

Cone Beam-Computertomographie der Halswirbelsäule am stehenden Pferd – Teil 2: Vergleich mit röntgenologischen und szintigraphischen Befunden

Julia Offhaus¹, Birthe Fritsche², Ina Lorenz³, Werner Jahn³ und Kerstin Gerlach¹

¹ Klinik für Pferde, Veterinärmedizinische Fakultät, Universität Leipzig, Leipzig

² Pferdekl. Mühlen, Mühlen

³ Pferdekl. Bargteheide, Bargteheide

Zusammenfassung: Insbesondere die kaudale Halswirbelsäule des Pferdes ist ursächlich häufiger an Erkrankungen beteiligt als die kranialen Anteile. Diese Abschnitte sind computertomographischen Untersuchungen am stehenden Pferd jedoch schwerer zugänglich. Erste Ergebnisse der Anwendung der Cone Beam-Computertomographie (CBCT) im Bereich der Halswirbelsäule wurden im ersten Teil dieser Studie beschrieben. Gegenstand dieser Arbeit ist der Vergleich mittels CBCT ermittelter abweichender Befunde der Halswirbelsäule von Pferden mit radiologischen und szintigraphischen Befunden. Es handelt sich um eine sekundär deskriptive Datenanalyse, in welche 71 Pferde aus der Pferdekl. Bargteheide eingeschlossen wurden. Alle Pferde wiesen eine bereits diagnostizierte Erkrankung im Bereich der Halswirbelsäule auf. Sämtliche erhobene Befunde wurden verblindet von derselben Untersucherin neu befundet. Die Beurteilung der Röntgenbilder erfolgte nach einem modifizierten vorhandenen Scoring System in fünf Gruppen: Gruppe 1: keine vergrößerte Facette, Gruppe 2: Knochenzubildungen dorsal an der Facette, Gruppe 3: ventrale Zubildungen und veringertes Durchmesser des Foramen intervertebrale, Gruppe 4: ventrale und dorsale Zubildungen, die dorsalen Zubildungen sind kleiner als der Durchmesser des Spinalkanals, Gruppe 5: große dorsale Zubildungen (größer als der Mittlere-Spinalkanal-Durchmesser) und ventrale Zubildungen. Die Auswertung der CBCT-Befunde erfolgte im ersten Teil dieser Studie. Die Auswertung der szintigraphischen Aufnahmen wurde subjektiv und verblindet von derselben erfahrenen Untersucherin vorgenommen. Es erfolgte eine Einteilung anhand der Anreicherung in „physiologisch“, „geringgradig erhöht“ und „hochgradig erhöht“. Insgesamt wurden 236 Facettengelenke untersucht. Röntgenologisch waren mit 38,1% die meisten der ausgewählten Gelenke bei seitlichem Strahlengang röntgenologisch hochgradig verändert und Gruppe 5 zuzuschreiben, während 1,7% physiologisch (Röntgengruppe 1) erschienen. Szintigraphisch bestand ein ausgewogenes Verhältnis mit 85 (36,0%) physiologisch angereicherten, 78 (33,1%) geringgradig und 73 (30,9%) hochgradig angereicherten Gelenken. Keines der 76 Facettengelenke ohne CBCT-Veränderung wurde röntgenologisch als physiologisch beurteilt. Die häufigsten röntgenologischen Befunde traten als Zubildungen des Processus articularis (Proc. art.) cranialis (n = 144) auf, gefolgt von Verengungen des Foramen intervertebrale (n = 114). Tendenziell war ein Anstieg der Röntgengruppe mit steigender Anzahl der erhobenen CBCT-Befundmerkmale zu erkennen. Betrachtet man die CBCT- und szintigraphischen Befunde gemeinsam, erschien die Gruppe ohne Veränderungen in CBCT und Szintigraphie mit 55 Befundmerkmalen am größten. Allerdings reichten auch vier Gelenke hochgradig verstärkt an, die keinerlei Veränderungen im CBCT aufwiesen. Die hochgradig erhöhten Anreicherungen in der Szintigraphie korrelierten hauptsächlich mit den Zubildungen der Procc. art. craniales (n = 64), den Procc. art. caudales (n = 41) und Einengungen des Foramen intervertebrale (n = 54). Insgesamt korrelierte die seitliche röntgenologische Untersuchung schlechter mit den im CBCT erhobenen Befunden als die szintigraphische Untersuchung. Die CBCT der Halswirbelsäule, insbesondere der kaudalen Abschnitte, ergibt am stehenden sedierten Pferd eine bessere Aussage als die Röntgenuntersuchung oder die Szintigraphie. Allerdings muss der jeweilige zu untersuchende Bereich vorselektiert werden. Damit kommt der Kombination verschiedener diagnostischer Verfahren immer noch eine hohe Bedeutung zu. Mit der CBCT lassen sich konkrete Befunde erheben, die differenzierte Behandlungen erlauben.

Schlüsselwörter: Pferd, Halswirbelsäule, Facettengelenk, Computertomographie, Cone Beam-Computertomographie, Szintigraphie

Cone beam-computed tomography of the cervical spine in the standing horse – Part 2: Comparison with X-ray and scintigraphic findings

The caudal cervical spine is causally involved in diseases more often than the cranial parts. However, these sections are more difficult to access for computed tomographic examinations on the standing horse. The first results of the use of cone beam-computed tomography (CBCT) in the area of the cervical spine were described in the first part of this study. The subject of this work was the comparison of abnormal findings of the cervical spine of horses determined by CBCT with radiological and scintigraphic findings. It is a secondary descriptive data analysis in which 71 horses from the Equine Clinic Bargteheide were included. All horses had a previously diagnosed disease in the cervical spine. All findings were blindly assessed by the same examiner (IL). The X-ray images were assessed according to modified scoring system in 5 groups: Group 1: no enlarged facet, Group 2: bone formation dorsal, Group 3: bone formation ventral and reduced diameter of the intervertebral foramen, Group 4: bone formation ventral and dorsal, the dorsal bone formations are smaller than the diameter of the spinal canal, group 5: large bone formation dorsal (larger than the mean spinal canal diameter) and bone formation ventral. The CBCT findings were evaluated in the first part of this study. The evaluation of the scintigraphic recordings was carried out subjectively and blinded by the same experienced examiner (IL). A classification was made based on the pharmaceutical uptake into “physiological”, “slightly increased” and “highly increased”. A total of 236 facet joints were examined. Radiographically, most of the selected joints were severely altered in the lateral beam path and could be assigned with 38.1% to group 5, whereas 1.7% appeared physiologically (radiograph group 1). Scintigraphically, there was a balanced ratio with 85 (36.0%) physiologically, 78 (33.1%) slightly and 73 (30.9%) facet joints with highly increased radiopharmaceutical uptake. None of the 76 facet joints without CBCT changes were defined x-rayed as physiological. Most of the radiographic findings appeared as new bone formations at the cranial articular process (n = 144), followed by narrowing of the intervertebral foramen (n = 114). There was a tendency

towards an increase in the X-ray group with an increasing number of CBCT findings. Looking at the CBCT and scintigraphic findings together, the group with no changes in both appears to be the largest with 55 diagnostic features. However, four joints that showed any changes in the CBCT presented an increased pharmaceutical uptake in bone scintigraphy. The increased uptake in the scintigraphy correlated generally with bony projections along the cranial articular process ($n = 64$), the caudal articular process ($n = 41$) and narrowing of the intervertebral foramen ($n = 54$). Overall, the lateral radiographic examination correlates less well with the findings obtained in the CBCT than the scintigraphic examination. When compared to radiographic or scintigraphic examination in the standing sedated horse the CBCT of the cervical spine, especially the caudal sections, provides more detailed information. However, the respective area to be examined must be preselected. The combination of different diagnostic techniques is therefore still of great importance. With the CBCT, specific findings can be detected, which can be addressed specific treatments.

Keywords: cervical spine, facet joint, scintigraphy, cone beam computed tomography

Zitation: Offhaus J., Fritsche B., Lorenz I., Jahn W., Gerlach K. (2021) Cone Beam-Computertomographie der Halswirbelsäule am stehenden Pferd – Teil 2: Vergleich mit röntgenologischen und szintigraphischen Befunden. *Pferdeheilkunde* 37, 348–356; DOI 10.21836/PEM20210401

Korrespondenz: Dr. Julia Offhaus, Universität Leipzig, Veterinärmedizinische Fakultät, Klinik für Pferde, An den Tierkliniken 21, 04103 Leipzig, julia.offhaus@vetmed.uni-leipzig.de

Eingereicht: 26. Januar 2021 | **Angenommen:** 11. März 2021

Einleitung

Lahmheiten der Vordergliedmaßen können in Verbindung mit knöchernen Läsionen der mittleren und kaudalen Halswirbel sowie der kranialen Brustwirbel auftreten (Dyson 1986, Riccardi und Dyson 1993). Oftmals fehlen klinische Anzeichen, die Hinweise auf die Lokalisation der Lahmheitsursache im Bereich des Halses geben. Daher ist bei Pferden mit unklarer Lahmheit der Vordergliedmaßen eine Beurteilung des Halses mittels Röntgendiagnostik, Szintigraphie oder beiden Modalitäten angezeigt (Dyson 2011c).

Die bildgebende Diagnostik der Halswirbelsäule des Pferdes stellt aufgrund ihrer Komplexität, der Überlagerung anatomischer Strukturen sowie der Schwierigkeit ihrer orthograden Abbildungstechnik eine große Herausforderung dar (Dimock und Puchalsky 2010).

Die Röntgendiagnostik ist die häufigste weiterführende Untersuchung im Bereich der Halswirbelsäule des Pferdes (Engel 2010). Den Standard bilden seitliche Aufnahmen. Diese sind jedoch aufgrund von Überlagerungen der komplexen anatomischen Strukturen (Butler et al. 2016, Dyson 2011b, Engel 2010) sowie des Vorkommens von radiologischen Veränderungen als Zufallsbefund bei klinisch unauffälligen Pferden nicht immer einfach zu interpretieren (Lautenschläger et al. 2009). Schräg- oder Tangentialaufnahmen ergänzen hier das eindimensionale Bild sinnvoll. Auch die szintigraphische Untersuchung erweist sich bei Erkrankungen der Halswirbelsäule als außerordentlich wertvoll. Sie ist ein sensitives Untersuchungsverfahren mit geringer Spezifität (Martinelli und Chambers 1995, García-López 2003). Darüber hinaus gibt sie Hinweise zum Sitz der Erkrankung und ermöglicht eine Detektion der Lokalisation von Veränderungen.

Eine Kombination der Röntgentechnik mit der sensiblen aber unspezifischen szintigraphischen Untersuchung führt folglich zu einer erheblich besseren Sensitivität und Spezifität (Dyson 2014). Dies konnte auch im Bereich der Wirbelgelenke der Brustwirbelsäule bestätigt werden (Gillen et al. 2009).

Eine übersichtliche und überlagerungsfreie Darstellung von knöchernen und komplexen Strukturen bietet jedoch die Computertomographie (CT). Die CT-Untersuchung der Halswirbelsäule, insbesondere der kaudalen Wirbel, war bisher nur am liegenden Patienten in Allgemeinanästhesie möglich. In einem Cone Beam-Computertomograph (CBCT), welcher speziell für die Pferdemedizin entwickelt wurde, ist diese Untersuchung auch am stehenden sedierten Pferd realisierbar. Andere Bezeichnungen dieses bildgebenden Verfahrens stellen dreidimensionale Röntgenbildgebung oder digitale Volumentomographie dar. Es handelt sich hierbei um eine digitale Aufnahmetechnik, bei der ein pyramidales oder kegelförmiges Nutzstrahlenbündel durch die Mitte des interessierenden Bereiches auf einen Flächendetektor auf der gegenüberliegenden Seite gerichtet wird. Dadurch können die anatomischen Strukturen dreidimensional wiedergegeben werden (Strahlenschutzkommission 2015, Scarfe und Farman 2008). Von der Funktionsweise her handelt es sich eher um eine Durchleuchtung (Scheegerer et al. 2013).

Im ersten Teil dieser Studie (Fritsche et al. 2020) wurden mittels CBCT diagnostizierte Veränderungen der Halswirbelsäule des Pferdes aufgearbeitet, strukturiert und ein Befundungsschema erarbeitet.

Gegenstand dieses zweiten Studienteils ist die Auswertung der im CBCT ermittelten abweichenden Befunde der Halswirbelsäule im Vergleich zu radiologischen und szintigraphischen Befunden am stehenden Pferd.

Material und Methoden

Für diese retrospektive Studie wurden Pferde mit Verdacht auf krankhafte Veränderungen im Bereich der Halswirbelsäule ausgewählt, welche in der Pferdeklinik Bargteheide in den Jahren 2017 und 2018 untersucht und behandelt wurden. Patienten, Protokolle und Einschlusskriterien wurden im ersten Teil dieser Studie (Fritsche et al. 2020) beschrieben. Die vorher durch klinische, röntgenologische und/oder szintigraphi-

sche Untersuchung ermittelten Bereiche der Halswirbelsäule wurden mittels CBCT untersucht und verblindet von einer erfahrenen Untersucherin (IL) einheitlich beurteilt.

Von allen eingeschlossenen Pferden wurden seitliche Röntgenaufnahmen mit einem Strahlengang von links nach rechts angefertigt. Hierbei wurde der Hals in einer geraden Position so gelagert, dass sich bei gleichmäßiger Belastung aller vier Gliedmaßen die Maulspalte des Pferdes auf Höhe des Schultergelenkes befand. Verwendet wurden ein Röntgengerät SX 50/80 (Siemens, Erlangen, Deutschland), ein Raster (PDR80C, Reina Imaging, Cristal Lake, USA) und eine Detektorplatte CXDI- 801C Wireless (Canon, Amstelveen, Niederlande). Die Belichtungszeiten lagen bei durchschnittlich 81 kV, 36 mAs sowie 58,3 ms. Die Detektorplatte hatte eine Bildfläche von 27,4 × 35 cm.

Für die skelettszintigraphische Untersuchung der Pferde wurde ein standardisiertes Szintigraphieprotokoll genutzt. Vor der Injektion des „TechneScan® HDP“ (Technetium^{99m}-Hydroxymethylen-Diphosphonat; 1 GBq/100 kg Körpergewicht; Mallinckrodt Pharmaceuticals, London, England) wurden die Patienten 20 Minuten longiert und anschließend bandagiert. Die szintigraphische Untersuchung wurde vier bis fünf Stunden nach der Injektion vorgenommen. Alle Aufnahmen wurden mit einer Computer-Gammakamera „Equine Scanner H.R.-SCINTRON“ (Firma Medical Imaging Electronics, Seth, Deutschland) unter Einsatz eines „Low Energy High Resolution“ Kollimators und einer integrierten Bewegungskorrektursoftware angefertigt. Die Aufnahmen der Halswirbelsäule erfolgten von bilateral mit paralleler Ausrichtung der Gammakamera zur Halswirbelsäule. Es wurden pro Seite zwei Aufnahmen des Halses angefertigt. Die Aufnahmezeit betrug 60 Sekunden im dynamischen Modus mit einer Matrix von 256 × 256.

Die CBCT-Untersuchungen erfolgten mit dem Computertomograph „Pegaso™“ der Firma Epica Medical Innovations (San Clemente, USA). Die genaue Beschreibung einschließlich des Untersuchungsprotokolls findet sich im ersten Teil der Studie (Fritsche et al. 2020).

Die Beurteilung der Röntgenbilder erfolgte im Rahmen dieser Studie verblindet durch eine erfahrene Untersucherin (IL). Mittels eines modifizierten Scoring Systems nach Down und Henson (2009) zur Beurteilung der Facettengelenke, wurden die Röntgenbilder einer der folgenden 5 Gruppen zugeteilt (Abb. 1 und 2).

- Gruppe 1: keine vergrößerte Facette
- Gruppe 2: Knochenzubildungen dorsal an der Facette
- Gruppe 3: ventrale Zubildungen und verringerter Durchmesser des Foramen intervertebrale
- Gruppe 4: ventrale und dorsale Zubildungen, die dorsalen Zubildungen sind kleiner als der Durchmesser des Spinalkanals
- Gruppe 5: große dorsale Zubildungen (größer als der Mittlere-Spinalkanal-Durchmesser) und ventrale Zubildungen

Zusätzliche Befunde, wie zystoide Defekte, Frakturen und isolierte Knochenfragmente, wurden ebenfalls notiert und ausgewertet.

Die Auswertung der szintigraphischen Aufnahmen wurde subjektiv und verblindet von einer erfahrenen Untersucherin (IL) vorgenommen. Es erfolgte eine Einteilung anhand der Anreicherung in „physiologisch“, „geringgradig erhöht“ und „hochgradig erhöht“. Die szintigraphischen Bilder wurden im „red-blue-green“ Farbschema befundet.

Die Beschreibung der Auswertung der CBCT-Bilddaten findet sich im ersten Teil der Studie (Fritsche et al. 2020).

Es handelt sich in der folgenden Arbeit um eine sekundär deskriptive Studie. Die erhobenen Daten wurden mit Hilfe von Microsoft Excel® (Microsoft Corporation) erfasst und deskriptiv dargestellt.

Ergebnisse

Von Januar 2017 bis Dezember 2018 erfüllten 71 Pferde die Einschlusskriterien. Angaben zu Geschlecht, Rasse und Alter finden sich im ersten Teil dieser Arbeit (Fritsche et al. 2020). Insgesamt wurden in dieser Studie 118 Bewegungseinheiten der Halswirbel untersucht. Eine Bewegungseinheit wird als der Übergang zweier Halswirbel (C) definiert und besteht aus einem Bandscheiben- oder Interzentralkgelenk sowie zwei Facettengelenken.

Bei der Beurteilung der Röntgenbilder der Halswirbelsäule wurden insgesamt 236 Facettengelenke untersucht. Anhand des modifizierten Scoring Systems nach Down und Henson (2009) wurden die Röntgenbilder in die Gruppen 1 bis 5 eingeteilt. Aufgrund der lateralen Projektionsrichtung, wurde der linken und rechten Gelenkfacette jeweils dieselbe Röntgen-Gruppe zugeschrieben. Eine Zuordnung der rechten und linken Seite in dieser Projektionsebene ist nicht möglich.

Röntgenologisch wies der Hauptteil dieser Facettengelenke deutliche Veränderungen auf und wurde der Röntgen-Gruppe 5 (38,1%) und 4 (31,4%) zugeordnet. 42 (17,8%) der Facettengelenke zeigten sowohl ventrale Zubildungen und einen verringerten Durchmesser des Foramen intervertebrale (For. intervertebrale) und wurden somit Röntgen-Gruppe 3 zugeteilt. In 26 (11,0%) der Facettengelenke wurden ausschließlich im dorsalen Anteil knochendichte Zubildungen vorgefunden (Röntgen-Gruppe 2). Lediglich vier (1,7%) der Facettengelenke wurden als physiologisch befundet (Tab. 1).

Ergänzend konnten bei fünf Facettengelenken zystische Veränderungen erkannt werden. Sechs der Facettengelenke wie-



Abb. 1 Schematische Darstellung der Einteilung in 5 Gruppen anhand des nach Down und Henson (2009) modifizierten Scoring Systems zur Beurteilung der Röntgenbefunde der Halswirbelsäule. Die Pfeile markieren die ventralen Veränderungen der Facettengelenke in jeder Gruppe. | Schematic representation of the division into 5 groups according to modified scoring system to Down and Henson (2009), used for assessment of X-ray findings of the cervical spine. The arrows mark the ventral changes of the facet joints in each group.

sen verdächtige Bereiche auf. In drei dieser Gelenke konnten Frakturen oder isolierte Knochenfragmente eindeutig diagnostiziert werden, während bei drei weiteren Gelenkfacetten ausschließlich ein Verdacht geäußert werden konnte.

Die Beurteilung der szintigraphischen Aufnahmen ergab ein ausgewogenes Anreicherungsverhältnis. Somit konnte für 85 (36,0%) Facettengelenke ein physiologisches Anreicherungsverhalten ermittelt werden, davon waren 47 (19,9%) Gelenke linksseitig und 38 (16,1%) Gelenke rechtsseitig lokalisiert. Bei 78 (33,1%) Facettengelenken wurde eine geringgradig erhöhte Anreicherung sowohl links- (n = 40, 16,9%) als auch rechtsseitig (n = 38, 16,1%) festgestellt. 73 (30,9%) Facettengelenke wiesen eine hochgradige Anreicherung auf, welche in den meisten Fällen rechtsseitig vorlag (links 31 (13,1%), rechts 42 (17,8%)) (Tab. 2, Abb. 3).

Die Ergebnisse der Beurteilung der CBCT-Untersuchungen wurden im ersten Teil dieser Studie beschrieben (Fritsche et al. 2020).

Zusammenhang von CBCT-Befunden und Röntgengruppen

Bei der zusammenhängenden Betrachtung der verschiedenen CBCT-Befundmerkmale und deren Einteilung in die entsprechenden Röntgengruppen ließ sich eine Steigerung der Röntgengruppe mit ansteigender Anzahl der erhobenen CBCT-Befundmerkmale erkennen (Tab. 3). Keines der 76 Facettengelenke ohne CBCT-Befundmerkmal konnte röntgenologisch als physiologisch und folglich Röntgengruppe 1 zugeordnet werden (Tab. 4). Die meisten röntgenologischen Befunde traten als Zubildungen des Processus articularis (Proc. art.) cranialis auf, gefolgt von den Verengungen des For. intervertebrale. Über die Hälfte der Facettengelenke mit Zubildung des Proc. art. caudalis, zystischen Läsionen und Verengungen des knöchernen Wirbelkanals wurden in der röntgenologischen Untersuchung der Gruppe 5 zugeordnet.

Die häufigsten Veränderungen traten im CBCT bei 144 Facettengelenken als knöcherne Zubildungen des Proc. art. cranialis auf. Keines der betroffenen Facettengelenke wurde



Abb. 2 Schematische Abbildungen von Transversalschnitten auf Höhe des Interzentralschnitts des sechsten und siebten Halswirbels (C) a Zubildung des rechten Processus articularis cranialis von C 7 mit Einengung des Foramen intervertebrale und Verengung des knöchernen Wirbelkanals; b Zubildung des linken Processus articularis caudalis von C 6 mit Verengung des knöchernen Wirbelkanals; c Inkongruenter Gelenkspalt des rechten Facettengelenks; rechts ist im Bild rechts. (Zeichnung: Fritsche, Birthe) | Schematic figure of transversal sections at the level of the intercentral joint of the sixth and seventh cervical vertebra (C): a Bone formation of the right cranial articular process of C 7 with narrowing of the intervertebral foramen and narrowing of the spinal canal; b Bone formation of the left caudal articular process from C 6 with narrowing of the spinal canal; c Incongruent joint space of the right facet joint; right is right in the picture. (figure by: Fritsche, Birthe)

röntgenologisch als physiologisch beurteilt. Dabei erschienen 75% dieser Gelenkfacetten in der röntgenologischen Beurteilung deutlich verändert und wurden folglich Röntgengruppe 4 (33,3%) und 5 (41,7%) zugeordnet (Tab. 4).

Einen weiteren Schwerpunkt der CBCT-Befunde stellte mit 114 Facettengelenken eine Einengung des For. intervertebrale dar. Lediglich ein Bruchteil (1,8%) dieser im CBCT veränderten Gelenke wurde röntgenologisch als physiologisch beurteilt. Die meisten dieser Facettengelenke ließen sich ebenfalls in Röntgengruppe 5 (44,4%) und 4 (33,3%) einordnen. Acht (7%) Facettengelenke fanden sich in Röntgengruppe 2 und 15 (13,2%) in Röntgengruppe 3 wieder (Tab. 4).

60 Gelenkfacetten wiesen in der CBCT-Untersuchung knöcherne Zubildungen des Proc. art. caudalis auf. Lediglich eine (1,7%) Gelenkfacette wurde röntgenologisch als physiologisch beurteilt. Mehr als die Hälfte der Gelenkfacetten (58,3%) zeigten röntgenologisch hochgradige Veränderungen im Sinne der Röntgengruppe 5. In Röntgengruppe 2 und 3 fanden sich jeweils sechs (10%) Facettengelenke wieder. Weitere 12 (20%) Facettengelenke mit knöchernen Zubildungen des kaudalen Proc. art. wurden Röntgengruppe 4 zugeordnet (Tab. 4).

Des Weiteren wurden mittels CBCT 50 Gelenkfacetten mit einem inkongruenten Gelenkspalt diagnostiziert. Drei (6%) dieser Gelenkfacetten wurden als physiologisch befundet. Auch hier wies der Hauptteil der Facettengelenke röntgenologisch deutliche Veränderungen im Sinne von Röntgengruppe 5 (44,0%) und 4 (28,0%) auf. Weitere fünf (10,0%) Gelenke wurden Röntgengruppe 2 und sechs (12,0%) Facettengelenke Röntgengruppe 3 zugeordnet (Tab. 4)

Tab. 1 Verteilung der Röntgenbefunde der ausgewählten Facettengelenke (n = 236) der Halswirbelsäule von 71 Pferden nach modifizierter Befundeinteilung nach Down und Henson (2009). | Distribution of the X-ray findings of the selected facet joints (n = 236) of the cervical spine of 71 horses using a modified scoring system according to Down and Henson (2009).

Röntgengruppe	1	2	3	4	5
Anzahl der Facettengelenke	4	26	42	74	90
Anteil in %	1,7	11,0	17,8	31,4	38,1

Tab. 2 Verteilung der Anreicherungsgrade der szintigraphischen Untersuchung der Facettengelenke der Halswirbelsäule bei Pferden (n = 236). | Distribution of radiopharmaceutical uptake patterns the degree of the scintigraphic examination of the facet joints of the cervical spine in horses (n = 236).

	Physiologische Anreicherung (%)	Geringgradig erhöhte Anreicherung (%)	Hochgradig erhöhte Anreicherung (%)
Linke Facettengelenke	47 (19,9)	40 (16,9)	31 (13,1)
Rechte Facettengelenke	38 (16,1)	38 (16,1)	42 (17,8)
Gesamt	85 (36,0)	78 (33,1)	73 (30,9)

32 Gelenkfacetten zeigten im CBCT eine Einengung des knöchernen Wirbelkanals. Keine dieser Gelenkfacetten wurde röntgenologisch als physiologisch beurteilt. Drei (9,4%) dieser Facettengelenke wurden in Röntgengruppe 2 und weitere drei (9,4%) in Röntgengruppe 3 zugeteilt. Zu Röntgengruppe 4 ließen sich neun (28,1%) der Gelenkfacetten zählen. Den Hauptteil machten jedoch mit 53,1% 17 Facettengelenke mit deutlichen Veränderungen (Röntgengruppe 5) aus (Tab. 4).

Zystische Läsionen wurden mittels CBCT bei 28 Facettengelenken diagnostiziert. Von diesen Gelenkfacetten wurde lediglich eins (3,6%) röntgenologisch physiologisch beurteilt. Zwei (7,1%) wurden Röntgengruppe 2 zugeschrieben. In Gruppe 3 wurden ebenfalls zwei (7,1%) und in Gruppe 4 acht (28,6%) dieser Facettengelenke eingeteilt. Mit 53,6% der Facettengelenke findet sich jedoch über die Hälfte der Gelenkfacetten in Röntgengruppe 5 wieder (Tab. 4). Lediglich fünf der im CBCT diagnostizierten zystoiden Defekte wurden in den lateralen Röntgenaufnahmen klar befundet. Sechs röntgenologisch verdächtige Bereiche bestätigten sich jedoch in der CBCT-Untersuchung.

Von den im CBCT diagnostizierten 12 Facettengelenken mit einer Fraktur oder einem isolierten Knochenfragment wurde keines in der röntgenologischen Untersuchung als physio-

logisch beurteilt. Ein (8,3%) Facettengelenk wurde Röntgengruppe 2 und zwei (16,7%) Röntgengruppe 3 zugeteilt. Auch hier wurde der Hauptteil der veränderten Gelenkfacetten zu Röntgengruppe 4 (33,3%) und 5 (41,7%) gezählt (Tab. 4).

Mittels der röntgenologischen Untersuchung konnten lediglich bei drei dieser Facettengelenke Frakturen oder Fragmente eindeutig befundet werden (Abb. 4).

Zusammenhang von CBCT-Befunden und Szintigraphie

Bei der gemeinsamen Betrachtung der CBCT- und szintigraphischen Befunde war die Gruppe ohne Veränderungen in CBCT und Szintigraphie mit 55 Gelenkfacetten am größten. Allerdings reicherten vier Facettengelenke hochgradig vermehrt an, welche keinerlei Veränderungen im CBCT aufwiesen. Des Weiteren wurde deutlich, dass bereits ab einem CBCT-Befundmerkmal mehr als die Hälfte der Facettengelenke ein erhöhtes Anreicherungsverhalten zeigten. Je mehr Befundmerkmale die Facettengelenke aufwiesen, umso weniger zeigten sie ein physiologisches Anreicherungsverhalten. Bei den Facettengelenken mit drei oder mehr CBCT-Befundmerkmalen, wiesen über die Hälfte der Facettengelenke eine hochgradig erhöhte Anreicherung in der szintigraphischen Untersuchung auf. (Tab. 5).

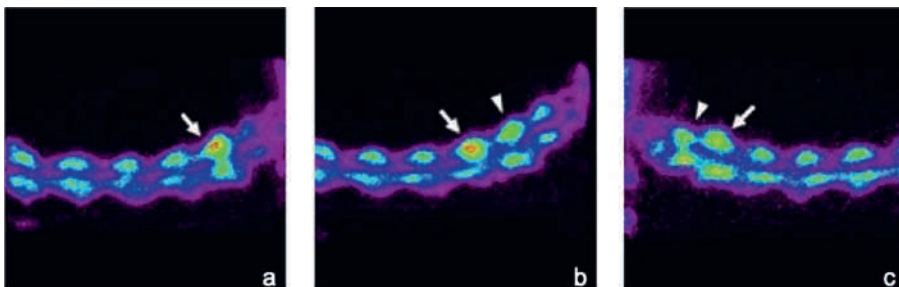


Abb. 3 Beispiele szintigraphischer Befunde: a seitliche szintigraphische Aufnahme der linken kaudalen Halswirbelsäule mit hochgradiger Anreicherung des Facettengelenks des sechsten und siebten Halswirbels (Pfeil), links ist kranial; b seitliche szintigraphische Aufnahme der linken kaudalen Halswirbelsäule mit hochgradiger Anreicherung des Facettengelenks des fünften und sechsten Halswirbels (Pfeil) und geringgradiger Anreicherung des Facettengelenks des

sechsten und siebten Halswirbels (Pfeilspitze), links ist kranial; c seitliche szintigraphische Aufnahme mit hochgradiger Anreicherung des rechten kaudalen Facettengelenks des sechsten und siebten Halswirbels (Pfeil) und geringgradiger Anreicherung des rechten kaudalen Facettengelenks des siebten Hals- und ersten Brustwirbels (Pfeilspitze), rechts ist kranial. | *Examples of scintigraphic findings: a lateral scintigraphic view of the left caudal cervical spine with highly increased uptake of the facet joint of the sixth and seventh cervical vertebra (arrow), left is cranial; b lateral scintigraphic view of the left caudal cervical spine with highly increased uptake of the facet joint of the fifth and sixth cervical vertebra (arrow) and slightly increased uptake of the facet joint of the sixth and seventh cervical vertebra (arrowhead), left is cranial; c lateral scintigraphic view of the right caudal cervical spine with highly increased uptake of the facet joint of the sixth and seventh cervical vertebra (arrow) and slightly increased uptake of the facet joint of the seventh cervical vertebra and first thoracic vertebra (arrowhead), right is cranial.*

Tab. 3 Röntgengruppen und Anzahl der CBCT-Befundmerkmale der untersuchten Facettengelenke (n = 236). | *X-ray groups and number of CBCT features of the examined facet joints (n = 236).*

Anzahl CT-Befundmerkmale	0 (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	6 (%)	7 (%)
Röntgengruppe 1	0	2 (8,0)	1 (1,5)	1 (3,6)	0	0	0	0
Röntgengruppe 2	10 (13,1)	4 (16,0)	5 (7,5)	4 (14,3)	2 (12,5)	1 (6,3)	0	0
Röntgengruppe 3	19 (25,0)	5 (20,0)	12 (17,9)	2 (7,1)	1 (6,3)	2 (12,5)	0	1 (20,0)
Röntgengruppe 4	24 (31,6)	5 (20,0)	26 (38,8)	9 (32,1)	5 (31,3)	3 (18,7)	0	2 (40,0)
Röntgengruppe 5	23 (30,3)	9 (36,0)	23 (34,3)	12 (42,9)	8 (50,0)	10 (62,5)	3 (100,0)	2 (40,0)
Gesamt	76 (32,2)	25 (10,6)	67 (28,3)	28 (11,9)	16 (6,8)	16 (6,8)	3 (1,3)	5 (2,1)

25 (17,4%) der 144 Facettengelenke mit knöchernen Zubildungen des Proc. art. cranialis zeigten szintigraphisch eine physiologische, 55 (38,2%) eine geringgradig erhöhte und 64 (44,4%) Facettengelenke eine hochgradig erhöhte szintigraphische Anreicherung.

Von 114 Facettengelenken, welche eine Einengung des For. intervertebrale aufwies wurde bei 18 (15,8%) eine physiologische szintigraphische Anreicherung befundet. Bei 42 (36,8%) Facettengelenken wurde eine geringgradig erhöhte und bei 54 (47,4%) Facettengelenken eine hochgradig erhöhte szintigraphische Anreicherung ausgemacht.

In der CBCT-Untersuchung wurden bei 60 Gelenkfacetten knöcherne Zubildungen des Proc. art. caudalis befundet. Von diesen Gelenken zeigten fünf (8,3%) ein physiologisches, 14 (23,3%) ein geringgradig erhöhtes und 41 (68,3%) ein hochgradig erhöhtes szintigraphisches Anreicherungsverhalten.

Bezüglich der 28 diagnostizierten zystoiden Defekten wiesen zwei (7,1%) Facettengelenke ein physiologisches, 11 (39,3%) ein geringgradig erhöhtes sowie mehr als die Hälfte (53,6%) ein hochgradig erhöhtes szintigraphisches Anreicherungsmuster auf.

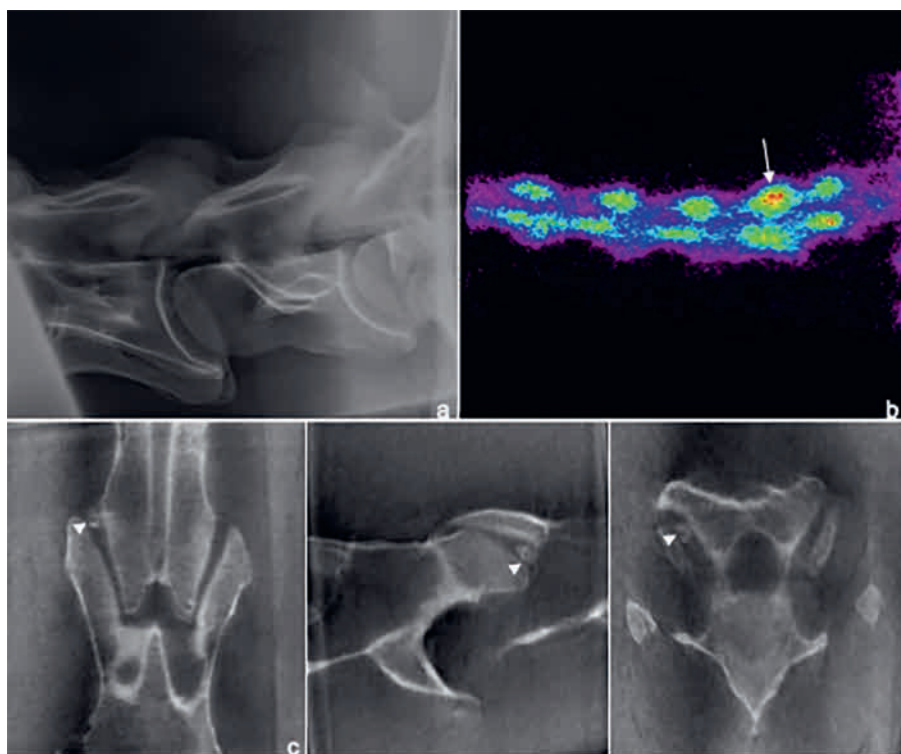


Abb. 4 Exemplarische Darstellung der kaudalen Halswirbelsäule eines Pferdes: a seitliche Röntgenaufnahme des sechsten und siebten Halswirbels, Zuordnung in Röntgengruppe 4 ohne röntgenologischen Hinweis auf ein isoliertes Knochenfragment, links ist kranial; b seitliche szintigraphische Aufnahme der linken kaudalen Halswirbelsäule desselben Pferdes mit hochgradiger Anreicherung im Bereich des Facettengelenkes des sechsten und siebten Halswirbels (Pfeil), links ist kranial; c Cone Beam-Computertomographische Aufnahme desselben Pferdes auf Höhe des sechsten und siebten Halswirbels im Dorsal-, Sagittal- und Transversalschnitt (von links nach rechts) mit deutlich erkennbarem isoliertem Knochenfragment im linken Facettengelenk (Pfeilspitze), in den Dorsal- und Transversalschnitten ist links im Bild links, im Sagittalschnitt ist links kranial.

and seventh cervical vertebra (arrow), left is cranial; b lateral scintigraphic view of the left caudal cervical spine of the same horse with highly increased uptake of the facet joint of the sixth and seventh cervical vertebrae (arrow), left is cranial; c cone beam computed tomographic view of the same horse at the level of the sixth and seventh cervical vertebrae in dorsal, sagittal and transverse planes (from left to right) with an isolated bone fragment in the left facet joint (arrowhead), left is left in the dorsal and transverse planes and left is cranial in the sagittal plane.

Tab. 4 Röntgengruppen und Vorkommen der CBCT-Befundmerkmale der 236 Facettengelenke. | X-ray groups and occurrence of the CBCT features of the 236 facet joints.

	Zubildung Proc. art. cran. (%)	Zubildung Proc. art. caud. (%)	Einengung For. iv. (%)	Zystische Läsion (%)	Frakturen/ Fragmente (%)	Verengung WK (%)	Gelenkspalt- inkongruenz (%)
Röntgengruppe 1	0	1 (1,7)	2 (1,8)	1 (3,6)	0	0	3 (6,0)
Röntgengruppe 2	14 (9,7)	6 (10,0)	8 (7,0)	2 (7,1)	1 (8,3)	3 (9,4)	5 (10,0)
Röntgengruppe 3	22 (15,3)	6 (10,0)	15 (13,2)	2 (7,1)	2 (16,7)	3 (9,4)	6 (12,0)
Röntgengruppe 4	48 (33,3)	12 (20,0)	38 (33,3)	8 (28,6)	4 (33,3)	9 (28,1)	14 (28,0)
Röntgengruppe 5	60 (41,7)	35 (58,3)	51 (44,7)	15 (53,6)	5 (41,7)	17 (53,1)	22 (44,0)
Gesamtanzahl	144	60	114	28	12	32	50

C = Halswirbel; Proc. art. cran. = Processus articularis cranialis des kaudalen gelenkbildenden Wirbels; Proc. art. caud. = Processus articularis caudalis des kranial gelenkbildenden Wirbels; For. iv. = Foramen intervertebrale; WK = Wirbelkanal; | C = cervical vertebra; Proc. art. cran. = cranial articular process of the caudal vertebrae; Proc. art. caud. = caudal articular process of the cranial vertebrae; For. iv. = intervertebral foramen; WK = spinal canal

Keines der 12 Facettengelenke mit Frakturen oder isolierten Knochenfragmenten zeigte eine physiologische szintigraphische Anreicherung. Jeweils die Hälfte (50,0%) wiesen jedoch eine geringgradig bzw. hochgradig erhöhte Anreicherung auf (Abb. 4).

Bei 32 Facettengelenken konnte mittels CBCT eine Verengung des knöchernen Wirbelkanals diagnostiziert werden. Von diesen zeigte der Hauptteil (71,9%) eine hochgradig erhöhte szintigraphische Anreicherung. Zwei (6,3%) Gelenkfacetten wiesen eine physiologische und sieben (21,9%) eine geringgradig erhöhte szintigraphische Anreicherung auf.

Ein inkongruenter Gelenkspalt der Facettengelenke wurde in 50 Fällen mittels CBCT befundet. Der kleinste Anteil (12,0%) dieser Gelenke fiel mit physiologischem szintigraphischem Anreicherungsverhalten auf. 20 (40,0%) Facettengelenke zeigten eine geringgradige und 24 (48,0%) eine hochgradige szintigraphische Anreicherung (Tab. 6).

Diskussion

In dieser Studie wurden erstmals mittels CBCT erfasste abweichende Veränderungen im Bereich der Halswirbelsäule des Pferdes mit röntgenologischen und szintigraphischen Befunden verglichen und beschrieben.

Die Röntgendiagnostik stellt aufgrund ihrer geringen Invasivität eines der häufigsten weiterführenden diagnostischen Mittel bei Erkrankungen der Halswirbelsäule des Pferdes dar (Engel 2010). Den Standard bilden seitliche Aufnahmen. Diese Aufnahmetechnik wurde in der vorliegenden Arbeit standardmäßig durchgeführt. Eine bedeutende Schwachstelle dieser Standardaufnahmen stellt die Überlagerung der rechten und linken Gelenkfacette dar. Somit ist eine getrennte Beurteilung beider Seiten nicht möglich. Tangentialaufnahmen wurden in dieser Studie nicht berücksichtigt, was einen limitierenden Faktor bei der Auswertung der Untersuchungsergebnisse darstellt. Zysten und Frakturen sind auf lateralen Röntgenbildern der Halswirbelsäule teilweise aber nicht immer sichtbar. In der vorliegenden Arbeit wurden bei 28 Facettengelenken zystoide Defekte mittels CBCT diagnostiziert, diese konnten nur bei fünf dieser Gelenke in den lateralen Röntgenaufnahmen erkannt werden. Sechs weitere Facettengelenke wiesen in der röntgenologischen Untersuchung verdächtige Bereiche auf, welche mittels CBCT bestätigt werden konnten. Weiterhin konnten lediglich bei drei von 12 Facettengelenken Frakturen oder isolierte Knochenfragmente eindeutig röntgenologisch befundet werden. Die übrigen zystoiden Veränderungen und Fragmente wurden in der seitlichen Projektionsrichtung nicht erkannt. Ergänzend sollte bedacht werden, dass die Bildqualität aufgrund von Streustrahlung und bei stark bemuskelten Pferden verringert sein kann, was wiederum eine erschwerte röntgenologische Befundung nach sich zieht (Lischer et. al 2010).

Tab. 5 Darstellung der szintigraphischen Befunde und Anzahl der dazugehörigen Cone Beam-Computertomographie (CBCT)-Befundmerkmale. *Presentation of the scintigraphic findings and the number of associated CBCT findings.*

Anzahl CBCT-Befundmerkmale	0 (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	6 (%)	7 (%)
Anzahl der Facettengelenke mit physiologischer Anreicherung	55 (72,4)	11 (44,0)	13 (19,4)	4 (14,3)	1 (6,3)	1 (6,3)	0	0
Anzahl der Facettengelenke mit geringgradig erhöhter Anreicherung	17 (22,4)	11 (44,0)	31 (46,2)	6 (21,4)	6 (37,5)	4 (25,0)	1 (33,0)	2 (40,0)
Anzahl der Facettengelenke mit hochgradig erhöhter Anreicherung	4 (5,2)	3 (12,0)	23 (34,4)	18 (64,3)	9 (56,2)	11 (68,7)	2 (67,0)	3 (60,0)
Gesamt	76 (32,2)	25 (10,6)	67 (28,3)	28 (11,9)	16 (6,8)	16 (6,8)	3 (1,3)	5 (2,1)

Tab. 6 Szintigraphisches Anreicherungsverhalten und Vorkommen der verschiedenen CBCT-Befundmerkmale bei 236 Facettengelenken. *Increased radiopharmaceutical uptake and occurrence of various CBCT findings in 236 facet joints.*

	Zubildung Proc. art. cran. (%)	Zubildung Proc. art. caud. (%)	Einengung For. iv. (%)	Zystische Läsion (%)	Frakturen/ Fragmente (%)	Verengung WK (%)	Gelenkspalt- inkongruenz (%)
Anzahl der Facettengelenke mit physiologischer Anreicherung	25 (17,4)	5 (8,3)	18 (15,8)	2 (7,1)	0	2 (6,3)	6 (12,0)
Anzahl der Facettengelenke mit geringgradig erhöhter Anreicherung	55 (38,2)	14 (23,3)	42 (36,8)	11 (39,3)	6 (50,0)	7 (21,9)	20 (40,0)
Anzahl der Facettengelenke mit hochgradig erhöhter Anreicherung	64 (44,4)	41 (68,3)	54 (47,4)	15 (53,6)	6 (50,0)	23 (71,9)	24 (48,0)
Gesamt	144	60	114	28	12	32	50

C = Halswirbel; Proc. art. cran. = Processus articularis cranialis des kaudalen gelenkbildenden Wirbels; Proc. art. caud. = Processus articularis caudalis des kranial gelenkbildenden Wirbels; For. iv. = Foramen intervertebrale; WK = Wirbelkanal | C = cervical vertebra; Proc. art. cran. = cranial articular process of the caudal vertebrae; Proc. art. caud. = caudal articular process of the cranial vertebrae; For. iv. = intervertebral foramen; WK = spinal canal

Wird die CBCT-Untersuchung mit der vorangegangenen röntgenologischen Untersuchung mit lateraler Strahlenrichtung verglichen, so zeigt sich eine deutliche Unstimmigkeit der Ergebnisse, welche vermutlich auf die Überlagerungartefakte der anatomischen Strukturen im zweidimensionalen Bild zurückzuführen ist. So wurde ein geringer Anteil der im CBCT auffälligen Facettengelenke im Sinne einer Einengung des For. intervertebrale (1,8%), Zubildungen des Proc. art. caudalis (1,7%) sowie ein inkongruenter Gelenkspalt (6,0%) in der vorliegenden Arbeit röntgenologisch als physiologisch beurteilt. Anders herum konnte keines der mittels CBCT ermittelten unveränderten Facettengelenke röntgenologisch als physiologisch beurteilt werden, was den großen Vorteil der dreidimensionalen Bildgebung hervorhebt. Bei asymmetrischen Facettengelenkveränderungen erscheint die „physiologische“ Seite in der seitlichen Röntgendarstellung ebenfalls verändert, was auf eine Überlagerung mit dem kontralateralen vergrößerten Facettengelenk zurückzuführen ist. Dies kann wiederum bei der Beurteilung nach *Down* und *Henson* (2009) zu einer falschen Zuordnung der physiologischen Gelenkseite in eine höhere Röntgengruppe führen. Ebenso wirkt bei der seitlichen Aufnahmetechnik das detektorferne Facettengelenk größer als das detektornähere, woraus wiederum eine Überinterpretation der Röntgengruppierung resultiert (*Down* und *Henson* 2009).

Anatomische Studien konnten zeigen, dass 50% gesunder adulter Pferde röntgenologisch uni- oder bilaterale Veränderungen der Facettengelenke des sechsten und siebten Halswirbels aufweisen (*Dyson* 2011a, *Whitwell* und *Dyson* 1987, *Down* und *Henson* 2009). In der vorliegenden Studie wurden ausschließlich klinisch auffällige Pferde eingeschlossen. Der Hauptteil der untersuchten Facettengelenke wiesen deutliche röntgenologische Veränderungen auf und wurden entsprechend den Röntgengruppen 5 und 4 zugeordnet. Dies wiederum erhöht die Aussagekraft dieser Studie.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigten außerdem, dass keines der Facettengelenke mit Zubildungen des Proc. art. cranialis, Verengungen des knöchernen Wirbelkanals sowie Frakturen oder isolierten Knochenfragmenten als physiologisch beurteilt wurde. Dies liegt darin begründet, dass die besagten Veränderungen oft in engem Zusammenhang stehen: Frakturen oder Fragmente fördern den Knochenumbau, was wiederum zu Einengungen des Wirbelkanals führen kann. Daraus resultierend korrelierte die Anzahl der CBCT-Befundmerkmale mit der Zuteilung zu einer höheren Röntgengruppe, was auf einen Einfluss dieser Veränderungen auf die Röntgengruppe schließen lässt. *Dyson* (2011a) beschreibt beispielsweise die Verengung des For. intervertebrale als Folge einer asymmetrischen Facettengelenkvergrößerung infolge von Knorpeldegenerationen und daraus resultierender knochendichter Zubildungen. Ebenso können sich durch Zubildungen der Lamina dorsalis angrenzender Wirbel zystoide Veränderungen ausbilden (*Dyson* 2011a). Der Processus spinosus des siebten Halswirbels kann unter Umständen bei Extension des Halses durch Kontakt mit dem sechsten Halswirbel abflachen oder gänzlich fragmentieren. Dies wiederum führt radiologisch zu einer Unregelmäßigkeit der Kontur des Facettengelenkes. Ähnliche Modellierungsprozesse können auch innerhalb des Facettengelenkes des sechsten und siebten Halswirbels stattfinden (*Dyson* 2011a, *Dyson* 2011b). Demnach ist das Ver-

teilungsmuster der Röntgengruppen in dieser Studie aus pathophysiologischer Sicht erklärbar. Die im CBCT ermittelten Befundmerkmale bedingen sich teilweise gegenseitig, was zu einer Erhöhung der Röntgengruppe mit steigender Anzahl der CBCT-Befundmerkmale führt.

Die Skelettszintigraphie ist bei der Untersuchung von Erkrankungen der Halswirbelsäule außerordentlich wertvoll, weil im Bereich der Facettengelenke keine diagnostischen Anästhesien im Zuge der Lahmheitsuntersuchung zur Verfügung stehen. Da röntgenologische Veränderungen der Facettengelenke auch bei Pferden ohne Symptomatik angetroffen werden können, erhöht dieses Einschlusskriterium des Patientengutes außerdem die Aussagekraft dieser Studie (*Lautenschläger* 2007). Eine Kombination von Röntgentechnik und Szintigraphie hat sich bei Vorderhandlahmheiten, die mit knöchernen Veränderungen der mittleren bis unteren Halswirbelsäule zusammenhängen, für die Diagnosefindung als hilfreich erwiesen (*Dyson* 2011a, *Munroe* 2018). Auch bei anderen pathologischen Veränderungen wie dem Hufrollen-Syndrom und Osteoarthrose des distalen Tarsalgelenks, korrelieren die klinische Präsentation und das röntgenologische Erscheinungsbild oftmals ungenügend. Zusätzliche szintigraphische Untersuchungen haben hier zu einer verbesserten Diagnostik geführt. Trotz ihrer sehr hohen Sensitivität ist die Spezifität der Szintigraphie hinsichtlich ihres diagnostischen Aussagewertes jedoch gering (*Martinelli* und *Chambers* 1995). Dies kann wiederum zu einer falschen oder unvollständigen Diagnose führen (*García-López* 2003). Daher ist die Kombination mit der computertomographischen Untersuchung sehr hilfreich. In der vorliegenden Studie zeigte sich, dass bereits ab einem CBCT-Befundmerkmal mehr als die Hälfte der Facettengelenke ein erhöhtes Anreicherungsverhalten in der szintigraphischen Untersuchung zeigten. Je mehr Befundmerkmale Facettengelenke aufwiesen, umso weniger Facettengelenke zeigten ein normales Anreicherungsverhalten. Bei den Facettengelenken, die drei oder mehr CBCT-Befundmerkmale aufwiesen, zeigten über die Hälfte der Facettengelenke eine hochgradig erhöhte Anreicherung. Besonders Facettengelenke mit Zubildungen des Proc. art. caudalis und Verengungen des knöchernen Wirbelkanals zeigten hochgradige Anreicherungen in der szintigraphischen Untersuchung. Gelenkfacetten mit Frakturen und isolierten Knochenfragmenten zeigten in keinem Fall ein normales Anreicherungsverhalten. Die Szintigraphie ist somit als hilfreiche Prädiagnostik einzustufen, um Facettengelenksprobleme der Halswirbelsäule zu erkennen und den Bereich, der computertomographisch untersucht werden soll, einzugrenzen.

Die Szintigraphie erwies sich wie in bereits vorangegangenen Studien (*Daniel* et al. 2012, *García-López* 2003, *Puchalski* 2007) auch in dieser Arbeit als sensitive Screeningmethode um abweichende Veränderungen der Halswirbelsäule zu lokalisieren wodurch der Bereich, der computertomographisch untersucht werden soll, gut einzugrenzen ist. Für die CBCT-Untersuchung am stehenden Pferd ist dies aufgrund des eingeschränkten Untersuchungsfeldes und zur Verringerung der personellen Strahlenexposition von außerordentlicher Bedeutung. Die Auswertung der szintigraphischen Bild-daten erfolgte in dieser Studie subjektiv im „red-blue-green“ Farbschema, welches als sensitiver für Veränderungen der Wirbelsäule als andere Farbschemen beschrieben wird

(Erichsen et al. 2003). Gillen et al. (2009) zeigten in ihrer Studie eine 98%ige Übereinstimmung der subjektiven Auswertung der Wirbelsäule bei erfahrenen Untersuchern mit der objektiven Auswertung bei Facettengelenken der Brustwirbelsäule. Besonders die kaudalen Halswirbelsäulenabschnitte lassen sich aufgrund der individuell variierenden Halsmuskeldicke der Pferde sowie eines vermehrten physiologischen Speicherverhaltens der kaudalen Facettengelenke (Gerlach et al. 2018, Dyson 2011b, Studer 2005, Keyl et al. 2011) schwierig untersuchen und interpretieren. Dies könnte unter Umständen zu einer Unterinterpretation in dieser Studie geführt haben. In der CBCT-Untersuchung wurden 76 Facettengelenke als physiologisch eingestuft. In der szintigraphischen Untersuchung waren es dahingegen 85 Facettengelenke. Umgekehrt jedoch besteht auch die Möglichkeit, dass durch Überlagerungen beider Facettengelenke leicht verfälschte Werte für eine Seite entstehen. Möglicherweise kann ein stark angereichertes Facettengelenk bewirken, dass bei der kontralateralen Seite eine Anreicherung festgestellt wird, obwohl keine erhöhte Aktivität in diesem Facettengelenk vorhanden ist.

Die CBCT der Halswirbelsäule, insbesondere der kaudalen Abschnitte, ergibt am stehenden sedierten Pferd eine bessere Aussage über das Bestehen abweichender Veränderungen als die Röntgenuntersuchung oder die Szintigraphie. Allerdings muss der jeweilige zu untersuchende Bereich vorselektiert werden. Damit kommt der Kombination der diagnostischen Verfahren immer noch eine hohe Bedeutung zu. Mit der CBCT lassen sich außerdem konkrete Befunde erheben, die differenzierte Behandlungen erlauben.

Literatur

- Butler J. A., Colles C. M., Dyson S. J., Kold S. E., Poulos P. W. (2016) The vertebral column, in: *Clinical Radiology of the Horse*. John Wiley & Sons Inc, Chichester, West Sussex, UK; Ames, Iowa. 531–568
- Daniel A. J., Judy C. E., Rick M. C., Saveraid T. C., Herthel D. J. (2012) Comparison of radiography, nuclear scintigraphy, and magnetic resonance imaging for detection of specific conditions of the distal tarsal bones of horses: 20 cases (2006–2010). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 240, 1109–1114; DOI 10.2460/javma.240.9.1109
- Dimock A. N., Puchalsky S. M. (2010) Cervical radiology. *Equine Vet. Educ.* 22, 83–87; DOI 10.2746/095777309X478671
- Down S. S., Henson F. M. D. (2009) Radiographic retrospective study of the caudal cervical articular process joints in the horse. *Equine Vet. J.* 41, 518–524; DOI 10.2746/042516409X391015
- Dyson S. (2014) Musculoskeletal Scintigraphy of the Equine Athlete. *Semin. Nucl. Med.* 44, 4–14; DOI 10.1053/j.semnuclmed.2013.08.003
- Dyson S. J. (2011a) Lesions of the Equine Neck Resulting in Lameness or Poor Performance. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 27, 417–437; DOI 10.1016/j.cveq.2011.08.005
- Dyson S. J. (2011b) The Cervical Spine and Soft Tissues of the Neck. in: *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse*. W. B. Saunders, Philadelphia, Pa.; London, 606–616
- Dyson S. J. (2011c) Unexplained Lameness, in: *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse*. W. B. Saunders, Philadelphia, Pa.; London, 145–159
- Dyson S. J. (1986) Problems associated with the interpretation of the results of regional and intra-articular anaesthesia in the horse. *Vet. Rec.* 12, 419–422; DOI 10.1136/vr.118.15.419
- Engel M. S. (2010) Untersuchung zum Zusammenhang zwischen röntgenologischen und knochenpräparatorischen Befunden an der kranialen Halswirbelsäule von Pferden. *Diss. Med. Vet. München*
- Erichsen C., Eksell P., Widstrom C., Roethlisberger Holm K., Johnston C., Lord P. (2003) Scintigraphic Evaluation of the Thoracic Spine in the Asymptomatic Riding Horse. *Vet. Radiol. Ultrasound* 44, 330–338; DOI 10.1111/j.1740-8261.2003.tb00465.x
- Fritsche B., Lorenz I., Busch-Tenter B., Gerlach K. (2020) Cone Beam-Computertomographie der Halswirbelsäule am stehenden Pferd – Teil 1: Befunde und Klinik. *Pferdeheilkunde* 36, 430–437; DOI 10.21836/PEM20200506
- García-López J. (2003) Computed Tomography, in: *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse*. W. B. Saunders, Philadelphia, Pa.; London, 213–215
- Gillen A., Dyson S. J., Murray R. (2009) Nuclear scintigraphic assessment of the thoracolumbar synovial intervertebral articulations. *Equine Vet. J.* 41, 534–540; DOI 10.2746/042516409X376940
- Gerlach K., Winter K., Zeller S., Kafka U. C. M. (2018) Nuklearmedizinische retrospektive Untersuchungen der Facettengelenke C 6/7 der Halswirbelsäule beim Pferd. *Pferdeheilkunde* 34, 347–352; DOI 10.21836/pem20180405
- Keyl M., Brehm W., Gerlach K. (2011) Quantitative Auswertung von Skelettszintigrammen mittels der „Regions of Interest“ - Technik an der kaudalen Halswirbelsäule des Pferdes. *Pferdeheilkunde* 27, 108–114; DOI 10.21836/PEM20110201
- Lautenschläger I., Baumann I., Schulze M., Martens I., Rohn K., Stadler P. (2009) Die röntgenologische Darstellung der kaudalen Facettengelenke der Halswirbelsäule beim Warmblutpferd. *Pferdeheilkunde* 25, 544–553; DOI 10.21836/PEM20090601
- Lischer C. J., Withers J. M., Parkin T. (2010) Accuracy of the radiographic measurements of the Cervical Articular Process Joints of the horse. *Pferdeheilkunde* 26, 553–558; DOI 10.21836/PEM20100409
- Martinelli M. J., Chambers M. D. (1995) Equine nuclear bone scintigraphy: physiological principles and clinical application. *Equine Vet. Educ.* 7, 281–287; DOI 10.1111/j.2042-3292.1995.tb01248.x
- Munroe G. A. (2018) Clinical Examination, in: *Henson, F. M. D. (Ed.), Equine Neck and Back Pathology: Diagnosis and Treatment*. Wiley, Hoboken, NJ, 81–94
- Puchalski S. M. (2007) Computed tomography in equine practice. *Equine Vet. Educ.* 19, 207–209; DOI 10.2746/095777307X197639
- Ricardi G., Dyson S. (1993) Forelimb lameness associated with radiographic abnormalities of the cervical vertebrae. *Equine Vet. J.* 25, 422–426; DOI 10.1111/j.2042-3306.1993.tb02984.x
- Scarfe W. C., Farman A. G. (2008) What is Cone-Beam CT and How Does it Work?. *Dent. Clin. N. Am.* 52, 707–730; DOI 10.1016/j.cden.2008.05.005
- Schegerer A., Lechel U., Ritter M., Weisser G., Fink C., Brix G. (2013) Vergleich von Cone-Beam-CT mit konventionellen Mehrschichtspiral-CT bezüglich Strahlendosis und Bildqualität. *Fortschr. Röntgenstr.* 185, VO318_4; DOI 10.1055/s-0033-1346462
- Strahlenschutzkommission (2015) Cone Beam-Computertomografie (CBCT) und Mammatomosynthese. Empfehlung der Strahlenschutzkommission. 277. Sitzung am 02./03. Juli 2015, <http://www.ssk.de>
- Studer M. J. (2005) Vergleich der radiologischen und szintigraphischen Befunde an der Halswirbelsäule des Pferdes und deren klinische Bedeutung – eine retrospektive Studie *Diss. Med. Vet. Bern*
- Whitwell K., Dyson S. (1987) Interpreting radiographs. 8. Equine cervical vertebrae. *Equine Vet. J.* 19, 8–14; DOI 10.1111/j.2042-3306.1987.tb02568.x