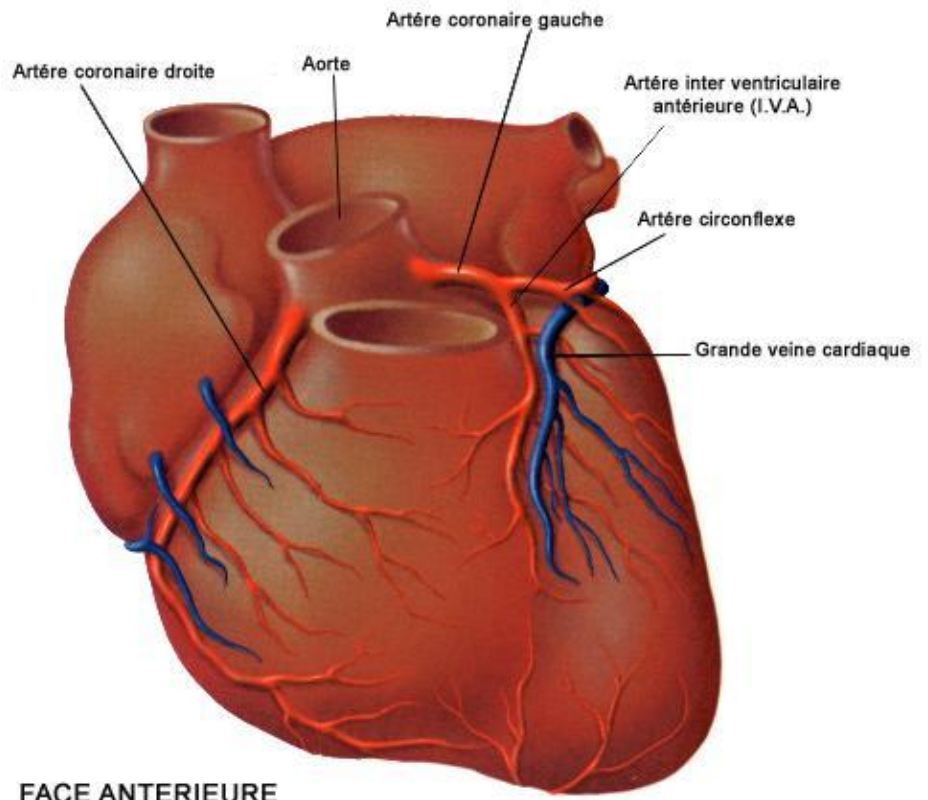


Figure 7 et 8 : la vascularisation du cœur [D]

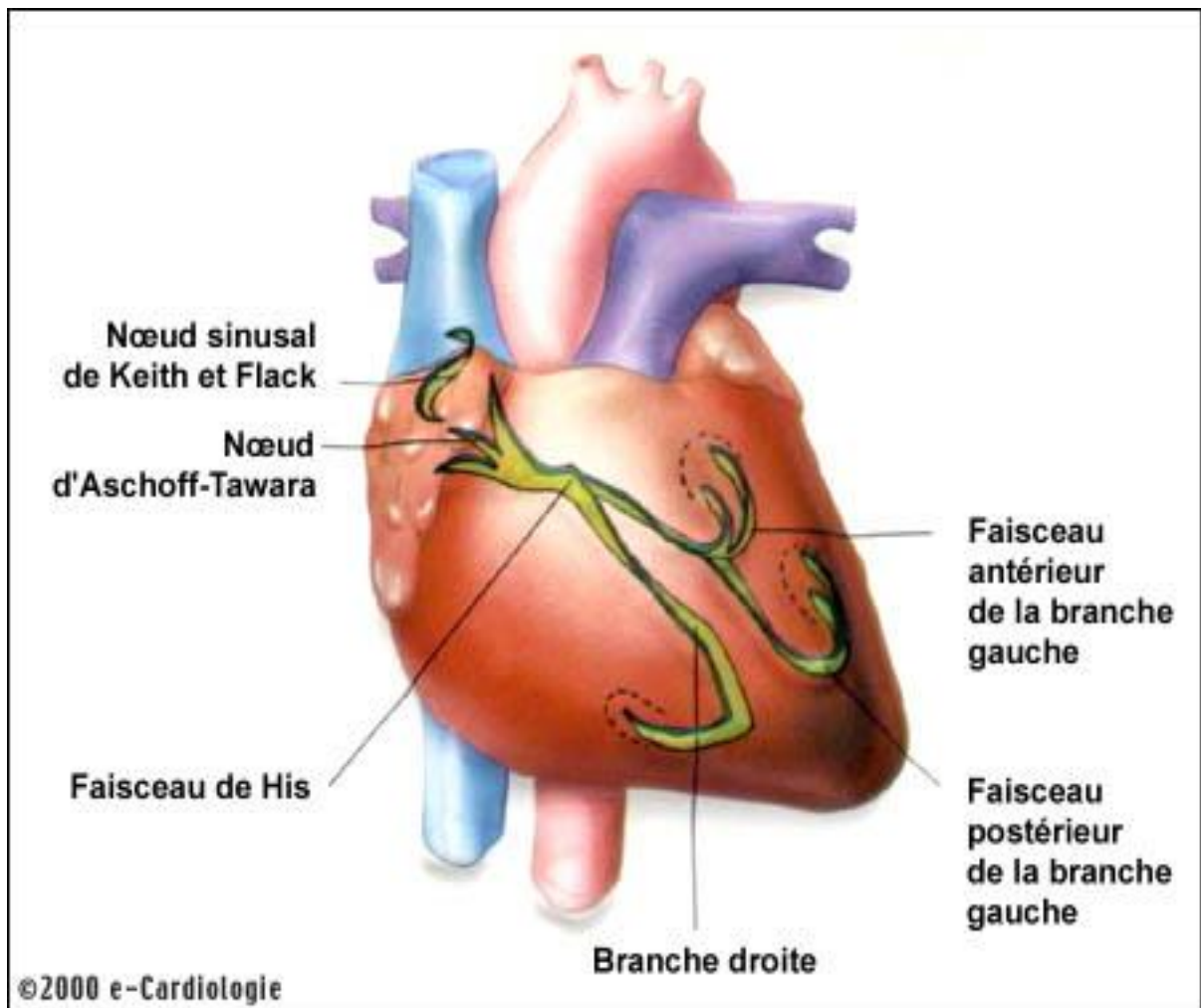


Figure 9 : La conduction électrique [E].

B/ Physiologie du cœur (3,4):

Le cœur est un organe automatique, il est à l'origine de sa propre activité, faite d'une succession de systoles et de diastoles, constituant ainsi un cycle cardiaque (figure 10).

- la systole correspondant à la contraction ventriculaire précédée par une brève contraction des oreillettes qui permet le remplissage des ventricules.
- La diastole correspond à la phase de repos cardiaque pendant laquelle les oreillettes se remplissent.

La fréquence cardiaque est d'environ 70 battements par minute chez l'homme adulte sain, au repos.

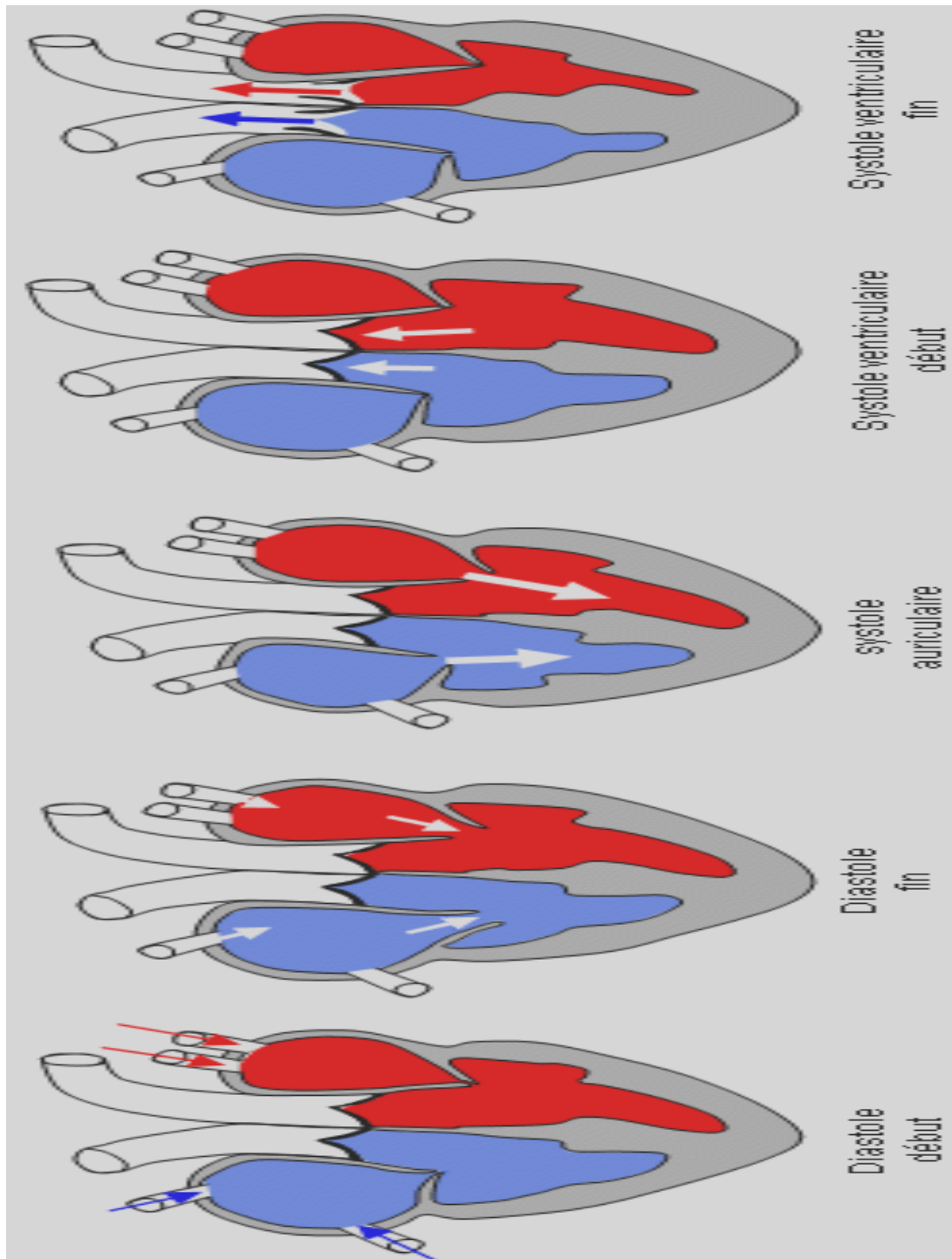


Figure 10 : les étapes du cycle cardiaque [F].

C/ quelques définitions :

♠ Le volume télésystolique : VTS

C'est la quantité de sang contenu dans les ventricules en fin de la systole. Il représente 2/3 du volume d'éjection systolique d'un sujet entraîné et 1/3 de celui d'un sujet non entraîné. Un grand VTS est favorable, car le ventricule nécessite moins de pression pour pulser le même débit sanguin, et ce volume sert de réserve systolique immédiatement disponible pour satisfaire l'adaptation nécessaire à l'effort.

♠ Le volume télédiastolique : VTD

C'est la quantité de sang contenu dans les ventricules en fin de la diastole. Au repos, seulement 30 à 50°/° du VTD total éjecté à chaque contraction ventriculaire. Ainsi, une contraction plus puissante peut augmenter le débit cardiaque en vidant plus complètement les ventricules sans augmentation préalable du volume télé diastolique.

♠ Le volume d'éjection systolique : VES

C'est la différence entre VTD et VTS. Il représente la quantité de sang à chaque contraction par le ventricule.

♠ La fraction d'éjection systolique : FES

Le rapport entre VES et VTD est la fraction d'éjection systolique (FES). Elle est normalement de 65°/° ±10. Un chiffre plus bas indique un mauvais fonctionnement du myocarde.

♠ La fréquence cardiaque : Fc

La Fc est le nombre de contractions ventriculaires par seconde. Elle est exprimée en battements par minute bats/min.

On estime qu'une fréquence cardiaque de repos supérieure à 80 bats/min est pathologique.

♠ La fréquence cardiaque maximum :Fc Max

La Fc Max est variable suivant les individus, elle diminue progressivement. Elle peut être appréciée à partir de deux formules :

*/ La formule d'Astrand : $Fc \text{ Max} = (220 - \text{Age}) \pm 10$

*/ La formule Spiro : $Fc \text{ Max} = 210 - (0.65 \times \text{Age})$

Ces formules sont théoriques et leurs valeurs peuvent être très bien dépassées par un sportif entraîné ou totalement illusoire pour un décompensé à l'effort.

♠ Le débit cardiaque : Q

C'est la quantité de sang éjecté par chaque ventricule en une minute. Il est exprimé en ml par minute.

$$Q = \text{VES} \times \text{Fc (ml/min)}$$

♠ La différence artério-veineuse : DAV

C'est la capacité d'extraction d'oxygène du sang.

♠ La consommation maximale d'oxygène : VO2 Max

VO2 Max représente la consommation maximum d'oxygène, elle peut varier avec le type d'exercice, le sexe et l'âge. A ce stade si l'effort augmente, la consommation d'oxygène n'augmente plus. Au-delà de VO2 max, le sujet est en anaérobiose.

$$\text{VO}_2 = \frac{\text{Fc effort} - \text{Fc repos}}{\text{Fc Max} - \text{Fc repos}}$$

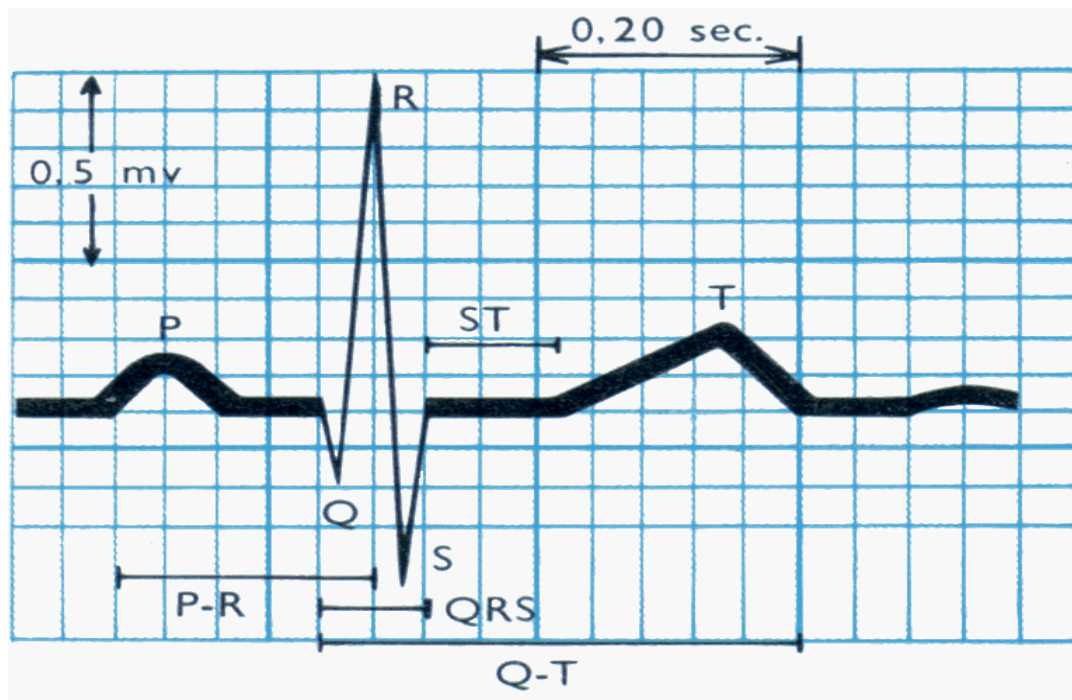
D/ Généralités sur l'électrocardiogramme (figure11) :

Le cœur est constitué de cellules musculaires. Leurs activités s'accompagnent de phénomènes électriques enregistrables. L'ECG permet de suivre et d'enregistrer l'activité globale des cellules cardiaques. Le tracé obtenu varie en fonction de l'emplacement des électrodes ou dérivation (il existe 12) :

- Dérivations bipolaires historiques (deux électrodes aux extrémités des membres)
- Dérivations unipolaires: une électrode à l'extrémité d'un membre ou sur la poitrine (précordiale).

Le choix des dérivations utilisé conditionne la forme de tracé ainsi que le type de pathologie observable.

L'électrocardiogramme est utilisé pour suivre les modifications de volume des cavités, les troubles du rythme et les affections coronariennes. Il est parfois nécessaire de recourir à des épreuves d'effort : ECG d'effort, pour rendre l'examen plus sensible.



P = onde auriculaire, PR = temps de conduction auriculo-ventriculaire, QRS = onde ventriculaire rapide ou de dépolarisation, Q = première onde négative, R première onde positive, S = première onde négative suivant une onde positive, ST-T = onde ventriculaire lente ou de repolarisation

Figure 11 : Tracé d'un électrocardiogramme [G].

III-Généralités sur la médecine nucléaire

A /Historique de la médecine nucléaire

La radioactivité naturelle a été découverte par Henri Becquerel en 1896. D'autres découvertes fondamentales ont suivi : en 1898, du polonium et du radium par P. et M. Curie, dont la consécration s'est manifestée par l'attribution du prix Nobel de physique en 1903 ; et la construction, du premier cyclotron à Berkeley par E.O. Lawrence. Lequel instrument est utilisé jusqu'à maintenant quotidiennement pour produire des radio isotopes.

La radioactivité artificielle est née en 1934 grâce aux travaux d'Irène et Frédéric Joliot Curie. Quelques années plus tard ; est née la médecine nucléaire ; les premiers actes diagnostiques et thérapeutiques ont vu le jour en 1939.

B/ Principes généraux de la médecine nucléaire diagnostique in vivo :

La médecine nucléaire diagnostique in vivo consiste, à administrer au malade une molécule marquée à l'aide d'un isotope radioactif. Cette molécule est choisie en fonction de sa possibilité de tracer une voie métabolique ou physiologique spécifique. Elle peut être un substrat d'une voie métabolique, un anticorps, une hormone, un peptide, un médicament, des cellules (hématies, leucocytes)... etc. Un isotope radioactif doit être fixé sur la molécule d'intérêt par un couplage chimique. Cette étape radio chimique est délicate car l'adjonction du traceur radioactif ne doit pas modifier les propriétés de la molécule considérée. En même temps la liaison doit être très solide de façon à ce que le radio élément ne se détache pas, sinon on suivrait la cinétique de l'isotope radioactif et non pas celle de la molécule d'intérêt.

L'ensemble constitué par la molécule et le radio élément constitue ce qu'on appelle un produit radio pharmaceutique, son développement obéit aux mêmes règles que celle imposées pour la mise sur le marché d'un médicament.

Les produits radio pharmaceutiques sont, en général, administrés par voie intraveineuse mais ils peuvent l'être par simple ingestion, ou directement dans le liquide céphalorachidien ou dans le liquide d'une ascite néoplasique.

La localisation par détection externe du radio pharmaceutique en exposant le sujet à la dose d'irradiation la plus faible possible nécessite l'utilisation des radio-isotopes qui émettent un rayonnement capable de sortir de l'organisme, donc un rayonnement électromagnétique d'énergie convenable. En pratique, il s'agit le plus souvent d'émetteurs gamma purs, ou d'émetteurs de positrons. La période physique du radio élément doit être suffisamment longue pour permettre de suivre le processus physiologique considéré mais aussi suffisamment courte pour éviter une irradiation inutile.

L'énergie du photon gamma est également un paramètre important, et doit être adapté au système de détection.

Lorsque l'énergie est trop faible, le rayonnement sera absorbé dans le corps, et si l'énergie est trop importante ; les photons risquent de traverser le détecteur sans interagir avec lui.

Le choix de l'isotope impose le choix d'un détecteur adapté. Inversement, l'invention des détecteurs se fait par étapes successives et conditionne le choix de l'isotope. Ces considérations expliquent qu'en routine, l'isotope le plus utilisé actuellement soit le technetium-99m qui est un isotope gamma pur dont la période physique est de 6 heures et dont l'énergie de 140 KeV est bien adaptée aux cristaux utilisés.

La détection des rayons gamma se fait à l'aide d'un cristal d'iodure de sodium qui a la propriété d'absorber les photons gamma et de les transformer en scintillations. L'énergie de celles-ci est alors transférée à des électrons dans un photo multiplicateur.

Les premiers détecteurs à scintillations étaient simplement placés en regard de l'organe et l'on mesurait la radioactivité pendant le temps nécessaire. Un collimateur en plomb, cylindrique ou conique, permettait d'arrêter les rayonnements provenant d'autres organes.

L'élément essentiel est le détecteur qui est un grand cristal d'iodure de sodium.

Devant le cristal un collimateur en plomb ou en tungstène (collimateur à trous parallèles : il s'agit d'une plaque percée de trous cylindriques parallèles les uns aux autres), permet de ne détecter que les photons qui arrivent perpendiculairement au cristal. La localisation du point d'arrivée d'un photon sur le cristal se fait grâce à des photomultiplicateurs placés sur l'autre face du cristal. Les images obtenues sont donc des projections en deux dimensions d'un objet tridimensionnel.

On obtient ainsi, simultanément, les valeurs de la radioactivité provenant de tout l'organe, de sorte que l'on peut obtenir une image en une fraction de seconde, tout en suivant la fonction de l'organe telle que la contraction cardiaque.

La médecine nucléaire atteint alors véritablement son but : suivre la fonction normale ou pathologique d'un organe par détection externe. Il était encore nécessaire de traiter les images de façon à transformer les valeurs de radioactivité en chaque point en un paramètre physiologique (un débit sanguin, une fraction d'éjection ventriculaire...), ce qui a été rendu possible par le couplage de la gamma caméra à un ordinateur et l'utilisation de logiciels judicieusement adaptés et actualisés.

IV - La ventriculographie isotopique ou gamma-angiocardigraphie

A/principe :

La ventriculographie isotopique est une méthode non invasive d'exploration de la fonction ventriculaire gauche. Cette innocuité, associée à une fiabilité et une reproductibilité satisfaisante, ont fait de cette technique une méthode de référence, en matière d'estimation et de suivi de la fraction d'éjection systolique gauche.

La ventriculographie isotopique repose sur l'injection intraveineuse d'une faible quantité de traceur radioactif et de l'enregistrement de la radioactivité précordiale à l'aide d'une gamma caméra à scintillations, couplée à un système de traitement de données. C'est une exploration dynamique de la fonction cardiaque, l'activité contenue dans le ventricule gauche est mesurée au cours de la diastole, puis de la systole (5).

D'abord considérée comme une méthode d'appoint dont l'avantage principal était son caractère non traumatique, l'angiocardigraphie radio isotopique est devenue une technique de référence, car c'est sans doute la seule exploration qui soit à la fois physiologique et quantitative.

Le côté physiologique de cet examen s'affirme si on le compare à l'angiographie radiologique avec injection sous pression d'un produit de contraste; cette injection modifie la fonction cardiaque.

L'aspect quantitatif résulte directement de l'une des lois fondamentales de la radioactivité qui établit une proportionnalité constante entre la quantité de photons émis et la quantité de traceur radioactif présent dans la cavité étudiée. En outre, l'angiocardigraphie isotopique offre l'avantage de permettre de suivre l'évolution de la fonction cardiaque au cours d'une même étude, dans diverses conditions (à l'effort ou sous l'effet de drogues) ou au cours d'études espacées dans le temps (suivi des patients après infarctus, réadaptation, pontage ou traitement thrombolytique, ou encore sous traitement par chimiothérapie.)

Enfin, l'étude simultanée des deux ventricules ouvre des possibilités nouvelles d'exploration de la fonction ventriculaire droite et est à la base de l'évaluation non traumatique des shunts et des régurgitations valvulaires.

Comparée aux autres méthodes d'investigation de la fonction cardiaque, l'angiocardigraphie isotopique possède une originalité indiscutable du fait de ses avantages multiples. Il convient cependant d'en connaître certains aspects techniques de manière à en cerner les limites et en préciser les indications.

Selon le type d'étude réalisée, on peut obtenir l'image à l'équilibre, ou au premier passage d'un bolus de produit radioactif dans les cavités cardiaques.

- l'étude au premier passage prend seulement en compte les premiers cycles cardiaques après injection. Cette méthode permet une meilleure séparation du ventricule droit, mais nécessite un bolus de produit radioactif de très bonne qualité et sa mise en place clinique est délicate.
- L'étude à l'équilibre se fait lorsque le radio-traceur est correctement dilué dans le sang. Cette méthode est plus simple à réaliser. De plus, elle permet de multiplier le nombre d'incidences avec lequel on acquiert l'image, ce qui permet la réalisation de tomographie, et l'acquisition de données avec une statistique de comptage adéquate.

La ventriculographie isotopique permet une étude à la fois qualitative et quantitative de la fonction cardiaque :

- Elle est qualitative parce qu'elle permet de suivre la fonction cardiaque et plus précisément la cinétique de la contraction pariétale ventriculaire gauche, globale et régionale, avec la mise en évidence d'éventuelle hypokinésie, akinésie ou dyskinesie pariétale.
- Elle est quantitative car elle permet, d'une part, d'évaluer en chiffres l'efficacité de cette cinétique pariétale, autrement dit la fraction d'éjection ventriculaire globale et régionale et les volumes ventriculaires et, d'autre part, de dépister une éventuelle régurgitation valvulaire associée.

B/techniques :

B-1/le traceur :

Pour les études dites de premier passage, où l'enregistrement ne porte que sur quelques cycles cardiaques, il est nécessaire de disposer d'un traceur qui reste suffisamment intra vasculaire.

Le traceur le plus communément employé est le Technétium 99m. C'est un isotope gamma pur d'une période physique égale à 6 heures et d'une énergie de 140 KeV, bien adaptée aux gamma caméras planaires et tomographiques utilisées.

Le technétium 99m est l'élément fils résultant de la désintégration radioactive de l'élément père le Molybdène 99m issu lui-même de la désintégration de l'uranium 238 dans un réacteur nucléaire et dont la période physique est de 67 heures.

Si l'on se contente de limiter l'angiographie isotopique au premier passage du traceur dans les cavités cardiaques, on utilise la forme oxydée du technétium 99m ou pertechnétate du fait qu'elle n'a guère le temps de quitter le compartiment sanguin pendant la première minute nécessaire à l'enregistrement des images.

Par contre, si l'on désire pratiquer l'étude à l'équilibre plusieurs minutes après l'injection intraveineuse du traceur, il convient de marquer des éléments dont on est sûr qu'ils vont rester en intra-vasculaire pendant le temps nécessaire à l'enregistrement des images. En pratique, on utilise soit de l'albumine soit les hématies du patient (marquées in vitro ou in vivo).

B-2/l'appareillage :

B-2-a/appareillage classique : (figure 12 ; 13)

La caméra à scintillation est un dispositif qui fournit une image de la distribution d'un radio pharmaceutique préalablement administré au patient et métabolisé. Cette image fonctionnelle est obtenue grâce à l'association de différents éléments qui contribuent chacun à la formation de l'image scintigraphique.

Sous sa forme la plus simple une caméra à scintillations est constituée par :

- ♠ Un collimateur dont le rôle est d'assurer la sélection géométrique des photons gamma émis par la source et de définir le champ de vision de la caméra

- ♠ Un cristal scintillant de NaI(Tl) de numéro atomique élevé (interaction par effet photoélectrique) qui transforme l'énergie des photons gamma en énergie lumineuse

- ♠ Un réseau de tubes photomultiplicateur optiquement couplés au cristal (avec ou sans guide de lumière) qui mesurent la quantité de lumière produite

- ♠ Une matrice de résistances (ou de lignes à retard) pour la détermination des coordonnées et de l'énergie totale déposée dans le cristal

- ♠ Un circuit de normalisation des impulsions électriques

- ♠ Un dispositif de visualisation des évènements.

Afin de dégager le ventricule gauche, la gamma caméra est orientée perpendiculairement au plan du septum inter-ventriculaire, soit une incidence en oblique antérieure gauche 35-45° en général, le patient étant en décubitus dorsal.

L'acquisition d'une image possédant une densité d'informations suffisante nécessite l'intégration des comptages sur un certain intervalle de temps, qui peut être de l'ordre de une à plusieurs minutes. Cette durée de prise de vue est, bien entendu, incompatible avec la variation rapide de la morphologie et du contenu marqué des cavités cardiaques. Une image isotopique conventionnelle, c'est-à-dire purement statique, serait donc forcément affectée d'un flou considérable qui masquerait les changements périodiques qui accompagnent la contraction cyclique du cœur.

Pour enregistrer des images lors d'une phase précise du cycle cardiaque il est nécessaire de recourir à une synchronisation électro-cardiographique

C'est le rôle du Système informatique, qui accompagne nécessairement la gamma- caméra, d'arranger les informations en fonction de leur localisation dans le cycle cardiaque.

On découpe souvent le cycle cardiaque en 16 ou 24 séquences successives de quelques dizaines de millisecondes chacune (durée variable avec la fréquence cardiaque du patient) de manière à couvrir l'intervalle R - R de l'électrocardiogramme, chaque onde R servant de signal de référence. Mais une telle séquence provenant d'un seul cycle serait nettement insuffisante pour créer une image assez riche en informations pour être analysable et l'on est forcé de superposer les séquences homologues d'un grand nombre (plusieurs centaines) de cycles cardiaques successifs.

Une contrainte importante de cette méthode est la nécessité de disposer de cycles cardiaques réguliers en nombre suffisant pour leur superposition. Les patients arythmiques vont donc poser un problème particulier, lorsqu'il existe, par exemple, un nombre modéré d'extrasystoles, la construction d'un histogramme des durées des cycles cardiaques et l'établissement d'une fenêtre encadrant le pic principal de l'histogramme peut servir à éliminer les cycles de durée anormale, à la fois les cycles courts correspondants aux extra-systoles et les cycles longs, post-extrasystoliques.

B-2-β/la gamma caméra tomographique : TEMP (tomographie d'émission mono photonique)

La gamma-caméra est équipée d'une tête, de deux voir trois têtes tournantes, munies d'un collimateur à trous parallèles haute résolution, basse énergie et fixés sur un support lui permettant de tourner de 360° degrés autour de l'axe du malade .

Les données sont stockées dans la mémoire d'un mini-ordinateur qui exécute ensuite la reconstruction et permet la visualisation des images de coupes tout au long du cycle cardiaque. Une fois l'examen reconstruit, on dispose d'autant de volumes que d'instant choisis. Chaque volume est constitué de 64 coupes de dimension 64 x 64 (6).

B-2-γ/le stéthoscope nucléaire:

Ce dispositif est constitué d'une sonde à scintillation munie d'un collimateur convenable, relié à un système d'enregistrement. Intégré à un système à micro-processeur, cet appareil peu coûteux, aisément transportable, d'une grande sensibilité, permet l'évaluation en routine de la fonction ventriculaire gauche et la détermination en continu, cycle par cycle, de la fraction d'éjection.

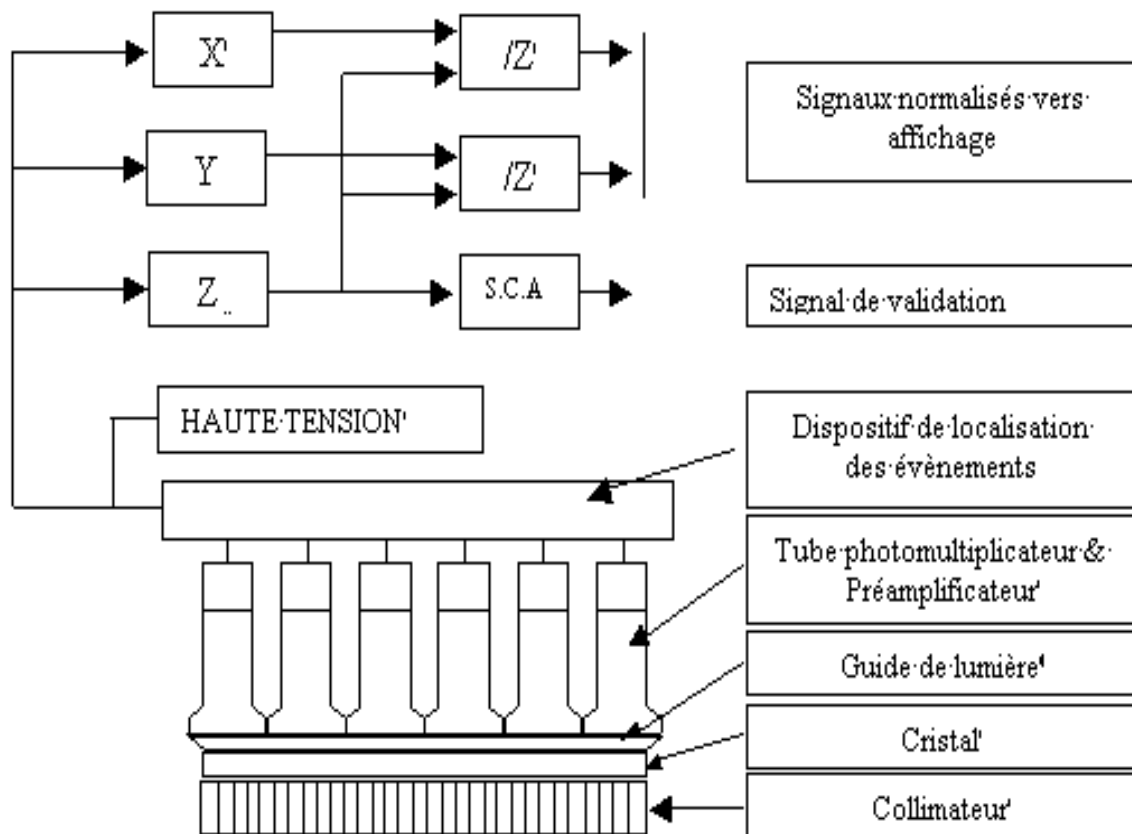
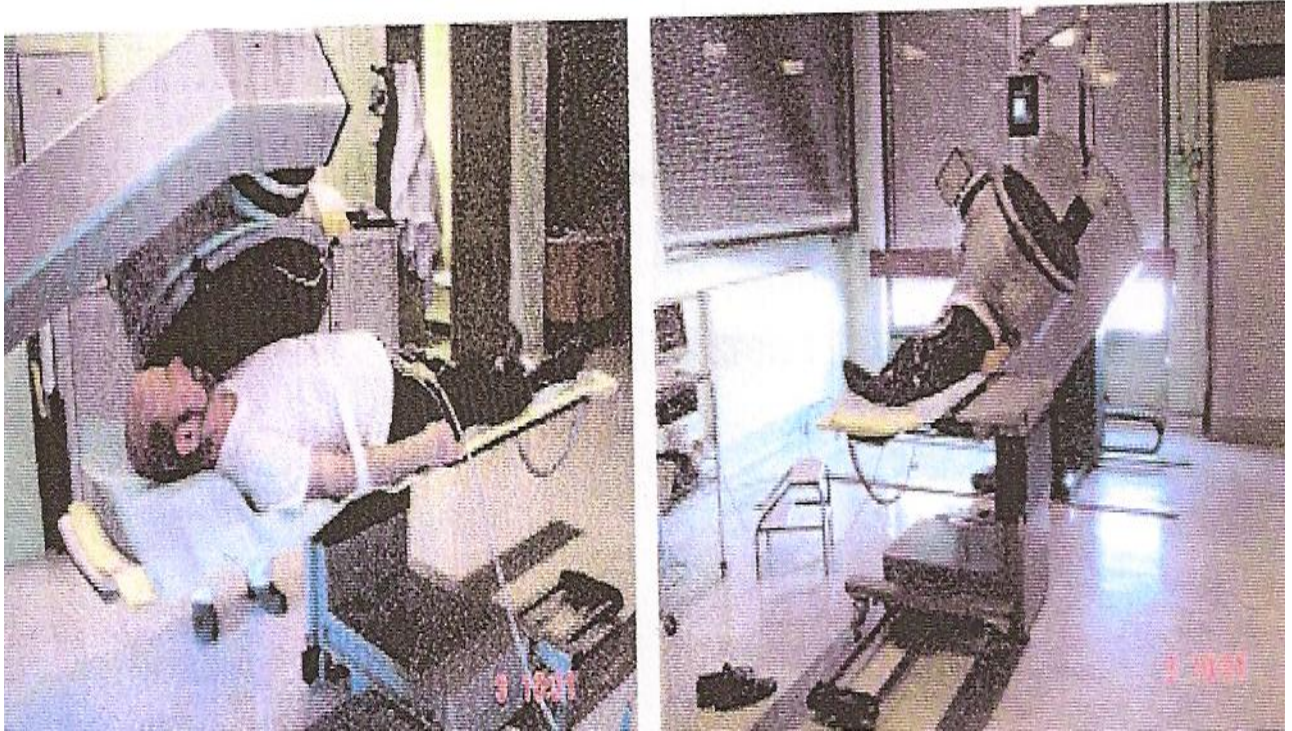


Figure 12 : Schéma de principe d'une caméra à scintillations [H].

Figure 13 : gamma-caméra. Service de médecine nucléaire (Pr. N.Ben.Rais).



Incidence oblique antérieure gauche

C- protocoles :

C-1- préparation du patient :

- * Le patient non à jeun.
- * Aucune préparation n'est nécessaire pour l'étude au repos.
- * L'évaluation à l'effort peut nécessiter l'arrêt de certains traitements cardiologiques (en fonction de l'indication de l'examen).
- * Si une chimiothérapie est en cours, il faut savoir que les antimitotiques contribuent en effet à dégrader sensiblement la stabilité du marquage in vivo et donc la résolution des clichés séquentiels.
- * Il est souvent difficile, avec la technique habituelle de marquage des hématies in vivo, d'obtenir un résultat correct de fraction d'éjection chez les patients soumis à un traitement par l'héparine : ce médicament peut altérer en effet considérablement la qualité du marquage des hématies par le ^{99m}Tc , et donc le contraste entre les ventricules et les territoires adjacents. Les limites du VG en diastole puis en systole sont alors habituellement très difficiles à déterminer, et la valeur de fraction d'éjection fournie est hasardeuse.
Pour les patients sous héparine, il convient de prévenir l'isotopiste qui effectuera un marquage in vitro des hématies qui seront ensuite réinjectées cette précaution méthodologique permet d'améliorer très significativement la qualité des résultats de détermination de la fraction d'éjection (7).

C-2- les contres indications:

- Comme tout examen scintigraphique :

- ✚ L'absence d'indication
- ✚ la grossesse
- ✚ la femme allaitante : l'allaitement doit être interrompu au décours de l'examen (uniquement pendant 24 heures pour les radio traceurs technétiés).

Il existe certaines contres indications relatives :

- ✚ L'hyperexcitabilité ventriculaire (pouvant être majorée par une hypokaliémie)
- ✚ Ischémie myocardique sévère : le produit de contraste injecté en grosse quantité est ischémiant pour le myocarde.
- ✚ La ventriculographie ne sera pas réalisée chez le patient porteur d'une sténose très serrée du tronc commun ou tritronculaire sévère.

✚ Poussée d'insuffisance cardiaque.

✚ Insuffisance rénale sévère.

C-3- les effets secondaires :

Aucun effet secondaire n'a été signalé.

C-4- la durée de l'examen :

Environ 30 minutes pour l'étude au repos et entre 1 heure 30 à 2 heures pour l'étude à l'effort.

C-5- technique in vitro :

***le marquage des hématies :**

Elle consiste à isoler un culot d'hématies à partir d'un prélèvement sanguin et à marquer les globules rouges avec du technétium avant de les réinjecter au patient. C'est une méthode lourde sur le plan de manipulation.

***le marquage de l'albumine :**

Le marquage de l'albumine par le technétium 99m s'effectue in vitro, l'albumine humaine lyophilisée est incubée, dans des conditions physico-chimiques bien précises, en présence d'une solution pertechnétate (TcO_4^-). En quelques minutes on obtient le complexe albumine-technétium prêt à l'injection.

C-6- technique in vivo :

Il s'agit d'un marquage des globules rouges in vivo par le Tc^{99m} . c'est une méthode simple de marquage, consiste en deux injections successives sans aucun prélèvement.

*on injecte tout d'abord une certaine quantité de pyrophosphate stanneux (traceur froid) non radioactif (en employant pour cela une préparation destinée au marquage du pyrophosphate utilisé en Scintigraphie osseuse) , destiné à prétraiter les hématies (8).

* 30 min plus tard, on injecte 740 MBq (20 mCi) de $^{99m}TcO_4$, par voie intraveineuse au pli du coude, afin d'obtenir un marquage de bonne qualité.

* 5 min après, on peut commencer l'étude à l'équilibre.

C-7- acquisition des images :

L'acquisition est effectuée au premier passage ou à l'équilibre, comme elle peut se faire au repos ou à l'effort.

Le patient est allongé en décubitus dorsal, l'aire cardiaque au centre du champ du détecteur.

Trois électrodes placées en dérivation monopolaire sont reliées à l'appareil de synchronisation.

C-7- α - la matrice d'acquisition :

Les ventriculographies planaires sont acquises sur une matrice 64 x 64 après agrandissement de 2.

L'échantillonnage temporel est choisi à 16, 24, 36 images par cycle cardiaque avec fenêtre de 10°/° R-R. la taille du pixel est de 3.4 mm et le zoom de 1,34.

Les tomo-ventriculographies sont obtenues à l'aide de 32 projections, avec une matrice de 64 x 64 sur 180°(9).

C-7- β - acquisition des images isotopiques au repos :

La réalisation d'une image possédant une densité d'information suffisante, nécessite l'intégration de comptages sur un certain intervalle de temps de l'ordre de plusieurs minutes.

Cette durée est, bien sur, incompatible avec la variation rapide du contenu marqué des cavités cardiaques.

Pour enregistrer des images lors d'une phase précise du cycle cardiaque, il faut recourir à une synchronisation ELECTROCARDIOGRAPHIQUE.

C'est le rôle du système informatique qui accompagne la gamma caméra, d'organiser les informations en fonction de leur localisation dans le cycle cardiaque.

Le cycle cardiaque est donc, en général, divisé en 16 ou 32 séquences successives de quelques dizaines de milli secondes. Chacune équivalente à 1/16° ou à 1/32° de l'intervalle RR de l'électrocardiogramme, R étant le signal de référence.

Plusieurs centaines de cycles cardiaques sont ainsi superposées, séquences par séquences, afin d'obtenir 16 ou 32 séquences d'un cycle composite.

La fréquence d'échantillonnage correspond au découpage en un nombre plus ou moins grand d'images (16 ou 32 en général).

L'étude des événements diastolique requiert en théorie une plus grande fréquence d'échantillonnage.

En gamma angiographie, l'acquisition des images se fait soit du premier transit du traceur soit à l'équilibre. Etant donné qu'il s'agit d'images en projection plane, plusieurs incidences sont souvent utiles pour obtenir une vision satisfaisante de la cinétique de l'ensemble de la cavité cardiaque. Ceci n'est évidemment possible que pour les études à l'équilibre, le premier transit ne peut être enregistré que selon une seule incidence.

β-1- Technique du premier passage :

L'examen est de courte durée (moins de 30 secondes).

L'incidence la plus utilisée est l'oblique antérieur droite (O.A.D) à 30 °, le produit est injecté rapidement en « flash » dans une veine du pli du coude. Des images de très courte durée (25 à 50 millisecondes) sont acquises pendant la traversée des cavités cardiaques par l'embolo (figure12).

La visualisation de la progression de cet embolo radioactif, encore concentré, permet de suivre l'opacification de la veine cave supérieure, de l'oreillette droite, du ventricule droit, de l'artère pulmonaire puis des cavités gauches.

Seule la séquence correspondant à ce premier passage de l'embolo radioactif dans les cavités gauches sera retenue. Elle se situe immédiatement après le premier passage dans les cavités droites et avant la recirculation du produit par la veine cave inférieure.

L'étude dynamique de la courbe activité-temps au premier passage permet en outre la mesure du débit cardiaque et la recherche d'une recirculation liée à un shunt gauche-droit (8,10); (figure 14 et 14').

β-2- Technique d'acquisition à l'équilibre :

Au moment où l'embolo radioactif s'est dilué dans toute la circulation sanguine, le sujet est positionné en oblique antérieure gauche (O.A.G), autour de 35-45°, adaptée de manière à s'aligner sur le septum inter-ventriculaire.

Cette incidence permet une bonne séparation des deux ventricules mais ne permet pas d'éviter la superposition des signaux issus des oreillettes et des ventricules. De plus, cette incidence ne projette pas le ventricule droit de manière satisfaisante pour en réaliser une bonne analyse segmentaire.

Lorsque la caméra est positionnée sur le côté gauche du thorax, elle se trouve en face des cavités ventriculaires et il est possible de distinguer le volume du ventricule gauche de celui du ventricule droit. Cependant, compte tenu de la position du cœur dans le thorax (pointe vers la gauche et le bas), le plan de projection n'est pas axé par rapport à la direction de déplacement du ventricule au cours de sa contraction, ce qui induit des problèmes de superposition indésirable des cavités et constitue une limite de cette méthode.

D'autres incidences sont nécessaires pour analyser la fonction régionale :

ζ – l'oblique antérieure gauche à 70-90° pour la paroi postéro basale, la face antérieure (figure 13) et / ou l'oblique antérieure droite à 20° pour explorer le ventricule droit et éventuellement les parois inférieures.

ζ – le profil gauche

C-8-acquisition des images isotopiques à l'effort :

La réalisation de l'angiocardigraphie à l'effort est plus lourde qu'au repos, mais elle apporte des informations précieuses.

L'épreuve d'effort peut être :

*une épreuve de charge (surélévation des membres inférieurs)

*une épreuve statique (compression avec les paumes des mains d'une poire ergométrique par exemple).

*une épreuve dynamique, pratiquée chez un patient allongé ou assis et immobilisé, au moyen d'une bicyclette ergométrique .

Elle est couplée à un ECG d'effort.

les moyens de réanimation doivent être disponibles à tout moment.

Le protocole, le plus souvent utilisé, consiste, après avoir placé le malade dans l'incidence voulue (choisie en fonction de la localisation présumée des troubles que l'on souhaite mettre en évidence), à enregistrer une séquence d'images au repos dans les mêmes conditions que le comptage radioactif à l'effort selon le protocole suivant :

♠ Un enregistrement des images au repos sur une période de 3 minutes.

♠ Un enregistrement en cours d'effort par palier de 4 minutes chacun. Ceci nous permet, à chaque palier, de disposer d'une minute pour mettre le patient à l'équilibre et de trois minutes pour l'enregistrement isotopique.

On augmente progressivement par paliers jusqu'à l'obtention de la fréquence maximale théorique

(= $220 - \text{âge en années} \pm 5$), ou l'apparition des critères cliniques d'arrêt (dyspnée intense, précordialgies, malaise, baisse ou hausse de la tension systolique) ou électriques (extrasystole, sus ou sous- décalage ST).

♠ Un enregistrement lors de la récupération, 5minutes après la fin de l'effort.

D- Résultats :

1-Traitement des images :

Après acquisition, les images doivent subir plusieurs étapes de traitement avant exploitation que nous pouvons résumer comme suit :

- a) Normalisation des images pour corriger les sous-échantillonnages des dernières images liées aux fluctuations de la fréquence cardiaque et de l'intervalle R-R.
- b) Filtrage des images, en général par des filtres spatio-temporels qui améliorent le rapport signal sur bruit.
- c) Détermination des régions d'intérêt ventriculaire, diastoliques et systoliques et de la région de bruit de fond, en choisissant une zone para ventriculaire, considérée comme représentative de ce bruit et dont l'activité sera soustraite à celle mesurée du ventricule. La meilleure reproductibilité sera obtenue par un tracé automatique des contours. Le tracé manuel, indispensable pour le ventricule droit, doit s'appuyer sur les images diastoliques et sur des images fonctionnelles.

2-paramètres obtenus :

2-a- la visualisation en mode cinématographique de la série d'images permet d'en valider la qualité, et d'avoir une première approche subjective de la fonction. Le traceur étant uniformément réparti dans le sang à l'équilibre, l'activité sur les images proportionnelle au volume des différentes structures. Il est dès lors possible de construire une courbe activité-temps proportionnelle, après soustraction et calibration, à la courbe volume-temps du ventricule concerné (figure 14 et 14').

C'est à partir de cette courbe que vont être calculés les principaux paramètres de fonction globale et régionale.

2-b- Evaluation de la fonction ventriculaire gauche globale :

La fraction d'éjection ventriculaire (F.E.V) est un des paramètres les plus importants pour l'évaluation de la fonction ventriculaire gauche. Elle peut être déterminée à partir d'une série d'images cavitaires en comparant les comptages radioactifs en télé diastole et en télé systole.

La mesure de cette fraction d'éjection peut s'effectuer aussi bien sur l'enregistrement au premier passage en OAG. Il est important de corriger les activités mesurées en tenant compte du bruit de fond, dont la proportion est élevée à l'équilibre (de $50^{\circ}/^{\circ}$ à $60^{\circ}/^{\circ}$) et beaucoup moindre au premier passage (moins de $20^{\circ}/^{\circ}$).

Elle indique quelle est la fraction du volume de sang, contenu dans le ventricule en fin de diastole, qui est éjecté lors de la systole.

En effet, la fraction d'éjection ventriculaire étant le rapport du volume d'éjection systolique au volume télé- diastolique, son expression montre qu'elle ne dépend que du rapport des volumes télé systolique et télé diastolique.

V.T.D. – V.T.S.

$$F.E.V = \frac{\text{-----}}{V.T.D.}$$

V.T.D. : le volume télédiastolique.

V.T.S. : le volume télésystolique.

La méthode universellement admise consiste à sélectionner des régions d'intérêt sur le ventricule considéré, tant en télédiastole qu'en télésystole et à comparer les comptages respectifs, en tenant compte du bruit de fond, selon la formule:

$$F.E.V = \frac{\text{Taux de comptage en télédiastole - Taux de comptage en télésystole}}{\text{Taux de comptage en télédiastole - Taux de comptage du bruit de fond}}$$

Chez un sujet normal au repos, la valeur de la fraction d'éjection globale généralement admise est de $62\% \pm 3$.

Cependant, elle augmente à l'effort de 8% en moyenne, d'avantage chez l'homme que chez la femme, sans apparition d'anomalies de la cinétique ventriculaire régionale, par augmentation modérée du volume télédiastolique et diminution marquée du volume télésystolique.

Toutefois, dans un nombre non négligeable de sujets normaux, notamment ceux dont la fraction d'éjection est élevée au repos, une absence d'augmentation ou même une diminution de la fraction d'éjection a été observée à l'effort. Cette variabilité de la réponse à l'effort doit tenir compte de multiples facteurs, dont les conditions de l'effort, l'âge, l'entraînement physique [11, 12].

D'autres paramètres peuvent être extrapolés de la courbe d'activité-temps :

- le temps d'éjection systolique (TES) : c'est le temps, t, de l'instant télésystolique c'est-à-dire l'instant où l'activité est minimale.
- La durée d'éjection (DS) : c'est l'intervalle de temps qui sépare les instants télédiastolique et télésystolique ; c'est-à-dire la durée nécessaire pour passer de l'instant d'activité maximal à minimal.
- La vitesse d'éjection maximale (PER) : c'est le débit maximum atteint lors d'un cycle cardiaque. C'est-à-dire la valeur maximale de la dérivée de la courbe d'activité/temps.
- Le temps d'éjection maximal (TPER) : c'est le temps, t, pour lequel on obtient le PER.
- La vitesse de remplissage maximum (PER) : c'est une vitesse reflétant la compliance ventriculaire qui correspond à la valeur maximale de la dérivée.

2-c- évaluation de la fonction ventriculaire gauche régionale :

La visualisation cinématographique du mouvement de contraction cardiaque est l'approche la plus immédiate et la plus évidente du point de vue clinique pour apprécier de manière qualitative la cinétique pariétale du ventricule gauche, et détecter éventuels troubles à type d'akinésie, d'hypokinésie ou de dyskinésie.

L'interprétation fonctionnelle du jeu contractile des parois ventriculaires est facilitée par l'examen de deux types d'images dites paramétriques et obtenues après traitement informatisé de l'enregistrement brut de la ventriculographie, constituées par l'analyse dite de Fourier :

- l'image d'amplitude : le codage couleur utilisé permet d'évaluer en tout point des cavités gauche et droite, l'amplitude maximale de la variation locale d'activité entre la diastole et la systole, et donc celle du volume sanguin dans l'élément d'image observé[7]: une amplitude nulle(couleur bleue) dans les zones cavitaires au contact de la paroi myocardique confirme une akinésie pariétale locale, une couleur rouge indique une variation locale maximale d'activité, à titre d'exemple.

- l'image de phase : elle complète l'information précédente en fournissant par un codage en couleur, une cartographie du synchronisme ou de l'asynchronisme de l'évolution des variations d'activités en tout point des deux cavités ventriculaires depuis le début de la systole [13].

2-d- Evaluation de la fonction ventriculaire droite [14] :

La dépendance de la fonction ventriculaire droite avec les mouvements respiratoires, la circulation pulmonaire et les variations de pression ventriculaire gauche, rendent difficile son évaluation.

Les méthodes à l'équilibre ne permettent qu'imparfaitement l'abord du ventricule droit en raison d'une superposition anatomique obligatoire du ventricule droit et de l'oreillette droite en incidence OAG, et des deux ventricules en incidence OAD.

Les méthodes au premier passage, employant un radio pharmaceutique non diffusible technetie le plus souvent, sont également critiquables en raison d'une faible statistique de comptage et surtout d'une dilution non homogène du radio pharmaceutique dans le ventricule.

Une gamma-angio-cardiographie isotopique rythmée par l'ECG, employant le krypton 81m en perfusion continue, en incidence oblique antérieure droite, permettrait les meilleures déterminations.

Le bruit de fond pulmonaire rétro-cardiaque, peut être soustrait par tracé d'une zone d'intérêt pulmonaire et évaluation du rapport des activités détectées sur l'image « krypton » et sur une image réalisée dans la même incidence après injection de particules technetiées se bloquant exclusivement dans les poumons.

La fraction d'éjection ventriculaire droite FEVD, est obtenue à partir des comptages corrigés du bruit de fond dans deux zones d'intérêt ventriculaires systolique et diastolique :

$$\text{FEVD} = \frac{\text{Activité ventriculaire diastolique-activité ventriculaire systolique}}{\text{Activité ventriculaire diastolique}}$$

La valeur normale de la FEVD est d'environ 52% avec des variations selon le protocole utilisé. A l'effort, l'augmentation normale de la fraction d'éjection est d'au moins 5%.

2-e-Détermination des volumes cavitaires [10, 15, 16,17]:

La mesure du volume des cavités ventriculaires peut se faire :

- d) par méthode géométrique, généralement en incidence OAD au premier passage, ou en incidence OAG à l'équilibre, par sommation des volumes élémentaires des différentes coupes tomographiques coronales réorientées selon le grand axe.
- e) Par comptage à l'équilibre.

2-f-mesure du débit cardiaque :

Le calcul du débit cardiaque peut se faire soit par l'analyse des courbes de dilution au premier passage, soit après calcul du volume télédiastolique et de la fraction d'éjection à l'équilibre.

$$\text{D.C} = \text{V.T.D} \times \text{FE} \times \text{FC}$$

D.C : le débit cardiaque.

V.T.D. : le volume télédiastolique.

FE : la fraction d'éjection.

FC : la fréquence cardiaque.

2-g- la quantification des régurgitations valvulaires :

La méthode la plus simple pour le calcul des régurgitations est la comparaison des éjections ventriculaires gauche et droite, et le calcul du rapport ou index de régurgitation est situé entre 1 et 1,5 en l'absence de régurgitation. Il existe cependant de nombreuses limites à cette technique (régurgitations multiples, superposition cavitaire, asynchronisme de contraction).

De plus, elle devrait idéalement s'effectuer sur des images tomographiques [16,17].

2-h- Evaluation quantitative des shunts :

Le shunt est caractérisé par le passage anormal d'un radiopharmaceutique, empruntant lors de sa traversée des chambres cardiaques un trajet plus court que le trajet normal, est mis en évidence

par angiocardigraphie au premier passage utilisant un radio pharmaceutique non diffusible, au moyen :

- de la séquence d'images dynamiques montrant la progression de l'embolie.
- Des courbes d'activité-temps correspondant aux différentes structures cardiaques, montrant un rebond présent dans toutes les cavités en aval du shunt, absent dans les cavités en amont.
- Dans le cas des shunts droit-gauche, la mise en évidence d'une activité aortique sous perfusion intraveineuse d'un gaz diffusible ou d'une activité périphérique, après injection intraveineuse de particules marquées à l'aide d'un radio-isotope, fait le diagnostic [5].

Figure 14: la courbe d'activité ventriculaire [1].

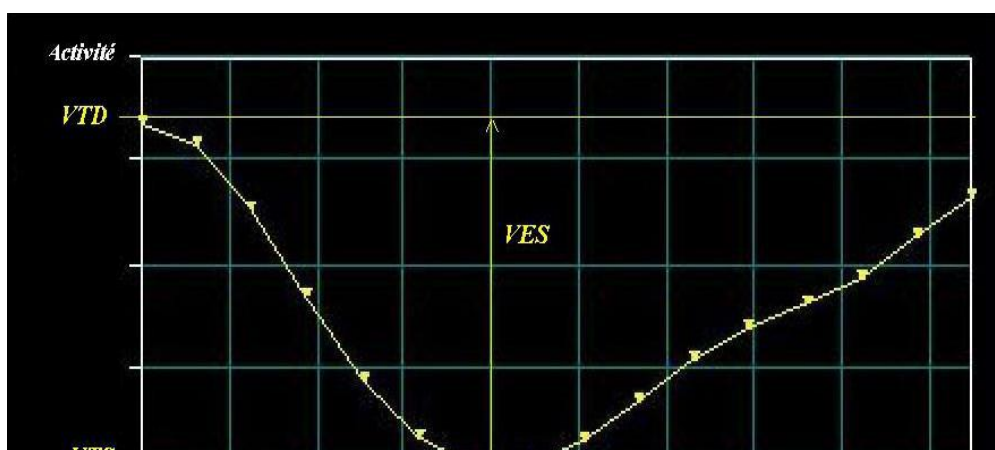
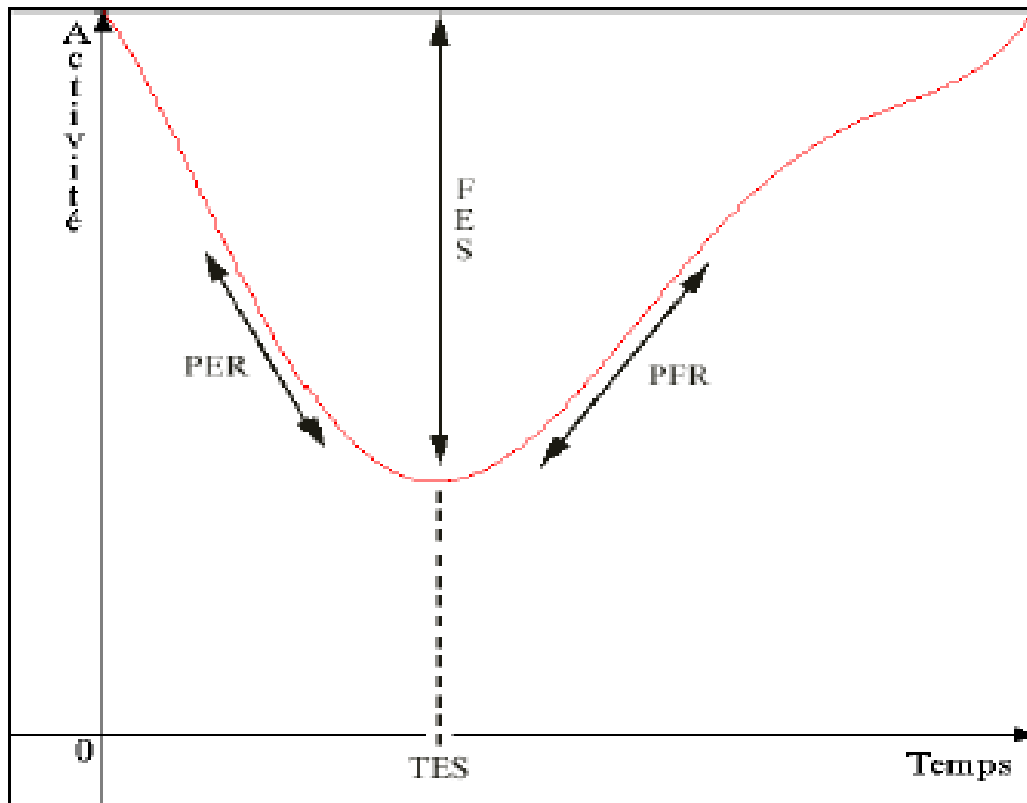


Figure 14': Les principaux paramètres fonctionnels. Calculés à partir de la courbe d'évolution activité-temps [I].

VTD : volume télédiastolique

VTS : volume télésystolique

VES : volume d'éjection systolique

TES : temps d'éjection systolique

E- rôle de la synchronisation électrocardiographique au cours de la ventriculographie isotopique (figure 15; 15'):

L'acquisition des données se fait de manière synchronisée à l'ECG c'est-à-dire que chaque intervalle entre deux ondes R est divisé en plusieurs parties égales (16 à 64 «bins»). Pour chaque partie, les données de battements consécutifs sont additionnées ce qui permet par la suite de reconstituer un cycle cardiaque représentatif.

La synchronisation de ce signal à l'électrocardiogramme, permet d'échantillonner le cycle cardiaque en 8, 16 ou 32 intervalles de temps afin d'acquérir une série dynamique de 8, 16 ou 32 images.

Le but de la synchronisation est d'enregistrer des images lors d'une phase précise du cycle cardiaque. Chaque photon gamma détecté est affecté à une des images correspondant à chacun de ces intervalles de temps [7].

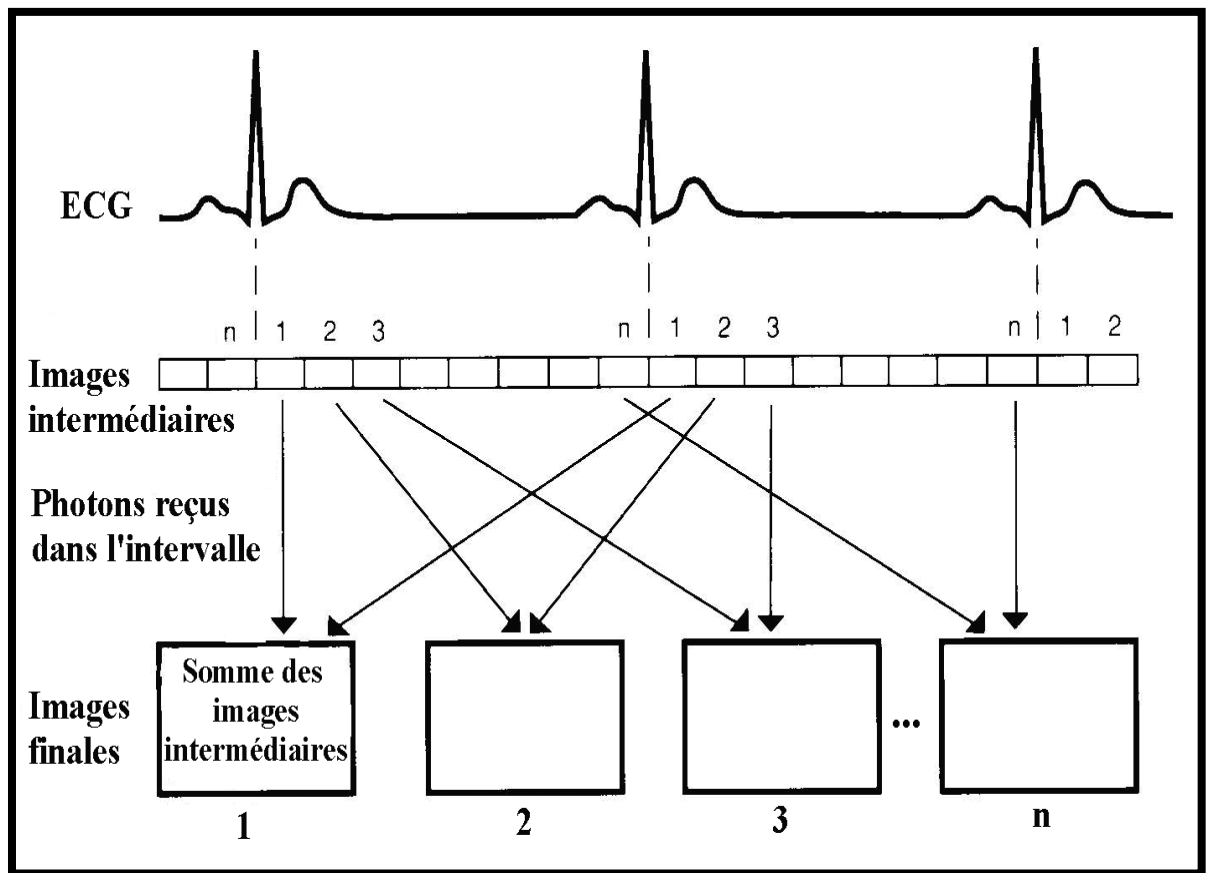
Les troubles de rythmes occasionnels, ainsi que le cycle qui les suit, ne sont pas pris en compte lors de l'acquisition. Ces troubles sont détectés en mesurant le temps R-R sur l'ECG. En conséquence, la durée de l'examen peut varier en fonction de la fréquence de tels épisodes et de la qualité d'image recherchée (nombre total de coups).

Cette synchronisation à l'électrocardiogramme permet d'accumuler sur chaque image temporelle, le résultat de comptages issus de plusieurs centaines de cycles. Cela améliore d'autant la qualité du signal d'émission radioactif. Il est donc possible d'étudier l'évolution temporelle et périodique de l'activité de chaque point.

Cette synchronisation peut se faire soit :

- ♣ En mode liste : tous les cycles sont enregistrés en continu puis « triés », ce qui permet d'éliminer des cycles aberrants.
- ♣ En mode "frame" : les cycles sont enregistrés et immédiatement superposés, puis divisés en 16 segments. L'image visualisée correspond à une séquence cardiaque complète obtenue de la sommation d'un grand nombre de cycle.

Figure 15: Synchronisation à l'ECG [1]



Avec les gamma-caméra moderne et les ordinateurs actuels, il est possible d'acquérir jusqu'à 64 images à partir de chaque cycle cardiaque, jusqu'à ce qu'un nombre total adéquat de coups soit accumulé.

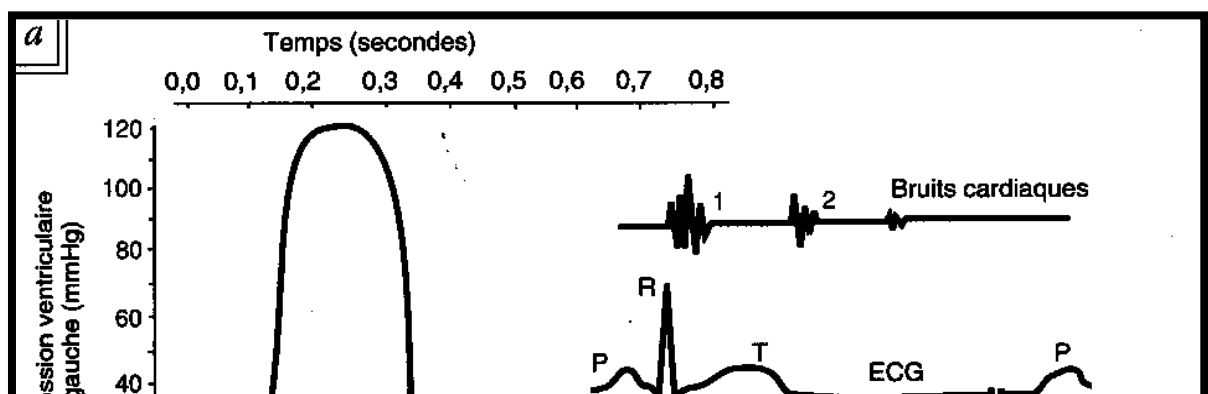


Figure 15' :La relation physiologique constante entre les phases électriques et mécaniques cardiaques permet au système gamma-caméra _ ordinateur d'être synchronisé au signal ECG. Les images de chaque phase du cycle sont stockées jusqu'à ce que les données nécessaires soient disponibles pour réaliser une image de la contraction ventriculaire statistiquement valable (habituellement en 3 à 10 min) [I].

F-indications de la ventriculographie isotopique :

L'angioscintigraphie cavitaire est toujours considérée comme l'examen de référence pour la détermination de la FEVG. Cependant, ses indications dans le bilan de la maladie coronaire, en

particulier dans le post infarctus, ont considérablement diminué depuis la généralisation du gated-SPECT, qui permet à la fois une étude perfusionnelle et le calcul de la FEVG (17).

Néanmoins, l'examen reste indiqué dans plusieurs situations cliniques que nous allons énumérer par ordre d'importance.

F-1- La chimiothérapie cardiotoxique :[figure 16]

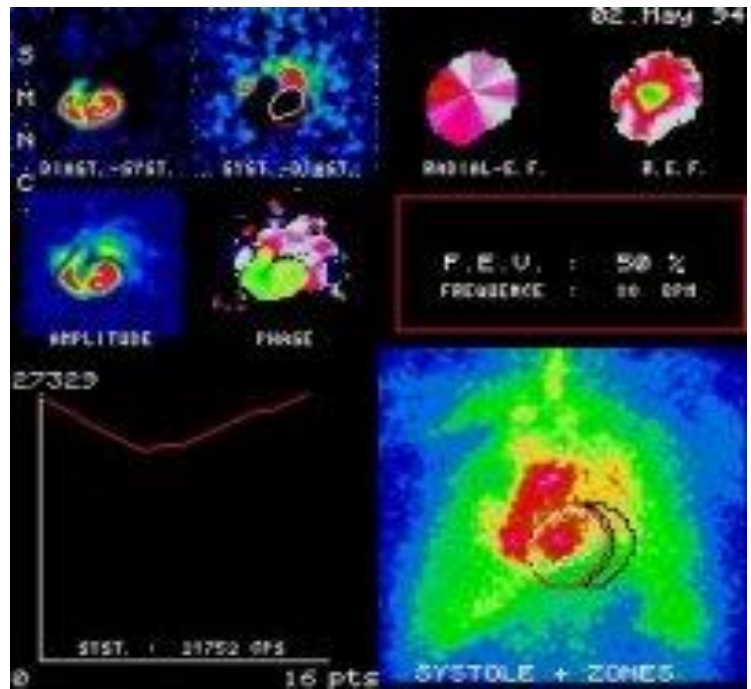
La ventriculographie isotopique est indiquée dans la surveillance de la fonction cardiaque au cours des chimiothérapies cardiotoxiques comprenant de l'adriamycine, qui entraînent une baisse de la FEVG (18, 19, 20). L'examen peut être renouvelé chaque fois que nécessaire, permettant ainsi un suivi rigoureux. L'impossibilité de majorer d'au moins 5% la fraction d'éjection ventriculaire lors de l'effort serait le signe d'une toxicité cardiaque débutante, la détérioration de paramètres de la fonction diastolique semble plus précoce que l'atteinte ventriculaire (21).

L'allongement de la période de relaxation isovolémique précéderait la dégradation de la fraction d'éjection ventriculaire (22).

Deux mesures de fraction d'éjection sont considérées comme significativement différentes si elles diffèrent de plus de 5% (23).

Figure 16: Evaluation de la fonction myocardique après chimiothérapie

Evaluation de la fonction myocardique chez une femme de 67 ans traitée par chimiothérapie.
 *La fonction systolique ventriculaire gauche est discrètement diminuée (FEVG 50 %).
 *La fonction diastolique ventriculaire gauche est nettement altérée.



Les troubles de rythme cardiaque se divisent en des troubles ventriculaires et des troubles supra-ventriculaires.

L'emploi de la ventriculographie isotopique dans l'évaluation des patients atteints de troubles de rythme cardiaque, notamment ventriculaire, a pris un essor considérable. L'atout majeur de la ventriculographie isotopique, associée à une exploitation informatique reposant sur l'analyse de Fourier, réside dans la construction d'une cartographie isotopique de l'activation cardiaque.

En réalité, la cartographie bi-ventriculaire à l'équilibre du traceur, traduisant l'image de la chronologie de la contraction cardiaque au niveau des différents points des ventricules, est une cartographie de contraction et non pas directement une cartographie d'activation comme serait le cas avec un enregistrement électrocardiographique. Un retard de contraction observé sur une image peut donc être le résultat de deux phénomènes qu'il convient parfaitement de distinguer : il s'agit, soit d'un retard mécanique dû à une altération locale de la contractilité myocardique. Une avance de contraction est, sans aucune ambiguïté le signe d'une activation précoce de ce territoire.

Dans ces conditions, deux types de problèmes peuvent être résolus par la ventriculographie isotopique :

- La localisation d'une pré-excitation : qu'il s'agisse de la pré-excitation par voie de conduction anormale, comme dans le syndrome de Wolf-Parkinson-White, ou qu'il s'agisse d'une zone d'hyperexcitabilité, comme c'est le cas chez des patients présentant des troubles du rythme ventriculaire type d'extrasystoles ou de tachycardie ventriculaire. La cartographie isotopique montre nettement le siège des foyers ectopiques qui sont fréquemment situés en périphérie des zones anormales sur le plan de la cinétique, des zones de nécrose myocardique ou des zones anévrismales. La cartographie montre une concomitance entre un territoire, dont la contraction est extrêmement précoce, et un autre territoire dont la contraction, au contraire et pour des raisons mécaniques, est retardée. Ce signe est particulièrement évocateur et doit être recherché avec soin.
- La seconde question qui se pose, en présence de trouble de rythme ventriculaire grave, en particulier chez des sujets jeunes apparemment sains et asymptomatiques sur le plan cardiaque, est de faire la preuve de l'existence d'une cardiopathie organique sous-jacente. Pour cela, la cartographie isotopique donne des éléments d'orientation précieux par l'établissement de l'histogramme des phases de contraction cardiaque qui donne des courbes montrant la dispersion de la contraction sur l'image. Un histogramme étroit correspond à une contraction peu dispersée, c'est-à-dire homogène, s'effectuant d'une manière simultanée sur l'ensemble d'une cavité. Un histogramme très dispersé, au contraire, montre une hétérogénéité de contraction avec des zones de contraction précoce et des zones de contraction retardée. Cette dernière observation suggère fortement l'existence d'une cardiopathie organique (cardiomyopathie par exemple).

Compte tenu de l'âge habituellement avancé des patients, présentant ces troubles de rythme cardiaque, et du risque de mort subite, l'approche non invasive par la ventriculographie isotopique peut être proposée comme une méthode de dépistage.

Pour la recherche d'une dysplasie arythmogène du ventricule droit, la valeur de la FEVG importe peu et ce sont les images de phase à la recherche de foyers dyskinétiques qui sont primordiales. Les trois sites les plus évocateurs sont l'infundibulum, l'apex et la région sous-tricuspidienne(24).

Par-conséquent, l'examen doit être réalisé sous trois incidences qui sont, l'oblique antérieur gauche, le profil gauche et l'oblique antérieur droit, afin de visualiser au mieux ces différentes régions.

Chez les patients porteurs de stimulateurs cardiaques multisites, l'angioscintigraphie permet d'apprécier les valeurs de fraction d'éjection et d'adapter au mieux l'électrostimulation (24, 25, 26).

F-3- la maladie coronaire :

La maladie coronaire est le domaine où la ventriculographie isotopique apporte le plus de renseignements nécessaires aux cardiologues, qu'il s'agisse d'insuffisance coronaire ou d'infarctus du myocarde.

F-3-a- l'insuffisance coronaire :

♣ Définition :

Elle se définit comme une diminution de l'arrivée du sang dans le myocarde. Cette anomalie est de ce fait responsable de l'ischémie myocardique dont l'expression clinique est l'angine de poitrine dite aussi angor.

C'est une affection grave du fait du potentiel évolutif vers la thrombose coronaire et ses conséquences.

♣ Etiologies :

A- Athérosclérose

Affection touchant l'intima des grosses et moyennes artères caractérisée par des plaques de nature lipidique avec épaissement de l'endartère.

B- autres étiologies :

❖ Spasme coronaire :

Réduction brutale du calibre d'une ou de plusieurs artères coronaires consécutive à une vasoconstriction importante entraînant une ischémie myocardique transitoire sévère.

Le spasme est rarement isolé, se surajoutant à une sténose athéromateuse de sévérité intermédiaire.

❖ Insuffisance coronaire fonctionnelle :

- Obstacle à l'éjection VG
- le rétrécissement aortique, cardiomyopathie obstructive
- Anémie ...

❖ Vascularite systémique, aortite syphilitique

♣ Diagnostic positif :

Le diagnostic repose sur les caractères de la douleur :

- Typiquement déclenchée par la marche
- S'observant aussi volontiers :
 - ✓ En période post-prandiale et lors du démarrage matinal.
 - ✓ Favorisée par :
 - marche rapide
 - ascension, d'un escalier ou d'une côte
 - temps froid
 - vent contraire
- Irradient classiquement dans le membre supérieur gauche : épaule, bord interne du bras, poignet
- De type constrictif, souvent intense et angoissant
- Impose l'arrêt de l'effort et disparaît en 5 à 10 minutes
- Cède à la Trinitrine, correctement administrée, en moins d'une minute (test diagnostique).

Sur l'ECG de repos qui n'est positif que dans 30 % des cas, on distingue les troubles suivants :

- Des lésions sous endocardiques et sous épocardiques qui se manifestent respectivement par un sous et un sus décalage du segment ST.
- Des ischémies sous endocardiques dont l'onde T est pointue, symétrique et positive et des ischémies sous épocardiques dont l'onde T est pointue, symétrique et négative.

L'attitude serait donc de pratiquer un ECG d'effort. Celui-ci est considéré positif si on obtient une douleur typique d'angor et/ou un sous décalage, supérieure à 1 mm, du segment T pendant 8/100 de secondes.

La ventriculographie isotopique est une exploration diagnostique de l'insuffisance coronaire, ses performances sont du même ordre de grandeur que celles de la scintigraphie au thallium. D'après la littérature, sa sensibilité pour détecter une anomalie cinétique d'une paroi ventriculaire serait de 73% et la spécificité serait voisine de 100%. Ces paramètres varient suivant les critères de positivité choisis.

Les critères de jugement de la ventriculographie isotopique à l'effort sont fondés sur l'évolution de la fraction d'éjection et sur l'apparition d'un trouble de la cinétique pariétale. Le résultat normal est variable selon les auteurs. Pour certains, il faut que la fraction d'éjection augmente de

5 % par exemple à l'effort, et pour d'autres, il suffit qu'elle demeure stable. Une fraction d'éjection qui diminue et l'installation du trouble de la cinétique sont toujours considérées comme pathologiques.[figure 17]

Par ailleurs, une fraction d'éjection basse peut conduire à récuser la poursuite des investigations notamment, une coronarographie lorsqu'une sanction chirurgicale ne peut être envisagée, en raison de l'altération de la fonction cardiaque.

Toutefois, il semble que la ventriculographie isotopique à l'effort soit intéressante dans deux types de circonstances :

- Dans certains cas de faux négatifs à la scintigraphie au thallium, par exemple dans le cas d'atteintes tri-tronculaires, avec hétérogénéité diffuse des images qui peut être interprétée comme une fixation sensiblement normale : une chute de la fraction d'éjection à l'effort affirme le caractère pathologique de l'examen.
- Dans d'autres cas qui, à l'opposé, sont des faux positifs de l'examen de référence : on peut trouver chez des sujets, apparemment en bonne santé, à l'occasion de contrôles systématiques, des anomalies scintigraphiques au thallium.

Une gamma angiographie à l'effort permet de rassurer le patient.

En conclusion, la ventriculographie isotopique a un double intérêt :

- intérêt diagnostique : La ventriculographie isotopique à l'équilibre, réalisée au repos, met en évidence des altérations de la cinétique globale et régionale.
Il n'est pas raisonnable de pratiquer une gamma angiographie d'effort en première intention ; elle ne devra être réalisée qu'après une épreuve d'effort au thallium lorsqu'il existe un doute au diagnostic.
- Intérêt thérapeutique : après pontage, la ventriculographie isotopique est particulièrement utile en raison des difficultés d'interprétation de l'ECG et de la clinique, liées à la péri cardiectomie et la thoracotomie. Elle met en évidence, en cas de réussite, l'amélioration de la FEV globale et de la cinétique régionale, tant au repos qu'à l'effort.

F-3-b- l'infarctus du myocarde : IDM

♣ Définition :

IDM est une nécrose ischémique massive et systématisée relativement étendue du muscle cardiaque.

L'atteinte de la fonction mécanique du cœur est, sans doute, la conséquence la plus grave de l'infarctus du myocarde. Il est bien admis qu'à la phase aigüe de l'infarctus, la défaillance ventriculaire gauche est un des éléments les plus importants du pronostic, celui qui a le rapport le plus étroit avec la mortalité à cette période

♣ Les signes cliniques :

- f) La douleur est rétro sternale en barre, constrictive intense, avec angoisse et sensation de mort imminente, à irradiation cervicale et/ou brachiale, parfois antérieure, résistante à la Trinitrine.
- g) La douleur est accompagnée de Nausée, vomissement, Palpitations, Syncope, lipothymie, Dyspnée, Etat de choc, pâleur et refroidissement des extrémités.

♣ Les signes électrocardiographiques :

- Dans les premières minutes, l'onde T est ample, pointue et symétrique (ischémie sous endocardique précoce et fugace)
- Un sus décalage ST englobant l'onde T
- L'onde Q à partir de la 4ème à la 6ème heure (cicatrice de la nécrose)
- le premier jour de nécrose, onde T négative
- la deuxième semaine, on note la persistance de l'onde Q, l'onde T est négative et symétrique avec un segment ST habituel.
- le délai d'apparition des signes électriques est variable d'un individu à l'autre

♣ Les signes biologiques :

Ils sont illustrés par les dosages des enzymes cardiaques classiques, principalement la créatine-phospho - kinase CPK, dont l'élévation est proportionnelle à l'étendue de la nécrose.

♣ L'intérêt de la ventriculographie isotopique au cours de l'infarctus du myocarde : [figure 18]

1. au stade aigu de l'IDM :

En pratique quotidienne, le diagnostic d'IDM repose sur la symptomatologie clinique, les signes électrocardiographiques et les dosages enzymatiques.

Néanmoins, dans diverses situations cliniques, les éléments de cette triade diagnostique peuvent manquer, rendant le diagnostic positif difficile ou impossible, par exemple en cas :

- * de troubles électrocardiographiques à types de bloc de branche gauche
- * malade porteur de pacemaker avec un rythme cardiaque électro stimulé
- * d'antécédents d'infarctus
- * de contexte traumatique ou dans un contexte de chirurgie à cœur ouvert
- * d'antécédents de choc électrique externe, etc...

Dans ces cas difficiles, la gamma-angiographie se trouve parfaitement indiquée à la phase aigüe de l'IDM, dans un but diagnostic, et surtout dans un but pronostique, permettant de quantifier l'altération de la fonction contractile du ventricule gauche et aussi du ventricule droit (la survenue d'une insuffisance cardiaque dans les suites de l'IDM et la mortalité).

Cependant, ces indications sont au prix de quelques contraintes pratiques : il est, en particulier nécessaire que le transport du patient soit réduit au minimum et qu'au cours de ce transport ainsi qu'au cours de l'examen lui-même, il puisse bénéficier d'une surveillance cardiologique très étroite. Les deux solutions possibles sont :

- h) la proximité immédiate de l'installation radio isotopique par rapport à l'unité de soins intensifs,
- i) ou l'emploi d'un matériel déplaçable : gamma-caméra petit champ mobile, avec système de traitement des informations.

Lorsque ces conditions sont réunies, la gamma-angiographie peut être pratiquée dès les premières heures de l'IDM.

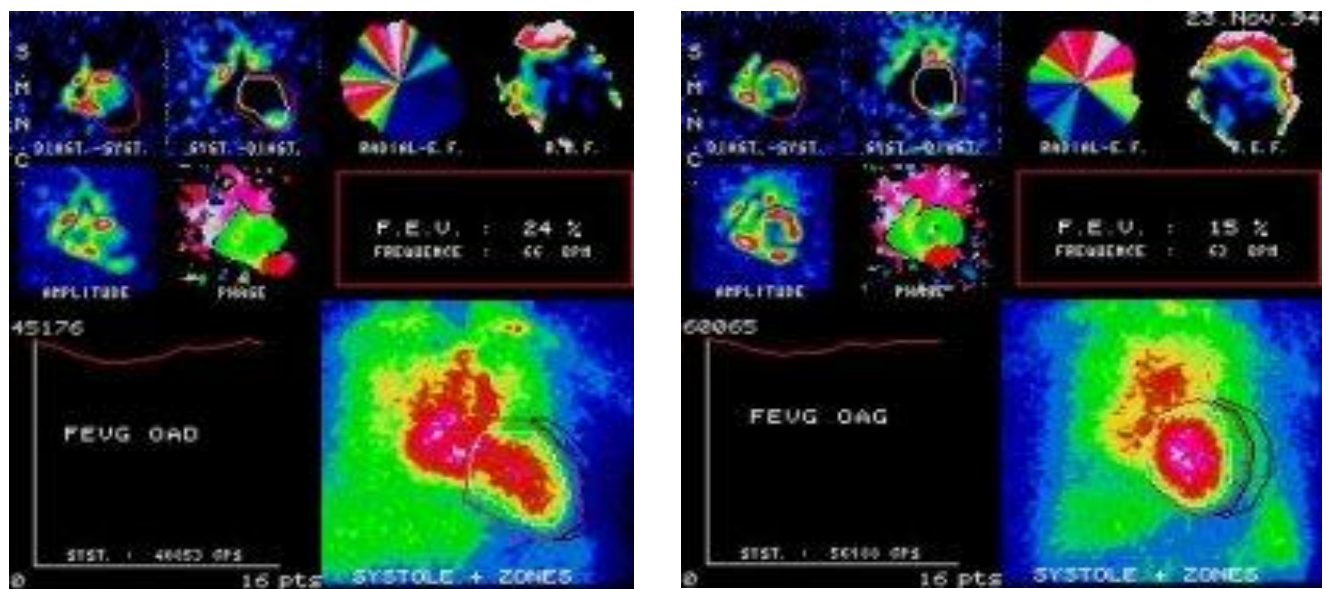
L'intérêt d'un tel examen précoce se situe à plusieurs niveaux :

- l'évaluation de la gravité de l'IDM et sa répercussion fonctionnelle.
- Le jugement d'une évolution ultérieure, notamment en cas de thérapeutique thrombolytique ou d'autres manœuvres de revascularisation, radiologiques (dilatation), ou chirurgicales (pontage).
- Le diagnostic précoce de troubles cinétiques majeurs qui peuvent conduire à la constitution, plus tard, d'un anévrisme cardiaque.

2. Dans les suites de l'IDM :

La ventriculographie isotopique, réalisée à l'effort, permet la mesure de la contractilité globale et segmentaire du territoire infarcté, qui ont un intérêt pronostique, permettant de mettre en évidence un éventuel anévrisme ventriculaire vrai, visualisant la poche akinétique et le collet.

Figure 18: Evaluation de la fonction myocardique à la suite d'un infarctus aigu du myocarde



Evaluation de la fonction myocardique chez un homme de 45 ans porteur d'une cardiopathie ischémique sévère avec nécrose myocardique antérieure récente.

*La ventriculographie isotopique montre une akinésie antéro-septale et une dyskinésie apicale.

*La fonction systolique ventriculaire gauche est sévèrement altérée (FEVG 15 % en oblique antérieur gauche).

*La fonction diastolique ventriculaire gauche est nettement altérée

F-4- les maladies non coronariennes :

Le domaine d'application de la ventriculographie isotopique ne se limite pas aux affections coronariennes. Elle est très utile dans le diagnostic d'un grand nombre de pathologies telles que les valvulopathies, les troubles de rythme, les cardiopathies congénitales, etc...

F-4-a- les valvulopathies :

Les valvulopathies cardiaques sont des dysfonctionnements des valvules cardiaques. Une valve peut dysfonctionner de deux manières :

- ne pas s'ouvrir correctement : rétrécissement ou sténose.
- ne pas se fermer correctement : insuffisance ou fuite.

En cas d'association d'un rétrécissement et d'une insuffisance sur une même valve on parle alors de maladie (mitrale, aortique, tricuspide...). Les valvulopathies les plus fréquentes intéressent la valve mitrale et la valve aortique.

Lors d'un rétrécissement, il existe :

- En amont, une augmentation des pressions due à l'obstacle: surcharge « barométrique » qui retentit sur la vascularisation pulmonaire (essoufflement jusqu'à œdème pulmonaire), sur les cavités droites, sur le système veineux périphérique (douleurs au niveau du foie, œdèmes des membres inférieurs).

- En aval, une sous perfusion avec un bas débit. La différence de pression de part et d'autre de l'obstacle est très augmentée ce qui est un moyen d'en faire le diagnostic.

Lors d'une insuffisance valvulaire, le ventricule gauche (pour les valvulopathies gauches) est obligé de travailler plus pour maintenir un débit identique. Pour compenser cela, il va se dilater puis se fatiguer avec des conséquences identiques :

- Stase en amont avec essoufflement, œdèmes des membres inférieurs,
- Bas débit périphérique.

Ces valvulopathies constituent une grande catégorie d'affections non coronariennes à pouvoir bénéficier d'une évaluation fonctionnelle par la ventriculographie isotopique.

Le problème qui se pose chez les malades valvulaires, et plus particulièrement chez les insuffisants aortiques, est l'indication ou non d'un remplacement valvulaire. C'est essentiellement par ventriculographie isotopique à l'effort que l'on cherche à définir les données objectives pour l'indication d'une chirurgie. La fraction d'éjection et son évolution à l'effort ainsi que les modifications des volumes cavitaires apportent des arguments qui permettent de classer les patients selon que l'indication du remplacement valvulaire est certaine, discutable ou absente.

Sur la ventriculographie isotopique à l'équilibre, il est possible de mesurer les volumes d'éjections systoliques droite et gauche. En l'absence de régurgitation valvulaire, ces deux volumes sont égaux et leur rapport est égal à 1.

En réalité, des mesures effectuées chez des patients sains ne présentant aucune régurgitation valvulaire, ni au niveau du ventricule droit, ni au niveau du ventricule gauche, ont montré que ce rapport était légèrement supérieur à 1, (environs de 1,2). Ceci est en rapport avec la superposition des cavités cardiaques, la soustraction du bruit de fond et les phénomènes d'absorption des rayonnements différent à gauche et à droite.

Lorsqu'il existe une régurgitation valvulaire au niveau du ventricule gauche, insuffisance mitrale, insuffisance aortique ou les deux, et si, d'autre part, il est établi qu'il n'y a pas de régurgitation analogue au niveau ventriculaire droit, le rapport précédent devient un index de régurgitation dont la valeur (supérieure à 1,2), dont la valeur croît avec l'importance de la régurgitation.

Le problème est différent en cas de rétrécissement, en particulier le rétrécissement aortique. Les fractions d'éjections de repos sont souvent élevées et la cinétique pariétale régionale est à type d'hyperkinésie.

En conclusion, l'apport de la ventriculographie isotopique dans le domaine des valvulopathies est intéressant :

- en cas d'insuffisance mitrale ou aortique, la ventriculographie isotopique peut faire l'évaluation préopératoire de l'état du ventricule gauche, l'évaluation de l'importance de la régurgitation et la détection précoce d'une dysfonction myocardique irréversible.
- En cas de rétrécissement mitral ou aortique, son intérêt est plus accessoire par rapport à l'échographie et l'angiographie radiologique.

F-4-b- les cardiopathies congénitales :

Les cardiopathies congénitales sont des maladies d'origine embryonnaire du cœur. Elles sont dues à l'arrêt ou au défaut du développement d'une partie du cœur, en particulier, des cloisons entre le cœur droit et le cœur gauche, des valvules et des gros troncs artériels ou veineux du cœur. Il en résulte une communication pathologique appelée « shunt » entre le cœur droit et le cœur gauche.

La ventriculographie isotopique permet l'évaluation des fonctions ventriculaires gauche et droite, de juger l'importance d'un shunt éventuel, permet d'apprécier l'efficacité du geste chirurgical, et de déterminer la réserve fonctionnelle cardiaque après la chirurgie.

Avec le développement de l'échographie pédiatrique, en particulier, avec l'apparition des systèmes d'imagerie du sang circulant par le doppler pulsé associé à l'échographie bidimensionnelle, l'importance des méthodes isotopiques dans le domaine des cardiopathies congénitales a fortement décru à tel point que les indications de la ventriculographie isotopique paraissent actuellement exceptionnelles en ce domaine.

F-4-c- les cardiomyopathies :

Les cardiomyopathies sont des maladies du myocarde dont on ne connaît pas l'étiologie et dont le pronostic est grave. On peut distinguer deux variétés principales :

➤ **Cardiomyopathies obstructives :**

Caractérisées par un épaississement localisé du muscle cardiaque, portant sur la cloison inter-ventriculaire, faisant saillie dans la cavité ventriculaire gauche et créant un obstacle à l'éjection du sang.

La ventriculographie isotopique fait partie du bilan de la maladie, montrant une fraction d'éjection bien conservée, qui augmente à l'effort, comme chez les sujets normaux, mais à partir de valeurs de repos plus élevées ; avec comme trouble de la cinétique régionale une hyperkinésie.

➤ **Cardiomyopathies non obstructives : (figure 16)**

Caractérisée par la dilatation des cavités cardiaques avec un amincissement des parois ventriculaires.

Les fractions d'éjection sont basses et la cinétique pariétale régionale est généralement diminuée d'une manière globale et diffuse. La fraction d'éjection ventriculaire gauche est un critère de pronostic puissant et indépendant qui permet un suivi régulier et simple.

En raison de sa très bonne reproductibilité, la ventriculographie isotopique est particulièrement indiquée dans cette pathologie, elle permet un contrôle de l'évolution de la maladie, en montrant une diminution progressive de la contractilité globale.

F-4-d- la péricardite constrictive :

La péricardite constrictive est une inflammation du péricarde avec fusion des feuillets pariétal et viscéral. Elle est, dans 70% des cas, d'origine tuberculeuse.

Le contexte clinique évocateur d'une péricardite constrictive comporte des signes de troubles hémodynamiques se manifestant par une stase veineuse périphérique et traduisant un gêne du remplissage ventriculaire ou « adiaстolie ».

A.Furber et A.Tadei ont effectué une étude reposant sur 15 patients présentant une péricardite constrictive pure et isolée, afin de préciser l'intérêt diagnostique, encore mal connu de la ventriculographie isotopique dans cette maladie. Il ressort que le dysfonctionnement diastolique de la péricardite constrictive, étudié par ventriculographie isotopique, se traduit en proto-diastole par une augmentation du remplissage ventriculaire avec une accélération de sa survenue précoce, et en télé diastole par une diminution de la fraction de remplissage auriculaire.

En conclusion, on peut dire que la ventriculographie isotopique apporte des éléments fonctionnels importants pour le diagnostic de la péricardite constrictive. Les possibilités d'analyse segmentaire offerte par la ventriculographie permettent la mise en évidence des formes localisées de la maladie et contribuent à guider le geste thérapeutique. En postopératoire, cette technique permettra de juger objectivement de la qualité du geste effectué.

G. TOMOGRAPHIE D'EMISSION MONOPHOTONIQUE SYNCHRONISEE A L'ECG (GATED SPECT)

Elle permet de réaliser une étude conjointe de la perfusion myocardique et de la fonction ventriculaire gauche, grâce à l'analyse de plusieurs paramètres tels que les volumes ventriculaires, la fraction d'éjection ventriculaire, l'épaississement et la cinétique pariétale. Elle procure ainsi un gain de temps considérable lors de l'évaluation et de la prise en charge du patient coronarien.

1-Technique :

Plusieurs techniques ont permis d'exploiter les données 3D de la TEMP pour extraire l'information concernant la fonction du ventricule gauche (VG). La surface endocardique du VG et des plans valvulaires est estimée par la sommation des volumes des voxels en relation avec ces structures.

La délimitation des surfaces endocardiques est réalisée par des méthodes basées sur le "seuillage" et des méthodes basées sur les gradients. La cinétique pariétale régionale du VG correspond à la distance parcourue par un point donné de l'endocarde entre la télédiastole et la télésystole.

L'épaisseur du myocarde étant inférieure à la résolution spatiale, et à cause de l'effet de volume partiel, le signal obtenu est étendu sur une surface plus grande et la concentration radioactive apparaît faible. L'épaississement régional de la paroi est estimé par l'augmentation apparente des taux de comptage au niveau des parois entre la télédiastole et la télésystole. La FEVG est estimée par le rapport entre la différence des volumes télédiastolique et télésystolique, sur le volume télédiastolique.

Le défaut de la plupart de ces méthodes est le caractère manuel de la détermination des limites des structures myocardiques et de ce fait sa dépendance de l'opérateur.

Germano et coll. [27] du centre de cedars sinai, ont développé un algorithme totalement automatique (quantitative gated SPECT) pour la mesure quantitative de la fonction du VG et la visualisation de la cinétique segmentaire et l'épaississement de la paroi myocardique. Cet algorithme est basé sur l'intelligence artificielle combinée à la méthode de Gauss pour les profils de comptage normaux. L'évaluation de cette technique (QGS) pour le calcul de la FEVG a montré une bonne corrélation avec d'autres méthodes [28].

2-Choix du radio traceur :

En prenant en considération les statistiques de comptage plus élevés du ^{99m}Tc comparé au thallium, et sa distribution myocardique stable avec le temps, celui ci est utilisé pour l'étude fonctionnelle avec le gated SPECT, spécialement si une camera multi-têtes n'est pas disponible. Cependant, plusieurs études ont démontré une bonne corrélation entre la FEVG calculée par le gated SPECT au thallium et au ^{99m}Tc sestamibi [29]. Mais, la qualité des images avec le ^{99m}Tc

est supérieure à celles obtenues au thallium, avec une variation inter observateurs pour la cinétique et l'épaississement de la paroi qui est moindre pour les produits technetiés [30].

3-Validation du gated SPECT par d'autres méthodes :

Plusieurs études ont comparé l'information sur la fonction du VG fournie par le gated SPECT et d'autres méthodes d'imagerie bien connues (IRM, angiographie de contraste, échocardiographie, ventriculographie synchronisée à l'ECG et étude au premier passage). Ces études ont rapporté une bonne, voire une excellente corrélation entre ces méthodes et le gated SPECT (Tableau 3). Bavelaar-croon et coll. [31] ont trouvé un coefficient de corrélation de 0.85 pour la mesure de FEVG, par le gated SPECT comparé à l'IRM. Une plus grande moyenne des volumes de télédiastole et télésystole ont été mesurés pour l'IRM comparé au gated SPECT, mais les différences n'étaient pas significatives. Ce résultat est probablement dû à l'inclusion d'une partie du flux extracardiaque par l'IRM.

Atsma et coll. [32] ont trouvé une bonne corrélation (0.84) pour la FEVG entre gated SPECT et l'angiographie de contraste chez 74 patients. De plus, les auteurs ont trouvé un accord exact des scores de cinétique segmentaire sur une échelle de 4 points dans 89 % des segments. Par ailleurs, la plus grande valeur de la FEVG, et du volume télédiastolique trouvés à partir de l'angiographie de contraste comparée au gated SPECT, pourrait aussi être due à l'inclusion du flux extracardiaque par les modèles angiographiques standards.

Bacher-stier [33] a trouvé une corrélation de 0.86 pour le calcul de la FEVG entre échocardiographie et le gated SPECT au ^{201}Tl au repos. De plus avec l'usage de l'échocardiographie comme standard de référence, des anomalies de la cinétique segmentaire de la paroi ont été identifiés par le gated SPECT avec une très grande sensibilité (88 à 100 %) et une grande spécificité (82 à 98 %).

Une autre étude [34] a conclu que le gated SPECT au ^{201}Tl ou au $^{99\text{m}}\text{Tc}$ montre une bonne corrélation avec l'échocardiographie concernant le volume télédiastolique, le volume télésystolique et la FEVG (0.86).

4-Valeur fonctionnelle du ventricule gauche appréciée par le gated SPECT :

L'acquisition de l'image de perfusion myocardique par le gated SPECT au stress avec l'utilisation des produits technetiés débute 30 min au moins après stress, et l'information acquise représente le statut fonctionnel lors du stress.

Chez les sujets sains, la fonction du ventricule gauche, 30 min après stress est similaire à la fonction au repos. Cependant, chez les malades coronariens il est possible que le dysfonctionnement du ventricule gauche et la dilatation transitoire de la cavité qu'il peut entraîner, atteigne 45 min ou plus. Ce phénomène est dû à la sidération myocardique, qui est définie communément, comme une dysfonction contractile post-ischémique concomitante d'une perfusion normale et qui se résout spontanément. Donc, quand l'acquisition avec le gated SPECT

est appliquée aux images de perfusion myocardique de stress (obtenues 30 à 45 min après stress), la fonction du ventricule gauche et les volumes du ventricule gauche peuvent ne pas représenter les vraies valeurs au repos. Il est conseillé d'obtenir les images du gated SPECT au repos, d'un autre côté si les 2 acquisitions (repos et stress) sont utilisées, la différence entre les deux FEVG peut aider à identifier les patients avec une sidération myocardique.

5-Valeur ajoutée du Gated SPECT :

Dans les images de perfusion myocardique qui montrent un défaut de perfusion irréversible, un diagnostic précis n'est pas toujours possible. Ce phénomène peut apparaître chez les patients suspects de maladie coronarienne en l'absence d'IDM dans les antécédents. Chez qui il est souvent difficile de différencier entre un artefact d'atténuation et un défaut de perfusion dû à un IDM antérieur. Dans cette situation le gated SPECT a une valeur ajoutée certaine, en montrant une conservation de l'épaississement pariétal, alors qu'une hypoperfusion régionale irréversible due à un IDM, laissera apparaître une absence d'épaississement de la paroi.

Chez les patients avec un IDM connu, et un défaut de perfusion permanent de la zone infarctée, le gated SPECT peut montrer l'absence de l'épaississement de la paroi, indiquant une éventuelle nécrose ou une hibernation myocardique. Et inversement, le gated SPECT peut montrer un épaississement conservé de la région infarctée, suggérant la viabilité myocardique. Par conséquent, ces patients peuvent être candidats à une revascularisation. [35]

Miles [36] a prouvé que sur 24 de 50 images de perfusion myocardique (48 %), le gated SPECT a permis de modifier le compte rendu final. Ceci étant le résultat et de l'amélioration des artefacts d'atténuation, et par la procuration d'informations sur la viabilité myocardique. Ceci peut potentiellement permettre des économies de coût, en dispensant de la réalisation de coronographies superflues. L'auteur conseille l'utilisation du gated SPECT chez tous les patients candidats à une scintigraphie myocardique de perfusion.

Croon [35] a trouvé chez 19 (35 %) de 55 patients avec des antécédents d'IDM, une conservation de l'épaississement de la paroi dans la zone de l'infarctus, avec des anomalies de perfusion irréversibles sévères, ce qui suggère une viabilité résiduelle. En plus, chez 20 patients sans IDM, la conservation de l'épaississement de la paroi a été trouvée chez 10 (50 %) des patients avec défaut de perfusion fixe sévère, ce qui suggère un artefact d'atténuation.

On en conclut que le gated SPECT a une valeur additionnelle certaine pour l'identification des artefacts d'atténuation et pour l'étude de la viabilité myocardique.

6-Détection de la viabilité myocardique :

Plusieurs méthodes permettent de différencier les patients avec une viabilité myocardique des patients sans myocarde viable. Ces méthodes incluent :

- L'imagerie au thallium 201 par l'analyse de la perfusion myocardique et l'intégrité de la membrane cellulaire.
- L'échocardiographie à la dobutamine qui estime la réserve contractile myocardique.

- La TEP au 18F-FDG pour estimer l'état métabolique du myocarde.

Yamashita et coll. [37] ont trouvé une bonne corrélation entre l'étude du métabolisme glucidique grâce à la TEP au 18F-FDG et l'épaississement régional de la paroi.

Alors que d'autres études ont montré la concordance entre le gated SPECT et l'échocardiographie pour l'estimation des mouvements de la paroi.

Ces études indiquent que le gated SPECT a la possibilité de détecter les segments viables et peut ainsi être important pour la stratification des patients candidats à une revascularisation.

Stolfuss [38] a évalué le gated SPECT avec la tetrofosmine 99mTc pour la prédiction du recouvrement fonctionnel prouvé par l'IRM séquentielle chez 19 patients coronariens au stade de dysfonction VG sévère.

L'auteur a conclu que l'estimation de l'épaississement myocardique obtenu par le gated SPECT peut améliorer la spécificité du 99mTc tetrofosmine pour la prédiction de la récupération fonctionnelle mais pas la sensibilité dans les zones de moindre flux. En plus l'estimation de la fonction globale, lors de l'acquisition des données synchronisées peut être utile pour améliorer la fiabilité de la TEMP au 99mTc tetrofosmine pour la prédiction de la récupération fonctionnelle après pontage coronarien.

Une autre étude [39] a montré que le gated SPECT avec une faible dose de dobutamine durant l'acquisition a une exactitude significative pour prédire la récupération fonctionnelle à long terme des segments dyskinétiques ou akinétiques, après une revascularisation, qui était comparable aux résultats obtenus par l'échocardiographie de stress.

Gunning et coll. [40] ont évalué la capacité du gated SPECT à identifier le myocarde hibernant. L'hibernation est définie pour le gated SPECT comme une fixation du 99mTc tetrofosmine au repos supérieure à 55% de celle obtenue à la perfusion myocardique d'une zone normalement perfusée avec une hypokinésie ou akinésie segmentaire concomitante. Il y a eu un désaccord entre le gated SPECT et l'IRM, principalement pour les segments avec une très faible fixation du traceur. Mais ceci n'est pas un handicap majeur à l'usage du gated SPECT, puisque les segments avec une fixation très réduite ont peu de chances de récupérer fonctionnellement.

Les auteurs ont conclu que l'estimation combinée de la viabilité myocardique et de la fonction par le 99mTc tetrofosmine gated SPECT est faisable (Se 62 %, Sp 45 %) et permet l'établissement du myocarde hibernant avec une fiabilité similaire à la combinaison du SPECT simple et de l'IRM.

La combinaison de ces données peut mener à une stratégie future pour l'analyse de la viabilité résiduelle dans un défaut de perfusion irréversible. Tout d'abord, l'épaississement et la cinétique segmentaire de la paroi myocardique sont analysés sur le gated SPECT avec les produits marqués au 99m Tc, ensuite s'il y a une conservation de l'épaississement pariétal dans un segment avec hypoperfusion irréversible, le patient peut être proposé à une revascularisation. S'il

n'y a pas d'épaississement dans la zone hypoperfusée, une évaluation plus poussée est nécessaire pour déterminer si ce défaut est dû à une hibernation ou à une nécrose myocardique, ceci par l'usage de la TEP au 18F-FDG ou l'échocardiographie avec dobutamine.

7-Valeur pronostique du gated SPECT :

De nombreuses études ont montré la valeur pronostique de la Scintigraphie myocardique de perfusion, il a aussi été démontré que la FEVG au repos ou à l'exercice, est un déterminant majeur pour la survie à long terme des patients coronariens.

D'autres études ont montré une plus grande valeur pronostique du volume télésystolique du ventricule gauche. White [41] a démontré, chez 605 patients ayant eu une ventriculographie de contraste 1 à 2 mois après l'IDM, que la dilatation ventriculaire (volume télésystolique > 130 ml) prédisait la mortalité mieux qu'une FEVG inférieure à 40 % ou un volume télédiastolique augmenté. Dans une étude récente, [42] 1680 patients ont été analysés par le gated SPECT et suivis pendant 569 +/- 106 jours. Les patients avec anomalies de perfusion sévère et un volume télésystolique (VTS) inférieur à 70 ml avaient des taux de mortalité cardiaque très bas (0.4 % par an), alors que les patients avec seulement un défaut de perfusion modéré et un volume télésystolique supérieur à 70 ml avaient une mortalité cardiaque relativement plus élevée (8.2 % annuel). Même les patients avec une fonction globale préservée (FEVG > 45 %) mais un VTS >70 ml avaient un taux de mortalité élevé (2.6 % contre 0.5 %, p= .02). Les patients avec FEVG < 45 % et des anomalies de perfusion modérées à sévères avaient des taux de mortalité élevés, alors que les patients avec FEVG >45% avaient une mortalité annuelle inférieure à 1 % sans tenir compte du degré d'anomalie de perfusion.

Les auteurs ont confirmé que le gated SPECT au 99mTc après stress chez les malades coronariens connus ou suspects procure une information pronostique supérieure à la perfusion seule.

Au total, le gated SPECT permet d'analyser la perfusion et la fonction du ventricule gauche durant la même acquisition. La synchronisation procure un avantage à la TEMP au 99mTc sestamibi ou tetrofosmine, en caractérisant les anomalies de perfusion et en améliorant potentiellement la spécificité de l'examen. Le gated SPECT permet aussi la stratification du risque parce qu'il procure l'information sur la FEVG et le volume télésystolique, qui sont tous deux d'importants paramètres pronostiques et ont une valeur supérieure à la perfusion seule.

Le gated SPECT peut être utilisé pour la stratification des patients candidats à la revascularisation, car il permet l'analyse de l'épaississement résiduel de la paroi dans une région avec un défaut de perfusion fixe, ou une cinétique diminuée dans une région avec un défaut de perfusion modéré indiquant l'hibernation.

V- Faisabilité : expérience du service de médecine nucléaire du CHU IBN SINA, Rabat-Salé :

Au service de médecine nucléaire du CHIS (Centre Hospitalier Ibn Sina) et sous la direction de son chef de service madame le professeur Nouzha Ben Rais, la ventriculographie isotopique à l'équilibre à base d'hématies marquées in vivo au pertechnétate TC-99m ; s'inscrit de plus en plus en routine.

Nous rapportons 20 dossiers de patients ayant subi une ventriculographie isotopique dans diverses situations pathologiques.

➤ Matériels et méthodes :

• l'acquisition scintigraphique :

Les acquisitions scintigraphiques ont été réalisées en synchronisation avec l'ECG, à l'aide d'une gamma-caméra équipée d'une seule tête, utilisant un collimateur basse énergie, haute résolution à trous parallèles avec une matrice de 64 x 64 et un zoom de 1,34. L'échantillonnage temporel est choisi à 24 images par cycle cardiaque. La taille du pixel est de 3,4 mm.

Les acquisitions sont réalisées en incidence oblique gauche (35° - 45°) qui permet de dégager au mieux le septum. Chaque échantillon temporel est pris sur une durée de 10 minutes.

Un marquage in vivo a été réalisé par l'injection intraveineuse de 1,5 ml de pyrophosphate stanneux et après 30 min, de 740MBq (20mCi) de pertechnétate TC-99m.

Enfin, l'acquisition scintigraphique est immédiatement réalisée.

• Les patients :

Les 20 patients ont bénéficié d'une gamma-angio-scintigraphie réalisée à l'équilibre dont 15 femmes et 5 hommes, d'âge moyen de 47 ans (17 ans et 86 ans).

La plupart des malades étaient hospitalisées dans un service d'oncologie ou de médecine interne.

L'examen est réalisé principalement pour :

- ✓ un bilan pré-chimiothérapie pour 7 malades
- ✓ la recherche d'une cardiopathie lupique chez 6 malades
- ✓ la recherche d'une cardiopathie ischémique chez 7 cas

L'étude est basée sur la mesure de la fraction d'éjection systolique ventriculaire gauche et l'évaluation de la cinétique globale et segmentaire du ventricule gauche.

➤ Résultats :

Nos patients avaient un rythme cardiaque régulier.

Les valeurs de la FEVG sont obtenues après traçage du ventricule gauche en télédiastole puis en télésystole manuellement, elles étaient :

- Normales chez 12 patients; variables entre 55% et 75%.
- Basses chez 8 patients ; variables entre 29% et 53%.

L'étude de la cinétique globale et segmentaire du ventricule gauche était anormale chez 5 patients montrant :

- ♣ Une hypokinésie segmentaire de la paroi latérale et une akinésie de la paroi septale chez 2 patients ayant un infarctus de myocarde antéro-septal connu.
- ♣ Une hypokinésie globale du ventricule gauche chez 2 patients suivis pour lupus et qui présentaient des signes d'atteinte cardiaque à type d'insuffisance valvulaire (aortique et mitrale) chez une patiente et des précordialgies avec des signes d'hypertrophie ventriculaire gauche à l'ECG chez l'autre.
- ♣ Une hypokinésie globale du ventricule gauche chez une patiente connue hypertendue, explorée dans les suites d'un épisode d'OAP [figure 20].

L'étude échocardiographique chez les patients de notre série montrait une bonne corrélation des résultats de la FEVG et de cinétique du ventricule gauche avec ceux obtenus par méthode isotopique chez tous les patients sauf pour un dont le résultat montrait une FEVG à 58 % à l'angioscintigraphie et à 46% à l'échographie, que nous discuterons par la suite.

Le coefficient de corrélation n'a pas pu être calculé vu la non disponibilité dans la plupart des cas, des valeurs échographiques de FEVG, dont les résultats étaient mentionnés uniquement qualitativement (Normale ou basse).

VI- Discussion :

La ventriculographie isotopique à l'équilibre reste une des meilleures techniques permettant d'évaluer de manière quantitative la fonction ventriculaire gauche, essentiellement en raison de sa reproductibilité élevée qui est supérieure à celle de l'échographie (46). Toutefois, son utilisation tend à être supplantée au profit de l'échographie qui fournit des informations hémodynamiques supplémentaires. Cependant, les techniques isotopiques donnent des informations fiables chez les patients hypoéchogènes, proportion non négligeable des malades (46).

L'échocardiographie est une technique d'étude de la fonction cardiaque non invasive, simple, disponible, reproductible, facilement réalisable au lit du patient, intéressante à comparer à la ventriculographie isotopique. Elle a fait la preuve de son efficacité dans l'estimation des volumes cardiaques et de la fraction d'éjection.

Cependant, les limites du mode-mouvement sont connues lorsqu'il existe des troubles de la cinétique segmentaire d'où l'intérêt de la ventriculographie isotopique, de même, les mesures en mode bidimensionnel ne peuvent être effectuées en direct et nécessitent une phase manuelle de définition des contours endocardiques, souvent de réalisation longue et fastidieuse. La quantification acoustique permet une reconnaissance automatique de l'interface sang-endocarde et donc une évaluation du pronostic et des bénéfices thérapeutiques sur le remodelage ventriculaire gauche.

L'évaluation de la FEV par cette quantification acoustique apparaît plus performante comparée aux méthodes échographiques simples et bidimensionnelles, mais surestimée par rapport à la ventriculographie isotopique (45).

Pour ce qui concerne notre étude, les résultats obtenus par ventriculographie isotopique planaire se montrent parfaitement concordants avec ceux de l'échographie. Les deux examens, réalisés dans les mêmes conditions, ont montré une parfaite corrélation.

Dans un cas où la FEVG, mesurée seulement par méthode isotopique (sans réalisation de l'échographie), avant le début du traitement par chimiothérapie. Cette FEVG s'est avérée normale.

La patiente n'a pas subi d'examen isotopique après chimiothérapie mais une simple échographie, qui a montré une valeur basse de la FEVG et qui démontre la toxicité de la chimiothérapie.

Dans ce cas précis on ne peut comparer la méthode isotopique à l'échographie puisqu'ils n'ont pas été réalisés dans les mêmes conditions.

Pour un autre cas (cas clinique n°3 ; figure 21), il nous a semblé utile de l'illustrer vu la supériorité diagnostique de la FEVG isotopique par rapport à l'échographie. La FEVG s'est avérée normale. Alors que l'étude d'amplitude et de phase par méthode isotopique, a objectivé une dyskinesie avec déformation anévrysmale.

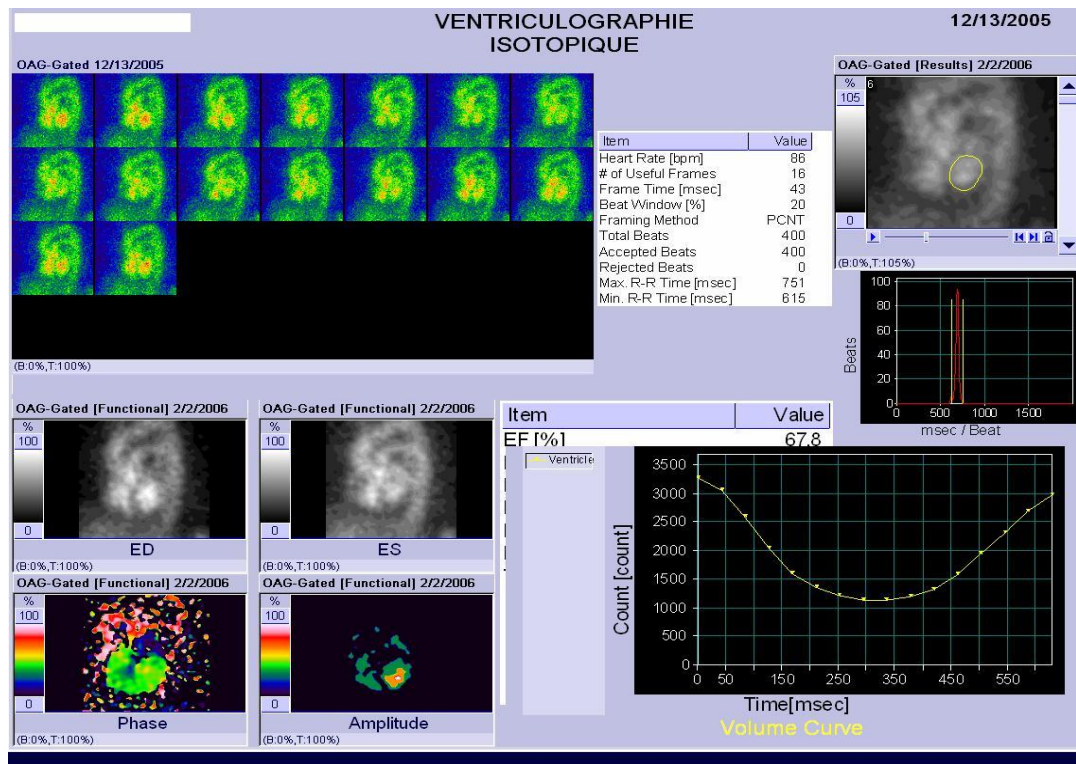
Le but de ce travail ne se limite pas à montrer la corrélation entre la ventriculographie isotopique et l'échocardiographie, lorsqu'elles sont réalisées dans les mêmes conditions,

mais aussi de montrer l'intérêt de la gamma-angio-scintigraphie dans le bilan pré-chimiothérapie cardiotoxique et le suivi des cardiopathies chimiotoxiques à base d'anthracyclines, ce qui nécessite une bonne coopération des services concernés avec une bonne sélection des patients sur une longue durée, et dont les résultats feront l'objet d'une publication ultérieure.

La technique isotopique reste la technique de référence. Cependant, il est lieu de rappeler que la technique échographique est beaucoup plus répandue et disponible par rapport à l'épreuve isotopique.

Si le cout de l'échographie de repos est relativement modeste par rapport à l'épreuve isotopique réalisée dans les mêmes conditions ; le cout de l'épreuve de stress échographique (épreuve pharmacologique) avoisine celui de la technique isotopique d'effort.

***Nous présentons ci-après 5 illustrations
d'examens isotopiques réalisés, au CHIS
de Rabat.***



Cas clinique 1 : Evaluation de la FEVG pour un bilan pré-chimiothérapie (Figure 19):

Patient âgé de 69 ans, suivi pour cancer du cavum sous chimiothérapie.

La FEVG mesurée par échographie a été jugée normale (sans mentionner le résultat).

La Ventriculographie réalisée à l'équilibre (OAG) après marquage in vivo des globules rouges par du 99mTc (24 mCi). FEVG normale évaluée à 67 %. En haut à droite, sélection de la zone à étudier. En bas à droite, courbe d'évolution activité-temps au niveau de la région sélectionnée. En haut à gauche visualisation en mode «frame» obtenu par la sommation de plusieurs cycles cardiaques divisés en 16 intervalles. En bas à gauche, images paramétriques de phase et d'amplitude permettant d'étudier la contractilité ventriculaire.

Cas clinique 2 : Cardiopathie dilatée hypertensive (Figure 20) :

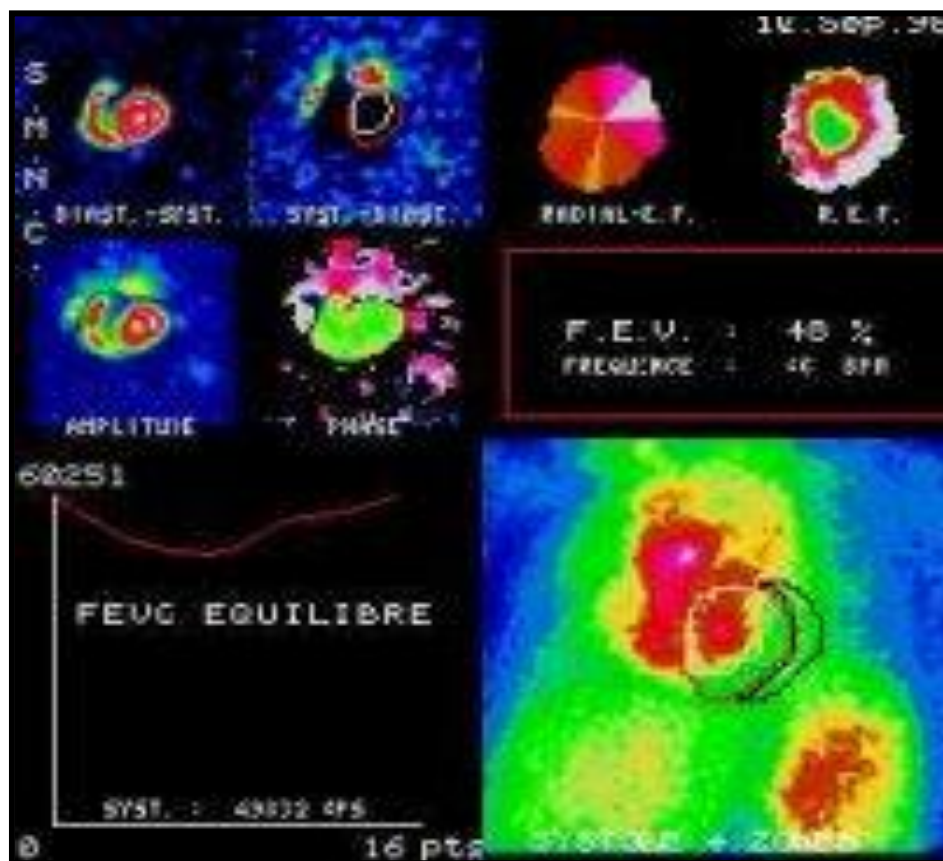
Femme de 86 ans, hypertendue ancienne (depuis 20 ans), explorée dans les suites d'un épisode d'OAP.

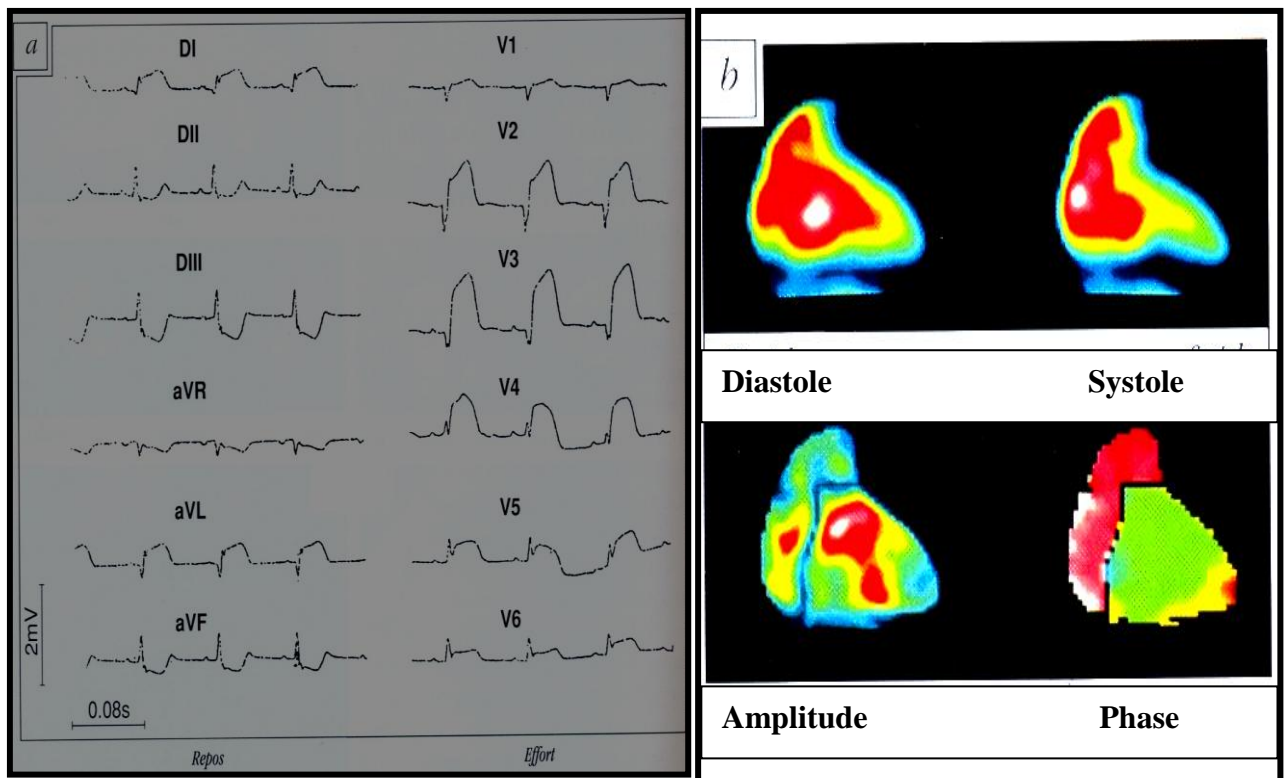
La FEVG mesurée à l'échographie a été jugée basse (sans mentionner le résultat).

Les résultats de la ventriculographie isotopique :

* une fraction d'éjection ventriculaire gauche à 48 %

* Altération modérée de la fonction systolique ventriculaire gauche avec hypokinésie globale, avec une altération modérée de la fonction diastolique ventriculaire gauche.





Cas clinique 3 : (Figure 21)

Patient âgé de 45 ans, admis dans le service de soins coronariens 12 heures après la survenue d'un épisode douloureux thoracique prolongé.

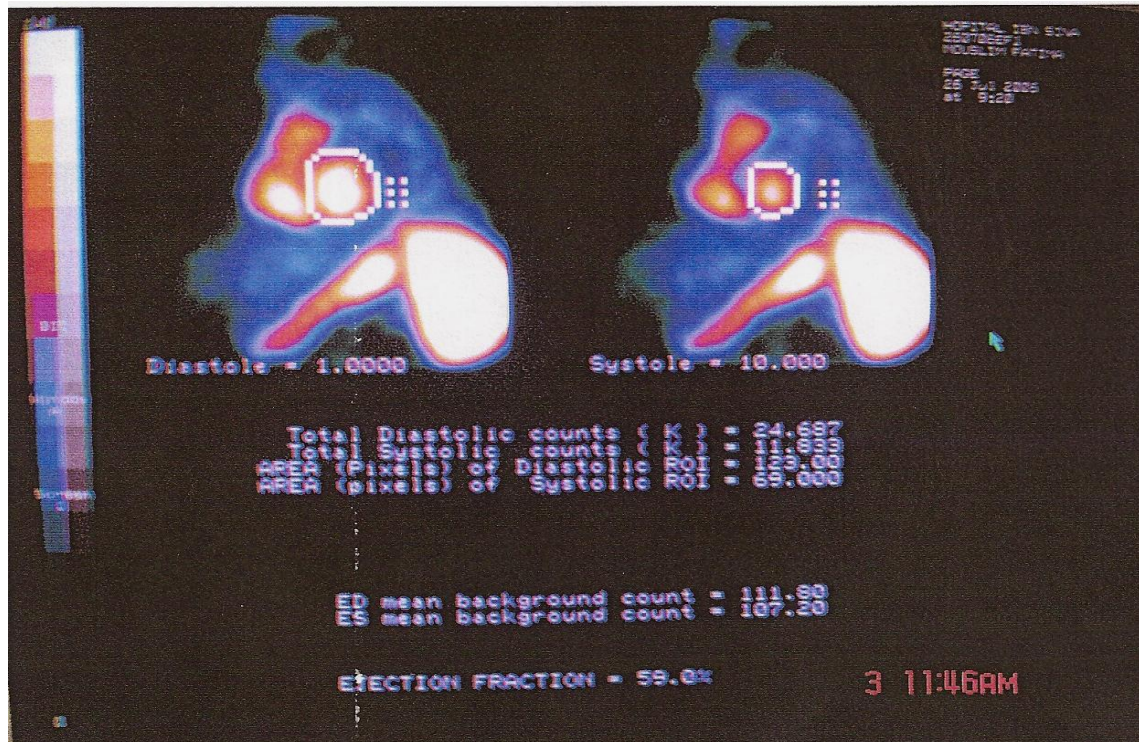
L'ECG de repos montre un infarctus aigu antéro-septal (figure a).

La FEVG mesurée à l'échographie a été jugée normale (sans mentionner le résultat).

La ventriculographie isotopique synchronisée montre :

***FEVG= 29%**

***L'étude de la cinétique globale et segmentaire montre une déformation anévrysmale systolique au niveau du ventricule gauche et une dyskinesie antéro-apicale apparaissant en rouge sur l'image de phase (figure b).**



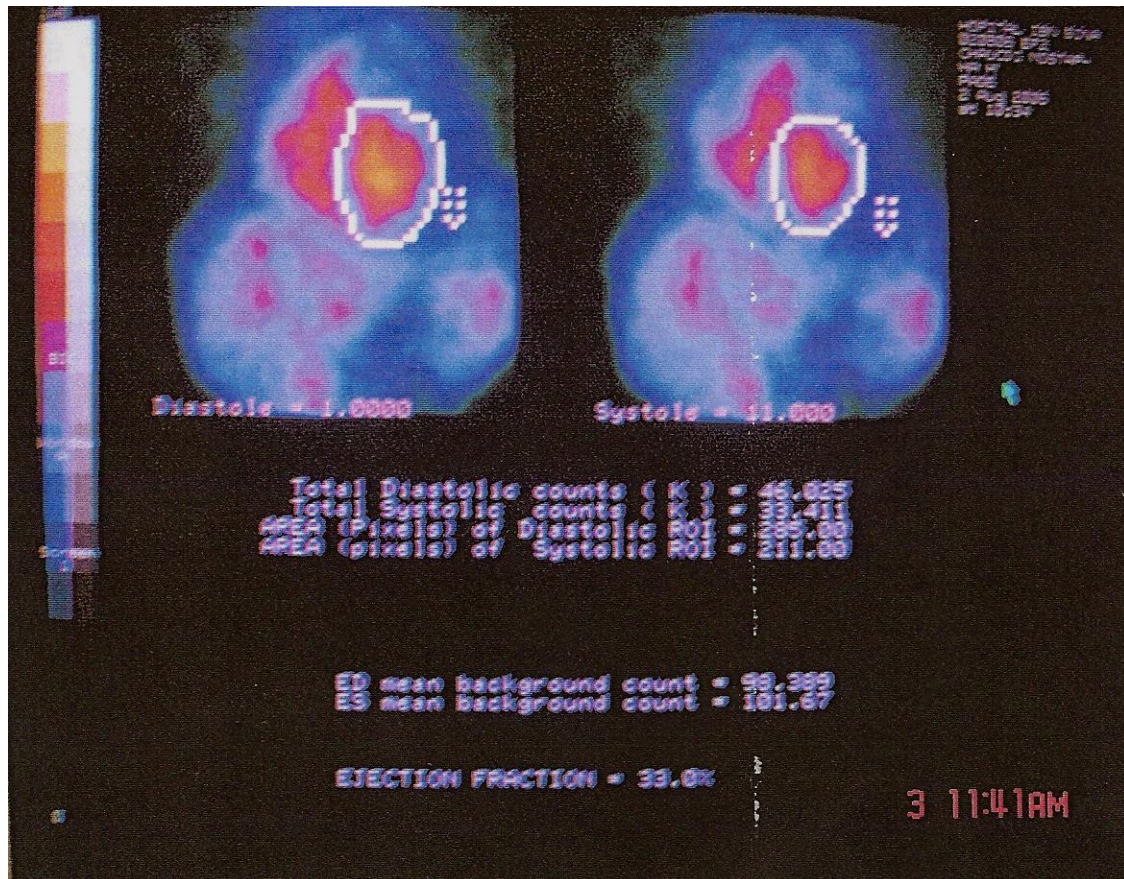
Cas clinique 4:(figure 22)

Patiente âgée de 43 ans, suivie pour un purpura idiopathique, hospitalisée dans le service de médecine nucléaire suite à un angor d'effort.

L'étude de la FEVG est demandée en vue d'une splénectomie.

* La FEVG mesurée obtenue par l'échographie a été jugée normale (sans mentionner le résultat).

* La FEVG mesurée à l'angioscintigraphie = 59%.



Cas clinique 5 : (figure 23)

Patient de sexe masculin, âgé de 39 ans, suivi pour un lupus. La ventriculographie isotopique est réalisée pour rechercher une cardiopathie lupique.

L'échographie montrait un ventricule gauche hypocontractil avec une FEVG jugée basse (sans mentionner le résultat).

- Les résultats de la ventriculographie isotopique :
 - FEVG = 33%.
 - hypokinésie globale du ventricule gauche.

Conclusion

L'échocardiographie est une technique d'étude de la fonction cardiaque non invasive, simple, reproductible, facilement réalisable au lit du patient. Mais elle reste une technique opérateur dépendante.

L'angioscintigraphie cavitaire est toujours considérée comme l'examen de référence pour la détermination de la fraction d'éjection ventriculaire gauche.

Cependant, ses indications dans le bilan de la maladie coronaire, en particulier dans le post infarctus, ont considérablement diminué depuis la généralisation du gated-SPECT , qui permet à la fois une étude perfusionnelle et l'étude de la FEVG. Néanmoins, l'examen reste très indiqué dans la surveillance de la fonction cardiaque au cours des chimiothérapies à base d'anthracyclines, et en rythmologie pour la recherche d'une dysplasie arythmogène du ventricule droit. Cet examen permet également d'apprécier les valeurs de la fraction d'éjection et d'adapter au mieux l'électrostimulation chez les patients porteurs de pacemakers.

Dans ce contexte, la ventriculographie isotopique doit devenir un examen de routine au sein du CHIS nécessitant un approvisionnement régulier en radio pharmaceutiques. Elle doit être réalisée avec un coût prenant en considération le niveau socioéconomique de notre population et faire l'objet d'information auprès des services concernés notamment les services d'oncologie, de médecine interne et de cardiologie à travers des réunions multidisciplinaires à intervalles réguliers.

Résumé

La ventriculographie isotopique ou la gamma-angio-scintigraphie est une méthode physiologique non invasive, reproductible, qui permet de calculer les volumes ventriculaires, les fractions d'éjection systoliques ventriculaires et d'étudier la cinétique de la contraction des parois ventriculaires globale et segmentaire.

La ventriculographie isotopique repose sur le marquage des globules rouges sanguins du patient afin de rendre radioactif le compartiment vasculaire. L'activité contenue dans le ventricule gauche est mesurée au cours de la diastole, puis de la systole.

Selon le type d'étude réalisée, on peut obtenir l'image à l'équilibre ou au premier passage d'un bolus de produit radioactif dans les cavités cardiaques.

La fraction d'éjection ventriculaire est un des paramètres les plus importants pour l'évaluation de la fonction ventriculaire gauche.

Elle peut être déterminée à partir d'une série d'images cavitaires en comparant les comptages radioactifs en télédiastole et en systole.

La gamma-angio-scintigraphie est très indiquée dans deux situations cliniques : dans la surveillance de la fonction cardiaque au cours des chimiothérapies cardiotoxiques comprenant de l'adriamycine et en rythmologie, pour la recherche d'une dysplasie arythmogène du ventricule droit.

Le but de notre étude consiste à montrer l'apport de la ventriculographie isotopique dans la pathologie cardiaque ainsi que de rapporter l'expérience du service de médecine nucléaire de l'hôpital Ibn Sina de rabat à travers une série de 20 patients, dont les résultats ont été comparés à ceux obtenus par échocardiographie qui se sont montrés globalement concordantes, et de décrire les modalités techniques utilisées afin de standardiser cet examen.

Il aurait été souhaitable d'avoir la possibilité d'étudier un nombre plus important de cas s'il y avait une meilleure coopération des autres services hospitaliers. C'est pourquoi il est nécessaire de mettre en avant l'aspect technique et les principales applications de la ventriculographie isotopique tout en montrant sa faisabilité dans le service de médecine nucléaire.

ملخص

يعتبر تصوير البطينات النظرية الدينامية تقنيه فيزيولوجية غير مضره, سهلة الاستعمال, تمكن من تقييم الأحجام البطينية و جزء القذف البطيني كما تستقرى حركيه تقلص الجذور البطينية.

تعتمد هذه التقنية على رسم كريات الدم الحمراء للمريض بهدف جعل الدورة الدموية مشعة.

نقيس الإشعاع المنبعث من البطين الأيسر خلال انبساط القلب ثم خلال انقباضه.

حسب نوع الدراسة المنجزة, يمكن الحصول على صورة عند التوازن أو أثناء المرور الأول لكمية المادة المشعة لتجويقات القلب.

يعتبر جزء القذف البطيني من أهم المعايير المستعملة لتقييم وظيفة البطين الأيسر و التي يمكن تحديدها من خلال سلسلة من الصور وذلك بمقارنة الإشعاع خلال انقباض البطين الأيسر و انبساطه.

تتجلى أهمية تصوير البطينات النظرية الدينامية في حالتين : مراقبة وظيفة القلب أثناء العلاج الكيميائي السام بالنسبة للقلب الذي يحتوي على الأدرياميسين وحالة اختلال نظم القلب أو ثدن

حاولنا بهذه الدراسة أن نبين دور تصوير البطينات النظرية الدينامية في المرضية القلبية وذلك من خلال تجربة مصلحة الطب النووي بالمستشفى الجامعي ابن سينا بالرباط التي همت 20 مريضا، حيث تطابقت عموما النتائج المحصل عليها، مقارنة بالتصوير بالصدى للقلب، كما حاولنا شرح الحثيات التقنية المستعملة بهدف تعميم هذا الفحص.

لم نتمكن من إخضاع عدد أكبر من المرضى للتجربة بسبب صعوبة تعاون مختلف المصالح الإستشفائية مع مصلحة الطب النووي بالمستشفى الجامعي ابن سينا. من أجل ذلك تحاول الأستاذة نزهة بن الرايس التعريف بجميع النواحي التقنية و إبراز مختلف تطبيقات تصوير البطينات النظرية الدينامية داخل مصلحة الطب النووي.

Summary

The isotopic ventriculography is a physiological method not invasive, reproducible, which makes it possible to calculate ventricular volumes.

The fractions of ejection systolic ventricular is to study the kinetics of the contraction of the global and segmentary ventricular walls. The isotopic ventriculography rests on the marking of the blood red globules of the patient in order to make the vascular compartment radioactive. The activity contained in the left ventricle is measured during the diastole, then the systol.


According to the type of study carried out we can obtain the image of the balance in the first passage of a bolus of radioactive product in surge cardiac.

The fractions of ejection systolic ventricular is one of the most important parameters for the evaluation of the left ventricular function. It can be determined from a series of cavitory images by comparing counting radioactifs in telediastol and telesystol.

The isotopic ventriculography is very indicated in two private clinics situations in the monitoring of the cardiac function during the cardiotoxic chemotherapy including the adriamycine and the rythmology for the research of a dysphase arythmogene of the right ventricle.

The objective of our study consists to attest the contribution of isotopic ventriculography in the cardiac pathology as well as bringing back the experiencel of the nuclear medicine service of he Rabat hospital IBN SINA through a series of 20 patients, whose results were compared to those obtained by echocardiography which are wattches overall concordant to describe the technical methods used in order to standarize this examination.

It would have been appreciated to have possibility to study a more significant number of cases if there was a better cooperation of the other hospital services. This is why it is necessary to propose technical side and principal applications of the isotopic ventriculography while showing its feasibility in the nuclear medicine service.



*Références
bibliographiques*

- [1]: Carol C, Vialle R, Guérin-Surville H. anatomie du cœur humain -2003-2004
- [2]: précis d'anatomie et de dissection. Masson 9^o édition PP : 465-479
- [3]: Physiologie cardio-vasculaire. Masson, 1980.
P : 170-207.
- [4]: Physiologie appliquée à la médecine. Flammarion Médecine Sciences.
P : 94-120.
- [5]: Itti R. Perspectives de l'exploration radioisotopique cardiaque. Gamma Cardio. 1982. ACD Productions, Paris.
- [6]: D.mariano-goulart, V. boudousq, MC. Eberlé, H.collet, f. comte, and M.Rossi. Détermination des fractions d'éjection et des débits cardiaque par tomoventriculographie isotopique : méthodologie et validation clinique. Revue de L'ACOMEN, 6(1) :69-77,2000.
- [7]:Hélias J., Itti R., Hezard Ph. Coeur et isotopes. Médicorama n) special 1988 – dause synthelabo France.
- [8] : LEE L.L., PRYOR D.B. , PIEPER K.S. et al. prognostic value of radionuclide angiography in medically treated patients with coronary artery disease. Circulation, 1990, 82: 1705-1717.
- [9] : Mariano-goulart, V. Boudousq, MC. Eberlé, H. collet, F. comte, and M. Rossi. Revue de L'ACOMEN, 2000, vol.6, n^o1.
- [10] : Herbst CP, Van Aswegen A, Kleynhans PHT, Otto AC, Lotter MG, Minnaar PC. Radionuclide determination of absolute LV, volumes: Interstudy, interobserver, intraobserver variances. Nucl.Med. Biolo. Int. J. Radia, Appl. Instrum. 1986, part B, 13, 43-47.
- [11] : Zaret Bl, Btler A, Berger Hj, Bodenheimer MM, Borer JS, Brochier M, Hugenholtz PG, Neufeld HN, pfister ME. Rapport du groupe de travail des sociétés et fédération internationales de cardiologie et organisation mondiale de la santé. Arch. Mal. Coeur. 1985, 78: 1103- 1118.

[12]: Bacharach SI, Green MV, Vital P, White G? Douglas MA, Bonow R, Larson SM. Optimum Fourier filtering of cardiac data. A minimum error method: concise communication. J.Nucl.Med.1983, 24, 1176-1184.

[13]: R.Itti and L. bontemps. Analyses dynamiques et imagerie fonctionnelle. Bases techniques et méthodologiques de la médecine nucléaire. INSTN Saclay, 1990.

[14]: Fraken PR, Delcourt E, ham HR. Right ventricular ejection fraction comparison of technitium 99m first pass technique and ECG gated steady state krypton 81m angiocardiology. Eur. J. Nucl. Med. 1986, 12,365 - 368.

[15] : Pezard Ph, Gestin PH, Meur F, Annaix CL, Jallet P, Tadei A. Détermination des volumes ventriculaires gauches par angioscintigraphie cardiaque à l'équilibre. Confrontation à la méthode radiologique. Arch. Mal. Cœur. 1985, 78: 319-327.

[16]: Siegel JA, Maurer AH, Slassius RK, Denenberg BS, Gash AK, Carabello BA, Spann JF, Malmud LS. Absolute left ventricular volume by an iterative build-up factor analysis of gated radionuclide images. Radiology. 1984, 151:477- 481.

[17]: Vanzetto G, Machkourt J, Blendea D, borrel E, Magne JL, et al. Addive value of Thallium single- photon emission computed tomography myocardial imaging for prediction of perioperative events in clinically selected high cardiac risk patient having abdominal aortic surgery.AM.J.Cardiol.1996;77:143-148.

[18] : Swain Sm, Whaley FS, Ewer MS. Congestive heart failure in patients treated with doxorubicin: a retrospective analysis of three trials. Cancer 2003; 97:2869-79.

[19] : Fumoleau P, RochéH, Kerbrat P, Bonnetterre J, Fargeot P, Namer M et al. Cardiac toxicity in operable breast cancer patients after adjuvant chemotherapy with epirubicin: 7-year analysis in 3577 patients of French adjuvant Study group trials. Br Cancer Res Treat 2002; 76 (suppl.1): abstr.640.

[20] : Stoddart Mf, Seeger J, Liddell NE, Hadley TJ, Sullivan DM, Kupersmith j, et al. Prolongation of isovolumetric relaxation time as assessed by Doppler echocardiography predicts doxorubitin-induced systolic dysfunction in humans. J Am Coll cardiol 1992; 20 :62-9.

[21]: Speyer J, Wasserheit C. Strategies for reduction of anthracycline cardiac toxicity. Seemein. Oncol. 1998 ; 25 : 525-37.

[22]: Stoddard Mf, Seeger J, Liddell NE, Hadley TJ, Sullivan DM, Kupersmith J, et al. . Prolongation of isovolumetric relaxation time as assessed by Doppler echocardiography predicts doxorubitin-induced systolic dysfunction in humans. J Am Coll cardiol 1992; 20 :62-9.

[23]: Roelants V. Louvain Med. 119: S 119-S134, 2000.

[24]: le Gulledec D, Slama MS, Frank R, Faraggi M, Grimon G, Bourguignon M et al. Evaluation of radionuclide angiography in diagnosis of arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy. J. Am. Coll. Cardiol 1995 ; 26 : 1476- 1483.

[25]: Lakkis M, He ZX, Verani MS. Diagnosis of coronary artery disease by exercise thallium- 201 tomography in patients with a right ventricular pacemaker. J. Am. Coll. Cardiol. 1997 ; 29 : 1221- 1225.

[26]: Rigo P. Application de la scintigraphie à l'étude des fonctions cardiaques et de la maladie coronarienne. Mémoire présentée en vue de l'obtention du grade d'agrégé de l'enseignement supérieur, 1981, université de liège.

**[27]: Germano G, Kiat H, Kavanagh PB et coll
Automatic quantification of ejection fraction from gated myocardial perfusion SPECT. J Nucl Med 1995; 36:2138-47**

**[28]: Iskandrian AS, Germano G, Vandeker et coll.
Validation of left ventricular volume measurements by gated SPECT 99mTC-labeled sestamibi imaging. J Nucl Cardiol 1998, 5:574-578.**

[29]: Germano G, Erel J, Kiat H, et coll.

Quantitative LVEF and qualitative regional function from gated thallium-201 perfusion SPECT. J Nucl Med 1997; 38:749-54.

**[30]: DePuey EG, Parmett S, Ghesani M, et coll.
Comparison of Tc-99m sestamibi and Tl-201 gated perfusion SPECT. J Nucl Cardiol 1999; 6:278-85**

**[31] Bavelaar-croon CDL, Pauwels KJ, van der wall EE.
Gated single photon emission computed tomographic myocardial imaging: A new tool in clinical cardiology. Am Heart J 2001, 141, 3:383-90.**

**[32]: Atsma DE, Croon CDL, Dibbets-Schneider P.
Good agreement between left ventricular ejection fraction and wall motion score in gated SPECT versus contrast angiography (abstract).
J Nucl Cardiol 1999; 6: S57.**

**[33]: Bacher-Stier C, Muller S, Pachinger O.
Thallium 201 gated single photon emission tomography for the assessment of left ventricular ejection fraction and regional wall motion abnormalities in comparison with two-dimensional echocardiography. Eur J Nucl Med 1999; 26 : 1533-40.**

**[34]: Cwajg E, Cwajg J, He ZX.
Gated myocardial perfusion tomography for the assessment of left ventricular function and volumes: comparison with echocardiography. J Nucl Med 1999; 40: 1857-65.**

**[35]: Croon CDL, Atsma DE, Van der wall EE.
The additional value of gated SPECT myocardial imaging in patients with and without previous myocardial infarction (Abstract). Eur J Nucl Med 1999; 26 : 1082.**

**[36]: Miles KA.
How does gated SPECT alter reporting of myocardial perfusion studies?
Nucl Med Commun 1997; 18 : 915-21.**

[37]: Yamashita K, Tamaki N, Yonekura Y.

Regional wall thickening of left ventricle evaluated by gated positron emission tomography in relation to myocardial perfusion and glucose metabolism. J Nucl Med 1991; 32: 679-85.

**[38]: Stolfuss JC, Haas F, Matsunari I.
99mTc-tetrofosmin SPECT for prediction of functional recovery defined by MRI in patients with severe left ventricular dysfunction: additional value of gated SPECT. J Nucl Med 1999; 40: 1824-31.**

**[39] : Lopez A, Guitian R, Ruiz-Salmeron R. et coll.
A new protocol of sestamibi gated tomography can predict functional recovery of a/dyskinetic myocardial segments after long term successful revascularization: comparison with dobutamine echocardiography (Abstract). Eur J Nucl Med 1999; 26: 962.**

**[40]: Gunning MG, Anagnostopoulos C, Davies G.
Simultaneous assessment of myocardial viability and function for the detection of hibernating myocardium using ECG-gated 99mTc-tetrofosmin emission tomography: a comparison with 201Tl emission tomography combined with cine magnetic resonance imaging. Nucl Med Commun 1999; 20: 209-14.**

**[41]: White HD, Norris RM, Brown MA.
Left ventricular end-systolic volume as the major determinant of survival after recovery from myocardial infarction. Circulation 1987; 76: 44-51.**

**[42]: Sharir T, Germano G, Kavanagh PB.
Incremental prognostic value of post-stress left ventricular ejection fraction and volume by gated myocardial perfusion single photon emission computed tomography. Circulation 1999; 100: 1035-42.**

[43]: Y.Najean : Médecine Nucléaire- Editions Ellipses. Pp. 129-177.

[44] : A. Bertrand, P.Y. Marie : les indications de la tomoscintigraphie du myocarde en 1995. Médecine Nucléaire- Imagerie fonctionnelle et métabolique. N° 19, pp.473-478.

[45] : Jennessaux C, Metz D, Maillier B, Maes D, Cabert JP. Estimation of left ventricular volumes and ejection fraction with acoustic quantification in

myocardial infarction. Comparaison with echocardiographic, angiocardigraphic and scintigraphic data. Arch. Mal. Cœur et vaiss. 1996, jul ; 89(7) :843-9.

[46] :Van Royen N ; Jaffe C.C ; Krumholz H.M ; Johnson K.M ; Lynch P.J ; Natale D ; Atkisson P ; Deman P ; Wackers F.J. comparaison and reproducibility of visual echocardiographic and quantitative radionuclide left ventricular ejection fractions. J. Am. Cardiol 77: 843-850, 1996.

La référence des figures:

[A]: Carol C, Vialle R, Guérin-Surville H. anatomie du cœur humain : PCEM2- EAI cardiologie, Université PARIS-VI Pierre et Marie Curie. Faculté de Médecine Pitié-Salpetiere -2003-2004

[B]: Médecine et santé, anatomie du cœur.htm.Sevenmice SARL.1999-2005.

[C]: www.iav.ac.ma/veto/filveto/guides/phys/physiopharmazine/.

[D]: www.medecine-et-sante.com/anatomie/coeurvasc.

[E]: www.e-cardiologie.com/maladies/ma-blocav.

[F]: idata.over-blog.com/0/04/71/30/cycle-cardiaque.

[G]: ALPHA, tome 6, page 2157, éd. Grange Batelière.

[H]: runphym.free.fr/NewFiles/mednuc.

[I]: C. Caderas De Kerleau. Analyse tridimensionnelle des modes de contractions ventriculaires sur des tomoscintigraphies synchronisées à l'électrocardiogramme. Thèse présentée et soutenue publiquement le 17 Décembre 2003. Université Montpellier II. France.