

L'IRM à 7 Tesla a-t-elle un avenir en pratique clinique?

Johnannes T. Heverhagen

Universitätsinstitut für Diagnostische, Interventionelle und Pädiatrische Radiologie, Inselspital, Bern

L'imagerie par résonance magnétique nucléaire (IRM) est l'une des innovations les plus significatives du siècle dernier. Ses implications pour la médecine dans son ensemble ont été considérables. L'IRM est aujourd'hui notamment bien établie, aux côtés de l'imagerie purement morphologique, dans l'examen neurofonctionnel du système nerveux central, l'imagerie fonctionnelle cardiaque et de nombreuses autres applications diagnostiques non invasives. L'imagerie pulmonaire, longtemps dominée par la tomographie computerisée (CT), fait elle aussi toujours plus appel à l'IRM.

Pourquoi la puissance du champ magnétique ne cesse-t-elle d'augmenter?

L'IRM consiste fondamentalement à placer les patients dans un puissant champ magnétique externe constant. Ce champ induit un alignement des ions hydrogène le long des lignes de champ, un phénomène utilisé pour l'établissement d'images. Ce principe explique aussi pourquoi la puissance du champ induit par les aimants utilisés dans les applications cliniques ne cesse d'augmenter depuis l'introduction de l'IRM en 1978 par Mansfield et Lauterburg. A l'origine, le standard était constitué par des aimants à 0,5 et 1,0 Tesla. Ceux-ci ont rapidement été remplacés par des appareils dits à forte puissance de champ, soit 1,5 Tesla, et qui forment encore l'essentiel du parc de scanners cliniques installés aujourd'hui à travers le monde. Depuis quelques années, la part des aimants à 3 Tesla ne cesse toutefois d'augmenter et il est probable qu'ils constitueront bientôt l'essentiel des appareils utilisés en pratique clinique. Dès les années 1990, quelques rares groupes ont installé, à grand renfort de moyens techniques, des scanners à puissance de champ atteignant 7 et même 8 Tesla [1–7]. Leur nombre a nettement augmenté ces dernières années, surtout par l'engagement des grands fabricants dans le développement. Il y a aujourd'hui pas moins de 60 appareils de ce type installés à travers le monde.

L'avantage des grandes puissances de champ réside dans le fait que le nombre de protons contribuant à la formation des images augmente linéairement avec la puissance [8, 9]. Le passage de 1,5 à 3 Tesla double le signal et une nouvelle progression à 7 Tesla multiplie encore par plus de deux cette valeur. Ce signal puissant ne permet pas seulement de former des images plus belles, mais améliore aussi la résolution spatiale et donc la visualisation de structures morphologiques plus fines. Par ailleurs, la vitesse d'acquisition est augmentée, ce qui signifie une

réduction de la durée de l'examen et un accroissement supplémentaire de la résolution spectrale. Il s'est avéré aussi qu'en plus de ces avantages l'imagerie obtenue par ces fortes puissances de champ permet de définir de nouveaux contrastes [5, 10, 11]. On peut ainsi mettre en évidence des structures qui n'avaient jamais pu être visualisées jusque-là. Les applications dans le système nerveux central sont nombreuses et – comme c'est si souvent le cas avec l'IRM – ont pu être validées déjà très tôt durant le développement [12–15]. D'autres champs d'application se sont par ailleurs déjà faits jour, comme le montrent les deux exemples ci-dessous.

Système musculo-squelettique

L'extrémité supérieure et inférieure, ainsi que leurs grandes et petites articulations, sont des régions anatomiques idéales pour les examens à très forte puissance de champ. D'abord, les régions examinées sont bien délimitées dans l'espace et peuvent donc être facilement circonscrites avec une bobine de réception relativement petite. Ensuite, il est relativement facile d'immobiliser ces régions, si bien que les artefacts liés aux mouvements sont devenus négligeables. L'un des principaux objectifs de l'imagerie musculo-squelettique est la représentation en haute résolution des structures osseuses et ligamentaires. Ceci est facile à obtenir, grâce au rapport signal-bruit (SNR) très élevé des images conçues à partir de systèmes à forte puissance de champ. Dans le même temps, on peut facilement contourner ou contrer les problèmes survenant au niveau du tronc, tels que l'entrée inhomogène des signaux de RF, les artefacts de susceptibilité aux interfaces tissus-air ou les champs magnétiques inhomogènes.

Des études extensives ont principalement porté par le passé sur les grandes articulations comme les genoux et les coudes, mais aussi sur les petites articulations des mains et des pieds (fig. 1) [16–19]. Un gain très significatif est apparu pour toutes les techniques d'examen en termes de SNR et de rapport porteur-bruit (CNR) avec par conséquent une représentation nettement plus détaillée des différentes structures. Il en ressort notamment que les lésions ou les zones de faiblesses structurales peuvent être détectées beaucoup plus tôt qu'avec les autres techniques d'examen. La résolution actuelle des appareils à forte puissance de champ dépasse même la résolution des CT. Avec les méthodes spectroscopiques, on a en outre pu montrer que les processus de réparation et les stades précoces des maladies peuvent être dépistés avant même qu'ils se manifestent par des

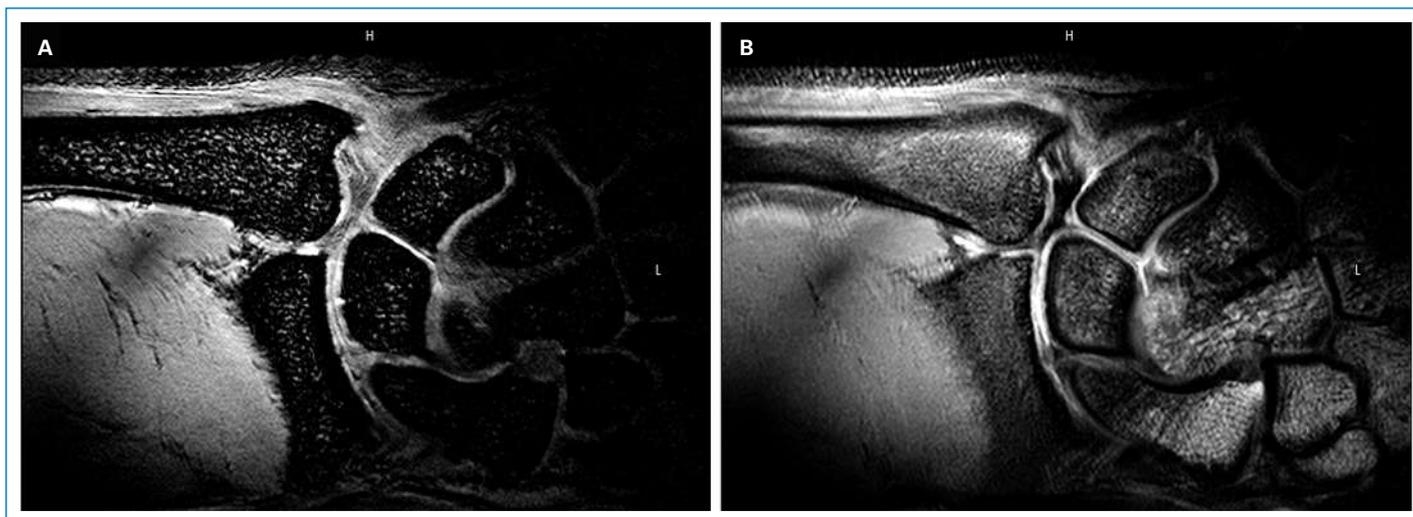


Figure 1

Images Spin Echo (A) en écho de gradients 3-D et (B) pondérées en densité de protons 2-D du poignet d'un homme de 34 ans. Les images ont été acquises chacune en env. 5 minutes. La résolution spatiale dans la coupe est ici de $0,09 \times 0,09 \text{ mm}^2$. L'épaisseur de coupe est de 0,5 mm dans l'image 3-D et de 0,8 mm dans l'image 2-D. Cette haute résolution spatiale permet une excellente visualisation des structures cartilagineuses et osseuses les plus fines (Prof. P. Schmalrock, Wright Center of Innovation, The Ohio State University).

altérations morphologiques. C'est le cas aussi bien du cartilage que du tissu musculaire [20–22].

Globalement, l'imagerie à forte puissance de champ s'est déjà fait une place aujourd'hui dans le domaine musculo-squelettique, en particulier au niveau des extrémités. De nombreuses études ont démontré les avantages de cette technique en pratique clinique. Pour l'instant, la faible disponibilité de ces appareils limite cependant encore son utilisation à large échelle.

Angio-IRM

L'angio-IRM (AIRM) est une méthode qui bénéficie également énormément de l'augmentation de la puissance des champs magnétiques. C'est ce qu'ont d'ores et déjà bien montré les résultats de toute une série d'essais cliniques réalisées avec l'AIRM à 3 Tesla [23]. L'amélioration de la résolution spatiale permet notamment une meilleure analyse des détails anatomiques et pathologiques. De plus, l'allongement du temps T1 a pour effet d'atténuer nettement les tissus stationnaires environnants par rapport au sang [24].

L'AIRM à puissance de champ ultra-forte a d'abord été testée, puis perfectionnée au niveau des vaisseaux intracrâniens (fig. 2 ) [24, 25]. Son potentiel en termes d'applications cliniques est aujourd'hui considérable dans ce domaine. Parallèlement aux améliorations technologiques apportées aux bobines, l'examen des champs vasculaires extra-crâniens suscite un intérêt grandissant. On a commencé par examiner les carotides et les vaisseaux des extrémités inférieures, qui sont relativement simples à analyser [26, 27] et de nombreux travaux ont entre-temps porté sur les vaisseaux coronaires et les artères rénales [28, 29].

L'administration de produit de contraste est devenue quasiment obsolète dans les techniques à forte puissance de champ. De nombreux auteurs ont montré que l'AIRM time-of-flight est au moins équivalente à l'AIRM à

contraste renforcé [25, 27, 29]. Ceci ouvre de toutes nouvelles perspectives en pratique clinique chez les patients insuffisants rénaux.

Inconvénients, limitations et effets indésirables

L'augmentation de la puissance de champ implique des coûts nettement plus élevés. Ils englobent le coût de fabrication des appareils et le coût des matériaux, qui sont nettement plus importants, dans la mesure où l'augmentation de la puissance de champ rend plus difficile le maintien de l'homogénéité du champ magnétique à l'intérieur de l'appareillage. D'autre part, les coûts induits des équipements annexes, par exemple l'isolation nécessaire au confinement du champ magnétique, le système de refroidissement des aimants et la structure d'accueil du scanner, sont aussi bien plus importants. Les scanners à 7 Tesla de l'ancienne génération pesaient plus de 30 tonnes et nécessitaient des structures de confinement du champ magnétique dont le poids total se situait entre 200 et 400 tonnes. D'importants progrès techniques ont permis de réduire à la fois le poids et le coût de ces installations.

La forte tendance aux artefacts représente un autre inconvénient. La puissance de champ plus élevée favorise les inhomogénéités du champ magnétique de base. De plus, les impulsions excitatrices générées par le scanner IRM pénètrent moins bien dans le corps avec de telles puissances, ce qui induit des inhomogénéités dans l'excitation générée par le scanner. Des artefacts de susceptibilité, comme on les observe par exemple aux interfaces entre les tissus et l'air ou au voisinage des implants métalliques, sont en outre plus prononcés. L'ensemble de ces effets peut affecter la qualité des images et donc limiter la précision du diagnostic. Il faut également tenir compte du fait qu'une exposition à des champs de plus forte puissance implique une déposition d'énergie plus importante dans le corps par les impulsions exci-

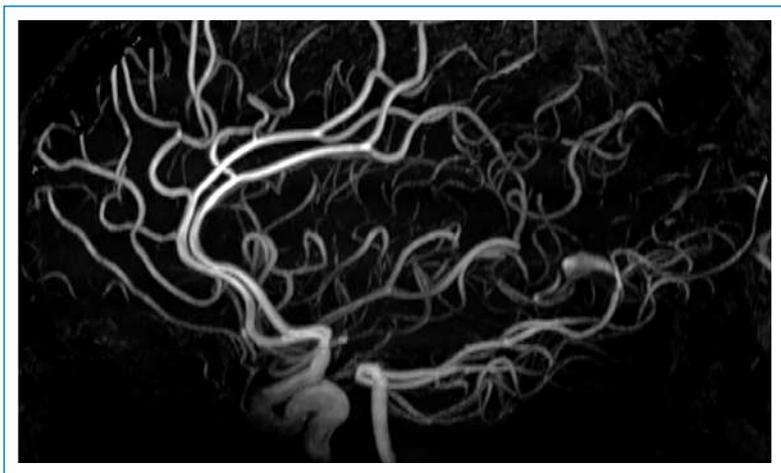


Figure 2
Projection à intensité maximale d'une angio-IRM time-of-flight 7 Tesla renforcée par liquide de contraste des artères cérébrales d'un homme de 36 ans. La résolution spatiale des différentes images est de $0,22 \times 0,22 \times 0,6 \text{ mm}^3$ et le temps d'acquisition était d'env. 10 minutes. Les artères sont représentées jusque dans les zones très périphériques avec un contraste remarquable.

tatrices. C'est pourquoi on a défini des valeurs maximales pour l'énergie radiante dispensée, afin de prévenir des lésions éventuelles. Ce qui limite évidemment dans le même temps les performances des scanners IRM.

Ces inconvénients et ces limitations ont fait développer au cours des années toute une série de techniques destinées à parer à ces difficultés. Ces perfectionnements progressifs ont souvent profité à l'ensemble du spectre des appareils IRM avec des effets de synergie, particulièrement dans les systèmes de très grandes puissances de champ. La technologie de transmission parallèle en est un bon exemple. Elle permet en effet d'exciter plusieurs couches simultanément et donc d'obtenir, surtout pour les fortes puissances de champ, une meilleure homogénéité de la luminosité de l'image.

Il n'en demeure pas moins que certains patients sont gênés par les effets des fortes puissances de champ sur l'organisme. Quelques patients se plaignent ainsi de nausées et de vertiges, dont la cause n'est pas clairement comprise. Il se pourrait que des dépôts de fer dans l'oreille interne, mobilisés lors de l'exposition au champ magnétique, soient à l'origine de ces troubles. On ne connaît pas, à ce jour, d'autres effets indésirables liés aux techniques à forte puissance de champ. L'exposition aux champs de forte puissance augmente également les risques inhérents aux objets métalliques présents dans la salle d'examen. L'augmentation de la puissance de champ accroît la force d'attraction exercée sur ces objets, mais aussi la distance à laquelle ces objets peuvent subir une attraction significative.

Indication et prix

L'indication à ce type d'examen reste pour l'instant encore principalement réservée à des fins de recherche scientifique. Dans le cadre des maladies neuro-dégénératives, il existe toutefois aujourd'hui déjà des indications, comme le diagnostic de la maladie d'Alzheimer,

dans laquelle l'IRM à forte puissance de champ constitue la méthode standard dans le diagnostic non invasif. Les situations dans lesquelles la technologie à puissance de champ ultra-forte est la seule méthode permettant un examen sûr des patients, par exemple lors d'angiographies natives chez des patients en insuffisance rénale, constituent un autre champ d'applications. Le recours à cette technique semble par ailleurs judicieux même dans des cas qui ne nécessitent pas obligatoirement de telles puissances de champ. C'est le cas aujourd'hui déjà avec les systèmes à 3 Tesla, utilisés par exemple dans les examens de l'abdomen où une puissance de 1,5 Tesla serait à vrai dire parfaitement suffisante. Il ne faut pas s'attendre pour autant à une augmentation du montant pris en charge par les caisses-maladie. Le remboursement restera selon toute vraisemblance au niveau du standard actuel, aussi bien pour les indications de l'IRM classique que pour les indications spécifiques aux examens à très forte puissance de champ. Le passage des scanners à 1 Tesla aux appareils à 1,5 ou 3 Tesla ne s'est ainsi accompagné d'aucune adaptation tarifaire.

Pour tous les patients et pour tous les médecins référents, l'IRM à forte puissance de champ ouvre la voie vers de nouvelles possibilités diagnostiques, en particulier dans le domaine des maladies neuro-dégénératives. Il convient de rester très attentif aux futures publications et de réévaluer régulièrement la validité de cette technique. Il y a aussi toujours plus de patients avec d'autres indications cliniques faisant l'objet de ce type d'examens dans les centres possédant l'équipement ad hoc. Cela n'implique aucun inconvénient pour les patients et les coûts devraient continuer à être pris en charge par les caisses-maladie au tarif de l'IRM classique.

Résumé

Des IRM à très forte puissance de champ (>7 Tesla) existent aujourd'hui déjà dans quelques centres universitaires hautement spécialisés. Le nombre de ces appareils va certainement continuer à augmenter et leur prix va par conséquent avoir tendance à diminuer. A l'heure actuelle, les indications se limitent aux bilans cliniques des maladies neuro-dégénératives. On peut néanmoins s'attendre à une extension de ces indications au cours des prochaines années; les avantages de cette technologie pourront bénéficier à un plus grand nombre, du moins dans les centres hautement spécialisés.

Correspondance:

Prof. Johannes T. Heverhagen
Inselspital, Universitätsspital Bern
Universitätsinstitut für Diagnostische,
Interventionelle und Pädiatrische Radiologie (DIPR)
Freiburgstrasse 10
CH-3010 Bern
[Johannes.Heverhagen\[at\]insel.ch](mailto:Johannes.Heverhagen[at]insel.ch)

Références

Une liste complète numérotée des références se trouve à l'adresse www.medicalforum.ch.