



Master : Physique Médicale Semestre : S3 Enseignant : Dr. YAHIAOUI Mohamed Laid

Matière : **Imagerie médicale et instruments de diagnostic**

2024/2025

I. Scintigraphie, SPECT et PET

1. Introduction à la médecine nucléaire et à la scintigraphie

La médecine nucléaire est une spécialité médicale qui utilise des substances radioactives, appelées radiopharmaceutiques, pour diagnostiquer et traiter diverses pathologies. Contrairement à l'imagerie classique, qui se concentre sur la structure des organes, la médecine nucléaire permet d'observer leur fonctionnement en temps réel à l'échelle cellulaire et moléculaire.

La scintigraphie est l'une des principales techniques utilisées en médecine nucléaire. Elle repose sur l'injection de radiopharmaceutiques qui émettent des radiations (photons gamma). Ces radiations sont détectées par une gamma-caméra, permettant de créer des images fonctionnelles des organes ciblés, telles que le cœur, les reins ou la thyroïde.

Les radiopharmaceutiques sont composés d'un isotope radioactif (comme le Technetium-99m, l'Iode-131 ou le Fluor-18) associé à une molécule qui cible un organe spécifique. Lors de leur désintégration, ces isotopes émettent des photons détectés par la caméra, permettant ainsi d'observer l'activité biologique des tissus.

La scintigraphie permet de diagnostiquer et de suivre de nombreuses pathologies en offrant des informations sur la fonction des organes, bien avant l'apparition de changements anatomiques visibles. Elle est utilisée dans des domaines variés comme l'oncologie, la cardiologie, et la neurologie. Ses principaux avantages sont la possibilité d'obtenir des images fonctionnelles et la faible exposition aux radiations pour les patients.

2. Principes de la scintigraphie

La scintigraphie est une technique d'imagerie médicale utilisée en médecine nucléaire pour observer le fonctionnement des organes et des tissus. Contrairement aux méthodes d'imagerie classiques, qui se concentrent principalement sur l'aspect anatomique des organes, la scintigraphie permet d'étudier leur activité fonctionnelle. Elle repose sur l'utilisation de radiopharmaceutiques, des substances radioactives administrées au patient pour visualiser des processus biologiques en temps réel.

2.1 Les radiopharmaceutiques et leur fonctionnement

Les radiopharmaceutiques sont des composés chimiques qui intègrent un isotope radioactif et une molécule porteuse. L'isotope radioactif est la partie qui émet des radiations, tandis que la molécule porteuse est spécifiquement conçue pour cibler un organe ou un tissu particulier.

Les radiopharmaceutiques sont injectés, ingérés ou inhalés par le patient, en fonction de l'organe ou du tissu à explorer. Une fois dans le corps, l'isotope se fixe sur la zone d'intérêt et émet des radiations, généralement des photons gamma lors de sa désintégration. Ces radiations peuvent être détectées à l'aide d'appareils spécialisés, notamment la gamma-caméra, pour créer des images de l'activité fonctionnelle de l'organe étudié.

2.2 Isotopes utilisés en scintigraphie

Les isotopes radioactifs les plus couramment utilisés en scintigraphie sont sélectionnés pour leur capacité à émettre des radiations facilement détectables et pour leur faible demi-vie, ce qui limite l'exposition aux radiations du patient. Parmi les plus utilisés, on trouve :

- **Technetium-99m (Tc-99m)** : L'isotope le plus utilisé en raison de sa courte demi-vie (6 heures), ce qui permet une faible exposition à la radiation. Il est utilisé dans une variété de tests, notamment pour étudier le cœur, les reins, la thyroïde, ou les os.
- **Iode-131 (I-131) et Iode-123 (I-123)** : Ces isotopes sont utilisés principalement pour l'imagerie de la glande thyroïde et pour traiter certaines maladies thyroïdiennes, comme l'hyperthyroïdie ou les cancers.
- **Fluor-18 (F-18)** : Utilisé dans la tomographie par émission de positrons (PET), particulièrement pour l'imagerie du métabolisme cellulaire dans des contextes oncologiques et neurologiques.

2.3 La gamma-caméra et la détection des radiations

Une fois le radiopharmaceutique administré, l'isotope émet des photons gamma en se désintégrant. Ces photons sont captés par un dispositif appelé gamma-caméra, qui est l'outil principal de la scintigraphie. La gamma-caméra est constituée d'un détecteur sensible aux radiations, souvent un cristal de sodium iodure (NaI), qui émet de la lumière (photons visibles) lorsqu'il est frappé par un photon gamma.

Cette lumière est ensuite convertie en signal électrique, traité par un ordinateur pour produire une image. Ces images montrent la distribution de l'isotope dans l'organisme, reflétant l'activité fonctionnelle de l'organe ou du tissu ciblé. Selon la technique utilisée, les images peuvent être 2D ou 3D (notamment en tomographie SPECT ou PET).

2.4 Les principes physiques sous-jacents à l'imagerie scintigraphique

L'imagerie scintigraphique repose sur un principe physique fondamental : l'interaction des radiations (principalement des photons gamma) avec la matière. Lors de la désintégration de l'isotope, des photons gamma sont émis. Ces photons traversent le corps humain et sont captés par le détecteur de la gamma-caméra. Le processus de capture et de conversion des photons gamma en signal lumineux, puis en image numérique, repose sur des principes de physique quantique et de détection des radiations.

- **Photon gamma** : Le photon gamma émis par l'isotope radioactif est une forme de rayonnement électromagnétique de haute énergie. Ce rayonnement interagit faiblement

avec la matière, ce qui lui permet de traverser le corps humain sans perturber les structures biologiques.

- **Détection des radiations** : Lorsque le photon gamma frappe un cristal de sodium iodure, celui-ci libère de la lumière visible (scintillation). Cette lumière est ensuite convertie en un signal électrique grâce à un photomultiplicateur et traitée pour générer une image.

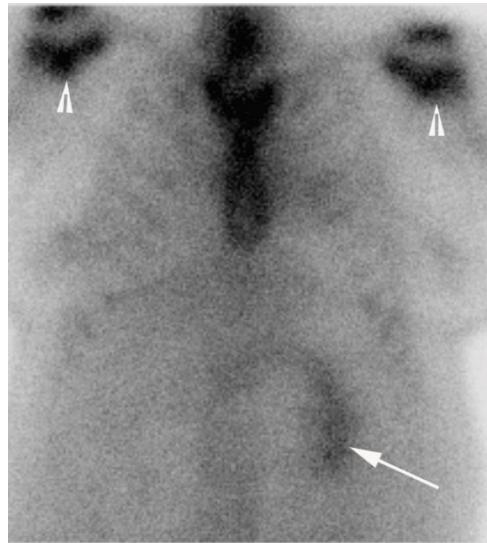


Figure 1 : Images planaires antérieures de la scintigraphie au Tc-99m pyrophosphate (PYP), illustrant des découvertes extracardiaques incidentes.

3. SPECT (Tomographie par émission de photon unique)

La SPECT est une technique avancée d'imagerie fonctionnelle en médecine nucléaire qui utilise des isotopes émetteurs de photons gamma pour produire des images du corps. Contrairement à la scintigraphie classique, qui génère des images en 2D, la SPECT permet d'obtenir des images en 3D grâce à la rotation de la caméra autour du patient. Cette technique fournit des informations précieuses sur la fonction biologique des organes et est utilisée dans des domaines comme la cardiologie, la neurologie et l'oncologie.

3.1 Principe de fonctionnement de la SPECT

La SPECT repose sur l'utilisation de radiopharmaceutiques marqués avec des isotopes radioactifs qui émettent des photons gamma. Une fois administré au patient, le radiopharmaceutique se fixe sur le tissu ou l'organe cible en fonction de ses propriétés biochimiques. Les photons gamma émis par la désintégration de l'isotope sont captés par un détecteur de la gamma-caméra. Cette caméra tourne autour du patient, capturant des images sous différents angles, et reconstitue des images 3D qui permettent de localiser et quantifier l'activité du radiopharmaceutique dans le corps.

3.2 Avantages

- **Imagerie 3D** : Contrairement à la scintigraphie classique, la SPECT permet une visualisation en trois dimensions, offrant une meilleure précision dans la localisation des anomalies fonctionnelles.

3.3 Limites de la SPECT

- **Résolution spatiale** : Bien que la SPECT permette d'obtenir des images 3D, sa résolution spatiale reste inférieure à celle d'autres techniques d'imagerie telles que l'IRM ou le PET.
- **Sensibilité** : Moins sensible que le PET pour détecter certaines anomalies fonctionnelles, en particulier à un stade précoce de la maladie.

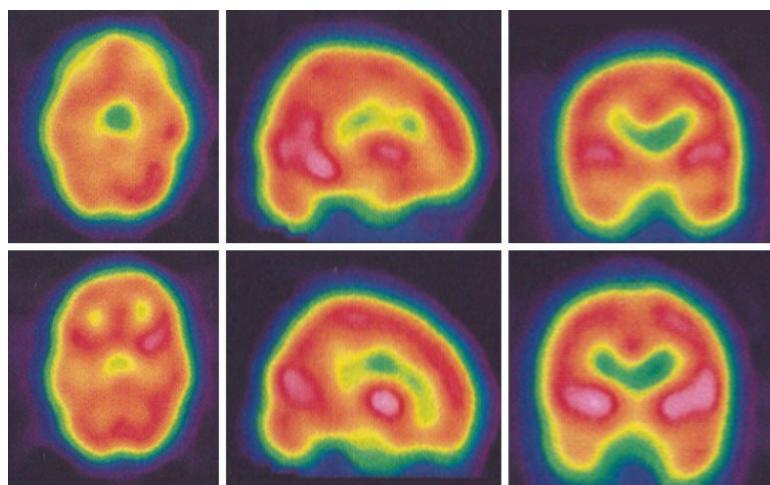


Figure 2 : Images SPECT cérébrales au $99m$ Tc-ECD avant et après traitement chez un patient de 12 ans atteint de paralysie cérébrale, montrant la normalisation de l'hypoperfusion corticale et sous-corticale après thérapie à l'oxygène hyperbare.

4. PET (Tomographie par émission de positrons)

La PET est une technique d'imagerie médicale très avancée qui utilise des isotopes émetteurs de positrons (particules de charge positive) pour créer des images du corps humain. Lorsqu'un positron émis par un isotope rencontre un électron, les deux particules s'annihilent et produisent deux photons gamma qui sont détectés par des capteurs. Cette technique fournit des images extrêmement précises de la fonction métabolique des tissus, ce qui en fait un outil clé dans le diagnostic et le suivi de nombreuses maladies, notamment le cancer, les troubles neurologiques et les maladies cardiaques.

4.1 Principe de fonctionnement du PET

Le PET utilise des radiopharmaceutiques marqués avec des isotopes émetteurs de positrons, tels que le fluor-18 (l'isotope le plus couramment utilisé). Le radiopharmaceutique est administré au patient, qui absorbe la substance dans les tissus en fonction de son métabolisme. Lorsque l'isotope se désintègre, il émet un positron qui rencontre un électron, produisant deux photons gamma qui sont détectés par des capteurs disposés autour du patient. Les données recueillies sont ensuite traitées pour produire des images en 3D montrant la distribution de l'isotope dans le corps et permettant ainsi de visualiser les processus biologiques en temps réel.

4.2 Avantages du PET

- **Haute résolution et sensibilité** : Le PET offre une excellente résolution spatiale et une sensibilité plus élevée que la SPECT, ce qui permet de détecter des anomalies fonctionnelles à un stade plus précoce, avant même l'apparition de modifications anatomiques.

4.3 Limites du PET

- **Coût et accessibilité** : Le PET est une technique coûteuse et nécessite des équipements spécialisés, comme des cyclotrons pour produire les isotopes, ce qui rend son accès limité dans certaines régions et pour certains patients.
- **Demi-vie courte des isotopes** : Les isotopes utilisés en PET, comme le fluor-18, ont une demi-vie très courte (110 minutes), ce qui impose des contraintes sur la production, le stockage et la distribution des radiopharmaceutiques.

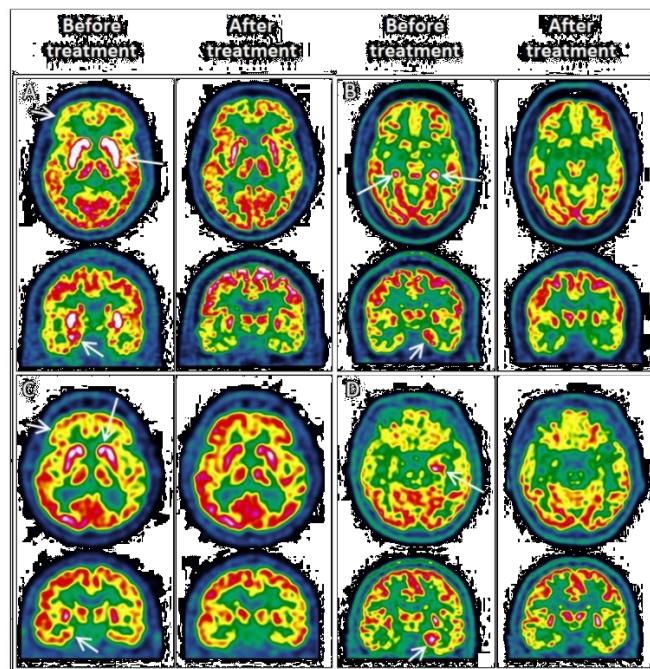


Figure 3 : Modifications métaboliques cérébrales dans l'encéphalite auto-immune séropositive : étude PET à l'18F-FDG avant et après traitement

5. Applications cliniques de la Scintigraphie, SPECT et PET

Les techniques d'imagerie fonctionnelle, telles que la scintigraphie, la SPECT et le PET, jouent un rôle essentiel dans le diagnostic, le suivi et la gestion des maladies en médecine nucléaire. Chacune de ces techniques présente des avantages distincts en fonction des objectifs cliniques, et elles sont utilisées dans diverses spécialités médicales pour fournir des informations sur la fonction des organes et des tissus, souvent avant l'apparition de signes anatomiques évidents.

5.1 Scintigraphie

La scintigraphie est principalement utilisée pour évaluer :

- **La fonction thyroïdienne** : La scintigraphie thyroïdienne permet d'identifier les nodules thyroïdiens (العقدات الدرقية) et de différencier les masses bénignes (الحميدة) des masses malignes (الخبيثة). Elle est également utilisée pour évaluer les dysfonctionnements thyroïdiens, tels que l'hyperthyroïdie (فرط نشاط الغدة الدرقية) et l'hypothyroïdie (قصور الغدة الدرقية).

- **L'imagerie osseuse** : La scintigraphie osseuse est très efficace pour détecter des anomalies dans les os, telles que les fractures non visibles sur les radiographies, les infections osseuses ou les métastases osseuses (النفاذ العظمية) dans le cancer.
- **La fonction cardiaque** : La scintigraphie myocardique permet d'évaluer la perfusion sanguine (الإرواء الدموي) du cœur et de détecter des zones de tissu cardiaque endommagées, comme dans le cas des infarctus (النوبات القلبية) ou des maladies coronariennes (أمراض الشرايين التاجية).
- **Les reins** : L'imagerie scintigraphique des reins permet de visualiser leur fonction, d'identifier des obstructions urinaires (انسداد المسالك البولية) ou des lésions rénales (النفاذ) (أرواء الكلى), et d'évaluer la perfusion rénale.

5.2 SPECT

La SPECT est utilisée dans plusieurs domaines :

- **Cardiologie** : La SPECT myocardique permet d'évaluer la perfusion myocardique (أرواء عضلة القلب) en cas de maladies coronariennes (أرواء عضلة القلب) (النوبات التاجية), d'angine de poitrine (النوبة الصدرية) et d'infarctus du myocarde (النوبة القلبية). Elle aide à identifier les zones du cœur qui ne reçoivent pas suffisamment de sang.
- **Neurologie** : La SPECT est utilisée pour étudier l'activité cérébrale dans des troubles neurodégénératifs comme la maladie de Parkinson, la maladie d'Alzheimer, et pour évaluer des pathologies cérébrales comme les épilepsies (الصرع) focales. Elle permet de visualiser la distribution des récepteurs cérébraux (المستقبلات الدماغية) et l'activité métabolique (النشاط الأيضي) dans les régions cérébrales.
- **Oncologie** : En oncologie, la SPECT est utilisée pour évaluer la distribution des radiopharmaceutiques dans les tumeurs et détecter des métastases (النفاذ) dans des organes comme les poumons, les os ou les ganglions lymphatiques (العقد الليمفاوية).
- **Orthopédie et rhumatologie** : (أمراض الروماتيزم) (جراحة العظام) Elle permet d'évaluer des troubles musculosquelettiques, tels que les infections osseuses, les inflammations articulaires (التهابات المفاصل) et les fractures non visibles sur d'autres examens.

5.3 PET

Le PET est utilisé dans plusieurs domaines :

- **Oncologie** : Le PET est l'outil clé pour le diagnostic, la stadiification (تحديد مرحلة المرض) et le suivi des cancers. Le radiopharmaceutique FDG, un analogue du glucose est particulièrement utile pour détecter les cellules cancéreuses qui consomment plus de glucose que les cellules normales. Il permet de localiser les tumeurs primaires, de détecter des métastases (النفاذ) et de suivre la réponse au traitement tel que la radiothérapie et la chimiothérapie.
- **Neurologie** : En neurologie, le PET est utilisé pour étudier le métabolisme cérébral (الأيض الدماغي) dans des pathologies comme la maladie d'Alzheimer, la maladie de Parkinson, l'épilepsie (الصرع) et les troubles cognitifs (اضطرابات الإدراك). Le PET permet d'observer des altérations métaboliques précoce dans les tissus cérébraux, avant l'apparition des symptômes cliniques.

- **Cardiologie** : Le PET cardiaque permet d'évaluer la perfusion myocardique (أرواء عضلة) (صلاحية النسيج القلبي) (القلب), ce qui est particulièrement utile pour les patients présentant des maladies coronariennes (أمراض) (الشرايين التاجية). Il permet également de mieux comprendre la fonction cardiaque dans les cas d'infarctus du myocarde (النوبة القلبية) et de surveiller la réponse au traitement dans des pathologies cardiaques.
- **Infectiologie** (الأمراض المعدية) : Le PET est aussi utilisé pour la détection d'infections dans des tissus difficiles à examiner avec d'autres techniques d'imagerie, notamment les infections prothétiques (عدوى الأطراف الاصطناعية), les infections des valves cardiaques (عدوى صمامات القلب) et les abcès profonds.

6. Comparaison entre SPECT, PET et Scintigraphie

Critère	Scintigraphie	SPECT	PET
Radiation utilisée	Photons gamma (généralement à partir de Tc-99m)	Photons gamma (émetteurs de photon unique)	Photons gamma (issus de l'annihilation des positrons)
Résolution spatiale	Faible	Moyenne	Élevée
Imagerie 3D	Non, images en 2D	Oui, images en 3D	Oui, images en 3D avec très haute précision
Applications principales	Cœur, reins, thyroïde, os, etc.	Cœur, cerveau, os, cœur, etc.	Oncologie, neurologie, cardiologie
Sensibilité	Moyenne	Moyenne à élevée	Très élevée
Coût	Relativement faible	Moyenne	Élevé (en raison des cyclotrons nécessaires)
Combinaison avec CT	Rare	Souvent (SPECT-CT)	Fréquente (PET-CT)