

CHAPITRE

4

c0020

Médecine nucléaire : applications diagnostiques

- I. Principe
- II. Principe de détection
- III. Radiopharmaceutiques
- IV. Risques

I. Principe

La médecine nucléaire est une spécialité médicale dont le champ d'application est l'utilisation des radionucléides en sources non scellées à des fins de diagnostic et de thérapie dans un grand nombre de pathologies. Pour le diagnostic, le pronostic et le suivi thérapeutique, elle a recours à la scintigraphie, méthode générale d'imagerie fonctionnelle, fondée sur la détection soit d'émission monophotonique (examen planaire ou tomographique – tomographie d'émission monophotonique ou TEMP), soit de photons en anti-coïncidence par annihilation de positons (tomographie par émission de positons ou TEP).

La médecine nucléaire est spécifique de l'utilisation de radiopharmaceutiques (RPM) dont elle étudie la biodistribution, soit à un temps précis après administration, soit de façon dynamique, au cours du temps par différentes acquisitions séquentielles. Le terme de nucléaire vient simplement de l'origine « nucléaire » du rayonnement émis par les radionucléides, marquant les vecteurs spécifiques d'une fonction, de l'expression d'un récepteur et de l'intensité d'un métabolisme. Contrairement aux rayons X utilisés en radiologie qui proviennent de la couche électronique des atomes de l'anode du tube radiogène, le rayonnement utilisé en médecine nucléaire provient du noyau d'un atome instable (ou radioactif). Ainsi, le terme nucléaire découle du substantif noyau et peut « effrayer », à tort, car la nature de ce rayonnement est identique à celui des rayons X.

Cette approche moléculaire spécifique permet d'étudier et de quantifier les processus physiopathologiques, donnant ainsi des informations uniques, exclusives, sur le fonctionnement normal ou pathologique de l'organisme et donc sur la conduite diagnostique et thérapeutique à mener.

La médecine nucléaire permet donc, bien plus qu'une exploration « fonctionnelle », une exploration biochimique, cellulaire et moléculaire des maladies reposant sur l'analyse de la destinée biologique des RPM (« traceurs radioactifs »). En ce sens, elle peut et doit clairement être perçue comme une technique d'imagerie biologique. Les RPM et leurs propriétés biologiques sont le cœur de la spécialité, bien davantage que la technologie de leur « imagerie ».

Pour étudier cette biodistribution et son évolution temporelle, différents systèmes de détection sont utilisés, adaptés aux radiopharmaceutiques et fonction :

- du radionucléide utilisé : émetteur gamma ou émetteur de positons ;
- de la biodistribution du RPM qui appelle soit de l'imagerie planaire ou tomographique, soit la réalisation de courbes d'activité en fonction du temps sur des régions d'intérêt, soit une détection péropératoire, etc. ;
- de la nécessité plus ou moins grande d'un repérage anatomique, voire une confrontation à la sémiologie radiologique – en restant dans une démarche d'optimisation de l'interprétation scintigraphique, bien différente de celle du diagnostic radiologique.

Imagerie Médicale

© 2015, Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

CERF, 978-2-294-73149-5

Ainsi, selon les cas, sont utilisées une gamma-caméra à scintillation, une caméra à semi-conducteurs, une gamma-caméra hybride (TEMP couplée à un tomodensitomètre), une caméra TEP (dont il est inutile de préciser hybride, puisqu'elle l'est toujours), une sonde (externe ou de détection peropératoire), etc.

II. Principe de détection

A. Gamma-caméra

Pour acquérir les images avec une gamma-caméra à scintillation, on utilise un détecteur composé d'un matériau scintillant, couplé à un collimateur qui permet la détermination de l'origine spatiale des photons, et donc la formation de l'image. En ne conservant, par exemple, que les photons parallèles à l'axe des trous du collimateur, on réalise une projection planaire de la source d'émission (l'organe ou les cellules d'intérêt) sur le détecteur de la caméra (la caméra). La quantité pondérale de matière radioactive injectée au patient étant très faible, on ne dispose donc que de très peu de photons pour produire l'image. Il est donc essentiel de déterminer l'origine et l'énergie de chaque photon détecté avec le plus grand soin.

Aujourd'hui, en France, environ la moitié des machines sont des gamma-caméras hybrides (TEMP-TDM ou SPECT-CT en anglais), ce qui permet de superposer l'image fonctionnelle (image TEMP) sur sa localisation anatomique précise (image TDM). Quelques machines, actuellement surtout dédiées à la cardiologie nucléaire (mais on note des développements en neurologie, sénologie, etc.) utilisent une technologie de détection à base de semi-conducteurs, très sensible et de haute résolution, permettant des examens plus courts et une plus faible activité injectée.

B. Tomographie par émission de positons

Une TEP est aussi une scintigraphie « gamma » mais réalisée avec un tomographe à émission de positons, appareil muni d'une couronne de capteurs entourant le patient qui permet détecter, dans une très courte fenêtre temporelle, les photons émis en coïncidence lors de l'annihilation du positon avec un électron du milieu.

En France, toutes les caméras TEP sont couplées à un tomodensitomètre à rayons X (système TEP-TDM), qui permet de superposer l'image fonctionnelle (image TEP) sur sa localisation anatomique (image TDM). Encore au stade d'évaluation de son intérêt en pratique clinique, une nouvelle technologie associant une TEP à une IRM à haut champ (3 teslas) ou TEP-IRM est disponible.

III. Radiopharmaceutiques

Comme déjà indiqué, le RPM et ses propriétés biologiques sont spécifiques à la médecine nucléaire et en définissent le cœur de métier.

En oncologie, la TEP au ^{18}F -fluorodésoxyglucose (^{18}F -FDG) est devenue l'outil essentiel pour la prise en charge des patients souffrant de cancers très divers (poumons, seins, ORL, lymphomes, œsophage, estomac, pancréas, côlon, utérus, ovaires, testicules), désignés comme « hypermétaboliques » car consommant de manière anormale le glucose (fig. 4.1).

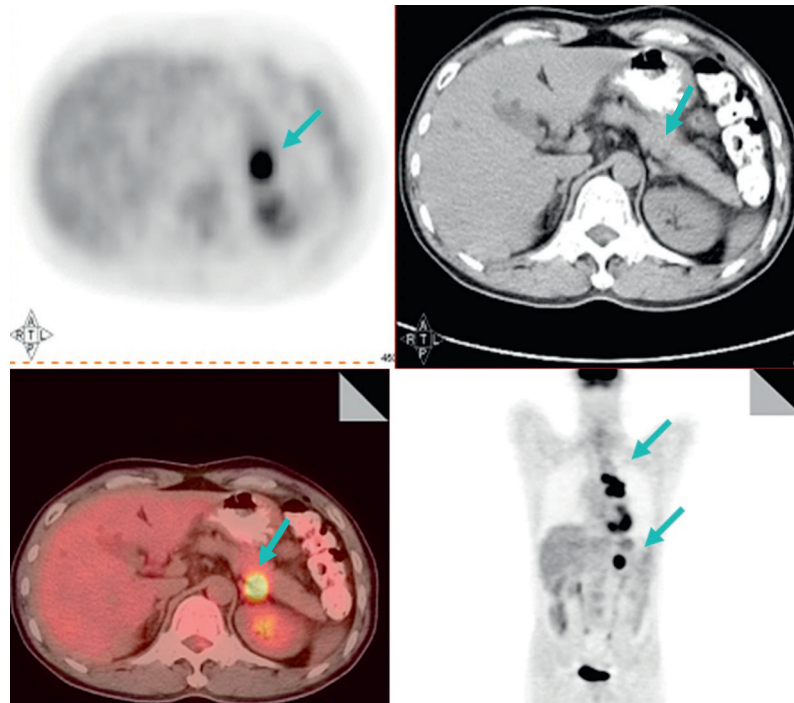


Fig. 4.1. Scintigraphie corps entier TEP-TDM après injection de glucose radiomarqué avec du fluor-18 mettant en évidence une lésion primitive médiastinopulmonaire associée à une localisation secondaire surrénalienne gauche (flèches).

Des autres RPM marqués au fluor-18, ayant une autorisation de mise sur le marché en France, occupent une place grandissante dans la prise en charge du cancer de prostate et du carcinome hépatocellulaire (^{18}F -choline) et des tumeurs endocrines (^{18}F -DOPA). De nouveaux RPM, dont le champ d'application est encore en évaluation dans la démarche diagnostique, devraient venir enrichir la palette de l'imagerie TEP (^{18}F -MISO, ^{18}F -FLT, etc.) et permettre une optimisation de la prise en charge thérapeutique des patients pour une « médecine personnalisée ». L'imagerie des réactions osseuses (scintigraphie aux $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -bisphosphonates) a été récemment améliorée grâce à la TEP au fluorure de sodium (^{18}F -FNa) pour la recherche des métastases osseuses à composante ostéoblastique, notamment des cancers mammaire et prostatique. L'imagerie des récepteurs de la somatostatine (TEMP au ^{111}In -pentétréotide et TEP au ^{68}Ga -DOTATOC), pour la prise en charge des tumeurs endocrines, permet d'anticiper les effets de « théranostique », RPM ayant les mêmes vecteurs spécifiques mais marqués avec des radionucléides (^{90}Y , ^{177}Lu , etc.) à visée de radiothérapie interne vectorisée. La technique de détection du ganglion sentinelle par exemple, couplant la lymphoscintigraphie et la détection peropératoire du ganglion, est devenue incontournable dans la chirurgie du cancer du sein et du mélanome, et bientôt possiblement du cancer prostatique, du cancer du col de l'utérus, etc.

En cardiologie, la scintigraphie de perfusion myocardique (SPM) au thallium-201 ou aux RPM « technétiés » (et potentiellement dans l'avenir avec des RPM TEP) constitue un examen robuste et reconnu (fig. 4.2). La scintigraphie cardiaque à la ^{123}I -MIBG est de plus en plus utilisée pour le pronostic des patients insuffisants cardiaques à fort risque de troubles du rythme mortels, pouvant bénéficier de défibrillateur implantable.

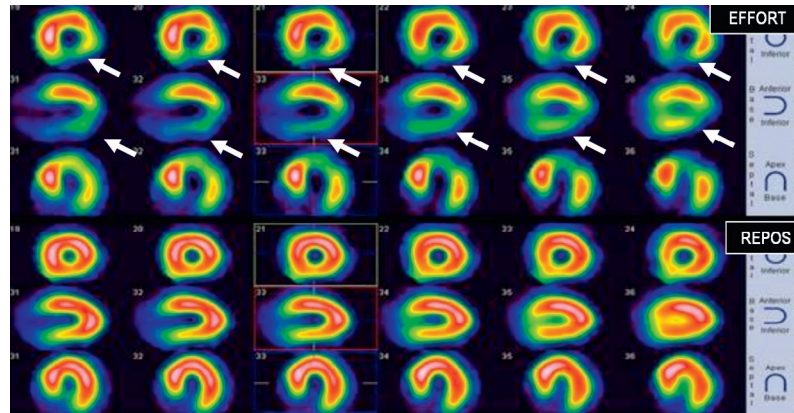


Fig. 4.2. Scintigraphie cardiaque TEMP réalisée après injection de Sestamibi radiomarqué avec du technétium 99m, à l'effort et au repos, mettant en évidence une ischémie de la paroi inférieure du myocarde (flèches blanches).

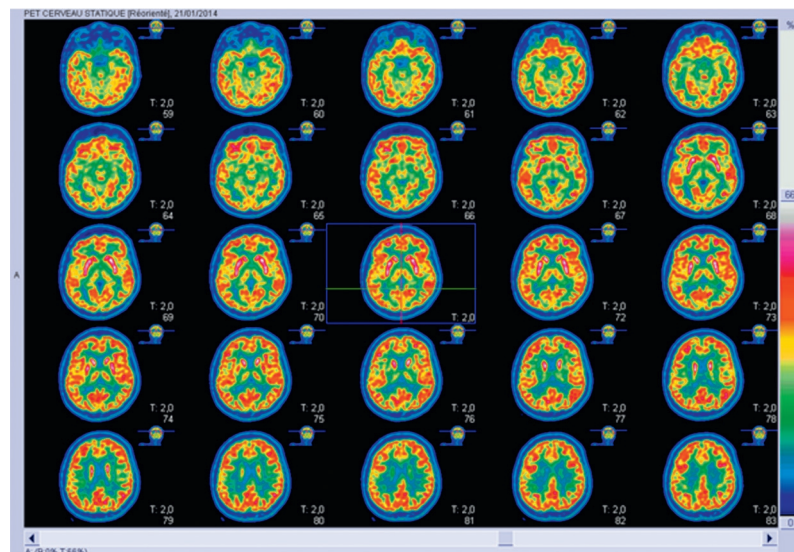


Fig. 4.3. Scintigraphie cérébrale TEP réalisée après injection de glucose radiomarqué avec du fluor-18 mettant en évidence un aspect fonctionnel normal.

En neurologie, l'imagerie du métabolisme glucidique (fig. 4.3), comme l'imagerie de la plaque amyloïde pour les maladies neurodégénératives, au premier rang desquelles la maladie d'Alzheimer, et l'imagerie de la neurotransmission pour les syndromes parkinsoniens sont en constant développement dans certains centres de référence.

En rhumatologie et en orthopédie, la scintigraphie aux ^{99m}Tc -bisphosphonates a été récemment revisitée grâce à la TEMP-TDM qui permet de combiner la très grande sensibilité de la TEMP à une spécificité diagnostique accrue par la localisation anatomique de la TDM (fig. 4.4). L'imagerie de l'infection (osseuse) est essentiellement assurée par le marquage de leucocytes ou l'utilisation d'anticorps anti-leucocytes ou encore de la TEP au ^{18}F -FDG.

Cette liste non exhaustive d'utilisation potentielle des RPM positionne clairement ces examens comme des techniques d'imagerie biologique sans équivalent en raison de leur très grande sensibilité (doses « traceuses » des RPM sans effets secondaires à l'inverse des « produits de contraste ») et de leur champ d'application théorique sans limite (« traceurs moléculaires »).

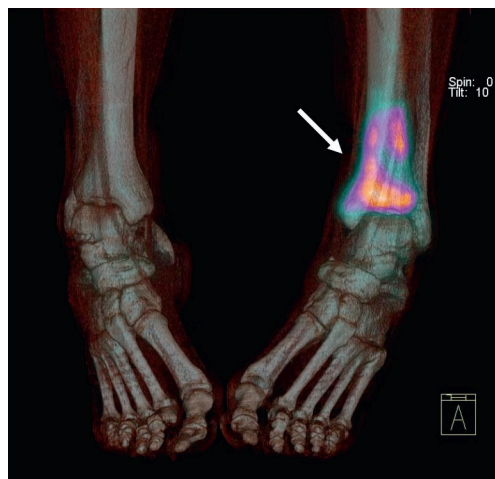


Fig. 4.4. Scintigraphie osseuse couplée à une tomодensitométrie X (TEMP-TDM) réalisée après injection d'un bisphosphonate radiomarqué avec du technétium 99m mettant en évidence une fracture de contrainte infraradiologique du tibia gauche (flèche blanche).

IV. Risques

Contrairement à l'idée préconçue de la dangerosité du « nucléaire », l'imagerie nucléaire est faiblement irradiante, et ce même dans le cadre des associations TEMP-TDM et TEP-TDM, car les doses scanographiques sont sans comparaison avec les doses « diagnostiques ». En effet, les niveaux d'exposition aux rayonnements ionisants pour les patients sont systématiquement du registre des faibles doses ou des très faibles doses (1–10 mSv en dose efficace au corps entier par examen, et toujours inférieur à 1 mSv pour l'entourage et l'environnement). Cet élément objectif, physique et mesurable, est indéniablement un atout pour la technique et doit permettre de recentrer le débat sur la balance bénéfices/risques et montrer qu'elle penche incontestablement du côté du service médical rendu et de l'impact clinique de la médecine nucléaire par rapport aux éventuels risques liés à l'irradiation, théoriques, jamais observés à ces niveaux d'exposition et probablement nuls ou très négligeables.