

Arteriovenöse Koppelung im Zehenendorgan des Pferdes

Horst E. König¹, Alexandru Popescu², Eva Polsterer-Heindl¹ und Christine Hinterhofer³

Institut für Anatomie der Veterinärmedizinischen Universität Wien¹, Lehrstuhl für Anatomie, Histologie und Embryologie der Fakultät für Tierzucht der Universität für Agrarwissenschaften und Veterinärmedizin Bukarest² und Klinik für Orthopädie bei Huf- und Klauentieren der Veterinärmedizinischen Universität Wien³

Zusammenfassung

Anhand von Gefäßkorrosionspräparaten und von plastinierten Schnitten wurde die Gefäßversorgung des Zehenendorgans beim Pferd untersucht. Es wurde festgestellt, dass der Arcus terminalis im Inneren des Canalis solearis der Phalanx distalis von zwei Venen begleitet wird, die mit der dazwischen gelegenen Arterie gekoppelt sind. Aus dem terminalen Gefäßbogen entspringen 4-5 distal gerichtete und zwei proximal verlaufende Arterien. Diese durchziehen das Hufbein, um an seiner Oberfläche die Lederhaut zu versorgen. Dem Arcus terminalis und den damit gekoppelten Venen wird eine zirkulationfördernde Wirkung zugeschrieben.

Schlüsselwörter: Anatomie, Pferd, Arcus terminalis, Blutzirkulation, Zehenendorgan.

The Arcus terminalis in the digit of the horse

Vascular corrosion casts and plastinated slices were used for examining the vascular supply of the digit in the horse. It was shown that two veins attend the artery of the arcus terminalis inside the canalis solearis of the distal phalanx. The two veins are coupled with the corresponding artery in between them. Four to five arteries with a distal course and two arteries with a proximal course originate from the terminal vascular arch. These vessels run through the phalanx distalis towards its surface where they supply the corium. The terminal arch and its coupled veins are said to have a circulatory promoting effect.

Keywords: Anatomy, horse, arcus terminalis, blood circulation, digit

Einleitung und Literatur

Die zunehmende Bedeutung des Pferdes für Reit- und Freizeitbeschäftigung ist im Wachsen begriffen. Die Tiere als Freunde des Menschen haben sowohl einen hohen ideellen als auch materiellen Wert. Der Tierarzt ist gefordert neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu berücksichtigen, um vor den besonders gut informierten Pferdebesitzern bestehen zu können. Die wissenschaftlichen Untersuchungen auch zur Anatomie des Zehenendorgans haben in den letzten Jahren zugenommen (Budras und König 2002). Ein Pferd, dessen Hufe nicht beste Hornqualität besitzt, verliert an Wert. Die Gefäßversorgung der Zehe und der Huflederhaut, die diesbezüglich besonders wichtig sind, wurden öfter untersucht (Schummer 1949 und 1951, Hertsch 1983). Die Bedeutung der Venenplexus an den Hufknorpeln für die Blutzirkulation ist ebenfalls bekannt (Cotofan 2000, König et al. 2003). Die Rolle des Strahls und des darüber liegenden Hufkissens waren ebenfalls unlängst Gegenstand von Untersuchungen (Böck et al. 2001). Wenig Beachtung wurde allerdings bislang dem Arcus terminalis geschenkt. Seine Äste, die durch das Hufbein an die Knochenoberfläche ziehen, dienen dort der Versorgung der Lederhaut. Gemeinsam mit den parallel verlaufenden Venen haben die Arterien und die Lage der Gefäße zueinander ganz wesentliche Bedeutung für die Aufrechterhaltung der Blutzirkulation und der Wärmeregulation des Zehenendorgans

Material und Methodik

Von 19 Zehenendorganen von Pferden, deren Hufe nicht erkrankt waren und die aus anderen zwingenden Gründen an der Veterinärmedizinischen Universität Wien euthanasiert wurden, konnten die Blutgefäße mit Tensolciment (Bugge 1963) injiziert werden. Zehn Zehenendorgane waren von der Vordergliedmaße, neun stammten von der Beckengliedmaße. Von einem Zehenendorgan der Vordergliedmaße und von einem der Beckengliedmaße wurden ein Zentimeter dicke Frontalschnitte in tiefgefrorenem Zustand hergestellt und mit der S-10 Methode plastiniert (Hagens 1985). Ein anderer 8 mm dicker Horizontalschnitt, hergestellt in Höhe des Arcus terminalis, wurde ebenfalls nach der gleichen Methode plastiniert.

Die Gefäßkorrosionspräparate wurden nach Aushärtung des Methylmetacrilates in 40%-iger Kalilauge bei Zimmertemperatur mazeriert. Der Mazerationsvorgang dauerte 3 Wochen. Dann wurden die Präparate kurz in warmem Wasser gewaschen und anschließend für zwei Tage in 10%-ige Salzsäure gelegt. Nachdem letzte Knochenreste entfernt waren, konnten die Präparate ausgewertet werden. Die nicht mit Salzsäure behandelten Präparate wurden, nach dem Waschen in warmem Wasser, getrocknet und anschließend wurden die Ausgüsse der injizierten Blutgefäße durch vorsichtiges Entfernen des durch die Kalilauge porös gewordenen Knochens darge-

stellt. Die Präparate wurden mit einer Leica R 6 und mit einer Lupe M 10 der Firma Wild, Heerbrugg, Schweiz fotografiert

Ergebnis

Im Bereich der Gliedmaßen sind arteriovenöse Koppelungen, neben den Venenklappen, für den Rückfluss des Blutes zum Herzen von großer Bedeutung und gehören zum Basiswissen des Studiums in vorklinischen Semestern. Im Bereich der Gliedmaßenspitze gibt es dazu allerdings kaum Überlegungen.

Die Blutgefäßversorgung des Zehenendorganes erfolgt durch die beiden Digitalarterien, A. digitalis palmaris bzw. plantaris lateralis und medialis. In Höhe des Kronbeins wird auf jeder Seite, d.h. medial und lateral je ein Ast für die Versorgung des Ballens, R. tori digitalis, entlassen. Dieser Ramus verzweigt sich in einen lateralen und einen medialen Zweig. Anschließend entlässt die A. digitalis die A. coronalis, die die Lederhaut des Saum- und des Kronsegmentes vaskularisiert. Etwas weiter distal wird aus der A. digitalis palmaris die A. dorsalis phalangis mediae entlassen. Sie verläuft unter der Sehne des M. extensor digitorum communis (longus) und anastomosiert mit der entsprechenden der anderen Seite. In gleicher Höhe entspringt zudem die A. digitalis palmaris phalangis mediae, die ebenfalls mit der Arterie der gegenüberliegenden Seite eine Anastomose eingeht. In Höhe des Processus palmaris des Hufbeins entspringt anschließend aus der A. digitalis der R. dorsalis phalangis distalis, welcher sich kurz danach in einen lateralen und einen medialen Ast aufspaltet. Anschließend verläuft die A. digitalis palmaris zum Foramen soleare. Vor ihrem Eintritt in das Sohlenloch entspringt ein Querast welcher wiederum mit dem der gegenüberliegenden Seite am Distalrand des Strahlbeins anastomosiert. Meist ist diese Querverbindung doppelt angelegt.

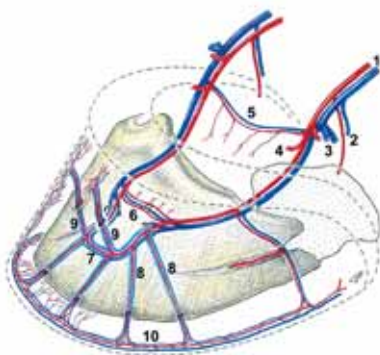


Abb. 1 Wichtige Blutgefäße im Zehenendorgan des Pferdes. Dorsolaterale Ansicht. 1 A. u. V. digitalis palmaris, 2 R. tori digitalis, 3 A. u. V. coronalis, 4 A. dorsalis phalangis mediae, 5 A. palmaris phalangis mediae, 6 Querast, 7 Arcus terminalis, 8 distale Äste des Arcus terminalis, 9 proximale Äste des Arcus terminalis, 10 A. u. V. marginis solearis
Important blood vessels of the equine digit, dorsolateral view. 1 palmar digital artery and vein, 2 artery to digital cushion, 3 coronal artery and vein, 4 dorsal artery of middle phalanx, 5 palmar artery of middle phalanx, 6 proximal collateral arch, 7 terminal arch, 8 distal branches from the terminal arch, 9 proximal branches from the terminal arch, 10 marginal artery and vein of the sole

Das Foramen soleare stellt den Beginn des Canalis solearis dar, wohin die A. digitalis palmaris eindringt und wo sie den Namen Arcus terminalis führt, da sie sich mit der Arterie der gegenüberliegenden Seite bogenförmig verbindet. Den Arcus terminalis verlassen 4-5 Arterien in Richtung Margo solearis, zwei andere verlaufen dorsal. Die distal verlaufenden Arterien durchziehen Gefäßkanäle der Phalanx distalis und verbinden sich am Margo solearis zur A. marginis solearis. Die dorsal verlaufenden Äste ziehen ebenfalls durch knöcherne Gefäßkanäle und erreichen die Oberfläche des Hufbeins in dessen mittlerem Drittel. Hier verzweigen sie sich in der tiefen Schicht der Lederhaut.

Die Venen des Zehenendorgans verlaufen meist arterienparallel und führen die gleichen Namen. Die Venenplexus der Hufknorpel haben keine arteriellen Begleitgefäße. Im Inneren des Hufbeins ist die Lage der Arterien zu den Venen dahingehend anders, dass jede Arterie von je zwei Satellitenvenen begleitet wird. In einer ähnlichen Lage befindet sich auch die Arterie, die in Höhe des Strahlbeins als Querast zwischen den beiden Zehenarterien verläuft. Die A. marginis solearis entsteht aus arkadenförmig miteinander anastomosierenden Ästen des Arcus terminalis, die das Hufbein durchziehen. Sowohl diese Äste des Arcus terminalis als auch die A. marginis solearis werden von zwei Venen begleitet

Diskussion

Arteriovenöse Koppelungen sind für die Blutzirkulation besonders wichtig. Vor allem im Bereich der Gliedmaßen muss das venöse Blut die Gravitation überwinden, um wieder zum Herzen zu gelangen. Die Pulsquelle, aber auch die benachbart agierende Muskulatur in Verbindung mit den Venenklappen erleichtern diesen Blutfluss (Spörrli 1987). Im Zehenendorgan ist vor allem die Lederhaut sehr stark vaskularisiert. Störungen der Feinversorgung in diesem

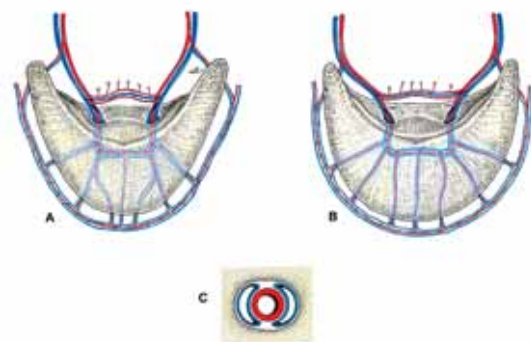


Abb. 2 Wichtige Blutgefäße am Zehenendorgan des Pferdes, A Plantare Ansicht, B Palmare Ansicht, C Schnitt durch den Canalis solearis mit inliegendem Arcus terminalis
Important blood vessels of the equine digit, A plantar view, B palmar view, C section of the semilunar (solar) canal with terminal arch

Bereich treten vor allem im Falle der Hufrehe auf (Hertsch 1983). An der Oberfläche des Hufbeins selbst gibt es feine Blutgefäße lediglich im Bereich des Periosteum. Knochenhaut gibt es allerdings nur dort, wo das Hufbein selbst nicht von Knorpel überzogen ist, beispielsweise in den Tälern zwischen den Insertionszonen des Hufbeinträgers (Budras et al. 1997).

Die großen Blutgefäße des Zehenendorgans liegen im Inneren des Hufbeins, im hier gelegenen Hufbeinkanal (Canalis solearis). Sie werden dadurch vor Druck und Zugkräften, die am Huf während der Lokomotion auftreten, geschützt.

Der Blutzirkulation im Zehenendorgan wurde seit jeher große Bedeutung zugemessen, allerdings wurden hierbei vor allem den Strukturen rund um das Hufbein, wie den Hufknorpeln, dem Strahl und dem Hufkissen eine Funktion zugeordnet (Budras und Röck 2000, Cotofan 2000, Ruberte et al. 2001, Pollitt 1999, Böck et al. 2001, König et al. 2003 und Wissdorf et al. 2002). Die Blutzirkulation wird dabei vor allem von der Elastizität der erwähnten Strukturen während der Bewegung in Gang gehalten. Man weiß allerdings, dass auch während der Ruhe und im Stand die Blutzirkulation im Zehenbereich sehr intensiv ist. Tiere, die in polaren Gebieten gehalten werden, zeigen bis zu -42° keine Erfrierungen an den Hufen. Nach Pollitt (1999) ist diese Tatsache dem Umstand zu verdanken, dass sich in diesem Fall im Bereich

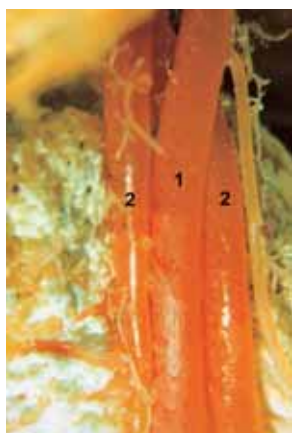


Abb. 3 Arcus terminalis in Höhe des Foramen soleare, Korrosionspräparat. 1 arterieller, 2 venöser Teil des Arcus terminalis
Terminal arch at the solar foramen, corrosion specimen, 1 arterial part of terminal arch, venous part of terminal arch

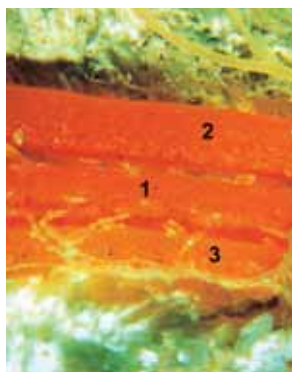


Abb. 4 Arcus terminalis am Scheitel des Canalis solearis
1 arterieller, 2 venöser Teil des Arcus terminalis
Terminal arch at the tip of the solar canal, 1 arterial part of terminal arch, 2 venous part of terminal arch

der Lederhaut viele arteriovenöse Anastomosen öffnen. Die Blutzirkulation würde sich dabei beschleunigen. Bis heute wurde allerdings den Begleitvenen im Hufbein hierbei keinerlei Bedeutung zugemessen. Für gewöhnlich wird ein arterieller Arcus terminalis, der von einem venösen parallel verlaufenden begleitet wird, beschrieben. Habermehl (1996) ist der einzige Autor, der im Falle des venösen Arcus terminalis erwähnt, dass dieser eine Plexusform besitzt und die Arterie

umgibt. Anhand von Korrosionspräparaten konnte aber im Rahmen dieser Untersuchung gezeigt werden, dass der venöse Arcus terminalis aus zwei Venen besteht, die eng benachbart mit dem arteriellen Abschnitt verlaufen. Eine der Venen verläuft innen, die andere außen an der Arterie. Wenn nun berücksichtigt wird, dass sich innerhalb des Canalis solearis außer dem arteriellen Arcus terminalis und den beiden Venen keine anderen elastischen oder beweglichen Strukturen befinden, die den Blutfluss beeinflussen können, so wird klar, dass nur der arterielle Puls hier als permanenter Motor die venöse Zirkulation beeinflussen kann. Während die Pulswelle vom Foramen soleare ausgehend zum Scheitelpunkt des Arcus terminalis durch den Canalis solearis läuft, drückt die Arterie auf die beiden Venen, die im knöchernen Kanal nicht ausweichen können und das venöse Blut wird Richtung Foramen soleare gepresst. Im Inneren des Canalis solearis gibt es an den Venen keine Klappen, so dass das Blut sowohl in Richtung zum lateralen als auch zum medialen Sohlenloch fließen



Abb. 5 Horizontalschnitt durch das Zehenendorgan. Plastinierteres Präparat. 1 Hufbein, 2 Canalis solearis, 3 Lederhaut mit Blättchen, 4 Wandteil der Hufkapsel, 5 Ast des Arcus terminalis für die Wandlederhaut
Horizontal section of an equine digit, plastified specimen, 1 distal phalanx, 2 solar canal, 3 corial and epidermal laminae, 4 dorsal hoof wall, 5 branch from terminal arch for corial laminae

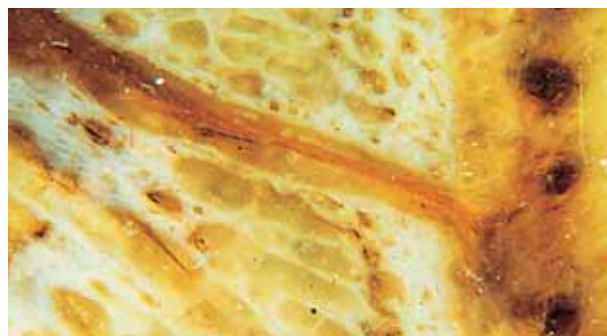


Abb. 6 Ausschnitt aus Bild 5 - Verlauf einer Arterie aus dem Canalis solearis durch das Hufbein zur Wandlederhaut. Die Arterie wird von zwei Venen begleitet.
Section of Fig. 5. Arterial branch leaving the solar canal through the distal phalanx to the corial laminae, accompanied by two veins

kann. Zwischen zwei Pulswellen nimmt der venöse Arcus terminalis das Blut aus den beiden arterienparallelen venösen Dorsalästen und den 4-5 Distalästen auf. Nach dem Austritt aus dem Canalis solearis besitzen die Venen Klappen, so dass das venöse Blut nicht mehr in den Arcus terminalis zurückfließen kann. In ihrem proximalen Verlauf, ab dem Foramen soleare in Richtung zu den Zehenvenen, wird die Blutzirkulation im Inneren der Hufkapsel von elastischen Strukturen

beeinflusst. Dieses geschieht vor allem während der Bewegung der Tiere. Im Stand und während der Ruhe wird die Blutzirkulation im Hufbereich lediglich durch die besondere arteriovenöse Koppelung des Arcus terminalis im Canalis solearis aktiviert.

Die zweite wichtige Funktion dieser Parallelverläufe, besonders auch im Bereich der A. marginis solearis und ihrer beiden Begleitvenen, findet sich in der thermodynamischen Anforderung eines der Umgebung ausgesetzten, sich weit vom Körperkern befindlichen Extremitätenendes. Die sensiblen Strukturen des Hufes sind von der außerordentlich widerstandsfähigen Hornkapsel umgeben, deren Material Hufhorn sich auch durch extrem schlechte Wärmeleitfähigkeit auszeichnet. Das Aufbrennen eines heißen Hufeisens ist ebenso möglich wie das stundenlange Stehen auf Eis und Schnee, ohne dass die Weichteile Schaden nehmen. Trotz allem erfolgt durch den Kontakt mit kalter Umgebung mit der Zeit eine Abkühlung der Hornsubstanz und somit auch der darunterliegenden Weichteile, insbesondere der Lederhaut und der darin verlaufenden Blutgefäße. Unter den größeren Gefäßen haben die Blutgefäße entlang des Tragrandes des Hufbeins den intensivsten Kontakt mit der Umgebungstemperatur. Diese liegen proximal der Verbindung zwischen Hornwand und Hornsohle und haben somit den geringsten Abstand zur Außenwelt. Analog zu dem in der Vogelwelt (Scheunert und Trautmann 1987) und auch in der Humanphysiologie für Körperakren (Silbernagel und Depopoulos 1991) beschriebenen Wärmeaustauschprinzip benachbarter Blutgefäße, bilden die beiden Parallelvenen der größeren Arterien des Zehenendorgans des Pferdes intensive Verbindungen aus, die die thermische Austauschfläche zwischen arteriellem Blut und venösem Blut maximal vergrößern. Somit wird das von der Umgebung abgekühlte Blut schnellstmöglich angewärmt, um mit einer höheren Temperatur Richtung Körperkern zurückzufließen. Gleichmaßen wird das arterielle Blut schon während seines Verlaufs in Richtung Zehenspitze graduell abgekühlt, um den Wärmeverlust so gering wie möglich zu halten. Pferdehufe halten so auch bei sehr niedrigen Umgebungstemperaturen und bei ständigem Kontakt mit Schnee und Eis eine Durchschnittstemperatur von unter 0° außen an der Hufwand und nur geringfügig mehr im Bereich der Sohle. Unter der „wärmeren“ Hufsohle schmilzt der Schnee ansatzweise bei längerem Kontakt, Eis und Schnee an der Hufwand bleiben in diesem Aggregatzustand erhalten.

Literatur

Böck P., Helmreich M. und König H.E. (2001): Myxoid tissue in the horse digital cushions. *Lucrari stiintifice*, Vol. 44 (3) Fascicula I, Editura „Ion Ionescu de la Brad“ Iasi, 8-11

- Budras K.-D., Bragulla H., Pellmann R. und Reese S. (1997): Das Hufbein mit Periost und Insertionszone des Hufbeinträgers. *Wien. Tierärztl. Mschr.* 84, 241-247
- Budras K.-D. und König H.E. (2002): Huf (Ungula) des Pferdes. In *Anatomie der Haussäugetiere Bd.II König, H.E. und Liebich, H.-G.* (Hrsg.) 2. Aufl., Schattauer, Stuttgart New York 365-374
- Budras K.-D. und Röck S. (2000): *Atlas der Anatomie des Pferdes.* 4. Aufl. Schlütersche, Hannover, 2-12
- Bugge J. (1963): A standardized plastic injection for anatomical purposes. *Acta anat.* 54, 177-192
- Cotofan V. (2000): *Anatomia animalelor domestice.* Vol. III. Orizonturi Universitare Timisoara. 305-311
- Habermehl K.-H. (1996): Zehenendorgan des Pferdes. In: Nickel, R., Schummer, A., Seiferle, E. Hrsg. *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere.* Bd. III, 3. Aufl. Parey Buchverlag, Berlin, 557-571
- Hagens G. v. (1985): Heidelbergger Plastinations Folder, Collection of all technical leaflets for plastination. *Anatom. Institut 1. Univ. Heidelberg.* Heidelberg
- Hertsch B.-W. (1983): Arteriographische Untersuchungen an den Extremitäten beim Pferd. *Habilitationsschrift.* FN-Verlag Warendorf
- König H.E., R. Macher, E. Polsterer-Heindl, C.-M. Sora, Ch. Hinterhofer, M. Helmreich und P. Böck (2003): Stoßbrechende Einrichtungen am Zehenendorgan des Pferdes. *Wien. Tierärztl. Mschr.* (im Druck)
- Pollitt C. (1999): *Farbatlas Huf – Anatomie und Klinik.* Schlütersche, Hannover, S. 7-45
- Ruberte J., Carretero A., Navarro M., Böck P. und König H.E. (2001): Vaskularisation der Synovialmembran des Hufgelenks. *Tierärztl. Prax.* 29 (G) 101-107
- Scheunert A. und Trautmann A. (1987): *Lehrbuch der Veterinärphysiologie.* 7. Aufl. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, 147-150
- Schummer A. (1949): Zirkulationsfördernde Einrichtungen am Zehenendorgan des Pferdes. *Dtsch. Tierärztl. Wschr.* 56, 36-38
- Schummer A. (1951): Blutgefäße und Zirkulationsverhältnisse im Zehenendorgan des Pferdes. *Morph. Jb.* 91, 568-649
- Silbernagel S. und Depopoulos A. (1991): *Taschenatlas der Physiologie.* 4. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 134-135
- Spörri H. (1987): Blutkreislauf, In: Scheunert, A und Trautmann A. *Lehrbuch der Veterinär-Physiologie,* Hrsg. Wittke, G., 7. Aufl. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, 282
- Wissdorf H., Otto B., Hertsch B. und Keller H. (2002): Hufbereich. In: *Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes.* 2. Aufl. Hrsg. Wissdorf, H., Gerhards, H., Huskamp, B. und Deegen, E. Schaper Alfeld-Hannover, 365-393

Prof. Dr. Dr. h.c. Horst Erich König
 Institut für Anatomie
 Veterinärmedizinische Universität Wien
 Veterinärplatz 1 A-1210 Wien
 Horst.Koenig@vu-wien.ac.at