

Vergleichende bilaterale magnetresonanztomographische Untersuchungen der Hufregion im Niederfeld-MRT – Teil 1: Befunde und Entwicklung eines Befundschemas

Thomas Stöckl¹, Thorben Schulze², Walter Brehm³ und Kerstin Gerlach³

Tierklinik Binger Wald, Waldalgesheim¹, Klinik für Pferde und Radiologie aus dem Fachbereich Veterinärmedizin der FU Berlin² und Chirurgische Tierklinik der Universität Leipzig³

Zusammenfassung

Magnetresonanztomographische Untersuchungen jeweils beider Vordergliedmaßen der Hufregion von 120 Pferden und somit 240 Gliedmaßen wurden beurteilt und ausgewertet. Alle vorgefundenen veränderten Strukturen sind in vier Grade eingestuft worden. Um diese Kategorien möglichst objektiv und nachvollziehbar zu gestalten, wurden bestimmte Kriterien für die Einstufung entwickelt. Diese sind das Resultat umfassender Literaturrecherche und Anpassung bestehender Schemata an das vorliegende Spektrum der von der physiologischen Darstellung abweichenden magnetresonanztomographische Befunde. Alle Kriterien wurden bis zum Konsens diskutiert und entsprechend angepasst, um diese praktisch anwendbar und vergleichbar zu gestalten. So ist die Beurteilung sehr dünner Strukturen, wie die der Facies flexoria des Strahlbeins, nur im Zusammenhang mit dem umliegenden Gewebe durchführbar. Bei anderen Merkmalen, wie der Ausdehnung von Hufgelenk und Bursa podotrochlearis, erwies sich das Kriterium Größe für die Beschreibung pathologischer Veränderungen wenig sinnvoll. Ergebnis ist eine für die Untersuchung am stehenden Pferd angepasste einheitliche Befundbeschreibung. Sie erleichtert eine standardisierte MRT-Untersuchung der Hufregion.

Schlüsselwörter: MRT / Huf / Pferd / Podotrochlose / Equines Palmares Fußsyndrom / Sehne / Hufrolle / Hufgelenk / tiefe Beugesehne / bildgebende Diagnostik

Comparative bilateral magnetic resonance imaging of the foot in low-field MRI – Part 1: Findings and development of a grading system

MR-images of the foot region from 240 limbs were assessed and evaluated. All structures were graded from 1-4. Classification criteria based on the range of deviations from physiological findings in accordance to present literature. The results revealed that some of those criteria had to be adjusted in comparison to previous studies in high-field MRI. For all defined criteria authors consensus had to be achieved. In particular, the assessment of certain very thin structures such as the Facies flexoria of the navicular bone is only practicable when the surrounding tissue is also interpreted in this context. Furthermore, expansion of the coffin joint and navicular bursa is not considered to be of direct pathological significance. Finally a scheme specifically created for low-field standing MRI could be developed. A standardized scheme for MRI-evaluation of the equine foot subsumes pathological findings under defined criteria and supports future investigations.

Keywords: MRI / foot / horse / palmar foot syndrome / navicular bone / coffin joint / deep digital flexor tendon / diagnostic imaging

Einleitung

Die magnetresonanztomographische Untersuchung (MRT) der Hufregion des Pferdes hat in den letzten Jahren Eingang in die bildgebende Diagnostik des Pferdes gefunden und wird zunehmend akzeptiert. Aufgrund der besseren Weichteildiagnostik im Vergleich zu anderen bildgebenden Methoden werden weitere Erkenntnisse zur Ätiologie und Pathogenese, insbesondere des Equinen Palmares Fußsyndroms (EPS), erwartet. Aufgrund der Vielzahl der abgebildeten Knochen- und Weichteilstrukturen sowie unterschiedlicher Schnittebenen und Wichtungen ist die Beurteilung und Einstufung von MRT-Bildern allerdings in hohem Maße komplex. Sie beruht derzeit vorwiegend auf den individuellen Erfahrungen der auswertenden Personen (Martinelli et al. 1996). Die Einschätzung bestimmter Veränderungen variiert wie auch bei anderen Methoden (Dyson 2008, Busoni et al. 2005 und Dyson et al. 2011) beträchtlich. Es ist zu erwarten, dass sich ohne eine Systematisierung eine bedeutsame inter- oder sogar intraindividuelle Variation der Beurteilungen entwickelt, welche Unsicherheit schafft und den Wert dieser Untersuchungsmethoden infrage stellen könnte.

Um MRT-Befunde zu wichten und deren klinische Bedeutung beurteilen zu können, ist ein Schema zur Graduierung der Befunde wünschenswert. Für einige Untersuchungen mit Hochfeldgeräten am liegenden Tier wurden bereits Vorschläge für derartige Graduierungsschemata erarbeitet (Murray 2006). Eine detaillierte Definition für verschiedene Strukturen im Hufbereich sowohl im Hochfeld- als auch im Niederfeld-MRT findet man nur bei wenigen Autoren (Murray 2006, Dyson et al. 2004, Olive et al. 2010, Dyson et al. 2012). Es liegen Studien über Signalabweichung mittels Hochfeld-MRT mit histologischen Untersuchungen von Kadavergliedmaßen vor. Diese wurden nach einem dreistufigen Graduierungsschema beschrieben (Murray et al. 2006). Ein ähnliches Schema existiert für die Seitenbänder des Hufgelenks (Dyson et al. 2004). Im Gegensatz zu den vorangegangenen Arbeiten sind für Knorpelbeurteilungen von Olive et al. (2010) ausschließlich Niederfeld-MRT-Untersuchungen von stehenden Pferden herangezogen worden.

Für relevante Strukturen im Bereich des Hufes liegen Korrelationen zwischen MRT- und histologischen Befunden vor (Blun-

den et al. 2006a, Blunden et al. 2006b, Blunden 2009, Murray et al. 2006, Busoni et al. 2005 und Dyson 2012). Allerdings lassen sich nicht alle Kriterien der Hochfeld-MRT-Untersuchungen aufgrund der unterschiedlichen Gewichtsbelastungen zwangsläufig auf die Niederfeld-Untersuchungsergebnisse übertragen. Auch die unterschiedliche Auflösung spielt dabei eine Rolle.

Das Ziel dieser Arbeit ist eine Strukturierung von MRT-Befunden des Hufes im Niederfeld-MRT am stehenden Pferd und die Erstellung einer Befundsammlung mit Beschreibung für häufig auftretende Veränderungen. Es wurde kein Bezug zwischen Signalveränderungen und klinischen Parametern hergestellt.

Tiere und Methoden

Insgesamt wurden die Bilder von 120 Pferden und somit 240 Gliedmaßen ausgewertet. 95 Pferde waren Warmblüter, drei Englische Vollblüter, acht Quarter Horses, vier Paint Horses, vier Haflinger, ein Deutsches Reitpony, ein Carmargue Pferd, ein Dülmener, ein Andalusier, ein Connemara Pony und ein Appaloosa. Das Alter der Pferde lag zwischen drei und 23 Jahren mit einem Mittelwert von zehn Jahren. Es wurden 51 Stuten, acht Hengste und 61 Wallache untersucht. Alle Pferde wurden von 2006 bis 2009 in der Pferdeambulanz Burg Müggenhausen vorgestellt. Es lag eine Lahmheit einer oder beider Vordergliedmaßen vor, die in einer klinischen Untersuchung mittels diagnostischer Anästhesie des Nervus digitalis palmaris ober-

Tab. 1 Verwendete MRT-Protokolle / Pulse sequence parameters

Sequenz Wichtung	TR	TE	Schichtdicke (mm)	Abstand (mm)	FOV (mm)	Matrixgröße
T1W 3D GRE	23	7	3,0	0	170	256 x 256
T2*W 3D GRE	34	13	3,0	0	170	340 x 130
PDW SE	1300	24	5,0	0,5	170	340 x 170
T1W 3D GRE	24	8	5,0	0,5	170	384 x 192
T2 FSE	1920	84	5,0	1	170	340 x 175
STIR FSE	2910	27	5,0	1	170	336 x 165
T2*W GRE	140	13	3,5	0,7	170	384 x 192

TR Time to repeat, TE Time to echo, FOV Field of view

Tab. 2 Ausrichtung der Schnittebenen bei der MRT-Untersuchung der Hufregion; Bewertbarkeit der einzelnen Strukturen in den verschiedenen Schnittebenen / Orientation of section planes in MRI-examination of the hoof region, measurability of the individual structures in the various planes

	Sagittale Schnittebene	Frontale Schnittebene	Transversale Schnittebene
Ausrichtung		- parallel zur Facies flexoria - senkrecht zum Gelenkknorpel des Hufgelenks, (T1 GRE FRO HHR)	- zuerst senkrecht zur TBS (sagittal) und senkrecht zur Gelenkfläche des Hufgelenks (frontal) - parallel zum Boden
Strahlbein	- Knochenstruktur mit Abgrenzung Kortex von Medulla - Facies flexoria - Proximales und distales Strahlbeinband - Übersicht über die Ränder	- Detaillierte Beurteilung des proximalen und distalen Randes - Knochenstruktur über die gesamte Breite	- Facies flexoria - Knochenstruktur - proximales Strahlbeinband. - distales Strahlbeinband mit Insertion am Hufbein
TBS	- Übersicht in den zentralen Schnittebenen Vorsicht Magic Angle Artefakt möglich.	- Nur bedingt möglich	- Sehnenbäuche mit Signalintensität und Abgrenzung zum umliegenden Gewebe - Insertion am Hufbein
Bursa podotrochlearis	- Ausweitung der Recessus(T2/STIR) - Übersicht über signalreiche Linie im Bereich der Facies flexoria	- Nur bedingt möglich	- Ausdehnung in der Breite - Signalabweichungen im Bereich der Facies flexoria (T2/STIR)
Hufgelenk	- Hinweise auf Signalabweichungen im subchondralen Knochen Keine genaue Beurteilung möglich! - Ausweitung der Recessus des Hufgelenks(T2/STIR)	- Beurteilung der Gelenkflächen - Subchondrale Knochenstruktur	- Subchondrale Knochenstruktur bedingt
Seitenbänder	- Nicht möglich	- Struktur - Symmetrie - Insertion	- Seitenbänder des Hufgelenks im Querschnitt

halb der Hufballen oder unterhalb der Basis der proximalen Gleichbeine auf den Hufbereich eingegrenzt werden konnte.

Für die Einteilung der Lahmheit wurde ein Schema von 1-5 (Stashak 2008) verwendet, wobei keine Pferde mit einer Lahmheit vom Grad 5 eingeschlossen wurden. Bei allen Pferden wurden klinische Untersuchungen durchgeführt und Röntgenbilder der Hufregion bzw. des Strahlbeines (Oxspring, 90°, evtl. Skyline) angefertigt. Pferde mit röntgenologisch erkennbaren Frakturen oder Hufbeinrotation wurden nicht aufgenommen. Für die Untersuchung wurden die Hufeisen und alle Metallreste vom Huf entfernt.

Die Pferde wurden initial mit Cepesedan® (Detomidin, 0,01-0,04 mg/kg, CP-Pharma, Burgdorf) sediert. Je nach Sedationszustand der Pferde wurden diese mit Sedivet® (Romifidin, 0,04-0,1 mg/kg, Boehringer Ingelheim, Basel) und evtl. Turbogesic® (Butorphanol, 10 mg/kg) Fort Dodge Veterinär GmbH, Würselen) nachsediert.

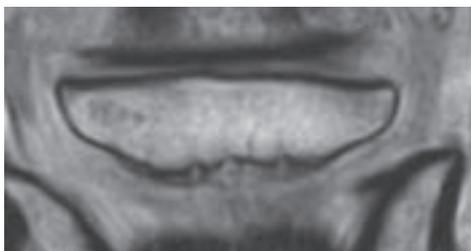


Abb.1a MRT-Bild des Strahlbeines in T2*W 3D frontal Grad 1: physiologische Darstellung des Strahlbeines
T2 W 3D frontal section of the coffin bone, grade 1: Physiological appearance of navicular bone*



Abb.1b MRT-Bild des Strahlbeines in T2*W 3D frontal Grad 2: Vergrößerte Canales sesamoidales mit synovialen Einbuchtungen und geringer Verdickung der Kortikalis
T2 W 3D frontal section of the coffin bone, grade 2: Enlarged synovial invaginations with synovial recesses and slight thickening of the cortical bone*

Die MRT-Untersuchung wurde mit dem Kernspintomographen „Hallmarq Veterinarian Limb Scanner“ (Unit 1K Merrow Business Centre, Guildford, Surrey, United Kingdom) mit einer Feldstärke von 0,27 Tesla durchgeführt. Von jeder Gliedmaße wurden sowohl T1- und T2-gewichtete als auch fettunterdrückte Sequenzen in Anlehnung an das Untersuchungsprotokoll der Firma Hallmarq in unterschiedlichen Ausrichtungen angefertigt (Bolas et al. 2008) (Tab. 1). Je nach festgestellten Veränderungen wurden weitere Sequenzen mit verschiedenen Schnittrichtungen hinzugefügt, um die betroffenen Strukturen detailliert darzustellen. So wurden z.B. bei Sehnenbefunden senkrechte Schnittebenen zu bestimmten Abschnitten der Sehne angefertigt (Tab. 2). Die zur Verfügung stehende Literatur zur Darstellung und Bewertung

von MRT-Befunden im Hochfeld- und Niederfeld-MRT wurde recherchiert und erfasst.

Die MRT-Bilder der 240 Gliedmaßen wurden in einem ersten Durchgang von zwei MRT erfahrenen bzw. spezialisierten Tierärzten (TS, TS) gesichtet und die einzelnen Strukturen nach Art und Stärke der Signalabweichungen in vier Grade eingestuft. Basis dafür stellte das in histopathologischen Vergleichen als physiologisch beschriebene MRT-Bild dar. Es wurden alle Gliedmaßen unabhängig vom Lahmheitsstatus nach dem gleichen Schema beurteilt. Als Grundlage für diese Graduierung dienten Einteilungen von Murray (2006), Dyson et al. (2008) und Olive et al. (2010). Voneinander abweichende Einstufungen wurden diskutiert, bis hinsichtlich der Bewertung ein Konsens gefunden war. Alle sich daraus ergebenden neuen Einstufungskriterien wurden dokumentiert. Auf dieser Basis unterlagen die MRT-Bilder einem zweiten Bewertungsdurchgang, dessen Ergebnisse tabellarisch zusammengefasst sind.



Abb.1c MRT-Bild des Strahlbeines in T2*W 3D frontal Grad 3: Zystoide Canales sesamoidales mit Signalverlust der Medulla im zentralen Bereich
T2 W 3D frontal section of the coffin bone, grade 3: Cystoid synovial invaginations with signal loss in the central region of the medulla bone*

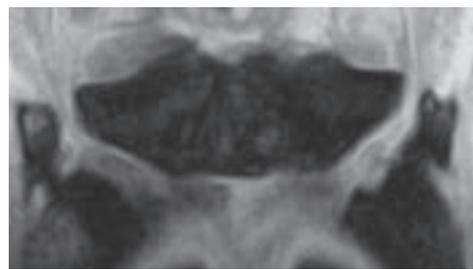


Abb.1c MRT-Bild des Strahlbeines in T2*W 3D frontal Grad 4: Signalverlust der Medulla über das gesamte Strahlbein, Kortex nicht mehr abgrenzbar
T2 W 3D frontal section of the coffin bone, grade 4: Signal loss over the entire medulla of the navicular bone, cortex no longer distinguishable*

Einstufung der einzelnen Strukturen

Strahlbein

Für die Einstufung wurden folgende Lokalisationen betrachtet:

- Die Knochenstruktur mit der Medulla und der Kortex in den verschiedenen Sequenzen.
- Die Facies flexoria (FF) mit der Knorpelfläche und der subchondralen Knochenstruktur.
- Der distale Rand (DR) mit den Canales sesamoidales (CS) und evtl. Veränderungen der angrenzenden Kompakta und Spon-

giosa des Strahlbeins sowie Ansatz des Strahlbein-Hufbein-Bandes (Ligamentum sesamoideum distale impar (LSDI))

- Der proximale Rand (PR) mit Ansatz der Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinbänder (Ligamenta sesamoidea collateralia (LSC))
- Die dorsale Gelenkfläche wurde in die Bewertung nicht mit einbezogen, da sich diese bei keiner der Untersuchungen als erkennbar verändert zeigte (Abb. 1 a–d).

Tiefe Beugesehne (TBS)

Die TBS zeigt aufgrund ihrer Ausdehnung über einen größeren Bereich vom Hufbein bis zum Fesselbein unterschiedliche Aus-

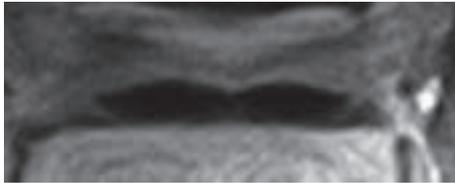


Abb 2 a MRT-Bilder der Sehne in T1w SE Transversal von Grad 1: physiologische Darstellung
MRI images of the tendon in T1w SE transverse from grade 1: Physiological appearance

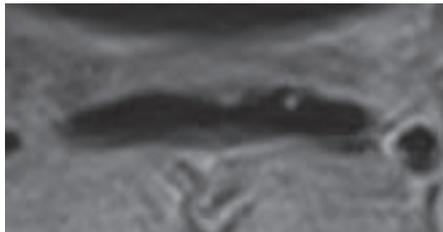


Abb 2 b MRT-Bilder der Sehne in T1w SE Transversal von Grad 2: Punktuelle Signalerhöhung in einem Sehnenchenkel mit geringer Beteiligung des dorsalen Randes
MRI images of the tendon in T1w SE transverse from grade 2: Punctual signal increase in one lobe of the tendon with little involvement of the dorsal margin

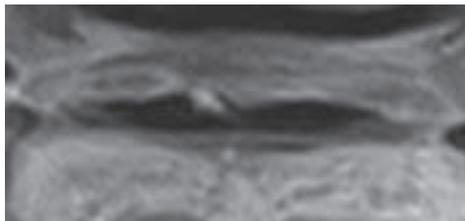


Abb 2 c MRT-Bilder der Sehne in T1w SE Transversal von Grad 3: flächige Signalerhöhung mit deutlicher Veränderung des dorsalen Randes und Verdickung des Sehnenchenkels
MRI images of the tendon in T1w SE transverse from grade 3: Wide signal increase with a significant change in the dorsal rim and thickening of the tendon lobe

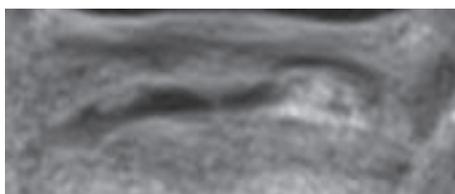


Abb 2 d MRT-Bilder der Sehne in T1w SE Transversal von Grad 4: Deutliche Signalerhöhung über einen großen Bereich beider Sehnenchenkel, Sehnenkontur kaum noch erkennbar, Teilabriss
MRI images of the tendon in T1w SE transverse from grade 4: Significant signal increase in a large area of the tendon lobes, contour barely recognizable, partial demolition



Abb. 3 a MRT-Bilder des Hufgelenks in T1w GRE frontal von Grad 1: Physiologische Darstellung
MRI images of the distal interphalangeal joint in T1w GRE from grade 1: Physiological appearance

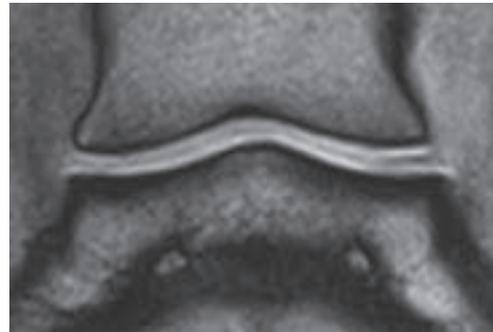


Abb. 3 b MRT-Bilder des Hufgelenks in T1w GRE frontal von Grad 2: Kleinere Unterbrechungen der Knorpellinie auf der linken Seite der Gelenkflächen mit geringem subchondralen Signalverlust
MRI images of the distal interphalangeal joint in T1w GRE from grade 2: Minor disruption of the cartilage line on the left side of the joint with slightly signal loss in the subchondral bone



Abb. 3 c MRT-Bilder des Hufgelenks in T1w GRE frontal von Grad 3: Deutliche Verdünnung der Knorpellinie auf der rechten Gelenkhälfte mit subchondralem Signalverlust im Hufbein
MRI images of the distal interphalangeal joint in T1w GRE from grade 3: Significant thinning of the cartilage line on the right half with marked signal loss in the distal phalanx



Abb. 3 d MRT-Bilder des Hufgelenks in T1w GRE frontal von Grad 4: Zystoide Läsion im Hufbein mit Unterbrechung der Knorpellinie und Signalverlust der Medulla im Hufbein
MRI images of the distal interphalangeal joint in T1w GRE from grade 4: Pedal osseus cyst-like lesion with disruption of the articular cartilage line and loss of signal in the medulla bone

prägungen von Signalveränderungen. Man unterscheidet drei Arten von Signalabweichungen je nach Lokalisation und Form:

- Longitudinale Splits: schmale, längliche Signalerhöhungen entlang des Sehnenverlaufes, vom dorsalen Rand ausgehend
- Dorsale Veränderungen: Signalerhöhungen an der dorsalen Fläche der Sehne in Form von Unregelmäßigkeiten der Oberfläche
- Zentrale Läsionen: Zentrale Signalerhöhungen unterschiedlicher Länge (Abb. 2 a–d)

Bursa podotrochlearis

Der Hufrollenschleimbeutel wurde in Hinsicht zweier Merkmale eingestuft:

- Signalabweichungen und Formveränderungen des Schleimbeutels und des synovialen Inhalts, der Oberfläche und der Interaktion zu umliegenden Strukturen
- Relative Ausdehnung der Bursa podotrochlearis als subjektive Größenangabe entsprechend des vorgefundenen Spektrums (Abb. 3 a–d)

Strahlbein-Hufbeinband (Ligamentum sesamoideum distale impar, LSDI)

Das distale Strahlbeinband verläuft als dünne Platte vom Strahlbein zur Facies flexoria des Hufbeins. Folgende Bereiche wurden bei der Einstufung besonders beachtet:

- Der Ursprungsbereich einschließlich der Signalintensität des Knochens am distalen Rand des Strahlbeins und der Ansatz am Hufbein

- Die Signalintensität innerhalb des Bandes im Verlauf (sagittal)
- Abgrenzung des Bandes gegenüber der Bursa podotrochlearis und der Sehne

Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinbänder (Ligamentum sesamoideum collaterale mediale et laterale, LSC)

Folgende Bereiche wurden bei der Einstufung besonders beachtet:

- Die Ansatzbereiche am proximalen Rand des Strahlbeins
- Die Signalintensität innerhalb des Bandes im weiteren Verlauf
- Abgrenzung gegenüber dem umliegenden Gewebe.
- Symmetrie der medialen und lateralen Bandanteile zueinander

Hufgelenk

Hier wurden die Gelenkflächen mit der Knorpelschicht und dem subchondralen Knochen untersucht und bewertet (Abb. 3 a–d). Weiterhin wurde der Füllungsgrad des Hufgelenkes anhand der größten Ausweitung des Recessus gemessen.

Seitenbänder des Hufgelenks (Ligamenta collateralia)

Die Seitenbänder des Hufgelenks wurden nach folgenden Kriterien bewertet:

- Ursprungsbereich am Kronbein und Ansatzbereich am Hufbein in den Bandgruben
- Signalintensität in den verschiedenen Sequenzen
- Dicke des Bandes und Symmetrie zur kontralateralen Seite

Tab. 3 Kriterien zur Einstufung des Strahlbeins in die Grade 1-4 / *Criteria for the classification of the navicular bone in grades 1-4*

Magnetresonanztomographischer Befund	Grad
Medulla gleichmäßig hell, Kortex dunkel (T1/T2), Medulla dunkel, Kortex hell (STIR) FF mit gleichmäßiger Knorpelfläche, zentral max. 50 % verdünnt (Fossa nudata), geringe Signalerhöhung der Kortex als schmaler Streifen möglich. DR mit länglichen oder ggr. zystoiden CS, Medulla hell (T1/T2), dunkel (STIR), die CS sind synovial ausgekleidet und daher dunkel (T1) und hell (T2/STIR), keine kortikale Verdickung erkennbar, PR gleichmäßige Kortex mit weichen Einzackungen, weicher Übergang zur Medulla	1
Medulla mit ggr. Signalverlust (T1/T2) ohne oder mit ggr. Signalanstieg (STIR) FF mit ungleichmäßiger Knorpeloberfläche mit geringem Signalverlust und schlecht abgegrenztem Übergang zum Knochen. DR mit erweiterten evtl. ggr. zystoiden CS mit leichter Verdickung der Kortikalis ohne Veränderungen der Signalintensität der Medulla.	2
Medulla mit erkennbarem Signalverlust (T1/T2) und/oder Signalerhöhung (STIR) FF mit Unterbrechungen der Knorpellinie und fokalem Signalverlust der angrenzenden Medulla. DR mit erweiterten CS (>2mm) und Verdickung der Kortikalis, Signalverlust in der umliegenden Medulla und linearer Signalverlust nach proximal. Kleinere Fragmente am distalen Rand.	3
Medulla mit Signalverlust (T1/T2) über mehr als 50 % des Strahlbeins, meist in Zusammenhang mit Signalerhöhung (STIR) „edemalikelesions“ FF mit Knorpelverlust und starker fokaler Signalerhöhung im anliegenden Knochen; zystoide Veränderungen. DR mit großen zystoiden CS mit hgr. Signalveränderungen des umliegenden Knochens häufig im Zusammenhang mit „edemalikelesions“ im gesamten Knochen. Mittlere und größere distale Fragmente. PR Tiefe Einkerbungen (>2mm) mit Signalveränderungen weit in die Medulla reichend,	4

Ergebnisse

Strahlbein

Die Untersuchung des Strahlbeins ließ sich mit den verwendeten Sequenzen gut durchführen. Die meisten Signalabweichungen konzentrierten sich in Häufigkeit und Intensität auf den distalen Rand sowie die Spongiosa (Tab. 3).

Tiefe Beugesehne

Signalabweichungen der Sehne ließen sich gut erkennen und abgrenzen (Tab. 4).

Bursa podotrochlearis

Die Beurteilung des proximalen Recessus eignete sich zur Erkennung der synovialen Zusammensetzung. Der signalintensive Bereich zwischen Strahlbein und Sehne hingegen ließ sich im Niederfeld- MRT nur in der Gesamtheit bewerten (Tab. 5a und 5b).

Strahlbein–Hufbeinband

Eine scharfe Abgrenzung der Veränderungen dieser sehr dünnen Struktur stellte sich als schwierig heraus. Grad 1 und 2 als auch Grad 3 und 4 liegen in der Bewertung sehr dicht beieinander. Für die weitere statistische Auswertung wurden die vier Gruppen aber bei allen Strukturen beibehalten (Tab. 6).

Fesselbein–Strahlbein–Hufbeinband

Für eine objektive Bewertung dieses Bandes erwies sich eine gute Ausrichtung der Schnitte als sehr entscheidend (Tab. 7).

Hufgelenkflächen

Bei der Beurteilung der Hufgelenkflächen mit der dünnen Knorpellinie waren die speziellen Schnitte zur genauen Differenzierung wichtig. Auffallend war eine häufig auftretende Verengung des Gelenkspalts auf der medialen Seite ohne Signalveränderungen des Knorpels oder des Knochens (Tab. 8).

Tab. 4 Kriterien zur Einstufung der Sehne in die Grade 1-4 / *Criteria for the classification of the deep digital flexor tendon in the grades 1-4*

Magnetresonanztomographischer Befund	Grad
Gleichmäßige signallose Darstellung (T1/T2/STIR) Scharfe klare Begrenzungen zum umliegenden Gewebe	1
Kleinere Bereiche mittelgradig erhöhter Signalintensität (< 1 mm Ausmaß, Ausdehnung Länge < 5 mm) Geringe Unregelmäßigkeiten der Sehnenoberfläche (transversal)	2
Deutlich erkennbare Signalerhöhungen über < 1/3 eines Sehnenschenkels (transversale Schnitte) und meist < 1 cm Ausdehnung in der Länge, Größere Unregelmäßigkeiten der Sehnenoberfläche (dorsale Fibrillation) mit Verklebungen zur Bursa	3
Als hochgradig gelten Signalerhöhungen über mehr als 1/3 eines Sehnenschenkels und meist > 1 cm in der Länge Großflächige Unterbrechungen der Sehnenoberfläche mit deutlicher Fibrillation des Sehnen Gewebes	4

Tab. 5 a Kriterien zur Einstufung der Bursa podotrochlearis in die Grade 1–4, Signalabweichungen und Formveränderungen.
Criteria for the classification of the navicular bursa in the grades 1-4, Signal deviation and changes in shape

Magnetresonanztomographischer Befund	Grad
klar begrenzte Ränder gegenüber umliegenden Strukturen Homogen signalintensiv (T2/STIR) signalarm mit unregelmäßigen hyperintensiven Bereichen (T1) Im Bereich der FF erscheint die Bursa als ein einheitliches dünnes signalreiches Band.	1
Unterbrechungen der signalreichen Linie durch Adhäsionen im Bereich der FF auf weniger als 3mm der Fläche (transversal) Leichter linienförmiger Signalverlust innerhalb der Recessus (T2/STIR), Signalerhöhung (T1) durch Bildung von Weichteilgewebe (z.B. Fibrin)	2
Deutlich erkennbare linienförmige Signalunterbrechung durch Gewebeansammlung/Verklebungen (T2/T3) erkennbare diffuse Signalsteigerung (T1) Unterbrechung im Bereich der FF durch Adhäsionen auf >3mm (transversal)	3
Nur noch kleine Bereiche mit Flüssigkeitssignal erkennbar (T2/STIR), Lumen der Recessus fast vollständig mit Gewebe/Verklebungen gefüllt. Deutlicher Signalanstieg (T1) Deutliche Unterbrechungen der Linie im Bereich der FF, immer im Zusammenhang mit Veränderungen des Strahlbeins oder der Sehne	4

Tab. 5 b Kriterien zur Einstufung der Bursa podotrochlearis in die Grade 1-4, Relative Ausdehnung / *Criteria for the classification of the navicular bursa in the grades 1-4, relative expansion.*

Magnetresonanztomographischer Befund	Grad
kaum gefüllt, flache längliche Ausdehnung des Recessus	1
leicht gefüllt, ovale Ausdehnung des Recessus	2
Deutlich gefüllt, blasenförmige Erweiterung, das Ligamentum sesamoideum collaterale (LSC) wird mgr. nach dorsal verdrängt.	3
starke Füllung, deutliche blasenförmige, rundliche Erweiterung	4

Tab. 6 Kriterien zur Einstufung des Strahlbein–Hufbeinbandes (Ligamentum sesamoideum distale impar) in die Grade 1-4
Criteria for the classification of the distal sesamoidean impar ligament in the grades 1-4

Magnetresonanztomographischer Befund	Grad
Dünnes Band, signalarme Darstellung (T1), leichte Signalerhöhungen möglich (T2) Ansatzbereiche am Knochen dunkel weiche Abgrenzung zur Sehne und Bursa podotrochlearis, geringe Signalerhöhungen im Insertionsbereich des Bandes werden regelmäßig auch bei klinisch unauffälligen Pferden gefunden	1
Ggr. Signalunterschiede im Band mit Verdickung Ggr. Signalveränderungen am Ansatz/Ursprung	2
Deutliche Signalunterschiede und Knochenveränderungen im Ursprung und Ansatz gut erkennbare Signalerhöhung im Band selbst Milde Verklebungen des Bandes zur Tiefen Beugesehne und dem umliegenden Gewebe	3
Deutlicher Signalverlust meist im Ansatzbereich am Hufbein (T1/T2), Signalanstieg (STIR) Deutliche Signalerhöhung mit Verlust der normalen Struktur des Bandes Die Abgrenzbarkeit zur Sehne geht verloren. Häufig mit deutlichen Adhäsionen zur Bursa oder Sehne..	4

Tab. 7 Kriterien zur Einstufung der Fesselbein–Hufbein–Strahlbeinbänder (Ligamentum sesamoideum collaterale et mediale) in die Grade 1-4 /
Criteria for the classification of the collateral sesamoidean ligaments in the grades 1-4

Magnetresonanztomographischer Befund	Grad
Knochen signalarm im Ansatz am Strahlbein (T1/T2), niedrige Signalintensität auf der gesamten Länge symmetrische Form der beiden Bandanteile mit klar abgegrenzten Rändern	1
geringgradige Signalerhöhung ohne Knochenreaktion geringe Asymmetrie der Bandanteile	2
deutlich erkennbare Signalerhöhung auf weniger als der Hälfte des Bandes und/oder Knochenreaktionen im Insertions- und/oder Ursprungsbereich, Verlust der klaren Abgrenzung zur Bursa/TBS.	3
deutliche Signalerhöhung auf mehr als der Hälfte des Bandes (transversal) häufig in Zusammenhang mit Signalerhöhungen am prox. SB (T1/T2), Verlust der normalen Struktur mit deutlichen Verklebungen zur Bursa und Sehne.	4

Tab. 8 Kriterien zur Einstufung der Hufgelenksflächen in die Grade 1-4 / *Criteria for the classification of the cartilage area of the coffin joint in the grades 1-4*

Magnetresonanztomographischer Befund	Grad
Gleichmäßige Knorpellinie, signalintensiv in (T1/T2) subchondrale Kortex dunkel, Medulla hell (T1/T2) Asymmetrie des Gelenkspalts durch ungleichmäßige Belastung während der Untersuchung möglich.	1
Deutliche Verengung des Gelenkzwischenraums mit verdünnter Knorpellinie, kleine Signalverluste. (bis etwa 5mm) ohne subchondrale Veränderungen.	2
Signalverlust in der Knorpellinie (>5mm) mit leichtem Signalverlust des subchondralen Knochens, mehrere kleinere Signalverluste auf der gesamten Knorpelfläche, kleine Linienförmige oder leicht zystoide Knochenveränderungen mit Signalerhöhung (T1/T2),	3
großflächige Signalverluste (>5mm) mit deutlichen subchondralen Reaktion weiter in Huf- oder Kronbein reichend, Zystenbildung und Einbrüche der Knorpelfläche erkennbar durch Signalerhöhung in (T2/STIR) im subchondralen Knochen.	4

Tab. 9 Kriterien zur Einstufung der Ausweitung des Hufgelenks in die Grade 1-4 / *Criteria for the classification of the extension of the joint capsule in the grades 1-4*

Magnetresonanztomographischer Befund	Grad
wenig gefüllt; länglich flach ausgeformter Rec. dorsalis ohne besondere Vorwölbung	1
leicht gefüllt; länglich, oval, leicht erhaben	2
mittelgradig gefüllt; Rec. deutlich vorgewölbt aber noch oval (Verhältnis Höhe/Länge ca. 1:2)	3
Deutlich gefüllt; blasenförmige Vorwölbung des Rec., häufig nahezu runde Ausformung (Verhältnis Höhe/Länge >1:2)	4

Tab. 10 Kriterien zur Einstufung der Seitenbänder des Hufgelenks in die Grade 1-4 / *Criteria for the classification of the collateral ligaments of the coffin joint in the grades 1-4*

weicher Übergang am Ursprung, bzw. Ansatz, Knochen signalarm signalarme Darstellung der Bandstruktur über die gesamte Länge. erkennbare Symmetrie zwischen medialem und lateralem Seitenband	1
geringgradige Signalerhöhung ohne Knochenreaktion oder Verdickung, erkennbare Asymmetrie ohne Signalerhöhung	2
deutlich erkennbare Signalerhöhung auf weniger als der Hälfte des Bandes und/oder Knochenreaktionen im Insertions- und/oder Ursprungsbereich deutliche Asymmetrie mit leichten Signalerhöhungen (T1/T2)	3
deutliche Signalerhöhung auf mehr als der Hälfte der Länge deutliche Knochenreaktionen mit Signalverlust im Ansatz/Ursprung Strukturverlust mit deutlicher Verdickung eines Bandes	4

Ausweitung des Hufgelenks

Die Füllung des Hufgelenks trat häufig an beiden Vorderbeinen und in Größe und Form individuell sehr unterschiedlich auf. Der dorsale Recessus ließ sich gut vergleichen (Tab. 9).

Seitenbänder des Hufgelenks

Stellung und Schnittführung bildeten einen wesentlichen Aspekt bei der Beurteilung, insbesondere bei der Symmetrie der Bänder (Tab. 10).

Diskussion

Die Einstufung von MRT-Befunden wurde bisher meist durch die bewertende Person subjektiv vorgenommen und konnte nicht mit einer definierten Graduierung versehen werden. Um die Daten vergleichbar zu gestalten, ist die Verwendung eines entsprechenden Schemas sinnvoll und notwendig. Bisher wurde dies in Studien mit Hochfeldmagneten von einigen Autoren angewandt (*Schramme et al. 2005, Dyson und Murray 2007*). Diese lassen sich nicht problemlos einfach auf Niederfeld-MRT übertragen, so dass dafür ein eigenes Schema für die wichtigsten Strukturen des Hufes entwickelt wurde. Bei der Bewertung des Strahlbeins wurden die verschiedenen funktionellen Bereiche im Gegensatz zu anderen Studien (*Schramme et al. 2005*) zu einer Gesamteinstufung zusammengefasst.

Bei Signalabweichungen am Strahlbein sind meist mehrere Bereiche betroffen. Bei deutlich vergrößerten Canales sesamoidales tritt häufig eine Veränderung im Bereich der Kortex oder Medulla zusätzlich auf (*Dyson et al. 2012*). Daher ist eine Gesamteinstufung sinnvoll und für weitere Vergleiche notwendig. Dies erschwert allerdings die genaue Abgrenzung der einzelnen Grade. Milde Veränderungen der Facies flexoria wurden bereits in anatomischen und histologischen Arbeiten beschrieben und nicht als pathohistologisch verändert bewertet (*Blunden et al. 2006, Wissdorf et al. 2002*). Sie führten daher nicht zu einer schlechteren Einstufung. Zu bedenken ist, dass sich der Knorpel als dünne signalreiche Linie darstellt, die sich von der Bursa podotrochlearis im Niederfeld-MRT nicht genau abgrenzen lässt (*Busoni et al. 2004*). Eine genaue Zuordnung von Abweichungen an diesen Strukturen ist nur bedingt möglich.

Die Bedeutung des distalen Randes des Strahlbeins wird seit vielen Jahren im Krankheitsbild des Equinen Palmaren Hufsyndroms diskutiert. Bereits bei röntgenologischen Untersuchungen wurden Erweiterungen der Canales sesamoidales bei klinisch unauffälligen Pferden festgestellt (*Doige und Hoffer 1983, Branscheid 1977*) und ihre klinische Bedeutung auch in MRT-Untersuchungen in Frage gestellt (*Sill et al. 2011*). Dies wurde auch im vorliegenden Patientengut an lahmfreien Gliedmaßen beobachtet und entspricht Studien mit histologischen Vergleichen im Hochfeld-MRT (*Blunden et al. 2006a, Schramme et al. 2005, Murray et al. 2006*).

Das Auftreten von distalen Fragmenten am Strahlbein führte je nach Größe zu einer Einstufung in die Grade 3 oder 4 (Tab.3). Die Relevanz wird unterschiedlich diskutiert und muss noch endgültig geklärt werden (*Dyson et al. 2010, Gerhards et al. 2007*). Im vorliegenden Patientengut konnte das Auftreten von distalen Fragmenten am Strahlbein auch ohne deutliche Signalabweichungen an den umliegenden Strukturen festgestellt werden. Aussagen zur klinischen Relevanz lassen sich hieraus nicht ableiten.

Die Signalveränderungen innerhalb der Medulla in den verschiedenen Sequenzen werden als Knochenödem (Bone edema pattern) beschrieben. Dies ist auch in dem hier vorliegenden Schema als wichtiger Punkt der Einstufung bedacht worden. Diese Signalveränderungen im MRT-Bild lassen allerdings nur bedingt eine weitere Differenzierung auf chronische oder akute Ätiologie zu (*Schramme et al. 2005, Murray und Dyson 2007, Gäch 2002, Dyson et al. 2012*). Ähnliche Signalveränderungen in der Kortikalis und Spongiosa können unterschiedliche pathohistologische Veränderungen repräsentieren (*Murray et al. 2006, Dyson et al. 2012*).

Veränderungen an der dorsalen und proximalen Fläche des Strahlbeins führten im vorliegenden Spektrum selten zu einer schlechteren Einstufung des Strahlbeins im Vergleich zu Veränderungen anderer Bereiche. Hier wurde bereits von *Murray (2006)* festgestellt, dass kleinere Veränderungen nicht erkennbar sind und Signalunterschiede ansonsten häufig überinterpretiert wurden. Eine Unterbewertung ist denkbar und eine genauere Klärung der Bedeutung dieser Bereiche wäre wünschenswert.

Ein weiterer wichtiger Bereich, der erst durch die MRT-Untersuchungen genau dargestellt werden konnte, ist der distale Teil der Tiefen Beugesehne (Steenbuck 2008, Mair und Kinns 2005). Eine erhöhte Signalintensität im Sehngewebe wurde pathohistologisch durch zelluläre Infiltration, Hämorrhagien und Ödeme hervorgerufen. Auch nekrotische Areale und Chondrozyten in einer knorpeligen Matrix ließen sich nachweisen (Steenbuck 2008). Die verschiedenen Ausprägungen der Sehnenveränderungen, die Kombination von unterschiedlichen Arten und Lokalisationen erschweren hierbei eine Graduierung (Vanel et al. 2012). So lassen sich die Befunde der Tiefen Beugesehne am schwierigsten objektiv bewerten, der subjektive Einfluss ist hier am größten.

Die getrennte Bewertung der Ausweitung der Bursa podotrochlearis und erkennbarer Adhäsionen wurde aufgrund des Verdachts vorgenommen, dass die Ausweitung nicht unbedingt in Relation mit pathologischen Vorgängen steht. Möglicherweise werden sie durch weitere Faktoren, wie die Belastung der Gliedmaße, stark beeinflusst. Geht man davon aus, dass ein Zusammenhang zwischen Ausweitung und Druck besteht, widerspricht dies vorangegangenen Arbeiten (Zuther und Hertsch 2004), wobei der Druck in der Bursa als Hinweis auf pathologische Vorgänge angenommen wird. Eine genaue Auswertung in Zusammenhang mit klinischen Parametern ist notwendig, um die Bedeutung weiter zu klären. Die Bewertung im Bereich der Facies flexoria ist nur im Zusammenhang mit der Oberfläche der Sehne und der Knorpelfläche des Strahlbeins möglich. Hier liefert das Niederfeld-MRT keine ausreichende Auflösung, um diese Strukturen voneinander abzugrenzen.

Die Bewertbarkeit des Strahlbein-Hufbeinbandes wird in histologisch vergleichenden Studien in beiden Magnetfeldstärken als mäßig bezeichnet (Murray et al. 2006, Schramme et al. 2005, Sill 2007). Strukturverluste des palmaren Randes, Vaskularisation und die Einbettung von synovialen Ausbuchtungen sowie knorpelige Metaplasien konnten in histologischen Vergleichen bei Signalveränderungen erkannt werden. (Murray et al. 2006, Dyson et al. 2010) Durch die eingebetteten Nerven und Gefäße, wie auch durch kleine synoviale Aussackungen des Hufgelenks ist eine gewisse heterogene Darstellung allerdings als physiologisch anzusehen (Dyson 2011). Diese Tatsache und die sehr dünne Ausprägung dieser Struktur erschweren eine detaillierte Beurteilung im Niederfeld-MRT. Die Abgrenzung der Grade 2 und 3 ist schwierig (Dyson et al. 2010, Murray 2006). Um die Daten in die statistische Auswertung aufzunehmen wurde die 4-stufige Graduierung beibehalten. Diese muss aber sehr kritisch betrachtet werden.

Die Fesselbein–Strahlbein–Hufbeinbänder als paarig angelegte Bandstrukturen proximal des Strahlbeins werden in der Literatur in Untersuchungen mit dem Niederfeld-MRT seltener mit erkennbaren Signalveränderungen (Sill 2007) als in einigen Hochfeld-Studien beschrieben (Sampson 2008, Dyson und Murray 2007). Abweichungen von Signalintensität und Ausdehnung der Bänder wurden als synoviale Einbuchtungen und als Hyperplasien mit Einlagerung von Hämosiderin erkannt (Murray et al. 2006). Die Sensitivität und Spezifität der verschiedenen Untersuchungsmethoden ist weiter zu klären.

Der diagnostische Wert des Niederfeld-MRT für die Erkennung von Schädigungen der Gelenkflächen des Hufgelenks

wurde in einigen Arbeiten beschrieben (Zubrod et al. 2004, Schulze und Weinberger 2008, Olive 2010). Die Sensitivität und Spezifität der Niederfeld- MRT-Untersuchung zur Erkennung von Hufgelenkerkrankungen muss aber mit Hilfe von histologischen Vergleichsuntersuchungen größerer Fallzahlen noch weiter abgeklärt werden. Bisher konnten Signalverluste im Bereich der signalreichen Knorpellinie arthroskopisch oder durch pathologisch-anatomische Untersuchungen als Schädigungen erkannt werden. Die Auflösung des verwendeten Systems kann in „High Resolution Scans“ Strukturen bis zu einer Dicke von 0,88 mm darstellen. Die sehr dünne Knorpelschicht im Hufgelenk ist daher nicht in allen Bereichen darstellbar und kleinere Dickeunterschiede sind nicht zu differenzieren. Eine vergleichbare Einstufung in die Grade 1-4 mit Hilfe von histologischen Untersuchungen liegt bisher nur für Hochfeld-Untersuchungen vor und ist daher zur weiteren Differenzierung auch für Niederfeld-Untersuchungen notwendig.

Die Füllung des Hufgelenks wurde wie bei der Bursa podotrochlearis getrennt bewertet. Dies ist als reine subjektive Größenangabe zu verstehen und muss in weiteren Arbeiten bezüglich der klinischen Bedeutung untersucht werden.

Die Veränderungen an den Seitenbändern des Hufgelenks sind im Hochfeld-MRT gut zu erkennen (Dyson et al. 2008, Zubrod et al. 2004). Pathohistologische Vergleiche stellen Verlust von Knochensubstanz mit Ersatz durch Bindegewebe als Ursache für Signalveränderungen dar. Im Band selbst wurden Risse der Kollagenstruktur mit Einlagerung von Chondrozyten und Chondronen festgestellt (Dyson et al. 2008). Geringe Signalunterschiede und Asymmetrien können auch bei gesunden Pferden vorhanden sein (Murray 2011). Weiterhin ist das Auftreten eines Magic angle artefacts in bestimmten Sequenzen beschrieben. Hierbei zeigen Bänder und Sehnen eine erhöhte Signalintensität wenn sie in einem Winkel von 55° zum Magnetfeld angeordnet sind. Besonders bei den Seitenbändern des Hufgelenks ist dies aufgrund der anatomischen Gegebenheiten im Stehen möglich. Dies ist bei der Bewertung zu beachten und kann zu fehlerhaften Einstufungen von Signalerhöhungen im Hinblick auf ihre pathologische Bedeutung führen.

Die vorgestellten Pferde sind in gewisser Weise vorselektiert. Das Bildmaterial sollte sowohl gesunde als auch erkrankte Gliedmaßen widerspiegeln. Da aber alle hier untersuchten Pferde zumindest auf einer Gliedmaße eine Lahmheit aufwiesen, ist anzunehmen, dass an den nicht lahmen Gliedmaßen nicht in allen Fällen das Spektrum an Veränderungen, wie in einer Kontrollgruppe mit orthopädisch gesunden Pferden, festzustellen ist. Aufgrund der bilateralen biomechanischen Belastung der Vordergliedmaßen beim Reitpferd ist anzunehmen, dass einige Pferde auch auf der nicht lahmen Gliedmaße Prädispositionen oder Schädigungen im Hufbereich aufweisen, die bei gesunden Pferden nicht vorliegen.

Die Graduierung der verschiedenen Signalabweichungen aus der MRT-Untersuchung ist für klinische Vergleiche und statistische Auswertungen unerlässlich. In der Erforschung des Equinen Palmaren Fußsyndroms ist der Bezug zu klinischen Befunden wie z.B. Art und Grad der Lahmheit, zu dem Ausfall der Provokationsproben entscheidend, um die Bedeutung der bildgebenden Befunde zu evaluieren. Auch für die Verifizie-

rung anderer bildgebender Verfahren wie z.B. der radiologischen Untersuchung des Strahlbeins ist eine vergleichbare Graduierung zur statistischen Auswertung notwendig. Dies wurde in der vorliegenden Studie nicht durchgeführt.

Das Ziel dieser Arbeit lag in der Erstellung eines Bewertungsschemas von kernspintomographischen Befunden aus Untersuchungen von stehenden Patienten. Sie dient als Basis für weitere wissenschaftliche Auswertungen retrospektiver Studien. Es ist zu betonen, dass die erhobenen Klassen keinerlei Rückschlüsse auf mögliche klinische Bedeutungen erlauben. Bereits die geringe Selektivität und Sensitivität diagnostischer Anästhesien im Hufbereich erlaubt keine Bestimmung der klinischen Signifikanz einzelner MRT-Befunde. Dementsprechend war dieser Aspekt von vornherein nicht Teil dieser Arbeit.

Die Einteilung der Befunde in verschiedene Grade erfolgte auf Basis vorhandener Literatur und den persönlichen Erfahrungen der Autoren. Damit erheben die Ergebnisse keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Im Gegenteil, weitere Untersuchung mit histopathologischen Vergleichen sowie lahmfreien Pferden sind zur Ausarbeitung der Klassifizierungen wünschenswert.

Literatur

- Blunden A., Dyson S., Murray R. und Schramme M. (2006a) Histopathology in horses with chronic palmar foot pain and age-matched controls. Part 1: Navicular bone and related structures. *Equine Vet. J.* 38, 15-22
- Blunden A., Dyson S., Murray R. und Schramme M. (2006b) 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., Murray R. und Dyson S. (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
- Bolas N., Mair T. S., Martinelli M., Murray R., Powell S., Rantanen N. und Schulze T. (2008) Protocolbook, MRI Protocol for the standing sedated horse. Hallmarq Veterinary imaging
- Bolen G., Audigie F., Spriet M., Vandenberghe F. und Busoni V. (2010) Qualitative Comparison of 0.27T, 1.5T, and 3T Magnetic Resonance Images of the Normal Equine Foot. *J. Equine Vet. Sci.* 30, 9-20
- Branscheid J. (1977) Untersuchungen an der Hufrolle bei Pferden mit und ohne Hufrollenerkrankung (Podotrochlose). Diss. Stuttgart, Universität Hohenheim
- Busoni V., Snaps F., Trenteseaux J. und Dondelinger R. (2004) Magnetic resonance imaging of the palmar aspect of the equine podotrochlear apparatus: normal appearance. *Vet. Radiol. Ultras.* 45, 198-204
- Busoni V., Heimann M., Trenteseaux J., Snaps F. und Dondelinger R. F. (2005) Magnetic resonance imaging findings in the equine deep digital flexor tendon and distal sesamoid bone in advanced navicular disease-an ex vivo study. *Vet. Radiol. Ultras.* 46, 279-286
- Doige C. E. und Hoffer M. A. (1983) Pathological changes in the navicular bone and associated structures of the horse. *Canadian J. Comp. Med. Revue canadienne de médecine comparée*, 47, 387-395
- Dyson S. und Murray R. (2004) Collateral Desmitis of the Interphalangeal Joint in 62 Horses, 50th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners, 2004, Denver, 1436-1204
- Dyson S. und Murray R. (2007) Magnetic Resonance Imaging of the Equine Foot. *Clinical Techn. Equine Pract.*, 6, 46-61

- Dyson S., Blunden T. und Murray R. (2008) The collateral ligaments of the distal interphalangeal joint: magnetic resonance imaging and post mortem observations in 25 lame and 12 control horses. *Equine Vet. J.* 40, 538-544
- Dyson S. (2008) Radiological interpretation of the navicular bone. *Equine Vet. Educ.* 20, 268-280
- Dyson S., Pool R., Blunden T. und Murray R. (2010) The distal sesamoidean impar ligament: comparison between its appearance on magnetic resonance imaging and histology of the axial third of the ligament. *Equine Vet. J.* 42, 332-339
- Dyson S., Murray R., Schramme M. und Blunden T. (2011) Current concepts of navicular disease. *Equine Vet. Educ.* 23, 27-39
- Dyson S. (2011) The foot and pastern. In: Murray R. *Equine MRI*. Wiley-Blackwell, Chichester, 149-172
- Dyson S., Blunden T. und Murray R. (2012) Comparison between magnetic resonance imaging and histological findings in the navicular bone of horses with foot pain. *Equine Vet. J.* 44, 692-698
- Gäch A. (2002) Magnetresonanztomographische Untersuchung pathologischer Veränderungen an der Pferdezehe und Erstellung eines Untersuchungsprotokolls an einem offenen Niederfeldsystem. *Diss. Med. Vet. München*
- Gerhards H., Hertsch B., Jahn P. und G. Brunken (2007) Leitfaden für die röntgenologische Beurteilung bei der Kaufuntersuchung des Pferdes (Röntgenleitfaden RÖLF 07). Gesellschaft für Pferdemedizin (Dortmund) und Bundestierärztekammer (Bonn)
- Gutierrez-Nibeyro S., Wery N., White N., McCutcheon J., Weng H.-Y. und Christopher J. (2011) Standing low-field magnetic resonance imaging appearance of normal collateral ligaments of the equine distal interphalangeal joint. *Vet. Radiol. Ultras.* 52, 521-533
- Mair T. S., Kinns J., Jones R. und Bolas N. (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
- Mair T. S. und Kinns J. (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, 458-466
- Martinelli M., Baker G., Clarkson R., Eurrell J., Pijanowski G. und Kurishkin I. (1996) Magnetic resonance imaging of degenerative joint disease in a horse, a comparison to other diagnostic techniques. *Equine Vet. J.* 28, 410-415
- McKnight A., Manduca A., Felmler J., Rossman P., McGee K. und Ehman R. (2004) Motion-correction techniques for standing equine MRI. *Vet. Radiol. Ultras.* 45, 513-519
- Murray R. (2006) Magnetic resonance imaging characteristics of the foot in horses with palmar foot pain and control horses. *Vet. Radiol. Ultras.* 47, 1-16
- Murray R., Blunden T., Schramme M. und Dyson S. (2006) How does magnetic resonance imaging represent histologic findings in the equine digit. *Vet. Radiol. Ultras.*, 47, 17-31
- Murray R. und Dyson S. (2007) Image Interpretation and Artifacts. *Clinical Techn. in Equine Pract.* 6, 16-25
- Murray R., Mair T. S., Sherlock C. E. und Blunden A. (2009) Comparison of high-field and low-field magnetic resonance images of cadaver limbs of horses. *Vet. Rec.* 165, 281-288
- Olivie J., D'Anjou M., Laverty K. A. und Theoret C. (2010) Comparison of magnetic resonance imaging, computed tomography and radiography for assessment of noncartilaginous changes in equine metacarpophalangeal osteoarthritis. *Vet. Radiol. Ultras.* 31, 267-279
- Olive J. (2010) Distal interphalangeal articular cartilage assessment using low-field magnetic resonance imaging. *Vet. Radiol. Ultras.* 51, 259-266
- Sampson S. N., Schneider R. K., Tucker R. L., Gavin P. R., Zubrod C. J. und Ho C. P. (2007) Magnetic resonance imaging features of oblique and straight distal sesamoidean desmitis in 27 horses. *Vet. Radiol. Ultrasound* 48, 303-311.
- Schramme M., Murray R., Blunden A. und Dyson S. (2005) A Comparison Between Magnetic Resonance Imaging, Pathology and Radiology in 34 Limbs With Navicular Syndrome and 25 Control Limbs. *Proc. of the AAEP Convention, Seattle*, 348-358
- Schulze T. und Weinberger T. (2008) Der Wert einer "Low-Field" MRT-Untersuchung für die Diagnose von Knorpeldefekten im Hufgelenk des Pferdes. *Pferdeheilkunde*, 24, 406-410
- Sherlock C., Kinns J. und Mair T. S. (2007) Evaluation of foot pain in the standing horse by magnetic resonance imaging. *Vet. Rec.* 161, 739-744
- Sill V. (2007) Kernspintomographische Untersuchungen in der Hufregion am stehenden Pferd. *Diss. Med. Vet. München*.
- Sill V., Skorka A., Gerhards H. und Gerlach K. (2011) Magnetresonanztomographische Untersuchungen der Hufregion am stehenden Pferd. *Pferdeheilkunde* 27, 39-48
- Stashak T. (2008): *Lahmheitsdiagnostik*. In: Stashak T. *Adam's Lahmheit bei Pferden*, 4. Aufl., Hannover, Schaper Verlag, 100-155
- Steenbuck N. (2008) Verifizierung kernspintomographischer Befunde der tiefen Beugesehne im Hufbereich von Pferden durch histopathologische Kontrolluntersuchungen. *Diss. Med. Vet. München*
- Vallance S., Bell R., Spriet M., Kass P. und Puchalski S. (2012), Comparisons of computed tomography, contrast enhanced computed tomography and standing low-field magnetic resonance imaging in horses with lameness localised to the foot. Part 1. Anatomic visualisation scores. *Equine Vet. J.* 44, 51-56
- Vanel M., Olive J., Gold S., Mitchell R. und Walker L. (2012) Clinical Significance and prognosis of deep digital flexor tendinopathy assessed over time using MRI. *Vet. Radiol. Ultras.* 53, 621-627
- Wery N., Ho C. und McIlwraith C. (2008) Review on Magnetic Resonance Imaging Systems Available for Use in Equine Patients and the Implications of Field Strength on Clinical Imaging, Comparison of High- and Low-Field Systems. 53rd Annual convention of the American Association of Equine Practitioners-AAEP, 2007, Orlando, FL, Internet Publisher: International Veterinary Information Service, Ithaca, NY (www.ivia.org), Last updated: 5-Dec-2007; P8103.1207
- Wissdorf H., Otto B., Hertsch B. und Keller H. (2002) Hufbereich In: Wissdorf H., Gerhards H., Huskamp B., Deegen E., Praxisorientierte Anatomie des Pferdes, 2. Aufl., Hannover, Schaper Verlag, 365-393
- Wright I. M., Kidd L. und Thorp B. (1998) Gross, histological and histomorphometric features of the navicular bone and related structures in the horse. *Equine Vet. J.* 30, 220-234
- Zubrod C., Farnsworth K., Tucker R. und Ragle C. A. (2005) Injury of the collateral ligaments of the distal interphalangeal joint diagnosed by magnetic resonance. *Vet. Radiol. Ultras.* 46, 11-16
- Zubrod C., Schneider R., Tucker R., Gavin P., Ragle C. und Farnsworth K. (2004) Use of magnetic resonance imaging for identifying subchondral bone damage in horses, 11 cases (1999-2003). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 224, 411-418
- Zuther M. und Hertsch B. (2004) Zur Differenzierung des Podotrochlose-Syndroms mit Hilfe von diagnostischen Anästhesien und der Druckmessung in Hufgelenk und Bursa trochlearis. *Pferdeheilkunde* 20, 525-532

Thomas Stöckl
Tierklinik Binger Wald
Zum Bergwerk 1
55425 Waldalgesheim
t.stoeckl@docvet.com