

Kernspintomographie im Bereich von Thorax und Abdomen beim Fohlen

Judith Fitz und Hartmut Gerhards

Klinik für Pferde der Ludwig-Maximilians-Universität München, Vorstand: Prof. Dr. H. Gerhards

Zusammenfassung

Gegenstand: Kernspintomographie am Fohlen Ziel: Sequenzen mit kurzer Messdauer und von guter Bildqualität um die Organe von Thorax und Abdomen von Fohlen mittels Kernspintomographie darzustellen. Material und Methoden: Anhand 22 toter Fohlen wurden 56 Sequenzen aus der Humanmedizin für die Wirbelsäulenspule an einem offenen Niedrigfeldsystem (Magnetom Open viva, Siemens, Feldstärke 0,2 Tesla) getestet und verändert. Darunter befinden sich T1-, T2- und protonengewichtete Sequenzen sowie zwei TrueFISP-Sequenzen in coronarer, sagittaler oder transversaler Ebene. Ergebnisse: Die Messzeit hielt sich zwischen Sekunden und maximal 3 min 48 sek. Die MRT der Lunge zeigt Pneumonien, Atelektasen, Ödeme bzw. Hyperämien und Emphyse. Perikard- und Körperhöhlenergüsse konnten anhand der MRT-Bilder in 100 % der Fälle nachgewiesen werden. Eine Herzdilatation, das Mediastinum, das Zwerchfell, Leber- und Milzschwellungen, Magen- und Darminhalt sowie die Nieren und Nebennieren können dargestellt und beurteilt werden. Urin- oder luftgefüllte Harnblasen sowie der Urachus sind am MRT-Bild sichtbar. Klinische u. wissenschaftliche Relevanz: Erstmals wurden die Organe von Thorax und Abdomen von Fohlen mit der MRT dargestellt. Die nicht invasive, nicht strahlenbelastende Schnittbildtechnik kann in Zukunft zur Darstellung von Weichteilen, Organen und Gefäßen beim lebenden Fohlen dienen. Schlussfolgerung: Ein Kernspintomograph mit einem Magnetfeld von 0,2 Tesla ist ausreichend, um mit den neu erstellten Sequenzen in kurzer Zeit die Organe von Thorax und Abdomen toter Fohlen in guter Bildqualität darzustellen.

Schlüsselwörter: Thorax, Abdomen, Pferd, Kernspintomographie, Magnetresonanztomographie, MR

Magnetic resonance imaging of the thorax and abdomen in foals

Subject matter: MRI of foals Objective: In order to produce high quality images of thoracic and abdominal organs of foals using MRI technology, it is necessary to utilize sequences of short duration. Materials and Method: Examination of 22 dead foals using 56 sequences, routinely utilized in human medicine with the body spine coil. The sequences were tested and modified on an open low field system (Magnetom Open viva, Siemens, 0,2 Tesla). T1-, T2-, protondensity-weighted sequences and two TrueFISP sequences in coronal sagittal and transverse planes were among the sequences used. Results: The measuring times were restricted to a range of several seconds to a maximum of 3 min. 48 sec. Examination of the lung revealed pneumonia, atelectasis, edema, hyperemia and emphysema.. Effusions in body cavities or the pericardium could be demonstrated in 100% of the cases utilizing MR technology. The mediastinum, the diaphragm, gastric and intestinal contents, kidneys and adrenal glands as well as dilatation of the heart and hepatic or splenic hyperplasia can be readily visualized and evaluated. Full or air-filled urinary bladders, and the urachus were easily identified in the images. Clinical and scientific relevance: Images of thoracic and abdominal organs in the foal were produced for the first time using MRI. In the future, this non-invasive, non-radiating form of cross-sectional imaging will serve as a viable alternative used to provide images of soft tissues, organs and vessels of living foals. Conclusion: A nuclear magnetic resonance tomograph with a magnetic field of 0,2 tesla is sufficient, when utilizing the sequences and time frames established in this study, to demonstrate high quality images of the thoracic and abdominal organs of dead foals.

Keyword: Thorax, Abdomen, Horse, Magnetic Resonance Imaging

Einleitung

Seit den 1970er Jahren ist die Kernspintomographie als nicht invasive, überlagerungsfreie, multiplanare Schnittbildtechnik mit hohem Weichteilkontrast und ohne Strahlenbelastung für Untersucher und Patient, in allen medizinischen Bereichen auf dem Vormarsch. Im Großtierbereich stellt sie mittlerweile in der Pferdemedizin ein etabliertes Verfahren zur Diagnosefindung im Kopf- und Gliedmaßenbereich dar.

In diesem Artikel werden nun erstmals Sequenzen zur kernspintomographischen Untersuchung des Thorax und Abdomens von Fohlen vorgestellt, die aufgrund ihrer Bildqualität

eine Beurteilung der abgebildeten Organe erlauben und gleichzeitig eine annehmbare Messdauer aufweisen.

Funktionsweise der Magnetresonanztomographie

Der Körper eines Säugetiers besteht hauptsächlich aus Wasserstoffatomen, die in ihrem Atomkern nur ein Proton besitzen und somit positiv geladen sind. Ein Atomkern mit ungerader Anzahl von Protonen und Neutronen hat einen Eigendrehimpuls, den sogenannten Kernspin, d.h. er rotiert mit konstanter Drehgeschwindigkeit um seine Achse (Abb. 1) und erzeugt

dabei aufgrund seiner Ladung elektrischen Strom bzw. ein magnetisches Moment. Im magnetfeldfreien Raum orientieren sich die Spins eines Körpers völlig zufällig (Gleichgewicht), die gegeneinander gerichteten magnetischen Momente kompensieren sich und der Körper erscheint nach außen unmagnetisch.

Ein Kernspintomograph erzeugt ein starkes externes Magnetfeld mit Feldlinien entlang der z-Achse und einer konstanten Feldstärke in der Einheit „Tesla“ (1 Tesla = ca. 20.000fache Erdmagnetfeldstärke). Wird ein Patient nun einem solchen Magnetfeld ausgesetzt, orientieren sich seine Kernspins paral-

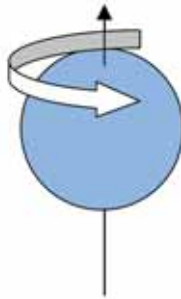


Abb 1 Wasserstoffatom mit eingezeichneter Achse und Spin (Pfeil).
Proton with sketched in axis and spin

lel oder antiparallel zu den Feldlinien des Magneten (Abb. 2) und rotieren, ähnlich einem Kreisel, mit einer für die Kerne charakteristischen Frequenz, um die Feldlinien. Die Spins präzedieren/rotieren nicht im Gleichtakt um das Magnetfeld, sondern haben verschiedene Phasenlagen.

Aus der um den Patienten gelegten Spule, wird nun ein Hochfrequenz-Puls (HF-Puls) mit der gleichen Schwingfrequenz (Resonanzfrequenz) wie die der Spins, senkrecht zum externen Magnetfeld entsandt. Die rotierenden Spins werden von dieser horizontalen (in der xy-Ebene) Kraft ausgelenkt und präzedieren nun im Gleichtakt bzw. in Phase. Durch einen 90°-Puls ist die Längsmagnetisierung zur Quermagnetisierung, also zur phasenkohärenten Rotation der Spins in der xy-Ebene, „gekippt“ worden (Abb. 3). Die Spins haben durch den HF-Puls Energie aufgenommen, die sie in Wechselwirkung mit ihrer Umgebung langsam verlieren, sie rotieren nicht mehr in Phase, sondern frei, induzieren hierbei ein Signal und verlieren ihre Quermagnetisierung (Energie) wieder. Dieses MR-Signal wird freier Induktionszerfall genannt und wird von einer Antenne empfangen und in Intensität und Zeitdauer gemessen. Die Längsmagnetisierung erholt sich (longitudinale Relaxation) und kehrt in den Gleichgewichtszustand zurück.

Im T1-gewichteten Bild wird die Zeit gemessen, die ein Gewebe in einem externen Magnetfeld nach einem HF-Impuls benötigt, bis seine Spins wieder im Gleichgewicht in Längsmagnetisierung präzedieren. Sie ist von der Feldstärke des Magneten und vom Gewebe selbst abhängig (Spin-Gitter-Relaxation). Spins in Geweben mit dichtem Atomgitter, z.B. Fett, können ihre Energie schnell abgeben, sie besitzen ein kurzes T1, dass in T1-gewichteten Bildern hell = hyperintens erscheint. Reines Wasser hat dagegen nur wenig Moleküle in seiner Umgebung. Die Zeit T1, die es benötigt, um seine Energie abzugeben, ist lang. Es erscheint im T1-gewichteten Bild hypointens = dunkel.

Nach einem 90°-Impuls rotieren alle Spins eines Körpers phasenkohärent in der xy-Ebene, wirken deswegen wie ein großer Magnet und induzieren ein elektrisches Signal. Aufgrund von Spin-Spin-Wechselwirkungen kommen sie schnell aus der Phase, die einzelnen Spinmagnete präzedieren frei und heben sich dadurch in ihrer magnetischen Wirkung auf, das elektrische Signal wird kleiner. Die Zeitkonstante T2, die dieser Vorgang in einem Gewebe benötigt, wird in einer T2-gewichteten Sequenz gemessen. In einem dichten Atomgitter sind die Wechselwirkungen zwischen den Spins „häufiger“,

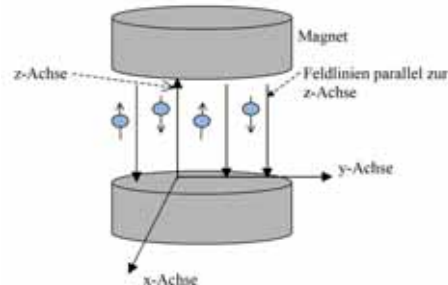


Abb 2 In einem Magnetfeld richten sich Spins parallel und antiparallel zur z-Achse aus.
In a magnetic field all spins are directed parallel to or anti-parallel to the z-axis

also stärker. Die Phasenkohärenz geht schnell verloren, T2 ist kurz und das Gewebe zeigt sich im T2-gewichteten Bild dunkel (z.B. Fett). Im lockeren Gefüge von Flüssigkeiten beeinflussen sich die Spins untereinander nicht so stark, ihre magnetischen Feldschwankungen gleichen sich längere Zeit aus, T2 ist lang. Flüssigkeiten erscheinen im T2-gewichteten Bild aufgrund ihres länger dauernden elektrischen Signals hell. Die Zeitkonstanten T1 und T2 verschiedener Gewebearten, sowie von gesundem und pathologischem Gewebe, unterscheiden sich und liefern somit im MR-Bild mit hoher Sensitivität den zur Diagnose notwendigen Kontrast. Dieser entsteht aus Berechnungen der Software, die einer bestimmten Signalintensität eines Voxels (Volumeneinheit) einen bestimmten Grauwert zuordnet und auf den Bildschirm in das entsprechende Pixel (Bildeinheit) transferiert. In Protonendichtegewichteten Sequenzen werden die angeregten Wasserstoffprotonen pro Volumeneinheit gemessen. Der Kontrast kommt also durch die „Spindichte“ der abgebildeten Gewebe zustande.

Die bislang zur Verfügung stehenden Tomographen entstammen alle der Humanmedizin und können in drei Arten unterteilt werden. Permanentmagnete zeichnen sich durch ein dauerhaftes Magnetfeld aufgrund großer Blöcke eines magnetischen Materials aus, die in U-Form angebracht sind. Sie gehören mit Feldstärken bis 0,3 Tesla zu den Niedrigfeldsystemen. Im Resistiven Magneten wird die Feldstärke bis 0,3 Tesla von einem stromverbrauchenden normal leitenden Spulensystem aus Kupfer- oder Aluminiumleitern erzeugt, wohingegen der Leiterdraht bei Supraleitenden Magneten aus einer Niob-Titan-Legierung besteht und ein Magnetfeld von momentan meist 0,5 bis 2 Tesla aufbaut.

Literatur

Seit die ersten in vivo Abbildungen des menschlichen Thorax Mitte der 70er Jahre von Damadian et al. vorgenommen wur-

den, ist die MRT in der Humanmedizin stetig auf dem Vormarsch (8). So findet sie z.B. breite Anwendung in der Diagnose von Tumoren, Entzündungen, Anomalien und flüssigkeitsgefüllten Hohlräumen sämtlicher Organe und Strukturen von Thorax und Abdomen. Weiterhin konnten Collins (1995) et al. Nervenschäden, wie Kompressionen des Plexus brachialis, Liem et al. (1994), Makiuchi et al. (1993) und Fujimura et al. (1996) Abszesse, Tumoren oder Zysten des Rückenmarks darstellen. Ein spezielles Gebiet in der Magnetresonanz nimmt mittlerweile die MR-Angiographie ein, da im Gegensatz zur

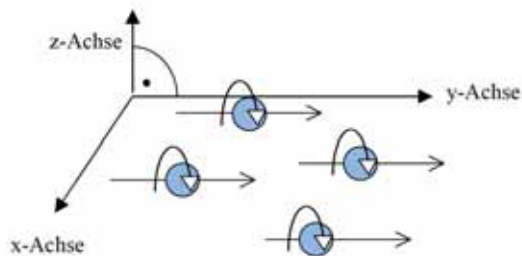


Abb 3 Durch Einwirken eines 90° -Hochfrequenzimpulses präzessionieren die Spins phasenkohärent in der xy-Ebene: die an den gleichen Stellen befindlichen Pfeile symbolisieren die sich im Gleichtakt drehenden Atome.

By exposure of a 90° high frequency impuls the spins precess in the xy-plane: arrows in the same places represent the atoms turning in the common mode.

Computertomographie laut Hahn (1990) große Gefäße (deren Lumina und Wände), laut Riemüller (1990) aber auch Herzinnenräume und -klappen, ohne Kontrastmittel abgebildet werden können. Eine genauere Auflistung heutiger Anwendungsmöglichkeiten in der Humanmedizin und weitere Literaturangaben finden sich in der Dissertation von Fitz 2003.

Die Kleintiermedizin hat gegenüber der Pferdemedizin den Vorteil, dass der gesamte Körper der zu untersuchenden Patienten aufgrund ihres Gewichts und ihrer Größe ohne besondere Vorrichtungen in den vorhandenen, für die Humanmedizin konzipierten Kernspingeräten untersucht werden kann. Aus diesem Grund gibt es im Kleintierbereich auch schon weitaus mehr Untersuchungen als in der Großtiermedizin, wie z.B. den MRT und CT Atlas des Hundes mit Bildern der normalen Anatomie, unter anderem von Thorax und Abdomen von Assheuer und Sager (1997). Selbe Autoren beschreiben auch die klinische Diagnose von Neoplasien, Mißbildungen oder Flüssigkeitsansammlungen im Thorax mittels MRT.

In der Literatur finden sich auch MR-Untersuchungen zu Anatomie des Abdomens oder pathologischen Veränderungen im Bauchraum von Hund und Katze (Samii et al. 1999). Hernien, Tumoren, Mißbildungen und Flüssigkeitsansammlungen stellen sich ebenso gut dar, wie Fremdkörper, Schwellungen, Lageveränderungen und ähnliches (Assheuer und Sager 1997). Muleya et al. (1997) beschrieben die Darstellung von abdominalen Tumoren bei Hunden. Zusätzlich finden sich in der aktuellen Literatur hauptsächlich Berichte über Versuche wie z.B. die Darstellung ischämischer Bezirke in der Leber von Hasen mittels Kontrastmittel-MRT (Canet et al. 1996). Yamada et al. (1996) zeigten an Ratten, dass die Kontrastmittelgabe zur Diagnose von Schlaganfällen, Leberkarzinom und Hydronephrose von großem Nutzen ist.

Eine der ersten veröffentlichten Arbeiten über Magnetresonanztomographie am Pferdeköpfe war 1997 die Untersuchung des Gehirns neonataler Fohlen von Chaffin et al. (1997). Im Jahr 2000 folgte unter anderem die MR-Darstellung der Maul- und Nasenhöhle, Nasennebenhöhlen und benachbarter Strukturen von Arencibia et al. und 2001 des normalen (adulten) equinen Gehirns. Im Gehirn von Pferden wurden Läsionen mittels MRT abgebildet, die durch „nigropallidal encephalomalacia“, eine der humanen Parkinson-Krankheit ähnliche Pferdekrankung, hervorgerufen wurden (Sanders

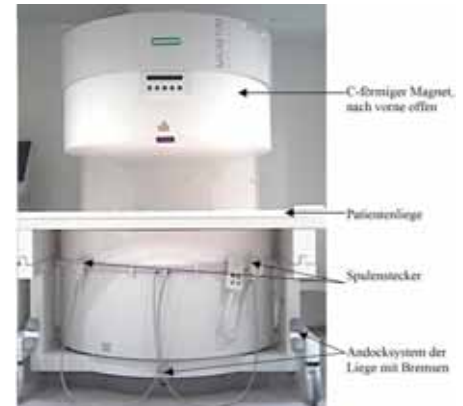


Abb 4 Magnetom open viva (Siemens) mit angedockter Patientenliege.

Magnetom open viva (Siemens) with patient tray

et al. 2001). An einem 2 Monate alten Fohlen wurde unter anderem mittels MRT die Ursache für eine Myeloencephalitis untersucht (Gray et al. 2001). Mit Hilfe weiterer Verfahren konnte die Diagnose Myeloencephalitis durch Protozoenbefall gestellt und die Erkrankung erfolgreich behandelt werden. Junker beschreibt 2002 u.a. die Darstellung von Veränderungen im Kopfbereich wie Pulpitis, Periodontitis oder retrobulbäre Tumoren, sowie von Erkrankungen des Halses, mittels Magnetresonanztomographie.

Technische und anatomische Studien der Gliedmaßen des Pferdes mittels Kernspinresonanz waren auch hier die Vorläufer für Untersuchungen pathologischer Veränderungen. 1997 wurde das Metakarpalgelenk von Martinelli et al. in einem MR-Tomographen untersucht und mittels eines 3D-Software-Programms rekonstruiert und analysiert. Die Anatomie des Tarsus wurde 2000 von Blaik et al. in einem Niedrigfeldsystem dargestellt. Anhand der gewonnenen Bilder konnte die genaue Bewertung von Gelenkknorpel, subchondralem Knochen, Bändern, Sehnen und synovialen Strukturen vorgenommen werden. Gäch beschreibt 2002 die Auswertung von Sehnenverletzungen, Frakturen und degenerativen Gelenkerkrankungen mittels MRT. Chronische Tendinitiden lassen sich mittels MRT besser darstellen als mit Ultraschall (Kasashima et al. 2002). Untersuchungen über den Einfluss des Training in Tretmühlen auf die Morphologie des Os tarsi centrale und des Os tarsi tertium bei Vollblutpferden hat, wurden mittels Dichtemessung an MR-Bildern vorgenommen (Whitton et al. 1999).

Material und Methode

Im Rahmen dieser Arbeit wurden insgesamt 22 tote Fohlen im Alter von 0 Tagen bis 1,5 Monaten untersucht. 9 Tiere starben eines natürlichen Todes, 6 wurden euthanasiert und 2

wurden intrauterin als tot diagnostiziert und per Teilfetotomie entwickelt. Darunter waren 10 Warmblut-, 5 Vollblut-, 2 Kaltblut- und ein Ponyfohlen. Von 4 Tieren sind Alter, Rasse und Todesart nicht bekannt. Klinisch waren die Tiere vorwiegend an Lebensschwäche, gastrointestinalen Störungen und Septikämien erkrankt. Die kernspintomographischen Untersuchungen wurden binnen 48 Stunden post mortem durchgeführt, und die Tierkörper in diesem Zeitraum teilweise gekühlt aufbewahrt.

Die Messungen wurden an einem humanmedizinischen Kernspintomographen, dem Magnetom Open viva der Firma Siemens, Erlangen, vorgenommen (Abb. 4). Der nach vorne offene, C-förmige Eisenmagnet erzeugt ein homogenes Magnetfeld der Stärke 0,2 Tesla. Die Gantry des Magneten hat einen Durchmesser von 41 cm. Die Tiere kamen seitlich auf der Human-Patientenliege, die ein Gewicht bis 120 kg trägt,



Abb 5 Fohlen und angelegte Spule zur Messung zentral im Magnetfeld positioniert.
Foal with coil in place prepared for scanning in the center of the magnetic field.

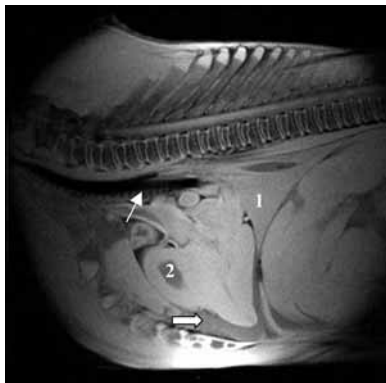


Abb 6 Die T1-gewichtete FLASH-Sequenz in sagittaler Schnittebene zeigt den gesamten Thorax in der Medianen. Die Lunge ist homogen verdichtet (1) = Atelektase. Die Herzkammern sind eröffnet (2), im Perikard ist Flüssigkeit (dicker Pfeil) dunkelgrau zu sehen. Die hellen Knorpelspangen (dünner Pfeil) sind entlang der luftgefüllten Trachea erkennbar.
A T1 weighted sagittal plane FLASH sequence showing the whole thorax in the median plane. The lung is homogeneously condensed. (1) = atelectasis. The ventricles are opened (2), some fluid in the pericardium (thick arrow). The cartilages of the air filled trachea are pointed out by the thin arrow.

zu liegen (Abb. 5). Als Empfangsspule wurde die flexible CP Körper- oder Wirbelsäulenspule verwendet. Die Speicherung der Messdaten erfolgte automatisch auf die Festplatte des Computers. Zur Archivierung wurden die Bilder auf Röntgen-

film ausgedruckt, und auf wiederbeschreibbare magneto-optische Platten = MOD (DEC-S65MO mit 640 MB, der Fa. Pioneer) geschrieben.

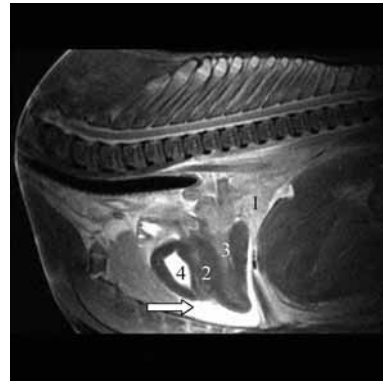


Abb 7 Sagittale T2-Wichtung einer Turbo-Spinecho-Sequenz. Der Perikarderguss (Pfeil) stellt sich hyperintens dar. Die Lunge ist homogen verdichtet (1). Im Gegensatz zu Blut bzw. Cruor (3), ist Serum hyperintens (4), das Myokard dunkel (2).
A sagittal T2 weighted turbo-spin-echo sequence. The pericardial effusion (arrow) is outlined hyperdense. The lung is homogeneously condensed (1). In contrast to blood or blood clots (3), the serum is hyperdense (4), the myocardium is dark.

Als Ausgangsmaterial wurden die im Gerät von Siemens gespeicherten Protokolle für die Humanmedizin verwendet. Durch Verändern bestimmter Parameter wie z.B. Field of View (FoV) und Repetitionszeit (TR) wurde die Zeit reduziert. Um den verlorengegangenen Kontrast und die Bildqualität wiederzugewinnen, waren nun Veränderungen weiterer Parameter notwendig. Die MRT-Bilder wurden nach Auflösung, Kontrast, Rauschen und Artefakten, sowie nach der Darstellung der pathologischen Veränderungen beurteilt und mit den Sektionsprotokollen des Instituts für Pathologie der Tierärztlichen Fakultät bzw. den eigenen Sektionsergebnissen verglichen.

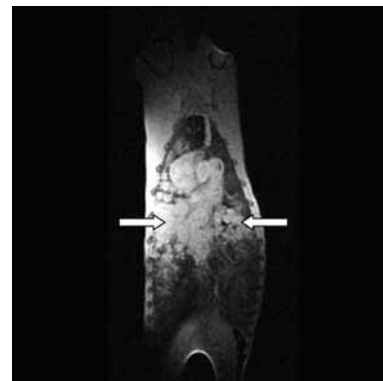


Abb 8 In der coronare T1-gewichtete Sequenz sind pneumonisch verdichteten Herde (Pfeil) im Seitenvergleich zu sehen. Belüftete Lungenbereiche stellen sich schwarz dar.
In the coronal T1-weighted sequence pneumonic foci are pointed out by arrows. Ventilated lung areas are dark.

Ergebnisse

Lunge

Mit der Wirbelsäulenspule kann der gesamte Bereich der Lunge kernspintomographisch in einer Messung abgebildet werden. Die gesunde belüftete Lunge stellt sich in T1-, T2-, und

Protonendichte-Wichtungen schwarz dar (Abb. 9), da wenige Atomkerne vorhanden sind, die ein Signal abgeben. Verdichtete oder flüssigkeitsgefüllte Bezirke geben mehr Signal, was auf die größere Protonendichte pro Voxel zurückzuführen ist,

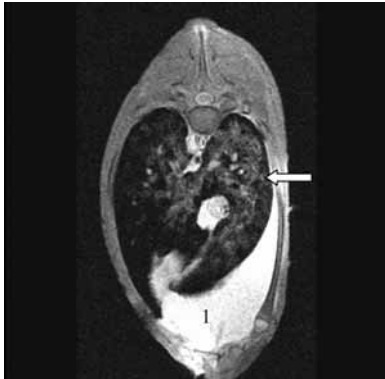


Abb 9 Im Vordergrund ist der hyperintense Thoraxerguss (1) zu sehen. Die Lunge zeigt graue pneumonische Verdichtungen auf (Pfeil). Schwarze Bereiche sind belüftete Lungenanteile.
In the foreground a hyperintense thorax effusion (1) can be seen. The lung shows pneumonic condensations (arrow). Dark areas are ventilated parts of the lung.

und erscheinen im MR-Bild grau. So konnten atelektatische Lungen anhand des homogenen Grautons diagnostiziert werden (Abb. 6). Hyperämien bzw. Ödeme der Lunge konnten aufgezeigt, allerdings nicht voneinander unterschieden werden, da sie sich ähnlich grau und homogen verdichtet darstellen. Luftgefüllte Bronchien sowie die Trachea sind schwarz, die Knorpelspangen der Luftröhre signalreich (hell). Pneumonien waren anhand der hellen Schatten am MRT-Bild überlagerungsfrei zu erkennen und konnten durch die drei Schnitt-



Abb 10 Wie Trauben entlang der Bronchien sind die Herde einer Pneumonie (Pfeil) in dieser sagittalen T1-gewichteten FLASH-Sequenz zu sehen.
Pneumonic focus (arrow) in a sagittal plane (T1-weighted FLASH-sequence).

ebenen genau in ihrer Ausdehnung bestimmt werden (Abb. 8-10). Ein Emphysem war bei einem der Fohlen ersichtlich. Thoraxergüsse sind mit 100%iger Genauigkeit diagnostizierbar, da sie sich v.a. in T2-Wichtungen hyperintens vom umgebenden Gewebe abgrenzen (Abb. 9, 11).

Herz

Die coronare und transversale Schicht sind geeignet, das Herz genauer zu untersuchen. Als Übersichtsaufnahme bietet

sich die sagittale Ebene an. Das Myokard, das Septum, die Vorhöfe und Hauptkammern lassen sich gut in den jeweiligen Bildern darstellen (Abb. 6, 7, 12). Die großen Blutgefäße sind im Anschnitt gut zu erkennen. Herzbeutel- und Brusthöhlenergüsse können eindeutig in T2-Aufnahmen nachgewiesen werden (Abb. 11). Im T1-Bild ist ein Perikarderguss als Bereich von mittlerem Grauwert um das Herz zu sehen (Abb. 6). Bei zwei Fohlen konnte eine Dilatation des Herzens dargestellt werden (Abb.11).

Das Myokard stellt sich im T1-gewichteten MR-Bild homogen und von mittlerer Signalintensität dar und unterscheidet sich gut vom signalarmen Lumen des Atriums und des Ventrikels.

Tab 1 Neu erstellte Sequenzen
New sequences for examination of foals by the Siemens open viva

Sequenz	FA [°]	TR [ms]	TE [ms]	Th [mm]	Matrix	FoV [mm]	TA [min:sec]
scout	40	40	10	15	128x256	400 8/8	0:19
t1_se_tra	60	528	26	6	152x256	357 5/8	2:44
t1_se_cor	60	480	26	7	2.22x1.95	500 5/8	2:18
t1_fl2d_sag_metastasis	90	407	17	5	207x256	365	2:51
pd+t2_se_sag	70	1567	20	5	144x256	455 6/8	3:48
t2_se_cor	90	1265	80	7	81x256	380	3:29
t2_tse7_sag		3245	117	5	126x256	451 5/8	3:35
t2_tse7_tra		3879	102	6	112x256	353 5/8	2:13
t2_fl2d_tra	40	1080	46	5	141x256	351 5/8	2:36
trufti_128	90	4.23	2.01	30	128x128	450 8/8	0:01
trufti_256	80	5.96	2.97	30	256x256	450 8/8	0:05

FA = Flipwinkel TR = Repetitionszeit TE = Echozeit
 Th = Schichtdicke FoV = Field of View TA = Messzeit
 t1 = T1-Wichtung t2 = T2-Wichtung pd = Protonendichte-Wichtung
 se = Spinecho tse = Turbo-Spinecho fl2d = FLASH-2D
 trufti = TrueFISP sag = sagittal tra = transversal cor = coronar



Abb 11 Die T2-Wichtung lässt Flüssigkeiten (weiße Pfeile) in Thorax und Perikard gut erkennen. Das Zwerchfell hebt sich vom hyperintens Thoraxerguss von mittlerem Grauton (schwarzer Pfeil) ab. Eine Herzdilatation ist anhand des dünnen Myokards (1) ersichtlich. Zusätzlich sind eine Pneumonie (2) und eine Leberschwellung, Leberparenchym (3) von hellen Gefäßen durchzogen, zu erkennen.
The T2-weighted representation of the thorax clearly demonstrates fluid (white arrows) in the thorax and in the pericardium. The diaphragm contrasts to the hyperdense thorax effusion (black arrows). Cardiac dilatation can be seen on the basis of a thin myocardium (1). Additionally, a pneumonia (2) and a liver tumescence as well as hepatic parenchyma (3) with crossing light vessels can be seen.

Im T2-Bild erscheint es dunkler als das intraventrikuläre Lumen. Das unbewegte Blut ist in der T1- und T2-Wichtung von schwacher bis mittlerer Signaldichte und kann von Thromben am toten Tier nicht eindeutig unterschieden werden. Das Perikard kann evtl. als signalschwache, dünne Zone abgebildet werden.

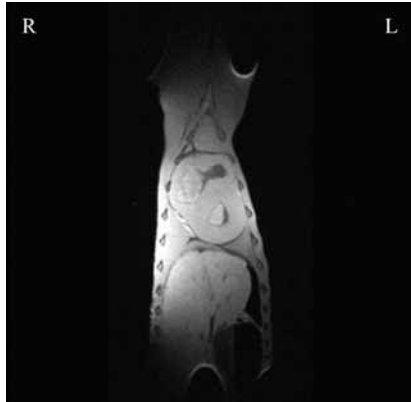


Abb 12 In der coronaren Schnittführung sind die Herzkammern und deren Wände gut beurteilbar. Aufgrund der seitlichen Lagerung des Fohlens ist die Bildgebung jedoch spiegelverkehrt. *In the coronal plane the ventricles and their wall can be assessed accurately. Because of the lateral recumbancy the image is mirror-inverted.*



Abb 13 T1-gewichtete, sagittale Darstellung einer Leberschwellung. Im hellen Parenchym (1) lassen sich dunklere Gefäße (schwarze Pfeile) gut erkennen. Die starke Füllung der Gefäße deutet auf die Schwellung des Organs. Das Zwerchfell ist sichtbar (weißer Pfeil). *T1-weighted sagittal representation of a foal with hepatic tumescence. In the light hepatic parenchyma (1) dark vessels (dark arrows) can easily be detected. The considerable filling of the vessels indicates tumescence of the organ. The diaphragm is visible (white arrow).*

Leber

Leberschwellungen konnten in 100% der Fälle mit den angegebenen Sequenzen (Tab. 1) nachgewiesen werden. Die sagittale Ebene eignet sich besonders gut, um einen Größenvergleich der Leber im Tierkörper zu erhalten, und um den Füllungsstatus der intrahepatischen Gefäße festzustellen. In der T1- (Abb. 13) und T2-Wichtung (Abb. 11) waren Leberparenchym und -gefäße kontrastreich und konnten gut voneinander unterschieden werden. In der coronaren Schnittebene ist die Lage der Leber gut darstellbar und der Seitenvergleich zwischen Veränderungen der

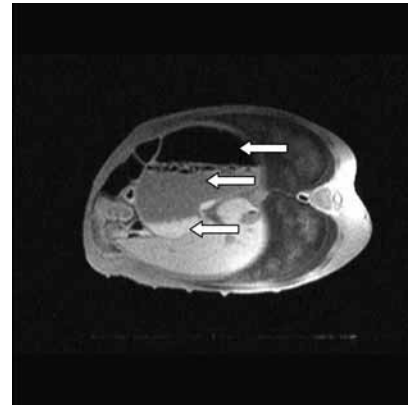


Abb 14 T1-gewichtete, transversale Aufnahme (um 90° gedreht) des milchgefüllten Magens eines Fohlens. Unten im Magen sind die geronnenen Milchbestandteile, darüber der flüssige Rest mit einer Schaumschicht und oben eine Gasblase. *T1-weighted transverse image of a milk-filled stomach of a foal. The arrows point to a gas bubble dorsal in the stomach, to milk with foam on its surface, and to congealed milk ventral in the stomach.*

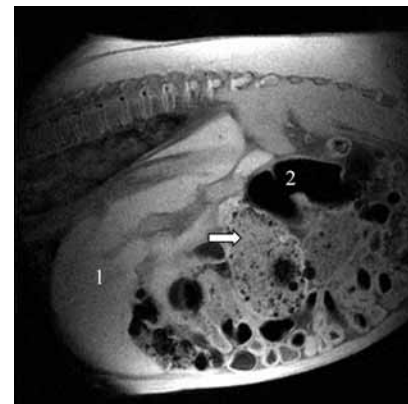


Abb 15 Sagittale T1-Sequenz eines Fohlens mit Enteritis. Auffallend sind die schaumig gefüllten Dün- und Dickdarmschlingen (Pfeil). Gasgefüllter Darm stellt sich hypointens = schwarz dar (2), das Leberparenchym (1) ist hell. *Sagittal T1-sequence of a foal with enteritis. Small intestine and large intestine contain foamy material. (2) = gas-filled intestine, black. Hepatic parenchyma is light (1).*

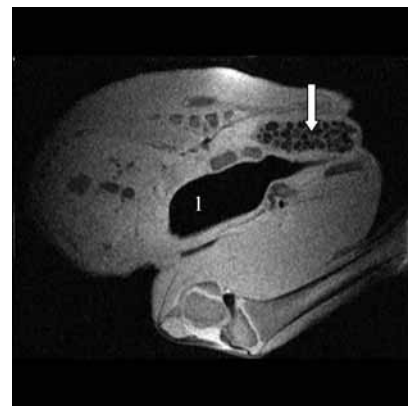


Abb 16 Darstellung von Mekonium (Pfeil) bei einem totgeborenen Fohlen. Die Harnblase (1) wurde zur besseren Abbildung mittels eines Katheters mit Luft gefüllt. *The arrow points to meconium in the ampulla recti of a dead-born foal. The urinary bladder was filled with air with the help of a catheter in order to enhance the contrast of the inner wall.*

linken und rechten Lappen lässt sich ziehen. Die transversalen Schnitte eignen sich am besten, um die Leber auf Parenchymveränderungen Schicht für Schicht zu durchsuchen. T2-Wichtungen unterscheiden Läsionen besser und stellen Gefäße hyperintens im dunkelgrauen Leberparenchym dar.

Gastrointestinaltrakt

Sagittale und coronare Sequenzen haben sich zur Darstellung des Gastrointestinaltraktes beim Fohlen als Übersichtsaufnahmen des Abdomens bewährt. Der Ösophagus ist darstellbar, und Milch (Abb. 14) bzw. feste Nahrung im Magen konnten unterschieden werden. Mekoniumobstipationen waren durch die charakteristische hypointense Sig-

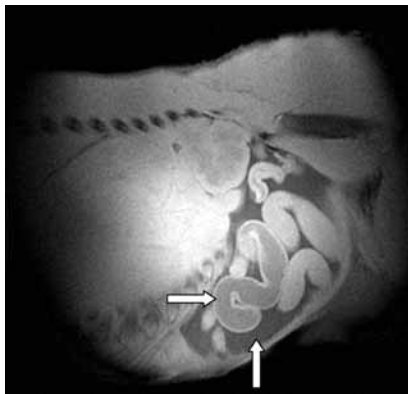


Abb 17 T1-Abbildung eines Fohlen mit Torsio coli, in OP verstorben. Der Darm und das Abdomen sind stark flüssigkeitsgefüllt (Pfeile).
T1-image of a foal with a torsion of the large colon. The small intestine and the abdominal cavity are filled with fluid (arrows).



Abb 18 T1-gewichtete Abbildung einer physiologischen Milz (Pfeile). Die Nieren (1) sind angeschnitten, im Magen ist schaumiger Inhalt (2) zu sehen.
T1-weighted image of a normal spleen (arrows). The kidneys (1) are truncated, there is foamy material in the stomach(2).

nalgebung am MRT-Bild in 100% der Fälle gut zu diagnostizieren (Abb.16). Bei einem intra operationem verstorbenen Fohlen konnten die Auswirkungen einer Torsio coli dargestellt werden. In den MR-Bildern sieht man stark flüssigkeitsgefüllte Dünndarmschlingen und aufgegaste Dickdarmanteile, sowie ein Hydroperitoneum (Abb. 17). Die Darstellung eines mit schaumiger Flüssigkeit gefüllten Darmes eines an Enteritis und Diarrhoe leidenden Fohlens, war möglich (Abb. 15).

Milz

Die Milz ist in ihrer Form und Lage darstellbar. Am besten eignet sich die transversale Ebene, da sie durch den Seitenvergleich (links-rechts) einer Verwechslung mit Leberlappen entgegenwirkt (Abb. 18, 19). Die Milzhypertrophie wurde in 5 von 6 Fällen am MRT-Bild erkannt (Abb. 19). In der T1- und Pro-

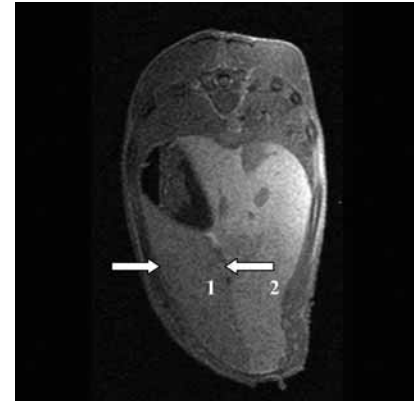


Abb 19 Transversale T1-Wichtung einer Milzhypertrophie, an dieser Stelle das halbe Abdomen ausfüllend (Pfeile). Im Vergleich zur Leber (2) ist die Milz (1) signalärmer.
Transverse T1-weighted image of a congestive splenomegaly, occupying the left half of the abdominal cavity. The hepatic parenchyma (2) has a brighter signal than the spleen (1).

tonendichte-Wichtung ist die Milz von schwacher bis mittlerer Signalintensität und homogen. In der T2-Wichtung hat sie einen gleichmäßig dunklen Grauton.

Nieren, Harnblase, Urachus

Die Nieren und Nebennieren lassen sich mit T1- und T2-gewichteten Sequenzen darstellen. Im T1-gewichteten Bild ist das Nierenmark signalarm (dunkel), die Nierenrinde signalreicher (heller) und somit voneinander zu unterscheiden (Abb. 20). In der T2-Wichtung ist das Mark, das einen etwas höhe-

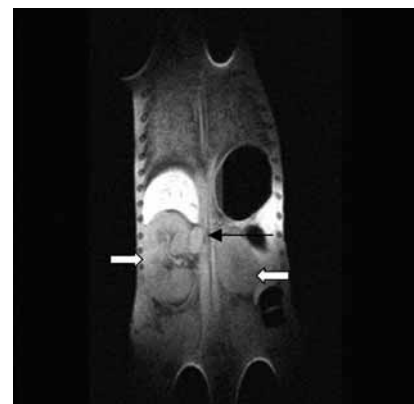


Abb 20 T1-gewichtete, coronare Spinecho-Sequenz der Nieren (weiße Pfeile) eines Fohlens mit Nephritis. Rechte Nebenniere (schwarzer Pfeil). Rinde und Mark sind schlecht zu unterscheiden.
T1-weighted coronal image (spin-echo sequence) of the kidneys (white arrows) of a foal with nephritis. The dark arrow points to the right adrenal gland. Cortex and medulla cannot be differentiated.

ren Flüssigkeitsgehalt aufweist, hyperintens und die Nierenrinde dunkel (Abb. 21). Bei einer Nephritis war allen Fohlen ein fehlender Kontrast zwischen Mark und Rinde zueigen. Mikroabszesse der Niere waren nicht darstellbar. Die Harn-

blase konnte bei mehreren Fohlen anhand ihres Füllungsstandes auf den angefertigten Bildern erkannt werden. Um eine Blasenruptur bei geringer Urinmenge auszuschließen, wurde sie mittels eines Katheters mit Luft gefüllt (Abb. 22). Die experimentelle Darstellung des Urachus bei einem totgeborenen Fohlen war mittels eines Harnröhrenkatheters möglich (Abb. 22).

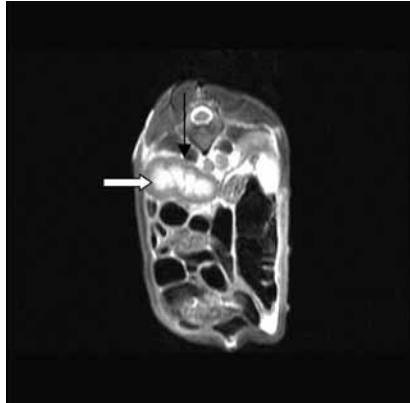


Abb 21 Turbo-Spinecho-Sequenz in T2-Wichtung und transversaler Schnitfführung durch die linke Niere. Das Mark stellt sich deutlich hyperintens = weiß (weißer Pfeil) dar, die Nierenrinde ist signalarm = grau (schwarzer Pfeil).

T2-weighted, turbo-spin-echo-sequence transverse plane image through the left kidney. The renal medulla presents hyperdense or "white" (white arrow), the renal cortex is grey (black arrow).

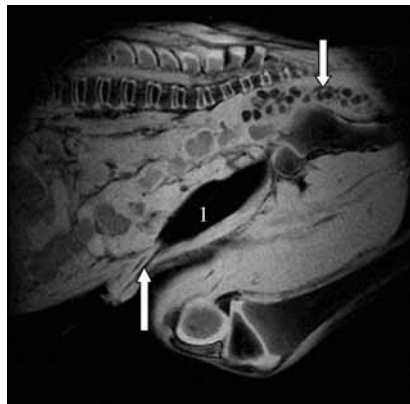


Abb 22 T1-gewichtete, sagittale FLASH-Sequenz eines Urachus patens persistens (Pfeil unten) bei einem totgeborenen Fohlen. Die Harnblase (1) bildet sich nach Luftinsufflation signallos ab. Mekonium (Pfeil oben) ist zu sehen.

T1-weighted sagittal FLASH-sequence of a patent urachus (left arrow) in a dead-born foal. The urinary bladder (1) contains gas. There is some meconium in the ampulla recti (right arrow).

Diskussion

Die Wirbelsäulenspule (Body Spine, Fa. Siemens, Erlangen) wurde mit unterschiedlich großen Bügeln in dieser Arbeit eingesetzt, war jedoch limitierender Faktor in Bezug auf die Größe des zu untersuchenden Fohlens. Der Körperumfang des Tieres durfte 140 cm nicht überschreiten, da sonst die Stecker von Bügel und Spule nicht geschlossen werden konnten.

Das verwendete Gerät MAGNETOM Open viva mit einer Flussdichte von 0,2 Tesla gehört zu den offenen Niedrigfeldsystemen, mit denen allgemein ein guter Gewebekontrast,

aber ein schlechteres Signal-zu-Rausch-Verhältnis und längere Messzeiten als mit Geräten höherer Feldstärken zu erreichen ist. Dennoch waren die in dieser Arbeit erhaltenen Bilder zufriedenstellend. Die nach vorne offene Gantry des Magneten ermöglichte es, die Fohlen auf der Human-Patientenliege ins Magnetfeld zu schieben. Die 44 cm große Gantry war der zweite, das Fohlenalter limitierende Faktor, da nur Tiere mit einer Brustkorbbreite von ca. 40 cm zwischen die Magneten passten. Von Vorteil war das relativ geringe Gewicht der Fohlen, da ein spezieller Pferdetrichter nicht notwendig war.

Die erarbeiteten Sequenzen (Tab. 1) stellten sich als geeignet heraus, Thorax und Abdomen von toten Fohlen in MRT-Bildern wiederzugeben. Einige Messprotokolle konnten in Auflösung und Kontrast gesteigert werden, die Messzeit verlängerte sich hierbei aber. Zur genaueren Darstellung bestimmter Pathologien oder bei der Anwendung am lebenden Tier wird man um diese Parameterveränderungen nicht herum kommen. Eine Vorauswahl der Sequenzen, in Bezug auf Schnittebene und Wichtung, zur Überprüfung eines klinischen Verdachtes ist unabdingbar, um die Messdauer und somit die Untersuchungszeit für den lebenden Patienten so kurz wie nötig zu halten. Auf Bewegungsartefakte wie Atmung, Herzschlag oder Blutfluß, musste in dieser Arbeit keine Rücksicht genommen werden, da die erstellten Sequenzen nicht an lebenden Tieren überprüft worden sind.

Im Bereich des Thorax waren die Organe mit den neuen Sequenzen in guter Qualität und Messzeit darstellbar und die sagittale Ebene eignete sich besonders zur Erstellung von Übersichtsaufnahmen. Mit der T1-gewichteten, sagittalen FLASH-2D-Sequenz konnten die hauptsächlichsten Pathologien des Thorax wie Lungenveränderungen und Körperhöhlenergüsse in einer Messung abgebildet werden. Thromben konnten aufgrund der allgemeinen Gerinnung des Blutes beim toten Tier nicht dargestellt werden. *Stichnoth* beschrieb 1994 für die Humanmedizin die Notwendigkeit von Multiecho-Sequenzen zur Differenzierung von langsam fließendem Blut und intraventrikulären Thromben und geht weiterhin sehr genau auf die Verwendung einzelner Sequenzen bei bestimmten Herzerkrankungen ein.

Um den Thorax von lebenden Fohlen mit den gewonnenen Sequenzen darzustellen muss die Entstehung von Bewegungsartefakten durch Atmung und Herzfrequenz beachtet und zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden. Hierzu gehören z.B. die Herz- oder Atmungstriggerungen, bei denen die Scans einer Messung an einem bestimmten Punkt des physiologischen Signals ausgelöst werden (physiologisch gesteuerte Bildgebung), oder die Sättigungsschichten, innerhalb derer ungewünschte Signale unterdrückt werden. Die Sättigungsschicht wird am Bildschirm über einen durch Bewegung störenden Bereich gelegt, das Gewebe darunter wird durch MR-physikalische Prozesse „gesättigt“, das heißt man kann in ihm kein MR-Signal anregen und Bewegungsartefakte werden umgangen (z.B. Herzkontraktion oder Aortenblutfluß bei einer Wirbelsäulenuntersuchung).

Auch im Bereich des Abdomen sind die erarbeiteten Sequenzen (Tab. 1) geeignet die Organe und die Körperhöhle im MRT-Bild wiederzugeben. Kleine Veränderungen wie Lebernekrosen im Bereich von wenigen Millimetern oder Mikroabs-

zesse der Nieren konnten am gewonnenen Bild nicht erkannt werden. Gründe hierfür sind unter anderem der nicht immer frische Zustand des Tierkörpers, Probleme mit dem Gerät oder dem aufgrund des fehlenden „Shimens“ (über Software gesteuerte Korrektur von Magnetfeldschwankungen zur Sicherung der Bildqualität) inhomogenen Magnetfeld, aber auch die andere Darstellung des Gewebes aufgrund der fehlenden Durchblutung. So haben Leber-, Nieren- oder Milzläsionen im T1- oder T2-gewichteten Bild oft andere Signalintensität als das umgebende, gesunde Parenchym.

Um Läsionen der Leber, Nieren, Milz, oder das Pankreas darzustellen, wäre die Verwendung eines Kontrastmittels hilfreich gewesen. Auch die MR-Angiographie greift ergänzend zu kontrastverstärkenden Mitteln. Weil die in der Human- und Kleintiermedizin intravenös verabreichten Kontrastmittel über das Blut verteilt werden, war dieses Hilfsmittel in der eigenen Arbeit am toten Tier nicht zu gebrauchen. In der Diagnostik am lebenden Tier würden die pro Kilogramm-Körpergewicht dosierten Kontrastmittel zu einer erheblichen Steigerung der Kosten einer solchen Untersuchung führen. Die in der Humanmedizin gebräuchliche Form der oralen oder rektalen Applikation eines Gadolinium-haltigen Kontrastmittels zur Abgrenzung des Pankreas von Magen und Darm, aber auch zur Differenzierung von Darmschlingen gegenüber Bauchhöhlentumoren, wurde in der Kleintier- und Pferdeliteratur bislang nicht erwähnt.

Besonders sinnvoll erscheint die Anwendung der MR-Tomographie beim Fohlen zur Abklärung von Magen-Darm-Erkrankungen, sowie von Harnblasenrupturen. Nieren- und Lebererkrankungen stellen sich voraussichtlich mit einem Gerät höherer Feldstärke besser dar.

Literatur

- Arencibia A., Vazquez J. M., Jaber R., Gil F., Ramirez J. A., Rivero M., Gonzalez N. und Wisner E. R. (2000): Magnetic resonance imaging and cross sectional anatomy of the normal equine sinuses and nasal passages. *Vet Radiol & Ultrasound* 41, 313-319
- Arencibia A., Vazquez J. M., Ramirez J. A., Ramirez G., Vilar J. M., Rivero M. A., Alayon S. und Gil F. (2001): Magnetic resonance imaging of the normal equine brain. *Vet Radiol & Ultrasound* 42, 405-409
- Assheuer J. und Sager M. (1997): MRI and CT atlas of the dog. Blackwell Wissenschaft Berlin, Vienna
- Blaik M. A., Hanson R. R., Kincaid S. A., Hathcock J. T., Hudson J. A. und Baird D. K. (2000): Low-field magnetic resonance imaging of the equine tarsus: normal anatomy. *Vet Radiol & Ultrasound* 41, 131-41
- Canet E., Roger T., Chambon C., Delabre C., Baldy C. und Revel D. (1996): A functional approach to rabbit portal ischaemia using magnetic resonance imaging and an MRI-specific contrast agent for the liver. *Anatomia Histologia Embryologia* 25, 23-29
- Chaffin M. K., Walker M. A., McArthur N. H., Perris E. E. und Matthews N. S. (1997): Magnetic resonance imaging of the brain of normal neonatal foals. *Vet Radiol & Ultrasound* 38, 102-111
- Collins J. D., Shaver M. L., Disher A. C. und Miller T.Q. (1995): Compromising abnormalities of the brachial plexus as displayed by magnetic resonance imaging. *Clin Anat.* 8, 1-16
- Damadian R., Goldsmith M. und Minkoff L. (1977): MR in cancer: XVI. FONAR image of the live human body. *Physiol Chem Phys* 9, 97-100
- Fitz J. (2003): Erstellung eines Messprotokolls für die kernspintomographische Untersuchung von Fohlen im Bereich Thorax und Abdomen an einem offenen Niedrigfeldsystem. München, Tierärztliche Fakultät, Dissertation
- Fujimura M., Tominaga T., Koshu K., Shimizu H. und Yoshimoto T. (1996): Cine-mode magnetic resonance imaging of a thoracic intradural arachnoid cyst: a case report. *Surg Neurol.* 45, 533-6
- Gäch Ä. (2002): Magnetresonanztomographische Untersuchung pathologischer Veränderungen an der Pferdezehe und Erstellung eines Untersuchungsprotokolls an einem offenen Niedrigfeldsystem. München, Tierärztliche Fakultät, Dissertation
- Gray L. C., Magdesian K. G., Sturges B. K. und Madigan J. E. Suspected protozoal myeloencephalitis in a two-month-old colt. *Vet Rec* 149, 269-273
- Hahn D. (1990): Kapitel 5: Lunge, Mediastinum und Zwerchfell. In: Lissner, Fink; Radiologie II - Lehrbuch für den 2. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung, das Praktische Jahr und die fachärztliche Weiterbildung. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- Junker C. (2002): Studien über die Abbildung von Kopf und Hals des Pferdes mittels Magnetresonanztomographie (MRT). München, Tierärztliche Fakultät, Dissertation
- Kasashima Y., Kuwano A., Katayama Y., Taura Y. und Yoshihara T. (2002): Magnetic resonance imaging application to live horse for diagnosis of tendinitis. *J Vet Med Sci* 64, 577-82
- Kleiter M., Kneissl S., Stanek C., Mayrhofer E., Baulain U. und Deegen E. (1999): Evaluation of magnetic resonance imaging techniques in the equine digit. *Vet Radiol & Ultrasound* 40, 15-22
- Liem L. K., Rigamonti D., Wolf A. L., Robinson W. L., Edwards C. C. und Di Patri A. (1994): Thoracic epidural abscess. *J Spinal Disord.* 7, 449-54
- Makiuchi T., Kondo, T., Shinoura, N., Yamakawa, K. und Koido, T. (1993): Multiple meningiomas of thoracic spinal cord: report of two cases. *No Shinkei Geka.*, 21, 89-93
- Martinelli M. J., Kuriashkin I. V., Carragher B. O., Clarkson R. B. und Baker G. J. (1997): Magnetic resonance imaging of the equine metacarpophalangeal joint: three-dimensional reconstruction and anatomic analysis. *Vet Radiol & Ultrasound* 38, 193-9
- Muleya J. S., Taura Y., Nakaichi, M., Nakama, S. und Takeuchi A. (1997): Appearance of canine abdominal tumors with magnetic resonance imaging using a low field permanent magnet. *Vet Radiol & Ultrasound* 38, 444-447
- Rienmüller R. (1990): Kardiopulmonales Gefäßsystem. In: Lissner und Fink; Radiologie II- Lehrbuch für den 2. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung, das Praktische Jahr und die fachärztliche Weiterbildung. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- Samii V. F., Biller D. S. und Koblik P. D. (1999): Magnetic resonance imaging of the normal feline abdomen: an anatomic reference. *Vet Radiol & Ultrasound* 40, 486-490
- Sanders S. G., Tucker R. L., Bagley R. S. und Gavin P. R. (2001): Magnetic resonance imaging features of equine nigropallidal encephalomalacia. *Vet Radiol & Ultrasound* 42, 291-6
- Stichnoth F. A. (1994): MR-Tomographie. Technische Grundlagen und klinische Aspekte. 2. Auflage, Blackwell Wissenschafts- Verlag GmbH, Berlin
- Widmer W. R., Buckwalter K. A., Hill M. A., Fessler J. F. und Ivancevich S. (1999): A technique for magnetic resonance imaging of equine cadaver specimens. *Vet Radiol & Ultrasound* 40, 10-4
- Whitton R. C., Murray R. C., Buckley C., Goodship A. E. und Lekeux P. (1999): An MRI study of the effect of treadmill training on bone morphology of the central and third tarsal bones of young Thoroughbred horses. *Equine- Veterinary- Journal, No. Suppl.*30, 258-261
- Yamada K., Miyahara K., Sato H., Nakayama W., Sato M., Hirose T., Kato H., Ikehira H., Tateno Y., Sugihara H. und Furuhashi K. (1996): Contrast-enhanced MRI with gadodiamide injection in rat disease models. *J Vet Med Sci* 58, 291-295

Dr. Judith Fitz
Prof. Dr. H. Gerhards
Klinik für Pferde der LMU München
Veterinärstraße 13
80539 München
gerhards@lmu.de