



IRM, échographie et Doppler

mieux en comprendre les risques

2

François R. Plante

L'imagerie par résonance magnétique et l'échographie ont le grand avantage de produire des images sans rayonnement ionisant. Leur usage est extrêmement répandu et leur innocuité, considérée comme acquise. Mais si on vous demande : « Comment ça marche, docteur ? » et surtout : « Est-ce qu'il y a des risques ? », que pourriez-vous répondre ?

LES DEUX TECHNIQUES abordées dans le présent article partagent l'indéniable avantage de ne pas avoir recours au rayonnement ionisant. Elles diffèrent cependant considérablement l'une de l'autre. En effet, l'imagerie par résonance magnétique (IRM) utilise une particularité propre aux noyaux des atomes, qui est d'entrer en résonance avec une onde radio, alors que l'échographie produit des images en enregistrant l'écho qu'émettent les ultrasons dans les tissus de l'organisme. Voyons leur fonctionnement de plus près.

IRM

Parmi tout l'arsenal diagnostique disponible en imagerie médicale, l'IRM est un des examens dont l'emploi s'est décuplé au cours des dix dernières années. Si, en 1992, le Québec ne comptait que quatre appareils d'IRM, on en dénombre maintenant plus de quarante dans le réseau public et privé de la province. C'est donc dire que de plus en plus de patients bénéficient de cette ressource incontournable. Mais qu'en est-il des effets indésirables potentiels ? Nos patients sont-ils soumis à des risques ?

Comment fonctionne l'IRM ?

L'IRM permet d'obtenir une image par l'intermédiaire d'un phénomène appelé résonance magnétique, qui est la propriété physique des noyaux de certains

éléments fondamentaux (hydrogène ou phosphore, par exemple) d'absorber l'énergie transmise par une onde radio d'une fréquence précise. Une fois cette énergie absorbée, l'atome cherchera à s'en départir. Il le fera en émettant lui-même une onde radio caractéristique, qui sera par la suite captée par des antennes, puis analysée et traduite en image à l'aide d'un puissant ordinateur. Pour déclencher ce phénomène, la substance étudiée (en l'occurrence le tissu humain) doit se situer dans un environnement particulier, soit un fort champ magnétique.

La plupart des appareils produisent des champs variant de 1 à 3 teslas (T) grâce à un électroaimant supraconducteur. Un champ d'un tesla est 20 000 fois plus puissant que le champ magnétique terrestre. Une fois soumis à un tel champ, tous les atomes s'y alignent et acquièrent la possibilité d'entrer en résonance avec l'onde radio. Pour que le phénomène de résonance ne touche que les régions correspondant à la coupe désirée, il faut créer des perturbations focales et rapides de ce champ magnétique uniforme, ce qui permet de sélectionner les tissus qui réagiront. Cette opération est réalisée par les bobines de gradients qui créent, durant de très courts instants (quelques millisecondes), un champ magnétique que nous appellerons champ dynamique. Simultanément, l'appareil émet l'onde radio à une fréquence qui dépend précisément de l'intensité du champ magnétique. Une fois l'émission de l'onde arrêtée, les atomes qui avaient absorbé cette énergie la rejettent en émettant à leur tour une onde radio qui sera captée pour construire l'image. Le corps devient alors véritablement, pendant une courte période, une sorte d'émetteur de signaux électromagnétiques. À

Le Dr François R. Plante, radiologue, est professeur agrégé au Département de radiologie diagnostique de l'Université de Sherbrooke. Il exerce au Centre hospitalier universitaire de Sherbrooke et est spécialisé en radiologie thoracique.

Encadré

Substance paramagnétique

Une substance de contraste paramagnétique modifie le champ magnétique du tissu dans lequel elle se propage. Le changement est alors visible pendant les séquences d'acquisition d'images, ce qui permet de mettre en évidence des anomalies précises. La molécule paramagnétique la plus utilisée est le gadolinium.

l'occasion, une substance de contraste paramagnétique est employée (*encadré*).

Durant un examen d'IRM, le patient est soumis simultanément à trois types d'agents physiques : un champ magnétique statique de 0,5 à 3 teslas selon le type d'appareil utilisé, un champ magnétique dynamique et une onde de type radiofréquence. Enfin, l'injection d'une substance paramagnétique dans le sang ou dans les articulations par ponction directe peut s'ajouter. Analysons chacun de ces agents pour mieux comprendre les risques de l'IRM.

En premier lieu, il faut assurer l'innocuité de l'examen. La production d'un champ magnétique aussi fort doit entraîner le moins de risques possible pour le patient. Puisqu'on parle d'un aimant extrêmement puissant, il faudra vérifier que le patient ne présente aucune contre-indication (*tableau*) en ce qui a trait aux substances ferromagnétiques qui pourraient être attirées vers l'aimant dans la salle d'examen. Il faut donc s'assurer que le patient ne constitue pas un risque pour lui-même. Par conséquent, il ne doit donc pas être porteur de corps étrangers faits de métaux ferromagnétiques, ni de stimulateur cardiaque, ni de neurostimulateur, ni de matériaux médicaux ferromagnétiques. En fait, la presque totalité des biomatériaux ne sont pas de nature ferromagnétique, car ils sont fréquemment composés de titane, un métal sans moment magnétique important. Par ailleurs, la salle d'examen est entièrement fabriquée de matériaux qui ne réagissent pas dans un champ magnétique. Les centres d'IRM ont mis au point des méthodes efficaces pour élimi-

Tableau

Contre-indications absolues à l'examen d'IRM*

- ⊗ Port d'un stimulateur cardiaque (*pacemaker*)
- ⊗ Port d'un neurostimulateur
- ⊗ Présence de corps étrangers métalliques intraoculaires
- ⊗ Agrafes vasculaires implantées avant 1983 (plusieurs ne sont pas en titane)
- ⊗ Port de matériel prosthétique ferromagnétique (prothèses implantées avant 1983)

* Les contre-indications relatives peuvent varier selon le centre où s'effectue l'examen d'IRM, tel qu'en témoignent les divers questionnaires à remplir avant l'examen.

ner tout risque. Dans le doute, l'examen ne sera tout simplement pas pratiqué.

Le champ magnétique statique

L'exposition à un fort champ magnétique statique sur une courte période n'entraîne pas de risques connus pour la santé. Un champ inférieur à 2 T, comme sur la majorité des appareils en service, est généralement imperceptible¹. Une revue récente des études expérimentales sur les animaux et les humains montre que des champs de 2 à 8 teslas peuvent à l'occasion causer des symptômes bénins et transitoires¹. Une sensation de goût métallique dans la bouche et un vertige de léger à modéré sont les plus fréquents. Ils surviennent principalement lors de l'exécution d'un mouvement dans le champ magnétique, comme la rotation rapide de la tête, ou encore de mouvements rapides dans le voisinage immédiat de l'appareil. Ils s'expliquent par l'induction de courants électriques dans le corps lorsqu'on se déplace dans un champ statique ou dans une zone où le champ magnétique varie fortement sur une courte distance, comme à proximité d'un appareil d'IRM. La sensibilité est très variable d'une personne à l'autre. Les symptômes peuvent être ennuyeux, mais ils sont transitoires et sans conséquences.

Durant un examen d'IRM, le patient est soumis simultanément à trois types d'agents physiques : un champ magnétique statique de 0,5 à 3 teslas selon le type d'appareil utilisé, un champ magnétique dynamique et une onde de type radiofréquence.

Repère

Le champ magnétique dynamique

Le deuxième facteur de risque est le champ magnétique dynamique. Pour modifier rapidement le champ magnétique, on utilise de petits électroaimants. La qualité de l'image dépend de la montée et de la descente rapide de ce gradient de champ, ce qui demande l'émission d'un fort courant électrique. L'application du gradient de champ s'accompagne aussi de la production de petits courants électriques dans le corps. Ces derniers sont habituellement imperceptibles pour le sujet durant l'examen. Ils peuvent toutefois stimuler suffisamment la rétine pendant un examen de la tête pour provoquer des magnétophosphènes, c'est-à-dire des points lumineux que perçoit le patient. C'est un phénomène transitoire qui n'endommage pas la rétine.

Les radiofréquences

Par principe, l'IRM demande le recours à une onde électromagnétique appartenant à la catégorie des radiofréquences et dont la fréquence doit être proportionnelle à l'intensité du champ magnétique, soit 42,6 mégahertz (MHz) pour chaque tesla de champ magnétique¹. Ainsi, un appareil fonctionnant à 1,5 T utilisera une radiofréquence de 63,9 MHz lors des séquences d'acquisition d'images. Les radiofréquences employées durant l'IRM déposent leur énergie, sous forme de chaleur, en profondeur dans tout le volume de la zone exposée du patient. Un paramètre appelé débit d'absorption spécifique (DAS), ou SAR (*specific absorption rate*) en anglais, permet de mesurer ce dépôt d'énergie² qui peut entraîner un réchauffement des tissus et ainsi modifier les fonctions biologiques. Certaines séquences d'acquisition, de par le type de configuration de l'onde de radiofréquence, ont un potentiel d'excitation plus grand. Pour parer à tout effet nocif, l'ordinateur central analyse en tout temps la séquence d'acquisition programmée et traduit le tout en pourcentage du DAS maximal acceptable conformément aux normes de la Commission électrotechnique internationale³. Le DAS varie en

fonction de l'organe étudié, de la durée de la séquence d'acquisition et du type de séquence. Ses valeurs pour les examens cliniques sont supérieures à celles qui sont prescrites pour l'exposition professionnelle aux radiofréquences (voir l'article du Dr Michel Plante, dans le présent numéro, intitulé: « Cellulaires et santé – Êtes-vous sur la même longueur d'onde que vos patients ? »).

Les produits de contraste

L'injection d'un produit de contraste paramagnétique représente un risque connu. Les risques d'allergies sont négligeables, mais ils existent. La réaction anaphylactique est plutôt imprévisible et survient à une fréquence de une pour 100 000 injections. Le traitement immédiat en salle d'examen est sensiblement le même que celui de l'allergie grave aux produits iodés en injection. Chez le patient souffrant d'insuffisance rénale, le gadolinium peut nuire à la fonction rénale résiduelle. Le radiologue en fera donc un usage parcimonieux. Enfin, un syndrome de fibrose provoquée par le gadolinium chez le patient en insuffisance rénale a été décrit et est potentiellement mortel. Encore une fois, une simple évaluation préalable de la fonction rénale suffit à éviter ce genre de complications.

Échographie et examen Doppler

Comment fonctionne l'échographie ?

Lorsque votre patient est convoqué pour une échographie ou pour un examen Doppler, il bénéficie d'une technique d'imagerie qui ne recourt ni au rayonnement ionisant, ni aux agents physiques radioactifs, ni aux ondes électromagnétiques. Le principe physique de l'imagerie échographique et de l'examen Doppler repose sur l'utilisation de sons de haute fréquence. Les sons audibles se situent entre 20 hertz (Hz) et 20 kilohertz (20 kHz). En diagnostic médical, l'échographie utilise une gamme de fréquences variant de 1 MHz à 15 MHz. Les sons constituent des ondes acoustiques qui diffèrent substantiellement des ondes électromagnétiques (radio, rayons X, radar). Ces dernières ont

Les radiofréquences employées durant l'IRM déposent leur énergie, sous forme de chaleur, en profondeur dans tout le volume de la zone exposée du patient.

Repère

la propriété de se propager dans divers milieux et dans le vide, alors que l'onde acoustique ne se propage qu'à travers la matière (gaz, liquide ou solide).

En échographie, un cristal piézoélectrique est utilisé pour produire, transmettre et recevoir le signal acoustique. À l'application d'une tension électrique, ce cristal se déforme instantanément. Il convertit alors l'énergie électrique en énergie mécanique (onde de pression oscillante) qui se transmet dans le milieu avoisinant. La fréquence du son émis est égale à la fréquence d'émission du transducteur. Lorsque ce signal acoustique se propage dans le milieu physique d'intérêt et rencontre des interfaces quelconques, il est soit réfléchi, soit atténué, soit réfracté.

Au XIX^e siècle, le physicien Christian J. Doppler décrit la modification de fréquence des sons émis par une source sonore lorsque l'observateur et la source se déplacent l'un par rapport à l'autre. On connaît tous l'exemple classique du voyageur sur le quai de la gare qui entend le sifflet du train avec une tonalité de plus en plus aiguë à mesure que le train approche et de plus en plus grave à mesure qu'il s'éloigne. L'examen Doppler est une application qui découle de ce principe physique. Il peut être couplé ou non à l'image échographique. Toutefois, en 2010, il est presque exclusivement utilisé en association avec l'échographie. Les hématies jouent alors le rôle de réflecteurs. Leurs déplacements engendrent une variation de fréquence des ultrasons réfléchis. Cette différence est directement proportionnelle à la vitesse de leur déplacement. On peut donc extrapoler la vitesse du débit sanguin grâce à l'examen Doppler. Les zones de rétrécissement important dans une artère athéromateuse sténosée produiront une accélération du débit au niveau de la sténose. Des échographies plus perfectionnées permettent même une codification en couleur de ces spectres de variation de fréquences, ce qui accélère l'examen et augmente le degré de confiance de l'examineur. L'examen Doppler est donc un outil de travail associé à la plupart des appareils d'échographie modernes.

Deux effets potentiellement nocifs à maîtriser

Cette technique a des effets indésirables bien connus de deux types : thermiques et mécaniques. Des normes de pratique en encadrent l'utilisation et préviennent les risques qui y sont inhérents⁴.

Les effets thermiques

Les effets thermiques sont toujours liés à l'échographie. Il est assez facile d'en comprendre le mécanisme. Comme l'ultrason est une onde acoustique, il constitue une forme d'énergie. Lors d'un examen échographique, une partie de l'énergie est absorbée par le tissu étudié. Cette énergie absorbée engendre alors une hausse de la température focale, particulièrement dans le cas de la composante Doppler. Cet effet augmente avec la fréquence, la puissance, la durée d'exposition, la focalisation et les dimensions du champ exploré. En pratique, des normes et des recommandations régissent la puissance du faisceau d'ultrasons émis par l'appareil de sorte que le dépôt calorifique est infinitésimal et ne provoque pas de hausse localisée de la température de l'organe ou des structures étudiés.

La cavitation

Le deuxième effet secondaire est de nature biomécanique. Il est toutefois beaucoup plus rare et n'a été établi que sur des modèles expérimentaux⁴. Il s'agit de l'effet de cavitation (création de microbulles) dans les organes contenant de l'air. Cet effet est très rapide et ne dépend pas de la durée d'exposition. Il survient à des fréquences basses. L'indice mécanique permet de mesurer les variations maximales de pression locale lors du passage des ultrasons dans les tissus. L'effet biomécanique de cavitation est apparu lors d'expériences menées sur des animaux à des puissances qui ne sont pas employées dans la pratique médicale chez l'humain.

À ce jour, aucune étude épidémiologique n'a permis de noter d'anomalies fonctionnelles (surdité, problèmes d'acuité visuelle, troubles organiques ou

En pratique, des normes et des recommandations régissent la puissance du faisceau d'ultrasons émis par l'appareil de sorte que le dépôt calorifique est infinitésimal et ne provoque pas de hausse localisée de la température de l'organe ou des structures étudiés.

Repère

modifications chromosomiques). Des études épidémiologiques sur les appareils récents sont en cours. Ces derniers produisent des images de très haute définition à l'aide d'un faisceau dont la puissance est plus grande qu'auparavant. La vigilance continue donc d'être de mise.

L'IRM ET L'ÉCHOGRAPHIE sont des techniques qui n'ont pas recours au rayonnement ionisant. Un examen par résonance peut entraîner à l'occasion des symptômes ennuyeux lorsque le corps du patient se déplace rapidement dans le champ magnétique ou lors de mouvements rapides autour de l'appareil. Ces effets sont transitoires et ne constituent pas un risque pour la santé. L'IRM est une source d'exposition aux radiofréquences, mais les paramètres d'utilisation sont calculés pour éviter tout réchauffement nocif des tissus. Quant à l'échographie, elle n'a aucun effet dangereux connu tant que les effets thermiques et mécaniques, qui sont bien caractérisés, demeurent sous les limites acceptables. 🩺

Date de réception : le 11 janvier 2010

Date d'acceptation : le 28 janvier 2010

Le Dr François R. Plante n'a déclaré aucun intérêt conflictuel.

Bibliographie

1. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. *Health Physics* 2009; 96 (4) : 504-14.

Summary

MRI, ultrasound and Doppler – understanding the risks. A magnetic environment is required in magnetic resonance imaging. This powerful magnetic field, coupled with radiofrequency waves used to produce the diagnostic imaging, may give a metallic taste and light transitory vertigo. Some patients have experienced transient phosphenes (luminous impressions). These modalities are considered to be highly secure and without significant harmful effects.

Widely used, diagnostic medical sonography uses ultrasonic energy. Tissue composition determines the type of interaction between ultrasound and tissue. Ultrasound being an energy form it has the potential to heat the studied tissue, although medical ultrasound units are not calibrated to induce significant energy, therefore heat transfer inside tissues. The same applies to Doppler ultrasound, which is frequently coupled with medical sonography.

2. Stuchly MA. *Code de sécurité 26 – Lignes directrices sur l'exposition aux champs électromagnétiques provenant d'appareils cliniques à résonance magnétique.* Ottawa: Santé Canada; 1987. Site Internet: www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/radiation/87ehd-dhm127/index-fra.php (Date de consultation : décembre 2009).
3. Commission électrotechnique internationale. *Appareils électromédicaux. Partie 2-33 : Règles particulières de sécurité relatives aux appareils à résonance magnétique utilisés pour le diagnostic médical.* Norme internationale CEI 60601-2-33. 2^e éd. Genève: La Commission; 2002. Site Internet: http://webstore.iec.ch/preview/info_iec60601-2-33%7Bed2.0%7Db.pdf (Date de consultation : décembre 2009).
4. Arbeille P. *Mise au point 2003 sur les risques d'effets biologiques par échographie, Doppler pulsé et couleur.* Tours: Société Francophone pour l'Application des Ultrasons en Médecin et en Biologie; 2003. Site Internet: <http://sfaumb.org/sources/fichiers/actu/22003biouis.pdf> (Date de consultation : décembre 2009).



Êtes vous inscrit ?

Il reste encore quelques places. Dépêchez-vous !

Le vendredi 16 avril 2010, Palais des congrès de Montréal

Le vendredi 21 mai 2010, Centre des congrès de Québec

Le vendredi 1^{er} octobre 2010, Palais des congrès de Montréal

Le vendredi 29 octobre 2010, Centre des congrès de Québec