

TOMODENSITOMÉTRIE & IMAGERIE PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE :

Concepts et applications chez les animaux de compagnie

Marc-André d'Anjou, DMV, Dipl. ACVR, Kate Alexander, DMV, MSc, Dipl. ACVR
Service d'imagerie, Faculté de médecine vétérinaire, Université de Montréal

Résumé

Les modalités d'imagerie dites alternatives ont connu un essor considérable en médecine humaine lors des trois dernières décennies. Les forces inhérentes à la tomodensitométrie et à l'imagerie par résonance magnétique, comparativement aux méthodes conventionnelles comme la radiographie et l'échographie, justifient leur utilisation de plus en plus fréquente. Le développement de nombreuses applications de recherche, associés à l'explosion des technologies informatiques, ont permis d'atteindre des niveaux de sophistication encore inégalés. Maintenant reconnus comme des outils essentiels en médecine humaine, ces modalités prennent un rôle grandissant en médecine vétérinaire. Cet article vise donc à introduire les concepts de base de la tomodensitométrie et de l'imagerie par résonance magnétique aux vétérinaires praticiens, de même qu'à discuter des applications de plus en plus nombreuses chez les animaux de compagnie.

Introduction

Bien que la radiographie demeure l'outil d'imagerie le plus fréquemment utilisé en médecine humaine et vétérinaire, plusieurs nouvelles modalités ont vu le jour lors des dernières décennies. En plus de l'échographie, maintenant reconnue comme étant un outil indispensable dans plusieurs centres et cliniques vétérinaires, la tomodensitométrie (TDM) et l'imagerie par résonance magnétique (IRM) ont gagné en popularité. En effet, l'accessibilité grandissante de ces deux modalités dans les centres de référence, associée à un nombre croissant de publications à ce sujet garnissant la littérature vétérinaire, expliquent l'engouement porté envers ces modalités. Les avantages et inconvénients propres à la TDM et à l'IRM sont étroitement liés à la mécanique complexe de ces instruments. Cet article vise à introduire les concepts de base de la TDM et de l'IRM aux vétérinaires praticiens, de même qu'à discuter des applications de plus en plus nombreuses en recherche et en clinique des animaux de compagnie.

La tomodensitométrie : concepts de base

La tomodensitométrie est une méthode d'imagerie médicale qui permet, à l'aide des **rayons X** et **commandée par ordinateur**, de produire et de manipuler des images acquises sous formes de tranches ou sections. L'appareil utilisé -- le tomodensitomètre (tomographe, « CT scanner ») (fig.1) -- **révèle les différences relatives de densité des divers tissus en fonction des variations d'absorption des rayons X**. Ce concept est similaire à la formation d'une image radiographique conventionnelle.



Figure 1. La « conduite » du tomodensitomètre se fait par une radiotechnologue formée, alors que les membres du service d'anesthésiologie surveillent les signes vitaux des patients.

Lors de prise d'un cliché radiographique conventionnel, les rayons X, qui pénètrent les tissus et atteignent l'écran et le film contenus dans la cassette, sont à l'origine de l'image produite. La variation de densité (noirceur) du film est intimement liée à la variation d'atténuation (ou d'absorption) des rayons X à travers le sujet radiographié. Avec la tomodensitométrie, le même principe d'atténuation des rayons X est en vigueur à l'exception du fait que l'écran-film est remplacé par une **série de petits**

détecteurs (800-4800) alignés dans un anneau (+/- complet) placé autour du patient (fig. 2). Ces détecteurs perçoivent le niveau d'atténuation des rayons X traversant les différents tissus du patient. Ceci permet de déterminer la « **densité** » précise des structures traversées, d'où le terme « **tomodensitométrie** ». En contrepartie, les rayons X nécessaires pour produire l'image proviennent d'un tube à rayons X qui fait rotation à l'intérieur de ce même anneau.

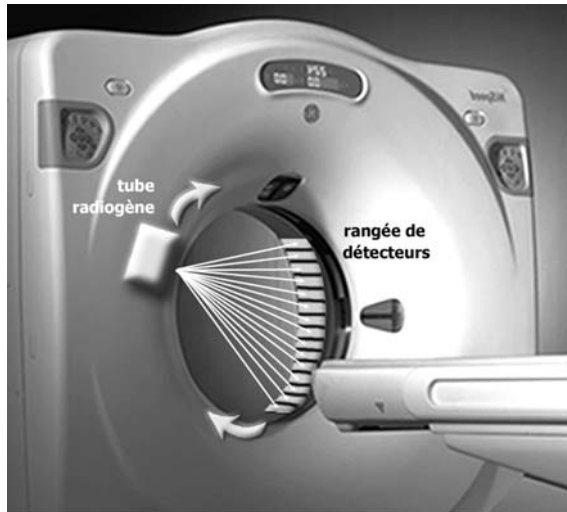
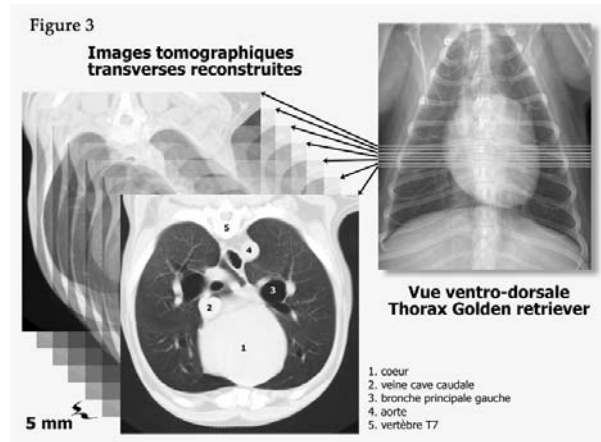


Figure 2. Bien que la mécanique soit variable d'un appareil à l'autre, la plupart des tomodensitomètres d'aujourd'hui sont composés d'un tube radiogène puissant qui effectue une rotation rapide au tour d'un anneau, en synchronisation avec une rangée de détecteurs placés en arc de cercle. Ces détecteurs captent les rayons X et permettent de mesurer le niveau d'atténuation des structures traversées.

La complexité du système de détection des rayons X en TDM permet de **différencier les liquides des structures de tissu mou**, ce qui n'est pas le cas en radiographie conventionnelle. En effet, une différence de densité de l'ordre d'environ 0.5% peut être perçue en TDM, comparativement à 5 à 10% en radiographie.¹ Un calcul urinaire « radiotransparent » peut donc être facilement détecté par rapport à l'urine et la paroi vésicale en TDM. Cette distinction est également facilitée par la possibilité de manipuler le contraste et la luminosité des images sur l'ordinateur, permettant de mettre en valeur les structures à examiner. Pour cette même raison, la TDM est beaucoup plus sensible que la radiographie aux changements osseux précoces, tels la sclérose et l'ostéolyse. Par ailleurs, les images radiographiques conventionnelles sont des représentations bidimensionnelles de structures tridimensionnelles. Sur ces images, la **superposition des structures** radiographiées empêche leur évaluation individuelle. Les images tomographiques, quant à elles, représentent des **tranches (1-10 mm)** du patient, dans lesquelles il n'y a pas de

superposition, permettant donc une visualisation indépendante de toutes les structures (fig. 3). Cet avantage de la TDM est un atout fort important dans la différenciation spatiale des structures d'un patient et est à l'origine de la sensibilité accrue de détection et de caractérisation des lésions comparativement à la radiographie.



Cette évaluation « en coupes » est aussi une caractéristique de l'échographie (fig. 4). Malgré les nombreux avantages de l'échographie (*distinction des tissus mous et liquides, plus accessible, moins dispendieux, anesthésie non nécessaire et absence de rayons ionisants*) qui justifient son emploi routinier, l'évaluation peut être limitée par plusieurs facteurs importants : la position de la sonde, la grosseur du patient et l'habileté du sonographe. De plus, la présence d'air ou de minéral génère en échographie des artefacts nuisibles de réverbération et d'ombrage. Comparativement à l'échographie, la TDM permet d'obtenir des images qui ne sont pas affectées par l'air et les minéraux.

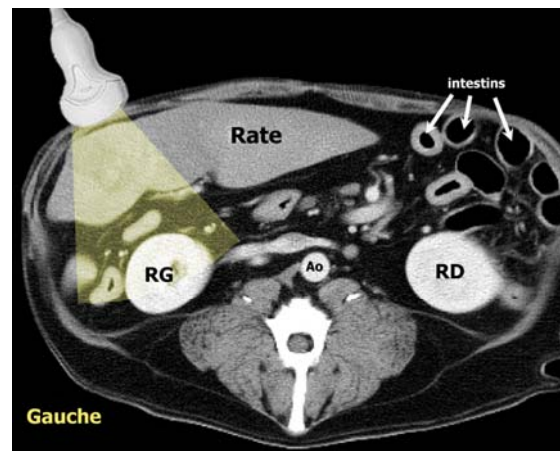
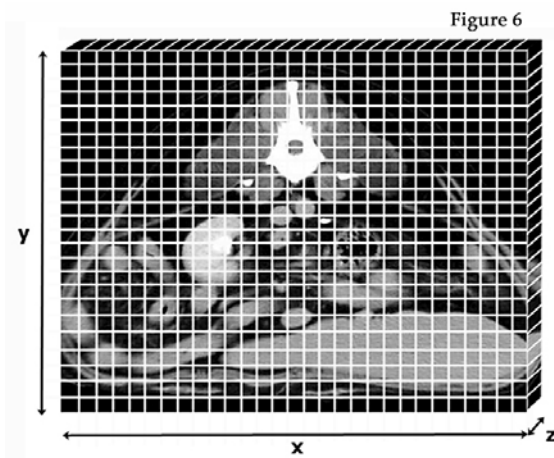


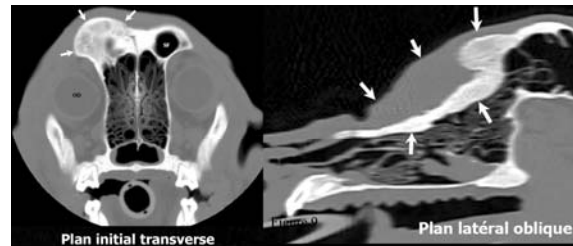
Figure 4. La tomodensitométrie, par rapport à l'échographie, n'est pas limitée par la position de la sonde, par le contenu digestif, et, jusqu'à une certaine limite, par la grosseur du patient. Chaque tranche du patient peut donc être évaluée globalement. (RG : rein gauche; RD : rein droit, Ao : aorte)

La rapidité de la TDM reste un de ses principaux avantages : on peut obtenir des centaines de tranches en moins de 1 à 2 minutes. En effet, les **tomographes hélicoïdaux** jouissent d'une technologie permettant d'imager très rapidement et sans interruption un volume de tissu donné, pouvant parfois inclure un corps entier (« *whole-body scan* »). De fait, le mouvement circulaire continu du tube radiogène autour du patient, synchronisé au déplacement linéaire de la table sur laquelle il repose, permet l'acquisition de ces images de façon **hélicoïdale** (spirale) (fig. 5).

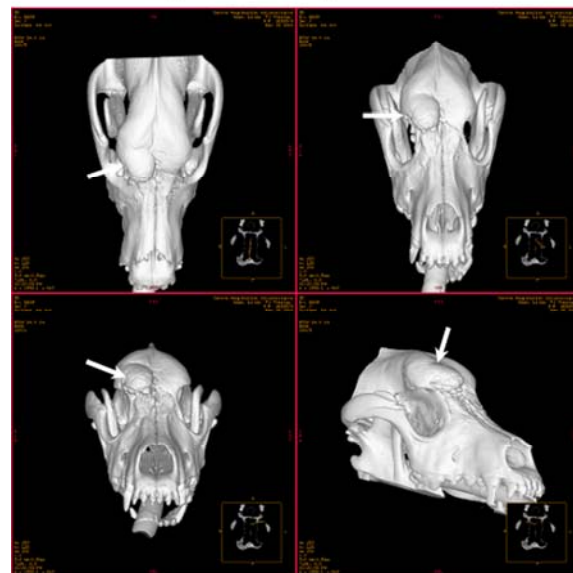


Chaque image tomographique est formée à partir d'une matrice de petits cubes (voxels) de largeur x , de hauteur y et de profondeur z , aplatie pour former une image de pixels en x et en y (fig. 6). La moyenne des valeurs d'atténuation comprises à l'intérieur d'un même voxel est calculée, puis représentée en un ton de gris dans chaque pixel formant l'image sur l'écran. Généralement, les pixels noirs et gris foncés représentent donc du tissu moins dense (air, gras); les blancs et gris pâles, un tissu minéralisé ou métallique; et, les gris intermédiaires sont les différents tissus mous et liquides. La sélection d'une tranche mince (soit remplie de cubes de faible profondeur) permet de mieux distinguer les petites structures placées sur l'axe long du patient (soit le

plan z). Par ailleurs, l'utilisation de logiciels informatiques de **reformatage multiplannaire** permet de transformer une série d'images axiales (transverses) en images dans tous les autres plans (sagittales, dorsales, obliques) (fig. 7), facilitant ainsi l'évaluation de structures complexes. Le **reformatage tridimensionnel** transforme la structure en un volume. L'évaluation tridimensionnelle du crâne et de la colonne vertébrale, lors de processus tumoraux ou de fractures, est devenue un atout important en prévision d'une chirurgie d'excision ou reconstructive (fig. 8).



Figures 7 & 8. Bien que les images originales soient dans le plan transverse au patient, des images peuvent être reformattées dans n'importe quel plan ou sous forme de volume, facilitant l'évaluation tridimensionnelle des structures. Dans ce cas-ci, l'extension de la tumeur osseuse a pu être établie avec précision.



L'examen au CT nécessite une anesthésie générale de courte durée, afin de bien positionner le patient et le maintenir parfaitement immobile pour tout l'examen (fig. 9). Généralement, 2 séries tomographiques sont effectuées, avant et après l'**injection intraveineuse** d'un **milieu de contraste iodé**. Le milieu de contraste permet d'évaluer le **degré de perfusion tissulaire** et de favoriser la détection et la caractérisation des lésions. Ces séquences de balayage durent de 10 à 60 secondes, selon la longueur de la structure évaluée. De plus, des aspirations à l'aiguille fine ou biopsies peuvent être guidées par les images tomodensitométriques.

L'examen dure donc au total entre 20 et 60 minutes, selon le nombre et la durée des acquisitions, et la présence d'interventions (ex. biopsies).



Figure 9



Figure 10

Limites de la tomodensitométrie

Malgré ses nombreux avantages, l'examen tomographique comporte certaines limites diagnostiques. La qualité des images, et conséquemment l'utilité diagnostique, est optimale dans les régions à bon contraste de densité (**structures osseuses, abdomen et thorax** par exemple). Ainsi, l'analyse de pathologies impliquant les tissus mous uniquement, comme l'évaluation du cerveau, est moins bonne par rapport à la résonance magnétique (IRM). De même, certains artéfacts difficilement contrôlables peuvent nuire à l'évaluation de certaines régions anatomiques, dont la fosse cérébrale caudale où se trouvent le cervelet et une partie du tronc cérébral. La présence de métal dans la région d'intérêt, comme des implants orthopédiques, peut également nuire à la qualité des images. Il faut aussi prendre en considération que la TDM émet une dose beaucoup plus élevée de rayons X ionisants qu'en radiologie conventionnelle.

L'imagerie par résonance magnétique : Concepts de base

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est une modalité d'imagerie tout aussi fascinante que complexe. L'IRM se fait à l'aide d'un équipement sophistiqué qui comporte, un aimant (généralement de forme cylindrique) dont le champ magnétique dépasse plusieurs dizaines de milliers de fois la force de l'attraction terrestre, ainsi qu'un système d'émission et de réception d'ondes radio (fig. 10).

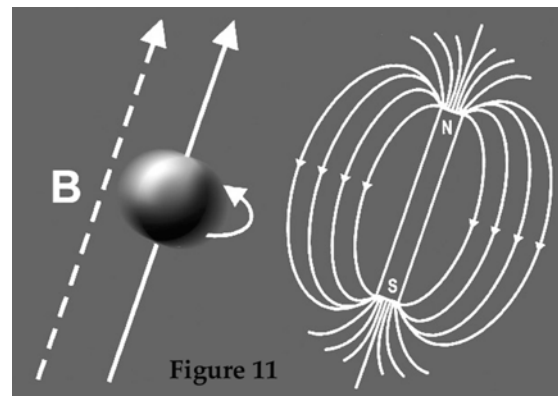


Figure 11

L'origine des images en IRM réside dans le noyau -- formé d'un **proton** -- des milliards d'atomes d'hydrogène mobiles composant les tissus. La majeure partie de ces protons d'hydrogène se retrouve à l'intérieur des molécules d' H_2O . Ces protons (H^+) possèdent chacun leur propre petit champ magnétique (fig. 11). Ainsi, ils peuvent être stimulés par des ondes radio externes et absorber de l'énergie. Cet excès d'énergie sera ensuite libéré, encore sous forme d'onde radio, laquelle pourra être captée par une antenne. Or, c'est précisément cet échange d'énergie sous forme électromagnétique qui permet de générer des images représentatives des tissus. Étant donné les propriétés électromagnétiques particulières à chaque tissu, on peut, grâce à l'IRM, les distinguer de façon extrêmement précise à l'aide des différents « **signaux** » qu'ils génèrent. Par ailleurs, les pathologies engendrent généralement des changements à ce « signal » normal, et peuvent conséquemment être détectées de façon relativement précoce. Cette capacité de distinguer les tissus anormaux des tissus normaux se fait à l'aide de plusieurs **séquences** où varient le type de signal radio émis et le moment

auquel il est perçu. Ceci permet de caractériser adéquatement les différents tissus, et conséquemment de les distinguer. Dépendant de la séquence employée, l'apparence du tissu variera, ainsi que le degré de contraste entre les différents tissus. Ainsi, les images générées peuvent avoir des appellations telles que : **pondération T1**, **pondération T2**, **densité en protons** et **FLAIR**, pour ne nommer que quelques-unes. En d'autres termes, certaines pathologies apparaîtront plus facilement sur certaines séquences, alors que d'autres seront mises en valeur par d'autres séquences. En général, c'est l'évaluation de l'ensemble des images obtenues à l'aide de plusieurs séquences qui permet d'obtenir un diagnostic relativement précis (fig. 12).

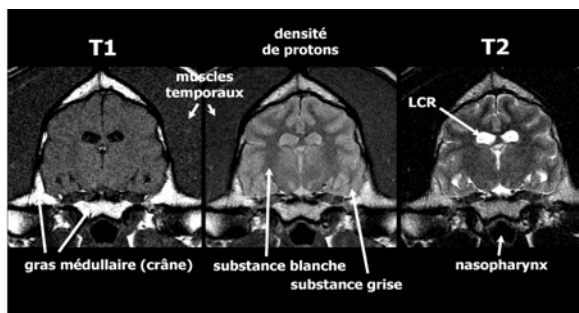


Figure 12. Voici 3 images du cerveau d'un chien normal obtenues à l'aide de séquences différentes, démontrant la variation dans l'apparence en intensité (blancheur) des structures anatomiques. Par exemple, en pondération T2 (image de droite), le liquide céphalorachidien (LCR) apparaît tout blanc (hyperintense), alors qu'il apparaît gris en densité de proton et noir (hypointense) en T1. En IRM, les séquences sont choisies en fonction de la région et de la pathologie évaluée.

Afin de localiser anatomiquement chaque signal obtenu, les tissus sont imagés en coupes de 2 à 5 mm. Les images sont composées d'une matrice de petits cubes similaires à ce qui a été décrit pour la tomodensitométrie (voir fig. 6). L'avantage de l'IRM par rapport au CT, c'est la possibilité d'acquérir sans reformatage des tranches dans n'importe quel plan, alors que seuls les plans transverses peuvent être obtenus au CT. Les plans sagittal, transverse et dorsal sont les plans les plus souvent utilisés pour évaluer les structures, mais des plans obliques

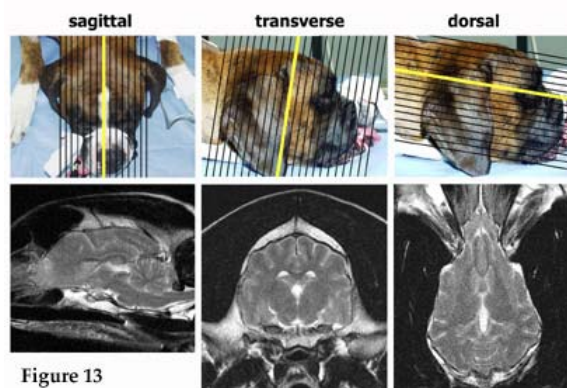


Figure 13

peuvent aussi être employés (fig. 13). Dans bien des cas, comme pour la TDM, des images sont obtenues après injection d'un **milieu de contraste**, dans ce cas, à base de **gadolinium**.

Limites, artefacts et effets adverses de l'IRM

Comparativement à la TDM, le principal inconvénient de l'IRM est la durée de l'examen, qui peut prendre entre 60-120 minutes à compléter étant donné le temps supérieur requis à l'acquisition d'images avec multiples séquences et plans différents. Elle nécessite donc une anesthésie générale de plus longue durée. Sur le plan technique, l'IRM est aussi plus exigeante. Parce ce qu'on ne peut effectuer toutes les séquences possibles à chaque examen, il faut savoir lesquelles employer pour obtenir un diagnostic. Par ailleurs, comme en TDM, la grosseur des structures examinées influence grandement le détail des images obtenues. Ainsi, les plus petites structures et les petits patients sont plus difficiles à évaluer.

Contrairement à la radiographie et à la tomodensitométrie, qui utilisent toutes deux des radiations ionisantes, **l'IRM n'est pas associée à la présence d'effets secondaires significatifs pour les tissus** avec les appareils employés en pratique.¹ Ce principe est l'une des raisons importantes pour laquelle l'industrie de l'IRM s'est considérablement développée au fil des années. Toutefois, certains effets adverses sont possibles et doivent être pris en considération avant chaque examen, afin d'éviter des problèmes pour le patient et pour le personnel. D'abord, les objets fabriqués en **métaux de type ferromagnétique (par exemple : les clés, les instruments chirurgicaux, les bonbonnes d'O₂)** sont attirés par le champ magnétique puissant et peuvent devenir des projectiles à haute vitesse et atteindre un patient ou le personnel.¹ Heureusement, les implants chirurgicaux métalliques maintenant utilisés en médecine vétérinaire ne comportent pas de danger pour le patient. Toutefois, la présence de gros implants métalliques perturbera localement l'homogénéité du courant électromagnétique et occasionnera une déformation locale de l'image.¹ Ainsi, les images de la région lombo-sacrée d'un chien ayant subi une fracture ou une triple ostéotomie du bassin apparaîtront déformées et difficilement évaluables. D'autres petits implants métalliques, tels que les "puces" d'identification causeront une déformation focale des images, mais ne nuiront généralement pas à l'évaluation des structures plus éloignées, comme la colonne vertébrale. D'autres artefacts liés à l'équipement et au mouvement (patient qui se réveille lors de

l'anesthésie, respiration, pulsations cardiovasculaires) peuvent également entraîner une détérioration des images.¹ Heureusement, plusieurs outils sont maintenant employés pour contrôler l'impact de certains de ces artefacts. Finalement, étant donné la présence du champ électromagnétique puissant, les personnes ou animaux portant un stimulateur cardiaque (« pacemaker »), ou tout autre pièce d'équipement électronique non certifiés pour l'utilisation en salle d'IRM, **ne doivent en aucun cas pénétrer une salle d'IRM.**

Applications de la TDM et l'IRM chez les chiens et les chats

Grâce à leurs forces respectives permettant une évaluation morphologique non-invasive des tissus, la TDM et l'IRM font maintenant partie intégrale de l'investigation diagnostique en médecine humaine, et de plus en plus, en médecine vétérinaire. Les applications cliniques de ces deux modalités continuent de croître. Cette croissance est devenue récemment plus importante en médecine vétérinaire, alors que ces outils deviennent progressivement disponibles. L'utilisation de ces modalités permet non seulement de mieux comprendre et diagnostiquer diverses pathologies chez les animaux, mais également de favoriser une meilleure planification thérapeutique, incluant chirurgicale, ainsi que d'établir d'un pronostic plus précis.

Cavités nasales et sinus

Comparativement à la radiographie où les superpositions rendent l'interprétation souvent difficile, toutes les portions des passages nasaux et des sinus peuvent être distinctement visualisées à l'aide de la TDM ou de l'IRM, incluant les cornets, le septum nasal et les os périphériques². Les **rhinites prolifératives** (allergiques, bactériennes ou virales) et **destructives** (fongiques)³ peuvent être mieux différenciées des **processus néoplasiques** et leur étendue peut être précisée à l'aide de la TDM ou l'IRM^{2,4-6} (fig. 14 et 15). À partir des images obtenues, un échantillon (biopsie, écouvillon pour culture) de la lésion peut être obtenu afin de préciser le diagnostic. Une rhinoscopie peut également suivre l'examen tomodensitométrique ou d'IRM. D'autres pathologies impliquant les cavités nasales, sinus ou le nasopharynx, telles que les **polypes inflammatoires**^{2,7}, les **lymphomes**⁷, ou les **corps étrangers**⁴ peuvent aussi être mieux identifiées. La tomodensitométrie a même un avantage économique par rapport à la radiographie conventionnelle des cavités nasales. Le coût d'un examen radiogra-

phique complet sous anesthésie générale est similaire à celui d'un examen tomodensitométrique, et ce pour beaucoup moins d'informations.

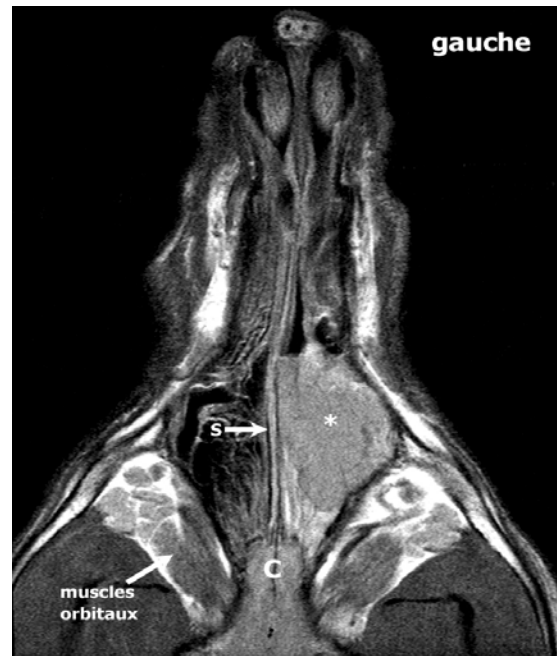


Figure 14. Image de 5 mm d'épaisseur en plan dorsal d'un nez de chien, pondérée en densité de protons. Une masse (*) est visible dans la portion caudale de la cavité nasale gauche, déviant légèrement le septum (S) vers la droite. Une biopsie a confirmé la présence d'un adénocarcinome.



Figure 15. Image transverse de 3 mm obtenue dans la portion rostrale des cavités nasales d'un chien, mettant en évidence une destruction massive des cornets nasaux gauches (* blanc) et l'os maxillaire (flèche) de même qu'une prolifération tissulaire (* noir), compatibles avec une aspergillose.

Étant donné la rapidité d'acquisition des images en TDM et son coût moindre que celui de l'IRM, cette modalité représente généralement le premier choix dans l'investigation des pathologies du nez. La TDM

reste supérieure à l'IRM pour évaluer l'étendue des lésions osseuses associées à une rhinite destructive.⁵ Toutefois, l'extension de processus néoplasiques ou inflammatoires à travers des tissus mous environnants, incluant implication du cerveau est plus facilement appréciable à l'IRM.²

Cerveau

L'évaluation du cerveau représente l'une des principales forces de l'IRM. En effet, l'IRM, de part sa capacité à différencier les structures de tissus mous et la possibilité d'acquisition d'images dans n'importe quel plan, est supérieure à toute autre modalité dans l'évaluation morphologique *in vivo* des tissus nerveux. Bien que les foyers épileptiformes idiopathiques et certaines lésions dégénératives ne peuvent être détectées à l'IRM, la plupart des lésions congénitales, traumatiques, inflammatoires et néoplasiques sont identifiées. En fait, dans une étude récente, 98% des tumeurs intracrâniennes chez les chats ont pu être diagnostiquées à l'IRM, ce qui est un taux de succès extrêmement élevé.⁸

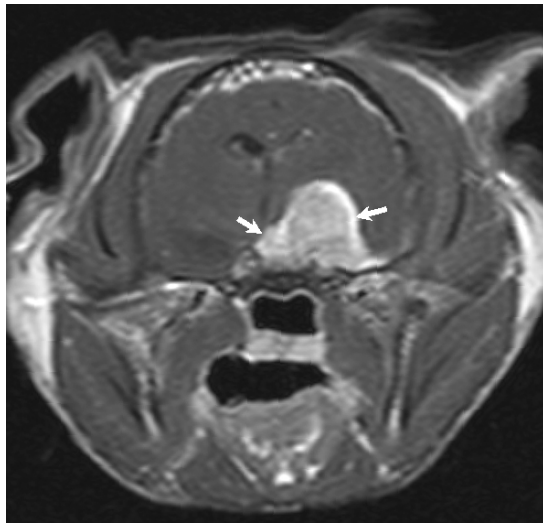


Figure 16. Image transverse d'un cerveau de chat en pondération T1, après injection de gadolinium, démontrant la présence d'une masse avec des caractéristiques compatibles avec un méningiome.

Les kystes arachnoïdiens,⁹ l'hydrocéphalie,^{10,11} les méningiomes,^{12,13} les tumeurs d'origine gliale (astrocytomes et autres),^{12,13} les tumeurs hypophysaires (pouvant causer un hyperadrénocorticisme),¹⁴ les encéphalites nécrosantes (ex. Pug et Yorkshire Terrier),^{10,15} les encéphalites virales,¹⁰ la méningoencéphalite granulomateuse et autres méningites,^{16,17} les abcès,¹⁸ les hémorragies^{10,19} et foyers d'ischémie¹⁰ sont parmi les lésions pouvant la plupart du temps être détectées et différenciées à l'IRM (fig. 16 & 17).

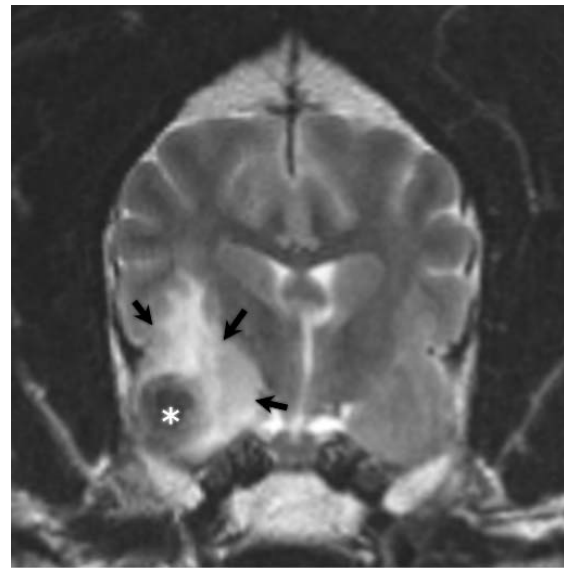


Figure 17. Image transverse par résonance magnétique d'un cerveau de chien avec apparition aiguë de convulsions partielles et généralisées, obtenue en pondération T2. Un foyer hypointense (*) entouré d'une zone hyperintense floue dans la substance blanche sont observés. Un diagnostic d'hémorragie cérébrale spontanée accompagnée d'œdème vasogénique a été posé.

Bien que moins précise que l'IRM, la tomодensitométrie peut aussi être utile dans l'évaluation du cerveau. Les processus néoplasiques,²⁰ processus inflammatoires,^{21 22} l'hydrocéphalie, les kystes arachnoïdiens⁹ et les hémorragies cérébrales²³ sont parmi les pathologies qui peuvent être identifiées.¹⁰ La TDM délimite moins bien la relation anatomique de la lésion et l'évaluation des lésions de la fosse caudale, où se situent le cervelet et une partie du tronc cérébral, est très limitée.

L'utilisation routinière de milieu de contraste intra-veineux, tel que les milieux de contraste iodés en TDM et le gadolinium-DTPA en IRM, permet une meilleure détection et différenciation des pathologies intra-crâniennes²⁴ (fig. 18). En effet, les perturbations à la barrière hémato-méningée causées par les processus inflammatoires, néoplasiques ou suivant des épisodes d'ischémie, permettent à ces macromolécules de diffuser dans les tissus affectés. Ceci modifie leur apparence et, conséquemment, facilite leur détection.

Par ailleurs, l'emploi de séquences d'IRM spéciales telles que FLAIR ou T2* GRE, permet la caractérisation précise de lésions intracrâniennes chez les chiens et chats.²⁴ Finalement, les résultats obtenus en IRM permettent de justifier ou de contre-indiquer (risque d'herniation cérébrale ou cérébelleuse) une ponction du liquide céphalo-rachidien (LCR).¹⁶ Lorsque indiquée, une analyse du LCR, couplée aux images d'IRM, peut grandement contribuer à l'obtention d'un diagnostic.¹⁶

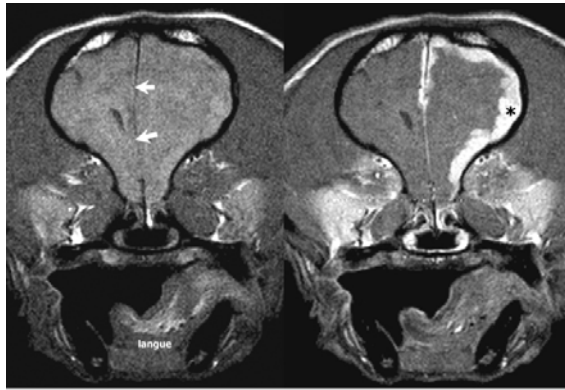


Figure 18. Images de résonance magnétique obtenue avant et après l'injection d'un milieu de contraste, mettant en évidence une infiltration périphérie de l'hémisphère gauche. Malgré l'effet de masse visible sur l'image de gauche (déviation de la fissure longitudinale; flèches), la lésion n'a pu être localisée qu'après l'injection intra-veineuse de gadolinium.

Oreille interne et moyenne

La TDM est reconnue comme étant plus sensible et spécifique que la radiographie dans l'évaluation de l'oreille moyenne pour tout processus inflammatoire (incluant la formation de **polype** (s)) ou néoplasique.²⁵ Comparativement à la radiographie, la TDM et l'IRM permettent de différencier l'accumulation de liquide d'une prolifération tissulaire dans une bulle tympanique (fig. 19). Bien que la TDM soit tout aussi sensible dans la détection d'atteinte de la bulle tympanique, l'IRM est probablement plus sensible dans la détection d'otite interne, surtout lorsque aiguë, comme c'est le cas chez l'humain.²⁶ L'IRM peut également évaluer l'extension de processus inflammatoires et néoplasiques au tronc cérébral, situé à proximité de l'oreille interne.^{2,25} Toutefois, considérant la rapidité d'acquisition d'images tomographiques comparativement à celle d'une série radiographique complète, ainsi qu'un coût inférieur à l'IRM, la **tomodensitométrie** est généralement l'**outil de choix** dans l'évaluation de l'oreille interne et moyenne chez le chien et le chat, à moins qu'une atteinte vestibulaire centrale soit suspectée. Comme pour les cavités nasales, il peut aussi avoir un avantage économique de la TDM par rapport aux radiographies conventionnelles pour les pathologies de l'oreille moyenne.

Autres pathologies de la tête et du cou

La TDM et l'IRM sont également utiles dans la détermination de l'origine et de l'extension de masses impliquant la tête ou le cou. Les **processus néoplasiques ou inflammatoires** (incluant les abcès), impliquant le crâne, la mandibule, les régions péri-orbitales ou rétro-orbitales, les glandes

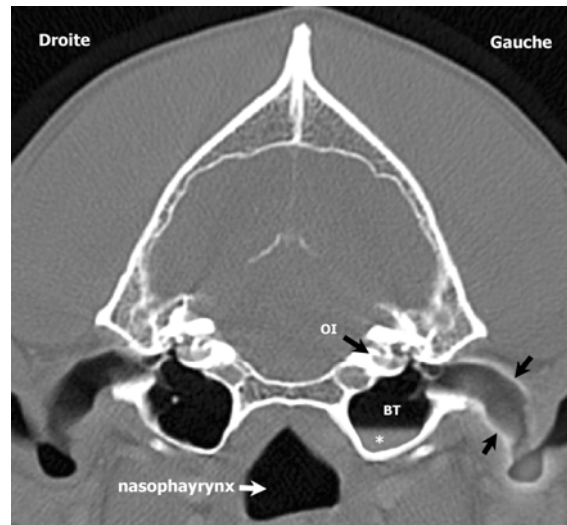


Figure 19. Image tomographique transverse d'une tête de chien démontrant la présence de liquide (*) en portion déclive de la bulle tympanique gauche (B), dont la paroi est épaissie, compatible avec une otite médiane. Des sécrétions sont également visibles dans le conduit auditif externe, de même qu'une minéralisation de sa paroi (flèches noires), suite à une otite externe chronique. L'oreille interne peut également être évaluée (OI).

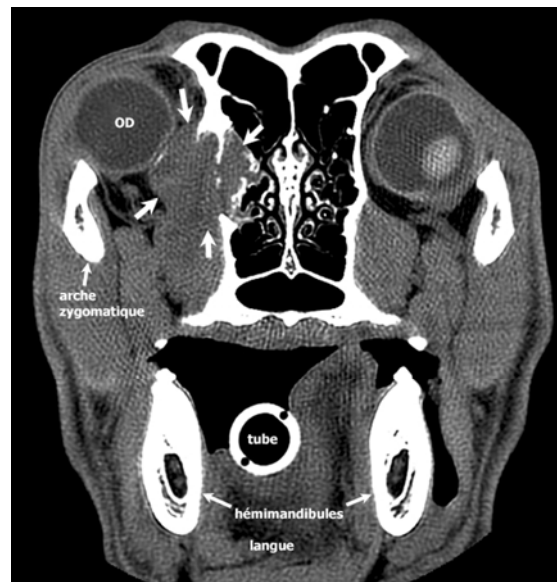


Figure 20. Image tomographique transverse de la tête d'un chien obtenue au niveau des globes oculaires, démontrant la présence d'un sarcome d'origine osseuse envahissant la cavité nasale droite de même que l'espace rétro-bulbaire au niveau ventral de l'orbite droit. Cette masse n'avait pu être mise en évidence lors de l'examen échographique.

salivaires ou thyroïdes, le larynx, l'œsophage ou les nœuds lymphatiques peuvent être évaluées mieux qu'avec la radiographie² et, dans certains cas, qu'avec l'échographie (fig. 20 & 21).²⁷ Cette évaluation anatomique favorise une meilleure planification chirurgicale.²⁸ Aussi, certains **corps étrangers**, et l'étendue de la réaction inflammatoires associée, peuvent aussi être détectés, particulièrement à l'aide de l'IRM.^{2,29} L'étendue de

l'implication des tissus mous est mieux évaluée et définie à l'IRM; toutefois, la TDM est généralement considérée supérieure dans l'évaluation des anomalies osseuses, telles que celles impliquant les dents (abcès) ou les articulations temporo-mandibulaires.²

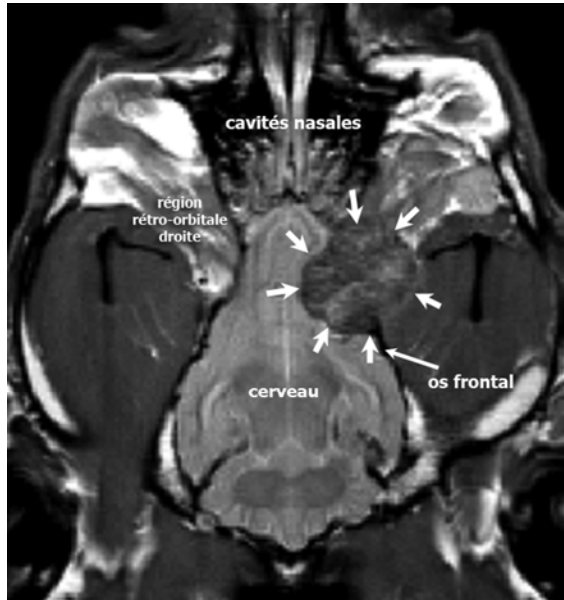


Figure 21. Image de résonance magnétique en plan dorsal de la tête d'un chien ayant démontré des signes d'exophtalmie du côté gauche. Une masse minéralisée de façon granulaire est visible impliquant l'os frontal gauche et envahissant l'intérieur de la boîte crânienne, comprimant le cerveau, compatible avec une tumeur osseuse primaire.

Colonne vertébrale

Bien que la myélographie soit depuis longtemps l'outil le plus fréquemment utilisé en médecine vétérinaire dans le diagnostic des lésions de la moelle épinière, elle nécessite l'injection intrathécale d'un milieu de contraste iodé qui peut parfois être associé à des effets secondaires significatifs.³⁰ De plus, contrairement à la myélographie standard ou une superposition des structures est inévitable sur les images, la TDM et surtout l'IRM permettent une visualisation directe de la moelle épinière.^{31,32} En IRM, la moelle épinière peut être différenciée de l'espace sous-arachnoïdien (fig. 22), sans l'utilisation intrathécale de milieu de contraste pour permettre de préciser le niveau de compression de la moelle épinière.³¹ La différenciation de ces structures à la TDM requiert l'ajout d'une myélographie. Cette combinaison, dite **myélographie-tomodensitométrie**, est supérieure à la myélographie standard et représente une alternative plus invasive à l'IRM.³¹ Toutefois, les altérations tissulaires à la moelle telles qu'une **hémorragie**, de l'**œdème**, de la **myélomalacie** (fig. 23) et de la **gliose** (réparation), pouvant

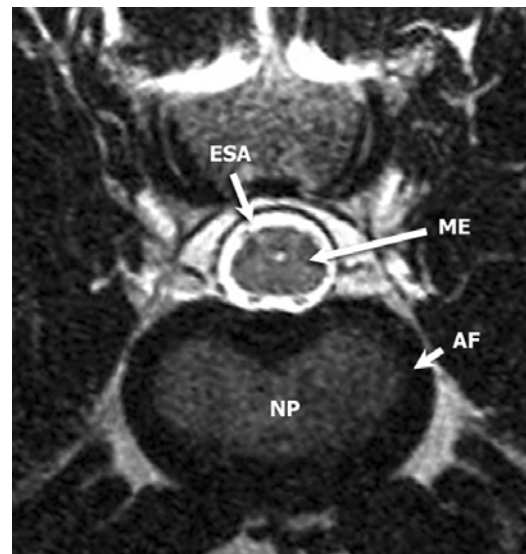


Figure 22. Image d'un espace intervertébral lombaire obtenue en résonance magnétique. La moelle épinière (ME) peut facilement être distinguée de l'espace sous-arachnoïdien (ESA), de même que le noyau pulpeux (NP) du disque entouré de l'anneau fibreux (AF).

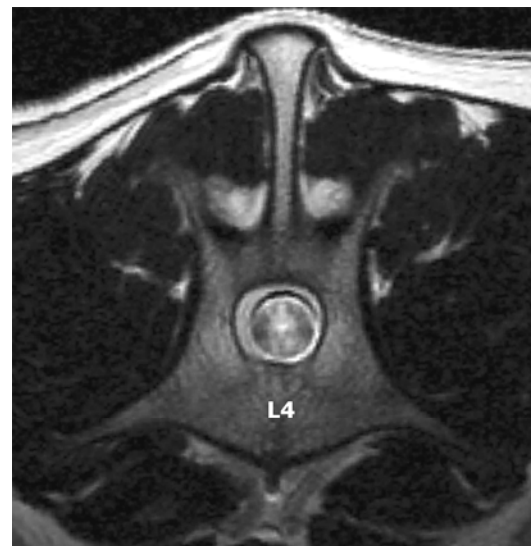


Figure 23. IRM de la moelle épinière au niveau de la 4e vertèbre lombaire (L4) démontrant la présence de myélomalacie secondaire à une compression significative de la moelle épinière caudalement causée par une hernie discale. Cette myélomalacie se manifeste par une augmentation hétérogène en intensité de toute la moelle en pondération T2. Ce type de changement intramédullaire passe généralement inaperçu à la myélographie.

accompagner les lésions compressives entraînent des changements qui ne sont généralement détectables qu'à l'IRM.³² Conséquemment, en plus de mieux caractériser le type de lésion compressive, et ce sans les effets secondaires associés à la myélographie, **l'IRM représente un outil globalement plus utile et moins invasif pour évaluer la moelle épinière.**

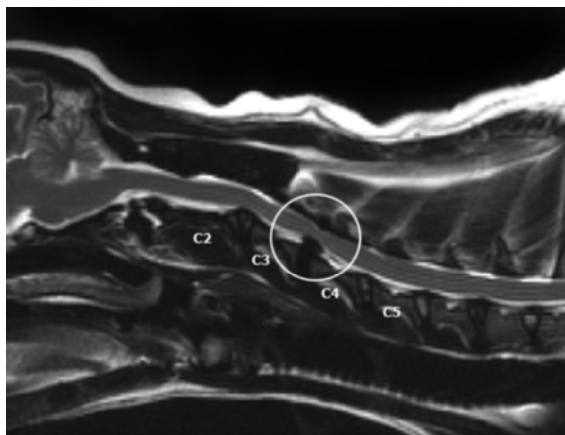


Figure 24. Vue sagittale de la colonne cervicale d'un petit chien par résonance magnétique en pondération T2, où un fragment de disque intervertébral apparaît hernié dorsalement (Hansen type 1), entraînant une compression de la moelle épinière à la jonction C3-4.

La plupart des **hernies discales de type 1** peuvent être identifiées à la tomodensitométrie sans myélographie. En effet, la métaplasie et calcification discales qui précèdent généralement ce type d'hernie peuvent être identifiées dans le canal vertébral lors d'extrusion.³³ Cependant, le niveau de compression de la moelle peut parfois être difficile à préciser en TDM sans l'addition d'une myélographie. Aussi, un matériel discal hernié non minéralisé est plus difficile à percevoir ou à différencier de pathologies non discales³³ (ex. néoplasme, hémorragie épidurale spontanée³⁴ ou traumatique) en TDM. Ce n'est généralement pas le cas en IRM. (fig. 24)³¹

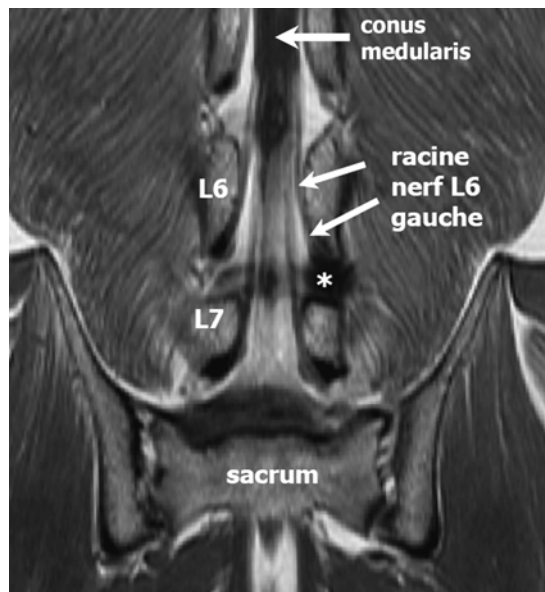


Figure 25. IRM en plan dorsal de la colonne vertébrale lombaire d'un chien croisé ayant démontré des signes de boiterie eu membre pelvien gauche et une douleur à l'extension de la hanche gauche. Un fragment discal (*) hernié dans l'espace foraminaux est visible entraînant une compression de la 6e racine nerveuse lombaire gauche (flèches).

Les fragments herniés dans les espaces foraminaux qui compriment les racines nerveuses, peuvent aussi être détectés en TDM et surtout en IRM (fig. 25), alors qu'ils sont difficiles à voir à la myélographie standard.³⁵ Les **hernies discales de type 2** (protrusion) ou un renflement dorsal de l'anneau discal peuvent aussi être plus facilement identifiés à l'IRM, et dans bien des cas différenciés d'une hernie de type 1 (extrusion).³¹

La TDM et l'IRM sont aussi de plus en plus utilisées lors de myélopathie cervicale (syndrome de « *Wobbler* »), rencontrée chez le Doberman, le Grand Danois, et plusieurs autres grandes races de chiens. Ces modalités permettent de **préciser le mieux possible la nature de la compression** afin de mieux tailler l'approche thérapeutique à l'individu. Plusieurs types de compression (hypertrophie ligamentaire, hernie discale types 1 et 2, kystes synoviaux, ostéoarthrose facettaire, sténose du canal vertébral) peuvent occasionner des signes cliniques similaires, et ce de façon **dynamique** et/ou **statique**.³² (fig. 26). En plus, des vues prises en traction en TDM ou en IRM³⁶ peuvent permettre de confirmer la présence d'une compression dynamique, laquelle justifiera une traction/fusion vertébrale.

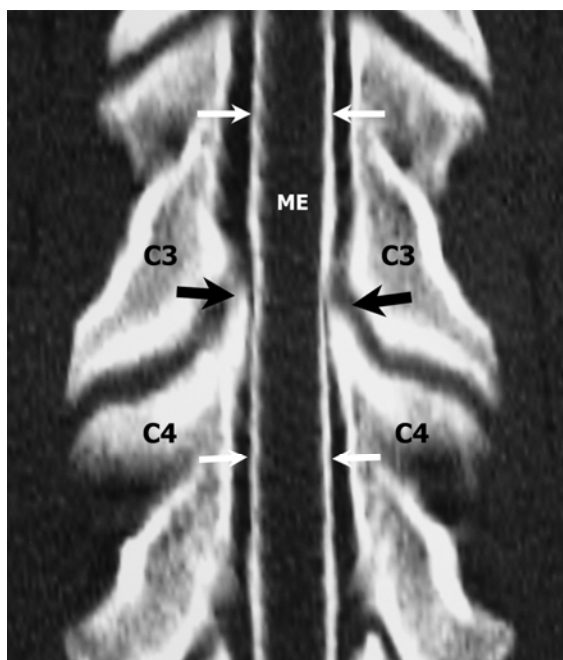


Figure 26. Image tomographique reformatée en plan dorsal de la colonne cervicale d'un Grand Danois de 2 ans, suivant une myélographie (flèches blanches) délimitant la moelle épinière (ME), démontrant la présence d'une sténose du canal vertébral (flèches noires). Cette sténose, causée par une malformation et une dégénérescence des processus facettaires, est d'apparence typique pour cette race de chien souffrant d'un syndrome « *Wobbler* ».

L'IRM est considérée par plusieurs comme étant la modalité de choix dans l'évaluation du **syndrome lombosacré**.³⁷ Les racines nerveuses de la cauda equina et l'extension caudale du *conus medullaris* (amincissement progressif caudal de moelle épinière) sont visualisées distinctement et leur niveau de compression peut être précisément évalué³⁷ (fig. 27). Par contre, une corrélation étroite entre le niveau de compression observée et la sévérité des signes cliniques n'est pas toujours présente.³⁸

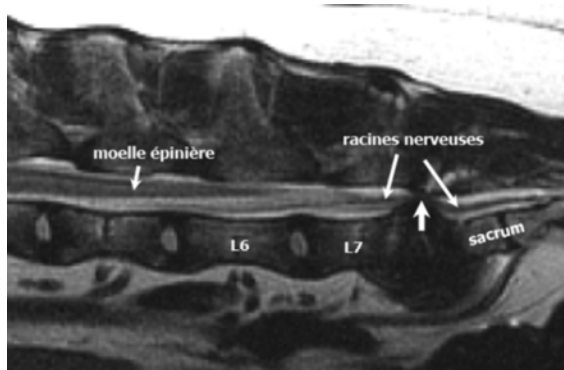


Figure 27. IRM en plan sagittal de la jonction lombosacrée chez un Berger Allemand avec un syndrome de la cauda equina. Une prolifération de tissu fibreux accompagnée d'une hernie discale ont été observés, entraînant une compression des racines nerveuses (voir flèches).

Bien que les **traumas osseux** à la colonne vertébrale puissent souvent être identifiés sur des radiographies standard, certaines lésions subtiles, telles que de petits fragments faiblement déplacés, peuvent être difficilement visibles. De plus, les impacts sur la moelle épinière (compression, hémorragie, hernie discale traumatique ou même des lacérations) ne peuvent être évalués sur des radiographies.³⁹ Or, ces informations peuvent grandement influencer le traitement à envisager ainsi que le pronostic. Quoique la tomodensitométrie fournisse des images permettant d'évaluer plus précisément les dommages osseux, l'IRM permet une meilleure évaluation des dommages à la moelle épinière. Une TDM-myélographie peut aussi être envisagée afin d'évaluer le niveau de compression de même que la position des fragments ou segments vertébraux. Une reconstruction tridimensionnelle tomodynamométrique est souvent utile au chirurgien en planification d'une intervention.

Contrairement à la tomodynamométrique et à la myélographie, les **embolies fibrocartilagineuses** ou **infarctions** de la moelle peuvent être détectées à l'IRM.^{40,41} De plus, la formation de **syrinx** (cavitations de la moelle) et/ou d'hydromyélie (dilatation du canal central)^{42,43} et de **kystes sous-**

arachnoïdiens⁴⁴ peuvent plus facilement être détectés et différenciés à l'IRM.³¹

L'IRM est aussi la modalité de choix dans la détection des **processus néoplasiques** impliquant la moelle épinière ou les tissus adjacents, telles que les tumeurs gliales, les lymphomes, les tumeurs des gaines nerveuses, les néphroblastomes, les autres types de sarcomes et les métastases^{31,43} (fig. 28). Les **processus osseux bénins**, avec pronostic plus favorable, tels que les exostoses ou ostéochondromes, peuvent aussi être évalués, tant en TDM qu'en IRM.⁴⁵ L'IRM, comparativement à la TDM, permet une évaluation plus détaillée de l'étendue de ces lésions et de l'impact sur la moelle épinière (**compression et/ou invasion**).

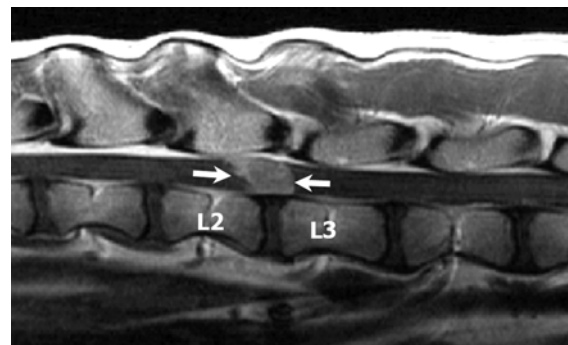


Figure 28. IRM en plan sagittal de la colonne lombaire d'un Rottweiler de 1 an avec une histoire de parésie progressive des membres pelviens. Une petite masse se rehaussant au milieu de contraste est visible en pondération T1 infiltrant la moelle épinière à la jonction des 2e et 3e vertèbres lombaires. Un néphroblastome a été confirmé à l'histologie.

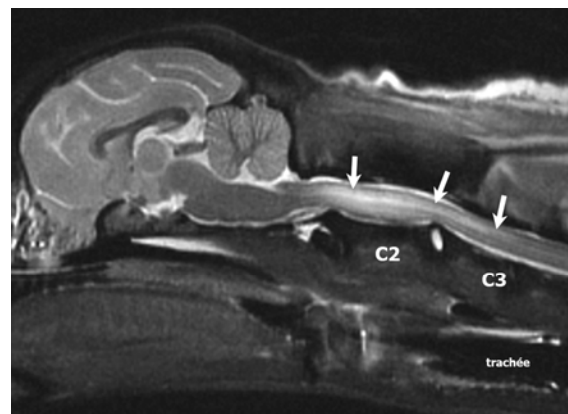


Figure 29. Plan sagittal d'IRM en séquence STIR chez un Lhasa Apso de 4 ans avec signes de douleur cervicale et de parésie, souffrant d'une myélite granulomateuse (flèches) ayant été confirmée par analyse du liquide rachidien.

Finalement, les processus inflammatoires tels que les **myélites** (PIF, méningoencéphalite granulomateuse, toxoplasmose) (fig. 29),³¹ les **discospondylites**^{31,46} et les **abcès spinaux**⁴⁷ peuvent être détectés de façon précoce à l'IRM. Comme c'est le cas en médecine

humaine,⁴⁸ les processus infectieux impliquant la moelle épinière, le canal vertébral et/ou les vertèbres peuvent probablement être détectés plus rapidement à l'IRM comparativement à la radiographie ou à la tomodensitométrie. Des changements osseux doivent être présents pour obtenir un diagnostic fiable de discospondylite à la TDM.⁴⁸

Système locomoteur

De nombreuses études ont été publiées en médecine vétérinaire décrivant l'importance de la tomodensitométrie dans l'évaluation du système locomoteur.⁴⁹⁻⁵⁴ La TDM permet de mieux caractériser les fragments lors d'**ostéochondrite disséquante** (OCD) du tarse chez le chien⁴⁹ (fig. 30). La TDM est aussi plus sensible et plus spécifique que la radiographie dans la détection de **fragmentation du processus coronoïde médial** de l'ulna.⁵³ Elle se compare favorablement en coût et en temps requis à l'obtention de séries radiographiques complètes dans l'évaluation de la dysplasie du coude chez le chien (incluant l'évaluation de la congruence articulaire), justifiant son emploi de plus en plus fréquent dans plusieurs centres vétérinaires. L'IRM permet la détection de fragments non minéralisés et l'identification précoce d'anomalie du processus coronoïde médial.⁵⁵ Bien que l'emploi de l'IRM dans l'évaluation de la dysplasie du coude ait été peu rapporté, il est à prévoir que cette modalité permettra peut-être, en association avec la TDM, de mieux comprendre cette pathologie complexe.

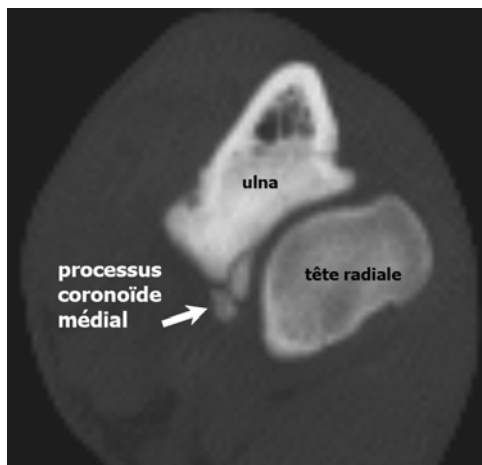


Figure 30. Image tomographique transverse obtenue à la hauteur du processus coronoïde médial de l'ulna, mettant en évidence une fragmentation chez un Labrador de 10 mois.

En plus des pathologies du coude, les atteintes de l'articulation scapulo-humérale (fragmentation du

labrum glénoïdal, dommages aux tissus mous tels que le tendon du biceps et supraépineux, instabilité médiale) demeurent encore nébuleuses. L'utilisation grandissante de la TDM et de l'IRM, en combinaison avec l'arthroscopie, pourrait permettre de mieux cerner les **pathologies de l'épaule** chez le chien.

La TDM détecte et délimite aisément les **processus osseux bénins** tels que les kystes osseux, les infarctions, les ostéochondromes, les ostéomes et les exostoses, de même que les processus inflammatoires (ostéomyélite, séquestre). Les fractures peuvent être plus facilement appréciées, tant dans leur complexité que dans l'évaluation d'une composante articulaire, favorisant une approche chirurgicale optimale.⁵⁶

Bien qu'une atteinte agressive de l'os (destructive et/ou proliférative), peut généralement être détectée sur des radiographies standards, cette atteinte est détectée plus précisément et plus tôt en tomodensitométrie, surtout lorsque des coupes minces sont employées. Selon certaines études, l'étendue de **processus néoplasiques** osseux (**primaires** ou **métastatiques**), est plus facile à définir avec l'IRM.^{57,58} Cette information est essentielle pour déterminer le site de biopsie optimal et afin de mieux planifier l'approche thérapeutique (chirurgie ou radiothérapie).

La TDM permet une définition accrue des structures osseuses, mais l'IRM permet une meilleure évaluation des tissus mous articulaires et périarticulaires, incluant le **cartilage articulaire**.⁵⁸ L'IRM permet d'obtenir un diagnostic précoce d'ostéoarthrose en détectant les **atteintes sous-chondrales** avant l'apparition de sclérose ou d'ostéophytose.⁵⁸ Des **atteintes méniscales, ligamentaires, tendineuses** et **musculaires** peuvent être investiguées. En plus des atteintes traumatiques, l'IRM permet de mieux évaluer les processus inflammatoires impliquant les tissus mous, tels que les **myosites** à médiation immunitaire, les **abcès** et les **fistules** associés à des **corps étrangers**.

Les **tumeurs des gaines nerveuses périphériques**, parfois la source de boiterie d'origine indéterminée chez le chien, peuvent généralement être détectées à l'IRM. De plus, l'IRM permet d'évaluer la possibilité d'une extension intramédullaire, et par conséquent de mieux définir la possibilité d'une résection chirurgicale complète. Lorsque ces masses sont de taille suffisante, elles peuvent être détectées par TDM,⁵⁹ par contre, leur étendue sera moins bien définie.

Thorax

L'anatomie complexe du thorax et les nombreuses superpositions de structures peuvent rendre l'interprétation radiographique difficile.^{60,61} La présence de structures de densité contrastées (essentiellement tissu mou et air) favorise l'évaluation tomodensitométrique du thorax. Étant donné les mouvements cardiovasculaires et pulmonaires importants nécessitant une acquisition rapide des images, la tomographie hélicoïdale, permettant de balayer un thorax durant une période de suspension respiratoire (soit d'environ 30 secondes), demeure un outil plus souvent utilisé que l'IRM.

La TDM permet de préciser l'origine d'une **opacité d'origine indéterminée** observée sur des radiographies standard. Les masses de la **paroi thoracique** (ex. côtes), des **plèvres**, du **médiastin** ou des **poumons** peuvent être plus facilement différenciées, et leur étendue par rapport aux structures avoisinantes (ex. vaisseaux) peut être déterminée plus adéquatement. La radiographie est limitée lors d'épanchement pleural; dans ces cas, la TDM est particulièrement utile.^{60,61} Les processus néoplasiques pulmonaires peuvent être plus facilement différenciés de foyers de bronchopneumonie en tomographie.⁶¹ La localisation précise d'une masse pulmonaire primaire de même que la détection de métastases occultes à la radiographie sont des éléments importants en prévision chirurgicale. De plus, des aspirations ou des biopsies peuvent aussi être guidées à l'aide d'images tomographiques, peu importe leur localisation, ce qui n'est pas le cas en échographie.⁶¹

Plusieurs structures autrement difficilement évaluables ou détectables en radiographie standard, telles que les nœuds lymphatiques médiastinaux ou trachéo-bronchiques, ou les petites nodules pulmonaires (1-6 mm), peuvent être mieux détectés à l'aide de la TDM⁶¹ (fig. 31). Conséquemment, cette modalité est de plus en plus utilisée lors de **bilan d'extension oncologique**, permettant à la fois d'évaluer la région de la tumeur primaire, mais aussi afin de déterminer si des **métastases** hématogènes ou lymphatiques sont présentes. Toutefois, la sensibilité et la spécificité de détection de petits nodules pulmonaires sont indéterminées chez les animaux, et l'impact d'une telle découverte tomographique sur le traitement des patients demeure encore inconnu.

Comme en médecine humaine, plusieurs autres pathologies sont probablement mieux détectées et

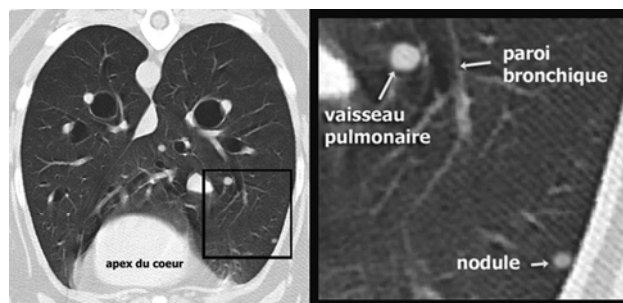


Figure 31. Image tomographique agrandie démontrant la présence d'une métastase pulmonaire n'ayant pas été identifiée sur des radiographies. Les nodules pulmonaires peuvent généralement être différenciés des structures normales, dont les vaisseaux pulmonaires

caractérisées par TDM, telles que les tumeurs pulmonaires primaires, les pathologies inflammatoires ou bronchiques, les masses impliquant l'œsophage, les lésions pulmonaires cavitaires, les thrombo-embolies pulmonaires ou les corps étrangers inhalés.^{61,62} La TDM peut aussi permettre de déterminer la source d'un pneumothorax d'origine indéterminé,⁶¹ ou d'évaluer globalement les patients polytraumatisés. Finalement, selon une étude récente sur 28 chiens et 5 chats, la TDM peut entraîner une modification significative du diagnostic posé par des radiographies thoraciques dans la moitié des cas, soit en précisant la localisation ou la nature d'une lésion.⁶⁰

Abdomen

L'évaluation de pathologies abdominales est devenue une application importante de la tomographie et de l'IRM en médecine humaine. Encore à un stade embryonnaire en médecine vétérinaire, et ce en grande partie due à l'anesthésie générale requise et au coût relativement élevé comparativement à l'échographie, l'emploi de ces modalités pourrait s'accroître au fil des années. La TDM et l'IRM, couplées ou non à une angiographie, sont communément employées en médecine humaine, et de plus en plus en médecine vétérinaire. En médecine vétérinaire, l'angiographie par TDM et par IRM permet d'évaluer avec précision et de façon non invasive les **shunts porto-systémiques**.^{63,64} Aussi, comparé à l'échographie, l'IRM et la TDM (+/- angiographie) peuvent parfois mieux définir l'**extension et l'origine d'une masse abdominale** impliquant par exemple le foie, les reins ou les surrénales,⁶⁵ ainsi que d'évaluer l'implication des structures adjacentes (ex. vaisseaux) (fig. 32). Par ailleurs, une étude a démontré une précision élevée (94%) de l'IRM dans la **différentiation de lésions hépatiques et spléniques bénignes et malignes** chez le chien.⁶⁶ Dans une autre étude, à la TDM avec milieu de contraste, on pouvait

différencier la majorité des masses spléniques malignes de masses bénignes chez le chien.⁶⁷ Certaines pathologies impliquant la **vascularisation** abdominale, telles les thromboses et les torsions spléniques, peuvent être diagnostiquées plus précisément en TDM par rapport à l'échographie.⁶⁸ Finalement, la TDM combinée à une urographie excrétrice permet de diagnostiquer les **uretères ectopiques** avec plus de précision que l'urographie excrétrice standard.⁶⁹

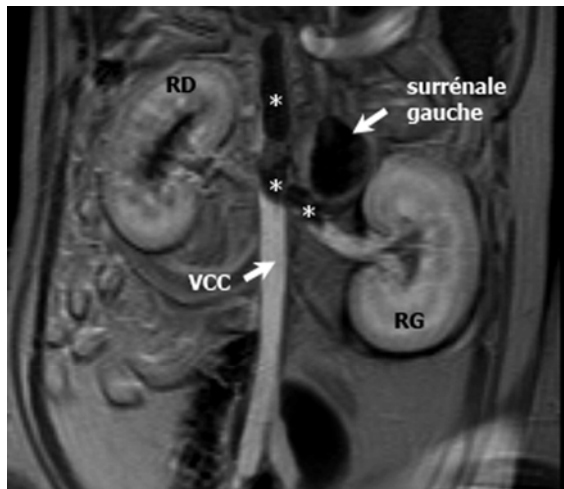


Figure 32. Image dorsale obtenue en résonance magnétique de l'abdomen d'un chien avec histoire d'hyperadrénocorticisme d'origine surrénalienne. Une masse impliquant la surrénale gauche a été détectée en association avec une thrombose (*) importante de la veine cave crâniale s'étendant dans la veine rénale gauche. Un adénocarcinome bien délimité qui n'envahissait pas ces vaisseaux a été retiré chirurgicalement, de même que le thrombus.

Conclusion

Les modalités d'imagerie dites alternatives comme la tomodensitométrie et l'imagerie par résonance magnétique représentent maintenant des atouts considérables en médecine vétérinaire. Leur accessibilité grandissante et leur emploi en recherche clinique ont permis (et permettront) de parfaire les connaissances des différents processus pathologiques et de mieux traiter nos patients. Toutefois, comme c'est le cas pour la radiographie et l'échographie, l'utilisation de ces modalités doit se faire en toute **rationalité**. Chaque méthode d'imagerie a ses propres avantages, mais aussi ses limites, dont il faut demeurer conscient. La décision d'opter pour une modalité plutôt qu'une autre doit tenir compte du **prix**, d'une **anesthésie** parfois requise et de la **nécessité d'obtenir un diagnostic très précis** (voir tableau 1). Le **diagnostic différentiel** est souvent l'élément clé qui permettra de juger de la pertinence et de l'utilité d'un examen d'imagerie.

Tableau 1. Comparaison de l'utilité de la radiographie, de l'échographie, de la tomodensitométrie et de l'imagerie par résonance magnétique en médecine vétérinaire, selon les régions anatomiques évaluées.

Régions anatomiques	Radio	ÉCHO	TDM	IRM
Cavités nasales	+ à +++	0 à +	+++	+++
Bulles tympaniques et oreilles internes	+ à ++	0	++ à +++	+++
Cerveau	0	0 (+ à ++ si fontanelles ouvertes)	++	+++
Région orbitale & périorbitale	0 à +	+ à ++	++ à +++	+++
Moelle épinière	0 (sauf avec myélographie, + à ++)	0	+ à +++ (+/- myélographie)	+++
Pathologies osseuses (colonne vertébrale, extrémités, crâne, etc)	++ à +++	0 à +	+++	++ à +++
Articulations	+ à +++	0 à +	+ à +++	+++
Thorax	++ à +++	0 à ++	+++	0 à ++
Abdomen	+ à ++	++ à +++	+++	++ à +++
Prix moyen**	70\$ (2 vues)	150 -175\$	400\$	600-800\$
Anesthésie générale	Rarement (myélographie, hanches OFA, crâne)	Rarement (biopsies échoguidées)	15-45 minutes	60-120 minutes

* l'utilité globale de chaque test est décrite selon une échelle de 0 (aucune utilité) à +++ (très utile) et tient compte d'un rapport information/coût. Les cases grises indiquent les modalités de choix pour chaque région anatomique évaluée. Le choix d'une méthode optimale peut varier selon les cas.

** les prix moyens sont spécifiques au CHUV (2005) et excluent les frais d'anesthésie.

Références

1. Bushberg JT, Seibert JA, Leidholdt Jr EM, et al. The essential physics of medical imaging. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2002.
2. Forrest LJ. The head: excluding the brain and orbit. *Clin Tech Small Anim Pract* 1999;14:170-176.
3. Whitney BL, Broussard J, Stefanacci JD. Four cats with fungal rhinitis. *J Feline Med Surg* 2005;7:53-58.
4. Saunders JH, van Bree H, Gielen I, et al. Diagnostic value of computed tomography in dogs with chronic nasal disease. *Vet Radiol Ultrasound* 2003;44:409-413.
5. Saunders JH, Clercx C, Snaps FR, et al. Radiographic, magnetic resonance imaging, computed tomographic, and rhinoscopic features of nasal aspergillosis in dogs. *J Am Vet Med Assoc* 2004;225:1703-1712.
6. Burk RL. Computed tomographic imaging of nasal disease in 100 dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 1992;33:177-180.
7. Allen HS, Broussard J, Noone K. Nasopharyngeal diseases in cats: a retrospective study of 53 cases (1991-1998). *J Am Anim Hosp Assoc* 1999;35:457-461.
8. Troxel MT, Vite CH, Massicotte C, et al. Magnetic resonance imaging features of feline intracranial neoplasia: retrospective analysis of 46 cats. *J Vet Intern Med* 2004;18:176-189.
9. Vernau KM, Kortz GD, Koblik PD, et al. Magnetic resonance imaging and computed tomography characteristics of intracranial intra-arachnoid cysts in 6 dogs. *Vet Radiol Ultrasound* 1997;38:171-176.
10. Thomas WB. Nonneoplastic disorders of the brain. *Clin Tech Small Anim Pract* 1999;14:125-147.
11. Harrington ML, Bagley RS, Moore MP. Hydrocephalus. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 1996;26:843-856.
12. Kraft SL, Gavin PR. Intracranial neoplasia. *Clin Tech Small Anim Pract* 1999;14:112-123.
13. Kraft SL, Gavin PR, DeHaan C, et al. Retrospective review of 50 canine intracranial tumors evaluated by magnetic resonance imaging. *J Vet Intern Med* 1997;11:218-225.
14. Duesberg CA, Feldman EC, Nelson RW, et al. Magnetic resonance imaging for diagnosis of pituitary macrotumors in dogs. *J Am Vet Med Assoc* 1995;206:657-662.
15. Kuwamura M, Adachi T, Yamate J, et al. Necrotising encephalitis in the Yorkshire terrier: a case report and literature review. *J Small Anim Pract* 2002;43:459-463.
16. Lamb CR, Croson PJ, Cappello R, et al. Magnetic resonance imaging findings in 25 dogs with inflammatory cerebrospinal fluid. *Vet Radiol Ultrasound* 2005;46:17-22.
17. Mellema LM, Samii VF, Vernau KM, et al. Meningeal enhancement on magnetic resonance imaging in 15 dogs and 3 cats. *Vet Radiol Ultrasound* 2002;43:10-15.
18. Klopp LS, Hathcock JT, Sorjonen DC. Magnetic resonance imaging features of brain stem abscessation in two cats. *Vet Radiol Ultrasound* 2000;41:300-307.
19. Thomas WB, Adams WH, McGavin MD, et al. Magnetic resonance imaging appearance of intracranial hemorrhage secondary to cerebral vascular malformation in a dog. *Vet Radiol Ultrasound* 1997;38:371-375.
20. Turrel JM, Fike JR, LeCouteur RA, et al. Computed tomographic characteristics of primary brain tumors in 50 dogs. *J Am Vet Med Assoc* 1986;188:851-856.
21. Ducote JM, Johnson KE, Dewey CW, et al. Computed tomography of necrotizing meningoencephalitis in 3 Yorkshire Terriers. *Vet Radiol Ultrasound* 1999;40:617-621.
22. Plummer SB, Wheeler SJ, Thrall DE, et al. Computed tomography of primary inflammatory brain disorders in dogs and cats. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 1992;33:307-312.
23. Thomas WB. Cerebrovascular disease. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 1996;26:925-943.
24. Tidwell AS, Jones JC. Advanced imaging concepts: a pictorial glossary of CT and MRI technology. *Clin Tech Small Anim Pract* 1999;14:65-111.
25. Bischoff MG, Kneller SK. Diagnostic imaging of the canine and feline ear. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 2004;34:437-458.
26. Czerny C, Gstoettner W, Franz P, et al. CT and MR imaging of acquired abnormalities of the inner ear and cerebellopontine angle. *Eur J Radiol* 2001;40:105-112.
27. Dennis R. Use of magnetic resonance imaging for the investigation of orbital disease in small animals. *J Small Anim Pract* 2000;41:145-155.
28. Kafka UC, Carstens A, Steenkamp G, et al. Diagnostic value of magnetic resonance imaging and computed tomography for oral masses in dogs. *J S Afr Vet Assoc* 2004;75:163-168.
29. Young B, Klopp L, Albrecht M, et al. Imaging diagnosis: magnetic resonance imaging of a cervical wooden foreign body in a dog. *Vet Radiol Ultrasound* 2004;45:538-541.
30. Barone G, Ziemer LS, Shofer FS, et al. Risk factors associated with development of seizures after use of iohexol for myelography in dogs: 182 cases (1998). *J Am Vet Med Assoc* 2002;220:1499-1502.
31. Adams WH. The spine. *Clin Tech Small Anim Pract* 1999;14:148-159.
32. Lipsitz D, Levitski RE, Chauvet AE, et al. Magnetic resonance imaging features of cervical stenotic myelopathy in 21 dogs. *Vet Radiol Ultrasound* 2001;42:20-27.
33. Olby NJ, Munana KR, Sharp NJ, et al. The computed tomographic appearance of acute thoracolumbar intervertebral disc herniations in dogs. *Vet Radiol Ultrasound* 2000;41:396-402.
34. Tidwell AS, Specht A, Blaeser L, et al. Magnetic resonance imaging features of extradural hematomas associated with intervertebral disc herniation in a dog. *Vet Radiol Ultrasound* 2002;43:319-324.
35. Chambers JN, Selcer BA, Sullivan SA, et al. Diagnosis of lateralized lumbosacral disk herniation with magnetic resonance imaging. *J Am Anim Hosp Assoc* 1997;33:296-299.
36. Penderis J, Dennis R. Use of traction during magnetic resonance imaging of caudal cervical spondylomyelopathy ("wobbler syndrome") in the dog. *Vet Radiol Ultrasound* 2004;45:216-219.
37. Ramirez O, 3rd, Thrall DE. A review of imaging techniques for canine cauda equina syndrome. *Vet Radiol Ultrasound* 1998;39:283-296.
38. Mayhew PD, Kapatkin AS, Wortman JA, et al. Association of cauda equina compression on magnetic resonance images and clinical signs in dogs with degenerative lumbosacral stenosis. *J Am Anim Hosp Assoc* 2002;38:555-562.
39. Gopal MS, Jeffery ND. Magnetic resonance imaging in the diagnosis and treatment of a canine spinal cord injury. *J Small Anim Pract* 2001;42:29-31.

40. Ueno H, Shimizu J, Uzuka Y, et al. Fibrocartilaginous embolism in a chondrodystrophoid breed dog. *Aust Vet J* 2005;83:142-144.
41. Cauzinille L. Fibrocartilaginous embolism in dogs. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 2000;30:155-167, vii.
42. Lu D, Lamb CR, Pfeiffer DU, et al. Neurological signs and results of magnetic resonance imaging in 40 cavalier King Charles spaniels with Chiari type 1-like malformations. *Vet Rec* 2003;153:260-263.
43. Levitski RE, Lipsitz D, Chauvet AE. Magnetic resonance imaging of the cervical spine in 27 dogs. *Vet Radiol Ultrasound* 1999;40:332-341.
44. Jurina K, Grevel V. Spinal arachnoid pseudocysts in 10 rottweilers. *J Small Anim Pract* 2004;45:9-15.
45. Silver GM, Bagley RS, Gavin PR, et al. Radiographic diagnosis: cartilaginous exostoses in a dog. *Vet Radiol Ultrasound* 2001;42:231-234.
46. Cherubini GB, Cappello R, Lu D, et al. MRI findings in a dog with discospondylitis caused by *Bordetella* species. *J Small Anim Pract* 2004;45:417-420.
47. Naughton JF, Tucker RL, Bagley RS. Radiographic diagnosis--paraspinal abscess in a dog. *Vet Radiol Ultrasound* 2005;46:23-26.
48. Tali ET. Spinal infections. *Eur J Radiol* 2004;50:120-133.
49. Gielen I, van Bree H, Van Ryssen B, et al. Radiographic, computed tomographic and arthroscopic findings in 23 dogs with osteochondrosis of the tarsocrural joint. *Vet Rec* 2002;150:442-447.
50. Farese JP, Todhunter RJ, Lust G, et al. Dorsolateral subluxation of hip joints in dogs measured in a weight-bearing position with radiography and computed tomography. *Vet Surg* 1998;27:393-405.
51. Reichle JK, Snaps F. The elbow. *Clin Tech Small Anim Pract* 1999;14:177-186.
52. Reichle JK, Park RD, Bahr AM. Computed tomographic findings of dogs with cubital joint lameness. *Vet Radiol Ultrasound* 2000;41:125-130.
53. Carpenter LG, Schwarz PD, Lowry JE, et al. Comparison of radiologic imaging techniques for diagnosis of fragmented medial coronoid process of the cubital joint in dogs. *J Am Vet Med Assoc* 1993;203:78-83.
54. Fujiki M, Misumi K, Sakamoto H. Laxity of canine hip joint in two positions with computed tomography. *J Vet Med Sci* 2004;66:1003-1006.
55. Snaps FR, Balligand MH, Saunders JH, et al. Comparison of radiography, magnetic resonance imaging, and surgical findings in dogs with elbow dysplasia. *Am J Vet Res* 1997;58:1367-1370.
56. Borrelli J, Jr., Goldfarb C, Catalano L, et al. Assessment of articular fragment displacement in acetabular fractures: a comparison of computerized tomography and plain radiographs. *J Orthop Trauma* 2002;16:449-456; discussion 456-447.
57. Wallack ST, Wisner ER, Werner JA, et al. Accuracy of magnetic resonance imaging for estimating intramedullary osteosarcoma extent in pre-operative planning of canine limb-salvage procedures. *Vet Radiol Ultrasound* 2002;43:432-441.
58. Widmer WR, Buckwalter KA, Braunstein EM, et al. Principles of magnetic resonance imaging and application to the stifle joint in dogs. *J Am Vet Med Assoc* 1991;198:1914-1922.
59. Rudich SR, Feeney DA, Anderson KL, et al. Computed tomography of masses of the brachial plexus and contributing nerve roots in dogs. *Vet Radiol Ultrasound* 2004;45:46-50.
60. Prather AB, Berry CR, Thrall DE. Use of radiography in combination with computed tomography for the assessment of noncardiac thoracic disease in the dog and cat. *Vet Radiol Ultrasound* 2005;46:114-121.
61. Schwarz LA, Tidwell AS. Alternative imaging of the lung. *Clin Tech Small Anim Pract* 1999;14:187-206.
62. Henninger W. Use of computed tomography in the diseased feline thorax. *J Small Anim Pract* 2003;44:56-64.
63. Frank P, Mahaffey M, Egger C, et al. Helical computed tomographic portography in ten normal dogs and ten dogs with a portosystemic shunt. *Vet Radiol Ultrasound* 2003;44:392-400.
64. Seguin B, Tobias KM, Gavin PR, et al. Use of magnetic resonance angiography for diagnosis of portosystemic shunts in dogs. *Vet Radiol Ultrasound* 1999;40:251-258.
65. Tidwell AS, Penninck DG, Besso JG. Imaging of adrenal gland disorders. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 1997;27:237-254.
66. Clifford CA, Pretorius ES, Weisse C, et al. Magnetic resonance imaging of focal splenic and hepatic lesions in the dog. *J Vet Intern Med* 2004;18:330-338.
67. Fife WD, Samii VF, Drost WT, et al. Comparison between malignant and nonmalignant splenic masses in dogs using contrast-enhanced computed tomography. *Vet Radiol Ultrasound* 2004;45:289-297.
68. Patsikas MN, Rallis T, Kladakis SE, et al. Computed tomography diagnosis of isolated splenic torsion in a dog. *Vet Radiol Ultrasound* 2001;42:235-237.
69. Samii VF, McLoughlin MA, Mattoon JS, et al. Digital fluoroscopic excretory urography, digital fluoroscopic urethrography, helical computed tomography, and cystoscopy in 24 dogs with suspected ureteral ectopia. *J Vet Intern Med* 2004;18:271-281.