

Veränderungen an der Arteria metatarsa dorsalis III von Pferden im Zusammenhang mit einem Trauma lateral am Metatarsus

Lisbeth Schmid¹, Magdalena Rathmanner² und Theresia Licka^{3,4}

¹ Tierklinik Würflach

² Pferdeklinik Kottlingbrunn

³ Department für Kleintiere und Pferde, Veterinärmedizinische Universität Wien

⁴ Royal (Dick) School of Veterinary Studies, University of Edinburgh, Schottland, UK

Zusammenfassung: Verletzungen lateral am Metatarsus mit Beteiligung der Arteria metatarsa dorsalis III treten beim Pferd relativ häufig auf. Ziel dieser Arbeit ist es, anhand einer retrospektiven Analyse von Daten, die Häufigkeit einer Veränderung an der Hauptmittelfußarterie im Zuge eines Traumas lateral an der distalen Hinterextremität zu erfassen. Es wurden Fälle von Pferden, die in den Jahren 2015 bis 2019 aufgrund eines akuten Traumas oder einer Kontrolluntersuchung nach vorangegangenen Trauma lateral am Metatarsus an der Tierklinik Würflach, der Pferdeklinik Kottlingbrunn und der Veterinärmedizinischen Universität Wien untersucht wurden, retrospektiv ausgewertet. Einbezogen wurden lediglich die Fälle, bei denen neben einer röntgenologischen Untersuchung der betroffenen Extremität auch eine ultrasonographische Untersuchung der Arteria metatarsa dorsalis III durchgeführt wurde. Die Einschlusskriterien erfüllten 39 Pferde, wobei es sich um 21 Stuten, 17 Wallache und einen Hengst, im Alter von 7 Monaten bis 26 Jahren handelte. Aus der Studie ausgeschlossen wurden zwei Fälle, deren Ultraschallbilder aufgrund nicht ausreichender Qualität nicht adäquat vermessen und beurteilt werden konnten. Die Rassen waren Warmblut (n = 25), Islandpferd (n = 1), Haflinger/-Mix (n = 2), Vollblut (n = 2), Halbblut (n = 2), Pony (n = 2), Quarter Horse (n = 3) und Traber (n = 2). Vorstellungsgründe waren neben der lateralen Griffelbeinfraktur (n = 26), Phlegmonen (n = 4), Wunden (n = 6), Überbeine (n = 2) und eine Entzündung des Bandansatzes des Ligamentum metatarsium (n = 1). Von 26 Pferden mit Griffelbeinfrakturen wiesen elf Pferde Veränderungen an der Arteria metatarsa dorsalis III auf, wovon sechs thrombosiert waren. Bei den sechs Pferden mit einer Wunde am lateralen Metatarsus, wurden bei drei Veränderungen der Hauptmittelfußarterie diagnostiziert, zwei davon mit einer Thrombose. Ein weiteres Pferd zeigte Veränderungen an der Arterie im Zuge einer Phlegmone. In Summe wurden bei 15 von 39 Fällen Veränderungen der Arteria metatarsa dorsalis III in Verbindung mit einem Trauma lateral am Metatarsus diagnostiziert. Eine Stützbeinlahmheit an der traumatisierten Extremität wiesen 24 der insgesamt 39 untersuchten Pferde auf. Bei elf dieser Pferde wurden bei der ultrasonographischen Untersuchung Veränderungen der Arteria metatarsa dorsalis III festgestellt. Als lahmfrei wurden insgesamt zehn Pferde beschrieben, von denen zwei Pferde pathologische Veränderungen an der Arteria metatarsa dorsalis III aufwiesen. Keine Information über das Gangbild gab es bei fünf Patienten.

Schlüsselwörter: Pferd, Metatarsus, Hauptmittelfußarterie, Arteria metatarsa dorsalis III, Trauma, Gefäßschaden, Thrombose, Intima-Media-Dicke

Changes in the third dorsal metatarsal artery of horses, associated with trauma to the lateral aspect of the metatarsus

Injuries of the lateral metatarsus involving the Arteria metatarsa dorsalis III are a well known problem in equine traumatology. The aim of this retrospective study was to document the incidence of changes in the third dorsal metatarsal artery of horses, associated with trauma to the lateral distal hindlimb. Cases of horses examined for acute trauma or for follow up examination after trauma presented to the animal hospital Würflach (AUT), the equine hospital Kottlingbrunn (AUT) and the university of veterinary medicine vienna (AUT), between 2015 and 2019 were reviewed. Only cases with radiographs of the lateral aspect of the metatarsus and ultrasonographic examination of the third dorsal metatarsal artery were included. These inclusion criteria were met by 39 horses of which 21 were mares, 17 geldings and one stallion. Horses were aged between seven months and 26 years. Two cases were excluded because of inadequate quality of the ultrasound images stored. Horses included were Warmblood horses (n = 25), mixed breed Haflingers (n = 2), Thoroughbreds (n = 2), Partbreds (n = 2), Ponies (2), Quarter horses (n = 3) Standardbreds (n = 2) and one icelandic horse (n = 1). In 26 cases the presenting problem was a fracture of the lateral splint bone, six horses had sustained wounds to the lateral aspect of the distal hindlimb, four horses showed signs of cellulitis, two suffered from exostosis at the lateral aspect of the metatarsus and one horse was diagnosed with a desmopathy of the metatarsal ligament. In this study, eleven out of 26 horses with fracture of the lateral splint bone showed ultrasonographic evidence of vascular damage in the great dorsal metatarsal artery, six of these showed thrombosis. Horses that had sustained wounds at the lateral aspect of the metatarsus, three showed pathological changes in artery, two of these showed thrombosis. One horse showed evidence of vascular damage following cellulitis. In total, the ultrasonographic examination of the third dorsal metatarsal artery confirmed thrombosis in eight horses, while seven horses had other pathological vascular changes. The remaining 24 horses had no signs of vascular damage.

Keywords: horse, metatarsus, third dorsal metatarsal artery, trauma, vascular damage, thrombosis, intimal-media-thickness

Zitation: Schmid L., Rathmanner M., Licka T. (2020) Veränderungen an der Arteria metatarsa dorsalis III von Pferden, im Zusammenhang mit einem Trauma lateral am Metatarsus. *Pferdeheilkunde* 400–409; DOI 10.21836/PEM20200502

Korrespondenz: Prof. Theresia Licka, Department 4, Veterinärmedizinische Universität Wien, Veterinärplatz 1, A-1210 Wien, Österreich; theresia.licka@vetmeduni.ac.at

Eingereicht: 9. April 2020 | **Akzeptiert:** 29. Juli 2020

Einleitung

Traumata lateral am Metatarsus sind eine in der Pferdepraxis häufig angetroffene Problematik (Derungs et al. 2004). Obwohl die Hauptmittelfußarterie, Arteria metatarsa dorsalis III, direkt in der vom Röhrlbein und lateralen Griffelbein geformten Rinne verläuft und häufig mitgeschädigt wird, liegt bis dato keine Studie zum direkten Zusammenhang von Trauma am lateralen Aspekt des Metatarsus mit Veränderungen an der Hauptmittelfußarterie vor.

Anatomie

Die aus der Arteria poplitea entspringende Arteria tibialis cranialis verläuft kraniallateral an der Tibia und wird fortführend Arteria dorsalis pedis genannt, bis sie schlussendlich im Hauptmittelfußbereich zur Arteria metatarsa dorsalis III wird und dorsolateral zwischen dem Röhrlbein und dem Griffelbein nach distal verläuft. In ihrem weiteren Verlauf tritt sie als Ramus perforans III unter dem Griffelbeinknöpfchen nach plantar über und nimmt die Arteria metatarsa plantaris II et III auf (Hertsch 1983, König und Liebich 2012). Davon ausgehend zweigen etwas distal kleinere Gefäßäste über lateral und medial nach dorsal ab. Dieser arterielle Gefäßzusammenschluss gabelt sich proximal der Gleichbeine in zwei Gefäßäste auf, welche wiederum die A. digitalis plantaris communis II und III aufnehmen und endgültig als Arteria digitalis plantaris medialis und Arteria digitalis plantaris lateralis nach distal ziehen (Hertsch 1983, Stashak und Wissdorf 2008) (Abb. 1).

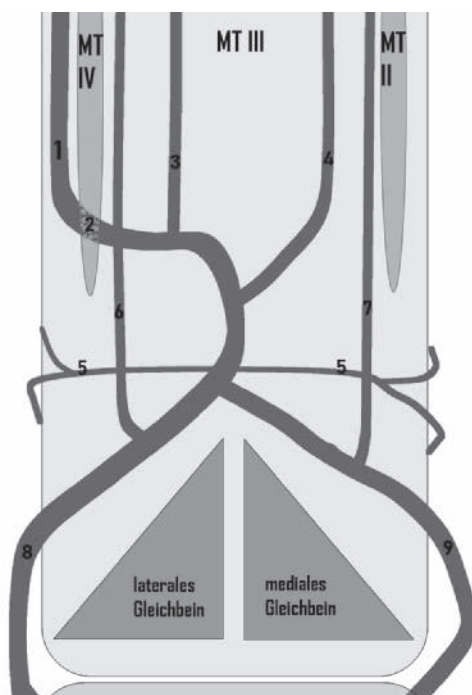


Abb. 1 Schematische Darstellung des Arterienverlaufes an der plantaren distalen Hinterextremität des Pferdes, adaptiert nach Hertsch (1983) und Budras und Röck (2004). 1) Arteria metatarsa dorsalis III. 2) Ramus perforans III. 3) Arteria metatarsa plantaris III. 4) Arteria metatarsa plantaris II. 5) Abzweigende Gefäßäste. 6) Arteria digitalis plantaris communis III. 7) Arteria digitalis plantaris communis II. 8) Arteria digitalis plantaris lateralis. 9) Arteria digitalis plantaris medialis. | Schematic overview illustrating arteries on the plantar distal aspect in the hindlimb of the horse, based on Hertsch (1982) and Budras and Röck (2004).

Begleitet wird die Hauptmittelfußarterie von einer kleinen gleichnamigen Vene und dem Nervus metatarsus dorsalis III, welcher aus dem Nervus fibularis profundus hervorgeht. Plantar verlaufen die Venen mit den Arterien in ähnlicher Verlaufsrichtung, wie oben beschrieben.

Interne und externe Traumata lateral am Metatarsus

Traumata lateral am Metatarsus sind in der Mehrzahl der Fälle durch den Schlag eines anderen Pferdes verursacht (Jackson et al. 2007, Derungs et al. 2004). Neben offenen Wunden, Phlegmonen und Überbeinen sind vor allem Griffelbeinfrakturen häufig die Folge (Brunk 2010, Donati et al. 2018). Diese können jedoch auch ohne externe Einwirkung, durch übermäßige axiale Kompressionskräfte oder Druck und Zug dort ansetzender Weichteilstrukturen entstehen (Stashak 2002). Diese Pathogenese wird als internes Trauma bezeichnet. Während Frakturen im distalen Drittel des Griffelbeins häufiger durch ein solches Trauma entstehen (Dietz et al. 1963, Verschooten et al. 1984, Wienker 2004) und in der Mehrzahl der Fälle die Vorderextremitäten betreffen (Stashak 1989, Wienker 2004), sind Frakturen im mittleren und proximalen Bereich des Griffelbeins meist durch eine äußere Krafteinwirkung bedingt (Krieg 2001, Jackson et al. 2007, König et al. 2008) und öfter lateral an der Hintergliedmaße zu finden (Stashak 1989, Wright et al. 1998, White und Schramme 1999). Neben den Frakturen zählen auch Überbeine zu den Erkrankungen der Griffelbeine. Darunter versteht man Konturveränderungen des Knochens, die je nach Ausdehnung als Osteophyten, Exostosen, Supraossa oder Hyperostosen kategorisiert werden (Richter 2006). Laut Krieg (2001) haben Überbeine ihren Ursprung in einer Desmitis des Mittelfußknochenzwischenbandes infolge axialer Lastübertragung auf das Griffelbein, oder in einer Verletzung des Periosts durch ein äußeres Trauma. Richter (2006) unterscheidet spontan entstandene von traumatisch bedingten Überbeinen. Er ordnet die durch Zugbelastungen bedingten Überbeine, wie von Krieg (2001) beschrieben, den spontanen Überbeinen zu, während die traumatisch bedingten meist aufgrund von Streichen, Greifen oder Gegenschlagen entstünden. Aufgrund eines aktiveren Periosts sind häufiger junge Pferde betroffen (Barber et al. 1986, Jenson et al. 2003, Wienker 2004). Gemäß ihrer Lokalisation werden

Tab. 1: Übersicht über diverse Begriffe für Überbeine im Hauptmittelfußbereich, gemäß ihrer Lokalisation. | Various terms used to describe exostoses of the metatarsal and metacarpal bones in horses

„True Splint“ Dietz und Wiesner 1982, Stashak 1989, Krieg 2001, Wienker 2004	Laterales, intermetakarpales/-metatarsales Überbein im Bereich des Mittelfußknochenzwischenbandes
„blind splint“ Dietz und Wiesner 1982, Stashak 1989, Krieg 2001, Wienker 2004	axial in Richtung des Fesselträgers ragendes tiefes metakarpales/-tarsales Überbein, von außen nicht erkennbar
„knee splint“ Dietz und Wiesner 1982, Stashak 1989, Krieg 2001	Überbein am Griffelbeinknöpfchen, mit Beteiligung des Karpometakarpalgelenks
„postmetakarpales/-metatarsales Überbein“ Richter et al 1999, Krieg 2001, Wienker 2004	Überbeine palmar/plantar am Griffelbein

Überbeine im Bereich des Mittelfußknochens mit unterschiedlichen Begriffen beschrieben (Tab. 1). Neben knöchernen Veränderungen sind Wunden und Phlegmonen ebenso häufig gesehene und oft miteinander einhergehende Probleme an der distalen Extremität. Unter einer Phlegmone versteht man eine flächige pyogene Entzündung der Unterhaut, sowie der Lymphgefäße (Dietz und Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan 2006). In fortgeschrittenen Fällen kann die Entzündung auf tiefergelegene Strukturen übergreifen und die Blutgefäße miterfassen.

Unabhängig vom traumatischen Ursprung, erscheint die (Mit-) Beschädigung der Hauptmittelfußarterie an der Hinterextremität in Anbetracht ihrer exponierten Lage sehr wahrscheinlich.

Folgen einer arteriellen Minderperfusion

In der humanmedizinischen Literatur findet sich eine übersichtliche bildliche Darstellung scharfer und stumpfer vaskulärer Schädigung und deren Folgen bei Vollmar (1996) (Abb. 2).

Die Gefahr einer arteriellen Thrombose beim Menschen in Folge eines stumpfen Gefäßtraumas, heben auch Hupp und Allenberg (1997) hervor. Sie führen diese auf die Schädigung der Gefäßwand zurück, welche bei der stumpfen im Gegensatz zur scharfen Gefäßverletzung nicht von außen nach innen stattfindet, sondern zuerst die Intima schädigt und sich dann zu den außen gelegenen Wandschichten ausweiten kann (Abb. 2). Beim Pferd werden Belastungsschmerzen infolge einer Minderperfusion peripheren Gewebes unter anderem bei dem Krankheitsbild der Podotrochlose (Fricker et al. 1982, Stashak 2008, Borst 2019), der Aortenthrombose (Thiebaud et al. 1989, Brama et al. 1996) sowie der Hufrehe (Hood et al. 1993, van Eps und Burns 2019) beschrieben. Elliott et al. (2012) zeigen, in ihrer retrospektiven Studie über traumatisch bedingte Durchtrennungen der lateralen und langen digitalen Strecksehnen an der Hinterextremität bei Rennpferden, ein erhöhtes Risiko einer Perfusionsstörung bei Verletzungen des lateralen Metatarsus durch die Lagebeziehung zur Arteria metatarsae dorsalis III auf. Weiterführend wurde in der Studie von Elliott et al. (2012) die Entscheidung zur Euthanasie vorwiegend bei starken Perfusionsstörungen der distalen Extremität, welche meist im Zuge schwerer Weichteilverletzungen entstehen, gefällt. Ruzickova et al. dokumentieren 2017 drei Fälle von Pferden, welche zehn Tage nach einem Trauma an der distalen Hinterextremität eine Ablösung der Hornkapsel erlitten.

In keinem der drei Fälle war eine Verletzung der vaskulären Strukturen initial erkennbar. Sie schlussfolgerten, dass eine Thrombose oder ein Kompartmentsyndrom zur Ischämie führte und so die Ablösung der Hornkapsel verursachte. In einem klinischen Kommentar äußern sich Ahern und van Eps (2017) zu der Studie von Ruzickova et al. und betonen die Ähnlichkeiten der in der Studie beschriebenen Symptome, mit denen der in der Humanmedizin durch primäre arterielle Thrombose bekannten, akuten Extremitätenischämie. Kommt es zu einem stumpfen Trauma der versorgenden Arterien, kann sich durch eine Verletzung der Intima ohne erkennbare äußere Blutung ein Thrombus bilden und so zu folgenschweren Komplikationen führen (Ahern und van Eps 2017).

Walker et al. führten 2017 an einem Maultier und einem Fohlen mit diaphysalen Verletzungen am Metatarsus an den rechten Hinterextremitäten, eine computertomographische Angiographie durch. Das Maultier hatte an dem verletzten Bein deutlich verengte Arterien, mit einseitig unterbrochenem Blutfluss. Bei dem Fohlen war weder in der medialen noch in der lateralen plantaren Digitalarterie ein Blutstrom darstellbar. Während das Maultier mit einer verzögerten Wundheilung kämpfte, und erst 18 Monate nach der Verletzung beschwerdefrei war, wurde das Fohlen aufgrund der arteriellen Thrombose in beiden Digitalarterien umgehend euthanasiert. Daraus resultierend, sollte im Falle einer Verletzung am Metatarsus und der distalen Hinterextremität auch immer eine gründliche Untersuchung der vaskulären Strukturen durchgeführt werden.

Beschädigtes Weichteilgewebe und Minderperfusion sind oft ein Grund für anhaltende Schmerzen, eine verlängerte Rekonvaleszenzzeit oder eine Entscheidung zur Euthanasie (Elliot et al. 2012, Lescun 2015, Ahern und van Eps 2017, Ruzickova et al. 2017, Walker et al. 2017).

Sonographie der Blutgefäße

Seit ihrer Einführung Ende der sechziger Jahre ist die Sonographie aus der Tiermedizin nicht mehr weg zu denken. Sowohl in der Reproduktion, der Orthopädie als auch bei kardiovaskulären Abklärungen ist die Ultraschalluntersuchung ein zentraler Bestandteil der Diagnostik (Cipone et al. 1997, Mense 2008). In der weitesten verbreiteten Variante der Sonographie, dem B-Mode, werden die Schallreflexionen als zweidimensionale Schnittbilder sichtbar gemacht. Damit

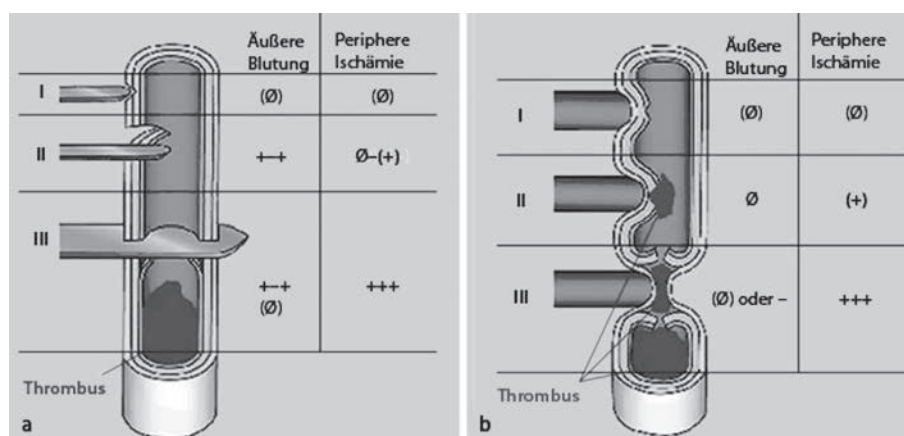


Abb. 2 Schematische Darstellung: a) scharfe Gefäßverletzungen Grad I-III und b) stumpfe Gefäßverletzungen Grad I-III nach Vollmar (1996) | Schematic diagram illustrating a) penetrating vascular trauma type I-III and b) blunt vascular trauma type I-III by the author Vollmar (1996)

bekommt man einen guten Überblick über das Blutgefäß, dessen Wandstruktur und Peripherie. Bereits vor mehr als 30 Jahren gelang es den Humanmedizinern Pignoli et al. (1986) mit histopathologischen Vergleichen, das im longitudinalen Gefäßschallbild entstehende und von Terwey et al. 1984 erstmals beschriebene „Doppellinienmuster“, den Gefäßwandgrenzen zwischen Adventitia, Media und Intima zuzuordnen (Pirzer 2017) (Abb. 3a).

In der Humanmedizin hat sich in den vergangenen Jahren die Messung der Intima-Media-Dicke (intima-media-thickness = IMT) als prognostischer Faktor in der Bestimmung von Gefäßveränderungen etabliert (Strauss 2013). Die Intima-Media-Dicke ist als Abstand zwischen den Grenzschichten von Lumen – Intima und Media – Adventitia definiert und wird, am Menschen hauptsächlich an der Arteria carotis communis, nach der sogenannten „leading edge to leading edge“ Methode vermessen (Abb. 3b). Dabei gelten Messwerte von 0,7–1 mm als beobachtungsbedürftig, über 1 mm als pathologisch und Werte über 1,5 mm als Hinweis auf starke Gefäßwandveränderungen (Widder 2004).

Um auch in der Veterinärmedizin die Fortschritte in der Gefäßdiagnostik festzuhalten und auszuweiten verfolgt diese Arbeit das Ziel, anhand einer retrospektiven Analyse von Daten, die Häufigkeit einer Veränderung an der Hauptmittelfußarterie im Zuge eines Traumas lateral am Metatarsus zu erfassen und darzustellen.

Material und Methode

Für diese Studie wurden die Datenblätter von 39 Pferden, welche in den vergangenen fünf Jahren zur klinisch-orthopä-

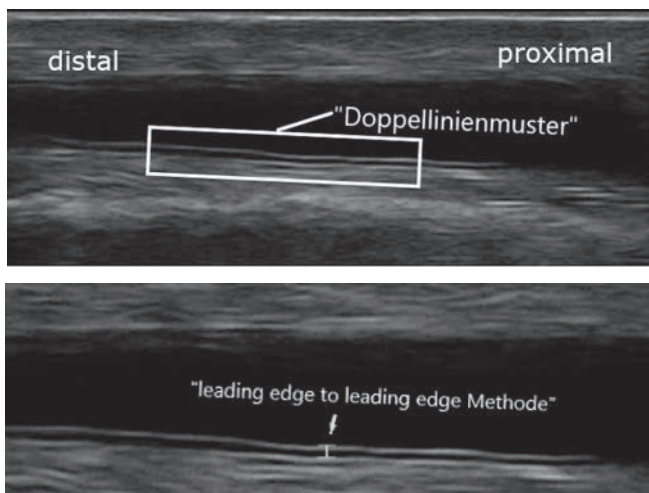


Abb. 3 Zweidimensionale Ultraschalldarstellung der gesunden Arteria metatarsae dorsalis III der linken Hinterextremität des Patienten Nr. 30 im Längsschnitt, aufgenommen mit einem 7,5-MHz-Linear-Schallkopf. a) Gut erkennbares „Doppellinienmuster“, gebildet durch die Grenzschichten Lumen-Intima und Media-Adventitia. b) Vergrößerter Bildausschnitt aus Abbildung 3a mit eingezeichneter „leading edge – to leading edge“ Methode. | *Longitudinal view of the great dorsal metatarsal artery of the left hindlimb in case number 30 by 7.5 MHz ultrasound showing a) the double-line pattern formed by two anatomical boundaries: lumen-intima and media-adventitia. b) enlarged view of fig. 3a illustrating measurement technique of IMT „leading edge to leading edge“.*

dischen Untersuchung der lateralen Region des Metatarsus an der Tierklinik Würflach, an der Veterinärmedizinischen Universität Wien und der Pferdeklinik Kottlingbrunn vorgestellt wurden, retrospektiv analysiert. Grundlage für die statistische Aufarbeitung der Daten war die systematische Erfassung und die normierte Zusammenfassung und Darstellung der jeweiligen Krankengeschichten. Voraussetzung war neben einer Röntgenaufnahme der betroffenen Extremität, auch die bildliche Dokumentation der ultrasonographischen Untersuchung der Hauptmittelfußarterie. Für die ultrasonographischen Untersuchungen der HMFA waren die Ultraschallgeräte Esaote MyLabDeltaVET (Esaote, Florenz, Italien), Esaote MyLab 30 Gold (Esaote, Florenz, Italien) und Toshiba (Toshiba, Tokio, Japan) mit 7,5 MHz Linearschallköpfen verwendet worden. Aus den Datenblättern wurden Angaben zum Alter, zur Rasse, der Vorstellungsgrund und eine Lahmheitsbeurteilung der betroffenen Extremität zum Zeitpunkt der Ultraschalluntersuchung entnommen. Ausgeschlossen wurden zwei Patienten deren Ultraschallbilder nicht ausreichender Qualität waren, um Aussagen zur Hauptmittelfußarterie (HMFA) treffen zu können. Die gespeicherten Ultraschallaufnahmen wurden einer genaueren Analyse unterzogen. Die Weiterbearbeitung der Bilder wurde mit dem Programm ImageJ (medizinische Freeware des National Institute of Health, USA) durchgeführt. Die ultrasonographischen Aufnahmen wurden, je nach vorhandenem Bildmaterial, hinsichtlich Durchmesser im Querschnitt (Abb. 4), Pathologien (Abb. 5, 6, 7, 8) und der Intima-Media-Dicke (Abb. 3) der Arteria metatarsae dorsalis III beurteilt.

Nach Möglichkeit wurden mehrere Stellen der Arterie vermessen. Zur Bestimmung des durchschnittlichen Durchmessers im Querschnittsbild der Arterie, wurden pro Bild, zum einen die Distanz von der proximalen äußeren Arterienwandreflexion zu der distalen äußeren Arterienwandreflexion, und zum anderen der Abstand zwischen den seitlichen äußeren Arterienwandreflexionen vermessen (Abb. 4). Für die statistische Analyse wurden die Durchmesserangaben der in „gesunde HMFA“, „veränderte HMFA“ und „thrombosierte HMFA“ eingeteilten Patientengruppen für das nichtparametrische Testverfahren nach Kruskal Wal-

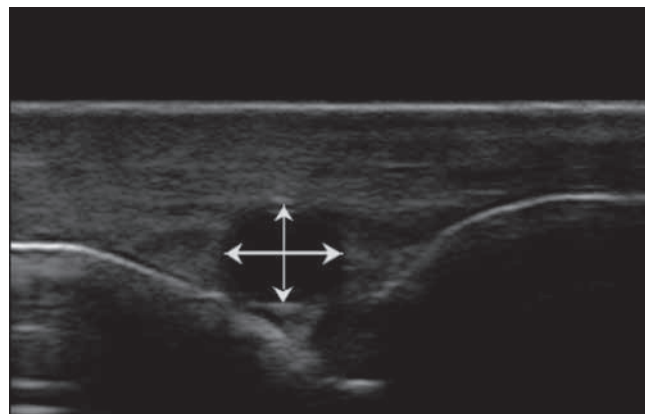


Abb. 4 Zweidimensionale Ultraschalldarstellung der gesunden Arteria metatarsae dorsalis III der linken Hinterextremität bei Patient Nr. 31 im Querschnitt, aufgenommen mit einem 7,5-MHz-Linear-Schallkopf. Eingezeichnet wurden die vermessenen Distanzen zur Bestimmung des durchschnittlichen Durchmessers. | *Two-dimensional ultrasound, imaging cross-section of the dorsal metatarsal artery III without pathological changes in case no 31. showing measured lines for average diameter.*

lis verwendet und das Effekstärkemaß Eta-Quadrat berechnet. Da die ursprüngliche Verletzung am lateralen Metatarsus zum Zeitpunkt der Untersuchung häufig schon weit zurücklag, und somit unterschiedliche Stadien der Heilung, beziehungsweise in manchen Fällen auch eine Ausheilung der Verletzung bereits eingetreten war, wurde dieser Schweregrad bei der Berechnung des Zusammenhangs zwischen dem Zustand der HMFA und dem Lahmheitsgrad, der mittels Spearman Rho Koeffizienten bestimmt wurde, nicht weiter berücksichtigt.

Ergebnisse

Bei den Patienten, die die Kriterien erfüllten, handelte es sich um 21 Stuten, 17 Wallache und einen Hengst, im Alter von 7 Monaten bis 26 Jahren. Die Rassen waren Warmblut (n = 25), Islandpferd (n = 1), Haflinger/-Mix (n = 2), Vollblut (n = 2), Halbblut (n = 2), Pony (n = 2), Quarter Horse (n = 3) und Traber (n = 2). In 25 Fällen (64%) war die linke Hinterextremität betroffen, bei 14 Patienten (36%) die rechte. Im Gegensatz zu den 30 anderen Patienten, bei denen das Trauma lateral am Metatarsus bei der Ultraschalluntersuchung der HMFA nicht länger als vier Tage her war, wurde bei neun Patienten (Patienten Nummer (Nummer = Nr.) 6, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 29, 30) die ultrasonographische Untersuchung der Hauptmittelfußarterie erst im Zuge einer auf Besitzerwunsch durchgeführten Kontrolluntersuchung, mehr als zwei Jahre nach dem ursprünglichen Trauma durchgeführt. In sieben dieser neun Fälle (Patienten Nr. 6, 13, 17, 18, 19, 29, 30)

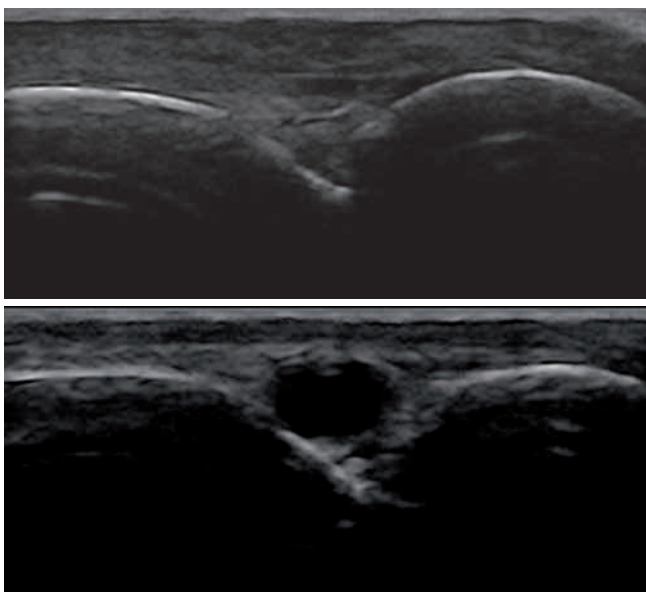


Abb. 5 Zweidimensionale Ultraschalldarstellungen des proximalen Drittels der von MT III und MT IV gebildeten Knochenrinne im Querschnitt, aufgenommen mit einem 7,5-MHz-Linear-Schallkopf an der rechten und linken Hinterextremität desselben Patienten (Nr. 15). a) Knochenrinne im proximalen Drittel, ohne darstellbare Arteria metatarsale dorsalis III der betroffenen, rechten Hinterextremität von Patient Nr. 15. b) Knochenrinne im proximalen Drittel, mit gesunder und normal darstellbarer Arteria metatarsale dorsalis III der linken Hinterextremität von Patient Nr. 15. | Two-dimensional ultrasound, imaging cross-section of the proximal third of MT III and MT IV in the right and left hindlimb of case no. 15. a) proximal third of MT III and MT IV at the affected right hindlimb of case no. 15, missing dorsal metatarsal artery III. b) proximal third of MT III and MT IV in the left hindlimb of case no. 15, physiological image of dorsal metatarsal artery III.

war eine laterale Griffelbeinfraktur, in einem Fall (Patient Nr. 15) eine akute Phlegmone und einmal (Patient Nr. 16) ein Überbein des os metatarsale quartum, die primär gestellte Diagnose. Während vier dieser Patienten keine Folgebeschwerden aufwiesen, zeigten die anderen fünf seit dem bereits weit zurückliegenden akuten Trauma intermittierende Lahmheiten, wovon ein Pferd (Patient Nr. 15) zusätzlich unter einer chronischen Phlegmone litt. Besonders auffallend bei der Kontrolluntersuchung dieses Pferdes (Patient Nr. 15) war, dass die Hauptmittelfußarterie, im Gegensatz zur kontralateralen Extremität, über die gesamte Länge des Röhrlbeins sonographisch nicht darstellbar war (Abb. 5).

Neben dem oben genannten Pferd, wurde noch bei zwei weiteren Pferden (Patienten Nr. 6 und 13) im Zuge der Kontrolluntersuchungen pathologische Veränderungen im Sinne einer wandständigen Thrombose und plaqueartigen Wandveränderungen (Abb. 8) diagnostiziert.

In Summe hatte der Großteil (n = 26) aller in dieser Studie aufgenommenen Patienten (n = 39) eine Fraktur des os metatarsale IV erlitten. Weitere Traumata am lateralen Metatarsus waren Wunden (Patienten Nr. 7, 14, 24, 35, 37, 38), Phlegmo-

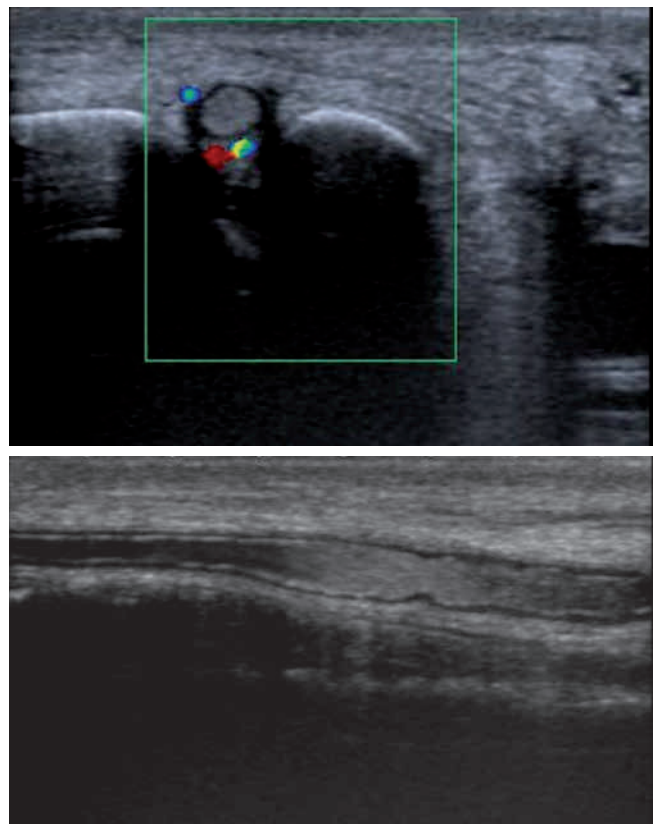


Abb. 6 Ultraschalldarstellung der thrombosierten Arteria metatarsale dorsalis III im mittleren Drittel der von MT III und MT IV gebildeten Knochenrinne der linken Hinterextremität bei Patient Nr. 1, aufgenommen mit einem 7,5-MHz-Linear-Schallkopf. a) Farbkodierte Ultraschalldarstellung der Thrombose der HMFA (=Hauptmittelfußarterie) im Querschnitt. b) Zweidimensionales Ultraschallbild des thrombosierten Abschnitts der HMFA im Längsschnitt. | Two-dimensional ultrasound, imaging thrombosis of the great dorsal metatarsal artery at the middle third of MT III and MT IV in the left hindlimb of case no. 1. a) Cross sectional color coded ultrasound image of thrombosis of the great dorsal metatarsal artery of case no. 1. b) B-mode ultrasound image of a longitudinal section of thrombosis in the great dorsal metatarsal artery of case no. 1.

nen (Patienten Nr. 15, 20, 31, 32), Überbeine (Patienten Nr. 16 und 22) und eine Desmopathie des ligamentum metatarsium (Patient Nr. 39) (Tab. 2).

Die Hauptmittelfußarterie war bei 15 Pferden (Patienten Nr. 1 bis 15) pathologisch verändert, wovon acht Arterien thrombosiert waren (Patienten Nr. 1 bis 8). Bei 24 Patienten war die HMFA ohne besonderen Befund. Neben den Thrombosen (Abb. 6) bei Patienten Nr. 1 bis 8, zählten Durchmesseränderungen (Patient Nr. 6) (Abb. 7a), Blutströmungsturbulenzen (Patienten Nr. 9, 10, 11) (Abb. 7b), periarterielles Narbengewebe (Patient Nr. 14) und plaqueartige Wandauflagerungen (Patienten Nr. 12 und 13) (Abb. 8) zu den pathologischen Veränderungen.

Ebenfalls zu den pathologischen Veränderungen zählte Patient Nr. 15, bei dem die HMFA in der vom Hauptmittelfußknochen und dem lateralen Griffelbein gebildeten Rinne überhaupt

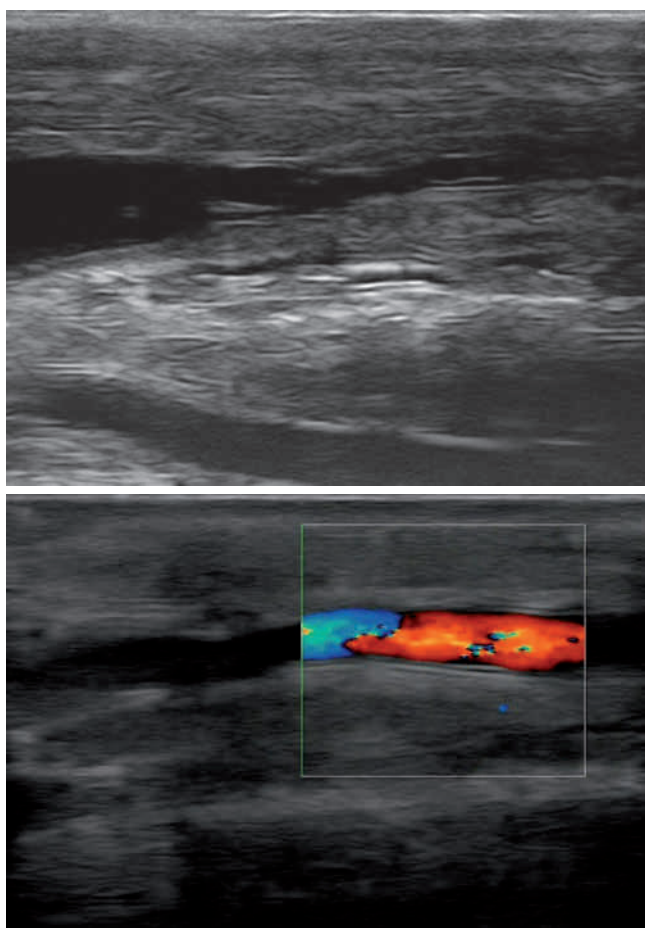


Abb. 7 Ultraschalldarstellungen der pathologisch veränderten Arteria metatarsae dorsalis III im Längsschnitt, aufgenommen mit einem 7,5 MHz-Linear-Schallkopf. a) Zweidimensionale Ultraschalldarstellung einer Durchmesseränderung im distalen Drittel der HMFA der linken Hinterextremität bei Patient Nr. 6. b) Farbkodierte Ultraschalldarstellung einer intraarteriellen Strömungsänderung der HMFA im Frakturbereich des lateralen Griffelbeines der rechten Hinterextremität bei Patient Nr. 9. | *Ultrasound images of longitudinal sections of pathological changes in the third dorsal metatarsal arteries of case no. 6 and case no. 9. a) changing diameter in dorsal metatarsal artery III at the distal third of MT III and MT IV of case no. 6. b) Color coded ultrasound, imaging longitudinal section of intraluminal blood flow turbulence in the dorsal metatarsal artery III at the aspect of fractured MT IV in case no. 9.*

nicht darstellbar war (Abb. 5ab). Mehr als die Hälfte der Patienten ($n = 24$) (Patienten Nr. 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 18, 20, 22, 23, 26, 30, 31, 33, 36, 37, 38, 39) zeigten zum Zeitpunkt der ultrasonographischen Untersuchung eine Stützbeinlahmheit an der betroffenen Extremität. Bei zehn Pferden (Patienten Nr. 2, 13, 17, 19, 24, 25, 29, 32, 34, 35) wurde an der betroffenen Hinterextremität keine Lahmheit festgestellt, in fünf Fällen (Patienten Nr. 5, 12, 21, 27, 28) gab es dazu keine Angabe (Abb. 9a). In Bezug auf die 15 Patienten, welche Veränderungen an der HMFA aufwiesen, wurden bei elf Pferden (Patienten Nr. 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15) eine Stützbeinlahmheit an der traumatisierten Extremität diagnostiziert, zwei waren an dieser Extremität lahmfrei (Patient Nr. 2 und 13) und bei zwei Patienten (Patient Nr. 5 und 12) gab es diesbezüglich keine Angaben (Abb. 9b). Von den 24 Pferden ohne besonderen Befund an der Arteria metatarsae dorsalis III, war bei 13 Pferden (Patienten Nr. 16, 18, 20, 22, 23, 26, 30, 31, 33, 36, 37, 38, 39) eine Lahmheit an der betroffenen Extremität erkennbar, acht (Patienten Nr. 17, 19, 24, 25, 29, 32, 34, 35) waren lahmfrei und bei drei (Patienten Nr. 21, 27, 28) wurde in der Krankheitsgeschichte keine Lahmheitsangabe vermerkt (Abb. 9a). Es konnte keine signifikante Korrelation zwischen Lahmheitsgrad und Veränderung der HMFA festgestellt werden (Spearman-Rho Korrelationskoeffizient $-0,239$; Sig. $0,173$).

An den Ultraschallbildern von 29 Patienten (alle Patienten außer Nr. 2, 5, 15, 21, 23, 24, 26, 27, 28, 34) konnte die Intima-Media-Dicke anhand der vorhin beschriebenen „leading edge to leading edge Methode“ vermessen werden. Unbeachtet der Körpergröße, die für viele Patienten nicht dokumentiert wurde, betrug der kleinste gemessene Wert $0,21$ mm, der größte $0,78$ mm und der Durchschnittswert aller vermessenen Stellen betrug $0,44$ mm. Bei neun Patienten (Patienten Nr. 2, 15, 21, 23, 24, 26, 27, 28, 34) lagen keine gespeicherten Bilder der Arterie im Längsverlauf vor. Bei einem Patienten (Nr. 5) wurden keine Abbildungen des Blutgefäßes mit erkennbarem Doppellinienmuster gespeichert, wodurch die Vermessung der

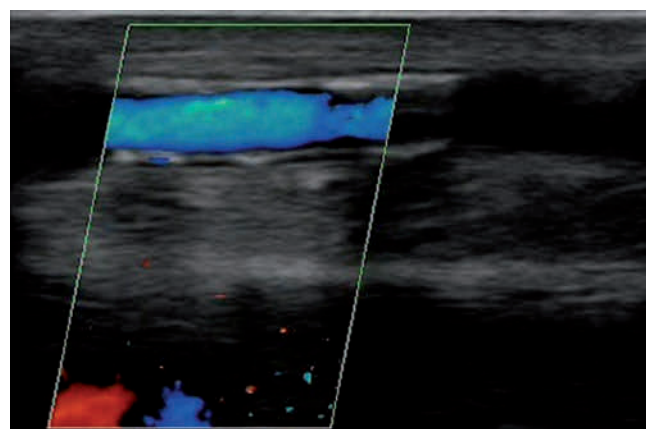


Abb. 8 Farbkodierte Ultraschalldarstellung der Arteria metatarsae dorsalis III im mittleren Drittel der von MT III und MT IV gebildeten Knochenrinne der rechten Hinterextremität des Patienten Nr. 13, aufgenommen mit einem 7,5 MHz-Linear-Schallkopf. Plaqueartige Wandauflagerungen der HMFA, im Bereich des vor mehr als zwei Jahren frakturierten und operierten lateralen Griffelbeines. | *Color coded ultrasound of the great dorsal metatarsal artery at the middle third of MT III and MT IV in the right hindlimb of case no. 13, illustrating plaque-like thickening in the arterial wall at the region of extirpation of MT IV.*

Intima-Media-Dicke bei diesen zehn Patienten nicht möglich war. Der Durchmesser konnte bei 35 Pferden (Alle Patienten außer Nr. 2, 12, 15 und 23) an mindestens einer Stelle der Arterie im Querschnitt vermessen werden. Der dabei gemessene durchschnittliche Durchmesser betrug 3,9 mm, mit dem kleinsten gemessenen Wert von 1,6 mm und dem größten Wert von 7,2 mm. Das mit diesen Durchmesserdaten berechnete Effektstärkemaß Eta-Quadrat ergab mit 0,02 lediglich einen schwachen Zusammenhang zwischen dem Durchmesser und dem Zustand der Arterie. Auch der durchgeführte Kruskal Wallis Test für die Gruppen: Gesunde HMFA/Veränderte HMFA/Thrombosierte HMFA ergab keinen signifikanten Zusammenhang zur Intima-Media-Dicke. Bei 13 Pferden (Patienten Nr. 6, 7, 9, 13, 14, 16, 17, 18, 20, 29, 30, 31, 32) lagen pro Drittel, der vom Hauptmittelfußknochen und dem lateralen Griffelbein gebildeten Rinne, mehrere Bilder der Arterie im Querschnitt vor, wodurch Durchschnittswerte für das proximale, mittlere und distale Drittel erhoben werden konnten. Unterteilt wurden diese Patienten in drei Gruppen: Gruppe 1) Patienten mit einer arteriellen Thrombose (n = 2) (Patient Nr. 6 und 7), Gruppe 2) Patienten mit anderen pathologischen Veränderungen der HMFA (n = 3) (Patienten Nr. 9, 13, 14) und Gruppe 3) Patienten ohne besonderen Veränderungen an der HMFA (n = 8) (Patienten Nr. 16, 17, 18, 20, 29, 30, 31, 32) (Tab. 3).

Diskussion

Insgesamt wurden in dieser Studie bei den sonographischen Untersuchungen der lateralen Region des Metatarsus an den betroffenen Extremitäten, bei 15 von 39 untersuchten Pferden Veränderungen an der Arteria metatarsae dorsalis III diagnostiziert. Zu diesen zählten Thrombosen, plaqueartige Wandauflagerungen, Durchmesseränderungen, Strömungsturbulenzen und periarterielle Gewebsveränderungen. Bei einem Patienten konnte die HMFA an der gesamten Länge des Hauptmittelfußknochens nicht sonographisch dargestellt werden (Abb. 9a). In diesem Fall wurde zusätzlich die kontralaterale Extremität untersucht und die Hauptmittelfußarterie war hier sowohl im Querschnitt als auch im Längsverlauf in der vom MT III und MT IV gebildeten Rinne darstellbar, jedoch wäre in diesem Fall neben der Untersuchung der kontralateralen Extremität, auch die sonographische Darstellung proximal des Tarsus an der betroffenen Extremität von Interesse gewesen. So ist nicht geklärt, ob die Arteria dorsalis pedis und Arteria tibialis cranialis ebenfalls pathologisch verändert waren.

Die in Abbildung 8 gezeigten Wandauflagerungen der Arteria metatarsae dorsalis III bei Patient Nr. 13 auf Höhe der ursprünglichen Fraktur des MT IV, entsprechen durch ihre Verbreiterung und Strukturveränderung der normalerweise echoarmen Zwischenschicht, möglicherweise flachen Plaques (Neuerburg-Heusler und Hennerici 1995). Dieser Patient zählte zu jenen Pferden, deren Trauma bereits mehr als zwei Jahre zurück lag und die Veränderung an der Arterie somit erst im Zuge einer Nachkontrolle diagnostiziert wurde. Anamnestisch wurde jedoch erhoben, dass es bei der durchgeführten Griffel-

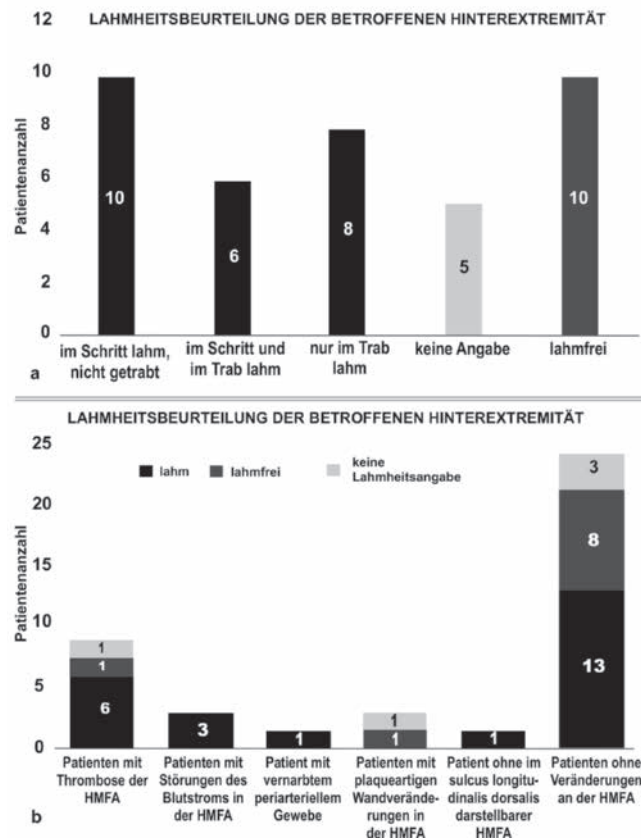


Abb. 9 Säulendiagramm als Darstellung der Lahmheitsbeurteilung der betroffenen Extremität zum Zeitpunkt der Ultraschalluntersuchung der Patienten. a) Allgemeine Beurteilung des Gangbildes aller Patienten (n = 39). b) Lahmheitsbeurteilung der Patienten (n = 39) unterteilt in Gruppen mit der jeweiligen Diagnose der Hauptmittelfußarterie. | Bar chart showing results of examination of lameness in the affected limb at the time of ultrasonographic examination. a) Overview of lameness grades found in all patients (n = 39). b) Lameness grades of all patients (n = 39), divided into groups according to changes in the dorsal metatarsal artery III

Tab. 2 Übersicht über Diagnose des Metatarsus und Zustand der Arteria metatarsae dorsalis III an der betroffenen Hinterextremität mit der jeweiligen Patientenanzahl. | Diagnosis of the metatarsus of the affected limb and condition of the great dorsal metatarsal artery with the number of patients.

Trauma lateral am Metatarsus	Anzahl der Patienten	Patientenanzahl mit einer Thrombose der Arteria metatarsae dorsalis III	Patientenanzahl mit anderen Veränderungen an der Arteria metatarsae dorsalis III	Patientenanzahl ohne besonderen Befund an der Arteria metatarsae dorsalis III
Griffelbeinfraktur	26	6	5	15
Wunde	6	2	1	3
Phlegmone	4	0	1	3
Überbein	2	0	0	2
Entzündung des Bandansatzes des Ligamentum metatarsaeum	1	0	0	1

beinexstirpation des Patienten, laut Tierbesitzer zu einer starken Blutung kam.

Dies könnte bedeuten, dass die Arteria metatarsa dorsalis III im Zuge der Operation weiteren Schaden genommen hat und es so zu plaqueartigen Wandauflagerungen im Bereich der Frakturstelle gekommen ist. Durchblutungsstörungen können in vielen Fällen Ursache eines orthopädischen Krankheitsbildes sein, wie zum Beispiel bei der Podotrochlose, der Sesamoidose oder der Insertionsdesmopathie und somit auch der Grund für eine Lahmheit beim Pferd (Urhahne 2005). Auch in dieser Studie, zeigt die Mehrzahl der Patienten mit Veränderungen der Arteria metatarsa dorsalis III eine Lahmheit an der betroffenen Extremität. Da sich die HMFA im distalen Anteil mit der Arteria metatarsa plantaris II und III und der Arteria plantaris communis II und III vereinigt, bleibt die arterielle Blutversorgung der distalen Extremität zum Großteil aber selbst bei einer Thrombose bestehen. Im Umkehrschluss kann jedoch der Grund für eine intermittierende Lahmheit bei Patienten mit einer Thrombose der HMFA an der Hinterextremität sein, dass die Blutversorgung nur bis zu einer gewissen Belastung ausreicht und bei Belastung über diese Grenze hinaus ischämische Schmerzen entstehen können, ähnlich der Symptomatik einer beginnenden peripheren arteriellen Verschlusskrankheit beim Menschen (Schumann et al. 2007).

Des Weiteren ist die mit einer Nervenschädigung einhergehende Neuritis ein wesentlicher Faktor schmerzhafter Empfindungen. Durch die Lagebeziehung der Arteria metatarsa dorsalis III zum Nervus metatarsus dorsalis III ist im Falle eines Traumas am lateralen Aspekt des Metatarsus dieses als mögliche Schmerzursache zu beachten.

Die Palpation der Hauptmittelfußarterie ist ein grundlegender und relevanter Teil der allgemeinen klinisch-orthopädischen Untersuchung (Baumgartner 2014) und ein Trauma an der distalen lateralen Hinterextremität bei Pferden ein sehr häufiger Vorstellungsgrund beim Tierarzt (Derungs et al. 2004, Owen et al. 2012). Umso überraschender ist es, dass Veränderungen beziehungsweise Mitbeschädigungen der Hauptmittelfußarterie im Zuge der Traumata so selten beschrieben sind (Elliot et al. 2012, Ahern und van Eps 2017, Ruzickova et al. 2017, Walker et al. 2017). Auch bei Betrachtung der zahlreich vorliegenden Literatur zu lateralen Griffelbeinfrakturen und deren Operationstechniken, fällt auf, dass die an der Hintergliedmaße direkt dort verlaufenden HMFA teils marginal und teils

überhaupt nicht erwähnt wird (Krieg 2001, Wienker 2004, Čalić 2011, Cillan-Garcia et al. 2018). Bei Betrachtung der Krankengeschichten, ist jedoch eine mit der Zeit steigende Sensibilität in Bezug auf die Hauptmittelfußarterie bei Pferden mit Verletzungen oder Frakturen im Bereich des lateralen Metatarsus zu erkennen. Während in den Jahren 2015 und 2016 lediglich ein Patient pro Jahr zusätzlich zu Röntgenbildern des Metatarsus auch Ultraschallbilder der Hauptmittelfußarterie aufwies, waren es 2017 bereits 6 Patienten und 2018 schon 13 (zuzüglich 8 Nachkontrollen).

Diese retrospektive Studie ist die erste Arbeit, die einen Überblick über Art und Häufigkeit von Veränderungen an der Hauptmittelfußarterie im Zuge vorangegangener Traumata lateral am Metatarsus bei Pferden gibt. Sie ist auch eine Vorlage für den Unterricht, um so der HMFA bei der klinischen Untersuchung und der bildgebenden Diagnostik in diesem Bereich mehr Aufmerksamkeit zu schenken.

Da retrospektive Arbeiten methodischen Limitationen unterliegen und die Bedingungen nicht kontrolliert sind, ist nicht sichergestellt, dass alle Veränderungen auch dokumentiert wurden. Es besteht die Möglichkeit, dass Patienten mit Veränderungen an der Arteria metatarsa dorsalis III nicht detektiert wurden. Folglich stellt die ermittelte Häufigkeit eine untere Grenze dar. Eine genauere Bestimmung bedarf einer kontrollierten prospektiven Studie, im besten Falle mit vergleichenden ultrasonographischen Untersuchungen der kontralateralen Extremitäten der Patienten, um eine genauere Aussage treffen zu können.

Literatur

- Ahern B. J., van Eps A. W. (2017) Loss of the hoof capsule in horses as a consequence of limb ischaemia. *Equine Vet. Educ.* 29, 478–480; DOI 10.1111/eve.12612
- Barber S. M., Caron J. P., Pharr J. W. (1986) Surgical removal of metacarpal/metatarsal exostoses. *Proc. Annu. Conv. Am. Ass. Eq. Pract.* 32, 371–382
- Baumgartner W. (2014) *Klinische Propädeutik der Haus- und Heimtiere*. 8. Auflage. Stuttgart: Enke, 256
- Borst S. (2019) Biomechanische Eigenschaften des distalen Abschnittes der tiefen Beugesehne bei Pferden in Beziehung zum röntgenologischen Score des Strahlbeines. *Diss. Med. Vet. München*
- Brama P. A., Rijkenhuizen A. B., van Swieten H. A. et al. (1996) Thrombosis of the aorta and the caudal arteries in the horse; Additional diagnostics and a new surgical treatment. *Vet. Quart.* 18, 85–89

Tab. 3 Durchschnittlicher Durchmesser der Patienten mit mehreren gespeicherten Ultraschallbildern der Arteria metatarsa dorsalis III im Querschnitt des proximalen, mittleren und distalen Drittels ihres Verlaufes in der von MT III und MT IV gebildeten Knochenrinne an der Hinterextremität. Unterteilt in drei Gruppen: Gruppe 1 sind Patienten mit einer Thrombose der HMFA, Gruppe 2 sind Patienten mit anderen Veränderungen an der HMFA und Gruppe 3 sind Patienten ohne besonderen Befund an der HMFA. | Table showing the average cross sectional diameter of the dorsal metatarsal artery III in proximal, middle and distal third of MT III and MT IV of patients with several images at every level only. Group 1: patients with thrombosis of the great dorsal metatarsal artery, group 2: patients with other pathological changes in the great dorsal metatarsal artery and group 3: patients without vascular damage.

Gruppe	Gruppe 1 (n = 2)	Gruppe 2 (n = 3)	Gruppe 3 (n = 8)
Durchschnittlicher HMFA Durchmesser im proximalen Drittel der Knochenrinne von MT III und MT IV	3,4 mm	3,4 mm	4,1 mm
Durchschnittlicher HMFA Durchmesser im mittleren Drittel der Knochenrinne von MT III und MT IV	3,3 mm	3,5 mm	3,8 mm
Durchschnittlicher HMFA Durchmesser im distalen Drittel der Knochenrinne von MT III und MT IV	3,3 mm	3,4 mm	3,9 mm

- Brunk J. C. (2010) Ursachen und Häufigkeiten einzelner Frakturen bei Pferden, die an eine Privatklinik in Norddeutschland überwiesen wurden. Diss. Med. Vet. Zürich
- Budras K.-D., Röck S. (2004) Atlas der Anatomie des Pferdes. Lehrbuch für Tierärzte und Studierende. 5. Auflage. Hannover: Schlütersche, 22
- Čalić G. (2011) Griffelbeinfrakturen bei Pferden: Retrospektive Studie von 2001 bis 2009. Dipl. Vet. Med. Uni. Wien
- Cillan-García E., Reardon R. J. M., Schiavo S., Fordham T., Elce Y. A. (2018) Standing repair of a proximal, incomplete, articular fracture of the third metatarsal bone. Equine Vet. Educ. DOI 10.1111/eve.12939.
- Cipone M., Pietra M., Gandini G., Boari A., Guglielmini C., Venturoli M. (1997) Pulsed wave-doppler ultrasonographic evaluation of the common carotid artery in the resting horse: physiologic data. Vet. Radiol. & Ultrasound 38 (3): 200–206; DOI 10.1111/j.1740-8261.1997.tb00841.x
- Derungs S. B., Fürst A. E., Hässig M., Auer J. A. (2004) Frequency, consequences and clinical outcome of kick injuries in horses: 256 cases (1992–2000). Wien. Tierärztl. Mschr. 91, 114–119
- Dietz O., Nagel E., Koch T. (1963) Zur Entstehung und zur Klinik der sogenannten gedeckten, distalen Griffelbeinfrakturen. Schweiz. Arch. Tierheilk. 105, 87
- Dietz O., Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan M. (2006) Hautkrankheiten. In: Dietz O., Huskamp B., Hrsg. Handbuch Pferdepraxis. Dritte Auflage. Stuttgart: Enke, 240
- Dietz O., Wiesner E. (1982) Handbuch der Pferdekrankheiten für Wissenschaft und Praxis. Teil 3: Spezieller Teil. Basel, München: Karger, 982–985
- Donati B., Fürst A. E., Hässig M., Jackson M. A. (2018) Epidemiology of fractures: the role of kick injuries in equine fractures. Equine Vet. J. 50, 580–586; DOI 10.1111/evj.12819
- Elliott C. R. B., Vasey J. R., Russell T. M. (2012) Transection of the lateral and long digital extensor tendons in racehorses. Aust Vet J. 90, 20–23; DOI 10.1111/j.1751-813.2011.00871.x
- Fricker C. H., Riek W., Hugelshofer J. (1982) Occlusion of the digital arteries – A model for pathogenesis of navicular disease. Equine Vet. J. 14, 203–207
- Hertsch B. (1983) Arteriographische Untersuchungen an den Extremitäten beim Pferd. Erste Auflage. FN Verlag der Dt. Reiterl. Vereinigung.
- Hood D. M., Grosenbaugh D. A., Mostafa M. B., Morgan J. S., Thomas B. C. (1993) The Role of Vascular Mechanisms in the Development of Acute Equine Laminitis. J. Vet. Int. Med. 7, 228–234
- Hupp L., Allenberg J. R. (1997) Traumatische Gefäßverletzungen. In: Durst J., Hrsg. Traumatologische Praxis: in einem Band; Standards in Diagnostik und Therapie für alle Fachgebiete; mit 91 Tabellen. Stuttgart; New York: Schattauer, 319–326.
- Jackson M., Fürst A., Hässig M., Auer J. (2007) Splint bone fracture in the horse: a retrospective study 1992–2001. Equine Vet. Educ. 19, 329–335; DOI 10.2746/095777307X207169
- Jenson P. W., Gaughan J. D., Lillich J. D., Bryant J. E. (2003) Splint bone disorders in horses. Compend. Contin. Educ. Pract. Vet. 25, 383–388
- König H. E., Liebich H. G. (2012) Anatomie der Haussäugetiere, Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis. fünfte Aufl. Stuttgart: Schattauer, 461
- König T., Jackson M., Auer J. A. (2008) Komplikation bei einem Pferd nach partieller Griffelbeinresektion mittels oszillierender Knochen-säge. Pferdeheilkunde 24, 784–788; DOI 10.5167/uzh-13179G
- Krieg C. (2001) Untersuchung zur Ätiologie und Pathogenese der gedeckten, distalen Griffelbeinfraktur des Pferdes. Diss. Med. Vet Berlin
- Lescun T. B. (2015) Equine fractures: The importance of the soft tissues. Equine Vet. Educ. 27, 71–74; DOI 10.1111/eve.12284
- Mense Y. B. (2008) Angiographische Untersuchungen hämodynamischer Auswirkungen an herznahen Gefäßen bei Pferden mit Pneumopathien. Diss. Med. Vet. Berlin.
- Neuerburg-Heusler D., Hennerici M. (1995) Gefäßdiagnostik mit Ultraschall: Doppler- und farbkodierte Duplexsonographie der großen Körperarterien und -venen. Zweite Auflage. Stuttgart, New York: Thieme, 86
- Owen K. R., Singer E. R., Clegg P. D., Ireland J. L., Pinchbeck G. L. (2012) Identification of risk factors for traumatic injury in the general horse population of north-west England, Midlands and north Wales. Equine Vet. J. 44, 143–148; DOI 10.1111/j.2042-3306.2011.00387
- Pignoli P., Tremoli E., Poli A., Oreste P., Paoletti R. (1986) Intimal plus medial thickness of the arterial wall: a direct measurement with ultrasound imaging. Circulation 74, 1399–1406; DOI 10.1161/01.cir.74.6.1399
- Pirzer R. (2017) Intima-Media-Dicke und Intima-Media-Rauheit bei oberbayrischen Kindern und Jugendlichen: neue Referenzwerte und Zusammenhang mit anthropometrischen Risikofaktoren sowie sportlicher Ausdauer. Diss. Med. Vet. München
- Richter W. (2006) Krankheiten am Mittelfuß. In: Dietz O., Huskamp B., Hrsg. Handbuch Pferdepraxis. Dritte Auflage. Stuttgart: Enke, 924
- Richter W., Schneider H. J., Dietz O. (1999) Krankheiten am Mittelfuß. In: Dietz O., Huskamp B., Hrsg. Handbuch Pferdepraxis. Zweite Auflage. Stuttgart: Enke, 861–877
- Ruzickova P., Trencart P., Lavery S. (2017) Spontaneous hoof capsule loss following lacerations of the equine distal limb. Equine Vet. Educ. 29, 472–477; DOI 10.1111/eve.12597
- Schumann R., Rieger J., Ludwig, M. (2007) Akute periphere arterielle Verschlusskrankheit. Med. Klin. 102, 457–471 <https://doi.org/10.1007/s00063-007-1059-7>
- Stashak T. S. (1989) Lahmheit. In: Stashak T. S., Hrsg. Adams' Lahmheit bei Pferden. Vierte Auflage. Hannover: Schaper, 486–785.
- Stashak T. S. (2002) Fractures of the small metacarpal and metatarsal splint bones. In: Adams Lameness in Horses. Fünfte Aufl. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 821–826
- Stashak T. S. (2008) Lahmheit. In Stashak T. S., Hrsg. Adam's Lahmheit bei Pferden. Vierte Aufl. Hannover: M. & H. Shaper GmbH, 501
- Stashak T. S., Wissdorf H., Hrsg. (2008) Adam's Lahmheit bei Pferden. Vierte Aufl. Hannover: M. & H. Shaper GmbH, 42
- Strauss A. L. (2013) Farbduplexsonographie der Arterien und Venen: Atlas und Leitfaden. Zweite illustrierte Auflage. Berlin: Springer, 24
- Terwey B., Gahbauer H., Montemayor M., Prousalis A., Zoellner G. (1984) Die B Bild-Sonographie der Karotisbifurkation. Ultraschall Med. 5, 190–201; DOI 10.1055/s-2007-1010259
- Thiebaud G., Hermann M., Flückiger M. (1989) Thrombose der Aorta und der Arteriae iliacae internae Überprüfung der Wirksamkeit einer Langzeittherapie mit Marcoumar an Hand von Gerinnungstests und Ultraschalluntersuchungen. Pferdeheilkunde 5, 147–151; DOI 10.21836/PEM19890303
- Urhahne P. (2005) Klinische Studie zur Behandlung häufiger Erkrankungen des Bewegungsapparates des Pferdes mittels fokussierter extrakorporaler Stoßwellentherapie (ESWT). Diss. Med. Vet. München
- van Eps A. W., Burns T. A. (2019) Are there Shared Mechanisms in the Pathophysiology of different Clinical Forms of Laminitis and What Are the Implications for Prevention and Treatment. Vet. Clin. North Am. Equine Pract. 35, 379–398; DOI 10.1016/j.cveq.2019.04.001
- Verschooten F., Gasthuys F., De Moor A. (1984) Distal splint bone fractures in the horse: An experimental and clinical study. Equine Vet. J. 16, 532–536; DOI 10.1111/j.2042-3306.1984.tb02011.x
- Vollmar J. (1996) Rekonstruktive Chirurgie der Arterien. Vierte Auflage. Stuttgart New York: Thieme, 454
- Walker W. T., Ducharme N. G., Tran J., Scrivani P. V. (2017) Non-selective computed tomography angiography for detecting arterial blood flow to the distal limb following trauma in two small equids. Equine Vet. Educ. 29, 15–21; DOI 10.1111/eve.12227
- White N. A., Schramme M. C. (1999) Second and fourth metacarpal and metatarsal fractures. In: Colahan P. T., Merritt A. M., Moore J. N., Mayhew I. G., Hrsg. Equine medicine and surgery. Fünfte Auflage. St. Louis, Baltimore: Mosby, 1594–1604
- Widder B. (2004) Doppler- und Duplexsonographie der hirnversorgenden Arterien. Fünfte Auflage. Berlin: Springer, 206, 207
- Wienker I. (2004) Vergleichende Studie zu unterschiedlichen Operationstechniken bei Frakturen und Exostosen am Griffelbein des Pferdes. Diss. Med. Vet. Hannover
- Wright I. M., Dyson S. J., Kannegieter N. (1998) The locomotor system. In: Higgins A. J., Wright I. M., Hrsg. The equine manual. London, Philadelphia: Saunders, 811–833