

PHYSIQUE CHIMIE

Problématique : Dans quelle mesure la scintigraphie permet-elle le diagnostic de l'ischémie myocardique ?

Introduction :

Dans le domaine médical, les techniques d'imagerie permettent de diagnostiquer des maladies complexes avec grande précision. Parmi ces méthodes, la scintigraphie permet d'observer les fonctions internes du corps et de révéler la présence de certaines pathologies à l'aide de traceurs radioactifs. Elle est donc basée sur la radioactivité qui est la désintégration naturelle, aléatoire et spontanée de certains noyaux d'éléments dits instables en un ou plusieurs noyaux plus petits.

C'est pourquoi nous nous demanderons dans quelle mesure la scintigraphie permet le diagnostic de l'ischémie myocardique ?

Pour répondre à cela, je vais vous présenter le principe de la scintigraphie cardiaque, et comment elle peut permettre de conclure sur une ischémie myocardique.

Qu'est-ce qu'une ischémie myocardique ?

Une ischémie myocardique est un rétrécissement ou un blocage d'une artère coronaire empêchant l'afflux de sang dans le muscle cardiaque qui entraîne un manque d'oxygène des cellules du cœur. La destruction totale de ces cellules du cœur entraîne un infarctus donc c'est pour cela qu'il est important de la détecter au plus tôt pour éviter les complications et donc potentiellement la mort du patient.

I) Principe de la scintigraphie

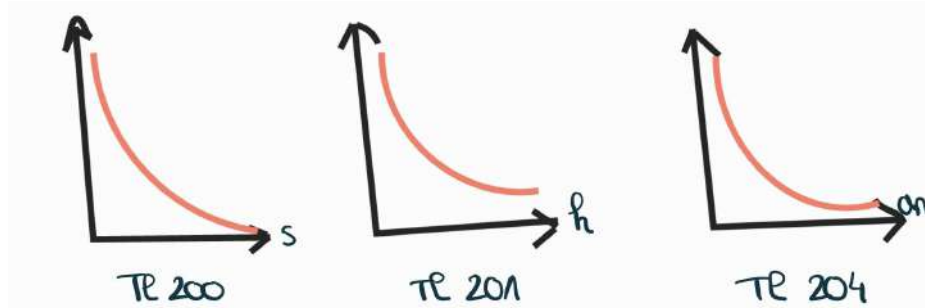
- **Définition scintigraphie :** La scintigraphie est une méthode d'analyse médicale d'émission, c'est-à-dire que le rayonnement vient du patient. Elle donne une image fonctionnelle, car elle analyse les organes et leur fonctionnement, grâce à une caméra spécifique que l'on appelle "Gamma-caméra".

-**Processus scintigraphie :** Dans le cas d'une scintigraphie du cœur, on effectue d'abord une scintigraphie pendant un effort physique, puis une seconde deux heures plus tard au repos, selon le même processus afin de pouvoir comparer la différence d'irrigation du cœur. La scintigraphie se déroule en deux étapes, dont la première est l'injection par voie intraveineuse d'un traceur radioactif.

C'est une substance faiblement radioactive. Elle émet des rayons qu'on peut détecter de l'extérieur à l'aide d'une gamma-caméra. On le choisit en fonction de sa capacité à se fixer aux tissus que l'on souhaite observer et de sa demi-vie, soit le temps au bout duquel la moitié des atomes présents initialement se sont désintégrés, qui doit être suffisamment long pour pouvoir effectuer l'examen, mais doit être limité pour éviter que le patient le conserve trop longtemps dans son corps et qu'il se prenne ainsi une irradiation inutile.

Ici, nous allons prendre le thallium 201 car il n'est capable de se fixer qu'aux cellules vivantes du cœur donc permet la détection d'une ischémie myocardique et que son temps

de demi-vie est de 75 heures ce qui laisse le temps à l'hôpital de le produire, de l'injecter et d'effectuer l'examen. On prend cet isotope du Thallium en particulier, car ses isotopes, des noyaux qui se distinguent par un nombre de neutrons différent dans le noyau, n'ont pas des durées de demi-vie adaptées à un examen médical. En effet, comme je vous le montre sur mon support, le temps de demi-vie du Thallium 200 est de l'ordre de quelques secondes, ce qui est trop court pour un examen, et celui du Thallium 204 est de l'ordre de quelques années, ce qui représente un risque d'exposition prolongée.



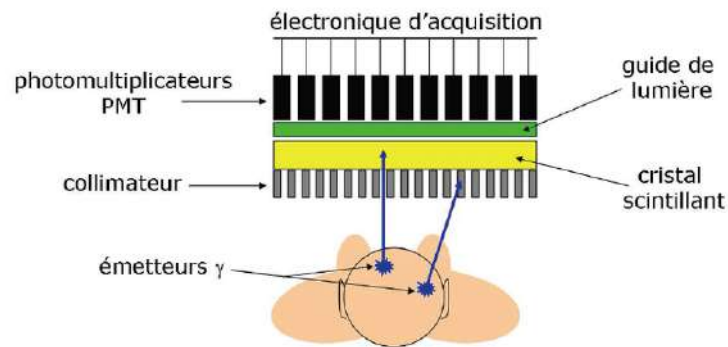
Production du traceur : Le Thallium 201 est produit à partir de Thallium 203, un isotope naturel du Thallium. Tout d'abord, on bombarde par un flux de protons une cible de thallium 203, le noyau père, qui se désintègre en plomb 201 en libérant 3 neutrons. Le plomb 201 obtenu précédemment subit spontanément une désintégration radioactive B+ en Thallium 201, le noyau fils. Cet élément deviendra ensuite plus stable au fil du temps.

Lorsqu'il est injecté, le thallium 201 circule dans le système sanguin et se fixe sur l'organe cible. Le thallium 201 est un isotope radioactif qui se désintègre selon un processus bien défini. Sa désintégration produit un noyau excité de mercure. Celui-ci se désexcite en passant d'un niveau d'énergie de 167 keV (E_2) à un niveau plus bas de 32 keV (E_1), ce qui entraîne l'émission d'un rayonnement gamma de 135 keV. Les rayons gamma sont des photons de haute énergie. Ils sont particulièrement utiles en imagerie médicale car ils peuvent être détectés de l'extérieur du corps. Ce sont eux qui nous intéressent puisqu'ils sont détectables par la gamma-caméra et permettent donc la formation d'une image.

-fonctionnement de la gamma-caméra : La gamma-caméra est constituée d'un collimateur à trous parallèles qui permet la détection de la source de chaque photon gamma dont la direction est parallèle, ce qui fournit l'image. Cependant, environ 99% des photons gamma ne contribueront pas à la formation de l'image en raison de leur direction oblique à l'axe ce qui limite la sensibilité du système. On peut ainsi comparer cette composante à l'objectif d'une caméra.

Ensuite, les photons gamma captés atteignent une couche de cristal et sont absorbés. Cette énergie absorbée est ensuite émise en éclairs de lumière, ce qu'on appelle "scintillation". La luminosité des éclairs est proportionnelle à l'énergie absorbée par le cristal. Ces éclairs lumineux sont ensuite détectés par des photomultiplicateurs qui jouent le rôle de convertisseurs et d'amplificateurs. Ils convertissent la très faible lumière en un signal électrique mesurable qui est finalement traité par un ordinateur pour donner lieu à l'image.

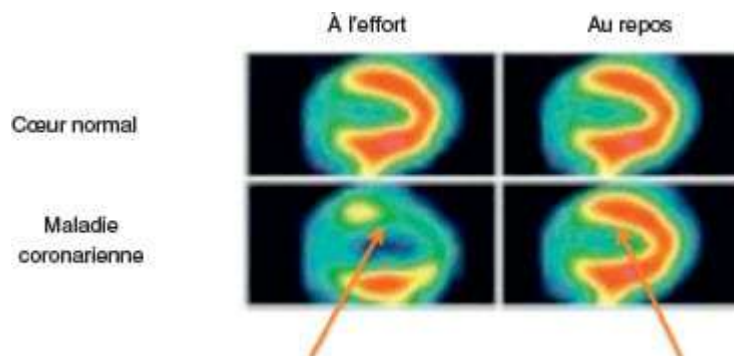
En effet, les photomultiplicateurs permettent grâce à l'effet photoélectrique de convertir les photons en électrons, qui sont ensuite accélérés vers un système d'amplification. Lorsque l'image est rendue, il ne faut plus que l'analyser afin de déduire la présence ou non d'une pathologie.



Pour mieux comprendre, nous pouvons comparer le système d'une scintigraphie à une injection d'une toute petite lumière qui va se rendre à l'organe que nous voulons étudier et ensuite grâce à un capteur de rayons (la gamma-caméra) nous allons obtenir des clichés qu'on pourra par la suite analyser et donc diagnostiquer.

II) Comment ce cliché nous permet de conclure sur une ischémie myocardique ?

Quand le médecin regarde les images scintigraphiques, il cherche des zones du cœur où le traceur est moins présent, car cela révèle une diminution du flux sanguin, signe d'une ischémie. On compare toujours deux images : une prise pendant l'effort, quand le cœur travaille plus, et une autre au repos. Normalement, à l'effort, les artères s'ouvrent pour apporter plus de sang et de traceur au muscle cardiaque. Mais si une artère est rétrécie, cette zone reçoit moins de sang et donc moins de traceur, ce qui apparaît sur l'image comme une « zone froide ». Si cette zone froide disparaît au repos, c'est un signe que le muscle est encore vivant et que le problème est temporaire, ce qu'on appelle une ischémie réversible. En revanche, si la zone froide reste visible même au repos, cela montre une lésion permanente, comme une cicatrice d'infarctus. Grâce à la détection précise des rayons gamma émis par le traceur, la gamma-caméra nous donne une véritable carte de la perfusion sanguine dans le cœur. Cela aide le médecin à localiser précisément les zones touchées, à évaluer la gravité de l'ischémie, et à choisir le traitement le plus adapté.



III) Les avantages de la scintigraphie

Les avantages : La scintigraphie présente de nombreux avantages. En effet, la scintigraphie cardiaque offre une évaluation détaillée de la perfusion myocardique, permettant d'identifier précisément les zones du cœur mal ou non irriguées. Elle est essentielle pour diagnostiquer des maladies coronariennes et détecter des anomalies que les tests d'effort classiques ne peuvent révéler. De plus, l'examen est non invasif et indolore et utilise un traceur radioactif faiblement dosé, rendant la procédure sûre sans danger. Cependant, même si une scintigraphie du cœur peut représenter l'équivalent de plusieurs centaines de radiographies du thorax, ce risque reste minime et justifié. En effet, les bénéfices du diagnostic précoce et précis de pathologies graves comme l'ischémie myocardique surpassent largement ce faible risque d'exposition aux rayonnements. En revanche, pour les praticiens qui sont exposés quotidiennement à ces rayonnements, des mesures de protection sont indispensables afin de limiter leur dose cumulative et préserver leur santé.

IV) Comment le praticien se protège-t-il des rayonnements ?

-exposition aux rayonnements ionisants : En effet, les rayonnements gamma et X sont capables d'ioniser les tissus humains et d'avoir des effets nocifs sur la santé en trop forte dose. Nous sommes tous exposés à des rayonnements au quotidien ce qui fait que notre dose moyenne d'origine naturelle est de 2 mSv, or un travailleur ne peut être exposé à plus de 20 mSv par an. Pour que cette dose ne soit pas dépassée, différents moyens de protection peuvent être mis en place.

Conclusion :

La scintigraphie offre donc un moyen non invasif et efficace pour diagnostiquer une ischémie myocardique. En détectant les anomalies dans le flux sanguin et en visualisant une diminution anormale de la quantité de traceur, elle fournit des informations précieuses pour évaluer la présence, la taille et la localisation de l'ischémie. Ces données seront ensuite utilisées pour décider du traitement approprié et pour suivre l'évolution de l'ischémie au fil du temps. Elle est un examen médical plutôt récent puisqu'elle a été mise au point dans les années 50, mais continue d'évoluer et d'être couramment utilisée dans le diagnostic de nombreuses pathologies.

Je vous remercie de m'avoir écoutée et je vous laisse me faire part de vos questions.

Questions possibles :

-Sources : -<https://www.secourisme-and-co.fr/>

-youtube pour explication de la gamma caméra

-sujet Nouvelle Calédonie 2011 Labolycée

-<https://santeseclu.public.lu/>

-<https://relier.cepn.asso.fr/>

-Quel est le type d'onde des photons gamma ? Des ondes électromagnétiques (comme la lumière) de très haute fréquence ce qui leur donne une énergie très élevée ce qui permet leur utilisation en médecine nucléaire.

-Quels autres types de rayons peuvent être utilisés ? Les rayons X, mais ils sont rares en scintigraphie. Ceux sont ceux couramment utilisés en radiographie par exemple.

-Autres types d'imagerie qui utilisent ces rayons ? Tomographie par émission de photons simples (TEPS) : version améliorée de la scintigraphie car la caméra tourne autour du patient ce qui permet d'avoir une image en 3D, donc une localisation plus précise.

-Pourquoi ce sujet ? Je souhaiterais m'orienter vers des études de médecine et plus particulièrement la cardiologie or, comprendre comment les examens nucléaires comme la scintigraphie permettent le diagnostic de pathologies me paraît essentiel. J'ai choisi la scintigraphie en particulier car la radioactivité et la protection face aux rayons relèvent du programme de terminale.

-Types d'ondes pour examens communs :

- ★ radiographie : rayons X
- ★ IRM : pas de rayonnements mais un champs électromagnétique puissant
- ★ scanner : rayons X
- ★ Echographie : effet Doppler

-Comment obtient-on l'énergie caractéristique ? Avec la relation de Planck-Einstein $E = h \times \nu$ avec h la constante de Planck ($6,26 \times 10^{-34}$ J) et ν la fréquence en Hz

Mesure de l'exposition : L'exposition aux rayonnements ionisants se mesure en Sieverts, une unité qui permet de mesurer l'impact des rayonnements sur les êtres humains. Il tient compte de la quantité d'énergie reçue par seconde et du type de rayonnement

Protection du médecin:

- Ecran : plomb, dense ++ arrête rayonnements nocifs
- Distance : Dose = $1/d^2$
- Temps : Dose et temps proportionnels

- La radioprotection repose sur les principes ALARA (As Low As Reasonably Achievable), c'est-à-dire réduire l'exposition au minimum nécessaire.

Pourquoi des photons gamma : énergie élevée donc traverse les tissus donc détectable à la gamma-caméra

Imagerie fonctionnelle/anatomique : La scintigraphie donne une image fonctionnelle de la perfusion sanguine, là où une IRM ou un scanner donne plutôt une image anatomique. Elle est sensible aux anomalies de flux sanguin alors que l'échographie montre surtout la fonction mécanique du cœur.

Désintégration bêta + : émission d'un positon

Limites scintigraphie : Difficulté à observer les petites ischémies très localisées, distribution inégale du traceur ou patient bouge pendant l'acquisition = image peu précise

Photomultiplicateurs rôle : Ils exploitent l'effet photoélectrique : un photon gamma provoque l'émission d'un électron dans le photocathode, cet électron est ensuite amplifié en cascade par plusieurs dynodes, produisant un signal électrique détectable. Cela permet de convertir un signal lumineux très faible en un signal mesurable. (voir schéma tableau)

Autres traceurs possibles : Technétium 99m (durée de demi-vie de 6h) → on l'utilise de plus en plus (dose de radiation plus faible), mais Thallium 201 se fixe uniquement sur cellules vivantes du cœur. La résolution est la même.

2 types d'isotopes : Stable, radioactif

Loi de décroissance radioactive : $N(t) = N_0 * e^{-\lambda * t}$ **Constante de désintégration λ :** elle représente la probabilité qu'un noyau se désintègre par unité de temps
→ $T_{1/2} = \ln(2)/\lambda$

Activité : $A(t) = -dN(t)/dt$ donc $A(t) = A_0 * e^{-\lambda * t}$
→ **Activité (Bq)** = nombre de désintégrations radioactives par seconde.

Différence rayons X et gamma : rayons X = énergie plus faible car longueur d'onde plus grande

Traitements :

Infarctus : Médicaments pour limiter les dégâts, Intervention chirurgicale (pontage coronarien), Angioplastie (dilatation de l'artère), Suivi médical et réadaptation cardiaque.
Réversible : médicaments, mode de vie différent, angioplastie

Doses : radio thorax 0.1 mSv, scinti coeur 15-25 mSv (dépend du traceur)