

Auswirkungen von Kompressionsbandagen und einer Hartschalengamasche auf den Anpressdruck und den Lymphfluss an der distalen Gliedmaße des Pferdes

Annika Mottl¹, Anna-Katarina Schilling^{2,3}, Walter Brehm¹ und Claudia Gittel^{1,4}

¹ Klinik für Pferde, Veterinärmedizinische Fakultät, Universität Leipzig

² Julius Zorn GmbH, Aichach

³ Royal (Dick) School of Veterinary Studies/Roslin Institute, University of Edinburgh

⁴ Queen's Veterinary School Hospital, University of Cambridge

Zusammenfassung: Bei Pferden kommt es häufig zur Entwicklung von Ödemen an der distalen Gliedmaße. Zur Reduktion dieser werden üblicherweise Stallbandagen angelegt. Ziel dieser prospektiven, randomisierten und kontrollierten Studie war es, durch indirekte Lymphangiographie den Lymphabfluss an der distalen Gliedmaße unter Einfluss von zwei verschiedenen Kompressionsbandagen aus elastischem Gestrick darzustellen. Zeitgleiche Druckmessungen am Pferdebein sollten den Anpressdruck an 16 verschiedenen Messorten quantifizieren. Vergleichend wurde den Kompressionsbandagen eine handelsübliche im Sport eingesetzte Hartschalengamasche aus Kunststoff mit Neopren-Innenfutter gegenübergestellt. Die Untersuchung fand an fünf Warmblutpferden statt. Das Anlegen der Bandagen und der Hartschalengamasche sowie die Positionierung der Drucksensoren wurde standardisiert durch dieselbe Person durchgeführt. Unter Sedation wurde am lateralen Kronsaum intrakutan jodhaltiges Kontrastmittel injiziert. Röntgenaufnahmen fanden nativ jeweils vor dem Anlegen der Kompressionsbandagen und 10 min danach statt. Zeitgleich erfolgte die Druckmessung in einer Frequenz von 1 Hz über einen Zeitraum von mindestens 60 s. Mittels der durchgeführten indirekten Lymphangiographie konnten bei allen Pferden die Lymphgefäße vom Kronsaum bis zum proximalen Rand des Metakarpus dargestellt werden. Bei keinem der Pferde konnte eine Unterbrechung des Lymphflusses durch einen der drei Gliedmaßenschoner hervorgerufen werden, wobei bei vier Pferden die Lymphgefäße einen mäanderförmigen Verlauf aufwiesen. Hinsichtlich der Druckmessung unterschieden sich bei gleichzeitiger Betrachtung aller Druckpunkte die beiden Kompressionsbandagen nicht voneinander, wiesen aber jeweils signifikant höhere Werte im Vergleich zur Hartschalengamasche auf ($p < 0,001$). Die Verteilung des Drucks ist hierbei unter den Kompressionsbandagen im Vergleich zu der Hartschalengamasche deutlich gleichmäßiger. Bei den Kompressionsbandagen konnte in 91,3% (EquiCrown® fit) und in 88,8% (EquiCrown® active) der Messpunkte ein Druck über 30 mmHg erzeugt werden. Der zumeist über 30 mmHg gemessene Druck erreicht hiermit einen Wert, der beim Menschen als adäquat zur Reduzierung von Ödemen an der Gliedmaße angenommen wird. Es kann daher angenommen werden, dass die Kompressionsbandagen den Lymphfluss an der distalen Gliedmaße nicht unterbrechen und zu einer Reduzierung von Ödemen an der distalen Gliedmaße beitragen können. Eine quantitative Verbesserung des Lymphflusses und der Einfluss der Bewegung konnte aus den Ergebnissen dieser Studie nicht geklärt werden.

Schlüsselwörter: Lymphfluss, Lymphdrainage, Lymphangiographie, Kompressionsbandage, Druck

Effects of compression bandages and a protection boot on sub-bandage pressure and lymph flow on the distal equine limb

Horses on box rest or with reduced mobility after injuries often suffer from distal limb oedema. It also occurs in aged horses with chronic limb diseases. Polo wraps are commonly used to avoid oedema, however a disruption of lymph flow by tightly applied bandages might occur. In this prospective, randomised, experimental study the effect of two elastic compression bandages made of knitted fabric (EquiCrown® active ("active") and EquiCrown® fit ("fit")) on lymph flow and sub-bandage pressure was investigated. In comparison, a standard protection boot made of a hard shell and neoprene lining, commonly used during workout, was also included. In five warmblood research horses without forelimb disease, all three bandage types were randomly applied. Compression bandage application was always done by the same person. A period of 5 minutes for acclimatisation was maintained between bandage changes. For each bandage type lymph flow and sub-bandage pressure was assessed. To visualize lymph flow, indirect lymphangiography was performed under sedation. Briefly, after intracutaneous bolus injection of iodinated contrast agent at the coronary band, lateromedial radiographs of the respective distal forelimb were taken before and 10 minutes after bandage application. Radiographs were assessed for consistent visible lymphatic vessels (yes/no). On the contralateral limb, 16 pressure sensors were placed underneath the bandage on predetermined localisations (four rows with one sensor at the dorsal, lateral, palmar and medial aspect, respectively) to measure sub-bandage pressure. Data was collected over a minimum of 60 seconds with a frequency of 1 Hz. Parameters were post-hoc analysed for mean pressures, peak pressures and distribution of pressure over the distal limb by descriptive statistics and non-parametric tests (Wilcoxon signed-rank test) for comparison within each individual (significance was set at $p < 0.05$). Continuous distal limb lymph flow was visible on the distal limb in all three bandage types (compression bandages "active" and "fit", standard protection boot). Meander-shaped lymph vessel course were found in four out of five horses. Total pressure on the distal limb (accumulated pressures of all 16 sensors) did not differ between both compression bandages. Compared with the protection boot, pressure was significantly higher beneath the compression bandages ($p < 0,001$) with a more homogeneous distribution of the pressure. In 91.3% (compression bandage "fit") and 88.8% (compression bandage "active") sub-bandage pressure was higher than 30 mmHg, and in 66.3% ("fit") und 60.0% ("active") lower than 70 mmHg. This range (30–70 mmHg) is considered to be effective in humans to reduce limb oedema. The median pressure was 50.6 mmHg (interquartile range 23.4 mmHg "fit")/55.3 mmHg (IQR 32.8 mmHg "active") on the dorsal, 48.3 mmHg (IQR 19.0 mmHg "fit")/39.9 mmHg (IQR 29.8 mmHg "active") on the lateral, 49.7 mmHg (IQR 93.3 mmHg "fit")/51.6 mmHg (IQR 57.9 mmHg "active") on the medial, and 130.7 mmHg (IQR 117.5 mmHg "fit")/133.1 mmHg (IQR 147.0 mmHg "active") on the palmar aspect of the limb. The anatomical

position of the flexor tendons on the palmar aspect might contribute to the higher pressures obtained in this area due to smaller contact zone with the bandages. In conclusion, compression bandages maintained a continuous lymph flow on the distal limb and did not disrupt circulation of applied contrast media. Moreover, an almost equal distribution of sub-bandage pressure was present underneath the compression bandages and might contribute to oedema reduction. Whether these types of bandages improve lymph flow on the distal limb could not be translated from our results. Furthermore, the effect of these bandages on lymph flow and pressure during motion and during workout need to be investigated in further studies.

Keywords: lymph flow, lymphatic drainage, lymphangiography, compression bandage, pressure

Zitation: Mottl A., Schilling A.-K., Brehm W., Gittel C. (2019) Auswirkungen von Kompressionsbandagen und einer Hartschalengamasche auf den Anpressdruck und den Lymphfluss an der distalen Gliedmaße des Pferdes. *Pferdeheilkunde* 35, 336–343; DOI 10.21836/PEM20190405

Korrespondenz: Annika Mottl, Klinik für Pferde, Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig, An den Tierkliniken 21, 04103 Leipzig; annika.mottl@vetmed.uni-leipzig.de

Eingereicht: 16. April 2019 | **Akzeptiert:** 20. Mai 2019

Einleitung

Lymphödeme an den distalen Gliedmaßen beim Pferd stellen nicht nur den Tierarzt im Falle von Patienten unter Boxenruhe, sondern auch oft den Pferdebesitzer, welcher seine Pferde in der Box hält, häufig vor ein wiederholt auftretendes Problem. Sie treten hierbei sowohl nach längerer Verbandstherapie, als auch ohne eine solche in direktem Zusammenhang stehende Erkrankung der Gliedmaßen auf. Prädisponiert sind hierfür ältere Pferde, die zu „angelaufenen“ Beinen neigen, sowie beingesunde Pferde unter Bewegungseinschränkung (Auer 1974, Meyer 1988).

Physiologischerweise entsteht in Abhängigkeit vom Gewebedruck, dem Druck innerhalb der Kapillaren und dem kolloidosmotischen Druck des intra- und extravasalen Bereiches (Starling-Gleichung) ein Überschuss an Flüssigkeit im Gewebe (Taylor 1981). Der Abtransport dieser Flüssigkeit erfolgt dann über Lymphkollektoren durch Kontraktion der glatten Muskulatur der großen Lymphgefäße sowie Kompression der Gefäße durch die Skelettmuskulatur, wobei Klappenventile einen Rückstrom verhindern. Liegen aber beispielsweise Abflussstörungen oder entzündliche Veränderungen in der betroffenen Gliedmaße vor, entsteht eine pathologisch vermehrte Flüssigkeitsansammlung im Interstitium, das Ödem (Speckmann et al. 2013).

Üblicherweise werden dann Stallbandagen angelegt, um eine Reduzierung der Ödeme durch Kompression zu erreichen (Rötting et al. 2000, Keyser et al. 2015). Weitere Therapiemöglichkeiten sind Bewegung (Rötting et al. 2000, Siewert et al. 2011, Keyser et al. 2015) und manuelle Lymphdrainage (Rötting et al. 2000). Allerdings konnte in einer Studie mit 10 Pferden eine Unterbrechung des Lymphflusses durch eine übliche Bandagierung (Wollbandage und Unterleger) festgestellt werden (Fedele et al. 2006). Eine Alternative dazu stellen Kompressionsstrümpfe oder -bandagen aus elastischen Materialien dar, welche den Lymphfluss erhalten sollen (Fedele et al. 2006). In der Humanmedizin werden Kompressionsdrücke von mehr als 30 mmHg bis maximal 60–70 mmHg als adäquat zur Ödemreduzierung angesehen. Beim Pferd konnten in Untersuchungen zum tatsächlichen Anpressdruck

einer Gliedmaßenbandagierung weitaus höhere Druckmaxima in Abhängigkeit von Methode, Material und Personal nachgewiesen werden (Morlock et al. 1994, Morlock et al. 1997, Canada et al. 2017). Beim Pferd spielt hierbei auch der Einfluss von Bewegung eine Rolle. So konnten Messungen zum Druck unter fünf verschiedenen Bandagierungen an trainierten Vollblütern deutliche Unterschiede zwischen den Bandagierungsarten in der Bewegung aufzeigen (Morlock et al. 1994). Nach unserem Kenntnisstand gibt es bislang keine Studie, welche die exakten Kompressionsdrücke parallel zum Lymphfluss unter elastischen Kompressionsbandagen untersucht.

Ziel der Studie war es, durch indirekte Lymphangiographie den Lymphabfluss an der distalen Gliedmaße unter Einfluss von zwei verschiedenen Kompressionsbandagen am stehenden Pferd darzustellen. Zeitgleiche Druckmessungen am Pferdebein sollten den Anpressdruck an verschiedenen Messorten quantifizieren. Vergleichend wurde den Kompressionsbandagen eine handelsübliche im Sport eingesetzte Hartschalengamasche gegenübergestellt.

Material und Methoden

In einer prospektiven Studie wurde randomisiert der Einfluss zweier Kompressionsbandagen aus elastischem Gestrick (EquiCrown® active und EquiCrown® fit (Julius Zorn GmbH, Aichach, im Folgenden „active“ und „fit“) und einer handelsüblichen Hartschalengamasche aus Kunststoff mit Neopen-Innenfutter (im Folgenden „Gamasche“) (Abb. 1) auf den Anpressdruck und den Lymphfluss im Pferdebein untersucht. An beiden Vordergliedmaßen wurden die drei Gliedmaßenschoner in randomisierter Reihenfolge angelegt und die Messseite ausgewählt, wobei an jeweils einer der Gliedmaßen die Druckmessung und an der kontralateralen Gliedmaße die Kontrastmittelapplikation durchgeführt wurde. Zwischen den einzelnen Versuchsabschnitten bestand eine Pause von jeweils 5 Minuten zur Kalibrierung der Druckmessensoren und zum Wechsel der Schoner. Das Anlegen der Gliedmaßenschoner sowie die Positionierung der Drucksensoren wurde durch die-

selbe Person durchgeführt. Hierbei wurde beim Anlegen der „Gamasche“ ein gleichmäßiger Zug von 20NM (Überprüfung mittels zwischen Klettverschluss und Zughand liegendem Federkraftmesser) eingehalten, damit der variabel einzustellende Klettverschluss bei allen Pferden einheitlich angepasst verschlossen werden konnte. Die Kompressionsbandagen wurden nach den dazugehörigen Maßtabellen in der jeweiligen passenden Größe zum Pferdebein ausgewählt.

Pferde

Die Untersuchungen wurden an fünf Warmblutpferden aus dem Institut für Tierernährung, Ernährungsschäden und Diätetik der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig im Alter von 9–23 Jahren und einem Gewicht von 596–724 kg durchgeführt. Die Pferde kamen aus 24 Stunden Weidehaltung und wurden einen Tag vor der Untersuchung in der Chirurgischen Tierklinik (jetzt Klinik für Pferde der Universität Leipzig) aufgestellt. Vier der Pferde neigten zu Ödemen an den Gliedmaßen in Boxenhaltung, wiesen jedoch während der gesamten Untersuchungszeit keine Ödeme auf. Alle Pferde waren zum Zeitpunkt der Untersuchung lahmfrei im Schritt und ohne bekannte Erkrankungen der Vordergliedmaßen.

Zur Ruhigstellung und der Vermeidung von Bewegungsartefakten fanden die Untersuchungen unter Sedation (Acepromazin 0,02 mg/kg intravenös (Vetranquil® 1%, Ceva), Romifidin initial 0,04 mg/kg und bei Bedarf zum Erhalt der Sedationstiefe während der Untersuchungen 0,02 mg/kg intravenös (Sedivet® 1%, Boehringer Ingelheim) statt.

Lymphangiographie

Zur Untersuchung des Lymphflusses in der distalen Gliedmaße erfolgte eine indirekte Lymphangiographie nach einem standardisierten Protokoll, angelehnt an Fedele et al. 2006. Eine kontinuierliche Kontrastmittelgabe über eine Infusionspumpe, wie in der vorgenannten Studie durchgeführt (Fedele et al. 2006),

erzielte in eigenen Vorversuchen keine ausreichende Lymphgefäßdarstellung im Röntgenbild. In einem in vivo Vorversuch am Pferdebein konnte eine Bolusgabe von 2 ml Kontrastmittel als adäquat zur Darstellung der kompletten Lymphgefäße palmar des Röhrbeins festgestellt werden (Daten nicht veröffentlicht). Dazu wurde am lateralen Kronsaum einer der Vordergliedmaßen intrakutan (Kanüle 23 G × 30 mm, Henry Schein) jodhaltiges Kontrastmittel (Iomeprol, 300 mg/ml Jod (Imeron®, Bracco)) vor der initialen nativen Röntgenaufnahme und jeweils 5 min nach Anlegen der Gliedmaßenschoner injiziert. Lateromediale digitale Röntgenaufnahmen (GIERTH TR 90/30, Fujifilm) fanden jeweils nativ vor Anlegen und 10 Minuten nach dem Anlegen des jeweiligen Gliedmaßenschoners statt.

Druckmessungen

Der Druck auf das Pferdebein unter dem Gliedmaßenschoner wurde an 16 verschiedenen Messpunkten mit jeweils 4 Messstellen dorsal, lateral, palmar und medial (Abb. 2) durch Drucksensoren (Thorsis Technologies GmbH, Magdeburg) in einer Frequenz von 1 Hz aufgezeichnet. Die Drucksensoren wurden mit Klebvlies unter Aussparung der Sensorpunkte selbst am Bein fixiert. Durch Kabel entlang des Beines und über einen Longiergurt am Abdomen des Pferdes waren diese mit dem Computer zur sofortigen Analyse verbunden. Die Kabel wurden unter dem Gliedmaßenschoner ohne Überlagerung mit einem der Drucksensoren verlegt. Eine Messung erfolgte über einen Zeitraum von mindestens 60 s je Messzyklus nach einer Stabilisierungsphase von mindestens 5 Minuten nach Anlegen des Gliedmaßenschoners. Bei Spontanbewegungen wurde die Messung wiederholt, sodass innerhalb eines Messzyklus keine Bewegung des Pferdes erfolgte.

Eine klinische Untersuchung hinsichtlich Lahmheit, Belastung der Gliedmaßen und dem Allgemeinbefinden sowie Einschätzung des Schmerzzustandes über den Horse Grimace Score (Dalla Costa et al. 2014) und Pain Score (Bussières et al. 2008, van Loon et al. 2010) fand vor und wiederholt nach dem Versuch statt. Nach Beendigung des Versuchs wurde ein

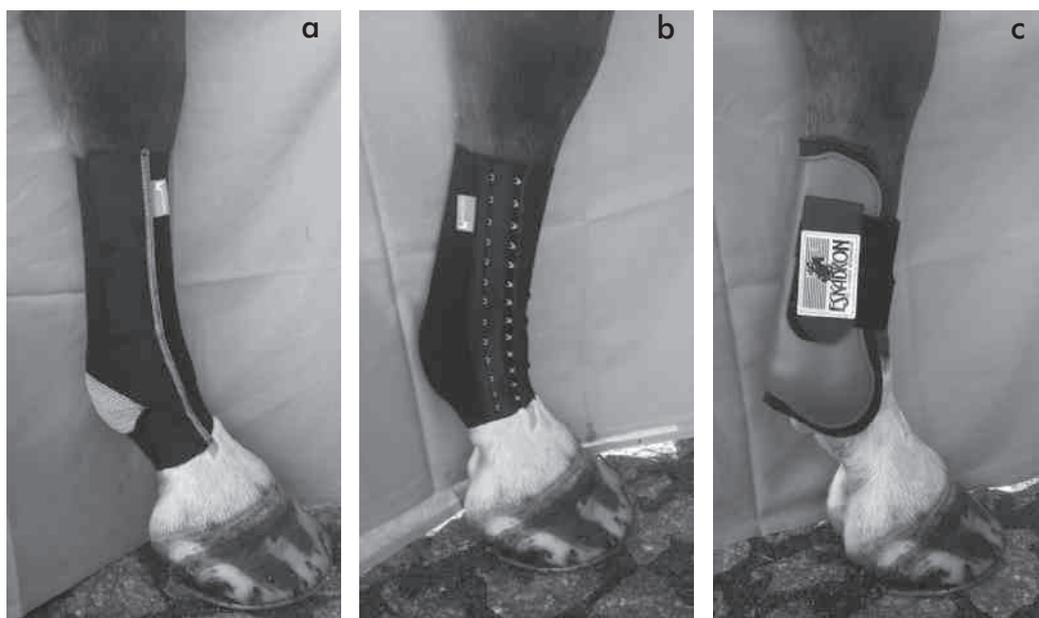


Abb. 1 Am linken Vorderbein angelegte Kompressionsbandage EquiCrown® active (a) und EquiCrown® fit (b) sowie eine handelsübliche Hartschalengamasche (c). | Left forelimb with applied compression bandage EquiCrown® active (a), EquiCrown® fit (b) and a standard protection boot (c)

Schutzverband an der Gliedmaße angelegt, um eine Infektion der Einstichstellen zu vermeiden.

Datenauswertung und Statistische Analyse

Anhand der angefertigten Röntgenbilder erfolgte die qualitative Auswertung des Lymphflusses (vorhanden: ja/nein). Die Analysierung der Druckmessdaten erfolgte durch die Erfassung des Mittelwerts je Messzyklus und einzelнем Druckpunkt. Eine statistische Auswertung wurde mittels des Computerprogramms IBM SPSS Statistics® Version 24 durchgeführt. Aufgrund der geringen Tieranzahl erfolgte eine Auswertung der Daten mittels deskriptiver Statistik und nicht-parametrischer Tests (Wilcoxon-Test für abhängige Stichproben). Zunächst

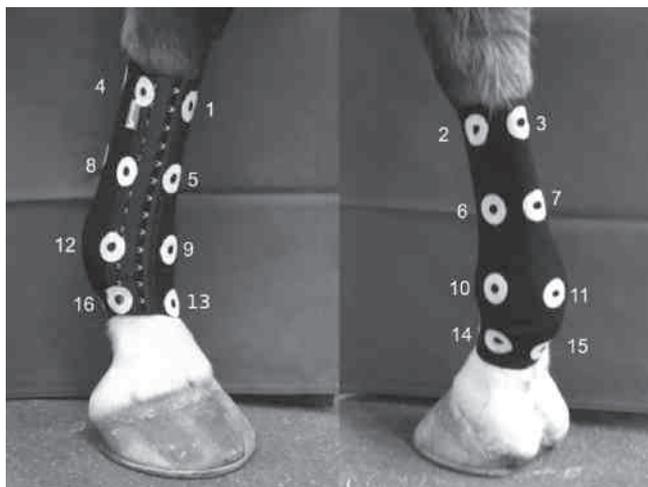


Abb. 2 Verteilung der 16 Messpunkte am Pferdebein am Beispiel der Kompressionsgamasche fit. Links: Dorsolaterale Ansicht. Rechts: Palmaromediale Ansicht. | Reading points for sub-bandage pressure on the distal limb with applied compression bandage EquiCrown® fit. Left: dorsolateral view; right: palmaromedial view.

erfolgte ein Vergleich der verschiedenen Gliedmaßenschoner an den einzelnen Druckpunkten. Weiterhin wurden für alle Pferde zusammengefasst die pro Gliedmaßenschoner aufgetretenen Drücke verglichen. Die Drücke unter den Gliedmaßenschonern wurden hierbei unabhängig von Pferd und Druckpunkt miteinander verglichen. Zusätzlich erfolgte ein Vergleich von verschiedenen Druckpunktgruppen (dorsal, lateral, palmar, medial) unter den Kompressionsbandagen und ein Vergleich hinsichtlich aus der Humanmedizin bekannter Druckgrenzen zur Ödemreduzierung. Das Signifikanzniveau wurde mit $p < 0,05$ festgelegt. Die Darstellung erfolgte in Tabellen über Mittelwerte und Standardabweichungen für die einzelnen Druckpunkte sowie als Boxplots (Medianwerte und Perzentile) im Falle der zusammengefassten Druckpunktgruppen, um eine Vergleichbarkeit mit anderen Studien zu gewährleisten.

Ergebnisse

Bei allen fünf Pferden konnten die Untersuchungen erfolgreich abgeschlossen werden. Alle Pferde konnten nach Beendigung des Versuchs komplikationslos in die vorherige Haltung zurückkehren. Es konnten keine Anzeichen für Schmerzen anhand des Pain Score und des Horse Grimace Scale sowie keine Veränderungen an den Gliedmaßen festgestellt werden.

Lymphangiographie

Die Lymphgefäße konnten bei allen Pferden kontinuierlich vom Kronsaum bis zum proximalen Rand des Metakarpus dargestellt werden. Der Verlauf und die Qualität der Darstellbarkeit variierten von Pferd zu Pferd. Bei vier Pferden konnte ein mäanderförmiger Verlauf der Lymphgefäße und bei Pferd Nummer fünf ein gerader Verlauf gezeigt werden. Bei keinem der Pferde konnte jedoch eine Unterbrechung des Lymphflusses



Abb. 3 Lateromediale Röntgenbilder einer linken Vordergliedmaße. Kontinuierlich dargestellter Kontrastmittelfluss im Lymphgefäß (→) unter der Kompressionsgamasche EquiCrown® active (a) und EquiCrown® fit (b) sowie einer Hartschalengamasche (c). | Lateromedial radiographs of a left forelimb. Continuous flow of contrast media in the lymphatic vessel (→) under applied compression bandage EquiCrown® active (a), EquiCrown® fit (b) and a protection boot (c).

ses durch einen der drei Gliedmaßenschoner hervorgerufen werden (Abb. 3).

Anpressdruck

Hinsichtlich der Druckmessung unterschieden sich bei gleichzeitiger Betrachtung aller Druckpunkte die beiden Kompressionsbandagen („active“: Median 54,5 mmHg (Interquartilbereich (IQR) 71,8 mmHg); „fit“: Median 52,7 mmHg (IQR 62,4 mmHg) Abb.4) nicht voneinander, wiesen aber jeweils signifikant höhere Werte im Vergleich zur „Gamasche“ (Median 32,8 mmHg (IQR 22,7 mmHg)) auf ($p < 0,001$). In der gepaarten Stichprobenuntersuchung der einzelnen Druckpunkte konnte ein niedrigerer Druck unter der „Gamasche“ im Vergleich zu den beiden Bandagen an den Messpunkten 1–5, 7, 10, 11 und 13 gezeigt werden, welcher jedoch nicht signifikant war ($p = 0,06$). Die folgenden Messdaten wurden nur für die Kompressionsbandagen erhoben, da bei der „Gamasche“ nicht alle 16 Druckpunkte unterhalb dieser lagen und somit eine Zusammenfassung von Druckpunktgruppen nicht möglich war. Bei „fit“ konnte in 91,3% und bei „active“ in 88,8% der Messdaten ein Druck über 30 mmHg erzeugt werden. In 66,3% der Messdaten bei „fit“ und 60,0% bei „active“ wurde ein Druck von 70 mmHg nicht überschritten. Im Median betrug der Druck unter „fit“ 52,7 mmHg (IQR 62,4 mmHg) und unter „active“ 54,5 mmHg (IQR 71,8 mmHg). Betrachtet man die palmare Seite im Vergleich zu der dorsalen, lateralen und medialen Seite, konnte hier im Median ein Druck von 130,7 mmHg (IQR 117,5 mmHg „fit“) und 133,1 mmHg (IQR 147,0 mmHg „active“) zu Medianwerten zwischen 39,9–55,3 mmHg (IQR 29,8 und 32,8 mmHg) gemessen werden (Tab. 1). Zudem wurde Messpunkt 14 bei Pferd 2 aufgrund technischer Probleme aus der Messung genommen.

Diskussion

In der vorliegenden Studie konnte mittels indirekter Lymphangiographie ein kontinuierlicher Lymphgefäßverlauf am Pferdebein unter den drei verschiedenen kommerziell erhältlichen Gliedmaßenschonern dargestellt werden. Damit konnte bewiesen werden, dass beide Kompressionsbanda-

gen „fit“ und „active“ den Kontrastmittelfluss an der distalen Gliedmaße nicht unterbrechen. Die Methode der indirekten Lymphangiographie wurde bereits mehrmals in der Veterinärmedizin eingesetzt, um den Lymphfluss qualitativ darzustellen (Meyer 1988, Rötting et al. 2000, Fedele et al. 2006, Helling 2008). Eine weitere Methode stellt die Lymphoszintigraphie dar (Cock et al. 2006, Gaedke et al. 2013). Hierbei kann eine quantitative Messung über die Kapazität des Lymphflusses erfolgen. Da diese jedoch keine Darstellung des Gefäßverlaufs gewährleisten kann, wurde auf eine quantitative Messung zugunsten der Kontinuitätsdarstellung des Gefäßverlaufs verzichtet. Der von Fedele (Fedele et al. 2006) durchgeführte Versuchsaufbau konnte in dieser Studie nicht exakt reproduziert werden, da der Lymphfluss mittels Pumpe und dem angegebenen Applikationsdruck bereits ohne Anlegen einer Kompressionsbandage nicht konstant aufrechterhalten werden konnte. Auch Meyer (Meyer 1988) beschreibt in seiner Studie einen zu Beginn der Kontrastmittelapplikation weitaus höheren Gegendruck und eine langsamere Applikationsrate. Eine Erklärung hierfür könnten den Autoren nicht bekannte Vorerkrankungen der Gliedmaßen, welche einen veränderten Lymphfluss und -gefäßverlauf zur Folge hatten, sein. Rothe (Rothe 2004) und Fedele (Fedele et al. 2006) begründen die Neigung zu angelaufenen Beinen mit der weniger starken Ausprägung von Lymphkollektoren bei betroffenen Pferden. Pferde mit chronischem Lymphödem zeigten in Studien eine verminderte Clearance der Lymphe (Cock et al. 2006, Gaedke et al. 2013) sowie dilatierte, geschlängelt verlaufende Lymphgefäße und retrograde Füllung initialer Lymphgefäße (Rötting et al. 2000). Ein teilweise mäanderförmiger Verlauf der Lymphgefäße konnte auch in dieser Studie gezeigt werden. Eine hierdurch verschlechterte Clearance mit Folge eines verzögerten Abflusses könnte die schlechtere Darstellbarkeit der Gefäße zu Beginn der Kontrastmittelapplikation erklären. Die Kontrastmittelapplikation fand daher in Form von Boli bis zur kontinuierlichen

Tab. 1 Medianwerte des Anpressdrucks unter der angelegten Kompressionsgamasche EquiCrown® active und EquiCrown® fit. Die Messpunkte sind jeweils in den Kategorien dorsal, medial, palmar und lateral zusammengefasst. | Median values of sub-bandage pressures, summarized for each aspect of the distal limb (dorsal, medial, palmar and lateral) for applied compression bandage EquiCrown® active and EquiCrown® fit.

	Dorsal	Medial	Palmar	Lateral
	Messpunkte 1, 5, 9, 13	Messpunkte 2, 6, 10, 14	Messpunkte 3, 7, 11, 15	Messpunkte 4, 8, 12, 16
	[mmHg]	[mmHg]	[mmHg]	[mmHg]
EquiCrown® active	55,3 IQR 32,8	51,6 IQR 57,9	133,1 IQR 147,0	39,9 IQR 29,8
EquiCrown® fit	50,6 IQR 23,4	49,7 IQR 93,3	130,7 IQR 117,5	48,3 IQR 19,0

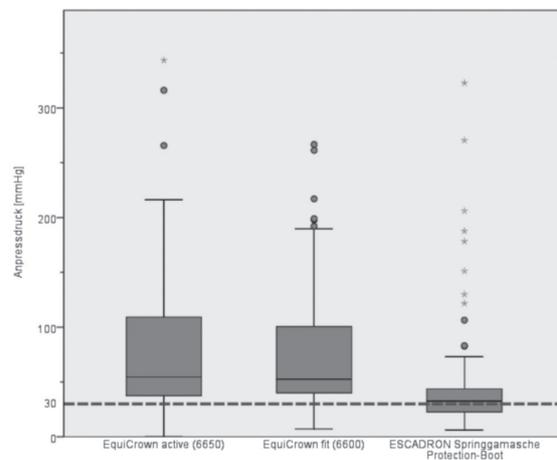


Abb. 4 Darstellung des jeweiligen Anpressdrucks in Summe aller Druckpunkte für die Kompressionsgamaschen EquiCrown® active und EquiCrown® fit sowie einer Hartschalengamasche. Die gestrichelte Linie stellt die Grenze von 30 mmHg dar, welcher als minimal effektiver Druck angesehen wurde. Extremwerte wurden mit °, Ausreißer mit * gekennzeichnet. | Total sum of sub-bandage pressure beneath compression bandage EquiCrown® active, EquiCrown® fit and a protection boot. The dotted line represents limit of 30 mmHg, which was considered to be the minimum effective pressure. Extreme values °, outliers *.

Darstellung des Gefäßverlaufs statt. Es erfolgte während der Messung keine weitere Zugabe von Kontrastmittel. Dies ist vergleichbar mit einem Ödem, bei dem die Lymphe nur aufgrund der zu diesem Zeitpunkt im Gewebe herrschenden Druck- und Konzentrationsgradienten abtransportiert wird, ohne dass iatrogen zusätzlich Lymphe/Kontrastmittel nachgegeben wird. Hierdurch konnte bei den vorliegenden Untersuchungen von einem physiologischen Druck innerhalb der Lymphgefäße ausgegangen werden. Trotz dieses als niedrig einzustufenden Druckes wurde eine Unterbrechung des Kontrastmittelflusses nur im Vorversuch bei einem Pferd durch Anlegen einer festen Bandagierung unter maximaler Zugkraft der anlegenden Person erzielt (Daten nicht veröffentlicht). Auch Fedele (Fedele et al. 2006) konnte in seiner Studie keinen Abbruch des Lymphflusses durch Anlegen eines elastischen Strickstrumpfes darstellen. Beide Kompressionsgamaschen zeigten rein qualitativ somit keinen negativen Einfluss auf den Lymphabfluss an der Gliedmaße des Pferdes. Ob eine Verbesserung des Lymphflusses erfolgt, sollte in weiteren Studien mit einem noch leistungsstärkeren Röntgengerät und einer höheren Auflösung, welche eine quantitative Aussage erlaubt, untersucht werden.

Gleichzeitige Messdaten von Lymphfluss und Druck beim Pferd sind in der Literatur bisher nicht beschrieben. Durch die vorliegenden synchronen Daten kann nun ein Vergleich von Anpressdruck und erhaltenem Lymphfluss gezogen werden.

Ein Ödem ist per Definition eine pathologische Flüssigkeitsansammlung im Interstitium. Der Lymphfluss reduziert diese Gewebsvolumenzunahme und ist hierbei in seinem Maß abhängig von dem umliegenden Gewebe und dessen Struktur. Ein Maß zur Vergleichbarkeit der Gewebe stellt der Flüssigkeitsdruck in diesem (Tissue Fluid Pressure, TFP) dar, welcher abhängig von einem Netz aus Makromolekülen ist, durch welches die Lymphe hindurchfließen muss, bevor sie in die Gefäße gelangt. Steigt der TFP, steigt auch der Lymphabfluss, wobei bei konstant hohem Druck das Maximum des Lymphflusses nicht gehalten werden kann (Taylor 1981).

Antriebskräfte des Lymphflusses sind zudem die Kontraktion der glatten Muskulatur der großen Lymphgefäße und die Kompression der Gefäße durch die Kontraktion der Skelettmuskulatur. Durch Klappenventile wird ein Rückstrom verhindert.

Im Vergleich zum Menschen ist beim Pferd der passive Teil des Transportes weitaus ausgeprägter als der aktive Transport. So weist das Pferd mit 37,1–42,4% deutlich mehr elastische Fasern in den Lymphkollektoren und deutlich weniger glatte Muskulatur in der Gefäßwand auf als der Mensch (Harland et al. 2004). Hieraus kann geschlossen werden, dass durch Kompression von außen der Lymphfluss gesteigert werden kann und gerade bei dem über einen längeren Zeitraum stehenden Pferd die Pumpfunktion der Skelettmuskulatur zum Teil ersetzen kann.

Eine homogene Druckverteilung ist, wie in der hier vorliegenden Studie gezeigt, nicht möglich (Abb. 4). Durch die Verteilung von 16 Drucksensoren am Pferdebein konnte eine Ungleichheit in der Druckverteilung nachgewiesen werden, welche vor allem im Fall der „Gamasche“ zu beobachten war.

Die Unterschiede an den Messpunkten 1–4 und 13 sind auf den hier fehlenden Kontakt der „Gamasche“ zum Pferdebein zurückzuführen. An Messpunkt 7 und 11 konnte die „Gamasche“ ebenfalls durch ihre Form keinen vermehrten Druck auf die palmaren Anteile ausüben. Die Hartschale kann sich der Form des Pferdebeines nicht anpassen und hat somit im Stand ohne Bewegung des Pferdebeines kaum Kontakt an den konkaven Stellen des Beines. Dies kann sich in der Bewegung jedoch schnell ändern und somit Druckspitzen an bestimmten Arealen aufzeigen, wie sich durch Ausreißer der Messwerte bei ungewollter Bewegung des Pferdes ergaben. Die Messpunkte 5 und 10 zeigten ebenfalls niedrigere Werte unter der „Gamasche“ auf, welche auf wenig bis keinen Kontakt zwischen Pferdebein und dieser schließen lassen. Die Kompressionsbandagen wiesen im Vergleich zu der „Gamasche“ eine deutlich gleichmäßigere Druckverteilung über die 16 Messpunkte auf.

Bisherige Studien verglichen den Druck zwischen dorsal und lateral an einem Messpunkt (Canada et al. 2017) und im gesamten dorsalen Auflagebereich auf dem Metacarpus II durch eine 42-Sensoren-Matte (Morlock et al. 1994). Dorsal wurde hier ein Wert von 187 mmHg und lateral von 142 mmHg gemessen (Canada et al. 2017). Auf dieser Matte zeigten zentral gelegene Bereiche eine stärkere Druckbelastung im Vergleich zu den Randbereichen, also den weiter lateral oder medial platzierten Sensoren (Morlock et al. 1994). Auch in der hier durchgeführten Studie konnte wie in Tabelle 1 ersichtlich dorsal mit im Median 50,6 mmHg (IQR 23,4 mmHg „fit“) / 55,3 mmHg (IQR 32,8 mmHg „active“) ein höherer Druck gemessen werden als lateral 48,3 mmHg (IQR 19,0 mmHg „fit“)/39,9 mmHg (IQR 29,8 mmHg „active“) bzw. medial 49,7 mmHg (IQR 93,3 mmHg „fit“)/51,6 mmHg (IQR 57,9 mmHg „active“).

Betrachtet man die palmare Seite hierzu im Vergleich, konnte dort im Median ein weitaus höherer Druck von 130,7 mmHg (IQR 117,5 mmHg „fit“)/133,1 mmHg (IQR 147,0 mmHg „active“) gemessen werden (Tab. 1). Vergleichswerte aus anderen Studien liegen derzeit leider nicht vor. Ein Messfehler seitens der Sensoren kann nahezu ausgeschlossen werden, da die Sensoren vor Studienbeginn zufällig den Messpunkten zugeordnet und vor jeder Messung kalibriert wurden. Eine mögliche Ursache für die höheren Druckwerte könnte ein Strukturunterschied im Material der Kompressionsgamaschen in Abhängigkeit von der anatomischen Auflage am Pferdebein darstellen. So weist das Modell „fit“ im palmaren Bereich eine Naht auf, welche zwar selbst dehnbar ist, aber einen minimalen Unterschied in der Materialdicke im Vergleich zu dem restlichen Gewebe aufweist. Zudem könnte beim Anlegen aufgrund des Zuges von lateral, sozusagen über die Kante der Sehne, ein erhöhter Zug auf das Material in diesem Bereich ausgeübt werden. Da dies jedoch auch auf der dorsalen Seite an der Kante des Metakarpus II in vergleichbarer Weise zu erwarten wäre, kann auch hier ein Druckunterschied aufgrund der Anbringtechnik vernachlässigt werden. Vielmehr sollte auch hier die Anatomie in Betracht gezogen werden. Palmar kann durch das Sehnenbündel eine schmalere Auflagefläche geboten werden als die auf der Dorsalfläche durch den breiteren Metakarpus II gegebene Fläche. Somit kann sich der Druck dorsal auf einer größeren Fläche verteilen. Da die vorliegende Studie am stehenden

Pferd stattgefunden hat, bleibt die palmare Auflagefläche durch den Zug auf die Sehne nahezu konstant. Die Festigkeit der Sehne unter vollem Zug ist zwar nicht vollständig mit der eines Knochens gleichzusetzen, bietet jedoch wie durch die vorliegenden Daten zu sehen deutlichen Widerstand, der zu solch einem hohen Druck führen kann. Inwieweit sich dies in der Bewegung verändert, wurde nicht untersucht. Es ist jedoch anzunehmen, dass durch die Entlastung der Sehne in der Vorführphase der Gliedmaße eine deutliche Druckentlastung zu verzeichnen wäre. Druckmessungen in der Bewegung zeigten mit zunehmender Elastizität zwar die wenigsten Veränderungen in den Kraft- und Druckveränderungen, wurden jedoch nur dorsal gemessen (Morlock et al. 1994). Es ist anzunehmen, dass sich der Druck über dem Knochen weniger verändert als über einem dynamischen Weichteilgewebe, wie es bei der Sehne der Fall ist.

Auch in der Literatur wird Bewegung als Lymphabflussfördernd beschrieben (Ratzlaff et al. 1985, Rötting et al. 2000, Siewert et al. 2011, Keyser et al. 2015). Weitere Untersuchungen zu den Druckverhältnissen in der Bewegung sind daher von großem Interesse und sollten auch mit dem hier beschriebenen Messsystem über 16 Sensoren und den genutzten Kompressionsbandagen erfolgen.

Die in der Literatur beschriebenen medianen Messwerte bis zu 189 mmHg (Canada et al. 2017) werden hier bei Betrachtung aller Druckmesspunkte zusammen nur als Spitzenwerte erreicht. Fraglich ist deshalb der Einfluss des bei Canada (Canada et al. 2017, Canada et al. 2018) verwendeten 5 cm großen, aufblasbaren Ballons, der zur Messung des Drucks eingesetzt wurde. Durch die hier verwendeten deutlich kleineren Drucksensoren sollte eine Verfälschung der Werte durch die Messeinrichtung so gering wie möglich gehalten werden. In der Humanmedizin wird ein Druck zwischen 30 und 70 mmHg als adäquat zur Reduzierung von Ödemen an den Beinen angesehen, wobei ab 60 mmHg die Volumenreduktion bereits rückläufig ist (Partsch et al. 2011). Eine andere Studie gibt den optimalen Rahmen mit 40–60 mmHg an, beschreibt aber einen Druck von 30 mmHg als fast genauso effektiv (Mosti et al. 2012) oder sogar effektiver (Partsch und Partsch 2016). Nach der Kenntnis der Autoren existieren keine ähnlichen Studien beim Pferd. In der vorliegenden Studie wurde deshalb eine Untergrenze von 30 mmHg als adäquat angesehen. Bei den Kompressionsbandagen ist dieser Druck sogar bei 91,3% („fit“) und 88,8% („active“) der Messpunkte erreicht (Abb 4). Wobei die Obergrenze von 70 mmHg nur in 66,3% („fit“) und 60,0% („active“) der Messpunkte eingehalten wurde. Geht man davon aus, dass die physiologischen Druckbedingungen des Gewebes sowie des venösen und auch lymphatischen Systems beim Pferd zumeist höher als beim Menschen liegen, kann somit ebenso angenommen werden, dass die Grenze, ab der eine Reduzierung des Lymphflusses stattfindet, höher liegt. Daher sollte die Spanne, in der eine Verstärkung des Lymphflusses durch den angelegten Druck stattfindet, breiter angesetzt werden. Schon aus der zumeist stehenden Position des Pferdes ergibt sich ein höherer Druck, da die Untersuchungen aus der Humanmedizin bei liegenden Patienten durchgeführt wurden (Partsch et al. 2011, Mosti et al. 2012). Die venösen Drücke unterscheiden sich beim Menschen von 10 mmHg in liegender Position zu 80 mmHg im Stehen (Stick et al. 1993). Für das Pferd wurden

diesbezüglich Angaben von 55–100 mmHg im Stand an der distalen Gliedmaße publiziert (Ratzlaff et al. 1985, Allen et al. 1990).

Zusammenfassend kann daher angenommen werden, dass die Kompressionsbandagen den Lymphfluss an der distalen Gliedmaße nicht unterbrechen und aufgrund einer gleichmäßigen und konstanten Druckverteilung zu einer Reduzierung von Ödemen an der distalen Gliedmaße beitragen können. Die Zunahme des Lymphabflusses wurde in der vorliegenden Studie allerdings nicht untersucht. Weitere Untersuchungen zum Einfluss der Bewegung und einer Quantifizierung der Lymphabflussverbesserung sollten durchgeführt werden.

Erklärung zum Interessenkonflikt

Die Finanzierung der Studie erfolgte durch die Julius Zorn GmbH ohne Einfluss auf den Verlauf und die Auswertung der Daten. Studiendesign, Durchführung und die Analyse sowie Interpretation der Daten lagen allein im Ermessen der Autoren. Teile der Studie wurden im Rahmen der Göttinger Pferde-tage 2018 vorgestellt.

Erklärung zum Tierschutz

Die Studie wurde von der Landesdirektion Sachsen als Tier-versuchsvorhaben unter dem Aktenzeichen TWV 12/2016 genehmigt.

Literatur

- Allen D., Clark E. S., Moore J. N., Prasse K. W. (1990) Evaluation of equine digital Starling forces and hemodynamics during early laminitis. *Am. J. Vet. Res.* 51, 1930–1934
- Auer J. A. (1974) Die Lymphographie der Beckengliedmaße des Pferdes. Dissertation, Zürich, Universität Zürich
- Bussières G., Jacques C., Lainay O., Beauchamp G., Leblond A., Cadore J.-L., Desmaizères L.-M., Cuvelliez S. G., Troncy E. (2008) Development of a composite orthopaedic pain scale in horses. *Res. Vet. Sci.* 85, 294–306; DOI 10.1016/j.rvsc.2007.10.011
- Canada N. C., Beard W. L., Guyan M. E. und White B. J. (2017) Measurement of distal limb sub-bandage pressure over 96 hours in horses. *Equine veterinary journal* 49, 329–333, DOI 10.1111/evj.12601
- Canada N. C., Beard W. L., Guyan M. E., White B. J. (2018) Effect of bandaging techniques on sub-bandage pressures in the equine distal limb, carpus, and tarsus. *Vet. Surg.* VS 47, 640–647; DOI 10.1111/vsu.12914
- Cock H. E. V. de, Affolter V. K., Wisner E. R., Larson R. F., Ferraro G. L. (2006) Lymphoscintigraphy of draught horses with chronic progressive lymphoedema. *Equine Vet. J.* 38, 148–151; DOI 10.2746/042516406776563297
- Dalla Costa E., Minero M., Lebelt D., Stucke D., Canali E., Leach M. C. (2014) Development of the Horse Grimace Scale (HGS) as a pain assessment tool in horses undergoing routine castration. *PLoS One* 9, e92281; DOI 10.1371/journal.pone.0092281
- Fedele C., Brandhorst B., Hecker A., Rautenfeld D. B. von (2006) Auswirkungen und klinische Relevanz von Woll(Stall)bandagen mit wattierten Unterlegern und Strickstrümpfen auf den Lymphfluss im Pferdebein. *Pferdeheilkunde* 22, 17–22; DOI 10.21836/PEM20060103

- Gaedke C., Witt M., Koene M., Berens von Rautenfeld D., Stadler P. (2013) Lymph flow determination in the equine hindlimb. Lymphoscintigraphic function studies. *Equine Vet. Educ.* 25, 517–523; DOI 10.1111/eve.12058
- Harland M. M., Fedele C., Berens von Rautenfeld D. (2004) The presence of myofibroblasts, smooth muscle cells and elastic fibers in the lymphatic collectors of horses. *Lymphology* 37, 190–198
- Helling T. (2008) Morphologische und radiologische Darstellung der Lymphgefäße und Bedeutung der manuellen Lymphdrainage im Bereich der Beugesehnen des Pferdes. Dissertation, Hannover, Tierärztliche Hochschule Hannover
- Keyser K. de, Janssens S., Buys N. (2015) Chronic progressive lymphoedema in draught horses. *Equine Vet. J.* 47, 260–266; DOI 10.1111/evj.12256
- Meyer K.-C. (1988) Die Angioarchitektur peripherer Lymphgefäße an den Gliedmaßen des Pferdes. Eine indirekte lymphographische, raster- und transmissionselektronenmikroskopische Untersuchung. Dissertation, Hannover, Tierärztliche Hochschule Hannover
- Morlock M. M., Kobluk C. N., Jones J. H., Rolsten G. K., Faass J. K. (1994) Influence of bandage material on pressure distribution under the bandage on the distal forelimb of the galloping horse. *Gait & Posture* 2, 253–260; DOI 10.1016/0966-6362(94)90148-1
- Morlock M. M., Nassutt R., Bonin V. (1997) The influence of bandage characteristics and inter-individual application variations on underneath bandage pressures. *Clin. Biomechanics* 12, S10
- Mosti G., Picerni P., Patsch H. (2012) Compression stockings with moderate pressure are able to reduce chronic leg oedema. *Phlebology* 27, 289–296; DOI 10.1258/phleb.2011.011038
- Patsch B., Patsch H. (2016) Neue Aspekte der Kompressionstherapie. *Wiener medizinische Wochenschrift* 166, 305–311; DOI 10.1007/s10354-016-0467-9
- Patsch H., Damstra R. J., Mosti G. (2011) Dose finding for an optimal compression pressure to reduce chronic edema of the extremities. *Internat. Angiol.* 30, 527–533
- Ratzlaff M. H., Shindell R. M., DeBowes R. M. (1985) Changes in digital venous pressures of horses moving at the walk and trot. *Am. J. Vet. Res.* 46, 1545–1549
- Rothe K. (2004) Grundsätzliches zur Angioarchitektur peripherer Lymphgefäße am Beispiel der Hinterextremität des Pferdes. Dissertation, Hannover, Tierärztliche Hochschule Hannover
- Rötting A., Rautenfeld D. B. von, Schubert T., Rothe K., Negatsch R., Hertsch B. (2000) Manuelle Lymphdrainage beim Pferd zur Behandlung der Beckengliedmaße – Teil 2. Behandlungen und Untersuchungen bei Pferden mit "chronischer Phlegmone". *Pferdeheilkunde* 16, 37–44; DOI 10.21836/PEM20000103
- Siewert C., Böttcher A., Hellige M., Beyerbach M., Rautenfeld D. B. von, Seifert H. (2011) Experimentelle Untersuchung zum Einfluss definierter Bewegung auf das Volumen der Pferdeextremität anhand optoelektronischer Messungen. *Berliner und Münchener tierärztliche Wochenschrift* 124, 257–264; DOI 10.2376/0005-9366-124-257
- Speckmann E.-J., Hescheler J., Köhling R., Alzheimer C. (Hrsg.) (2013) *Physiologie*, 6. Aufl. Elsevier Urban & Fischer, München
- Stick C., Hiedl U., Witzleb E. (1993) Venous pressure in the saphenous vein near the ankle during changes in posture and exercise at different ambient temperatures. *Eur. J. Appl. Physiol. Occupational Physiol.* 66, 434–438; DOI 10.1007/BF00599617
- Taylor A. E. (1981) Capillary fluid filtration. Starling forces and lymph flow. *Circ. Res.* 49, 557–575; DOI 10.1161/01.RES.49.3.557
- van Loon J. P. A. M., Back W., Hellebrekers L. J., van Weeren P. R. (2010) Application of a Composite Pain Scale to Objectively Monitor Horses with Somatic and Visceral Pain under Hospital Conditions. *J. Equine Vet. Sci.* 30, 641–649; DOI 10.1016/j.jevs.2010.09.011