

Magnetresonanztomographische Untersuchungen der Hufregion am stehenden Pferd

Volker Sill¹, Annett Skorka², Hartmut Gerhards³ und Kerstin Gerlach⁴

Tierärztliche Klinik für Pferde Dr. W. Jahn und Dr. V. Sill Bargtheide¹, Tierärztliche Praxis für Pferde Dr. M. Schwan Norderstedt², Klinik für Pferde der Ludwig-Maximilians-Universität München³ und Chirurgische Tierklinik der Universität Leipzig⁴

Zusammenfassung

Von 203 magnetresonanztomographisch (MRT) im Niederfeldmagneten untersuchten lahmen Pferden wurde je ein Huf ausgewertet. Einbezogen wurden nur Pferde, bei denen die Lahmheitsursache durch diagnostische Anästhesien auf die Hufregion eingegrenzt werden konnte. Die klinische Relevanz der festgestellten Befunde wurde entsprechend den Resultaten der röntgenologischen Untersuchung und den Ergebnissen der diagnostischen Anästhesien (Tiefe Palmarnerven-anästhesie, Mittlere Palmarnerven-anästhesie, Hufgelenkanästhesie) bewertet. 55,2 % der Patienten mit einem oder mehreren MRT-Befunden wiesen keinen pathologischen Röntgenbefund auf. Somit war in diesen Fällen erst durch die MRT eine Diagnosestellung möglich. 35,8 % der Pferde wiesen sowohl einen pathologischen MRT-Befund als auch einen korrespondierenden Röntgenbefund auf. Damit konnte die Röntgendiagnose gestützt und durch zusätzliche Weichteilbefunde oder röntgenologisch nicht sichtbare Befunde, wie ödemähnliche Veränderungen oder Sklerose des Knochens, ergänzt werden. Nur in 7,3 % der Fälle ließ sich weder durch die MRT noch durch die Röntgenuntersuchung eine Diagnose stellen. Pferde mit positiver Anästhesie des Hufgelenkes wiesen in nur 29,3 % der Fälle einen intraartikulären MRT-Befund auf. Viele im MRT nachgewiesene Veränderungen konnten außerhalb des Hufgelenkes festgestellt werden. Als die am häufigsten auftretende Veränderung im Weichteilbereich bei 44,3 % der Pferde stellten sich Tendopathien und Insertionstendopathien der Tiefen Beugesehne (TBS) dar. Andere Weichteilbefunde traten als Schäden der Ligg. collaterale des Hufgelenkes (15,8 %), Schäden am distalen Bandapparat des Strahlbeines (Lig. distale impar) (2 %) sowie an der Bursa podotrochlearis (32 %) auf. Zusätzlich konnten Hufbeinfrakturen, Keratome, eine Hufbeininfektion und zystoide Defekte im Hufbein beschrieben werden. Die MRT am stehenden Pferd stellt damit eine wertvolle diagnostische Hilfe mit im Vergleich zu Hochfeldmagneten genügender Bildqualität dar. Die MRT nimmt insbesondere in der Hufregion wegen der mangelnden Zugänglichkeit für die Ultraschalluntersuchung einen festen Platz in der orthopädischen Diagnostik ein. Durch präzise Diagnosestellung ist eine zielgerichtete Therapie und exaktere Prognosestellung möglich.

Schlüsselwörter: MRT, Huf, Pferd, Podotrochlose, Podarthrose, Bildgebende Diagnostik

Magnetic Resonance Imaging in the foot region of the standing horse

One foot of 203 horses with diagnosed palmar foot pain (digital palmar nerve block and/or distal interphalangeal joint block positive) were examined in a standing position with lowfield MRI. The clinical significance of the MRI findings was evaluated statistically in comparison to the results of the diagnostic anaesthetics and the radiological findings. In 55,2 % of the patients were diagnosed with more than one pathologic finding in MRI with no changes on radiographs. 35,8 % of the horses with a radiologic diagnosis showed additional soft tissue injuries, oedema-like findings or sclerosis in the bone in MRI. Just 7,3 % of the cases showed no abnormalities in both MRI and radiography. Only 29,3 % of the MRI findings in horses with positive distal interphalangeal joint blocks were located intraarticularly. The majority of the pathological findings were extraarticular. The most frequent soft tissue injuries were pathologic changes in the deep digital flexor tendon and/or its insertion (44,3 %) followed by injuries to the collateral ligament of the distal interphalangeal joint (15,8 %), changes in the distal sesamoidean impar ligament (2 %) and abnormalities of the podotrochlear bursa (32 %). Other findings were distal phalanx fractures, keratomas, infections and cyst like lesions of the distal phalanx. For horses with palmar foot pain MRI provides more detailed information than radiography alone in a region that is hard to examine ultrasonographically. It helps to improve selection of adequate therapy and prognosis for injuries in this region.

Keywords: MRI, foot, horse, navicular disease, arthritis, distal interphalangeal joint, imaging technique

Einleitung

Die magnetresonanztomographische Untersuchung des Pferdes ist seit den 90er Jahren beschrieben und wurde zunächst ausschließlich am narkotisierten Pferd mit humanmedizinischen Geräten durchgeführt. Im Jahre 2002 wurde ein offener Niederfeldmagnet speziell für Pferde entwickelt, der Equine Limb Scanner von Hallmarq[®]. Seit 2003 wird das weiterentwickelte Gerät auch in Deutschland routinemäßig eingesetzt. Vorteile der Untersuchung am stehenden Pferd bestehen zum einen in dem deutlich niedrigeren Preis des Niederfeldmagneten im Vergleich zum Hochfeldmagneten und zum anderen im Wegfall von Kosten und Risiken einer Narkose. Die Podotrochlose ist eine progressiv verlaufende, häufig

beidseitige Erkrankung des Strahlbeines und seiner unterstützenden Weichteilgewebe. Im englischen Sprachgebrauch haben sich in den letzten Jahren die Begriffe „Navicular Syndrome“, „Equine Palmar Syndrome“ und „Palmar foot pain“ ausgeprägt. Diese Begriffe tragen der Tatsache Rechnung, dass nicht jede Lahmheitsverursachende Veränderung im Hufrollenbereich, sondern auch in dicht benachbarten anderen knöchernen und Weichteilstrukturen des Hufes lokalisiert sein kann (Dyson et al. 2003a, Dyson et al. 2003b, Dyson and Murray 2004, Kristoffersen et al. 2004, Boado et al. 2005, Dyson et al. 2005, Rijkenhuizen 2006, Murray et al. 2006 a). Der klassischen Diagnostik von Podotrochlose und anderen Erkrankungen in der Hufregion sind trotz weitentwickelter Röntgentechnik, Ultrasonographie und diagnostischer

Anästhesie Grenzen gesetzt. Durch die Möglichkeit der Weichteilabbildung sowie die Darstellung pathologischer Veränderungen der Gewebe eröffnet die MRT eine neue Dimension orthopädischer Diagnostik in der Pferdemedizin (O'Callaghan 1991, Busoni et al. 2005, Murray et al. 2006 a).

Die gängige Praxis der Hufgelenkanästhesie und darauffolgender Behandlung des Gelenkes führt im Falle falsch positiver Anästhesie oft zur Fehltherapie. Es wird untersucht, wie oft positiv auf die Hufgelenkanästhesie reagierende Pferde magnetresonanztomographische Veränderungen aufweisen, die nicht den anatomischen Strukturen des Hufgelenkes zuzuordnen sind.

Das Ziel der Studie bestand in der Beschreibung der Häufigkeitsverteilung von pathologischen MRT Befunden und deren Korrelation mit Veränderungen im Röntgenbild. Schwerpunkt sollte eine Einschätzung des diagnostischen Wertes der MRT im Vergleich zum diagnostischen Wert der Hufgelenkanästhesie in Hinblick auf eine Hufgelenk- bzw. Hufrollenerkrankung sein.

Tiere und Methoden

Von insgesamt 203 kernspintomographisch untersuchten Pferden wurde jeweils eine Gliedmaße in die Auswertung einbezogen. Alle Pferde waren Patienten der Tierärztlichen Klinik für Pferde Bargteheide aus den Jahren 2004 und 2005. Bei 28 Pferden traten auch an der kontralateralen Gliedmaße Lahmheiten auf, es wurde aber jeweils nur die primär erkrankte Extremität in die Auswertung einbezogen.

Das Patientengut setzte sich aus 119 Warmblutpferden, 14 Ponys, zehn Quarter Horses, fünf Trabern, zwei Vollblutpferden, sechs Partbreds und 47 sonstigen Pferden zusammen. Die Nutzungsrichtung lag schwerpunktmäßig bei Dressur- und Springpferden. Bei der Altersverteilung der Patienten war eine Häufung der Pferde in mittlerem Alter von 5–15 Jahren zu verzeichnen. Das Durchschnittsalter aller untersuchten Pferde betrug neun Jahre.

Alle in die Studie eingeschlossenen Pferdegliedmaßen unterlagen dem Einschlusskriterium Lahmheit einer oder beider Vorder- bzw. Hintergliedmaßen. Bei 154 Pferden lag ein positives Anästhesiergebnis der Tiefen oder Mittleren Palmarnerveanästhesie (TPA und MPA) und/oder einer positiven Hufgelenkanästhesie vor.

Von 165 der 203 untersuchten Pferde lagen Röntgenbilder (seitliche Zehenübersichtsaufnahme, Hufrollenaufnahme nach Oxspring) der distalen Gliedmaße vor. Diese Patienten

wurden in zwei Gruppen eingeteilt, um das Ergebnis von Kernspin- und Röntgenbefunden zu vergleichen.

Gruppe 1: Gliedmaßen mit MRT-Befund in der Hufregion

1.a mit Röntgenbefund

1.b ohne Röntgenbefund

Gruppe 2: Gliedmaßen ohne MRT-Befund in der Hufregion

2.a mit Röntgenbefund

2.b ohne Röntgenbefund

Alle Pferde wurden mit dem Niedrigfeld-Kernspintomographen (0,27 Tesla) Hallmarq Veterinarian Limb Scanner der Firma Hallmarq (Guildford, England) untersucht. Bevor die Pferde in den Untersuchungsraum gebracht wurden, erhielten sie eine Sedation mit Domosedan® (20-40 µg/kg) und Vetranquil® (0,05-0,1 mg/kg). Je nach Länge der Untersuchung wurden die Pferde bei Bedarf nachsediert. Sehr unkooperative Patienten wurden zusätzlich mit Torbugesic® (0,01-0,02 mg/kg) ruhig gestellt.

Die zu untersuchende Gliedmaße wurde zentral jeweils so im Magneten platziert, dass sich das Strahlbein immer im Zentrum des Magneten befand. Die Schnittebenen waren sagittal, transversal, frontal und der parallel zur Sohlenfläche verlaufende Horizontalschnitt (Tab. 1).

Ergebnisse

90,6 % aller 203 für die MRT-Untersuchung selektierten Patienten wiesen einen oder mehrere MRT-Befunde in der Hufregion auf. Bei 9,4 % der Patienten konnte kein Befund erhoben werden. Insgesamt war festzustellen, dass bei 65 % des Patientengutes knöcherne, bei 71,9 % Weichteilveränderungen vorlagen. Diese konnten in der Regel weder röntgenologisch noch sonographisch dargestellt werden. Von 38 Patienten lagen keine Röntgenbilder vom überweisenden Tierarzt vor, so dass nur 165 Pferde hinsichtlich der Korrelation von MRT- und Röntgenbefunden beurteilt werden konnten.

In Abb. 1 sind die Ergebnisse des Vergleiches zwischen MRT und Röntgen abgebildet. Dabei nehmen die Patienten mit MRT-Befunden den höchsten Stellenwert ein. Diese Befunde besitzen kein röntgenologisches Korrelat. Es folgen die Pferde, die bei beiden bildgebenden Methoden Veränderungen aufwiesen.

MRT-Befunde im Sinne einer Podarthrose

49 von 203 Patienten (24,1 %) wiesen eine Veränderung im Hufgelenk auf. Hier wurden Befunde erfasst, die das Hufge-

Tab. 1 MRT-Sequenzen / MR sequences

Sequenz Wichtung	TR	TE	Schichtdicke (mm)	Abstand (m)	FOV (cm)	Matrixgröße
GRE 3D T1	23	7	4,0		16,9x16,9	256x256
GRE 3D T2*	34	13	4,0		16,9x16,9	256x256
GRE T1	97	8	5,0	0,5	16,9x16,9	256x256
GRE T2*	130	13	5,0	0,5	16,9x16,9	256x256
FSE T2	1800	30	5,0	0,5	16,9x16,9	256x256
FSE STIR	1800	28	5,0	0,5	19,1x19,1	256x256

TR: Time to repeat, TE: Time to echo, FOV: Field of view, GRE: Gradientenechosequenz, FSE: Fastspinechosequenz,

lenk und die Kollateralbänder dieses Gelenkes betrafen. 5,9 % der Tiere zeigten eine deutliche Füllung des Hufgelenkes, die in der T2w sagittalen Aufnahme beurteilt wurde. Inkongruenzen im Hufgelenk ließen sich am besten im Frontalschnitt beurteilen. In elf von 203 Fällen (5,4 %) stellte sich der Hufgelenkspalt im lateromedialen Vergleich ungleichmäßig breit dar. Hier wurde auf eine lotrechte Positionierung der Gliedmaße im Magneten geachtet, um stellungsbedingte Fehlinterpretationen der Kongruenz des Hufgelenkes zu vermeiden. In Einzelfällen konnten Adhäsionen bzw. Fibrosen im Kapselbereich des Hufgelenkes befundet werden. Hufbeinveränderungen, welche in Verbindung mit dem Hufgelenk standen, waren bei 17,7 % der Patienten zu verzeichnen. Meist handelt es sich hier um zystoide Defekte im Hufbein und Insertionsdesmopathien der Kollateralbänder des Hufgelenkes.

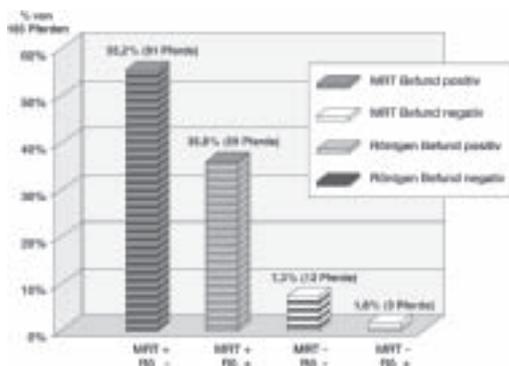


Abb. 1 Korrelation von erhobenen MRT-Befunden und erhobenen Röntgenbefunden.
Correlation between MRI and radiographic findings.

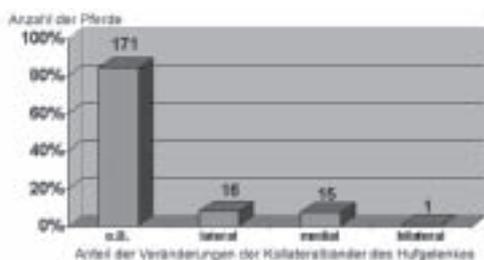


Abb. 2 Statistische Verteilung von Kollateralbandbefunden am Hufgelenk der 203 untersuchten Pferde.
Collateral ligament findings of the DIP joint of 203 patients in percent.

In 15,8 % der Fälle war eine Veränderung der Kollateralbänder des Hufgelenkes zu erkennen, welche zu 7,9 % das laterale, zu 7,4 % das mediale und in 0,5 % der Fälle beide Kollateralbänder betraf (Abb. 2).

Schäden an den Kollateralbändern des Hufgelenkes wurden als asymmetrische Verdickung des Bandes und/oder erhöhte Signalintensität definiert (Abb. 3a und 3b).

MRT-Befunde im Sinne einer Podotrochlose bzw. des Equine Palmar Foot Syndrom

78,3 % der MRT-Patienten wiesen Veränderungen der Hufrolle in der Kernspintomographie auf. Folgende Befunde wurden

der Hufrolle zugeordnet: Befunde am Strahlbein, Befunde der Bursa podotrochlearis, Befunde der Tiefen Beugesehne (TBS) proximal der Insertion bis zur proximalen Strahlbeinregion und solche der Insertion der TBS.

Strahlbeinbefunde

Von den 203 im MRT untersuchten Pferden war in 50,7 % der Fälle ein Strahlbeinbefund zu erheben. Diese gliederten sich auf in röntgenologisch darstellbare Befunde wie Substanzverluste im Bereich der Canales sesamoidales, zystoide Defekte, Kortikalisschäden an der Sehngleitfläche, Sklerose und Fissur oder Fraktur. Weiterhin konnten röntgenologisch nicht sichtbare Veränderungen wie Strahlbeinödem oder Bandansatzerkrankungen dargestellt werden.



Abb. 3a T1w Koronarschnitt eines 15-jährigen Friesienhengstes, einseitige signalarme Zone im proximalen Hufbein als Sklerose im Insertionsbereich des medialen Kollateralbandes zu werten.
T1w dorsal section of the foot of a 15 year old Frisian stallion. There is a decreased signal in the proximal P3 that can be interpreted as a sclerosis in the insertion of the medial collateral ligament.



Abb. 3b T1w Frontalschnitt einer 13-jährigen Hessianstute, im proximalen Kollateralbandbereich einseitig eine Verdickung des Bandes mit signalreichen Arealen im Sinne einer Desmopathie des medialen Kollateralbandes.
T1w frontal section of a 13 year old Hessian mare. It shows thickening of the proximomedial collateral ligament with areas of increased signals indicating a desmitis.

Befunde am Strahlbein-Hufbeinband (Ligamentum distale impar) traten in 2 % der Fälle auf. Sie erschienen als Prozesse im Knochen wie ödemähnliche Veränderungen oder Sklerose im Ursprungsbereich am Strahlbein oder im Ansatzbereich des Hufbeines. Das Strahlbein-Fesselbeinband wurde ausschließlich zur Beurteilung vom Füllungszustand des Huf-

gelenkes und der Bursa podotrochlearis herangezogen. Es wurden keine kernspintomographischen Befunde des Strahlbein-Fesselbeinbandes festgestellt. Die Beurteilung der MRT-Befunde bezüglich verringerter bzw. erhöhter Signalintensität erfolgte im Vergleich zur Signalintensität der Umgebungsluft der Gliedmaße. Hilfsweise erfolgten auch Vergleiche der Signalintensität zu unverändertem Nachbarknochen oder zur kontralateralen Gliedmaße.



Abb. 4 Sagittale STIR-Sequenz einer 5-jährigen Hannoveranerstute, diffuse ödemähnliche Läsion im Strahlbein.
Sagittal STIR sequence of a 5 year old Hannoverian mare with generalized oedema in the distal sesamoid bone.

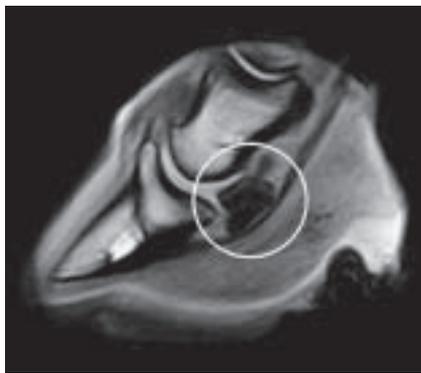


Abb. 5a T1w Sagittalschnitt einer 7-jährigen Holsteiner Stute, sklerosiertes Strahlbein. Strahlbein signalärmer als anderer Knochen, was durch eine verdichtete Knochenstruktur und damit verringertem Fettgehalt des Knochenmarkes mit entsprechend niedriger Signalintensität hervorgerufen wird.
T1w sagittal section of a 7 year old Holsteiner mare. Image shows a decreased signal in the distal sesamoid bone due to a thickened bone structure and therefore less fat content in the bone marrow.



Abb. 5b T2w Sagittalschnitt des gleichen Pferdes, Strahlbein sklerotisch.
Sclerosis of the distal sesamoid bone. Both images show a decreased signal in the distal sesamoid bone due to a thickened bone structure and therefore less fat content in the bone marrow.

Von den 203 untersuchten Pferden wiesen 23,6 % ein Strahlbeinödem (Edema-like lesion) als Einzelbefund auf. Es kam sowohl partiell als auch das gesamte Strahlbein betreffend vor (Abb. 4). Dieser Befund ließ sich in der röntgenologischen Untersuchung nicht darstellen, wurde andererseits aber häufig im MRT festgestellt: Bei 13,3 % der Pferde trat ein Strahlbeinödem in Verbindung mit einer Strahlbeinsklerose auf. Bei einem Patienten war es mit einer Strahlbeinzyste kombiniert. 8,4 % zeigten eine Strahlbeinsklerose als Einzelbefund (Abb. 5a und b). Diese Sklerosen konnten röntgenologisch in der Hufrollenaufnahme nach Oxspring nicht, in der Skyline-Aufnahme aber gut nachvollzogen werden.

2,5 % der Pferde wiesen ein Zystoid im Strahlbein auf (Abb. 6a und b).

Strahlbeinfrakturen waren röntgenologisch deutlich darstellbar und bedurften insofern nur in uneindeutigen Fällen, z.B. bei Strahlbeinfissuren, einer kernspintomographischen Abklärung.

Non-union Frakturen/Fragmente am Margo distalis des Strahlbeines sind isolierte knöcherne Strukturen und stellen sich in der MRT als signalarme umschriebene Areale am distalen Strahlbeinrand vor allem im Sagittalschnitt dar (Abb. 7). In der Oxspring-Aufnahme fallen sie als isolierte Verschattungen am distalen Strahlbeinrand auf, welche röntgenologisch häufig nur undeutlich sichtbar und hinsichtlich ihres Ursprunges nicht eindeutig identifizierbar waren.

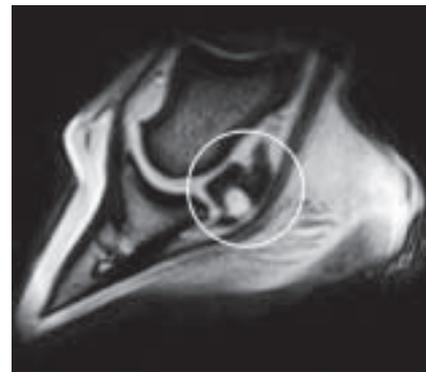


Abb. 6a T2w Sagittalschnitt eines 11-jährigen Pintowallachs mit runder signalreicher Läsion im Strahlbein im Sinne eines Zystoides.
T2w sagittal section of a cyst like lesion in the central portion of the distal sesamoid bone of an 11 year old Pinto gelding.



Abb. 6b T2w Transversalschnitt des gleichen Pferdes mit einem Zystoid im Strahlbein.
T2w sagittal section of the same horse with a cyst like lesion.

Bursa podotrochlearis

Von den 203 untersuchten Pferden wiesen 32 % abweichende Bursabefunde auf. Dabei wurde bei 2 % ein erhöhter Füllungsstatus (Abb. 8) und bei 29,6 % eine Adhäsion mit dem Strahlbein bzw. der TBS festgestellt (Abb. 9), die sich durch ein verringertes Signal zwischen Strahlbein und TBS darstellte und somit ein kapillärer signalintensiver Saum, gebildet von der Bursa Podotrochlearis, fehlte.



Abb. 7 T1w Sagittalschnitt, isolierte hypointense Areale in der distalen Strahlbeinregion, in Röntgenbildern nur undeutlich erkennbar.
T1w sagittal section of a horse with non unions in the distal region of the navicular bone which can hardly be seen on x-rays.

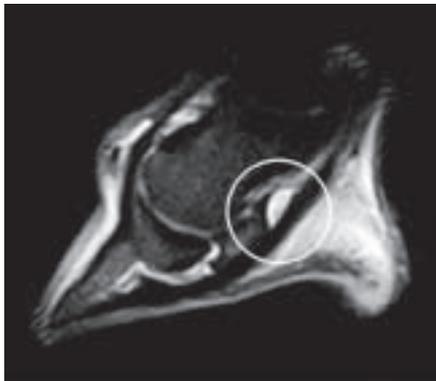


Abb. 8 T2w Sagittalschnitt eines 6-jährigen Holsteiner Hengstes, konkave Ablenkung des Strahlbein-Fesselbeinbandes nach dorsal im Sinne einer Bursaeffusion.
T2w sagittal section of a 6 year old Holsteiner stallion shows an elevation of the collateral sesamoidean ligament due to a filling of the podotrochlear bursa.

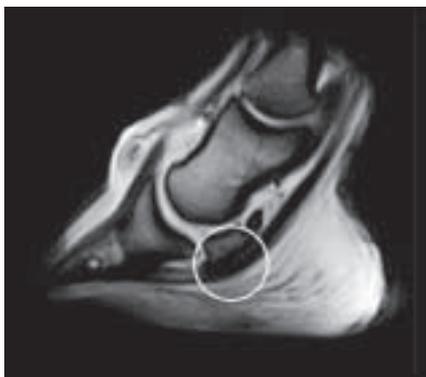


Abb. 9 T2w Sagittalschnitt einer 10-jährigen Mecklenburger Stute, verringertes Signal zwischen Strahlbein und TBS im Sinne einer partiellen Adhäsion im Bereich der Bursa podotrochlearis.
T2w sagittal section of a 10 year old Mecklenburger mare with a decreased signal between navicular bone and DDFT due to a partial adhesion in the navicular bursa

Tiefe Beugesehne

44,3 % des Patientengutes wiesen eine Tendinitis der TBS auf. Dabei lagen in 13,8 % geringgradige Schäden (Ausmaß im Transversalschnitt unter 10 %), in 4,9 % mittelgradige Sehnenbeschäden (11-30 % des Sehnenquerschnittes betroffen) und in 6,9 % hochgradige Schäden (mehr als 30 % des Sehnenquerschnittes betroffen) vor. Die Einteilung des Schadengrades der TBS wurde nach persönlichem Ermessen vorgenommen.

Insertion der TBS

Pathologische Befunde in diesem Bereich konnten bei 17,2 % der Pferde nachgewiesen werden (Abb. 10a und b). Hier wurden im T2 gewichteten Transversalschnitt signalintensive Areale des Insertionsbereiches im Sinne von Teilausrissen bis hin zu kompletten Abrissen der TBS am Hufbein festgestellt.

Sonstige MRT-Befunde

Hufbeinfrakturen kamen bei 2,5 % der Pferde im Hufbeinastbereich vor. Sagittalfrakturen wurden nicht nachgewiesen. In

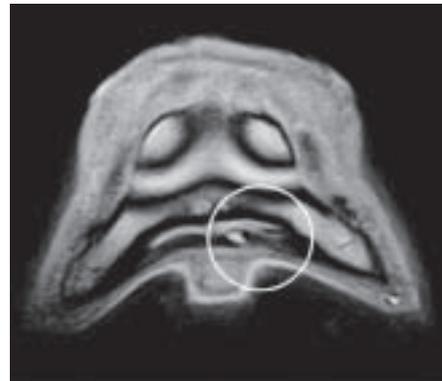


Abb. 10a T1w Transversalschnitt einer 10-jährigen Mecklenburger Stute, Insertionsdesmopathie der Tiefen Beugesehne.
T1w transversal section of a 10 year old Mecklenburger mare shows a lesion in the DDFT at the area of insertion to P3. There is an increased signal in the DDFT in both sections.

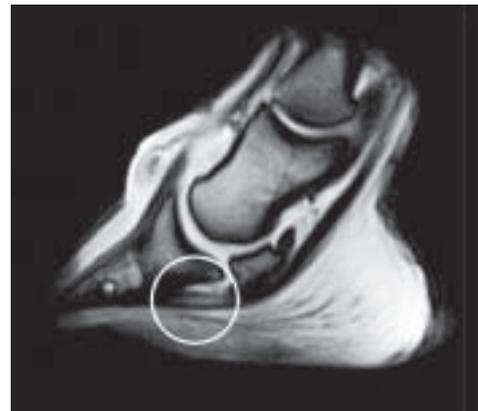


Abb. 10b T2w Sagittalschnitt des gleichen Pferdes, Defekt in der Sehne durch eine erhöhte Signalintensität im Insertionsbereich gekennzeichnet.
T2w section of the same horse with lesion in the DDFT at the area of insertion to P3. There is an increased signal in the DDFT.

einem Fall wurde eine Kernspintomographie bei einem Pferd mit einer lokalen septischen Osteitis des Hufbeines durchgeführt. Die Kontur des signalarmen Hufbeines war unterbrochen, eine konkave Zone mit Signalverstärkung im dorsolateralen Hufbein wies auf einen entzündlichen Prozess hin.

Befunde im Kronbein bei 3,4 % wurden nur berücksichtigt, wenn sie in Verbindung mit der Huf- bzw. Hufgelenkregion standen. Dazu zählten zystoide Defekte im subchondralen distalen Kronbein bei 1,5 % der Pferde. Befunde am Krongelenk blieben unberücksichtigt.

In zwei Fällen wurden signalreiche Areale im Ursprungsbe- reich der Kollateralbänder des Hufgelenkes oder im subchondralen distalen Kronbein festgestellt (edema like lesions). Diese gingen häufig mit einer Bandansatzerkrankung der Kollateralbänder bzw. mit lytischen oder sklerotischen Prozessen des subchondralen Knochens (beginnende zystoide Defekte, okkulte Spongiosafraktur) einher.

Von den insgesamt untersuchten 203 Pferden lagen Anästhesieergebnisse von 154 Pferden (75,9 %) vor. Die Mehrzahl der Patienten mit durchgeführten diagnostischen Anästhesien (85,1 %, [131/154]) zeigten ein positives Ergebnis der Tiefen Palmarnerven-anästhesie. 26,6 % (41/154) der Pferde sprachen positiv auf die Hufgelenkanästhesie an, 9,1 % (14/154) waren nach durchgeführter Mittlerer Palmarnerven-anästhesie lahmfrei.

Pferde, die positiv auf die Hufgelenkanästhesie reagierten, hatten neben Hufgelenkbefunden im MRT in 90,2 % (37 von 41 Patienten) der Fälle zusätzlich oder ausschließlich einen Hufrollenbefund. Als solcher wurden Befunde des Strahlbeines, der Bursa podotrochlearis, der TBS und der Insertion der TBS gewertet.

Patienten mit positiver Hufgelenkanästhesie (41) wiesen in zwölf Fällen einen MRT-Befund im Hufgelenk auf (29,3 %) (Tab. 2). Setzt man die im MRT erhobenen Befunde im Hufgelenkbereich als Goldstandard, ergibt sich eine Sensitivität von 24% und eine Spezifität von 81 % für die Anwendung der Hufgelenkanästhesie. Pferde die schon ein- oder mehrmalig in das Hufgelenk vorbehandelt waren, zeigten im MRT zu 84,3 % (43 von 51 Patienten) einen Hufrollenbefund (Tab. 3).

Die Auswertung der durchgeführten diagnostischen Anästhesien im Hufbereich lässt erkennen, dass die Mehrzahl der Pferde positiv auf die TPA reagierten. Ca. ein Drittel der TPA-positiven Pferde war sowohl TPA- als auch positiv im Hufgelenk. Einzelne Pferde waren TPA-negativ, aber hufgelenkpositiv.

Wiederum einzelne Pferde mit Lahmheitsursache in der Hufregion waren erst durch die MPA lahmfrei. Die Anästhesie wurde als positiv gewertet, wenn sie überwiegend positiv, d. h. allenfalls mit geringgradiger Restlahmheit ausfiel.

Diskussion

Magnetresonanztomographische Untersuchungen weisen eine hohe Sensitivität und Spezifität für die Auffindung der Strukturen in der Hufregion auf. Der große Vorteil des MRI ist der überragende Weichteilkontrast, den keine andere bildgebende Methode aufweist. Somit werden Weichteilschäden im MRT sicher erkannt und wurden auch pathohistologisch von anderen Autoren verifiziert (Murray et al. 2006b, Blunden et al. 2006, 2009, Steenbuck 2010). Die MRT hat das Potential, solche Schäden im Frühstadium zu erkennen und damit die Therapie früh und zielgerichtet anzuwenden. Somit können Pferde mit geringen Schäden ohne manifeste Lahmheit frühzeitig sportlich ruhiggestellt werden, um eine Ausweitung der Läsion zu vermeiden (Kotani et al. 2000). Der Schweregrad der Läsion und das bessere Verständnis der Pathogenese führen zu einer verlässlicheren Prognosestellung, was eine wertvolle Information hinsichtlich der Nutzbarkeit des Pferdes für den Besitzer darstellt (Blunden et al. 2006, Murray et al. 2006a, Sampson et al. 2009, Schäfer 2004, Schulze 2004, Schramme et al. 2005).

Durch die Entwicklung des Equine Limb Scanners wurde die MRT-Untersuchung am stehenden Pferd möglich (Mair und Kinns 2003). Vorteile der stehenden MRT sind der Wegfall des Narkose- und Aufstehrisikos, vor allem bei hochgradig lahmen Patienten, wie z.B. Pferden mit Fissur- oder Frakturverdacht.

Einen weiteren Vorteil bei Verwendung dieses Niedrigfeldmagneten stellt die physiologische Belastung und Stellung der zu untersuchenden Extremität dar, was eine realitätsgetreuere Abbildung als am liegenden Patienten ermöglicht. Als Nachteile der Untersuchung am stehenden Pferd gelten Bewegungsartefakte durch den sedierten schwankenden Patienten (Mair und Kinns 2003). Durch Verbesserung der Software in Form von Bewegungskorrekturprogrammen können diese Nachteile gegenüber der Untersuchung in Narkose weitgehend ausgeglichen werden (Mair und Kinns 2003, McKnight et al. 2004).

Die niedrigere Feldstärke des Niederfeldmagneten bedingt ein niedrigeres Signal-Rausch-Verhältnis, was zu einer schlechteren Auflösung der Bilder und zu längeren Untersu-

Tab. 2 Prozentuale Häufigkeit von Ergebnis der Hufgelenkanästhesie zu MRT- Befunden am Hufgelenk
Percental frequency of results of distal interphalangeal joint block compared to MRI-findings in the distal interphalangeal joint

Hufgelenkanästhesie	positiver MRT-Befund Hufgelenk	Kein MRT-Befund Hufgelenk	
Positiv (41 der Pferde)	29,3 % (n=12)	70,7 % (n=29)	Sensitivität 24%
Negativ (162 der Pferde)	22,8 % (n=37)	77,2 % (n=125)	Spezifität 81%

Tab. 3 Prozentuale Häufigkeit von Hufgelenkbehandlungen zu MRT-Befunden an der Hufrolle
Percental frequency of horses with history of distal interphalangeal joint treatment compared to MRI-findings in the navicular

Hufgelenksbehandlung ein oder mehrmalig	kein MRT-Befund Hufrolle	MRT- Befund Hufrolle
100 % (51 der Pferde)	15,7 % (n = 8)	84,3 % (n=43)

chungszeiten führt (Kraft und Gavin 2001, Tucker und Farrell 2001, Tucker und Sande 2001, Mair und Kinns 2005). Die Qualität der Bilder eines offenen Magnetsystems mit niedriger Feldstärke wird im Vergleich zu Bildern der Hochfeldmagnetresonanztomographie teilweise noch als mittelmäßig bezeichnet (Dyson und Ross 2003). Die Bildqualität hat sich jedoch durch Verbesserung der Hard- und Software derartig sprunghaft entwickelt, dass auch im Niederfeldmagneten bei entsprechender Protokollanwendung und Kenntnissen eine Diagnosestellung möglich ist (Mair und Kinns 2003, Weryp 2007).

Die Darstellung des hyalinen Gelenkknorpels im verwendeten Niederfeldmagneten mit den gefahrenen Sequenzen erlaubt keine sichere Beurteilung eventueller Chondropathien. Hier sind andere diagnostische Verfahren, wie Hochfeld-MRT, CT oder die diagnostische Arthroskopie der Niederfeldtechnik überlegen (Murray et al. 2007).

In den Jahren 2004 und 2005 wurden 231 MR-Tomographien der Hufregion an 203 Pferden durchgeführt. Bei 28 Pferden erfolgte auch eine Untersuchung der kontralateralen Gliedmaße. Dies war bei beidseitiger Lahmheit in der Hufregion oder zur vergleichenden Untersuchung von Befunden der erkrankten zur nicht erkrankten Gliedmaße indiziert. Diese Befunde wurden jedoch nicht in die Auswertung einbezogen, um eine statistische Unabhängigkeit der Untersuchungsmerkmale zu gewährleisten. Insofern lagen Befunde von 203 Gliedmaßen zur Auswertung für den Vergleich mit Röntgenbefunden vor.

Das Patientengut setzte sich aus überwiesenen Patienten zusammen, die in der Regel röntgenologisch und mit diagnostischen Anästhesien voruntersucht waren. 90,6 % der Patienten wiesen einen oder mehrere MRT-Befunde in der Hufregion auf. 35,8 % ließen einen korrespondierenden Röntgenbefund erkennen.

Hingegen wurde auch bei Pferden ohne besonderen Röntgenbefund in 55,2 % der Fälle ein MRT-Befund im Knochen- und/oder Weichteilbereich erhoben. Diese Ergebnisse unterstreichen den besonderen Wert einer MRT-Untersuchung der Hufregion. Die wesentlichen Vorteile dieses bildgebenden Verfahrens im von der Hornkapsel umschlossenen Hufbereich liegen dabei insbesondere in der parallelen Darstellbarkeit von Knochen- und Weichteilstrukturen (O`Callaghan 1991, Denoix 1994, Martinelli et al. 1996 a, Widmer et al. 2000, Tucker und Sande 2001, Hevesi et al. 2004, Murray et al. 2004, Schulze 2004, Weinberger 2004, Murray et al. 2006a).

Die hohe Prozentzahl von Pferden ohne Röntgenbefund mag auch an der Tatsache liegen, dass Pferde, die einen die Lahmheit erklärenden Röntgenbefund aufwiesen, häufig nicht der MRT-Untersuchung zugeführt wurden. Patienten mit MRT- und korrespondierendem Röntgenbefund kamen am zweithäufigsten vor. Hier bestätigte sich der bestehende Röntgenbefund durch die MRT, es wurden aber häufig zusätzliche Befunde im Weichteilbereich oder ödemähnliche Läsionen und/oder Sklerose der knöchernen Strukturen festgestellt. Patienten ohne Röntgen- und MRT-Befund kamen selten vor. Nur in 7,3 % der Fälle war weder durch die Röntgen- noch durch die MRT-Untersuchung eine Diagnosestellung möglich.

Bei 65 % des Patientengutes waren knöcherne MRT-Befunde festzustellen, die zum Teil röntgenologisch sichtbar waren. Dazu zählten Strukturverluste der Kortikalis oder der Spongiosa, osteophytäre Zubildungen und Frakturen. Röntgenologisch nicht darstellbar waren Befunde wie ödemähnliche Läsionen, dezente sklerotische oder subchondrale Veränderungen. In diesen Fällen wurde eine Diagnosestellung erst durch die Kernspintomographie möglich. Subtile Gewebeveränderungen könnten wegen der niedrigeren Auflösung der MR-Bilder und der Schnittschichtdicke von 5 mm übersehen worden sein.

Im MRT ließ sich bei 71,9 % der Patienten ein Weichteilbefund erheben, der röntgenologisch größtenteils unerkannt geblieben wäre. Pathologische Prozesse im Weichteilbereich der Hufrolle stellen eine wertvolle Information für den behandelnden Tierarzt dar, um eine zielgerichtete Therapie zu ermöglichen und die Prognose der an Podotrochlose erkrankten Patienten sicherer stellen zu können (Schneider et al. 2003, Murray et al. 2006 a). Die Bursa podotrochlearis ist röntgenologisch nicht darstellbar. Im MRT sind Adhäsionen zwischen der TBS und dem Strahlbein abbildbar. Ein erhöhter Füllungszustand der Bursa podotrochlearis ist durch die Ablenkung des Strahlbein-Fesselbeinbandes nach dorsal nachweisbar. Die Effusion der Bursa tritt oft in Kombination mit anderen Befunden auf und ist häufig Ausdruck einer chronisch-proliferierenden Synovitis.

Die Untersuchung der TBS im MRT ist über die gesamte Hufregion im Sagittal- und Transversalschnitt möglich. Hyperintense Areale im Sinne von core lesions sowie randständige Defekte in Form fibrillärer Auffaserungen (border lesions) als auch Längsaufspaltungen (sagittal splits) lassen sich detailliert kernspintomographisch abbilden. Die beste Darstellung gelingt im Transversalschnitt, hier sind auch quantitative Bestimmungen der Signalintensität und Größe des Sehnen Schadens möglich. Da 44,3 % der 203 untersuchten Patienten eine Läsion der TBS aufwiesen, hat die MRT in der Diagnostik von pathologischen Befunden der TBS in der Hufregion den höchsten diagnostischen Stellenwert, wie auch von anderen Autoren festgestellt wurde (Dyson et al. 2005, Kasashima et al. 2002, Murray et al. 2006 b).

TBS-Schäden stellen sich als umschriebenes oder diffuses hyperintensives Areal in einem oder beiden Sehnenchenkeln dar. Sie sind Ausdruck von Sehnenfaserrissen mit einhergehenden Blutungen, Gewebeödemen oder degenerativen fibrotischen bis knorpeligen Metaplasien der Sehne (Kasashima et al. 2002, Murray et al. 2004, Murray et al. 2006 b).

Einen Hufgelenkbefund wiesen 24,1 % der 203 Pferde auf. Von Dyson et al. (2005) wurden im Hochfeldmagneten bei 31 % von 199 Pferden ein Hufgelenkbefund im MRT festgestellt.

Die MRT stellt eine wichtige diagnostische Hilfe in Fällen von Desmopathien der Kollateralbänder des Hufgelenkes dar. Diese stellen sich kernspintomographisch durch Verbreiterung des Bandes, hyperintense Areale innerhalb des Bandes oder signalarme (sklerotische), bzw. signalreiche Areale (Ödem) im Ansatzbereich am Hufbein oder im Ursprungsbereich am Kronbein dar (Dyson und Murray 2004, Dyson und Murray 2007a).

In Einzelfällen konnten keine MRT-Befunde erhoben werden, obwohl ein Röntgenbefund bestand. Dies kann sich durch die röntgenologische Bewertung erweiterter Canales sesamoidales im Strahlbein als pathologischer Befund erklären. Im MRT stellten sich Patienten mit erweiterten Canales sesamoidales in Einzelfällen ohne weiteren Befund dar, wenn das Strahlbein keine Anzeichen eines akut entzündlichen Ödems oder eines chronisch sklerotischen Krankheitsprozesses zeigte. Hierbei stellt sich die Frage, ob die röntgenologische Beurteilung formveränderter Canales sesamoidales als pathologischer Befund zutreffend ist, wenn keine weiteren entzündlichen oder degenerativen Prozesse im MRT nachweisbar sind.

Die klassische Lahmheitsdiagnostik in der Hufregion gründet sich auf zwei Hauptpfeilern, der diagnostischen Anästhesie (TPA, Hufgelenkanästhesie) und der Röntgendiagnostik (Martinelli et al. 1996a, Dyson und Marks 2003). Bezüglich der diagnostischen Anästhesien ist folgendes festzustellen: Zwei Drittel des Patientengutes mit positiver TPA ließen im MRT einen oder mehrere Podotrochlose-Befunde erkennen und bestätigten damit die Lokalisation der Lahmheit im Hufrollenkomplex. Hingegen wurde nur in 29,3 % der Fälle das Ergebnis der Hufgelenkanästhesie bestätigt, indem sich im MRT eine Veränderung nachweisen ließ. Der Prozentsatz richtiger positiver Ergebnisse beträgt nur 24 %, wobei der Prozentsatz richtig negativer mit 81 % besser ausfällt. Diese Aussage wird durch Untersuchungen von Schumacher et al. (2000) unterstützt, bei denen die Verabreichung des Lokalanästhetikums ins Hufgelenk keine Aussage darüber zulässt, ob der Schmerz durch eine Podotrochloseerkrankung oder eine Hufgelenkerkrankung verursacht wird.

Über 80 % der Patienten, deren Hufgelenk ein- oder mehrfach vorbehandelt war, wiesen im MRT einen oder mehrere Befunde im Hufrollenbereich auf. Hieraus kann abgeleitet werden, dass das positive Ergebnis der Hufgelenkanästhesie häufig zur Fehlannahme einer Gelenkentzündung führt. Von dieser Annahme ausgehend schließt sich therapeutisch in der Regel eine intraartikuläre Behandlung an. Diese wird dann in einigen Fällen nicht zum gewünschten therapeutischen Erfolg führen, wenn der Ort der Erkrankung eben nicht das Hufgelenk, sondern der Hufrollenbereich ist und somit eine andere Therapie erfordert.

Eine Erklärung stellt die Diffusion des Lokalanästhetikums aus dem Gelenk (Dyson 1998) in die Peripherie der Nn. digitales palmares dar, was insbesondere bei längerer Einwirkungszeit des Lokalanästhetikums (> 5 min) auftritt und zu einem falsch positiven Ergebnis der Hufgelenkanästhesie führt.

Weiterhin stellt die Zuordnung des Strahlbeines zum Hufrollenkomplex eine Erklärung dar. Strahlbeinerkrankungen, die in Verbindung zum Hufgelenk stehen, wurden in dieser Arbeit dem Podotrochlosesyndrom zugeordnet, können aber sehr wohl anatomisch/physiologisch dem Hufgelenk zugeordnet sein. Bezüglich der intraartikulären Behandlung von Hufgelenkerkrankungen nach durchgeführter Hufgelenkanästhesie liefert die MRT wertvolle zusätzliche Informationen, ob eine intraartikuläre Therapie des Hufgelenkes sinnvoll und erfolgversprechend ist. Befindet sich die Erkrankung im extraartikulären Hufrollenkomplex, bedarf sie einer anderen Therapie. Insofern sollte der diagnostische Wert der Anästhesie der

Gelenke sehr kritisch bewertet werden (Dyson 1998, Dyson und Marks 2003).

Einzelne Pferde mit nachweislichen Befunden im Hufrollenbereich reagierten nicht oder nicht vollständig positiv auf die TPA, sondern erst positiv auf die MPA. Dies war insbesondere bei hochgradigen Strahlbein- und TBS-Veränderungen sowie bei septischen Prozessen festzustellen. Insofern ergab hier die durchgeführte TPA falsch negative Ergebnisse. Der diagnostische Wert der TPA wird in diesen Fällen durch die MRT-Ergebnisse in Frage gestellt. Somit stellt diese Leitungsanästhesie nicht immer ein verlässliches Diagnostikum dar und sollte kritisch geprüft werden.

Die Anästhesie der Bursa podotrochlearis stellt kein spezifisches Diagnostikum dar, weil durch sie ein Schmerz in der Umgebung der Bursa nicht sicher auszuschließen ist. Nach Einwirkungszeit des Lokalanästhetikums von 10 min scheint die Bursaanästhesie spezifisch für einen schmerzhaften Prozess im Bereich der Bursa podotrochlearis zu sein. Veränderungen wie proliferative Synovialitis, Adhäsionen mit der TBS und dem Strahlbein sind im MRT sicher diagnostizierbar und differenzierbar (Schumacher et al. 2001). Nach Einwirkungszeit des Lokalanästhetikums von 20 min und länger kann eine Anästhesie der Bursa podotrochlearis auch schmerzhaft Prozesse im Hufgelenk betäuben (Schumacher et al. 2003). Nur in Fällen von Tendinitiden der TBS proximal des Strahlbeines wurde in Einzelfällen eine Sehnenscheidenanästhesie und nachfolgende Therapie mittels Sehnenscheideninjektion durchgeführt (Schneider et al. 2003).

Insgesamt lässt sich feststellen, dass sich die erhobenen Befunde in Verteilung und Aufkommen ähnlich denen an narkotisierten Pferden in Hochfeldgeräten verhalten (Dyson und Murray 2007a). Die Niedrigfeld-MRT stellt somit ein hervorragendes Untersuchungsverfahren für den Hufbereich dar, welches diagnostische Lücken von Röntgen, diagnostischer Anästhesie sowie Sonographie und Szintigraphie schließen kann. Dies hat insbesondere Bedeutung für die Früherkennung, zielgerichtete Therapie und Prognose von Erkrankungen im Hufbereich.

Literatur

- Blunden A., S. Dyson, R. Murray und M. Schramme (2006) Histopathology in horses with chronic palmar foot pain and age-matched controls. Part 2: The deep digital flexor tendon. *Equine Vet. J.* 38, 23-27
- Blunden A. S., R. C. Murray und S. J. Dyson (2009) Lesions of the deep digital flexor tendon in the digit: A correlative MRI and post mortem study in control and lame horses. *Equine Vet. J.* 41, 25-33
- Boado A., M. Kristofferson, S. Dyson und R. Murray (2005) Magnetic resonance imaging to diagnose chronic penetrating wounds in the equine foot. *Equine Vet. Educ.* 17, 62-68
- Busoni V., M. Heimann, J. Trenteseaux, F. Snaps und R. F. Dondelinger (2005) Magnetic resonance imaging findings in the equine deep digital flexor tendon and distal sesamoid bone in advanced navicular disease – an ex vivo study. *Vet. Radiol. Ultras.* 46, 279-286
- Denoix J. M. (1994) Diagnostic techniques for identification and documentation of tendon and ligament injuries. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 10, 365-407
- Dyson S. (1998) The puzzle of distal interphalangeal joint pain. *Satellite Article. Equine Vet. Educ.* 10, 119-125
- Dyson S. und D. Marks (2003) Foot pain and the elusive diagnosis. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 19, 531-565

- Dyson S., R. Murray, M. Schramme und M. Branch (2003 a) Magnetic resonance imaging of the equine foot: 15 horses. *Equine Vet. J.* 35, 18-26
- Dyson S., R. Murray, M. Schramme und M. Branch (2003 b) Lameness in 46 horses associated with deep digital flexor tendonitis in the digit: diagnosis confirmed with magnetic resonance imaging. *Equine Vet. J.* 35, 681-690
- Dyson S. J. und M. W. Ross (2003) Diagnosis and Management of Lameness in the Horse. St. Louis, Missouri, Saunders
- Dyson S. und R. Murray (2004) Collateral desmitis of the distal interphalangeal joint in 62 horses (January 2001-December 2003). *Proc. Am. Ass. Equine Pract.* 50, 248-256
- Dyson S. J., R. Murray und M. C. Schramme (2005) Lameness associated with foot pain: results of magnetic resonance imaging in 199 horses (January 2001-December 2003) and response to treatment. *Equine Vet. J.* 37, 113-121
- Dyson S. und R. Murray (2007a). Magnetic resonance imaging of the equine foot. *Clin. Tech. Equine Pract.* 6, 46-61
- Dyson S. und R. Murray (2007 b) Verification of scintigraphic imaging for injury diagnosis in 264 horses with foot pain. *Equine Vet J* 39, 350-355
- Hevesi A., C. Stanek, R. Garamvolgyi, Z. Petrasi, P. Bogner und I. Repa (2004) Comparison of the navicular region of newborn foals and adult horses by magnetic resonance imaging. *J. Vet. Med. A Physiol. Pathol. Clin. Med.* 51, 143-149
- Kasashima Y., A. Kuwano, Y. Katayama, Y. Taura und T. Yoshihara (2002) Magnetic resonance imaging application to live horse for diagnosis of tendinitis. *J. Vet. Med. Sci.* 64, 577-82
- Kotani H., Y. Taura, A. Sakai, T. Tsuka, Y. Kageyama und M. Nakaichi (2000) Antemortem Evaluation for Magnetic Resonance Imaging of the Equine Flexor Tendon. *J. Vet. Med. Sci.* 62, 81-84
- Kraft S. L. und P. Gavin (2001) Physical principles and technical considerations for equine computed tomography and magnetic resonance imaging. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 17, 115-30
- Kristoffersen M., S. Dyson, R. Murray und A. Boado (2004) Magnetic resonance imaging and scintigraphic findings in five horse with obscure lameness associated with penetrating injuries. *Proc. Am. Ass. Equine Pract.* 50, 320-327
- Mair T. S. und J. Kinns (2003) Magnetic resonance imaging of the distal limb of the standing horse: Technique and Review of 40 cases of foot lameness. 49th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners, New Orleans, Louisiana, 29-41
- Mair T. S. und J. Kinns (2005) Deep digital flexor tendonitis in the equine foot diagnosed by low-field magnetic resonance imaging in the standing patient: 18 cases. *Vet. Radiol. Ultras.* 46, 458-66
- Martinelli M. und N. W. Rantanen (2007) The relationship between nuclear scintigraphy and standing mri in 115 horses with lameness of the foot. *Handbook of Presentations 46th BEVA Congress*, 422
- Martinelli, M. und N. W. Rantanen (2007a) The diagnosis and treatment of collateral ligament injuries of the distal interphalangeal joint in 58 horses. *Handbook of Presentations 46th BEVA Congress 2007*, 147
- Martinelli M. J., G. J. Baker, R. B. Clarkson, J. C. Eurell, G. J. Pijanowski und I. V. Kuriashkin (1996a) Magnetic resonance imaging of degenerative joint disease in a horse: a comparison to other diagnostic techniques. *Equine Vet. J.* 28, 410-415
- McKnight A. L., A. Manduca, J. P. Felmllee, P. J. Rossmann, K. P. McGee und R. L. Ehmann (2004) Motion-correction techniques for standing equine MRI. *Vet. Radiol. Ultras.* 45, 513-519
- Murray R. C., B. L. Roberts, M. C. Schramme, S. J. Dyson und M. Branch (2004) Quantitative evaluation of equine deep digital flexor tendon morphology using magnetic resonance imaging. *Vet. Radiol. Ultras.* 45, 103-11
- Murray R. C., M. C. Schramme, S. J. Dyson, M. V. Branch und T. S. Blunden (2006 a) Magnetic resonance imaging characteristics of the foot in horses with palmar foot pain and control horses. *Vet. Radiol. Ultras.* 47, 1-16
- Murray R., A. Blunden, M. Schramme und S. Dyson (2006 b) How does magnetic resonance imaging represent histologic findings in the equine digit? *Vet. Radiol. Ultras.* 47, 17-31
- O'Callaghan M. W. (1991) Future Diagnostic Methods. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 7, 467-478
- Rijkenhuizen A. (2006) Navicular disease: a review of what's new? *Equine Vet. J.* 38, 82-88
- Sampson S. H., R. K. Schneider, P. Gavin und R. L. Tucker (2009) Magnetic Resonance Imaging Findings in Horses with Recent onset Navicular Syndrome but without radiographic Abnormalities. *Vet. Radiol. Ultras.* 40, 339-346
- Schäfer C. (2004) Strahlbeinzyste beim Pferd. *pferde spiegel* 2, 16-19
- Schneider R. K., P. R. Gavin und R. L. Tucker (2003) What MRI is Teaching us about Navicular Disease. 49th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners, 6
- Schramme M., R. Murray, A. Blunden und S. Dyson (2005) Comparison between MRI, pathology and radiology in 34 limbs with navicular syndrome and 25 control limbs. *Proc. Am. Ass. Equine Pract.* 51, 348-358
- Schulze T. (2004) Kernspintomographie im Ansatzbereich der TBS. *pferde spiegel* 4, 6-11
- Schumacher J., R. Steiger, J. Schumacher, F. de Graves, M. Schramme, R. Smith und M. Coker (2000) Effects of Analgesia of the Distal Interphalangeal Joint or Palmar Digital Nerves on Lameness Caused by Solar Pain in Horses. *Vet. Surg.* 29, 54-58
- Schumacher J., F. de Graves, M. Schramme, R. Smith, M. Coker und R. Steiger (2001) A comparison of the effects of local analgesic solution in the navicular bursa of horses with lameness caused by solar toe or solar heel pain. *Equine Vet. J.* 33, 386-389
- Schumacher J., R. Gillette, F. DeGraves, M. Schramme, R. Smith, J. Perkins und M. Coker (2003) The effects of local anaesthetic solution in the navicular bursa of horses with lameness caused by distal interphalangeal joint pain. *Equine Vet. J.* 35, 502-505
- Steenbuck N., H. Gerhards, W. Jahn, A. D. Gruber und K. Gerlach (2010) Magnetresonanztomographische Untersuchungen der Tiefen Beugesehne im Hufbereich von Pferden. *Pferdeheilkunde* 3, 360-366
- Tucker R. L. und E. Farrell (2001) Computed tomography and magnetic resonance imaging of the equine head. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 17, 131-144
- Tucker R. L. und R. D. Sande (2001) Computed tomography and magnetic resonance imaging of the equine musculoskeletal conditions. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 17, 145-57
- Weinberger T. (2004) Use of magnetic resonance imaging with the horse using the „standing unit“. *MICEM* 38-42 Werpy, N.M.
- (2007) Magnetic Resonance Imaging of the Equine Patient: A Comparison of High- and Low-Field Systems. *Clin. Techn. Equine Pract.* 6, 37-45
- Widmer W. R., K. A. Buckwalter, J. F. Fessler, M. A. Hill, D. C. VanSickle und S. Ivancevich (2000) Use of radiography, computed tomography and magnetic resonance imaging for evaluation of navicular syndrome in the horse. *Vet. Radiol. Ultras.* 41, 108-116

Dr. Volker Sill
Tierärztliche Klinik für Pferde Dr. W. Jahn, Dr. V. Sill
Alte Landstr. 104
22941 Bargteheide
v.sill@pferdeklinik-bargteheide.de