



Normes de la CAR en matière d'imagerie par résonance magnétique

Les normes de l'Association canadienne des radiologistes (CAR) se veulent des recommandations, des lignes directrices visant à aider les radiologistes et les spécialistes en imagerie par résonance magnétique (IRM) à optimiser la pratique d'examens d'IRM. Les lignes directrices suggérées ne peuvent aspirer à l'exhaustivité puisque l'équipement, les techniques et les indications font l'objet d'une incessante évolution. Les radiologistes et les spécialistes en IRM qualifiés peuvent modifier ces lignes directrices, en consultation avec les médecins s'il y a lieu, de manière à instituer l'étude qui répond effectivement à la question clinique. Ces lignes directrices ont été conçues à des fins de formation. Elles ne visent en aucun cas l'établissement d'une norme juridique. Le choix de la technique d'examen relève du directeur médical du service d'IRM ou de l'établissement, et du radiologiste-surveillant ou spécialiste-surveillant en IRM. Les médecins et les physiciens en IRM peuvent modifier une norme existante, selon le patient et les ressources disponibles. Le respect des normes de la CAR ne garantit pas un résultat positif en toutes circonstances. Les normes ne doivent pas être considérées comme exhaustives ou excluant tout autre acte qui vise raisonnablement à obtenir les mêmes résultats. Elles n'ont pas pour but d'établir une norme juridique s'appliquant aux actes ou à la conduite; un écart par rapport à ces normes ne signifie pas de façon intrinsèque qu'un tel acte médical ne correspond pas à un niveau de soin acceptable. La décision définitive concernant l'opportunité de toute procédure ou conduite précise doit être prise par les spécialistes en la matière en fonction de toutes les circonstances entourant le cas particulier. Le technologue en IRM doit détenir les connaissances, les compétences et le jugement clinique nécessaires pour optimiser ou pour modifier les techniques en fonction des images résultantes.

Approuvé : Le 28 avril 2011

**Président, Santanu Chakraborty, MD; Mary Ann Johnson, MD;
William Miller, MD; Michael D. Noseworthy, Ph. D. P.Eng.; Jean Seely, MD;
Carole Dennie, MD; Elsie Nguyen, MD; Carlos Torres, MD; Toni Cormier, TRM;
Naeem Khan, MD; Matthias Schmidt, MD; Adnan Sheikh, MD;
Rob Ashforth, MD; Mehran Midia, MD; Gina Di Primio, MD.**

TABLE DES MATIÈRES

I.	INTRODUCTION ET DÉFINITION	4
II.	QUALIFICATION DU PERSONNEL	5
A.	RADIOLOGISTE ET PERSONNEL MÉDICAL DÉTENANT LA QUALIFICATION REQUISE	5
B.	PHYSICIEN MÉDICAL.....	5
C.	TECHNOLOGUE EN RADIATION MÉDICALE	5
D.	TECHNICIEN D'ENTRETIEN	6
III.	CHOIX D'UN SYSTÈME D'IRM	6
IV.	SPÉCIFICATIONS DE L'ÉQUIPEMENT	6
V.	PROGRAMME DE CONTRÔLE DE LA QUALITÉ.....	7
A.	ÉPREUVES DE CONTRÔLE DE LA QUALITÉ.....	7
B.	ESSAIS D'ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE	7
VI.	ESSAI DE RÉCEPTION	8
VII.	PROGRAMME D'AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ.....	9
VIII.	SÉCURITÉ EN MATIÈRE D'IRM.....	9
	CONTRE-INDICATIONS	10
	UTILISATION D'UN PRODUIT DE CONTRASTE ET SÉCURITÉ	10
IX.	RECOURS À LA SÉDATION OU À L'ANESTHÉSIE GÉNÉRALE.....	11
	NORMES CLINIQUES.....	12
A.	CERVEAU, CHEZ L'ADULTE ET L'ENFANT	13
	INDICATIONS DE L'IRM DU CERVEAU	13
	AUTRES INDICATIONS	14
	INDICATIONS DE L'ANGIOMÉTRIE ET DE LA PHLÉBOGRAPHIE PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE	14
	TECHNIQUE	15
B.	TÊTE ET COU.....	17
	INDICATIONS DE L'IRM DE LA TÊTE ET DU COU.....	17
	INDICATIONS DE L'ARM DE LA TÊTE ET DU COU	18
C.	COLONNE VERTÉBRALE, CHEZ L'ADULTE ET L'ENFANT.....	19
	INDICATIONS DE L'IRM DE LA COLONNE VERTÉBRALE	19
	NORME MINIMALE RELATIVE À LA TECHNIQUE D'IRM DE LA COLONNE VERTÉBRALE	20
D.	ABDOMEN ET BASSIN.....	20
	TECHNIQUES D'EXAMEN.....	21
	DÉTECTION, ÉVALUATION OU CARACTÉRISATION DU FOIE	23
	DÉTECTION, ÉVALUATION OU CARACTÉRISATION DU PANCRÉAS	23
	DÉTECTION, ÉVALUATION OU CARACTÉRISATION DES VOIES BILIAIRES ET DE LA VÉSICULE BILIAIRE	23
	DÉTECTION, ÉVALUATION OU CARACTÉRISATION DE LA RATE	23
	DÉTECTION, ÉVALUATION OU CARACTÉRISATION DES REINS ET DES VOIES URINAIRES.....	23
	DÉTECTION, ÉVALUATION OU CARACTÉRISATION DES GLANDES SURRÉNALES	24
	DÉTECTION, ÉVALUATION OU CARACTÉRISATION DU BASSIN : TISSUS MOUS.....	24
	ANGIOGRAPHIE PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE (ARM) ABDOMINALE ET PELVIENNE	24
	INDICATIONS PRINCIPALES POUR L'ARM ABDOMINALE ET PELVIENNE	24
E.	SYSTÈME MUSCULOSQUELETTIQUE	25

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.....	25
INDICATIONS POUR L'IRM DU SYSTÈME MUSCULOSQUELETTIQUE	26
AUTRES INDICATIONS	26
INDICATIONS POUR L'ARTHRO-IRM EN IMAGERIE MUSCULOSQUELETTIQUE.....	26
F. SYSTÈME CARDIOVASCULAIRE.....	27
INDICATIONS POUR L'IRM CARDIOVASCULAIRE.....	27
APPLICATIONS DE L'IRM CARDIOVASCULAIRE.....	28
G. THORAX.....	31
INDICATIONS DE L'IMAGERIE THORACIQUE	31
PERFUSION PULMONAIRE.....	32
VENTILATION PULMONAIRE	32
H. IMAGERIE MAMMAIRE	32
INDICATIONS DE L'IRM MAMMAIRE.....	33
PROTOCOLES.....	33
SÉQUENCES DYNAMIQUES REHAUSSÉES PAR UN PRODUIT DE CONTRASTE.....	33
SÉQUENCES À HAUTE RÉOLUTION SPATIALE.....	33
EXIGENCES DE BASE POUR L'IRM MAMMAIRE.....	33
AUTRES SÉQUENCES	34
ASSURANCE DE LA QUALITÉ.....	35
I. IMAGERIE FŒTALE	35
MESURES DE RÉDUCTION DES MOUVEMENTS FŒTAUX	35
INDICATIONS DE L'IMAGERIE FŒTALE.....	35
ANNEXE A – Modèle de questionnaire de sécurité	37
ANNEXE B – Modèle de questionnaire préalable à la sédation.....	40
ANNEXE C – Acronymes	42
RÉFÉRENCES.....	43

I. INTRODUCTION ET DÉFINITION

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est une technique d'imagerie en plan de coupe qui utilise un champ magnétique puissant, des gradients de champ magnétique orthogonaux qui font l'objet d'une rapide fluctuation, et un rayonnement électromagnétique sous forme d'ondes radio (c'est-à-dire l'énergie radiofréquence [RF]). Le principe de l'IRM repose sur l'interaction entre l'énergie RF à des fréquences caractéristiques et les espèces nucléaires spécifiques (atomes) présentes dans les tissus, lorsque ceux-ci sont soumis à un champ magnétique local. Essentiellement, le noyau (surtout le noyau de l'isotope ^1H de l'hydrogène, que l'on nomme également proton en raison de sa structure nucléaire qui ne comprend qu'un seul proton et aucun neutron) absorbe l'énergie RF correspondant à des fréquences précises lorsque le corps est placé dans un champ magnétique intense. Plus le champ magnétique (B_0) est puissant, plus le rapport signal sur bruit est élevé et plus la fréquence associée au rayonnement de RF devra être élevée. Les appareils d'IRM utilisés à des fins cliniques emploient le plus souvent des champs magnétiques de 1,5 tesla (1,5 T). Toutefois, les systèmes cliniques à 3 T ont vu leur popularité augmenter ces derniers temps en raison d'un rapport signal sur bruit supérieur, d'exigences moindres en ce qui concerne les doses de produits contrastants et d'une résolution spatiale et spectrale accrue. De manière générale, l'IRM possède une excellente capacité de différenciation des tissus normaux et une capacité exceptionnelle de détection des affections. Cette capacité de détection s'appuie sur le profond contraste endogène qu'induisent les tissus en raison de leurs différentes propriétés de relaxation magnétique (c'est-à-dire T_1 et T_2) et de leurs différentes densités protoniques, ainsi que sur le large spectre des séquences d'impulsions d'IRM qui permet de créer différents types de contrastes et le vaste contrôle que l'on peut exercer sur les paramètres d'acquisition des tissus.

On peut avoir recours à une multitude de séquences d'impulsions d'IRM afin d'obtenir des détails anatomiques spectaculaires, ainsi que des renseignements relatifs aux structures fines, au métabolisme et aux fonctions physiologiques. Par exemple, une angiographie par résonance magnétique (ARM) utilise des séquences d'impulsions d'IRM particulières afin de visualiser les vaisseaux sanguins. On divise les techniques d'ARM en trois principaux groupes : l'angiographie par temps de vol (TOF) ou imagerie des flux, l'angiographie par contraste de phase (PCA) laquelle est liée au déphasage des spins des protons entrants, et l'ARM dynamique avec injection de gadolinium. La quantification des flux est également possible grâce à des acquisitions en contraste de phases.

Une étude de perfusion fondée sur un produit de contraste se traduit pour sa part par une injection en bolus de gadolinium et par l'acquisition rapide des volumes associés à divers organes. On pratique habituellement des études de perfusion afin de définir le débit et le volume sanguins d'une région anatomique chez les patients présentant une tumeur ou un AVC aigu.

Les séquences d'impulsions pondérées en diffusion permettent quant à elles d'étudier le mouvement des protons au moyen de puissants gradients. L'indication clinique la plus courante vise la détection d'un AVC ischémique aigu. Cette technique démontre également son utilité en ce qui a trait à l'évaluation des abcès et des tumeurs, et présente une liste croissante d'applications cliniques potentielles pour de nombreux systèmes physiologiques.

En plus de permettre l'acquisition d'images anatomiques, les plus récentes techniques d'IRM ont évolué de manière à gagner en utilité clinique. Citons en exemple l'imagerie du tenseur de diffusion, l'IRM fonctionnelle (IRMf) et la spectroscopie par résonance magnétique.

Dans le domaine pédiatrique, l'IRM est bien établie en tant que modalité d'imagerie de choix pour la plupart des affections touchant le cerveau et la moelle épinière chez les bébés et les enfants. Elle est fort utile pour évaluer les cardiopathies congénitales complexes, ainsi que les malformations vasculaires et tumeurs liées à la tête et au cou, à la poitrine, à l'abdomen, au bassin et aux membres. L'IRM peut faire la lumière sur des malformations complexes de l'appareil génito-urinaire. Nouvelle application clinique, l'urographie par résonance magnétique pourrait un jour remplacer les techniques fondées sur les rayons X et les radio-isotopes pratiquées dans certains établissements. On considère l'IRM comme étant supérieure à la TDM dans bon nombre d'applications cliniques puisqu'elle évite de soumettre le patient à un rayonnement ionisant et permet de mieux différencier les tissus mous. L'IRM peut, en d'autres

occasions, fournir de l'information complémentaire à celle recueillie par TDM, par échographie ou par examens de médecine nucléaire.

À noter que les professionnels de la santé qui consultent le présent document peuvent accéder à une liste de descriptions techniques, de comparaisons et de spécifications établies par le fournisseur sur le site Web mondial de Siemens. Un lien vers le document comprenant les acronymes utilisés en IRM, produit par Siemens Medical, figure par ailleurs à l'annexe C.

II. QUALIFICATION DU PERSONNEL

A. RADIOLOGISTE ET PERSONNEL MÉDICAL DÉTENANT LA QUALIFICATION REQUISE

Les médecins participant à la réalisation et à la supervision des examens d'imagerie par résonance magnétique, ainsi qu'à l'interprétation des images, doivent être des radiologues diagnostiques et détenir des documents attestant de leur expérience ou être titulaires d'un titre d'associé ou d'un certificat en radiologie diagnostique du Collège royal des médecins et chirurgiens du Canada ou du Collège des médecins du Québec, ou l'équivalent. Sont également admissibles les médecins ayant bénéficié d'une formation appropriée à titre d'associés en imagerie, ainsi que les médecins détenant un titre de spécialisation obtenu à l'étranger si ceux-ci font partie du corps professoral du département de radiologie d'une université canadienne ou sont titulaires du permis d'exercice approprié.

Si de nouvelles méthodes d'imagerie et techniques d'intervention font leur apparition, le radiologiste doit obtenir, sous supervision et au moyen de la documentation adéquate, la formation clinique requise avant d'utiliser ces méthodes et techniques de manière indépendante pour effectuer un examen, appliquer des procédures ou interpréter des résultats. Une telle formation doit respecter les règlements provinciaux ou régionaux en vigueur. La formation continue doit répondre aux exigences du programme Maintien de certificat du Collège royal des médecins et chirurgiens du Canada.

B. PHYSICIEN MÉDICAL

Le physicien en IRM doit procéder à l'essai de réception initial aussitôt l'installation du système d'IRM terminée, avant l'instauration de tout examen clinique. L'essai relève préférablement d'un physicien médical travaillant sur place, mais peut également incomber à un physicien médical externe en vertu d'un contrat. Les titres de compétences du physicien médical comprennent un Ph. D. en physique de l'IRM (ou autre technologie de l'IRM connexe). Il doit de plus être titulaire d'un agrément du Collège canadien des physiciens en médecine (CCPM) ou d'un organisme d'ingénierie professionnelle canadien affilié (c.-à-d. P. Eng.) et doit détenir une formation et une expérience spécialisées en IRM. La formation et l'expérience englobent des connaissances approfondies en matière de physique de l'IRM, de composantes et de performance du système, de consignes de sécurité, d'essai de réception et d'épreuves de contrôle de la qualité. L'essai de réception de l'IRM peut être mené par une équipe de physiciens médicaux, pour autant qu'au moins l'un des membres de l'équipe détienne les titres de compétences précédemment indiqués et que celui-ci atteste la qualité de l'équipe pour l'exécution de l'essai.

C. TECHNOLOGUE EN RADIATION MÉDICALE

Le technologue en radiation médicale (RM) doit être homologué par l'Association canadienne des technologues en radiation médicale (ACTRM) dans la discipline de la résonance magnétique ou être inscrit auprès de l'organisme de réglementation provincial et autorisé à travailler dans la discipline de la résonance magnétique.

Il incombe principalement au technologue en radiation d'effectuer l'étude d'IRM et d'assurer la sécurité générale des patients et du personnel, ainsi que les conditions de sécurité visant l'équipement, au sein de l'environnement de l'IRM. Ces responsabilités comprennent le dépistage et la préparation des patients, ainsi que l'optimisation du confort du patient et l'ajustement des paramètres de protocole (au besoin), afin d'effectuer des examens diagnostiques de grande qualité, d'évaluer les images sur le plan technique et sur celui de la qualité, et d'assurer un contrôle de la qualité approprié. Il incombe également au technologue en radiation médicale d'assurer les conditions de sécurité de la pièce d'IRM et de faire en sorte que l'équipe d'entretien n'accède à la pièce que sous supervision directe. Il doit prendre des

mesures de dépistage à l'égard de tout le personnel et lui donner une formation sur l'IRM. S'il détient la qualification nécessaire, le technologue de radiation médicale peut également administrer les injections intraveineuses de gadolinium demandées par le médecin responsable. L'ACTRM encourage le perfectionnement continu des technologues en radiation médicale, dans le respect des règlements provinciaux en vigueur.

D. TECHNICIEN D'ENTRETIEN

Le technicien d'entretien en IRM (également désigné sous le nom d'ingénieur de services) veille à l'installation et à la calibration du système, ainsi qu'à l'entretien préventif périodiquement réalisé sur l'équipement. Le programme d'entretien doit être établi par le fournisseur et être clairement expliqué préalablement à l'achat du système d'IRM. La qualification du technicien en entretien est assurée par la société offrant le service d'entretien et de réparation et par le fabricant de l'équipement qu'utilise le service d'IRM. Il est fortement recommandé d'avoir recours aux services d'un technicien d'entretien travaillant pour le fabricant du système d'IRM. Le technicien d'entretien doit maintenir une communication régulière avec le technologue et le physicien en IRM responsables. L'entretien préventif doit être programmé, exécuté et documenté par un technicien d'entretien qualifié à intervalles réguliers. Le service d'IRM doit également documenter les mesures d'entretien et de réparation entreprises afin de corriger les lacunes du système et tenir à jour la fiche d'entretien et de réparation de l'appareil.

III. CHOIX D'UN SYSTÈME D'IRM

Il existe de nombreux systèmes sur le marché. À l'heure actuelle, les systèmes les plus fréquemment installés au Canada produisent un champ magnétique d'une intensité de 1,5 tesla ou de 3 teslas, bien qu'il existe quelques systèmes à 1,0 tesla (surtout pour un usage spécialisé, comme les systèmes d'IRM périphériques). On retrouve également des systèmes en configuration fermée (c.-à-d. un tube) et en configuration ouverte. Les gradients de champ magnétique ont une incidence directe sur la résolution de l'image et dans une certaine mesure influent sur la vitesse d'acquisition. On constate par ailleurs à l'achat d'un système qu'il est possible de se procurer une multitude de bobines de radiofréquence et de séquences d'impulsions. Évidemment, le choix d'un système est assujéti à des considérations financières et à d'autres facteurs propres au service d'IRM. Il convient néanmoins de bien connaître les médecins traitants et les besoins cliniques en jeu, car ces éléments permettront d'éclairer le choix. Avant d'amorcer le processus d'achat, il est fortement recommandé de constituer une équipe, laquelle sera formée d'un radiologiste et d'un physicien médical détenant de l'expérience en IRM, d'un technologue en IRM et d'administrateurs. En plus d'être affectée à l'achat du système d'IRM, l'équipe devra également voir à tout l'équipement connexe dont il faudra doter l'établissement d'IRM. Citons à titre d'exemple un dispositif d'injection sous pression et des systèmes de monitoring physiologique et d'anesthésie compatibles avec le système d'IRM. Avant de visiter différents centres en prévision d'un achat, l'équipe d'achat doit se réunir afin de discuter des besoins et des demandes à combler. Cette mesure accentuera d'autant plus le caractère efficace et méthodique des visites.

IV. SPÉCIFICATIONS DE L'ÉQUIPEMENT

Les spécifications et le rendement de l'équipement d'IRM doivent respecter toutes les lignes directrices provinciales et fédérales en la matière, notamment les lignes directrices de Santé Canada. Il faut d'abord obtenir une approbation de Santé Canada avant d'instituer le premier examen d'un patient. Il est recommandé d'acheter un système déjà approuvé ou en voie de recevoir une approbation 510(k). Les lignes directrices comprennent, notamment, les spécifications relatives à l'intensité maximale du champ magnétique statique, au taux de changement maximal des gradients de champ magnétique (dB/dt), aux dépôts maximaux de l'énergie des radiofréquences (coefficient d'absorption spécifique; SAR) et aux niveaux de bruit acoustique maximaux.

On conseille au physicien médical de rédiger les spécifications à l'achat et les spécifications de mise à niveau du système, en consultation avec le médecin-surveillant en RM et le technologue en RM.

V. PROGRAMME DE CONTRÔLE DE LA QUALITÉ

Le programme de contrôle de la qualité (CQ) en IRM a pour objectif d'établir une série d'essais et de mesures à effectuer périodiquement afin de déterminer si le système d'IRM fonctionne de manière reproductible et prévisible. Les protocoles régissant les essais en service périodiquement menés sur les systèmes ne cessent de progresser. L'épreuve de contrôle de la qualité doit être exécutée sous la supervision du physicien médical (s'il est sur les lieux), et faire l'objet d'une revue au moins tous les six mois par le radiologiste-surveillant. Il est recommandé d'établir un programme d'entretien préventif afin de minimiser les périodes d'interruption non planifiée.

Une fois l'essai de réception terminé, il incombe à chaque service d'IRM de veiller au maintien de la qualité de ses examens grâce à l'exécution et à l'évaluation d'épreuves d'assurance qualité/de contrôle de la qualité (AQ/CQ) hebdomadaires, s'il y a lieu. L'acquisition des données d'essai peut être effectuée par un technologue en IRM formé par le physicien en IRM à cet égard (tous les technologues en IRM doivent recevoir une formation visant l'exécution et l'évaluation des examens d'AQ/de CQ de base). Ainsi, il convient de mener les essais selon un horaire régulier, dès le début de la journée, avant d'amorcer les examens cliniques. Il est fortement recommandé de suivre les lignes directrices établies par l'American College of Radiology (ACR) en ce qui concerne cette procédure. Cette procédure exige un fantôme ACR et un physicien en IRM. À défaut d'une accréditation de l'ACR, le système peut faire l'objet d'autres procédures hebdomadaires d'AQ/de CQ, conformément aux recommandations formulées par le fournisseur du système en question. Comme dans le cas de l'essai de réception, il incombe à un physicien en IRM, titulaire d'un agrément du Collège des physiciens en médecine ou d'un organisme d'ingénierie professionnelle canadien, et détenant une formation et une expérience spécialisées en IRM, d'analyser les données d'AQ/de CQ et d'en tenir le registre.

Le service d'IRM doit établir un programme de contrôle de la qualité intégrant des documents de procédures et la tenue de registres. Le programme permanent de contrôle de la qualité permet d'évaluer les changements relatifs en matière de performance du système, tels qu'ils ont été définis par le technologue et le physicien médical (s'il est sur les lieux). Il est fortement conseillé de recourir aux services d'un physicien en IRM qualifié (consulter la section portant sur la qualification du personnel ci-dessus) au moins une fois par année afin qu'il puisse évaluer les résultats aux épreuves d'AQ/de CQ et formuler des recommandations (au besoin).

A. ÉPREUVES DE CONTRÔLE DE LA QUALITÉ

Il convient d'exécuter et de documenter les épreuves de contrôle de la qualité suivantes :

- a. mesure de la fréquence centrale;
- b. mesure du rapport signal sur bruit du système avec une antenne de tête ou une antenne de corps;
- c. positionnement de la table;
- d. précision géométrique;
- e. résolution à faible ou à fort contraste;
- f. analyse des artéfacts.

B. ESSAIS D'ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE

Le physicien médical doit revoir chaque année les épreuves de contrôle de la qualité ci-dessous, de même qu'après chaque mise à niveau ou changement d'envergure en matière d'équipement :

- a. revue des registres visant les épreuves de contrôle de la qualité quotidiennes;
- b. mesure de l'uniformité de l'image;
- c. mesure de la linéarité spatiale;
- d. mesure de la résolution spatiale à fort contraste;
- e. mesure de l'épaisseur de coupe, des emplacements et des séparations
- f. évaluation de la qualité de l'image et des artéfacts;
- g. compensation des courants de Foucault;

h. homogénéisation du champ magnétique du système.

Toutes les épreuves de contrôle de la qualité doivent être menées conformément à des procédures et à des méthodes précises.

L'entretien préventif doit être programmé, exécuté et documenté par un technicien d'entretien qualifié à intervalles réguliers. Le service d'IRM doit également documenter les mesures d'entretien et de réparation entreprises afin de corriger les lacunes du système et tenir à jour la fiche d'entretien et de réparation de l'appareil.

VI. ESSAI DE RÉCEPTION

L'essai de réception vise à mesurer les paramètres quantifiables du système afin de les comparer aux spécifications du fabricant. Le physicien médical doit effectuer une évaluation complète de la performance du système aussitôt l'installation terminée, avant la pratique d'exams sur les patients.

L'essai de réception doit comprendre la description et l'inspection détaillées de tout le service d'IRM. Il doit intégrer une évaluation de la salle de l'équipement d'IRM, de la cabine de contrôle, de la salle de l'aimant, de l'aire de préparation des patients et de l'aire d'attente des patients. Cette évaluation générale permet de s'assurer que les lieux ne présentent aucune irrégularité en matière de construction ou de travaux non terminés, de vérifier la disposition et le fonctionnement des éléments d'éclairage et interrupteurs de sécurité, d'établir la circulation des patients et du personnel, d'inspecter les éléments de sécurité (extincteurs d'incendie compatibles avec l'équipement d'IRM, interrupteurs d'arrêt d'urgence, appareils de surveillance des patients, sécurité, etc.), de confirmer la mise à la terre et l'intégrité de la cage de Faraday, ainsi que de déterminer si les travaux d'installation ont été exécutés avec soin et s'ils sont terminés. Le physicien doit également décrire en détail le champ de dispersion magnétique du système d'IRM (même si le service dispose déjà d'un document semblable remis par le fournisseur). Les lignes de champ devraient être mesurées à l'aide d'un magnétomètre à effet Hall tridirectionnel, et illustrées à l'aide d'un schéma des lieux.

Il convient de répéter les essais en service du système, à titre de composante systématique de l'essai de réception. Tous les fournisseurs procéderont à ces essais dans le cadre du processus d'installation de l'appareil. Ceux-ci doivent toutefois être répétés en présence d'un physicien indépendant du fournisseur. Des essais généraux sont donc menés sur le système par le fournisseur, ainsi que des essais portant sur l'homogénéisation du champ magnétique, les courants de Foucault, la stabilité, les images fantômes de quadrature, la performance du système, le rapport signal sur bruit, les pixels blancs, les bruits cohérents, la distorsion géométrique, l'excitation croisée, la précision en matière de position et d'épaisseur de coupe, le seuil de détection des objets à faible contraste et la résolution spatiale à fort contraste, les images fantômes et la linéarité des RF. Une évaluation générale des séquences d'impulsions spécialisées (c.-à-d. des séquences qui ne sont pas systématiquement utilisées par tous les appareils d'IRM) doit également être effectuée. Il n'est ni possible ni utile de mettre toutes les séquences d'impulsions à l'essai. Un tel ensemble de tests fait partie de l'essai de réception clinique, lequel se déroule une fois que le système a été « remis entre les mains » de l'établissement d'IRM clinique par le fournisseur et par le physicien. Les séquences qui doivent faire l'objet d'une évaluation comprennent la spectroscopie par résonance magnétique (^1H SRM, soit PRESS ou STEAM) et la spectroscopie multinucléaire (p. ex., ^{31}P , ^{23}Na). Technique très précise, la spectroscopie se veut une signature indicatrice de la santé du système. En plus des séquences spécialisées, il convient de vérifier l'imagerie parallèle et l'accélération (dans les deux axes du codage de phase), en les soumettant à des essais sur la vitesse, le rapport signal sur bruit et les artéfacts. Enfin, il incombe de vérifier le bon fonctionnement et la capacité de détection des éléments de surveillance des patients associés au système (c.-à-d. l'oxymétrie de pouls et les soufflets respiratoires). S'il en a la possibilité, le physicien peut avoir recours à un oscillateur pour vérifier le fonctionnement de l'ECG.

Le fonctionnement de toutes les bobines de radiofréquence doit être vérifié et leur rapport signal sur bruit doit faire l'objet d'une mesure à des fins de référence. Il convient également de vérifier chaque élément distinct des antennes multicanaux. Ces exams fournissent des mesures de référence valables qui serviront plus tard à établir des comparaisons à l'égard de la santé du système.

La copie papier du rapport sur l'essai d'acceptation doit comprendre les essais réalisés et les valeurs mesurées, les graphiques d'évaluation des données et les images illustrant les lacunes décrites dans le texte. Il convient de transmettre deux copies papier du rapport à l'établissement d'IRM (l'une pour la cabine de contrôle et l'autre pour le directeur principal du service d'imagerie diagnostique) et une copie papier au fournisseur du système d'IRM. Le physicien doit également produire une version électronique du rapport sur CD, comprenant toutes les données de référence acquises dans le cadre des essais et tous les rapports de fournisseur produits par le système d'IRM. Le document de rapport doit intégrer une liste de recommandations et de changements suggérés. Il incombe au fournisseur d'immédiatement régler tous les problèmes de matériel et de logiciel et toutes les défaillances techniques énumérés dans la liste des lacunes, avant que l'appareil ne soit utilisé à des fins cliniques. Il incombe à l'hôpital de régler tous les autres aspects des recommandations. Le rapport doit faire l'objet d'une discussion et d'une évaluation par un ou plusieurs représentants du fournisseur (p. ex., le technicien en entretien), le directeur principal chargé de l'IRM au sein du service d'imagerie diagnostique, le technologue en IRM responsable et le médecin en chef du service d'IRM.

VII. PROGRAMME D'AMÉLIORATION DE LA QUALITÉⁱ

Un programme systématique et documenté d'amélioration de la qualité doit être établi sous la direction du radiologiste-surveillant afin d'assurer le contrôle et l'évaluation de divers problèmes, notamment la claustrophobie, la sédation, l'administration de produits contrastants, les défaillances de l'équipement et les accidents (comme la présence dans la salle d'IRM d'objets métalliques), lesquels pourraient faire en sorte que les patients ou les membres du personnel soient exposés à des dangers. Le contrôle doit porter sur l'exactitude des interprétations radiologiques et sur le caractère approprié des examens. Les complications et les événements indésirables qui surviennent doivent être documentés et faire l'objet d'un examen périodique visant à définir des possibilités d'améliorer les soins aux patients.

Les données doivent en outre être recueillies de manière conforme aux procédures légales et réglementaires d'examen par les pairs, de façon à protéger la confidentialité des données examinées par les pairs.

VIII. SÉCURITÉ EN MATIÈRE D'IRM

Il incombe au radiologiste-surveillant et au technologue en IRM responsable de rédiger, de mettre en application et de documenter les lignes directrices, les pratiques et les politiques en matière de sécurité, et de les passer en revue au moins une fois l'an. Tous les technologues et autres employés de soutien travaillant au sein du service d'IRM sont censés relire attentivement les politiques en matière de sécurité chaque année. L'importance de ces pratiques en matière de sécurité, non seulement pour les patients, mais également pour leurs accompagnateurs et pour toute personne qui pénètre dans le champ magnétique des appareils d'IRM, ne doit faire aucun doute. En ce qui concerne la sécurité en matière d'IRM, il convient de signaler en temps opportun tous les incidents et incidents évités de justesse au médecin en chef du service d'IRM. Ceux-ci feront ensuite l'objet d'une analyse et serviront à élaborer de futurs programmes d'amélioration de la qualité.

Les lignes directrices doivent tenir compte de toutes les interactions possibles entre le fort champ magnétique statique et les objets ferromagnétiques se trouvant à proximité de l'appareil d'IRM, car ces interactions pourraient faire en sorte que des projectiles causent des blessures ou des dommages. Il ne faut jamais tenir pour acquis que l'usage d'un dispositif externe est sécuritaire ou compatible avec l'utilisation d'un système d'IRM alors qu'aucun document n'en fait foi. Il convient dans une telle situation de recueillir tous les renseignements nécessaires avant d'intégrer ce dispositif à la salle d'IRM.

Pour le patient, les risques peuvent être liés au puissant champ magnétique statique (surtout si des implants ou des fils métalliques sont présents dans le corps du patient), ou à une exposition aux radiofréquences ou au champ magnétique variable dans le temps induit par les gradients. Des mesures de dépistage minutieuses doivent être réalisées à l'égard des implants et des dispositifs médicaux, comme il est indiqué ci-dessous. Il est important de noter que des pratiques doivent être mises en place afin de réduire le risque de brûlures chez le patient en cours d'examen d'IRM. Ces pratiques englobent l'optimisation des protocoles de dépistage de manière à ne pas excéder le coefficient d'absorption spécifique maximal, l'utilisation de coussins, le positionnement et la mise en place adéquate des dispositifs de surveillance du

patient. Il convient d'accorder une attention toute particulière aux patients sous sédation et aux patients qui ne peuvent communiquer avec le technologue.

CONTRE-INDICATIONS

Les contre-indications comprennent la présence d'un stimulateur cardiaque ferromagnétique, de certaines valvules cardiaques, d'agrafes ferromagnétiques pour anévrisme intracrânien, de neuro-stimulateurs, de certains implants auriculaires et de corps étrangers ferromagnétiques se trouvant dans des endroits délicats, par exemple dans la région de l'œil. Les contre-indications relatives à l'état du patient englobent la claustrophobie et l'obésité.

Le caractère sécuritaire d'un examen d'IRM pendant la grossesse n'a pas été démontré. La décision d'instituer un examen en cours de grossesse doit être prise au cas par cas, après avoir évalué la nécessité d'un tel examen sur le plan médical et la possibilité de recourir à d'autres méthodes d'imagerie, surtout au cours du premier trimestre.

C'est à l'aide d'expressions de type « sécuritaire aux fins d'IRM » (MRI Safe) et « non sécuritaire aux fins d'IRM » (MRI Unsafe) qu'on indiquait autrefois si les implants et les dispositifs médicaux étaient compatibles avec l'IRM. Bien que ce type d'expressions soit encore en usage, il existe maintenant une liste exhaustive d'articles présentant une « compatibilité conditionnelle avec l'IRM » (MRI Conditional), où le niveau de sécurité conditionnelle de l'article est évalué sur une échelle de 1 à 8 (les valeurs les plus élevées désignant les articles les moins susceptibles d'être sécuritaires aux fins d'IRM). Les niveaux de sécurité conditionnelle aux fins d'IRM ont été établis en fonction du champ spatial des gradients, de la quantité de matériaux ferromagnétiques présents et du degré de réchauffement associé aux RF. Le niveau de sécurité de tous ces articles est également lié à l'intensité du champ magnétique. Les systèmes cliniques à 3T sont de plus en plus fréquents, c'est pourquoi il devient de plus en plus important de tenir compte des niveaux de sécurité conditionnelle. Un tableau indiquant les spécifications de sécurité propres au système d'IRM doit être affiché à l'intention des technologues en IRM. Chaque système diffère à cet égard et tous les employés travaillant dans l'environnement d'IRM devraient être au fait de ces différences.

Les patients doivent faire l'objet d'un dépistage méthodique avant de subir un examen (consulter le modèle de questionnaire de sécurité qui figure à l'annexe A). Il est recommandé d'aviser les médecins traitants des protocoles de dépistage. En effet, un premier dépistage devrait être effectué au bureau du médecin traitant, un deuxième au moment de l'inscription à l'établissement clinique d'IRM, et un troisième devrait être mené par le technologue en IRM chargé de l'examen du patient. Les questionnaires de dépistage devraient être consignés, puis passés en revue par le bureau d'inscription du service d'imagerie diagnostique. Malgré ces quatre niveaux de dépistage, il arrive que certains patients oublient de mentionner un élément et que d'autres omettent des faits de peur de perdre leur rendez-vous. Il faut donc sensibiliser les patients à l'importance du processus de dépistage.

Les implants et les dispositifs médicaux des patients doivent faire l'objet d'un dépistage minutieux, ainsi que d'un suivi afin d'en déterminer la nature exacte et le caractère sécuritaire aux fins d'IRM. Il incombe au radiologiste de déterminer le type exact de dispositif dont il est question, en consultation avec le médecin traitant. Il est conseillé de procéder au dépistage en s'appuyant sur la plus récente édition du *REFERENCE MANUAL FOR MAGNETIC RESONANCE SAFETY, IMPLANTS AND DEVICES* de FG Shellock, publié par la Biomedical Research Publishing Company, à Los Angeles, en Californie. S'ils ne figurent pas dans cet ouvrage, les implants et dispositifs médicaux peuvent faire l'objet d'une recherche en ligne à l'adresse www.mrisafety.com. En dernier recours, les technologues en radiation médicale doivent communiquer avec le fabricant de l'implant ou du dispositif médical afin de recueillir de l'information sur la sécurité du produit aux fins d'IRM. Il est primordial que les centres d'IRM disposent d'un accès Internet afin de pouvoir effectuer des recherches sur les implants et les dispositifs médicaux. Le fait de ne pas bénéficier d'un tel accès peut gravement compromettre la sécurité des patients.

UTILISATION D'UN PRODUIT DE CONTRASTE ET SÉCURITÉ

Un grand nombre d'indications potentielles motivent l'injection de produits de contraste. De manière générale, on utilise les produits de contraste tant dans le compartiment intravasculaire que dans le compartiment extravasculaire dans le but :

- a. de détecter des lésions;
- b. de caractériser des lésions, notamment d'évaluer la perfusion, et
- c. d'évaluer la perméabilité intracavitaire ou de mieux visualiser les anomalies endothéliales ou intramurales.

On cherche habituellement à acquérir des images pondérées en T1 (séquences en écho de spin [SE], en écho de spin rapide [TSE] ou en écho de gradient [GE]) en employant la même technique tant avant qu'après l'administration des chélates de gadolinium.

Le recours à des stratégies telles que les contrastes propres aux tissus, les contrastes combinés et l'imagerie temporisée peut permettre d'accroître le rendement des études rehaussées par un produit de contraste.

Les chélates de gadolinium ne devraient pas être administrés aux patients ayant une hypersensibilité connue ou suspectée au produit, ou ceux atteints d'une insuffisance rénale ou hépatique grave. La fibrose systémique néphrogénique (FSN) est une affection qui, essentiellement, entraîne la fibrose de la peau et des tissus sous-cutanés, mais que l'on sait parfois atteindre d'autres organes internes. Elle est induite par l'injection de gadolinium à des patients atteints d'insuffisance rénale grave. Pour en savoir davantage sur les recommandations en matière de sécurité, veuillez consulter le document *Recommandations et positions nationales de la CAR sur l'administration de gadolinium et la fibrose systémique néphrogénique*, publié en septembre 2008.

Les enfants font l'objet des mêmes préoccupations en matière de réactions allergiques et de fibrose systémique néphrogénique (FSN), des cas de FSN ayant été signalés en pédiatrie [1]. Veuillez noter toutefois que le taux de créatinine sérique pourrait ne pas être fiable à titre de marqueur de la fonction rénale chez les bébés. Des préoccupations d'ordre théorique au sujet de la sécurité du gadolinium chez les nourrissons et les bébés de moins d'un an ont également été soulevées en raison de l'immaturation de la fonction rénale. Par conséquent, il convient de soigneusement analyser les risques et les avantages des techniques de rehaussement par produit de contraste à l'égard de cette population et de possiblement prévoir une consultation de néphrologie avant d'aller de l'avant.

IX. RECOURS À LA SÉDATION OU À L'ANESTHÉSIE GÉNÉRALE

L'IRM se veut une technique assez exigeante pour le patient qui est tenu de demeurer presque immobile dans un espace restreint pendant 20 à 60 minutes. Le long tunnel de l'appareil d'IRM peut paraître intimidant pour certains, et causer un sentiment de claustrophobie chez bien d'autres encore. Pour composer avec ce problème, on a fréquemment recours à des anxiolytiques ou à une sédation consciente. Certains établissements pratiquent également des anesthésies. Tous les établissements doivent disposer de politiques et de procédures en ce qui a trait à l'administration de sédatifs exigeant une surveillance adéquate, aux installations de réanimation auxquelles sont associés des intervenants qualifiés désignés, à une surveillance post-sédation appropriée et au recours à l'anesthésie. Les établissements autres qu'en milieu hospitalier, qui exercent des pratiques de sédation générale, ou de sédation nécessitant une surveillance des signes vitaux, sont tenus de respecter les normes établies par le collège provincial en matière d'administration de sédatifs.

Il arrive fréquemment que les enfants doivent effectuer l'examen d'IRM sous sédation consciente ou sous anesthésie générale en raison de la durée longue de l'examen et de la sensibilité au mouvement inhérente à la technique. Dans la mesure du possible, on tente d'éviter l'administration de sédatifs en se servant de séquences rapides pour l'examen (p. ex., cycle unique en écho de spin rapide), en usant de moyens pour distraire l'enfant (p. ex., systèmes de divertissement à l'intérieur du tube) et en guidant l'enfant d'un ton rassurant. On doit permettre à un parent ou à un soignant d'accompagner le patient pédiatrique sans sédation dans la salle d'IRM. Dans de nombreux établissements, une sédation consciente est pratiquée par des infirmières pédiatriques spécialement formées à cet égard sous la supervision de radiologistes pédiatriques. Les anesthésistes pédiatriques et les spécialistes des soins intensifs peuvent par ailleurs procéder à la sédation et leurs services sont en tout temps sollicités dans le cas d'une anesthésie générale. La sédation consciente est sécuritaire et très efficace lorsqu'elle est pratiquée par une équipe spécialisée [2]. Il est essentiel de bien connaître les soins en réanimation cardiorespiratoire pédiatrique et de disposer des médicaments et de l'équipement nécessaires à la réanimation des enfants de tout âge et de toute taille [3].

Quelle que soit la méthode de sédation envisagée, il faut d'abord procéder à un dépistage afin de vérifier si l'état de santé du patient s'y prête (consulter le modèle de questionnaire préalable à la sédation qui figure à l'annexe B). Ainsi, il convient de s'entretenir avec le patient afin de déterminer si une affection pourrait entraîner des complications en cours de traitement. S'il s'avère souffrir d'une quelconque affection, le patient doit alors faire l'objet d'une évaluation plus approfondie afin de minimiser le risque de blessure associée à la méthode de sédation employée.

NORMES CLINIQUES

Le comité a tenté de dresser la liste des techniques d'IRM actuellement admises en vertu de l'expérience clinique, comme le résume la documentation évaluée par les pairs. Étant donné que l'application clinique de l'IRM ne cesse de progresser, cette liste (ainsi que les indications qui figurent dans le document de référence) ne peut en aucun cas prétendre à l'exhaustivité. Il est très important que chaque service d'IRM établisse des documents de procédures portant sur les indications et les facteurs techniques propres à chaque région anatomique, et que ces procédures soient fréquemment revues. La décision ultime quant à la nature appropriée d'un examen à l'égard d'un patient relève du radiologiste.

Les indications pour un examen peuvent viser n'importe quelle région du corps, et varier selon le logiciel et le matériel d'IRM utilisés, et selon l'efficacité des autres méthodes d'imagerie et la possibilité de recourir à celles-ci.

Pour que l'examen d'IRM remplisse ses objectifs cliniques, son exécution doit tenir suffisamment compte des capacités techniques de l'appareil d'IRM.

La résolution spatiale, l'épaisseur de coupe, le rapport signal sur bruit et le temps d'acquisition font tous partie des paramètres interreliés de la séquence. Ils ont une grande incidence sur la qualité des images et par conséquent, sur la capacité de détection des affections. Dans le cadre d'un examen d'IRM, il faut prendre des décisions importantes au sujet de l'antenne qu'il convient d'utiliser, des plans d'imagerie, du champ de vue, de l'épaisseur de coupe et de l'espace intercoupe, de la matrice d'imagerie, du nombre d'excitations, de la sélection de la bande passante, des paramètres de séquences d'impulsions qui optimisent le signal et le rapport contraste sur bruit et des exigences en matière de synchronisation à l'ECG et de la compensation rétrospective.

Les présentes lignes directrices ne visent pas à dicter les détails de techniques particulières, mais à présenter l'éventail d'applications reconnues de l'IRM et à souligner les exigences minimales nécessaires à leur mise en exécution, exigences que doit cibler le radiologiste, de concert avec le personnel des services auxiliaires.

S'il y a lieu, un médecin ayant reçu une formation sur la réanimation cardiorespiratoire (RCR) en cas d'événement indésirable induit par l'injection de produits de contraste doit administrer des produits de contraste contenant du gadolinium et pratiquer une sédation, conformément aux politiques de l'établissement et aux lois provinciales et fédérales en vigueur. S'il détient la qualification nécessaire, le technologue de radiation médicale peut également administrer les injections intraveineuses de gadolinium sous la supervision du médecin responsable. Un chariot d'urgence contenant tout le matériel nécessaire et des intervenants qualifiés désignés doivent être accessibles aux fins d'intervention immédiate en cas d'événements indésirables graves.

Les services qui pratiquent des examens sous anesthésie générale ou sous sédation doivent disposer de ventilateurs compatibles avec l'IRM et exercer une surveillance du patient adéquate.

La sédation soulève bien des préoccupations en imagerie pédiatrique puisqu'on utilise souvent cette méthode pour immobiliser le patient pendant les longs examens. Il est essentiel que l'équipe qui pratique la sédation s'y connaisse en matière de réanimation cardiorespiratoire pédiatrique, et qu'elle ait un accès immédiat aux médicaments et à l'équipement nécessaires aux soins de réanimation des enfants de tout âge et de toute taille. Les produits de contraste contenant du gadolinium doivent faire l'objet d'une utilisation judicieuse chez les nourrissons et les bébés de moins d'un an en raison de préoccupations d'ordre théorique portant sur l'immaturation de leur fonction rénale.

APPLICATIONS CLINIQUES RECONNUES DE L'IRM :

- A. CERVEAU, CHEZ L'ADULTE ET L'ENFANT
- B. TÊTE ET COU
- C. COLONNE VERTÉBRALE, CHEZ L'ADULTE ET L'ENFANT
- D. ABDOMEN ET BASSIN (SYSTÈME UROGÉNITAL DE L'HOMME ET DE LA FEMME)
- E. SYSTÈME MUSCULOSQUELETTIQUE
- F. SYSTÈME CARDIOVASCULAIRE
- G. THORAX
- H. IMAGERIE MAMMAIRE
- I. IMAGERIE FŒTALE

A. CERVEAU, CHEZ L'ADULTE ET L'ENFANTⁱⁱ

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) du cerveau se veut une modalité d'imagerie de premier ordre lorsqu'il s'agit d'évaluer et de vérifier l'anatomie et les affections du cerveau chez l'adulte et chez l'enfant. À cet égard, sa capacité d'imagerie multiplanaire directe et sa très grande résolution des tissus mous lui valent d'être la technique la plus précise qui soit. Particulièrement en ce qui concerne la fosse postérieure [2, 3], où des artéfacts d'atténuation induits par les os tendent à dégrader les images obtenues par tomodynamométrie.

En raison des changements rapides et des améliorations constantes qui la caractérisent, la technologie de l'IRM continuera d'occuper l'avant-scène des méthodes diagnostiques utilisées pour les affections du cerveau.

Depuis l'apparition de l'imagerie par résonance magnétique, les systèmes présentant un champ magnétique de 1,5 tesla (T) ont été admis à titre de méthode de référence pour différentes applications cliniques. D'incessantes avancées touchant le matériel et les logiciels font en sorte que les systèmes d'IRM deviennent de plus en plus compacts, puissants et polyvalents, permettant ainsi le déploiement de systèmes présentant un champ magnétique plus intense (3,0 T) à des fins de pratiques cliniques et de recherche. Même si les aimants à champ magnétique de 1,5 T sont plus fréquents à l'heure actuelle, l'imagerie à l'aide d'un champ magnétique de 3 T demeure avantageuse à bien des égards : signal, résolution, rapport signal sur bruit et capacité de détection accrus, ainsi que durée d'imagerie possiblement réduite.

Le cerveau des bébés a une teneur en eau beaucoup plus élevée que celui des adultes. Cette quantité d'eau excessive chez le nouveau-né se résorbe graduellement à partir de la substance blanche et de la matière grise de l'enfant au cours des deux premières années de vie. Il est souvent fort utile de prolonger les valeurs de temps de répétition (TR) et de temps d'écho (TE) afin d'optimiser la visualisation des pathologies et de différencier la matière grise et la substance blanche sur les images pondérées en T2 au cours de cette période. À cet égard, des TR de 3 000 millisecondes (ms) et plus, et des TE de 120 millisecondes (ms) et plus sont très intéressants. Il est également fort pratique d'obtenir des séquences axiales pondérées en T1, notamment pour examiner les malformations touchant le développement cortical. Il est par ailleurs essentiel d'avoir recours à une combinaison d'images pondérées en T1 et en T2 pour évaluer la progression de la myélinisation. En IRM de diffusion, le fait que le cerveau du bébé présente une teneur en eau plus élevée que celui de l'adulte se traduit par des coefficients apparents de diffusion plus élevés, tant dans la matière grise que dans la substance blanche.

INDICATIONS DE L'IRM DU CERVEAU**Les indications principales comprennent :**

- a. Déficits neurologiques aigus et chroniques
- b. Anévrisme
- c. Anomalies du sinus artériel ou veineux/dural
- d. Ataxie
- e. Changement de l'état mental
- f. Dysplasie corticale et troubles de la migration

- g. Anomalies des nerfs crâniens
- h. Diminution du niveau de conscience d'un patient de traumatologie qu'un examen de TDM ne peut expliquer (atteinte axonale diffuse)
- i. Troubles de démyélinisation et de dysmyélinisation
- j. Encéphalite
- k. Céphalée
- l. Hydrocéphalie (chez les patients pédiatriques, on préfère l'IRM à la TDM pour évaluer le mauvais fonctionnement d'un shunt)
- m. Processus inflammatoires ou infectieux touchant le cerveau ou les méninges, et complications qui leur sont liées
- n. Maladie neurodégénérative
- o. Dysfonctionnement ou tumeur pituitaire
- p. Syndrome d'encéphalopathie postérieure réversible (SEPR)
- q. Évaluation postopératoire
- r. Tumeurs primitives et métastases
- s. Crises épileptiques
- t. AVC et maladie cérébrovasculaire
- u. Malformations vasculaires
- v. Vascularite

AUTRES INDICATIONS

- a. Étude de perfusion des flux sanguins et du cerveau
- b. Évaluation des hémorragies chroniques
- c. Imagerie fonctionnelle
- d. Guidage d'image aux fins de planification d'intervention ou de traitement
- e. Spectroscopie (y compris l'évaluation des tumeurs cérébrales, des processus infectieux et des affections ischémiques)
- f. Tractographie
- g. Volumétrie

INDICATIONS DE L'ANGIOMÉTRIE ET DE LA PHLÉBOGRAPHIE PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUEⁱⁱⁱ

Les indications comprennent :

- a. Anomalies vasculaires congénitales (sur le plan du développement)
- b. Thrombose du sinus dural et troubles d'occlusion veineuse intracrânienne
- c. Étiologie des hémorragies intracrâniennes et spinales
- d. Lésion post-traumatique aux vaisseaux cervico-cérébraux; évaluation de la présence, de la nature et de l'ampleur de la lésion, y compris une dissection
- e. Présence et ampleur d'une athérosclérose occlusive et d'un phénomène thromboembolique
- f. Présence et ampleur d'une dissection
- g. Présence, emplacement et anatomie d'anévrismes extracrâniens et intracrâniens et de malformations vasculaires
- h. Anatomie vasculaire pertinente aux fins d'évaluation avant une intervention, afin de déterminer l'effet des mesures thérapeutiques, notamment l'évaluation post-traitement à la suite du traitement endovasculaire d'un anévrisme et de l'ablation d'une malformation artérioveineuse

- i. Stadification de tumeurs cérébrales contiguës aux sinus veineux intracrâniens
- j. Affections vasculaires telles que la vascularite et la maladie de Moya-Moya
- k. État vasculaire à la suite de l'oxygénation extracorporelle
- l. Vascularisation des tumeurs

TECHNIQUE

Un vaste éventail de séquences d'impulsions peut être utilisé dans le cadre d'un examen d'IRM du cerveau. Le radiologiste doit établir le protocole de chaque étude à l'aide des séquences d'impulsion appropriées pour répondre à la question clinique en se fondant sur l'information fournie par le médecin traitant. À l'heure actuelle, les protocoles d'imagerie de base les plus couramment admis pour l'IRM du cerveau comprennent une séquence pondérée en T1 dans le plan sagittal, une séquence FLAIR (séquence d'inversion-récupération qui supprime l'image des liquides) pondérée en T2 dans le plan axial, une séquence d'écho de spin rapide (ou l'équivalent) pondérée en T2, ainsi qu'une IRM de diffusion dans le plan axial. De nombreux centres emploient systématiquement l'imagerie écho planaire par écho de gradient dans le cadre du protocole de base en raison de son temps d'acquisition court (10 secondes). Cette séquence permet de détecter la calcification ou les dépôts d'hémossidérine dans un contexte d'hémorragie chronique.

Il existe une corrélation entre l'épaisseur de coupe, la résolution spatiale, le rapport signal sur bruit, le temps d'acquisition et le contraste. Pour optimiser la résolution spatiale dans le cadre de l'imagerie du cerveau, l'épaisseur de coupe utilisée ne doit pas dépasser 5 mm et l'espace intercoupe, 2,5 mm. Pour étudier certaines pathologies de la fosse postérieure, il est possible d'utiliser une séquence en haute résolution fortement pondérée en T2 avec reconstruction 3D (séquence CISS, SPACE ou FIESTA selon le fournisseur). Les systèmes à 3 T utilisent actuellement des épaisseurs de coupe plus petites.

Dans un contexte de traumatologie, on préfère l'IRM à d'autres techniques lorsqu'on suspecte des lésions de cisaillement et une atteinte axonale diffuse dans les cas de traumatisme crânien fermé et de séquelles subaiguës et chroniques de traumatismes crâniens.

N'employant aucun rayonnement ionisant, l'IRM représente ainsi la modalité de choix pour le suivi des shunts intracrâniens chez les patients pédiatriques.

On réalise par ailleurs des études avec injection de gadolinium s'il faut obtenir un diagnostic de lésion et une perceptibilité accrue ou si l'on suspecte une rupture de la barrière hémato-encéphalique. S'il peut être réalisé, la compensation de flux permet d'évaluer les images rehaussées par injection de gadolinium prises dans la fosse postérieure, lesquelles seraient autrement dégradées en raison d'artéfacts de flux induits par les sinus transverse et sigmoïde.

Dans un contexte clinique approprié, on peut aussi avoir recours à plusieurs autres techniques, notamment à des techniques d'imagerie tridimensionnelle, à la neuronavigation et à l'IRM peropératoire, à l'imagerie par transfert de magnétisation et à l'étude de flux du liquide céphalo-rachidien au moyen de séquences d'impulsions par contraste de phase.

L'angiographie par résonance magnétique (ARM) utilise par ailleurs des séquences d'impulsions d'IRM particulières afin de visualiser les vaisseaux sanguins (artères). On divise les techniques d'ARM en trois principaux groupes : l'angiographie par temps de vol (TOF) ou imagerie des flux, l'angiographie par contraste de phase (PCA) laquelle est liée au déphasage des spins des protons entrants, et l'ARM dynamique avec injection de gadolinium. La quantification des flux est également possible grâce à des acquisitions en contraste de phases.

De manière semblable, plusieurs méthodes d'IRM permettent d'obtenir des images des sinus veineux profonds et superficiels, en utilisant notamment des séquences d'impulsions rehaussées ou non d'un produit de contraste. Technique sans produit de contraste la plus fréquemment employée, le temps de vol (TOF) s'appuie sur le flux sanguin pour fournir un signal vasculaire. Les séquences d'impulsions en temps de vol peuvent être des acquisitions en écho de

gradient (GRE) ou en écho de gradient rapide (SPGR). Pour éviter la création d'artéfacts parallèles au plan, il est utile d'avoir recours à des acquisitions dans le plan frontal et sagittal oblique. Technique très courante, la phlébographie par résonance magnétique avec injection de produit de contraste emploie une séquence d'écho de gradient rapide 3D en conjonction avec un bolus de gadolinium. Le contraste vasculaire provient de la réduction de T_1 et ne dépend des effets de flux que dans une assez faible mesure.

Les séquences d'impulsions pondérées en diffusion permettent d'étudier le mouvement des protons au moyen de puissants gradients. L'indication clinique la plus courante vise la détection d'un AVC ischémique aigu. On obtient ainsi une IRM de diffusion selon trois axes orthogonaux (X, Y et Z) par rapport à l'aimant. Il y a également acquisition d'une image non pondérée en diffusion (soit une image pondérée en T_2) avec laquelle calculer le coefficient de diffusion apparent (CDA). L'imagerie du tenseur de diffusion (DTI) suppose l'acquisition d'images selon au moins 6 directions de codage de la diffusion (p. ex., X, Y, Z et XY, XZ, YZ). La tractographie est la collecte d'information tridimensionnelle servant à illustrer la trajectoire virtuelle tridimensionnelle des faisceaux de fibres de la substance blanche. L'imagerie du tenseur de diffusion n'est pas fonction de la rotation, ce qui signifie que la position occupée par la tête dans le tube de l'aimant n'a aucune incidence sur l'imagerie de diffusion calculée ni sur les valeurs de CDA, comme c'est le cas pour l'imagerie de diffusion simple. En raison de récentes avancées en matière de séquences de diffusion, on dispose maintenant d'un ensemble de séquences présentant une insensibilité au mouvement de même qu'à l'effet de susceptibilité magnétique. Ainsi, ces séquences procurent une IRM de diffusion raisonnable malgré la présence d'implants métalliques et, même, dans une certaine mesure, lorsque des mouvements non complexes se produisent.

L'IRM de diffusion permet de caractériser les AVC ischémiques aigus, les abcès, les kystes épidermoïdes, les tumeurs très cellulaires, y compris les lymphomes et les médulloblastomes, ainsi que les lésions de démyélinisation active.

Les études de perfusion utilisent une injection en bolus de gadolinium et l'acquisition rapide de divers volumes associés au cerveau. On pratique habituellement des études de perfusion afin de définir le débit et le volume sanguins d'une région cérébrale chez les patients présentant un AVC ischémique aigu. En combinant l'étude de perfusion et celle de diffusion, les écarts obtenus sont grandement efficaces pour évaluer les tissus cérébraux susceptibles de guérir à la suite d'un traitement thrombolytique approprié.

En matière d'AVC, les protocoles varient selon l'établissement et les ressources d'imagerie dont il dispose. La TDM de la tête, l'angiographie par TDM de la tête et du cou et la perfusion par TDM, si elle est offerte, représentent les modalités d'imagerie les plus habituellement répandues. Le rôle diagnostique de l'IRM classique se limite surtout aux phases subaiguës et chroniques de l'affection, et à la résolution de problèmes chez les patients en phase aiguë. Toutefois, l'instauration de traitements thrombolytiques à l'égard des AVC aigus a fait en sorte de modifier les protocoles de neuroimagerie. À présent, de tels patients subissent également un examen d'IRM lors d'une investigation d'urgence. De récentes avancées technologiques touchant le matériel (aimant, gradients, antennes) et les logiciels (séquences ultrarapides, traitement d'images) permettent maintenant l'exécution d'études morphologiques et fonctionnelles à l'aide de temps d'acquisition très courts. En pratique clinique, on exécute de plus en plus d'études fonctionnelles, notamment des IRM de diffusion et des IRM de perfusion, conjointement avec l'IRM ordinaire. Particulièrement chez les patients symptomatiques affichant des résultats normaux en TDM de la tête, mais chez qui on suspecte des infarctus du tronc cérébral, des infarctus lacunaires et des infarctus de la substance blanche profonde.

L'IRM de perfusion sert également à évaluer les tumeurs cérébrales. On peut en effet quantifier la vascularité accrue de certaines tumeurs cérébrales (gliomes de haut grade) à l'aide du volume sanguin cérébral relatif. L'étude de perfusion permet la mesure indirecte de l'angiogenèse et de la perméabilité au sein d'une tumeur, deux marqueurs biologiques d'importance en matière de malignité, de grade et de pronostic, particulièrement pour les gliomes. Par ailleurs, l'étude de perfusion s'avère fort pratique pour différencier la récurrence tumorale et la radionécrose dans le cadre d'un suivi post-traitement.

La spectroscopie par résonance magnétique (SRM) peut servir à évaluer les métabolites primaires du cerveau, notamment le N-acétylaspartate (NAA; un marqueur de la santé des neurones), la choline (un métabolite de la membrane cytoplasmique), la créatine (qui participe au métabolisme énergétique) et le lactate (rendu visible par le

métabolisme anaérobie). Il est parfois possible de visualiser des métabolites secondaires tels que le méso-inositol, le glutamate et la glutamine, la taurine et d'autres encore. Toutefois, cette détection dépend de la séquence d'impulsions, des paramètres, du rapport signal sur bruit et de la position.

Les séquences de SRM peuvent prendre la forme de séquences PRESS (Point Resolved Spectroscopy Sequence) ou de séquences STEAM (Stimulated Echo Acquisition Mode). On utilise plus fréquemment la séquence PRESS, avec des temps d'écho variables. En prolongeant le temps d'écho, on supprime les espèces nucléaires à T2 court de manière à ne conserver que les principaux pics de choline, de créatine, de NAA et de lactate (s'il y en a). Veuillez noter que le lactate présente une inversion du doublet de méthyle à 1,30 ppm, tandis qu'il fait l'objet d'une évolution J. Toutefois, certains autres métabolites (p. ex., la glycine) et produits pharmaceutiques (p. ex., le propylène glycol) présentent également une inversion de doublets de méthyle lorsqu'ils atteignent environ 1,30 ppm. C'est pourquoi il est essentiel de mener l'identification positive du lactate avec grand soin.

On a recours à la SRM à l'égard d'un vaste éventail de pathologies cérébrales. Toutefois, sur le plan clinique, on l'utilise principalement pour l'examen des tumeurs cérébrales.

Bien que l'analyse détaillée de l'ensemble des techniques d'imagerie avancées en constante évolution outrepassent la portée des présentes normes, il convient quand même de mentionner que les séquences d'impulsions rapides et autres techniques d'imagerie avancées peuvent accroître l'utilité d'une RM du cerveau. Celles-ci comprennent : l'imagerie écho planaire, l'imagerie parallèle, les séquences d'impulsions d'écho de gradient rapide (capables de fournir des renseignements T1 et T2), l'imagerie de susceptibilité magnétique, l'imagerie fonctionnelle, ainsi que des applications volumétriques et morphométriques et autres applications quantitatives.

Il incombe au radiologiste-surveillant de déterminer s'il est avantageux de recourir à des séquences d'impulsions supplémentaires ou à des séquences d'impulsions et à des techniques d'imagerie non classiques pour l'établissement du diagnostic et la prise en charge du patient.

B. TÊTE ET COU

En raison d'avancées en matière d'équipement et de séquences plus rapides, notamment de la technique de suppression de la graisse, bien des services emploient l'IRM comme méthode de choix pour l'imagerie de la tête et du cou. Toutefois, la TDM pourrait également servir à une évaluation préliminaire, surtout à examiner la taille des ganglions lymphatiques, les détails osseux et la calcification. L'IRM est grandement préférable à la TDM lorsqu'il s'agit d'obtenir un contraste très prononcé dans les tissus mous, de différencier le mucus et les fluides des tumeurs et de détecter les atteintes périneurales. La technique d'imagerie de diffusion peut servir à différencier un abcès d'une tumeur nécrotique, c'est pourquoi on l'utilise de plus en plus.

Les désavantages de l'IRM englobent l'incapacité à détecter la calcification et la dégradation des images, surtout dans la partie inférieure du cou, causée par des artefacts de mouvement (mouvement de déglutition ou respiratoire) ou par la présence d'appareils dentaires ou d'obturations métalliques dans la bouche. Choisir la TDM peut également s'avérer judicieux dans le cas d'une infection fulminante, de la non-coopération d'un patient en raison de claustrophobie, d'un degré de lucidité moindre ou d'un état pathologique tel qu'une insuffisance congestive ou une affection respiratoire permettant difficilement l'adoption d'une position couchée.

INDICATIONS DE L'IRM DE LA TÊTE ET DU COU

Les indications comprennent :

- a. Dissection artérielle
- b. Pathologie du plexus brachial
- c. Évaluation des masses cervicales
- d. Tumeur maligne nasopharyngienne et buccale
- e. Tumeurs orbitaires

- f. Adénome parathyroïde
- g. Pathologie rétrocochléaire
- h. Tumeur maligne naso-sinusale
- i. Trouble de l'articulation temporomandibulaire

INDICATIONS DE L'ARM DE LA TÊTE ET DU COU

- a. Athérosclérose et autres maladies artérielles occlusives
- b. Syndrome de traversée thoracobrachiale
- c. Malformations vasculaires dans la région du cou

Le radiologiste-surveillant doit pleinement comprendre les indications, les risques et les avantages de l'examen, ainsi que les autres techniques d'imagerie offertes, et s'appuyer sur les antécédents cliniques appropriés et les examens cliniques détaillés portant sur les résultats du patient, ainsi que sur la ou les questions diagnostiques exigeant réponse.

Le radiologiste doit également bien connaître les séquences d'impulsions utilisées en ce qui concerne l'apparence des divers tissus et la production de possibles artéfacts. Les protocoles de base doivent être réglés en fonction de chaque patient afin d'améliorer la qualité des images.

Souvent, les patients qui affichent des résultats à l'échelle neurologique et manifestent des symptômes à la tête et au cou doivent faire l'objet d'un examen complet du cerveau.

La technique d'IRM de la tête et du cou employée doit faire en sorte d'optimiser le rapport signal sur bruit et la résolution spatiale dans un délai d'imagerie raisonnable, car il s'agit d'une technologie en constante évolution. En effet, les séquences d'impulsions, les protocoles, les produits de contraste, les techniques et les indications font continuellement l'objet de modifications et d'améliorations. Les protocoles d'imagerie détaillés et spécifiques ne sont donc pas inclus dans les présentes normes puisqu'ils varient en fonction de l'équipement, de l'intensité du champ magnétique, de l'intensité du gradient, des options et des techniques de compensation du mouvement disponibles, et qu'ils peuvent par conséquent devenir obsolètes au cours de la période de validité des lignes directrices. Au lieu de cela, des concepts généraux sont énoncés pour favoriser l'élaboration de protocoles optimisés d'évaluation de parties anatomiques et de pathologies précises.

Une antenne tête doit servir aux applications sus-hyoïdiennes et une antenne cervicale, aux applications infrahyoïdiennes. Des antennes de surface spécialisées peuvent pour leur part être utiles pour l'examen de l'articulation temporomandibulaire.

Les images pondérées en T1 optimisent la délimitation des fins détails anatomiques lorsque la structure examinée est entourée de tissus mous. Dans le cas de structures entourées de liquide céphalorachidien, comme les nerfs crâniens se trouvant dans les citernes et les canaux auditifs internes, des images tridimensionnelles en coupe fine pondérées en T2 procurent une excellente définition des détails. Il faut alors avoir recours à une combinaison d'images pondérées en T1 et en T2 dans les plans sagittal, axial et frontal. Pour la plupart des lésions de la tête et du cou, des images obtenues dans le plan axial et frontal peuvent suffire, quoique les images obtenues dans le plan sagittal s'avèrent efficaces pour visualiser la base de la langue, le palais, le nasopharynx et le larynx.

Les techniques d'imagerie rapide permettent de réduire les mouvements physiologiques et d'améliorer la qualité des images. Les images pondérées en T₂ avec suppression de la graisse et les images obtenues après l'injection de gadolinium favorisent grandement la visualisation des pathologies. De leur côté, les séquences de suppression de la graisse pondérées en T1 dans le plan axial facilitent énormément le diagnostic d'hématome de paroi lors d'une dissection vasculaire.

Les techniques d'imagerie 3D deviennent de plus en plus rapides, et pourraient être utilisées plus souvent, surtout pour l'imagerie du plexus brachial. À cet égard, il convient de se réserver du temps pour produire des vues de

reconnaitances de meilleure résolution afin de visualiser et de prescrire l'examen d'imagerie en haute résolution à réaliser le long du plexus brachial et à travers celui-ci.

Par ailleurs, on réalise des études avec injection de gadolinium pour obtenir un diagnostic de lésion et une perceptibilité accrue, c'est-à-dire une caractérisation des tumeurs comprenant l'évaluation des atteintes périneurales, du processus inflammatoire agressif ou des anomalies vasculaires. Les séquences de saturation de la graisse permettent de différencier une lésion subtilement rehaussée et la graisse qui l'entoure.

Les ARM avec injection de gadolinium produisent d'excellentes images des artères du cou sans présenter d'artéfacts de flux et donnent possiblement des renseignements sur les flux dynamiques. Toutefois, la technologie de temps de vol (TOF), qui ne cesse de s'améliorer, pourrait dans la plupart des cas convenir à l'évaluation des artères du cou. L'information indirecte sur les flux, issue de l'angiographie par temps de vol, pourrait servir à repérer efficacement les débits inversés dans les cas de phénomènes de vols vertébraux.

C. COLONNE VERTÉBRALE, CHEZ L'ADULTE ET L'ENFANT

Les essais comparatifs faisant appel aux méthodes d'imagerie classique et s'appuyant sur une corrélation chirurgicale à titre de mesure objective de l'exactitude ont permis de bien établir le rôle de l'IRM de la colonne vertébrale. On lui reconnaît une très grande valeur dans divers domaines, notamment les maladies dégénératives touchant la colonne cervicale et lombaire, les lésions vertébrales inflammatoires, les malformations et les lésions intramédullaires telles que la syringomyélie et les tumeurs. Les applications de l'IRM s'avèrent également fort utiles dans l'évaluation des tumeurs extradurales, intradurales et extramédullaires et des traumatismes et chez les patients présentant des signes et des symptômes de compression médullaire. L'IRM permet d'examiner la moelle osseuse, les disques intervertébraux, le canal rachidien, le foramen neural et les éléments neuraux, notamment la moelle épinière et les nerfs. Techniques plus récentes, l'IRM de diffusion, l'ARM spécialisée en haute résolution de la colonne vertébrale et la neurographie par résonance magnétique procurent une évaluation détaillée de ces structures de la colonne vertébrale.

INDICATIONS DE L'IRM DE LA COLONNE VERTÉBRALE^{iv}

Les indications comprennent les évaluations suivantes :

- a. Arachnoïdite
- b. Anomalies congénitales de la colonne vertébrale
- c. Discopathies dégénératives et leurs séquelles dans la colonne lombaire, dorsale et cervicale
- d. Tissus mous extraduraux et tumeurs osseuses
- e. Masses intradurales-extramédullaires
- f. Pathologie leptoméningée intradurale
- g. Tumeurs intramédullaires
- h. Pathologie intrinsèque de la moelle épinière
- i. Anomalies méningées
- j. Nature et ampleur d'un désalignement osseux
- k. Nature et ampleur d'une lésion à la moelle épinière, à la colonne vertébrale, aux ligaments et aux tissus mous intraspinaux et paraspinaux à la suite d'un traumatisme
- l. Prélèvements postopératoires de liquide spinal
- m. Changements postopératoires dans les tissus mous intraspinaux
- n. Évaluation préalable à la vertébroplastie et à la cyphoplastie
- o. Anomalies spinales associées à une scoliose
- p. Syndrome d'herniation de la moelle épinière
- q. Infection spinale, y compris infection dans l'espace intervertébral, ostéomyélite vertébrale et abcès épidual

- r. Malformations vasculaires dans la colonne vertébrale ou cause d'une hémorragie sous-arachnoïdienne occulte
- s. Syringohydromyélie
- t. Champ d'irradiation en radiothérapie

NORME MINIMALE RELATIVE À LA TECHNIQUE D'IRM DE LA COLONNE VERTÉBRALE

- a. Une antenne cervicale (soit postérieure seule ou combinée à une antenne cervicale antérieure) pour la colonne cervicale et une antenne de surface spécialisée pour la colonne vertébrale, ou des antennes de surface en réseau phasé pour l'examen des colonnes thoracique et lombaire.
- b. Une combinaison de séquences en plan sagittal pondérées en T1, en T2 et STIR peut être obtenue. Encore une fois, les protocoles doivent être ajustés pour répondre à des questions cliniques précises. Par exemple, pour examiner les racines nerveuses, on doit ajouter des images axiales pondérées en T2 ou occasionnellement en T1. Dans les cas de scoliose pédiatrique, de malformations congénitales et de syndrome de la moelle attachée suspecté, il est préférable d'examiner le rachis entier. Des séquences frontales peuvent être utiles.
- c. Une épaisseur de coupe maximale de 3 à 5 mm et de 1,5 à 2 mm pour la colonne cervicale et les racines nerveuses correspondantes.
- d. L'espace intercoupe doit être réduit au minimum.
- e. La sélection du profil de coupe et de la matrice image entraîne une résolution spatiale dans le plan de coupe de l'ordre de 1 à 2 mm.
- f. Selon l'indication, on doit utiliser une combinaison de rephasage par impulsion de gradient, de synchronisation cardiaque et d'impulsions de saturation pour les séquences d'écho de spin (conventionnelles ou rapides), ou encore le rephasage par impulsion de gradient avec ou sans synchronisation cardiaque et des impulsions de saturation pour les séquences d'écho de gradient. Des séquences sagittales ou axiales d'écho de gradient pondérées en densité protonique peuvent être substituées aux séquences pondérées en T2, en particulier dans les cas de problèmes biomécaniques au niveau de la colonne cervicale ou thoracique.
- g. Les chélates de gadolinium doivent être utilisés dans l'évaluation des affections intramédullaires et leptoméningées, particulièrement en présence de tumeurs. Dans les cas de tumeurs cérébrales pédiatriques dont on sait qu'elles forment des métastases par dissémination sous-arachnoïdienne, il est essentiel, avant toute chirurgie, de réaliser un examen avec injection de gadolinium de l'axe cérébrospinal entier, y compris l'intégralité du sac théal. Les produits de contraste doivent également être utilisés systématiquement pour différencier le tissu cicatriciel des disques, particulièrement dans le cas de séquelles de l'échec chirurgical rachidien après une discectomie récente.

D. ABDOMEN ET BASSIN^v

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) de l'abdomen et du bassin est utile pour établir le diagnostic initial et évaluer la gravité de la maladie, clarifier les anomalies observées avec d'autres types d'imagerie, stadifier certaines tumeurs malignes et effectuer des évaluations de suivi d'un éventail de processus morbides. L'IRM de l'abdomen et du bassin est une technologie en pleine évolution : les séquences d'impulsions, les protocoles, les produits de contraste, les techniques et les indications sont continuellement modifiés et améliorés. Les protocoles d'imagerie détaillés et spécifiques ne sont pas inclus dans les présentes normes puisqu'ils varient en fonction de l'équipement, de l'intensité du champ magnétique, de l'intensité du gradient, des options et des techniques de compensation du mouvement disponibles, et qu'ils peuvent par conséquent devenir obsolètes au cours de la période de validité des lignes directrices. Au lieu de cela, des concepts généraux sont énoncés pour favoriser l'élaboration de protocoles optimisés d'évaluation de parties anatomiques et de pathologies précises. Les établissements d'IRM doivent élaborer les protocoles pour chaque zone abdominale et pelvienne à évaluer, et pour diverses pathologies courantes. Ces protocoles doivent reposer sur la sélection de facteurs techniques permettant d'atteindre un équilibre approprié entre la résolution spatiale, le champ anatomique couvert, le rapport signal sur bruit, le contraste et le temps d'acquisition. Pour une image optimale, on doit sélectionner judicieusement l'antenne, le champ de vue, la matrice d'imagerie, l'épaisseur de coupe, l'espace intercoupe, le nombre d'excitations, les plans de coupe et les techniques de compensation de mouvement ou d'apnée à

utiliser. Le choix de codage de phase pour permettre les champs de vue partiels doit être envisagé pour réduire le temps d'acquisition. L'injection intraveineuse ou intracavitaire de produits de contraste et les séquences d'impulsions postcontraste doivent être envisagées, soit systématiquement, pour certains protocoles, soit au besoin, en fonction de l'examen précontraste. Les protocoles d'imagerie abdominale et pelvienne doivent être élaborés pour chaque organe abdominal (le foie, les reins, le pancréas, etc.) et pour des pathologies courantes de ces régions anatomiques. Des protocoles généraux de dépistage pour des zones anatomiques plus vastes doivent également être disponibles. Les protocoles devront peut-être être adaptés à des groupes de patients particuliers, p. ex., les enfants, les patients obèses ou les patients peu coopératifs. Une sédation peut s'avérer nécessaire chez les patients extrêmement anxieux ou claustrophobes.

Les systèmes d'IRM à 1,5 tesla sont les plus courants en clinique dans l'IRM du corps entier, mais des avancées en cours dans les systèmes à 3,0 T sont prometteuses dans un éventail d'indications de plus en plus vaste.

L'IRM de l'abdomen et du bassin doit être réalisée à la demande du médecin traitant du patient ou d'un dispensateur de soins de santé autorisé, pour une indication pertinente. Pour chaque demande reçue, le radiologiste ou le spécialiste en IRM doit évaluer l'indication et déterminer si l'IRM constitue l'examen indiqué, et le cas échéant, prescrire le protocole approprié, préciser la région à couvrir et déterminer la nécessité d'injecter un produit de contraste intraveineux ou intracavitaire. S'ils sont disponibles, les résultats d'examens d'imagerie antérieurs doivent être revus et évalués au moment de la rédaction du rapport.

TECHNIQUES D'EXAMEN

- a. Utiliser si possible des antennes de surface en réseau phasé, à moins que l'habitus ou l'état de santé du patient ne l'empêche. Les bras doivent être positionnés confortablement en fonction du plan choisi et de la direction du codage de phase. Pour certains examens, comme celui du rectum, de la prostate ou du bassin féminin, l'utilisation d'antennes intracavitaires peut être envisagée si elles sont disponibles.
- b. La matrice d'imagerie, le champ de vue et l'épaisseur de coupe doivent être choisis judicieusement de façon à couvrir complètement la région anatomique d'intérêt, et optimisés afin d'atteindre un équilibre entre le champ anatomique couvert et la résolution. En général, l'épaisseur de coupe ne doit pas dépasser 1,0 cm, une épaisseur de 5 à 7 mm étant généralement atteignable. Une résolution spatiale axiale de 3 à 5 mm dans le plan de coupe est recommandée dans la plupart des protocoles. Un espace intercoupe de 20 % est habituellement utilisé; l'espace ne doit pas dépasser 30 %.
- c. Les protocoles pour la plupart des parties anatomiques doivent inclure des séquences pondérées en T1 ou en T2, des séquences de suppression de la graisse pondérées en T2 ou des séquences STIR (*short tau inversion recovery*) en opposition de phase, généralement dans le plan axial. L'imagerie dans les plans sagittal et frontal peut s'avérer utile pour évaluer les structures anatomiques complexes et décrire les pathologies. Dans le cas de l'imagerie pelvienne, les plans sagittal et axial sont généralement les plus utiles. Pour évaluer les lésions utérines, les plans d'imagerie idéaux sont parallèles au grand et au petit axe du corps utérin.
- d. Les images pondérées en T1 et en T2 peuvent être obtenues à l'aide de séquences d'écho de spin classiques (SE), de séquences d'écho de spin rapide (FSE ou TSE) ou de séquences d'écho de gradient (GRE). Les séquences TSE et GRE peuvent être obtenues en utilisant des techniques d'apnée. Dans les cas de séquences sans apnée, des techniques de réduction des mouvements respiratoires appropriées doivent être employées. La suppression de la graisse est souvent utile pour l'acquisition d'images pondérées en T2 par séquence STIR ou SPIR (*spectral presaturation inversion recovery*) et pour l'acquisition d'images précontraste pondérées en T1, généralement à l'aide de la technique SPIR. L'administration d'un agent réduisant le péristaltisme intestinal comme le Buscopan ou le Glucagon doit être envisagée pour certains examens. Les agents de contraste négatif ou positif administrés oralement peuvent être utiles en imagerie gastro-intestinale, et les agents de contraste négatif oraux peuvent servir à supprimer le signal et réduire les artéfacts liés au contenu intestinal lors de l'examen d'autres organes.
- e. Pour l'imagerie du foie, des reins et des glandes surrénales, la technique CSI en phase et déphasée peut s'avérer utile pour caractériser les lésions, puisqu'elle est efficace dans les cas de stéatose hépatique et pour la détection de lipides intracellulaires dans certaines lésions surrénales (adénomes) et rénales (angiomyolipomes). L'IRM de

diffusion peut avoir une certaine utilité dans le cadre des examens d'évaluation et du suivi de traitement en oncologie, et fait actuellement l'objet d'études.

- f. En l'absence de contre-indications, l'injection intraveineuse de chélates de gadolinium (ou de nouveaux agents adaptés à chaque tissu) peut aider à rendre les lésions plus détectables et à faciliter leur caractérisation et leur stadification, lors de l'évaluation directe du système vasculaire ainsi que de la vascularité et de l'apport vasculaire des organes et des lésions pathologiques. L'acquisition dynamique d'images après injection de contraste facilite la caractérisation des lésions dans les phases artérielle, veineuse portale, d'équilibre, et, dans le cas des lésions rénales, dans les phases néphrographique et pyélographique. Dans le cas de cholangiocarcinomes suspectés, l'imagerie de phase tardive contribue à la caractérisation des lésions. Les techniques de saturation sélective de la graisse sont recommandées. Les techniques 2D et 3D peuvent être employées, et les techniques 3D peuvent être acquises en résolution isotrope ou quasi isotrope et utilisées pour la reconstruction multiplanaire. Les techniques par soustraction peuvent être utiles pour détecter des rehaussements subtils.
- g. Pour l'évaluation des voies biliaires et du canal pancréatique (CPRM) et du système collecteur rénal dilaté, des séquences fortement pondérées en T2 sont utiles. On peut utiliser une technique d'acquisition en pile de coupes épaisse dans des plans multiples ou en multiples coupes fines dans un seul plan.
- h. Les capsules de vitamine E s'avèrent utiles pour marquer la peau et localiser les masses palpables dans les tissus mous afin de confirmer que ces dernières sont incluses dans la zone critique.

DÉTECTION, ÉVALUATION OU CARACTÉRISATION DU FOIE

- a. Affection diffuse du foie
- b. Résultats d'autres examens d'imagerie exigeant une clarification, ou résultats anormaux d'analyse de laboratoire
- c. Lésions hépatiques focales
- d. Anomalies congénitales connues ou suspectées
- e. Métastases connues ou suspectées
- f. Donneur de foie potentiel
- g. Réponse de la tumeur au traitement
- h. Perméabilité vasculaire

DÉTECTION, ÉVALUATION OU CARACTÉRISATION DU PANCRÉAS

- a. Pancréatite chronique ou complications d'une pancréatite aiguë
- b. Lésions indéterminées détectées au moyen d'autres techniques d'imagerie
- c. Masses pancréatiques connues ou suspectées
- d. Anomalie, obstruction ou dilatation du conduit pancréatique
- e. Accumulation liquidienne pancréatique ou péripancréatique
- f. Planification de la chirurgie en cas de tumeur pancréatique

DÉTECTION, ÉVALUATION OU CARACTÉRISATION DES VOIES BILIAIRES ET DE LA VÉSICULE BILIAIRE

- a. Cancer des voies biliaires et de la vésicule biliaire
- b. Calculs du canal cholédoque ou de la vésicule biliaire
- c. Dilatation des voies biliaires

AUTRE

- a. Évaluation des maladies inflammatoires de l'intestin
- b. Détection et caractérisation d'accumulations liquidiennes intra-abdominales
- c. Détection et caractérisation de tumeurs rétropéritonéales non déjà mentionnées
- d. Détection et évaluation de tumeurs péritonéales primitives et métastatiques
- e. Évaluation d'anomalies urétérales
- f. Évaluation préopératoire de tumeurs gastriques

DÉTECTION, ÉVALUATION OU CARACTÉRISATION DE LA RATE

- a. Clarification d'anomalies diffuses de la rate
- b. Lésions indéterminées détectées au moyen d'autres techniques d'imagerie

DÉTECTION, ÉVALUATION OU CARACTÉRISATION DES REINS ET DES VOIES URINAIRES

- a. Lésions indéterminées détectées au moyen d'autres techniques d'imagerie
- b. Urographie par résonance magnétique visant à déceler des anomalies anatomiques ou physiologiques du système collecteur
- c. Évaluation d'un donneur de rein potentiel
- d. Stadification et évaluation préopératoire des tumeurs rénales

DÉTECTION, ÉVALUATION OU CARACTÉRISATION DES GLANDES SURRÉNALES

- a. Lésions indéterminées détectées au moyen d'autres techniques d'imagerie
- b. Phéochromocytome et adénome surrénalien fonctionnel

AUTRE

- a. Évaluation des maladies inflammatoires de l'intestin
- b. Détection et caractérisation d'accumulations liquidiennes intra-abdominales
- c. Détection et caractérisation de tumeurs rétropéritonéales non déjà mentionnées
- d. Détection et évaluation de tumeurs péritonéales primitives et métastatiques
- e. Évaluation préopératoire de tumeurs gastriques

DÉTECTION, ÉVALUATION OU CARACTÉRISATION DU BASSIN : TISSUS MOUS

- a. Détection d'une récurrence de tumeurs de l'intestin, de la vessie, de la prostate ou des organes gynécologiques à la suite d'une résection ou d'une exentération
- b. Évaluation d'anomalies fœtales et placentaires
- c. Évaluation de troubles du plancher pelvien associés à l'incontinence urinaire ou fécale
- d. Détection et stadification de tumeurs gynécologiques malignes, notamment celles de la vulve, du col utérin, de l'utérus, des ovaires et des trompes de Fallope
- e. Détection et stadification des tumeurs malignes de l'intestin, de la prostate, de la vessie, du pénis et du scrotum
- f. Détermination de l'anatomie et de la perméabilité artérielle et veineuse
- g. Détermination du nombre, de la localisation et du type de fibromyomes (solides ou hémorragiques) avant la myomectomie, l'hystérectomie ou l'embolisation des artères utérines
- h. Évaluation de complications à la suite d'une chirurgie pelvienne, notamment les abcès, les urinomes, les lymphocèles, l'entérite radique et la formation de fistules
- i. Évaluation de douleurs ou d'une masse pelviennes; détection d'une adénomyose, de kystes ovariens, d'une torsion, d'abcès ovario-tubaires et de masses solides bénignes, de trompes de Fallope obstruées, d'endométriomes et de fibromyomes
- j. Identification et stadification de sarcomes des tissus mous
- k. Identification d'une anomalie congénitale des viscères pelviens chez l'homme et la femme
- l. Identification de la source de douleurs abdominales basses chez les femmes enceintes, notamment l'appendicite et les masses ovariennes et utérines

ANGIOGRAPHIE PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE (ARM) ABDOMINALE ET PELVIENNE

L'ARM permet d'évaluer de manière non effractive et fiable les maladies primitives des vaisseaux sanguins abdominaux et pelviens, l'effet des tumeurs sur les vaisseaux, l'apport vasculaire aux tumeurs et la source d'une hémorragie. Elle peut être pratiquée chez les patients qui ne tolèrent pas les produits de contraste iodés ou paramagnétiques. La technique évolue constamment et diverses options sont disponibles, notamment des techniques d'angiographie 2D, 3D, par temps de vol, par contraste de phase ou rehaussée par un agent de contraste.

INDICATIONS PRINCIPALES POUR L'ARM ABDOMINALE ET PELVIENNE

- a. Détermination de l'étiologie de l'hémorragie
- b. Détermination de l'étiologie, de l'étendue et de la gravité des processus pathologiques primitifs des vaisseaux, p. ex., l'athérosclérose occlusive, les anévrysmes, les dissections, les malformations vasculaires et la thromboembolie veineuse
- c. Évaluation de l'apport vasculaire aux tumeurs

- d. Planification préopératoire pour la transplantation, la chirurgie vasculaire ou la résection d'une tumeur

E. SYSTÈME MUSCULOSQUELETTIQUE

L'IRM est souvent l'examen diagnostique non effractif le plus sensible pour détecter les anomalies anatomiques du système musculosquelettique. Les résultats peuvent toutefois être trompeurs s'ils ne sont pas corrélés étroitement aux antécédents cliniques, à l'examen physique, aux examens physiologiques comme les tests de conduction nerveuse et l'électromyographie, ainsi qu'à d'autres examens d'imagerie.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

- a. Le recours à une antenne spécialisée est nécessaire pour maximiser le rapport signal sur bruit et la résolution dans le plan de coupe.
- b. Les patients doivent être positionnés convenablement dans une posture confortable où ils peuvent rester immobiles. Il faut s'efforcer de placer la zone d'intérêt au centre du champ magnétique, l'homogénéité de l'aimant y étant maximale. L'utilisation de capsules de vitamine E est recommandée pour localiser les masses subtiles dans les tissus mous, afin de confirmer que l'image inclut la région à l'origine des préoccupations cliniques.
- c. Le choix de séquences peut être optimisé en vue de répondre à des questions cliniques précises et peut varier en fonction des préférences locales. Un protocole d'imagerie typique peut être composé de séquences d'écho de spin classiques, de séquences d'écho de spin rapide, de séquences STIR et de séquences d'écho de gradient. Le temps de répétition (TR) exact, le temps d'écho (TE) et l'angle de bascule choisis dépendent de l'intensité du champ de l'aimant et de la pondération relative désirée. Les protocoles comprennent habituellement des images acquises selon des plans de coupe multiples.
- d. Le champ de vue dépend de la structure anatomique à examiner; pour le genou, par exemple, le champ de vue devrait être de 16 cm ou moins. L'épaisseur de coupe maximale doit être inférieure à 4 mm pour le genou et l'épaule, et se situer entre 1,5 et 3 mm pour le poignet et le coude. L'espace intercoupe ne doit pas dépasser 10 %. Avec les appareils récents et les gradients élevés, aucun espace intercoupe ne doit être utilisé.
- e. Les images de troubles associés aux cartilages articulaires peuvent être acquises au moyen de diverses séquences d'impulsions, notamment les séquences d'écho de spin rapide, les séquences pondérées en densité protonique, les séquences pondérées en T2 avec ou sans suppression de la graisse et les séquences d'écho de gradient (GRE) 3D. Les séquences 3D isotropes (GRE, écho de spin rapide pondérée en densité protonique ou T2) gagnent en popularité en raison des possibilités de reformatage multiplanaire.
- f. Le rehaussement au moyen de chélates de gadolinium permet de détecter, de caractériser et de stadifier les masses musculosquelettiques et leur récurrence avec une précision accrue. Le gadolinium joue également un rôle dans l'évaluation des maladies inflammatoires.
- g. Dans le cas de l'arthro-IRM, des images pondérées en T1 avec suppression de la graisse — soit une séquence d'écho de spin rapide 2D ou une séquence d'écho de gradient rapide avec gradient déphaseur — sont utilisées pour évaluer les lésions des bourrelets articulaires. Au moins une séquence pondérée en T2 est habituellement utilisée en arthro-IRM pour montrer les anomalies invisibles sur les images pondérées en T1 et pour détecter le liquide qui ne communique pas avec l'articulation ayant fait l'objet d'une injection. De plus, les séquences pondérées en T1 sans suppression de la graisse s'avèrent utiles pour évaluer la moelle osseuse et caractériser les lésions des tissus mous.
- h. Les images axiales obliques parallèles au col du fémur et les images reformatées en plan radial autour du col du fémur sont utilisées pour évaluer les conflits fémoroacétabulaires.
- i. Pour les articulations contenant des implants métalliques de taille importante, on utilise des techniques de réduction du signal du métal qui, habituellement, permettent de réduire les artéfacts métalliques sans toutefois les éliminer complètement. Ces techniques comprennent, entre autres, l'ajustement des paramètres de la séquence : trains d'échos plus longs, largeur de bande accrue de l'antenne de réception, champs de vue réduits,

taille de la matrice accrue dans la direction de codage de la fréquence et contrôle des directions de codage de la phase et de la fréquence.

INDICATIONS POUR L'IRM DU SYSTÈME MUSCULOSQUELETTIQUE

Les indications principales pour l'IRM du système musculosquelettique sont, entre autres :

- a. Arthrite d'origine inflammatoire, infectieuse, neuropathique ou post-traumatique, arthrite dégénérative ou à microcristaux
- b. Affections congénitales et développementales : dysplasie, variantes normales symptomatiques et asymptomatiques
- c. Fractures d'origine traumatique ou pathologique, fractures par insuffisance osseuse et fractures de stress
- d. Infection des os, des articulations ou des tissus mous
- e. Corps intra-articulaires cartilagineux, ostéocartilagineux et osseux
- f. Anomalies de la moelle osseuse : contusions osseuses, ostéonécrose, oedèmes de la moelle, fractures de stress; stadification des maladies invasives de la moelle (métastases, myélome et maladies primitives de la moelle osseuse)
- g. Lésions des ménisques et des bourrelets articulaires : déchirures avec ou sans déplacement, ménisque discoïde, kystes méniscaux, complications de chirurgies touchant les ménisques ou les bourrelets articulaires
- h. Lésions et troubles musculaires et musculotendineux : déchirures partielles et totales, myopathies d'origine inflammatoire, infectieuse, neuropathique ou dégénérative
- i. Tumeurs bénignes et malignes des os, des articulations ou des tissus mous
- j. Affections neurologiques : syndromes canaux et compression d'un nerf, dénervation, névrite périphérique
- k. Anomalies ostéochondrales et du cartilage articulaire : fractures ostéochondrales, ostéochondrite disséquante, chondrose dégénérative, fractures chondrales
- l. Affections synoviales : synovite inflammatoire et nodulaire, ténosynovite, bursite, kystes mucoïdes
- m. Lésions et troubles tendineux : déchirures partielles et totales, tendinites, tendinopathies, déchirures traitées et xanthomes
- n. Affections vasculaires : compression chronique, anévrisme, sténose, occlusion

AUTRES INDICATIONS

- a. Arthrite : suivi de la réponse au traitement
- b. Maladies infectieuses : surveillance de la réponse au traitement et détermination du site idéal pour la prise d'échantillons
- c. Maladies inflammatoires : détermination du meilleur site pour la biopsie ou la prise d'échantillons et surveillance de la réponse au traitement
- d. Maladies néoplasiques : détermination du meilleur site pour la prise d'échantillons, surveillance de la réponse au traitement et examens de suivi pour détecter les récurrences
- e. Bassin : hernie du sportif (pubalgie)

INDICATIONS POUR L'ARTHRO-IRM EN IMAGERIE MUSCULOSQUELETTIQUE

- a. Hanche : déchirures du bourrelet avec ou sans déplacement, kystes du bourrelet
- b. Genou : déchirures du ménisque avec ou sans déplacement, kystes méniscaux, examen postopératoire du ménisque
- c. Épaule : déchirures du bourrelet avec ou sans déplacement, kystes du bourrelet, examen postopératoire de l'épaule

F. SYSTÈME CARDIOVASCULAIRE^{vi}

L'imagerie par résonance magnétique cardiovasculaire a connu des progrès remarquables au cours des 10 dernières années. Elle est devenue l'un des outils les plus puissants pour l'évaluation de l'anatomie, de la fonction, de la perfusion et de la viabilité cardiaque.

INDICATIONS POUR L'IRM CARDIOVASCULAIRE

Les indications comprennent l'évaluation des entités cliniques suivantes :

- a. Masses et thrombus cardiaques
- b. Cardiopathies congénitales
- c. Cardiopathies ischémiques
 - a. Sténose ou origine anormale des artères coronaires
 - b. Perfusion myocardique au repos, à l'effort et épreuves de stress pharmacologique
 - c. Viabilité myocardique
 - d. Myocardiopathie non ischémique
 - e. Maladies péricardiques
 - f. Cardiopathie valvulaire
 - g. Imagerie vasculaire
 - h. Morphologie, fonction et masse ventriculaires

Les techniques utilisées dans le cadre de l'IRM cardiovasculaire varient en fonction de l'indication et de la question à laquelle on tente de répondre. Selon la norme minimale, la technique d'IRM sélectionnée doit viser à maximiser le rapport signal sur bruit et la fidélité du rendu anatomique, et doit tenir compte des éléments suivants :

- a. Pour les applications cardiaques chez l'adulte, une antenne de corps en réseau phasé peut être utilisée, mais une antenne cardiaque est préférable pour obtenir un rapport signal sur bruit optimal. Le champ de vue choisi doit être ajusté à la taille de la cavité thoracique. Pour les applications en pédiatrie, des antennes volumiques appropriées à l'âge et à la taille de l'enfant doivent être employées.
- b. Une épaisseur de coupe de 5 à 10 mm convient à la plupart des applications (les coupes de 6 à 8 mm étant les plus courantes). À l'occasion, on a recours à des coupes plus épaisses, p. ex., des coupes de 15 mm pour les séquences TIR à sang noir pondérées en T2.
- c. Espace intercoupe entre 0 et 50 %
- d. Sélection du profil de coupe et de la matrice d'imagerie entraînant une résolution dans le plan de coupe de moins de 1 x 1 mm
- e. Une synchronisation cardiaque optimisée, la technique ROPE (*respiratory ordered phase encoding*) et les techniques de réduction des mouvements doivent être utilisées. La méthode du vectocardiogramme (VCG) améliore la fiabilité de la détection de l'onde R en compensant les effets magnétohydrodynamiques. Lorsque le signal de l'ECG n'est pas optimal (en raison de l'habitus du patient ou d'un épanchement péricardique important, par exemple), la synchronisation périphérique à l'aide d'un capteur de pouls périphérique peut s'avérer une bonne solution de rechange au VCG. Les séquences déclenchées par l'onde de pouls périphérique commencent après le début de la systole ventriculaire; par conséquent, il se peut donc que la systole ne puisse être observée au cours de la fenêtre de déclenchement en cas de synchronisation prospective. Pour observer la systole ventriculaire complète, il faut faire appel à la synchronisation rétrospective, plutôt que prospective. La plupart des techniques d'imagerie où l'acquisition a lieu durant une seule phase du cycle cardiaque (séquences d'écho de spin rapide à sang noir, imagerie de perfusion de premier passage, imagerie temporisée après rehaussement) ont recours à la synchronisation prospective, tandis que les techniques de ciné IRM font appel à la synchronisation rétrospective.

- d. Il existe des stratégies qui permettent de synchroniser l'acquisition de données au cycle respiratoire ou d'ajuster la position de coupe de façon rétrospective pour compenser les mouvements. Les techniques de synchronisation respiratoire avec écho navigateur permettent de surveiller les mouvements du cœur dus à la respiration et de faire les corrections nécessaires. La synchronisation respiratoire est d'une utilité maximale chez les patients pédiatriques sous sédation et les patients dyspnéiques atteints d'insuffisance cardiaque, mais la synchronisation respiratoire avec écho navigateur s'avère également utile pour l'ARM 3D des coronaires.
- f. Les techniques d'acquisition parallèle peuvent réduire le temps de balayage en tirant les données de codage spatial d'antennes en réseau multiélément. Un facteur de 2 est habituellement utilisé, mais des facteurs d'accélération plus élevés peuvent réduire davantage le temps d'acquisition et améliorer la résolution temporelle, aux dépens toutefois d'une diminution du rapport signal sur bruit.

APPLICATIONS DE L'IRM CARDIOVASCULAIRE

a. IMAGERIE À SANG NOIR

- o La séquence d'écho de spin rapide à cycle unique est devenue la norme en imagerie du cœur et des vaisseaux principaux. Elle peut être réalisée en plans multiples et constitue un excellent outil d'exploration anatomique, particulièrement dans les cas de maladies cardiaques ou péricardiques congénitales. L'avantage de cette séquence est son temps d'acquisition relativement court, mais en raison de la technique du cycle unique, le signal est faible comparativement aux séquences d'écho de spin rapide. Deux impulsions d'inversion peuvent être ajoutées à cette séquence pour annuler le signal du sang et améliorer l'aspect « sang noir » de l'image.
- o Les séquences d'écho de spin rapide classiques pondérées en T1 et en T2, avec ou sans saturation sélective de la graisse, peuvent servir à évaluer les anomalies structurelles des ventricules et du péricarde, de même que les masses cardiaque et péricardique.
- o Les séquences d'écho de spin rapide pondérées en T2 peuvent être combinées à une double impulsion d'inversion-récupération (DIR) pour améliorer la suppression du signal du sang (séquence TSE ou FSE à DIR pondérée en T2). Ce type de séquence peut s'employer avec ou sans saturation sélective de la graisse, soit par une saturation chimique ou par des séquences SPAIR (*spectral adiabatic inversion recovery*) pondérées en T2, ou encore par une troisième inversion-récupération (appelée triple inversion-récupération, ou TIR). Toutes ces séquences à DIR et saturation sélective de la graisse pondérées en T2 peuvent servir à détecter un œdème myocardique dans les cas de myocardite aiguë suspectée ou d'infarctus aigu du myocarde. Elles peuvent également être utiles pour la caractérisation des tissus dans le cas d'une tumeur cardiaque ou péricardique suspectée. Il est également possible d'ajouter une impulsion de préparation en T2 avant une séquence SSFP (*steady state free precession*) afin d'accroître la pondération en T2 et d'évaluer les anomalies de signal en T2 liées au myocarde. Cette technique n'est toutefois pas largement employée.
- o L'imagerie T2* du myocarde est utilisée pour évaluer la surcharge en fer du myocarde en raison de difficultés associées à la biopsie myocardique (intervention effractive, erreur d'échantillonnage, etc.) C'est une séquence segmentée à multiéchocs de gradient qui permet de calculer le T2* du myocarde, habituellement évalué au septum interventriculaire. Le T2* est une constante de décroissance exponentielle affectée par les hétérogénéités du champ magnétique local et par la relaxation spin-spin (relaxation T2). La décroissance T2* est accélérée par des dépôts myocardiques de fer, en raison des effets paramagnétiques de ce métal. La surcharge en fer du myocarde ne peut toutefois pas être quantifiée, contrairement aux dépôts de fer dans le foie, qui peuvent l'être au moyen de courbes de calibration bien établies corrélant la concentration de fer avec les valeurs de T2* du foie.

b. IMAGERIE À SANG BLANC

- o Les séquences SSFP en plans multiples (plans multiples dans le grand axe et piles de coupes dans le petit axe) peuvent servir de solution de rechange aux séquences d'écho de spin rapide à cycle unique pour la description anatomique ou la localisation.

- Dans le cadre de l'évaluation de l'anatomie et de la fonction cardiaques, les techniques de ciné IRM avec séquences SSFP en apnée ont remplacé dans la plupart des cas les séquences d'écho de gradient rapide avec gradient déphaseur, car elles offrent un rapport signal sur bruit accru, une meilleure visualisation de l'endocarde et des temps d'acquisition plus courts. Les volumes auriculaires et ventriculaires ainsi que la masse myocardique peuvent être calculés de façon très précise et reproductible. L'IRM est considérée comme la méthode de référence pour l'évaluation de la taille et de la fonction ventriculaires. La perfusion de dobutamine pendant l'acquisition de l'image a été utilisée pour détecter les anomalies des mouvements de la paroi résultant d'une ischémie myocardique induite. Cette méthode est généralement appliquée dans des centres universitaires sous la surveillance étroite d'un médecin et n'a pas encore été adoptée dans la pratique clinique générale. L'IRM de perfusion de stress à l'adénosine est également de plus en plus employée dans l'évaluation de l'ischémie myocardique. La sûreté des deux méthodes d'IRM cardiovasculaire de stress pharmacologique a été démontrée lorsqu'elles sont pratiquées dans des centres expérimentés.
- La technique de ciné IRM avec séquences SSFP en temps réel peut servir en cas de constriction péricardique suspectée ou lorsque la synchronisation à l'ECG est impossible en raison d'une arythmie sévère. Son application clinique évoluera avec le temps.
- Le marquage myocardique exige la création de lignes de saturation au niveau du cœur en combinaison avec l'acquisition ciné IRM. La déformation de ces lignes peut aider à évaluer les mouvements de la paroi dans le cadre de l'analyse des déformations, et de détecter l'adhérence péricarde-myocarde observable dans les cas de péricardite constrictive. Certains centres utilisent le marquage myocardique pour visualiser les tumeurs du myocarde (qui, habituellement, ne se contractent pas, contrairement au myocarde normal), mais la technique n'est pas généralisée dans la pratique clinique.
- Les séquences SSFP 3D synchronisées à l'ECG en mode respiratoire libre faisant appel à des techniques de navigation pour compenser les mouvements respiratoires peuvent servir à l'imagerie des artères coronaires, mais cette application n'est pas répandue. L'injection de gadolinium n'est pas nécessaire ici, mais le cas échéant, la séquence est habituellement réalisée après l'injection, de façon à tirer avantage de l'amélioration du rapport contraste sur bruit qui en résulte.

c. TECHNIQUES D'IMAGERIE SENSIBLES AU FLUX

L'imagerie par contraste de phase est une technique d'écho de gradient (GRE) qui est le fondement de la mesure de la vitesse des flux en IRM. Elle est utilisée pour quantifier les shunts dans les cas de cardiopathies congénitales, pour estimer la fraction régurgitée dans les cas de régurgitation valvulaire et pour évaluer la gravité de la sténose dans les cas de coarctation aortique ou de lésions sténotiques valvulaires. On peut employer une méthode avec apnée ou en mode respiratoire libre : la première permet de réduire la durée d'acquisition et de localiser la coupe avec une précision accrue pour les images obtenues lors de l'expiration finale; la deuxième permet quant à elle d'obtenir une meilleure résolution temporelle et d'éviter les altérations physiologiques qui pourraient résulter de l'apnée. Une vitesse d'encodage appropriée doit être employée pour éviter les artéfacts de repliement (vitesse trop basse) et un faible rapport signal sur bruit (vitesse trop élevée).

d. TECHNIQUES D'IMAGERIE DE PERFUSION

Les techniques d'IRM de perfusion sont toutes basées sur l'imagerie dynamique du premier passage à travers le myocarde de produits de contraste à base de gadolinium qui raccourcissent le T1. Des séquences ultrarapides sont nécessaires pour acquérir les images à un rythme de trois à cinq positions de coupe par battement. Des variantes des séquences GRE, SSFP et des séquences hybrides écho de gradient-écho planaire peuvent être utilisées de concert avec l'imagerie parallèle pour un rendement accru. L'imagerie de stress peut avoir lieu sous perfusion d'adénosine ou de dipyridamole et les résultats peuvent être comparés à l'imagerie de premier passage au repos pour déceler une ischémie réversible, puis on peut recourir à l'imagerie temporisée après rehaussement pour évaluer s'il y a infarctus. Cette méthode est généralement appliquée dans des centres universitaires sous la surveillance étroite d'un médecin.

e. TECHNIQUES D'IMAGERIE TEMPORISÉE APRÈS L'INJECTION DE GADOLINIUM

Les séquences GRE avec inversion-récupération pondérées en T1 réalisées de 10 à 20 minutes après l'injection de gadolinium sont la technique de référence pour détecter la présence et l'étendue de l'infarctus du myocarde. Le volume de distribution extracellulaire du gadolinium est accru dans les tissus infarctés formés de myocytes endommagés, ce qui entraîne une rétention du gadolinium, contrairement à l'élimination observée dans le myocarde normal. Après la suppression effective de l'intensité du signal du myocarde normal, le myocarde infarcté devrait paraître brillant ou « hyper-rehaussé ». Cette technique est également utile à la caractérisation de myocardopathies non ischémiques, les motifs de rehaussement précis ayant été décrits en présence de diverses myopathies et maladies infiltratives. Un hyper-rehaussement tardif peut également s'observer en cas de myocardite; le degré de rehaussement et la zone touchée peuvent diminuer avec le temps, l'hyperintensité pouvant être due en partie à un œdème plutôt qu'à un infarctus.

Dans le cas de l'imagerie temporisée après rehaussement ayant recours à des séquences d'écho de gradient avec inversion-récupération pondérées en T1, il est important de déterminer d'abord le temps d'inversion (TI) qui supprime sélectivement le signal du myocarde normal. Ce TI se situe généralement entre 200 et 300 ms, mais il peut varier en fonction du produit de contraste à base de gadolinium utilisé, de la dose et de l'intensité du champ (1,5 T ou 3,0 T). Lorsqu'une séquence GRE en inversion-récupération sensible à la phase est utilisée (souvent dans le cadre de la même acquisition en apnée que celle des images de magnitude), le contraste est moins vulnérable aux mauvais choix de TI et demeure relativement stable dans un grand écart de temps TI. La plupart des fournisseurs offrent également une séquence de repérage qui ajustera systématiquement le TI de façon à créer un aperçu pour faciliter le choix d'un TI approprié.

Pour l'imagerie temporisée après rehaussement, on peut également choisir d'utiliser une séquence SSFP 3D du cœur entier en apnée avec inversion-récupération préalable. Le temps d'acquisition est réduit pour ce type de séquence, au prix d'une diminution de la résolution spatiale et du rapport signal sur bruit.

f. TECHNIQUES D'IMAGERIE VASCULAIRE

L'angiographie par résonance magnétique (ARM) est une technique robuste et fiable qui peut être appliquée à la visualisation des vaisseaux thoraciques extracardiaques dans la pratique clinique courante. L'ARM des coronaires est encore considérée comme un domaine de recherche, puisque la compensation des mouvements cardiaques et respiratoires ne peut être réalisée chez tous les patients. Elle peut toutefois être utilisée avec succès pour visualiser les deux tiers proximaux des artères coronaires chez les patients dont le rythme cardiaque et le volume respiratoire sont réguliers. L'ARM des coronaires est une option acceptable pour exclure les anomalies de trajet artériel chez les jeunes patients, puisqu'elle permet d'éviter la radiation nécessaire à la coronarographie par TDM.

Indications de l'IRM vasculaire

- a. maladies de l'aorte : suivi de syndromes aortiques aigus, d'anévrismes ou de vascularites
- b. cardiopathie congénitale suspectée en raison de l'association fréquente de variantes et de malformations vasculaires

Une séquence d'écho de gradient rapide 3D avec gradient déphaseur sert à l'acquisition d'images durant l'injection intraveineuse d'un produit de contraste à base de gadolinium. Une séquence d'écho de gradient rapide 2D pondérée en T1 est réalisée pour détecter l'arrivée du produit de contraste, soit en pré-examen au moyen d'un petit bolus d'essai, soit immédiatement avant l'ARM 3D, qui est déclenchée manuellement ou automatiquement à l'arrivée du produit. La synchronisation prospective peut réduire les artéfacts liés aux mouvements cardiaques, mais elle n'est habituellement pas utilisée dans le cadre de l'ARM, car elle accroît le temps de balayage. Cela entraîne un brouillage des structures proches du cœur battant, comme la racine de l'aorte et l'aorte ascendante.

L'ARM 3D multiphase fournit des données dynamiques avec une résolution temporelle de 0,5 seconde à 3,0 secondes. Afin d'accroître la vitesse d'acquisition, la résolution spatiale perpendiculaire au plan de coupe est sacrifiée au profit des techniques accélérées d'imagerie parallèle et de partage de données. Cette technique ne nécessite qu'une petite quantité de produit de contraste (habituellement de 3 à 4 cc) et permet de visualiser le flux sanguin dans la circulation

droite et gauche. Cette technique est particulièrement utile lorsque des données temporelles sont nécessaires, comme la visualisation des vaisseaux afférents et efférents dans les cas de malformations ou de fistules artérioveineuses, de shunts ou de connexions anormales.

G. THORAX^{vii}

À l'heure actuelle, l'IRM thoracique est utilisée comme méthode de résolution de problèmes. Les applications principales sont les examens des structures de la paroi thoracique, médiastinales et hilaires. Toutes les autres études d'imagerie pertinentes doivent être passées en revue avant que l'IRM soit réalisée.

Selon la norme minimale, la technique d'IRM thoracique sélectionnée doit viser à maximiser le rapport signal sur bruit et la fidélité du rendu anatomique, et doit tenir compte des éléments suivants :

Chez les adultes, l'utilisation d'une antenne de corps est appropriée. Le champ de vue choisi doit être ajusté à la taille de la cavité thoracique. Pour les applications en pédiatrie, des antennes volumiques appropriées à l'âge et à la taille de l'enfant doivent être employées.

INDICATIONS DE L'IMAGERIE THORACIQUE

- a. masse médiastinale antérieure ou masse péricardique : imagerie utilisée pour écarter l'hypothèse d'envahissement médiastinal ou cardiaque
- b. masse au niveau de la paroi thoracique
- c. cancer du poumon (envahissement de la paroi thoracique, du diaphragme ou du péricarde)
- d. mésothéliome (envahissement de la paroi thoracique, du diaphragme ou du péricarde)
- e. angiographie pulmonaire
- f. syndrome de traversée thoracobrachiale

Une synchronisation cardiaque peut être nécessaire lors de l'évaluation des structures médiastinales et hilaires adjacentes au cœur, la pondération relative d'une image donnée reposant sur l'intervalle RR du cycle cardiaque. L'acquisition d'images avec pondération relative en T1 ou en densité protonique selon une combinaison de plans axial, sagittal, frontal et oblique convient à l'exploration anatomique. Pour l'évaluation du médiastin supérieur, la synchronisation cardiaque n'est pas toujours nécessaire, ce qui offre une flexibilité accrue pour la pondération en T1 et en T2.

Les chélates de gadolinium sont essentiels pour distinguer les masses kystiques des masses solides (là où les kystes et les masses solides risquent d'avoir un signal en T2 également brillant) et peuvent s'avérer utiles pour déterminer les contours d'une tumeur et l'envahissement possible des structures vasculaires.

Des phases multiples après injection de gadolinium peuvent servir à distinguer un flux lent dans les veines pulmonaires d'un thrombus ou d'un envahissement tumoral.

Lorsque diverses pathologies médiastinales, hilaires et de la paroi thoracique sont envisagées, le recours à des images pondérées en T1 et en T2, dans les plans axial, sagittal, frontal ou autres peut être nécessaire, dans certains cas. D'autres séquences (p. ex., les séquences STIR) peuvent être utiles dans des situations précises pour déterminer la présence d'œdème.

Une épaisseur de coupe de 7 à 10 mm convient à la plupart des applications, mais puisque ce paramètre dépend également du volume de la masse à visualiser, des coupes plus fines peuvent être nécessaires pour de petites lésions.

L'espace intercoupe se situe entre 20 et 30 %, un espace de 20 % étant préférable.

Les chélates de gadolinium doivent être utilisés dans l'évaluation de tumeurs médiastinales et de la paroi thoracique récurrentes ou persistantes après traitement.

L'ARM est une technique robuste et fiable qui peut être appliquée à la visualisation des vaisseaux thoraciques dans la pratique clinique courante. L'acquisition d'images les bras levés et baissés est nécessaire à l'évaluation du syndrome de traversée thoracobrachiale, où la compression des artères sous-clavières peut être positionnelle. L'imagerie bilatérale des artères sous-clavières est utile aux fins de comparaison. L'ARM multiphase peut également s'avérer utile dans les cas de vol vasculaire dû à la sténose de l'artère sous-clavière proximale entraînant un flux rétrograde dans l'artère vertébrale ipsilatérale.

Dans certains cas, l'imagerie par contraste de phase au niveau des artères vertébrales peut également montrer le flux en sens contraire dans les cas de sténose de l'artère sous-clavière proximale. Le petit calibre des artères vertébrales peut toutefois compliquer l'imagerie par contraste de phase.

L'ARM peut également être utile pour écarter l'hypothèse d'une maladie thromboembolique pulmonaire aiguë dans le cas d'allergie aux produits de contraste iodés. Elle doit être réalisée uniquement dans les centres expérimentés et réputés pour ce type d'examen, une grande variabilité ayant été observée entre les établissements en matière de sensibilité et de spécificité de la technique. La résolution spatiale se limite à la détection d'embolies dans les artères segmentaires; la précision de la technique est limitée en ce qui a trait aux vaisseaux sous-segmentaires.

PERFUSION PULMONAIRE

Les données sur la perfusion pulmonaire peuvent être obtenues par l'imagerie dynamique du premier passage d'un bolus de produit de contraste à base de gadolinium. Bien que les séquences d'écho de gradient 2D dynamiques permettent une résolution temporelle très élevée (p. ex., 100 ms), l'acquisition en 3D est souhaitable pour maximiser la sensibilité de détection des défauts de perfusion segmentaires et sous-segmentaires (p. ex., embolie pulmonaire). Les avancées récentes dans le domaine de l'imagerie parallèle et les stratégies novatrices d'acquisition du plan de Fourier permettent d'obtenir une couverture 3D du poumon entier en environ 1,5 s, avec toutefois un rapport signal sur bruit réduit. En se fondant sur une résolution temporelle et un rapport signal sur bruit optimaux, on peut estimer la perfusion en ml/min/g de parenchyme en mesurant l'intensité variable du signal au cours du premier passage du produit de contraste dans une région d'intérêt donnée du parenchyme. La perfusion et le volume sanguin peuvent être estimés pour chaque région au moyen d'une modélisation cinétique de traceur. Ces techniques sont toujours expérimentales et ne sont pas utilisées couramment en pratique clinique.

VENTILATION PULMONAIRE

Il est également possible d'explorer la ventilation régionale au moyen de l'IRM. La plupart des techniques sont semblables à l'imagerie isotopique, où un gaz radiomarqué ou un traceur radioactif en aérosol est inhalé pour qu'on puisse visualiser sa répartition. En IRM, on crée d'abord du ^{129}Xe ou du ^3He hyperpolarisé en appliquant un rayonnement laser spécial au gaz pour amplifier la fraction de noyaux magnétiquement actifs avant l'inhalation. Les images sont habituellement acquises au moyen d'un train d'impulsions rapide à faible angle de bascule pour mesurer le rythme de dépolarisation des protons. En plus de l'équipement de polarisation et des gaz, cette approche nécessite des appareils d'imagerie multinucléaire et demeure restreinte à un petit nombre de centres universitaires. D'autres techniques utilisant l'oxygène ou des produits de contraste en aérosol à base de gadolinium font également l'objet de recherches actives. Ces techniques sont toujours expérimentales et ne sont pas utilisées couramment en pratique clinique.

H. IMAGERIE MAMMAIRE^{viii}

L'IRM mammaire a connu de nombreuses avancées au cours de la dernière décennie. Lors de la publication des dernières lignes directrices de l'ACR, l'IRM mammaire servait principalement à l'examen des implants mammaires. Depuis, l'IRM est devenue un élément essentiel de l'imagerie mammaire, jouant un rôle crucial dans l'étude du cancer du sein et dans le dépistage chez les femmes dont le risque d'être atteintes d'un cancer du sein est très élevé. Que cette technique soit utilisée comme outil de résolution de problèmes, de dépistage ou de stadification d'un cancer, elle possède le plus haut degré de sensibilité de tous les outils d'imagerie disponibles pour la détection du cancer du sein. Les présentes lignes directrices comprennent les applications actuelles de l'IRM mammaire ainsi que les exigences de base pour réaliser ce type d'examen dans la pratique clinique.

INDICATIONS DE L'IRM MAMMAIRE

- a. Implants mammaires : détecter une rupture d'un implant en silicone ou d'autres complications
- b. Résolution de problèmes relatifs à des résultats de mammographie ou d'échographie équivoques
- c. Dépistage chez les patientes à haut risque : patientes dont le risque d'être atteintes d'un cancer du sein est supérieur à 20 ou 25 %, p. ex., les femmes porteuses de la mutation des gènes BRCA1 et 2, les femmes ayant subi une radiothérapie thoracique pour traiter une autre tumeur maligne (comme un lymphome) entre les âges de 10 et 30 ans, les femmes atteintes du syndrome de Li-Fraumeni, du syndrome de Cowden ou du syndrome de Bannayan-Riley-Ruvalcaba avec mutation du gène PTEN, ou encore celles qui ont des antécédents d'un de ces syndromes dans la famille immédiate
- d. Chimiothérapie néoadjuvante : évaluation de la réponse à la chimiothérapie
- e. Cancer du sein occulte : localisation d'un carcinome primitif chez une patiente présentant un carcinome mammaire métastatique, comme une adénopathie axillaire ou d'autres métastases au niveau des os ou ailleurs dans l'organisme, lorsque les mammographies et échographies sont négatives; patientes présentant un écoulement sanglant ou séreux suspect et des mammographies et échographies mammaires négatives
- f. Évaluation périopératoire : détection de cellules tumorales résiduelles
- g. Stadification préopératoire : évaluation de l'étendue de la maladie dans le sein touché et dépistage des tumeurs controlatérales occultes, attendues chez 3 à 6 % des patientes

PROTOCOLES

Les protocoles d'IRM mammaire doivent servir à explorer la morphologie avec une très bonne résolution spatiale, à recueillir des données sur la perfusion et les fuites capillaires, ainsi que sur les temps de relaxation T1 et T2 des tissus.

Une antenne mammaire est nécessaire dans tous les cas d'IRM mammaire. Seules les indications reliées à l'examen d'un implant ne requièrent pas d'injection intraveineuse de chélates de gadolinium; dans toutes les autres indications, une telle injection est nécessaire à l'IRM mammaire. La dose standard de 0,1 mg/kg est optimisée par un dispositif d'injection sous pression à 2 ou 3 ml/s, suivie d'un rinçage de 10 à 20 ml de solution saline.

SÉQUENCES DYNAMIQUES REHAUSSÉES PAR UN PRODUIT DE CONTRASTE

L'activité angiogénique des cancers constitue le fondement de la détection du cancer du sein au moyen de l'IRM.

SÉQUENCES À HAUTE RÉOLUTION SPATIALE

L'IRM mammaire est actuellement la méthode d'imagerie la plus sensible permettant de démontrer la présence d'un cancer du sein invasif. L'activité angiogénique n'est toutefois pas le seul facteur responsable de la prise de contraste dans le sein; d'autres problèmes comme des processus inflammatoires ou une activité hormonale accrue peuvent entraîner le rehaussement des lésions. Comme pour l'interprétation des images mammographiques, une résolution spatiale élevée est essentielle pour évaluer de façon optimale les limites des lésions rehaussées et déterminer le diagnostic le plus probable. Une résolution spatiale accrue augmente la spécificité et la sensibilité de l'IRM. La sensibilité de l'IRM mammaire est maximisée lorsque l'examen est corrélé au cycle menstruel. Ainsi, dans la mesure du possible (comme dans les cas d'IRM de dépistage), l'examen chez les femmes menstruées doit être réalisé entre le 7^e et le 14^e jour du cycle menstruel.

EXIGENCES DE BASE POUR L'IRM MAMMAIRE

- a. Antenne mammaire; plusieurs modèles sont offerts sur le marché.
- b. Résolution temporelle de moins de 1 à 3 minutes par acquisition (idéalement de 60 à 90 secondes par acquisition).
- c. Imagerie dynamique : triple acquisition temporelle d'un volume d'images, soit une fois avant et deux fois après l'injection du produit de contraste. La première acquisition postcontraste ne doit pas avoir lieu plus de

180 secondes après l'injection. L'acquisition de la dernière série d'images doit être effectuée au moins 6 à 8 minutes après l'injection.

- d. Résolution spatiale utilisant la plus grande matrice image possible dans la fenêtre d'acquisition : pixels dans l'axe parallèle mesurant entre 0,5 x 0,5 mm et 1,0 x 1,0 mm; pixels dans l'axe perpendiculaire mesurant entre 1 et 3 mm.
- e. Dans toute séquence d'IRM mammaire dynamique rehaussée par un produit de contraste, il faut avoir recours à une séquence d'écho de gradient pondérée en T1 qui satisfait aux exigences en matière de résolution temporelle. Cela peut s'effectuer avec des séquences 2D multicoupes ou 3D, rapides ou normales, avec ou sans gradient déphaseur. Comparativement à l'imagerie 2D, l'imagerie 3D permet un contraste plus élevé en T1, un temps de répétition plus court et un rapport signal sur bruit plus élevé, ce qui permet d'obtenir des coupes plus fines (résolution spatiale plus élevée).
- f. Toutes les séquences d'impulsions 3D doivent se faire selon le temps de répétition le plus court possible (les séquences 2D pondérées en T1 et en T2 exigent un certain écart de TR pour produire un contraste adéquat) et un grand angle de bascule (l'angle est proportionnel au TR : environ 90 degrés pour les séquences 2D et 25 à 50 degrés pour les séquences GRE 3D). L'imagerie parallèle permet de maximiser la résolution spatiale et temporelle.
- g. Les protocoles dynamiques bilatéraux actuels font appel aux plans transversal, sagittal ou frontal et peuvent être propres à chaque fournisseur pour optimiser la résolution spatiale et temporelle. Si l'imagerie isotrope est utilisée, les images peuvent être reformatées pour une visualisation dans tous les plans.
- h. Les protocoles d'imagerie mammaire bilatérale sont indiqués pour toutes les femmes chez qui on effectue un dépistage (risque élevé de cancer du sein) ou une stadification pour un cancer du sein connu. L'évaluation du sein controlatéral facilite la comparaison et permet d'éviter les erreurs de diagnostic. Il existe très peu d'indications pour les examens unilatéraux.
- i. La suppression de la graisse doit idéalement être appliquée aux séquences d'impulsions dynamiques, mais ne doit pas être utilisée aux dépens de la résolution temporelle ou spatiale. Pour ce faire, un certain nombre de méthodes peuvent être employées : les séquences de suppression ou de saturation sélective de la graisse, l'élimination du signal de la graisse et l'excitation sélective de l'eau sont les plus courantes. Les techniques actives de suppression de la graisse requièrent un champ très homogène dans l'ensemble du champ de vue, ce qui peut être difficile à obtenir en imagerie mammaire en raison de la structure des seins. La sélection manuelle d'une zone de graisse dans le sein servant à « corriger » le signal de la graisse améliore grandement la technique de saturation sélective de la graisse. Pour certaines images où la suppression de la graisse n'est pas homogène, on peut également faire appel à une technique de soustraction.
- j. Les données cinétiques sont acquises en évaluant visuellement le profil de rehaussement et en positionnant une région d'intérêt sur la zone de rehaussement. Cette région ne devrait pas faire plus de 3 ou 4 pixels pour minimiser les imprécisions dans le calcul du signal moyen. Les bords ou les zones de rehaussement maximal sont le mieux évalués. Une courbe cinétique est générée par un logiciel spécialisé.
- k. Séquences GRE pondérées en T2 avec ou sans saturation sélective de la graisse : évaluation de la présence de liquide, de kystes ou d'œdème dans les seins

AUTRES SÉQUENCES

- a. Séquences GRE pondérées en T1 sans saturation sélective de la graisse : exploration de la graisse, des ganglions lymphatiques et de l'architecture du sein
- b. Une antenne de corps peut être utilisée pour évaluer les ganglions lymphatiques des relais ganglionnaires axillaires et mammaires internes ainsi que les régions cervicale et supraclaviculaire
- c. Les séquences STIR dans les plans axial et sagittal avec séquences de saturation sélective de l'eau peuvent servir à confirmer l'intégrité des implants mammaires

ASSURANCE DE LA QUALITÉ^{ix}

Chaque établissement doit établir et maintenir un programme de vérification visant à effectuer un suivi des résultats positifs et à corréler les résultats des analyses de pathologie avec les conclusions du radiologiste qui a interprété les images. La vérification doit porter sur l'exactitude de l'interprétation et sur le caractère approprié des indications cliniques de l'examen. Les centres pratiquant l'IRM mammaire doivent pouvoir corréler les résultats des analyses de pathologie provenant de leur propre établissement ou d'un autre établissement avec lequel ils ont une entente de services avec les résultats de biopsies guidées par mammographie, échographie ou IRM. Les établissements doivent utiliser les codes d'évaluation et la terminologie du système BI-RADS^{MD} (*Breast Imaging Reporting and Data System*) (réf.) pour la rédaction de rapports et la surveillance des résultats.

Pour plus de renseignements sur les exigences liées à l'imagerie mammaire, veuillez consulter les normes de la CAR en la matière (*CAR Standard for Breast Imaging*).

I. IMAGERIE FŒTALE^x

L'IRM est une méthode non effractive efficace pour caractériser nombre d'anomalies fœtales; les résultats doivent toutefois être interprétés à la lumière des antécédents médicaux pertinents et des résultats des échographies antérieures. Il s'agit d'un examen spécialisé pratiqué dans peu d'établissements. Il sert principalement à la résolution de problèmes, et, dans certaines circonstances seulement, au dépistage.

MESURES DE RÉDUCTION DES MOUVEMENTS FŒTAUX

- a. Mesures cliniques comme assurer le jeûne complet de la mère quatre heures avant l'IRM (si possible) et veiller au confort de la patiente durant l'examen.
- b. Dans des situations rares et très précises, on peut avoir recours à l'administration de benzodiazépines aux fins de sédation de la patiente enceinte et de réduction des mouvements du fœtus.

INDICATIONS DE L'IMAGERIE FŒTALE

Indications neurologiques

- a. Anomalies congénitales ou lésions cérébrales suspectées
 - p. ex., ventriculomégalie, agénésie du corps calleux, holoprosencéphalie, malformations du cortex cérébral, lésion parenchymateuse chez un jumeau monozygote
- b. Anomalies congénitales de la colonne vertébrale, p. ex., anomalies du tube neural, tératomes sacrococcygiens
- c. Anomalies vasculaires du cerveau

Indications non neurologiques

- a. Masse abdominale ou pelvienne fœtale
- b. Masses thoraciques fœtales : hernie diaphragmatique congénitale, séquestration pulmonaire, malformation kystique adénomatoïde congénitale, obstruction des voies respiratoires
- c. Malformations et masses orbitales fœtales : anophtalmie, microphthalmie, kyste colobomateux, modèle de croissance quadratique pour le cristallin, l'orbite et la distance interoculaire.
- d. Masses de la face et du cou : malformation veinolymphatique, hémangiomes, goitre, tératomes, fissures faciales

Indications techniques ou relatives à la mère

- a. Évaluation d'un placenta accreta (et ses variantes : placenta increta et percreta), particulièrement en présence d'une implantation dans le segment supérieur postérieur et d'une cicatrice de myomectomie.
- b. Évaluation en cas de chirurgie fœtale

- c. Facteurs maternels rendant impossible l'évaluation du fœtus par échographie : liquide amniotique insuffisant, habitus de la mère, position difficile de la tête du fœtus et âge gestationnel avancé où l'ombre créée par la voûte crânienne peut interférer avec les images échographiques.

Les données actuelles ne permettent pas de conclure à un quelconque effet nocif de l'IRM à 1,5 T sur le développement du fœtus. Toutefois, l'IRM à tout stade de la grossesse doit potentiellement modifier les soins à la patiente ou au fœtus durant la grossesse, et l'information doit être impossible à acquérir à l'aide de l'échographie. L'injection de produit de contraste par voie intraveineuse ne doit pas être utilisée en IRM fœtale.

ANNEXE A – Modèle de questionnaire de sécurité

Veillez répondre à toutes les questions soigneusement et de manière complète. Les éléments énumérés ci-dessous peuvent nuire à l'examen d'IRM et à votre sécurité.

Le questionnaire doit être rempli par le patient ou par un membre de sa famille qui connaît ses antécédents.

Nom :		Date de naissance :	
Poids :		Taille :	
	OUI	NON	Quoi, quand, où (le cas échéant)
Portez-vous ou avez-vous déjà porté un stimulateur cardiaque ou un défibrillateur implantable?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	
Avez-vous déjà subi une chirurgie cardiaque?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	
Avez-vous déjà subi une chirurgie pour un anévrisme?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	
Vous a-t-on implanté une pompe, un stimulateur, des électrodes ou un appareil électronique quelconque?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	
Avez-vous des endoprothèses (stents), des spirales, des filtres ou des greffes vasculaires?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	
Avez-vous déjà subi une chirurgie des oreilles ou des yeux?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	
Avez-vous déjà consulté pour qu'on vous retire du métal des yeux?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	
Est-il possible que vous soyez enceinte?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	
Avez-vous des problèmes de rein ou êtes-vous dialysé?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	
Souffrez-vous de diabète ou de lupus, ou avez-vous des antécédents de maladie rénale ou cardiaque, d'AIT, d'AVC ou de mauvaise circulation dans les jambes ou d'autres parties du corps (y compris des varices)? Veuillez préciser.	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	
Si vous avez des allergies, veuillez les énumérer :	1.		5.
	2.		6.
	3.		7.
	4.		8.
Avez-vous :		OUI	NON

des implants mammaires ou une prothèse pénienne	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
un appareil auditif	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
du maquillage permanent ou un tatouage	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
un perçage corporel	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
un timbre à la nicotine ou médicamenteux	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Avez-vous :	OUI	NON
un appareil dentaire amovible	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
des éclats d'obus ou des balles logés dans le corps	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
un shunt	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
un dispositif intra-utérin (DIU ou stérilet)	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Allaitiez-vous?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Avez-vous déjà subi un examen d'IRM?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Dans l'affirmative, vous a-t-on injecté un produit de contraste?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Dans l'affirmative, avez-vous eu une réaction au produit de contraste?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Avez-vous à l'intérieur du corps une prothèse ou un objet métallique quelconque qui n'a pas été mentionné dans le présent questionnaire?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Prenez-vous des médicaments pour le cœur, pour une bronchite, l'asthme ou l'hypertension?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Dans l'affirmative, veuillez énumérer les médicaments :		
1.	3.	
2.	4.	
Prenez-vous des anticoagulants?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Signature de la personne ayant rempli le formulaire :		
Date :		
Lien avec le patient :		
À REMPLIR PAR LE TECHNOLOGUE		
Valeur du DFGe calculée (au besoin) :		
Date de l'analyse sanguine :		
Les risques associés au produit de contraste et à l'examen ont été expliqués au patient.		
Nom de la personne ayant obtenu le consentement verbal et effectué la ponction veineuse :		

Commentaires :		
Questionnaire revu par :		
Injection effectuée par :		
Produit de contraste utilisé :		Réaction? <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
Autres médicaments utilisés :		Réaction? <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
Signature du technologue :		

ANNEXE B – Modèle de questionnaire préalable à la sédation

Les renseignements que vous fournirez serviront à l'élaboration de votre plan de soins en anesthésie. Le présent formulaire doit être rempli par le patient adulte, ou par le parent ou le tuteur du patient, si ce dernier est un enfant.

Veuillez remplir le présent questionnaire complètement et de façon précise.

Nom :					
Date de naissance :		Poids :		Taille :	
Tension artérielle :		Respirations :		Pouls :	
Allergies (veuillez indiquer le nom et la réaction)	Nom			Réaction	
	1.				
	2.				
	3.				
Médicaments actuels (inclure les médicaments d'ordonnance, les médicaments en vente libre et les produits naturels)	1.			4.	
	2.			5.	
	3.			6.	
Chirurgies antérieures et année approximative	1.				
	2.				
	3.				
BILAN FONCTIONNEL					
Avez-vous les problèmes de santé ou les antécédents suivants?				OUI	NON
Hypertension				<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Infarctus traité Date du traitement : _____				<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Douleurs à la poitrine / angine				<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Souffle cardiaque / cardiopathie valvulaire / antécédents de rhumatisme articulaire aigu (fièvre rhumatismale)				<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Insuffisance cardiaque congestive				<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Pouls irrégulier / palpitations / fibrillation auriculaire				<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Antécédents d'angioplastie / insertion d'endoprothèses vasculaires / chirurgie cardiaque				<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Stimulateur cardiaque ou défibrillateur implantable Date de l'insertion : _____				<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Mauvaise circulation / acrosyndrome				<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Asthme, respiration sifflante, toux chronique				<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Rhume de poitrine ou pneumonie récents				<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Prise récente de stéroïdes (p. ex., prednisone) Date : _____				<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non

Diabète Date du diagnostic : _____	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Les problèmes de santé ou les caractéristiques qui suivent s'appliquent-ils à vous?	OUI	NON
Hépatite, maladie du foie, jaunisse	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Problèmes liés à la glande thyroïde / hormonothérapie thyroïdienne substitutive	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Problèmes de reins / dialyse / transplantation / calculs rénaux	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Sujet aux nausées / mal des transports / migraines	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Blessure ou maladie liée au cou, à la colonne vertébrale ou aux articulations	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Ressentez-vous un engourdissement, une faiblesse ou une paralysie des extrémités?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Problèmes de santé mentale : dépression / anxiété / phobie des aiguilles	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Problèmes sanguins (p. ex., anémie, thrombopénie)	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Avez-vous des perçages dans la langue ou aux lèvres (anneaux, clous ou autres)?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Portez-vous des lentilles de contact?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Avez-vous déjà reçu une transfusion sanguine?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
(Femmes) Êtes-vous enceinte? Date prévue de l'accouchement : _____	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Fumez-vous (ou avez-vous déjà fumé)? Nombre de paquets par jour : _____ Pendant combien d'années avez-vous fumé? : _____. Date à laquelle vous avez arrêté : _____	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Consommez-vous de l'alcool? : Nombre de consommations par semaine : _____	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Consommez-vous ou avez-vous déjà consommé des drogues à usage récréatif?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Avez-vous des antécédents personnels ou familiaux d'hyperthermie maligne (HM) ou de déficience en pseudocholinestérase?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Avez-vous déjà eu des problèmes graves lors d'une anesthésie?	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
On m'a expliqué que je ne devais pas conduire ni utiliser de machinerie lourde dans les 24 heures après avoir reçu un anesthésique.	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non
Signature de la personne ayant rempli le formulaire :		
Lien avec le patient (le cas échéant) :		
Date :		

ANNEXE C – Acronymes

À noter que les professionnels de la santé qui consultent le présent document peuvent accéder à une liste de descriptions techniques, de comparaisons et de spécifications établies par le fournisseur sur le site Web mondial de Siemens. Voici le lien vers le document comprenant les acronymes utilisés en IRM, produit par Siemens Medical :

http://www.medical.siemens.com/siemens/en_US/gg_mr_FBAs/files/MAGNETOM_World/Application_Tips/MRI_Acronyms.pdf

RÉFÉRENCES

1. Penfield, J.G. Nephrogenic systemic fibrosis and the use of gadolinium-based contrast agents. *Pediatric Nephrology*, 23(12):2121-2129, 2008
2. King, W.K., Stockwell, J.A., DeGuzman, M.A., Simon, H.K. and Khan, N.S. Evaluation of a pediatric-sedation service for common diagnostic procedures. *Academic Emergency Medicine*, 13(6):673-676, 2006.
3. Côté, C.J., Notterman, D.A., Karl, H.W., Weinberg, J.A. and McCloskey, C. Adverse sedation events in pediatrics: A critical incident analysis of contributing factors. *Pediatrics*, 105(4Pt.1):805-814, 2000.

ⁱ Acceptance Testing of magnetic Resonance Imaging Systems. Report of American Association of Physicists in Medicine (AAPM) Nuclear Magnetic Resonance Task Group No. 6, Medical Physics. 1992;19(1):217-219".

ⁱⁱ ACR Practice Guideline for the Performance of Magnetic Resonance Imaging (MRI) of the Brain

ⁱⁱⁱ Debrey SM, Yu H, Lynch JK, et al. Diagnostic accuracy of magnetic resonance angiography for internal carotid artery disease: a systematic review and meta-analysis. *Stroke* 2008; 39:2237-2248.

Willinek WA, von Falkenhausen M, Born M, et al. Noninvasive detection of steno-occlusive disease of the supra-aortic arteries with three-dimensional contrast-enhanced magnetic resonance angiography: a prospective, intra-individual comparative analysis with digital subtraction angiography. *Stroke* 2005; 36:38-43.

Cosottini M, Pingitore A, Puglioli M, et al. Contrast-enhanced three-dimensional magnetic resonance angiography of atherosclerotic internal carotid stenosis as the noninvasive imaging modality in revascularization decision making. *Stroke* 2003; 34:660-664.

Nussel F, Wegmuller H, Huber P. Comparison of magnetic resonance angiography, magnetic resonance imaging and conventional angiography in cerebral arteriovenous malformation. *Neuroradiology* 1991; 33:56-61.

Pollock BE, Gorman DA, Brown PD. Radiosurgery for arteriovenous malformations of the basal ganglia, thalamus, and brainstem. *J Neurosurg* 2004; 100:210-214.

Adams WM, Laitt RD, Jackson A. The role of MR angiography in the pretreatment assessment of intracranial aneurysms: a comparative study. *AJNR Am J Neuroradiol* 2000; 21:1618-1628.

Wallace RC, Karis JP, Partovi S, Fiorella D. Noninvasive imaging of treated cerebral aneurysms, part I: MR angiographic follow-up of coiled aneurysms. *AJNR Am J Neuroradiol* 2007; 28:1001-1008.

Levy C, Laissy JP, Raveau V, et al. Carotid and vertebral artery dissections: three-dimensional time-of-flight MR angiography and MR imaging versus conventional angiography. *Radiology* 1994; 190:97-103.

Vertinsky AT, Schwartz NE, Fischbein NJ, Rosenberg J, Albers GW, Zaharchuk G. Comparison of multidetector CT angiography and MR imaging of cervical artery dissection. *AJNR Am J Neuroradiol* 2008; 29:1753-1760.

^{iv} ACR Practice Guideline for the Performance of Magnetic Resonance Imaging (MRI) of the Adult Spine. Revised 2006 (Res. 8,35)*

^v ACR Practice Guideline for the Performance of Magnetic Resonance Imaging (MRI) of the Soft Tissue Components of the Pelvis

ACR Practice Guideline for the Performance of Magnetic Resonance Imaging (MRI) of the Abdomen (Excluding the Liver)

ACR Practice Guideline for the Performance of Magnetic Resonance Imaging (MRI) of the Liver

Helmberger T, Holzknrecht N, Lackerbauer CA, et al. Phased array superficial coil and breath hold technique in MRI of liver: comparison of conventional spin echo sequences with rapid fat suppressing gradient echo and turbo-spin sequences. *Radiology* 1995;35:919-924.

Mitchell DG, Palazzo J, Hann HW, et al. Hepatocellular tumors with high signal on T1-weighted MR images: chemical shift MR imaging and histologic correlation. *J Comput Assist Tomogr* 1991;15:762-769.

Coates GG, Borrello JA, McFarland EG, et al. Hepatic T2-weighted MRI: a prospective comparison of sequences including breath-hold half-Fourier turbo spin echo (HASTE). *J Magn Reson Imaging* 1998;8:642-649.

Yamashita Y, Hatanaka Y, Yamamoto H, et al. Differential diagnosis of focal liver lesions: role of spin-echo and contrast-enhanced dynamic MR imaging. *Radiology* 1994;193:59-65.

Semelka RC, Helmberger TK. Contrast agents for MR imaging of the liver: *Radiology* 2001;218:27-38.

Semelka RC, Brow ED, Ascher SM, et al. Hepatic hemangiomas: a multi-institutional study of appearance on T2-weighted and serial gadolinium-enhanced gradient echo MR images. *Radiology* 1994;192:401-406.

Soyer P, Bluemke DA, Reichle R, et al. Imaging of intrahepatic cholangiocarcinoma 2. Hilar cholangio-carcinoma. *AJR* 1995;165:1433-1466.

Rofsky NM, Lee VS, Laub G, et al. Abdominal MR imaging with a volumetric interpolated breath-hold examination. *Radiology* 1999;212:876-884.

Shellock FG, Crues JV. MR procedures: biologic effects, safety, and patient care. *Radiology* 2004;232:635-652.

Shellock FG. MR safety update 2002: implants and devices. *J Magn Reson Imaging* 2002;16:485-496.

Shellock FG. Biomedical implants and devices: assessment of magnetic field interactions with a 3.0-Tesla MR system. *J Magn Reson Imaging* 2002;16:721-732.

Shellock FG. Reference Manual for Magnetic Resonance Safety, Implants, and Devices. 2005 edition. Los Angeles, Calif: Biomedical Research Publishing Group; 2005.

Shellock FG. *Magnetic Resonance Procedures: Health Effects and Safety*. Boca Raton, Fla: CRC Press; 2001.

Rezai AR, Finelli D, Nyenhuis JA, et al. Neurostimulation systems for deep brain stimulation: in vitro evaluation of magnetic resonance imaging-related heating at 1.5 Tesla. *J Magn Reson Imaging* 2002;15:241-250.

Finelli DA, Rezai AR, Ruggieri P, et al. MR imaging-related heating of deep brain stimulation electrodes: an in vitro study. *AJNR* 2002;23:1795-1802.

Shellock FG, Tkach JA, Ruggieri PM, et al. Aneurysm clips: evaluation of magnetic field interactions and translational attraction by use of "long-bore" and "short-bore" 3.0-T MR imaging systems. *AJNR* 2003;24:463-471.

Sawyer-Glover AM, Shellock FG. Pre-MRI procedure screening: recommendations and safety considerations for biomedical implants and devices. *J Magn Reson Imaging* 2000;12:92-106.

- Colletti PM. Magnetic resonance procedures and pregnancy. In: Shellock FG, ed. *Magnetic Resonance Procedures: Health E*
- Bilbey JH, McLoughlin RF, Kurkjian PS, et al. MR imaging of adrenal masses: value of chemical-shift imaging for distinguishing adenomas from other tumors. *AJR* 1995;164:637-642
- Blandino A, Gaeta M, Minutoli F, et al. MR pyelography in 115 patients with a dilated renal collecting system. *Acta Radiol* 2001;42:532-536.
- Blandino A, Gaeta M, Minutoli F, et al. MR urography of the ureter. *AJR* 2002;179:1307-1314.
- Campeau NG, Johnson CD, Felmlee JP, et al. MR imaging of the abdomen with a phased-array multicoil: prospective clinical evaluation. *Radiology* 1995;195:769-776
- Fayad LM, Kowalski T, Mitchell DG. MR cholangiopancreatography: evaluation of common pancreatic diseases. *Radiol Clin North Am* 2003;41:97-114.
- Ferrucci JT. Advances in abdominal MR imaging. *Radiographics* 1998;18:1569-1586
- Fulcher AS, Turner MA. MR pancreatography: a useful tool for evaluating pancreatic disorders. *Radiographics* 1999;19:5-24
- Fulcher AS, Turner MA, Capps GW, et al. Half-Fourier RARE MR cholangiopancreatography: experience in 300 subjects. *Radiology* 1998;207:21-32.
- Gilfeather M, Woodward PJ. MR imaging of the adrenal glands and kidneys. *Semin Ultrasound CT MR* 1998;19:53-66.
- Giovagnoni A, Fabbri A, Maccioni F. Oral contrast agents in MRI of the gastrointestinal tract. *Abdom Imaging* 2002;27:367-375
- Gohde SC, Toth J, Krestin GP, et al. Dynamic contrast-enhanced FMPSPGR of the pancreas: impact on diagnostic performance. *AJR* 1997;168:689-696
- Haider MA, Ghai S, Jhaveri K, et al. Chemical shift MR imaging of hyperattenuating (>10 HU) adrenal masses: does it still have a role? *Radiology* 2004;231:711-716.
- Heinz-Peer G, Honigschnabl S, Schneider B, et al. Characterization of adrenal masses using MR imaging with histopathologic correlation. *AJR* 1999;173:15-22.
- Ho VB, Allen SF, Hood MN, et al. Renal masses: quantitative assessment of enhancement with dynamic MR imaging. *Radiology* 2002;224:695-700
- Hughes J, Jan W, Goodie J, et al. MR urography: evaluation of different techniques in non-dilated tracts. *Clin Radiol* 2002;57:989-994
- Hussain HK, Korobkin M. MR imaging of the adrenal glands. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2004;12:515-544.
- Ichikawa T, Peterson MS, Federle MP, et al. Islet cell tumor of the pancreas: biphasic CT versus MR imaging in tumor detection. *Radiology* 2000;216:163-171
- Ichikawa T, Peterson MS, Federle MP, et al. Islet cell tumor of pancreas: biphasic CT versus MR imaging in tumor detection. *Radiology* 2002;216:163.171.

- Irie H, Honda H, Kaneko K, et al. Comparison of helical CT and MR imaging in detecting and staging small pancreatic adenocarcinoma. *Abdom Imaging* 1997;22:429-433
- Israel GM, Korobkin M, Wang C, et al. Comparison of unenhanced CT and chemical shift MRI in evaluating lipid-rich adrenal adenomas. *AJR* 2004;183:215-219
- Kanematsu M, Shiratori Y, Hoshi H, et al. Pancreas and peripancreatic vessels: effect of imaging delay on gadolinium enhancement at dynamic gradient-recalled-echo MR imaging. *Radiology* 2000;215:95-102
- Katzberg RW, Buonocore MH, Ivanovic M, et al. Functional, dynamic, and anatomic MR urography: feasibility and preliminary findings. *Acad Radiol* 2001;8:1083-1099
- Katzberg RW, Ivanovic M, Buonocore MH, et al. Gadolinium-enhanced T1-weighted renal and abdominal MR imaging: quantitative discrepancy between clinical and in vitro findings. *Acad Radiol* 2002;9:679-687
- Keogan MT, Edelman RR. Technologic advances in abdominal MR imaging. *Radiology* 2001;220:310-320
- Kettritz U, Semelka RC. Contrast-enhanced MR imaging of the pancreas. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 1996;4:87-100
- Koh DM, Miao Y, Chinn RJ, et al. MR imaging evaluation of the activity of Crohn's disease. *AJR* 2001;177:1325-1332
- Korobkin M, Lombardi TJ, Aisen AM, et al. Characterization of adrenal masses with chemical shift and gadolinium-enhanced MR imaging. *Radiology* 1995;197:411-418
- Lee JKT, Marcos HB, Semelka RC. MR imaging of the small bowel using the HASTE sequence. *AJR* 1998;170:1457-1463
- Lee VS, Rusinek H, Johnson G, et al. MR renography with low-dose gadopentetate dimeglumine: feasibility. *Radiology* 2001;221:371-379
- Leyendecker JR, Elsayes KM, Gratz BI, et al. MR cholangiopancreatography: spectrum of pancreatic duct abnormalities. *AJR* 2002;179:1465-1471
- Lomas DJ. Technical developments in bowel MRI. *Eur Radiol* 2003;13:1058-1071
- Low RN, Francis IR. MR imaging of the gastrointestinal tract with IV gadolinium and diluted barium oral contrast media compared with 1997;169:1051-1059
- Low RN, Francis IR, Sigeti JS, et al. Abdominal MR imaging: comparison of T2-weighted fast and conventional spin-echo, and contrast-enhanced fast multiplanar spoiled gradient-recalled imaging. *Radiology* 1993;186:803-811
- Low RN, Sebrechts CP, Politoske DA, et al. Crohn disease with endoscopic correlation: single-shot fast spin-echo and gadolinium-enhanced fat-suppressed spoiled gradient-echo MR imaging. *Radiology* 2002;222:652-660
- Ly JN, Miller FH. MR imaging of the pancreas: a practical approach. *Radiol Clin North Am* 2002; 40:1289-1306.
- Maccioni F, Viscido A, Broglia L, et al. Evaluation of Crohn disease activity with magnetic resonance imaging. *Abdom Imaging* 2000, 25:219-228.
- Matos C, Winant C, Deviere J. Magnetic resonance pancreatography. *Abdom Imaging* 2001;26:243-253.

- May DA, Pennington DJ. Effect of gadolinium concentration on renal signal intensity: in vitro study with a saline bag model. *Radiology* 2000;216:232-236
- Mitchell DG, Crovello M, Matteucci T, et al. Benign adrenocortical masses: diagnosis with chemical shift MR imaging. *Radiology* 1992;185:345-351
- Mitchell DG. Chemical shift magnetic resonance imaging: applications in the abdomen and pelvis. *Top Magn Reson Imaging* 1992;4:46-63
- Mitchell DG. Fast MR imaging techniques: impact in the abdomen. *J Magn Reson Imaging* 1996;6:812-821
- Nitz WR. Fast and ultrafast non-echo-planar MR imaging techniques. *Eur Radiol* 2002;12:2866-2882
- Nolte-Ernsting CC, Staatz G, Tacke J, et al. MR urography today. *Abdom Imaging* 2003;28:191-209
- Oshio K, Feinberg DA. GRASE (gradient-and-spin-echo) imaging: a novel fast MRI technique. *Magn Reson Med* 1991;20:344-349
- Outwater EK, Siegelman ES, Radecki PD, et al. Distinction between benign and malignant adrenal masses: value of T1-weighted chemical-shift MR imaging. *AJR* 1995;165:579-583.
- Pennington DJ, Lonergan GJ, Flack CE, et al. Experimental pyelonephritis in piglets: diagnosis with MR imaging. *Radiology* 1996;201:199-205
- Regan F, Bohlman ME, Khazan R, et al. MR urography using HASTE imaging in the assessment of ureteric obstruction. *AJR* 1996;167:1115-1120.
- Rezai AR, Finelli D, Nyenhuis JA, et al. Neurostimulation systems for deep brain stimulation: in vitro evaluation of magnetic resonance imaging-related heating at 1.5 Tesla. *J Magn Reson Imaging* 2002;15:241-250.
- Rezai AR, Phillips M, Baker KB, et al. Neurostimulation system used for deep brain stimulation (DBS): MR safety issues and implications of failing to follow safety recommendations. *Invest Radiol* 2004;39:300-303
- Rofsky NM, Lee VS, Laub G, et al. Abdominal MR imaging with a volumetric interpolated breath-hold examination. *Radiology* 1999;212:876-884.
- Sawyer-Glover AM, Shellock FG. Pre-MRI procedure screening: recommendations and safety considerations for biomedical implants and devices. *J Magn Reson Imaging* 2000;12:92-106
- Scialpi M, Di Maggio A, Midiri M, et al. Small renal masses: assessment of lesion characterization and vascularity on dynamic contrast-enhanced MR imaging with fat suppression. *AJR* 2000;175:751-757
- Semelka RC, Ascher SM. MR imaging of the pancreas. *Radiology* 1993;188:593-602
- Semelka RC, Balci NC, Op de Beeck B, et al. Evaluation of a 10-minute comprehensive MR imaging examination of the upper abdomen. *Radiology* 1999;211:189-195
- Shellock FG. *Magnetic Resonance Procedures: Health Effects and Safety*. Boca Raton, Fla: CRC Press: 2001
- Staatz G, Nolte-Ernsting CC, Adam GB, et al. Feasibility and utility of respiratory-gated, gadolinium-enhanced weighted magnetic resonance urography in children. *Invest Radiol* 2000;35:504-512

- Sudah M, Vanninen R, Partanen K, et al. MR urography in evaluation of acute flank pain: T2-weighted sequences and gadolinium-enhanced three-dimensional FLASH compared with urography. Fast low-angle shot. *AJR* 2001;176:105-112
- Szopinski K, Szopinska M, Borowka A, et al. Magnetic resonance urography: initial experience of a low-dose DTPA-enhanced technique. *Eur Radiol* 2000;10:1158-1164
- Teh HS, Ang ES, Wong WC, et al. MR renography dose gadopentetate dimeglumine as an alternative to radionuclide renography. *AJR* 2003;181:441-450
- Tsushima Y, Ishizaka H, Matsumoto M. Adrenal masses: differentiation with chemical shift, fast low-angle shot MR imaging. *Radiology* 1993;186:705-709.
- Weiser AC, Amukele SA, Leonidas JC, et al. The role of gadolinium enhanced magnetic resonance imaging for children with suspected acute pyelonephritis. *J Urol* 2003;169:2308-2311
- Ascher SM, Jha RC, Reinhold C. Benign myometrial conditions: leiomyomas and adenomyosis. *Top Magn Reson Imaging* 2003;14:281-304.
- Ascher SM, Imaoka I, Lage JM. Tamoxifen-induced uterine abnormalities: the role of imaging. *Radiology* 2000;214:29-38
- Atri M, Reinhold C, Mehio AR, et al. Adenomyosis: US features with histologic correlation in an in-vitro study. *Radiology* 2000;215:783-790
- Barentsz JO, Berger-Hartog O, Witjes JA, et al. Evaluation of chemotherapy in advanced urinary bladder cancer with fast dynamic contrast-enhanced MR imaging. *Radiology* 1998;207:791-797
- Barentsz JO, Engelbrecht MR, Witjes JA, et al. MR imaging of the male pelvis. *Eur Radiol* 1999; 9:1722-1736.
- Blomlie V, Rofstad EK, Trope C, et al. Critical soft tissues of the female pelvis: serial MR imaging before, during, and after radiation therapy. *Radiology* 1997;203:391-397
- Cornud F, Flam T, Chauveinc L, et al. Extraprostatic spread of clinically localized prostate cancer: factors predictive of pT3 tumor and of positive endorectal MR imaging examination results. *Radiology* 2002;224:203-210
- D'Amico AV, Schnall M, Whittington R, et al. Endorectal coil magnetic resonance imaging identifies locally advanced prostate cancer in select patients with clinically localized disease. *Urology* 1998;51:449-454
- DeSouza NM, Williams AD. Uterine arterial embolization for leiomyomas: perfusion and volume changes at MR imaging and relation to clinical outcome. *Radiology* 2002;222:367-374
- Fielding JR. MR imaging of the female pelvis. *Radiol Clin North Am* 2003;41:179-192.
- Fielding JR. Practical MR imaging of female pelvic floor weakness. *Radiographics* 2002;22:295-304.
- Frei KA, Kinkel K, Bonel HM, et al. Prediction of deep myometrial invasion in patients with endometrial cancer: clinical utility of contrast-enhanced MR imaging – a meta-analysis and Bayesian analysis. *Radiology* 2000;216:444-449.
- Funt SA, Hricak H. Ovarian malignancies. *Top Magn Reson Imaging* 2003;14:329-337
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) statement, medical magnetic resonance procedures: protection of patients. *Health Physics* 2004;87:197-216

Kinkel K, Tardivon AA, Soyer P, et al. Dynamic contrast-enhanced subtraction versus T2-weighted spin-echo MR imaging in the follow-up of colorectal neoplasm: a prospective study of 41 patients. *Radiology* 1996;200:453-458.

Levine D, Barnes PD, Edelman RR. Obstetric MR imaging. *Radiology* 1999;211:609-617. Reinhold C, Hricak H, Forstner R, et al. Primary amenorrhea: evaluation with MR imaging. *Radiology* 1997;203:383-390

Reinhold C, Hricak H, Forstner R, et al. Primary amenorrhea: evaluation with MR imaging. *Radiology* 1997; 203:383-390.

Sala EJ, Atri M. Magnetic resonance imaging of benign adnexal disease. *Top Magn Reson Imaging* 2003;14:305-327

Troiano RN, McCarthy SM. Mullerian duct anomalies: imaging and clinical issues *Radiology* 2004;233:19-34

Twickler DM, Setiawan AT, Evans RS, et al. Imaging of puerperal septic thrombophlebitis: prospective comparison of MR imaging, CT and sonography. *AJR* 1997;169:1039-1043.

Yu KK, Hricak H, Subak LL, et al. Preoperative staging of cervical carcinoma: phased array coil fast spin-echo versus body coil spin-echo T2-Weighted MR imaging. *AJR* 1998; 171: 707-711.

^{vi} Hendel RC, Patel MR, Kramer CM, Poon M, Hendel RC, Carr JC, Gerstad NA, Gillam LD, Hodgson JM, Kim RJ, Kramer CM, Lesser JR, Martin ET, Messer JV, Redberg RF, Rubin GD, Rumsfeld JS, Taylor AJ, Weigold WG, Woodard PK, Brindis RG, Hendel RC, Douglas PS, Peterson ED, Wolk MJ, Allen JM, Patel MR, for the American College of Cardiology Foundation Quality Strategic Directions Committee Appropriateness Criteria Working Group, American College of Radiology, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, American Society of Nuclear Cardiology, North American Society for Cardiac Imaging, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Interventional Radiology. ACCF/ACR/SCCT/SCMR/ASNC/NASCI/SCAI/SIR 2006 appropriateness criteria for cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging: a report of the American College of Cardiology Foundation Quality Strategic Directions Committee Appropriateness Criteria Working Group, American College of Radiology, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, American Society of Nuclear Cardiology, North American Society for Cardiac Imaging, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Interventional Radiology. *J Am Coll Cardiol*. 2006;48: 1475–1497.

Kramer CM, Barkhausen J, Flamm SD, Kim RJ, Nagel E. Standardized cardiovascular magnetic resonance imaging (CMR) protocols, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance: Board of Trustees Task Force on Standardized Protocols. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2008;10:35.

Hundley WG, Bluemke D, Bogaert JG, Friedrich MG, Higgins CB, Lawson MA, McConnell MV, Raman SV, van Rossum AC, Flamm S, Kramer CM, Nagel E, Neubauer S. Society for Cardiovascular Magnetic Resonance guidelines for reporting cardiovascular magnetic resonance examinations. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2009;11:5.

American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents, Hundley WG, Bluemke DA, Finn JP, Flamm SD, Fogel MA, Friedrich MG, Ho VB, Jerosch-Herold M, Kramer CM, Manning WJ, Patel M, Pohost GM, Stillman AE, White RD, Woodard PK. ACCF/ACR/AHA/NASCI/SCMR 2010 expert consensus document on cardiovascular magnetic resonance: a report of the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents. *J Am Coll Cardiol*. 2010 Jun 8;55(23):2614-62.

American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents, Hundley WG, Bluemke DA, Finn JP, Flamm SD, Fogel MA, Friedrich MG, Ho VB, Jerosch-Herold M, Kramer CM, Manning WJ, Patel M, Pohost GM, Stillman AE, White RD, Woodard PK. ACCF/ACR/AHA/NASCI/SCMR 2010 expert consensus document on

cardiovascular magnetic resonance: a report of the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents. *Circulation*. 2010 Jun 8;121(22):2462-508.

Hundley WG, Bluemke D, Bogaert JG, Friedrich MG, Higgins CB, Lawson MA, McConnell MV, Raman SV, van Rossum AC, Flamm S, Kramer CM, Nagel E, Neubauer S. Society for Cardiovascular Magnetic Resonance guidelines for reporting cardiovascular magnetic resonance examinations. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2009 Mar 3;11:5.

Kramer CM, Barkhausen J, Flamm SD, Kim RJ, Nagel E; Society for Cardiovascular Magnetic Resonance Board of Trustees Task Force on Standardized Protocols. Standardized cardiovascular magnetic resonance imaging (CMR) protocols, society for cardiovascular magnetic resonance: board of trustees task force on standardized protocols. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2008 Jul 7;10:35.

Finn JP, Nael K, Deshpande V, Ratib O, Laub G. Cardiac MR imaging: state of the technology. *Radiology*. 2006 Nov;241(2):338-54.

Simonetti OP, Cook S. Technical Aspects of Pediatric CMR. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2006;8:581-593

Lotz J, Meier C, Leppert A, Galanski M. Cardiovascular flow measurement with phase-contrast MR imaging: basic facts and implementation. *Radiographics*. 2002 May-Jun;22(3):651-71.

Ramazzotti A, Pepe A, Positano V, Rossi G, De Marchi D, Brizi MG, Luciani A, Midiri M, Sallustio G, Valeri G, Caruso V, Centra M, Cianciulli P, De Sanctis V, Maggio A, Lombardi M. Multicenter validation of the magnetic resonance T2* technique for segmental and global quantification of myocardial iron. *J Magn Reson Imaging*. 2009 Jul;30(1):62-8.

vii Xavier Demondion, Pascal Herbinet, Serge Van Sint Jan, Nathalie Boutry, Christophe Chantelot, and Anne Cotton. Imaging Assessment of Thoracic Outlet Syndrome. *Radiographics* November-December 2006 26:1735-1750.

Gadolinium-Enhanced Magnetic Resonance Angiography for Pulmonary Embolism A Multicenter Prospective Study (PIOPED III) Paul D. Stein, MD; Thomas L. Chenevert, PhD; Sarah E. Fowler, PhD; Lawrence R. Goodman, MD; Alexander Gottschalk, MD; Charles A. Hales, MD; Russell D. Hull, MBBS, MSc; Kathleen A. Jablonski, PhD; Kenneth V. Leeper Jr., MD; David P. Naidich, MD; Daniel J. Sak, DO; H. Dirk Sostman, MD; Victor F. Tapson, MD; John G. Weg, MD; and Pamela K. Woodard, MD, for the PIOPED III (Prospective Investigation of Pulmonary Embolism Diagnosis III) Investigators* *Ann Intern Med*. 2010;152:434-443.

Hopkins SR, Prisk GK. Lung perfusion measured using magnetic resonance imaging: New tools for physiological insights into the pulmonary circulation. *J Magn Reson Imaging*. 2010 Dec;32(6):1287-301.

Hopkins SR, Levin DL, Emami K, Kadlecsek S, Yu J, Ishii M, Rizi RR. Advances in magnetic resonance imaging of lung physiology. *J Appl Physiol*. 2007 Mar;102(3):1244-54.

viii American College of Radiology (ACR) Practice Guideline for the Performance of Magnetic Resonance Imaging (MRI) of Breast 2004

American Cancer Society (ACS) Guidelines for Breast Screening With MRI as an Adjunct to Mammography 2009

Cancer Care Ontario (CCO) 2006

Canadian Association of Radiologists (CAR) Consensus Guidelines for the Prevention of Contrast Induced Nephropathy (2005)

- ^{ix} D’Orsi CJ, Bassett LW, Berg WA, et al: Breast Imaging Reporting and Data System: ACR BI-RADS-Mammography (ed 4), Reston, VA, American College of Radiology 2003. Available at:
http://www.acr.org/SecondaryMainMenuCategories/quality_safety/BIRADSAtlas.aspx.
- ^x O.A. Glenn and A.J. Barkovich. Magnetic Resonance Imaging of the Fetal Brain and Spine: An Increasingly Important Tool in Prenatal Diagnosis, Part 1. AJNR Am. J. Neuroradiol., Sep 2006; 27: 1604 - 1611.
- O.A. Glenn and J. Barkovich. Magnetic Resonance Imaging of the Fetal Brain and Spine: An Increasingly Important Tool in Prenatal Diagnosis: Part 2. AJNR Am. J. Neuroradiol., Oct 2006; 27: 1807 - 1814.
- Magnetic Resonance Imaging of the Brain and Spine, 4th ed., Vol. 1 and 2
- S.W. Atlas, ed. Lippincott Williams & Wilkins; 2008.
- Erin M. Simon, Ruth B. Goldstein, Fergus V. Coakley, Roy A. Filly, Kelly C. Broderick, Thomas J. Musci, and A. James Barkovich. Fast MR Imaging of Fetal CNS Anomalies in Utero. AJNR Am. J. Neuroradiol., Oct 2000; 21: 1688 - 1698.
- Glenn OA, Goldstein RB, Li KC, et al. Fetal magnetic resonance imaging in the evaluation of fetuses referred for sonographically suspected abnormalities of the corpus callosum. J Ultrasound Med 2005;24:791–804
- D. Levine, H. A. Feldman, J. F. Kazan Tannus, J. A. Estroff, M. Magnino, C. D. Robson, T. Y. Poussaint, C. E. Barnewolt, T. S. Mehta, and R. L. Robertson. Frequency and Cause of Disagreements in Diagnoses for Fetuses Referred for Ventriculomegaly. Radiology, May 1, 2008; 247(2): 516 - 527.
- C. S. von Koch, O. A. Glenn, R. B. Goldstein, and A. J. Barkovich. Fetal Magnetic Resonance Imaging Enhances Detection of Spinal Cord Anomalies in Patients With Sonographically Detected Bony Anomalies of the Spine. J. Ultrasound Med., June 1, 2005; 24(6): 781 – 789
- C. Garel, A.-L. Delezoide, M. Elmaleh-Berges, F. Menez, C. Fallet-Bianco, E. Vuillard, D. Luton, J.-F. Oury, and G. Sebag. Contribution of Fetal MR Imaging in the Evaluation of Cerebral Ischemic Lesions. AJNR Am. J. Neuroradiol., October 1, 2004; 25(9): 1563 - 1568.
- S. Hassibi, N. Farhataziz, M. Zaretsky, D. McIntire, and D. M. Twickler. Optimization of Fetal Weight Estimates Using MRI: Comparison of Acquisitions. Am. J. Roentgenol., August 1, 2004; 183(2): 487 - 492.