Aus der Chirurgischen Tierklinik

der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

Der Einfluss der Kopf-Hals-Haltung auf die röntgenologische Darstellung der Hals- und Brustwirbelsäule des Pferdes

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Grades eines

Doctor medicinae veterinariae (Dr. med. vet.)

durch die Veterinärmedizinische Fakultät

der Universität Leipzig

eingereicht von

Dagmar Berner

aus Gelsenkirchen

Leipzig, 2013

Mit Genehmigung der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig.

Dekan: Prof. Dr. Uwe Truyen

Betreuer: Prof. Dr. Walter Brehm

Gutachter: Prof. Dr. Walter Brehm
Chirurgische Tierklinik
Veterinärmedizinische Fakultät, Universität Leipzig

Prof. Dr. Hartmut Gerhards
Klinik für Pferde
Ludwig-Maximilians-Universität München

Tag der Verteidigung: 15.01.2013

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 1

2 Hypothesen ... 3

3 Eigene wissenschaftliche Orginalarbeiten ... 4

3.1 Publikation 1: ... 4

Die Bedeutung der Kopf-Hals-Haltung bei der röntgenologischen Darstellung der Foramina intervertebralia das Pferdehalses in der seitlichen Projektion ... 4

3.2 Publikation 2: ... 25

Influence of head and neck position on radiographic measurement of distances between thoracic spinous processes in clinically sound horses ... 25

4 Diskussion ... 45

4.1 Ziele der Arbeit ... 45

4.2 Auswahl der Pferde ... 45

4.3 Position der Pferde während der Untersuchungen ... 46

4.4 Röntgenologische Darstellung der Wirbelsäule der Pferde ... 47

4.5 Auswertung der röntgenologischen Aufnahmen der Halswirbelsäule ... 49

4.6 Auswertung der röntgenologischen Aufnahmen der Brustwirbelsäule ... 51

4.7 Ergebnisse der Messungen der Halswirbelsäule ... 52

4.8 Ergebnisse der Messungen der Brustwirbelsäule ... 53

4.9 Klinische Relevanz für die röntgenologische Untersuchung des Halses ... 55

4.10 Klinische Relevanz für die röntgenologische Untersuchung des Rückens ... 56

4.11 Abschließende Betrachtung ... 58

6 Zusammenfassung ... 60

7 Summary ... 62

8 Literaturverzeichnis ... 64

Danksagung ... 71

1 EINLEITUNG

Die Wirbelsäule des Pferdes ist die muskuloskelettale Verbindung zwischen den Gliedmaßen und dem Rumpf, deshalb spielt sie eine zentrale Rolle für den Bewegungsapparat des Pferdes. Zudem stellt sie den knöchernen Schutz des Rückenmarks dar, in dem die neurologischen Leitungsbahnen der Gliedmaßen verlaufen. Pathologische Veränderungen der Wirbelsäule können somit einen Einfluss auf den Bewegungsapparat des Pferdes haben. Erste Anzeichen können Rittigkeitsprobleme, Stellungsschwierigkeiten, Steifheit und Schmerzen in der betroffenen Region sein. Erkrankungen im Bereich der Wirbelsäule führen mitunter zu Lahmheiten, Ataxien und sogar zu Unreitbarkeit betroffener Pferde (POWERS et al. 1986; GERBER et al. 1989; LANDMAN et al. 2004). Knöcherne Veränderungen der Wirbelsäule können mit Hilfe von Röntgenaufnahmen diagnostiziert werden (JEFFCOTT 1979a; BUTLER 2008).

Bei der Auswertung von röntgenologischen Aufnahmen der Halswirbelsäule steht die Beurteilung der Foramina intervertebralia, die von den Facettengelenken und den Wirbelkörpern begrenzt werden, im Vordergrund (BUTLER 2008; WITHERS et al. 2009; DIMOCK und PUCHALSKI 2010). Diese Foramina intervertebralia bilden den knöchernen Schutz der Nervenwurzeln, die aus dem Rückenmark entspringen. Eine Verkleinerung der Foramina intervertebralia kann infolgedessen zu vermehrtem Druck auf die Nervenwurzeln führen. Anhand röntgenologischer Aufnahmen der Halswirbelsäule werden deshalb Form und Größe der Facettengelenke sowie der Foramina intervertebralia beurteilt (HETT et al. 2006; LAUTENSCHLÄGER et al. 2009; DOWN und HENSON 2009).

Humanmedizinische Studien haben gezeigt, dass Dimensionsänderungen der Foramina intervertebralia ebenfalls durch eine Veränderung der Kopf-Hals-Haltung verursacht werden können (KITAGAWA et al. 2004). DENOIX und PAILLOUX (2000) beschrieben bei Pferden eine Vergrößerung der Foramina intervertebralia durch Flexion des Halses, jedoch wurden weder genaue Angaben zum Versuchsaufbau noch Ergebnisse veröffentlicht. Computertomographische Studien an Wirbelsäulenpräparaten adulter Warmblutpferde zeigten ebenfalls einen Einfluss der Kopf-Hals-Haltung auf die Dimension der Foramina intervertebralia. Dabei führte eine Flexion der Kopf-Hals-Haltung zur Vergrößerung der Foramina intervertebralia und die Extension der Kopf-Hals-Haltung zur Verkleinerung dieser (SLEUTJENS et al. 2010). Der Einfluss der Kopf-Hals-Haltung auf die röntgenologische Beurteilung der Halswirbelsäule von Pferden wurde bisher noch nicht untersucht.

Die Veränderung der Kopf-Hals-Haltung kann im Bereich der Brustwirbelsäule ebenfalls auf die Abstände zwischen den Dornfortsätzen der Brustwirbel Auswirkungen haben (RHODIN et al. 2005; GOMEZ ALVAREZ et al. 2006). An Brustwirbelsäulenpräparaten wurden Abstandsänderungen von bis zu 4 mm gemessen (TOWNSEND et al. 1983). Bei Pferden während der Bewegung konnten jedoch nur Abstandsänderungen von 0,26 mm für den kaudalen Bereich der thorakalen Brustwirbelsäule beobachtet werden (FAUQUEX 1982). Ob diese Änderungen auf die röntgenologische Darstellung der Brustwirbelsäule einen Einfluss haben, wurde noch nicht untersucht.

Die Beurteilung der Abstände zwischen den Dornfortsätzen auf Röntgenaufnahmen der Brustwirbelsäule spielt jedoch auch eine wichtige Rolle bei der Diagnose Kissing-Spines-Syndrom, eine der häufigsten Rückenerkrankungen des Pferdes (JEFFCOTT 1980; PENELL et al. 2005). Erste Anzeichen des Kissing-Spines-Syndroms stellen Verkürzungen der Abstände zwischen den Dornfortsätzen dar, die auf Röntgenaufnahmen diagnostiziert werden können (RANNER und GERHARDS 2002; HOLMER et al. 2007). Deshalb werden bei Kaufuntersuchungen häufig röntgenologische Aufnahmen der Dornfortsätze des Rückens angefertigt (MITCHELL 2009). Diese Aufnahmen sollen laut Röntgenleitfaden 2007 nur bei klinischen Anzeichen einer Rückenproblematik durchgeführt werden. Jedoch wünschen einige Auftraggeber, auch ohne den Verdacht auf eine Erkrankung, eine röntgenologische Beurteilung des Rückens (GERHARDS et al. 2007). Dagegen wird im sogenannten „Handorfer Röntgenkatalog“ des Westfälischen Zuchtverbandes eine röntgenologische Darstellung der Dornfortsätze des Rückens für Pferde, die an der Auktion oder Körung teilnehmen, vorgeschrieben (WESTFÄLISCHES PFERDESTAMMBUCH E.V. 2010). Eine weitere Schwierigkeit bei der Auswertung der Röntgenaufnahmen der Brustwirbelsäule ergibt sich durch das Fehlen eines einheitlichen Auswertungsschemas für die Beurteilung der pathologischen Veränderungen und für die Messung der Abstände zwischen den Dornfortsätzen (ERICHSEN et al. 2004; SINDING und BERG 2010).

Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, den Einfluss der Kopf-Hals-Haltung auf die röntgenologische Darstellung der Hals- und Rückenwirbelsäule zu untersuchen. Gleichzeitig sollten reproduzierbare Messmethoden zur Auswertung dieser Aufnahmen entwickelt werden. Hierzu wurden Röntgenaufnahmen der Hals- und Brustwirbelsäule in drei unterschiedlichen Kopf-Hals-Haltungen angefertigt. Die Foramina intervertebralia der Halswirbel und die Abstände zwischen den Dornfortsätzen der Brustwirbel wurden anhand der drei Aufnahmen vermessen und auf Unterschiede untersucht.

2 HYPOTHESEN

Ausgehend von den dargestellten Überlegungen haben wir für das weitere Vorgehen folgende Hypothesen aufgestellt:

Hypothese 1: Eine tiefe Kopf-Hals-Haltung führt beim stehenden Pferd zur Vergrößerung und eine hohe Kopf-Hals-Haltung zur Verkleinerung der Foramina intervertebralia der Halswirbelsäule.

Hypothese 2: Die größte Beweglichkeit der Halswirbelsäule ist in den kaudalen Facettengelenken lokalisiert.

Hypothese 3: Eine tiefe Kopf-Hals-Haltung verursacht beim stehenden Pferd eine Vergrößerung und eine hohe Kopf-Hals-Haltung eine Verkleinerung der Abstände zwischen den Dornfortsätzen der Brustwirbelsäule.

3 EIGENE WISSENSCHAFTLICHE ORGINALARBEITEN

3.1 Publikation 1:

Dagmar Berner, Walter Brehm und Kerstin Gerlach

Die Bedeutung der Kopf-Hals-Haltung bei der röntgenologischen Darstellung der Foramina intervertebralia das Pferdehalses in der seitlichen Projektion

Pferdeheilkunde 2012; 1: 39 - 45

Die Bedeutung der Kopf-Hals-Haltung bei der röntgenologischen Darstellung der Foramina intervertebralia des Pferdehalses in der seitlichen Projektion

The influence of head and neck position on radiographic examination of the intervertebral foramina of the neck of horses at latero-lateral projection

Dagmar Berner, Walter Brehm und Kerstin Gerlach

Chirurgische Tierklinik, Universität Leipzig

Zusammenfassung

Spondylarthrotische Prozesse von Facettengelenken der Halswirbelsäule können durch Kompression des Rückenmarkes und der Nervenwurzeln zu Schmerzen und Steifheit des Halses führen und möglicherweise Ataxie und Vorderhandlahmheit verursachen. In der röntgenologischen Diagnostik sind diese pathologischen Veränderungen unter anderem durch Verkleinerungen der Foramina intervertebralia charakterisiert. Die vorliegende Studie geht der Hypothese nach, dass auch die Kopf-Hals-Haltung die röntgenologisch dargestellte Größe dieser Foramina verändert. Halswirbelsäulen klinisch unauffälliger Pferde wurden in drei verschiedenen Kopf-Hals-Haltungen mit seitlichem Strahlengang röntgenologisch dargestellt und die Länge der Wirbelkörper vermessen. Die Größe der Foramina intervertebralia wurde mit Hilfe der Distanz zwischen der Extremitas cranialis und den Processus articulares craniales desselben Wirbels und der Distanz zwischen der Extremitas caudalis und den Processus articulares craniales des darauf folgenden Wirbels bestimmt. Die Länge der Wirbelkörper und die Distanz zwischen der Extremitas cranialis und den Processus articulares craniales desselben Wirbels wiesen keine wesentlichen Unterschiede bei den getesteten Kopf-Hals-Haltungen auf. Die Distanz zwischen der Extremitas caudalis und den Processus articulares craniales des darauf folgenden Wirbels vom vierten bis zum siebten Halswirbel war bei Flexion signifikant größer als in Extension und physiologischer Kopf-Hals-Haltung. Zwischen Extension und physiologischer Kopf-Hals-Haltungen fanden sich allerdings nur Unterschiede in der Distanz zwischen der Extremitas caudalis und den Processus articulares craniales des darauf folgenden Wirbels des siebten Halswirbels. Bei der Beurteilung von Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule von Pferden sollte daher immer die Kopf-Hals-Haltung berücksichtigt bzw. standardisiert werden.

Schlüsselwörter: Pferd, Halswirbelsäule, Foramina intervertebralia, Flexion, Extension, Röntgen

Summary

Spondylarthrosis of the cervical articular process joints can lead to compression of the spinal cord and the nerve roots. Affected horses may show neck pain and stiffness as well as ataxia and forelimb lameness. Among other signs, these pathological changes can be identified by the reduction of the intervertebral foramina on radiographs. This study tests the hypothesis that head and neck position influences the size of the intervertebral foramina as depicted radiographically. Radiographs in latero-lateral projection were taken of the cervical spines of clinically unaffected horses in three different head and neck positions and the lengths of the vertebral bodies were measured. The dimensions of the intervertebral foramina was determined with the aid of the distance between the extremitas cranialis and the cranial articular processes of the same vertebra and the distance between the extremitas caudalis and the cranial articular processes of the following vertebra. The lengths of the vertebral bodies and the distance between the extremitas cranialis and the cranial articular processes of the same vertebra showed no variations. The distance between the extremitas caudalis and the cranial articular processes of the following vertebra of the fourth to seventh cervical vertebrae were significantly greater in flexion than in physiological and extended positions. When comparing the extended and physiological positions a significant difference could be detected for the distance between the extremitas caudalis and the cranial articular processes of the following vertebra of the seventh cervical vertebra only. Our study demonstrates the importance of the head and neck position when evaluating radiographs of cervical spines of horses. For a sound evaluation of such radiographs, the head and neck position of the horse should be standardized.

Keywords: horse, cervical spine, intervertebral foramina, flexion, extension, radiology

Einführung

Die sieben Halswirbel des Pferdes sind S-förmig angeordnet und durch synoviale Facettengelenke beweglich miteinander verbunden. Zwischen den einzelnen Wirbeln befinden sich die Foramina intervertebralia, die dorsal von den Facettengelenken und ventral von den Wirbelkörpern begrenzt werden. Spondylarthrotische Prozesse der Facettengelenke treten besonders häufig im kaudalen Abschnitt der Halswirbelsäule auf und führen unter anderem zur Verkleinerung der Foramina intervertebralia. Kommt es dadurch zur Kompression des Rückenmarks und der Nervenwurzeln, können betroffene Pferde Ataxie und Vorderhandlahmheit sowie Schmerzen und Steifheit des Halses zeigen (*Powers* et al. 1986,

Gerber et al. 1989). Beurteilung der Form, Größe und Begrenzung der Foramina intervertebralia dienen deswegen in der röntgenologischen Diagnostik von Halswirbelsäulenerkrankungen zur Erkennung pathologischer Veränderungen der Facettengelenke (*Lautenschläger* 2007; *Down* und *Henson* 2009). Es wird allerdings auch vermutet, dass die Beugung des Pferdehalses zur Öffnung der Foramina intervertebralia führt (*Denoix* und *Paillox* 2000), jedoch gibt es keine genauen Angaben zu dieser Aussage. Beim Menschen führt Halsbewegung zu Größenveränderungen der Foramina intervertebralia, wobei Beugung vergrößert und Streckung verkleinert (*Yoo* et al. 1992, *Muhle* et al. 2001, *Kitagawa* et al. 2004).

Eine neue computertomographische Studie von *Sleutjens* et al. (2010) bestätigt diese Aussage für Präparate der Halswirbelsäulen von Warmblutpferden. Als Standardaufnahmen des Halses gelten laterolaterale Röntgenbilder in physiologischer Position (*Butler* 2008, *Withers* et al. 2009, *Dimock* und *Puchalski* 2010), da eine computertomographische Untersuchung des kaudalen Pferdehalses am lebenden Tier wegen der Größenverhältnisse schwierig ist.

Das Ziel dieser Studie war die Beurteilung der Auswirkung verschiedener Kopf-Hals-Haltungen auf die Größe der Foramina intervertebrale am stehenden Pferd.

Material und Methoden

25 Pferde wurden röntgenologisch untersucht (zehn Haflinger, zwei Reitponys, ein Araber und zwölf Warmblüter; drei Hengste, zehn Wallache und zwölf Stuten). Das Alter der Pferde lag zwischen drei und 22 Jahren. Zwei der Pferde wurden regelmäßig geritten, bei den anderen handelte es sich um fünf Zuchtstuten, 15 Weidepferde und drei Freizeitpferde, die nur selten geritten wurden.

Nach der Allgemeinuntersuchung erfolgte bei allen Pferden die Adspektion und Palpation der Halsmuskulatur sowie die Beurteilung der dorsoventralen Beweglichkeit, Lateroflexion und –rotation des Halses. Danach wurden eine neurologische Untersuchung sowie eine Lahmheitsuntersuchung durchgeführt, um Ataxien oder andere neurologische Defizite auszuschließen. Eingeschlossen wurden nur Pferde, die nach diesen Untersuchungen keine Anzeichen einer Erkrankung der Halswirbelsäule aufwiesen.

Radiologie

Nach Sedation mit Romifidin (Sedivet ®, 0,04-0,08 mg/kg KGW, Boehringer Ingelheim Vetmedica GmbH, Ingelheim am Rhein) in Kombination mit Butorphanol, (Alvegesic®, 0,01mg/kg KGW, CP-Pharma Handelsgesellschaft mbH, Burgdorf) wurden die Pferde in den drei folgenden Positionen geröntgt:

Das Pferdemaul auf Höhe des Schultergelenkes (physiologische Kopf-Hals-Haltung, S1), auf Höhe des Karpalgelenkes (Flexion, S2) und auf Höhe des Widerristes (Extension, S3) (Abb. 1-3).

Zu einer horizontal verlaufenden Linie ergaben sich folgende Winkel für die Halswirbelsäulen in den einzelnen Positionen: physiologische Kopf-Hals-Haltung (S1) 45°, Flexion (S2) 0° und Extension (S3) 60°. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Pferde alle Gliedmaßen gleichmäßig belasteten. Zusätzlich wurden die Vordergliedmaßen möglichst weit nach kaudal gestellt, um die Überlagerung des Schultergelenkes mit dem Gelenk zwischen letztem Halswirbel und erstem Brustwirbel zu vermeiden.

In jeder Position wurden jeweils laterolaterale, digitale Aufnahmen vom mittleren (C3-C5, 70 kV, 125 mAs) und vom kaudalen (C5-C7, 81 kV, 100 mAs) Drittel des Halses angefertigt (Siemens Polydoros 100®, München, Fujifilm FCR 5000, Düsseldorf). Die Kassetten (Fujifilm Casette Type C, 35 x 43 cm, Fujifilm, Düsseldorf) wurden so dicht wie möglich am Hals positioniert, um den Vergrößerungseffekt so gering wie möglich zu halten. Zur Verminderung der Streustrahlung wurde ein Bucky- Raster (r12, N40, Pb, Siemens AG, München) genutzt. Der Film-Fokus-Abstand betrug ca. 100 cm.

Röntgenologische Messungen

Folgende drei Distanzen wurden auf den Röntgenbildern mit dem Programm Cura Smart Client® (Curasystems, Ettlingen) ausgemessen (Abb. 4 und 5).

1. Die Länge des Wirbelkörpers zwischen Extremitas cranialis und Extremitas caudalis (D1)

2. Die Distanz zwischen der Extremitas cranialis und den Processus articulares craniales desselben Wirbels (D2)

3. Die Distanz zwischen der Extremitas caudalis und den Processus articulares craniales des darauf folgenden Wirbels (D3)

Sowohl D2 als auch D3 verlaufen senkrecht zu D1 und beginnen am Anfang bzw. am Ende dieser Strecke.

D1 und D2 sind durch Knochenpunkte am selben Wirbel definiert, so dass sie sich bei Bewegung nicht verändern. Beide Strecken konnten zur Überprüfung des Versuchsaufbaus genutzt werden.

Weiterhin wurde der Winkel der Wirbelkörper im Raum gemessen. Als Bezug von 0° diente eine Parallele zum Boden, welche durch den unteren Bildrand repräsentiert wurde. Der Winkel zwischen zwei aufeinander folgenden Wirbeln konnte danach durch die Differenz zwischen den Winkeln des kranialen und kaudalen Wirbels berechnet werden.

Statistik

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm Excel (Version 2007, Microsoft) und dem Statistikprogramm SPSS 18 (SPSS Software GmbH, München). Um die Genauigkeit der Messungen zu überprüfen, wurde der relative Variationskoeffizient (Vk%) berechnet. Dieser ergab bei 3fach-Messungen einen Wert von 2 % - 6 % und zeigt somit eine gute Reproduzierbarkeit der Einzelmessungen im gemeinsamen Mittelwert.

Anhand dieser Mittelwerte erfolgte die deskriptive Statistik und es wurden Mittelwerte, Standardabweichungen und 95 %-Konfidenzintervalle berechnet.

Die statistische Analyse der Längenmessungen erfolgte mit der ANOVA, dem Levene-Test und dem Mehrfachvergleich mittels Bonferroni-Verfahren. Für die Signifikanzberechnungen zwischen den Winkeln wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet. Es galt ein Signifikanzniveau von $p \leq 0{,}05$.

Ergebnisse

Bei allen untersuchten Wirbeln zeigten sowohl D1 als auch D2 keine signifikanten Änderungen zwischen den einzelnen Kopf-Hals-Haltungen (Abb. 6 und 7).

Beide Strecken sind von der Kopf-Hals-Haltung unabhängig und konnten somit zum Vergleich der einzelnen Aufnahmen genutzt werden. Für D3 des dritten Halswirbels konnte eine signifikante Vergrößerung ($p < 0{,}05$) bei Flexion(S2) gegenüber Extension (S3) festgestellt werden, jedoch wurde kein Unterschied zwischen Flexion (S2) und physiologischer Kopf-Hals-Haltung (S1) gemessen (Abb. 8).

Bei Flexion (S2) war D3 vom vierten ($p < 0,05$) bis zum siebten Halswirbel ($p < 0,001$) signifikant größer als bei Extension (S3) oder physiologischer Kopf-Hals-Haltung (S1).

Zwischen Extension (S3) und physiologischer Kopf-Hals-Haltung (S1) wurde nur für D3 des siebten Halswirbels ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) festgestellt.

D1 nahm vom dritten bis zum siebten Halswirbel ab, D2 blieb relativ konstant. Bei Flexion (S2) stellte sich D3 des siebten Halswirbels größer als die der anderen Wirbel dar, bei Extension (S3) und physiologischer Kopf-Hals-Haltung (S1) war hingegen jeweils D3 des dritten Halswirbels am größten.

Der Winkel zwischen dem dritten und vierten Halswirbel war sowohl in physiologischer Kopf-Hals-Haltung als auch in Flexion (S2) negativ, in Extension (S3) war er hingegen positiv ($p < 0,001$) (Tab. 1).

Zwischen viertem und fünftem Halswirbel unterschied sich der Winkel signifikant zwischen Extension (S1) und Flexion (S2) ($p < 0,05$). Bei den kaudalen Wirbeln (fünfter bis siebter Halswirbel) waren die Winkel in der Flexion (S2) signifikant kleiner als in Extension (S3) und in physiologischer Kopf-Hals-Haltung (S1) ($p < 0,001$).

Die größte Winkeländerung beim Vergleich aller drei Kopf-Hals-Haltungen konnte zwischen dem sechsten und siebten Halswirbel festgestellt werden.

Diskussion

Es konnte am stehenden Pferd nachgewiesen werden, dass D3 im seitlichen Röntgenbild bei Flexion (S2) deutlich größer als bei den anderen beiden Kopf-Hals-Haltungen (S1 und S3) erscheint und sich somit die Foramina intervertebralia größer abbilden. Zwischen Extension (S3) und physiologischer Kopf-Hals-Haltung (S1) konnten, außer für D3 des siebten Halswirbels, keine Unterschiede festgestellt werden. Für D1 und D2 wurden erwartungsgemäß keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Kopf-Hals-Haltungen nachgewiesen. Gleichzeitig konnte dadurch der Versuchsaufbau bestätigt werden.

Die relativ große Standardabweichung der ermittelten Werte ergab sich durch ein relativ heterogenes Untersuchungsmaterial in Bezug auf Alter und Größe der untersuchten Tiere. Jedoch konnten bei der statistischen Auswertung der erhobenen Daten trotzdem signifikante Unterschiede ermittelt werden. Die dorsoventrale Beweglichkeit des Halses ist im Atlantooccipitalgelenk am größten, nimmt im Atlantoaxialgelenk ab und steigt in den

kaudalen Facettengelenken wieder an (*Clayton* und *Townsend* 1989a). Bei Fohlen ist die Beweglichkeit der Facettengelenke sogar noch größer als bei erwachsenen Pferden, nur die dorsoventrale Beweglichkeit der Facettengelenke C6/C7 und C7/Th1 zeigt keine altersabhängige Veränderung (*Clayton* und *Townsend* 1989b). Diese größere Beweglichkeit der kaudalen Halswirbelsäule führte in unserer Studie zu stärkeren Veränderungen von D3 im Bereich des fünften bis siebten Halswirbels als im Bereich des dritten und vierten Halswirbels. Ebenso stellten wir zwischen sechstem und siebtem Halswirbel die größte Winkeländerung fest.

Sleutjens et al. (2010) fanden bei der Untersuchung von Wirbelsäulenpräparaten von Warmblütern im Computertomographen eine Verkleinerung der Foramina intervertebralia bei Extension des Halses im Vergleich zur Flexion des Halses. Zwischen physiologischer Kopf-Hals-Haltung und Flexion wurde jedoch kein Unterschied gefunden. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen unserer Studie, in der sowohl Unterschiede zwischen Flexion und physiologischer Kopf-Hals-Haltung und Extension als auch zwischen Extension und physiologischer Kopf-Hals-Haltung gefunden wurden. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass wir leicht abweichende Kopf-Hals-Haltungen gewählt haben. Unsere Haltungen wurden anhand von Bezugspunkten des Pferdes gewählt, um zu testen, ob am stehenden Pferd die Größe der Foramina beeinflussbar ist. Die physiologische Kopf-Hals-Haltung (S1) und die Extension (S3) stimmen relativ gut mit denen von *Sleutjens* et al. (2010) überein. Jedoch weichen die gewählten Flexionshaltungen voneinander ab. Die Nasenrückenlinie verläuft bei der von uns gewählten Haltung senkrecht zum Boden. *Sleutjens* et al. (2010) Position entsprach der Rollkurposition, bei der die Nasenrückenlinie weit hinter der Senkrechten verläuft und gleichzeitig das Pferdemaul in Richtung des Pferdekörpers bewegt wird (*Elgersma* et al. 2010). Ebenso ist zu berücksichtigen, dass die Bewegungsmöglichkeiten lebender Pferde von Wirbelsäulenpräparaten abweichen.

Eine Absenkung des Kopfes führt zu einer größeren Inkongruenz der Facettengelenke (*Denoix* und *Paillox* 2000). *Lautenschläger* et al. (2009) vermuteten, dies könnte zu einer Verschattung der Foramina intervertebralia führen. In unserer Studie stellten sich die Foramina intervertebralia jedoch gerade bei abgesenktem Kopf am größten dar.

Röntgenaufnahmen des Halses in seitlicher Projektion gelten als Standard zur Darstellung knöcherner Veränderungen der Halswirbelsäule. Um optimale Röntgenaufnahmen zu erhalten, sollte der Zentralstrahl senkrecht zur zu untersuchenden Struktur verlaufen. Da bei unserer gewählten Flexionsposition alle Halswirbel auf einer Höhe waren, war es in dieser Stellung

am einfachsten, jeden Wirbel auf der gleichen Höhe zu treffen. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass sich im Vergleich zur physiologischen Kopf-Hals-Haltung die Anordnung der Wirbel verändern kann und deren Beurteilung schwieriger wird (*Butler* 2008). Strukturen werden auf Röntgenaufnahmen immer vergrößert dargestellt, so dass unsere Messwerte größer als die wirklichen anatomischen Strukturen ausfielen. Ebenfalls muss beachtet werden, dass der Vergrößerungsfaktor von der Bildmitte zu den Rändern zunimmt, und so eine gewisse Verzerrung auf den Röntgenbildern entsteht. Dieser Vergrößerungsfaktor ist sowohl vom Film Fokus-Abstand als auch vom Film-Objekt-Abstand abhängig. Beide wurden in unserer Studie möglichst konstant gehalten, jedoch war dies durch die zwangsläufige Halsbewegung zwischen den einzelnen Aufnahmen nur eingeschränkt möglich. Darauf sind die geringgradigen Messunterschiede für D1 und D2 desselben Wirbels in unserer Studie auf den verschiedenen Aufnahmen zurückzuführen (Abb. 6 und 7).

Arthrose der zervikalen Facettengelenke kann durch Knochenzubildungen und Zystenbildung zur Verkleinerung der Foramina intervertebralia führen. Diese Veränderungen treten am häufigsten im kaudalen Abschnitt der Halswirbelsäule auf (*Powers* et al. 1986, *Gerber* et al. 1989). Dadurch kann es zu Druck auf die Nervenwurzeln und das Rückenmark kommen, wodurch Schmerzen und Steifheit des Halses, Ataxie und Vorderhandlahmheit auftreten können (*Gerber* et al. 1989). Eine objektive Methode zur Identifizierung von pathologisch veränderten Facettengelenken stellt die Messung auf lateralen Röntgenaufnahmen dar (*Hett* et al. 2006). Ventrale Knochenzubildungen der Facettengelenke können zu Verschattungen der Foramina intervertebralia führen, so dass diese verkleinert erscheinen und zur Identifizierung pathologischer Facettengelenke genutzt werden können (*Lautenschläger* 2007, *Lautenschläger* et al. 2009, *Down* und *Henson* 2009). Nur bei jungen Pferden oder in sehr starken Ausprägungen sollte dies als pathologisch angesehen werden, da keine Korrelation zwischen röntgenologischen Befunden und klinischen Anzeichen gefunden werden konnten (*Down* und *Henson* 2009). Studien von *Lautenschläger* (2007) und *Lautenschläger* et al. (2010) beschreiben ein Messsystem auf Schrägaufnahmen, um gesunde von erkrankten Facettengelenken abzugrenzen. Jedoch wurden bei einer Überprüfung dieser Methoden in einer kürzlich veröffentlichten Studie festgestellt, dass sich die Abweichungen der Werte zwischen verschiedenen Gutachtern im gleichen Bereich wie die Unterschiede der Messwerte für gesunde und kranke Facettengelenke befanden (*Lischer* et al. 2010).

Beim Menschen sind klinische Erkrankungen abhängig von der Position der dorsalen Nervenwurzeln. Eine Radikulopathie durch Verkleinerung der Foramina intervertebralia ist

bei proximal gelegenen dorsalen Nervenwurzeln wahrscheinlicher als bei distal gelegenen (*Yabuki* und *Kikuchi* 1995). Dies könnte auch bei Pferden eine Rolle spielen und würde erklären, wieso bei verschiedenen Pferden mit ähnlichen röntgenologischen Befunden unterschiedliche Ausprägungen klinischer Symptome auftreten.

Flexion und Extension der Halswirbelsäule führen zu einer Veränderung der Distanz zwischen der Extremitas caudalis und den Processus articulares craniales des darauf folgenden Wirbels (D3), dadurch erscheinen die Foramina intervertebralia größer. Dies war besonders im kaudalen Halsdrittel aufgrund der größeren Beweglichkeit der Halswirbel deutlich. In Flexion (S2) sind die Foramina intervertebralia am größten und dadurch am besten zu beurteilen. Daraus folgt, dass bei der Beurteilung der Foramina intervertebralia immer auch die Kopf-Hals-Haltung berücksichtigt werden muss und nur Aufnahmen in der gleichen Haltung miteinander verglichen werden sollten. Gleichzeitig ist über eine Standardisierung der Aufnahmen nachzudenken, um durch verbesserte Vergleichbarkeit Manipulationen und Fehlinterpretationen einzuschränken.

Literatur

Butler J. A. (2008) The Spine. In: Butler J. A. [Hrsg.]: Clinical radiology of the horse. 3rd. ed., Willey-Blackwell Science, Oxford, 505-535

Clayton H. M. und *Townsend H. G. G*. (1989a) Kinematics of the cervical spine of the adult horse. Equine Vet. J. 21, 189-192

Clayton H. M. und *Townsend H. G. G.* (1989b) Cervical spine kinematics: a comparison between foals and adult horses. Equine Vet. J. 21, 193-195

Denoix J. M. und *Pailloux J. P.* (2000) Physiotherapie nach Region. In: Denoix, J.-M. und Pailloux, J.-P. (Hrsg.): Physiotherapie und Massage bei Pferden. Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart, Hohenheim, 169-208

Dimock A. N. und *Puchalski S. M.* (2010) Cervical radiology. Equine Vet. Educ. 22, 83-87

Down S. S. und *Henson F. M. D.* (2009) Radiographic retrospective study of the caudal cervical articular process joints in the horse. Equine Vet. J. 41, 518-524

Elgersma A. E., Wijnberg I. D., Sleutjens J., Van der Kolk J. H., Van Weeren P. R. und *Back W.* (2010) A pilot study on objective quantification and anatomical modelling of in vivo head and neck positions commonly applied in training and competition of sport horses. Equine Vet. J. Suppl. 38, 436-443

Gerber H., Fankhauser R., Straub R. und *Ueltschi G.* (1980) Spinale Ataxie beim Pferd, verursacht durch synoviale Cysten in der Halswirbelsäule. Schweiz. Arch. Tierheilk. 122, 95 – 106

Gerber H., Ueltschi G., Diehl M., Schatzmann U. und *Straub R.* (1989) Untersuchungen an der Halswirbelsäule des Pferdes - Eine klinisch-radiologische Studie. Schweiz. Arch. Tierheilk. 131, 311-321

Hett A. R., Busato A. und *Ueltschi G.* (2006): Radiologische Messungen an der arthrotisch veränderten Halswirbelsäule des Pferdes - eine retrospektive, statistische Studie. Pferdeheilkunde 22, 241 - 249

Kitagawa T., Fujiwara A., Kobayashi N., Saiki K., Tamai K. und *Saotome K.* (2004) Morphologic Changes in the Cervical Neural Foramen due to Flexion and Extension. Spine 29, 2821–2825

Lautenschläger I. (2007) Die röntgenologische und ultrasonographische Darstellung der Facettengelenke der Halswirbelsäule beim Warmblutpferd. Vet. Med. Diss. Hannover

Lautenschläger I., Baumann I., Schulze M., Martens I., Rohn K. und *Stadler P.* (2009) Die röntgenologische Darstellung der caudalen Facettengelenke der Halswirbelsäule beim Warmblutpferd. Pferdeheilkunde 25, 544-553

Lautenschläger I., Baumann I., Martens I., Schulze M., Rohn K. und *Stadler P.* (2010) Radiologische Messung an der Halswirbelsäule des Warmblutpferdes. Pferdeheilkunde 26, 122-129

Lischer C. J., Withers J. M. und *Parkin T.* (2010) Accuracy of radiographic measurements of the Cervical Articular Process Joints of the horse. Pferdeheilkunde 26, 553-558

Muhle C., Resnick D., Ahn J. M., Sudmeyer M. und *Heller M.* (2001) In vivo changes in the neuroforaminal size at flexion-extension and axial rotation of the cervical spine in healthy persons examined using kinematic magnetic resonance imaging. Spine 26, E287-E293

Powers B. E., Stashaka T. S., Nixon J., Yovich J. V. und *Norrdin N. R. W.* (1986) Pathology of the Vertebral Column of Horses with Cervical Static Stenosis. Vet. Pathol. 23, 392-399

Sleutjens J., Voorhout G., Van der Kolk J. H., Wijnberg I. D. und *Back W.* (2010) The effect of ex vivo flexion and extension on intervertebral foramina dimensions in the equine cervical spine. Equine Vet. J. Suppl. 38, 425-430

Withers J. M., Voute L. C., Hammond G. und *Lischer C. J.* (2009) Radiographic anatomy of the articular process joints of the caudal cervical vertebrae in the horse on lateral and oblique projections. Equine Vet. J. 41, 895-902.

Yabuki S. und *Kikuchi S.* (1996) Positions of Dorsal Root Ganglia in the Cervical Spine: An Anatomic and Clinical Study. Spine 21, 1513-1537.

*Yoo J. U., Zou D, Edwards WT, Bayley J.*und *Yuan H. A.* (1992) Effect of cervical spine motion on the neuroforaminal dimensions of human cervical spine. Spine 17, 1131–1136.

Dagmar Berner

Chirurgische Tierklinik der Universität Leipzig

An den Tierkliniken 21

04103 Leipzig

Tel.: 0341/9738264

Fax: 0341/9738218

Dagmar.Berner@vetmed.uni-leipzig.de

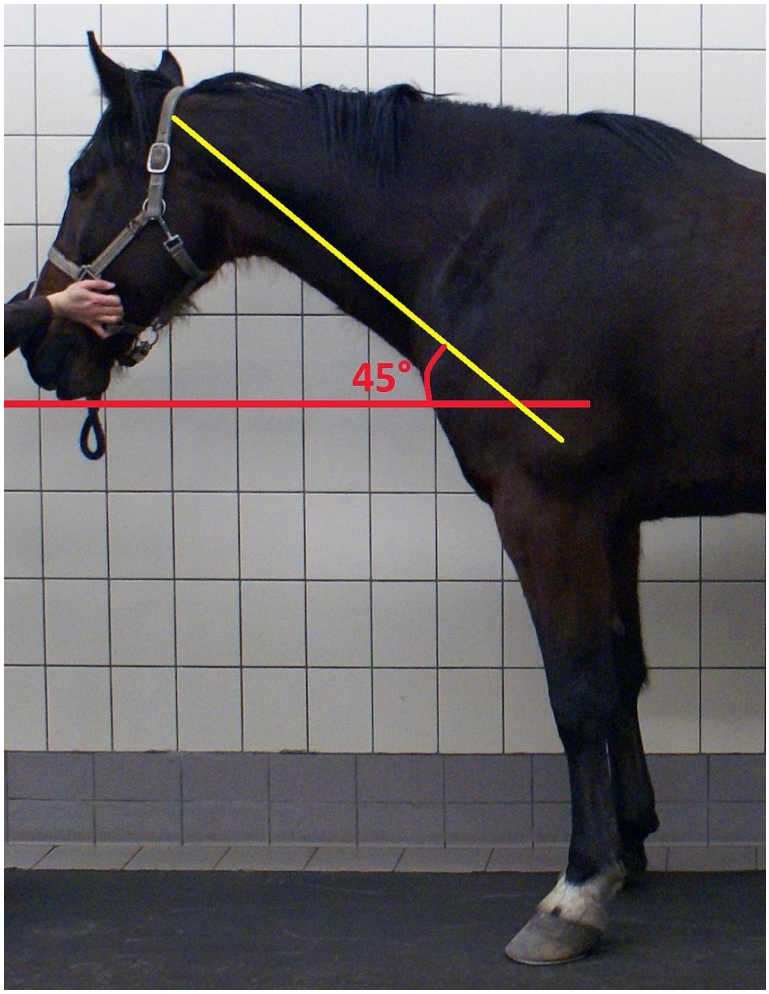


Abbildung 1 Physiologische Kopf-Hals-Haltung S1, Pferdemaul auf Höhe des Schultergelenkes

Physiological head and neck position S1, mouth at the level of the shoulder joint

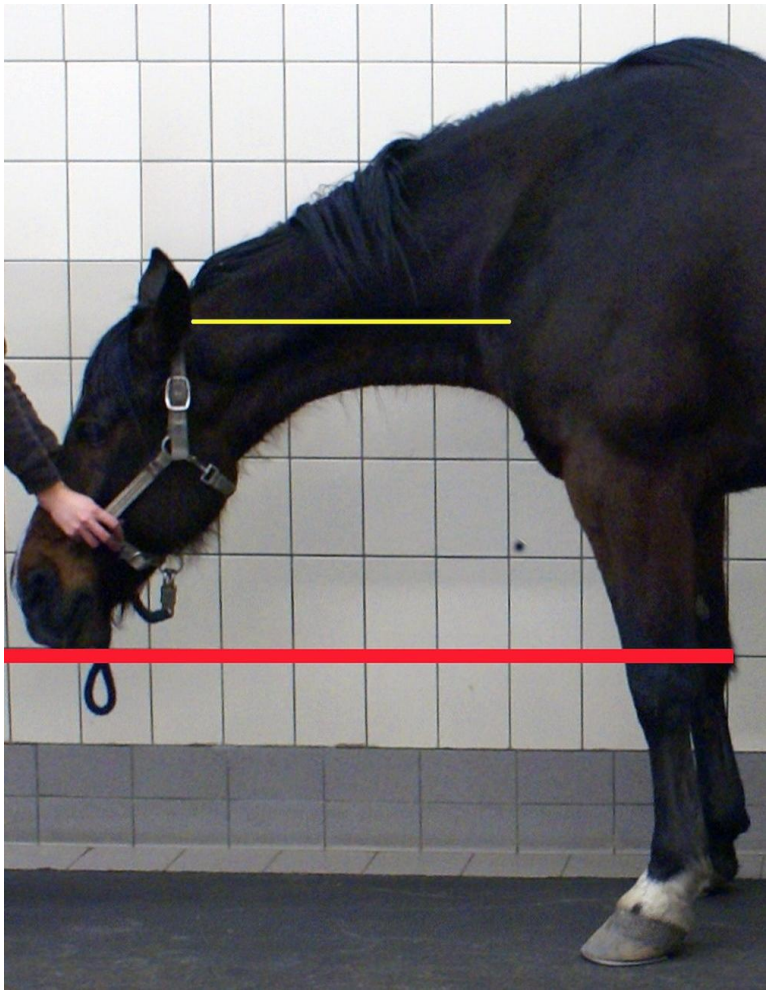


Abbildung 2 Kopf-Hals-Haltung in Flexion S2, Pferdemaul auf Höhe des Karpalgelenkes

Head and neck position in Flexion S2, mouth at the level of the carpal joint joint

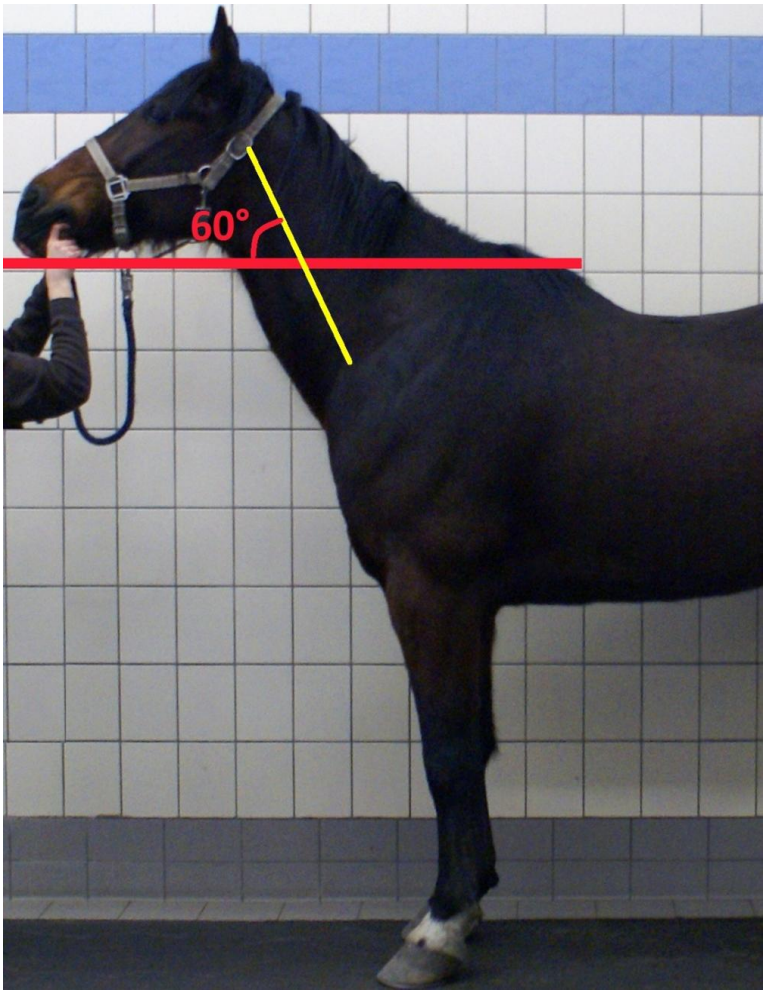


Abbildung 3 Kopf-Hals-Haltung in Extension S3, Pferdemaul auf Höhe des Widerrists

Head and neck position in extension S3, mouth at the level of the withers

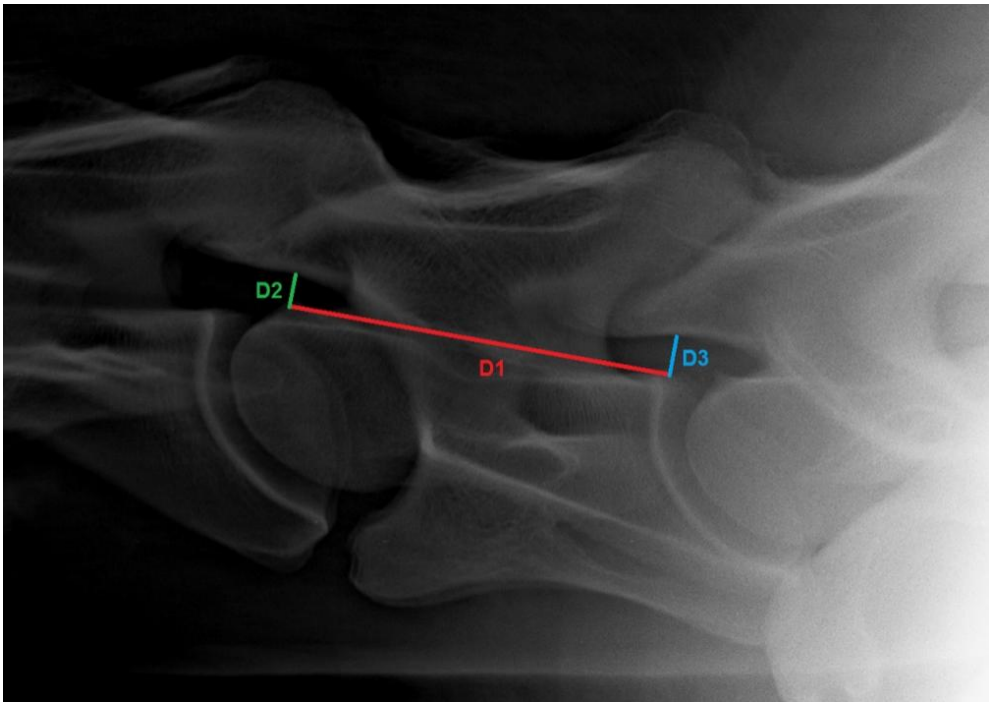


Abbildung 4 Röntgenaufnahme eines 6. Halswirbels (links ist kranial) in Flexion zur Messung der Länge des Wirbelkörpers zwischen Extremitas cranialis und Extremitas caudalis (D1), der Distanz zwischen der Extremitas cranialis und den Processus articulares craniales desselben Wirbels (D2) und der Distanz zwischen der Extremitas caudalis und den Processus articulares craniales des darauf folgenden Wirbels (D3)

Radiograph of the 6th cervical vertebra (left is cranial) in Flexion for the measurement of the length of the vertebral body (D1), the distance between the extremitas cranialis and the cranial articular processes of the same vertebra (D2) and the distance between the extremitas caudalis and the cranial articular processes of the following vertebra (D3)

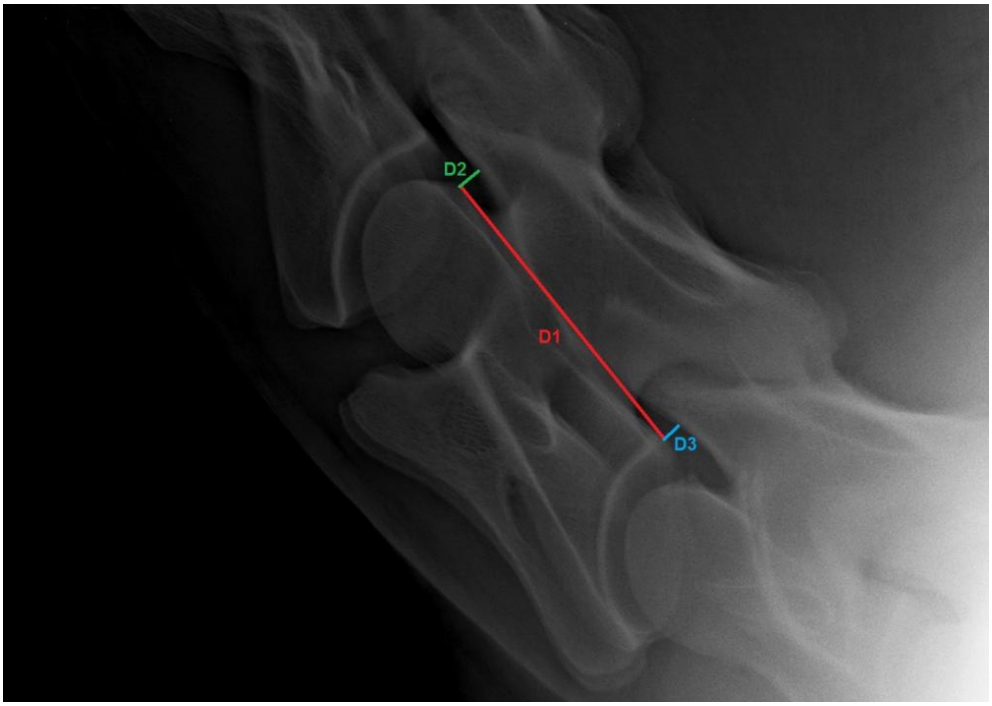


Abbildung 5 Röntgenaufnahme eines 6. Halswirbels (links ist kranial) in Extension des selben Pferdes wie in Abb. 4. Sowohl D1 als auch D2 sind unverändert. D3 stellt sich deutlich kleiner dar.

Radiograph of the 6th cervical vertebra (left is cranial) in Extension of the same horse as in Abb. 4. D1 and D2 show no variation. D3 is clearly smaller.

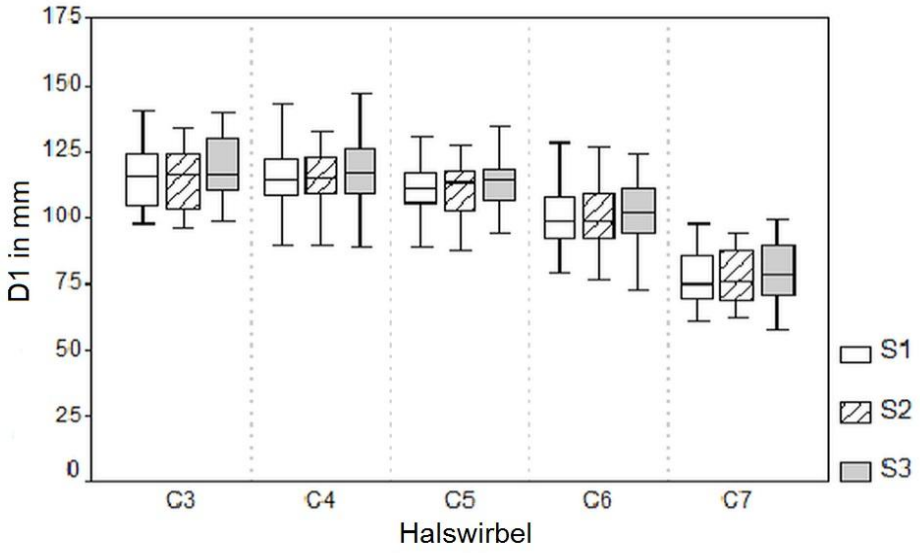


Abbildung 6 Länge der Wirbelkörper (D1) von C3 bis C7 in den drei gewählten Kopf-Hals-Haltungen S1-S3. S1 = physiologische Kopf-Hals-Haltung, S2 = Flexion, S3 = Extension

Length of the vertebral bodies (D1) from C3 to C7 at the three different head and neck positions S1-S3. S1 = physiological, S2 = flexion, S3 = extension

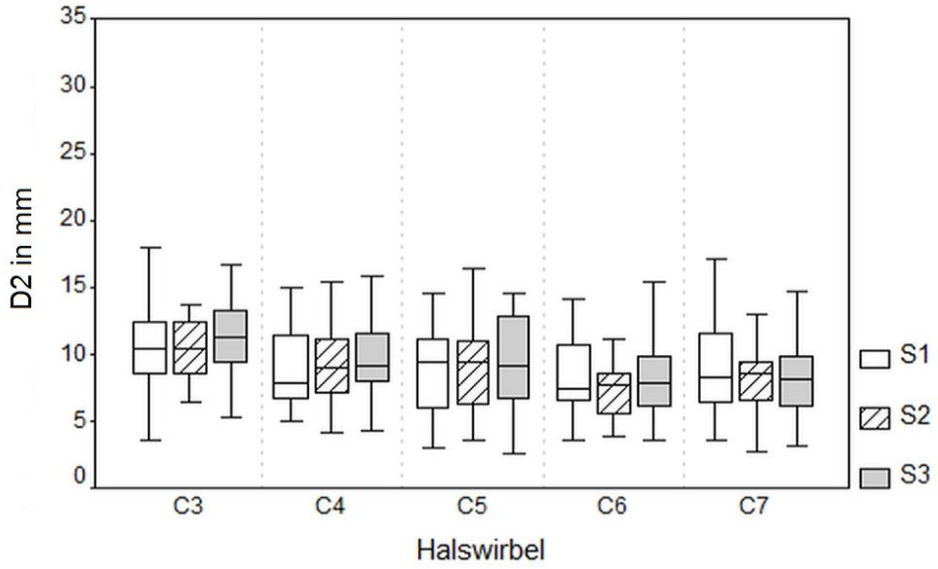


Abbildung 7 Distanzen zwischen der Extremitas cranialis und den Processus articulares craniales desselben Wirbels (D2) von C3 bis C7 in den drei gewählten Kopf-Hals-Haltungen S1-3. S1 = physiologische Kopf-Hals-Haltung, S2 = Flexion, S3 = Extension

Distances between the extremitas cranialis and the cranial articular processes of the same vertebra (D2) from C3 to C7 at the three different head and neck positions S1-S3. S1 = physiological, S2 = flexion, S3 = extension

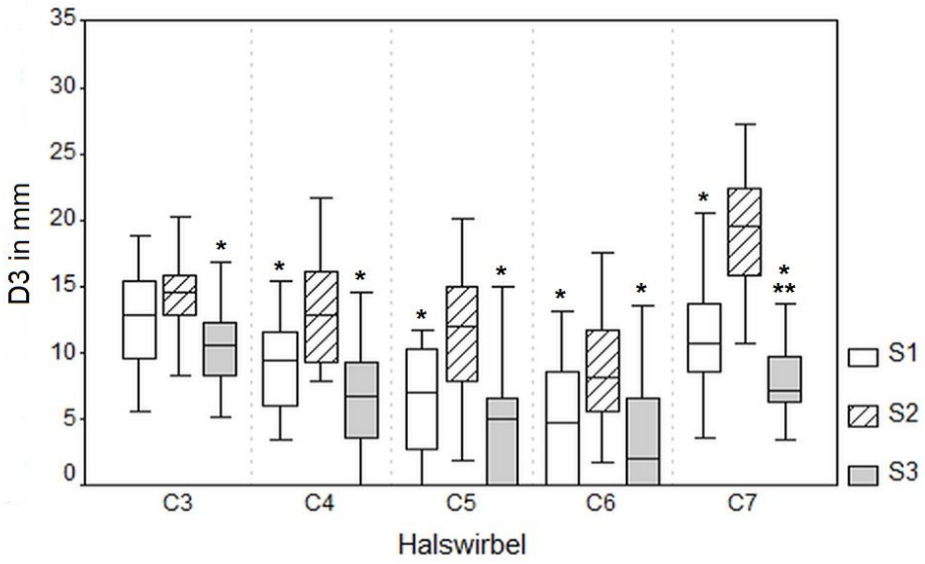


Abbildung 8 Messwerte der Distanzen zwischen der Extremitas caudalis und den Processus articulares craniales des darauf folgenden Wirbels (D3) in den drei verschiedenen Kopf-Hals-Haltungen S1-S3. S1 = physiologische Kopf-Hals-Haltung, S2 = Flexion, S3 = Extension. * = signifikanter Unterschied zu S2 ($p < 0,05$). ** = signifikanter Unterschied zu S1 ($p < 0,05$)

The distances between the extremitas caudalis and the cranial articular processes of the following vertebra D3 from C3 to C7 at the three different head and neck positions S1-S3. S1 = physiological, S2 = flexion, S3 = extension. * = significant difference to S2 ($p < 0.05$). ** = significant difference to S1 ($p < 0.05$)

Lokalisation	Kopf-Hals-Haltung	Winkel in °	Standard-abweichung	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
C3-C4	S1	-2,35 *	3,72	-3,99	-0,70
	S2	-3,34 *	3,28	-4,83	-1,85
	S3	4,07	6,78	1,06	7,07
C4-C5	S1	3,46	5,73	1,10	5,83
	S2	2,76 *	7,69	-0,41	5,93
	S3	6,32	5,41	4,04	8,61
C5-C6	S1	7,67	6,91	4,82	10,52
	S2	0,25 * **	7,02	-2,65	3,15
	S3	5,87	13,31	0,37	11,36
C6-C7	S1	17,96	4,47	16,11	19,80
	S2	11,73* **	6,23	9,10	14,36
	S3	20,12	4,88	18,10	22,13

Tabelle 1 Winkel zwischen zwei angrenzenden Wirbeln in den drei gewählten Kopf-Hals-Haltungen S1-S3. S1 = physiologische Kopf-Hals-Haltung, S2 = Flexion, S3 = Extension. C3-C4 = 3. und 4. Halswirbel, C4-C5 = 4. und 5. Halswirbel, C5-C6 = 5. und 6. Halswirbel, C6-C7 = 6. und 7. Halswirbel. * = signifikanter Unterschied zu S3 ($p < 0,05$). ** signifikanter Unterschied zu S1 ($p < 0,05$)

Angle between adjacent vertebrae at the three different head and neck positions S1-S3. S1 = physiological, S2 = flexion, S3 = extension. C3-C4 = 3rd and 4th cervical vertebrae, C4-C5 = 4th and 5th cervical vertebrae, C5-C6 = 5th and 6th cervical vertebrae, C6-C7 = 6th and 7th cervical vertebrae. * = significant difference to S3 ($p < 0.05$). ** = significant difference to S1 ($p < 0.05$)

3.2 Publikation 2:

Dagmar Berner, Karsten Winter, Walter Brehm und Kerstin Gerlach

Influence of head and neck position on radiographic measurement of distances between thoracic spinous processes in clinically sound horses

Equine Veterinary Journal 2012;44 (Suppl. 43):21–26

Influence of head and neck position on radiographic measurement of intervertebral distances between thoracic dorsal spinous processes in clinically sound horses

D. BERNER*, K. WINTER†, W. BREHM and K. GERLACH

Large Animal Clinic for Surgery, Faculty of Veterinary Medicine, University of Leipzig, Germany, †Translational Centre for Regenerative Medicine (TRM) Leipzig, Germany.

*Correspondence email: dagmar.berner@vetmed.uni-leipzig.de; Received: 16.12.11; Accepted: 23.06.12

Summary

Reasons for performing study: Reductions in distances between dorsal spinous processes on radiographs are used as criteria for the diagnosis of impingement of the thoracic dorsal spinous processes in horses but are potentially altered by spine motion and different head and neck positions. Objectives: To determine the influence of head and neck positions on intervertebral distances between dorsal spinous processes on radiographs of thoracic spines of clinically sound horses.

Methods: Lateral–lateral radiographs were obtained from 23 horses in 3 head and neck positions. The width of the thoracic dorsal spinous processes and intervertebral distances between adjacent thoracic dorsal spinous processes were measured at points perpendicular to a tangent between the dorsal spinous processes and the caudal extremity of the thoracic vertebrae.

Results: A low head and neck position increased intervertebral distances between adjacent thoracic dorsal spinous processes from the 8th to 15th dorsal spinous processes whereas a high head and neck position had the opposite effect ($P<0.05$). Overall, intervertebral distances between adjacent thoracic dorsal spinous processes decreased from cranial to caudal in intermediate head and neck positions ($P<0.01$). The 12th thoracic dorsal spinous process was readily identifiable due to its significant difference to the narrower cranial and broader caudal dorsal spinous process ($P<0.05$).

Conclusions: The head and neck position influences the distances between the dorsal spinous processes of the vertebrae of equine thoracic spine on radiography.

Potential relevance: The measuring system reported here offers potential to improve and standardise radiographic evaluation of thoracic dorsal spinous processes.

Keywords: horse; radiography; spinous process; kissing spines; back kinematics; head and neck positions

Introduction

Impingement of the dorsal thoracic dorsal spinous processes is a common cause of back pain in horses [1] and is diagnosed by a narrowing of the distance between the dorsal spinous processes of the thoracic vertebrae on radiographs [2–5]. However, the intervertebral distances can be altered by spine motion, whereby flexion of the thoracic vertebral column increases and extension decreases the space between the dorsal spinous processes [6]. Changes in the horse's head and neck position can also alter these intervertebral distances [7]. A high head and neck position leads to extension of the cranial thoracic spine, flexion of the caudal thoracic spine and decreases overall dorsoventral movement of the dorsal spinous processes [8,9]. Conversely, a low head and neck position results in flexion of the cranial thoracic spine, extension of the caudal thoracic spine and increases overall dorsoventral movement of the dorsal spinous processes [8,9]. The latter effect can also be caused by sedation frequently used to facilitate radiographic examinations [10].

Because impingement of the thoracic dorsal spinous processes is a common reason for insurance claims [11,12], radiographic examination of the dorsal spinous processes is often included in prepurchase examinations [13–15]. Interpretation of these radiographs can be challenging due to the poor correlation between clinical signs and radiographic abnormalities [5,16] and the lack of a uniform system for determining the intervertebral distances between thoracic dorsal spinous processes [3,4]. Most commonly, the subjectively narrowest intervertebral distance or the intervertebral distance 2 cm ventral to the dorsal edge of the dorsal spinous processes between adjacent dorsal spinous processes are measured. The aims of this study were to determine the influence of head and neck position on the intervertebral distances between thoracic dorsal spinous processes and to develop a reliable measuring system for standardised evaluation of radiographs of the dorsal spinous processes.

Materials and methods

Twenty-three horses (aged 3–22 years; mean 11 years, 11 Warmbloods, 8 Haflinger, 3 ponies and one Heavy Warmblood; 11 mares, 10 geldings and 2 stallions) were included in this study. Only 3 of the horses were regularly ridden; the others were 13 pasture horses, 5 stud mares and 2 pleasure horses.

All horses underwent a clinical examination of the back, including inspection and palpation of the back muscles and evaluation of the dorsoventral and lateral mobility of the back. Neurological examinations and lameness evaluations were performed to rule out other abnormalities. Only horses lacking clinical signs of back problems were included in this study.

Radiographic examination

After sedation with romifidine hydrochloride (Sedivet[a], 0.06 mg/kg bwt i.v.) and butorphanol tartrate (Alvegesic[b], 0.01 mg/kg bwt i.v.) the horses were radiographed in the following 3 head and neck positions (Fig 1):

Intermediate: mouth at the level of the shoulder joint,

Low: mouth at the level of the carpal joint,

High: mouth at the level of the withers.

The horses stood squarely on all 4 feet to prevent lateroflexion or rotation of the spine. In each of the 3 different positions, 2 digital, lateral–lateral radiographs (Fujifilm FCR 5000)[c] of the spine from the 7th thoracic to the first lumbar vertebrae with an overlap of approximately 4 cm were obtained using a Siemens Polydorus 100 X-ray tube[d]. Radiographs in any one horse were either all left lateral to right lateral or all right lateral to left lateral. The exposure values were 80–87.5 kV and 160–180 mAs depending on the horse's size. The cassettes (Fujifilm Cassette type C, 35 x 43 cm)[c] were held as closely as possible to the horse to minimise distortion of the images by magnification. To minimise scattered radiation reaching the imaging plate, a Bucky Grid (r12, N40, Pb)[d] and a custom-made device[d] positioned on the horse's back were used (Fig 2).

The Bucky grid was vertically aligned to ensure that the arrangement of cassettes remained constant and the cranial border of the cassette was always vertical. Additionally, the tube head and Bucky grid were interlinked to provide parallel adjustment.

The custom-made device consisted of 2 rows of lead pads arranged perpendicular to each other fixed with foam pads. The row close to the horse's back was parallel to it, the other row was centred and vertical to the horse's back. Through their special arrangement, the lead pads minimised the scattered radiation reaching the imaging plate above the thoracic dorsal spinous processes.

To obtain radiographs of the thoracic dorsal spinous processes and vertebral bodies with same exposure values, an aluminium filter[e] was used to progressively attenuate the primary beam from ventral to dorsal compensating for variation of tissue thickness. The x-ray beam was centred on the articular process joints, focus object distance was 80 cm and focus film distance was 110 cm.

Isolated spines were extracted and post mortem radiographs obtained from 6 of the Haflingers subjected to euthanasia for unrelated reasons. Pre- and post mortem radiographs were compared subjectively to verify the number of each thoracic dorsal spinous process. In the other horses, the first lumbar vertebra was used as a reference point.

Radiographic evaluation

A digital image analysis program (curaSmartClient)[f] was used to evaluate the digital radiographs. Due to poor contrast in regions of interest, radiographs were processed with an image filter for local adaptive contrast improvement according to Niblack [17], which was implemented as a C++ dynamic link library using Microsoft Visual Studio 2008[g] and integrated into the existing radiology software CuraSmartClient[f]. Local threshold of an image window with size b around pixel position i,j was calculated using Niblacks formula $T(i,j) = m(i,j)-k*s(i,j)$, where k (scaling factor for s.d.) was set at 0.2 by default and b defined empirically as 55 pixels. This filter width was chosen in order to gain enough pixel values for reliable calculation of local mean and local standard deviation from the greyscale values of the enclosed image pixels. Object boundaries were most noticeable at these values (Fig 3).

A tangent reference line, identically orientated to each vertebra, was drawn at the vertebra from the caudal point of the caudal extremity to the caudal point of the thoracic dorsal spinous processes (Fig 3). The width of the thoracic dorsal spinous processes and the intervertebral distance, i.e. the distance from each dorsal spinous process to the caudal adjacent processs were measured. These measurements were made perpendicularly to the tangent, both starting at the point of intersection between the tangent and the caudal point of the thoracic dorsal

spinous processes (Fig 3). The width and intervertebral distance measurements at the low and high positions were divided by the corresponding measurements made at the intermediate position to provide relative widths and intervertebral distances.

Only thoracic dorsal spinous processes that were separate from caudal adjacent dorsal spinous processes and that could be evaluated on radiographs of each different head and neck positions, were included in this study. The 18th vertebra was excluded because the vertebral body was obscured by soft tissue.

All measurements were repeated 3 times by the same observer (D.B.) at least one week apart. The earlier measurements were not referred to when the measurements were repeated.

Data analysis

Microsoft Excelg and SPSS18[h] were used for statistical analysis. To verify accuracy of the measurements, the coefficient of variation and combined means were calculated for repeated measurements and the combined means were used for descriptive statistics. The Shapiro–Wilk test was used to analyse data normality. Analysis of the influence of head and neck position on absolute and relative widths of the dorsal spinous processes and relative intervertebral distances between adjacent dorsal spinous processes were performed using Friedman's ANOVA and Wilcoxon signed-rank test with post hoc Bonferroni adjustment. The minimum level of significance was set at $P<0.05$.

Results

The coefficient of variation for the measurements made 3 times one week apart was 2–6%. Absolute and relative widths of thoracic dorsal spinous processes of the 7th to 15th and 17th thoracic vertebrae were not significantly different between the 3 different head and neck positions (Fig 4). There were no significant differences in the absolute width of 16th thoracic dorsal spinous processes but the relative width of the 16th thoracic dorsal spinous process was significantly different. Relative intervertebral distances between the 8th to 14th thoracic dorsal spinous processes were significantly wider in the low head and neck position than in the other 2 positions ($P<0.05$; Fig 5). The relative intervertebral distances between the 15th and 16th and 16th and 17th thoracic dorsal spinous processes were significantly wider in the low position than in the high position. In the high position, the relative intervertebral distances between the 9th, 10th, 11th, 13th and 17th thoracic dorsal spinous processes and their

respective caudal adjacent processes were significantly narrower than in the intermediate position ($P<0.05$).

The absolute width of the 12th thoracic dorsal spinous process was significantly greater than that of the 7th to 10th thoracic dorsal spinous process and significantly less than that of the 14th to 15th thoracic dorsal spinous processes ($P<0.05$) (Fig 6). Absolute intervertebral distances between the dorsal spinous processes decreased from cranial to caudal in the intermediate position ($P<0.01$).

Subjective comparison of pre- and post mortem radiographs in the subset of 6 horses confirmed that the transition between narrow cranial and wide caudal dorsal spinous processes occurred at the 12th thoracic vertebrae in all cases.

Discussion

This study investigated the influence of different head and neck positions on intervertebral distances between thoracic dorsal spinous processes measured from lateral–lateral radiographs. A high head and neck position resulted in a decrease in the intervertebral distances to the caudal adjacent spinous processes from the 8th to 15th thoracic dorsal spinous processes. Conversely, lowering of the head increased the intervertebral distances between these spinous processes.

Lowering of head and neck is an effect of sedation that is commonly used to facilitate radiographic examination of horses [10]. In standing horses, flexion of the neck leads to flexion of the thoracic spine [18]; conversely, lifting of the head and neck most probably causes extension of the thoracic spine. This is deduced from the fact, that extension of the thoracic spine has been associated with lifting of the head and neck [19]. Our study confirms this deduction as the distances between adjacent thoracic dorsal spinous processes were lowered by the high head and neck position. Flexion of the thoracic spine alters the positions of the thoracic vertebrae causing intervertebral distances between the spinous processes to become wider; extension induces the contrary. The region that undergoes most dorsoventral movement is the cranial saddle region between the 10th and 14th thoracic vertebrae [6,7,20,21], which corresponds very well with the results of this study.

Several studies have indicated that raising head and neck position leads to flexion of the caudal thoracic spine [8,9]. This region was excluded from the present study because the measuring system used in the study was not reliable for the caudal spinous processes as they

were not clearly defined due to their superimposition with the diaphragm and soft tissues. In contrast to previous studies, in the current study, the head and neck were only low but not flexed [8,9]. Previous researchers have used rollers or side reins to manipulate head and neck position but this was not possible here because of the unavoidable superimposition with the spinous processes on the radiographs that such equipment produces. Additionally, horses stood squarely on all 4 feet to limit changes in the intervertebral distances only to different head and neck positions. According to the bow-and-string-concept, the thoracic spine is flexed by retraction of forelimbs and protraction of hindlimbs. Protraction of forelimbs and retraction of hindlimbs result in extension of the thoracic spine [22].

Consequently, intervertebral distances between the spinous processes might increase if radiographs were obtained in positions in which horses flex their neck, retract their forelimbs and protract their hindlimbs. Due to its influence on spine movement, the head and neck positions should always be considered when taking radiographs of the thoracic spine in horses.

There is little information on the reference points used to determine the intervertebral distance between the thoracic dorsal spinous processes. One common approach is to identify and measure the subjectively narrowest intervertebral distance between spinous processes. However, by evaluating the same radiographs taken at each of the head and neck positions on 3 separate occasions, we have found that measurements derived by that method were not repeatable (data not shown). In other studies, intervertebral distances were measured 1.5 cm ventral to the proximal edge of the thoracic dorsal spinous processes in foals [4] and 2 cm in adult horses [3], respectively.

This study included both Warmbloods and ponies with high variation in lengths of the thoracic dorsal spinous processes and it was not possible to identify an optimal measurement point based on the intervertebral distance from the proximal edge of the thoracic dorsal spinous processes. Therefore, we developed a new measuring system using 2 reference points that were static to each other to allow measurements to be made at the same point on each radiograph and have provided evidence for the repeatability of this method. Magnification of anatomical structures varies among horses of different shapes and sizes. To account for this, the widths of the thoracic dorsal spinous processes and the intervertebral distance between vertebrae were corrected for radiographic magnification and the horse’s size by being expressed as a ratio of each measurement at the high and low head and neck positions to the corresponding measurement from the intermediate position.

As the measurements obtained for the widths of the 7th to 15th thoracic dorsal spinous processes were not significantly different, these values were used to verify comparability of the radiographs and ensure that significant differences in intervertebral distances could be associated with changes in the head and neck positions. One of the limitations of the system reported here related to the requirement that the radiographs include the dorsal spinous processes as well as the vertebral bodies. The vertebral bodies of the caudal thoracic vertebrae are often not clearly defined due to their superimposition with the diaphragm and soft tissues. This is reflected in the significant differences identified for the relative widths of the 16th thoracic dorsal spinous processes between the low and high head and neck positions.

Radiologically detectable pathological changes have been described in several studies examining horses without back problems [3,5,16]. Thus, in prepurchase examinations and in horses without clinical signs of back pain, it is difficult to determine the clinical significance of changes identified on radiographs. Radiographs of the equine back are often taken as a part of the prepurchase examination to rule out impingement of the thoracic dorsal spinous processes [13–15] and can lead to common insurance claims [11,12]. Therefore, it is crucial to standardise the horse's position and the measurement system in order to guarantee a uniform interpretation of these radiographs. According to the German 'Roentgenleitfaden' (x-ray guide) [14], intervertebral distances under 8 mm are a marginal variance from the norm. Other authors define only intervertebral distances under 4 mm as indicative of pathological changes [2,3,5,23], or only impingement of the dorsal spinous processes by themselves [16]. In the present study, we determined that altering the horse's head and neck position affected the intervertebral distances between the thoracic dorsal spinous processes and therefore might influence the interpretation of radiographs of this area.

The most common site for impingement of the thoracic dorsal spinous processes is the saddle region (i.e. 12th to 17th thoracic vertebrae) [1,5,24–26] and repeated overextension of the vertebrae is considered to be one factor in the development of impingement of the thoracic dorsal spinous processes. Athough some authors suggest that the rider's weight is the source for the over extension [24,25], impingement of the thoracic dorsal spinous processes has been identified in horses that had never been ridden [27]. In the present study, intervertebral distances between the dorsal spinous processes in the saddle region were smaller than those in the cranial area, which could explain the more frequent changes identified in the saddle region. In horses with back pain and in older horses, dorsoventral movement decreases [28,29], which can result in a smaller change in the intervertebral distances between the dorsal spinous

processes when using different head and neck positions. Although the average age of the horses in this study was high compared to horses investigated in other studies, we detected significant differences between different head and neck positions.

Numerical identification of dorsal spinous processes on radiographs is not easy. The diaphragm and anticlinal thoracic dorsal spinous process can serve as reference points but the diaphragm moves during respiration and the anticlinal thoracic dorsal spinous process has been described as either the 15th or 16th thoracic dorsal spinous processes [6,16]. Comparison of premortem with post mortem radiographs of isolated spines in this study has confirmed that the 12th thoracic dorsal spinous processes marked the change between the narrow cranial and wide caudal spinous processes and therefore be can be used for numerical identification of thoracic dorsal spinous processes. Thus, radiographs should include the 11th to 13th dorsal spinous processes so that other dorsal spinous processes can be referenced from the 12th.

In conclusion, this study demonstrates the influence of head and neck positions on the intervertebral distances between the thoracic dorsal spinous processes in horses lacking clinical evidence of back pain. Because a low head and neck position results in an increase in these intervertebral distances and a high head and neck position has the opposite effect, veterinarians should take care to standardise head and neck position for radiographic examination of thoracic dorsal spinous processes in horses. Radiographs should include the 11th to 13th spinous processes in order to use the 12th thoracic dorsal spinous process as a reference point to identify the others. The measuring system described in this study proved to be reliable and easy to apply and therefore offers potential to improve standardised evaluation of such radiographs.

Authors' declaration of interests

No competing interests have been declared.

Sources of funding

This study was not funded by any external body.

Acknowledgements

The authors thank the Large Animal Clinic for Surgery of the Faculty of Veterinary Medicine of the University of Leipzig for providing equipment and facilities for the study.

Authorship

Dagmar Berner: contributed to study design, data collection, study execution, data analysis and interpretation and preparation of the manuscript. Karsten Winter: contributed to study execution, data analysis and interpretation and preparation of the manuscript. Walter Brehm: contributed to study design and preparation of the manuscript. Kerstin Gerlach: contributed to study design, data analysis and interpretation and preparation of the manuscript.

Manufacturers' addresses

[a]Boehringer Ingelheim Vetmedica GmbH, Ingelheim am Rhein, Germany.

[b]CP-Pharma Handelsgesellschaft mbH, Burgdorf, Germany.

[c]Fujifilm, Düsseldorf, Germany.

[d]Siemens AG, Munich, Germany.

[e]Podoblock, Midlaren, the Netherlands.

[f]CuraSystems, Ettlingen, Germany.

[g]Microsoft, Germany.

[h]SPSS Software GmbH, Munich, Germany.

References

1. Jeffcott, L.B. (1980) Disorders of the thoracolumbar spine of the horse – a survey of 443 cases. Equine Vet. J. 12, 197-210.

2. Ranner,W. and Gerhards, H. (2002) The occurrence of backproblems in horses in South Germany – with special reference to the 'Kissing Spine-Syndrome'. Pferdeheilkunde 18, 21-33.

3. Erichsen, C., Eksell, P., Holm, K.R., Lord, P. and Johnston, C. (2004) Relationship between scintigraphic and radiographic evaluations of thoracic dorsal spinous processes in the thoracolumbar spine in riding horses without clinical signs of back problems. Equine Vet. J. 36, 458-465.

4. Sinding, M.F. and Berg, L.C. (2010) Intervertebral distances between thoracic thoracic dorsal spinous processes in Warmblood foals: a radiographic study. Equine Vet. J. 42, 500-503.

5. Holmer, M., Wollanke, B. and Stadtbaeumer, G. (2007) X-ray alterations on spinal processes of 295 warmblood horses without clinical findings. Pferdeheilkunde 23, 507-511.

6. Jeffcott, L.B. and Dalin, G. (1980) Natural rigidity of the horse's backbone. Equine Vet. J. 12, 101-108.

7. Denoix, J.-M. (1987) Kinematics of the thoracolumbar spine of the horse during dorsoventral movements: a preliminary report. In: Equine Exercise Physiology 2, Eds: J.R. Gillespie and N.E. Robinson, ICEEP Publications, Davis, California. pp 607-614.

8. Gomez Alvarez, C.B., Rhodin, M., Bobber, M.F., Meyer, H., Weishaupt, M.A., Johnston, C. and vanWeeren, P.R. (2006) The effect of head and neck position on the thoracolumbar kinematics in the unridden horse. Equine Vet. J., Suppl. 36, 445-451.

9. Rhodin, M., Johnston, C., Holm, K.R.,Wennerstrand, J. and Drevemo, S. (2005) The influence of head and neck position on kinematics of the back in riding horses at the walk and trot. Equine Vet. J. 37, 7-11.

10. Intermediateman, S.L. and England, G.C. (2000) Investigation of romifidine and detomidine for the clinical sedation of horses. Vet. Rec. 147, 507-511.

11. Penell, J.C., Egenvall, A., Bonnett, B.N., Olson, P. and Pringle, J. (2005) Specific causes of morbidity among Swedish horses insured for veterinary care between 1997 and 2000. Vet. Rec. 157, 470-477.

12. Penell, J.C., Egenvall, A., Bonnett, B.N. and Pringle, J. (2007) Validation of computerized Swedish horse insurance data against veterinary clinical records. Prev. Vet. Med. 82, 236-251.

13. Mitchell, R.D. (2009) Imaging considerations in the purchase examination of the performance horse. Proc. Am. Ass. Equine Practnrs. 55, 296-300.

14. Gerhards, H., Hertsch, B., Jahn, P. and Brunken, G. (2007) Leitfaden für die roentgenologische Beurteilung bei der Kaufuntersuchung des Pferdes (Roentgenleitfaden RöLF 07). Gesellschaft für Pferdemedizin und Bundestieraerztekammer http://www.bundestieraerztekammer.de/

downloads/btk/leitlinien/RoentgenLeitfaden_2007.pdf

15. Westfaelisches Pferdestammbuch e.V. (2010) Tieraerztliche Untersuchung bei Koerung von Reitpferdehengsten (Richtlinie gem. §10,Nr.5f der Satzung). http://www.westfalenpferde.de/03/pdf-dateien/Roentgen-Infos.pdf

16. Jeffcott, L.B. (1979) Radiographic features of the normal equine thoracolumbar spine. Vet. Radiol. 20, 140-147.

17. Niblack, W. (1986) An introduction to digital image processing, 1st edn., Prentice Hall International,Michigan. pp 115-116.

18. Clayton, H.M., Kaiser, L.J., Lavagnino, M. and Stubbs, N.C. (2010) Dynamic mobilisations in cervical flexion: effects on intervertebral angulations. Equine Vet. J., Suppl. 38, 688-694.

19. Licka, T. and Peham, C. (1998) An objective method for evaluating the flexibility of the back of standing horses. Equine Vet. J. 30, 412-415.

20. Faber, M., Schamhardt, H., van, Weeren R., Johnston, C., Roepstorff, L. and Barneveld, A. (2000) Basic three-dimensional kinematics of the vertebral column of horses walking on a treadmill. Am. J. Vet. Res. 61, 399- 406.

21. Faber, M., Johnston, C., Schamhardt, H., van, Weeren R., Roepstorff, L. and Barneveld, A. (2001) Basic three-dimensional kinematics of the vertebral column of horses trotting on a treadmill. Am. J. Vet. Res. 62, 757-764.

22. van Weeren, P.R. (2004) Structure and biomechanical concept of the equine back. Pferdeheilkunde 20, 341-348.

23. Kreling, I. and Lauk, H.D. (1996) Surgical treatment of kissing spines syndrome– 50 cases. 1. Diagnostic methods. Pferdeheilkunde 12, 79-85.

24. Jeffcott, L.B. (1993) Back problems in the equine athlete 2. Range of conditions and lines of therapy. Pferdeheilkunde 9, 223-236.

25. Daemmrich, K., Randelhoff, A. and Weber, B. (1993) Morphological studies in relation to the biomechanics of the thoracolumbar vertebral column and the pathogenesis of overriding or kissing spines in horses. Pferdeheilkunde 9, 267-281.

26. Zimmerman, M., Dyson, S. and Murray, R. (2011) Comparison of radiographic and scintigraphic findings of the thoracic dorsal spinous processes in the equine thoracolumbar region. Vet. Radiol. Ultrasound 52, 661-671.

27. Klide,A.M. (1989) Overriding vertebral thoracic dorsal spinous processes in the extinct horse, Equus occidentalis. Am. J. Vet. Res. 50, 592-593.

28. Wennerstrand, J., Johnston, C., Roethlisberger-Holm, K., Erichsen, C., Eksell, P. and Drevemo, S. (2004) Kinematic evaluation of the back in the sport horse with back pain. Equine Vet. J. 36, 707-711.

29. Johnston, C., Holm, K.R., Erichsen, C., Eksell, P. and Drevemo, S. (2004) Kinematic evaluation of the back in fully functioning riding horses. EquineVet. J. 36, 495-498.

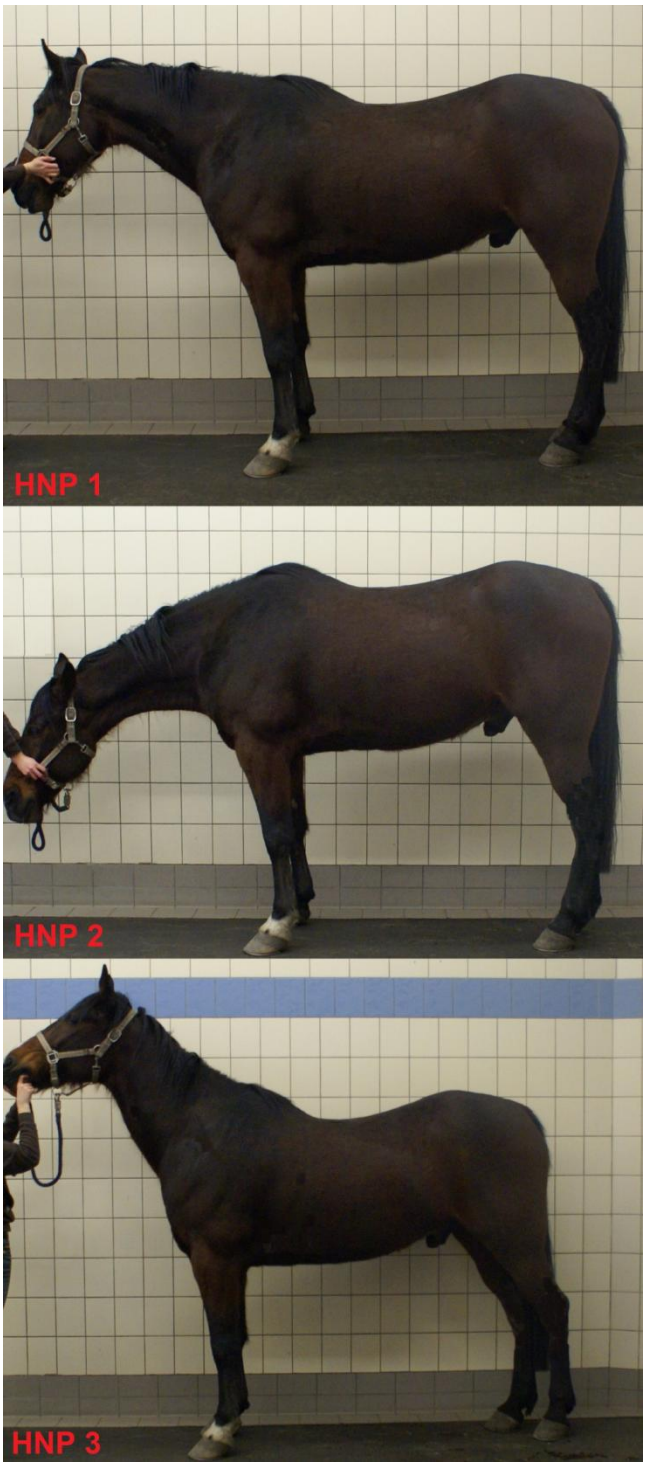


Fig 1: Head and neck positions from which radiographs were compared. HNP1 - Intermediate position, with the horse's mouth at the level of the shoulder joint. HNP2 - Low position, with the horse's mouth at the level of the carpal joint. HNP3 - High position with the horse's mouth at the level of the withers. Note when radiographs are being taken, the handler wears protective gloves

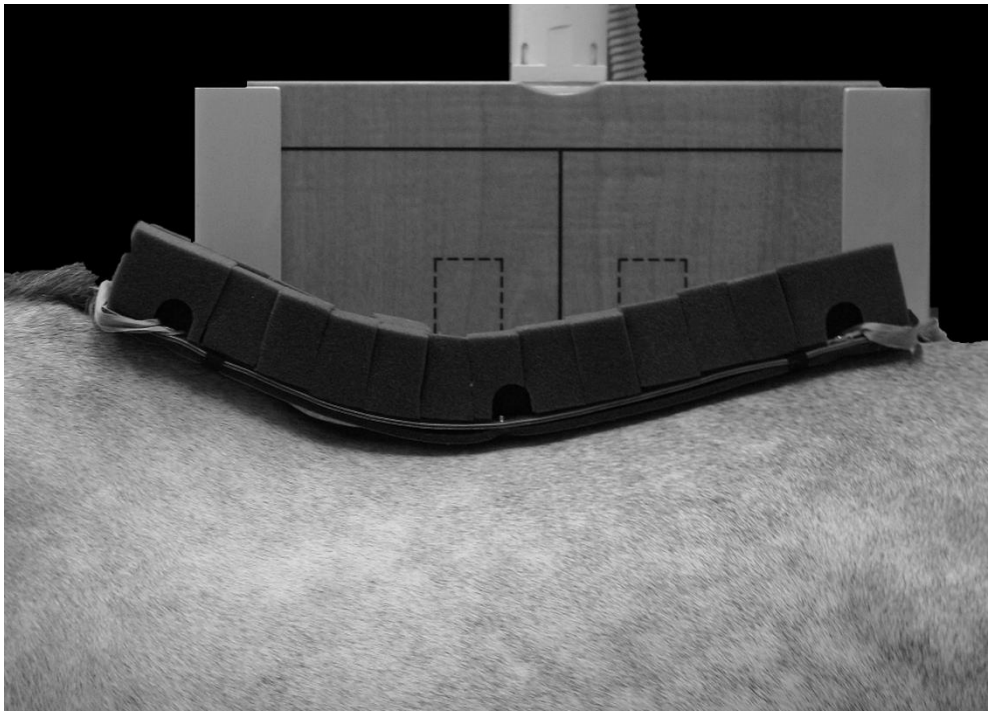


Fig 2: A custom-made device positioned on the horse’s back and a vertically aligned Bucky grid were used to minimise scattered radiation reaching the imaging plate.

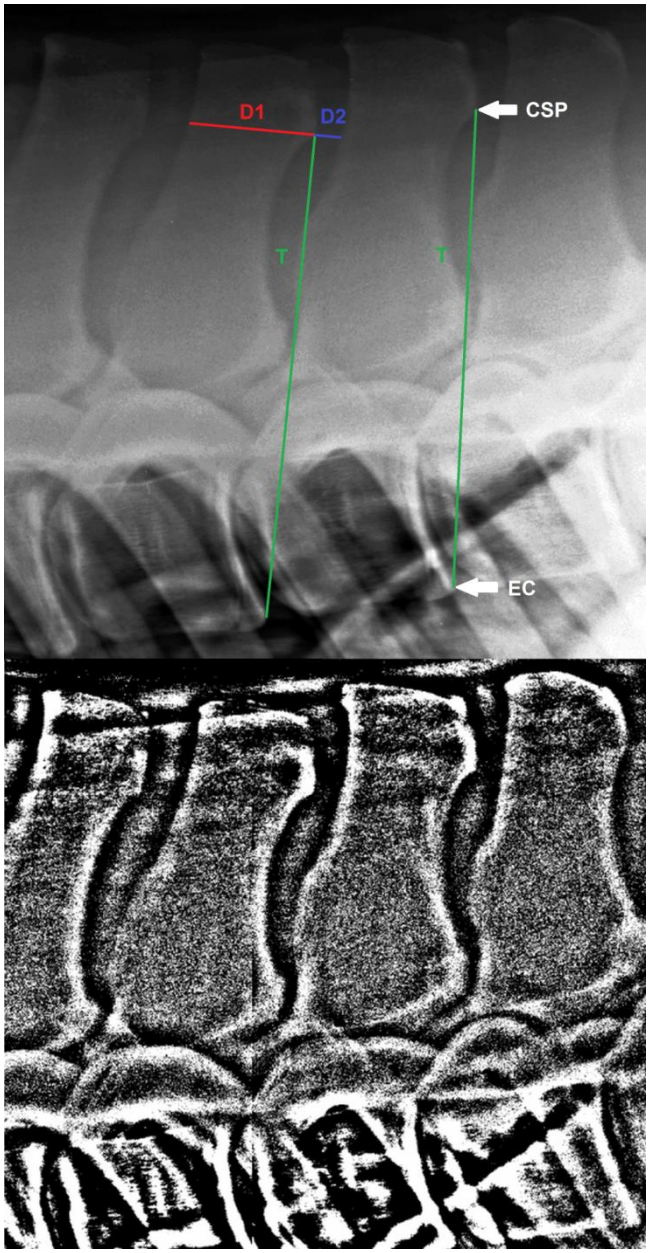


Fig 3: Plain radiograph of thoracic vertebrae in a horse (left is cranial) and same radiograph using image filter to highlight borders of structures. T = tangent, D1 = width of thoracic dorsal spinous processes, D2 = intervertebral distance from the caudal aspect of each thoracic dorsal spinous processe to the adjacent caudal process. CSP = caudal point of the thoracic dorsal spinous processes. EC = caudal point of the caudal extremity of the same thoracic vertebrae.

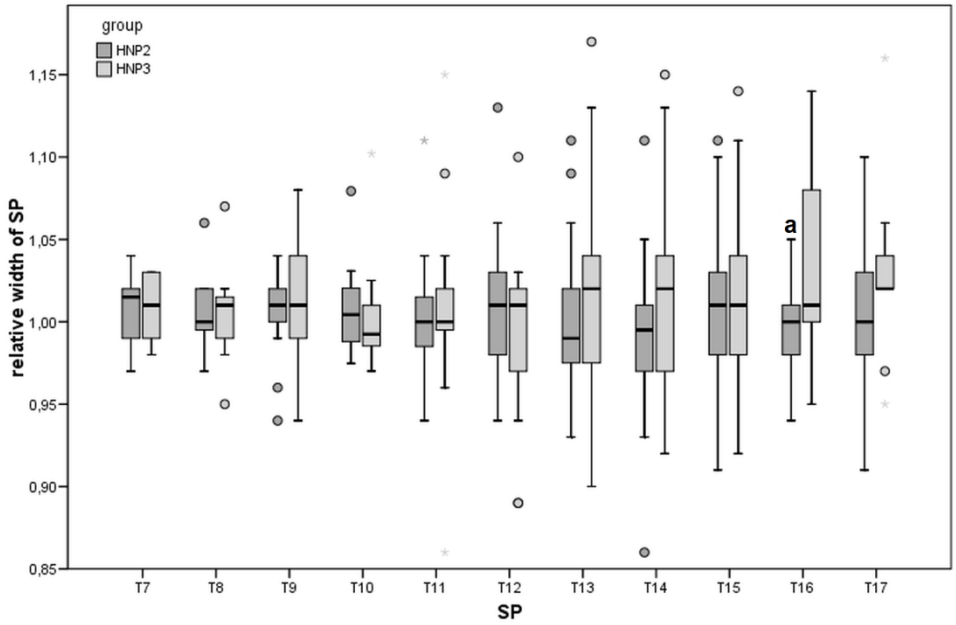


Fig 4: Box plots of relative widths of the dorsal spinous processes at the intermediate (HNP1), low (HNP2) and high (HNP3) head and neck positions measured in radiographs of the 7th (T7) to 17th (T17) thoracic vertebrae. Relative widths are calculated by dividing the measurement made at the low or high position by the corresponding measurement from the radiograph at the intermediate position. The boxes define the upper and lower quartiles with the medians marked by the horizontal lines. The vertical lines extend from the minimum to the maximum value, excluding outliers, which are displayed as circles and stars. a = a significant difference between low and high neck positions ($P<0.05$).

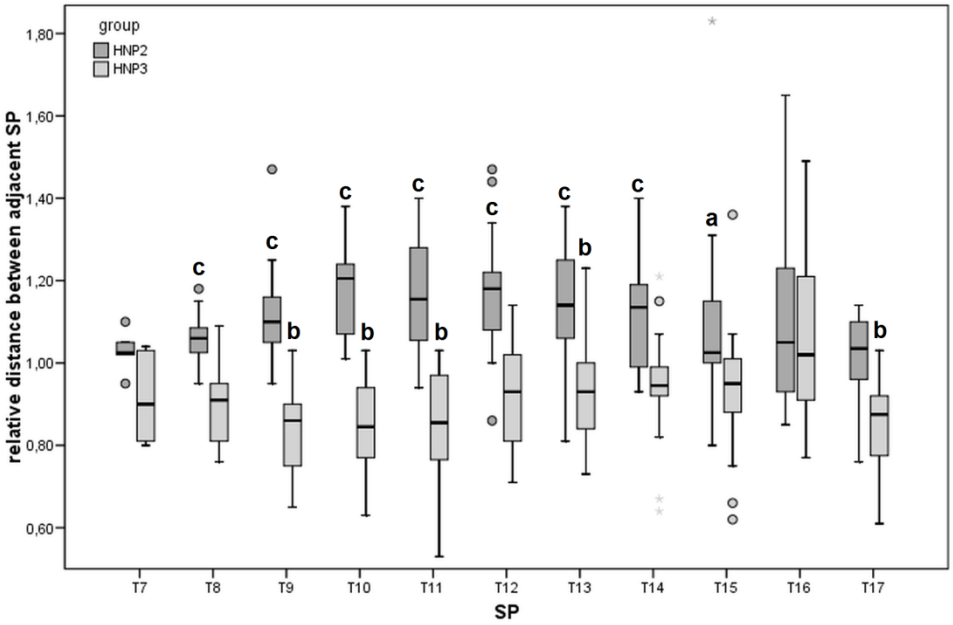


Fig 5: Box plots of relative distance from the dorsal spinous processes to the caudal adjacent dorsal spinous process at the intermediate (HNP1), low (HNP2) and high (HNP3) head and neck positions measured in radiographs of the 7th (T7) to 17th (T17) thoracic vertebrae. Relative distances are calculated by dividing the measurement made at the low or high position by the corresponding measurement from the radiograph at the intermediate position. The boxes define the upper and lower quartiles with the medians marked by the horizontal lines. The vertical lines extend from the minimum to the maximum value, excluding outliers, which are displayed as circles and stars. a = significantly different to the intermediate position and high position ($P<0.05$). b = significantly different to the high position ($P<0.05$).

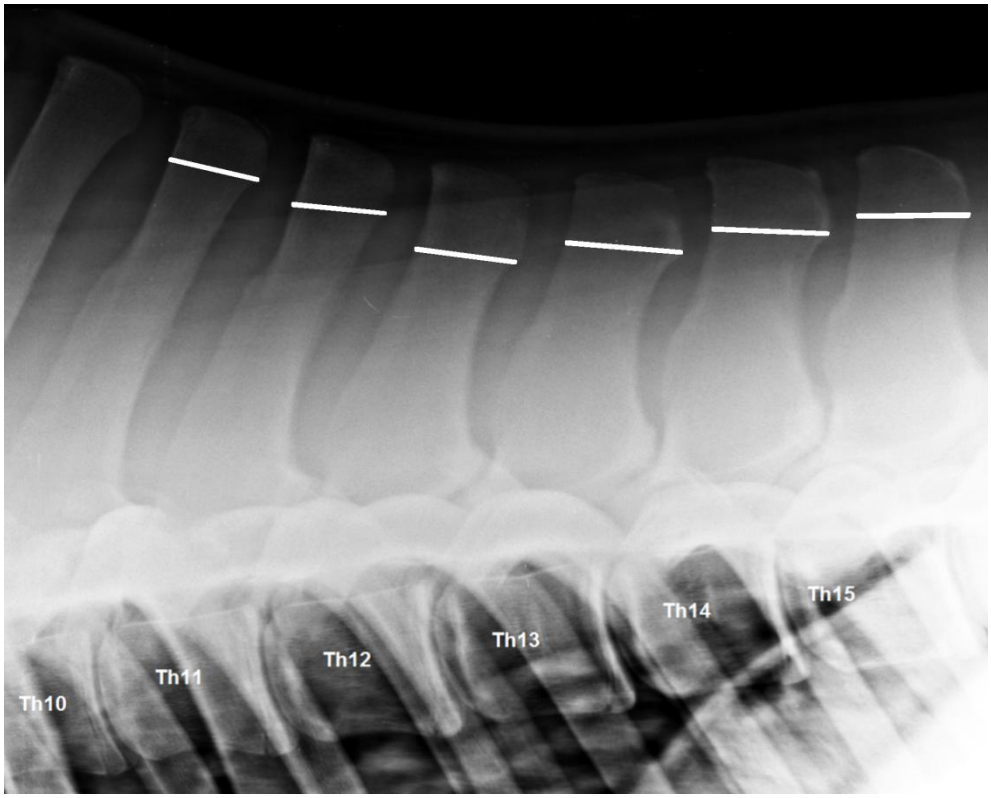


Fig 6: Radiograph of thoracic spine from the 10th (Th10) to 15th (Th15) thoracic vertebrae. Note the cranial vertebrae, Th10 and Th11, are narrower and the caudal thoracic vertebrae are broader compared with Th12.

4 DISKUSSION

4.1 Ziele der Arbeit

- Entwicklung objektiver Messmethoden zur Dimensionsbestimmung der Foramina intervertebralia und zur genauen Abstandmessung zwischen den Dornfortsätzen auf Röntgenaufnahmen

- Untersuchung des Einflusses der Kopf-Hals-Haltung auf die Dimension der Foramina intervertebralia der Halswirbelsäule und auf die Position der Halswirbel mit Hilfe von Röntgenaufnahmen

- Bestimmung des Einflusses der Kopf-Hals-Haltung auf die Distanz zwischen benachbarten Dornfortsätzen der Brustwirbelsäule auf Röntgenaufnahmen

- Möglichkeit zum Nachweis der Kopf-Hals-Haltung des Pferdes während der röntgenologischen Darstellung der Brustwirbelsäule anhand der Position der Wirbel auf der Röntgenaufnahme.

4.2 Auswahl der Pferde

In die vorliegende Studie wurden nur Pferde eingeschlossen, die keine klinischen Anzeichen einer Erkrankung der Hals- und Brustwirbelsäule aufwiesen, weil sowohl Veränderungen der Muskeln als auch der knöchernen Anteile der Wirbelsäule zu veränderter oder eingeschränkter Bewegung führen können (GERBER et al. 1989; WENNERSTRAND et al. 2004).

Dadurch war das Untersuchungsgut der vorliegenden Studie heterogen und es handelte sich größtenteils um Pferde, die relativ wenig oder gar nicht geritten wurden. Jedoch wurde der Versuchsaufbau so gewählt, dass jedes Tier seine eigene Referenz bildete und Erkrankungen ein Ausschlusskriterium darstellten. Daher können die Ergebnisse auch auf die normale Pferdepopulation übertragen werden.

Die Heterogenität der Gruppe spiegelte sich in den relativ großen Standardabweichungen wider, trotz der signifikante Unterschiede für die verschiedenen Kopf-Hals-Haltungen ermittelt werden konnten. Zusätzlich wurden bei der Auswertung der Aufnahmen der Brustwirbelsäule nicht nur die absoluten, sondern auch die relativen Abstände ausgewertet.

Für letztere wurden die Messwerte der einzelnen Kopf-Hals-Haltungen ins Verhältnis zur physiologischen Kopf-Hals-Haltung gesetzt.

4.3 Position der Pferde während der Untersuchungen

Die Kopf-Hals-Haltungen in unserer Studie wurden anhand von Referenzpunkten des Pferdes gewählt, so dass sie einfach wiederholt werden konnten. Dabei wurde für die physiologische Kopf-Hals-Haltung das Maul des Pferdes auf Höhe des Schultergelenkes positioniert. Die tiefe Kopf-Hals-Haltung (Flexion) wurde dadurch definiert, dass sich das Maul auf Höhe des Karpalgelenkes befand. Diese Position tritt häufig in Folge einer Sedierung auf, die meistens für die Anfertigung von Röntgenaufnahmen des Halses oder Rückens nötig ist (FREEMAN und ENGLAND 2000). Für die hohe Kopf-Hals-Haltung (Extension) wurde das Maul des Pferdes auf Höhe des Widerristes gehalten. Diese Kopf-Hals-Haltung wird von Pferden nur im aufgeregten Zustand eingenommen und somit eher selten während der röntgenologischen Untersuchung. Jedoch zeigen Pferde unter dem Reiter ebenfalls diese Position, wenn sie nicht über den Rücken geritten werden (MEYER 1996).

Die einzelnen Kopf-Hals-Haltungen wurden anhand des Winkels zwischen der Halswirbelsäule und einer horizontalen Linie bestimmt; dabei ergab sich für die physiologische Kopf-Hals-Haltung ein Winkel von 45°, für die tiefe 0° und für die hohe 60°.

Vergleicht man die von uns gewählten Kopf-Hals-Haltungen mit dem Versuchsaufbau in anderen Studien (RHODIN et al. 2005; ELGERSMA et al. 2010; SLEUTJENS et al. 2010), so stimmen sowohl die physiologischen Kopf-Hals-Haltungen als auch die hohen Kopf-Hals-Haltungen relativ gut überein. Während der physiologischen Kopf-Hals-Haltung befand sich der Atlas auf ungefähr derselben Höhe wie der Dornfortsatz des sechsten thorakalen Wirbels, was der neutralen Position anderer Studien entspricht. Das Maul des Pferdes befand sich bei der hohen Kopf-Hals-Haltung wie auch in den oben genannten Studien auf Höhe des Widerrists.

Jedoch unterscheiden sich die jeweils gewählten tiefen Kopf-Hals-Haltungen. In der vorliegenden Studie wurde diese Kopf-Hals-Haltung durch Absenken des Mauls bis auf Höhe des Karpalgelenkes definiert. In anderen Studien wurde das Pferdemaul nicht nur nach ventral, sondern zusätzlich nach kaudal in Richtung des Buggelenkes bzw. des Karpalgelenkes positioniert, wodurch die Nasenrückenlinie deutlich hinter der Senkrechten verlief. So wurde die sogenannte „Rollkur“-Position nachgeahmt (RHODIN et al. 2005; GOMEZ ALVAREZ et

al. 2006; SLEUTJENS et al. 2010). Diese extreme Position wurde nur mit Hilfe von Longiergurten und Zügeln erreicht. Dies erwies sich in unserer Studie jedoch als nicht praktikabel, da es bei der röntgenologischen Darstellung des Rückens zu Überlagerungen des Longiergurtes mit den zu untersuchenden Strukturen gekommen wäre. Bei der Darstellung des Halses wären die Zügel als Artefakte auf den Röntgenbildern abgebildet worden, so dass sich die Aufnahmen nur eingeschränkt hätten auswerten lassen.

Ebenfalls sind Stressaufnahmen in maximaler Flexion der Halswirbelsäule bei stehenden Pferden, wie sie bei narkotisierten Pferden beschrieben sind (BÖHM und HEBELER 1980), aufgrund von Abwehrbewegungen der Tiere unmöglich.

4.4 Röntgenologische Darstellung der Wirbelsäule der Pferde

Die Untersuchung der Wirbelsäule adulter Warmblutpferde mit Hilfe der Computer- und der Magnetresonanztomographie ist nicht nur auf den kranialen Abschnitt der Halswirbelsäule, sondern insgesamt auch durch die geringe Verfügbarkeit der notwendigen Geräte beschränkt (WAGNER und GERHARDS 2010; RUEDI et al. 2011).

Deshalb ist die Anfertigung nativer Röntgenaufnahmen zur Diagnose von knöchernen Veränderungen der Wirbelsäule von Pferden meist das Mittel der Wahl (JEFFCOTT 1979a; DOWN und HENSON 2009). Dies liegt einerseits an der hohen Verfügbarkeit von Röntgengeräten, andererseits an der einfacheren Durchführung im Vergleich zu anderen bildgebenden Verfahren. Eine myelographische Untersuchung ist mit einem höheren Risiko, bedingt durch die Punktion des Liquorraums, möglichen Nebenwirkungen des Kontrastmittels und der meist notwendigen Allgemeinanästhesie verbunden (PAPAGEORGES et al. 1987; ROSE et al. 2007).

Bei der Auswertung von Röntgenaufnahmen muss die Vergrößerung der abgebildeten anatomischen Strukturen berücksichtigt werden. Der Vergrößerungsfaktor ist sowohl vom Film-Fokus-Abstand und als auch vom Film-Objekt-Abstand abhängig. Zusätzlich ändert sich der Vergrößerungsfaktor, je weiter die Strukturen vom Zentralstrahl entfernt sind. Um den Einfluss der genannten Parameter zu minimieren wurde versucht, diese während der Aufnahmen konstant zu halten. Dies war bei den Aufnahmen des Halses, bedingt durch die zwangsläufige Bewegung der Halswirbelsäule für die verschiedenen Kopf-Hals-Haltungen, jedoch nur eingeschränkt möglich. Deshalb wurde auf den Aufnahmen ebenfalls die Größe knöcherner Strukturen bestimmt, die nicht durch eine unterschiedliche Kopf-Hals-Haltung

verändert werden konnten. Für die Aufnahmen der Halswirbelsäule wurde dafür die Länge des Wirbelkörpers und der Abstand der zwischen der Extremitas cranialis und den Processus articulares craniales desselben Wirbels gewählt. Die Breite der Dornfortsätze diente zur Überprüfung des Versuchsaufbaus beim Anfertigen der Rückenaufnahmen. Da sich für diese Referenzlinien keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Aufnahmen ergaben, konnten Größenänderungen auf den verschiedenen Aufnahmen auf eine Veränderung der Kopf-Hals-Haltung und nicht auf einen unterschiedlichen Vergrößerungsfaktor zurückgeführt werden.

Ebenfalls muss bei der Auswertung von Röntgenaufnahmen beachtet werden, dass es sich dabei um Summationsbilder dreidimensionaler Strukturen handelt. Bei der Darstellung der Wirbelsäule sollten sich deshalb die einzelnen Wirbel senkrecht zum Zentralstrahl befinden, so dass eine laterolaterale Darstellung dieser möglich ist. Jedoch findet die Bewegung der Wirbel um drei verschiedene Achsen statt, die jeweils senkrecht durch den Wirbelkörper verlaufen (KRÜGER 1939; TOWNSEND et al. 1983; CLAYTON und TOWNSEND 1989a; VAN WEEREN 2004). Die Rotation um eine Achse, die von dorsal nach ventral durch den Wirbel läuft, wird als laterale Beugung bezeichnet. Dabei bewegen sich kranialer und kaudaler Anteil des Wirbels entgegengesetzt um diese Achse. Die dorsoventrale Bewegung der Wirbel erfolgt entlang einer von rechts nach links durch den Wirbel verlaufenden Achse. Dadurch bewegen sich kranialer und kaudaler Anteil des Wirbels ebenfalls entgegengesetzt. Die Bewegung des dorsalen Wirbelanteiles nach kranial entspricht der Flexion, diejenige nach kaudal der Extension. Bei der axialen Rotation findet die Drehbewegung des Wirbels um eine von kranial nach kaudal durch den Wirbel laufende Achse statt. Dadurch bewegen sich rechter und linker Anteil des Wirbels immer entgegengesetzt.

Daraus folgt, dass nur Bewegungen in der dorsoventralen Ebene um eine parallel zum Zentralstrahl verlaufende Achse, welche der Flexion und Extension der Wirbelsäule entsprechen, dargestellt werden können. Sowohl eine axiale Rotation als auch eine laterale Beugung der Wirbel verhindern die orthograde Darstellung der Wirbel und führen zu nicht exakt ausmessbaren Aufnahmen. Diese beiden Bewegungen werden im Bereich der Brustwirbelsäule vor allem durch Entlastung einzelner Gliedmaßen verursacht. Eine schiefe Kopf-Hals-Haltung führt ebenfalls zu diesen Bewegungen im Bereich der Halswirbelsäule (KRÜGER 1939).

Eine gleichmäßige Belastung aller Gliedmaßen ist aufgrund des Einflusses der Gliedmaßenbelastung auf die Brustwirbelsäule nach der Bogen-Sehnen-Theorie ebenfalls

notwendig (SLIJPER 1946; SEIFERLE und FREWEIN 2004). Demnach kommt es zu einer Flexion des Rückens und somit zur Vergrößerung der Abstände zwischen den Dornfortsätzen, wenn die Gliedmaßen zum Körperschwerpunkt hin bewegt werden. Die Protraktion der Vordergliedmaßen und die Retraktion der Hintergliedmaßen führen dagegen zu einer Extension der Brustwirbelsäule, bei der es zur Verkürzung der Abstände zwischen den Dornfortsätzen kommt (VAN WEEREN 2004; SEIFERLE und FREWEIN 2004).

Bei den Aufnahmen der Rückenwirbelsäule wurde auf eine gleichmäßige Belastung aller vier Gliedmaßen geachtet, um gemessene Unterschiede nur auf eine Änderung der Kopf-Hals-Haltung zurückführen zu können. Für die Aufnahmen der Halswirbelsäule war es hingegen notwendig die Vorderbeine geringgradig nach kaudal zu stellen, um die Überlagerung des Schultergelenkes mit dem Facettengelenk zwischen sechstem und siebten Halswirbel zu vermeiden.

4.5 Auswertung der röntgenologischen Aufnahmen der Halswirbelsäule

Die Foramina intervertebralia der Halswirbelsäule können durch spondylarthrotische Veränderungen der Processus articulares verschmälert werden. Dies kann zur Kompression des Rückenmarkes und der Nervenwurzeln führen (GERBER et al. 1980; POWERS et al. 1986). Zur Beurteilung pathologischer Veränderungen werden deshalb in der Literatur entweder die Dimension der Foramina intervertebralia oder die Länge der Processus articulares beurteilt. Eine subjektive Beurteilung anhand der radiologischen Erscheinung der Foramina intervertebralia wurde von DOWN und HENSON (2009) durchgeführt. Jedoch konnte nur bei jungen Pferden oder hochgradigen pathologischen Veränderungen eine Korrelation zwischen klinischen Anzeichen und radiologischen Veränderungen festgestellt werden. Zur objektiven Bestimmung der Länge der Processus articulares dienen entweder laterale oder schräge Aufnahmen der Halswirbelsäule. Durch Vermessung der Länge der Processus articulares auf lateralen Röntgenaufnahmen können gegebenenfalls gesunde von kranken Pferden unterschieden werden (HETT et al. 2006). Auf Schrägaufnahmen wird die Länge der Processus articulares bestimmt (LAUTENSCHLÄGER et al. 2009; LAUTENSCHLÄGER et al. 2010).

Eine Überprüfung beider Methoden ergab jedoch, dass die Messunterschiede bei verschiedenen Untersuchern genauso groß waren wie die von den vorgenannten Autoren postulierten Unterschiede zwischen gesunden und pathologisch veränderten Facettengelenken (LISCHER et al. 2010). Keine dieser Messmethoden fand deshalb Berücksichtigung in

unserer Studie. Die Veränderung der Kopf-Hals-Haltung als einzige Variable kann außerdem nur zu einer Veränderung der Dimension der Foramina intervertebrale, nicht aber zu einer Veränderung der Länge der Processus articulares führen.

Aus vorgenannten Gründen wurde eine neue Messmethode zur Bestimmung der Dimension der Foramina intervertebralia angewandt. Dabei diente die Länge des Wirbelkörpers sowohl als Referenzlinie für den Vergleich der drei Aufnahmen in den unterschiedlichen Kopf-Hals-Haltungen als auch als Hilfslinie zur Bestimmung der Distanzen zwischen der Extremitas cranialis und der Processus articulares craniales desselben Wirbels und der Distanz zwischen der Extremitas caudalis und der Processus articulares craniales des darauffolgenden Wirbels. Durch die senkrechte Orientierung beider Messstrecken zueinander wurde gewährleistet, dass diese auf den drei Aufnahmen in den verschiedenen Kopf-Hals-Haltungen immer einen gleichen Verlauf hatten.

Die Extremitas cranialis und die Processus articulares craniales desselben Wirbels sind zwei nicht gegeneinander bewegliche Knochenpunkte, so dass die Distanz zwischen diesen auch zur Überprüfung des Versuchsaufbaues herangezogen werden konnte. Im Gegensatz dazu sind die Extremitas caudalis und die Processus articulares craniales des darauffolgenden Wirbels zwei gegeneinander bewegliche Knochenpunkte, deren Abstand sich bei Bewegung verändert. Die Distanz der Extremitas cranialis und der Processus articulares craniales desselben Wirbels und die Distanz zwischen der Extremitas caudalis und der Processus articulares craniales des darauffolgenden Wirbels verliefen innerhalb der Foramina intervertebralia und spiegelten somit Dimensionsänderungen dieser wieder. Eine direkte Flächenmessung der Foramina intervertebralia hätte ihre Dimensionsänderung genauer dargestellt. Jedoch wäre diese aufgrund des unregelmäßigen Verlaufs der Foramina intervertebralia sehr schwierig durchzuführen und würde so eine Ursache für große Messungenauigkeiten darstellen.

Ein weiterer Nachteil der röntgenologischen Darstellung der Halswirbelsäule ergibt sich durch die Überlagerung der jeweils filmnahen und filmfernen Foramina intervertebralia. Dabei wird das filmnahe Foramen intervertebrale immer kleiner und weniger verzerrt dargestellt. Deshalb wurde immer das filmnahe Foramen intervertebrale ausgewertet, da sowohl die Distanz der Extremitas cranialis und der Processus articulares craniales desselben Wirbels als auch die Distanz zwischen der Extremitas caudalis und der Processus articulares craniales des darauffolgenden Wirbels die kürzeste Distanz widerspiegeln sollten.

Die Winkel der Wirbel im Raum wurden anhand des Winkels zwischen unterem Bildrand, der durch Verwendung eines Bucky-Rasters immer horizontal im Raum verlief, und der Länge des Wirbelkörpers bestimmt. Danach wurde der Winkel zwischen zwei Wirbeln durch Differenz bestimmt, so dass es auch möglich war, Wirbel miteinander zu vergleichen, die nicht auf denselben Aufnahmen abgebildet waren.

4.6 Auswertung der röntgenologischen Aufnahmen der Brustwirbelsäule

In der Literatur finden sich keine einheitlichen Angaben über Referenzpunkte zur Bestimmung der Abstände zwischen den Dornfortsätzen. Es soll dabei die kürzeste Strecke zwischen zwei aufeinanderfolgenden Dornfortsätzen gemessen werden (RANNER und GERHARDS 2002; HOLMER et al. 2007). Jedoch werden bei dieser Methode keine Referenzpunkte genannt, so dass für unsere Studie mittels dieser Methode keine exakten Ergebnisse erzielt werden konnten. In anderen Studien wurden die Abstände zwischen den Dornfortsätzen bei ausgewachsenen Warmblutpferden ca. 2 cm, bei Fohlen ca. 1,5 cm ventral der Dorsalkante der Dornfortsätze gemessen (ERICHSEN et al. 2004; SINDING und BERG 2010). Diese Methode konnte in unserer Studie ebenfalls keine ausreichend genauen Ergebnisse erzielen, weil keine exakten Knochenpunkte als Referenzpunkte benannt werden, die eine reproduzierbare Messung gewährleisten. Der kürzeste Abstand zwischen benachbarten Dornfortsätzen ist nicht immer zwangsläufig genau 2 cm ventral der Dorsalkante dieser, zudem waren in unsere Studie auch Ponys eingeschlossen, die wesentlich kürzere Dornfortsätze als Warmblüter besitzen.

Aus diesem Grund wurde eine neue Messmethode entwickelt, bei der zwei nicht gegeneinander bewegliche Knochenpunkte genutzt wurden. Dies waren der kaudodorsale Endpunkt der Extremitas caudalis sowie der kaudale Endpunkt des Dornfortsatzes. Entlang dieser Punkte wurde eine Tangente gelegt, die sich auf allen drei Aufnahmen immer gleich am Wirbel orientierte. Die Breite des Dornfortsatzes wurde als Referenzwert bestimmt, um die angewandte Methode zu überprüfen. Dieser Referenzwert sollte auf den Aufnahmen aller drei Kopf-Hals-Haltungen gleich groß sein, was bestätigt werden konnte. Jedoch war ein Nachteil dieser Methode, dass so nur Wirbel ausgewertet werden konnten, die vollständig abgebildet waren. Dies war für weiter kaudal gelegene Wirbel durch Weichteilüberlagerung schwierig.

Eine weitere Herausforderung bei der Auswertung der Aufnahmen stellte die hohe Schichtdicke am Rücken des Pferdes dar, welche die Detailerkennbarkeit einschränkte. Um

diese zu erhöhen, wurde ein spezieller Bildfilter entwickelt, der auf den digitalen Aufnahmen die Kanten der einzelnen Strukturen besser voneinander abhebt (NIBLACK 1986). Dadurch konnte die Genauigkeit der Messungen erheblich gesteigert werden.

4.7 Ergebnisse der Messungen der Halswirbelsäule

Die vorliegende Studie zeigt, dass eine tiefe Kopf-Hals-Haltung im Vergleich mit der physiologischen und der hohen Kopf-Hals-Haltung zu einer Vergrößerung der Distanz zwischen der Extremitas caudalis und der Processus articulares craniales des darauffolgenden Wirbels und somit zu einer Vergrößerung der Foramina intervertebralia führt. Dies ist vor allem im Bereich des fünften bis siebten Halswirbels ausgeprägt, was auf eine größere dorsoventrale Beweglichkeit in diesem Bereich hindeutet. Ebenso sind in diesem Halsabschnitt die Winkeländerungen zwischen den verschiedenen Kopf-Hals-Haltungen besonders ausgeprägt. Die physiologische Kopf-Hals-Haltung und die hohe Kopf-Hals-Haltung wiesen nur am siebten Halswirbel signifikante Unterschiede hinsichtlich des Abstandes zwischen der Extremitas caudalis und der Processus articulares craniales auf.

Für die Länge der Wirbelkörper und die Distanz zwischen der Extremitas cranialis und der Processus articulares caudales konnten keine Unterschiede auf den Aufnahmen in verschiedenen Kopf-Hals-Haltungen festgestellt werden. Deshalb ist davon auszugehen, dass gemessene Differenzen auf den drei Aufnahmen nur auf die Veränderung der Kopf-Hals-Haltung zurückzuführen sind. Der Einfluss von unterschiedlichen Vergrößerungsfaktoren kann damit vernachlässigt werden, weil sich dieser auch in den beiden zuvor genannten Referenzlinien hätte widerspiegeln müssen.

Die größte dorsoventrale Beweglichkeit im Bereich des Halses besitzt das Atlantookzipitalgelenk. Diese Beweglichkeit nimmt im Atlantoaxialgelenk stark ab und wird in den kaudalen Facettengelenken des Halses wieder größer (CLAYTON und TOWNSEND 1989a). Die in der vorliegenden Studie nachgewiesenen stärkeren Winkeländerungen im kaudalen Abschnitt der Halswirbelsäule weist auf eine größere Beweglichkeit dieses Halsabschnittes hin. Dies gilt jedoch nur für ausgewachsene Pferde, da bei Fohlen die Beweglichkeit des kranialen Abschnittes der Halswirbelsäule größer ist (CLAYTON und TOWNSEND 1989b).

Die Ergebnisse dieser Studie decken sich mit den Resultaten humanmedizinischer Studien. Beim Menschen führt die Flexion des Halses zu einer Vergrößerung der Foramina

intervertebralia, im Gegensatz dazu bewirkt die Extension eine Verkleinerung dieser (YOO et al. 1992; MUHLE et al. 2001; KITAGAWA et al. 2004). Eine Vergrößerung der Foramina intervertebralia durch Flexion des Halses wurde auch schon für Pferde beschrieben, jedoch ohne genaue Ergebnisse zu veröffentlichen (DENOIX und PAILLOUX 2000).

Computertomographische Untersuchungen an Wirbelsäulenpräparaten adulter Warmblutpferde stellten bei Extension der Kopf-Hals-Haltung eine Verkleinerung der Foramina intervertebralia fest (SLEUTJENS et al. 2010). Zwischen tiefer und physiologischer Kopf-Hals-Haltung wurden jedoch keine signifikanten Größenunterschiede für die Foramina intervertebralia gefunden. Allerdings kann dies, wie oben schon erwähnt, auf die unterschiedlich gewählten Winkel der tiefen und hohen Kopf-Hals-Haltung zurückzuführen sein. Andererseits ist zu berücksichtigen, dass Halswirbelsäulenpräparate eine andere Bewegungsmöglichkeit als lebende Pferde aufweisen.

Die Inkongruenz der Facettengelenke nimmt durch ein Absenken des Kopfes zu (DENOIX und PAILLOUX 2000). Deshalb wurde vermutet, dass es gleichzeitig zu einer vermehrten Überlagerung der Facettengelenke mit den Foramina intervertebralia käme, wodurch diese verkleinert erscheinen würden (LAUTENSCHLÄGER et al. 2009). Jedoch stellten sich die Foramina intervertebralia gerade bei einer tiefen Kopf-Hals-Haltung in unserer Studie am größten dar und waren dadurch am besten zu beurteilen. Außerdem erwies sich die horizontale Anordnung der Halswirbel in dieser Kopf-Hals-Haltung als vorteilhaft. So konnte der Zentralstrahl leichter bei allen Halswirbeln gleichmäßig auf Höhe der Foramina intervertebralia ausgerichtet werden. Jedoch muss bei Aufnahmen in dieser Haltung berücksichtigt werden, dass die Position der Wirbel von der physiologischen Anordnung abweicht und somit schwieriger zu interpretieren sind (BUTLER 2008).

4.8 Ergebnisse der Messungen der Brustwirbelsäule

Eine hohe Kopf-Hals-Haltung führte zur Verkürzung der Distanzen zwischen den Dornfortsätzen und eine tiefe Kopf-Hals-Haltung bewirkte eine Vergrößerung der Abstände zwischen den Dornfortsätzen. Letzteres beweist eine Flexion der Brustwirbelsäule durch eine tiefe Kopf-Hals-Haltung, wie sie auch beim stehenden Pferd vorgefunden wurde (CLAYTON et al. 2010). Andere Autoren stellten fest, dass umgekehrt eine Flexion der Brustwirbelsäule zu einer tiefen Kopf-Hals-Haltung führt (LICKA und PEHAM 1998).

Die größten Unterschiede konnten vom zehnten bis vierzehnten Brustwirbel festgestellt werden. Diese Region der Brustwirbelsäule zeigte auch in anderen Studien die größte Beweglichkeit (JEFFCOTT und DALIN 1980; FABER et al. 2000; FABER et al. 2001). Im Gegensatz dazu fanden mehrere Untersucher die beweglichste Region im Bereich des sechzehnten Brustwirbels (DENOIX 1987; LICKA et al. 2001a; LICKA et al. 2001b). Dies könnte sich daraus erklären, dass letztere den gesamten Rücken betrachteten und nicht einzelne benachbarte Wirbel. In der vorliegenden Studie konnte jedoch der sechzehnte Brustwirbel nicht mit in die Auswertung eingeschlossen werden, weil dieser durch den schlechten Kontrast aufgrund der Weichteilüberlagerung nicht genau zu beurteilen war.

Eine Flexion des Rückens bewirkt eine Vergrößerung der Abstände zwischen den Dornfortsätzen. In unserer Studie konnten signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Kopf-Hals-Haltungen gefunden werden, die zum Teil bis zu 20 Prozent betrugen. Gleichzeitig kommt es durch die Flexion des Rückens zu einer Annäherung der Wirbelkörper und einer Verkleinerung der Abstände zwischen ihnen. Jedoch konnten wir keinen Parameter finden, der ein zuverlässiges Erkennen der Kopf-Hals-Haltung anhand der Röntgenaufnahme zuließ. Als Hinweis könnte lediglich genutzt werden, dass die Dornfortsätze relativ parallel zueinander angeordnet und die Abstände zwischen den Wirbelkörpern eher gering sind, wenn die Aufnahme in tiefer Kopf-Hals-Haltung entstanden ist.

Zur Identifikation der einzelnen Dornfortsätze auf Röntgenaufnahmen der Brustwirbelsäule wird häufig der antiklinale Wirbel zur Orientierung genutzt. Jedoch existieren in der Literatur unterschiedliche Angaben, ob dieser der vierzehnte, fünfzehnte oder sechzehnte Brustwirbel ist (JEFFCOTT 1979b; NICKEL et al. 2004; BUTLER 2008). Ein weiteres Hilfsmittel ist der Verlauf des Zwerchfells, jedoch ändert sich dessen Position durch die Atmung (BUTLER 2008). Deshalb ist eine exakte Identifizierung der Dornfortsätze mit Hilfe dieser beiden Methoden nur eingeschränkt möglich. In der vorliegenden Studie zeigte sich der zwölfte Brustwirbel hingegen als verlässlicher Orientierungspunkt. Beim Vergleich der Breiten der einzelnen Dornfortsätze konnte festgestellt werden, dass sich der zwölfte Dornfortsatz signifikant von den schmaleren kranial gelegenen und breiteren kaudal gelegenen Dornfortsätzen unterschied. Die exakte Nummerierung der Brustwirbel wurde durch die Darstellung des ersten Lendenwirbels möglich, der im Gegensatz zu den Brustwirbeln keine Rippen besitzt. Zusätzlich konnten bei sechs Pferden die Röntgenaufnahmen mit deren extrahierten Wirbelsäulen verglichen werden und dadurch eine exakte Zuordnung der einzelnen Dornfortsätze erfolgen. Deshalb sollte auf Röntgenaufnahmen der Brustwirbelsäule

immer der Bereich des elften bis dreizehnten Brustwirbels abgebildet sein, um eine Nummerierung der einzelnen Dornfortsätze anhand des zwölften Brustwirbels durchzuführen.

Eine tiefe Kopf-Hals-Haltung im Schritt bewirkt nicht nur eine Flexion der kranialen thorakalen Wirbelsäule, sondern auch eine Extension des kaudalen Abschnittes (RHODIN et al. 2005; GOMEZ ALVAREZ et al. 2006). Dieser Bereich konnte jedoch in unserer Studie aufgrund des durch Weichteilüberlagerung bedingten schlechten Kontrastes nicht untersucht werden. In der vorliegenden Studie wurden weder eine Kopf-Hals-Haltung in extremer Flexion angewendet, noch die Tiere in Bewegung untersucht. Eine Kopf-Hals-Haltung in extremer Flexion kann jedoch zur Extension der Brustwirbelsäule im Trab führen (GOMEZ ALVAREZ et al. 2006), die durch die unterschiedliche Funktion der hypaxialen und epaxialen Muskulatur während des Standes und der Bewegung verursacht werden könnte. Beim stehenden Pferd führt eine Kontraktion des Musculus longissimus dorsi zur Extension der thorakolumbalen Wirbelsäule; die Flexion dieser wird durch den Musculus rectus abdominis verursacht (PEHAM et al. 2001). Sowohl im Schritt als auch im Trab stabilisiert der Musculus longissimus dorsi die Rückenwirbelsäule jedoch während der Flexion (AUDIGIE et al. 1999; FABER et al. 2000; FABER et al. 2001). Im Gegensatz dazu ist der Musculus rectus abdominis bei Extension des Rückens im Trab aktiv, um gegen die Krafteinwirkung der Bauchorgane eine übermäßige Extension zu verhindern (ROBERT et al. 2001).

4.9 Klinische Relevanz für die röntgenologische Untersuchung des Halses

Spondylarthrotische Prozesse der Facettengelenke führen zu einer Verkleinerung der Foramina intervertebralia und treten häufig im kaudalen Abschnitt der Halswirbelsäule auf (POWERS et al. 1986; GERBER et al. 1989). Die Verkleinerung der Foramina intervertebralia kann zu vermehrtem Druck auf die dort austretenden Nervenwurzeln und das Rückenmark führen. Deshalb sind Ataxie und Vorderhandlahmheit sowie Schmerzen und Steifheit des Halses typische klinische Anzeichen. Die Bewertung von Röntgenbildern der Halswirbelsäule erfolgt häufig anhand der röntgenologischen Erscheinungsform der Foramina intervertebralia (LAUTENSCHLÄGER et al. 2009; DOWN und HENSON 2009). Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen jedoch, dass auch eine Veränderung der Kopf-Hals-Haltung zu unterschiedlichen Dimensionen der Foramina intervertebralia führen kann. Bei mehreren Pferden konnte sogar festgestellt werden, dass auf röntgenologischen Aufnahmen der Halswirbelsäule in der physiologischen Kopf-Hals-Haltung eine vollständige Verschattung einzelner Foramina intervertebralia durch die Facettengelenke vorlag. Im

Gegensatz dazu stellten sich auf Röntgenbildern in tiefer Kopf-Hals-Haltung die Foramina intervertebralia nicht vollständig verschattet dar. Bei der Auswertung von Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule muss somit unbedingt auch die Kopf-Hals-Haltung berücksichtigt werden.

Ebenfalls sollte gerade bei der Nutzung von Pferden eine Extension des Halses vermieden werden, da dadurch ein vermehrter Druck auf die Nervenwurzeln und das Rückenmark entstehen kann. Eine tiefe Kopf-Hals-Haltung führt zu einer Vergrößerung der Foramina intervertebralia und sollte deshalb immer angestrebt werden, um Schäden der Nervenwurzeln und des Rückenmarkes durch wiederholte Kompression auszuschließen. Eine extreme Flexion des Halses, wie sie in der sogenannten „Rollkur"-Position auftritt, sollte jedoch vermieden werden, da es in dieser Position zu keiner signifikanten Vergrößerungen der Foramina intervertebralia im Vergleich mit der physiologischen Kopf-Hals-Haltung kommt (SLEUTJENS et al. 2010). In humanmedizinischen Studien wurde beschrieben, dass die Wahrscheinlichkeit des Auftretens pathologischer Veränderungen der Nervenwurzeln von deren Position in den Foramina intervertebralia abhängig ist (YABUKI und KIKUCHI 1996). Die Position der Nervenwurzeln ist bei Menschen unterschiedlich; je weiter distal die Nervenwurzeln liegen, desto seltener treten klinische Beschwerden auf. Bei Pferden gibt es noch keine Studien über die unterschiedliche Position der Nervenwurzeln, jedoch könnte dieses Phänomen die schlechte Korrelation zwischen klinischen Anzeichen und röntgenologischen Befunden erklären.

4.10 Klinische Relevanz für die röntgenologische Untersuchung des Rückens

Aufgrund des Kissing-Spines-Syndromes wurden in Schweden 10 % der Versicherungsansprüche geltend gemacht, weil dadurch nicht nur Leistungseinbußen und Rittigkeitsprobleme auftreten, sondern die betroffenen Pferde als Reittiere überhaupt nicht mehr nutzbar sein können (PENELL et al. 2005; PENELL et al. 2007).

Die radiologische Darstellung der Dornfortsätze ist deshalb laut Röntgenleitfaden 2007 Teil der erweiterten Kaufuntersuchung, wird jedoch nur bei Anzeichen einer Rückenerkrankung empfohlen (GERHARDS et al. 2007). Erste radiologische Hinweise des Kissing-Spines-Syndroms können verschmälerte Abstände zwischen den Dornfortsätzen der Brustwirbelsäule sein (RANNER und GERHARDS 2002; HOLMER et al. 2007). Jedoch wurde in der vorliegenden Studie bewiesen, dass eine Änderung der Kopf-Hals-Haltung eine Veränderung der Abstände zwischen den Dornfortsätzen verursacht. Dies könnte somit zu einer unterschiedlichen Klassifizierung der Röntgenaufnahmen nach Röntgenleitfaden 2007 führen

(GERHARDS et al. 2007). Deshalb sollte die Kopf-Hals-Haltung für röntgenologische Aufnahmen der Brustwirbelsäule im Rahmen von Kaufuntersuchungen definiert werden. Einerseits könnte vorgeschrieben werden, in physiologischer Kopf-Hals-Haltung zu röntgen und die vorgegebenen Werte für die Abstände zwischen den Dornfortsätzen etwas zu reduzieren, da gerade im kaudalen Bereich selten ein Abstand über 8 mm erreicht wird (Holmer et al 2007). Verschiedene Autoren beurteilen allerdings erst das Vorliegen geringer Abstände oder auch erst das gegenseitige Berühren der Dornfortsätze (Kissing Spines im eigentlichen Sinn) als pathologisch (JEFFCOTT 1979b; KRELING und LAUK 1996; RANNER und GERHARDS 2002; ERICHSEN et al. 2004). Anderseits kann, um eventuellen Manipulationen vorzubeugen, auch eine tiefe Kopf-Hals-Haltung empfohlen werden. Dadurch vergrößern sich die Mittelwerte der Abstände, so dass die im Röntgenleitfaden 2007 gegebenen Werte gegebenenfalls beibehalten werden könnten.

Am häufigsten betroffen vom Kissing-Spines-Syndrom sind die Brustwirbel im Bereich der kaudalen Sattellage (JEFFCOTT 1980; ZIMMERMAN et al. 2011). Als Ursache wird von einigen Autoren die wiederholte überphysiologische Extension des Rückens in diesem Bereich angenommen, vor allem bedingt durch das Reitergewicht (DÄMMRICH et al. 1993; JEFFCOTT 1993). Jedoch wurden auch schon Veränderungen an Dornfortsätzen der Brustwirbelsäule von Pferden gefunden, die noch nie geritten wurden (KLIDE 1989).

In der vorliegenden Studie zeigte die Brustwirbelsäule zudem in dieser Region eine geringere Beweglichkeit, wie auch schon von anderen Autoren beschrieben (JEFFCOTT und DALIN 1980; FABER et al. 2000; FABER et al. 2001). Bei Pferden mit Rückenproblemen und älteren Pferden nimmt die Beweglichkeit des Rückens sogar ab (WENNERSTRAND et al. 2004; JOHNSTON et al. 2004).

Die Abstände der Dornfortsätze der Brustwirbel der kaudalen Brustwirbelsäule waren jedoch auch bei physiologischer Kopf-Hals-Haltung kleiner als diejenigen im Bereich der kranialen Brustwirbelsäule. Eine Ursache für das häufigere Auftreten des Kissing-Spines-Syndroms in der Sattellage sind wahrscheinlich somit eher die physiologisch schon geringeren Abstände der Dornfortsätze in diesem Bereich. Dadurch können auch geringere Bewegungen bereits zur gegenseitigen Berührung der benachbarten Dornfortsätze führen.

4.11 Abschließende Betrachtung

Im Rahmen dieser Studie konnten reproduzierbare Messmethoden zur Bestimmung der Dimension der Foramina intervertebralia der Halswirbel und zur Abstandsmessung zwischen benachbarten Dornfortsätzen der Brustwirbel auf röntgenologischen Aufnahmen entwickelt werden. Zudem wurde ein Einfluss der Kopf-Hals-Haltung sowohl auf die Dimension der Foramina intervertebralia und die Abstände zwischen benachbarten Dornfortsätzen festgestellt. Anhand der Aufnahmen der Brustwirbelsäule ließ sich jedoch nachträglich nicht ermitteln, in welcher Kopf-Hals-Haltung diese angefertigt worden sind.

Aufgrund der Ergebnisse dieser Studie wurden die im Vorfeld aufgestellten Hypothesen bestätigt:

Hypothese 1: Eine tiefe Kopf-Hals-Haltung führt beim stehenden Pferd zur Vergrößerung und eine hohe Kopf-Hals-Haltung zur Verkleinerung der Foramina intervertebralia der Halswirbelsäule.
Dies konnte durch die Vergrößerung der Distanz zwischen der Extremitas caudalis und der Porcessus articulares craniales bei einer tiefen Kopf-Hals-Haltung bewiesen werden. Eine hohe Kopf-Hals-Haltung führte zur Verkleinerung dieser Distanz und somit zur Verkleinerung der Foramina intervertebralia.

Hypothese 2: Die größte Beweglichkeit des Halses ist in den kaudalen Facettengelenken lokalisiert.
Die Winkel zwischen den kaudalen Halswirbeln wiesen größere Unterschiede durch eine Veränderung der Kopf-Hals-Haltungen als weiter kranial gelegene Halswirbel auf. Dies deutet auf eine größere Beweglichkeit im kaudalen Halsabschnitt hin.

Hypothese 3: Eine tiefe Kopf-Hals-Haltung verursacht beim stehenden Pferd eine Vergrößerung und eine hohe Kopf-Hals-Haltung eine Verkleinerung der Abstände zwischen den Dornfortsätzen der Brustwirbelsäule.
Die Abstände zwischen den Dornfortsätzen waren auf den Röntgenaufnahmen bei tiefer Kopf-Hals-Haltung signifikant größer als bei den anderen beiden Kopf-Hals-Haltungen. Bei der hohen Kopf-Hals-Haltung stellten sich die Abstände zwischen den Dornfortsätzen auf den Röntgenaufnahmen signifikant kleiner als bei den anderen beiden Kopf-Hals-Haltungen dar, wodurch die anfangs aufgestellte Hypothese bestätigt werden konnte.

Bei der Beurteilung der Foramina intervertebralia der Halswirbel sowie der Abstände zwischen den Dornfortsätzen der Brustwirbel sollte deshalb immer die Kopf-Hals-Haltung des Pferdes bei der Auswertung der Röntgenbilder berücksichtigt werden. Die Identifizierung der einzelnen Dornfortsätze kann anhand des zwölften Dornfortsatzes einfacher erfolgen als mit Hilfe des antiklinalen Dornfortsatzes.

Für die Beurteilung der Größe der Foramina intervertebralia erwies sich die entwickelte Messmethode als sehr zuverlässig. Jedoch fehlen in der vorliegenden Studie Vergleichswerte von erkrankten Pferden. Es könnte in weiteren Studien untersucht werden, ob anhand der Größe der Foramina intervertebralia gesunde von pathologisch veränderten Facettengelenken unterschieden werden können. Die hier ermittelten Messwerte können dafür als Referenzwerte für gesunde Halswirbel genutzt werden.

Das Auftreten klinische Symptome wird wahrscheinlich nicht nur durch eine Verkleinerung der Foramina intervertebralia verursacht. Andere Faktoren wie die Position der dorsalen Nervenwurzeln könnten ebenfalls eine Rolle spielen und sollten in weiteren Untersuchungen verfolgt werden.

Die in dieser Studie entwickelte Messmethode zur Bestimmung der Abstände zwischen den Dornfortsätzen kann für deren exaktere Messung, besonders bei biomechanischen Untersuchungen, angewendet werden. Ein Nachteil bleibt jedoch, dass nicht nur die Dornfortsätze, sondern auch die Wirbelkörper der Brustwirbel dargestellt werden müssen. In weiteren Studien sollte überprüft werden, ob die Kopf-Hals-Haltung auch bei Pferden mit Rückenerkrankungen einen Einfluss auf die Abstände zwischen den Dornfortsätzen aufweist.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Dagmar Berner

Der Einfluss der Kopf-Hals-Haltung auf die röntgenologische Darstellung der Hals- und Brustwirbelsäule des Pferdes

Chirurgische Tierklinik der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

Eingereicht im August 2012

62 Seiten, 68 Literaturangaben

Schlüsselwörter: Pferd, Röntgen, Wirbelsäule, Foramina intervertebralia, Dornfortsätze, Kopf-Hals-Haltung

Pathologische Veränderungen der Wirbelsäule können zur Verkleinerung der Foramina intervertebralia der Halswirbelsäule sowie zur Verkürzung der Abstände zwischen den Dornfortsätzen der Brustwirbelsäule führen. Eine Veränderung der Kopf-Hals-Haltung kann ebenfalls die Dimension der Foramina intervertebralia sowie die Abstände zwischen den Dornfortsätzen beeinflussen. Die Bestimmung des Einflusses der Kopf-Hals-Haltung auf die genannten Parameter bei der radiologischen Darstellung der Wirbelsäule war deshalb das Ziel der vorliegenden Arbeit.

In drei unterschiedlichen Kopf-Hals-Haltungen wurde die Halswirbelsäule von 25 klinisch unauffälligen Pferden im laterolateralen Strahlengang dargestellt. Laterolaterale Röntgenaufnahmen der Brustwirbelsäule von 23 Pferden ohne klinische Anzeichen einer Erkrankung der Wirbelsäule wurden ebenfalls in drei verschiedenen Kopf-Hals-Haltungen angefertigt. Die Auswertung dieser Aufnahmen erfolgte mit Hilfe von neu entwickelten Messmethoden, die eine hohe Reproduzierbarkeit aufwiesen. Auf den Aufnahmen der Halswirbelsäule wurde die Länge der Wirbelkörper und die Dimension der Foramina intervertebralia bestimmt. Zusätzlich wurden die Winkel zwischen angrenzenden Halswirbeln ermittelt. Der Abstand zwischen benachbarten Dornfortsätzen sowie die Breite der Dornfortsätze wurden für die Auswertung der Aufnahmen der Brustwirbelsäule gemessen. Für eine exaktere Auswertung der Aufnahmen der Brustwirbelsäule wurde ein spezieller

Bildfilter entwickelt, der durch eine bessere Detailerkennbarkeit zu einer genaueren Messung der Streckung führte.

Sowohl für die Breite der Dornfortsätze als auch für die Länge der Wirbelkörper der Halswirbel konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Röntgenaufnahmen in den verschiedenen Kopf-Hals-Haltungen gefunden werden. Beide Strecken dienten zur Überprüfung des Versuchsaufbaus, um andere Ursachen für eine unterschiedliche Größe der Messstrecken auszuschließen. Die Foramina intervertebralia waren bei tiefer Kopf-Hals-Haltung signifikant größer als bei den anderen beiden Kopf-Hals-Haltungen ($p < 0,05$). Zwischen hoher und physiologischer Kopf-Hals-Haltung stellten sich nur die Foramina intervertebralia zwischen sechstem und siebten Halswirbel unterschiedlich groß dar ($p < 0,05$).

Die Abstände zwischen angrenzenden Brustwirbeln waren vom achten bis zum vierzehnten Dornfortsatz in tiefer Kopf-Hals-Haltung größer als in den beiden anderen Kopf-Hals-Haltungen ($p < 0,05$). Diese Abstände nahmen insgesamt von kranial nach kaudal ab ($p < 0,05$) ab. Der zwölfte Dornfortsatz diente dabei zur Identifizierung der anderen, da er sich signifikant von den schmaleren kranialen und den breiteren kaudalen Dornfortsätzen unterschied ($p < 0,01$).

Die Kopf-Hals-Haltung während der radiologischen Untersuchung beeinflusst sowohl die Dimension der Foramina intervertebralia als auch den Abstand zwischen den Dornfortsätzen. Deshalb sollte diese bei der Auswertung radiologischer Aufnahmen immer berücksichtigt werden. Die Foramina intervertebralia stellten sich bei tiefer Kopf-Hals-Haltung am größten dar und können somit in dieser am besten beurteilt werden, jedoch kommt es zu einer Veränderung der Anordnung der Wirbel, so dass diese nur noch eingeschränkt beurteilt werden können. Eine tiefe Kopf-Hals-Haltung führt zur Vergrößerung der Abstände zwischen den Dornfortsätzen und kann somit die Beurteilung von Röntgenaufnahmen der Brustwirbelsäule, gerade im Rahmen einer Kaufuntersuchung, beeinflussen.

Die Kopf-Hals-Haltung bei der Anfertigung von Röntgenaufnahmen der Wirbelsäule sollte standardisiert werden, um durch verbesserte Vergleichbarkeit Manipulationen und Fehlinterpretationen einzuschränken.

7 SUMMARY

Dagmar Berner

The influence of the head and neck position on radiographic examination of the cervical and thoracic spine in horses

Large Animal Clinic for Surgery, Faculty of Veterinary Medicine, University of Leipzig

Submitted in August 2012

62 pages, 68 references

Keywords: horse, radiography, spine, intervertebral foramina, spinous process, head and neck position

Pathological changes of the spine can lead to reduction of the intervertebral foramina dimensions in the cervical spine and to shortening of the distances between the spinous processes in the thoracic spine. However, alteration of the head and neck position influences the dimensions of the intervertebral foramina as well as the distances between the spinous processes. Determining the influence of the head and neck position on these parameters during radiological examination of the equine spine was the aim of this study.

In three different head and neck positions lateral-lateral views of the cervical spine in 25 clinically sound horses were radiographically obtained. Lateral-lateral radiographs of the thoracic spine from 23 horses lacking clinical signs of spine diseases were taken in three different head and neck positions. Evaluation of the radiographs was carried out with newly developed measurement techniques providing high reproducibility. On the radiographs of the cervical spine the length of the vertebral bodies and the dimension of the intervertebral foramina were measured. Additionally, the angles between adjacent cervical vertebrae were determined. The distances between adjacent spinous processes and the width of the spinous processes were measured for evaluating the radiographs of the thoracic spines. For a more accurate evaluation of the thoracic spine radiographs a purpose-built image filter was developed, which provided more accurate measurement of the distances through better detail recognition.

No significant differences were found for the width of the spinous processes of the thoracic vertebrae and the length of vertebral bodies of the cervical vertebrae between the radiographs taken in the three different head and neck positions. Both these distances were used to verify the experimental set-up to rule out other causes for differences in the measured distances. The intervertebral foramina were significantly wider in the low head and neck position than in the other two head and neck positions ($p < 0.05$). Between the high and the free head and neck position only the intervertebral foramina of the sixth and seventh cervical vertebrae showed different dimensions ($p< 0.05$).

The distances between the adjacent thoracic vertebrae from the eighth to the fourteenth spinous processes were wider in the low head and neck position compared to the other two head and neck positions ($p < 0.05$). Altogether, these distances decreased from cranial to caudal ($p < 0.05$).

The twelfth spinous process served for numerical identification of the other spinous processes due to its significant difference in width to the narrower cranial and broader caudal spinous processes ($p < 0.05$).

The head and neck position during radiographic examination influences the dimensions of the intervertebral foramina as well as the distances between the spinous processes. Therefore, it should always be considered when evaluating radiographs. In the low head and neck position the intervertebral foramina turned out to be the widest and could be best assessed. However, this resulted in changes to the alignment of the vertebrae and therefore a limited assessment.

A low head and neck position leads to an increase in the distances between the spinous processes and could influence the evaluation of radiographs especially if these are taken as part of a pre-purchase examination.

During the radiographic examination of the spine the head and neck position should be standardised in order to reduce manipulation and misinterpretation through better comparability of such radiographs.

8 LITERATURVERZEICHNIS

Audigie F, Pourcelot P, Degueurce C, Denoix JM, Geiger D. Kinematics of the equine back: flexion-extension movements in sound trotting horses. Equine Vet J Suppl. 1999;30:210-213.

Böhm D, Hebeler WG. Die funktionelle Röntgenuntersuchung der Halswirbelsäule des Pferdes unter Berücksichtigung der spinalen Ataxie. Berl Munch Tierarztl Wochenschr. 1980;93:181-184.

Butler JA. The Spine. In: Butler JA, Hrsg. Clinical radiology of the horse. 3. Aufl. Oxford: Willey-Blackwell Science; 2008. p. 505-535.

Clayton HM, Kaiser LJ, Lavagnino M, Stubbs NC. Dynamic mobilisations in cervical flexion: Effects on intervertebral angulations. Equine Vet J Suppl. 2010;38:688-694.

Clayton HM, Townsend HG. Kinematics of the cervical spine of the adult horse. Equine Vet J. 1989a;21:189-192.

Clayton HM, Townsend HGG. Cervical Spinal Kinematics - A Comparison Between Foals and Adult Horses. Equine Vet J. 1989b;21:193-195.

Dämmrich K, Randelhoff A, Weber B. Ein morphologischer Beitrag zur Biomechanik der thorakolumbalen Wirbelsäule und zur Pathogenese des Syndroms sich berührender Dornfortsätze (Kissing Spines-Syndrom) bei Pferden. Pferdeheilkunde. 1993;9:267-281.

Denoix JM, Pailloux JP. Physiotherapie nach Region. In: Denoix JM, Pailloux JP, Hrsg. Physiotherapie und Massage bei Pferden. Stuttgart, Hohenheim: Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co; 2000. p. 169-208.

Denoix J-M. Kinematics of the thoracolumbar spine of the horse during dorsoventral movements: A preliminary report. Poceedings of the 2nd International Conference Equine Exercise Physioly;1987; San Diego. USA.607-614.

Dimock AN, Puchalski SM. Cervical radiology. Equine Vet Educ. 2010;22:83-87.

Down SS, Henson FMD. Radiographic retrospective study of the caudal cervical articular process joints in the horse. Equine Vet J. 2009;41:518-524.

Elgersma AE, Wijnberg ID, Sleutjens J, Kolk JH, Weeren PR, Back W. A pilot study on objective quantification and anatomical modelling of in vivo head and neck positions commonly applied in training and competition of sport horses. Equine Vet J. 2010;42:436-443.

Erichsen C, Eksell P, Holm KR, Lord P, Johnston C. Relationship between scintigraphic and radiographic evaluations of spinous processes in the thoracolumbar spine in riding horses without clinical signs of back problems. Equine Vet J. 2004;36:458-465.

Faber M, Johnston C, Schamhardt H, van WR, Roepstorff L, Barneveld A. Basic three-dimensional kinematics of the vertebral column of horses trotting on a treadmill. Am J Vet Res. 2001;62:757-764.

Faber M, Schamhardt H, van WR, Johnston C, Roepstorff L, Barneveld A. Basic three-dimensional kinematics of the vertebral column of horses walking on a treadmill. Am J Vet Res. 2000;61:399-406.

Fauquex E. Der Abstand zwischen den Dornfortsätzen des Pferdes im Bereich der Sattellage in Abhängigkeit von der Körperhaltung und der Bewegung [Dissertation med.vet.]. Zürich: Univ. Zürich; 1982.

Freeman SL, England GC. Investigation of romifidine and detomidine for the clinical sedation of horses. Vet Rec. 2000;147:507-511.

Gerber H, Fankhauser R, Straub R, Ueltschi G. Spinale Ataxie beim Pferd, verusacht durch synoviale Cysten in der Halswirbelsäule. Schweiz Arch Tierheilkd. 1980;122:95-106.

Gerber H, Ueltschi G, Diehl M, Schatzmann U, Straub R. Untersuchung an der Halswirbelsäule des Pferdes - eine klinisch-radiologische Studie. Schweiz Arch Tierheilkd. 1989;131:311-321.

Gerhards H, Hertsch B, Jahn P, Brunken G. Leitfaden für die röntgenologische Beurteilung bei der Kaufuntersuchung des Pferdes (Röntgenleitfaden RöLF 07). Gesellschaft für Pferdemedizin und Bundestierärztekammer 2007; (zietiert vom 12.08.2012) http://www.bundestieraerztekammer.de/downloads/btk/leitlinien/RoentgenLeitfaden_2007.pdf

Gomez Alvarez CB, Rhodin M, Bobber MF, Meyer H, Weishaupt MA, Johnston C, van Weeren PR. The effect of head and neck position on the thoracolumbar kinematics in the unridden horse. Equine Vet J Suppl. 2006;36:445-451.

Hett AR, Busato A, Ueltschi G. Radiologische Messungen an der arthrotisch veränderten Halswirbelsäule des Pferdes - eine retrospektive,statistische Studie. Pferdeheilkunde. 2006;22:241-249.

Holmer M, Wollanke B, Stadtbäumer G. Röntgenveränderungen an den Dornfortsätzen von 295 klinisch rückengesunden Warmblutpferden. Pferdeheilkunde 2007;23:507-511.

Jeffcott LB. Radiographic Examination of the Equine Vertebral Column. Vet Radiol. 1979a;20:135-139.

Jeffcott LB. Radiographic Features of the Normal Equine Thoracolumbar Spine. Vet Radiol. 1979b;20:140-147.

Jeffcott LB. Disorders of the thoracolumbar spine of the horse-a survey of 443 cases. Equine Vet J. 1980;12:197-210.

Jeffcott LB. Rückenprobleme beim Athleten Pferd 2. Mögliche Differentialdiagnosen und Therapiemethoden. Pferdeheilkunde. 1993;9:223-236.

Jeffcott LB, Dalin G. Natural rigidity of the horse's backbone. Equine Vet J. 1980;12:101-108.

Johnston C, Holm KR, Erichsen C, Eksell P, Drevemo S. Kinematic evaluation of the back in fully functioning riding horses. Equine Vet J. 2004;36:495-498.

Kitagawa T, Fujiwara A, Kobayashi N, Saiki K, Tamai K, Saotome K. Morphologic changes in the cervical neural foramen due to flexion and extension: in vivo imaging study. Spine. 2004;29:2821-2825.

Klide AM. Overriding vertebral spinous processes in the extinct horse, Equus occidentalis. Am J Vet Res. 1989;50:592-593.

Kreling I, Lauk HD. Operative Behandlung des "Kissing Spines"-Syndroms bei Pferden - 50 Fälle. Teil 1: Diagostische Methoden. Pferdeheilkunde. 1996;12:79-85.

Krüger W. Über die Schwingungen der Wirbelsäule - insbesondere der Wirbelbrücke - des Pferdes während der Bewegung. Berl Münch tierärztl Wochenschrift. 1939;13:197-203.

Landman MA, de Blaauw JA, van Weeren PR, Hofland LJ. Field study of the prevalence of lameness in horses with back problems. Vet Rec. 2004;155:165-168.

Lautenschläger I, Baumann I, Martens I, Schulze M, Rohn K, Stadler P. Radiologische Messungen an der Halswirbelsäule des Warmblutpferdes. Pferdeheilkunde. 2010;26:122-129.

Lautenschläger I, Baumann I, Schulze M, Martens I, Rohn K, Stadler P. Die röntgenologische Darstellung der caudalen Facettengelenke der Halswirbelsäule beim Warmblutpferd. Pferdeheilkunde. 2009;25:544-553.

Licka T, Peham C. An objective method for evaluating the flexibility of the back of standing horses. Equine Vet J. 1998;30:412-415.

Licka T, Peham C, Zohmann E. Range of back movement at trot in horses without back pain. Equine Vet J Suppl. 2001a;150-153.

Licka TF, Peham C, Zohmann E. Treadmill study of the range of back movement at the walk in horses without back pain. Am J Vet Res. 2001b;62:1173-1179.

Lischer C, Withers JM, Parkin T. Accuracy of radiographic measurements of the Cervical Articular Process Joints of the horse. Pferdeheilkunde. 2010;26:553-558.

Meyer H. Zum Zusammenhang von Halshaltung, Rückentätigkeit und Bewegungsablauf beim Pferd. Pferdeheilkunde. 1996;12:807-822.

Mitchell RD. Imaging considerations in the purchase examination of the performance horse. Proceedings of the 55th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners, Las Vegas, Nevada, USA, 2009 Dez 5-9;55:296-300.

Muhle C, Resnick D, Ahn JM, Sudmeyer M, Heller M. In vivo changes in the neuroforaminal size at flexion-extension and axial rotation of the cervical spine in healthy persons examined using kinematic magnetic resonance imaging. Spine (Phila Pa 1976.). 2001;26:E287-E293.

Niblack, Wayne. An Introduction to Digital Image Processing. Englewood Cliffs,NJ: Prentice Hall; 1986. p. 115-116.

Nickel R, Schummer A, Wille K-H, Wilkens H. Passiver Bewegungsapparat, Skelettsystem. In: Freiwein J, Wille K-H, Wilkens H, Hrsg. Lehrbuch der Anatomie der Haussäugetiere Band 1 Bewegunsapparat. 8. Aufl. Stuttgart: Parey Verlag; 2004. p. 15-214.

Papageorges M, Patrick GR, Sande RD, Barbee DD, Grant BD. Radiographc and myelographic examination of the cervical vertebral column in 306 ataxic horses. Vet Radiol Ultrasound. 1987;28:53-59.

Peham C, Frey A, Licka T, Scheidl M. Evaluation of the EMG activity of the long back muscle during induced back movements at stance. Equine Vet J Suppl. 2001;165-168.

Penell JC, Egenvall A, Bonnett BN, Olson P, Pringle J. Specific causes of morbidity among Swedish horses insured for veterinary care between 1997 and 2000. Vet Rec. 2005;157:470-477.

Penell JC, Egenvall A, Bonnett BN, Pringle J. Validation of computerized Swedish horse insurance data against veterinary clinical records. Prev Vet Med. 2007;82:236-251.

Powers BE, Stashak TS, Nixon AJ, Yovich JV, Norrdin RW. Pathology of the vertebral column of horses with cervical static stenosis. Vet Pathol. 1986;23:392-399.

Ranner W, Gerhards H. Vorkommen und Bedeutung von Rückenerkrankungen - insbesondere des "kissing spine"-Syndroms - bei Pferden in Süddeutschland'. Pferdeheilkunde. 2002;18:21-33.

Rhodin M, Johnston C, Holm KR, Wennerstrand J, Drevemo S. The influence of head and neck position on kinematics of the back in riding horses at the walk and trot. Equine Vet J. 2005;37:7-11.

Robert C, Valette JP, Denoix JM. The effects of treadmill inclination and speed on the activity of three trunk muscles in the trotting horse. Equine Vet J. 2001;33:466-472.

Rose PL, Abutarbush SM, Duckett W. Standing myelography in the horse using a nonionic contrast agent. Vet Radiol Ultrasound. 2007;48:535-538.

Ruedi M, Hagen R, Luchinger U, Furst A, Trump M. Subluxation von C2 und C3 und Fraktur von C2 nach einem schweren Schädelhirntrauma bei zwei Warmblutpferden. Pferdeheilkunde. 2011;27:522-527.

Seiferle E, Frewein J. Aktiver Bewegungsapparat, Muskelsystem, Myologia. In: Freiwein J, Wille K-H, Wilkens H, Hrsg. Lehrbuch der Anatomie der Haussäugetiere Band 1 Bewegunsapparat. 8. Aufl. Stuttgart: Parey Verlag; 2004. p. 273-585.

Sinding MF, Berg LC. Distances between thoracic spinous processes in Warmblood foals: a radiographic study. Equine Vet J. 2010;42:500-503.

Sleutjens J, Voorhout G, van der Kolk JH, Wijnberg ID, Back W. The effect of ex vivo flexion and extension on intervertebral foramina dimensions in the equine cervical spine. Equine VetJ Suppl. 2010;38:425-430.

Slijper EJ. Comparative biologic-anatomical investigations on the vertebral column and spinal musculature of mammals. K Ned Acad Wet Verh. 1946;47:1-128.

Townsend HG, Leach DH, Fretz PB. Kinematics of the equine thoracolumbar spine. Equine Vet J. 1983;15:117-122.

van Weeren PR. Structure and biomechanical concept of the equine back. Pferdeheilkunde. 2004;20:341-348.

Wagner WD, Gerhards H. Diagnostik bei Erkrankungen des cranialen Halsbereiches mit Hilfe verschiedener moderner bildgebender Verfahren wie der ultrasonographischen Panoramabilddarstellung und der Kernspintomographie. Pferdeheilkunde. 2010;26:367-373.

Wennerstrand J, Johnston C, Roethlisberger-Holm K, Erichsen C, Eksell P, Drevemo S. Kinematic evaluation of the back in the sport horse with back pain. Equine VetJ. 2004;36:707-711.

Westfälisches Pferdestammbuch e.V. Tierärztliche Untersuchung bei Körung von Reitpferdehengsten (Richtlinie gem. §10,Nr.5f der Satzung). 2010; (zitiert vom 12.08.2012) http://www.westfalenpferde.de/03/pdf-dateien/Roentgen-Infos.pdf:

Withers JM, Voute LC, Hammond G, Lischer CJ. Radiographic anatomy of the articular process joints of the caudal cervical vertebrae in the horse on lateral and oblique projections. Equine Vet J. 2009;41:895-902.

Yabuki S, Kikuchi S. Positions of dorsal root ganglia in the cervical spine. An anatomic and clinical study. Spine (Phila Pa 1976.). 1996;21:1513-1517.

Yoo JU, Zou D, Edwards WT, Bayley J, Yuan HA. Effect of cervical spine motion on the neuroforaminal dimensions of human cervical spine. Spine (Phila Pa 1976.). 1992;17:1131-1136.

Zimmerman M, Dyson S, Murray R. Comparison of radiographic and scintigraphic findings of the spinous processes in the equine thoracolumbar region. Vet Radiol Ultrasound. 2011;52:661-71.

DANKSAGUNG

Herrn Prof. Dr. Walter Brehm danke ich für die Überlassung dieses interessanten und spannenden Themas sowie die kontinuierliche Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit. Er ermöglichte es mir, den Inhalt dieser Arbeit auf Kongressen weltweit vorzustellen.

Mein ganz besonderer und herzlicher Dank gilt Frau Dr. Kerstin Gerlach, die mir als meine Betreuerin und Ratgeberin immer zur Seite stand. Durch ihr unermüdliches Engagement und ihr Vertrauen in mich, habe ich meine Begeisterung für die Bildgebende Diagnostik entdeckt.

Karsten Winter und Herrn Andreas Richter danke ich für die freundliche Hilfe und Beratung bei der statistischen Auswertung. Hierbei geht auch ein großer Dank an Herrn Karsten Winter für die Entwicklung des Filters zur Auswertung der Röntgenaufnahmen.

Dem Team der Chirurgischen Tierklinik danke ich für die gute Zusammenarbeit, das kollegiale Klima und die tägliche Unterstützung. Mein besonderer Dank gilt den Tierpflegern, die mich bei meiner täglichen Arbeit so tatkräftig unterstützen und mit denen diese jeden Tag einfacher von der Hand geht.

Ich danke dem Institut für Tierernährung, Ernährungsschäden und Diätetik, insbesondere Frau Dr. Vervuert, für die Bereitstellung ihrer Pferde für die Untersuchung.

Der größte Dank gebührt jedoch meinen Eltern, die mich in allen Lebenslagen unterstützt haben und mir immer alle Möglichkeiten im Leben offen gehalten haben. Vielen Dank für alles. An jedem Tag.