Bull. Acad. Natle Méd., 2014, *198*, n°s 4-5, 725-743, séance du 1er avril 2014

COMMUNICATION

L'imagerie médicale diagnostique est-elle iatrogène ?

Mots-Clés : Diagnostic par imagerie. Imagerie par résonance magnétique. Radiologie. Tomodensitomètre. Affection iatrogénique. Dose de radiation. Tumeurs. Produits de contraste. Allergie et immunologie

Is medical imaging iatrogenic?

Key-words (Index medicus): Diagnostic imaging. Magnetic resonance imaging. Tomography scanners, X-ray computed. Radiology. Iatrogenic disease. Radiation dosage. Neoplasms. Contrast media. Allergy and immunology

Gérard MORVAN *

L'auteur déclare n'avoir aucun lien d'intérêt en relation avec le contenu de cet article.

RÉSUMÉ

Une médecine sans imagerie n'est plus concevable actuellement. Au prix de quelle iatrogénie ? L'irradiation due aux téléradiographies, aux radiographies de la colonne, de l'abdomen et du pelvis, aux mammographies, à la radiographie cardiaque et surtout aux scanners, en pleine expansion, s'accompagne d'un préoccupant sur-risque de cancer, même si ce dernier demeure modéré. Cette irradiation a augmenté de façon inquiétante ces deux dernières décades dans les pays industrialisés. Les produits de contraste iodés ou gadolinés, en plus de leur toxicité directe, sont potentiellement à l'origine de phénomènes d'hypersensibilité ou d'allergie. Les injections à visée diagnostique (articulaires, spinales...) ont également leur lot de complications. Ce travail fait le point sur la iatrogénicité de l'imagerie médicale diagnostique et sur les importants efforts actuels destinés à réduire cette iatrogénicité : nouvelles radiographies ou nouveaux scanners moins irradiants, produits de contraste non ioniques, techniques d'imagerie alternatives.... Il aborde également la iatrogénie « indirecte » moins connue mais plus fréquente, très dépendante de la qualité des examens d'imagerie ainsi que de l'accompagnement humain de ceux-ci et propose des solutions, d'ordre institutionnel, à cette situation.

* Membre correspondant de l'Académie nationale de médecine. Imagerie Léonard de Vinci — 75116 Paris ; e-mail : gerard.morvan@yahoo.fr

Tirés à part : Docteur Gérard Moran, même adresse.
Article reçu le 27 novembre 2013, accepté le 9 décembre 2013

SUMMARY

Imaging is an indispensable element of modern medicine but is not without risk. Low-dose irradiation due to spinal, abdominal, pelvic or cardiac radiography, and the increasing use of CT, carries an additional, albeit moderate risk of cancer. Iodinated and gadolinium-containing contrast media, besides their direct toxicity, can trigger hypersensitivity and allergic-like reactions. Spinal and articular diagnostic injections can also lead to complications. This article reviews the direct iatrogenicity of diagnostic imaging and current efforts to limit it through the use of new radiological systems, lower-dose CT, non ionic contrast media, and alternative imaging techniques. The authors also examine the less known but more frequent problem of indirect iatrogenesis, which is highly dependent on the quality of the imaging personnel and technique. Finally, we propose some legislative solutions to this problem.

INTRODUCTION

L'imagerie médicale, dont les progrès ont indiscutablement contribué à ceux de la médecine, est-elle en elle-même source de nuisances notable ? Est-elle iatrogène et dans quelle mesure ? Pour répondre à cette question, il faut séparer l'imagerie diagnostique de l'imagerie interventionnelle, dans la mesure où leurs critères d'appréciation sont différents : ils sont basés sur le rapport risque/bénéfice pour l'imagerie diagnostique et sur la comparaison avec les autres modalités thérapeutiques pour l'interventionnel. Seule l'imagerie diagnostique sera abordée ici.

Il convient également de distinguer la iatrogénicité directe, issue en droite ligne de la technique d'imagerie d'une autre forme de iatrogénicité, moins évidente, que l'on peut qualifier d'indirecte, liée à un dysfonctionnement de l'imagerie quel qu'il soit. Par exemple : soient des radiographies de hanche de qualité suboptimale effectuées dans le cadre du bilan d'une douleur post-traumatique, et considérées comme normales ; un mois après, un scanner, justifié par la persistance de douleurs vives, met en évidence une fracture du col du fémur, déplacée et passée inaperçue sur les clichés initiaux. Une ostéonécrose secondaire de la tête fémorale rend nécessaire l'implantation d'une prothèse de hanche. Cet enchaînement néfaste, issu d'une mauvaise qualité du bilan radiographique initial, relève à nos yeux, d'une iatrogénie indirecte.

IATROGÉNICITÉ DIRECTE DE L'IMAGERIE DIAGNOSTIQUE

Elle inclut l'irradiation du patient, inhérente à toute imagerie utilisant les rayons X, les manifestations d'hypersensibilité ou d'allergie aux produits de contraste éventuellement nécessaires, les complications infectieuses secondaires aux ponctions, les accidents liés à la technique de l'IRM et diverses autres complications.

Irradiation

Irradiation à fortes doses

Les tumeurs (leucémies, cancers solides...) secondaires à des doses importantes de rayonnements ionisants, que ceux-ci soient volontaires (radiothérapie) ou accidentels (bombes atomiques, accidents de réacteurs nucléaires ou radiologiques...) sont connues [1]. Le domaine médical n'est cependant à l'origine que de 11 % des irradiations importantes, alors que 51 % sont dues à l'industrie, 20 % à la recherche, 5 % aux activités militaires et 13 % au nucléaire civil [2].

En médecine, la radiothérapie est responsable de l'essentiel des fortes irradiations. Dans une cohorte de 10 000 hommes porteurs d'un cancer testiculaire, irradiés à la dose de 25 à 35 Gy, on a observé, 15 ans après, 9 à 11 leucémies de plus que le nombre théorique calculé [3]. Plus de 30 % des patients traités par radiothérapie avant l'âge de 16 ans pour une maladie de Hodgkin développeront un cancer dans les trente années qui suivent [4]. Bien que le risque de cancer radio-induit pour des doses supérieures à 100 mSv soit donc certain [5], le rapport bénéfice/risque demeure indiscutablement favorable au patient, les rarissimes erreurs de dosimétrie étant mises à part.

Irradiation à faibles doses

Dans le domaine médical, les faibles doses d'irradiation sont, pour les trois-quarts, dues au radiodiagnostic et pour un quart à la médecine nucléaire [6]. Leur risque est plus difficilement quantifiable compte tenu de l'irradiation naturelle et de la fréquence élevée des cancers, notamment dans les populations vieillissantes : le risque de cancer cumulé sur la vie entière était en France, en 2004, de 51 % chez les hommes et de 36 % chez les femmes [7]. Nous baignons tous dans une radioactivité naturelle liée aux rayonnements cosmiques qui traversent l'atmosphère (un vol transatlantique aller-retour expose à 0,08 mSv), au rayonnement tellurique et surtout au radon, un gaz radioactif libéré par le sol. L'exposition annuelle moyenne est de 2 mSv sur la Terre (2,4 mSv en France) mais peut atteindre 200 fois cette dose dans certaines régions, notamment quand le sol est granitique. Au cours de la décade écoulée, l'irradiation d'origine médicale a cru dans la plupart des pays européens, en particulier en raison du scanner, associé ou non au PET (PET-Scan). En Europe, cette irradiation médicale se situe actuellement entre 0.4 et 2 mSv par an et par tête [8], soit le même ordre de grandeur que l'irradiation naturelle. Aux USA, l'irradiation due au scanner est passée en moyenne de 1,2 à 2,3 mSv/an, avec depuis 2010, des pics inquiétants de 20 à 50 mSv/an dans 6,8 % des cas, supérieurs à 50 mSv/an dans 3,9 % des cas [9], voire même nettement plus en cas d'obésité [10]. La théorie dite « du modèle linéaire sans seuil » (« linear no-threshold »), contestée actuellement pour les faibles doses [11], veut que le nombre de cancers radio-induits augmente propor-

tionnellement à la dose reçue, de façon cumulative et linéaire, sans seuil en deçà duquel on puisse considérer que l'exposition serait sans effet. Selon cette théorie, le risque d'induire un cancer augmente d'environ 0,5 % pour une dose effective de 100 mSv. En 2004, le risque cumulé de cancer en rapport avec l'irradiation diagnostique chez les individus de 75 ans était de 0,6 % au Royaume-Uni. Il variait de 0,6 % à 1,8 % dans treize autres pays développés pour culminer à 3 % au Japon [12]. Ce risque est plus élevé chez les jeunes et les femmes et dépend des organes [8].

Impact des différents types de radiologie

Les différentes modalités de radiologie n'ont pas le même impact sur l'irradiation. En France, en 2002, le scanner et la radiologie interventionnelle, bien que ne concernant que 9 % des actes, étaient responsables de 56 % de l'irradiation (Tableau 1) [13].

Tableau 1. — Répartition de l'irradiation médicale en France en 2002 [13]

Procédure	Proportion des actes	Irradiation
Radiographie	90 %	37 %
Scanner	**8 %**	**41 %**
Radiologie interventionnelle	1 %	**15 %**
Médecine nucléaire	1 %	7 %

Radiologie conventionnelle

En radiologie conventionnelle, trois types de radiographies sont responsable de l'essentiel de l'irradiation : les radiographies de la colonne vertébrale, loin en tête (49 %), celles de l'abdomen et du pelvis (18 %) et enfin les mammographies (12 %). Le reste est pratiquement négligeable (Tableau 2), la radiologie cardiaque mise à part.

Tableau 2. — Incidence de la radiologie conventionnelle sur l'irradiation en France en 2002 [13]

Site	Quantité (en million)	% de l'irradiation
Colonne vertébrale	**8,9**	**49 %**
Abdomen et pelvis	**2,8**	**18 %**
Seins	**6,3**	**12 %**
Bassin	4,8	15 %
Membres	15,8	2 %
Thorax	6,3	2 %
Dents	18,4	1 %
Tête et cou	2,57	1 %

Les téléradiographies de la colonne vertébrale sont particulièrement préoccupantes, en particulier lorsqu'elles s'adressent à une population jeune. En effet, elles sont volontiers répétées et exposent de larges zones radiosensibles (tronc et ceintures). Chez 1 030 jeunes filles âgées en moyenne de 12 ans, exposées à une quarantaine de téléradiographies sur une période de 9 ans dans le cadre du suivi d'une scoliose et revues 26 ans après, il a été constaté 11 décès par cancer du sein, soit cinq de plus que les six théoriquement prévisibles [14]. Dans une autre série de 5 466 patientes comparables, revues 40 ans après, il en a été constaté 77, soit 31 de plus que les 46 prévisibles [15]. Le suivi d'une autre cohorte de patients, traités pour une dysplasie de hanche, aboutit à des conclusions similaires [16]. Une irradiation large et répétée pendant l'enfance ou l'adolescence est donc indiscutablement iatrogène à long terme en augmentant le risque naturel de cancer, même si cette augmentation demeure modeste au regard de l'importante incidence naturelle de cette affection.

Il convient donc d'être économe d'irradiation, surtout chez les jeunes. Lorsque c'est possible, il faut privilégier les techniques non irradiantes (échographie, IRM...). Lorsque cela ne l'est pas, le nombre de radiographies doit être limité au strict minimum nécessaire, en étant particulièrement intransigeant sur leur indication et leur qualité : chaque cliché doit être justifié et exploitable. Pour les radiographies à champ large, il est souhaitable d'utiliser des techniques les moins irradiantes disponibles actuellement, comme le système EOS qui divise la dose par un facteur 6 à 9 par rapport aux radiographies numérisées habituelles [17] voire 30 à 40 actuellement. La contre-indication principale des radiographies chez le patient jeune est une absence d'indication. Viennent ensuite une indication discutable ou une mauvaise technique rendant le document peu ou pas exploitable : l'enfant a été irradié pour rien.

La radiologie cardiovasculaire occupe une place à part : elle fut responsable de 45 % des 3 mSv annuels d'origine médicale (radiothérapie exclue) aux USA en 2011, soit l'équivalent de 150 radiographies du thorax [6] ! La raison en est simple : les coronarographies sont fréquentes, source d'une irradiation importante [6] de par la graphie et la scopie qu'elles comportent. Il en va de même de la scintigraphie myocardique au thallium, l'une des plus irradiantes, et des procédures interventionnelles.

Le scanner

Au cours des 20 dernières années, le nombre de scanners a été multiplié par vingt aux USA, par douze au Royaume-Uni [18]. La situation française en 2002 est résumée dans le tableau 3 : 60 % de l'irradiation étaient dûs aux scanners de la colonne vertébrale, de l'abdomen et du pelvis. Le tableau 4 montre l'équivalent en radiographies du thorax des principaux examens tomodensitométriques musculosquelettiques : les scanners de la colonne lombaire sont de loin les plus irradiants, suivis par ceux des ceintures. Le risque de surmortalité par cancer d'un homme de 45 ans ayant subi un seul scanner du corps entier a été chiffré à 0,08 % ; ce même risque passe à 1,9 % si ce scanner du corps entier est répété tous les ans pendant 30 ans [19]. Un autre travail confirme ce fait : une irradiation de 100 mSv à l'âge de 40 ans augmente le risque de décès par cancer, mais dans une très faible proportion par apport au

Tableau 3. — Nombre de scanners en France en 2002 (en millions) et incidence sur la dose de rayonnement (en mSv) [14]

Site	Quantité (en million)	% de l'irradiation
Colonne vertébrale	**1,57**	**30,3 %**
Abdomen et pelvis	**1,09**	**30 %**
Thorax	0,51	19 %
Tête et cou	2,18	19 %
Membres	2,9	1 %
Bassin, hanches	3,7	1 %

Tableau 4. — Dosimétrie et équivalent en radiographies du thorax des principaux scanners musculosquelettiques [21]

Site	Dosimétrie (en mSv)	Equivalent en radiographies du thorax
Colonne cervicale	4,36	55
Colonne thoracique	**17,99**	**225**
Colonne lombaire	**19,15**	**240**
Épaule	2,06	26
Coude	0.14	2
Main, poignet	0,003	0,4
Hanche	3, 09	39
Genou	0,16	2
Pied, cheville	0,07	0,9

risque naturel [20]. Ces chiffres ne concernent que le scanner diagnostique, les techniques de dépistage basées sur le scanner (coloscanner...) n'ayant pas été, à l'heure actuelle, évaluées en matière de dosimétrie à ma connaissance.

En 2000, aux USA, environ 11 % encore des scanners concernaient des enfants de 0 à 15 ans [22], nettement plus sensibles aux radiations que les adultes. Une dose cumulée de 50mGy chez l'enfant triple le risque de leucémie et une dose de 60mGy celui de cancer du cerveau. Dans la mesure où ces cancers sont rares, ceci correspond à un cas supplémentaire de leucémie ou de cancer du cerveau dans les 10 ans suivants pour 10 000 scanners [23]. Devant cette augmentation de l'irradiation liée aux scanners, des efforts importants ont été réalisés depuis quelques années par les

industriels et les radiologues dans le but de faire baisser la dosimétrie : limitation plus rigoureuse du champ exploré, contrôle strict de la quantité d'irradiation aux extrémités de celui-ci et, surtout, nouveaux détecteurs plus sensibles [24] et nouvelles techniques de reconstruction des images avec soustraction du bruit (« reconstruction itérative ») [25, 26]. Par rapport aux techniques antérieures, ces nouvelles procédures permettent un choix : soit conserver le même niveau d'irradiation, en augmentant sensiblement la qualité de l'image ; soit conserver la même qualité d'image, en baissant sensiblement la dose d'irradiation ; soit enfin accepter une dégradation de l'image compatible avec un diagnostic correct, en baissant de façon encore plus importante l'irradiation [27, 28]. Il est donc actuellement possible de régler la dosimétrie en fonction de la qualité d'image nécessaire au diagnostic. Cette prise de conscience et ces nouvelles possibilités techniques ont conduit à une baisse importante de l'irradiation lors des scanners (de plus du tiers lors des scanners cardiaques de l'enfant, de la moitié dans les scanners lombaires...).

La solution idéale serait, quand la chose est techniquement possible, de remplacer le scanner par une IRM, non irradiante, en particulier pour l'étude du rachis, du cerveau... Malheureusement, l'état du parc actuel d'imageurs IRM en France n'autorise pas une telle conversion et ne semble pas, dans l'immédiat, prêt à le faire.

En synthèse, le scanner a indiscutablement fait progresser le diagnostic de nombreuses affections, mais au prix d'une irradiation non négligeable. Celle-ci est responsable d'un sur-risque de cancer, qui reste toutefois très faible au regard de l'incidence naturelle élevée de cette maladie. Bien que des progrès récents aient permis de diminuer cette irradiation, la dose reçue lors des scanners du tronc et des ceintures reste notable. Il est donc important de régler les scanners selon le principe ALARA (« as low as reasonably achievable ») [24], de peser soigneusement les indications des scanners du tronc et des racines (colonne lombaire, scanner thoraco-abdo-minopelvien, arthroscanner d'épaule...) et, si possible, de leur préférer une IRM, surtout chez les jeunes. Le scanner des extrémités, peu radiosensibles, ne pose pas de problème éthique.

Accidents d'imagerie par résonance magnétique (IRM)

L'IRM implique de placer le patient (ou une partie de son corps) au sein d'un champ magnétique élevé et de l'exposer à des ondes de radiofréquence. Ces ondes et les champs magnétiques utilisés en pratique (de 0.2 à 3T) n'entraînent pas d'effet biologique néfaste connu, même en cas d'exposition répétée [29], y compris chez le fœtus. Cependant, cette technique, considérée à juste titre comme non invasive, a entrainé quelques décès. Tous auraient pu être évités [30].

Complications liées au champ magnétique

L'essentiel des accidents rapportés est dû au non-respect de l'une des contre-indications actuelles de l'IRM, patient porteur :

- d'un appareillage électronique implanté non magnétocompatible (c'est le cas actuellement de la majorité de ces appareils) : stimulateur cardiaque, neurologique, cochléaire...
- de valves cardiaques non magnétocompatibles (c'est une éventualité de plus en plus rare) de clips, stents ou coils qui peuvent être non magnétocompatibles dans certaines conditions,
- d'un corps étranger métallique situé dans une région sensible (œil, cerveau...).

En effet, le puissant champ magnétique nécessaire à l'IRM peut détériorer un appareillage électronique ou mobiliser une structure métallique ferromagnétique non fixée [31], ce qui est susceptible d'avoir une conséquence dramatique (pacemaker, corps étranger intra-oculaire, clip vasculaire intracérébral...). Un questionnaire détaillé, libellé en des termes compréhensibles par tous et un interrogatoire policier, doivent s'enquérir de l'absence d'une de ces contrindications.

Quelques accidents exceptionnels mais potentiellement dramatiques, furent liés à l'effet-projectile de corps métalliques (obus d'oxygène, divers matériels médical métalliques....) placés involontairement trop près de l'aimant, violemment attirés par lui, qui blessèrent le patient dans le tunnel. Des précautions spécifiques font donc partie intégrante de la pratique de l'IRM.

Complications liées aux ondes de radiofréquence et aux antennes.

Elles peuvent, exceptionnellement, entrainer des brûlures cutanées (câbles..), stimulation nerveuse périphérique, vertiges ou goût métallique, qui doivent également être prévenus. L'IRM d'un patient sous monitorage exige en particulier un contrôle rigoureux du matériel de réanimation proche du patient.

Quench

Le passage brutal du gaz de refroidissement de l'aimant (hélium) de l'état liquide à l'état gazeux (« quench »), rarissime, est à l'origine d'une diminution brutale de la concentration en oxygène dans la pièce d'examen, avec les conséquence que cela implique.

En synthèse, l'IRM avec les champs magnétiques actuels peut être considérée comme une technique très sûre pour peu que les consignes de sécurité [31] soient rigoureusement appliquées, notamment dans le cadre de l'urgence et chez le patient en réanimation.

Les manifestations d'hypersensibilité ou d'allergie aux produits de contraste

Une injection de produit de contraste est parfois nécessaire en scanner (produits de contraste iodés) ou en IRM (produits de contraste gadolinés).

Produits de contraste iodés

Les produits de contraste iodés peuvent avoir des effets toxiques directs (toxicité neurologique, rénale, thyroïdienne...) ou être à l'origine d'une réaction d'allergie ou d'hypersensibilité.

Toxicité directe

Leur toxicité neurologique s'observe dans les cas exceptionnels d'injection intrathécale accidentelle d'un produit de contraste ionique non destiné à cette voie. Elle se traduit en général par des convulsions.

Leur toxicité rénale est due à une nécrose tubulaire aigüe liée à un effet toxique du produit de contraste sur la cellule tubulaire et à un angor rénal, à l'origine d'une augmentation de la créatinine de plus de 25 % dans les 72 heures. Les facteurs de risques sont connus : insuffisance rénale préexistante, diabète avec insuffisance rénale, hypoperfusion rénale (déshydratation, hypopression artérielle), prise de médicaments néphrotoxiques, myélome avec protéinurie, injection de produit de contraste dans les trois jours précédents [32]. La règle actuelle est de rechercher soigneusement ces facteurs de risque avant toute injection IV de contraste iodé et de doser la créatininémie, en particulier au-delà de 65 ans. Une clairance de la créatinine (calculée selon la formule de Cockcroft) comprise entre 30 et 60 ml/mn doit faire soigneusement rechercher une alternative à l'injection iodée. Si elle est inférieure à 30 ml/mn, l'injection iodée doit a priori être récusée [33].

La toxicité thyroïdienne des produits de contraste iodés se manifeste surtout chez l'adulte dysthyroïdien (risque d'hyper ou d'hypothyroïdie) et chez la femme enceinte, avec un risque d'hypothyroïdie chez enfant si le produit de contraste a été administré après la 14e semaine de grossesse,

Réactions allergiques ou d'hypersensibilité

Les produits de contraste iodés font partie du groupe des dix médicaments responsables du plus grand nombre de réactions anaphylactoïdes : 35 à 70 pour 100 000 [34]. La gravité, la fréquence et les manifestations cliniques des allergies ou des hypersensibilités aux produits de contraste iodés administrés par voie intraveineuse sont rapportées dans le tableau 5. Ces manifestations peuvent être immédiates, apparaissant en moins d'une heure, ou tardives, survenant entre une heure et une semaine. Les manifestations immédiates sont secondaires à deux mécanismes : une histaminolibération non spécifique, secondaire à une stimulation directe des basophiles endothéliaux par le produit de contraste, ou une anaphylaxie IgE dépendante avec dégranulation des mastocytes. Elles se traduisent par des anomalies cutanées, digestives, respiratoires, cardiovasculaires... Les manifestations tardives, liées à l'immunité cellulaire, se traduisent essentiellement par des signes cutanés [34].

Dans deux séries japonaises de près de 170 000 patients chacune, les premiers ayant reçu un produit de contraste ionique de haute osmolalité, les seconds un produit non ionique de basse osmolalité, les résultats suivants furent observés : nombre total de

Tableau 5. — Manifestations d'hypersensibilité ou d'allergie aux produits de contraste iodés [32]

Type de réaction	Définition	Fréquence	Manifestations cliniques
Minime	Pas de traitement	1/10	Nausées, vomissement unique, prurit, urticaire localisé, toux, enrouement, congestion nasale...
Modérée	Résolution rapide des symptômes, pas d'hospitalisation	1/100	Urticaire géant, vomissements, douleurs thoraciques ou abdominales, céphalées sévères, œdème laryngé péribuccal ou périorbitaire, crise d'asthme, malaise passager....
Grave	Ces manifestations qui mettent en jeu le pronostic vital, nécessitent une hospitalisation, souvent en réanimation.	1/10.000	Accident respiratoire grave (cyanose, œdème laryngé obstructif), hypotension prolongée, infarctus, trouble du rythme sévère, arrêt cardiaque, OAP, altération de la conscience, convulsions, insuffisance rénale...
Décès		1/100.000	

réactions 12,66 % vs 3,13 % ; réactions sévères 0,22 % vs 0,004 % ; réactions très sévères 0,04 % vs 0,004 % ; décès 0,0006 % vs 0,0006 % [35]. L'utilisation de produits de contraste non ioniques (de loin les plus injectés en France de nos jours) a donc divisé par un facteur dix la fréquence des accidents graves et diminué le risque létal, sans toutefois le supprimer totalement [32].

De façon très exceptionnelle, ces mêmes réactions peuvent survenir lors d'administration de produit de contraste par voie intra-articulaire (arthrographie, arthroscanner).

Produits de contraste gadolinés

Réactions d'allergie ou d'hypersensibilité

Dans un travail de 2007 [36] comprenant deux séries de patients, l'une de 65 000 adultes, l'autre de 13 400 enfants, 54 manifestations allergiques (0,07 %) furent rapportées après administration de produit de contraste gadolinés, dont 48 chez les adultes (0,07 %) et 6 chez les enfants (0,04 %). Quarante de ces manifestations (74 %) étaient légères, dix (19 %) modérées et quatre (7 %) sévères. Il n'y eut pas de décès. Ceci confirme donc l'idée que les chélates de gadolinium sont peu allergéniques, surtout par comparaison avec les produits de contraste iodés.

Fibrose néphrogénique systémique

En 2000, quatorze cas d'un nouveau syndrome associant une fibrose cutanée, des contractures musculaires avec restriction de la mobilité et, parfois, une fibrose viscérale furent rapportés chez des patients hémodialysés [37]. Le rapport entre cette

affection, appelée « fibrose néphrogénique systémique » (FNS) et l'administration de produit de contraste gadoliné n'a été prouvé qu'en 2006 [39]. Une méta-analyse [38] met en évidence un odds ratio de 26,7 (95 % CI 10.27-69.24) pour la survenue d'une FNS chez les patients insuffisants rénaux évolués ayant reçu un produit de contraste gadoliné. Dans la plupart des cas (82 % de 190 cas de FNS) [40], cette FNS fut secondaire à l'administration d'un chélate de gadolinium non-ionique linéaire : le gadodiamide (Omniscan®, GE Healthcare). La FNS se manifeste par la fibrose de certains tissus, comme la peau ou les muscles striés : la peau devient dure, épaisse, infiltrée, surtout au niveau des membres inférieurs, ce qui limite les mouvements, ce d'autant plus qu'existent des douleurs, une faiblesse musculaire, des contractures. La fibrose peut aussi affecter des organes profonds : plèvre, péricarde, myocarde... ce qui rend cette pathologie potentiellement mortelle. Il n'a pas été retrouvé de prédisposition raciale ou génétique [41]. Malgré de nombreuses recherches, la physiopathologie de l'affection reste encore mal connue : activation des macrophages et des fibroblastes par le gadolinium, sous forme ionique ou non dissociée, sous certaines conditions [41]. De nombreux traitements ont été essayés, le plus efficace semblant être le rétablissement de la fonction rénale par une greffe de rein. La prévention de la FNS se limite donc à éliminer l'utilisation de chélates de gadolinium chez les patients insuffisants rénaux, moyennant quoi l'incidence de cette affection est en net déclin [42].

L'imagerie du patient insuffisant rénal continue donc à poser problèmes : par exemple, dans le cadre du bilan d'une artériopathie périphérique, dont le nombre va croissant, l'existence d'une insuffisance rénale associée incite à ne pas prescrire d'angioscanner compte-tenu du risque de décompensation rénale après contraste iodé. L'angio-IRM comporte aussi un risque potentiel de FNS, compte tenu du contexte... Ceci doit donc faire réfléchir à des méthodes alternatives : écho doppler, angio-IRM sans produit de contraste... [43].

En synthèse, les accidents allergiques des produits de contrastes gadolinés sont exceptionnels. La FNS, accident majeur encore imparfaitement connu, peut être évitée en n'administrant pas de chélates de gadolinium aux patients insuffisants rénaux.

Les complications des ponctions articulaires diagnostiques

L'IRM a fait considérablement baisser le nombre des arthrographies diagnostiques. Actuellement, elles-ci sont le plus souvent le premier temps d'un arthroscanner, d'une arthro-IRM [44] ou d'une injection thérapeutique intra-articulaire (anesthésique local, dérivé cortisoné, acide hyaluronique...). Il est donc difficile de dissocier les complications liées à l'injection de contraste iodé et d'une autre substance médicamenteuse.

Arthrographies périphériques

Dans une enquête portant sur 262 000 arthrographies réalisées par 134 radiologues [45], 45 infections (0,02 %), 8 chocs anaphylactiques et 5 complications vasculaires

furent constatées. La plupart des réactions étaient mineures : douleur, malaises vagaux, urticaire. Aucun décès n'a été signalé. Une seconde série de 126 000 arthrographies effectuées par 57 radiologues [46] donne des résultats de même type.

Injections spinales

Les arthrographies zygapophysaires sont fréquemment effectuées comme prélude à un test anesthésique ou à une injection cortisonée. Bien que de multiples complications graves aient été rapportées [47] (arthrite septique, abcès épidural, pneumothorax, lésions médullaires...), celles-ci restent en général anecdotiques et se limitent à des rapports de cas isolé. Seules les injections foraminales, surtout cervicales, ont donné lieu à des complications graves en nombre notable, mais ceci sort du cadre de notre travail.

En synthèse, les complications des injections intra-articulaires restent, dans l'immense majorité des cas, bénignes : douleurs, urticaire... Les complications graves (notamment septiques) sont exceptionnelles.

IATROGÉNICITÉ INDIRECTE DE L'IMAGERIE DIAGNOSTIQUE

L'imagerie médicale peut pécher par d'autres aspects, qualifiés ici de « iatrogénie indirecte ». Cette iatrogénie indirecte, nettement plus difficile à appréhender et à chiffrer que la précédente, est cependant très fréquente : faux-négatifs, faux-positifs, ambiguïtés, incidentalomes... avec des conséquences médicales, sociales, économiques et psychologiques potentiellement lourdes.

Faux-négatifs

La lésion échappe au radiologue. Ces faux-négatifs peuvent être de plusieurs origines : faute technique, mauvaise lecture....

La faute technique qui empêche de voir la lésion constitue l'une des cas les plus fréquents. Il peut s'agir du choix d'une technique mal adaptée, trop peu sensible (par exemple, s'arrêter à la normalité de la radiographie des articulations sacro-iliaques dans la recherche d'une spondylarthropathie, alors qu'une IRM, plus sensible, aurait été positive). L'outil diagnostique peut être adéquat, mais mal utilisé : incidence radiologique, séquence IRM ou plan de reconstruction TDM inadaptés... L'image anormale peut être également méconnue, bien que visible, par inattention, lecture trop rapide ou parce que l'intérêt du médecin s'est focalisé sur une première image, plus évidente.

Enfin, la lésion peut ne pas être décelée, car elle est mal visible du fait de superpositions, de sa discrétion, d'un dossier antérieur non ou peu disponible ou de renseignements cliniques absents ou déficitaires : il n'y a pas eu de réponse à la question dans la mesure où il n'y avait pas de question...

Dans tous ces cas, la méconnaissance d'une image pathologique peut avoir de sérieuses conséquences physiques, psychologiques et économiques en retardant le diagnostic ou en orientant l'enquête sur une mauvaise piste.

Faux-positifs

Le radiologue décrit une image anormale, mais qui n'est pas symptomatique (exemple : cervicarthrose...). Bien que ce cas de figure, extrêmement fréquent ne soit pas réellement un faux-positif, dans la mesure où la lésion existe bien, il s'y apparente et peut avoir les mêmes conséquences.

Mauvaise compréhension du compte-rendu radiologique

Tout examen d'imagerie doit donner lieu à une explication du radiologue au patient, en employant des termes compréhensibles par ce dernier, avec toute la prudence et toute l'humanité requises, surtout en cas de pathologie grave. Si ce n'est pas le cas, à la lecture d'un compte-rendu non ou insuffisamment expliqué, certains termes médicaux peuvent générer une inquiétude, voire une anxiété, d'où une demande médicale supplémentaire. À l'inverse, une douleur accompagnée d'une imagerie normale peut également être anxiogène en l'absence d'explication de la part du radiologue.

Incidentalomes

Un incidentalome est une lésion d'allure tumorale découverte fortuitement chez un patient asymptomatique. Les plus fréquents sont surrénaliens (de 4 % à plus de 10 % des scanners) [48], mais on peut en rencontrer dans de nombreux organes : le foie [49], la thyroïde [50], les parathyroïdes [51], l'hypophyse [52], les annexes [53]. Ces incidentalomes sont en général découverts sur une imagerie en coupe (échographie, scanner, IRM) et leur fréquence a augmenté avec la multiplication de ces imageries. Quelle qu'en soit la localisation [53], la découverte fortuite d'une masse place le médecin entre deux alternatives : ne pas laisser passer une lésion active et ne pas soumettre inutilement le patient à des explorations radiologiques ou chirurgicales, pénibles et coûteuses. D'où les guides de bonne pratique édités par les sociétés savantes devant une telle circonstance [48, 52, 53].

En synthèse, bien que cela soit difficile à affirmer et encore plus à chiffrer, la iatrogénie indirecte parait plus lourde médicalement et économiquement que la iatrogénie directe.

CONCLUSION

Bien qu'à la question initiale — L'imagerie médicale diagnostique est-elle iatrogène ? — la réponse soit indiscutablement oui, le rapport risque /bénéfice reste néanmoins très en faveur du patient. La iatrogénie peut être divisée en deux volets :

directe et indirecte. Au sein de la première, l'irradiation, notamment chez les jeunes, nous parait le point le plus préoccupant, malgré les progrès techniques récents. Le remplacement de certains examens tomodensitométriques par des examens non irradiants (IRM, échographie) serait donc souhaitable. La iatrogénie indirecte, plus difficile à cerner, nous parait au moins aussi lourde de conséquences potentielles. Si l'on exclut les incidentalomes, la fréquence de cette iatrogénie est très dépendante de la qualité des examens d'imagerie et de l'accompagnement humain de ceux-ci. Une politique de santé qui soutienne et favorise clairement la notion de qualité dans les examens d'imagerie serait donc souhaitable. Ces deux décisions : favoriser le remplacement de l'imagerie X par des imageries non irradiantes et promouvoir la qualité sont, au moins partiellement, d'ordre politique.

RÉFÉRENCES

[1] Folley JH, Borges W, Yamasaki T. Incidence of leukemia in survivors of the atom bomb in Hiroshima and Nagasaki. Japan. Am J Med. 1952;13:311-21.

[2] IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire). Les accidents dus aux rayonnements ionisants. Le bilan sur un demi-siècle. Édition du 15 février 2007. IRSN-2007/79. Disponible sur <www.irsn.fr>.

[3] Travis LB, Andersson M, Gospodarowicz et *al.* Treatment-associated leukemia following testicular cancer. J Nal Cancer Inst. 2000 ;92:1165-71.

[4] Bathia S, Robison, Oberlin O, Greenberg M, Bunin G, Fossati-Bellani B, Meadows AT. Breast cancer and other second neoplasms after childhood Hodgkin disease. N Engl J Med. 1996; 334:745-51.

[5] Lin EC. Radiation risk from medical imaging. Mayo Clin Proc. 2010;85:1142-46.

[6] Picano E, Vano E. The Radiation issue in cardiology: the time for action is now. Cardiovascular Ultrasound. 2011;9:35. Disponible sur <http://www.cardiovascularultrasound.com/content/9/1/35>.

[7] Hill C, Doyon F. La fréquence des cancers en France : quoi de neuf depuis l'année dernière. Bull Cancer. 2004;91:9-14.

[8] European Society of Radiology (ESR). White paper on radiation protection by the European Society of Radiology. Insights Imaging. 2011;2:357-62.

[9] Smith-Bindman R, Miglioretti DL, Johnson E et *al.* Use of diagnostic imaging studies and associated radiation exposure for patients enrolled in large integrated health care systems 1996-2010. JAMA. 2012;307, 2400-9.

[10] Yanch JC, Behrman RH, Hendricks MJ, McCall JH. Increased radiation dose to overweight and obese patients from radiographic examinations. Radiology. 2009;252:128-39.

[11] Shuryak I, Sachs RK, Brenner DJ. Cancer risks after radiation exposure in middle age. JNCI J Natl Cancer Inst. 2010;0:1-9.

[12] Berrington de González A, Darby S. Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries. Lancet. 2004;363:345-51.

[13] Scanff P, Donadieu J, Pirard P, Aubert B. Population exposure to ionizing radiation from medical examinations in France. Br J Radiol. 2008;81:204-13.

[14] Hoffman DA, Lonstein JE, Morin MM. Breast cancer in women with scoliosis exposed to multiple diagnostic x-rays. J Natl Cancer Inst. 1989;81:1307-12.

[15] Doody M, Lonstein J, Stovall M et *al.* Breast cancer mortality after diagnostic radiography: findings from the U.S. scoliosis cohort study. Spine. 2000;25:2052-63.

[16] Bone CM, Gordon H. The risk of carcinogenesis from radiographs to paediatric orthopaedic patients. J Pediatr Orthop. 2000;20:251-4.

[17] Dubousset J, Charpak G, Dorion I et *al.* Le Système EOS. Nouvelle imagerie ostéo-articulaire basse dose en position debout. E-mémoires de l'Académie Nationale de Chirurgie. 2005;4:22-27.

[18] Hall EJ, Brenner DJ. Cancer risks from diagnostic radiology. Br J Radiol. 2008;81:362-78.

[19] Brenner DJ, Elliston CD. Estimated Radiation risks potentially associated with full-body CT screening. Radiology. 2004;232:735-738.

[20] Verdun FR, Bochud F, Gundinchet F, Aroua A, Schnyder P, Meuli R. Radiation risk: what you should know to tell your patient. Radiographics. 2008;28:1807-16.

[21] Biswas D, Bible JE, Bohan M, Simpson AK, Whang PG, Grauer JN. Radiation exposure from musculoskeletal computerized tomographic scans. J Bone Joint Surg Am. 2009;91:1882-9.

[22] Mettler FA, Wiest PW, Locken JA, Kelsey CA. CT scanning: patterns of use and dose. J Radiol Prot. 2000;20:353-9.

[23] Pearce MS, Salotti JA, Little MP et *al.* Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. Lancet.2012; 380(9840):499-505.

[24] Paul J, Jacobi V, Farhang M, Bazrafshan B, Vogl TJ, Mbalisike EC. Radiation dose and image quality of X-ray volume imaging systems: cone-beam computed tomography, digital subtraction angiography and digital fluoroscopy. Eur Radiol. 2013;23:1582-93.

[25] Willemink MJ, de Jong PA, Leiner T, de Heer LM, Nievelstein R A. J., Budde RPJ, Schilham AMR. Iterative reconstruction techniques for computed tomography. Part 1: Technical principles. Eur Radiol. 2013;23:1623-31.

[26] Willemink MJ, de Jong PA, Leiner T, de Heer LM, Nievelstein R A. J., Budde RPJ, Schilham AMR. Iterative reconstruction techniques for computed tomography. Part 2: Initial results in dose reduction and image quality. Eur Radiol. 2013;23:1632-42.

[27] Leipsic J, Labounty TM, Heilbron B et *al.* Innovations in CT dose reduction strategy : application of the adaptive statistical iterative reconstruction algorithm. Am J Radiol. 2010; 195:655-60.

[28] Miéville FA, Gudinchet F, Rizzo E, Ou P, Brunelle F, Bochud FO, Verdun FR. Paediatric cardiac CT examinations: impact of the iterative reconstruction method ASIR on image quality. Preliminary findings. Pediatr Radiol. 2011;9:1154-64.

[29] Kerviler (de) E, Bazelaire (de) C, Mathieu O, Albiter M, Frija J. Risques IRM : règles de sécurité, incidents, accidents. J Radiol. 2005;86:573-8.

[30] Klucznik RP, Carrier DA, Pyka R, Haid RW. Placement of a ferromagnetic intracerebral aneurysm clip in a magnetic field with a fatal outcome. Radiology. 1993;187:855-6.

[31] Kanal E. An overview of electromagnetic safety considerations associated with magnetic resonance imaging. Ann N Y Acad Sci. 1992;649:204-24.

[32] Clément O. Iatrogénie des produits de contraste. J Radiol. 2005;86:567-72.

[33] Clément O et le groupe CIRTACI : Deray G, Dewatcher P et *al.* Utilisation des produits de contraste, in « Guide pratique d'imagerie diagnostique à l'usage des médecins radiologues ». Société Française de Radiologie éd., 2009, 57-69.

[34] Morcos SK. Acute serious and fatal reactions to contrast media: our current understanding. Br J Med. 2005.

[35] Katayama H, Yamaguchi K, Kozuka T, Takashima T, Seez P, Matsuura K. Adverse reactions to ionic and nonionic contrast media. Radiology, 1990;175:621-628.

[36] Dillman JR, Ellis JH, Cohan RH, Stouse PJ, Jan SC. Frequency and severity of acute allergic-like reactions to gadolinium-containing IV contrast media in children and adults. AJR 2007;189:1533-8.

[37] Cowper SE, Robin HS, Steinberg SM et *al.* Scleromyxoedemalike cutaneous diseases in renal-dialysis patients. Lancet. 2000;356:1000-1.

[38] Agarwal R, Brunelli SM, Williams K, Mitchell, Feldman HI, Umscheid CA. Gadolinium-based contrast agents and nephrogenic systemic fibrosis: a systematic review and meta-analysis. Nephro Dialysis Transpl. 2009;24:856-63.

[39] Grobner T. Gadolinium-a specific trigger for the development of nephrogenic fibrosing dermopathy and nephrogenic systemic fibrosis? Nephrol Dial Transplant. 2006;21:1104-8.

[40] Broome DR. Nephrogenic systemic fibrosis associated with gadolinium based contrast agents: a summary of the medical literature reporting. Eur J Radiol, 2008;66:230-4.

[41] Chopra T, Kandukurti K, Shah S, Ahmed R, Panesar M. Understanding nephrogenic systemic fibrosis. Int J Nephrol. 2012;2012:912189.

[42] Bennett CL, Qureshi ZP, Sartor AO, Norris LB, Murday A, Xirasagar S, Thompsen HS. History of nephrology gadolinium-induced nephrogenic systemic fibrosis: the rise and fall of an iatrogenic disease. Clin Kidney J. 2012;5:82-8.

[43] Andersen PE. Patient selection and preparation strategies for the use of contrast material in patients with chronic kidney disease. World J Radiol. 2012;4:253-7.

[44] Saupe N, Zanetti M, Pfirrmann CWA, Wels C, Hodler J. Pain and other side effects after MR arthrography: prospective evaluation in 1085 patients. Radiology. 2009;250:830-8.

[45] Hugo PC 3rd, Newberg AH, Newman JS, Wetzner SM. Complications of arthrography.Semin Musculoskelet Radiol. 1998;2:345-8.

[46] Newberg AH, Munn CS, Robbins AH. Complications of arthrography. Radiology. 1985; 155:605-6.

[47] Cheng J, Abdi S. Complications of joint, tendon, and muscle injections. Tech Reg Anesth Pain Manag. 2007;11:141-7.

[48] Terzolo M, Stigliano A, Chiodini I et *al.* AME Position statement on adrenal incidentaloma. Eur J Endoc. 2011;164:851-70.

[49] Gallix B, Aufort S. Incidentalomes. J Radiol. 2007;88:1048-60.

[50] Choi N, Moon WJ, Kim HY, Roh HG, Choi JW. Thyroid incidentaloma detected by time-resolved magnetic resonance angiography at 3T: prevalence and clinical significance. Korean J Radiol. 2012;13:275-82.

[51] Ghervan C, Alina Silaghi A, Nemeş C. Parathyroid incidentaloma detected during thyroid sonography — prevalence and significance beyond images. Med Ultrasonography. 2012;14:187-91.

[52] Freda PU, Beckers AM, Katznelson L, Molitch ME, Montori VM, Post KD, Vance ML. Pituitary incidentaloma: an endocrine society clinical practice guideline. J Clin Endocrinol Metab. 2011;96:894-904.

[53] Spencer JA, Gore RM. The adnexal incidentaloma: a practical approach to management. Cancer Imaging. 2011;11:48-51.

DISCUSSION

M. Jacques ROUËSSÉ

La démarche actuelle de contrôle qualité des mammographies s'étend-elle à d'autres procédés d'imagerie ?

La démarche de qualité concernant les mammographies constitue un modèle malheureusement isolé : contraignante, mais efficace, cette démarche est viable grâce à une juste rétribution de l'acte. Pour les autres actes d'imagerie, bien que divers guides de bonnes pratiques incitent à bien faire, le contrôle est plus quantitatif que qualitatif. Un hiatus de plus en plus grand entre l'augmentation de la qualité prônée et la baisse constante des cotations ne constitue pas un facteur favorisant.

M. Emmanuel-Alain CABANIS

Une première question concerne ces chiffres de « 11 % des accidents d'irradiation d'origine médicale » versus « 50 % d'origine industrielle ». S'agit-il d'industrie nucléaire, médicale (fabrication des matériels de radiodiagnostic) ou bien d'origine industrielle pure (scanners RX géants pour pièces manufacturées ou autres) ?

Ces chiffres sont directement extraits de la publication de l'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) : « Les accidents dus aux rayonnements ionisants. Le bilan sur un demi-siècle. Édition du 15 février 2007. IRSN-2007/79. Site web : www.irsn.fr (Figure 1, p. 17) », citant un article de Chambrette et al : « Chambrette V., Hardy S., Nenot J.C., 2001. Les accidents d'irradiation. Mise en place d'une base de données ACCIRAD à l'IPSN. Radioprotection, Vol 36, n° 4, 477-510, 2001 ». Ce travail compile tous les accidents d'irradiation depuis les années 50, époque où les règles de sécurité et les procédures n'étaient pas celles d'aujourd'hui. Il insiste sur le caractère le plus souvent individuel des accidents industriels (d'où leur nombre) et la diversité de leur origine : perte de source radioactive industrielle, irradiateurs industriels, gammagraphie... ainsi que sur la sous-estimation des irradiations d'origine nucléaire et militaire (souvent couvertes par le secret).

Une deuxième question s'impose : pourquoi existe-t-il encore, en France, des situations évoquées comme celle de « 41 radiographies standards de surveillance d'une scoliose chez un enfant à partir de l'âge de 12 ans » ? Quels sont les facteurs limitant la diffusion du système EOS système radiographique spécialisé à très basse irradiation, dérivé de la « chambre à fil », prix Nobel de Georges Charpak (1992). Pourquoi pas plus de présence en France, déjà sous-équipée en IRM ?

Le traitement des scolioses graves, décidé en fonction d'un suivi méticuleux, a transformé leur pronostic. Ce suivi est basé sur l'examen clinique et des radiographies de la colonne en entier, en particulier pendant les années critiques (de la puberté à la fin de la maturation squelettique), d'où le nombre de radiographies nécessaires dans les cas graves. Autrefois, il n'existait pas d'alternative aux radiographies traditionnelle, très irradiantes. Actuellement, l'arrivée du système EOS a changé la donne en permettant de diviser par un facteur 6 à 9 l'irradiation, bientôt par un facteur 40 environ. Ce système EOS, découverte française, commence à être diffusé dans le monde entier (84 appareils

installés à ce jour), mais assez peu en France (30 appareils tout compris au 1er avril 2014). On ne peut que regretter, de la part de nos autorités de tutelle, l'absence de promotion de cette technique révolutionnaire et de cotation spécifique, ce qui constitue un frein certain à son acquisition.

M. Jean DUBOUSSET

Comment peut-on améliorer la relation médecin-radiologue pour que celui-ci puisse choisir l'examen pertinent pour la pathologie rencontrée ?

À l'heure où l'imagerie devient de plus en plus performante, mais sophistiquée, les relations cliniciens/radiologues doivent évoluer. Le clinicien gagnerait à expliquer en quelques mots le problème qu'il cherche à résoudre. Au radiologue de choisir et de réaliser l'examen le plus apte à résoudre ce problème, ce qui implique aussi chez lui un changement de mentalité. Cette mutation représente une lutte contre nos habitudes respectives. Son succès dépend néanmoins d'une condition : disposer de plateaux techniques suffisamment complets pour pouvoir choisir librement le meilleur outil d'imagerie. C'est malheureusement loin d'être le cas partout.

Mme Marie-Germaine BOUSSER

Y a-t-il une iatrogénie particulière de l'IRM avec ou sans gadolinium chez la femme enceinte ?

Pour l'instant, à ma connaissance, aucun effet nocif des explorations IRM durant la grossesse n'a pu être mis en évidence. Néanmoins, le principe de précaution veut que cet examen soit à éviter, en particulier pendant le premier trimestre, sauf s'il est indispensable.

En ce qui concerne les produits de contraste gadolinés, les données chez la femme enceinte sont insuffisantes. Par conséquent, l'injection d'un agent de contraste IRM n'est pas recommandée mais peut être réalisée après appréciation du rapport bénéfice/risque (CIRTACI : Comité interdisciplinaire de recherche et de travail sur les produits de contraste en imagerie). Deux produits de contraste pour l'IRM ont montré une toxicité chez l'animal : le gadobénate de diméglumine (Multihance®) : les études chez l'animal ont mis en évidence une toxicité sur les fonctions de reproduction. Le risque potentiel dans l'espèce humaine n'est pas connu. MultiHance ne doit donc pas être utilisé au cours de la grossesse, sauf cas de nécessité absolue ; le mangafodipir (Teslascan®) : les études chez le rat ont mis en évidence des effets tératogènes et des études chez le lapin une fœtotoxicité et une embryotoxicité. Le Teslascan® ne doit donc pas être utilisé chez la femme enceinte.

M. Yves GROSGOGEAT

La technique du scanner coronaire est un exemple, parmi d'autres, du risque d'iatrogénie indirecte.

Existe-t-il des appareils IRM compatibles avec un stimulateur ou un défibrillateur cardiaque ?

Non, mais il existe actuellement des stimulateurs ou défibrillateurs IRM-compatibles, techniquement conçus pour limiter les interactions potentiellement délétères des champs

magnétiques et des ondes de radiofréquence sur le matériel et le patient. Ces appareils sont soumis à des contraintes, certaines communes à tous les appareils, d'autres propres à chacun. La procédure reste lourde et complexe : un cardiologue doit être impérativement associé à l'organisation de l'IRM, dans la mesure où ces appareils nécessitent d'être commutés sur un mode « IRM-compatible » avant l'examen, puis reprogrammés en mode normal après l'examen.

M. Jacques BATTIN

Dispose-t-on de données avec des séries importantes concernant la descendance de personnes irradiées sachant le rôle iatrogène des rayons X expérimentalement ? D'où la nécessité pour tout radiologue de s'assurer que sa gratuité n'est pas succinct.

Bien qu'à haute dose d'irradiation, des effets tératogènes soient connus (survivants d'Hiroshima et de Nagasaki), à ma connaissance, aucun effet génétique transmissible imputable à un excès d'irradiation n'a jamais été mis en évidence chez l'homme, y compris suite à l'accident de Tchernobyl.

Pierre RONDOT

A-t-on noté une augmentation de la morbidité chez les tuberculeux surveillés pour des pneumothorax grâce à la surveillance radiologique ?

Du fait de l'irradiation apportée par les multiples radiographies du thorax, à ma connaissance, non.

M. Roger HENRION

Les implants oculaires contrindiquent-ils les examens par IRM ?

À part les implants à déplacement magnéto-induit, encore au stade de concept, non.