

Die computertomographische Darstellung des distalen Abschnitts der tiefen Beugesehne (TBS) des Pferdes

Stefan Tietje¹, Michael Nowak¹, Stefanie Petzoldt¹ und Horst Weiler²

¹ Tierklinik Hochmoor; ² Institut für Veterinär-Pathologie, Freie Universität Berlin

Zusammenfassung

An 30 Vordergliedmaßen von Warmblutpferden wurde mit Hilfe von 10 definierten Schnittebenen vom distalen Abschnitt des Fesselbeins bis zur Facies flexoria des Hufbeins die computertomographische Abbildungsmöglichkeit der unveränderten tiefen Beugesehne (TBS) untersucht. Beurteilungskriterien waren ihre Abgrenzbarkeit zu umliegenden Strukturen, ihre Form, Kontur und Struktur sowie die Ergebnisse der Dichte und Distanzmessungen. Dabei wurde in jeder transversalen Ebene die Dichte an 3 Stellen, die Distanz von dorsal nach palmar an 3 Stellen und die Breite von medial nach lateral bestimmt. Bei einer generell guten Darstellbarkeit lag der Mittelwert aller Messpunkte für die Dichte bei 106,8 HU (s 12,7 HU), für die Tiefe bei 5,04 mm (s 0,66 mm) und für die Breite bei 35,05 mm (s 2,99 mm). Die statistische Analyse der Messwerte ergab sowohl von Ebene zu Ebene als auch innerhalb der Ebenen signifikante Unterschiede und zeigte, dass die Ergebnisse überwiegend nicht schwankten sondern einer gewissen Gesetzmäßigkeit unterlagen. So bestanden innerhalb der transversalen Ebenen vom distalen Abschnitt des Strahlbeins nach proximal die niedrigsten Dichtewerte in der axial gelegenen „region of interest“. Darüberhinaus lagen axial signifikant niedrigere Werte für die Tiefe vor. Von distal nach proximal konnte für die Tiefe eine stetige Zunahme und für die Breite eine stetige Abnahme festgestellt werden. Neben der Erhebung von Normwerten wurde anhand von 4 Beispielen das computertomographische Bild einer pathologischen TBS vorgestellt. Dies erfolgte im Vergleich zu sonographischen Abbildungen und zu Ergebnissen von postmortalen Untersuchungen. Die in veränderten Bereichen gemessenen Werte wurden unter Zugrundelegung eines Referenzbereiches von – Mittelwert der Normwerte plus/minus zwei Standardabweichungen – beurteilt. Sowohl die Gegenüberstellung verschiedener Abbildungen anhand subjektiver Beurteilungskriterien als auch der objektiv zu erfassenden Dichte- und Distanzwerte bestätigte die hohe Aussagekraft der Computertomographie bei der Darstellung des distalen Abschnitts der TBS.

Schlüsselwörter: Pferd, Computertomographie, Tiefe Beugesehne, Tendinitis, Ultraschall

Computed tomographic evaluation of the distal aspect of the deep digital flexor tendon (DDFT) in horses

The objective of this study was to image the deep digital flexor tendon (DDFT) in its normal position by means of computed tomography from distal aspect of the proximal phalanx (P1) down to the flexor surface of the distal phalanx (P3) in 10 predefined cutting planes. A total of 30 front extremities of randomly selected Warmblood horses were used. Criteria for evaluation were differentiation of the DDFT from surrounding structures, definition of its shape, contour and structure as well as determination of its density and measurements. The density of DDFT was determined at three sites in all transversal planes, the depth was determined at three locations in palmar to dorsal and the width in medial to lateral direction. The mean values for density amounted to 106.8 HU (s 12.7 HU), for depth 5.04 mm (s 0.66 mm) and for width to 35.05 mm (s 2.99 mm). Significant differences were demonstrated in between planes as well as within planes comparing measurements by statistical analysis, thus demonstrating that the data predominantly follow distinct rules. Within the transversal plane (distal navicular to proximal) lowest values for density were found in the axial region of interest with significantly lower values for depth axially. Also a distal to proximal increase in values for depth and a decrease for width were noted. Apart from determining standard values, CT-images of pathological DDFT were shown based on four samples. This was done in comparison to sonographic images and to specific postmortem findings. Measured values found in regions with pathological lesions were evaluated by referring to the mean of standard values plus/minus two standard deviations. The importance and high value of computed tomography in imaging the distal aspect of the DDFT was not only confirmed by comparing different images by means of subjective criteria but also by objectively collected data for density and distance.

Keywords: horse, computed tomography, deep digital flexor tendon, tendinitis, ultrasonography

Einleitung

Beschreibungen der Endsehne des Musculus flexor digitalis profundus im Rahmen der bildgebenden Diagnostik beziehen sich weitgehend auf den Bereich der Röhre und des Fesselkopfes. Mit zunehmender Bedeutung der Sonographie wurden auch für die Fesselbeuge Gegenüberstellungen der verschiedenen anatomischen Schnittebenen und deren sonographischen Abbildungen vorgenommen (McClellan und Dolby 1986, Schar-

ner 1998). In einigen Arbeiten wurde darüberhinaus auch von Läsionen in diesem Teil der tiefen Beugesehne (TBS) berichtet (Denoix et al. 1991, Dyson 1992, Reimer 1997).

Über den Abschnitt der TBS in der Fesselbeuge hinaus ist ebenfalls der Anteil innerhalb des Hornschuhs von Interesse. Hier können Erkrankungen vorliegen, ohne dass adspektorische oder palpatorische Befunde in der Fesselbeuge festzustellen sind –

entweder in Verbindung mit Veränderungen im Sinne des klassischen Podotrochlose-Syndroms (Dyson und Kidd 1993) oder auch ohne dass röntgenologische Veränderungen am Strahlbein vorliegen (Dyson und Denoix 1995).

Obwohl der Computertomographie allgemein eine relativ unbefriedigende Darstellung von Weichteilstrukturen bescheinigt wird (Denoix 1994b), ergaben computertomographische Untersuchungen bei orthopädischen Problemen der distalen Gliedmaße durchaus umfangreiche Informationen über die TBS (Tietje 1997).

Ziel dieser Arbeit ist es, durch computertomographische Dichte- und Größenmessungen am distalen Abschnitt klinisch auffälliger tiefer Beugesehnen von 30 Pferden ihre Darstellungsmöglichkeiten zu beurteilen und eine Grundlage zu schaffen für die computertomographische Abgrenzung gegenüber pathologisch veränderten Sehnenbereichen. An vier Beispielen wird das computertomographische Bild einer erkrankten TBS im Vergleich zu den Ergebnissen der sonographischen sowie postmortalen Untersuchung erläutert.

Material und Methode

Die Untersuchungen wurden an Vordergliedmaßen von 30 Warmblut Pferden durchgeführt, die wegen eines orthopädischen Problems computertomographiert wurden. Durch Voruntersuchungen war die Erkrankung auf einen Bereich proximal des Fesselgelenkes lokalisiert worden. Darüberhinaus zeigten diese Pferde im Rahmen der klinischen und röntgenologischen Untersuchung keinerlei Befunde, die auf eine Erkrankung im Bereich der distalen Zehe hinwiesen. Auch wurden Pferde eliminiert, die bei der Computertomographie Veränderungen oder Verdachtsmomente an der Facies flexoria des Strahlbeines zeigten. Es handelte sich 16 mal um die rechte Vorder- und 14 mal um die linke Vordergliedmaße. Das Alter der Pferde betrug zwischen 4 und 21 Jahren mit einem Durchschnitt von 8,7 Jahren. Die Computertomographien wurden mit dem Gerät SCT-3000TF der Fa. Shimadzu durchgeführt. Es wurden Transversalschnittbilder bei einer Schichtdicke von 2 mm, 120 kV/400 mA und einer Scanzzeit von 4,5 sec. erstellt.

Um eine systematische Auswertung zu ermöglichen, wurden von distal nach proximal 10 computertomographische Schnittebenen definiert. Diese verliefen jeweils ca. 10mm von einander entfernt annähernd senkrecht zum Faserverlauf der TBS. Ebene 1 ging durch die Insertion der TBS an der Facies flexoria des Hufbeines, Ebene 3 bzw. 4 durch das distale respektive proximale Strahlbein, Ebene 8 durch das Kronengelenk und Ebene 10 durch das Fesselbein am Übergang vom mittleren zum distalen Drittel (Abb. 1). Die Scans wurden zur Beurteilung von Knochen- und Weichteilstrukturen bei unterschiedlicher Fenstermitte und Fensterweite betrachtet. Die Dokumentation erfolgte bei einer Fenstermitte von 80HU und einer Fensterweite von 250HU. Neben den subjektiven Beurteilungskriterien wie Form, Kontur und Struktur, wurden in jeder Schnittebene folgende Messungen durchgeführt:

1. Dichte: möglichst große kreisförmige ROIs („Region Of Interest“; zwischen 6mm² und 10mm²); 1.1 Dichte medial; 1.2 Dichte axial; 1.3 Dichte lateral.

2. Distanz: Tiefe von dorsal nach palmar und Gesamtbreite bzw. Breite einer Hälfte; 2.1 Tiefe medial; 2.2 Tiefe axial; 2.3 Tiefe lateral; 2.4 Breite gesamt; 2.5. Breite von der Mitte nach medial; 2.6 Breite von der Mitte nach lateral (2.5 und 2.6 nur von Ebene 6 bis 10). In die Messungen wurden die seitlichen, diffus begrenzten Ausläufer der TBS in Ebene 3, 4 und 5 sowie der dorsale Bereich in Ebene 7 und 8, der dem fibrös-knorpeligen Anteil entspricht, nicht einbezogen.

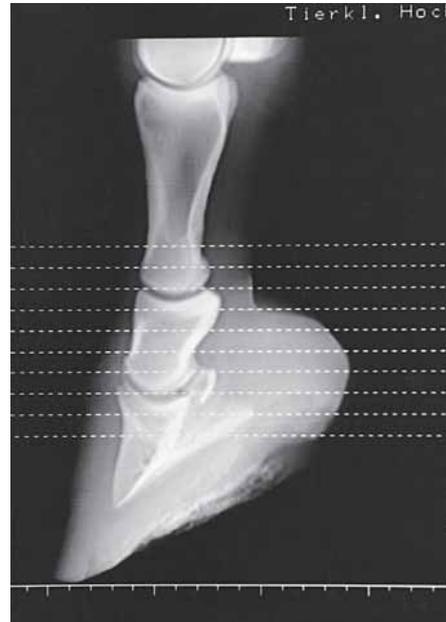


Abb. 1: Computertomographisches Topogramm mit 10 definierten, transversalen Schnittebenen im Abstand von jeweils ca. 10mm.

Computed tomographic topogram with 10 predefined, transversal cutting planes at distances of approximately 10mm.

Ermittelt wurden bei den 30 Probanden jeweils getrennt für die einzelnen Messebenen (transversale Ebenen) bzw. unterschieden für medial/axial/lateral (sagittale Ebenen) der Mittelwert (x), die Standardabweichung (s) sowie Minimum und Maximum. Die statistische Analyse hinsichtlich signifikanter Unterschiede ($p < 0.05$) der Dichte im Bezug auf die transversalen bzw. sagittalen Ebenen wurde durch den Scheffe-Test für die Variable: X1 (General Linear Models Procedure) durchgeführt. Für die Untersuchung der Dichtewerte innerhalb der Ebenen wurde der Oneway (ANOVA) bzw. Post Hoc Tests (Multiple Comparisons) und für die Distanzverhältnisse innerhalb der Ebenen der T-Test (Paired Samples Statistics, Paired Samples Correlations, Paired Samples Test) herangezogen.

Die sonographischen Untersuchungen, abgebildet im Rahmen der pathologischen Beispiele, wurden mit dem Gerät Sonoline SI-450 (Fa. Siemens) in Kombination mit einem 7.5 MHz Linear-Scanner durchgeführt. Die Dokumentation erfolgte mit Hilfe eines Video Copy Processor P67E (Fa. Mitsubishi). Die an erkrankten Pferden gemessenen Dichte- und Distanzwerte der TBS wurden den Werten der 30 „gesunden“ Patienten gegenübergestellt. Hierfür wurde anhand der Werte der unveränderten Gruppe ein Referenzbereich festgelegt, der durch den Mittelwert plus/minus zwei Standardabweichungen definiert wurde.

Ergebnisse

Subjektive Kriterien

Im Folgenden wird die Beurteilung der TBS auf den computer-tomographischen Querschnittsbildern hinsichtlich Form, Kontur, Struktur und der anatomischen Zuordnung beschrieben. Allgemein läßt sich sagen, dass im gesamten Verlauf der distalen Zehe eine gute Darstellung der TBS möglich ist. Diese wird erleichtert, wenn ein deutlicher – aber nicht extremer – computertomographischer Dichteunterschied zu den angrenzenden Strukturen besteht. Von Ebene 3 bis 5 ist das seitliche Ende der TBS nicht immer klar gegenüber der Umgebung abzugrenzen, da im direkten weiteren Verlauf der zentralen Bereiche zu den Seiten hin die Struktur der TBS mit geringerer Dichte zu den proximalen Hufbeinästen fortgesetzt wird. Die Kontur ist in den übrigen Abschnitten scharf und die Struktur gleichmäßig. Lediglich axial ist in Ebene 5, 6 und 7 immer und in Ebene 3, 4 und 8 meist ein hypodenseres Bezirk festzustellen. Im Insertionsbereich am Hufbein und auf Höhe des Strahlbeins ist die Dichte der knochenahnen TBS ebenfalls regelmäßig geringer als in den übrigen Abschnitten.



Abb. 2: TBS (1) auf Höhe der Ebene 1 mit Insertionen an der Facies flexoria des Hufbeins.

DDFT (1) at the level of plane 1 with the insertion at the flexor surface of P3.

In Ebene 1 verläuft die TBS mit ihren distalen Ausläufern leicht gebogen im Gewölbe der Facies solearis des Hufbeins. Sie inseriert seitlich und mittig an der Facies flexoria des Hufbeins. Kein Kontakt besteht im Bereich des Sulcus solearis bzw. des Foramen solearis medialis et lateralis (Abb. 2). Lediglich seitliche Insertionen bestehen in Ebene 2, in der die TBS noch eine größere Tiefe (Ausdehnung von dorsal nach palmar) aufweist und sehr gut nach dorsal und palmar abgrenzbar ist. Auf Höhe der Ebene 3 und 4 schließt sich die TBS dem Strahlbein direkt palmar an. Im Bereich des Sagittalkammes des Strahlbeins liegt eine geringere Tiefe und meist auch eine geringere Dichte vor (Abb.3). Dieser Tiefen- und Dichteunterschied wird in Ebene 5 noch deutlicher. In dieser Schnittebene ist eine sehr gute Abgrenzung der TBS nach dorsal zur Bursa podotrochlearis, zum Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinband und zur palmaren Aussackung des Hufgelen-

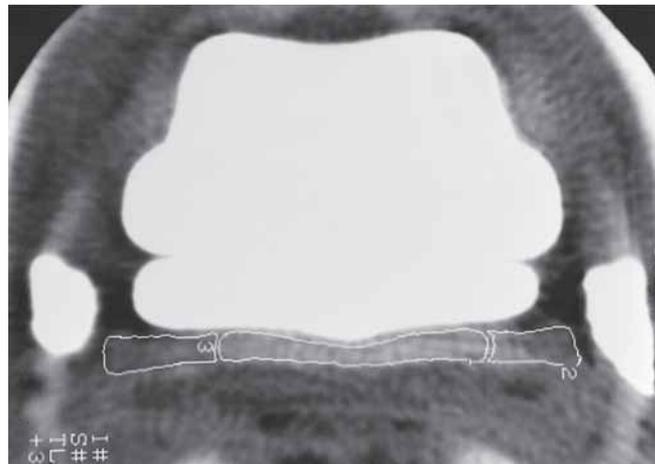


Abb. 3: TBS (1) palmar des Strahlbeins auf Höhe der Ebene 4 mit seitlichen Ausläufern (2 und 3) zu den Hufbeinästen.

DDFT (1) on the palmar aspect of the navicular bone at the level of plane 4 with abaxial branches (2 and 3) to the palmar processes of P1.

kes sowie nach palmar zum Ballenkissen gegeben (Abb. 4). Die Sohlenbinde kann im normalen Zustand nicht von der TBS abgegrenzt werden. Von Ebene 5 nach proximal nimmt die Breite der TBS (Ausdehnung von medial nach lateral) ab und die Tiefe zu. Gleichzeitig wird eine ausgeprägte dorsale und eine geringere palmarische Einziehung deutlicher, wodurch der Eindruck von 2

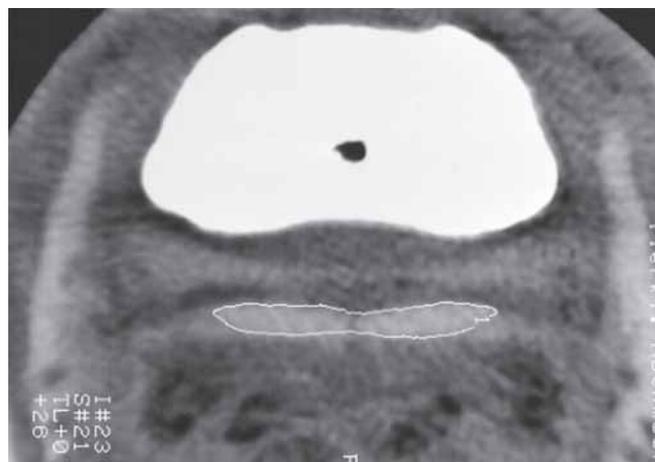


Abb. 4: TBS (1) auf Höhe der Ebene 5 mit dorsal angrenzender Bursa podotrochlearis.

DDFT (1) at the level of plane 5 and the podotrochlear bursa on the dorsal aspect.

Schenkeln der TBS bzw. die Form einer „liegenden“ 8 stärker wird. Auf Höhe der Tuberositas flexoria des Kronbeins (Ebene 7 und 8) schließt sich an das normale Sehngewebe der TBS dorsal ein Bereich geringerer Dichte an, der ungefähr 25%–35% der Tiefe der TBS ausmacht und sich häufig nicht eindeutig von den umgebenden Strukturen abgrenzen läßt. Dieser Bereich entspricht dem fibrös-knorpeligen Anteil der TBS (Abb. 5; Ebene 8). In Ebene 9 und 10 liegt die TBS umgeben von der distalen Beugesehnen-scheide palmar des Scutum medium bzw. der distalen Abschnitte der oberflächlichen Beugesehne und des geraden distalen Gleichbeinbandes.

Objektive Kriterien

Die Tabellen 1 bis 5 zeigen die Ergebnisse der Dichte- und Distanzmessungen. Die Analyse ergab signifikante Unterschiede bei den Dichteverhältnissen zwischen transversalen und sagittalen Ebenen durch den Scheffe-Test (Tab. 1 und 2; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Mittelwerten). Dies legt eine getrennte Untersuchung der einzelnen Werte einer Ebene nahe (Dichte siehe Tab. 3; Distanz siehe Tab. 4 und 5).



Abb. 5: TBS (1) auf Höhe der Ebene 8 und dorsal gelegener fibrösknorpeliger Anteil (2) mit deutlich geringerer Dichte.

DDFT (1) at the level of plane 8 and the fibrocartilaginous part (2) on the dorsal aspect with lower density.

Bezogen auf die transversalen Ebenen (Tab.1) finden sich die höchsten Dichtewerte mit Ausnahme der Ebene 2 im proximalen Untersuchungsbereich mit Zentrum auf Höhe des palmaren

Tab. 1: Dichtewerte der transversalen Ebenen (in HU) und Ergebnisse des Scheffe-Tests (3 Werte pro Ebene, 30 Pferde, n = 90)

Values for density within transversal planes (HU) and results of the scheffe-test (3 values within a plane, 30 horses, n = 90)

Ebene	x	s	Scheffe-Gruppe
8	117.2	12.4	a
2	114.2	11.4	a b
7	114.1	16.4	a b
9	108.6	11.8	a b c
10	107.2	11.8	a b c d
1	106.8	12.0	b c d
4	103.1	15.0	c d e
6	101.6	12.6	c d e
3	99.5	13.5	d e
5	95.6	10.2	e

x=Mittelwert; s=Standardabweichung

Krongelenks bzw. der Tuberositas flexoria (Ebene 7 und 8). Der Mittelwert von Ebene 7 bis 10 beträgt 111,8 HU gegenüber dem Mittelwert von Ebene 3 bis 6 von 99,9 HU. Betrachtet man die sagittalen Ebenen (Tab. 2), so liegt der axial gemessene Wert im Mittel signifikant niedriger als die Werte im medialen bzw. lateralen Abschnitt der TBS. Die weitere Aufschlüsselung der Dichtewerte in Tab. 3 zeigt neben den Tendenzen aus Tab. 1 und 2, dass außer in Ebene 1 und 2 auch innerhalb der transversalen Ebenen signifikante Unterschiede bestehen mit den niedrigsten Werten in den axial gelegenen ROIs. So wird ersichtlich, dass bei einem Mittelwert aller Dichtemesspunkte von 106,8 HU (Standardabweichung s 12,7 HU) die Ergebnisse überwiegend nicht schwanken sondern einer gewissen Symptomatik unterliegen.

Tab. 2: Dichtewerte der sagittalen Ebenen (in HU) und Ergebnisse des Scheffe-Tests (10 Werte pro Ebene, 30 Pferde, n = 300)

Values for density within sagittal planes (HU) and results of the scheffe-test (10 values within a plane, 30 horses, n = 300)

Ebene	x	s	Scheffe-Gruppe
medial	111.8	12.0	a
lateral	106.9	13.2	B
axial	101.6	12.9	C

x=Mittelwert, mean value; s=Standardabweichung, standard deviation

Der Mittelwert aller Distanzmessungen liegt für die Tiefe (Distanz von dorsal nach palmar) der TBS bei 5,04 mm (s 0,66 mm) und für die Breite bei 35,05mm (s 2,99 mm). Die Gesetzmäßigkeiten sind jedoch noch deutlicher als bei den Dichtewerten. Die Messwerte in den transversalen Ebenen zeigen für die Tiefe (Tab. 4) ab Ebene 3 eine stetige Zunahme und für die Breite (Tab. 5) ab Ebene 2 eine stetige Abnahme. Die Tiefe weist dabei an den axialen Messpunkten immer signifikant niedrigere Werte auf als im medialen und lateralen Abschnitt der TBS und auch die Zunahme der Tiefe von distal nach proximal (Ebene 3 bis 10) ist geringer (Tab. 4). Die getrennte Analyse der Breite des medialen und lateralen Schenkels der TBS von Ebene 6 bis 10 (Tab. 5) ergibt konstant größere Werte für den lateralen Anteil. Die Unterschiede sind signifikant.

Pathologische Beispiele

Es werden im folgenden 4 Fälle vorgestellt, bei welchen die Besitzer nach klinischer Untersuchung, röntgenologischer Darstellung der Zehe, Sonographie der Weichteile in der Fesselbeuge und computertomographischer Auswertung nach oben beschriebenem Schema, aufgrund einer Diagnose mit ungünstiger oder infauster Prognose eine Euthanasie der Patienten wünschten.

Tab. 3: Dichte der TBS (in HU) und signifikante Unterschiede (*; p<0,05) zwischen den Meßpunkten der transversalen Ebenen (n = 30)

Density of the DDFT (HU) and significant differences (*; p<0,05) in between values of the transversal planes (n = 30)

Ebene	x	s	a / b	b / c	c / a
1 a	107.8	11.2	n.s.		
1 b	106.1	13.6		n.s.	
1 c	106.3	11.1			n.s.
2 a	116.4	11.1	n.s.		
2 b	111.7	10.5		n.s.	
2 c	114.4	12.6			n.s.
3 a	105.8	12.8	*		
3 b	94.0	14.1		n.s.	
3 c	98.8	13.5			n.s.
4 a	109.7	15.2	*		
4 b	97.3	14.2		n.s.	
4 c	102.1	15.5			n.s.
5 a	104.0	9.1	*		
5 b	85.8	10.3		*	
5 c	97.1	11.0			*
6 a	109.1	11.2	*		
6 b	93.3	12.8		*	
6 c	102.5	13.6			n.s.
7 a	120.9	15.2	*		
7 b	106.1	17.5		*	
7 c	115.3	16.6			n.s.
8 a	121.8	12.1	*		
8 b	113.1	13.7		n.s.	
8 c	116.6	11.2			n.s.
9 a	112.3	10.9	*		
9 b	104.9	12.5		n.s.	
9 c	108.5	12.0			n.s.
10 a	110.7	10.9	*		
10 b	103.6	12.4		n.s.	
10 c	107.4	12.1			n.s.

Für Tab. 3 + 4 gilt: x = Mittelwert; s = Standardabweichung
a = medial; b = axial; c = lateral

Tab. 4: Tiefe der TBS (Ausdehnung von dorsal nach palmar in mm) und signifikante Unterschiede (*; p<0,05) zwischen den Meßpunkten der transversalen Ebenen (n = 30)

Depth of the DDFT (distance from dorsal to palmar, mm) and significant differences (*; p<0,05) in between values of the transversal planes (n = 30) of the transversal planes (n = 30)

Ebene	x	s	a / b	b / c	c / a
1 a	4.68	1.03	*		
1 b	3.76	0.89		*	
1 c	4.76	1.06			n.s.
2 a	6.22	0.75	*		
2 b	5.30	0.76		*	
2 c	6.22	0.71			n.s.
3 a	4.66	0.59	*		
3 b	3.55	0.47		*	
3 c	4.54	0.95			n.s.
4 a	4.62	0.49	*		
4 b	3.67	0.48		*	
4 c	4.65	0.49			n.s.
5 a	5.17	0.51	*		
5 b	3.53	0.55		*	
5 c	5.33	0.48			*
6 a	5.69	0.50	*		
6 b	3.50	0.44		*	
6 c	5.68	0.54			n.s.
7 a	5.91	0.57	*		
7 b	3.77	0.47		*	
7 c	5.94	0.62			n.s.
8 a	5.93	0.80	*		
8 b	3.65	0.64		*	
8 c	6.02	0.79			n.s.
9 a	6.42	0.77	*		
9 b	3.99	0.64		*	
9 c	6.51	0.71			*
10 a	6.72	0.68	*		
10 b	3.97	0.63		*	
10 c	6.82	0.67			*

Fall 1

Es handelte sich um einen 6-jährigen Vollblutwallach der seit 4 Wochen an den Folgen eines Nageltritts vorne rechts behandelt wurde. Durch antibiotische, antiphlogistische und lokale Behandlung war die Funktion über 3 Wochen befriedigend, ehe es - vor der Kliniküberweisung - zu einer Verschlechterung der Funktion mit hochgradiger Lahmheit im Schritt kam. Bei Einlieferung war eine geringgradige Schwellung in der distalen Fesselbeuge festzustellen. Das computertomographische und das postmortale Bild (Abb. 6 und 7; Ebene 5) zeigten erkranktes



Abb. 6: CT-Bild von Fall 1 auf Höhe der Ebene 5: Hypodenser medialer Schenkel der TBS (Pfeil).

CT-scan of case 1 at the level of plane 5: Hypodense medial part of the DDFT (arrow).

Sehnengewebe im abaxialen Teil des medialen Schenkels der TBS. Die Tendinitis reichte von Ebene 1 bis 7 mit den niedrigsten Dichtewerten in Ebene 5. Hier lag im veränderten Bereich (37% der Querschnittsfläche der TBS) die Dichte bei 63 HU im Vergleich zum unteren Limit des Referenzbereiches von 85,7 HU (Mittelwert x der unveränderten Pferdegruppe 104,0 HU). Auch die Tiefe des medialen Anteils der TBS befand sich mit 9,1 mm weit oberhalb des Referenzbereiches von 4,15 mm bis 6,19 mm (x 5,17 mm). Die Dichte- und Distanzwerte des lateralen und axialen Anteils der TBS lagen im Normbereich.



Abb. 7: Sektionsbild von Fall 1 auf Höhe der Ebene 5: Defekt in der TBS im medialen Schenkel (im Bild rechts).

Post mortem specimen of case 1 at the level of plane 5: Tendinitis of the medial part of the DDFT (right part in the picture).

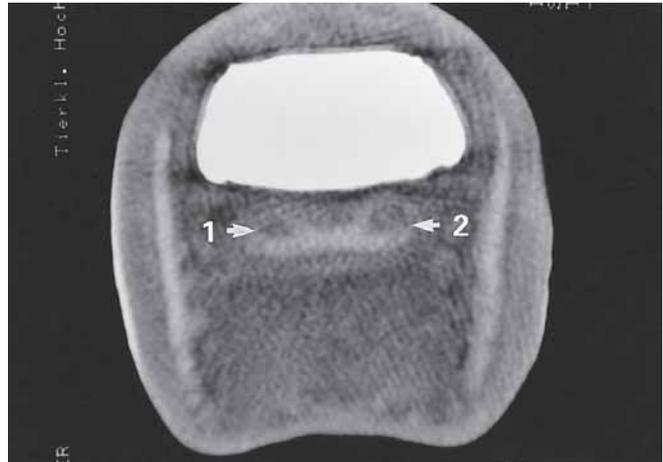


Abb. 8: CT-Bild von Fall 2 auf Höhe der Ebene 6: Hypodense Areale in der TBS im medialen (Pfeil 1, geringere Dichte) und lateralen Schenkel (Pfeil 2).

CT-scan of case 2 at the level of plane 6: Hypodense areas in the medial (arrow 1, lower density) and lateral part (arrow 2) of the DDFT.



Abb. 9: Sektionsbild von Fall 2 auf Höhe der Ebene 7: Defekte in der TBS im medialen (im Bild links mit frischer Blutung) und lateralen Schenkel.

Post mortem specimen of case 2 at the level of plane 7: Tendinitis of the medial (left part in the picture with fresh haemorrhage) and lateral part of the DDFT.

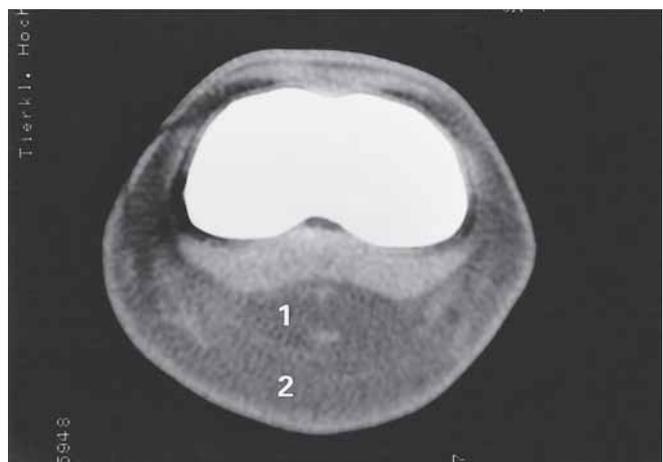


Abb. 10: CT-Bild von Fall 3 auf Höhe der Ebene 9: TBS (1) insgesamt hypodens bei massiver peritendinöser Schwellung (2).

CT-scan of case 3 at the level of plane 9: Low density of the total cross section of DDFT (1) and extreme peritendinous swelling (2).



Abb. 11: Ultraschallbild von Fall 3 auf Höhe der Ebene 9: TBS (1) sehr hypoechoisch mit kleinen hyperechoischen Bezirken und massiver peritendinöser Schwellung (2).

Ultrasonogram of case 3 at the level of plane 9: DDFT (1) is very hypoechoic with small hyperechoic areas and extreme peritendinous swelling (2).



Abb. 12: Sektionsbild von Fall 3 auf Höhe der Ebene 9: Vollständige fibrilläre Zerreißung der TBS mit kleinen fibrotischen Anteilen im Zentrum und in den dorsalen Randbezirken.

Post mortem specimen of case 3 at the level of plane 9: Severe tendinitis of the total DDFT with small fibrotic areas in the centre and at the dorsal margin.

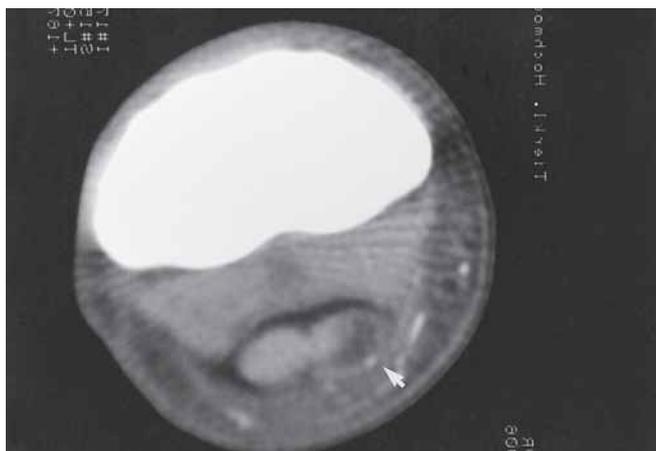


Abb. 13: CT-Bild von Fall 4 auf Höhe der Ebene 10: Hypodense und verdickter Bereich im medialen Schenkel der TBS (Pfeil)

CT-scan of case 4 at the level of plane 10: Hypodense and enlarged area in the medial part of the DDFT (arrow).

Fall 2

Ein 17-jähriger Warmblutwallach wurde seit 8 Jahren vorne beiderseits wegen rezidivierenden Lahmheiten aus dem Bereich des Hufgelenkes und der Hufrolle behandelt. Untersuchungsindikation war eine akute, deutlich geringgradige, diffuse Schwellung in der Fesselbeuge vorne links mit mittelgradiger Lahmheit im Trab. Sehnenveränderungen konnten von Ebene 1 bis 9 dargestellt werden. Das Zentrum lag auf Höhe der Ebene 6 (CT Abb. 8; postmortale Situation Ebene 7 Abb. 9). Die Defekte befanden



Abb. 14: Ultraschallbild von Fall 4 auf Höhe der Ebene 10: Hypoechoischer Bezirk im medialen Anteil der TBS bei deutlicher Tiefenzunahme (Pfeil).

Ultrasonogram of case 4 at the level of plane 10: Hypoechoic area in the medial part of the DDFT with obvious enlargement (arrow).

sich jeweils im abaxialen Teil des medialen (Dichte 52 HU; Tiefe 9,9 mm) und lateralen (Dichte 57 HU; Tiefe 11,5 mm) Schenkels und hatten zusammen einen Anteil von 26% an der Querschnittsfläche (Referenzbereich medial Dichte 86,6 HU–131,5 HU, Tiefe 4,69 mm–6,69 mm; lateral Dichte 75,3 HU–129,7 HU, Tiefe 4,60 mm–6,76 mm). Das postmortale makroskopische Bild verdeutlichte, dass der Großteil der Veränderungen im sehnigen Anteil der TBS lagen jedoch mit randständiger Beteiligung des fibrös-knorpeligen Anteils. Dieser ließ sich computertomographisch aufgrund seiner schon im Normalfall geringeren Dichte nicht so



Abb. 15: Sektionsbild von Fall 4 auf Höhe der Ebene 10: Defekt im verdickten medialen Schenkel der TBS (im Bild rechts).

Post mortem specimen of case 4 at the level of plane 10: Tendinitis of the enlarged medial part of the DDFT (right side in the picture).

klar abgrenzen. Der mediale Defekt mit den frischeren Blutungen wies die geringere Dichte auf gegenüber dem lateralen Defekt mit der größeren Tiefenzunahme.

Fall 3

Ein 14-jähriger Warmblutwallach wurde mit einer seit 3 Tagen bestehenden massiven Schwellung in der Fesselbeuge vorne beiderseits bei hochgradiger Lahmheit im Schritt vorgestellt. Vorne links kam es regelmäßig zu einem Hochklappen der Zehenspitze im Schritt mit einer röntgenologisch nachweisbaren Subluxation im Hufgelenk nach palmar. Vorberichtlich war der Patient 3 Jahre zuvor vorne beiderseits neurektomiert worden. Bei diesem Pferd waren vorne links die Ränder der TBS bei deutlicher Formveränderung in weiten Bereichen nicht klar abzugrenzen. Die massiven Befunde (überwiegend 100% der Querschnittsfläche betroffen) zogen sich von Ebene 3 bis über Ebene 10 hinaus nach proximal. Extrem niedrige Dichtewerte lagen in Ebene 9 mit medial 55 HU, axial 71 HU und lateral 53 HU vor (Referenzbereich medial 90,5 HU–134,1 HU, axial 79,9 HU–129,8 HU und lateral 84,5 HU–132,4 HU). Darüberhinaus konnte im lateralen Teil der TBS in Ebene 3 ein optisch hellerer Bezirk identifiziert werden, der mit einer Dichte von 136 HU oberhalb des Referenzbereiches von bis zu 125,8 HU lag. Die Gegenüberstellung von CT-, Ultraschall- und Sektionsbild (Abb. 10, 11 und 12) gab die weitgehende Übereinstimmung in der Darstellung der fibrillären Zerreißung der TBS mit einigen dichteren zentralen und randständigen Bereichen sowie massiver peritendinöser Schwellung wieder.

Fall 4

Es handelte sich um eine 8-jährige Ponystute, die sich 7 Wochen vor der Vorstellung in der Klinik vorne rechts eine offene Verletzung in der distalen Fesselbeuge zugezogen hatte. Nach chirurgi-

Tab. 5: Breite der TBS (Ausdehnung von medial nach lateral in mm) sowie von Ebene 6 bis 10 des medialen bzw. lateralen Anteils und deren signifikante Unterschiede (n = 30)

Width of the DDFT (distance from medial to lateral, mm). From plane 6 to 10 also width of the medial and lateral part and significant differences (n = 30)

Ebene	x	s	x (a)	s (a)	x (b)	s (b)	a/b
1	33.73	3.68					
2	49.44	5.14					
3	43.18	4.05					
4	43.08	4.27					
5	42.86	3.91					
6	34.78	2.54	16.84	1.43	17.94	1.28	*
7	30.54	1.98	14.64	1.09	15.91	1.03	*
8	27.04	1.49	12.94	0.93	14.10	0.76	*
9	24.35	1.38	11.93	0.85	12.41	0.67	*
10	21.46	1.49	10.55	0.78	10.91	0.89	*

Legende siehe Tab. 3 + 4

scher Versorgung kam es zu einer komplikationslosen Abheilung der Hautverletzung bei zufriedenstellender Funktion. Fünf Tage vor der Einlieferung war eine mittelgradige Lahmheit im Schritt festgestellt worden. Das Zentrum des Defekts im medialen Schenkel der TBS lag bei dieser Stute auf Höhe der Ebene 10. Hier zeigte die computertomographische und sonographische Darstellung in guter Übereinstimmung zur postmortalen Situation eine erheblich reduzierte Dichte bei gleichzeitiger Tiefenzunahme (Abb. 13, 14 und 15). Technikbedingt war der Kontrast zwischen erkranktem und gesundem Sehngewebe bei der Ultraschalluntersuchung größer als bei der Computertomographie. Die CT-Werte betragen auf 38% der Sehnenquerschnittsfläche 50 HU bis 61 HU (Referenzbereich 88,9 HU–132,5 HU) bei einer Distanz von palmar nach dorsal von 8,1 mm. Über den in der Fesselbeuge sonographisch zugänglichen Teil der TBS hinaus, zog sich der Defekt computertomographisch und auch in der pathologischen Untersuchung von Ebene 10 über 50 mm nach distal.

Diskussion

Mit Hilfe der Computertomographie ist eine insgesamt gute Darstellung des distalen Abschnitts der TBS insbesondere auch im Hufbereich möglich. Es können sowohl subjektive Beurteilungskriterien wie Form, Kontur und Struktur als auch objektive Kriterien wie Dichte-, Distanz- und Flächenmessungen herangezogen werden. Die hohe Aussagekraft steht in gewissem Widerspruch zu Literaturangaben (Denoix 1994b), wird jedoch durch die gute Korrelation mit sonographischen Abbildungen und postmortalen Befunden im Rahmen der pathologischen Beispiele untermauert. Der Verlauf der TBS und ihre Zuordnung zu den umgebenden Strukturen entspricht Anatomiebeschreibungen (Nickel et al. 1992, Budras und Röck 1991, Breit 1995, Wissdorf et al. 1998). Lediglich sehr feine Anteile wie der Kronbeinschenkel können aufgrund der Auflösungs Grenzen des Computertomographen und einer mangelnden Dichtedifferenz zu den angrenzenden Bändern nicht isoliert abgebildet werden. Abbildungseinschränkungen bestehen weiterhin für den fibrös-knorpeligen Anteil der TBS in Ebene 7 und 8, da dieses Gewebe eine um 30 HU–40 HU niedrigere Dichte aufweist als der sehnige Anteil, was eine deutlich reduzierte Abgrenzung mit sich bringt. Auf die computertomographisch von Ebene 2 bis 10 sehr gut sichtbare Zweiteilung der TBS, die für die distale Fesselbeuge auch schon sonographisch beschrieben wurde (Reef 1990, Redding 1994, Scharner 1998), gibt es in der anatomischen Literatur nur wenig Hinweise (Denoix 1994a). Die Kontur ist allgemein scharf. Die CT-Beurteilung ist palmar im Bereich der Sohlenbinde eingeschränkt, da diese sich im normalen Zustand wegen der unmittelbaren Nähe zur TBS und einer annähernd gleichen Dichte nicht abgrenzt. Technikbedingt besteht für die Befundung unmittelbar knochenaher dorsaler Anteile der TBS die Möglichkeit der Beeinflussung durch Artefakte, die durch den extremen Dichtesprung hervorgerufen werden. Im artefaktfreien Bild ist die Struktur der Sehne gleichmäßig. Lediglich axial ist schon subjektiv regelmäßig ein hypodenser Bereich zu identifizieren. Hinsichtlich der bei den CT-Messungen hier signifikant niedrigeren Dichtewerte wäre eine histologische Abklärung von Interesse. Darüberhinaus zeigen die Dichtewerte auch

von Ebene zu Ebene signifikante Unterschiede. Das läßt möglicherweise auf unterschiedliche Belastungsintensitäten schließen. Sonographisch sind auf Höhe der Ebene 10 hypoechogene Zentren im medialen und lateralen TBS-Schenkel (Scharner 1998) zu beobachten. Computertomographisch stellt sich dieser Bereich hingegen strukturell sehr einheitlich dar.

Größenmessungen der TBS anhand von Ultraschallbildern wurden von Denoix et al. 1991 vorgenommen. Es werden für die Breite auf Höhe der Ebene 8 Werte zwischen 23 mm und 32 mm und auf Höhe der Ebene 10 Werte zwischen 18 mm und 28 mm angegeben. Dies entspricht weitgehend den eigenen Messwerten von 23,8 mm–30,4 mm (Ebene 8; x 27,04 mm) und 18,4 mm–24,0 mm (Ebene 10; x 21,49 mm). Für die Tiefe wird in dieser Veröffentlichung ein Bereich zwischen 7 mm und 12 mm (Ebene 8) bzw. zwischen 6 mm und 11 mm (Ebene 10) angesetzt. Dabei beläuft sich der sehnige Anteil in Ebene 8 auf 5 mm–9 mm und der fibrös-knorpelige Anteil auf 2 mm–3 mm. Da keine Angaben über die genaue Messstelle gemacht werden, ist ein direkter Vergleich zu den eigenen Werten, bei welchen sich der mediale, mittige und laterale signifikant unterscheiden, nicht möglich. Die Größenordnung der Werte stimmt jedoch mit derjenigen der abaxialen Messstellen überein.

Über die Darstellbarkeit der TBS durch Ultraschall von der Fesselbeuge nach distal gibt es unterschiedliche Meinungen. Nach Hauser et al. (1982) und Redding (1994) kann sie bis über das Strahlbein verfolgt werden, Dyson und Dik (1995) und Scharner (1998) gelang dies nicht. Fest steht, dass mit Ausbildung des Ballens eine orthograde Schallkopfposition nicht mehr gewährleistet ist, was zu einem hypoechogeneren Bild und zu Fehlinterpretationen führen kann. Darüberhinaus ist mit der Ballengrube die Untersuchung auf den axialen Bereich konzentriert. Auch bei der von Busoni und Denoix (1999) vorgetragenen Darstellung von der Sohlenfläche aus, ist eine artefaktfreie Beurteilung der gesamten Breite der TBS meist nicht gegeben. Diese sonographischen Abbildungsschwierigkeiten im Bereich des Hornschuhs machen die Computertomographie gerade in Anbetracht der Bedeutung des Podotrochlose-Syndroms zu einem wichtigen diagnostischen Hilfsmittel. Die Normwerte, erhoben an einer gesunden Pferdegruppe, können über die Festlegung eines Referenzbereiches zum Nachweis und zur Objektivierung von Tendinitiden der TBS dienen. Eine Verbesserung der Darstellung der dorsalen Oberfläche der TBS zur Bursa podotrochlearis kann, wie dies auch für die konventionelle Röntgentechnik beschrieben wurde (Turner und Adams 1997), durch eine Kontrastmittelinjektion in den Schleimbeutel erreicht werden (Tietje 1997). Eine weitere Ergänzung der hier diskutierten bildgebenden Verfahren für die Weichteile der distalen Zehe bietet die seit längerem etablierte Szintigraphie über die Darstellung der Stoffwechselaktivität (Trout et al. 1991, Ueltschi 1999) und die Kernspintomographie, die bisher allerdings noch nicht am lebenden Pferd als Routinemethode zur Verfügung steht (Park et al. 1987).

Literatur

- Breit, S. (1995): Zur Anatomie von Hufgelenk und Bursa podotrochlearis beim Pferd im Hinblick auf ihre klinische Relevanz. *Pferdeheilkunde*, 11, 125–138
- Budras, K.-D. und Röck S. (1991): Atlas der Anatomie des Pferdes. 1. Aufl., Schlütersche, Hannover
- Busoni, V. and Denoix, J.M. (1999): Ultrasonography of the podotrochlear apparatus using a transcuneal approach: technique, normal images

- and clinical application. Proc. 13. Tagung über Pferdekrankheiten i. Rahmen der Equitana, Essen, 26–27
- Denoix, J.M., Crevier, N. and Azevedo, C. (1991): Ultrasound examination of the pastern in horses. Proc. 37th Annu. Conv. AAEP, San Francisco, 363–380
- Denoix, J.M. (1994a): Functional anatomy of tendons and ligaments in the distal limbs (manus and pes). *Vet. Clin. North Am. (Equine Pract.)*, 10, 273–322
- Denoix, J.M. (1994b): Diagnostic techniques for identification and documentation of tendon and ligament injuries. *Vet. Clin. North Am. (Equine Pract.)*, 10, 365–407
- Dyson, S.J. (1992): Ultrasonographic examination of the pastern region. *Equine Vet. Educ.*, 4, 254–256
- Dyson, S.J. and Denoix, J.M. (1995): Tendon sheath, and ligament injuries in the pastern. *Vet. Clin. North Am. (Equine Pract.)*, 11, 217–233
- Dyson, S.J. and Dik, K.J. (1995): Miscellaneous conditions of tendons, tendon sheaths and ligaments. *Vet. Clin. North Am. (Equine Pract.)*, 11, 315–337
- Dyson, S.J. und Kidd, L. (1993): A comparison of responses to analgesia of the navicular bursa and intra-articular analgesia of the distal interphalangeal joint in 59 horses. *Equine vet. J.*, 25, 93–98
- Hauser, M., Rantanen, N. and Modransky, P. (1982): Ultrasound examination of the distal interphalangeal joint, navicular bursa and deep digital tendon. *J. Equine Vet. Sci.*, 2, 95–97
- McClellan, P. and Dolby, J. (1986): Ultrasonic structure of the pastern. *J. Equine Vet. Sci.*, 6, 99–101
- Nickel, R., Schummer, A. und Seiferle, E. (1992): Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Bd. 1, 6. Aufl., Paul Parey, Berlin und Hamburg
- Park, R.D., Nelson, T.R. und Hoopes, P.J. (1987): Magnetic resonance imaging of the normal equine digit and metacarpophalangeal joint. *Vet. Radiol.*, 28, 105–116
- Redding, W.R. (1994): Evaluation of the equine digital flexor tendon sheath using diagnostic ultrasound and contrast radiography. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 35, 42–48
- Reef, V.B. (1990): Ultrasonic evaluation of tendons and ligaments. In White, N.A. and J.N. Moore (Hrsg.): *Current Practice of Equine Surgery*. J.B. Lippincott Company, Philadelphia, 425–435
- Reimer, J.M. (1997): Ultrasonography of the pastern: 1. Anatomy and pathology. 2. Outcome of selected injuries in racehorses. Proc. 43rd Ann. Conv. AAEP, Phoenix, 123–125
- Scharner, D. (1998): Sonographie der palmaren (plantaren) Weichteilgewebe im Bereich der Fesselbeuge des Pferdes. 1. Sonoanatomie. *Pferdeheilkunde*, 14, 209–218
- Tietje, S. (1997): CT und Kontrast-CT bei orthopädischen Erkrankungen des Pferdes. Proc. Intern. Symp. Diagnostik beim Pferd, Bad Homburg, FNverlag, Warendorf, 21–26
- Trout, D., Hornof, W. and O'Brien, T. (1991): Soft tissue and bone phase scintigraphy for diagnosis of navicular disease in horses. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 198, 73–77
- Turner, T.A. und Adams, M.N. (1997): Kontrastradiographie der Bursa navicularis - eine neue Untersuchungsmethode bei Podotrochlose. Ann. Meet. Ass. Equine Sports Med.. Abstract: *Pferdeheilkunde*, 13, 284
- Wissdorf, H., Gerhards, H. und Huskamp, B. (1998): Praxisorientierte Anatomie des Pferdes. Verlag M. & H. Schaper, Alfeld-Hannover
- Ueltschi, G. (1999): Stellenwert der Knöchelszintigraphie und der Röntgenuntersuchung beim Problemkreis der Podotrochlose. *Pferdeheilkunde* 15, 122–128

Dr. Stefan Tietje

Tierärztliche Klinik für Pferde Meerbusch
Schützenstr. 20
40668 Meerbusch
Tel.: 021 50-911 491
Fax: 021 50- 911 493

Dr. Michael Nowak
Stefanie Petzoldt
Tierklinik Hochmoor
Von-Braun Str. 10
48712 Gescher-Hochmoor
Tel.: 028 63-209 90
Fax: 028 63-209 920

Dr. Horst Weiler
Institut für Veterinär-Pathologie
der Freien Universität Belin
Straße 518 Nr.15
14163 Berlin
Tel.: 030 8108-2450
Fax: 030 8108-2522