

Zur klinisch-funktionellen Anatomie des M. interosseus medius der Hintergliedmaße im Hinblick auf die Insertionsdesmopathie des Pferdes - Kernspin-, computertomographische- und morphologische Untersuchungen

Thorben Schulze¹ und Klaus-Dieter Budras²

Pferdeambulanz Burg Muggenhausen¹ und Institut für Veterinär-Anatomie des Fachbereiches Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin²

Zusammenfassung

Die vergleichsweise schlechte Heilungstendenz bei der Insertionsdesmopathie des M. interosseus medius der Hintergliedmaße und die dabei nachweisbare positive Beugeprobe beruhen wahrscheinlich auf unterschiedlichen anatomischen Verhältnissen gegenüber der Vordergliedmaße, was durch unsere Untersuchungen abgeklärt werden soll. Unser Untersuchungsmaterial umfasst 21 Hintergliedmaßen von Pferden verschiedenen Alters, Geschlechts und Rassen. Methoden der Kernspin- und Computertomographie dienten der Darstellung und Auswertung der Befunde. Zur Verifizierung der Befunde wurde eine Gewebeanalyse mit anatomisch-präparatorischen und histologischen Methoden vorgenommen. Die Befunderhebung erbrachte den Nachweis einer bisher unbekannt proximalen, langen Ursprungssehne des M. interosseus medius, die am Calcaneus beginnt, am vierten Tarsalknochen eine Zwischenverankerung aufweist und bei Erreichen des proximalen, plantaren Röhrebeinrandes die laterale, kurze Ursprungssehne überlagert, um mit dieser zu fusionieren. Die kernspin- und computertomographisch im Muskelkopf und -bauch nachweisbaren halbmond- oder z-förmigen Einschlüsse erwiesen sich bei histologischer Verifizierung als quergestreifte Muskulatur, die in ihrer bindegewebigen, fetthaltigen Umhüllung neurovaskuläre Leitungsstrukturen erkennen ließ. Die Auswertung und Diskussion der Befunde führte zu unserer Auffassung, dass die lange proximale Ursprungssehne bei der Sprunggelenksbeugung einen Gelenk-Scheiteldruck auf die kurze, laterale Ursprungssehne ausübt, wodurch eine Schmerzreaktion mit verzögerter Heilungstendenz auftritt und die Beugeprobe positiv ausfällt, sofern hier proximoplantar am Röhrebein krankhafte Veränderungen einer Insertionsdesmopathie vorliegen.

Schlüsselwörter: Pferd, Fesselträger, Anatomie, Kernspintomographie, Computertomographie, CT, MRT

About the clinical and functional anatomy of the suspensory ligament (M. interosseus medius) in the hind limb in relation to high suspensory desmitis of the horse

It is unclear why a hind limb insertional desmopathy of the suspensory ligament has a tendency to heal worse than a front limb suspensory desmitis. Also, the presence of a positive flexion test of the tarsus in a horse with high suspensory desmitis is of interest. The purpose of our study is to determine if the anatomical difference of the suspensory ligament between front and hind limb is the cause. Our material includes 21 hind limbs of horses of different ages, sex and breed. MRI and CT were used to identify and classify the findings which were then verified using anatomical and histological tissue sections. The results showed proof of a previously unknown long proximal tendon of origin of the suspensory ligament that starts at the calcaneus, has an intermediate attachment on the 4th tarsal bone and upon reaching the proximal plantar edge of the cannon bone overlies the lateral short tendon of origin with which it fuses. MRI and CT images showed half-moon- and Z-shaped inclusions within the origin and body of the suspensory ligament. Histologically those inclusions proved to be skeletal muscle tissue wrapped in fatty connective tissue which contained neurovascular structures. The results and discussion thereof cause us to believe that when the hock is bent, the long proximal tendon of origin exerts pressure on the short lateral tendon of origin at the 3rd metatarsal bone which could be a cause for the pain reaction and the delayed healing process of the high suspensory desmitis in the hind limb. The pressure of the long proximal tendon on the short lateral tendon could also be a reason for a positive flexion test of the tarsus as long as there are pathological changes with an insertional desmopathy of the lateral origin of the suspensory ligament at the 3rd metatarsal bone.

Keywords: horse, suspensory ligament, anatomy, magnetic resonance imaging, computed tomography, CT, MRI

Einleitung

Während der phylogenetischen Entwicklung über 50 Millionen Jahre- vom wald- und sumpfbewohnenden Einzelgänger in Fuchsgröße (Eohippus) zum rezenten Flucht- und Herdentier der Gattung *Equus caballus*- kam es zur erheblichen Modifikation an den Gliedmaßen (Budras et al. 2003). Die ursprüngliche Plantigradie des Sohlengängers wurde schließlich durch eine Unguligradie des heutigen Zehenspitzen-

gers abgelöst. Die einhergehende Streckung und Verlängerung der Gliedmaßen wurde vor allem durch die Entwicklung des Fessel- und Hufbeinträgers erreicht (Budras und Röck 2004). Diese anatomischen Strukturen sind Anteile der passiven Stehvorrichtung und ermöglichen damit ein nahezu ermüdungsfreies lang anhaltendes Stehen zur ständigen Fluchtbereitschaft. Der stark sehnig durchsetzte M. interosseus medius spielt dabei eine wichtige Rolle, indem er als Hauptbestand-

teil des Fesselträgers das Acropodium bis zum Fesselkopf aufrecht. Durch die einhergehende Langbeinigkeit wurden die Voraussetzungen für einen langen, raumgreifenden Schritt und enorme Laufgeschwindigkeiten geschaffen: alles essentielle Voraussetzungen für das Überleben eines Fluchttieres. Diese Vorteile hat das Pferd mit erheblichen gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu begleichen, denn von den genannten anatomischen Strukturen können bedeutende orthopädische Leiden ausgehen. Im schlimmsten Falle kommt es zum krankhaften Atavismus, wenn bei Adulten durch Niederbruch und bei Juvenilen im Falle der Durchtrittigkeit des Fesselträgers die ursprüngliche Plantigradie und Winkelung der Gliedmaßen wieder hergestellt werden. Die vielfältigen krankhaften Veränderungen, besonders im Zusammenhang mit der Insertionsdesmopathie (Huskamp und Nowak 1986), sind von erheblicher klinischer Bedeutung (Brehm 1996) und werden vorrangig durch biomechanische Überbelastungen der Ursprungsverankerung des M. interosseus medius ausgelöst (Weiler 2000). Nach übereinstimmender Literaturmeinung treten die krankhaften Veränderungen öfter an der Hinterextremität auf und haben eine deutlich schlechtere Prognose bei längerer Heilungsdauer als an der Vordergliedmaße (Dyson 1996, Rijkenhuizen et al. 2007). Laut Butler et al. (1996) ist an der Hinterextremität der laterale Ursprung am Röhrbein viel öfter betroffen als der mediale, während an der Vorderextremität reziproke Verhältnisse vorliegen. Diese Gegebenheiten erscheinen zunächst unerklärlich und sogar paradox, denn die Vordergliedmaßen sind durch das einwirkende höhere Körpergewicht und durch die diffizileren Bewegungsabläufe einer wesentlich höheren Belastung ausgesetzt (Dämmrich 1991). Bei diesen Gegebenheiten stellt sich uns die Frage, ob spezielle anatomische Besonderheiten dafür eine Erklärung bieten und ob bei Abhandlung der Hintergliedmaße der viel genutzte Verweis auf die entsprechenden Verhältnisse der Vordergliedmaße zulässig ist. Auch das positive Resultat der Beugeprobe kann bei Vorliegen einer Insertionsdesmopathie am Ursprung des M. interosseus medius der Hinterextremität nicht überzeugend erklärt werden.

Die hier vorgestellte Untersuchung unter Anwendung moderner bildgebender Verfahren bei gewebeanalytischer Verifizierung durch herkömmliche, bewährte anatomisch-histologische Methoden erscheint deshalb dringend geboten, weil in der Literatur diverse Widersprüche über die Gewebzusammensetzung des M. interosseus medius bestehen. Einerseits

wird beim adulten Pferd von einer rein sehnigen Struktur ausgegangen (Seiferle und Frewein 2003), was im angloamerikanischen Sprachraum zur irreführenden Benennung als „suspensory ligament“ führte. Andererseits wird ein bis zu 50%iger Anteil an Muskelgewebe angegeben (Weingart 2006), welcher alters- und rassenabhängig ist und zusätzlich von individualspezifischen Gegebenheiten geprägt wird (Dyce et al. 1991, Rooney 1973). Die Klärung dieser Widersprüche ist über die rein anatomisch-nomenklatorischen Belange hinaus (suspensory ligament oder -tendon oder -muscle) von erheblichem klinischen Belang. Die muskulären Einschlüsse stellen sich in sonographischen Untersuchungen „hypoecho-gen“, im MRT „signalstärker“ und im CT „röntgenschwächer“ als das umliegende Sehngewebe dar. Das führt bei allen bildgebenden Verfahren zu Interpretationsschwierigkeiten und Verwechslungen mit Sehnenfaserissen (Rijkenhuizen et al. 2007). Ein herausragender klinischer Bezug wird sich in der Zukunft bei der Anwendung der modernen Stammzelltherapie in der Pferdeheilkunde ergeben. Den mesenchymalen Stammzellen (MSC's) wird ein enormes Potential für die Behandlung von Erkrankungen des Bewegungsapparates zugeschrieben (Taylor et al. 2007). In der Forschung werden verschiedene Techniken angewandt werden, um das Differenzierungspotential von mesenchymalen Stammzellen für die Osteo-, Chondro-, Myo- oder Tendogenese zu ermitteln (Identifizierung zelllinienspezifischer Gene oder Marker). Sehnen-spezifische Marker konnten bisher noch nicht zuverlässig nachgewiesen werden, weshalb sehnen-spezifische Proteine wie Kollagentypen für die Bestimmung eingesetzt werden (Taylor et al. 2007). Für die Therapie einer erkrankten Struktur (z.B. bei der Insertionsdesmopathie des M. interosseus medius) muss die Gewebzusammensetzung der krankhaften Veränderung bekannt sein, um die Differenzierung mesenchymale Stammzellen durch das Vorhandensein bestimmter Kulturbedingungen und spezifischer Faktoren in die gewünschte Richtung zu fördern. Aus diesem Grunde ist es ein besonderes Anliegen unserer Arbeit, eine genaue Struktur- und Gewebeanalyse im Ursprungsgebiet des M. interosseus medius vorzulegen.

Material und Methode

Das Material für die vorliegende Untersuchung stammte aus 21 Hinterextremitäten (Tab.1) von 11 euthanasierten Pferden,

Tab 1 Auflistung der für diese Arbeit verwendeten Präparate

Pferd Nr.	Rasse	Alter	Geschlecht	Gewicht (ca.)	Hintergliedmaße
1.	Isländer	7	Stute	430	Beidseits
2.	Westfale	13	Wallach	580	Beidseits
3.	Vollblut	4	Hengst	400	Beidseits
4.	Hesse	8	Stute	550	Beidseits
5.	Araber	25	Wallach	420	Beidseits
6.	Trakehner	9	Wallach	520	Beidseits
7.	Vollblut	4	Hengst	430	Rechts
8.	Haflinger	15	Stute	530	Beidseits
9.	Quarter Horse	8	Stute	500	Beidseits
10.	Holsteiner	14	Stute	560	Beidseits
11.	Friese	<1	Hengst	180	Beidseits

die laut Vorbericht und Ultraschalluntersuchung keine orthopädischen Krankheitsanzeichen aufwiesen.

Nach der Euthanasie wurden die distalen Gliedmaßen im Tarsotibialgelenk abgesetzt und kernspintomographisch sowie computertomographisch untersucht. Mit Hilfe des MRT wurden Schnittbilder in sagittaler, transversaler sowie frontaler Projektion angefertigt. Im CT sind transversale Aufnahmen in der Weichteilfenstereinstellung bewertet worden. An 11 Gliedmaßen wurden anatomische Präparationen durchgeführt, wobei wir gezielt Gewebe für die histologische Untersuchung entnahmen.

Eigene Befunde

Topographisch- anatomische Umgebung des M. interosseus medius (Abb.1)

Der M. interosseus medius liegt zwischen dem tiefgelegenen Röhrlbein und den beiden Beugesehnen (Abb.2, b -links) in einer Mulde, welche lateral und medial von den jeweiligen Griffelbeinen flankiert wird und in der Tiefe an das Röhrlbein grenzt. Am lateralen bzw. medialen Griffelbeinköpfchen entspringt der M. interosseus lateralis bzw. -medialis. Diese winzigen Muskeln von etwa Grashalmstärke gehen wenige mm

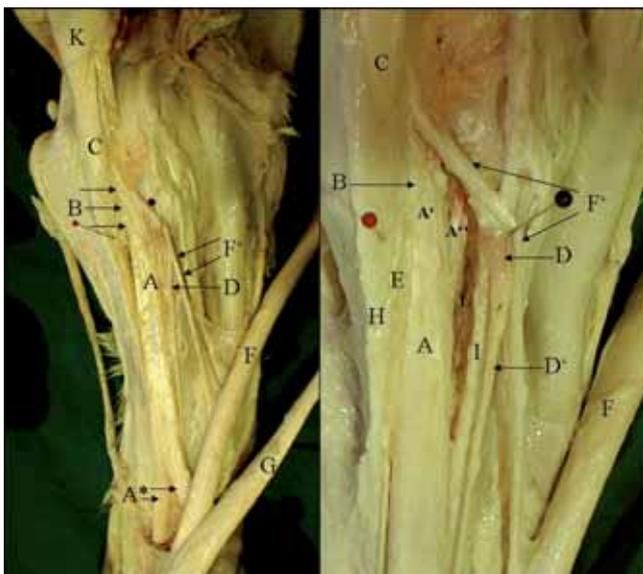


Abb 1 M.interosseus medius (MIO) mit umliegenden Strukturen (links) und ca. 2 fache Vergrößerung seines Ursprungsbereiches (rechts). A- MIO; A'- Lateraler Ursprungsbereich; A''- Medialer tiefer Ursprung; A*- Fesselträgerschenkel; B- Proximale Ursprungssehne des MIO; C- Lig.plantare longum; D- Muskulöser Ursprung und D'- Endsehne des M.interosseus medialis; E- M.interosseus lateralis; F- Tiefe Beugesehne; F'- ihr Unterstützungsband; G- Oberflächliche Beugesehne; H- Os MT4; I- Os MT2; K- Calcaneus; L- Bindegewebe zwischen MIO und Röhrlbein.

Suspensory ligament (SL) with surrounding anatomical structures (left) and origin of the SL (HSL) magnified to approximately twice its normal size (right). A- SL; A'- Lateral origin; A''- Medial deep origin; A*- Branches of SL; B- Proximal accessory tendon of the SL; C- Long plantar ligament; D- Origin (muscularly) and D' Insertion of the medial interosseus muscle; E- Lateral interosseus muscle; F- Deep digital flexor tendon (DDFT); F'- Distal accessory ligament of the DDFT; G- Superficial digital flexor tendon; H- 4th MT bone; I- 2nd MT bone; K- Calcaneus; L- Connective tissue between SL and 3rd MT bone.



Abb 2a Sagittale (links) und frontale (rechts) MRT Darstellung des M.interosseus medius Ursprunges. A- Proximale (lange) Ursprungssehne; B- Lig.plantare longum; C-Ursprung des MIO am Röhrlbein; D- Plantar dem M.interosseus medius anliegendes Bindegewebe; OT4- Os tarsale 4; Mt4- Os metatarsale 4.

Sagittal (left) and frontal (right) MR view of the high suspensory ligament (HSL). A- Proximal accessory tendon of the SL; B- Long plantar ligament; C- Origin of the SL at the 3rd metatarsal bone; D- Connective tissue plantar to the SL; OT4- 4th tarsal bone; Mt4- 4th MT bone.

nach ihrem sehnigen Ursprung in einen blassen spindelförmigen Muskelbauch von ca. zwei cm Länge und ca. 3 mm Durchmesser über. Die sehr lange Endsehne überquert das Griffelbeinköpfchen und endet in der Unterschenkel faszie und deren Verstärkung medial bzw. lateral im Fesselringband.

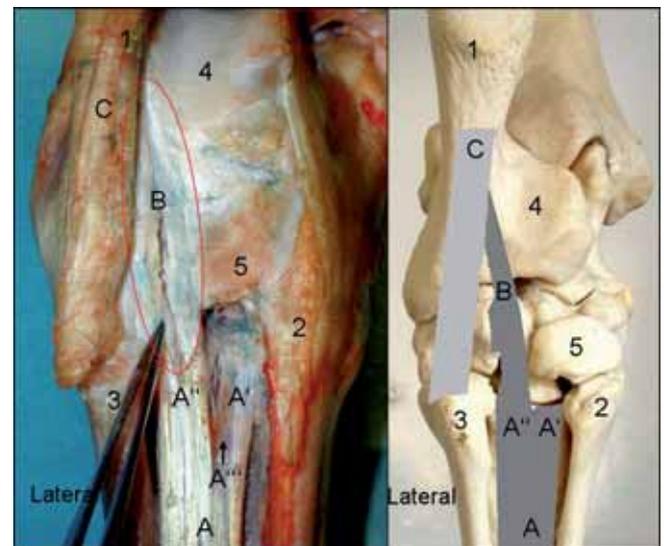


Abb 2b M.interosseus medius nach Entfernung der Faszien und Beugesehnen(links) und schematische Darstellung seiner Ursprungsverhältnisse (rechts). 1. Calcaneus; 2. Os MT2; 3. Os MT4; 4. Sustentaculum tali mit Gleifläche für die tiefe Beugesehne; 5. Os tarsale I et II; A- MIO mit A'- medialem und A'' lateralem Ursprung; A'''- Rötlich(muskulär) verfarbter Hilusbereich des MIO; B- Proximale Ursprungssehne; C- Lig.plantare longum

Suspensory ligament after removal of fascia and flexor tendons (left) and schematic representation of the high suspensory ligament (right). 1. Calcaneus; 2. 2nd MT bone; 3. 4th MT bone; 4. Sustentaculum tali and its gliding surface for the DDFT; 5. 1st and 2nd tarsal bone; A- SL with A'- medial and A''- lateral origin; A'''- Reddish (muscular) part of the HSL; B- Proximal accessory tendon; C- Long plantar ligament.

Einteilung des M.interosseus medius

Der Muskel gliedert sich in einen Muskelkopf a) mit Ursprungssehnen und Muskelhilus sowie den Muskelbauch b) und die Muskelendigung c) mit vier Endsehnen (paarige Fesselträgersehnen und paarige Unterstützungssehnen zur langen Strecksehne- Abb.1). Der Muskelkopf (Abb.2 a-d) geht mit einer lateralen- und einer medialen tiefgelegenen, kurzen

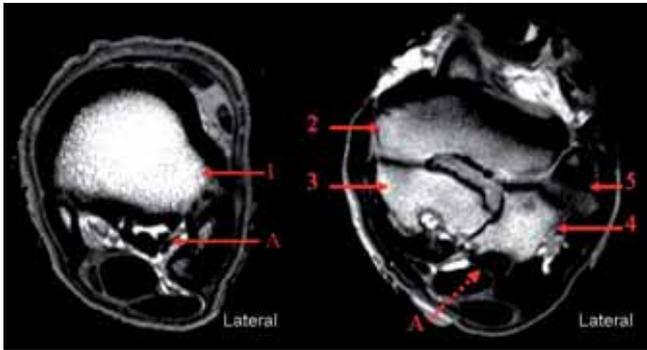


Abb 2c Transversale Schnittbilder durch den tiefen Ursprung des MIO am Röhrrhein (links) und die proximale Ursprungssehne (rechts) 1. Röhrrhein; 2. Talus; 3. Os tarsi centrale; 4. Os tarsale quartum; 5. Articulatio calcaneoquartalis. A- Tiefer Ursprung des MIO (links) bzw. proximale lange Ursprungssehne (rechts)
Transverse MR images of the HSL (left) and proximal accessory tendon (right). 1. 3rd metatarsal bone; 2. Talus; 3. Central tarsal bone; 4. 4th tarsal bone; 5. Proximal intertarsal joint; A- HSL (left) and proximal accessory tendon (right).

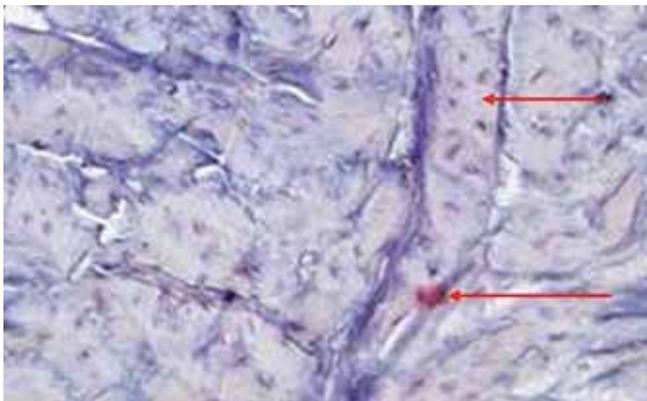


Abb 2d Histologische Darstellung der metaplastischen Inseln (Pfeile) aus der langen Ursprungssehne des MIO, welche das Phänomen der Metachromasie (rötliche Verfärbung) zeigen. (Trichromfärbung nach Goldner).
Histological representation of metaplastic areas (arrows) within the proximal accessory tendon which show metachromasia after trichrome staining (Goldner).

Ursprungssehne proximopltantar aus dem Röhrrhein hervor. In diesem Bereich stellt sich der noch rein sehnige M.interosseus medius im MRT Bild gleichmäßig signallos dar. Die laterale kurze) Ursprungssehne ist verdeckt und überlagert von einer langen (proximalen, bisher unbekannt) Ursprungssehne (Abb.2 b), welche bei mittelgroßen Pferden eine Länge von ca. 7 cm, eine Breite von ca. 8 mm und eine Dicke von ca. 4 mm aufweist. Sie beginnt am Calcaneus (Abb.2c, rechts) sowie am Lig. plantare longum und zieht über das mediale Viertel des 4. Tarsalknochens. Am Proximalende des Röhrrheins fusioniert sie mit der lateralen (kurzen) Ursprungssehne, wodurch diese eine doppelte Dicke im Vergleich zur medialen (kurzen) Ursprungssehne annimmt (Abb.2 c, links).

An Stellen mit harter Unterlage wie am vierten Tarsalknochen weist die lange (proximale) Ursprungssehne faserknorpelige Gleitlager auf, die bei histologischer Verifizierung (Abb. 2, d) an ihrer Zellabrundung, ihren abgerundeten Knorpelzellkernen und an dem Phänomen der Metachromasie erkennbar sind. (Bei Anwendung basischer Farbstoffe färbt sich die Knorpelgrundsubstanz auf Grund ihres Gehaltes an (saurem) Chondroitinsulfat lila-rötlich an).

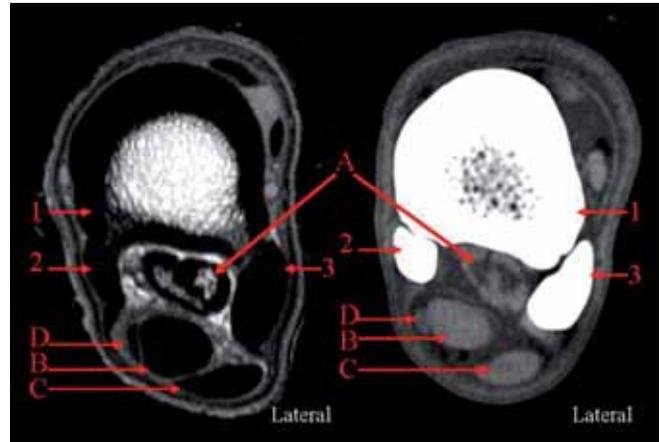


Abb 3a Transversales MRT (links) und CT (rechts) Schnittbild proximal durch den Muskelkopf des MIO. 1. Röhrrhein; 2. Os MT2; 3. Os MT4. A- MIO mit mondsichelförmigen Einschlüssen; B- Tiefe Beugesehne; C- Oberflächliche Beugesehne; D. M. flexor digitalis medialis
Transverse MR (left) and CT image (right) of the HSL. 1. 3rd metatarsal bone; 2. 2nd MT bone; 3. 4th MT bone; A- HSL with C-shaped inclusions of hyperintense fibres; B- Deep digital flexor tendon; C- Superficial digital flexor tendon; D- Tendon of medial head of deep digital flexor tendon

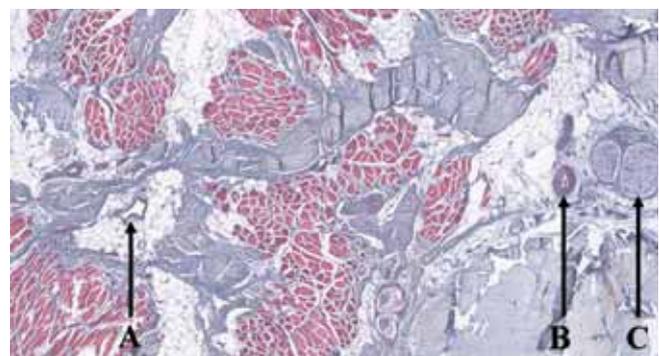


Abb 3b 25 fache Vergrößerung der Hiluseinschlüsse. Muskel-, Fett- und Bindegewebe mit A- Vene; B- Arterie; C- Nerv (Trichromfärbung nach Goldner).
View of the HSL 25-times magnified. Muscle-,fat- and connective tissue with A- Vein, B- Artery; C-Nerve (Trichrome staining, Goldner).

Der Querschnitt des Muskelhilus ist proximal dreieckig und liegt ca. 8 mm vom Röhrrheinursprung entfernt im Vereinigungswinkel zwischen der medialen und der lateralen Ursprungssehne (Abb.2 a und b). In den Hilus treten als versorgende Leitungsstrukturen die Äste der A. und V.tarsea perforans sowie ein Ast des N.tibialis hinein (Abb.3 b). Im Hilusgebiet sind zudem immer Muskelareale eingeschlossen, welche im distalen Verlauf eine mondsichelförmige Konfiguration annehmen (Abb.3 a). Im Querschnittsbild erinnert der laterale Einschluss an eine abnehmende- und der mediale Einschluss an eine zunehmende Mondsichel. Bei räumlicher Betrachtung erscheinen die Einschlüsse dachrinnenartig mit

der zur Medianen des Muskels gerichteten Rinnenöffnung. Die histologischen Vergleichuntersuchungen zeigten, dass sich die Muskelfasern mit umgebenden Fettzellen und Bindegewebssepten im MRT signalreich darstellen (Abb.3 a, links), während Nerven- und Gefäßstrukturen eher eine intermedia-re Signalintensität aufweisen. (Abb.3 b). Im CT Bild ließen sich keine Unterschiede in der Röntgendichte der Einschlüsse feststellen (Abb.3 a, rechts).

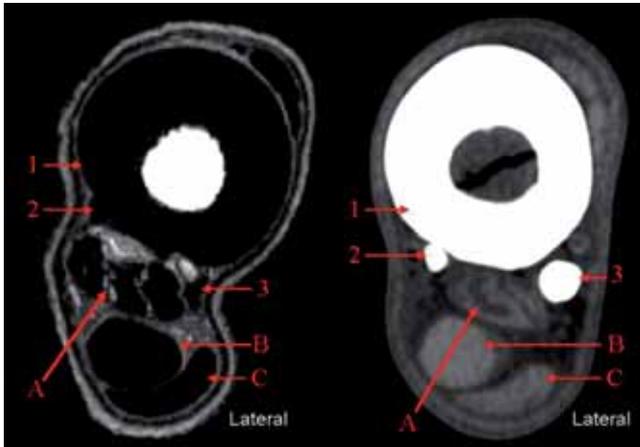


Abb 4a Transversales MRT (links) und CT (rechts) Schnittbild durch den Bauch des MIO. 1. Röhreibein; 2. Os MT2; 3. Os MT4. A- MIO mit Einschlüssen in „Zick-Zack“ Konfiguration; B- Tiefe Beugesehne; C- Oberflächliche Beugesehne
Transverse MR (left) and CT image (right) of the body of the suspensory ligament. 1. 3rd metatarsal bone; 2. 2nd MT bone; 3. 4th MT bone; A- SL with zigzag-shaped inclusions of hyperintense fibres; B- Deep digital flexor tendon; C- Superficial digital flexor tendon.

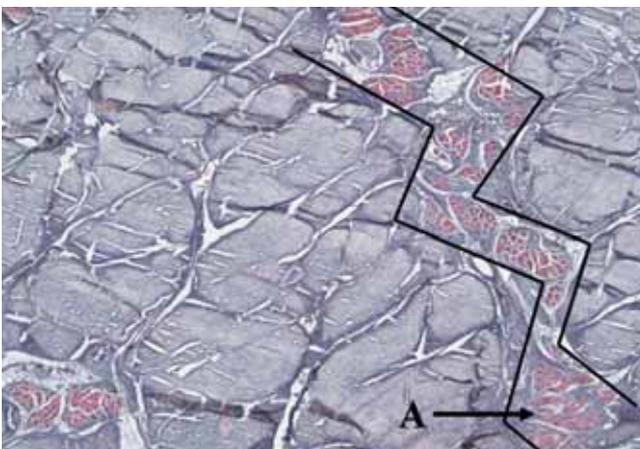


Abb 4b 25 fachen Vergrößerung des MIO Bauches. Muskelgewebseinschlüsse (A) in „Zick-Zack“ Form im ansonsten sehnigen MIO. Die neurovaskulären Anteile nehmen deutlich ab.
View of the body of the suspensory ligament 25-times magnified. Muscle fibres (A) embedded within the suspensory ligament show a zigzag shape. Neurovascular structures are less apparent.

Die Muskelanteile sind in der Präparation bereits mit bloßem Auge erkennbar und erreichten bei vier Pferden in der medialen Ursprungshälfte die plantare Oberfläche des M. interosseus medius (Abb.2 b, links).

Der Muskelbauch lässt durchgehend eine Paarigkeit erkennen. Seine signalintensiven paarigen Einschlüsse formen sich allmählich von der mondsichelförmigen zu einer Zick-Zack-

oder Z-artig Struktur um, erscheinen distal also in Druckrichtung kranioplantar gestaucht (Abb.4 a und b). Die Umformung zu einer Zick-Zack Struktur konnte bei allen untersuchten Gliedmaßen beobachtet werden, war aber individuell unterschiedlich stark ausgeprägt. Auffällig war eine symmetrische Konfiguration der Einschlüsse zwischen den jeweils kontralateralen Gliedmaßen, so dass vergleichende Untersuchungen immer zu empfehlen sind.

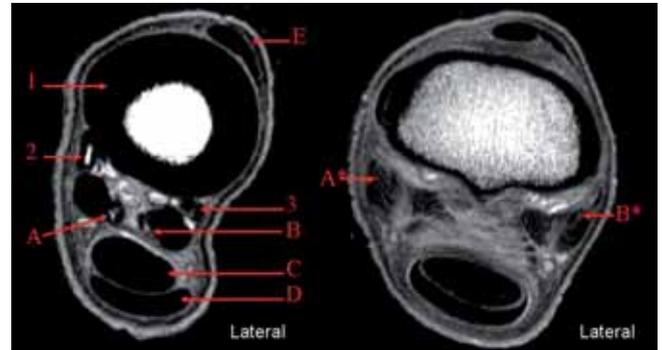


Abb 5a Transversales MRT Bild proximal (links) und distal (rechts) durch die Fesselträgerschenkel. 1. Röhreibein; 2. Os MT2; 3. Os MT4 A u. B- Axiale Muskel-Appendices im ansonsten signallosen Sehnen-gewebe; A* u. B*- Signalerhöhung der Fesselträgerschenkel vor Insertion an den Gleichbeinen; C- Tiefe Beugesehne; D- Oberflächliche Beugesehne
Transverse MR images through the proximal (left) and distal (right) part of the branches of the suspensory ligament. 1. 3rd metatarsal bone; 2. 2nd MT bone; 3. 4th MT bone; A- and B- Muscle-endings axial within the tendon fibres; A and B*- Increase of signal intensity of the SL branches before their insertion on the sesamoid bones; C- Deep digital flexor tendon; D- Superficial digital flexor tendon.*

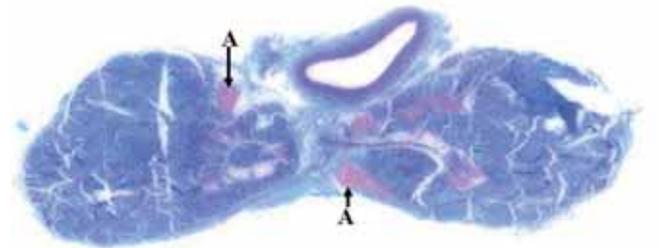


Abb 5b Schnittbild des MIO in Höhe seiner Aufspaltung in die Fesselträgerschenkel. A: Axial orientierte Muskel-Appendices
Section through the proximal part of the branches of the suspensory ligament. A: Axially oriented muscle endings.

Ebenso wie in histologischen (Abb.4 b) und magnetresonanztomographischen Darstellungen (Abb.4 a, links) sind die Einschlüsse auch im CT Bild (Abb.4 a, rechts) deutlich zu erkennen, stellen sich dort aber mit etwas unschärferer Kontur dar. Die Muskelfasern sind proximal am Übergang aus dem Hilusgebiet am deutlichsten und umfangreichsten ausgeprägt und distal, an der Aufspaltung in die Endsehnen, am unscheinbarsten. Hier verlagern sich die Einschlüsse von einer lateralen bzw. medialen (peripheren) Position zur Mittelebene des Muskels und „verlieren“ sich in einem immer noch paarigen zipfelförmigen Appendix. Die histologische Auswertung ergab, dass die Einschlüsse durchgehend - zu einem hohen Anteil- aus quer- gestreifter Muskulatur bestehen, die vom lockeren Bindegewebe samt Fetteinlagerungen und enthaltenen Leitungsstrukturen (A.V.N.) umgeben ist. Die Zahl der Lei-

tungsstrukturen nimmt proximodistal vom Muskelhilus bis zur Endigung kontinuierlich ab.

Die Muskelendigungen (Abb.5 a und b) stellen sich überwiegend signallos dar. Am Übergang aus dem Muskelbauch sind in den Endsehnen bei der MRT-Untersuchung noch unregelmäßig konturierte, schwache Einschlusssignale mit einem Durchmesser von ein bis zwei mm wahrnehmbar (Abb.5 a, links). Nach histologischer Auswertung können sie als die zipfelförmigen Muskel-Appendices erkannt werden (Abb.5 b).

Die distalen Ansatzbereiche der Fesselträgerschenkel weisen einen nahezu dreieckigen Querschnitt auf und stellen sich deutlich signalintensiver als ihre proximalen Bereiche dar. Wenige mm vor ihrer Insertion lassen die Fesselträgerschenkel eine zunächst schwache, diffuse Signalintensität erkennen, die distal stärker wird und in die Signalhyperintensität der Gleichbeinspongiosa übergeht (Abb.5 a, rechts). (Einstrahlungssignale s. Diskussion)

Unsere weiteren Befunde zu den Endsehnen stimmen mit den Angaben in der Literatur überein und werden deshalb hier nicht weiter erörtert.

Diskussion

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein umfangreiches Referenz-Bildmaterial für CT- und MRT- Untersuchungen des Mittelfußbereiches erstellt. Diese kann hier aus Platzgründen nicht wiedergegeben werden, ist jedoch in der Dissertationsschrift von *Schulze* (2007) enthalten. Die angewandte Methodenkombination aus modernen bildgebenden Verfahren und altergebrachten, bewährten anatomischen Methoden zur Verifizierung der Gewebeanteile hat sich als sehr nützlich erwiesen und kann für vergleichbare Untersuchungen empfohlen werden. Auf diesem Wege können die modernen bildgebenden Verfahren für die Anatomie (besonders für die Morphometrie) zum großen Vorteil mit erheblicher Zeiteinsparung genutzt werden. Allein die Auswertung des Archivmaterials von entsprechend ausgestatteten Kliniken kann dabei von großem Nutzen sein.

Für die klinische Diagnostik sind die modernen bildgebenden Verfahren von höchstem Wert, falls eine Feindiagnose zur gezielten Therapie zwecks Abkürzung der Behandlungsdauer erforderlich erscheint. Die Röntgenuntersuchung und die Sonographie sind für die Darstellung des Ursprungs des M. interosseus medius, der in einer tiefen Mulde zwischen den Griffelbeinköpfchen liegt, wegen der Überlagerungen und anderer Faktoren häufig unzureichend (*Ueltschi* 1989, *Dyson* et al. 1995, *Crowe* et al. 2002). Sie können zusammen mit klinischen Untersuchungsmethoden eingesetzt werden, um für die Erstellung der Feindiagnose eine Empfehlung zur sinnvollen Auswahl zwischen den verschiedenen bildgebenden Verfahren, besonders der Computer- und der Kernspintomographie treffen zu können.

Die MRT-Untersuchung bietet für die Diagnose im Ursprungsgebiet des M. interosseus medius und die Insertion der Fesselträgerschenkel an den Gleichbeinen, also in Bereichen mit komplexer Gewebzusammensetzung wegen des vergleichsweise hohen Auflösungsvermögens einen beachtlichen Gehalt an strukturellen Detailinformationen. Das bezieht sich

u. a. auf die Signaleinschlüsse in Sehnen. Als mögliche Ursache für diese Signalalterationen vermuten *Kleiter* (1996) und *Schwarzkopf* (2000) Faserknorpelanteile in den distalen Abschnitten der Fesselträgerschenkel. Diese Vermutung kann durch die eigenen histologischen Untersuchungen verifiziert, präzisiert und auf die Ursprungssehnen ausgedehnt werden. Die signalstärkeren Faserknorpelinschlüsse gehören entweder zu den Faserknorpelanteilen der zweiten und dritten Zone der 4-zonalen Insertion oder zu Gleit-Sehnenabschnitten, die Metaplasien zu Faserknorpelgewebe erkennen lassen.

Die 4-zonale (chondral-apophysäre) Insertion kommt nach *Tillmann* (1987) in der Knocheninsertion von allen rundlichen Ursprungs- und Ansatzsehnen, aber auch in Bänder- und Gelenkkapselverankerungen vor. In der ca. 2 mm langen 4-zonalen Verankerung durchziehen die Kollagenfasern zunächst die Zone des verdichteten Sehngewebes (1), danach die Zone des nicht mineralisierten Faserknorpels (2) und nach einer sehr dünnen Mineralisierungsgrenze (Tidemark) die Zone des mineralisierten Faserknorpels (3), um in die Knochen-Kompakta (4) einzustrahlen (Einstrahlungsknochen nach *Tillmann* 1987). Für die ausgelösten Signale schlagen wir den Begriff Einstrahlungssignale vor. (Flächenhaft inserierende Muskeln wie der *M.serratus ventralis* weisen eine periostale Insertion ohne Ausformung einer 4-zonalen Insertion auf. Die Sehnenfasern strahlen in das Periosteum ein und dieses ist über Sharpey'sche Fasern mit dem unterliegenden Knochen verankert.)

Zwischen dem Ursprung und dem Ansatz von Sehnen kommen auf harten Knochenunterlagen metaplastische Gleitsehnenabschnitte vor. Hier erfolgt nach dem Prinzip der kausalen Histogenese nach *Pauwels* (1960) infolge unphysiologisch hoher Druckeinwirkungen eine Transformation von Sehngewebe in Faserknorpelgewebe mit einhergehendem Ersatz von Kollagen Typ 1 zu Kollagenfasern vom Typ 2, wodurch die Zugbelastbarkeit der Sehne verringert wird (*Reese* 1995). Die Metaplasie von Sehngewebe in faserknorpelige Sehneneinlagerungen lässt sich im MRT signalschwach darstellen und histologisch verifizieren.

Die MRT-Untersuchung bietet im Vergleich zum unterschiedlich beurteilten CT- Leistungsvermögens (*Tietje* 1997) Vorteile in der Wiedergabe von Weichteilen (*Denoi* 1993, *Weiler* 2000). Die signalschwachen Einschlüsse im M. interosseus medius lassen sich bei Anwendung beider Verfahren gleichermaßen gut erkennen, grenzen sich allerdings computertomographisch etwas unschärfer und verschwommener von den Sehnenfasern ab. Der MRT stellt die Einschlüsse scharf-konturiert dar, bietet jedoch keine Gewebanalyse, weshalb bei der Befunderhebung weiterhin die allgemeingültigen Gewebekarakterisierungen wie „signalstark“, „signalschwach / intermediär“ und „signallos“ zu verwenden sind (*Schulze* 2007). Die CT- Schnittbilder bieten Vorteile in der Beurteilung von Unterschieden in der Knochendichte und in der Identifizierung von Avulsionsfrakturen. Des Weiteren erwies sich bei der CT-Technik die Herstellung sehr dünner Schnitte als vorteilhaft, denn sie bietet die Möglichkeit einer 3-dimensionalen Rekonstruktion, selbst filigraner Strukturen (*Nöller* et al. 2007).

In der speziellen Myologie ist der stark sehnig durchsetzte M.interosseus medius als zweiköpfiger Muskel zu werten, der

durch Fusion der paarigen *Mm. flexores breves proff.* hervorgegangen ist (Ellenberger et al. 1943). Die Paarigkeit ist am Muskelursprung (medialer und lateraler Ursprungskopf, letzterer mit langer -proximaler- Ursprungssehne) und an der Endigung (zwei Endsehnen mit je einem sehnigen Fesselträgerschenkel zu den Gleichbeinen und je einer Unterstützungssehne zur langen Strecksehne) sehr deutlich nachzuziehen. Im Muskelbauch ist sie immer noch klar an den paarigen signalintensiven Einschlüssen zu erkennen. Zu den Widersprüchen in der Fachliteratur über den Muskelfaseranteil kann festgestellt werden, dass wir in allen untersuchten Fällen einen beachtlichen Muskelfaseranteil fanden und damit die Ergebnisse neuerer Spezialuntersuchungen (Kaminski 2006) bestätigen können. Bei Anwendung der modernen bildgebenden Verfahren verbirgt sich der Muskelfaseranteil in den signalintensiven (MRT) bzw. röntgenschwachen CT-Einschlüssen mit spezifischer Mondsichel- bzw. Zick-Zack-förmiger Konfiguration und ist durch histologische Untersuchungen stets verifizierbar. Im Hilusgebiet können die Muskelfasern in einigen Fällen soweit plantar liegen, dass sie oberflächlich wahrnehmbar sind, während sie im Muskelbauch von einem dicken Sehnenmantel umhüllt sind. Nach nomenklatorischen Prinzipien ist festzustellen, dass die im angloamerikanischen Sprachgebrauch übliche Bezeichnung als „suspensory ligament“ zwar für die Funktion zutreffend, aber im Hinblick auf die Gewebeanteile eher irreführend ist („suspensory muscle“ wäre korrekt). Es gibt keinen Anlass, den *M. interosseus medius* als Bandstrukturen zu klassifizieren. Eine vollständige Metaplasie des Muskelgewebes in Bindegewebe, wie sie durch Transformation des *M. pronator teres* zum *Lig. collaterale cubiti mediale (longum)* während der Phylogenese des Pferdes erfolgte, liegt am *M. interosseus medius* nicht vor.

Die klinische Problematik der Insertionsdesmopathie des *M. interosseus* der Hintergliedmaße hat besonders im Dressur- und Trabrennsport eine große Bedeutung. Die vierzonale Insertionszone ist nach Weiler (2000) die gewebliche Voraussetzung für die Entstehung einer Insertionsdesmopathie. Sie beginnt mit Faserrissen und Entzündungen zwischen der ersten Zone (des einstrahlenden Sehnenorgans) und der zweiten Zone (des nichtmineralisierten Faserknorpels) und setzt sich nach Durchbrechen einer Mineralisierungsgrenze (Tidemark) in die dritte Zone (des mineralisierten Faserknorpels) sowie schließlich in die vierte Zone aus Knochengewebe fort. Dort kann es zu einem gesteigerten Knochenumbau und einer enchondralen Ossifikation (Exostosenbildung) kommen, was im akuten Zustand szintigraphisch nachweisbar ist (Ueltschi 1989).

Besonders wenn die Beckengliedmaße betroffen ist, handelt es sich um eine prognostisch ungünstige Lahmheitsursache (Dyson 1994). Mit modernen Behandlungsverfahren, wie mit der Therapie mit mesenchymalen Stammzellen, werden große Hoffnungen geweckt. Ein Forschungsziel besteht darin, die aus Knochenmark-Aspirat gewonnenen mesenchymalen Stammzellen *in vitro* durch bestimmte Kulturbedingungen zu Chondro-, Osteo- oder Tendoblasten zu differenzieren, um sie gezielt in den geschädigten Bereich injizieren zu können. Am Ursprung und am Ansatz des *M. interosseus medius* liegt aufgrund der vier-zonalen (chondroapophysären) Insertion im Knochengewebe eine komplizierte Verankerung mit einer komplexer Gewebeszusammensetzung vor. Für eine erfolgreiche Stammzelltherapie wären in der Gewebekultur somit ten-

do-, chondro- und osteogene Zelldifferenzierungen zu stimulieren. Bei Faserrissen, die nicht am Ursprung oder Ansatz am Knochen, sondern dazwischen liegen und somit nicht zur Insertionsdesmopathie führen, wäre eine tendogene Differenzierung in der Gewebekultur zu fördern.

Arbeiten zu den anatomischen Verhältnissen im plantaren Tarsalgelenksbereich und zum *M. interosseus medius* beschreiben dessen Insertion proximo-plantar am *Os metatarsale tertium* sowie mit einzelnen Fasern an den distalen Tarsalgelenksknochen (Bischofberger et al. 2006). Diese Feststellungen konnten durch unsere Arbeit bestätigt werden. Unser wichtigster Neubefund in der vorliegenden Arbeit betrifft den Nachweis einer langen (proximalen) Ursprungssehne, welche in der Literatur bisher unberücksichtigt blieb. An der Vordergliedmaße kommt ein entsprechendes Äquivalent nicht vor, weshalb von unterschiedlichen Verhältnissen auszugehen ist. Mit unserem Neubefund können die einleitend aufgeworfenen Fragen, sowohl nach dem (unerklärlichen) positiven Ausfall der Beugeprobe bei Vorliegen einer Ursprungstendopathie am *M. interosseus medius* als auch nach der besonderen Schwere der Erkrankung an der Hintergliedmaße im Vergleich zum leichteren Krankheitsverlauf an der Vordergliedmaße mit folgender Hypothese beantwortet werden: Bei der Beugeprobe wird von der langen (proximalen) Ursprungssehne ein Scheiteldruck ausgeübt, der eine Schmerzreaktion provoziert, sofern eine Insertionsdesmopathie – besonders an der lateralen kurzen Ursprungssehne – vorliegt. Dieses Phänomen erklärt auch – im Vergleich zur Vordergliedmaße – die signifikant schlechtere Prognostik dieser Erkrankung an der Hintergliedmaße. Dort ist weit öfter der kurze laterale Ursprung des *M. interosseus medius* krankhaft verändert, während am Vorderbein überwiegend die kurze mediale Ursprungssehne Veränderungen zeigt (Butler et al. 1996). Die lange (proximale) Ursprungssehne, die über den Scheitel des Gelenkes zieht, übt dabei einen Scheiteldruck auf die unterlagernde kurze laterale Ursprungssehne aus, die im Falle einer Ursprungstendopathie mit Schmerzreaktion und verzögerter Heilung reagiert. Nach Ueltschi (1989) sind Muskelursprünge, die oberhalb des Röhrlbeins von den distalen Tarsalknochen kommen, nicht von Veränderungen der Insertionsdesmopathie betroffen. Ob allerdings Erkrankungen des *Ligamentum plantare longum* (Piephacke) bzw. des vierten Tarsalknochens (Rehespat nach Dietz et al. 1999) durch den Zug der dort entspringenden langen (proximalen) Ursprungssehne ausgelöst oder verschlimmert werden können, bedarf weiterer Untersuchungen.

Gegen unsere Hypothese kann nun eingewandt werden, dass die Beweglichkeit im Sprunggelenk weit überwiegend vom Tibiotarsalgelenk ausgeht und die Vielzahl der übrigen straffen Gelenke zwischen den kleineren Fußwurzelknochen nur einen geringen Bewegungsspielraum aufweisen. Diese Feststellungen sind grundsätzlich richtig, ignorieren aber, dass sich aus der Summe der geringen Bewegungen zwischen den einzelnen straffen Gelenken ein beachtliches Bewegungspotential für das gesamte Fußwurzelgelenk ergibt.

Schlussbemerkung

Die Untersuchungen lieferten Antworten zu den einleitend aufgeworfenen Fragen, welche in Bezug auf die klinische

Relevanz der proximalen Ursprungssehne nur von hypothetischer Bedeutung sein können. Aufbauend auf die neuen Erkenntnisse werden weitere Untersuchungen notwendig um diese rein sehnige Struktur in das Krankheitsbild der Insertionsdesmopathie des M. interosseus medius der Hintergliedmaße einzuordnen und ihren Einfluss auf den Pathomechanismus dieser Erkrankung zu bewerten.

Literatur

- Bischofberger A. S., Konar M., Ohlert S., Geyer H., Lang J., Ueltschi G. und Lischer C. J. (2006) Magnetic resonance imaging, ultrasonography and histology of the suspensory ligament origin: a comparative study of normal anatomy in warmblood horses. *Equine Vet. J.* 38, 508-516
- Brehm W. (1996) Auswirkungen von Sehnenerkrankungen auf die Rennkarriere von Trabrennpferden. Tagungsbericht der 14. Arbeitstagung der Fachgruppe „Pferdekrankheiten“ der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft e.V., Wiesbaden, 258-265
- Budras K.-D. und Röck S. (2004) Atlas der Anatomie des Pferdes, 5. Aufl., Hannover, Schlütersche
- Budras K.-D., Buda S., Schnitker P., Patan B. und Scheibe K. (2003) Die phylogenetische Entwicklung des Pferdes zum Fluchttier und daraus resultierende Krankheitsrisiken am Bewegungsapparat und Huf. Wissenschaftliche Vortragsreihe des Fördervereins Mensch und Tier e.V. in Kooperation mit dem „Pferdeprojekt“ der Freien Universität Berlin
- Butler I. und Armbruster B. (1984) Struktur und Abgangsursachen bei Schlachtpferden. *Dtsch. Tierärztl. Wschr.* 91, 330-331
- Butler J. A., Colles C. M., Dyson S. J., Kold S. E. und Poulos P. W. (1996) *Clinical radiology of the horse*. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin
- Crowe O., Dyson S. J., Wright I. M., Schramme M. C. und Smith R. K. W. (2002) Treatment of 45 cases of chronic hindlimb proximal suspensory desmitis by radial extracorporeal shockwave therapy. *AAEP Proceedings*, Vol. 48
- Dämmerich K. (1991) Orthologie und Pathologie der Insertion bei Tieren. IX. Tagung über Pferdekrankheiten im Rahmen der Equitana, Essen
- Denoix J. M., Crevier N., Roger B. und Lebas J. M. (1993) MRI of the equine foot. *Vet. Radiol. & Ultrasound* 34, 405-411
- Dietz O., De Moor A. und Schäfer M. (1999) Rehbein. In: Dietz O. und Huskamp B. (Hrsg.), *Handbuch Pferdepraxis*. 2. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 852
- Dyce K. M., Sack W. O. und Wensing C. J. G. (1991) Anatomie der Haustiere. Stuttgart: Enke. S. 570-591
- Dyson S. (1994) Proximal suspensory desmitis in the hindlimb: 42 cases. *British Vet. J.* 150, 279-291
- Dyson S., Arthur R. M., Palmer S. E. und Richardson D. (1995) Suspensory ligament desmitis. *Vet. Clin. North. Am. Equine Pract.* 11, 177-215
- Ellenberger W. und Baum H. (1943) *Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere*, -18. Aufl. Berlin, Springer
- Huskamp B. und Nowak M. (1988) Insertionsdesmopathien beim Pferd und einige ihrer Lokalisationen. *Pferdeheilkunde* 4, 3-12
- Kaminski M. (2006) Histologische Untersuchungen der Normalstruktur des Fesselträgers und der Beugesehnen beim Pferd. *Med. Vet. Diss.* Zürich
- Kleiter M. (1996) Vergleich der Computertomographie, Magnetresonananz und konventioneller Röntgenuntersuchung an der Zehe des Pferdes. *Vet. Med. Diss.* Wien
- Nöller C., Nowak M., Hamann J., Fritsch G. und Budras K.-D. (2007) Klinische Anatomie der Nasen- und Nasennebenhöhlen des Pferdes – Grundlagen für die Endoskopie, Computertomographie und Chirurgie. *Pferdeheilkunde* 23, 47-58
- Pauwels F. (1960) Eine neue Theorie über den Einfluß mechanischer Reize auf die Differenzierung der Stützgewebe. *Z. Anat. Entwicklungsgeschichte* 121, 478-515
- Reese S. (1995) Untersuchungen am intakten und rupturierten Ligamentum cruriale des Hundes. *Vet. Med. Diss.* Berlin
- Rikenhuizen A. B., Gietemann I. V. und van den Reijdt T. C. M. (2007) Desmitis des Fesselträgers und Desmopathie des Fesselträgerursprungs an der Vorder- und Hintergliedmaße des Pferdes - eine retrospektive Studie über die Erfolge unterschiedlicher Behandlungen in der Praxis. *Pferdeheilkunde* 23, 357-365
- Rooney J. R. (1973) Functional anatomy of the equine suspensory ligament. *Modern Vet. Pract.* 54, 43-45
- Schwarzkopf I. (2000) Sonographische, Magnetresonanztomographische und histologische Untersuchungen am M. interosseus medius des Warmblutpferdes. *Vet. Med. Diss.* Wien
- Schulze T. (2007) Magnetresonanztomographische, computertomographische und histologische Untersuchungen zum M. interosseus medius der Beckengliedmaße des Pferdes. *Vet. Med. Diss.* Berlin
- Seiferle E. und Frewein J. (2003) Aktiver Bewegungsapparat. In: *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere*. R. Nickel, A. Schummer und E. Seiferle (Hrsg.). Bd. 1, 8. Aufl. Berlin, Parey
- Taylor S. E., Smith R. K. und Clegg P. D. (2007) Mesenchymal stem cell therapy in equine musculoskeletal disease: scientific fact or clinical fiction? *Equine Vet. J.* 39, 172-180
- Tiefje S. (1997) Die Computertomographie im Kniebereich des Pferdes: ein Vergleich mit der röntgenologischen, sonographischen und arthroskopischen Untersuchung. *Pferdeheilkunde* 13, 647-658
- Tillmann B. (1987) Sehnen. In: Rauber A. und Kopsch F. (Hrsg.): *Anatomie des Menschen*. Bd. I: Bewegungsapparat. Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 20. Auflage, 13-50
- Ueltschi G. (1989) Zur Diagnose von Interosseusläsionen an der Ursprungstelle. *Pferdeheilkunde* 5, 65-69
- Ueltschi G. und Lischer C. J. (2006) Magnetic resonance imaging, ultrasonography and histology of the suspensory ligament origin: a comparative study of normal anatomy of Warmblood horses. *Equine Vet. J.* 38, 508-516
- Weiler H. (2000) Insertionsdesmopathien beim Pferd. Warendorf: FNverlag
- Weingart L. (2006) Untersuchungen zur Innervation und Vaskularisation des M. interosseus medius beim Pferd. *Vet. Med. Diss.* Zürich
- Dr. Thorben Schulze
Pferdeklinik Burg Müggenhausen
53919 Weilerswist
schulze@pferde-klinik.info