

APPORT DE L'IMAGERIE PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE DANS LE DIAGNOSTIC DES AFFECTIONS LOCOMOTRICES

INTEREST OF MAGNETIC RESONANCE IMAGING IN THE DIAGNOSIS OF EQUINE LOCOMOTOR DISORDERS

Par Fabrice AUDIGIÉ⁽¹⁾, David DIDIERLAURENT⁽²⁾, Virginie COUDRY⁽²⁾,
Sandrine JACQUET⁽²⁾ et Jean-Marie DENOIX⁽³⁾.
(communication présentée le 4 mai 2006)

RÉSUMÉ

L'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) est aujourd'hui en médecine humaine la technique d'imagerie de référence pour l'appareil locomoteur. L'objectif de cet article est de présenter les apports de l'IRM dans le diagnostic des affections locomotrices du cheval à partir des patients examinés au CIRALE à l'aide d'une machine bas champ (0,2 T) avec une configuration en C. Les protocoles utilisés et les indications de cet examen sont décrits. Les apports de l'IRM au plan diagnostique sont ensuite présentés par type de formation anatomique. L'IRM permet notamment d'identifier, avec une grande fiabilité, des lésions osseuses qui ne sont pas visibles en radiographie. Elle présente, par rapport à l'échographie, la capacité d'imager l'ensemble des tissus mous du pied et permet une meilleure discrimination tissulaire au sein des lésions. En revanche, l'IRM requiert une anesthésie générale pour obtenir des images de grande qualité diagnostique. D'autre part, seules les régions distales des membres (jusqu'au carpe et tarse inclus), la tête et la région cervicale crâniale peuvent être examinées sur les machines actuelles. Pour pallier ces limites, le développement de machines IRM permettant l'imagerie sur cheval debout représente une voie de recherche intéressante.

Mots-clés : imagerie, cheval, boiterie, baisse de performances.

SUMMARY

Magnetic Resonance Imaging (MRI) is the current gold standard in human medicine for locomotor apparatus imaging. This paper presents the interest of MRI in the diagnosis of equine locomotor disorders, based on patients examined at the CIRALE centre with a C-shape low-field system (0.2 T). The protocols used and indications of this technique are described. The diagnostic interest of MRI is then presented by anatomical entities. MRI is a very reliable technique to identify bone lesions which are radiologically invisible. Compared to ultrasonography, MRI provides images of all soft tissues in the foot, with greater tissue discrimination within the lesions. The downside, however, is that a general anesthesia is necessary to obtain diagnostic images of high quality. Moreover, current MRI systems are able to visualise only the distal segments of the limbs (including carpus and tarsus), the head, and the cervico-cranial hinge. The development of MRI systems designed to examine a standing horse is an interesting avenue of research, which would overcome these limitations.

Key words: diagnostic imaging, horse, lameness, poor performance.

(1) DMV, PhD.

(2) DMV DESV.

(3) DMV, Professeur Agrégé, PhD.

Adresse : CIRALE - IPC, UMR INRA-ENVA 957 Biomécanique et Pathologie Locomotrice du Cheval, École Nationale Vétérinaire d'Alfort, RN 175, 14430 Goustranville.

INTRODUCTION

Les affections de l'appareil locomoteur représentent une des principales causes de la baisse de performances et de la réforme des chevaux de courses et de sport, à l'origine d'un préjudice économique majeur pour le secteur d'exploitation du cheval. Pour cette raison et pour le bien-être animal, l'amélioration du diagnostic des affections locomotrices constitue un thème majeur de recherche chez le cheval. Face à un trouble locomoteur, deux étapes sont nécessaires pour aboutir à un diagnostic détaillé. La première consiste à identifier la ou les régions lésées, c'est le diagnostic topographique. La seconde vise à déterminer le plus précisément possible pour chacune de ces régions, les formations anatomiques lésées et la nature de ces anomalies, c'est le diagnostic lésionnel.

Aujourd'hui, quatre techniques d'imagerie occupent une place prédominante dans le diagnostic des affections locomotrices : deux sont utilisées en routine (la radiographie et l'échographie), les deux autres, la scintigraphie osseuse et l'Imagerie par Résonance Magnétique ou IRM), sont mises en œuvre face à des situations cliniques plus complexes, notamment en raison du coût de ces examens. La scintigraphie osseuse a été utilisée pour la première fois chez le cheval dans les années 1970 (Ueltschi 1975) et ses apports dans l'établissement d'un diagnostic topographique sont maintenant bien connus. L'IRM représente actuellement la technique d'imagerie la plus performante en médecine humaine. Son introduction en médecine vétérinaire est beaucoup plus récente, puisque les premiers travaux menés *in vitro* ont eu lieu dans les années 1990 (Crass *et al.* 1992; Denoix *et al.* 1993; Denoix 2000; Rand *et al.* 1998) et que la première publication internationale décrivant l'utilisation de l'IRM chez un cheval vivant date de 1999 (Kleiter *et al.* 1999). À cette même période, le CIRALE (Centre d'Imagerie et de Recherche sur les Affections Locomotrices Équines) a été le premier site français, et il est toujours le seul, à être équipé d'une installation d'IRM et de scintigraphie osseuse. L'objectif de cet article est de présenter, au travers de notre expérience de plus de cinq années d'utilisation, les apports de l'IRM dans le diagnostic des affections locomotrices et par conséquent, la place de cette technique par rapport aux autres procédés d'imagerie (radiographie, échographie et scintigraphie osseuse).

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Équipement IRM et protocole d'examen

Le CIRALE a été équipé d'une IRM bas champ utilisée préalablement en médecine humaine et présentant une configuration ouverte en C (Siemens Magnetom Open 0,2 T). Toutefois, il était nécessaire d'adapter cet équipement aux chevaux en sachant que les examens sur ce type de machine se réalisent sous anesthésie générale. La table patient de la machine a ainsi été retirée afin d'augmenter l'ouverture de la machine et remplacée par un plateau aimantique spécifique capable de suppor-

ter le poids de la région examinée. Une table patient roulante, aimantique et réglable en hauteur grâce à un système pneumatique, a également été spécifiquement conçue. Enfin, le matériel d'anesthésie a été modifié pour le rendre compatible à l'utilisation de l'IRM. Malgré ces diverses adaptations, seules la partie distale des membres (jusqu'au carpe et tarse inclus), la tête et la région cervicale crâniale peuvent être examinées. L'ouverture insuffisante de la machine ne permet pas l'observation des régions les plus volumineuses.

La spécificité majeure de l'IRM est d'être une technique d'imagerie sectionnelle multi-contraste et multiplan, puisqu'il est possible de réaliser des coupes dans les trois plans de l'espace. En modifiant les paramètres physiques des séquences IRM, le contraste des images évolue, permettant de mettre en évidence plus spécifiquement certaines structures anatomiques (os spongieux, cartilage articulaire, membrane synoviale...). Ainsi dans notre Centre, le protocole d'examen comprend un protocole de base adapté à la région imagée, puis si nécessaire, des séquences supplémentaires spécifiques sont mises en œuvre en fonction des informations fournies par ce protocole de base (Denoix & Audigié, 2004).

Pour le pied, le protocole de base comprend quatre séquences ayant des contrastes et des orientations différentes :

- des coupes transverses en pondération T1 : ces images en « contraste anatomique » permettent une évaluation précise de la morphologie (taille, forme) des différentes formations anatomiques. Elles sont également sensibles et fiables pour identifier des lésions tendineuses et ligamentaires ;
- des coupes transverses en pondération T2 : ces images se caractérisent par un signal très élevé des liquides qui apparaissent blancs. Cette séquence mime donc un effet arthrographique et permet notamment une étude détaillée des synoviales articulaires et tendineuses ;
- des coupes sagittales en saturation de graisse : les paramètres physiques de cette séquence sont réglés de manière à supprimer sélectivement le signal de la moelle osseuse, en conservant un signal très élevé des liquides (pondération de type T2). L'os trabéculaire (ou os spongieux) sain est entièrement noir sur ces images. Inversement, les processus pathologiques, se traduisant le plus souvent par une augmentation du contenu liquidien de l'os, forment des zones claires dans les os lésés ;
- des coupes frontales en pondération mixte T1/T2 : les progrès techniques permanents réalisés en IRM sont à l'origine du développement de séquences plus complexes dédiées à l'imagerie de certaines structures anatomiques. Dans ce cas, les images obtenues permettent notamment la visualisation du cartilage articulaire.

L'examen IRM d'une région anatomique dure environ entre 45 et 60 minutes. Il est ainsi possible d'examiner en détail deux régions anatomiques sur un même cheval (ex : examen du pied et du boulet), en conservant une durée globale d'anesthésie inférieure à deux heures.

Chevaux et indications de l'examen

Depuis la mise en service effective de notre installation IRM à la fin de 2001, plus de 100 chevaux de sport et de courses ont été examinés. L'indication majeure de l'IRM est l'établissement d'un diagnostic lésionnel précis et complet. Plus précisément, cette technique est nécessaire pour établir un diagnostic lésionnel ou topographique.

Établissement d'un diagnostic lésionnel

Le site de la lésion a été identifié par l'examen clinique, des anesthésies diagnostiques, voire un examen scintigraphique, et l'examen IRM est indiqué car :

- aucune lésion n'a pu être confirmée par radiographie et échographie et la région lésée peut être examinée par IRM (ex : pied, boulet, carpe, jarret) ;
- certaines lésions ont été identifiées par radiographie ou échographie mais un diagnostic de certitude n'a pu être atteint ou l'évolution clinique n'est pas ou peu compatible avec les lésions diagnostiquées par les techniques d'imagerie conventionnelles ;
- un bilan lésionnel complet est souhaité pour établir un pronostic et un traitement les plus pertinents possibles.

L'examen IRM est également indiqué lors de corps étranger pénétrant, particulièrement pour les clous de rue, récent ou ancien, notamment en raison de la difficulté d'exploration complète, à l'échographie, des tissus mous et des os du pied.

Établissement d'un diagnostic topographique

Par essence, ce n'est pas le rôle de l'IRM. Les progrès techniques permettent toutefois aujourd'hui d'examiner chez un cheval, sans risque anesthésique majeur, des régions corporelles voisines dans lesquelles la distribution des lésions est difficile à établir. L'IRM peut ainsi être indiquée pour un cheval présentant une boiterie basse dont l'origine (pied, boulet ou paturon) n'a pu être établie avec certitude.

RÉSULTATS

Images de référence

Les examens réalisés ont permis d'obtenir une bonne connaissance des images IRM de référence, prérequis pour l'identification de lésions de l'appareil locomoteur (*figure 1*). L'apparence normale des différentes formations anatomiques dépend de leur teneur en protons libres et de la pondération de l'image (Eustace 1999). L'os compact (os cortical), les tendons sont pauvres en protons libres. Ils ne génèrent donc que peu de signal et apparaissent ainsi en noir quelle que soit la pondération de l'image. Les ligaments, également pauvres en protons libres, apparaissent globalement sombres sur les diverses images. Toutefois, probablement en raison de la présence d'interstices conjonctifs entre les différents plans et faisceaux de fibres du ligament, le signal des ligaments collatéraux (de l'articulation interphalangienne distale par exemple)

et des ligaments sésamoïdiens distaux (droit et obliques notamment) est plus élevé en pondération T1 que celui d'un tendon. L'examen par imagerie des ligaments collatéraux est rendu également plus délicat par la présence à l'état physiologique de discrètes asymétries de signal et d'architecture entre les ligaments latéral et médial. Le sabot n'émet également que peu de signal en raison de sa faible teneur en protons libres et apparaît donc en hyposignal sur les images pondérées en T1, comme sur celles pondérées en T2.

L'os spongieux (os médullaire), en raison de son contenu graisseux, présente un signal très intense (gris clair) en pondération T1 et faible (gris sombre) en pondération T2. Sur les séquences en saturation de graisse, le signal de la moelle osseuse est supprimé et cet os devient complètement noir. Le cartilage articulaire émet un signal d'intensité intermédiaire (gris). Il apparaît toutefois en hypersignal par rapport au liquide synovial sur les images en pondération T1 et en hyposignal par rapport au liquide, sur celles pondérées en T2. Le liquide synovial essentiellement constitué d'eau apparaît en hyposignal (gris moyen à sombre) sur les images en contraste T1 et en hypersignal (blanc) sur celles en contraste T2. Ce dernier type de contraste permet grâce à un effet arthrographique d'identifier des épaissements de la membrane synoviale lors de synovite chronique.

Images lésionnelles

L'apport de l'IRM dans le diagnostic des lésions de l'appareil locomoteur est décrit par entité tissulaire, en évoquant notamment la place de cette technique d'imagerie par rapport aux autres modalités.

Os spongieux

L'IRM est la technique de référence pour identifier des lésions de l'os spongieux, notamment de l'os sous-chondral. Elle permet en effet d'identifier des lésions de contusion osseuse qui ne sont pas visibles, sauf à un stade très évolué, sur des clichés radiographiques. Ces anomalies se manifestent habituelle-



Figure 1 : Coupe transversale de référence en pondération T1 de l'extrémité proximale du canon postérieur. Noter la présence normale de zones en hypersignal dans la partie proximale du muscle interosseux III (ligament suspenseur du boulet) et la finesse du ligament accessoire du tendon fléchisseur profond du doigt (bride tarsienne).

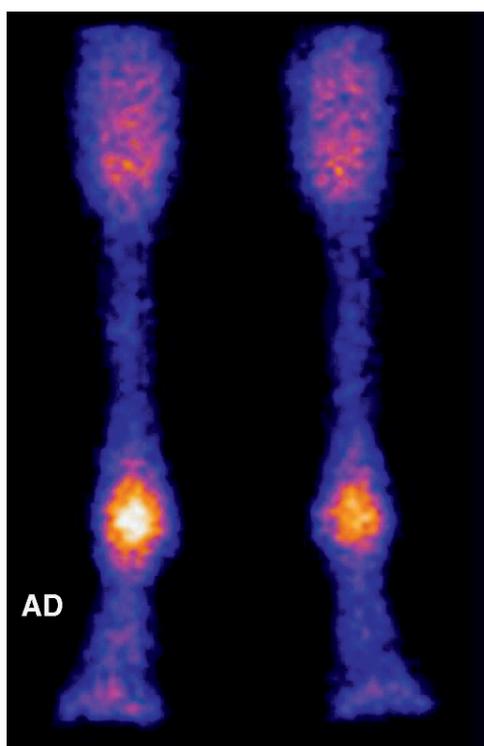


Figure 2 : Jument PSA de 3 ans présentant une boiterie AD sévère apparue suite à une course.

2a : coupe transversale du condyle métacarpien III droit en pondération T1 montrant un hyposignal diffus de la partie palmaire du condyle latéral (contusion osseuse) avec un trait en hypersignal (flèche) caractéristique d'une fracture de fatigue (stress fracture) du condyle latéral.

2b : vue scintigraphique de face en phase osseuse de l'extrémité distale des antérieurs : augmentation d'activité (hyperfixation du Technétium) discrète du boulet antérieur gauche et intense du boulet antérieur droit. L'examen radiographique et échographique du boulet antérieur droit étant normal, une IRM de ce boulet droit a été réalisée.

ment par l'association de phénomènes d'œdème osseux (hypersignal sur les images en pondération T2 et iso à hyposignal en pondération T1) et de sclérose osseuse (hyposignal en contraste T1 et T2), traduisant la chronicité du processus. En scintigraphie, ces régions anormales du squelette sont le siège d'une hyperfixation de Technétium. L'intérêt de l'IRM par rapport à la scintigraphie est de fournir des informations sur le stade évolutif de ce type de lésion (*figures 2a et 2b*) et notamment, de savoir si le cheval présente une contusion osseuse simple ou une contusion osseuse avec fracture de fatigue associée (« stress fracture »). Ces lésions de contusion osseuse ont été observées dans notre effectif, principalement dans le condyle métacarpien et dans la phalange distale (Tapprest *et al.* 2003).

Les anomalies de signal observées dans l'os spongieux de l'os sésamoïde distal évoquent principalement des lésions de type œdème osseux avec essentiellement une composante en hypersignal sur les images en pondération T2. Toutefois, ces modifications de signal sont compatibles avec différentes altérations histologiques comme des processus dégénératifs et/ou inflammatoires (Busoni *et al.* 2005 ; Murray *et al.* 2006).

Cartilage articulaire

L'IRM entre aujourd'hui en compétition avec l'échographie pour l'évaluation du cartilage articulaire. La résolution des images IRM disponible sur notre machine ne permet une évaluation convenable que du cartilage de l'articulation interphalangienne distale, pratiquement pas visible à l'échographie en raison de la conformation des surfaces articulaires. Inversement, le cartilage articulaire du boulet est trop mince pour être évalué en IRM, alors qu'il peut être visualisé par échographie. Les deux techniques présentent donc une excellente complémentarité.

Une thèse d'Université, menée dans notre équipe (Tapprest 2003) sur des membres isolés, a comparé les lésions cartilagineuses de l'articulation interphalangienne distale, identifiées par IRM, aux lésions diagnostiquées à l'examen nécropsique, technique de référence. Ce travail a montré que notre installation permettait d'identifier les lésions cartilagineuses avec une spécificité de 100 % et une sensibilité de 92 %, les faux négatifs étant représentés uniquement par des lésions cartilagineuses de Grade I, c'est-à-dire des lésions sans anomalie morphologique du cartilage.

Liquide et membrane synoviale

L'IRM est moins intéressante que l'échographie pour évaluer la nature du liquide synovial. Des spots hyperéchogènes sont fréquemment visibles en échographie lors d'arthropathie, alors que ces débris ne sont pas identifiables en IRM. L'évaluation de la membrane synoviale, notamment de son épaissement, peut se faire de manière pertinente avec les deux techniques d'imagerie. L'avantage de l'IRM est probablement de fournir une meilleure identification des récessus synoviaux présents à la face palmaire du pied, en région supra-sésamoïdienne.

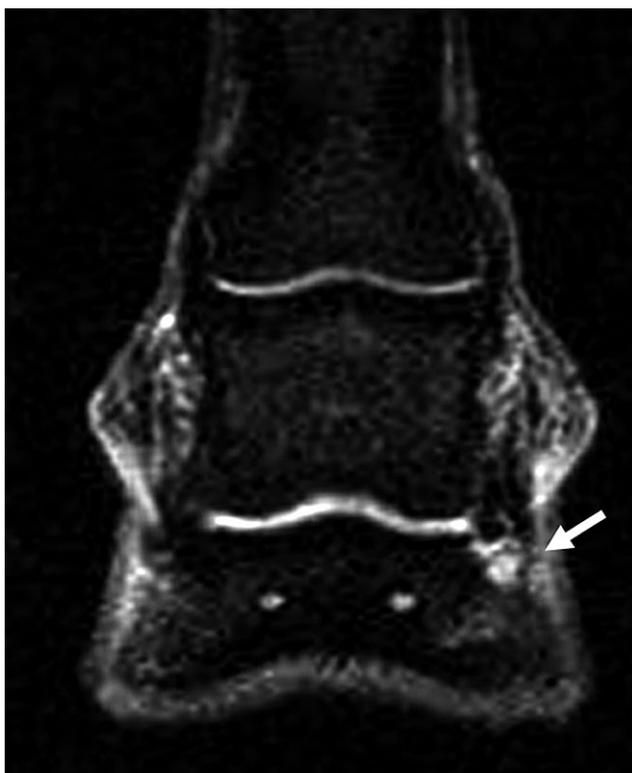


Figure 3 : Jument SF de 4 ans présentant une boiterie AG sévère. Coupe frontale en saturation de graisse montrant une enthésopathie distale sévère du ligament collatéral latéral avec épaissement du ligament et présence d'un hypersignal marqué au niveau de l'enthèse distale (flèche).

Ligaments collatéraux

L'évaluation par IRM et également par échographie, des ligaments collatéraux de l'articulation interphalangienne distale, reste un problème majeur. En effet, la partie distale de ces ligaments est inaccessible en échographie du fait de la présence de la boîte cornée. Les images IRM sont aussi difficiles à interpréter en raison de la variabilité de signal et d'architecture de ces ligaments chez des sujets sains. Cependant, dans les cas d'enthésopathies, l'IRM présente une grande sensibilité dans la détection des lésions osseuses se développant au site de l'enthèse (figure 3).

Tendons

L'IRM et l'échographie sont des techniques de premier choix pour l'identification et la description des lésions tendineuses. Elles présentent toutes deux une grande sensibilité. L'échographie permet une meilleure évaluation de l'architecture fibrillaire du tendon que l'IRM. Inversement, l'IRM, par sa capacité multi-contraste, est capable au sein d'une lésion d'identifier plusieurs types tissulaires qui présentent la même échogénéicité.

Tissus mous péri-articulaires

L'IRM permet d'examiner avec précision les divers tissus mous du pied du cheval, alors que ceux-ci sont difficilement visualisables en raison de la présence du sabot. Cette capacité fait de l'IRM la technique d'imagerie de choix pour confirmer les suspicions de lésions septiques du pied (Tapprest *et al.* 2002). Dans ce domaine, l'IRM est indiquée pour le diagnostic de clou de rue. En effet, le trajet du corps étranger pénétrant est visualisé (plusieurs jours et même plusieurs semaines après la piqûre), ce qui confirme le diagnostic et permet d'évaluer la profondeur de la lésion.

DISCUSSION - CONCLUSION

Les cas cliniques examinés depuis la mise en service de l'IRM au CIRALE ont démontré l'excellente capacité diagnostique de cette technique en terme de sensibilité et de spécificité. L'IRM a apporté de nouvelles connaissances sur les lésions osseuses des chevaux de sport et de courses. Elle nous a également permis de préciser les intérêts et les limites des autres techniques d'imagerie (radiographie, échographie, scintigraphie osseuse). Cependant l'IRM s'inscrit dans une démarche diagnostique et doit être considérée comme un complément ultime de l'examen physique et dynamique, ainsi que des autres techniques d'imagerie de routine (radiographie, échographie). Ainsi l'examen IRM d'une région ne doit être effectué que si la localisation de l'origine de la boiterie dans cette zone a été établie. Dans ces conditions, les apports de l'IRM, en complément de l'examen clinique et des techniques d'imagerie conventionnelles, sont principalement de permettre :

- 1) l'imagerie des tissus mous qui n'ont pas pu faire l'objet d'un examen échographique en raison de l'absence de fenêtre acoustique : il s'agit en particulier des tissus mous situés dans la boîte cornée et des ligaments interosseux du carpe et du tarse ;
- 2) un diagnostic plus précoce d'une affection ostéo-articulaire, grâce à l'identification d'anomalies osseuses (notamment sous-chondrales) et/ou cartilagineuses avant l'apparition de lésions radiographiquement visibles ;
- 3) et d'apporter des renseignements plus précis et plus complets sur une lésion déjà identifiée par les examens d'imagerie conventionnels (Tapprest *et al.* 2002).

Les limites majeures de l'IRM chez le cheval sont l'absence de machines autorisant l'examen des régions proximales des membres et axiales - à l'exception de la tête (Audigié *et al.* 2004) et de la région cervicale haute, le coût de l'examen et enfin la nécessité d'une anesthésie générale pour obtenir des images de bonne qualité. Actuellement, des machines permettant l'examen chez le cheval debout sont en développement. La qualité de leurs images est en amélioration, ce qui rend cette voie de recherche intéressante en clinique équine.

BIBLIOGRAPHIE

- Audigié, F., Tapprest, J., George, C., Didierlaurent, D., Foucher, N., Faurié, F., Houssin, M., Denoix, J.-M. 2004. Magnetic resonance imaging of a brain abscess in a 10-month-old filly. *Vet Radiol Ultrasound* 45: 210-215.
- Busoni, V., Heimann, M., Trentseaux, J., Snaps, F., Dondelinger, R.F. (2005). Magnetic resonance imaging findings in the equine deep digital flexor tendon and distal sesamoid bone in advanced navicular disease-an ex vivo study. *Vet Radiol Ultrasound* 46/279-286.
- Crass, J.-R., Genovese, R.L., Render, J.A., Bellon, E.M. (1992). Magnetic resonance, ultrasound and histopathologic correlation of acute and healing equine tendon injuries. *Vet Radiol Ultrasound* 33: 206-216.
- Denoix, J.-M. 2000. *The equine distal limb: an atlas of clinical anatomy and comparative imaging*. M Manson, London, 390p.
- Denoix, J.-M. & Audigié, F. 2004. Imaging of the musculoskeletal system in horses. In *Equine Sports Medicine and Surgery - Basic and Clinical Sciences of the Equine Athlete*, (Editors K. Hinchcliff, A.J. Kaneps, R.J. Georg), pp.161-187, Elsevier Ltd.
- Denoix, J.-M., Crevier, N., Roger, B., Lebas, J.-F. 1993. Magnetic resonance imaging of the equine foot. *Vet Radio. Ultrasound* 34: 405-411.
- Eustace, S.J. 1999. Applied resonance magnetic imaging techniques. In *Magnetic Resonance Imaging of orthopedic trauma*, pp. 35-46, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia.
- Kleiter, M., Kneissl, S., Stanek, C., Mayrhofer, E., Baulain, U., Deegen, E. 1999. Evaluation of magnetic resonance imaging techniques in the equine digit. *Vet Radiol Ultrasound* 40: 15-22.
- Murray, R.C., Blunden, T.S., Schramme, M.C., Dyson, S.J. 2006. How does magnetic resonance imaging represent histologic findings in the equine digit? *Vet Radiol Ultrasound* 47: 17-31.
- Rand, T., Bindeus, T., Alton, K., Voegelé, T., Kukla, C., Stanek, C., Imhof, H. 1998. Low-field magnetic resonance imaging (0.2 T) of tendons with sonographic and histologic correlation. Cadaveric study. *Invest Radiol*. 33: 433-438.
- Tapprest, J. 2003. *IRM du cartilage articulaire et de l'os sous-chondral chez le cheval*. Thèse de Doctorat d'Université, Paris XII, 133p.
- Tapprest, J., Audigié, F., Radier, C., Anglade, M.C., Voisin, M.C., Foucher, N., Collobert-Laugier, C., Matthieu, D., Denoix, J.-M. 2003. Magnetic resonance imaging for the diagnosis of stress fractures in a horse. *Vet Radiol Ultrasound* 44: 438-442.
- Tapprest, J., Audigié, F., Radier, C., Coudry, V., Rieu, F., Matthieu, D., Denoix, J.-M. 2002. Diagnostic des affections locomotrices chez le cheval via l'imagerie par résonance magnétique. *Pratique Vétérinaire Équine* 34: 57-62.
- Ueltschi, G. 1975. 1st results of scintigraphic skeletal examinations in horses using ^{99m}Tc phosphates as tracers. *Schweiz Arch Tierheilkd*. 117: 383-392.