

Tomodensitométrie

Formation de l'image tomodensitométrique

La radiologie conventionnelle donne de la région explorée une projection plane bidimensionnelle représentant la superposition de l'ensemble des structures traversées par le faisceau de rayons X. Cette superposition de l'ensemble de la projection des structures entraîne évidemment une perte d'informations très importante.

Bien avant la mise au point de la tomodensitométrie (TDM), une technique tomographique avait été proposée (par déplacement concomitant du tube de rayons X et du film radiographique).

La tomodensitométrie réalise une véritable image en coupe, en utilisant un tube à rayons X et un ensemble de détecteurs qui tournent autour du sujet à examiner pour obtenir de multiples profils d'atténuation obtenus à des angles de rotation différents.

Un très puissant système informatique permet de reconstruire les valeurs d'atténuation, voxel par voxel, pour obtenir une image en coupe très fine et contrastée.

Physiquement, le tomodensitomètre est donc constitué d'un ou de plusieurs tubes à rayons X, de détecteurs multiples souvent organisés en plusieurs couronnes et d'un lit d'examen qui se déplace de façon continue pendant la rotation du tube.

A l'origine, le premier scanner, développé au début des années 1970, couplait un tube à rayons X à un détecteur unique et l'exploration comportait une translation puis une rotation.

On a rapidement augmenté le nombre de détecteurs, puis on est passé à un système de rotation unique. Les coupes étaient alors acquises de façon itérative avec déplacements successifs du lit d'examen après chaque coupe. C'est au début des années 1990 qu'est apparue la technique de rotation continue qui permettait une amélioration considérable du temps d'acquisition, le système tubes-détecteurs tournant de façon continue, pendant le déplacement du lit. La dernière innovation a été de multiplier le nombre de détecteurs en réalisant des scanners multibarrettes, chaque barrette comportant l'ensemble des détecteurs, et donc d'acquérir simultanément autant de coupes que de barrettes.

A l'heure actuelle, il existe des appareils contenant jusqu'à 320 barrettes, c'est-à-dire permettant d'obtenir 320 coupes en une seule rotation.

La majorité des scanners actuels contient de 16 à 128 barrettes et permet l'exploration du corps entier en quelques secondes d'acquisition. Ces appareils permettent une acquisition volumique qui ouvre la voie aux techniques de détection automatisée par ordinateur et de post-traitement.

Plus récemment encore sont arrivés des scanners mode biénergie permettant l'acquisition de deux images, à deux tensions différentes.

En fonction de sa densité, chaque pixel est représenté sur l'image par une certaine valeur dans l'échelle des gris. L'échelle de Hounsfield classe les tissus en tenant compte de leur coefficient d'atténuation (densité) dont la limite inférieure est de -1 000 UH (unités Hounsfield), ce qui correspond à l'air, et la limite supérieure à 1 000 UH ou plus, ce qui correspond à la corticale osseuse. Ainsi, les structures peu denses, comme le parenchyme pulmonaire, se situent dans la partie négative de l'échelle (-400 à -800 UH), et la plupart des parenchyms (foie, rate, cerveau) ont des valeurs qui varient entre 20 et 100 UH. Les tissus gras ont une densité négative de l'ordre de -50 à -100 UH. Les structures denses (os et calcification) ont des densités élevées, de plusieurs centaines à plusieurs milliers d'unités Hounsfield.

Ainsi, l'échelle de Hounsfield peut être composée de plusieurs milliers d'unités correspondant à plusieurs milliers de niveaux de gris différents. Malheureusement, l'œil humain n'est capable de distinguer qu'une vingtaine de niveaux de gris.

Autrement dit, si l'échelle de gris était répartie sur l'ensemble de l'échelle de Hounsfield, les tissus mous et notamment les lésions développées au sein d'organes pleins ne seraient pas discernés par l'œil par manque de contraste. C'est la raison pour laquelle en scanner on n'attribue l'échelle de gris qu'à une portion spécifique de l'échelle de Hounsfield afin de pouvoir étudier les tissus souhaités.

Ce processus d'analyse des images est appelé fenêtrage. Le fenêtrage permet d'attribuer l'ensemble de la gamme des niveaux de gris à la région d'intérêt. Une fenêtre d'examen est déterminée par son niveau, qui définit le centre de la fenêtre, et par sa largeur, qui détermine l'ensemble des structures de densités différentes que l'on peut

étudier. On le voit sur la coupe sous forme de lettres figurant au bas de l'image : « C » pour centre et « L » pour largeur (ou « C » pour *center* et « W » pour *width*). On distingue trois grandes variétés de fenêtrage :

- les *fenêtres tissulaires* sont relativement spécifiques des tissus des organes pleins. Leur niveau est adapté au niveau moyen des parenchymes solides, proche de 0, et leur largeur est restreinte : on parle de fenêtre étroite ou serrée, afin de pouvoir mettre en évidence au sein d'un parenchyme plein de petites différences de densité. En revanche, tout ce qui est en dessous de la limite inférieure de la fenêtre apparaît en noir et tout ce qui est au-dessus de la limite supérieure de la fenêtre apparaît en blanc ;
- les *fenêtres pulmonaires* ont un niveau bas qui se situe dans la portion négative de l'échelle de Hounsfield pour s'adapter à l'étude des structures parenchymateuses pulmonaires, et une largeur étendue pour pouvoir étudier les bronches jusqu'aux alvéoles. Avec cette fenêtre pulmonaire, en revanche, il n'est pas possible de mettre en évidence de petites variations de densité au sein d'un parenchyme plein ;
- les *fenêtres osseuses* ont un niveau relativement élevé, adapté à l'analyse du tissu osseux, et une largeur très étendue permettant d'englober l'ensemble du système, os spongieux et os compact. Là encore, avec ces fenêtres larges, il n'est pas possible d'étudier de petites différences de densité au sein d'un parenchyme plein. Ainsi, quand on réalise un examen tomодensitométrique du thorax, on peut être amené à l'analyser avec les trois fenêtres différentes. La première permet d'étudier finement les détails du médiastin, qui sont de densité tissulaire. La deuxième, la fenêtre pulmonaire, permet d'analyser le parenchyme pulmonaire. Et la troisième, la fenêtre osseuse, permet de chercher une lésion osseuse associée.

Critères de qualité des images tomодensitométriques

La qualité d'une image tomодensitométrique peut s'exprimer en termes de résolution spatiale, de résolution en densité et de résolution temporelle.

*C'est la résolution spatiale qui permet de visualiser des structures de très petite taille et de discriminer des objets très proches. Elle dépend principalement de la taille du pixel et de l'épaisseur de coupe.

Plus le pixel est petit et plus l'épaisseur de coupe est fine, plus la résolution spatiale à qualité d'acquisition constante est de bonne qualité.

*La résolution en contraste permet de différencier deux tissus de densités différentes. La résolution en contraste peut être augmentée par le volume du voxel, mais alors on diminue la résolution spatiale, ou par l'augmentation de la dose délivrée par voxel, mais on reste limité par l'irradiation et la dose délivrée au patient.

*La résolution temporelle est particulièrement importante pour les organes en mouvement et directement corrélée à la vitesse d'acquisition des images. A l'heure actuelle, la vitesse d'acquisition permet de faire disparaître les artéfacts de mouvement, sauf au niveau du coeur qui nécessite, si l'on veut l'étudier très finement, une synchronisation de l'acquisition aux battements du coeur.

L'injection de produit de contraste : D'une manière générale, la tomодensitométrie est caractérisée par une résolution spatiale d'excellente qualité mais par une résolution en contraste relativement pauvre en dehors du parenchyme pulmonaire. C'est la raison pour laquelle on se sert dans de nombreuses indications de l'injection d'un produit de contraste hydrosoluble qui permet la visualisation des vaisseaux et l'analyse de la prise de contraste des différents parenchymes. Il est possible de réaliser des acquisitions au temps artériel ou au temps tardif après injection.

Dès lors, la sémiologie tomодensitométrique s'enrichit : outre la description des modifications de l'anatomie normale et de la densité spontanée de la lésion par rapport au parenchyme de voisinage et son homogénéité ou son hétérogénéité, on peut également décrire sa prise de contraste au temps artériel, veineux ou au temps tardif.

C'est pourquoi en sémiologie tomодensitométrique on décrit la forme, les dimensions de l'image anormale, son homogénéité ou son hétérogénéité, et sa densité spontanée que l'on peut mesurer et exprimer en unités Hounsfield. On parle ainsi d'image hyperdense pour les images plus denses que l'environnement ou d'image hypodense, et on décrit également l'existence d'un rehaussement au temps précoce ou au temps tardif après injection.

En matière de tomодensitométrie, la dosimétrie est un sujet de très haut intérêt. De nombreuses publications ont évoqué clairement le risque des examens tomодensitométriques en termes d'irradiation et de possible exposition à un risque carcinogène. Ainsi, l'ensemble des constructeurs ont mis au point des dispositifs de réduction de l'exposition. Très simplement, on peut utiliser des protocoles d'exploration à tension réduite (basse dose) pour les enfants et les personnes de faible corpulence. Il est aussi possible de moduler l'exposition sur l'axe z et au sein de

chaque coupe, mais il est surtout logique de limiter les acquisitions et la réalisation des scanners en général, à ce qui est indispensable. L'ensemble de ces pratiques respecte le consensus ALARA (*as low as reasonably achievable*), autrement dit aussi bas qu'il est raisonnablement possible.

C'est également la raison pour laquelle il est obligatoire de suivre la traçabilité des doses délivrées lors des examens. La dose délivrée au patient, généralement exprimée sous la forme du produit dose/longueur (PDL), doit être indiquée à la fin de chaque compte rendu.

Mais plus généralement, comme il est facile de nos jours d'obtenir un rendez-vous d'examen tomodensitométrique, il faut absolument réfléchir à la réelle utilité de cet examen et toujours se demander s'il ne peut pas être remplacé par un examen non irradiant, une échographie ou une IRM, ce qui est bien souvent le cas.

De ce qui a été écrit plus haut, il faut retenir que le scanner est caractérisé par une résolution spatiale de très bonne qualité, mais par un contraste spontané de médiocre qualité et par un caractère naturellement irradiant. Le développement d'appareils échographiques haut de gamme et la généralisation d'installation de systèmes d'IRM qui permettent des examens de plus en plus rapides font penser que, dans les années à venir, de nombreuses indications tomodensitométriques seront remplacées par l'IRM. Il est cependant vraisemblable que l'examen tomodensitométrique reste une imagerie radiologique utile. La rapidité des acquisitions la dédie par exemple naturellement aux examens réalisés en urgence.

En pratique

Avant toute prescription d'un examen tomodensitométrique, il est indispensable de bien déterminer ce que l'on attend de l'examen et s'il est bien justifié.

Il n'est pas nécessaire de préciser la technique requise (coupes fines, reconstructions, injection de produit de contraste, etc.). Il est beaucoup plus utile de décrire précisément ce que l'on attend de l'examen.

En fonction de ces données, c'est le radiologue qui choisira le protocole adapté à la résolution de la question clinique posée.

Il existe plusieurs précautions à prendre avant la réalisation d'un examen tomodensitométrique. Il faut vérifier que la patiente n'est pas enceinte et que le sujet ne présente pas de facteurs de risque l'exposant à une possible néphrotoxicité des produits de contraste : insuffisance rénale préexistante, diabète, myélome, prise d'un médicament néphrotoxique et, plus généralement, grand âge. Si c'est le cas, il faut vérifier que le taux de créatinine sérique est normal.

Il faut enfin s'assurer que le patient n'a pas présenté une réaction d'hypersensibilité grave lors de l'injection antérieure d'un produit de contraste iodé. L'ensemble de ces précautions doit être exercé conjointement par le prescripteur et le radiologue.

Enfin, il faut expliquer au patient que le classique jeûne strict de 12 heures avant l'injection d'un produit de contraste n'est pas utile et qu'au contraire, il doit s'hydrater et prendre ses médicaments habituels.