

La scintigraphie parathyroïdienne

Guide à l'usage des techniciens



Sponsorisé par



Collaborateurs

Nish Fernando

Technicien Principal
Department of Nuclear Medicine
St. Bartholomew's Hospital
Londres, Royaume-Uni

Dr Elif Hindié*

Service de Médecine Nucléaire
Hôpital Saint-Louis
Paris, France

Sue Huggett

Enseignante Universitaire Senior
Department of Radiography
City University
Londres, Royaume-Uni

José Pires - Jorge*

Professeur HES-S2
Ecole Cantonale Vaudoise de Techniciens en
Radiologie Médicale (TRM)
Lausanne, Suisse

Régis Lecoultre*

Professeur HES-S2
Ecole Cantonale Vaudoise de Techniciens en
Radiologie Médicale (TRM)
Lausanne, Suisse

Ont contribué à la version en langue française :

Dr Elif Hindié*
Régis Lecoultre*
José Pires – Jorge*
Sylviane Prévot*

Sylviane Prévot*

Présidente de l'EANM Technologist Committee
Cadre médico-technique PCR
Service du Professeur F. Brunotte
Centre Georges-François Leclerc
Dijon, France

Dr Domenico Rubello*

Directeur
Service de Médecine Nucléaire-Unité TEP
Hôpital de 'S. Maria della Misericordia'
Istituto Oncologico Veneto (IOV)
Rovigo, Italie

Audrey Taylor

Technicienne Principale
Department of Nuclear Medicine
Guy's and St. Thomas' Hospital
Londres, Royaume-Uni

Linda Tutty

Manipulatrice Senior
Department of Nuclear Medicine
St. James's Hospital
Dublin, Irlande

Jean-Luc Riu

Cadre médico-technique
Service de Médecine Nucléaire
Hôpital Bichat
Paris, France

**Dr Domenico Rubello*

Coordonnateur du groupe d'étude nationale sur la scintigraphie des parathyroïdes de l'AIMN (Association Italienne de Médecine Nucléaire) et responsable de l'élaboration du programme d'étude de la chirurgie radioguidée faiblement invasive chez les patients atteints d'hyperparathyroïdie pour le groupe GISCRIS (Groupe d'Etude Italien de la Chirurgie Radioguidée et de l'Immunoscintigraphie)

Sommaire

Préface	4
Sylviane Prévot et Bernard Tillon	
Introduction	5
Sue Huggett	
Applications de l'imagerie des parathyroïdes	6
Elif Hindié	
Les radiopharmaceutiques	12
Linda Tutty	
Équipement d'imagerie - préparation et utilisation	16
José Pires-Jorge et Régis Lecoultré	
Préparation du patient	21
Audrey Taylor et Nish Fernando	
Les protocoles d'imagerie	25
Nish Fernando et Sue Huggett	
Aspects techniques de la chirurgie radioguidée des adénomes parathyroïdiens	29
Domenico Rubello	
Références	34

Cette brochure, publiée à l'initiative du Comité des Techniciens de l'EANM et de l'Association Française des Techniciens en Médecine Nucléaire (AFTMN), est sponsorisée par une bourse éducative des Laboratoires Bristol-Myers Squibb Medical Imaging. Les opinions exprimées sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles de Bristol-Myers Squibb Medical Imaging.

Préface

Sylviane Prévot, Bernard Tillon

Sylviane Prévot, Présidente du Comité des Techniciens de l'EANM

Dans de nombreux secteurs dont celui de la santé, la notion de compétence est au cœur du développement social et professionnel. Quel que soit le service, les compétences spécifiques qui permettent aux techniciens en Médecine Nucléaire (TMNs) de travailler de manière efficace et avisée et de s'adapter à une discipline en constante évolution sont essentielles à la qualité des pratiques.

Depuis plusieurs années, le Comité des Techniciens de l'EANM et son sous-comité Formation se consacrent à l'amélioration des compétences professionnelles des TMNs et un certain nombre de documents ont été diffusés afin de promouvoir l'établissement de normes de travail élevées à travers toute l'Europe. La publication d'une série de brochures « Guides à l'usage des techniciens » a débuté en 2004 avec deux objectifs principaux : favoriser leur réflexion sur la qualité de leurs pratiques professionnelles et si besoin les faire évoluer.

Alors que le premier volume était dédié à l'imagerie de perfusion myocardique celui-ci, le second, aborde celle des parathyroïdes. Nous avons sollicité des auteurs renommés, ayant une grande expérience en la matière, pour offrir aux TMNs un outil d'information réellement exhaustif, leur permettant d'approfondir leurs connaissances et susceptible de contribuer quotidiennement à l'amélioration de la qualité de ces explorations.

Je tiens à remercier l'ensemble des collaborateurs qui ont su souligner les éléments les plus perti-

nents et les plus indispensables. Ils ont joué un rôle déterminant dans la valeur scientifique et éducative de ce travail très complet. Toute ma gratitude à Sue Huggett, coordonnatrice du projet et une fois de plus à Bristol - Myers Squibb Medical Imaging pour leur confiance. Cette publication n'aurait pas été possible sans leur soutien.

Les efforts visant à obtenir des images des parathyroïdes remontent à de nombreuses années. J'espère que ce guide saura répondre aux attentes, qu'il s'avèrera utile aux TMNs dans la réalisation de ces examens et surtout, qu'il profitera aux patients atteints d'hyperparathyroïdie en favorisant l'optimisation de leur prise en charge et de leur confort.

Bernard Tillon, Président de l'Association Française des Techniciens en Médecine Nucléaire (AFTMN)

Le second « Guide du Technicien » consacré à la scintigraphie parathyroïdienne après celui de l'imagerie de perfusion myocardique est l'image de la réussite d'un travail au sein de l'EANM. Travail auquel est partie prenante Sylviane Prévot, mais aussi d'autres techniciens d'horizons et de pays divers.

L'AFTMN continuera de partager cet objectif de formation continue extra hexagone pour favoriser l'amélioration du fonctionnement des services en France, en Europe et ailleurs.

Je tiens à remercier tous les acteurs de ce « Guide à l'usage des techniciens » et en particulier la société Bristol-Myers Squibb Medical Imaging France.

Introduction

Sue Huggett

La première publication du Comité des Techniciens de l'EANM sponsorisée par Bristol-Myers Squibb en 2004, était un guide à l'usage des techniciens consacré à l'imagerie de perfusion myocardique. Nous leur sommes très reconnaissants de nous avoir soutenu une fois de plus en 2005 pour la diffusion de cette brochure, la seconde, dédiée à la scintigraphie des parathyroïdes. D'autres suivront...

Nous espérons avoir combiné la théorie et les principes fondamentaux de la scintigraphie aux aspects pratiques de la prise en charge des patients et de l'utilisation des équipements. Certaines choses que j'ai écrites dans le document précédent méritent à mon sens d'être répétées et je le ferai donc ici, pour ceux qui n'ont pas lu la première brochure.

La connaissance de la théorie de l'imagerie permet une compréhension plus approfondie des techniques, satisfaisante pour le technicien et susceptible d'être à la base d'une prise de décisions avisées. Elle permet également aux techniciens de donner des informations précises aux patients, à leurs soignants et aux autres équipes. La qualité de la prise en charge des patients prime toujours sur le reste et la capacité de leur expliquer pourquoi certains aliments doivent être évités ou pourquoi il faut parfois s'allonger dans des positions peu naturelles, ne peut qu'améliorer leur complaisance et leur satisfaction.

La connaissance des bases rationnelles d'utilisation de certaines stratégies est indispensable pour savoir quand et comment appliquer les différentes variantes d'un protocole, en termes d'acquisition ou d'analyse : par exemple lorsque le patient ne peut pas rester allongé suffisamment longtemps pour permettre une soustraction ce qui peut nécessiter l'utilisation d'un autre protocole d'imagerie ou quand l'utilisation d'un filtre différent s'avère nécessaire du fait de la faiblesse du nombre total de coups.

Les protocoles varieront d'un service à l'autre, même dans le cadre des recommandations générales de l'EANM. Ce guide n'est pas destiné à supplanter ces protocoles, mais nous espérons qu'il leur sera complémentaire en expliquant les bases rationnelles sur lesquelles ils s'appuient, favorisant ainsi des pratiques de travail mieux réfléchies.

Les auteurs se sont inspirés de plusieurs sources d'informations, notamment les protocoles locaux et des références ont été citées chaque fois que leurs auteurs étaient identifiés. Nous vous prions de nous excuser si par inadvertance nous avons utilisé des textes sans mentionner la référence.

Nous espérons que cette brochure fournira des informations utiles chaque fois que ce sera nécessaire, de manière à permettre et à encourager l'intégration de la théorie à la pratique.

Applications de l'imagerie des parathyroïdes

Elif Hindié

Hyperparathyroïdie primitive

L'hyperparathyroïdie primitive (HPTp) est une maladie qui peut être guérie par la chirurgie et dont l'incidence se situe au troisième rang de tous les troubles endocriniens, après le diabète sucré et l'hyperthyroïdie (Al Zahrani et Levine, 1997). A travers leur sécrétion de parathormone (PTH), les deux paires de glandes parathyroïdes situées dans le cou à l'arrière de la glande thyroïde régulent la calcémie et le métabolisme osseux. La PTH favorise la libération du calcium de l'os, augmente l'absorption du calcium dans l'intestin et augmente la réabsorption du calcium au niveau des tubules rénaux. Inversement, la calcémie régule la sécrétion de PTH, ce mécanisme faisant appel à un récepteur sensible au calcium situé à la surface des cellules parathyroïdiennes (rétrocontrôle). L'HPTp est causée par la sécrétion de quantités excessives de PTH par une ou plusieurs glandes parathyroïdes pathologiques augmentées de volume. Les patients atteints d'HPTp peuvent souffrir de calculs rénaux, d'ostéoporose, de symptômes digestifs, de maladies cardiovasculaires, de faiblesse musculaire et de fatigue et de troubles neuropsychologiques. La prévalence la plus élevée de la maladie touche les femmes ménopausées. Une prévalence de 2 % a été retrouvée lors d'un dépistage réalisé chez des femmes ménopausées (Lundgren).

Par le passé, l'HPTp était caractérisée par des complications osseuses et rénales sévères et un taux de mortalité élevé. Ce qui peut en-

core être le cas dans certains pays en voie de développement. Au début des années 70, l'introduction d'appareils d'auto-analyse de la calcémie a entraîné des changements de l'incidence de l'HPTp et a profondément modifié le spectre clinique de la maladie au moment du diagnostic (Heath et al.1980). Aujourd'hui, la plupart des nouveaux cas ne présentent que des signes biologiques modérés et sans symptôme évident (Al Zahrani et Lévine, 1997). La parathyroïdectomie est le seul traitement curatif de l'HPTp. Selon les récentes directives du « National Institute of Health » (NIH) américain, la chirurgie est recommandée chez tous les sujets jeunes et chez tous les patients ayant des symptômes manifestes (Bilezikian et al.2002). Chez les patients asymptomatiques âgés de 50 ans et plus, la chirurgie est recommandée en présence de l'un des signes suivants : calcémie dépassant de plus de 10 mg/L les limites supérieures de la normale ; calciurie des 24 heures supérieure à 400 mg ; réduction de la clairance de la créatinine de plus de 30 % par rapport aux sujets du même âge ; densité osseuse inférieure de plus de 2,5 SD au pic de masse osseuse : T-score < -2,5. La chirurgie est également recommandée lorsque la surveillance médicale n'est pas souhaitable ou impossible. Après une évaluation complète de base, la calcémie des patients non opérés doit être surveillée deux fois par an et leur taux de créatinine une fois par an ; il est également recommandé d'effectuer des mesures de la masse osseuse une fois par an (Bilezikian et al ; 2002). Certains auteurs recom-

mandent une parathyroïdectomie chez l'ensemble des patients présentant un diagnostic avéré d'HPTp (Utiger 1999).

Une parathyroïdectomie réussie dépend de l'identification et de l'exérèse de l'ensemble des glandes parathyroïdes en hyperactivité. L'HPTp est typiquement causée par un seul adénome parathyroïdien, moins souvent (environ 15 % des cas) par une pathologie parathyroïdienne multiple et rarement (environ 1 % des cas) par un carcinome parathyroïdien. Les patients atteints de pathologie parathyroïdienne multiple ont soit des adénomes doubles soit une hyperplasie de trois ou de l'ensemble des quatre glandes parathyroïdes. La majorité des cas de pathologie parathyroïdienne multiple sont sporadiques, alors qu'un petit nombre est associé à des troubles héréditaires tels que les néoplasies endocriniennes multiples de type 1 ou 2a ou l'hyperthyroïdie familiale (Marx et al. 2002). La chirurgie classique consiste en une exploration bilatérale systématique avec identification de l'ensemble des quatre glandes parathyroïdes.

L'imagerie est impérative avant une ré-intervention

Pendant plusieurs décennies, on n'avait pas recours à l'imagerie préopératoire avant une première chirurgie. Une exploration cervicale bilatérale, longue et minutieuse, permettait la guérison de 90 à 95 % des patients (Russell et Edis 1982). Les deux principales raisons de l'échec de la chirurgie sont : les glandes ec-

topiques (rétro-œsophagienne, médiastinale, intra-thyroïdienne, dans la gaine de l'artère carotide ou non descendue) et la pathologie parathyroïdienne multiple non décelée (Levin et Clark, 1989). La ré-intervention est associée à une réduction dramatique du taux de réussite et à une augmentation des complications chirurgicales. L'imagerie est par conséquent impérative avant une seconde intervention (Sosa et al. 1998). La scintigraphie au ^{99m}Tc -sestamibi (Coakley et al. 1989) a été établie comme étant la méthode d'imagerie de choix en cas de ré-intervention pour une hyperparathyroïdie persistante ou récidivante (Weber et al. 1993). Chez ces patients, il est nécessaire d'obtenir toutes les informations relatives à la première intervention, y compris le nombre et la situation des glandes parathyroïdes visualisées par le chirurgien, ainsi que la taille et l'histologie des glandes réséquées. Quel que soit le protocole de scintigraphie au ^{99m}Tc -sestamibi utilisé, il est nécessaire de fournir au chirurgien les meilleures informations anatomiques possibles en utilisant des vues antérieure et latérale (ou oblique) du cou et en réalisant une tomographie (TEMP) dès que celle-ci s'avère utile, en particulier en cas de foyer médiastinal. L'auteur pense que les résultats obtenus avec le ^{99m}Tc -sestamibi doivent être confirmés par une autre technique d'imagerie (en général, une échographie pour un foyer cervical et une TDM ou une IRM en cas d'image médiastinale) avant de procéder à une seconde intervention.

La scintigraphie au ^{99m}Tc-sestamibi est de plus en plus prescrite de façon systématique pour une première parathyroïdectomie

La première exploration est le meilleur moment pour guérir une hyperparathyroïdie. La majorité des chirurgiens apprécieraient aujourd'hui de disposer d'informations concernant la localisation des glandes parathyroïdiennes anormales ou de glandes ectopiques (Sosa et al. 1998 ; Liu et al. 2005). L'imagerie scintigraphique permet la détection des rares cas (2-5 %) où les tumeurs parathyroïdiennes sont ectopiques et le succès d'une chirurgie bilatérale peut aujourd'hui être très proche des 100 % (Hindié et al. 1997). En cas de glande médiastinale, le chirurgien peut effectuer directement une thoroscopie de première intention, évitant une chirurgie cervicale initiale extensive et inutile (Liu et al. 2005). L'imagerie préopératoire peut également raccourcir la durée de la chirurgie bilatérale (Hindié et al. 1997). En permettant au chirurgien de retrouver la glande responsable plus tôt au cours de l'intervention, le temps nécessaire à l'examen d'une coupe en congélation peut être utilisé par le chirurgien pour l'inspection des autres glandes parathyroïdes, tout en réduisant également son anxiété.

Points importants à connaître lors de la réalisation de l'imagerie des parathyroïdes

- L'imagerie ne sert pas au diagnostic. C'est l'augmentation des taux plasmatiques de calcium (valeurs normales : 88-105 mg/L) et de PTH (valeurs normales de 10 à 58 ng/L) qui établit le diagnostic.

- L'imagerie n'identifie pas les glandes parathyroïdes normales, trop petites (20-50 mg) pour être visualisées.
- L'imagerie doit déceler la (ou les) parathyroïde(s) anormale(s) et indiquer sa (leur) taille approximative et sa (leur) topographie par rapport à la thyroïde (le niveau de la thyroïde auquel la lésion parathyroïdienne est visualisée sur la vue antérieure ; et si cette lésion est située à proximité de la thyroïde ou plus profondément dans le cou sur la vue latérale ou oblique ou sur la TEMP) (Fig. 1).
- L'imagerie doit identifier les glandes ectopiques (rajouter la TEMP en cas de foyer médiastinal et demander une TDM ou une IRM supplémentaire pour confirmation et obtention des repères anatomiques) (Fig.2).
- L'imagerie doit être capable de différencier les patients ayant un adénome unique de ceux présentant une pathologie parathyroïdienne multiple (Fig.3).
- L'imagerie doit identifier les nodules thyroïdiens pouvant nécessiter une résection chirurgicale concomitante.

Choix de la technique d'imagerie

Les méthodes de localisation préopératoire les plus courantes sont la scintigraphie et l'échographie. Tel que précisé plus haut, les glandes ectopiques et une pathologie parathyroï-

dienne multiple non décelée constituent les deux principales causes d'échec de la chirurgie (Levin et Clark 1989). Comme l'échographie de haute résolution ne permet pas toujours, même entre des mains expertes, de détecter la majorité de ces cas, cet examen n'est pas optimal comme technique unique d'imagerie préopératoire. Dans l'étude de Haber et al (2002), six glandes ectopiques sur huit et cinq cas de pathologie parathyroïdienne multiple sur six n'ont pas été détectés à l'échographie. L'échographie peut toutefois être utile lorsqu'elle est associée à l'imagerie au ^{99m}Tc -sestamibi (Rubello et al ; 2003).

La scintigraphie au ^{99m}Tc -sestamibi est actuellement considérée comme la technique d'imagerie la plus sensible chez les patients atteints d'HPTp (Giordano et al. 2001 ; Mullan 2004). Quel que soit le protocole utilisé, la scintigraphie au ^{99m}Tc -sestamibi répond généralement au besoin de détection des glandes ectopiques (les huit ont été décelées dans l'étude de Haber et al.). Toutefois, en ce qui concerne l'identification d'une pathologie parathyroïdienne multiple, c'est le protocole utilisé qui déterminera la sensibilité. Lorsque le ^{99m}Tc -sestamibi est utilisé comme traceur unique avec une imagerie planaire en deux temps (méthode dite en deux phases ou de clairance), la sensibilité pour l'hyperplasie primitive est très faible (Taillefer et al. 1992 ; Martin et al. 1996). De meilleurs résultats peuvent être obtenus en rajoutant la TEMP. La scintigraphie de soustraction, qui utilise soit ^{123}I (Borley et

al. 1996 ; Hindié et al. 2000 ; Mullan 2004) soit le ^{99m}Tc -pertechnétate (Rubello et al. 2003) en plus du ^{99m}Tc -sestamibi, améliore la sensibilité dans le cas des glandes hyperplasiques. Une des difficultés liées à l'imagerie de soustraction est de garder le patient immobile pendant tout le temps nécessaire pour faire l'image de la thyroïde, injecter le ^{99m}Tc -sestamibi et enregistrer les images de ce second traceur. L'enregistrement simultané de ^{123}I et du ^{99m}Tc -sestamibi peut constituer une solution simple à cette difficulté. Il prévient les artéfacts liés aux mouvements du patient sur les images de soustraction et raccourcit la durée d'acquisition (Hindié et al. 1998 ; Mullan 2004).

L'imagerie préopératoire a ouvert une nouvelle ère de chirurgie parathyroïdienne faiblement invasive

L'exploration bilatérale classique reste à ce jour la technique de référence de la chirurgie parathyroïdienne. Pourtant, l'introduction de la scintigraphie au ^{99m}Tc -sestamibi, la disponibilité d'assistants per-opératoires tels que la sonde gamma et le monitoring per-opératoire de la PTH qui aident à déceler une pathologie parathyroïdienne multiple, ont remis en question le dogme de l'exploration bilatérale systématique. Lorsque l'imagerie préopératoire indique un foyer unique bien défini, suggérant sans équivoque un adénome solitaire, le chirurgien peut actuellement opter pour une chirurgie focalisée plutôt que pour une exploration bilatérale. L'exérèse focalisée peut être réalisée par chirurgie à ciel ouvert

à travers une mini-incision, éventuellement sous anesthésie locale, ou par chirurgie endoscopique vidéo-assistée sous anesthésie générale (Lee et Inabnet 2005). Par rapport aux patients bénéficiant d'une chirurgie bilatérale, ceux chez lesquels on réalise avec succès une chirurgie parathyroïdienne focalisée bénéficient d'un temps opératoire plus court, de la possibilité d'une anesthésie locale, d'un meilleur résultat esthétique au niveau de la cicatrice, d'une évolution post-opératoire moins douloureuse, d'une hypocalcémie post-opératoire « transitoire » moins profonde et d'un retour plus rapide à leurs activités usuelles. Le fait que pour bon nombre de cliniciens, le seuil de décision chirurgicale soit actuellement plus bas, est partiellement dû à la perception que la chirurgie parathyroïdienne est moins invasive qu'autrefois (Utiger 1999).

Les patients chez lesquels une pathologie parathyroïdienne multiple n'est pas décelée encourent un risque spécifique d'échec d'une chirurgie minimale. Par conséquent, lorsqu'il opte pour une chirurgie minimale, le chirurgien doit s'astreindre à identifier les cas de pathologie parathyroïdienne multiple, soit en préopératoire via un protocole d'imagerie approprié, soit par le monitoring peropératoire des taux plasmatiques de PTH, soit par une association des deux. La sensibilité réelle de la mesure peropératoire de la PTH dans la pathologie parathyroïdienne multiple reste sujet à débat. Un problème se pose du fait que les études s'appuyant uniquement sur les

mesures peropératoires rapportent un faible pourcentage de pathologie parathyroïdienne multiple, limité à 3 % (Molinari et al. 1996), ce qui est trois à quatre fois plus bas que celui généralement observé au cours d'une chirurgie bilatérale systématique. On ne sait pas si cela peut conduire à des taux de récurrence ultérieure plus élevés. Il est donc important que les méthodes d'imagerie utilisées afin de sélectionner les patients pour une chirurgie focalisée aient une sensibilité de détection de la pathologie parathyroïdienne multiple élevée.

Dans cette nouvelle ère d'interventions localisées, le succès d'une chirurgie parathyroïdienne dépend non seulement de l'expérience du chirurgien mais également d'une excellente interprétation des images. Une étude de localisation très précise est impérative afin d'éviter que la chirurgie minimale par laquelle on avait commencé ne se transforme en une exploration bilatérale sous anesthésie générale. Il faut éviter la confusion avec un nodule thyroïdien et une description anatomique précise est également importante. En raison de l'augmentation de leur volume et de leur densité, les adénomes parathyroïdiens supérieurs peuvent glisser vers le bas et en arrière. Une vue latérale (ou une vue oblique ou une TEMP) indiquera si l'adénome est proche de la thyroïde ou situé plus profondément dans le cou (sillon trachéo-œsophagien ou situation rétro-œsophagienne). Cette information est utile car le champ visuel à travers une petite incision est restreint. En outre, le chirurgien

pourrait opter pour une approche latérale pour exciser cette glande plutôt que pour une approche antérieure. Afin d'obtenir une sensibilité élevée en terme de détection de la pathologie parathyroïdienne multiple par les techniques de soustraction, le degré de soustraction doit être soigneusement monitoré. Une soustraction incrémentale progressive avec affichage en temps réel constitue une méthode de choix du niveau optimal de soustraction (l'activité résiduelle du ^{99m}Tc -sestamibi au niveau de la zone thyroïdienne ne devrait pas être inférieure à celle des tissus cervicaux environnants). Une soustraction excessive peut aisément effacer un deuxième foyer de faible intensité et chez certains patients, fournir une image faussement évocatrice d'un adénome unique.

Hyperparathyroïdie secondaire

L'hyperparathyroïdie secondaire est une complication courante chez les patients atteints d'insuffisance rénale chronique. Une hypocalcémie, une accumulation des phosphates et une diminution de la forme active de la vitamine D entraînent une sécrétion accrue de PTH. En présence d'une stimulation chronique, l'hyperplasie des glandes parathyroïdes s'accélère et celles-ci peuvent devenir des adénomes autonomes. La croissance des glandes parathyroïdes devient un facteur déterminant majeur de l'hypersécrétion de PTH. L'hyperparathyroïdie secondaire entraîne entre autres : des complications osseuses « ostéo-dystrophie rénale », des calcification des tissus mous,

des calcifications vasculaires, et un risque cardiovasculaire accru. En cas d'échec du traitement médical, la chirurgie devient nécessaire. Elle consistera soit en une parathyroïdectomie subtotale, avec résection de trois glandes et résection partielle de la quatrième glande, soit en une résection totale avec greffe d'une petite quantité de tissu parathyroïdien au niveau des tissus mous de l'avant-bras, afin d'éviter une hypoparathyroïdie permanente.

Imagerie préopératoire

La chirurgie de l'hyperparathyroïdie secondaire requiert une identification bilatérale systématique de l'ensemble des tissus parathyroïdiens. En outre, les examens précoces basés sur la scintigraphie au ^{99m}Tc -sestamibi comme unique traceur, ont rapporté une très faible sensibilité, de l'ordre de 40-50 %, en terme de détection des glandes hyperplasiques. L'inefficacité des techniques utilisant un traceur unique tant dans l'hyperparathyroïdie secondaire que dans l'hyperplasie primitive, pourrait être due à une clairance plus rapide du traceur par les glandes hyperplasiques comparativement aux adénomes parathyroïdiens. Pour ces raisons, la scintigraphie préopératoire n'est pas encore largement admise par les chirurgiens. La scintigraphie de soustraction en double-isotope, planaire ou tomographique, procure une amélioration substantielle du taux de détection des glandes hyperplasiques chez les patients insuffisants rénaux (Hindié et al. 1999 ; Perié et al. 2005)

Quelles informations peuvent être obtenues ?

- L'imagerie préopératoire peut faciliter l'identification de la position des glandes parathyroïdiennes aberrantes, réduisant également l'étendue de la dissection (Hindié et al. 1999).
- En l'absence d'imagerie préopératoire, les glandes parathyroïdes présentant une ectopie majeure peuvent être manquées.
- Bien que le nombre habituel de glandes parathyroïdes soit de quatre, certains sujets (environ 10 %) ont une cinquième glande surnuméraire (Akerström et al. 1984). Lorsque l'imagerie préopératoire fournit cette information, elle peut prévenir un échec chirurgical ou une récurrence tardive (Hindié et al. 1999).

Résultats de l'imagerie chez les patients présentant une hyperparathyroïdie secondaire persistante ou récurrente

Un échec immédiat ou une récurrence tardive ne sont pas inhabituels et surviennent chez 10 à 30 % des patients. L'imagerie est impérative avant une ré-intervention. La connaissance de l'ensemble des détails relatifs à l'intervention initiale est nécessaire pour l'interprétation. Comme pour l'hyperparathyroïdie primitive, nous recommandons que les lésions visualisées par la scintigraphie au ^{99m}Tc -sestamibi soient corrélées à une seconde technique d'imagerie (échographie ou IRM) pour confirmation et identification des repères anatomiques avant la ré-intervention.

Certains aspects spécifiques aux patients réopérés pour une hyperparathyroïdie secondaire doivent être soulignés :

- Des vues spécifiques de l'avant-bras doivent être obtenues chez les patients ayant subi une greffe parathyroïdienne.
- Il n'est pas inhabituel que l'imagerie révèle deux foyers d'activité, l'un correspondant à une maladie récidivante au niveau de la glande ayant subi une résection subtotale (ou au niveau du tissu greffé) et l'autre correspondant à une parathyroïde ectopique ou à une cinquième parathyroïde manquée à l'intervention initiale (données non publiées).

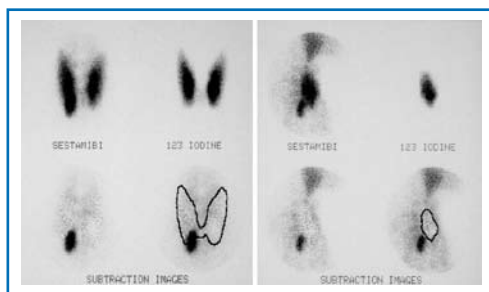


Figure 1.

Scintigraphie parathyroïdienne de soustraction, avec acquisition simultanée au ^{99m}Tc -sestamibi et à ^{123}I chez un patient atteint d'hyperparathyroïdie primitive. La vue antérieure et la vue latérale montrent un adénome solitaire situé au pôle inférieur du lobe thyroïdien droit. À l'intervention, un adénome de 1,9 g a été retrouvé à l'endroit prévu.

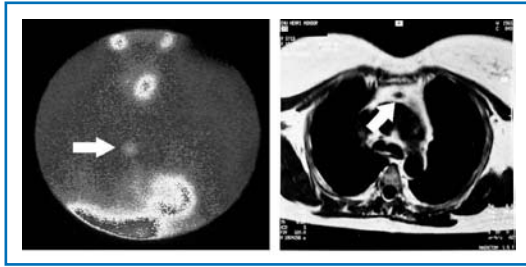


Figure 2

Ce patient aux antécédents de chirurgie de la thyroïde (lobectomie droite) a été adressé avec un diagnostic récent d'hyperparathyroïdie primitive. L'échographie a suggéré la présence d'un adénome parathyroïdien du côté de la lobectomie thyroïdienne réalisée, lequel s'est révélé être un faux positif. L'image grand champ de la scintigraphie au ^{99m}Tc -sestamibi montre un foyer médiastinal (flèche). La parathyroïde ectopique suspectée a été confirmée à l'IRM (flèche). Un adénome parathyroïdien médiastinal de 0,59 g a été réséqué.

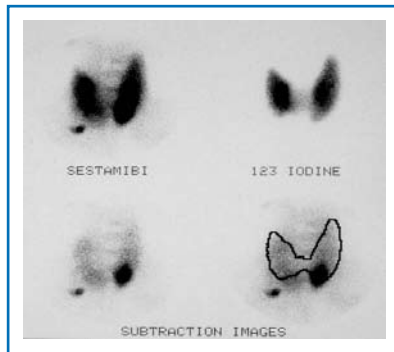


Figure 3

Scintigraphie parathyroïdienne de soustraction au ^{99m}Tc -sestamibi/ ^{123}I chez un patient atteint d'hyperparathyroïdie primitive. Les images de soustraction numérisées montrent deux sites d'absorption préférentielle du ^{99m}Tc -sestamibi : l'un au niveau du tiers inférieur du lobe thyroïdien gauche, et l'autre latéral au pôle inférieur du lobe thyroïdien droit. Deux adénomes ont été retirés : un adénome parathyroïdien gauche pesant 2,3 g et un adénome droit pesant 0,07 g.

Les radiopharmaceutiques

Linda Tutty

Radiopharmaceutiques utilisés pour une scintigraphie parathyroïdienne

Pour les radiopharmaceutiques couramment utilisés, les informations relatives à l'énergie du photopic, la demi-vie, l'activité recommandée et la dose efficace au patient, figurent dans le Tableau 1.

Le ^{201}Tl -chlorure

Le ^{201}Tl -chlorure a une demi-vie physique de 73,1 h. Son principal photopic est dû aux rayons X de réarrangement du cortège électronique caractéristiques du mercure ^{201}Hg , lesquels ont une gamme énergétique de 69-83 keV. En outre, des rayons gamma sont produits à 167 keV (8 %) et 135 keV (2 %). L'activité administrée par voie intraveineuse est de 74 MBq. Le ^{201}Tl -chlorure se fixe sur le tissu parathyroïdien anormal et sur la thyroïde, proportionnellement au flux sanguin.

Le $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -pertechnétate

Le $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -pertechnétate a une demi-vie de 6h et une énergie gamma de 140 keV. Le $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -pertechnétate est utilisé pour délimiter la glande thyroïde car il est piégé par le parenchyme thyroïdien fonctionnel. Cette image est ensuite soustraite des images au ^{201}Tl ou au $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi, les signaux restants constituant potentiellement un adénome parathyroïdien. Lorsqu'on utilise le ^{201}Tl , l'activité administrée est généralement de 75 à 150 MBq, en fonction de la l'activité administrée de ^{201}Tl et de l'ordre chronologique d'administration des deux traceurs. Lorsqu'on utilise

le $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi, la dose de pertechnétate administrée est généralement comprise entre 185 et 370 MBq, car le $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi a une activité totale plus élevée au niveau du tissu thyroïdien que le ^{201}Tl .

Le $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi

La fourchette d'activité administrée par voie intraveineuse est de 185 à 900 MBq (10 MBq/kg); la dose usuelle est de 740 MBq. Ce radiotracer se fixe à la fois sur les glandes parathyroïdes et sur le tissu thyroïdien fonctionnel et s'élimine en général plus rapidement du tissu thyroïdien normal que du tissu parathyroïdien anormal. Le mécanisme exact de sa captation reste encore mal connu (Farley 2004). La fixation du $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi dépend de plusieurs facteurs parmi lesquels le flux sanguin, la phase du cycle cellulaire et l'activité fonctionnelle (Beggs et Hain 2005). La localisation cellulaire finale du $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi est au sein des mitochondries. Il s'accumule dans les mitochondries de nombreux tissus mais en particulier dans celles des cellules cardiaques et thyroïdiennes normales; cette accumulation est particulièrement importante au niveau des glandes parathyroïdes hyperactives (Farley 2004).

L' ^{123}I -iodure de sodium

L' ^{123}I -iodure de sodium a une demi-vie de 13,3 heures et il émet des photons d'énergie 159 keV. Il a été particulièrement utilisé avec le $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi comme traceur d'imagerie de la thyroïde dans le cadre d'examen de soustrac-

tion. L'activité administrée par voie intraveineuse est comprise entre 7,5 et 20 MBq.

Le ^{99m}Tc -tétofrosmine

L'utilisation du ^{99m}Tc -tétofrosmine dans l'imagerie des parathyroïdes est décrite dans la littérature (Smith et Oates 2004) mais ses fabricants n'ont pas d'Autorisation de Mise sur le Marché (AMM) pour cette indication diagnostique. Le ^{99m}Tc -sestamibi et le ^{99m}Tc -tétofrosmine disposent de caractéristiques d'imagerie similaires (Smith et Oates 2004). L'activité recommandée est de 740 MBq.

La ^{11}C -méthionine

La ^{11}C -méthionine a une demi-vie de 20 min. C'est un produit de cyclotron. Sa fixation reflète le reflux d'acides aminés dans le tissu parathyroïdien stimulé (Otto et al. 2004 ; Beggs et Hain 2005). En cas de pathologies inflammatoires, sa captation peut être problématique et il faut en tenir compte au moment de l'interprétation des images. L'activité recommandée en injection intraveineuse est en moyenne de 400 MBq (240-820 MBq).

Le ^{18}F -FDG

Le ^{18}F -fluorodéoxyglucose (^{18}F -FDG) a une demi-vie de 110 min et c'est un produit de cyclotron. Il permet d'évaluer le métabolisme du glucose grâce à la Tomographie d'Emission de Positons (TEP). L'accumulation du ^{18}F -FDG au niveau des tissus parathyroïdiens anormaux n'est pas homogène et cette différence est utilisée pour caractériser une glande anor-

male. Le ^{18}F -FDG s'accumule également dans d'autres tissus malins et bénins et dans des tissus inflammatoires ou infectés ce qui limite potentiellement son utilité. L'activité intraveineuse moyenne est de 400 MBq (5 MBq/kg).

Caractéristiques des radiopharmaceutiques

Plusieurs radiopharmaceutiques ont été décrits pour la localisation des lésions parathyroïdiennes. Le ^{201}Tl , le Sestamibi et le Tétofrosmine sont les plus fréquemment utilisés (Ahuja et al. 2004). Tous ces produits ont à l'origine été développés pour les explorations myocardiques. Dans les années 80, le ^{201}Tl était l'agent le plus utilisé mais sa demi-vie est plus longue et il délivre au patient une dose d'irradiation plus élevée (Kettle 2002). De ce fait, il n'est utilisé en pratique courante et la littérature la plus récente fait référence à l'utilisation du ^{99m}Tc -sestamibi. Toutefois, pour la méthode de soustraction, il est probable que chacun de ces radiopharmaceutiques procure les mêmes informations diagnostiques (Kettle 2002).

Les agents de soustraction

Une méthode de soustraction pour différencier l'activité parathyroïdienne de l'activité thyroïdienne (Clark 2005) peut être proposée en réalisant une imagerie de la thyroïde. Les deux principaux agents utilisés pour l'imagerie de la thyroïde sont l' ^{123}I (iodure de sodium) et le ^{99m}Tc -pertechnétate. La préférence revient à l' ^{123}I qui est organifié et procure par conséquent une image stable. Le ^{99m}Tc -

pertechnétate s'élimine de la glande thyroïde dans le temps et si l'acquisition des images est retardée, la qualité de l'image thyroïdienne peut s'en voir réduite (Kettle 2002). La captation des deux agents peut cependant être perturbée si le patient prend de la thyroxine ou des médicaments antithyroïdiens, ou si on lui a récemment administré un produit de contraste iodé.

Si besoin, les radiopharmaceutiques spécifiques de la thyroïde peuvent aider à délimiter le parenchyme thyroïdien après l'imagerie en double phase. Ceci peut être utile comme procédure de soustraction visuelle de seconde intention, lorsqu'aucun adénome parathyroïdien n'est visible à l'imagerie parathyroïdienne en double phase (Clark 2005).

Les activités préconisées pour l'imagerie de la thyroïde et des glandes parathyroïdes sont les suivantes : ^{99m}Tc -pertechnétate : 80 MBq ; ^{123}I : 40 MBq ; ^{201}Tl : 80 MBq ; ^{99m}Tc -sestamibi : 900 MBq. En cas d'association de ^{99m}Tc -pertechnétate et de ^{99m}Tc -sestamibi, la dose d'irradiation au patient pour l'examen combiné est de 11,6 mSv. Si l' ^{123}I et le ^{201}Tl sont utilisés, celle-ci augmente jusqu'à 18,3 mSv.

Les agents de double phase

Le ^{99m}Tc -sestamibi et le ^{99m}Tc -tétrafosmine sont des agents couramment utilisés pour la scintigraphie parathyroïdienne en double phase. La technique du wash-out (clairance) s'appuie sur le fait qu'alors que la captation

du ^{99m}Tc -sestamibi et du ^{99m}Tc -tétrafosmine est similaire au niveau de la thyroïde et des glandes parathyroïdes, leur clairance est plus rapide au niveau de thyroïde.

Ces traceurs se localisent dans la glande thyroïde et dans les adénomes parathyroïdiens. Ce qui permet d'établir une corrélation de l'adénome par rapport à la thyroïde sur les vues planaires et sur les images tomographiques précoces. Le ^{99m}Tc -sestamibi est libéré de la thyroïde avec une demi-vie d'environ 30 min mais est généralement retenu dans les glandes parathyroïdes anormales (Smith et Oates 2004). Le ^{99m}Tc -tétrafosmine peut s'éliminer plus lentement de la glande thyroïde. Cette différence de clairance améliore le rapport signal sur bruit, de sorte que le tissu parathyroïdien anormal devrait être plus visible sur les images tardives (Smith et Oates 2004 ; Clark 2005). Toutefois, des adénomes et des carcinomes de la thyroïde peuvent coexister et fixer le ^{99m}Tc -sestamibi ou le ^{99m}Tc -tétrafosmine, entraînant des résultats faussement positifs (Smith et Oates 2004).

Le ^{99m}Tc -sestamibi et le ^{99m}Tc -tétrafosmine ont des caractéristiques d'imagerie comparables. Généralement, le choix de l'agent d'imagerie dépend de sa disponibilité et de l'expérience du médecin nucléaire.

La méthode de soustraction en double phase avec vue complémentaire sélective de la thyroïde (^{99m}Tc ou ^{123}I) peut être utile voire même

essentielle chez les patients présentant des goitres ou d'autres facteurs de confusion tels que des pathologies thyroïdiennes sous-jacentes, après une chirurgie thyroïdienne ou chez les patients présentant une masse palpable (Smith et Oates 2004).

Les agents d'imagerie TEP

L'utilisation de la TEP au ^{18}F -FDG et à la ^{11}C -méthionine a été décrite dans l'imagerie des parathyroïdes (Otto et al. 2004 ; Beggs et Hain 2005). Les résultats des premières études utilisant le ^{18}F -FDG n'étaient pas concluants (Beggs et Hain 2005 ; Otto et al. 2004). Il a été démontré que la TEP à la ^{11}C -méthionine est plus prometteuse dans la localisation des parathyroïdes (Beggs et Hain 2005). La TEP à la ^{11}C -méthionine est utile dans les cas d'hyperparathyroïdie primitive pour lesquels les techniques d'imagerie classique n'ont pas permis de localiser l'adénome avant de procéder à la chirurgie ou chez les patients ayant bénéficié d'une intervention qui n'a pas permis de corriger l'hyperparathyroïdie (Beggs et Hain 2005).

Effets indésirables des radiopharmaceutiques

Le Tableau 2 montre les effets indésirables et les réactions aux radiopharmaceutiques utilisés pour la scintigraphie parathyroïdienne.

Tableau 1

Radiopharmaceutiques utilisés pour la scintigraphie parathyroïdienne

	²⁰¹ Tl- chlorure	^{99m} Tc- sestamibi	^{99m} Tc- tétrafosmine	¹¹¹ In- méthionine	¹⁸ F- fluorodéoxy- glucose
Energie du photopic (keV) et % d'émission	69-80 (88 %) 135 (2 %) 167 (8 %)	140	140	511	511
Demi-vie	73,1 heures Produit de cyclotron prêt à l'emploi A commander	6 heures Toujours disponible (conservation du MIBI : 24 mois à température ambiante)	6 heures Toujours disponible (conservation du tétrafosmine : 6 mois entre 2 et 8°C)	20 min Produit de cyclotron A commander	110 min Produit de cyclotron A commander
Dose efficace chez l'adulte (mSv)	18	11	9	2	10
Activité standard* (MBq)	80	900	900	400	400

* Les valeurs supérieures des limites admissibles peuvent différer d'un pays à l'autre. Se référer au Résumé des Caractéristiques du Produit (RCP) dans chaque pays européen. Les doses données ici sont tirées de l'ARSC, décembre 1998

Tableau 2

Réactions indésirables aux radiopharmaceutiques utilisés pour la scintigraphie parathyroïdienne (JNM 1996 ; 37 : 185-192, 1064-1067)

Radiopharmaceutiqpharmaceutiques	Effets indésirables, réactions
²⁰¹ Tl-chlorure	Fièvre, érythème, bouffées vasomotrices, rash diffus, prurit, hypotension
^{99m} Tc- pertechnétate	Frissons ; nausées, vomissements ; rash diffus, prurit, urticaire ; douleurs, constriction ou pesanteur thoraciques ; hypertension ; étourdissements, vertiges, céphalées ; diaphorèse ; anaphylaxie
^{99m} Tc-sestamibi	Nausées ; érythème, bouffées vasomotrices, rash diffus, prurit ; convulsions, céphalées ; goût métallique, paresthésies
^{123I} -iodure de sodium	Nausées, vomissements ; rash diffus, prurit, urticaire ; douleurs, constriction ou pesanteur thoraciques ; réactions respiratoires ; tachycardie ; syncope ou évanouissements et céphalées ; tachypnée ; parosmie
^{99m} Tc-tétrosfomine	Angor, hypertension, torsades de pointe (ces trois étant probablement survenus en raison d'une cardiopathie sous-jacente) ; vomissements, gêne abdominale ; allergie cutanée ; hypotension ; dyspnée ; goût métallique, brûlure buccale, odeur inhabituelle ; leucocytose minime
¹⁸ F- FDG	Aucun

Équipement d'imagerie - préparation et utilisation

José Pires-Jorge et Régis Lecoultré

Procédures de contrôle qualité devant être réalisées de manière satisfaisante avant l'imagerie

Après les tests de réception, un protocole de contrôle qualité doit être établi dans chaque service et suivi conformément aux directives nationales. Voici un programme typique de tests de contrôle qualité systématiques :

- a) Quotidien : Réglage du pic photoélectrique (photopic)
- b) Quotidien : Test de l'uniformité du flux
- c) Quotidiennes : Mesures de la sensibilité de la gamma caméra
- d) Hebdomadaire : Evaluation de la linéarité et de la résolution
- e) Hebdomadaire : Calibration du centre de rotation

Un programme systématique de contrôle qualité pour une caméra TEMP comporte les procédures adaptées aux caméras à scintillation planaires (a-d) et des contrôles spécifiques à la TEMP (e). En outre, des tests plus complexes doivent être effectués avec une fréquence moindre.

Réglage quotidien du photopic

Cette procédure consiste à régler la gamma caméra sur le photopic (pic d'absorption totale) d'énergie correspondante avant d'obtenir des images de flux. Il est vivement recommandé

d'effectuer quotidiennement ce réglage pour tous les radionucléides utilisés.

La vérification du photopic est nécessaire pour s'assurer :

- Que le circuit de l'analyseur automatique de la caméra fonctionne correctement
- Que la forme du spectre est correcte
- Que le pic apparaît bien à l'énergie attendue
- Qu'il n'y a pas de contamination accidentelle de la gamma caméra

Il est conseillé d'enregistrer les spectres obtenus lors des réglages en énergie.

Test quotidien de l'uniformité du flux

Après le réglage en énergie, il est recommandé de réaliser quotidiennement un test d'uniformité. L'image d'une source plane homogène est enregistrée et l'évaluation de l'uniformité de la caméra est effectuée par analyse visuelle. Des paramètres quantitatifs doivent également être calculés régulièrement et enregistrés afin de mettre en évidence les variations soudaines de la normale et d'alerter le technicien d'une éventuelle détérioration progressive de l'équipement. Pour les caméras disposant de matrices de correction d'uniformité interchangeables, il est vital que la matrice utilisée corresponde au bon radionucléide.

Mesure quotidienne de la sensibilité de la gamma caméra

Un moyen pratique de mesurer la sensibilité consiste à enregistrer la durée nécessaire pour acquérir l'image d'une source plane homogène d'activité connue. D'un jour à l'autre, les variations ne doivent pas excéder quelques pour cent.

Evaluation hebdomadaire de la linéarité et de la résolution

La linéarité et la résolution doivent être évaluées chaque semaine. Ceci peut être réalisé à l'aide de fantômes de transmission.

Calibration hebdomadaire du centre de rotation

La mesure du centre de rotation permet de mettre en évidence le décalage éventuel entre l'axe de rotation de la caméra et le centre de la matrice utilisée pour la reconstruction car ils ne correspondent pas automatiquement.

La calibration du centre de rotation est réalisée à partir de la reconstruction de acquisition tomographique d'une source ponctuelle placée en léger décalage par rapport au centre mécanique de rotation de la caméra. Un sinogramme est construit à partir des projections et est utilisé pour faire figurer le maximum d'emplacements de comptage sur une onde sinusoïdale. Les écarts entre les courbes réelles et les courbes ajustées ne doivent pas dépasser 0,5 pixel.

Collimateur

Pour un examen donné, le choix d'un collimateur est principalement déterminé par l'activité du traceur. Ce choix influencera le bruit statistique des images de projection donc le contraste et la résolution spatiale. Le nombre de coups doit être maximisé, éventuellement aux dépens d'une partie de la résolution, en tenant compte du fait qu'en imagerie parathyroïdienne, la différence d'activité entre le $^{99m}\text{TcO}_4$ (thyroïde uniquement) et tout radiopharmaceutique marqué au ^{99m}Tc (thyroïde et parathyroïde) doit être significative.

Les collimateurs diffèrent en termes de longueur et de largeur des trous qui les caractérisent. Plus long est le trou, meilleure est la résolution spatiale mais au détriment de la sensibilité. A l'inverse, un trou plus large et/ou plus court offrira une meilleure sensibilité mais une perte de résolution spatiale.

Lorsqu'on utilise le ^{201}Tl , la sensibilité de comptage est réduite du fait de la longueur de la demi-vie du traceur qui limite l'activité utilisée. Ainsi, on conseille le plus souvent d'utiliser un collimateur basse énergie - usage général (GP). Pour l'imagerie au ^{99m}Tc , la sensibilité ne constitue plus une limite majeure et de plus, la résolution d'un collimateur haute résolution (HR) diminue moins avec la distance à la source qu'avec un collimateur usage général (GP). Ainsi, un collimateur HR est actuellement préconisé pour la TEMP, en dépit de sensibilité réduite.

Bien que le choix du collimateur soit important, il ne faut pas oublier que les autres aspects techniques (matrice, nombre de projections, durée de projection...) jouent également un rôle majeur dans la détermination de la résolution spatiale optimale.

Matrice et zoom

Les images tomographiques créent des séries de données brutes, chacune contenant la représentation des données d'une projection. Chacune de ces séries est stockée dans l'ordinateur pour être traitée ultérieurement et en extraire les informations.

Matrice

Chaque projection est recueillie dans une matrice. Celle-ci est caractérisée par un nombre de pixels. Les pixels sont carrés et généralement disposés en grilles de 64 x 64, 128 x 128 ou 256 x 256.

En fait, le choix de la matrice dépend de deux facteurs :

a) La résolution spatiale : la matrice choisie ne doit pas réduire la résolution intrinsèque de l'objet. La règle généralement acceptée pour la TEMP (Groch et Erwin, 2000) est que la taille du pixel doit représenter le tiers de la largeur totale à mi-hauteur du pic de résolution de l'organe, laquelle dépendra de la distance de la tête de caméra. La résolution spatiale d'un système TEMP est de l'ordre de 18-25 mm au niveau du centre de rotation (De Puey et al. 2001). Aussi

une taille de pixel de 6-8 mm est suffisante ce qui, pour une caméra grand champ classique, conduit à utiliser une matrice 64 x 64.

b) Le bruit statistique : il est provoqué par des fluctuations statistiques de la désintégration radioactive. Plus le nombre total d'impulsions est faible, plus le bruit relatif est grand et si on double la taille de la matrice (128 au lieu de 64), le nombre de coups par pixel est réduit d'un facteur 4. Les matrices 128 x 128 ont environ trois fois plus de bruit sur l'image après reconstruction que les matrices de 64 x 64 (Garcia et al. 1990).

Les images planaires ne posent pas de problème de reconstruction et peuvent être enregistrées sur des durées plus longues, de sorte qu'une matrice 256 x 256 est couramment utilisée.

Zoom

La taille du pixel dépend du champ de détection de la caméra (FOV). Quand on utilise un zoom de 1, la taille du pixel (mm) correspond au champ utile (UFOV, mm) divisé par le nombre de pixels contenus sur une ligne. Lorsqu'on utilise un zoom, le nombre de pixels par ligne doit d'abord être multiplié par ce facteur avant de diviser le champ utile.

Exemple :

Acquisition avec une matrice 128X128, un zoom de 1,0 et un UFOV de 400 mm ; Taille du pixel = $400/128 = 3,125$ mm.

La même acquisition avec un zoom de 1,5 :
Taille du pixel = $400 / (1,5 \times 128) = 2,08 \text{ mm}$.

Il est important de vérifier ce paramètre avant l'acquisition, car il est très souvent utilisé dans l'imagerie parathyroïdienne, en particulier si on utilise une technique de soustraction.

Choix de l'orbite

En TEMP, on peut utiliser soit des orbites circulaires, soit des orbites elliptiques (Fig.1). Une orbite circulaire (Fig.1a) est définie par une distance fixe de l'axe de rotation au centre de la surface de la caméra pour toutes les incidences. Les orbites elliptiques (Fig.1b) suivent le contour du corps de façon plus étroite.

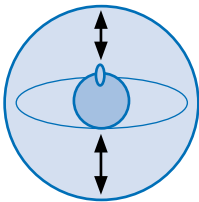


Figure 1a

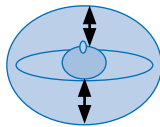


Figure 1b

Figure 1a Orbite circulaire

Figure 1b Orbite elliptique

Avec une orbite circulaire, sur certaines incidences la caméra est loin du corps ce qui provoque une réduction de la résolution spatiale. La résolution des images reconstruites est également réduite.

Avec une orbite elliptique, la caméra passe plus près du corps sur toutes les incidences ce qui permet d'améliorer la résolution spatiale. Néanmoins, la distance entre l'organe et le détecteur varie davantage avec une orbite elliptique qu'avec une orbite circulaire. Ce qui peut générer des artefacts lors d'une reconstruction par rétroprojection filtrée.

Il existe des programmes d'acquisition en mode « contour » qui permettent d'améliorer la résolution mais aux dépens de la puissance de calcul consacrée à modifier les données avant reconstruction.

La perte de résolution spatiale sur une orbite circulaire doit être distinguée des artefacts susceptibles d'être générés par une orbite elliptique ou qui suit les contours du corps.

Reconstruction d'images par rétroprojection filtrée : quelques considérations

En Médecine Nucléaire, le principal objectif des procédures d'imagerie parathyroïdienne est d'identifier le site de production de la parathormone, en général un adénome parathyroïdien unique. Toutefois, les adénomes parathyroïdiens peuvent être localisés dans divers endroits : le long, à côté ou au sein de la thyroïde ; ou dans des régions anatomiques distantes de la thyroïde, telles qu'en situation haute ou basse dans le cou ou le médiastin. La diversité de ces situations anatomiques fait de la TEMP un outil utile pour l'imagerie parathyroïdienne.

En outre, les adénomes parathyroïdiens sont de petites structures, dont la fixation accrue est souvent proche d'une activité thyroïdienne normale. Lors d'une reconstruction par rétro-projection filtrée, le choix du filtre le plus adapté est crucial (Pires Jorge et al. 1998).

En TEMP, un filtre est un algorithme de traitement des données qui rehausse les informations contenues dans l'image sans créer d'artéfact ni perdre d'information. Il est censé fournir des résultats permettant d'établir un bon diagnostic. Un filtrage incorrect peut avoir des effets indésirables en réduisant la résolution spatiale ou en diminuant le contraste par augmentation du bruit.

Un filtre fréquentiel opère dans le domaine de fréquence-amplitude, obtenu à partir du domaine spatial par une transformée de Fourier. Il peut supprimer des fréquences, augmenter ou réduire des amplitudes... Dans le domaine spatial, les données d'images obtenues peuvent être exprimées par les profils de n'importe quelle rangée ou colonne de la matrice, montrant la distribution de l'activité (des coups) en fonction de la distance (situation des pixels). La méthode de Fourier présume que ce profil est la somme de plusieurs fonctions sinus et cosinus de différentes amplitudes et de différentes fréquences. La transformée de Fourier de la distribution de l'activité d'un profil donné est une fonction dans laquelle l'amplitude des fonctions sinus ou cosinus est tracée sur une courbe versus la fréquence correspondante.

Cette représentation est également appelée le domaine fréquence – amplitude de l'image.

Dans les données d'entrée, la fréquence la plus élevée susceptible d'être mesurée est appelée « fréquence de Nyquist », laquelle est déterminée par la taille de la matrice ainsi que par celle du détecteur de scintillation. Elle est exprimée par la formule : $f_n = 1/(2xd)$, où f_n est la fréquence de Nyquist et d la taille du pixel d'acquisition. Par exemple, lorsqu'on utilise une matrice de 64×64 avec une gamma caméra ayant un champ utile de 41 cm, la taille du pixel (d) est de 0,64 cm. La fréquence de Nyquist est alors de 0,78. Ceci signifie que les données d'entrée pour lesquelles la fréquence est supérieure à 0,78 ne peuvent pas être mesurées.

Les données d'entrée tracées sur une courbe dans le domaine fréquence-amplitude de l'image représentent trois composantes qui se chevauchent partiellement : le fond de faible fréquence ; les données utiles ou cibles ; et le bruit de fréquence élevée. Ici, le fond ne correspond pas au rayonnement naturel environnant moyen ni à l'activité non tissulaire environnante, mais plutôt aux ondes de basse fréquence générées par le processus de reconstruction, tel que le célèbre « artéfact stellaire » qui apparaît dans une rétroprojection non filtrée. Le bruit de haute fréquence est lié au fond et au rayonnement diffus ou aux fluctuations statistiques du nombre de coups lors d'une acquisition TEMP, ce qui peut induire des distorsions d'images.

En général, la rétroprojection filtrée TEMP couple un filtre rampe à une fenêtre de pondération (ex : fenêtres de Hann, de Hamming, de Parzen...). Le filtre rampe élimine une portion importante du bruit indésirable de faible fréquence mais il amplifie la contribution à l'image du bruit de haute fréquence. C'est la raison pour laquelle il est recommandé de le coupler à un filtre supplémentaire (une fenêtre de pondération) afin de lisser une image là où certains détails pourraient apparaître très bruités. Chaque fenêtre possède un coefficient de pondération (force de filtrage) ajustable. Le degré de lissage pour chaque filtre supplémentaire est sous le contrôle de l'utilisateur, qui doit décider de la fréquence de coupure à laquelle le filtre sera appliqué. La fréquence de coupure est la valeur de la fréquence définissant la fréquence maximale admissible (susceptible de contenir des données utiles) tout en ignorant le bruit de fréquence plus élevée. A l'évidence, la valeur maximale de la fréquence de coupure pour un filtre supplémentaire donné est la fréquence de Nyquist.

bien qu'un certain degré de bruit (de haute fréquence) doit être toléré en raison du faible lissage de l'image.

Les adénomes parathyroïdiens apparaissant sous forme de petits points chauds, souvent au sein d'une activité thyroïdienne normale, le filtre le mieux adapté est de type passe-haut, avec une valeur de fréquence de coupure proche de la fréquence de Nyquist. Un filtre passe-haut accentue les détails du signal mais renforce aussi le bruit. Il sera appliqué afin d'éliminer les composantes de basse fréquence du bruit et de conserver les données cibles,

Préparation du patient

Audrey Taylor et Nish Fernando

Identification du patient

Afin de minimiser le risque d'erreur d'administration :

- L'identité complète du patient et tout autre renseignement pertinent doivent être établis avant toute administration de médicament ou de radiopharmaceutique
- Ces données doivent corroborer les informations fournies par la demande d'examen diagnostique

Si les informations fournies par la demande d'examen ne correspondent pas à celles obtenues par la procédure d'identification, le médicament ou le radiopharmaceutique ne doit pas être administré au patient. Ceci doit lui être expliqué et une clarification doit être recherchée dans les plus brefs délais en contactant le service d'origine.

Le patient/parent/tuteur/accompagnant doit se voir demander les informations suivantes, lesquelles doivent ensuite être comparées à la demande d'examen et à un éventuel bracelet d'identification s'il s'agit d'un patient hospitalisé :

- Nom et prénom (au besoin vérifier l'orthographe ex : Marie-Lise ou Marylise)
- Date de naissance
- Adresse

- Existence d'allergie(s) connue(s) ou de réaction(s) antérieure(s) à un médicament, un radiopharmaceutique, un produit de contraste iodé ou autre (bandes micro-pore, pansements...)

Au moins **DEUX** réponses concordantes doivent être obtenues et leur exactitude confirmée.

Si nécessaire, les informations suivantes doivent être vérifiées auprès du patient/parent/tuteur/accompagnant le cas échéant :

- Clinicien, Médecin généraliste, service/hôpital ayant adressé le patient
- Toute information clinique pertinente et utile
- Confirmation que le patient a observé les restrictions alimentaires et/ou médicamenteuses
- Confirmation que les résultats d'imagerie corrélative (échocardiographie, angiographie etc...) sont disponibles avant l'examen et consignation de toute intervention récente

En cas de doute, ne pas administrer le radiopharmaceutique ou le médicament avant d'avoir clarifié la situation.

Groupes de patients particuliers

Ceci n'est qu'un guide. Les patients incapables de s'identifier eux-mêmes, quelle(s) que soit(ent) la (les) raison(s) doivent porter un bracelet d'identification.

- Troubles auditifs : écrire les questions et demander aux patients de répondre oralement ou par écrit.
- Difficultés d'élocution : demander aux patients d'écrire leur nom, leur date de naissance et leur adresse et tout autre détail utile.
- Problème de langue : si personne n'est en mesure de traduire les questions/réponses, l'examen doit être reporté à un moment où un membre de l'équipe ou un parent parlant la langue ou un interprète sera disponible.
- Patient inconscient ou confus : s'il s'agit d'un patient hospitalisé, vérifier son nom exact et sa date de naissance sur un éventuel bracelet d'identification. En l'absence de bracelet, faire confirmer son identité par un soignant de son service d'origine. S'il s'agit d'un patient externe, demander à la personne qui l'accompagne de confirmer les éléments d'identification.

Si un parent, un ami ou un interprète fournit des informations relatives à l'identité du patient, à sa date de naissance etc..., il est

conseillé de lui faire signer un formulaire tenant lieu de confirmation écrite de ces informations.

Grossesse

Les patientes en âge de procréer doivent signaler une éventuelle grossesse à l'aide d'un formulaire semblable à celui présenté ci-dessous.

EXEMPLE DE QUESTIONNAIRE DESTINE A L'ENSEMBLE DES PATIENTES EN AGE DE PROCREER (ayant entre 12 et 55 ans)

Nous avons l'obligation légale (Décret 2003-270 du 24 mars 2003) de demander aux femmes en âge de procréer qui doivent passer un examen de Médecine Nucléaire si elles sont susceptibles d'être enceintes ou si elles allaitent. Avant votre examen, merci de cocher les case appropriées et de répondre aux questions suivantes afin de nous permettre de nous conformer à la réglementation.

Nom de la patiente :Date de naissance :

1. Etes-vous réglée ?

Oui Quelle est la date de vos dernières règles ?

Non Veuillez signer au bas de la page et nous pourrons réaliser votre examen

OU Etes-vous ménopausée / avez-vous subi une hystérectomie ?

Oui Veuillez signer au bas de la page et nous pourrons réaliser votre examen

Non Quelle est la date de vos dernières règles ?

2. Existe-t-il une possibilité que vous soyez enceinte ?

Oui Nous devons discuter avec vous de votre examen avant de poursuivre

Pas sure Nous devons discuter avec vous de votre examen avant de poursuivre.

Non Veuillez signer au bas de la page avant de procéder à l'examen.

3. Etes-vous en période d'allaitement ?

Oui Nous devons discuter avec vous de votre examen avant de poursuivre

Non Veuillez signer au bas de la page l'examen et nous pourrons réaliser votre examen

EANM

Je déclare avoir lu et compris les questions ci-dessus. Je confirme que je ne suis pas enceinte ou en période d'allaitement et que je suis parfaitement consciente du fait que les radiations ionisantes peuvent être nocives pour un futur bébé.

Signature : _____ Date : _____

(Patiente)

Pour toutes les patientes âgées de moins de 16 ans

Je déclare avoir lu et compris les questions ci-dessus et je confirme que la patiente susnommée n'est pas enceinte ni en période d'allaitement

Signature : _____ Date : _____

Parent Responsable légal (cocher la case appropriée)

CE FORMULAIRE SERA VERIFIE/DISCUTE AVANT DE COMMENCER L'EXAMEN

La personne qui administre le radiopharmaceutique doit conseiller au patient de réduire au minimum les contacts avec les femmes enceintes et les enfants.

Préparation d'un patient pour une scintigraphie parathyroïdienne

- Si possible et sous contrôle du médecin

référént, le patient doit interrompre tout traitement de la thyroïde 4 à 6 semaines avant la scintigraphie.

- Etablir l'absence de saturation iodée : vérifier que le patient n'a pas bénéficié d'un examen nécessitant l'injection d'un produit de contraste iodé au cours des six derniè-

res semaines (TDM, UIV etc.). Un délai de 6 semaines doit séparer ces procédures de la scintigraphie thyroïdienne.

- Les médicaments contenant de l'iode peuvent devoir être arrêtés et le médecin référent doit être consulté. Ces médicaments comportent : le propylthiouracil, le méprobamate, le phénylbutazone, les sulfamides, les corticoïdes, l'ACTH, le perchlorate, les antihistaminiques, l'entérovioline, les iodures, le Lugol, les préparations de vitamines, les onguents contenant de l'iode et l'amiodarone.
- Avant la prescription du radiopharmaceutique, vérifier que le patient n'a pas bénéficié d'une thyroïdectomie totale. Si c'est le cas, la technique de soustraction ne pourra pas être utilisée et une scintigraphie au ^{99m}Tc -sestamibi en double phase doit être envisagée.
- Demander au patient s'il présente des troubles thyroïdiens tels qu'une hyperthyroïdie, une hypothyroïdie, des nodules thyroïdiens ou un goître. Ces pathologies peuvent augmenter les cas de fixation faussement positive du ^{99m}Tc -sestamibi et affecter également la fixation d' ^{123}I -iodure de sodium. En cas d'hyperthyroïdie, ne pas appliquer de technique de soustraction mais envisager la réalisation d'une scintigraphie au ^{99m}Tc -sestamibi en double phase.
- Demander au patient s'il est capable de rester allongé sur le dos pendant toute la durée de l'examen et s'il est claustrophobe. Une autre technique d'imagerie devra être envisagée s'il ne peut pas rester allongé pendant toute la durée de l'examen que ce soit par manque de confort ou en raison de son anxiété.
- Bien que l' ^{123}I -iodure de sodium contienne peu d'iode sans entraîneur, il est important de vérifier auprès du patient ses éventuels antécédents de réactions indésirables à l'iode sous forme de produit de contraste ou de médicament en contenant. Si tel est le cas, demander l'avis du médecin.

Les protocoles d'imagerie

Nish Fernando et Sue Huggett

Les protocoles d'imagerie utilisés présentent de nombreuses variantes. Pour les examens en double isotope dans lesquels les images sont acquises de manière séquentielle, le second radionucléide étant injecté après la première série d'images, une attention particulière doit être portée au temps nécessaire à la fixation et au phénomène de diffusion lié au radionucléide de plus haute énergie, lorsqu'il faut déterminer quel traceur utiliser en premier. Bien entendu, l'imagerie simultanée, bien qu'affectée par la diffusion, évite les problèmes d'enregistrement des images.

Une technique de soustraction et une technique de wash-out sont décrites, y compris l'imagerie TEMP, à titre d'exemples uniques. Des explications relatives aux choix sont données afin que des adaptations puissent être réalisées en toute connaissance de leurs effets.

La TEMP/TDM a été proposée comme technique permettant d'augmenter la sensibilité de détection (Gayed et al. 2005) mais dépasse le champ de cette brochure.

Double traceur : soustraction ^{123}I / $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi

- Expliquer clairement la procédure au patient en insistant sur l'importance de rester immobile tout au long de l'acquisition.
- Assurer un bon accès veineux. Un cathéter muni d'un robinet trois voies placé dans une veine du bras ou sur le dos de la main est plus pratique qu'une épicroténienne, les veines se collant plus fréquemment autour d'une épicroténienne que d'un cathéter en plastique. Par ailleurs, le patient dispose d'une plus grande liberté de mouvement avec un cathéter.
- Injecter ^{123}I (7,4 à 12 MBq) et rincer avec 10 mL de sérum physiologique. La mise en place d'un pansement au niveau du cathéter le protégera pendant la période d'attente.
- 40 min après l'injection de ^{123}I , demander au patient de vider sa vessie. Vérifier qu'il a bien compris la procédure. Insister une fois de plus sur l'importance de rester immobile.
- 50 min après l'injection de ^{123}I , installer le patient en décubitus dorsal sur la table d'examen. Vérifier que la nuque est en extension en positionnant les épaules sur un oreiller. Utiliser des sacs de sable et éventuellement une bande de contention pour immobiliser la tête et le cou. Vérifier que le patient est installé confortablement. Un oreiller placé sous les genoux peut réduire l'inconfort au niveau du dos.
- Positionner le patient de manière à ce qu'une vue antérieure de la thyroïde et du médiastin puisse être obtenue, permettant à tout tissu ectopique d'être inclus dans le champ. Placer le bras porteur de la voie d'abord sur un support. Vérifier la perméabi-

lité du cathéter en le rinçant avec du sérum physiologique. Repositionner le cathéter si la veine s'est collabée.

- Débuter l'examen 60 min après l'injection d' ^{123}I , en utilisant une acquisition dynamique en double isotope sans chevauchement des fenêtres du $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (-10 % à + 5 % autour du pic à 140 keV) et de ^{123}I (-5 % à +10 % autour du pic à 159 keV).
- Acquérir des images de 2 min pendant 20 min en utilisant un zoom de 4,0 et une matrice 128x128. Une correction de mouvement - sous réserve qu'elle soit dans la direction x ou y - pouvant être appliquée aux images, une acquisition dynamique est préférable à une acquisition statique. Le zoom large est choisi pour augmenter la résolution spatiale. Toutefois, il augmentera le bruit de fond et le temps d'acquisition devra être suffisant pour compenser ce phénomène.
- Des images en ^{123}I seul doivent être acquises durant 10 min. Outre leur rôle essentiel pour le traitement, ces images peuvent être utiles en terme de réduction du nombre de faux positifs liés à une pathologie thyroïdienne.
- Entre la 11^{ème} et la 12^{ème} minute et sans faire bouger le patient, injecter le $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi (10 MBq/kg) et rincer avec 10 mL de sérum physiologique. Poursuivre l'acquisition pendant 30 min (60 images de 30 s).
- Un zoom large ayant été utilisé, il est recommandé de réaliser une image sans zoom à la fin de l'acquisition dynamique, de manière à inclure les glandes salivaires et le cœur. Ceci garantira la visualisation de toute glande parathyroïde ectopique susceptible d'être située dans la région de l'image non zoomée. Acquérir cette image avec les mêmes paramètres spectrométriques pendant 300 s avec une matrice 256x256.

Traitement des images

Afin de déceler une fixation accrue du $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi au niveau des tissus thyroïdiens, il faut soustraire l'image à ^{123}I de l'image au $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi.

Le protocole spécifique de l'ordinateur variera d'un service à l'autre et même d'un type de caméra à l'autre. Néanmoins, tous les protocoles suivent les mêmes étapes fondamentales.

Correction de mouvement

Les images ayant été acquises simultanément, il ne sera pas nécessaire de faire correspondre les positions en les déplaçant, mais elles devront être vérifiées en terme de mouvement et tout algorithme de correction devra être appliqué avant de commencer. Ce qui peut s'avérer aussi simple que de vérifier l'ensemble des images et de rejeter toutes celles qui sont floues avant de les sommer.

En revanche, ça ne servira à rien si le patient n'a pas simplement toussé ou avalé sa salive

avant de revenir à sa position initiale mais s'il a changé de position. Dans ce cas, on pourra peut-être sauver l'examen en replaçant les images suivantes par rapport à un point standard quelconque (parfois le pixel le plus chaud) ou même à l'œil nu.

La soustraction

Les deux séries d'images - corrigées si nécessaire - sont sommées en une image au ^{99m}Tc et une image à ^{123}I .

Comme il y aura plus de coups au niveau de la thyroïde sur l'image à ^{123}I , il faudra la faire correspondre à l'image au ^{99m}Tc avant la soustraction et appliquer un facteur de proportionnalité afin que le nombre de coups contenus dans les images de soustraction soit réduit d'autant, pixel par pixel.

La technique la plus simple consiste à réduire l'image à soustraire à 30 %, 40 %, 50 %, 60 % et 70 % de ses valeurs d'origine et à soustraire tour à tour ces images de l'image au ^{99m}Tc -sestamibi. Celle donnant le meilleur résultat à l'œil nu en terme d'élimination du tissu thyroïdien sera alors sélectionnée.

Un système plus automatisé dessinera une région d'intérêt autour de la thyroïde normale sur l'image à ^{123}I en permettant à l'opérateur de choisir la ligne de contour qui représente le mieux ses bords. Le taux de comptage de cette région est ensuite comparé au taux de comptage de la même région sur l'image au

^{99m}Tc . Le facteur de proportionnalité est calculé à partir du rapport de ces deux valeurs. Cette image corrigée est ensuite soustraite de l'image au ^{99m}Tc et les résultats affichés comme une nouvelle image. Là encore, deux ou trois options sont en général proposées à l'opérateur pour qu'il choisisse le meilleur résultat.

Imagerie TEMP

Une imagerie TEMP complémentaire augmente la sensibilité et procure un repérage anatomique plus précis. L'acquisition d'images TEMP précoces et tardives peut constituer un plus aussi bien pour la méthode en double phase au ^{99m}Tc -sestamibi que pour la méthode de soustraction à double isotope $^{123}\text{I}/^{99m}\text{Tc}$ -sestamibi.

- Les images précoces doivent être enregistrées 10 à 30 min après l'injection du ^{99m}Tc -sestamibi et les tardives environ 3 heures après l'injection.
- La caméra est réglée à la fois sur le pic du ^{99m}Tc et celui de ^{123}I comme précédemment.
- Une acquisition sur 180° optimise la durée tout en couvrant la zone d'intérêt, et l'atténuation n'est pas un problème pour des organes si proches de la surface du corps.
- L'acquisition doit débiter avec la tête de caméra à 270° , se poursuivre par une rotation dans le sens des aiguilles d'une montre et s'arrêter à 90° .

- Si l'acquisition est réalisée sur une caméra à double tête, une tomographie en L sur 90° sera utile et le taux de comptage sera plus élevé du fait de l'utilisation des deux têtes pour l'acquisition.
- La délimitation des contours peut être utilisée si cette fonction est disponible mais le patient doit être prévenu que la caméra se rapprochera en cours d'acquisition.
- Vérifier que le zoom choisi permet une couverture adéquate du médiastin de manière à localiser toute glande ectopique qui s'y trouverait.
- Un zoom de 2 garantira une meilleure résolution spatiale que l'absence de zoom tout en permettant une couverture suffisante du médiastin.
- L'utilisation d'une matrice 64x64 est suffisante pour la résolution prévue et permettra d'optimiser le nombre de coups par pixel et de réduire le bruit de fond.
- 30 images de 60 s sont généralement bien supportées par le patient et permettent d'avoir un meilleur taux de comptage.
- Pour les images tardives, une augmentation de la durée à 90 s par projection permettra de restaurer le nombre total de coups.

Traitement des images

- Les données peuvent être reconstruites en utilisant la méthode de rétroprojection filtrée ou par reconstruction itérative. Des stries artéfactuelles peuvent être observées au niveau des données reconstruites par rétroprojection filtrée alors qu'elles sont absentes dans la méthode itérative.
- Les données brutes peuvent être visualisées sous forme d'images en rotation et les limites de la région à reconstruire peuvent être choisies.
- La région doit s'étendre des glandes parathyroïdes jusqu'au médiastin afin de localiser d'éventuels tissus ectopiques.
- Le programme de reconstruction, avec les filtres choisis, est mis en route.
- Une fois la reconstruction terminée, les images sont visualisées dans les plans transverse, coronaire et sagittal.
- Les séries de données peuvent être visualisées soit sous forme d'affichage en 3 dimensions soit sous forme de coupes tomographiques.

Double phase : Technique de wash-out (clairance) du ^{99m}Tc -sestamibi

Si le ^{99m}Tc -sestamibi est utilisé seul, les deux séries d'images - précoce et tardive - sont analysées visuellement.

Une dose de 740 MBq (10 MBq/kg) de ^{99m}Tc -sestamibi est injectée selon les mêmes protocoles de préparation du patient que précédemment et l'acquisition des images est réalisée à 10 min et 2 à 3 h après l'injection.

- Des vues obliques antérieures droite et gauche peuvent être réalisées si nécessaire.
 - Une TEMP peut également être utilisée avec cette technique.
- Tous les films doivent être correctement annotés (Gauche, Droite, repères anatomiques) et étiquetés.
- La caméra est réglée sur le photopic du ^{99m}Tc et on peut utiliser un collimateur basse énergie-haute résolution puisque l'acquisition peut être réalisée sur une durée suffisante pour éviter les problèmes liés au bruit de fond et des collimateurs sténopés (pin-hole) sont utilisés dans certains services. Un zoom peut être utilisé mais penser à d'éventuels tissus ectopiques.
 - Des incidences centrées sur le cou et le médiastin sont réalisées en installant le patient comme précédemment. Là encore, une seule vue de 600 s peut être enregistrée ou une série de 10 images de 60 s qui donnera la possibilité de corriger les artefacts de mouvement.
 - Les mêmes paramètres d'acquisition et de positionnement doivent être utilisés pour les vues précoces et les vues tardives.

Aspects techniques de la chirurgie radioguidée des adénomes parathyroïdiens

Domenico Rubello

L'exploration cervicale bilatérale (ECB) représente toujours la technique de référence en matière d'approche de l'hyperparathyroïdie primitive (HPTp). Cependant, la prise en charge chirurgicale des patients atteints d'HPTp a évolué de manière significative dans de nombreux services aux cours des dix dernières années avec la mise au point de la parathyroïdectomie faiblement invasive, qui fait appel à la chirurgie endoscopique ou chirurgie radioguidée. Il y a deux raisons principales à ce progrès : (a) la prise de conscience que l'HPTp est due à un adénome parathyroïdien unique chez la majorité des patients (au moins 85%), et (b) les améliorations techniques introduites dans la pratique chirurgicale avec la disponibilité des instruments de microchirurgie, des endoscopes, des dosages peropératoires de la parathormone rapide (PTHrP) et des sondes gamma.

De nouvelles approches de la parathyroïdectomie faiblement invasive, consistant à réséquer un adénome parathyroïdien unique en faisant une petite incision cutanée de 1 à 2 cm, ont été largement adoptées. Naturellement, contrairement à l'ECB, la parathyroïdectomie faiblement invasive nécessite toujours des images préopératoires précises afin (a) d'établir que l'adénome parathyroïdien est bien unique et (b) de localiser précisément la glande hypertrophiée. Ce chapitre se focalise principalement sur les aspects techniques de la chirurgie radioguidée faiblement invasive (CRFI). Par ailleurs, la CRFI développée dans

notre établissement est basée sur l'injection d'une très faible dose de ^{99m}Tc -sestamibi (37 MBq) alors que CRFI classique utilise une dose plus élevée (740-925 MBq).

Critères de sélection pour proposer une CRFI

Lorsqu'une CRFI est programmée (au lieu d'une ECB), des critères d'inclusion stricts doivent être remplis : (a) preuve par la scintigraphie au ^{99m}Tc -sestamibi que l'adénome parathyroïdien est unique ; (b) hyperfixation du ^{99m}Tc -sestamibi par l'adénome parathyroïdien ; (c) absence de nodules thyroïdiens concomitants à la scintigraphie au ^{99m}Tc -sestamibi et à l'échographie cervicale de haute résolution (10 MHz) ; (d) pas d'antécédent d'HPT familiale ou de néoplasie endocrinienne multiple ; et (e) absence d'antécédent d'irradiation du cou. A noter que les antécédents de chirurgie thyroïdienne ou parathyroïdienne ne constituent pas une contre-indication à la CRFI. Lorsque ces critères d'inclusion sont remplis, environ 60 à 70 % des patients atteints d'HPTp peuvent se voir proposer le CRFI. La principale cause d'exclusion est la présence de nodules thyroïdiens qui fixent le ^{99m}Tc -sestamibi et qui, en faisant penser à un adénome parathyroïdien, peuvent être à l'origine de faux positifs pendant la chirurgie. La Figure 1 montre un patient pour lequel une CRFI est programmée, alors que le patient de la Figure 2 en est exclu.

Protocole d'imagerie préopératoire

Dans notre protocole, les procédures d'ima-

gerie pré-opératoire comprennent, dans la même séance, une scintigraphie au ^{99m}Tc -sestamibi et une échographie cervicale (Norman et Chheda 1997 ; Costello et Norman 1999 ; Mariani et al. 2003 ; Rubello et al. 2000). Chez les patients présentant des résultats concordants - tous deux positifs ou négatifs - aucune image complémentaire n'est demandée, alors qu'en cas de discordance - ^{99m}Tc -sestamibi positif et échographie négative - on réalise une TEMP à la recherche d'un éventuel adénome parathyroïdien ectopique ou profondément situé. La TEMP est enchaînée à la scintigraphie planaire au ^{99m}Tc -sestamibi, en utilisant la même dose de radiotracteur ; de cette manière, il est inutile de réinjecter du ^{99m}Tc -sestamibi, ce qui permet de limiter la dose au patient comme celle du personnel. Dans d'autres services, la scintigraphie pré-opératoire au ^{99m}Tc -sestamibi réalisée seule est considérée comme un outil suffisant pour prévoir une CRFI.

Protocole de CRFI peropératoire

Le Tableau 1 montre les étapes du protocole de CRFI utilisé dans notre service.

L'utilisation d'une sonde gamma munie d'un collimateur de diamètre extérieur 11-14 mm est recommandée. Si elle peut être utilisée pour la biopsie d'un ganglion sentinelle, une sonde sans collimateur n'est pas adaptée à la chirurgie parathyroïdienne, du fait de la présence de rayonnement diffusé provenant des structures anatomiques situées à proximité

des parathyroïdes, en particulier la thyroïde. Les sondes utilisant soit un détecteur à scintillation NaI, soit un semi-conducteur, conviennent à la CRFI.

Une période d'apprentissage d'au moins 20 à 30 interventions CRFI est conseillée au chirurgien en endocrinologie. Au cours de ces interventions, la présence d'un médecin nucléaire au bloc opératoire est généralement considérée comme impérative. L'auteur pense que la présence d'un technicien en médecine nucléaire expert dans l'utilisation de la sonde, est très utile pour aider le chirurgien à acquérir les compétences nécessaires à sa bonne utilisation.

La sonde est généralement manipulée par le chirurgien, qui doit mesurer la radioactivité des différents points du champ thyroïdien et du cou en cherchant à localiser, avant de commencer l'intervention, le site dont le taux de comptage est le plus élevé. Ce site devrait en principe correspondre à l'adénome parathyroïdien. Pendant l'intervention, le chirurgien doit mesurer les activités relatives de l'adénome parathyroïdien, de la région thyroïdienne et du bruit de fond. En outre, la vérification du lit parathyroïdien vide après l'exérèse de l'adénome parathyroïdien, est un paramètre très utile pour s'assurer du retrait de la totalité des tissus parathyroïdiens hyperactifs. Il faut effectuer une mesure *ex vivo* de tout le matériel retiré au cours de l'opération afin de vérifier l'exérèse de la totalité de l'adénome parathyroïdien. Le

calcul des rapports tissulaires (parathyroïde/bruit de fond [P/BF], thyroïde/bruit de fond [T/BF], parathyroïde/thyroïde [P/T] et lit parathyroïdien vide/bruit de fond [LP vide/BF]) peut être utile pour évaluer l'efficacité de la CRFI. Les rapports tissulaires obtenus sur une série de 355 patients HPTp opérés dans notre établissement figurent dans le Tableau 2.

Une attention particulière doit être portée afin d'éviter les résultats per-opératoires faussement négatifs, liés à des nodules thyroïdiens fixant le ^{99m}Tc -sestamibi et à la stagnation du radiotracer dans les structures vasculaires du cou et de l'orifice supérieur du thorax. A cet égard, l'acquisition et l'interprétation soigneuses de la scintigraphie préopératoire sont très utiles (impératives selon l'opinion de l'auteur).

Facteurs techniques

Toutes ces mesures doivent être effectuées en coups par seconde. Une fenêtre de 10 % centrée sur le photopic du ^{99m}Tc est généralement utilisée.

Les contrôles de qualité de la sonde doivent être réalisés tous les 3 à 6 mois en incluant : la sensibilité, la résolution spatiale et la linéarité de comptage. C'est une étape importante dans laquelle le technicien en médecine nucléaire peut jouer un rôle essentiel.

Certains auteurs conseillent de réaliser des dosages peropératoires complémentaires

de la PTH afin de déceler une éventuelle hyperplasie glandulaire non connue, alors que d'autres estiment que l'utilisation de la sonde suffit à la réalisation de la CRFI. Lorsqu'on effectue un dosage rapide de la PTH (PTHr), une chute d'au moins 50 % des taux de PTH 10 min après l'exérèse de l'adénome parathyroïdien par rapport à la valeur de base avant exérèse, est en général considérée comme le signe d'une parathyroïdectomie réussie.

Le protocole utilisant une forte dose de ^{99m}Tc -sestamibi sur une journée versus le protocole utilisant une faible dose sur deux jours

Le premier protocole de CRFI a été mis au point par Norman en 1997. L'imagerie et la chirurgie sont réalisées le même jour. Le patient reçoit 740 à 925 MBq de ^{99m}Tc -sestamibi, les images sont réalisées en utilisant la méthode scintigraphique en double phase et la CRFI a lieu dans les 2 à 3 heures qui suivent l'administration du traceur radioactif. Le protocole de Norman est attirant du point de vue économique puisque la scintigraphie au ^{99m}Tc -sestamibi et la CRFI sont réalisées le même jour et qu'une seule dose de traceur permet de réaliser à la fois les images et la chirurgie. En raison de l'incertitude des résultats scintigraphiques et des différences entre la CRFI et l'ECB, ce protocole présente malgré tout certains inconvénients pratiques en termes de temps d'occupation du bloc opératoire (ECB > CRFI) et de programmation efficace des patients.

Il est vraisemblable que ce problème soit plus flagrant dans les régions à forte prévalence de goitre nodulaire, de sorte que l'utilisation d'un protocole sur deux jours est préférable. C'est la technique que nous avons mise au point dans notre établissement. Le premier jour, les images de localisation sont obtenues en réalisant une scintigraphie de soustraction à double traceur ^{99m}Tc -pertechnétate/ ^{99m}Tc -sestamibi, combinée à une échographie cervicale. Le jour de la CRFI, en général dans la semaine qui suit la scintigraphie, une faible dose de 37 MBq de ^{99m}Tc -sestamibi est administrée directement au bloc opératoire, quelques minutes avant l'intervention. Le protocole utilisant une faible dose de ^{99m}Tc -sestamibi présente deux avantages majeurs : (a) une moindre irradiation du patient et du personnel du bloc opératoire (Tableau 3) et (b) moins de résultats faussement négatifs en cas d'adénome parathyroïdien présentant une clairance rapide du ^{99m}Tc -sestamibi.

Néanmoins, de bons résultats ont été rapportés aussi bien avec le protocole de Norman à dose élevée de ^{99m}Tc -sestamibi qu'avec notre protocole à faible dose, avec un taux de succès d'environ 96 à 98 % en terme de détection peropératoire de l'adénome parathyroïdien, sans complication chirurgicale peropératoire majeure. Le protocole de Norman en un seul jour est vraisemblablement préférable chez les patients à faible probabilité de goitre nodulaire alors qu'il est préférable d'utiliser notre protocole sur deux jours dans les régions à

plus forte prévalence de goitre nodulaire.

Quel que soit le protocole utilisé, les principaux avantages de la CRFI par rapport à l'ECB classique peuvent être résumés de la façon suivante : (a) une petite incision cutanée avec de meilleurs résultats esthétiques, (b) une réduction de la durée de l'intervention, (c) la possibilité de réaliser une CRFI sous anesthésie locale, (d) une réduction de la durée d'hospitalisation, (e) la possibilité de quitter l'hôpital le jour même, (f) une surveillance post-opératoire plus courte et (g) un coût plus faible.

Tableau 1.

Etapes de la CRFI (Chirurgie Radioguidée Faiblement Invasive) des adénomes parathyroïdiens selon le protocole utilisant une faible dose de ^{99m}Tc -sestamibi mis au point dans notre établissement

Des prélèvements sanguins sont effectués à partir d'une veine périphérique avant le début de l'intervention et 10 min après le retrait de l'adénome parathyroïdien, afin de mesurer les taux peropératoires de PTHR*.

Une dose de 37 MBq de ^{99m}Tc -sestamibi est injectée au bloc opératoire 10 min avant le début de l'intervention.

Avant l'incision chirurgicale, le cou du patient est balayé par une sonde munie d'un collimateur de 11 mm afin de localiser le site ayant le taux de comptage le plus élevé et correspondant à la projection cutanée de l'adénome parathyroïdien.

Un accès cervical transverse réalisé sur la ligne médiane (environ 1 cm au-dessus du creux sternal) est préféré, la conversion en une ECB* étant facilement obtenue si nécessaire.

Une sonde munie d'un collimateur de 11 mm est insérée de façon répétée à travers une incision cutanée de 2 cm, guidant le chirurgien vers la zone qui compte le plus et qui correspond à l'adénome parathyroïdien.

Chez certains patients présentant un adénome parathyroïdien en situation profonde dans le cou, il faut ligaturer la veine thyroïdienne moyenne et de l'artère thyroïdienne inférieure .

L'activité de l'adénome parathyroïdien, de la glande thyroïde et du bruit de fond est mesurée avec la sonde.

L'activité est mesurée ex-vivo pour confirmer l'exérèse réussie des tissus parathyroïdiens.

L'activité du site d'intervention vide est vérifiée afin de s'assurer du retrait complet des tissus parathyroïdiens.

Les rapports tissulaires sont calculés (P/B*, P/T*, etc...).

PTHR : dosage rapide du taux de Parathormone ; ECB : Exploration cervicale bilatérale; P/B* : rapport parathyroïde/bruit de fond ; P/T* : rapport parathyroïde/thyroïde.

Tableau 2.

Rapports des activités tissulaires détectées par la sonde au cours d'une CRFI pour exérèse d'un adénome parathyroïdien (n = 355 patients HPTp)

Rapport P/B = 1,6-4,8 (moyenne de $2,6 \pm 0,5$)
Rapport P/T = 1,1-2,8 (moyenne $1,5 \pm 0,4$)
Rapport T/B = 1,5-1,8 (moyenne $1,6 \pm 0,1$)
Rapport CPV/B = 0,9-1,1 (moyenne $1,0 \pm 0,03$)
Rapport NT/P = 0,5-1,5 (moyenne $1,0 \pm 0,4$)

P = parathyroïde

T = thyroïde

B = bruit de fond

NT = nodule thyroïdien

CPV= champ parathyroïdien vide

Tableau 3.

Exposition du personnel de bloc opératoire au cours d'une CRFI, avec le protocole à faible dose de ^{99m}Tc -sestamibi (37 MBq) utilisé dans notre établissement

	$\mu\text{Sv}/\text{heure}$	$\mu\text{Sv}/\text{an}^*$
Corps du chirurgien	1,2	120
Mains du chirurgien	5,0	500
Anesthésiste	0,7	70
Infirmière instrumentiste	1,1	110
Autres infirmières	0,1	10

* Estimé pour 100 interventions, d'une durée de 60 min chacune.

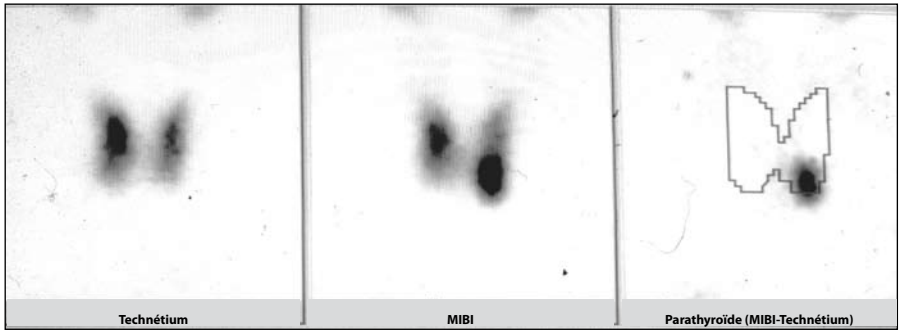


Figure 1. Scintigraphie parathyroïdienne préopératoire de soustraction à double traceur. Image de gauche : la scintigraphie au ^{99m}Tc -pertechnétate montre une glande thyroïde normale. Image du milieu : la scintigraphie au ^{99m}Tc -sestamibi montre une hyperfixation du traceur en regard du pôle inférieur du lobe thyroïdien gauche. Image de droite : image de soustraction (^{99m}Tc -sestamibi- ^{99m}Tc -pertechnétate), montrant clairement un adénome parathyroïdien inférieur gauche. Ce patient s'est vu proposer une CRFI.



Figure 2. Scintigraphie parathyroïdienne préopératoire de soustraction à double traceur. Image de gauche : scintigraphie au ^{99m}Tc -pertechnétate montrant un goitre multinodulaire avec quelques nodules hyperfixants (trois au niveau du lobe thyroïdien droit et un au niveau du lobe thyroïdien gauche). Image du milieu : scintigraphie au ^{99m}Tc -sestamibi montrant une image similaire à celle du ^{99m}Tc -pertechnétate plus un foyer additionnel d'hyperfixation du

^{99m}Tc -sestamibi au niveau du pôle supérieur gauche. Image de droite : image de soustraction (^{99m}Tc -sestamibi – ^{99m}Tc -pertechnétate) montrant clairement un adénome parathyroïdien supérieur gauche. Ce patient a été exclu de la CRFI en raison de la coexistence d'un nodule parathyroïdien solitaire et d'un goitre multinodulaire avec plusieurs nodules thyroïdiens fixant le ^{99m}Tc -sestamibi au niveau des deux lobes thyroïdiens.

Références

Chapitre 1

Références

1. Akerström G, Malmaeus J, Bergström R. Surgical anatomy of human parathyroid glands. *Surgery* 1984;95:14–21.
2. Al Zahrani AA, Levine MA. Primary hyperparathyroidism. *Lancet* 1997; 349:1233–1238.
3. Bilezikian JP, Potts JT Jr, Fuleihan Gel-H, Kleerekoper M, Neer R, Peacock M, et al. Summary statement from a workshop on asymptomatic primary hyperparathyroidism: a perspective for the 21st century [review]. *J Clin Endocrinol Metab* 2002;87:5353–5361.
4. Borley NR, Collins REC, O'Doherty M, Coakley A. Technetium 99m-sestamibi parathyroid localization is accurate enough for scan-directed unilateral neck exploration. *Br J Surg* 1996;83:989–991.
5. Coakley AJ, Kettle AG, Wells CP, O'Doherty MJ, Collins REC. 99mTc sestamibi - a new agent for parathyroid imaging. *Nucl Med Commun* 1989;10:791–794.
6. Giordano A, Rubello D, Casara D. New trends in parathyroid scintigraphy [review]. *Eur J Nucl Med* 2001;28:1409–1420.
7. Haber RS, Kim CK, Inabnet WB. Ultrasonography for preoperative localization of enlarged parathyroid glands in primary hyperparathyroidism: comparison with (99m)technetium sestamibi scintigraphy. *Clin Endocrinol (Oxf)* 2002;57:241–249.
8. Heath H, Hodgson SF, Kennedy MA. Primary hyperparathyroidism. Incidence, morbidity, and potential economic impact in a community. *N Engl J Med* 1980;302:189–193.
9. Hindié E, Mellièrè D, Perlemuter L, Jeanguillaume C, Galle P. Primary hyperparathyroidism: Higher success rate of first surgery after preoperative Tc-99m-sestamibi/I-123 subtraction scanning. *Radiology* 1997;204:221–228.
10. Hindié E, Mellièrè D, Jeanguillaume C, Perlemuter L, Galle P. Parathyroid imaging using simultaneous doublewindow recording of Tc-99m-sestamibi and 123I. *J Nucl Med* 1998;39:1100–1105.
11. Hindié E, Ureña P, Jeanguillaume C, Mellièrè D, Berthelot JM, Menoyo-Calonge V, et al. Preoperative imaging of parathyroid glands with technetium-99m-labelled sestamibi and iodine-123 subtraction scanning in secondary hyperparathyroidism. *Lancet* 1999;353:2200–2204.
12. Hindié E, Mellièrè D, Jeanguillaume C, Ureña P, deLabriolle-Vaylet C, Perlemuter L. Unilateral surgery for primary hyperparathyroidism on the basis of technetium Tc 99m sestamibi and iodine 123 subtraction scanning. *Arch Surg* 2000;135:1461–1468.
13. Lee JA, Inabnet WB 3rd. The surgeon's armamentarium to the surgical treatment of primary hyperparathyroidism [review]. *J Surg Oncol* 2005;89:130–135.
14. Levin KE, Clark OH. The reasons for failure in parathyroid operations. *Arch Surg* 1989;124:911–915.
15. Liu RC, Hill ME, Ryan JA Jr. One-gland exploration for mediastinal parathyroid adenomas: cervical and thoracoscopic approaches. *Am J Surg* 2005;189:601–605.
16. Lundgren E, Rastad J, Thurffell E, Akerström G, Ljunghall S. Population-based screening for primary hyperparathyroidism with serum calcium and parathyroid hormone values in menopausal women. *Surgery* 1997; 121:287–294.
17. Martin D, Rosen IB, Ichise M. Evaluation of single isotope technetium-99m-sestamibi in localization efficiency for hyperparathyroidism. *Am J Surg* 1996;172:633–636.
18. Marx SJ, Simonds WF, Agarwal SK, Burns AL, Weinstein LS, Cochran C, et al. Hyperparathyroidism in hereditary syndromes: special expressions and special managements [review]. *J Bone Miner Res* 2002;17 Suppl 2:N37–N43.
19. Molinari AS, Irvin GL 3rd, Deriso GT, Bott L. Incidence of multiglandular disease in primary hyperparathyroidism determined by parathyroid hormone secretion. *Surgery* 1996;120:934–937.
20. Mullan BP. Nuclear medicine imaging of the parathyroid [review]. *Otolaryngol Clin North Am* 2004;37:909–939, xi–xii.
21. Perié S, Fessi H, Tassart M, Younsi N, Poli I, St Guily JL, et al. Usefulness of combination of high-resolution ultrasonography and dual-phase dual-isotope iodine 123/technetium Tc 99m sestamibi scintigraphy for the preoperative localization of hyperplastic parathyroid glands in renal hyperparathyroidism. *Am J Kidney Dis* 2005;45:344–352.

22. Rubello D, Pelizzo MR, Casara D. Nuclear medicine and minimally invasive surgery of parathyroid adenomas: a fair marriage. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2003;30:189–192.

23. Russell CF, Edis AJ. Surgery for hyperparathyroidism: experience with 500 consecutive cases and evaluation of the role of surgery in the asymptomatic patient. *Br J Surg* 1982;69:244–247.

24. Sosa JA, Powe NR, Levine MA, Udelsman R, Zeiger MA. Profile of a clinical practice. Thresholds for surgery and surgical outcomes for patients with primary hyperparathyroidism: a national survey of endocrine surgeons. *J Clin Endocrinol Metab* 1998;83:2658–2665.

25. Taillefer R, Boucher Y, Potvin C, Lambert R. Detection and localization of parathyroid adenomas in patients with hyperparathyroidism using a single radionuclide imaging procedure with technetium-99m-sestamibi (double-phase study). *J Nucl Med* 1992;33:1801–1807.

26. Utiger RD. Treatment of primary hyperparathyroidism [editorial]. *N Engl J Med* 1999; 341:13101–13102.

27. Weber CJ, Vansant J, Alazraki N. Value of technetium 99m sestamibi iodine 123 imaging in reoperative parathyroid surgery. *Surgery* 1993;114:1011–1018.

Chapitre 2

Références

1. Ahuja AT, Wong KT, Ching AS, Fung MK, Lau JY, Yuen EH, et al. Imaging for primary hyperparathyroidism – what beginners should know. *Clin Radiol*. 2004;59:967–976.

2. Beggs AD, Hain SF. Localisation of parathyroid adenomas using 11C-methionine positron emission tomography. *Nucl Med Commun* 2005;26:133–136.

3. Clark PB. Parathyroid scintigraphy: optimizing preoperative localization. *Appl Radiol* 2005;34:24–28.

4. Farley DR. Technetium-99m-methoxyisobutyl isonitri-lescintigraphy: preoperative and intraoperative guidance for primary hyperparathyroidism. *World J Surg* 2004;28:1207– 1211.

5. Kettle A. Parathyroid localisation: utility of diagnostic imaging. Satellite symposium on diagnosis and therapy of hyperparathyroidism. Royal College of Surgeons, London, 2002.

6. Otto D, Boerner AR, Hofmann M, Brunkhorst T, Meyer GJ, Petrich T, et al. Pre-operative localisation of hyperfunctional parathyroid tissue with 11C-methionine PET. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2004;31:1405–1412.

7. Smith JR, Oates K. Radionuclide imaging of the parathyroid glands: patterns, pearls, and pitfalls. *Radiographics* 2004;24:1101–1115.

Pour en savoir plus

1. Administration of Radioactive Substances Advisory Committee. Notes for guidance on the clinical administration of radiopharmaceuticals and use of sealed radioactive sources. 1998

2. Berna L, Sitges-Serra A. Parathyroid scintigraphy with 99mTc sestamibi. *Nucl Med Commun* 2003;24:485–488.

3. Cook GJ, Wong JC, Smellie WJ, Young AE, Maisey MN, Fogelman I. [11C]Methionine positron emission tomography for patients with persistent or recurrent hyperparathyroidism after surgery. *Eur J Endocrinol* 139:195–197.

4. Frydman J, Bianco J, Drezner M, Chen H. Thallium-pertechnetate subtraction scanning in the preoperative localization of an ectopic undescended parathyroid gland. *Clin Nucl Med* 2004;29:542–544.

5. Gayed IW, Kim EE, Broussard WF, Evans D, Lee J, Broemeling LD, et al. The value of 99mTc-sestamibi SPECT/CT over conventional SPECT in the evaluation of parathyroid adenomas or hyperplasia. *J Nucl Med* 2005;46:248–252.

6. Hesslewood S. European system for reporting adverse reactions to and defects in radiopharmaceuticals: annual report 2001. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2003;30: BP87– BP94.

7. International Commission on Radiation Protection. ICRP publication 80. Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals. Addendum 2 to ICRP Publication. Oxford: Pergamon Press, 1998.

8. Nguyen D. Parathyroid imaging with 99mTc-sestamibi planar and SPECT scintigraphy. *Radiographics* 1999;19:601– 614.

9. Ogaard CG, Vestergaard H, Thomsen JB, Jakobsen H, Almdal T, Nielsen SL. Parathyroid scintigraphy during hypocalcaemia in primary hyperparathyroidism. *Clin Physiol Funct Imaging* 2005;25:166–170.

10. Sundin A, Johansson C, Hellman P, Bergstrom M, Ahlstrom H, Jacobson GB, et al. PET and parathyroid L-[carbon-11] methionine accumulation in hyperparathyroidism. *J Nucl Med* 1996;37:1766–1770.

Chapitre 3

Références

1. De Puey EG, Garcia EV, Berman D. *Cardiac Spect imaging*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2001.
2. Garcia EV, Cooke CD, Van Train KF, Folks R, Peifer J, De Puey EG, et al. Technical aspects of myocardial SPECT imaging with technetium-99m sestamibi. *Am J Cardiol* 1990;66:23E–31E.
3. Groch MW, Erwin WD. SPECT in the year 2000: basic principles. *J Nucl Med Technol* 2000;28:233–244.
4. Pires Jorge JA, Verdun FR, Chevalier E, Bischof Delaloye A. Choice of the optimum filter in SPECT imaging. *Eur J Nucl Med* 1998;25:1193.

Pour en savoir plus

1. Cherry SR, Sorenson JA, Phelps ME. *Physics in nuclear medicine*, 3rd edn. Philadelphia: Saunders, 2003.
2. Christian PE, Bernier DR, Langan JK. *Nuclear medicine and PET, technology and techniques*, 5th edn. St. Louis: Mosby, 2004.
3. Early PJ, Bruce D, Sodee MD. *Principles and practice of nuclear medicine*, 2nd edn. St. Louis: Mosby, 1995.
4. English RJ. *SPECT – a primer*. Society of Nuclear Medicine, 1996.

Chapitre 5

Références

1. Gayed IW, Kim EE, Broussard WF, Evans D, Lee J, Broemeling LD, et al. The value of 99mTc-sestamibi SPECT/CT over conventional SPECT in the evaluation of parathyroid adenomas or hyperplasia. *J Nucl Med* 2005;46:248–252. Imaging protocols. Nuclear Medicine Department, St Bartholomew's Hospital, London.
2. Jofre J, Gonzalez P, Assardo T, Zavala A. Optimal imaging time for delayed images in the diagnosis of abnormal parathyroid tissue with Tc-99m sestamibi. *Clin Nucl Med* 1999;24:594–596.

3. O'Doherty M J, Kettle AG. Parathyroid imaging: preoperative localization. *Nucl Med Commun* 2003;24:125–131.

Chapitre 6

Références

1. Costello D, Norman J. Minimally invasive radioguided parathyroidectomy. *Surg Oncol Clin North Am* 1999;8:555–564.
2. Mariani G, Gulec SA, Rubello D, Boni G, Puccini M, Pelizzo MR, et al. Preoperative localization and radioguided parathyroid surgery. *J Nucl Med* 2003;44:1443–1458.
3. Norman J, Chheda H. Minimally invasive parathyroidectomy facilitated by intraoperative nuclear mapping. *Surgery* 1997;122:998–1004.
4. Rubello D, Saladini G, Casara D, Borsato N, Toniato A, Piodto A, et al. Parathyroid imaging with pertechnetate plus perchlorate/MIBI subtraction scintigraphy. A fast and effective technique. *Clin Nucl Med* 2000;25:527–531.

Pour en savoir plus

1. Casara D, Rubello D, Piodto A, Pelizzo MR. 99mTc-MIBI radio-guided minimally invasive parathyroid surgery planned on the basis of a preoperative combined 99m Tc-pertechnetate/99m Tc-MIBI and ultrasound imaging protocol. *Eur J Nucl Med* 2000;27:1300–1304.
2. Casara D, Rubello D, Pelizzo MR, Shapiro B. Clinical role of 99m TcO4/MIBI scan, ultrasound and intra-operative gamma probe in the performance of unilateral and minimally invasive surgery in primary hyperparathyroidism. *Eur J Nucl Med* 2001;28:1351–1359.
3. Rubello D, Pelizzo MR, Casara D. Nuclear medicine and minimally invasive surgery of parathyroid adenomas: a fair marriage [editorial]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2002;30:189–192.
4. Rubello D, Casara D, Pelizzo MR. Symposium on parathyroid localising imaging. Optimization of preoperative procedures. *Nucl Med Commun* 2003;24:133–140.
5. Rubello D, Casara D, Giannini S, Piodto A, De Carlo E, Muzio PC, et al. Importance of radio-guided minimally invasive parathyroidectomy using hand-held gamma probe and low 99mTc-MIBI dose: technical considerations and long-term clinical results. *Q J Nucl Med* 2003;47:129–138.

6. Rubello D, Piotto A, Casara D, Muzzio PC, Shapiro B, Pelizzo MR. Role of gamma probes in performing minimally invasive parathyroidectomy in patients with primary hyperparathyroidism: optimization of preoperative and intraoperative procedures. *Eur J Endocrinol* 2003;149:7–15

7. Rubello D, Casara D, Giannini S, Piotto A, Dalle Carbonare L, Pagetta C, et al. Minimally invasive radioguided parathyroidectomy: an attractive therapeutic option for elderly patients with primary hyperparathyroidism. *Nucl Med Commun* 2004;25:901–908.

8. Rubello D, Pelizzo MR, Boni G, Schiavo R, Vaggelli L, Villa G, Sandrucci S, et al. Radioguided surgery of primary hyperparathyroidism using the low-dose ^{99m}Tc -sestamibi protocol: multiinstitutional experience from the Italian Study Group on Radioguided Surgery and Immunoscintigraphy (GIS-CRIS). *J Nucl Med* 2005;46:220–226.

Impression

Editeur :

European Association of Nuclear Medicine (Association Européenne de Médecine Nucléaire)

Comité des Techniciens et Sous-comité de Formation des Techniciens

Hollandstrasse 14, 1020 Vienne, Autriche

Tél : 00 43-(0)1-212 80 30, Fax : 00 43-(0)1-212 80 309

E-mail : info@eanm.org

Site Web : www.eanm.org

Contenu :

Aucune responsabilité n'est prise concernant l'exactitude de ces informations

Informations valides à la date de préparation : août 2005

Maquette et design :

Grafikstudio Sacher

Hauptstrasse 3/3/10, 3013 Tullnerbach, Autriche

Tél: 00 43-(0)2233-64386, Fax : 00 43-(0)2233-56480

E-mail : studio.sacher@aon.at

Impression :

Colordruck Helminger & Co Ges.m.b.H.

Vogelweiderstraße 116, 5020 Salzburg, Autriche

Tél: 00 43-(0)662/882393, Fax : 00 43-(0)662/88239322

E-mail : hubert.jaud@colordruck.at



Sponsored by

