

**Aus der Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie
des Fachbereiches Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin**

**Verteilung von Hyaluronsäure nach Injektion in die
oberflächlichen und tiefen Beugesehnen und des
Musculus interosseus medius des Pferdes
- eine klinische und experimentelle Studie**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin**

**vorgelegt von
Antonia Katharina von Preyss
Tierärztin aus Bad Segeberg**

Berlin 2008

Journal-Nr. 3163

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.- Prof. Dr. Leo Brunenberg
Erster Gutachter: Univ.- Prof. Dr. Bodo –Wolfard Hertsch
Zweiter Gutachter: Univ.- Prof. Dr. Heidrun Finke
Dritter Gutachter: Univ.- Prof. Dr. Rudolf Staufenbiel

Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):
horses, tendons, diagnostic techniques, hyaluronic acid,
ultrasonography clinical aspects

Tag der Promotion: 17.10.2008

Bibliografische Information der *Deutschen Nationalbibliothek*

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

ISBN: 978-3-86664-500-4

Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2008

Dissertation, Freie Universität Berlin

D188

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.
Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen, usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

This document is protected by copyright law.
No part of this document may be reproduced in any form by any means without prior written authorization of the publisher.

alle Rechte vorbehalten | all rights reserved

© **mensch und buch verlag** 2008

Nordendstr. 75 - 13156 Berlin – 030-45494866
verlag@menschundbuch.de – www.menschundbuch.de

1	Einleitung	1
2	Schrifttum	2
2.1	Kurze Darstellung des Sehnenaufbaus	2
2.2	Anatomie der Beugesehnen	6
2.3	Definition von Sehnenerkrankungen	9
2.4	Ätiologie und Pathogenese von Sehnenerkrankungen	11
2.5	Physikalische und technische Grundlagen der Ultraschalldiagnostik	13
2.6	Sonographische Untersuchungen von Sehnen und Sehnendefekten	15
2.7	Häufigkeit und Verteilung von Sehnenschäden	20
2.8	Therapiemöglichkeiten der Sehnendefekte	21
2.9	Verteilungsverhalten von Flüssigkeiten nach intradendinöser Injektion	30
3	Natriumhyaluronat	32
4	Eigene Untersuchungen	35
4.1	Material und Methode	35
4.1.1	Intratendinöse Injektion von Röntgenkontrastmittel und Methylenblau	35
4.1.2	Sonographische Untersuchung von mit Hylartil behandelten Pferden	35
5	Ergebnisse	40
5.1	Röntgenologische Untersuchung und Präparation	40
5.2	Sonographische Darstellung der Hyaluronsäure	45
6	Diskussion	49
7	Zusammenfassung	55
8	Summary	56
9	Literaturverzeichnis	57
10	Abkürzungsverzeichnis	69
11	Danksagung	70
12	Selbstständigkeitserklärung	71

1. Einleitung

Sehnenerkrankungen gehören zu den häufigsten, die Nutzung des Pferdes einschränkenden Erkrankungen. Nach PICK (1986) sind über 14% aller Lahmheiten auf Sehnenprobleme zurückzuführen, deren Therapie langwierig und häufig von einer fraglichen Prognose begleitet ist. Als Tendopathien werden Zerreißen der

Sehnendfasern mit anschließenden reaktiven Prozessen in Form einer Entzündung bezeichnet. Zur Beschleunigung des Heilungsprozesses werden verschiedene, im Literaturteil beschriebene, Medikamente eingesetzt.

Die therapeutische Wirkung von hochmolekularer Hyaluronsäure bei chronischen Tendopathien des Pferdes aus klinischer, morphologischer und morphometrischer Sicht wurde in klinischen Studien beobachtet und beschrieben (CHURCHILL 1985, BLOBEL 1988, HERTSCH et al. 1989, SCHMIDT 1989, SPURLOCK et al. 1989, NIXON und GAUGHAN 1990 und SCHMIDT 1991). In all diesen Studien wurde die Hyaluronsäure intratendinös in den Sehnendefekt injiziert.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Verteilung der häufig eingesetzten Hyaluronsäure (Hylartil® Vet) in der oberflächlichen und der tiefen Beugesehne sowie im Musculus interosseus darzustellen. Die Ausdehnung einer Flüssigkeit in den Sehnen soll dargestellt werden, um der Frage nach der Notwendigkeit einer oder mehrerer Injektionen in einen Sehnendefekt nachzugehen. Es werden sonographische Vermessungen sowie die Verteilung eines Röntgenkontrast-Methylenblau-Gemisches in den Beugesehnen vergleichend dargestellt.

2. Schrifttum

2.1. Kurze Darstellung des Sehnenaufbaus

Sehnen setzen sich aus Fibrillen und kollagenen Interzellulärsbstanz zu straffem parallelfaserigem Bindegewebe zusammen, dessen Hauptbestandteil dicke eng gelagerte Bündel aus längs ausgerichteten Kollagenfasern mit eingelagerten Fibroblasten und Fibrozyten sind. Sie dienen in erster Linie der Übertragung von Zugkräften unter Dämpfung von Kraftspitzen. Stellenweise wirken auch Druckkräfte ein. Die musklotendinöse Einheit besteht aus dem Muskel, der über seine bindegewebigen Blätter in die Sehne übergeht, welche unter Überquerung eines oder mehrerer Gelenke schließlich in der Insertion die Kraft auf den Knochen überträgt. Die oberflächlichen und tiefen Beugesehnen sowie der Muskulus interosseus medius des Pferdes besitzen eine rein sehnige Verbindung von Knochen zu Knochen. Diese Sehnen haben damit über die Übertragung der Muskelkraft hinaus eine wesentliche Stütz- und Federungsfunktion. Bereits die Existenz der Unterstützungsbänder (Ligamenta accessoria) weist darauf hin. Diese Federungsfunktion stellt den limitierenden Faktor dar. Sehnen bestehen zu 70% aus Wasser. Die Trockensubstanz von etwa 30% setzt sich aus Kollagen und einer nichtkollagenen Matrix von Glykoproteinen und Tendozyten zusammen. Sehnen sind komplexe, gerichtete Ansammlungen von Sehnenfasern, die überwiegend aus Kollagenfasern vom Typ I bestehen (beim erwachsenen Pferd zu etwa 95%). Daneben kommen Kollagen III und V, Glykosaminoglykane und das Strukturprotein Elastin vor. Durch die spiralige Anordnung und durch zahlreiche Querverbindungen (cross-links) erreicht die Sehne eine erstaunliche Festigkeit bei hoher Elastizität. Sehnen sind auf Zugbelastung ausgerichtet. Wirken Druckkräfte ein, ist häufig chondroides Gewebe mit höherer Proteoglykansynthese eingelagert. Funktionell verhält sich die Sehne bei einer Dehnung bis zu 3-5% als elastische Struktur, die zu ihrer Ausgangslage zurückkehrt. Bei stärkerer Belastung wird ein viskoelastischer Bereich erreicht, der bereits mit histologischen Konsequenzen einhergeht. Bei einer Dehnung über 8 bis 12 % kommt es zur Ruptur (STANEK et al. 2004).

Die kleinste Einheit der gesunden Sehne ist das Primärbündel. Es handelt sich dabei um zahlreiche parallel angeordnete Kollagenfibrillen mit meist gleichmäßigem Durchmesser von 80 bis 180 nm (NORBERG et al. 1967, FACKELMANN 1973, DROMMER et al. 1990). Diese Kollagenfibrillen sind zu primären Kollagenfaserbündeln zusammengelagert und von den Ausläufern

der Tendozyten und feinen Bindegewebszügen, dem Endotendineum, umgeben. Das Endotendineum führt keine Gefäße und Kapillaren.

Mehrere Primärbündel werden durch das Peritendineum internum zu Sekundärbündeln zusammengefasst. Das Peritendineum enthält Blut- und Lymphgefäße sowie Nerven. Mehrere Sekundärbündel bilden dann, umgeben vom gefäßreichen Ependineum (bzw. Peritendineum externum), den gesamten Sehnenquerschnitt (Abbildung 1). Das Ependineum ist ein geflechtartiges Bindegewebe, das die Sehne ebenfalls vollkommen einhüllt. Außen liegt dem Ependineum das Paratendineum an, das aus einer Schicht lockerem Bindegewebe besteht und die Verbindung zur Sehnscheide aufnimmt (DROMMER et al. 1990). An Orten besonderer mechanischer Belastung wie z. B. im Bereich der Fessel oder wo die Sehnen über Gelenke laufen, wird das Ependineum entweder von einer Sehnscheide oder vom elastischen Paratendineum umgeben (STASHAK 1992).

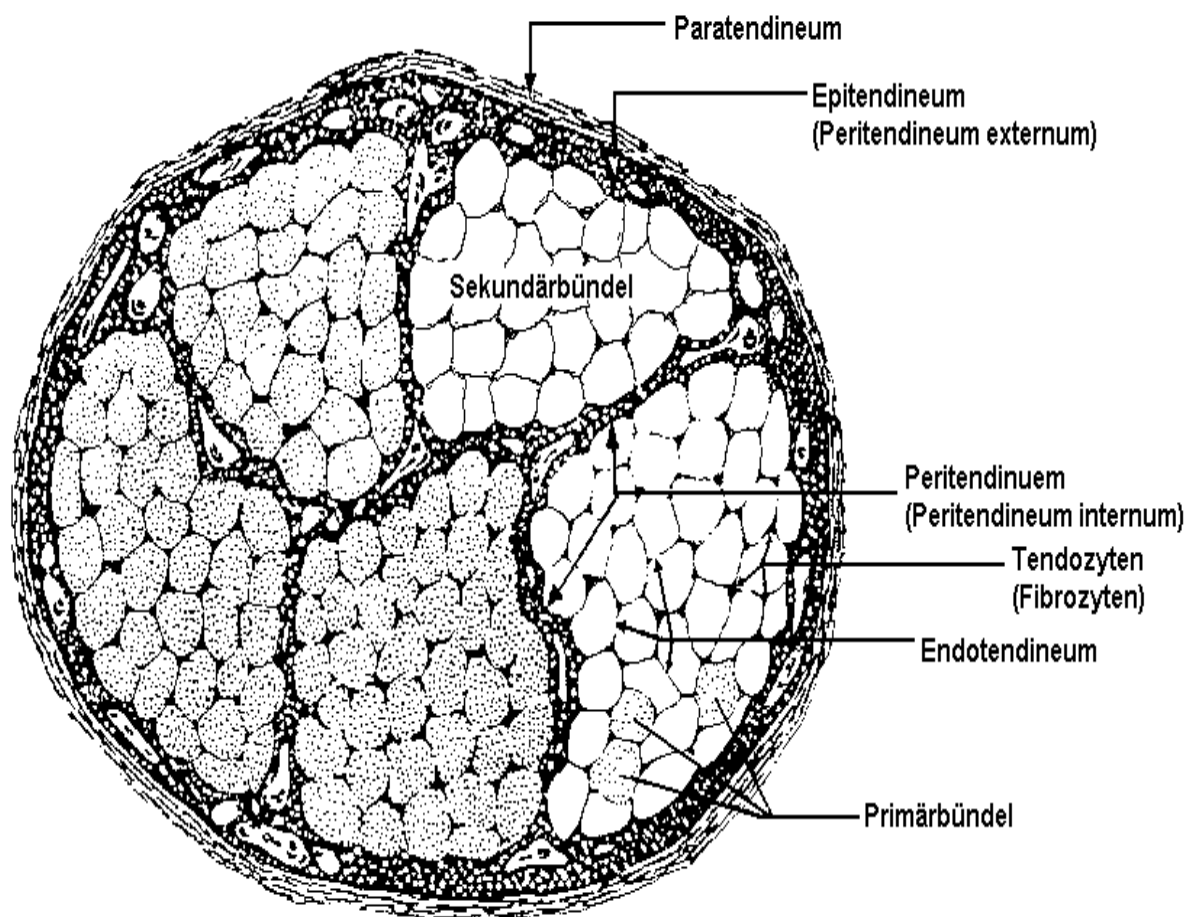


Abbildung 1: Schematischer Aufbau der Sehnen (nach DROMMER et al. 1990)

Die Interzellulärsubstanz zwischen den Fasern des Bindegewebes besteht aus einer Grundsubstanz aus Kollagen, Proteoglykanen, Glykosaminoglykanen (unter anderem Natriumhyaluronat) und Glykoproteinen, welche diese miteinander verbindet und als Wasser- und Ionenspeicher sowie als Träger für Nährstoffe dient (MERKER und BARRACH 1981, MOHR 1987). Die Fibroblasten produzieren Tropokollagen und die Bestandteile der Grundsubstanz (MOHR 1987). Beides wird zur Regeneration abgenutzter Strukturen benötigt. Es wird vermutet, dass in gesunden Sehnen das gesamte Kollagen etwa alle sechs Monate erneuert wird (SEIFERT 1967, McILWRAITH 1987).

Die Glykosaminoglykanfraktion besteht aus Natriumhyaluronat, Chondroitin-6-sulfat und Dermatansulfat. Der Zusammenbau der Tropokollagenmoleküle aus dem Endoplasmatischen Reticulum sowie der Fibrozyten zu Subfibrillen und Fibrillen erfolgt extrazellulär unter Beteiligung dieser Fraktion. Die Glykosaminoglykane modifizieren die Kinetik der Fibrillenbildung und induzieren die Fibrillenaggregation. Sie sind für die endgültige Form und die Zusammenlagerung der Fasern essentiell. In vitro konnte nachgewiesen werden, dass sie die Faserdicke und Fibrillenweite sowie die Längsausrichtung der Fibrillen wesentlich beeinflussen (LILJA und BARRACH 1981).

In heilenden Sehnen kann zwischen dem 4. und 8. Tag ein Anstieg des Gehaltes an Glykosaminoglykanen festgestellt werden, der zur Zusammenlagerung der Fasern zu einem spezifischen Muster beiträgt. Um den 21. Tag deckt der Anstieg einen erhöhten Bedarf beim Zusammenkitten der großen Fasern. Im Hinblick auf die Sehnenheilung ist es wichtig, die Bildung von Glykosaminoglykanen und hier vor allem des Hyaluronats zu fördern, da bei einem hohen Gehalt das Fibrin schneller abgebaut wird und kollagenes Material früher erscheint (MORCOS 1962). Die Bildung neuer Fibrillen führt zu einem gesteigerten Bedarf an Natriumhyaluronat. Weiterhin ist die Wasserspeicherkapazität des Hyaluronats von erheblicher Bedeutung für die Elastizität des Sehngewebes. Enthält das Gewebe zu wenig Wasser, wird die Sehne brüchig. Natriumhyaluronat ist darüber hinaus ein biologischer Regulator der Aktivität des lymphomyeloischen Systems. In vitro konnte durch eine hochmolekulare Natriumhyaluronatlösung die Migration von Granulozyten, Lymphozyten und Makrophagen moduliert werden. Phagozytose, Lymphoblastentransformation und Fibroblastenaktivität wurden ebenfalls positiv beeinflusst. In einer experimentellen Studie innerhalb der gemeinsamen Beugesehnen Scheide konnte nachgewiesen werden, dass das Natriumhyaluronat die Zellinvasion kontrolliert und übermäßige Granulationsgewebsbildung sowie Verwachsungen in der Sehnen Scheide verhindert. Eine Vergleichsgruppe wurde mit einem Methylzellulose-Gel behandelt, das eine ähnliche Viskosität wie das

verwendete Natriumhyaluronat-Präparat besaß. Da in dieser Gruppe kein Effekt auf die Sehnenheilung festzustellen war, folgern die Autoren, dass die Wirkung des Hyaluronats in bestimmten Stadien der Entzündung, Heilung und Regeneration nicht auf seine physikalischen, sondern auf seine pharmakologischen Eigenschaften zurückzuführen ist (GAUGHAN et al. 1995).

Die Kollagenmoleküle sind in Bündeln strukturiert und mit zunehmendem Durchmesser in Mikrofibrillen, Subfibrillen, Fibrillen (Durchmesser 40–500 µm) und endlich in durch lose Septen (Endotendineum) getrennten Faszikeln angeordnet. Das Peritendineum externum bildet insgesamt die Oberfläche der Sehne. Die Kollagenmoleküle sind nicht gerade, sondern schraubenwindungsartig angeordnet. Es existieren zahlreiche intra- und interfibrilläre Quervernetzungen (cross-links), die zur Belastungsfähigkeit der Sehne wesentlich beitragen. An der Oberfläche der Faszikel lässt sich eine periodische wellenartige Anordnung („crimp“) erkennen, beim jungen Pferd mit einem Winkel von etwa 20° und einer Länge von 11-19 µm. Mit dem Alter nehmen Winkel und Länge (12 - 17°, 11 -15 µm) ab. Daraus lässt sich die abnehmende Elastizität älterer Sehnen erklären (STANEK et al. 2004).

Die Blutversorgung der Sehnen kann entweder über den Muskel, über den Knochen, an dem die Sehne ansetzt, über ein Mesotendineum oder Vinculum tendineum innerhalb einer Sehnenscheide oder über das Paratendineum, in dessen Bereich keine Sehnenscheide vorhanden ist, erfolgen (STASHAK 1992). Nach LANGE und HIPPE (1976) erfolgt die Gefäßversorgung der Sehnen hauptsächlich über das Paratendineum, etwa zu einem Drittel aus dem Muskel und zu einem Viertel aus dem Knochen. Peritendineum externum und internum nehmen das Blut- und Lymphgefäßnetz mit in die Sehne hinein.

Die Sehne enthält viele longitudinale und wenig transversale Gefäße. Die Ernährung der Sehnen erfolgt einerseits durch die Synovia der sie umgebenden Sehnenscheide und andererseits durch die Blutgefäße, die die zentralen Sehnenbereiche versorgen (STRÖMBERG 1971).

Versorgt werden die Sehnen von zwei miteinander in Verbindung stehenden Gefäßsystemen. Das eine ist ein in der Sehne verlaufendes System von kleinen Gefäßen (intrinsic vascular supply), zum anderen werden die Sehnen von einem am Rand der Sehnen kaskadenartig verlaufenden System mit in die Sehne einstrahlenden Gefäßen (extrinsic vascular supply) versorgt. Die Heilung von Sehnenläsionen geht überwiegend vom extrinsic System aus. Außerhalb eines Sehnenscheidensystems verläuft die Sehne in einem lockeren Bindegewebe (Paratendineum), in welchem Blutgefäße eingebettet sind, die bei einer

Sehnenzerrung oder -ruptur ebenfalls geschädigt werden können. Paratendinöse Blutungen sind für das Auftreten von Verwachsungen nach einer Tendinitis sehr wesentlich (STANEK et al. 2004).

2.2. Anatomie der Beugesehnen

Vordergliedmaße

Die tiefe Beugesehne (TBS) geht aus den fünf Muskelbäuchen des Musculus (M.) flexor digitalis profundus oberhalb des Karpus hervor und zieht als anfänglich fast knorpelhafter abgeplatteter Strang medial des Os carpi accessorium über die Beugeseite des Karpus hinweg und setzt am Hufbein an. Ebenfalls oberhalb des Karpus geht der M. flexor digitalis superficialis in die oberflächliche Beugesehne(OBS) über, die noch proximal des Karpus ein Unterstützungsband (UB) erhält, das am medialen Rand des Radius entspringt (NICKEL et al. 1977). Weiter verläuft sie dann mediopalmar von der TBS unter dem Retinaculum flexorum in der gemeinsamen Karpalbeugesehnenscheide an die Palmarseite des Metakarpus (FORSSELL 1931, NICKEL et al. 1977). Sie hat Ihren Ansatz am Kronbein. Die Sehnen Scheide beginnt ca. 10 cm oberhalb des Karpus und reicht distal bis zur Vereinigungsstelle des UB mit der TBS (NICKEL et al. 1977).

Im Bereich des Metakarpus liegt die OBS subkutan und hat im proximalen Drittel eine mehr ovale Form. Im mittleren umgreift sie medial die TBS, wird flacher und ist hier am dünnsten, bis sie schließlich weiter distal ein halbmondförmiges Aussehen annimmt (WEBBON 1973, GENOVESE et al. 1986, MEIER und SCHEFER 1987, RAPP 1988, STADTBÄUMER 1988).

Die TBS ist im proximalen Drittel mehr dreieckig (STADTBÄUMER 1988), wird distal immer rundlicher und schmiegt sich der ihr palmar kappenartig anliegenden OBS eng an.

Das UB der TBS entspringt am Ligamentum (Lig.) carpi radiatum und zieht dorsal der TBS distal, wo es sich im mittleren Drittel des Metakarpus der TBS eng anschmiegt, um schließlich am Übergang zum distalen Drittel mit ihr zu verschmelzen (NICKEL et al. 1977, GENOVESE et al. 1986, MEIER und SCHEFER 1987, RAPP 1988).

Im mittleren Bereich des Metakarpus sind die Beugesehnen von einem lockeren Paratendon oder Paratendineum umgeben, das viele elastische Fasern enthält und ein notwendiges Element für die freie Gleitfähigkeit der Sehne ist (WEBBON 1973, SELWAY 1975).

Im distalen Viertel umfasst die OBS direkt oberhalb der Gleitfläche der Sesambeine die eiförmige TBS als ringförmige Manschette (NICKEL et al.

1977, GENOVESE et al. 1986, MEIER und SCHEFER 1987, RAPP 1988), beide verlaufen in der gemeinsamen Fesselbeugesehnenscheide palmar über das Fesselgelenk. Die Fesselbeugesehnenscheide beginnt etwa 5 bis 9cm oberhalb des Fesselgelenkes und reicht bis zum distalen Drittel des Kronbeins. Sie umfasst in erster Linie die TBS, und nur im Bereich des Fesselringbandes wird die OBS von Aussackungen der Sehnenscheide umgeben.

Distal des Fesselgelenkes bildet die OBS einen zweiten, schwächeren Gurt um die im Gelenkbereich sehr stark gewordene TBS und spaltet sich dann in der Fesselbeuge in zwei Schenkel auf, die sich medial und lateral an der Kronbeinlehne und mit je einem schwächeren Ast am distalen Ende der Seitenränder des Fesselbeins festheften. Die TBS tritt durch die beiden Schenkel der OBS hindurch und verläuft, nachdem sie einen schwachen elastischen Ast, den Kronbeinschenkel, an das distale Drittel des Kronbeins abgegeben hat, über das Strahlbein hinweg an die Facies flexoria des Hufbeins. Im Bereich des Fesselgelenkes und der Fesselbeuge halten das Fesselringband, die vierzipfelige Fesselplatte und die Sohlenbinde die Beugesehnen in ihrer Lage (NICKEL et al. 1977).

Der Musculus interosseus medius hat seinen Ursprung hauptsächlich am Ligamentum carpi radiatum (NICKEL et al. 1977), proximal aber auch am Os metacarpale III (NICKEL et al. 1977, GENOVESE et al. 1986). Er verläuft als einheitliche Bandplatte zwischen den beiden Griffelbeinen und teilt sich im distalen Drittel des Metakarpus in zwei Schenkel auf (NICKEL et al. 1977, GENOVESE et al. 1986, MEIER und SCHEFER 1987, STASHAK 1987), die nach NICKEL et al. (1977) jeweils an einem der beiden Gleichbeine inserieren und einen schräg hufwärts und dorsal verlaufenden Unterstützungssast an die gemeinsame Strecksehne abgeben. STASHAK (1987) erwähnt, dass eine zentrale Einbuchtung im proximalen Teil des M. interosseus medius eine leichte Erhabenheit des Röhrlbeins beherbergt und die dickeren Ränder den Eindruck eines zweigeteilten Ursprungs erwecken.

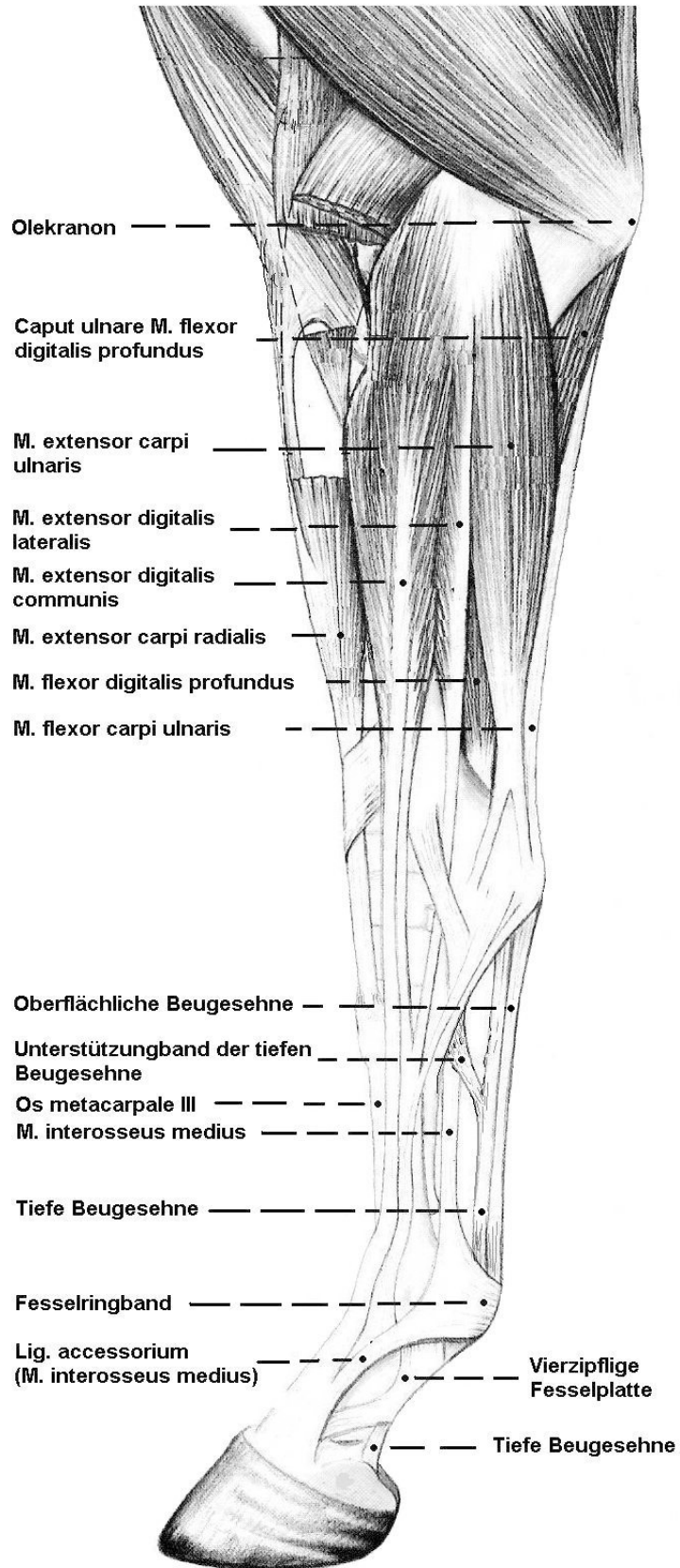


Abbildung 2: Darstellung der Beugesehnen des Vorderfußes des Pferd. Lateralansicht (Modifiziert nach NICKEL et al. 1977)

An der Hintergliedmaße gibt es gegenüber der Vordergliedmaße folgende Abweichungen:

Die OBS geht distal des Tuber calcanei aus der Tendo plantaris hervor, die die Fersenbeinkappe bildet, die mit einem lateralen und einem medialen Schenkel am Tuber calcanei befestigt ist. Diese Schenkel ersetzen das Unterstützungsband.

Die TBS entspringt aus den drei Köpfen des M. flexor digitalis profundus. Die Endsehne des M. flexor hallucis longus, die die des M. tibialis caudalis aufnimmt, zieht, von einer Sehnenscheide umhüllt, über das Sustentaculum tali zur Plantarseite des Metatarsus, wo sie sich in der Mitte mit der Sehne des M. flexor digitalis longus, die auch über die Medialseite des Tarsus hinwegzieht und von einer Sehnenscheide umhüllt ist, zur TBS vereinigt. Diese erhält auch hier ein relativ schwaches, vom Tarsus kommendes Unterstützungsband (NICKEL et al. 1977).

Der M. interosseus medius verhält sich an der Hintergliedmaße wie an der Vordergliedmaße (NICKEL et al. 1977).

2.3. Definition von Sehnenerkrankungen

Aus klinischer Sicht werden die Begriffe Tendinitis, Tendinose, Tendopathie, Sehnenerkrankung, Sehnenentzündung oder Sehnen Schaden meist synonym verwendet, da sich keiner auf eine eindeutige Definition festlegt (OBERBECK 1992).

In der Humanmedizin werden laut SCHNEIDER (2006) alle aseptischen Entzündungen der Sehnen und Bänder als Tendopathien bezeichnet. Der Begriff Tendopathie umfasst die antibakteriellen Entzündungen der Sehnen (Tendinitis) bzw. Sehnenscheiden (Tendovaginitis) in Ansatznähe, aber auch degenerative Veränderungen an Sehnenursprüngen und –ansätzen, oft in Kombination mit einer Epikondylitis. In der Veterinärmedizin ist dieser umfassende Begriff weniger üblich. In dieser Darstellung soll darunter die Summe der ohne Beteiligung von Infektionserregern verlaufenden, mit einem unterschiedlichen Ausmaß an Gewebeschädigung einhergehende degenerativen und entzündlichen Veränderungen der Sehnen in ihrem Gesamtverlauf verstanden werden. Übereinstimmung besteht darüber, dass einer klinisch erkennbaren Tendopathie (Tendinitis) subklinische Veränderungen vorangehen, die zu einer klinisch nicht erkennbaren Schädigung einzelner Sehnenfasern oder –bezirke führen. Diese subklinische Schädigung öffnet den Weg für den mechanischen Insult. Von überragender klinischer Bedeutung beim Sportpferd sind Tendopathien der

Beugesehnen. Dabei sind bei den unterschiedlichen sportlichen Verwendungen verschieden Strukturen vorrangig betroffen (STANEK et al. 2004).

Eine multiple, fibrilläre Zerreißung einzelner Sehnenfasern mit anschließenden reaktiven Prozessen in Form einer aseptischen, reaktiven und produktiven Entzündung würde den Begriff der Tendinitis definieren. Diese Prozesse sind als Vorgänge der Selbstheilung aufzufassen (SCHLEITER 1975, RICHTER 1982, PICK 1986, SIELBERSIEPE et al. 1986, DROMMER et al. 1990).

Diese Definition stellt SÖNNICHSEN (1975) in Frage. Er meint, dass primär Zirkulationsstörungen mit daraus resultierender Hypoxämie die Symptome der Tendinitis wie Ödem, Hämorrhagie und Proliferation der verschiedenen Gewebsstrukturen bewirken. Die Degeneration und Nekrosen entstehen nach seiner Auffassung erst sekundär. 1985 bezeichnet der Autor die Tendinitis als Entzündung einer Sehne oder eines Muskel-Sehnenansatzes in dem Bereich, wo die Sehne vom Paratendineum umgeben ist (SÖNNICHSEN 1985). Auch STASHAK (1987) definiert die Tendinitis nach rein anatomischen Gesichtspunkten. Für ihn ist die Tendinitis eine durch Überdehnung hervorgerufene Entzündung der Sehnen, die vom Paratendineum, aber nicht von einer Sehnen Scheide umgeben sind; anderenfalls spricht er von einer Tendosynovitis. SCHNEIDER (1959) führte zusätzlich den Begriff der Tendopathie für die degenerativen Sehnenkrankungen infolge von Überbelastung des Gewebes ein.

Laut RAPP et al. (1991 und 1992) versteht man unter einer Tendinitis im eigentlichen Sinn eine anatomische Strukturzerstörung von Sehnenfasern, also fibrilläre Zerreißungen, begleitet von Blutungen, Ödem und Fibrinausschüttung. Enzyme, wie z.B. Kollagenase, verstärken die destruktiven Vorgänge sowohl im Sehngewebe als auch im peritendinösen Bereich. Differentialdiagnostisch müssen Dermatitis, Unterhautödem, Phlegmone, Neuroperitendinitis und Peritendinitis abgegrenzt werden.

Als Peritendinitis wird eine entzündliche Reaktion des die Sehne umgebenden Gewebes und nicht die Entzündung der anatomisch-histologisch als Paratendineum oder Peritendonium definierten intratendinösen Struktur, die, bestehend aus elastischen Fasern, Fett-, Nerven-, Blut- und Lymphgewebe, mehrere Sehnenfaser-Primärbündel zu Sekundärbündeln zusammenfasst (RAPP et al. 1992a)

2.4. Ätiologie und Pathogenese von Sehnenkrankungen

Über die Ätiologie der Tendopathien gibt es verschiedene Auffassungen, die sich schon in den unterschiedlichen Definitionen widerspiegeln. Sehnenkrankungen entstehen durch Überbelastung der Sehne (WEBBON 1973, SILBERSIEPE et al. 1986, STASHAK 1987). Primär ätiologischer Faktor ist die übermäßige Kraft pro Einheit Querschnittsfläche (STASHAK 1987). Die Anordnung der Sehnenfasern in feinen Wellen gestattet der Sehne eine elastische Verlängerung und ein weiches Anziehen bei Muskelkontraktionen. Dieser Sicherheitsfaktor wird durch die elastische Dehnbarkeit vergrößert. Die Überschreitung der Festigkeits- und der Elastizitätsgrenze, die gleich sind, führt zu Rupturen (MÜLLER und SCHEBITZ 1975, SILBERSIEPE et al. 1986). BECKER und KRAHL (1978) sprechen von einem viskoelastischen Verhalten der Sehne, das unter Einbau eines Dämpfungselementes eine materialschonende Funktion gewährleistet. Bei hohen Zuggeschwindigkeiten kann dieses System außer Kraft gesetzt werden, der damit verbundene Dämpfungsverlust kann dann zu Sehnenrissen führen.

STRÖMBERG (1980) beschreibt, dass Schäden der oberflächlichen Beugesehne und des Unterstützungsbandes der tiefen Beugesehne sowie des Muskulus interosseus medius bei Sportpferden in den meisten Fällen als chronische Ermüdungsschäden zu sehen sind. Rein traumatische, akzidentelle Rupturen kommen vor, sind jedoch selten. Festigkeitsuntersuchungen an intakten Extremitätenpräparaten zeigen, dass die zur Ruptur der Sehnen führende Kraft, die der Belastung während der Galopp- oder Springphase bei weitem übersteigt. Zudem treten diese Rupturen am Ursprung und Ansatz der Muskeln auf und nicht dort, wo die spontanen Sehnenbeschäden auftreten. Galopparbeit über den Trainingsstatus des Pferdes hinaus führen zur Ermüdung der Muskeln der Beugesehnen, was zur Reduzierung der stoßabsorbierenden Wirkung der Muskeln führt, so dass die passive Sehne noch mehr gedehnt wird. Die Sehnen arbeiten hierbei, und unter anderem führt die zunehmende Funktionswärme zu einer größeren metabolischen Belastung, der zu genügen die Blutzirkulation der Sehnen nicht die Kapazität hat. Dies führt zu einer Gewebshypoxie mit Ansammlung toxischer Stoffwechselprodukte, zur Zelldegeneration und verringerter Kollagensynthese. Diese zentralen Degenerationen und Zellnekrosen können umfangreich werden und führen zu einer verringerten Festigkeit. Weitere, auch nur geringe Arbeitsbelastung, kann dann zu plötzlichen Rupturen der Fibrillen der Sehne führen. Zelldegeneration und Fibrillenrupturen lösen eine entzündliche Gewebereaktion aus, toxische Substanzen werden freigesetzt, die unter anderem die Permeabilität der Kapillaren beeinflussen. Ein entzündliches Ödem mit verringerter Durchblutung, Schmerzen und Wärme sind

klinische Warnzeichen der klassischen produktiven Entzündung oder Tendinitis. Die zentrale Gewebsnekrose bleibt bestehen, auch wenn die klinischen Symptome bereits nach wenigen Tagen verschwunden sind. Sie führen bei erneutem Training zu weiteren und neuen Schäden, die sogar zu einer vollständigen Ruptur führen können.

STANEK et al. (2004) weisen auf die Bedeutung von der bei repetierter Bewegung, etwa im Galopp, auftretende Temperaturerhöhung im Zentrum hin, welche die Oberflächentemperatur um bis zu 10° C überschreiten kann und für eine zusätzliche Thermoschädigung verantwortlich sein dürfte. Nur etwa 40 % der absorbierten Energie wird als mechanische Energie (Federwirkung) wiederum abgegeben, daher muss mit einer beträchtlichen Wärmewirkung zu rechnen sein. Besonders die in der oberflächlichen Beugesehne reißenden zentralen Partien (core lesions) weist er hierauf zurück. Als wegbereitende Faktoren für eine Tendopathie stellt der Autor hauptsächlich biomechanische Faktoren dar: Ermüdung mit und ohne Konditionsangel, Stellungsfehler, Mangel an Muskelkoordination, schlechte Bodenverhältnisse, übermäßige Belastung einer einzelnen Extremität führen zur Überbelastung einer oder mehrerer sehniger Strukturen. Die früher angenommene Minderdurchblutung einzelner Sehnenbezirke konnte nicht nachgewiesen werden. Sehnengewebe hat eine ähnlich hohe Durchblutung wie ruhende Muskulatur, welche in der Bewegung zunimmt.

Auch BLOBEL (1988) führt Sehnen- und Bänderentzündungen auf Ermüdung des Gewebes infolge von Trainingsschwäche, Konditionsängeln oder Ischämien zurück. Er teilt Sehnenveränderungen in 5 Gruppen ein: in der Vorwarnstufe gehen die Pferde nicht lahm, die Sehne ist jedoch umfangsvermehrt, palpationsempfindlich und warm. Bei perakuten Sehnenschäden sind die Pferde nach der Arbeit, einem Rennen oder einem anderen Einsatz sofort stark lahm. Die Lahmheit verstärkt sich rasch. Die Sehne ist noch nicht umfangsvermehrt und warm sondern nur schmerzhaft, vor allem bei der Palpation. Je nach Art und Stärke der Faserzerreißung ist beim akuten Sehnenschaden eine deutliche Lahmheit mit starker Umfangsvermehrung, Wärme und Schmerzhaftigkeit vorzufinden. Der subakute Sehnenschaden ist gekennzeichnet durch eine deutliche Lahmheit. Lokale Veränderungen treten jedoch erst nach einigen Tagen auf und sind dann auch erst erkennbar. Es sind meistens Schäden am Peritendineum. Der gesamte Sehnenbereich ist umfangsvermehrt und schmerzhaft. Chronische, meist rezidivierende Sehnenschäden zeigen eine Umfangsvermehrung mit geringgradiger Schmerzhaftigkeit und vermehrter Wärme. Bei der Palpation ist verhärtetes Gewebe tastbar. Die Lahmheit ist nach einer Ruhephase weniger deutlich und

wird bei anhaltender Arbeit stärker. Die bestehende Schwellung verringert sich nach der Bewegung, tritt in der Ruhephase jedoch wieder deutlicher in Erscheinung.

Bei Sehnenerkrankungen, die eine schwere Zerrung der Fibrillenbündel verbunden mit Zerreißen, kapillären Blutungen und Ödembildung im Gewebe darstellen, werden hydrolytische Enzyme freigesetzt, die in der Folge zu einer Fibrillendegeneration und -nekrose führen (SCHMIDT 1989 und STASHAK 1987). Der langwierige Heilungsprozess äußert sich in einer Bildung von Granulationsgewebe mit anschließender Organisation in sehr faserreiches Bindegewebe. Das hierbei entstehende weniger zugfeste Typ-III Kollagen wird erst nach Monaten in das vorwiegend in gesunden Sehnen vorkommende Typ-I Kollagen umgewandelt (DROMMER et al. 1990, DAMSCH et al. 1992).

2.5. Physikalische und technische Grundlagen der Ultraschall Diagnostik

Die Ultraschall Diagnostik beruht auf dem Reflexionsverhalten von Ultraschallimpulsen im Bereich von 1 bis 10 MHz. Für deren Erzeugung und Empfang wird der piezoelektrische Effekt bestimmter Kristalle ausgenutzt. Je nach Verfahren und Untersuchungszweck werden die Ultraschallwellen dabei im Dauerschall oder gepulst beim Impulsoverfahren ausgesandt. Die zurückkehrenden Schallwellen enthalten neben der Lageinformation auch Aussagen über die Echogenität der beschallten Strukturen. Diese Echointensitäten werden im A-Bild amplitudenmoduliert und im B-Bild helligkeitsmoduliert auf dem Bildschirm wiedergegeben. Für den Aufbau des zweidimensionalen B-Bildes steht das Realtime-Verfahren zur Verfügung. Mit Hilfe von Parallelsclannern wird dabei ein rechteckiger Bildausschnitt erfasst, Sektorscanner tasten hingegen einen Kreissektor ab.

Für das Verständnis der Ultraschall Diagnostik sind folgende physikalischen Kenntnisse wichtig:

- a) Ultraschall bezeichnet Schall mit einer Frequenz von über 20kHz, d.h. oberhalb der Hörgrenze. Er breitet sich im Gewebe in Form von Longitudinalwellen aus, und das um so besser, je fester und unelastischer die einzelnen Materieteilchen miteinander verbunden sind. Da die Ausbreitungsgeschwindigkeit v bis auf Knochen und Luft in den übrigen Geweben annähernd 1540m/s beträgt, kann man mit Hilfe der Laufzeit t auf die einfache Entfernung s der reflektierenden Grenzflächen von der Ultraschallquelle zurückschließen ($t = 2 s/v$).

- b) Je größer der Härteunterschied zwischen den schallleitenden Medien ist, an deren Grenzflächen das Echo entsteht, desto höher ist der reflektierende Anteil der ausgesandten Schallwelle und damit die Intensität des zurücklaufenden Echos. Als Maß für die Härte eines Mediums dient die Impedanz Z (= akustischer Widerstand). Sie ist direkt proportional der Dichte ρ und der Schallausbreitungsgeschwindigkeit v dieses Mediums. Die Echointensität an der Grenzfläche zweier verschiedener Medien, die das Verhältnis zwischen Reflexionsenergie $E(r)$ und Emissionsenergie $E(e)$ beschreibt, ist mit den beiden Impedanzen Z_1 des Mediums 1 und Z_2 des Mediums 2 verknüpft.

Formel:

Echointensität $I = E(r)/E(e) \sim ((Z_2 - Z_1)/(Z_2 + Z_1))^2$, wobei $Z = \rho \times v$

- c) In der Praxis bedeutet dies, dass Knochen und gasbefüllte Darmschlingen ebenso wie eine ungenügende Ankopplung des Schallkopfes auf der Haut des Patienten durch fehlendes Kontaktgel zu einer hohen Reflexion und Echointensität führen, so dass darunter liegende Strukturen aufgrund fehlender Schallenergie $E(t)$ ($= E(e) - E(r)$) nicht mehr zur Darstellung kommen. Absorptionsvorgänge sind dabei noch nicht berücksichtigt (ZENTNER 1994).

Piezoelektrische Kristalle ändern in einem elektrischen Feld ihre Form und produzieren bei Anlegen einer elektrischen Wechselspannung Schallwellen, die über dem Frequenzbereich der für Menschen hörbaren Wellen liegen und deshalb als Ultraschallwellen bezeichnet werden. Da dies ein umkehrbarer Prozess ist, das heißt, bei einer durch reflektierte Schallwellen erzielten mechanischen Formveränderung der Kristalle werden elektrische Impulse erzeugt. Dieser umkehrbare Prozess erlaubt, dass das gleiche Kristall als Sender und Empfänger von Schallwellen eingesetzt werden kann (MÜLLER 1985). Der Schallkopf eines Ultraschallgerätes (Transducer) ist mit mehreren Quarzkristallen bestückt. Die erzeugten Schallwellen penetrieren das Gewebe und werden an allen Grenzflächen mit unterschiedlichen akustischen Eigenschaften reflektiert. Diese Eigenschaften werden auch als akustische Impedanz bezeichnet und sind das Produkt aus der Dichte eines Mediums und der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls. Je nach Dichte der Gewebe werden die Schallwellen unterschiedlich reflektiert und im Transducer in elektrische Impulse umgewandelt und auf einem Monitor optisch dargestellt. Die Qualität der Abbildungen wird maßgeblich von der Anzahl der verwendeten Quarzkristalle und der Frequenz der erzeugten Schwingungen bestimmt. Eine höhere Anzahl von Quarzen bedeutet eine höhere Auflösung und somit eine Detailgenauigkeit der Bilder. Die Verwendung einer hohen Frequenz hat

ähnliche Wirkung, eine niedrige Frequenz steigert die Eindringtiefe, beeinträchtigt jedoch die Schärfe. In der Veterinärmedizin werden Schallköpfe im Frequenzbereich von 3,5, 5 oder 7,5 MHz eingesetzt, die mit ca. 300 Quarzkristallen bestückt sind. Flüssigkeiten erscheinen reflexarm bzw. reflexlos, während Grenzflächen zu Luft oder Knochen als weiße Reflexstreifen auftreten, unter denen in der Regel keine Strukturen mehr erkennbar sind (STADTBÄUMER 1988). Da die Fokuszone der Ultraschallwellen bei dem 5-MHz-Schallkopf etwas zu tief im Gewebe liegt, ist es für die Darstellung von Haut, Unterhaut und oberflächlicher Beugesehne notwendig, die so genannte Vorlaufstrecke, eine luftfrei mit Flüssigkeit gefüllten Gummischlauch, vorzuschalten. Durch seine Flexibilität passt er sich der Sehnenkontur optimal an.

2.6. Sonographische Untersuchungen von Sehnen und Sehnendefekten

Neben der klinischen Untersuchung ist die Sonographie das Mittel der Wahl (GENOVESE et al. 1986 und 1987, NIXON und GAUGHAN 1990), um eine exakte Diagnose zu erstellen und zwischen einem tatsächlichen Sehnen Schaden und anderen pathologischen Veränderungen im Sehnenbereich zu unterscheiden. Auch RANTANEN (1982) und HAUSER (1994) halten die Sonographie für wichtig zur Darstellung der sehnigen Strukturen, da hierdurch der Nachweis eines Sehnen defektes sowie die Kontrolle des Heilungsverlaufes erheblich präziser und objektiver werden (HALL et al. 1988, SPURLOCK et al. 1989a, REEF 1998). Die rein klinische Sehnenuntersuchung ist nach Meinung vieler Autoren unsicher und daher ist die Sonographie unverzichtbar geworden (GENOVESE et al. 1987, NIXON und GAUGHAN 1990).

Mit der Sonographie lassen sich Lokalisation und der Grad des Schadens bildlich darstellen und dokumentieren. Voraussetzung ist allerdings, dass Strukturdefekte in der Größenordnung des Auflösungsvermögens des Ultraschallverfahrens vorliegen, also mindestens 1 mm stark sind. Befunde trotz histologisch nachgewiesener Sehnen defekte lagen in der Studie von RAPP et al. (1991) nicht vor. Trotz dieser denkbaren Einschränkung führt die Sonographie zu einer objektiveren Sehnen diagnostik und bietet die Möglichkeit der Kontrolle des Heilungsverlaufes.

Bei der sonographischen Untersuchung der Beugesehnen beim Pferd sollte zur Beschreibung der genauen Lokalisation die Zonen nach GENOVESE (nach SANDE et al. 1998) berücksichtigt werden. Bezugspunkt hierfür ist die Basis des Os carpi accessorium bzw. des Tuber calcanei. Die angegebenen metrischen

Werte gelten für die Vorderextremität eines Vollblutpferdes: Zone 1A an der Vorderextremität reicht vom proximalen Röhreinbereich, 0 – 4 cm distal des Os carpi accessoriums. Zone 1B: 5 – 8 cm distal des Os carpi accessoriums. Zone 2A, 2B: mittlerer Röhreinbereich, 9 – 16 cm distal des Os carpi accessoriums. Zone 3A, 3B: distaler Röhreinbereich mit den Schenkeln des M. interosseus. 3C: Oberflächen der Gleichbeine und Ringband mit einer physiologischen Dicke zwischen 1 und 2 mm.

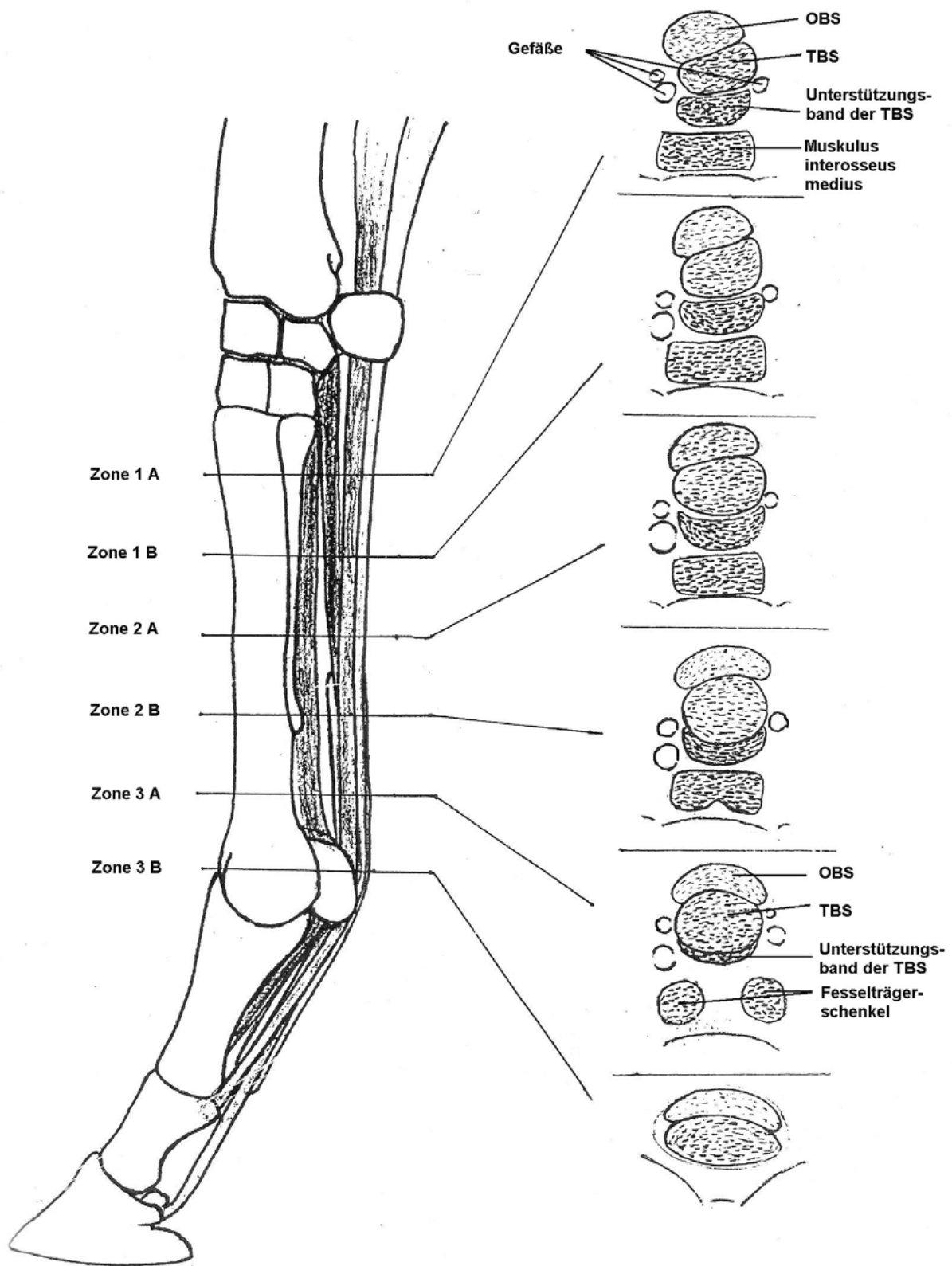


Abb. 3: Schematische Darstellung der sonographischen Querschnitte entsprechend der Untersuchungs-zonen an einer Vordergliedmaße

Jede Ultraschalluntersuchung der Sehnen sollte transversale und longitudinale Schnittebenen beinhalten. Es sollte mit transversalen Scans angefangen werden. Man beginnt im proximalen Bereich des Metakarpus/Metatarsus und wird entlang der Sehne nach distal fortfahren. Solche Scans sind besonders geeignet, um Verletzungen zu identifizieren und die Lokalisation, die Ausdehnung, Größe, Form, Gewebeart sowie den Grad des Verlustes der Echogenität aufzuzeigen. Zusätzliche longitudinale Scans sind nötig, um den Verlust der axialen Ausrichtung der Sehnenfasern aufzuzeigen (DIK 1998).

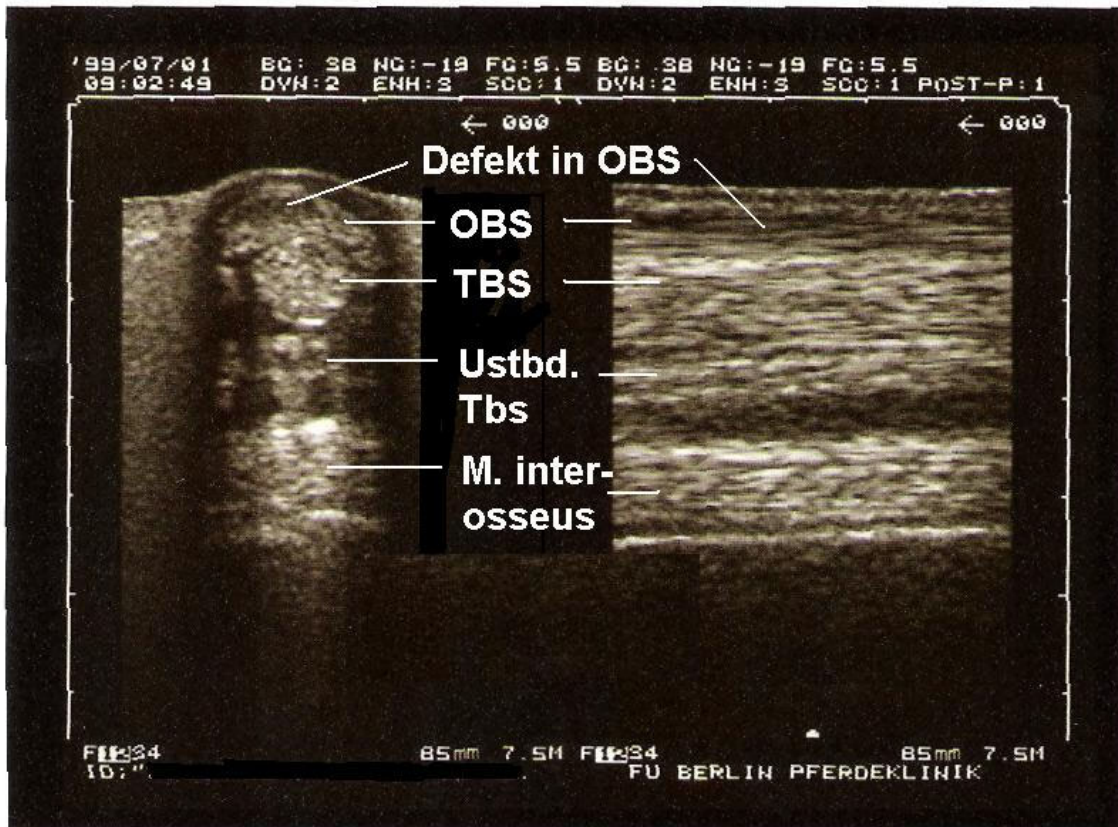


Abb. 4: Sonographische Darstellung eines Defektes (Hypoechogener Bereich) in der oberflächlichen Beugsehne (Untersuchungszone 1 B)

Bei der Beurteilung von Sehnenstrukturen sind verschiedenen Kriterien zu beachten: zum einen muss die Kontur der Sehne beurteilt werden: Diese sollte scharf begrenzt und ohne Auffaserungen sein. Der Durchmesser der Sehne und eventuelle Formveränderungen des Querschnitts sind weitere zu beurteilende Parameter. Bei der Beurteilung der Struktur muss sowohl die axiale Ausrichtung der Kollagenfasern als auch die Gleichförmigkeit der Struktur geachtet werden. Weitere Erscheinungen, wie Hämatome sollten beschrieben werden. Im pathologisch veränderten sonographischen Sehnenbild werden sogenannte

Strukturdefekte, die Folge einer umfangreichen Zerreißung von Sehnenfasern in diesem Bereich darstellen als dunkle Zonen im Ultraschallbild sichtbar. Durch die partielle Zerreißung einzelner Sehnenfasern und in deren Folge durch Bildung von Granulations- und Narbengewebe kommt es zur erheblichen Umfangsvermehrung der Sehne (STADTBÄUMER 1988).

Im Gegensatz zur Übersichtsröntgendiagnostik ist die Sonographie in besonderem Maße geeignet, Unterschiede in der Struktur der Weichteilgewebe darzustellen. Die Ultraschalluntersuchung ist deshalb eine wertvolle bildgebende Diagnostik, um Verletzungen im Sehnen- und Bandbereich der Pferdeextremität aufzuzeigen. Das am besten geeignete Ultraschallgerät zur Untersuchung der Pferdeextremität ist ein hochfrequenter (5 bis 7,5 MHz)-Real-Time-Strait-Inline-Sector-Scanner mit einer kurzen Fokuszone (3 bis 5 cm). Eine 1 bis 1,5 cm lange, ultraschalldurchlässige Vorlaufstrecke mit Befestigungsmöglichkeit am Schallkopf sollte zusätzlich vorhanden sein, um die Bildgebung im Nahfeldbereich zu verbessern. Sie wird benötigt, um oberflächlich liegende Strukturen, wie z. B. die oberflächliche Beugesehne, darzustellen (DIK und VAN DEN BELT 1991).

Gesunde Sehnen stellen sich als echoreiche, gleichmäßig begrenzte bandförmige Strukturen dar. Voraussetzung für eine gute Beurteilbarkeit ist der senkrechte Einfallswinkel der Schallwellen. Die sonographische Untersuchung sollte sowohl in Längs- als auch Querschnittebene erfolgen. Bei Bewegungsuntersuchungen kann das ungehinderte Gleiten der Sehnen beurteilt werden. Bei inkompletten bzw. kompletten Sehnenrupturen ist eine Unterbrechung der Sehnenstruktur nachweisbar. Darüber hinaus lässt sich sonographisch meist ein Hämatom nachweisen. Durch das Hämatom kann es zu einer Verbreiterung des Peritendineums kommen. Bei einer Tendosynovitis werden die auffallenden echoreichen Sehnen durch die entzündlich verbreiterten, echoarmen Sehnenscheiden begrenzt. Degenerative Sehnenerkrankungen führen zu ansatznahen Verkalkungen, die sonographisch als echoreiche Bezirke mit Schallschatten darstellbar sind (KELLNER 1994).

Die Ultraschalluntersuchung ist die bildgebende Technik der Wahl zur Diagnose und Therapie von Sehnenverletzungen beim Pferd. Sie zeigt deutlich den Ort, die Größe und Ausdehnung der Sehnenverletzung und den Grad der Gewebsbeeinträchtigung. Serielle Untersuchungen ermöglichen die Überwachung des Heilungserfolges. Eine vorzeitige Belastung kann die Heilung verzögern oder eine erneute Verletzung provozieren. Außerdem ermöglicht die Ultraschalluntersuchung die Differenzierung anderer Ursachen von Schwellungen besser als die palpatorische Untersuchung der Extremität. Jede

Ultraschalluntersuchung der Sehnen sollte transversale und longitudinale Schnittebenen beinhalten. Sehnen- und Bandverletzungen erscheinen in verschiedenen Graden echoarm. Der Verlust der Echogenität wird normalerweise von 1 bis 4 klassifiziert: Typ 1: größtenteils echoreich; Typ 2: ungefähr 50% Verlust der Echogenität, Typ 3: größtenteils echofrei; Typ 4: vollständig echofrei. Auf longitudinalen Scans kann die axiale Anordnung der Fasern noch schwach sichtbar sein bzw. teilweise oder vollständig fehlen (DIK 1998).

Die Terminologie zur Beschreibung der Gewebebeschaffenheit in der Ultraschalldiagnostik ist recht simpel: Echogen bedeutet, dass die meisten der Schallwellen zurück zum Transducer gelangen. Diese echogenen Areale erscheinen weiß auf dem Bildschirm. Echoarm bedeutet, dass die meisten der Wellen in tiefere Gewebeschichten dringen, so dass nur wenige Echos reflektiert werden. Diese echoarmen Bereiche erscheinen dunkel auf dem Bildschirm. Anechogen werden jene Gewebe bezeichnet, die alle Schallwellen in tiefere Gewebe und keine Schallwellen zurück zum Transducer reflektieren. Anechogene Areale erscheinen auf dem Bildschirm als schwarze Flächen und sind in der Regel flüssigkeitsgefüllte Strukturen. Weichteile repräsentieren sich nicht als schwarz-weiß Bilder, sondern zeigen viele Grautöne auf. Als Hyperechogen werden Gewebe bezeichnet, die mehr Schallwellen zurücksenden als die umgebenden Gewebe. Sie stellen sich auf dem Bildschirm deutlich heller dar. Der Begriff hypoechogen wird benutzt, um Gewebe zu beschreiben, das weniger Schallwellen als die umliegenden Gewebe reflektiert. Sie stellen sich dunkler dar. Isoechogen erscheinen Gewebe, die die selbe Echogenität wie die umliegenden Gewebe haben (HAN et al. 1994).

2.7. Häufigkeit und Verteilung von Sehnenschäden

Nach einer Studie von ROSSDALE et al. (1985) aus England entstehen die meisten Trainingsausfälle (68%) durch Lahmheiten, 10 % der Lahmheiten konnten den Sehnen zugeordnet werden. In den Klinikunterlagen der Klinik für Pferdekrankheiten und allgemeiner Chirurgie der Freien Universität Berlin sind es 8,2 % der chirurgischen Patienten (KELLER und JÖRDENS 1986).

GIBSON et al. (2002) untersuchten bei den olympischen Spielen in Sydney die Sehnen von 70 Pferden unterschiedlicher Nutzung (8 Dressurpferde, 15 Showjumping = Springpferde, 47 eventing = Wettkampfpferde) jeweils vor und nach den Wettbewerben. Bei den Dressurpferden wurde am häufigsten eine Tendopathie des Muskulus interosseus medius diagnostiziert. Diese trat sowohl an den Vorder- als auch an den Hintergliedmaßen auf. Bei den Springpferden

war die Tendopathie des proximalen Musculus interosseus sowie dessen Körper sowie die beiden Fesselträgerschenkel der häufigste Grund der Untersuchung. Einige Pferde hatten mehr als eine betroffene Struktur oder Läsionen an mehreren Gliedmaßen.

Die Tendinitis der oberflächlichen Beugesehne und des Fesselträgers tritt häufig bei Galopprennpferden, Quarter-Horses und Reitpferden auf. Betroffen sind nahezu ausnahmslos die Sehnen der Vorderextremitäten. Die meisten Schäden der oberflächlichen Beugesehne treten in der mittleren Metakarpalregion auf. Bei Arbeitspferden tritt die Tendinitis ab und zu an der tiefen Beugesehne, meist an den Hinterextremitäten auf. Auch bei Trabrennpferden zeigt sich die Tendinitis mehr an den Hintergliedmaßen (SCHNEIDER 2006).

2.8. Therapiemöglichkeiten der Sehnendefekte

Ziele der Therapie für einen akuten Sehnenschaden sind: 1. Verhinderung weiterer Sehnenfaserzerreißen, 2. Wiederherstellung der Sehnenstabilität (erreicht durch das so genannte intrinsic healing), 3. Eingrenzung von Begleitreaktionen wie Bindegewebszubildungen und Verklebungen (verursacht durch das so genannte extrinsic healing). RAPP et al. (1992) unterscheiden bei der Behandlung der akuten Tendinitis vier Phasen, in denen die zuvor genannten Ziele in Abhängigkeit von Lokalisation und Ausmaß des Sehnenschadens durch unterschiedliche Maßnahmen erreicht werden: 1. Phase absoluter Immobilisation, 2. Phase passiver Bewegung, 3. Phase aktiver Bewegung, 4. Aufbautraining. Eine absolute Immobilisation ist nach Meinung der Autoren nur notwendig, wenn massive Sehnenschäden mit Verlust der Gliedmaßenstabilität aufgetreten sind. Hierzu zählen Rupturen der oberflächlichen Beugesehne und des Muskulus interosseus. In allen anderen Fällen wird die Therapie sofort mit der passiven Bewegung begonnen, begleitet von medikamentösen Maßnahmen wie lokale und parenterale Antiphlogistikagabe sowie Massage zur Verhinderung von Verklebungen und Bindegewebszubildungen.

STANEK et al. (2004) teilen die Reparationsvorgänge nach einer mehr oder weniger ausgedehnten Schädigung von Sehnengewebe in vier Stadien ein: 1. Schädigung: hier kam es zur Ruptur von Sehnenfasern, intra- und paratendinöser Blutung, intratendinäres Kompartmentsyndrom. Der therapeutische Ansatz besteht in Vasokonstriktion durch Kälte, Massage und Kanalisation des Sehneninneren. 2. Entzündung: hier kommt es zu zellulärer und vaskulärer Reaktion, Lysis betroffener und benachbarter Fibrillen und zur Entfernung von nekrotischem Gewebe. Hier kann eine Stimulation durch Wärme,

unterschiedliche physikalische Verfahren, Sehnensplitting und auch antiinflammatorische Wirkung von Natriumhyaluronat erfolgen. Im dritten Stadium der Reparation dominiert das Extrinsic tendon healing.

Es kommt zur Kollagen (Typ III)-synthese mit kleinem Durchmesser. Diese kann therapeutisch auch durch Natriumhyaluronat stimuliert werden. Im anschließenden Stadium des Remodellings kommt es zur Ausrichtung der zunächst ungeordneten Fasern und dem Umbau von Fasern des Typs III auf Typ I. Diese Phase sollte durch ein gezieltes Bewegungsprogramm unterstützt werden. Diese mäßige Belastung führt zu einer früheren Ausrichtung der neu gebildeten Kollagenfasern. Endprodukt einer Sehnenentzündung oder partiellen Sehnenruptur ist eine Narbenbildung, die nie mehr völlig die mechanischen Eigenschaften einer unversehrten Sehne erreichen wird. Besonders der Übergang von der verdickten Narbe zur Sehne bleibt eine Schwachstelle. Die Phase der unmittelbaren Reparation dauert etwa 8 bis 12 Wochen, nach 6 Monaten liegt reifes Narbengewebe vor. Die Sehnenfasern richten sich aus. Die Belastungsfähigkeit der Sehne nimmt dabei zu. Bis zum Zeitraum von 18 Monaten sind jedoch immer noch Umbauvorgänge nachzuweisen.

Die Therapie richtet sich nach Stadium, Ausmaß der Veränderungen, betroffener Struktur, Alter und Verwendung des Pferdes. Nach wie vor sind Sehnenerkrankungen prognostisch sehr vorsichtig zu beurteilen. Der Zeitfaktor spielt eine entscheidende Rolle. Entsprechend der klinischen Bedeutung sind die vorgeschlagenen therapeutischen Ansätze vielfältig und unterschiedlich. Es ist eine Gruppenunterteilung in konservativ-lokale Maßnahmen sowie in chirurgische Eingriffe bei akuten und chronischen Veränderungen möglich. Von hoher Bedeutung sind eine genügend lange Ruhephase und ein kontrollierter Aufbau des Tieres unter Ultraschallkontrolle. Obsolete Therapiemaßnahmen sind die Feuertherapie, Vesikantien und die übertriebene Anwendung von hyperämisierenden Mitteln, oft als „bliestern“ bezeichnet. Die Autotransplantation von Sehnen hat ebenso wie die Implantation von Kohlefaser- oder Kunststoff-„Sehnen“ weitgehend an Bedeutung verloren. Bei der akuten Sehnenentzündung haben die ersten Maßnahmen folgende Schritte zu umfassen, um eine erneute Lädierung der jetzt vorgeschädigten Sehne zu verhindern. Die Entzündung ist auf ein Minimum zu reduzieren und um ein Übergreifen derselben auf den gesunden Sehnenanteil zu verhindern. Wichtig ist die Beurteilung durch eine eingehende klinische und sonographische Untersuchung, die Ruhigstellung der Extremität, unter Umständen auch in Neutralstellung; eine lokale Kälteapplikation bis 24 Stunden nach dem Trauma. Manche Autoren schlagen systemisch Dimehtylsulfoxid (DMSO) vor. Auch HENNIGER (1994) rät in der akuten Entzündungsphase zur Reduktion von der Entzündung und des Ödems zur lokalen und systemischen Gabe von Entzündungshemmern sowie zur Kalt-Wasser-Therapie und Eiswasser, die die

Hämatombildung reduzieren und helfen, die Schwellung einzugrenzen. Nichtsteroidale Antiphlogistika (NSAID) sollten bis zum Abklingen der akuten Phase nicht zur Milderung der Lahmheit verabreicht werden. Kortikosteroide hingegen hemmen die Fibroblasten- und Glykosaminoglykansynthese, die sehr wichtig für den Reparatursprozess sind.

Hyaluronsäure kann als medikamentöse Therapie in der Reparatursphase eingesetzt werden. Sie hat einen positiven Effekt auf die Proliferation, Migration und Differenzierung der Zellen während der Reparatur. Über Heparin gibt es keine Studien, die einen positiven Effekt bei der Behandlung akuter Tendinitiden belegen. β -Aminopropionitrile (BAPN) direkt in den Sehnen Schaden injiziert scheint, im Vergleich zu anderen Therapiemethoden, zu einer schnelleren Verbesserung des sonographischen Bildes zu führen (GENOVESE 1992).

In der Phase der Reparatur stehen die physikalische Therapie und die Rehabilitation im Vordergrund: Bewegungsprogramm an der Hand oder in der Führmaschine, ab dem 3. Monat Schrittarbeit unter dem Sattel, regelmäßige Ultraschallkontrolle und individualisierte Aufbauarbeit.

Niederenergetische Lasertherapie, auch Soft- oder Kaltlasertherapie genannt, penetriert Gewebe und stimuliert den Zellstoffwechsel und die Ausschüttung von pharmakologisch aktiven Substanzen unterschiedlicher Zellen, die indirekt die Entzündung und die Reparatursphase und damit den Heilungsprozess fördern. RUPP (1990) untersuchte die Wirkung der Gallium-Asernid-Laserstrahlung (904 nm, 440 Herz) auf experimentelle Sehnenverletzungen. Die klinischen und pathologischen Untersuchungen an den Sehnen von drei Schlachtpferden ergaben jedoch keinerlei Wirkungen der untersuchten Strahlung auf experimentell traumatisiertes Sehnen Gewebe beim Pferd.

Über die Anwendung von therapeutischem Ultraschall gibt es nur wenige Studien. Studien mit niederfrequenten Ultraschallwellen an Kaninchensehnen scheinen eine beschleunigte Heilung zu belegen, andere Studien hingegen haben keine Besserung der Sehnenheilung gezeigt. Eine Studie an Pferden nach chirurgischem Sehnen Splitting zeigte eine verbesserte Heilung unter der Ultraschalltherapie im Vergleich zu nicht mit Ultraschall behandelten Sehnen (MORCOS und ASWAD 1978). Die tägliche Behandlung mit elektromagnetischen Strahlen (pulsierende Magnetfeldtherapie) erhöht die Anzahl der Gefäße nach chirurgisch gesetzten Defekten der oberflächlichen Beugesehne aber die Ausreifung des Reparatursgewebes und die Kollagentransformation waren verzögert (WATKINS et al. 1985). Auch NORRIE (1975) konnte keinen therapeutischen Nutzen auf die Abheilung von Sehnen Schäden aufzeigen.

Die erstmalige Beschreibung der Injektion von Natriumhyaluronat in Sehngewebe erfolgte erst 1985 (CHURCHILL 1985). DROMMER et al. (1990) untersuchten die Wirkung von Hylartil® auf gesunde Sehnen und die Wirkung von Hylartil® bei Pferden mit chronischer Tendinitis. Sechs Tage nach Applikation von Hylartil® in gesunde Sehnen zeigte sich im Vergleich zu den mit Kochsalzlösung behandelten gesunden Sehnen eine deutliche Reaktion an den Tendozyten, wobei es zu einer Vermehrung des rauhen endoplasmatischen Retikulums kommt und das Zytoplasma gegenüber normalen Tendozyten vergrößert erscheint. Morphometrische Untersuchungen von HAACK (1992) zeigten eine deutliche Linksverschiebung im Durchmesser der Kollagenfibrillen. Sechs Tage nach Hylartil®-Applikation zeigten die Kollagenfibrillen der oberflächlichen Beugesehne in großer Menge Kollagenfibrillen mit einem Durchmesser von 30 bis 60 nm. Der Durchmesser der mit Kochsalzlösung behandelten Kontrollsehnen schwankte demgegenüber zwischen 80 bis 200 nm. Die morphologischen Untersuchungen von DROMMER et al. (1990) über die Wirkung von Hylartil® bei chronischer Tendinitis des Pferdes scheinen auf eine verstärkte Aktivierung der Tendozyten, der Makrophagen und des Gefäßapparates hinzudeuten. Daneben wurden auch vermehrte Kollagenfibrillen mit kleinem Durchmesser beobachtet, was auf eine gesteigerte Kollagensynthese hinzuweisen scheint. Diese Befunde stellen möglicherweise das morphologische Korrelat zu der bereits klinisch beobachteten Heilungsbeschleunigung bei chronischer Tendinitis nach Natriumhyaluronat-Applikation dar.

SENDLHOFER und GIRTNER (1993) führten eine Behandlung mit Natriumhyaluronat (Hylartil®) bei 12 Pferden mit akuter und/oder chronischer Tendinitis der oberflächlichen Beugesehne durch. Bei 40,7 % der Patienten konnte eine über den Sehnenquerschnitt verteilt aufgelockerte Struktur festgestellt werden, bei 33,4 % wurde vor allem ein zentraler Defekt aufgefunden. Es wurden 73,4 % der Erkrankungen der oberflächlichen Beugesehne erfolgreich behandelt. Die Injektion von Hylartil® in den M. interosseus wurde bei 15 Tendinitiden (akut und/oder chronisch) durchgeführt. Es war bei 11 der 15 behandelten Tendinitiden ein 90 bis 100 %iges positives Therapieergebnis zu verzeichnen.

SPURLOCK et al. (1989) untersuchten 53 Pferde mit Sehnen Schaden in einer randomisierten Studie. Es wurden entweder 2 ml hochmolekulare Hyaluronsäure (Hylartil®) (behandelte Gruppe) oder 2 ml Natriumchlorid (Placebogruppe) als einmalige Injektion zentral in die Läsion der oberflächlichen Beugesehne injiziert. Bei der sonographischen Enduntersuchung nach 6 Monaten konnte gezeigt werden, dass bei 60 % der mit Hylartil® behandelten Pferde der Sehnen Schaden abgeheilt war, in der Placebogruppe waren es nur 24 % der

Pferde. Die Autoren schlossen daraus, dass die Behandlung mit hochmolekularer Hyaluronsäure im Ultraschallbild signifikant bessere Ergebnisse erzielt.

KELLER und JÖRDENS (1986) stellen die Behandlungsmöglichkeiten Brennen (Strich- und Punktfeuer), Blistern (roter Blister, Capsolin[®]-Salbe), innerliche Bliesterung mittels subkutaner Jodtherapie bzw. verdünnter Lugolscher Lösung, lokale Injektion von Kristallsuspensionen und deren Resultate in der Literatur dar. Erwähnt werden zudem die Behandlungsmöglichkeiten leichter Peritendinitiden und Tendinitiden mittels lokaler Injektion von Orgotein (Palosein[®], Peroxinorm[®]) und von physiologischer Kochsalzlösung mit Hyaluronidase direkt ins geschädigte Sehngewebe. Auch die chirurgischen Behandlungen wie Sehnsplitting und Implantation von Kohlenstofffasern werden verglichen. Die Autoren sind der Meinung, dass der Behandlungserfolg abhängig von der richtigen Einschätzung der Schwere der Erkrankung und von der Auswahl der entsprechenden Therapieform ist. Sie möchten die alten konservativen - aus tierschutzrechtlichen Gründen nicht mehr durchgeführten - Behandlungen nicht missen. Sie schlussfolgern, dass die chirurgisch-operativen Behandlungsverfahren der Tendinitis des Pferdes wegen der schlechteren Erfolgszahlen in Frage gestellt werden sollten und zitieren die Humanmediziner, die bei Tendinitiden nur in Ausnahmefällen eine operative Therapie direkt an der Sehne durchführen und dann nur Einkerbungen an den Insertionsstellen vornehmen oder nur das vernarbte Gleitgewebe entfernen bzw. nekrotische Sehnenteile ausschälen. Die Implantation von Kohlenstofffasern erfolgt zumeist nur als Behandlerersatz am Knie- und Sprunggelenk. Sonst überwiegt die Ruhestellung mit lokaler antiphlogistischer Therapie und physikalischen Anwendungen.

Die Applikation von hochmolekularer Hyaluronsäure scheint nach einer Reihe von Untersuchungen bei Tendinitiden eine positive Wirkung auf den Sehnenstoffwechsel (intrinsic healing) und damit auf die Dauer der Defektheilung sowie auf peritendinöse Verklebungen und Verwachsungen (extrinsic healing) zu haben (RYDELL 1970, HERTSCH et al. 1989, NIXON und GAUGHAN 1990). Auch GAUGHAN und NIXON (1990) stellen eine Besserung der normalen Sehnenstruktur und der peritendinösen Strukturen nach Behandlung mit Natriumhyaluronat (Gruppe A) im Vergleich zu Behandlungen mit Methylcellulosegel (Gruppe B) fest. Pferde der Gruppe A hatten größere Volumina intrathekaler Flüssigkeit und weniger Verklebungen als Pferde der Gruppe B. Es konnte kein Unterschied in der Stärke der Sehnenverklebungen ausgemacht werden, jedoch konnten histologisch vermehrt normale Sehnenstruktur und eine bessere Heilung der Sehnen bei Pferden der Gruppe A

gegenüber denen der Gruppe B und den Kontrollgliedmaßen dargestellt werden. FOLAND et. al (1992) hingegen konnten nach Behandlung von kollagenaseinduzierten Tendinitiden mit Hyaluronsäure bei acht Pferden keinen signifikanten Unterschied zu mit physiologischer Kochsalzlösung behandelten Sehnenläsionen feststellen. Peritendinös verabreichtes Natriumhyaluronat zeigte keinen statistisch signifikanten Vorteil in diesem Versuch, auch wenn es einen Trend zu vermehrter Festigkeit und verminderter Lahmheit bei den behandelten Gliedmaßen gab.

HERTSCH et. al. (1989) untersuchten und behandelten 81 Tendopathien bei 71 Pferden unterschiedlicher Krankheitsstadien und Lokalisation (Oberflächliche Beugesehne, tiefe Beugesehne, Unterstützungsband der tiefen Beugesehne und Fesselträger). Es wurden 32 (39,5 %) akute und 49 (60,5 %) chronische Tendopathien untersucht und behandelt. Es handelte sich um 26 (32,1 %) geringgradige, 49 (60,5 %) mittelgradige und 6 (7,4 %) hochgradige Schäden. Bei 11 Pferden wurde eine sonographische Untersuchung vor und nach der Behandlung vorgenommen. Bei einem Teil der Pferde erfolgte eine röntgenologische Untersuchung der Sehnen, um Kalzifikationen und erhöhte Strahlenundurchlässigkeit im chronischen Stadium darzustellen. Die Behandlung erfolgte an der aufgehobenen Gliedmaße nach vorherigem Scheren und Desinfizieren. Die Pferde wurden mit Hylartil[□] vet., appliziert in den geschädigten Sehnenabschnitt, behandelt. Es wurden Kanülen mit 0,8 mm Außendurchmesser verwendet. Die Kanülen wurden zentral in den geschädigten Bezirk eingestochen, die Injektion langsam durchgeführt, um eine gleichmäßige Verteilung des Hyaluronats ohne Quaddelbildung in der Sehne zu erreichen. Es wurde in den meisten Fällen 1 Dosis (= 2 ml) injiziert, bei Schäden mit einem Ausmaß von über 10 cm wurden 2 Depots zu je 1 ml oder bei hochgradigen Veränderungen 2 Depots zu 2 ml angewandt. Der Behandlungserfolg gliedert sich in 63 (77,8 %) geheilte Fälle, zehn (12,4 %) Fälle zeigten eine Besserung. Je 4 Fälle (4,9 %) waren ohne Besserung bzw. zeigten ein Rezidiv. Die durchschnittliche Anzahl der Behandlungen betrug 1,5 pro erkrankte Sehne, es wurden bis zu 5 Behandlungen durchgeführt. Von der ersten Behandlung bis zur vollständigen Belastung vergingen im Durchschnitt 4 Monate. Die Autoren beschreiben eine Injektion in das Sehngewebe ohne größeren Widerstand und vermuten die Verteilung des injizierten Mittels in der Sehne vermutlich in Längsrichtung der Fasern über eine größere Strecke.

GIFT et. al (1992) untersuchten die Wirkung von Natriumhyaluronat bei kollagenase-induzierten Tendinitiden. Sie kommen zu dem Schluss, dass im Vergleich der mit Hyaluronsäure behandelten Gliedmaße zu nicht behandelten Kontrollgliedmaßen kein signifikanter Unterschied im Grad der Lahmheit oder im Umfang der Gliedmaße festzustellen ist. Allein die sonographische

Untersuchung zeigte eine deutlich schnellere Verkleinerung der Schadensquerschnittsfläche in der Sehne nach der Injektion von Hyaluronsäure im Vergleich zur Kontrollgruppe. Histologisch konnten in allen Sehnen eine fibrovaskuläre Infiltration festgestellt werden. Histologisch konnte kein signifikanter Unterschied in der Kollagenstruktur oder Entzündungserscheinungen ausgemacht werden. Intratendinös verabreichtes Natriumhyaluronat scheint jedoch die akute Entzündung der kollagenaseinduzierten Tendinitis zu minimieren.

PRÜGNER et. al. (1997) diskutieren unterschiedliche Behandlungsmethoden von Sehnenerkrankungen bei Pferden. Sie behandelten 18 Patienten mit einem löslichen Kollagenpräparat (Zyderm Kollagen Implant, Fa. Collagen). Es enthält als Fertigspritze 1 ml Suspension mit 35 mg Kollagen aus Rinderhaut und 3 mg Lidocain als Lokalanästhetikum. Das Kollagen besteht aus den Typen I und III im Verhältnis 9 zu 1. Das Präparat wurde mit einem Dosisvolumen von 1 ml in den palpatorisch bzw. sonographisch ermittelten Ort der Sehnenschädigung intratendinös injiziert. Nach einem Beobachtungszeitraum von 3 bis 11 Monaten zeigte die einmalige intratendinöse Injektion von Kollagen folgendes Ergebnis: 13 Patienten waren geheilt, 4 gebessert, 1 Patient hatte ein Rezidiv, bei keinem Patienten war kein Erfolg zu verzeichnen. Eine Heilung des Sehnendefektes wurde durchschnittlich nach etwa 4,7 Monaten festgestellt. Mittels der Sonographie wurde erkennbar, dass geringgradige Faserdefekte schon nach 4 Wochen mit locker strukturiertem Reparaturgewebe gefüllt sind. Umfangreichere Schäden benötigten dieser Studie nach etwa 9 Wochen. Sie waren erst nach etwa 5 Monaten komplett mit straffem Bindegewebe durchbaut. Hinsichtlich der Verträglichkeit von bovinem Kollagen ergab sich bei den 18 untersuchten Fällen kein Hinweis auf unerwünschte Nebenwirkungen. Die Autoren rechtfertigen die Kollagenbehandlung durch die Ergebnisse der klinischen und sonographischen Untersuchung und nehmen eine Stimulation der Reparationsprozesse durch die Behandlung mit Kollagen an. Histologische bzw. morphometrische Untersuchungen zur Dokumentation des Heilungsverlaufs des geschädigten Sehnengewebes fehlten, weiterhin lässt sich kein direkter Vergleich zu unbehandelten bzw. konventionell behandelten Sehnen ziehen.

Beta-Aminopropionitril (BAPN) wird in der Humanmedizin vorwiegend in der Ophthalmologie zur Verhinderung von Narbenkonstriktoren, Fibrosierung und Adhäsionsbildung eingesetzt. Die Substanz ist allerdings in Deutschland nicht als Arzneimittel erhältlich, ihre Anwendung bei Sehnenschäden beruht auf theoretischen Überlegungen, denn BAPN blockiert das Enzym Lysyloxidase, das für die Quervernetzung der Kollagenfibrillen verantwortlich ist. Dadurch erhofft man sich eine bessere Längsausrichtung der Fibrillen und letztendlich eine bessere Belastbarkeit des Reparaturgewebes (PRÜGNER et al. 1997). Erste

Untersuchungen beim Pferd zeigten sonographisch gute Ergebnisse (GENOVESE 1992), die auch durch Arbeiten von REEF et al. (1996) bestätigt werden. Ein Vergleich der Belastbarkeit gegenüber nichtbehandelten bzw. mit Placebo behandelten Sehnen steht jedoch noch aus.

Nach Verabreichung von löslichem Kollagen ins Bindegewebe ist mit einer Zunahme der Kollagenfibrillen zu rechnen. Histologisch bzw. elektronenmikroskopische Untersuchungen an der Haut belegen eine deutliche Stimulation der endogenen Kollagenproduktion. Nach intradermaler Injektion von bovinem Kollagen kommt es sowohl in der Haut des Menschen als auch des Schweines zu einem Um- bzw. Abbau des Implantats und schließlich zum Ersatz durch endogenes Kollagen (BURKE et al. 1985, STEGEMANN et al. 1987). Die intratendinöse Injektion scheint bei Pferden eine ähnliche Reaktion im Sehngewebe zu bewirken. Dadurch wird vermutlich der natürliche Reparatursprozess im Verlauf einer Tendinitis unterstützt, so dass eine schnellere und dauerhaftere Heilung erwartet werden kann. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass mit einer einmaligen Injektion von 1 ml löslichem Kollagen, offenbar unabhängig vom Ausmaß und Chronizität des Sehnschadens, ein guter Heilungserfolg erzielbar ist (PRÜGNER et al. 1997).

GAUGHAN et al. (1995) konnten nach intratendinöser Kollagenase-Injektion sonographisch Läsionen in Form von hypoechogenen Arealen darstellen. Diese geringe Echogenität war in den ersten drei Wochen am geringsten. Die sonographische Sehnenstruktur der Kollagenase induzierten Läsionen waren ähnlich der Sehnenstruktur der mit Hyaluronsäure und der Kontrollgruppe. Bei mehrmaliger intratendinöser Injektion in wöchentlichen Abständen hebt sich der Unterschied von Hyaluronsäure zu physiologischer Kochsalzlösung komplett auf. Weder die sonographischen Befunde noch die histologischen bzw. morphometrischen und biomechanischen Untersuchungsergebnisse lassen für Natriumhyaluronat einen positiven Effekt erkennen. Auch nach sechs Wochen konnte an keiner Gliedmaße sonographisch eine normale Sehnenstruktur nachgewiesen werden. Die Hyaluronsäure erscheint daher eher für die Vermeidung von Adhäsionen im Bereich der Sehnscheide geeignet als für die Stimulierung der Reparatursvorgänge im Sehngewebe.

DYSON (2004) hat in einer vergleichenden Studie an 219 Pferden (1992 bis 2000) das Management von Tendopathien an der oberflächlichen Beugesehne beschrieben. Eine Gruppe von 50 Pferden erhielt nur kontrollierte Bewegung, die zweite Gruppe (50 Pferde) wurde intraläsional mit Hyaluronsäure behandelt. Eine weitere Gruppe von 20 Pferden wurde intraläsional und systemisch mit polysulfatiertem Glycosaminoglykan (PAGAG)

therapiert. 30 Pferde erhielten PAGAG systemisch. Alle Pferde erhielten dasselbe Bewegungsprogramm wie die erste Gruppe. In einer zweiten Studie erhielten 69 Pferde mit Tendopathien BAPN (β -aminoprionitrile Fumarat) in die Läsion hinein und verfolgten ein modifiziert kontrolliertes Bewegungsprogramm. Es folgten klinische und ultrasonographische Kontrollen über 2 Jahre nach Wiederaufnahme der vollen Belastung und über 6 Jahre. Es wurden keine signifikanten Unterschiede im Wiederauftreten von Tendopathien an den behandelten Gliedmaßen zwischen allen oben beschriebenen Gruppen festgestellt. Die Wiederholungsrate von Verletzungen (16 %) bei Pferden, die mit BAPN behandelten Pferden war signifikant geringer als die in anderen Gruppen ($P > 0,001$). In der zweiten Studie wurde die Ausrichtung der Kollagenfasern 4 Monate nach der Behandlung war ein gutes Maß für das Ergebnis. Das Wiederauftreten von Sehnenverletzungen in den unterschiedlichen Nutzungsrichtungen war in beiden Studien gleich: Das Risiko ist bei Pferden im Showspringen geringer als bei Sportpferden, noch höheres Risiko tragen Jagdpferde gefolgt von Rennpferden.

ROLLÉ (2003) untersuchte den Einfluss von extrakorporaler Stoßwellentherapie (ESWT) bei der Behandlung von chronischen Insertionsdesmopathien sowie von chronischen Sehenschäden der distalen Extremität des Pferden. Die Stoßwellentherapie wurde drei Mal im wöchentlichen Abstand mit einem piezoelektrischen Gerät durchgeführt. Pro Sitzung wurden 2000 Impulse bei 4 Hertz verabreicht. Der Heilungserfolg wurde im Rahmen zweier Kontrolluntersuchungen beurteilt. Mit einem Heilungserfolg von 82 % (n = 11 Extremitäten) bei der Insertionsdesmopathie des Fesselträgerursprunges verlief die ESWT durchaus erfolgreich. Auch bei Insertionsdesmopathien des Fesselträgeransatzes, bei chronischer Tendinitis mit Verkalkungsherden im mittleren Bereich des Fesselträgers sowie bei chronischer Tendinitis der oberflächlichen Beugesehne wirkte sich die ESWT positiv aus. Für die Autorin stellt die ESWT eine viel versprechende Behandlungsmöglichkeit in der Pferdemedizin dar.

Der Einsatz der Stammzell-Therapie bei der Erkrankung der oberflächlichen Beugesehne des Pferdes ist ein neues Therapieverfahren. Hierbei wird Knochenmark durch Punktion des Brustbeines in Sedation oder Allgemeinanästhesie gewonnen. Aus dem Knochenmark müssen die Stammzellen isoliert und in der Zellkultur vermehrt werden, bevor die mesenchymalen Stammzellen zur Implantation eingesetzt werden können. Als Indikationsstellen werden frische Core-Lesions der OBS genannt. Andere Stellen sind nicht sicher möglich und bisher nicht beschrieben. Bei zu starker Fibrosierung älterer Läsionen werden schlechtere Ergebnisse erzielt.

Eine weitere Therapiemöglichkeit ist die IRAP-Therapie. Es handelt sich hierbei um ein Interleukin Rezeptor antagonistisches Protein. Die IRAP-Therapie bietet die Möglichkeit, Lahmheiten beim Pferd wirksam mit körpereigenen, d.h. mit minimalem Nebenwirkungsrisiko und ohne Dopingeigenschaften, zu behandeln.

Die IRAP-Therapie beruht auf der Herstellung von regenerativ wirkenden Proteinen aus dem eigenen Blut des Pferdes. Das IRAP aus dem Blut blockiert das Interleukin1, Entzündungszellen werden so an der weiteren Gewebeerstörung gehindert. Hierzu wird Blut des Patienten in einer patentierten Spezialspritze 24 Stunden bei 37°C gelagert. Die Blutzellen produzieren entzündungshemmende und regenerative Eiweißmoleküle. Daraus wird dann ein „konditioniertes körpereigenes Serum“ (ACS) gewonnen, das später in das betroffene Gelenk oder in die entzündete Sehne gespritzt werden kann. Die zeitnahe Wirkung der IRAP-Therapie ist schmerzstillend, entzündungshemmend und abschwellend. Um die volle Wirkung zu erreichen sind nach jetzigem Stand insgesamt drei Injektionen in den betroffenen Bereich sinnvoll. Diese biologische Therapie ist geeignet mittel- bis langfristig eine Regeneration oder zumindest eine Verlangsamung des Abbauprozesses des Gewebes anzuregen.

In der Humanmedizin ist diese Methode seit 1998 als Orthokin-Therapie in Gebrauch. Erfolgreiche Studien und zufriedene Patienten beweisen inzwischen die Wirksamkeit für die Wirbelsäule und das Kniegelenk. Der Einsatz bei Sehnen- und Muskelverletzungen ist ebenfalls verbreitet.

2.9 Verteilungsverhalten von Flüssigkeiten nach intratendinöser Injektion

HAACK (1992) hatte röntgenologische Untersuchungen nach intratendinöser Injektion von 2 ml Röntgenkontrastmittel (Conray® 70, Fa. Byk Gulden) durchgeführt. Diese zeigten, dass die applizierte Flüssigkeit nicht nur an der Injektionsstelle verbleibt. Vielmehr kommt es neben der Bildung eines lokalen Depots im Bereich der Injektionsstelle zu einer Verteilung im Verlauf der Sehnenfasern nach proximal und distal. Die Länge der Ausdehnung des injizierten Kontrastmittels variierte zwischen 12 und 18 cm. Die Untersuchung der Sehnen nach intratendinöser Injektion von 2 ml Methylenblau-Lösung zeigte ein gleiches Verhalten der Flüssigkeit wie bei der Untersuchung mit dem Röntgenkontrastmittel. Neben einem lokalen Depot des Farbstoffs im Bereich der Injektionsstelle zeigte die Präparation der Sehnen eine intratendinöse Ausbreitung nach proximal und distal über eine Strecke von 13 bis 18 cm.

SCHMIDT (1989) diskutiert die langsame Injektion der Hyaluronsäure (Hylartil®), um eine Verteilung des viskösen Präparates in der Sehne zu gewährleisten. Bei zu schneller Injektion, soweit aufgrund der Viskosität möglich, kann der Druck, den das Medikament auf seine Umgebung ausübt, eine leichte Abwehrreaktion des Pferdes auslösen. Er merkt an, dass es keinen Zweck hat, die Dosis von 2 ml auf mehrere Depots, die weniger als etwa 10 cm voneinander entfernt sind, zu verteilen, da beim Injizieren in das zweite Depot das Medikament in den meisten Fällen wieder aus der ersten Injektionsstellen herausgedrückt wird. Diese Beobachtung unterstützt die Ansicht, dass sich die visköse Flüssigkeit entlang der Sehnenfasern in der Sehne verteilt. Nur bei ausgedehnten Sehnenschäden über weit mehr als 10 cm ist seiner Meinung nach eine Unterteilung der Dosis auf 2 Depots angezeigt.

3. Natriumhyaluronat

Natriumhyaluronat (NaH) ist das Natriumsalz der Hyaluronsäure und chemisch ein Glykosaminoglykan. Es besteht aus sich wiederholenden Disaccharid-Einheiten, die ihrerseits aus Natriumglucuronat und N-Acetylglucosamin bestehen, die zu langen, unverzweigten Ketten zusammengeschlossen sind. Es kommt sowohl im Organismus aller Tiere als auch in dem des Menschen chemisch identisch vor. Als wichtiger Bestandteil der Interzellulärsubstanz trägt es zur Elastizität des Bindegewebes im gesamten Körper bei. Man unterscheidet unterschiedliche Molekulargewichte, die durch die Kettenlänge bedingt sind: hochmolekulares, langkettiges Hyaluronat hat ein Molekulargewicht von über 2 Millionen Dalton, mittelmolekulares Natriumhyaluronat hat etwa 1 bis 2 Millionen Dalton, niedermolekulares Natriumhyaluronat hat ein Molekulargewicht von unter 1 Millionen Dalton.

Natriumhyaluronat wird als Rohstoff aus Hahnenkämmen oder Nabelgewebe gewonnen. Da der chemische Aufbau bei allen Tierarten gleich ist, kann eine proteinfreie und immunologisch inaktive Zubereitung nach Angaben der Hersteller ohne Gefahr einer Überempfindlichkeitsreaktion oder toxischer Wirkung injiziert werden (HAACK 1992).

Die Fibroblasten besitzen für das Hyaluronat spezifische Oberflächenrezeptoren, die das Makromolekül binden (PREHM 1984). Nach der Ansicht von UNDERHILL und TOOLE (1979) werden diese Rezeptoren auch durch exogen zugeführtes Hyaluronat aktiviert. Bei in-vitro-Versuchen an Synovialfibroblasten stellten SMITH und GOSH (1987) eine Abhängigkeit der Syntheserate von zelleigenem Hyaluronat je nach Konzentration und Molekulargewicht des extrazellulär vorhandenen Hyaluronats fest. Exogen zugeführtes hochmolekulares Hyaluronat induzierte eine erhöhte Syntheserate von körpereigenem Hyaluronat. Mittelmolekulares Hyaluronat bewirkte eine niedrigere Syntheserate als hochmolekulares Hyaluronat, niedermolekulares Hyaluronat hatte nur einen gering stimulierenden Effekt.

Hyaluronat wird nach PREHM (1984) an der inneren Plasmamembran der Fibroblasten synthetisiert und von der Zelloberfläche als ein fortlaufender Faden ausgestoßen. Die biologische Halbwertszeit des Hyaluronats beträgt drei bis 10 Tage. Der Abbau erfolgt entweder durch die Hyaluronidasen oder durch freie Sauerstoffradikale. Die Abbauprodukte induzieren eine Gefäßneubildung (WEST et al. 1985).

Hochmolekulares Natriumhyaluronat wird unter anderem in der intraartikulären Gelenktherapie und zur Behandlung von Sehnenerkrankungen eingesetzt. Nach RYDELL und BALAZS (1971) wird durch die Erhöhung der Hyaluronatkonzentration im traumatisierten Gewebe der Regenerationsprozess reguliert, Adhäsionen und Granulationsgewebe vermindert.

Klinische Studien über die Wirkung einer peri- bzw. intratendinösen Injektion von hochmolekularem Natriumhyaluronat in erkrankte Sehnen ergaben eine erheblich verkürzte Heilungsdauer (CHURCHILL 1985, BLOBEL 1988, HERTSCH et al. 1989, SCHMIDT 1989).

SPURLOCK et al. (1989) sahen nach peritendinöser Hyaluronatinjektion bei iatrogen induzierter Tendinitis bei Pferden im Ultraschallbild eine Erhöhung der Kollagenablagerung im Narbengewebe. NIXON und GAUGHAN (1990) sahen nach gleichem Versuchsaufbau eine deutlich geringere Anzahl und Intensität von Verklebungen zwischen Sehne und dem die Sehne umgebenden Gewebe.

In der geschädigten Sehne aktiviert das hochmolekulare Hyaluronat die Tendozyten (Fibrozyten) zu vermehrter Kollagensynthese und damit zur Bildung neuer Kollagenfibrillen (DAMSCH et al. 1992). Gleichzeitig wird die Heilung durch vermehrte Gefäßproliferation (Vaskularisierung) und Makrophagenaktivität einerseits (DAMSCH et al. 1992), sowie durch Hemmung von Leukozyten-Invasion und Adhäsionen andererseits (GAUGHAN et al. 1995) gefördert.

HAACK (1992) untersuchte die tiefen Beugesehnen sehnengesunder Pferde nach Hylartil®-Injektion. Es wurden 2 ml hochmolekulares Natriumhyaluronat (Hylartil®) intratendinös injiziert. Die elektronenmikroskopischen Untersuchungen der entnommenen Proben lassen erkennen, dass durch die Applikation von Natriumhyaluronat in die gesunde tiefe Beugesehne eine deutliche Stimulation der Kollagenfibrillensynthese induziert wird. Die Anzahl der dünnen Kollagenfibrillen nach der Behandlung nimmt im Vergleich zur unbehandelten Sehne signifikant zu. Der geringere mittlere Durchmesser der Kollagenfibrillen ist nicht nur direkt an der Injektionsstelle sondern auch noch 2 cm über der Injektionsstelle feststellbar.

Das in dieser Studie verwendete Natriumhyaluronat Hylartil® Vet der Firma Pharmacia GmbH, Erlangen, vertrieben durch Boehringer Ingelheim Vetmedica GmbH, Ingelheim hat ein Molekulargewicht von über 3.000.000 Dalton. Die Viskosität einer Natrium-Hyaluronatlösung korreliert mit dem Molekulargewicht. Die Viskosität von Hylartil® Vet beträgt im Moment, wo es

Natriumhyaluronat

die Kanüle passiert 0,15 Pas. Sobald der Fluss stoppt und die Flüssigkeit ruht beträgt die Viskosität 300 Pas. Zum Vergleich: Die Viskosität von reinem Wasser beträgt 0,001 Pas und die der Hyaluronsäure ca. 300 Pas. Somit ist die Hyartillösung in Ruhe über 300.000fach visköser als Wasser.

In einer klinischen Doppelblind-Studie konnte nachgewiesen werden, dass der Erfolg der Behandlung mit intraartikulär verabreichtem Natriumhyaluronat, d. h. die Zeitdauer, in der die Patienten kein Lahmheitsrezidiv zeigten, direkt vom Molekulargewicht abhängig ist (PHILLIPS 1989). Die Therapieerfolge steigen proportional zur Viskosität in Abhängigkeit zur Höhe des Molekulargewichtes und somit mit der zunehmenden Länge der Glucosaminoglycanketten des angewandten Präparates.

4. Eigene Untersuchungen

4.1. Material und Methode

4.1.1. Intratendinöse Injektion von Röntgenkontrastmittel und Methylenblau

An 40 Gliedmaßen von frisch geschlachteten Pferden wurden in der Mitte des Röhrebeins von lateral je 2 ml eines Gemisches aus Röntgenkontrastmittel (Ultravist®-370, Fa. Schering) und Methylenblau mit einer grünen Kanüle (0,8 mm x 55 mm) in das Zentrum der oberflächlichen und tiefen Beugesehne injiziert. Daran anschließend wurde die Gliedmaße röntgenologisch untersucht. Die Röntgenaufnahmen wurden in lateromedialen Strahlengang (90°) mit einem Super 100CP Röntgenerators der Firma Phillips angefertigt. Die Aufnahmen wurden mit einer Röhrenspannung von 52 kV und einer Strahlenmenge von 14 bis 20 mAs gemacht. Als Filmmaterial dienten Retina x-Ray grüne seltene Erden Film-Folien von 3M, das Format der Filme betrug 28 x 32 cm, die Entwicklung aller Röntgenaufnahmen erfolgte maschinell durch einen XP515 Entwickler der Firma 3M, Medizinische Produkte (Neuss, Deutschland). Anschließend wurden die Gliedmaßen präpariert. Es wurde zunächst die Haut abpräpariert, danach längs geschnitten, um die Ausdehnung der Methylenblaulösung in den Sehnenpaketen darzustellen und vermessen zu können.

Zu den Gliedmaßen der Pferde gab es, da es sich um Material von Schlachtpferden handelte, keinerlei Angaben zu Rasse, Alter oder Geschlecht der Tiere.

4.1.2. Sonographische Untersuchung von mit Hylartil® behandelten Pferden

Als Untersuchungsmaterial standen 23 Pferde mit Tendopathien zur Verfügung. Es handelte sich hierbei um 17 Warmblutpferde und 6 Traber. Das Alter der Pferde betrug 5 bis 19 Jahre. Die Verteilung nach Rasse, Alter und Geschlecht sowie der betroffenen Sehne ist in den unten stehenden Tabellen zusammengefasst.

Bei allen untersuchten Pferden wurde klinisch und sonographisch ein Sehnendefekt festgestellt wurde. Die Pferde wurden wegen Lahmheit in der Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie der Freien Universität Berlin vorgestellt. Die Diagnose Tendopathie wurde durch eine klinische Untersuchung der Gliedmaße (Adspektion, Palpation, Vorführen im Schritt und Trab auf hartem Boden, Beugeproben der Zehengelenke), diagnostische Anästhesien und Sonographie gestellt. Für die Ultraschalluntersuchungen wurden ein HS 2000cine der Firma Physia bzw. ein Honda Electronics HS3000 jeweils mit einem 7,5 MHz-Schallkopf verwendet. Nach Scheren und Entfettung der betroffenen Gliedmaße mit Alkohol wurde eine sonographische Untersuchung mit genauer Lokalisation des Defektes in der Sehne durchgeführt. Im Anschluss daran wurde die Injektionsstelle gründlich gesäubert und desinfiziert. Die Injektion der Hyaluronsäure erfolgte an der aufgehobenen Gliedmaße mit einer 0,8 x 50 mm Kanüle. Um die Injektion von Luft zu vermeiden wurde vor Injektion sämtliche Luft aus der Hyaluron-Fertigspritze entfernt. Zur Injektion wurden die Pferde mit einer Oberlippenstrickbremse fixiert. Direkt im Anschluss an die Injektion wurde die Gliedmasse erneut geschallt und die sich nun darstellende Ausdehnung der Hyaluronsäure vermessen.

Tabelle 1: Verteilung der mit Hyaluronsäure behandelten Pferde auf die verschiedenen Pferderassen

Rasse:	Anzahl der Pferde (%)	
Traber	6	(26)
Warmblut	17	(74)

Tabelle 2: Alter der mit Hyaluronsäure behandelten Pferde

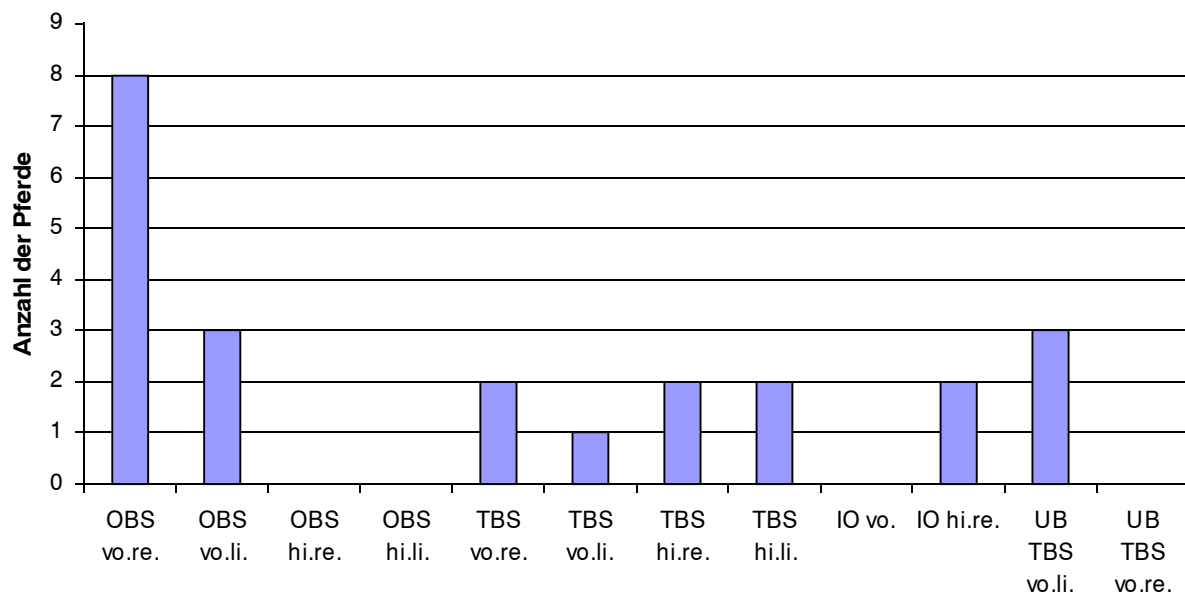
Alter	Anzahl der Pferde (%)	
5 Jahre	4	(13)
6 Jahre	1	(4)
7 Jahre	2	(9)
8 Jahre	4	(17)
10 Jahre	5	(22)
12 Jahre	3	(13)
18 Jahre	2	(9)
19 Jahre	1	(4)
ohne Angabe	3	(13)

Tabelle 3: Verteilung der mit Hyaluronsäure behandelten Pferde auf das Geschlecht

Geschlecht:	Anzahl der Pferde (%)	
Stute	10	(43)
Wallach	12	(53)
Hengst	1	(4)

Eigene Untersuchungen

Zur exakten Lokalisation und Ausdehnung der Tendopathie wurden Ultraschallbilder der distalen Gliedmasse in zwei Ebenen, transversal und longitudinal, angefertigt. In 7 Fällen wurde ein Defekt in der tiefen Beugesehne festgestellt. Bei 11 der 23 Pferde konnte ein Sehndefekt in der oberflächlichen Beugesehne dargestellt werden. Zwei Pferde kamen mit einem Defekt des Muskulus interosseus medius zur Untersuchung und Behandlung, bei drei Pferden wurde eine Tendopathie des Unterstützungsbandes der tiefen Beugesehne an einer Vordergliedmaße festgestellt. Die Häufigkeit der betroffenen Sehnen ist in Abbildung 5 graphisch dargestellt.



Betroffene Sehne

OBS = oberflächliche Beugesehne, TBS = tiefe Beugesehne

UB TBS = Unterstützungsband der tiefen Beugesehne

IO= Muskulus interosseus medius

Abbildung 5: Anzahl der betroffenen Sehnen

Die Ultraschalluntersuchungen wurden mit einem 7,5 MHz-Schallkopf gemacht. Die Bilder über einen Sony Thermal Print Media Drucker ausgedruckt.

Es wurden jeweils 2 ml hochmolekulares Natriumhyaluronat (Hylartil®) der Firma Boehringer Ingelheim Vetmedica GmbH, Ingelheim verwendet.

Zur sonographischen Untersuchung wurden die Gliedmassen geschoren und mit Kodan-Tinktur® (Fa. Schülke & Mayr, Norderstedt) entfettet. Die Ankopplung erfolgte mit ServoSon® Ultraschal-Gel (Fa. Servoprax GmbH, Wesel). Zur besseren Darstellung der oberflächlichen Strukturen wurde eine Vorlaufstrecke verwendet. Die Ultraschallaufnahmen wurden an der belasteten Gliedmasse vorgenommen. Es wurden transversale und longitudinale palmarodorsale Scans angefertigt. Nach Darstellung der Lokalisation des Sehendefektes wurde die Haut über dem Defekt desinfiziert (Kodan-Tinktur®, Fa. Schülke & Mayr, Norderstedt). An der aufgehobenen Gliedmaße wurde mit einer grünen Kanüle (0,8 mm Kanüldurchmesser, 50 mm Länge) 2 ml Hyaluronsäure von palmar/plantar in den Defekt der oberflächlichen Beugesehne, von lateral zentral in den Defekt der tiefen Beugesehne oder des Muskulus interosseus medius platziert. Direkt nach Injektion der Hyaluronsäure wurde die Gliedmaße erneut sonographisch untersucht. Über den Drucker wurden die Bilder – je eine horizontale und eine sagittale Abbildung – ausgedruckt, um die sich darstellende Hyaluronsäure ausmessen zu können.

Die Ausdehnung der sich auf den Bildern darstellenden Hyaluronsäure wurde vermessen.

5. Ergebnisse

5.1. Röntgenologische Untersuchung und Präparation

Die röntgenologische Untersuchung nach intradendinöser Injektion des Gemisches aus Kontrastmittel mit Methylenblau zeigt ein Depot der injizierten Flüssigkeit am Injektionsort. Daneben kommt es zu einer Verteilung der Flüssigkeit im Verlauf der Sehnenfasern proximal und distal (Abbildung 6).

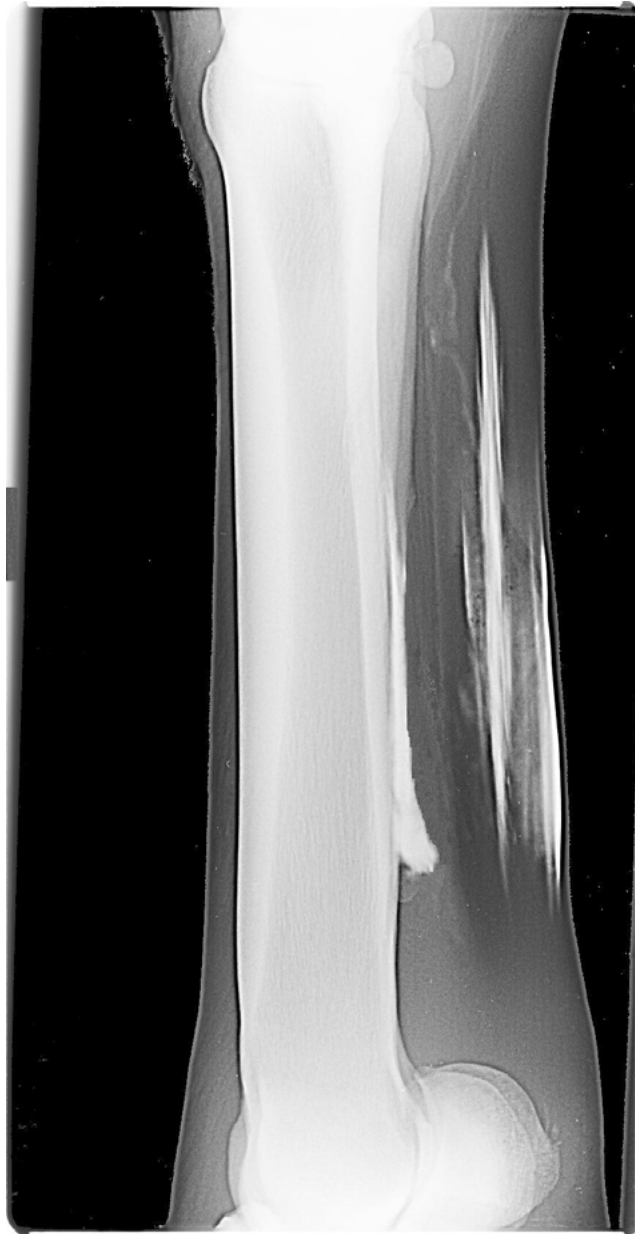


Abbildung 6: Verteilung des Röntgenkontrastmittels in der OBS sowie TBS der Vordergliedmasse.

Die Länge der Ausdehnung der injizierten Flüssigkeit ist in Abbildung 7 dargestellt. Sie variiert über eine Länge von 2,5 bis 13,8 cm in der OBS, in der TBS von 4,2 cm bis 16,3 cm.

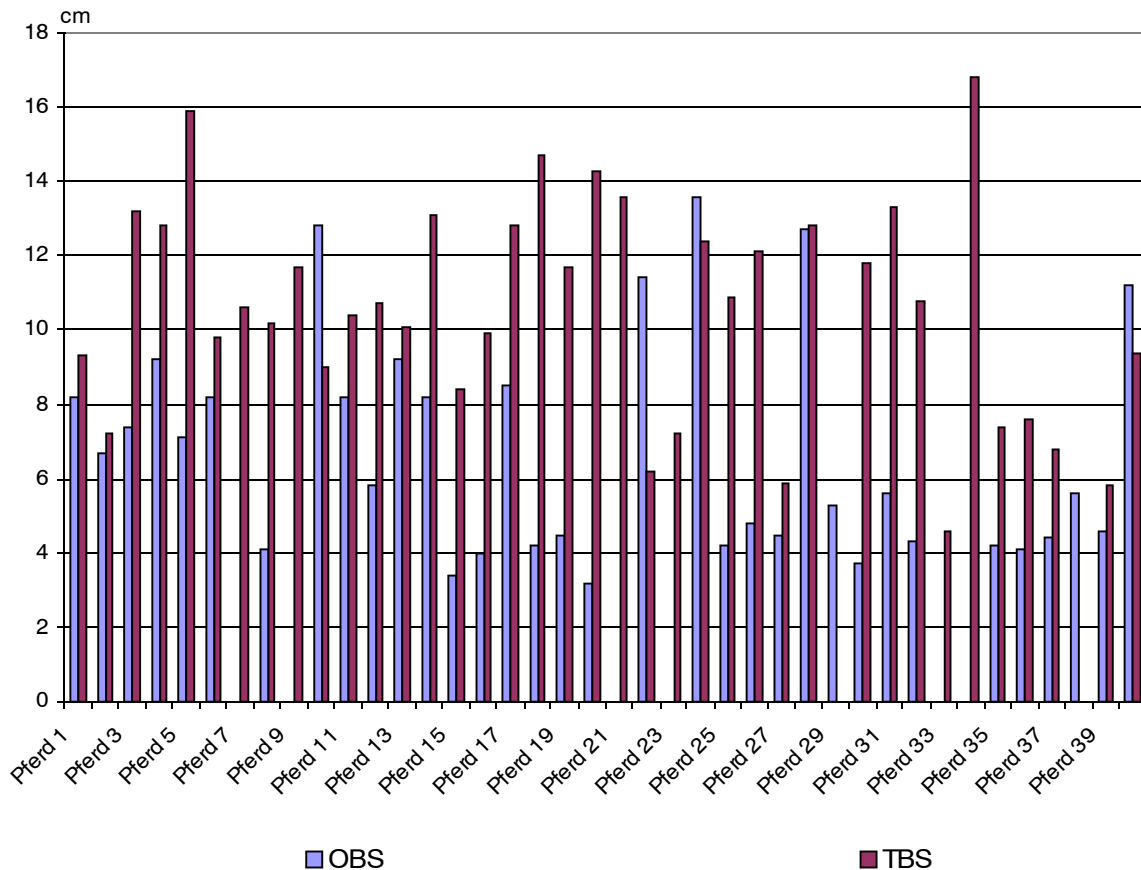


Abbildung 7:

Ausdehnung des Röntgenkontrastmittelgemisches in der oberberflächlichen (OBS) und tiefen Beugesehne (TBS).

Dieses Verhalten konnte auch bei der Präparation dieser Gliedmaßen dargestellt werden. An der Injektionsstelle fand sich ein lokales Depot, daneben war in den Längsschnitten der präparierten Sehnen eine intratendinöse Ausbreitung nach proximal und distal darstellbar.



Abbildung 8:
Präparat einer Vordergliedmaße nach Injektion des Methylenblau-
Röntgenkontrastmittelgemisches in die OBS, Ansicht von palmar.

In Abbildung 8 wird die Depotbildung an der Injektionsstelle und die Ausdehnung des Methylenblau-Röntgenkontrastmittelgemisches nach proximal und distal dargestellt.

Die Ausdehnung des Methylenblau-Röntgenkontrastmittelgemisches in der oberflächlichen Beugesehne variierte von 4,0 cm bis 13,1 cm in der OBS und von 4,6 cm bis 16,9 cm in der TBS. Die Werte sind in Abbildung 9 graphisch dargestellt.

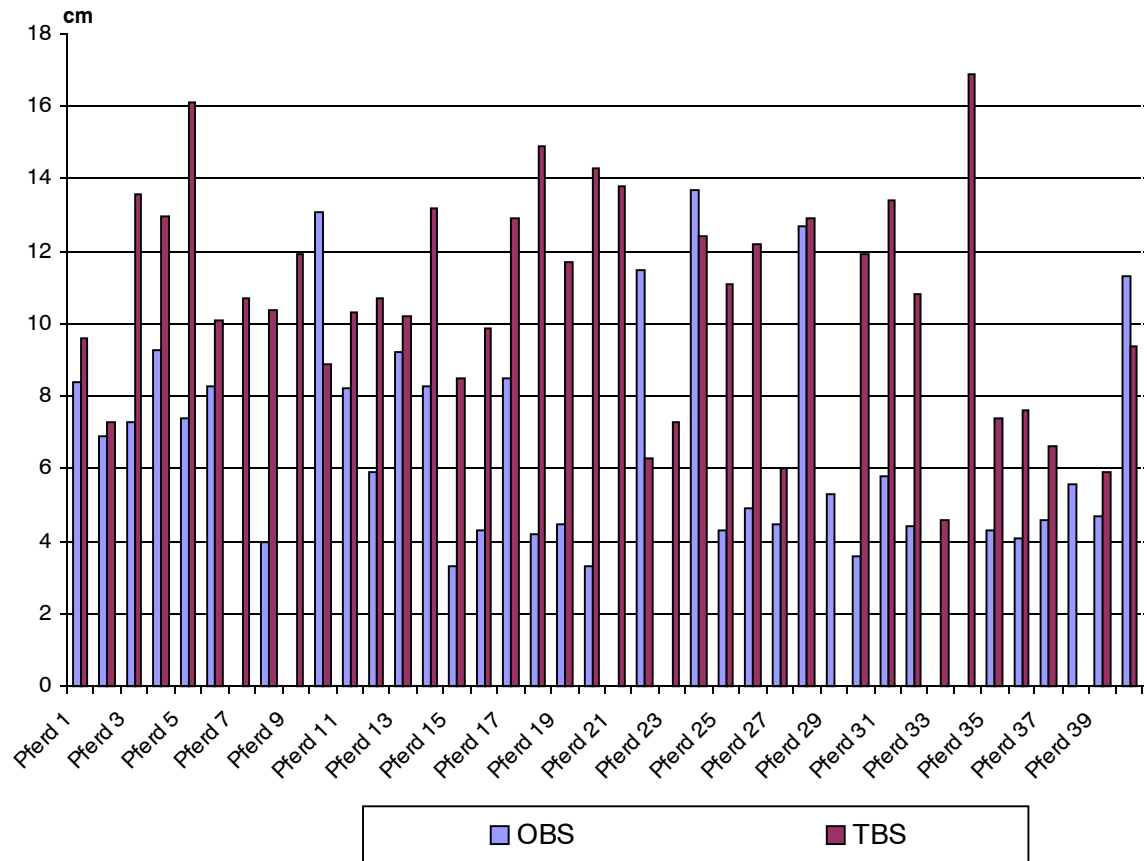


Abbildung 9:

Ausdehnung des Methylenblau-Röntgenkontrastmittelgemisches in der oberflächlichen (OBS) und tiefen Beugesehne (TBS) bei der Präparation.

Es stellte sich heraus, dass es keine wesentlichen Differenzen zwischen der Darstellung im Röntgenbild und der Präparation gab. Dies wird auch in den beiden folgenden Abbildungen deutlich. Abbildung 10 zeigt die Ausdehnung des Methylenblau-Röntgenkontrastmittelgemisches in oberflächlichen Beugesehne (OBS). In der Darstellung werden Röntgenbild und Präparation gegenübergestellt. Abbildung 11 stellt die Verteilung der oben genannten Flüssigkeit in der tiefen Beugesehne (TBS) im selben Vergleich graphisch dar.

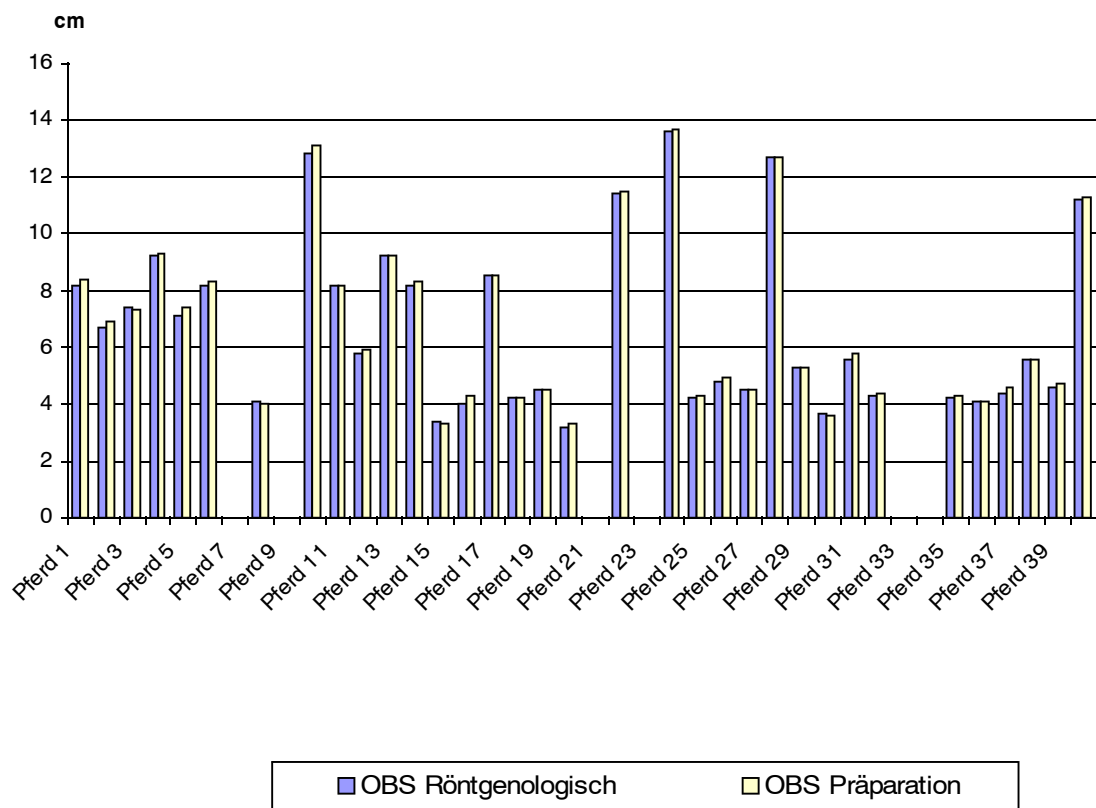


Abbildung 10:

Ausdehnung des Methylenblau-Röntgenkontrastmittelgemisches in der oberflächlichen Beugesehne (OBS), röntgenologisch und in der Präparation gemessen.

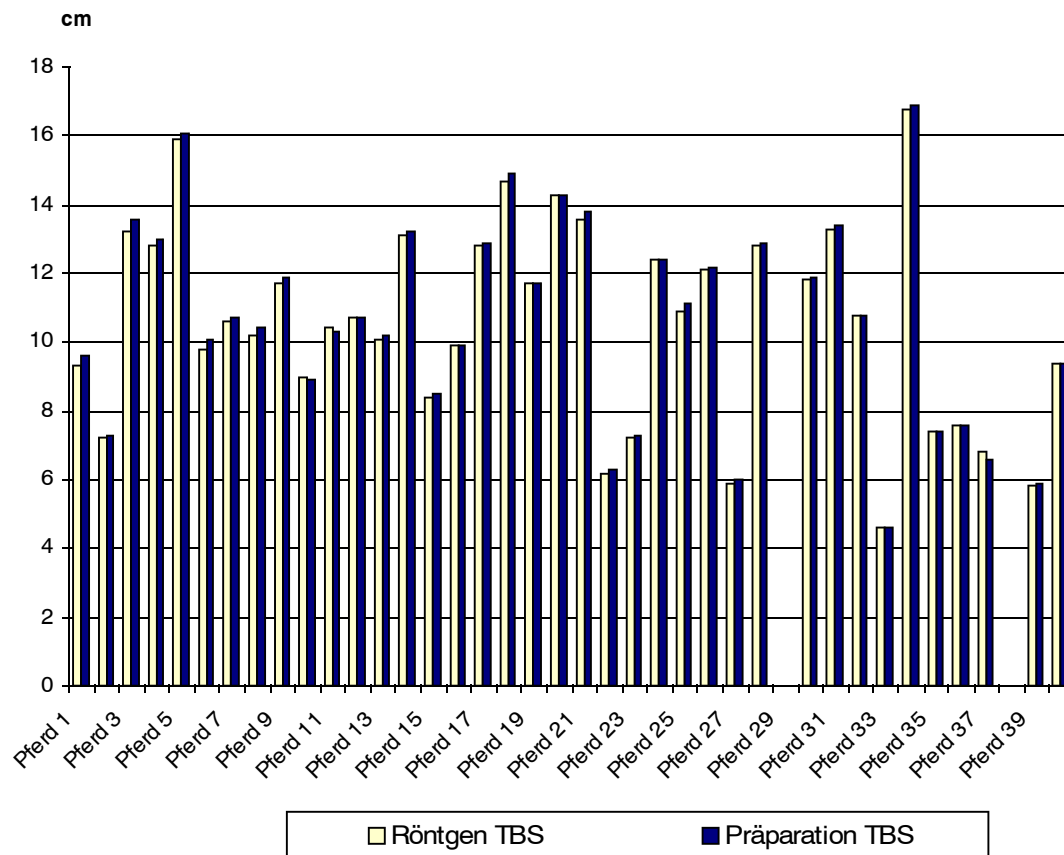


Abbildung 11:

Ausdehnung des Methyleneblau-Röntgenkontrastmittelgemisches in der tiefen Beugesehne (TBS) röntgenologisch und in der Präparation gemessen.

5.2. Sonographische Darstellung der Hyaluronsäure

Von den 23 untersuchten Pferden kamen 6 Pferde je 2 Mal zur Untersuchung. Von den 23 Tieren hatten 11 Pferde einen Defekt in der oberflächlichen Beugesehne der Vordergliedmaße. Die oberflächliche Beugesehne der Hintergliedmaßen waren in dieser Studie nicht betroffen. Die Defekte in der oberflächlichen Beugesehne von 11 Pferden verteilen sich auf 8 rechte und 3 linke Vordergliedmaßen. Die tiefe Beugesehne war bei 7 Pferden betroffen. Drei Pferde hatten einen Defekt in der tiefen Beugesehne der Vordergliedmaße, bei 4 Pferden wurde ein Defekt der tiefen Beugesehne der Hintergliedmaße

Ergebnisse

festgestellt. Im Muskelus interosseus medius konnte bei einem Pferd ein Defekt festgestellt werden, dieses Pferd kam zur Nachuntersuchung und wurde daher zweimal untersucht und behandelt. Ein Defekt im Unterstützungsband der tiefen Beugesehne konnte bei 3 Pferden dargestellt werden.

Die Abbildung 12 zeigt die Verteilung der Hyaluronsäure in der oberflächlichen Beugesehne (OBS) im Ultraschallbild, links als transversaler-, rechts als longitudinaler palmarodorsaler Scan dargestellt.

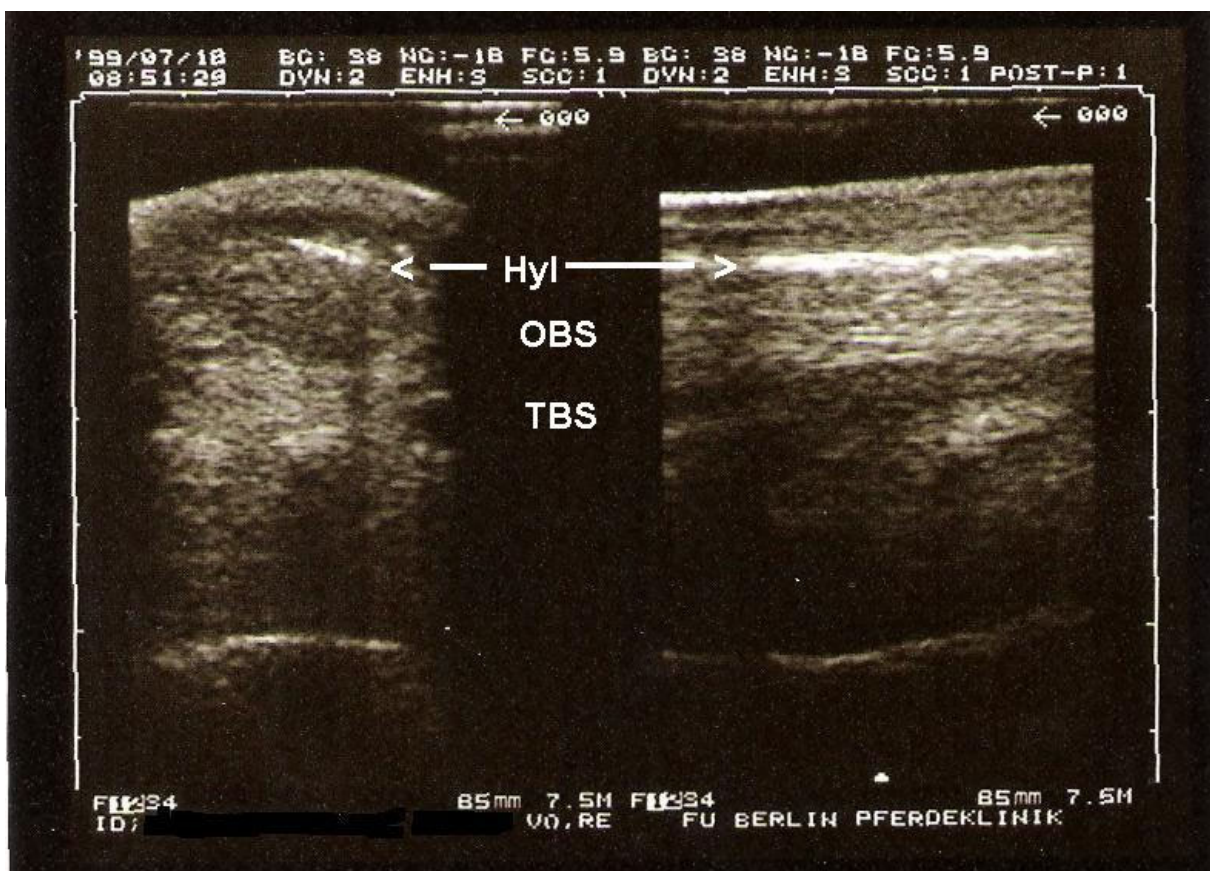


Abbildung 12:

Sonographische Darstellung der Hyaluronsäure (Hyl) in der oberflächlichen Beugesehne (OBS) einer rechten Vordergliedmaße.

Die Abbildung 13 zeigt die sonographische Darstellung der Verteilung der Hyaluronsäure in der tiefen Beugesehne einer Vordergliedmaße.

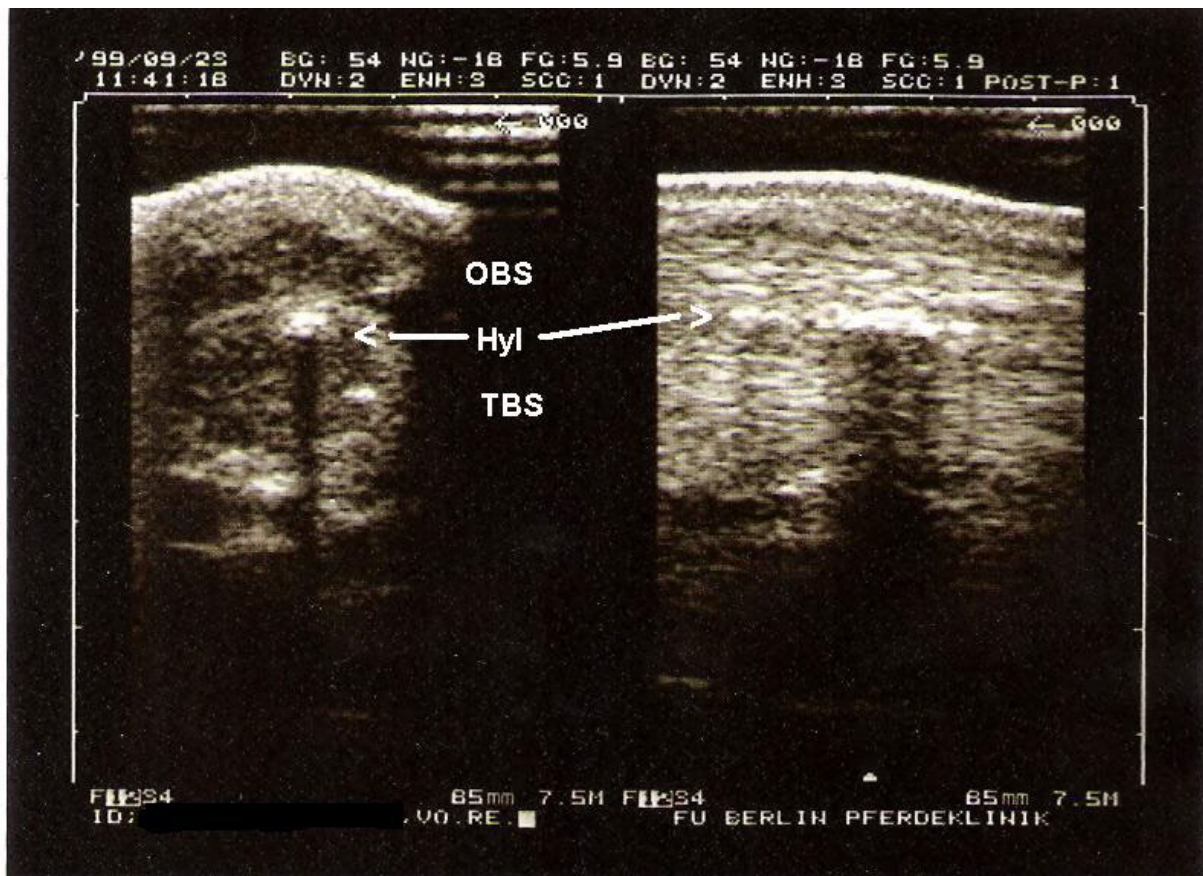


Abbildung 13:

Sonographische Darstellung der Hyaluronsäure (Hyl) in der tiefen Beugesehne (TBS) einer rechten Vordergliedmaße (links: Transversalaufnahme, rechts: Längsschnitt)

Die sonographisch gemessene Verteilung der Hyaluronsäure in den Sehnen ist in Abbildung 14 dargestellt. In der Längsausdehnung reicht die Ausdehnung von 1,08 cm bis 3,63 cm. Im Mittel verteilt sich die Hyaluronsäure auf 1,987 cm. In der Transversalaufnahme betrug die maximal gemessene Ausdehnung der Hyaluronsäure 1,26 cm.

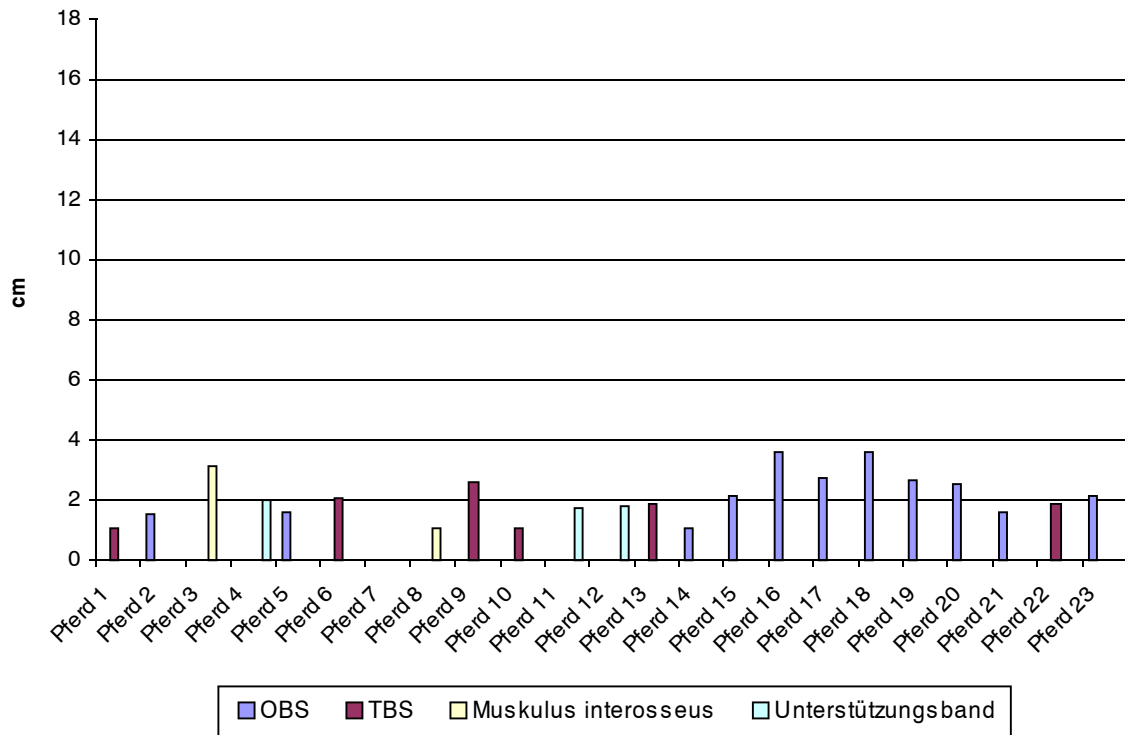


Abbildung 14:
Verteilung der Hyaluronsäure im Ultraschalllängsbild.

6. Diskussion

Ziel dieser Arbeit ist es, die Verteilung von Flüssigkeiten, insbesondere von Hyaluronsäure, in den Beugesehnen der Pferde darzustellen. Es soll dargestellt werden, dass eine Injektion von 2 ml Hyaluronsäure in einen vorher dargestellten Defekt genügt und sich die Hyaluronsäure in der Sehne ausreichend verteilt. Hierzu wurden Ultraschallaufnahmen von Patienten der Klinik für Pferde der Freien Universität Berlin mit der Diagnose Tendopathie vor und nach der Hyaluronsäurebehandlung angefertigt und ausgewertet. Zusätzlich wurden Versuche an Gliedmaßen von Schlachttieren mit einem Röntgenkontrastmittel-Methylenblau-Gemisch gemacht.

Die Ergebnisse, vor allem die der Röntgenkontrastaufnahmen und der Präparate, zeigen eine gute Verteilung der Flüssigkeiten in den Sehnen. Röntgenologisch konnte eine Verteilung des Kontrastmittels in den Sehnen über 8 bis 16,6 cm festgestellt werden. In den röntgenologischen Versuchen mit Röntgenkontrastmittel konnte deutlich gesehen werden, dass sich ein Depot an der Injektionsstelle bildet und sich die Flüssigkeit nach proximal und distal in der Sehne verteilt. Die Flüssigkeiten konnten dann über eine Strecke von bis zu 16,8 cm dargestellt werden. Diese Ergebnisse der röntgenologischen Untersuchungen stimmen im wesentlichen mit den Untersuchungsergebnissen von HAACK (1992) überein. Auch die Ergebnisse der Präparation zeigen ein Depot an der Injektionsstelle und die Verteilung der Flüssigkeit in den Sehnen.

Sonographisch wurde eine Verteilung der Hyaluronsäure über maximal 3,63 cm festgestellt. Die Ausdehnung der Hyaluronsäure in den Ultraschallbildern ist somit sehr viel geringer als die des Röntgenkontrastmittelgemisches auf den Röntgenbildern und in der Präparation. In der Literatur gibt es hierüber keine weiteren Aussagen. Alle Studien beziehen sich auf die Regeneration der Sehnen nach Hyaluronsäureapplikationen. Untersuchungen über die Verteilung der Hyaluronsäure in den Sehnen liegen nicht vor. Trotz der Diskrepanz zu den Ergebnissen der röntgenologischen Untersuchungen und der Präparation zeigen diese Zahlen, dass sich Flüssigkeiten über eine weite Strecke in den Sehnen verteilen und somit ein Sehndefekt gut ausgefüllt wird.

Es stellt sich nunmehr die Frage, wodurch diese Diskrepanz zustande kommt.

Da nicht alle Ultraschalluntersuchungen von derselben Person durchgeführt wurden, ist die Wiederholbarkeit eine der möglichen Fehlerquellen dieser Studie.

PICKERSGILL et al. (2001) stellen in einer Studie die Wiederholbarkeit der Bewertung von diagnostischem Ultraschall der oberflächlichen Beugesehne dar. Dabei wurde die Vermessung der Querschnittsfläche der oberflächlichen Beugesehne an der Vordergliedmaße von 16 Pferden unter drei verschiedenen Bedingungen verglichen:

1. zwei unterschiedliche Personen erstellen die Ultraschallbilder
2. Die Ultraschallbilder werden von zwei unterschiedlichen Personen vermessen
3. Zur Vermessung der Ultraschallbilder werden zwei verschiedene Geräte verwendet.

Die Autoren kommen jedoch zu dem Schluss, dass es keinen signifikanten Unterschied der Ergebnisse gibt, wenn unterschiedliche Personen die Bilder erstellten ($P > 0,05$). Es bestand auch kein signifikanter Unterschied wenn unterschiedliches Equipment zur Vermessung verwendet wurde ($P > 0,05$). Jedoch wurde ein signifikanter Unterschied ($P < 0,05$) beschrieben wenn verschiedene Personen die angefertigten Ultraschallbilder beurteilten: Ein Bediener erhielt konsequent größere Messungen. Sie kommen daher zu dem Schluss, dass verschiedene Bediener bei unterschiedlichen Stadien einer Untersuchung schon zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen können. Zur Reduzierung dieser Abweichungen sollten die Ultraschallbilder daher von nur einer Person erstellt werden, auch wenn unterschiedliche Personen später die Auswertung der Bilder vornehmen.

Diese Fehlerquelle kann in der eigenen Studie nicht ganz ausgeschlossen werden. Zum einen wurden zwei verschiedene Ultraschallgeräte (Honda Electronics HS3000 und HS 2000scine der Firma Physia) verwendet, zum anderen wurden nicht alle Ultraschallbilder von mir selbst angefertigt.

Jedoch muss auf die große Diskrepanz zwischen den Ergebnissen der Sonographie und der Röntgenkontrastbilder hingewiesen werden, die nicht dieser Fehlerquelle zugeordnet werden kann, da es sich um unterschiedliche Untersuchungstechniken handelt.

Ungeeignete Untersuchungstechnik bei der Sonographie führt zu einer schlechten Bildqualität. Ursache hierfür kann eine ungenügende Vorbereitung des Patienten (Haut), eine falsche Geräteeinstellung, ungenügende Abbildung des Nahfeldes, schräges Auftreffen des Schallstrahls auf eine Grenzfläche oder auch ein ungünstiger Bildausschnitt sein. Zur richtigen Geräteeinstellung gehört die Wahl der Ultraschalleistung (signal intensity), des Tiefenausgleichs (TGC-Verstärkung) und des geeigneten Vergrößerungsmaßstabs. Unter der Leistung

versteht man die Intensität des Schallstrahls, gemessen in Dezibel (dB), die auf den zu untersuchenden Bereich gerichtet ist. Ist die Ultraschalleistung zu gering, bleibt durch weitere Absorption im Gewebe der Restschall zu ungenügend, um ausreichend Echo zu erzeugen. Ein solches Bild ist ähnlich schlecht wie das nach schlechter Hautvorbereitung und dadurch verursachter Schallblockierung. Ist die Ultraschalleistung zu hoch, entstehen Artefakte durch Wiederholungsechos, die mögliche Läsionen verdecken. Daher sollte die geringste Ultraschalleistung gewählt werden, die noch brauchbare Bilder erzeugt. Der Sinn des Tiefenausgleichs ist es, die Intensität der Echos aus dem Nah- und dem Fernfeld zu regeln. Echos von einer Grenzfläche werden „weicher“, je weiter die Grenzfläche vom Schallkopf entfernt ist. Der Tiefenausgleich unterdrückt die Nahfeldechos und verstärkt Echos von tiefer liegenden Bereichen. Bei richtig gewähltem Tiefenausgleich erscheinen Gewebe mit ähnlicher Echodichte auf dem Sonogramm gleich, auch wenn sie nicht im selben Abstand vom Schallkopf liegen. Ist der Tiefenausgleich zu hoch eingestellt, werden die Nahfeldechos vollständig unterdrückt, ist die Einstellung zu gering, wird das Nahfeld durch zu starke Echos von oberflächlichen Bereichen verdeckt. Eine weitere wichtige Bildmanipulation betrifft die Einstellung des geeigneten Vergrößerungsmaßstabs. Durch Wiederholungsechos (reverberation), d. h. Signale, die mehrfach zwischen der Schallkopf-Haut-Grenzfläche und den stark echogebenden Grenzflächen der oberen Gewebestrukturen reflektiert werden, entstehen Artefakte, die ungefähr den ersten Zentimeter auf dem Sektor-Ultraschallbild diagnostisch unverwertbar machen (HAGER et al. 1987 zit. nach DIK u. VAN DEN BELT 1991).

Auch die Untersuchungstechnik kann nicht maßgebend für die erhebliche Diskrepanz zwischen den Untersuchungen sein, da die Ultraschallbilder sowie auch die Röntgenbilder von guter Qualität sind und eine gute Beurteilung und Auswertung ermöglichen. Vielmehr muss die Vergleichbarkeit der Untersuchungsarten (Ultraschall und Röntgen, Präparation) in Frage gestellt werden.

Weiterer Diskussionsbedarf besteht in der Vergleichbarkeit der Flüssigkeiten. Das Röntgenkontrastmittel hat eine geringere Viskosität als die Hyaluronsäure. Es erscheint denkbar, dass sich eine Flüssigkeit mit geringerer Viskosität besser in den Sehnenfasern verteilt als eine zähflüssigere Hyaluronsäure.

Das Röntgenkontrastmittel Ultravist® 370 hat bei 20°C eine Viskosität von 20,1 mPas, die Viskosität von Hylartil® Vet wird mit 0,15 Pas angegeben. Die Viskosität verringert sich bei höherer Temperatur. Es ist also ein Unterschied, ob eine Flüssigkeit in eine vitale oder eine tote Gliedmaße verabreicht wird.

Hyaluronsäure hat neben ihrer hohen Viskosität noch eine thixotrope Eigenschaft. Thixotropie bedeutet, dass sich die Viskosität einer Flüssigkeit in Abhängigkeit von ihrer Beanspruchung ändern. Die Viskosität der Hyaluronsäure beim Durchfluss durch eine Kanüle wird mit 0,15 Pas angegeben, sobald der Fluss stoppt und die Lösung ruht beträgt die Viskosität etwa 300 Pas.

Auch muss die Belastung der mit Hylarti® behandelten Gliedmassen als mögliche Ursache für die unterschiedliche Ausdehnung betrachtet werden. Die Pferde haben das Bein direkt nach der Behandlung wieder belastet. Diese Belastung konnte bei den Schlachttieren nicht durchgeführt werden. Durch die Belastung kann es zu einer anderen Verteilung der Flüssigkeit in den Sehnenfasern kommen.

KIRBERGER et al. (1996) bemerken, dass Gas die Ultraschalluntersuchung bei der Lahmheitsuntersuchung stören kann, da das Gas im Gewebe alle Schallwellen reflektiert und ein akustischer Schatten die Beurteilung tieferer Gewebeschichten verhindert oder gar einen Knochenchip vortäuschen kann. In der genannten Studie wurde bei 12 Pferden in der Region des Nervus digitalis palmaris lateralis 1 ml Luft mit Lokalanästhetikum injiziert, um das versehentliche Einbringen von Gas bei der Leitungsanästhesie zu simulieren. Das extraartikuläre Gas konnte röntgenologisch als lineare Aufhellung, welche die Tendenz hatte nach proximal zu wandern, dargestellt werden. Es gab keinen signifikanten Unterschied in der Gasresorption bei bewegten zu unbewegten Pferden. Das meiste Gas war bereits nach 48 Stunden, das gesamte Gas nach 96 Stunden resorbiert. Meistens stellte sich das extraartikulär injizierte Gas röntgenologisch als lineare Aufhellungen dar. Teilweise waren auch als ovale Aufhellungen sichtbar. Diese befanden sich an der Injektionsstelle oder nach einiger Zeit entwickelten sie sich aus den linearen Aufhellungen. Die maximale Ausdehnung der 3 größten palmaren röntgenologischen Aufhellungen nach extraartikulärer Luftinjektion betrug 94 ± 33 mm in der Kontrollgruppe 15 Minuten nach der Injektion. Bei der Gruppe der bewegten Pferde lag dieser Wert bei 75 ± 31 mm. Die linearen Aufhellungen waren in der Regel 1-3 mm breit, keimale breiter als 10 mm und haben die Tendenz sich nach dorsal zu verlagern, wie auf den Röntgenaufnahmen 45 Minuten nach der Injektion zu sehen ist.

ZEKAS und FORREST (2003) setzten je 3 ml 2%iges Mepivacainhydrochlorid mit einer 22 G dicken, 2,5 cm langen Kanüle medial und lateral an die Palmarnerven und an die Metakarpalnerven. Als Basisuntersuchung dienen Ultraschalluntersuchungen vor der Injektion. Dann wurden direkt nach Injektion

sowie 1 Stunde und 24 Stunden danach weitere Ultraschalluntersuchungen durchgeführt. Für die Ultraschalluntersuchungen kamen 7,5 und 10 MHz-Schallköpfe zur Anwendung. Auf eine Vorlaufstrecke wurde verzichtet. Die Autorinnen beschreiben hyperechogene Regionen mit vermindertem Ergebnis des Schallschatten und unterschiedlicher Dichte distal davon, und interpretieren dies als Gas. Diese Effekte wurden bis auf einen Fall bei allen Pferden vorgefunden. Die Regionen mit Gas wurden direkt nach der Injektion sowie eine Stunde nach der Injektion vorgefunden. Bei der Kontrolle 24 Stunden nach der Injektion war kein Gas mehr darstellbar. Die Injektion des Mepivacain scheint ihrer Ansicht nach keine signifikanten Effekte auf die sonographische Darstellbarkeit von Sehnen und Bändern selbst zu haben. In späteren Versuchen wurden möglichst viele Luftblasen aus der Spritze entfernt. Auch bei diesen Pferden wurden Areale mit Gas festgestellt, die anderer Ätiologie zu sein scheinen.

KIRBERGER et al. (1996) beschreiben, dass Luft, die während der Leitungsanästhesie eingebracht wird ebenfalls röntgenologisch sichtbar ist. Ein gewöhnlicher Ultraschallbefund nach einer Leitungsanästhesie ist Anwesenheit hyperechogener Schatten werfender Fokus, der Gas repräsentiert. Das lineare Auftreten der Gasblasen repräsentiert die Verteilung entlang der Gewebeebe, wie es in einer röntgenologischen Studie über die extraartikuläre Injektion von 3 ml Lokalanästhetikum mit 1 ml Luft an den lateralen Palmarnerven beschrieben wurde. In der Studie wurden auch ovoide Gas-Aufhellungen, die als separate Gas-Taschen interpretiert wurden, gefunden.

Auch bei den eigenen Untersuchungen wurde an das Einbringen von Luft in die Sehnen gedacht. Zum Ausschluss dieses Fehlers wurde vor der Injektion der Hyaluronsäure sämtliche sichtbare Luft aus dem Konus der Spritze gedrückt. Es muss somit eingeräumt werden, dass es nicht geklärt ist, ob auf den Ultraschallbildern nur die Hyaluronsäure sondern auch die darin gebundene Luft dargestellt und vermessen wurde. Diese kann zu der beschriebenen Diskrepanz zwischen den Messungen im Ultraschall- und denen im Röntgenbild sowie der Präparation angesehen werden.

Nichts desto trotz kann von ein ausreichende Verteilung der Hyaluronsäure in einem Sehndefekt der tiefen oder oberflächlichen Beugesehne ausgegangen werden, denn wenn die gemessenen Ausdehnungen im Ultraschallbild schon den Defekt ausfüllen, so muss auch die Hyaluronsäure bis dorthin vorgedrungen sein.

DYSON und ROMERO (1993) haben bei Röntgenkontrastmitteluntersuchungen festgestellt, dass injiziertes Material eine weite Ausdehnung außerhalb der

Diskussion

beabsichtigten Stelle haben kann. Die Ausdehnung bzw. Verteilung von Flüssigkeiten nach der Injektion in die Sehnen steht in unmittelbarer Abhängigkeit der Bewegung des Pferdes und die dadurch bedingte Belastung und Spannung der Sehnen.

7. Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, die Verteilung von Flüssigkeiten in den Beugesehnen darzustellen. Es sollte untersucht werden, ob die Gabe einer Portion (2 ml) Hyaluronsäure in einen Defekt der Beugesehnen bei Pferden ausreicht, um den gesamten Defekt auszufüllen.

Hierzu wurde zum einen Röntgenbilder und Präparate von Gliedmaßen von Schlachtpferden, in die zuvor ein Methylenblau-Röntgenkontrastmittelgemisch in die Beugesehnen injiziert wurde, angefertigt zum anderen wurden Pferde mit Tendopathien nach Injektion von Hyaluronsäure in den Defekt sonographisch untersucht.

Die Untersuchungen ergaben eine große Diskrepanz zwischen der Ausdehnung der Flüssigkeiten im Röntgenbild und in der Präparation zur Ausdehnung der Hyaluronsäure auf dem Ultraschallbild. Die Ausdehnung des Röntgenkontrastmittels in den Beugesehnen beträgt bis zu 16,8 cm, im Ultraschallbild konnte die Ausdehnung der Hyaluronsäure im Beugesehnenpaket von maximal 3,63 cm festgestellt werden.

Die Diskrepanz der Untersuchungsergebnisse wurde zum einen auf die unterschiedliche Viskosität der Flüssigkeiten sowie auf die Darstellbarkeit der Hyaluronsäure im Ultraschallbild zurückgeführt. Das flüssigere Röntgenkontrastmittel-Methylenblau-Gemisch verteilt sich im Sehngewebe anders als die visköse Hyaluronsäure. Es wird zudem vermutet, dass nicht nur die Hyaluronsäure selbst, sondern die darin enthaltene Luft im Ultraschallbild darstellbar ist.

Trotz der Ungenauigkeit in der Untersuchungsmethode kann festgehalten werden, dass sich die Flüssigkeiten in den Sehnen über eine größere Strecke verteilen und somit gewährleistet ist, dass die Behandlung eines Defektes im Beugesehnenpaket durch die Gabe von einer Portion Hyaluronsäure (2 ml) ausreichend ist und sich die Hyaluronsäure ausreichend in der Sehne bzw. im Sehndefekt verteilt.

8. Summary

Distribution of hyaluronic acid after injection into the superfluous and deep flexor tendons and the musculus interosseus medius of the horse
- a clinical and experimental study

Aim of this project was to monitor the dispersion of liquids inside flexor tendons of horses. It should be investigated, if an administration of a 2ml portion of hyaluronic acid is enough to fill a defect completely.

For this purpose X-ray photographs and specimens of extremities of horses were used. Before the tests started a radioopaque material (methylene blue) was injected into the flexor tendons of each extremity. Further on horses having symptoms of tendopathia were tested by use of ultrasonography. These test were done after the injection of hyaluronic acid into the defects.

As one result all tests showed a significant discrepancy in the dispersion of the acid, depending on the test method. While the radioopaque liquid in the flexor tendons was up to 16,8 cm, the hyaluronic acid on the ultrasonic images was expanded up to a maximum value of 3,63 cm.

On one hand the deviating test results were caused by the different viscosities of the liquids used in the test. On the other hand the visibility of hyaluronic acid is causing discrepancies as well. The methylene blue is more mobile than the hyaluronic acid, which has a higher viscosity. Further it can be assumed, that the hyaluronic acid itself as well as the the embedded air can be seen on ultrasonic images.

In spite of the impreciseness caused by the measurement methods, it can be noted that the liquids injected are distributed over bigger areas inside the tendons. Considering this it is assured that defects in flexor tendons can be treated by administration of a 2 ml portion of hyaluronic acid. The acid gets distributed in sufficient quantities inside the tendons as well as throughout existing defects.

9. Literaturverzeichnis

BECKER, W. u. H. KRAHL (1978)

Die Tendopathien: Grundlagen, Klinik, Therapie

Verlag Thieme, Stuttgart, S. 1-9

BLOBEL, K. (1988)

Ein Beitrag zur Sehnenbehandlung bei Reit- und Trabrennpferden

Prakt. Tierarzt; 2, 11-14

BURKE, K. E., G. NAUGHTON u. N. CASSAI (1985)

A histological, immunological and electron microscopic study of bovine collagen implants in the human

Ann. Plast. Surg. 14, 515-522

CHURCHILL, E. A., (1985)

Treating tendinitis with sodium hyaluronat

J. Eq. Vet. Sc. 5, 240-42

DAMSCH, S., W. DROMMER, W. SCHMIDT u. B. HERTSCH (1992)

Intradendinöse Injektion von hochmolekularem Natriumhyaluronat bei Pferden mit chronischer Tendinitis – Klinische, licht- und elektronenmikroskopische Befunde.

Pferdeheilkunde 8, 6, 333-43

DIK, K. J. (1998)

Vergleichende Ultraschall-Bilddiagnostik bei Lahmheiten des Pferdes

Deutsche Übersetzung und Bearbeitung GUNSSER, I.

Schlütersche GmbH & Co.KG, Verlag und Druckerei Hannover, 39-49

DIK, K. J., u. A. J. M. VAN DEN BELT (1991)

Ultraschall- Fehldiagnostik bei Sehnenenerkrankungen des Pferdes

Pferdeheilkunde 7 (1991) 2, 83-90

DROMMER, W., S. DAMSCH, B. HERTSCH, B. HAAK, W. SCHMIDT u. F-J. KAUP (1990)

Ultrastruktur der gesunden und erkrankten Sehne des Pferdes unter dem Einfluß einer Hylartil®-Therapie

11. Arbeitstagung Fachgruppe Pferdekrankheiten der DVG. Wiesbaden: März 1990: 263-72

DYSON, S. J. (2004)

Medical management of superficial digital flexor tendonitis: a comparative study in 219 horses (1992-2000).

Equine Vet J. 2004 Jul;36(5):415-9

DYSON, S. J. u. J. M. ROMERO (1993)

An investigation of injection techniques for local anaesthesia of the equine distal tarsus and proximal metatarsus.

Equine Vet. J. (1993); 25: 30-35

FACKELMANN, G. E. (1973)

The nature of tendon damage and its repair

Equine Vet. J. 5, 141-149

FOLAND, J. W., G. W. TROTTER, B. E. POWERS, R. H. WRIGLEY u. F. W. SMITH (1992)

Effect of Sodium hyaluronat in collagenase-induced superficial digital flexor tendonitis in horses

Am. J. Vet. Res. 53; 12, 2371-76

FORSSELL, G. (1931)

Sehnenleiden

Tierheilkunde und Tierzucht, 9, 274-294

GAUGHAN, E. M. u. A. J. NIXON (1990)

Effects of Sodium Hyaluronate on Tendon Adhesions

Scientific Meeting Abstracts - ACVS , 40

Veterinary-Surgery. 1990 19:1, 66

GAUGHAN, E. M., L. J. GIFT, R. M. DE BOWES, R. BASARABA und J. ROUSH (1995)

The influence of sequential intradendinous sodium hyaluronate on tendon healing in horses

V.C.O.T., 8, 40-45

GENOVESE, R. L. (1992)

Sonographic response to intralesional therapy with β -aminopropionitrile fumarate for clinical tendon injuries in horses

In: Proceeding of the 38th Annual Meeting of The Am. Assoc. of Equine Pract., Orlando, Fl., pp. 265-272

GENOVESE, R. L. (1992)

Sonographic response to intralesional therapy weicht β -aminopropionitrile fumarate for clinical tendon injuries in horses

In: Proceeding of the 38th Annual Meeting of The Am. Assoc. of Equine Pract., Orlando, Fl., pp. 265-272

GENOVESE, R. L., nach SANDE, R. D., R. L. TUCKER, G. R. JOHNSON (1998)

Diagostic ultrasound: Applications in the equine limb

In: RANTANEN, N. W., A. O. MCKINNON (Hrsg.): Equine Diagnostic Ultrasonography

Williams & Wilkins, Baltimore 103-117

GENOVESE, R. L., N. W. RANTANEN, M. L. HAUSER u. B. S. SIMPSON (1986)

Diagnostic ultrasonography of equine limbs

Vet. Clin. North Am. Equine Pract. 2, 145-226

GENOVESE, R. L., N. W. RANTANEN u. B. S. SIMPSON (1987)

The use of ultrasonography in the diagnosis and management of injuries to the equine limb

Compend Contin Educ Pract Vet; 9: 945-55

GIBSON, K. T., J. R. SNYDER u. S. J. SPIER (2002)

Ultrasonographic diagnosis of soft tissue injuries in horses competing at the Sydney 2000 Olympic Games

Equine vet. Educ. (2002) 14 (3) 149-156

GIFT, I. J., E. M. GAUGHAN, R. M. DeBOWES, J. P. DOUGLASS, R. K. FRANK u. R. D. KLEMM (1992)

Effects of intratendinous sodium hyaluronat on enzyme-induced tendinitis

Vet. Surg., 21, 389-390

HAACK, B. (1992)

Einfluß von hochmolekularem Natrium-Hyaluronat auf Kollagenfibrillendurchmesser der gesunden tiefen Beugesehne

Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss

- HAGER, D. A., J. DZIEZYC u. N. K. MILLCAMP (1997)
Two-dimensional teal-time ocular ultrasonography in the dog.
Vet. Radiol. 28, 60-65
Zit. nach K. J. DIK und A. J. M. Van Den BELT (1991): Ultraschall-
Fehldiagnostik bei Sehnenerkrankungen des Pferdes
Pferdeheilkunde 7 (1991), 2, 83-90
- HALL, J., L. R. BRAMLAGE, B. M. KANTROWITZ, L. PAGE u. B.
SIMPSON (1988)
Correlation between contact thermography and ultrasonography in the
evaluation of experimentally-induced superficial flexor tendinitis
Proc. of the 33rd Annual Convention of the AAEP, 33, 429-438
- HAN, C. M., C. D. HURD u. L. KURKLIS (1994)
Practical Guide to Diagnostic Imaging: Radiography and Ultrasonography
American Veterinary Publications, Inc, Goleta, CA 93117, p.238-239
- HAUSER, R. (1994)
Treatment of superficial digital flexor tendinitis.
In: DYSON, S. J. Vet. Clin. North Am. Large Anim. Pract. 10, 409-424
- HENNINGER, R. W., (1994)
Treatment of superficial digital flexor tendinitis.
The Vet Clinics of N America 10: 409-424
- HERTSCH, B, H. SCHMIDT, P. TILKORN, G. OLSCHIEWSKI, H. ENDE u.
C. GAUS (1989)
Ergebnisse der Behandlung von Tendopathien des Pferdes mit
hochmolekularem Na-Hyalruonat
Pferdeheilkunde 5 (5) 235-243
- KELLER, H. u. P. JÖRDENS (1986)
Zur Tendinitsbehandlung beim Pferd
Berl.- Münch. Tierärztl. Wschr. 99, 226-231
- KELLNER, H. (1994)
Weichteile und Gelenke
in: ZOLLER, W. G., U. GRESSER u. N. ZÖLLNER (Hrsg.)
Einführung in die Ultraschalldiagnostik, 2. Aufl.
Karger-Verlag, Basel, Freiburg, S. 233-246

- KIRBERGER, R. M., R. D. GOTTSCHALK u. A. J. GUTHRIE (1996)
Radiological appearance of air introduced during equine regional limb anaesthesia
Equine Vet J.; 28: 298-305
- LANGE, M. u. E. HIPPE (1976)
Sehnen- und Bindegewebserkrankungen. in: Lehrbuch der Orthopädie und Traumatologie
Enke Verlag, Bd. 1 II, 187-191
- LILJA, S. u. H.-J. BARRACH (1981)
An electron microscopical study of the influence of different glycosaminoglycans on the fibrillogenesis of collagen type I and II in vitro
Virchows Archiv, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg, 390 (3): 325-338 1981
- McILWRAITH, C. W. (1987)
Krankheiten und Veränderungen der Sehnen, Bänder und Sehnenscheiden.
In: T. S. STASHAK (Hrsg.): Adams' Lahmheit bei Pferden.
4. Aufl., Verlag M.&H. Schaper, Hannover, S. 447-485
- MEIER, H. u. U. SCHEFER (1987)
Beugesehnen und Fesselträger des Pferdes im Ultraschallbild.
Swiss Vet. 4, Nr. 7-8, 7-11
- MERKER, H.J. u. H.-J. BARRACH (1981)
The morphology of basement-membran formation
European Journ. of Cell Biology 26 (1): 111-120 1981
- MOHR, W. (1987)
Pathologie des Bandapparates
Springer- Verlag, Berlin
- MORCOS, M. B. (1962)
Tendon wound healing under the influence of several drugs
Med. Veeartsenijschool Gent, 3-107
- MORCOS, M. B. u. A. ASWAD (1978)
Histologic studies of the effects of ultrasonic therapy on surgically split flexor tendons
Equine Vet. J. 10: 267-69

MÜLLER, E. (1985)

Ultraschall als Untersuchungshilfsmittel in der Gynäkologie des Rindes
Vet. Diss. Hannover

MÜLLER, H. u. H. SCHEBITZ (1975)

Gedekte Verletzungen der Sehnen und Bänder,
in: H. SCHEBITZ u. W. BRASS (Hrsg.): Allgemeine Chirurgie für Tierärzte
und Studierende.

Verlag Parey, Berlin, Hamburg, 322-332

NICKEL, R., A. SCHUMMER u. E. SEIFERLE (1977)

Lehrbuch der Anatomie der Haustiere,
Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg

NIXON, A. J. u. E. M. GAUGHAN (1990)

Use of Sodium Hyaluronate for Tendon and Tendons Sheath Problems in
Horses

Proceedings of the 35th Annual Convention of the AAEP, 1990; 35: 277-278

NORBERG, A. I., C. W. RAKER u. D. DOOD (1967)

Equine Tendinitis – an angiographic and histologie Study.
Proc. Am. Ass. Equine Pract. 13, 243-254

NORRIE, R. D. (1975)

A preliminary report on the regenerative healing in equine tendon
Am J. Vet. Res. 36: 1523-24

OBERBECK, K. (1992)

Klinische und morphologische Untersuchungen von Tendopathien der
Beugesehnen beim Pferd

Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.

PHILLIPS, M. W. (1989)

Vergleichende Untersuchungen zur klinischen Wirksamkeit intraartikulär
verabreichter Natriumhyaluronate beim Pferd (Übersetzung)

Equine vet. Sci. 9, 12-15

PICK, M. (1986)

Diagnose und Therapie der häufigsten orthopädischen Erkrankungen des
Sportpferdes.

Prakt. Tierarzt. 67, 109-119

- PICKERSGILL, C. H., C. M. MARR u. S. W. J. REID (2001)
Repeatability of diagnostic ultrasonography in the assessment of the equine superficial digital flexor tendon
Equine vet. J. (2001) 33 (1) 33-37
- PREHM, P. (1984)
Hyaluronate is synthesized at plasma membranes.
Biochem. J. 220, 597-600
- PRÜGNER, W., H. LUTZ u. D. BREUER (1997)
Erfahrungen mit der intratendinösen Injektion von Kollagen bei Pferden mit Tendinitis
Prakt. TA, 78:4, 297-304
- RANTANEN, N. W. (1982)
The use of diagnostic ultrasound in limb disorders of the horse: a preliminary report.
J. Equine vet. Sci. 2, 62-64
- RAPP, H. J. (1988)
Die Ultraschalluntersuchung der Anatomie der palmaren Weichteilgewebe (Sehnen) am Metacarpus beim Pferd.
Prakt. Tierarzt. 69, 2, 42-58
- RAPP, H. J., M. BECKER, K. HEISSE u. M. STECHELE (1991)
Überlegungen zur Diagnose von Tendinitiden beim Pferd sowie deren Behandlungsprinzipien (Teil I)
Prakt. Tierarzt; 12:1102-1111
- RAPP, H. J., M. BECKER, K. HEISSE und M. STECHELE (1992)
Überlegungen zur Diagnose von Tendinitiden beim Pferd sowie deren Behandlungsprinzipien (Teil II)
Prakt. Tierarzt; 1:13-25
- RAPP, H. J., K. HEISSE, M. BECKER, M. STECHELE (1992a)
Management der akuten Tendinitis
Tierärztl. Praxis; 20: 615-20
- REEF, V. B. (1998)
Musculoskeletal ultrasonography.
In: REEF, V. B. (Hrsg.) Equine Diagnostic Ultrasound.
W.B. Saunders Co. , Philadelphia 1998, 39-186

REEF, V. B., R. L. GENOVESE, J. W. BYRD, K. P. REED u. W. M. DAVIS (1996)

Treatment of superficial digital flexor tendinitis treated with intra-lesional B-aminopropionitrile fumarate (BAPN-F): sonographic evaluation of early tendon healing and remodelling.

Proc. of the 1st Dubai International Equine Symposium 423-430

RICHTER, W. (1982)

Sehnenschäden

In: O. DIETZ u. E. WIESNER (Hrsg.): Handbuch der Pferdekrankheiten für Wissenschaft und Praxis, 1. Aufl.

Verlag Karger, Basel, München, Bd. 3, S. 988-996

ROLLÉ, E. (2003)

Welchen Einfluss hat die Extrakorporale Stoßwelle bei der Behandlung von chronischen Insertionsdesmopathien, Insertionstendopathien sowie chronischen Sehnenschäden der distalen Extremität des Pferdes

Diss., Wien

ROSSDALE, P. D., R. HOPES, N. J. WINGFIELD DIGBY u. K. OFFORD (1985)

Epidemiological study of wastage among racehorses 1982 and 1983

Vet. Rec. 116: 66

RUPP, S. (1990)

Experimentelle Untersuchungen zur Wirkung der Ga-As-Laserstrahlung (904nm) auf Sehnenverletzungen beim Pferd

Veterinärmed. Fakultät Uni Bern, Diss.

RYDELL, N. (1970)

Decreased granulation tissue reaction after instalment of hyaluronic acid

Acta Orthop. Scand.; 41: 307-11

RYDELL, N. und E. A. BALAZS (1971)

Results of a clinical study of hyaluronic acid in tendinitis.

Clin. Orthop. 80, 25-32

SCHLEITER, H. (1975)

Tendinitis, Sehnenentzündung.

In: W. BOLZ, O. DIETZ, H. SCHLEITER u. R. TEUSCHER : Lehrbuch der Speziellen Veterinärchirurgie. 2. Aufl.

Verlag Fischer, Jena, Bd. 2, S. 888-893

SCHMIDT, H. (1989)

Die Behandlung akuter und chronischer Sehnenerkrankungen beim Pferd mit hochmolekularer Hyaluronsäure

Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.

SCHMIDT, W. (1991)

Klinische, morphologische und morphometrische Untersuchungen bei chronischer Tendopathie der Beugesehnen und des M. interosseus medius des Pferdes sowie die therapeutische Wirkung von hochmolekularer Hyaluronsäure.

Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.

SCHNEIDER, H. (1959)

Die Abnützungserkrankungen der Sehnen und ihre Therapie.

Verlag Thieme, Stuttgart

SCHNEIDER, J. (2006)

Tendinitis

In: DIETZ, O. u. B. HUSKAMP (Hrsg.): Handbuch Pferdepraxis

Enke-Verlag, Stuttgart, 3. Aufl., S. 928-933

SEIFERT, K. E. (1967)

Biologische Grundlagen der homologen Transplantation konservierter Bindegewebe

Hefte Unfallheilk., 93, 1-44

SELWAY, S. J. (1975)

Diseases of tendons.

Atcott Equine Medicine and Surgery, Santa Barbara, 3. Aufl.,

American Veterinary Publications 19, 1071-1088

SENDLHOFER, A. u. D. GIRTLER (1993)

Behandlungsergebnisse von Arthro- und Tendopathien des Pferdes mit Natriumhyaluronat (Hylartil®)

Orthopädie bei Huf- und Klautieren,(Verlag??) 117-27

- SILBERSIEPE, E., E. BERGE u. H. MÜLLER (1986)
Die Entzündung der Beugesehnen, Tendinitis
In: E. SILBERSIEPE, E. BERGE u. H. MÜLLER: Lehrbuch der speziellen
Chirurgie für Tierärzte und Studierende. 16. Aufl.
Verlag Enke, Stuttgart, S. 317-325
- SMITH, M. M. u. P. GOSH (1987)
The synthesis of hyaluronic acid by human synovial fibroblasts is influenced by
the nature of the hyaluronate in the extracellular environment.
Rheumatol. Int. 7, 113-122
- SÖNNICHSEN, H. V. (1975)
Tendinitis des Pferdes
Tierärztl. Praxis 3, 315-322
- SÖNNICHSEN, H. V. (1985)
Tendinitis, Tendinose, Desmitis.
In: W. BOLZ, O. DIETZ, H. SCHLEITER u. R. TEUSCHER: Lehrbuch der
Speziellen Veterinärchirurgie. 2. Aufl.
Verlag Fischer, Jena, Bd. 2, S. 888-892
- SPURLOCK G.H., S.L. SPURLOCK u. G. A. PARKER (1989a)
Therapy of Induced Tendonitis in Horse
Am Equine Products 1989; 5: 242 – 6
- STADTBÄUMER, G. (1988)
Ultraschalldiagnostik bei Sehnenkrankungen des Pferdes
Pferdeheilkunde 4; 3: 125 -37
- STANEK, Ch., L.- F. LITZKE, J. A. AUER u. B. von RECHENBERG (2004)
Erkrankungen des Halte- und Bewegungsapparates
in: DIETZ, O. u. L.- F. LETZKE (Hrsg.): Lehrbuch der Allgemeinen Chirurgie
für Tiermediziner
Enke-Verlag Stuttgart, 6. Aufl., S. 219-228
- STASHAK, T. S. (Hrsg.) (1987)
Adams' Lahmheit bei Pferden.
Verlag M. & H. Schaper, Hannover, 4. Aufl.

STASHAK, T. S. (1992)

Versorgung von Wunden mit Beteiligung von Sehnen, Sehnengleitgewebe und Sehnenscheiden.

In: T. S. STASHAK (Hrsg.): Wundbehandlung bei Pferden.

Verlag M. & H. Shaper, Alfeld, Hannover, S. 238-257

STEGEMANN, S. J., S. CHU, K. BENSCH und R. ARMSTRONG (1987)

A light and electron microscopic evaluation of Zyderm Collagen and Zyplast implants in aging human facial skin.

Arch. Dermatol. 123, 1644-1649

STRÖMBERG, B. (1971)

The normal and diseased superficial flexor tendon in race horses.

A morphologic and physiologic investigation

Acta Radiol. Suppl. 305: 94

STRÖMBERG, B. (1980)

Sehnenschäden – Ätiologie, Pathogenese und Therapie

Prakt. Tierarzt; 61, 9-12

UNDERHILL, C. B. u. B. P. TOOLE (1979)

Binding of hyaluronate to the surface of cultured cells

J. Cell Biol. 82, 475-484

WATKINS, J. P., J. A. AUER, S. J. MORGAN u. S. GAY (1985)

Healing of surgically created defects in the equine superficial digital flexor tendon: Effects of pulsing electromagnetic field therapy on collagen-type transformation and tissue morphologic reorganization

Am. J. Vet. Res. 46: 2097-2103

WEBBON, P. M. (1973)

Equine tendon stress injuries

Equine vet. J. 5, 58-64

WEST, D. C., I. N. HAMPSON u. F. ARNOLD (1985)

Angiogenesis induced by degradation products of hyaluronic acid.

Science 228: 1324-1326

ZEKAS, L.J. u. L. J. FORREST (2003)

Effect of Perineural Anaesthesia on the ultrasonographic Appearance of equine palmar metacarpal structures

Radiology and Ultrasound, 44 (1), 59-64

ZENTNER, J. (1994)

Physikalische und technische Grundlagen der Ultraschalldiagnostik

in: ZOLLER, W. G., U. GRESSER, N. ZÖLLNER (Hrsg.)

Einführung in die Ultraschalldiagnostik, 2. Aufl.

Karger-Verlag, Basel, Freiburg, S. 6-7

10. Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
Abb.	Abbildung
BAPN-F	β -aminopropionitrile fumavate
dist.	distal
dors.	dorsal
E(r)	Reflexionsenergie
E(e)	Emmissionsenergie
ESWT	Extrakorporale Stoßwelle
et al.	et alii (und andere)
IRAP	Interleukin Rezeptor antagonistisierendes Protein
kHz	Kiloherz
kV	Kilovolt
lat.	lateral
Lig.	Ligamentum
mAs	Milliampersekunde
MHz	Megahertz
med.	medial
mm	Millimeter
Na-H	Natrium-Hyaluronat
nm	Nanometer
OBS	Oberflächliche Beugesehne
p	Dichte
PAGAG	Polysulfatiertes Glykosaminoglykan
s	Stecke/Entfernung
t	Laufzeit
Tab.	Tabelle
TBS	Tiefe Beugesehne
UB	Unterstützungsband (der tiefen Beugesehne)
Ustbd.	Unterstützungsband
μ m	Mikrometer
v	Ausbreitungsgeschwindigkeit
Z	Impedanz

11. Danksagung

Meinem Doktorvater Prof. Dr. B. Hertsch danke ich sehr herzlich für die Überlassung des Themas und die Unterstützung während der gesamten Arbeit.

Dank gilt auch allen Mitarbeitern der Klinik für Pferde, die mir bei den Untersuchungen sehr oft Hilfe geleistet haben. Insbesondere danke ich hier den Mitarbeitern der Radiologie.

Für die Bereitstellung der Hyaluronsäure Hylartil® Vet möchte ich Dr. Albrecht Fenner, Mitarbeiter der Boehringer Ingelheim Vetmedica GmbH, danken.

Insbesondere danke ich von ganzem Herzen meinen Eltern und meinem Mann für ihre verständnisvolle und hilfsbereite Unterstützung, die mir die Anfertigung meiner Dissertation ermöglichte.

12. Selbständigkeitserklärung:

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Zuhilfenahme der angegebenen Literatur erstellt habe.

Hannover, den 17.10.2008

Antonia Katharina von Preyss