

Untersuchungen zur Übereinstimmung röntgenologischer und knochenpräparatorischer Befunde an den kranialen Facettengelenken der Halswirbelsäule von Pferdekadavern

Matthias Engel und Hartmut Gerhards

Klinik für Pferde der LMU München, Veterinärstr. 13, 80539 München

Zusammenfassung: Die Auswertung von Röntgenbildern der Halswirbelsäule des Pferdes ist besonders herausfordernd, weil es sich um komplexe dreidimensionale anatomische Strukturen handelt, die sich bei der zweidimensionalen Projektionsradiographie überlagern und dadurch Befunderhebung und -interpretation erschweren. Es wurde der Frage nachgegangen, wie weit röntgenologische Befunde an Pferdehalskadavern und Befunde an dazugehörigen Knochenpräparaten übereinstimmen. Dazu wurden Röntgenaufnahmen im 270° bzw. sinistro-dextralen Strahlengang von 39 Hälsen frisch euthanasierter Pferde gefertigt, die nicht wegen neurologischer Probleme getötet worden waren. Die Pferde waren im Mittel 16,3 (2–32 Jahre) Jahre alt. Es wurde untersucht, welche Röntgenbefunde an Facettengelenken zwischen 2. und 3. sowie 3. und 4. Halswirbel erhoben werden konnten und welche makroskopischen Befunde an später gefertigten knöchernen Präparaten derselben Halswirbel vorlagen. Arthrotischen Veränderungen der Facettengelenke galt dabei besondere Aufmerksamkeit. Die Röntgenbilder wurden zuerst und in Unkenntnis der Befunde an den Knochenpräparaten bewertet. Nach der Knochenpräparation wurden die jeweiligen Befunde miteinander verglichen. Die Beurteilung der Facettengelenke auf den Röntgenaufnahmen erfolgte, wie bei Screeninguntersuchungen üblich, rein subjektiv ohne Messungen. Bei 50% der röntgenologisch untersuchten Gelenke kam es zu falsch positiven oder falsch negativen Einstufungen. 47,6% der Gelenke, die makroskopisch morphologisch frei von Arthroseanzeichen waren, waren auch röntgenologisch als unverändert beurteilt worden. Bei makroskopisch geringgradig veränderten Strukturen stimmten in nur 29% der Fälle die Röntgenbefunde mit den Präparatebefunden überein. Bei 19,1% der mittelgradig und 25% der makroskopisch hochgradig veränderten Gelenke entsprach die röntgenologische der makroskopischen Einstufung. Die einzige höchstgradig veränderte Artikulation in dieser Serie war röntgenologisch richtig eingestuft worden. Die Korrelation zwischen morphologischer und röntgenologischer Klassifizierung war sowohl an C2/C3 ($r = 0,36$) als auch an C3/C4 ($r = 0,11$) gering. Röntgenologisch sichtbare knöcherne Zubildungen ventral am Gelenkhals der Processus articulares konnten bei 27,9% der makroskopisch untersuchten Gelenke wiedergefunden werden. Es bestand kein Zusammenhang zwischen dem Auftreten dieses Befundes und dem Ausmaß arthrotischer Veränderungen an den Facettengelenken. An einigen Wirbelknochen konnte eine dachfirstartige Abknickung der kaudalen Gelenkfacetten beobachtet werden. Hinweise darauf ließen sich auf den Röntgenbildern nur in seltenen Fällen finden, so dass deren Bedeutung für die Entstehung von Facettengelenkarthrosen offen bleibt. Auf seitlichen Röntgenaufnahmen von kranialen equinen Halswirbelsäulen werden arthrotische Facettengelenkveränderungen eher unzureichend diagnostiziert.

Schlüsselwörter: Pferd, Facettengelenke, Halswirbelsäule, Röntgen, Arthrose

Correlation between radiological and macroscopical findings on bony preparations on the cranial facet joints of cadaveric equine cervical vertebral columns

The interpretation of radiographs of the equine cervical vertebral column is difficult due to superimposition of the complex compounded three-dimensional anatomical structures. On plain (270°) radiographs (left to right lateral) of the cranial cervical vertebral columns of 39 recently destroyed horses it was evaluated which changes of the facet joints between the second and third as well as the third and fourth cervical vertebrae could be found and how these findings correlated with findings on the same subsequently macerated bones. The horses had an average age of 16.3 years (2–32 years) and were not destroyed because of neurologic problems. On the radiographs, the facet joints were screened subjectively without performing measurements. Special attention was paid to potentially existing arthrotic features of the facet joints. After maceration, the articular processes of the bone preparations were macroscopically evaluated for arthrotic findings. In 50% of the evaluated facet joints false positive as well as false negative diagnoses were made. 26.9% of the investigated preparations of the facet joints did not show any signs of deforming arthrosis. 66.7% of the articulations showed mild to moderate changes and there were severe to highly severe deviations from anatomic normal findings on 6.4% of the joints. 50% of the radiographically examined articulations were judged either false positive or false negative. 47.6% of the joints which didn't show any morphological signs of arthrosis were interpreted as radiographically unchanged as well. In 29% of the macroscopically mildly altered structures the radiographic classification did match the result of the morphological one. In 19.1% of the moderately altered and in 25% of the severely altered articulations the macroscopical ranking corresponded with the radiological judgement. The articulations which showed highly severe arthrosis were correctly classified by radiographic examination. The correlation between radiological and morphological classification was low, at C2/C3 ($r = 0.36$) and at C3/C4 ($r = 0.11$). Radiologically detectable osseous irregularities on the ventral aspect of the articular processes could be found in 27.9% of the investigated facet joints. The calculation of the Pearson product-moment correlation coefficient did not show a relation between the occurrence of this ventral irregularity and macroscopically noticeable signs of arthrosis of the facet joints. Some cervical vertebrae preparations showed a ridge-like kinking of the caudal articular surfaces. Very few cases showed radiological evidence of these changes. This anatomical anomaly could be found both in unchanged and in arthrotic facet joints. The interpretation of lateral x-rays images of the equine cervical vertebral column is challenging and has to be done keeping in mind that there is only a weak correlation

between x-ray findings and macroscopic pathomorphological findings. On lateral radiographs of the equine cranial cervical spine some arthrotic changes present on bone preparations of these facet joints may go undiagnosed.

Keywords: Horse, cervical vertebral column, facet joints, arthrosis, x-ray

Zitation: Engel M., Gerhards H. (2022) Untersuchungen zur Übereinstimmung röntgenologischer und knochenpräparatorischer Befunde an den kranialen Facettengelenken der Halswirbelsäule von Pferdekadavern. *Pferdeheilkunde* 38, 196–208; DOI 10.21836/PEM20220301

Korrespondenz: Prof. Hartmut Gerhards, Königinstraße 61, 80539 München; gerhards@lmu.de

Eingereicht: 10. Oktober 2021 | **Angenommen:** 6. Februar 2022

Einleitung

Mit dem "Atlas der Röntgenanatomie von Hund und Pferd" legten *Schebitz* (Kliniker) und *Wilkens* (Anatom) bereits 1968 Anleitungen und Hinweise zur Aufnahmetechnik sowie normalanatomische Röntgenabbildungen und bisher unübertroffen detaillierte anatomische Röntgenskizzen von Hunden und Pferden vor. Sie betrafen auch Halswirbelsäulenaufnahmen, die, wie andere im Atlas abgebildete Knochenstrukturen, Klinikern und Radiologen fortan jahrzehntelang als Referenzaufnahmen zur Identifizierung anatomischer Details auf Röntgenbildern dienten. Technische Verbesserungen wie die Einführung der digitalen Bilderstellung und leistungsfähigere mobile Röntgenstrahler haben dazu beigetragen, dass die Röntgenuntersuchung von Pferdehalswirbelsäulen aus klinischen Indikationen, aber auch bei Kaufuntersuchungen zunehmend häufiger angewendet wurden und werden (*Rantanen et al. 1981, Whitwell und Dyson 1987, Gerber et al. 1989, Hett 1999, Mayhew und Green 2002, van Biervliet et al. 2004, Schütte 2005, Lautenschläger 2007, Down und Henson 2009, Jahn und Lorenz 2009, Lautenschläger et al. 2009, Engel 2010, Wilsmann 2016, Espinosa-Mur et al. 2020, Wilsmann et al. 2020, Haupt 2020, Rohwerder 2020, Crijns und Broeckx 2021, Zingher 2021*). Ferner: Davon ausgehend, dass die Veranlagung zu Halswirbelmalformationen und -malartikulationen erblich sein könnte, hielt *Beech* (1976) es für eventuell hilfreich, die Halswirbelsäulen von Zuchttieren vor dem Zuchteinsatz röntgenologisch zu untersuchen. Auch *Zingher* (2021) kam zu dem Schluss, dass arthrotische Veränderungen der Halswirbelsäule nicht allein alters- und trainingsabhängig bedingt sind, sondern eine genetische Komponente tragen, weshalb bei röntgenologischen Untersuchungen zur Abklärung des Gesundheitszustandes bei jungen Warmblutpferden die röntgenologische Untersuchung der Halswirbelsäule zukünftig, insbesondere in der Zuchtselektion, erwogen werden sollte. *Schebitz und Dahme* hatten 1967 anhand einer kleineren Anzahl klinisch, röntgenologisch und pathologisch-anatomisch untersuchter junger Pferde auf die Bedeutung der Röntgenuntersuchung der Halswirbelsäule zur differenzialdiagnostischen Abgrenzung von Ataxieursachen hingewiesen. *Jahn und Lorenz* (2009) sahen die Röntgenuntersuchung der Halswirbelsäule neben der klinischen Untersuchung als wichtigsten Teil der Diagnostik bei Verdacht auf Erkrankungen der Halswirbelsäule an. Durch Schräg- bzw. Tangentialaufnahmen und Messungen sowie Nutzung eines Grading-Systems kann die Befunderhebung auf Röntgenaufnahmen weiter verbessert werden (*Lautenschläger et al. 2009, Pudert 2018,*

Crijns und Broeckx 2021, Zingher 2021). Allerdings muss bei der Interpretation der Messwerte auch das Alter der Tiere berücksichtigt werden, da sich manche Messwerte an den Facettengelenken mit zunehmendem Alter ändern (*Zingher 2021*). Skelettszintigraphische (*Bschorer 1988, Studer 2005*) und myelografische Untersuchungen (*Hertsch 1980, Hudson und Mayhew 2005, Schütte 2005, Kristoffersen et al. 2014*) sowie Schnittbildtomographien (*Kristoffersen et al. 2014, Pudert 2018, Fritsche et al. 2020, Rovel et al. 2021*) sind demgegenüber sehr viel aufwändiger und zum Screening bei Verdacht auf Halswirbelsäulenerkrankungen und Kaufuntersuchungen bei Pferden noch weniger geeignet. Mittels moderner Computertomographen gelingt jedoch die detaillierteste radiologische Darstellung der Halswirbelsäule (*Rovel et al. 2021*). Hiermit ließen sich z.B. in 24% der untersuchten Halswirbelgelenke von 55 Pferden u.a. osteochondrale Fragmente nachweisen (*Tucker et al. 2022a*), für die in Einzelfällen eine Indikation zur chirurgischen Entfernung gesehen wurde (*Schulze et al. 2021, Tucker et al. 2022b*). Computertomographische (CT) Untersuchungen bedürfen aber mit Ausnahme von Cone Beam-CT (*Fritsche et al. 2020*) der Narkose, weshalb sich die bei weitem aussagefähigste Technik derzeit nicht für Screeninguntersuchungen (z.B. bei Kaufuntersuchungen) eignet.

Trotz des seit langem zunehmenden Interesses an Halswirbelsäulenröntgenaufnahmen gibt es kaum serielle vergleichende Befunderhebungen zwischen röntgenologischen und makroskopischen Knochenbefunden an Halswirbelsäulen von Pferden. *Beech* (1976) hatte zwar wissen lassen, man sei dabei, Röntgenbefunde an Halswirbelsäulen mit pathologischen und klinischen Befunden zu korrelieren. Größere Studien dazu wurden bisher in der zugänglichen Literatur jedoch nicht publiziert. Diese Lücke sollte mit dieser und einer weiteren Studie, die den kaudalen Halswirbelsäulenbereich betrifft, geschlossen werden.

Die Auswertung der zweidimensionalen Projektionsradiographiebilder stellt Untersucher immer noch vor große Schwierigkeiten, wenn es darum geht, auch subtile Veränderungen als solche zu erkennen und richtig zu interpretieren, da eine Vielzahl von Konturen und Überlagerungen auf Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule sichtbar werden (*Hertsch und Salam Ragab 1977*). Hinzu kommt, dass der physiologische Halswirbelsäulenverlauf von Pferden kein gestreckt-gerader ist, sondern jeweils eine leichte dorsal konvexe Kopf-Halskrümmung und eine dorsal konkave Hals-Brust-Krümmung ausbildet. Dadurch liegt die Halswirbelsäule im Halsanfang im dorsalen

Drittel des Halses, im mittleren Drittel mittig und im rumpfnahen Drittel eher im ventralen Halsdrittel mit der dort zum Teil massigen Weichteilumgebung. Letztere stellt für die Fertigung qualitativ guter Röntgenaufnahmen eine Herausforderung dar, zumal, soweit nicht Hochleistungsröntgenstrahler verwendet werden können. Ferner ist zu berücksichtigen, dass sich die 7 Halswirbel zum Teil morphologisch erheblich voneinander unterscheiden. Insbesondere der 1. und der 2. Halswirbel weichen funktionsbedingt erheblich vom Grundbauplan der übrigen 5 Halswirbel ab, da sie für die Bewegung des Kopfes mit verantwortlich sind (Wissdorf et al. 2010). Bei Röntgenbildern von jungen Pferden ist zu berücksichtigen, dass der Dens axis ein eigenes Verknöcherungszentrum besitzt. Dessen Wachstumsfuge ist erst ab 7 bis 9 Monate röntgenologisch nur noch als Wachstumsfugennarbe sichtbar und ist mit 10 bis 12 Monaten Lebensalter gleichmäßig spongios durchbaut. Hingegen ist die Wachstumsfuge zwischen der kranialen Epiphyse des Axis und dem Wirbelkörper noch im 3. Lebensjahr als Narbe röntgenologisch sichtbar, die erst im 4. Lebensjahr völlig geschlossen ist. Die Axiswachstumsfuge zwischen dem Wirbelkörper und seiner kaudalen Epiphyse ist im 5. Lebensjahr noch als Narbe sichtbar und erst ab dem 6. Lebensjahr von Spongiosa ausgefüllt. Die 3. bis 7. Halswirbel weisen jeweils kranial und kaudal Epiphysenfugen auf, wobei sich die kranialen Wachstumsfugen röntgenologisch bis zum Alter von 4 Jahren, die kaudalen Wachstumsfugen bis zum Anfang des 5. Lebensjahres nachweisen lassen, was nicht mit Frakturen verwechselt werden darf (Wissdorf et al. 2010).

Über angeborene Fehlentwicklung der Halswirbelsäule im okzipito-atlanto-axialen Bereich und über angeborene Fehlentwicklungen zwischen 2. und 3. Halswirbel sowie über Fehlentwicklungen zwischen dem 3. bis 7. Halswirbel, die sich ebenfalls gelegentlich röntgenologisch nachweisen lassen, finden sich Darstellungen bei Wissdorf et al. (2010). Rohwender hat 2020 serielle Röntgenuntersuchungsergebnisse aus dem Bereich des Ligamentum nuchae-Ansatzes und der Okziput-Atlas-Angrenzung vorgelegt. Die dort vorkommenden und die zuvor genannten Veränderungen spielten in der vorliegenden Arbeit keine Rolle. Allerdings entstehen nicht-frakturbedingte spondylarthrotische Veränderungen auch als Folgen von Gelenkfehlbildungen (Dimock und Errington 1939, Pohlenz und Schulz 1966, Beech 1976, Gerber et al. 1989, Mayhew und Green 2002). Osteochondrose im Bereich der Halswirbelgelenke kann bei Sektionen von Warmblutfohlen zwar häufig festgestellt werden (Becker 2009, Bergmann et al. 2020), kommt jedoch an für Halswirbelfehlbildungen und malartikulationen prädisponierten Gelenken nicht häufiger vor, als an anderen Halswirbelgelenken (Bergmann et al. 2020). Daraus schlossen die Autoren, dass Störungen der enchondralen Ossifikation nicht hauptsächlich zur Entstehung von Halswirbelmalformationen beitragen.

Die insgesamt komplexen und mit dem Lebensalter variierenden anatomischen Verhältnisse sind bei Erstellung und Interpretation von Röntgenbildern der Halswirbelsäule zu berücksichtigen. Insbesondere bei klinisch unauffälligen Pferden, die anlässlich einer Kaufuntersuchung auf individuellen Wunsch einer erweiterten Röntgenuntersuchung der Halswirbelsäule unterzogen werden, ist die Identifizierung und Deutung von Befunden nicht einfach (Haupt 2020). Da arthrotische Veränderungen der kleinen Halswirbelgelenke (Arthropathia de-

formans vertebrae cervicales) zu einem großen Teil für Leiden im Halsbereich verantwortlich gemacht werden, sollte vergleichend festgestellt werden, welche Befunde bei der röntgenologischen Untersuchung erhoben werden können und wie sich die Gegebenheiten am entsprechenden knöchernen Präparat darstellen.

Die vorliegende Studie sollte einen Beitrag zur Verbesserung der subjektiven Röntgendiagnostik an der kranialen Halswirbelsäule leisten, vor allem die Korrelation Röntgenbildbefund und Präparatebefund betrachten. In einer nachfolgenden Arbeit werden kaudale Halswirbelsäulenabschnitte analog bewertet.

Cervical static stenosis

Das als „cervical vertebral compressive myelopathy“ (van Biervliet et al. 2006) oder „cervical vertebral stenotic myelopathy“ (Reed und Moore 1993, Nout und Reed 2003, Williams 2003, Fürst 2004, Wissdorf et al. 2010) bekannte Krankheitsbild entsteht durch Fehlentwicklungen der Wirbelkörper und Malartikulation (cervical vertebral malformation-malarticulation) oder durch Knochenzubildungen an den Facettengelenken, die den Halsmarkkanal einengen, dadurch das Halsmark lokal komprimieren und mechanisch irritieren (cervical stenotic myelopathy). Das kann zu ataktischen Bewegungsstörungen oder Lahmheitssymptomen führen. Die Veränderungen finden sich meist zwischen dem 2. und 3., dem 3. und 4. sowie dem 5. und 6. seltener zwischen dem 6. und 7. Halswirbel. Viele der Knochenveränderungen können auf seitlichen Röntgenaufnahmen festgestellt werden. Zubildungen seitlich im Halsmarkkanal und Einengungen des Wirbelkanals durch zystische Synovialisaustrassackungen (Wissdorf et al. 2010) lassen sich indes röntgenologisch kaum nachweisen. Das ist die Domäne der Schnittbildtomographie.

Ferner kann eine Instabilität der Halswirbelsäule zu einer dynamischen Kompression des Halsmarks (cervical vertebral instability, CVI) führen. Diese wird durch Missbildungen der Wirbelkörper und/oder deren Gelenkflächen verursacht. Sie zeigt sich in dieser Form vor allem bei jüngeren Pferden, wobei entwicklungsbedingte osteochondrotische Gelenkflächenveränderungen eine Rolle zu spielen scheinen. Bei Beugungen der Halswirbelsäule kann es zu mehr oder weniger stark ausgeprägten Subluxationen, vor allem im Bereich C2 bis C6 kommen, die das Halsmark in dem Bereich repetierend kompressiv schädigen. Auch dadurch kann es zu Ataxien bis hin zu Niederstürzen kommen. Bei Streckung der Halswirbelsäule erfolgt die Kompression eher im Bereich der brustnahen Regionen des Halsmarks (Wissdorf et al. 2010).

Statische Stenosen des Halsmarkkanals (cervical static stenosis, CSS) (Powers et al. 1986) treten eher bei älteren Pferden auf und erfassen mehrheitlich die Facettengelenke (Fürst 2006, Wissdorf et al. 2010). Sie werden oftmals durch schwere osteoarthritische bzw. degenerative Veränderungen der Gelenke ausgelöst (van Biervliet et al. 2006, Wissdorf et al. 2010), die sich folgendermaßen manifestieren können: Kapselverdickungen, Knorpelerosionen, Vergrößerungen der Gelenkfacetten, Osteophytenbildung an den Gelenkrändern, Fragmente und Ankylosierungen (Fürst 2006). Röntgeno-

logisch wurden häufig subchondrale Sklerosen festgestellt (Nixon et al. 1983). Milne et al. (1973) fanden auch faserige Zysten im spongiosen Knochen der Gelenkfacetten.

Röntgen der Halswirbelsäule

Die Indikation für eine Röntgenuntersuchung der Halswirbelsäule beinhaltet abnorme Kopf-Hals-Haltung, Schwellungen, Rittigkeitsprobleme, Steifheit, Beweglichkeitseinschränkung und/oder Schmerz des Halses oder Rückens, Halstraumata, ataktische Bewegungsstörungen, Lahmheiten der Vordergliedmaßen ohne anderweitige Erklärung und Standunfähigkeit. Gelegentlich dienen Röntgenbilder zur Ergänzung bzw. Verlaufskontrolle anderer bildgebender Befunde, die mit Ultrasonographie, Szintigraphie oder Schnittbildtomographie erhoben wurden (Whitwell und Dyson 1987, Ricardi und Dyson 1993, Butler et al. 2017, Biggi et al. 2018, Pudert 2018).

Neben der Anfertigung von seitlichen Röntgenaufnahmen am stehenden Pferd oder am Patienten in Seitenlage (Hebeler 1977, Mendenhall und Cantwell 1988, Butler et al. 2017, Baxter 2011, Biggi et al. 2018) sind auch Schrägaufnahmen (van Biervliet et al. 2004, Lautenschläger 2007, Martens et al. 2006, Mayhew 2009, Withers et al. 2009, Biggi et al. 2018, Pudert 2018) und Aufnahmen im ventro-dorsalen Strahlengang beschrieben (Whitwell und Dyson 1987, Mendenhall und Cantwell 1988, van Biervliet et al. 2004, Butler et al. 2017). Letztere sind für die Routinediagnostik kaum relevant. Das typische Fehlen der zweiten Aufnahmeebene führt indes zwangsläufig zu erheblichen Einschränkungen der Aussage von Röntgenuntersuchungen an der Halswirbelsäule des Pferdes.

Die Auswertung von seitlichen Übersichtsröntgenbildern der Halswirbelsäule und des Halsmarkkanals basiert auf subjektiver, semiquantitativer und objektiver Analyse (Mayhew 1989, Hudson und Mayhew 2005, Crijns und Broeckx 2021). Bei der subjektiven Beurteilung sind Arthropathien der Synovialgelenke als verschwommene oder unruhige Konturen erkennbar (Whitwell und Dyson 1987, Butler et al. 2017, Baxter 2011, Biggi et al. 2018). Es wird neue periartikuläre Knochensubs-



Abb. 1 Messung des Winkels α zwischen einer Geraden vom Widerrist bis zum höchsten Punkt des Genicks und einer Parallelen zum Nasenrücken am sedierten Pferd. | Measurement of the angle α between a straight line from the withers to the highest point of the neck and a parallel of the bridge in the sedated horse.

tanz gebildet, was zu einer geringen bis massiven Vergrößerung der Gelenkfortsätze führt. Dies zieht unter anderem eine deutliche Verkleinerung der Foramina intervertebralia nach sich (Hett 1999, Hett et al. 2006, Berner 2013). Außerdem lassen sich folgende Veränderungen erkennen: Vergrößerungen und Deformationen der Procc. articulares, subchondrale Sklerose und unregelmäßige Gelenkspalten (Fürst 2006, Martens et al. 2006, Engel 2010, Wilsmann 2016, Biggi et al. 2018, Haupt 2020) sowie das gelegentliche Auftreten von subchondralen Aufhellungen (Hett 1999).

Material und Methoden

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden Röntgenaufnahmen der kranialen Halswirbelsäule von 39 frisch, nicht wegen neurologischer Leiden euthanasierten Pferden angefertigt und anschließend die Befunde der Röntgenbilder mit den Ergebnissen der makroskopischen Untersuchung der erstellten Knochenpräparate verglichen. Gründe für die Tötung der Tiere waren unheilbare Tumorerkrankungen (9/39 = 23%), nicht aus der Halswirbelsäule resultierende orthopädische Probleme (7/39 = 18%), Krankheiten der Augen, meist in Verbindung mit beidseitiger Blindheit (5/39 = 13%), Kolik (8/39 = 21%) und sonstige internistische Erkrankungen (10/39 = 26%). Die Pferde waren vor der Euthanasie nicht einer gezielten neurologischen und orthopädischen Untersuchung unterzogen worden.

Röntgenologische Untersuchung

Zur Anfertigung der Röntgenaufnahmen wurde ein stationärer mikroprozessor-gesteuerter Multipuls-Röntgengenerator mit einer Leistungsfähigkeit von 800 mA bei 100 kV bzw. 530 mA bei 150 kV (Polydoros® 80, Fa. Siemens) verwendet. Als Detektorsystem fungierte das System XDR1-M® der Firma Veterinärmedizinisches Dienstleistungszentrum GmbH (VetZ), Hannover, mit einem Flachdetektor aus amorphem Silizium mit Szintillator (CXDI-50G®, Fa. Canon). Die maximale Bildgröße hierbei betrug 35 × 43 cm. Alle Aufnahmen wurden mit einem Parallelraster mit einem Schachtverhältnis von 8:1 und 40 Linien pro cm angefertigt.

Die Röntgenuntersuchung erfolgte an Pferdekadavern in Seitenlage. Da es für Vergleichbarkeit und Auswertbarkeit der Röntgenaufnahmen wichtig schien, bei der Lagerung in Seitenlage eine möglichst standardisierte und physiologische Positionierung unter Vermeidung von übermäßiger Extension oder Flexion von Kopf und Hals zu erreichen, war hierfür in Vorversuchen eine Schablone entwickelt worden, die zur Einstellung der gewünschten Lagerung nach Euthanasie herangezogen wurde. So wurde bei 21 Pferden, die im Rahmen des alltäglichen Klinikbetriebs sediert wurden, mit Hilfe eines eigens gefertigten Winkelmessers aus Holz bei freier Kopf-Hals-Haltung der Winkel zwischen einer Geraden vom Widerrist bis zum höchsten Punkt des Genicks und einer parallel zum Nasenrücken verlaufenden Geraden gemessen (Abb. 1). Hierbei ergaben sich Messwerte zwischen 99° und 139°. Der Mittelwert betrug gerundet 114°. Dieser Wert wurde bei der Seitenlagerung der Kadaver mit Hilfe der Winkelmessapparatur eingestellt.

Zur Erstellung der Übersichtsröntgenbilder der kranialen Halswirbelsäule (C1 bis C4) im Strahlengang sinistro-dextral (270°) wurden die Pferde zunächst in rechter Seitenlage auf dem Boden des Röntgenraums platziert. Die Vorderbeine wurden mittels Textilschlingen am Haken eines Deckenkrans befestigt und so nach hinten gezogen. Der Hals wurde auf einer Schaumstoffmatte gelagert, wobei mit Hilfe einer Schablone sichergestellt wurde, dass der im Vorversuch ermittelte Winkel (114°) für die Halspositionierung eingehalten wurde. Diese Stellung wurde durch ein Seil, das den Unterkiefer mit der Karpalregion der linken Vordergliedmaße verband, fixiert. Zwischen Hals und Schaumstoffmatte wurde der Flachdetektor in die jeweilige erforderliche Position parallel zur Halswirbelsäule eingebracht. Waren die untersuchten Halsbereiche und der Detektor nicht parallel, wurde dies mit Hilfe von weiteren Schaumstoffkissen oder von Holzklötzen, die unter den Schädel oder Hals geschoben wurden, ausgeglichen und somit konkaves Durchhängen der Halswirbelsäule bei Seitenlagerung (Schebitz und Wilkens 1968) nach Möglichkeit vermieden. Nach Ausrichtung des Zentralstrahls auf den Übergang zwischen Atlas und Axis bzw. zwischen drittem und viertem Halswirbel und im rechten Winkel zur Detektorplatte in einem Fokus-Film-Abstand von einem Meter (Abb. 2), erfolgte die Belichtung mit 66–75 kV und 36–50 mAs. Auf den Aufnahmen sollten sich die Facettengelenkpaare jeweils so gut wie möglich überlagern. An den Röntgenaufnahmen wurden die Befunde an den Facettengelenkpaaren zwischen C2 und C3 sowie zwischen C3 und C4 erhoben. Somit wurden Röntgenaufnahmen von 78 Gelenkpaaren der 39 Halskadaver ausgewertet.

Wirbelpräparate

Zur Herstellung der Wirbelpräparate wurde der Hals im Bereich des Übergangs von Hals- zu Brustwirbelsäule abgetrennt. Der Enthäutung von Hals und Kopf und dem Absetzen des Kopfes schloss sich das Freilegen der Halswirbelsäule durch grobes Entfleischen an. Die Mazeration der Halswirbelknochen erfolgte im Wasserbad bei 90°C für 48–72 Stunden unter Zusatz von handelsüblichem Waschmittel. Zur gründlichen Entfettung wurden die mazerierten Wirbelknochen nach sorgfältiger Reinigung unter fließendem Wasser und anschließender Trocknung in ein Bad aus 98%igem Aceton verbracht. Die Entfettung nahm neun Wochen in Anspruch, wobei in Abständen von drei Wochen ein Austausch des Lösungsmittels erfolgte. Der vollständigen Entfettung folgte das Bleichen der Wirbel, wobei eine handelsübliche 30%ige Wasserstoffperoxydlösung, im Verhältnis 1:5 mit Wasser verdünnt, verwendet wurde, in die die mazerierten und entfetteten Präparate für 24–48 Stunden bis zur vollständigen Bleichung eingelegt wurden.

Auswertung der Röntgenbilder

Die Auswertung der Röntgenaufnahmen wurde mit Hilfe des Bildbetrachtungssoftware easyIMAGE® der Firma Veterinärmedizinisches Dienstleistungszentrum GmbH (VetZ), Hannover, an einem 2 Megapixel Graustufen-Befundungsmonitor mit einer Bildschirmdiagonalen von 20,1 Zoll (EIZO Radiforce® G20) in einer Auflösung von 1200 × 1600 Bildpunkten bzw. an einem 1,3 Megapixel LCD-Farbmonitor mit einer

Bildschirmdiagonalen von 19 Zoll (EIZO Radiforce® R12) in einer Auflösung von 1024 × 1280 Bildpunkten vorgenommen. Die Facettengelenke zwischen Axis und C3 bzw. C3 und C4 wurden auf röntgenologisch sichtbare Arthroseanzeichen hin untersucht. Als Anzeichen für Facettengelenkarthrose galten deren Vergrößerung, unruhige Kontur der sichtbaren Gelenkanteile, röntgendichte Zubildungen, unregelmäßiger, verbreiteter oder verengter Gelenkspalt oder Veränderungen der Struktur im Sinne von Sklerose oder Aufhellungen. Nach der Erfassung der Befunde der jeweiligen Facettengelenkpaare erfolgte je nach deren Ausprägung und Häufung eine Einstufung der beurteilten Gelenke in 5 Arthroseklassen (Definitionen s. Kapitelüberschriften). Zubildungen und Unregelmäßigkeiten ventral an den Proc. articulares im Bereich der Incc. vertebrales cran. und caudales, die in die davon begrenzten Foramina intervertebralia hineinzuragen schienen bzw. sich dorthin projizierten, flossen nicht mit in die Beurteilung ein. Sie wurden jedoch gesondert dokumentiert, weil solche knöchernen Auftreibungen auf der Unterfläche der Procc. articulares sowohl bei gesunden als auch bei kranken Pferden gefunden werden können (Whitwell und Dyson 1987).

Makroskopische Untersuchung der Wirbelpräparate

Nach Auswertung der Röntgenaufnahmen und der Befunddokumentation wurde die Untersuchung der entsprechenden Halswirbelknochen durchgeführt. Ein Vergleich mit den röntgenologischen Befunden erfolgte erst nach Abschluss der gesamten Untersuchung. Die visuelle Untersuchung auf Arthroseanzeichen schloss beide gelenkbildenden Anteile (kaudale Gelenkfortsätze des einen und entsprechende kraniale Gelenkfortsätze des nachfolgenden Wirbels) mit ein. Als Veränderungen im Sinne einer Arthrose kamen Unregelmäßigkeiten im Bereich der Gelenkränder, Unebenheiten der subchondralen Knochenplatten, verbreitete oder unregelmäßig verlaufende



Abb. 2 Lagerung eines Patienten zur Aufnahme von Röntgenbildern der kranialen Halsregion: Die Detektorplatte (2) liegt dem Pferdekopf an, senkrecht dazu steht die Röntgenröhre (1) in einem Abstand von 1m. Kopf und Hals liegen auf einer Schaumstoffmatte (3) und um Hyperextension oder Flexion zu vermeiden, ist der Kopf über ein Seil (4), das ihn mit den Karpalgelenken verbindet, fixiert. | Positioning of a horse cadaver for the radiological examination of the cranial region of the neck: The detector fits to the horse's head; the tube is perpendicular to the detector plate, focus-film distance is 1m. The head and neck are lying on a foam mattress. To avoid hyperextension or flexion the head is linked to the carpal region by a rope.

Gelenkränder, Asymmetrien im Vergleich mit dem entsprechenden Facettengelenk der Gegenseite sowie übermäßige Bildung periartikulärer Gefäßkanäle und periartikuläre Knochenzubildungen in Frage. Veränderungen des planen Verlaufs der Gelenkfläche im Sinne einer dachfirstartigen Abknickung in der Sagittalebene wurden nicht als Arthroseanzeichen gewertet. Auch dann nicht, wenn diese Veränderungen im Seitenvergleich an den entsprechenden Facettengelenken unterschiedlich stark ausgeprägt waren. Je nach Anzahl und Ausprägung der Arthroseanzeichen an den untersuchten Knochenpräparaten erfolgte eine Einstufung der kleinen Wirbelgelenke in fünf verschiedene Arthroseklassen in Anlehnung an die bereits beschriebene Klassifizierung der entsprechenden Röntgenbilder. Es wurde immer das jeweilige rechte und das jeweilige linke Facettengelenk einbezogen. Da bei seitlichen Aufnahmen die Seitenlokalisation eines Befundes nicht möglich ist, wurden die Röntgenbefunde pro Facettengelenkpaar notiert, die makroskopischen Beurteilungen jedoch pro Facettengelenk vorgenommen.

Statistik

Zur Quantifizierung bestimmter Zusammenhänge erfolgte in einigen Fällen die Berechnung des Bravais-Pearson-Korrelationskoeffizienten r , welcher die Stärke des linearen Zusammenhangs zweier Merkmale verdeutlicht. Fahrmeir et al. (2001) bezeichnen einen Wert von $|r| < 0,5$ als schwache Korrelation, von mittlerer Korrelation wird bei $0,5 < |r| < 0,8$ gesprochen und für Werte darüber wird von einer hohen Korrelation ausgegangen. Die Prozentzahlen wurden bei den Nachkommastellen auf- bzw. abgerundet, wodurch sich leichte Zahlenungenauigkeiten ergeben.

Ergebnisse

Die untersuchten Pferde waren zwischen 2 und 32 Jahren alt, der Altersdurchschnitt betrug 16,3 Jahre. Die Geschlechterverteilung war 8% Hengste, 48% Wallache und 44% Stuten. Der überwiegende Anteil der untersuchten Kadaver stammte von Warmblutpferden (54%). Außerdem wurden Hälsen von Ponys (26%), Vollblütern (8%), Trabern (5%), Kaltblutpferden (3%) und Pferde sonstiger Rassen (5%) in die Studie aufgenommen.

Bei Betrachtung der röntgenologischen Untersuchung der Facettengelenke zwischen C2/C3 und C3/C4 als diagnostischen Test zum Auffinden von Facettengelenkarthrosen, unabhängig vom Grad der Ausprägung (Arthroseklassen), und bei Definition der Ergebnisse der makroskopischen Untersuchung der Wirbelpräparate als Goldstandard ergab sich für den Bereich C2/C3 eine Sensitivität von 0,45 und eine Spezifität von 0,46, für den Bereich von C3/C4 eine Sensitivität von 0,56 und eine Spezifität von 0,36, gesamt eine Sensitivität von 0,5 und eine Spezifität von 0,46 für die Röntgenbewertung.

Arthroseklasse 0 (ohne röntgenologische Arthrosezeichen)

Röntgen: Arthroseklasse 0 wurden zwischen C2/C3 an 22 von insgesamt 39 Facettengelenkpaaren befundet, zwischen C3/C4 an 16 von insgesamt von 39 Facettengelenkpaaren. Somit wurden im genannten Bereich insgesamt 38

von 78 Facettengelenkpaaren (48,7%) röntgenologisch Arthroseklasse 0 zugeordnet.

Makroskopische Präparatebeurteilung: Es wurden nur bei 10 der 156 Facettengelenke (6,4%) keine Arthroseanzeichen festgestellt.

Arthroseklasse 1 (geringgradige Anzeichen für Facettengelenkarthrose)

Röntgen: Röntgenologisch wurde Arthroseklasse 1 zwischen C2/C3 an 10 von 39 Facettengelenkpaaren (25,6%) diagnostiziert, zwischen C3/C4 an 14 Facettengelenkpaaren (36,8%). Somit wurde Arthroseklasse 1 röntgenologisch an insgesamt 24 von 78 Facettengelenkpaaren = 30,8% festgestellt. An den übrigen 54 Gelenkpaaren wurden keine Anzeichen von Facettengelenkarthrose auf den Röntgenaufnahmen gesehen (Arthroseklasse 0).

Makroskopische Präparatebeurteilung: Bei 9 von 156 Facettengelenken (5,8%) stimmte das röntgenologische mit dem makroskopischen Untersuchungsergebnis überein. An 7 der übrigen 147 Facettengelenke wurden makroskopisch keine Arthroseanzeichen (Arthroseklasse 0) festgestellt. Weitere 7 der 140 Facettengelenke wurden makroskopisch in Arthroseklasse 2 (mittelgradige Anzeichen für Facettengelenkarthrose) anstatt, wie röntgenologisch, in Arthroseklasse 1 eingestuft. Bei einem Gelenk wurde makroskopisch Arthroseklasse 3 (hochgradige Anzeichen von Facettengelenkarthrose) anstatt, wie röntgenologisch, Arthroseklasse 1 diagnostiziert.

Arthroseklasse 2 (mittelgradige Anzeichen für Facettengelenkarthrose)

Röntgen: Röntgenologisch wurde Arthroseklasse 2 an 4 Facettengelenkpaaren zwischen C2 und C3 und an 8 Facettengelenkpaaren zwischen C3 und C4 diagnostiziert, somit an 12/78 (15,4%). Hier waren meist vergrößerte gelenkbildende Knochenanteile in Kombination mit Unregelmäßigkeiten des Gelenkspaltes, der Kontur oder mit Zubildungen sichtbar. Vereinzelt konnten auch Aufhellungen und Sklerose der Gelenkstrukturen beobachtet werden.

Makroskopische Präparatebeurteilung: Bei 4/12 Gelenken (33%) stimmte der Röntgenbefund mit dem Präparatebefund überein. Viermal war an den 12 röntgenologisch verdächtigen Gelenken makroskopisch keine Arthrose sichtbar, bei 3/12 Gelenken (8%) stellten sich makroskopisch geringe Anzeichen für Arthrosen dar (Arthroseklasse 1 anstatt, wie röntgenologisch diagnostiziert, Arthroseklasse 2). An einem Gelenk wurden makroskopisch hochgradige Arthroseanzeichen (Arthroseklasse 3 anstatt, wie röntgenologisch diagnostiziert, Arthroseklasse 2) registriert.

Arthroseklasse 3 (hochgradige Anzeichen für Facettengelenkarthrose)

Röntgen: Bei 3/78 (3,8%) Facettengelenkpaaren wurde Arthroseklasse 3 diagnostiziert, bei 2 Pferden zwischen C2/

C3, bei einem Pferd zwischen C3/C4. Hier waren immer mehrere röntgenologische Kriterien für Facettengelenkarthrosen gleichzeitig und in deutlicher Ausprägung vorhanden. In jedem Fall konnte außerdem eine inhomogene Knochenstruktur befundet werden.

Makroskopische Präparatebeurteilung: Dabei wurde Arthroseklasse 3 an 2 Gelenken zwischen C2/C3 bestätigt. Bei einem weiteren Gelenk wurde zwischen C2/C3 anstatt Arthroseklasse 3 am Präparat Arthroseklasse 1 festgestellt.

Abb. 3 zeigt das Röntgenbild, Abb. 4 das entsprechende Wirbelpräparat eines 22-jährigen Traberwallachs, bei dem eine Übereinstimmung zwischen röntgenologischer und makroskopischer Beurteilung (Arthroseklasse 3) festgestellt wurde.

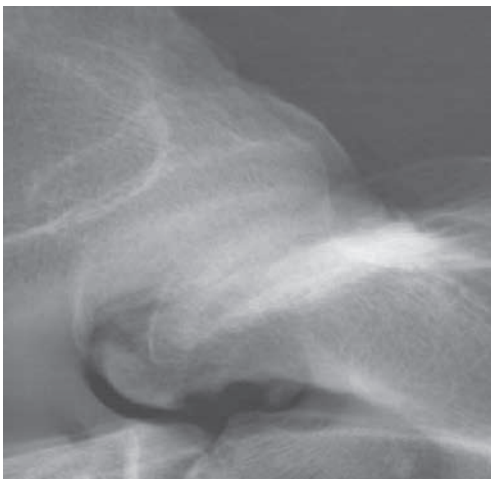


Abb. 3 Röntgenologisch hochgradig verändertes Facettengelenk zwischen Axis und C3 mit knöchernen Zubildungen, Unregelmäßigkeiten im Bereich des Gelenkspaltes und inhomogenen, aufgehellten Bezirken (22-jähriger Traberwallach. | Radiographically severely changed facet joint between axis and C3 with bony proliferation, irregularities of the joint space and inhomogeneous, radiolucent areas (22-year-old Trotter gelding).



Abb. 4 Kranialansicht des dritten Halswirbels des Pferdes aus Abb. 3 (22-jähriger Traberwallach) mit rundlicher, periartikulärer Knochenzubildung kranial am rechten Gelenkfortsatz (siehe Pfeil). | Cranial view of the third cervical vertebra of the horse in Image 3 (22 year old trotter gelding) with a rotund accumulation of new bone in the periarticular region of the cranial end of the right articular process (arrow).

Arthroseklasse 4 (höchstgradige Anzeichen für Facettengelenkarthrose)

Arthroseklasse 4 wurde sowohl röntgenologisch als auch am Knochenpräparat einmal diagnostiziert, und zwar zwischen C2/C3. An dem Kadaverhals eines 26-jährigen Warmblutwallachs wurden höchstgradige Veränderungen der gelenkbildenden Anteile und deren Umgebung registriert (Abb. 5 u. Abb. 6).

Die Tabellen zeigen die Ergebnisse der röntgenologischen (Tab. 1) bzw. makroskopischen (Tab. 2) Untersuchung der Wirbelpräparate, getrennt nach den zwei betrachteten Lokalisationen (C2/C3 bzw. C3/C4) und den jeweiligen Arthroseklassen. Zur Quantifizierung der Übereinstimmung zwischen Röntgen- und Knochenbefunden wurde die Berechnung des Bravais-Pearson-Korrelationskoeffizienten zwischen röntgenologischer und makroskopischer Einstufung durchgeführt. Für die Lokalisation C2/C3 ergab sich ein Wert von $r=0,36$; an C3/C4 konnte $r=0,11$ errechnet werden. An insgesamt 28 der 78 untersuchten Facettengelenkpaare (35,9%) wurden röntgenologisch sichtbare Veränderungen diagnostiziert, die sich als knöchernen Zubildungen bzw. Konturunregelmäßigkeiten an der ventralen Knochengrenze der Gelenkhälse der Procc. articulares craniales darstellten. Diese röntgendichten Gebilde schienen von dorsal in das intervertebrale Foramen



Abb. 5 Röntgenbild des Übergangs zwischen Axis und C3 eines 26-jährigen Warmblutwallachs mit höchstgradigen röntgenologischen Anzeichen von Facettengelenkarthrose (Arthroseklasse 4). Alle gelenkbildenden und gelenknahen Strukturen scheinen deformiert und das Gelenk vollständig durchbaut. Ebenso wird ein unphysiologischer Verlauf des Canalis vertebralis deutlich. | X-Ray image of the facet joint between C2/C3 of a 26-year-old Warmblood gelding with radiologically very severe signs of facet joint arthrosis. All articular and periarticular structures appear to be misshaped and the joint space is not existent anymore. Furthermore, the shape of the Canalis vertebralis looks abnormal.

zu ragen, so dass die Kontur der Nervenaustrittsstelle unruhig oder missgestaltet wirkte. Das Spektrum dieser Veränderung reichte von leichten Rauigkeiten am Gelenkhals über eher rundliche Konturveränderungen bis hin zu zackigen oder hakenartigen, knöchernen Zubildungen, die weit in die Foramina intervertebralia hinein zu reichen schienen, ohne dass festgestellt werden konnte, ob nur ein Foramen, ggf. welches, oder beide davon betroffen waren (Abb. 7). An den entsprechenden Halswirbelknochenpräparaten befanden sich diese röntgenologisch sichtbaren Veränderungen in der Regel direkt ventral am Gelenkhals des kranialen Gelenkfortsatzes, relativ weit von der eigentlichen Gelenkfläche entfernt und ohne jegliche Verbindung zur selbigen. Wie bereits aus den Röntgenbildern geschlossen werden konnte, waren zum Teil nur leicht unruhige Bezirke der Kortikalis zu sehen, jedoch auch rundliche oder deutlich gezackte, knöcherne Zubildungen (Abb. 8). Um den Zusammenhang zwischen diesen ventralen Zubildungen und dem Auftreten von Facettengelenkarthrosen verdeutlichen zu können, wurde der Bravais-Pearson-Korrelationskoeffizient zwischen ventraler Zubildung im Röntgen und Einstufung in Arthroseklassen anhand makroskopischer Kriterien an den Wirbelpräparaten berechnet. Für das Gelenk C2/C3 ergab sich für r ein Wert von 0,22, für C3/C4 konnte $r = 0,24$ errechnet werden. Die Sensitivität der Röntgenuntersuchung zum Nachweis von Facettengelenkarthrosen nahm von 0,45 bei Arthroseklasse 1 nahezu linear auf 1,0 bei Arthroseklasse 4 zu.

An einigen Wirbelpräparaten der zweiten und dritten Halswirbel zeigten sich deutliche Abweichungen der normalerweise planen Gelenkfläche der kaudalen Facettengelenke. Hier war ein mehr oder weniger starker, dachfirstartiger Knick der Facies articularis, teilweise verbunden mit einer Ausziehung der lateralen Gelenkbegrenzung festzustellen (Abb. 9). Meist konnten an den korrespondierenden kranialen Facetten entsprechende Veränderungen im Sinne einer konvexen Beschaffenheit der Gelenkflächen beobachtet werden, so dass diese sich den Gegebenheiten an ihren Artikulationspartnern



Abb. 6 Rechter Proc. articularis caudalis des Axis des Pferdes aus Abb. 5 (26-jähriger Warmblutwallach) in der Ansicht von ventrolateral. Der Gelenkfortsatz ist stark vergrößert und von abnormer Form mit hochgradig unruhiger subchondraler Knochenlamelle. Der Pfeil markiert eine neu gebildete Gelenkfläche zur Artikulation mit einem entsprechenden Bereich am kranialen Fortsatz von C3. | *Right caudal articular process of the axis of the horse of Fig. 5 (26-year-old warmblood gelding), ventrolateral view. The articular process is markedly enlarged and has an abnormal configuration, the subchondral bone is severely irregular. The arrow depicts a new formed articular surface corresponding to C3.*

anpassten und beide gelenkbildenden Strukturen ineinander griffen (Abb. 10). Dieses Phänomen war sowohl zwischen dem 2. und 3. als auch zwischen dem 3. und 4. Halswirbel in den unterschiedlichsten Ausprägungen festzustellen. So reichte das Spektrum von lediglich geringen Abweichungen der normalen, ebenen Beschaffenheit bis zu rechtwinkliger Abknickung der Gelenkflächen. Veränderungen waren sowohl beidseits symmetrisch, das heißt an beiden kaudalen Facetten in gleicher Ausbildung, als auch mit Unterschieden im Seitenvergleich zu beobachten.

Die beschriebenen Befunde traten sowohl an Facettengelenken auf, die bei der makroskopischen Beurteilung als sonst frei von Arthroseanzeichen klassifiziert worden waren, als auch bei solchen, die in die Arthroseklassen 1–4 eingestuft wurden. Röntgenologisch waren solche Dachfirstbildungen zunächst



Abb. 7 Seitliche Röntgenaufnahme der Facettengelenke zwischen C2 und C3 einer 9-jährigen Württemberger Warmblutstute. Der Pfeil markiert eine hakenartige, röntgendichte Zubildung, die von dorsal in ein Foramen intervertebrale ragt. | *Left to right x-ray image of the facet joints between C2 and C3 of a 9-year-old Württemberg Warmblood mare. The arrow marks a hook shaped, dense formation of new bone, which extends into one intervertebral foramen from dorsal.*

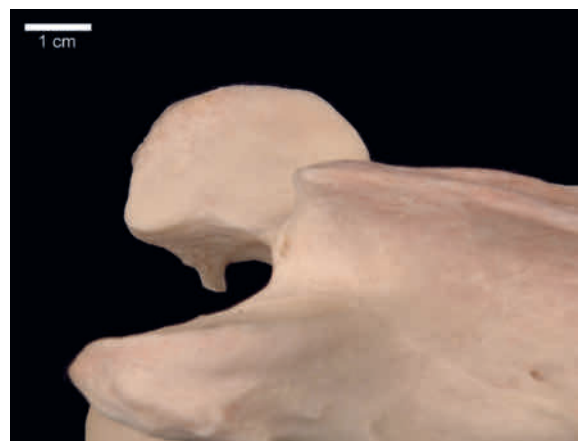


Abb. 8 Knochenpräparat des rechten kranialen Gelenkfortsatzes des Pferdes aus Abb. 7 in der Ansicht von dorsomedial. Die röntgenologisch sichtbare Veränderung zeigt sich als zackartige Zubildung, ventral der eigentlichen Facettengelenkfläche. | *Right cranial articular process of the cervical vertebra of the horse of Fig. 7, dorso-medial view. The spike-like new bone growth radiologically visible in the x-ray image of Fig. 7 is visible ventro-laterally to the joint surface.*

nicht auszumachen. Beim Vergleich zwischen den Präparaten und den entsprechenden Röntgenbildern war jedoch bei einigen Bildern eine schräg über das Facettengelenk verlaufende, feine röntgendichte Linie auffallend, die mit diesen Befunden in Verbindung gebracht wurde (Abb. 11).

Bei 14 Pferden (14/39 = 35,9%) konnten an den kaudalen Gelenkfortsätzen von C2 solche Veränderungen festgestellt werden. An C3 war eine Dachfirstbildung an 19 (19/39 = 48,7%) Präparaten zu sehen.

Diskussion

Die Pferdehälse für diese Studie wurden zufällig verwendet. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde jedes Pferd, das in der Klinik für Pferde euthanasiert und nicht forensisch sezziert werden musste, in die Studie einbezogen, soweit Tierbesitzer nicht dagegen optiert hatten. In einigen Fällen war es jedoch z.B. aufgrund der einsetzenden Totenstarre schwierig bis unmöglich den Hals des liegenden Tierkörpers so zu lagern, dass eine Anfertigung von exakt orthograd seitlichen Röntgenaufnahmen möglich wurde. Da die korrekte seitliche Darstellung der Halswirbel Voraussetzung für die exakte röntgenologische Auswertung ist (Hebeler 1977, Rantanen et al. 1981), konnten einige Tierkörper aufgrund der qualitativ minderwertigen Aufnahmen nicht für die Studie genutzt werden.

Dennoch bleibt das grundsätzliche Problem der seitlichen Übersichtsaufnahmen, dass durch die Überlagerung der Knochen eine Differenzierung zwischen dem jeweilig rechten und linken Facettengelenk eines Halswirbelbereichs nicht möglich ist, bestehen. Das geht bereits aus dem Röntgenatlas von Schebitz und Wilkens (1968) hervor. Deshalb sind diese Aufnahmen zur Diagnose von Arthrosen im Bereich der Facettengelenke nur bedingt, nach Martens et al. (2006) nur bei

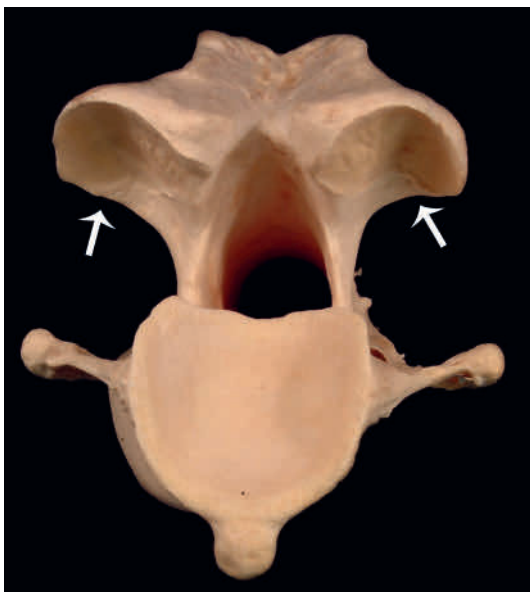


Abb. 9 Zweiter Halswirbel einer 13-jährigen Pony-Stute, Ansicht von kaudal. Beide kaudalen Gelenkfortsätze zeigen eine ausgeprägte, dachfirstartige Abknickung der Gelenkflächen oberhalb der Markierungspfeile. | Axis of a 13-year-old pony mare, caudal view. Both caudal articular processes show a distinctive ridge-like kinking of the articular surfaces dorsal to the arrowheads.

hochgradigen Veränderungen, geeignet. Zu einem ähnlichen Ergebnis waren die Humanradiologen Heller et al. (1983) gelangt, konnten dabei aber sowohl anterior-posteriore als auch seitliche Aufnahmen auswerten, die damals zur Untersuchung der Halswirbelsäule bei Menschen gängig waren. Schrägaufnahmen (z.B. lateroventral-laterodorsal, jeweils in sinistro-dextraler als auch in dextro-sinistraler Aufnahmerichtung, ventro-dorsal, dorso-ventral, dorso-kaudal, ventro-kraniel) zur optimierten Abbildung der Facettengelenke sind bei Verdacht auf Halswirbelsäulenerkrankungen bei Pferden ange-



Abb. 10 Linker Processus articularis cranialis des vierten Halswirbels eines 11-jährigen Warmblutwallachs in der Ansicht von kranial, dachfirstartige Knickung der Gelenkfläche. Die Gelenkfläche ist entsprechend den Veränderungen am Artikulationspartner angepasst geformt. Sonstige Anzeichen für Facettengelenkarthrose sind nicht ersichtlich. Es bleibt offen, ob es sich bei dem Befund um eine anatomische Variante oder (bereits) um eine Arthropathie handelt. | Caudal view of the left cranial articular process of the fourth cervical vertebra of an 11-year-old Warmblood gelding. The articular surface shows a kinking corresponding to the changes of the cranial articular process, without any other symptoms of arthrosis. It is unclear whether this represents an anatomical modification or if it is a result of facet joint arthrosis of the corresponding vertebra.

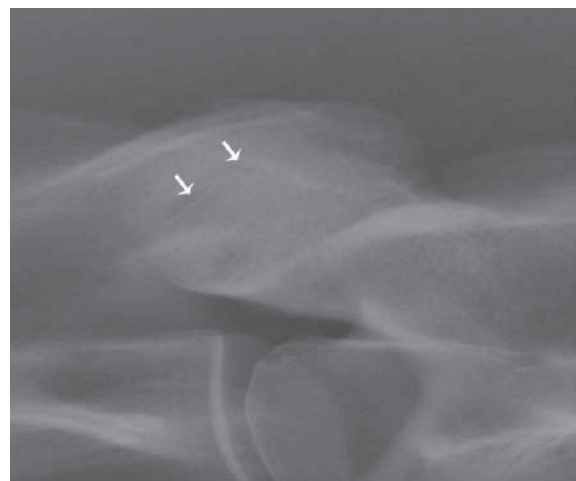


Abb. 11 Röntgenbild des Facettengelenks zwischen drittem und viertem Halswirbel des Pferdes aus Abb. 10. Pfeile markieren eine feine röntgendichte Linie, die der Abknickung des kranialen Proc. articularis entspricht. | X-Ray image of the facet joint between the third and fourth cervical vertebrae of the horse in Fig. 10. Arrows depict a subtle radio dense line, corresponding to the kinking of the cranial articular processes.

zeigt und können u.U. weitere Befunde liefern (Martens et al. 2006, Lautenschläger et al. 2009, Withers et al. 2009, Butler et al. 2017), werden jedoch typischerweise nicht als Screeninguntersuchungen (Kaufuntersuchung, Zuchttierauswahl) eingesetzt, sondern kommen meist erst nach Lokalisation eines Verdachts auf seitlichen Übersichtsaufnahmen zum Einsatz. Auf die Möglichkeit der Fertigung von Schrägaufnahmen hatten Heller et al. (1983) bei der röntgenologischen Untersuchung von menschlichen Halswirbelsäulen hingewiesen. Die Autoren sahen Schrägaufnahmen allerdings nur dann als indiziert an, wenn spezifische klinische Symptome Anlass für die Röntgenuntersuchung waren oder wenn es um Operationsplanung z.B. für Wirbelfusionen ging. Dieses, obwohl bei Menschen auch die Zweite-Ebene-Aufnahme routinemäßig angefertigt wurde. Bohndorf et al. (2014) hielten beim Menschen Röntgenaufnahmen bei leichten traumatischen Wirbelsäulenverletzungen "nach wie vor" für eine anerkannte Screening-Methode, wobei die seitliche Aufnahme die wichtigste sei. Zugleich warnten die Autoren eindringlich davor, den Schweregrad einer Halswirbelsäulenverletzung anhand der Röntgenaufnahmen allein zu beurteilen. Hochgradig instabile Verletzungen könnten auf Röntgenbildern ein einfaches Verletzungsmuster vortäuschen oder gar mit einem unauffälligen Röntgenbild einhergehen. Bei schweren Traumata oder Verdacht auf septische oder tumoröse Knochenveränderungen sei die Schnittbildtomographie einzusetzen, da ergiebiger.

Wenn schon die routinemäßige Röntgenuntersuchung der Halswirbelsäule beim Menschen in zwei Ebenen und bei erheblich geringeren Schichtdicken der Objekts zumindest bei Traumata zur Unterschätzung des Verletzungsausmaßes führen kann, muss bei Pferden auch damit gerechnet werden. Estell (2021) hat noch kürzlich im Zusammenhang mit Röntgenuntersuchungen von akut ZNS traumatisierten Pferden darauf hingewiesen, dass sogar schwere Frakturen röntgenologisch unentdeckt bleiben könnten. Somit erscheint es geboten, grundsätzlich mit Unterschätzungen von Veränderungen bei Röntgenbefunderhebungen an Halswirbelsäulen bei Pferden zu rechnen. Dafür sprechen auch die Ergebnisse der vorliegenden vergleichenden röntgenologischen und makroskopisch pathomorphologischen Untersuchung und CT Untersuchungen zum Nachweis von Osteochondrosefragmenten, die häufig in Kombination mit weiteren Halswirbelgelenkveränderungen vorliegen (Tucker et al. 2022). Ferner deuten die Sektionsbefunde an Warmblutfohlen von Bergmann et al. (2020), die an Facettengelenken von C2 bis T2 in 20,6%

der Fälle Befunde im Sinne von Osteochondrose feststellten, deren Prävalenz allerdings bis zu einem Alter von einem Jahr abnahm, in diese Richtung.

Bei der Beurteilung der Facettengelenke dieser Arbeit wurde ein eigens erstelltes einfaches Klassifikationsschema für Arthrosebefunde angewendet. Auch die Bewertung von Gliedmaßenröntgenbildern im Rahmen der Kaufuntersuchung erfolgte in Deutschland mittels einer Einteilung in verschiedene Klassen gemäß Röntgenleitfaden (Hertsch 2003). Es scheint aufgrund der komplizierten anatomischen Strukturen, welche sich auf im seitlichen Strahlengang gefertigten Röntgenbildern überwiegend überlagern, nicht möglich oder sinnvoll, geringgradigen Veränderungen im Gelenkbereich exakt ein morphologisches Korrelat zuzuordnen. Vielmehr ist es gerade hier wichtig, mittels der röntgenologischen Untersuchung generell eine Einschätzung zu treffen, ob arthrotische Veränderungen der Facettengelenke vorliegen und wie ausgeprägt diese sind. Der Schwerpunkt dieser Untersuchung lag auf arthrotischen Veränderungen, weil schwere Missbildungen und oder Frakturen in dem Probandengut nicht zu erwarten waren. Es waren keine eingehenden orthopädischen und neurologischen Untersuchungen der Pferde vor Euthanasie möglich. Auf eventuelle klinische Auswirkungen der angetroffenen knöchernen Veränderungen ließen sich daher keine Rückschlüsse ziehen. Aus diesem Grund wurde auch auf eine systematische Beurteilung des Halsmarkkanals (Schmidburg 2006) verzichtet.

Bei der pathomorphologischen Betrachtung der 78 Facettengelenkpaare wurde deutlich, dass an einer großen Zahl der betrachteten Knochen die Gelenke keine bis maximal mittelgradige Veränderungen aufwiesen (93,6%). Nur an einem kleinen Teil konnten hoch- bis höchstgradige Veränderungen festgestellt werden (6,4%), die eher bei alten Pferden vorkamen. Jedoch waren lediglich 26,9% der Gelenke ohne jeglichen pathologischen Befund. Auch andere Autoren fanden bei pathomorphologischen Studien an den Halswirbeln unauffälliger Pferde häufig Anzeichen für Arthrosen der Facettengelenke (Pohlentz und Schulz 1966, Mechlenburg 1967, Whitwell und Dyson 1987). Es kann mit der vorliegenden Untersuchung jedoch keine Aussage darüber getroffen werden, inwiefern die beschriebenen Befunde zur Ausprägung einer klinischen Symptomatik beitragen bzw. ob und wie sie sich zu relevanten Veränderungen entwickeln können. Bei den hoch- und höchstgradig betroffenen Strukturen scheint aber eine klinische Symptomatik durchaus wahrscheinlich, wie klinische Erfahrungen zeigen. Darüber hinaus ist zu bedenken,

Tab. 1 Einteilung in die verschiedenen Arthroseklassen anhand röntgenologischer Kriterien (Definitionen s. Text). Darstellung sowohl für alle untersuchten Facettengelenkpaare (n = 78), als auch für C2/C3 (n = 39) und C3/C4 (n = 39) getrennt. | *Classification into different classes of arthrosis (normal, mild, severe, highly) based on radiological criteria. Presentation for all examined facet joints pairs (n = 78) as well as for C2/C3 (n = 39) and C3/C4 (n = 39) separately.*

	Klasse 0 normal	Klasse 1 mild	Klasse 2 moderate	Klasse 3 severe	Klasse 4 highly
Gesamt/all	38	24	12	3	1
Lokalisation C2/C3	22	10	4	2	1
Lokalisation C3/C4	16	14	8	1	0

Tab. 2 Aufstellung der Einteilung in die verschiedenen Arthroseklassen anhand makroskopischer Kriterien. Darstellung sowohl für alle untersuchten Facettengelenkpaare (n = 78) als auch für C2/C3 (n = 39) und C3/C4 (n = 39) getrennt. | *Classification into different classes of arthrosis based on macroscopic criteria. Presentation for all examined facet joint pairs (n = 78) as well as for C2/C3 (n = 39) and C3/C4 (n = 39) separately.*

	Klasse 0	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4
Gesamt	21	31	21	4	1
Lokalisation C2/C3	8	16	12	2	1
Lokalisation C3/C4	13	15	9	2	0

dass auch Rittigkeitsprobleme durchaus als alleiniges Symptom dieses Krankheitsbildes in Frage kommen können (Lautenschläger 2007).

Von den beurteilten Gelenken wurden jeweils ca. 50% falsch positiv (im Röntgenbild Arthroseklasse 1 oder 2, obwohl makroskopisch ohne Arthroseanzeichen) bzw. falsch negativ (im Röntgen keine Arthroseanzeichen, makroskopisch gering- bis hochgradige Anzeichen für Facettengelenkarthrose) bewertet. Eine ältere Studie berichtete von mehr als 60% Röntgenbildfehldiagnosen (Papageorges et al. 1987). Beim Vergleich röntgenologischer und pathologisch-anatomischer Befunde an den Zehengelenken von Pferden konnte ebenfalls gezeigt werden, dass ein nicht unerheblicher Anteil von pathologisch-anatomisch veränderten Gelenkflächen mit Hilfe der Röntgenuntersuchung nicht zu erfassen ist. Ebenso wurden röntgenologisch Veränderungen an Gelenken diagnostiziert, die keinerlei makroskopische Läsionen erkennen ließen (van Suntum 1983). Ob sich diese Tatsache mit modernem besserem Röntgenequipment wieder so darstellen würde, ist unklar. Für die vorliegende Studie wurden digitale Röntgenbilder verwendet. Dennoch ist es gerade bei gering- und mittelgradig veränderten Facettengelenken der kranialen Halswirbelsäule schwierig, diese Veränderungen röntgenologisch sicher zu erkennen und ihnen klinische Bedeutung zuzuschreiben (Butler et al. 2017) und es ist sicher richtig, dass bei einer Röntgenuntersuchung nur recht fortgeschrittene Veränderungen mit einiger Zuverlässigkeit erfasst werden können (Gerber et al. 1989). In diesem Zusammenhang ist es bemerkenswert, dass in dieser Studie selbst hochgradig veränderte Facettengelenke nicht in jedem Fall röntgenologisch als abnorm erkannt wurden. Die Korrelation zwischen röntgenologischer und makroskopischer Beurteilung ergab relativ geringe Korrelationskoeffizienten zwischen 0,11 und 0,36. Es konnte folglich mit Hilfe der röntgenologischen Untersuchung im seitlichen Strahlengang keine sichere Aussage über die Ausprägung von Facettengelenkveränderungen getroffen werden, was im Verdachtsfall zu weitergehenden Untersuchungen Anlass geben kann. Palmer und Hickman (1960) sowie Papageorges et al. (1987) hielten Übersichtsröntgenbilder als nicht verlässlich zur Diagnose von Kompressionen des Halsmarks bei Pferden, was von Schütte (2005) bestätigt wurde. Auch die hier erzielten Ergebnisse deuten in diese Richtung.

Die Zubildung ventral an den Gelenkhälsen konnte mit 27,9% im gesamten Patientengut relativ häufig beobachtet werden. Die Koeffizienten für die Korrelation zwischen Auftreten dieses Befundes und arthrotischen Veränderungen der kleinen Wirbelgelenke lagen an beiden untersuchten Lokalisationen nahe bei 0. Daraus kann geschlossen werden, dass das alleinige Auftreten solcher Zubildungen nicht auf eine arthrotische Veränderung des entsprechenden Gelenkes hindeutet. Andererseits kommt es bei schweren zervikalen Arthropathien auch zu Umbauvorgängen an der periartikulären Knochensubstanz, was sicherlich zu röntgenologisch ähnlichen Erscheinungen führen kann (Hett 1999, Butler et al. 2017). Klinische Auswirkung solcher Zubildungen sind je nach Ausprägung vorstellbar; eine Irritation des Rückenmarks ist aber wenig wahrscheinlich, es sei denn, die Gelenkkapsel ist medial ausgesackt und drückt auf das Halsmark (Whitwell und Dyson 1987). Prinzipiell sind Veränderungen ventral am Gelenkhals gut mit der röntgenologischen Untersuchung dar-

stellbar. Sollten sie jedoch nicht direkt an der Unterfläche des Gelenkfortsatzes gelegen sein, oder besteht eine leichte Verkipfung der Röntgenaufnahme, gestalten sich die exakte Darstellung und Deutung schwierig.

Die beschriebene dachfirstartige Abknickung der kaudalen Gelenkfacetten wurde von Mechlenburg (1967) als Anzeichen für osteoarthrotische Prozesse gedeutet und ähnliche Veränderungen konnten auch bei Araber- und Morgan-Pferden mit klinischen Symptomen beobachtet werden (Beech 1976). Bollwein (1986) ging jedoch davon aus, dass es sich um altersbedingte Veränderungen handelt, die zu keiner klinisch wahrnehmbaren Veränderung der Halswirbelsäule führen. Einerseits konnte kein Zusammenhang zwischen dem Auftreten und der Ausprägung solcher Gegebenheiten und dem Vorhandensein von arthrotischen Veränderungen der Facettengelenke beobachtet werden, andererseits scheint eine Beeinträchtigung des Halsmarks gerade bei starken Abweichungen durchaus möglich, da eine physiologische Bewegung im Sinne eines 2-dimensionalen Gleitens des Schiebegelenks behindert wird. Auf Röntgenbildern können Hinweise auf eine solche Gelenkflächenveränderung nur mit großer Mühe und auf qualitativ einwandfreien Aufnahmen gefunden werden.

Mit Hilfe der vorliegenden Studie konnten die Erkenntnisse im Bereich der röntgenologischen Untersuchung der kranialen Halswirbelsäule erweitert werden. Eine routinemäßige röntgenologische Untersuchung der Halswirbelsäule bei klinisch unauffälligen Tieren, z.B. im Rahmen einer Kaufuntersuchung, erfordert profunde Kenntnisse der am Okziput und an der Halswirbelsäule typischerweise vorkommenden und feststellbaren Veränderungen. Der weitgehende Ersatz der Film-Folien-Aufnahmetechnik durch die digitale Röntgenbilderstellung und die Nutzung der digitalen Nachbearbeitungsmöglichkeiten dürften die Auswertbarkeit der Röntgenbilder der Halswirbelsäule von Pferden verbessern und dadurch auch mehr geringgradige Veränderungen abbilden. Ob sich solche Veränderungen im Laufe der Zeit zu einer klinisch manifesten Erkrankung entwickeln können, bleibt offen. Rohwerder (2020) stellte durch röntgenologische Reihenuntersuchungen fest, dass Knochenzubildungen der Insertionsstelle des Ligamentum nuchae am Hinterhauptsbein beim heranwachsenden Pferd mit dem Älterwerden prozentual zunehmen. Zingher (2021) fand an 85 jungen Pferden im Alter von 2 bis 35 Monaten bei 56,5% der röntgenologisch untersuchten Tiere Enthesophyten am Okziput, bei 13,75% einen Achsenknick zwischen C2 und C3.

Mit Blick auf das relativ hohe Durchschnittsalter der hier untersuchten Pferdekadaver (gut 16 Jahre) ist die Vermutung zulässig, dass sich nicht jede geringe Veränderung an der kranialen Halswirbelsäule rasch weiter entwickelt (die parallel erstellten Untersuchungsergebnisse der kaudalen Halswirbelsäulen werden gesondert mitgeteilt).

Hughes et al. (2014) prüften anhand qualitativ guter digitaler Röntgenaufnahmen von Halswirbelsäulen von Pferden älter als einem Jahr Abweichungen intra- und interindividueller Messwerterhebungen bei der Bestimmung von sagittalen Durchmesser-Ratio-Werten für die Diagnose von stenotischer Myelopathie. Die Autoren schlussfolgerten, dass die dabei

- Lautenschläger I. (2007) Die röntgenologische und ultrasonographische Darstellung der Facettengelenke der Halswirbelsäule beim Warmblutpferd. Diss. med. Vet. TIHO Hannover
- Lautenschläger I., Baumann I., Schulze M., Martens I., Rohn K., Stadler P. (2009) Die röntgenologische Darstellung der caudalen Facettengelenke der Halswirbelsäule beim Warmblutpferd. *Pferdeheilkunde* 25, 544–553; DOI 10.21836/PEM20090601
- Martens I., Baumann I., Stadler P. (2006) Darstellung der Facettengelenke der Halswirbelsäule mit der digitalen Röntgentechnik. Tagungsband der 19. Arbeitstagung der Fachgruppe „Pferdekrankheiten“ der DVG in Hannover, Verlag DVG Service GmbH, Gießen, 5–8
- Mayhew I. G. (1989) Spinal Cord Diseases. In: *Large Animal Neurology. A Handbook for Veterinary Clinicians*. Lea & Febiger, Philadelphia USA, 244–303
- Mayhew J., Green S. L. (2002) Radiographic diagnosis of equine cervical vertebral malformation. In: *Proceedings of the 20th Meeting of the Am. College of Vet. Internal Med.* 382–383
- Mechlenburg G. (1967) Untersuchungen der Halswirbelsäule und des Rückenmarkes beim Pferd im Hinblick auf Veränderungen bei der Spinalen Ataxie. Diss. Med. Vet. TIHO Hannover
- Mendenhall A. L., Cantwell H. D. (1988) *Equine Radiographic Procedures*. Lea & Febiger, Philadelphia, 1st edition
- Milne D., Gabel A., Chrisman C., Fetter A. (1973) Diagnosis and pathology of the wobbler syndrome (spondylolisthesis): A preliminary study. *Proceedings annual convention Am. Assoc. Equine Practitioners* 19, 303–309
- Nixon A., Stashak T., Ingram J. (1983) Diagnosis of cervical vertebral malformation in the horse. *Proceedings annual convention Am. Assoc. Equine Practitioners* 28, 253–266
- Nout Y. S., Reed S. (2003) Cervical vertebral stenotic myelopathy. *Equine Vet. Educ.* 15, 212–223
- Palmer A. C., Hickman J. (1960) Ataxia in a horse due to an angioma of the spinal cord. *Vet. Rec.* 72, 611–613
- Papageorges M., Gavin P. R., Sande R. D., Barbee D. D., Grant B. D. (1987) Radiographic and myelographic examination of the cervical vertebral column in 306 ataxic horses. *Vet. Radiol. Ultrasound* 28, 53–59
- Pohlentz J., Schulz L. C. (1966) Rückenmarksveränderungen bei der spinalen Ataxie des Pferdes in ihrer Abhängigkeit von Ort und Grad der Veränderungen am Halswirbelskelett. *Dtsch. tierärztl. Wschr.* 73, 533–536
- Powers B., Stashak T., Nixon A., Yovich J., Norrdin R. (1986) Pathology of the vertebral column of horses with cervical static stenosis. *Vet. Pathol.* 23, 392–399
- Pudert T. (2018) Die vergleichende Darstellbarkeit von knöchernen Veränderungen der zervikalen Facettengelenke mittels Röntgen, Ultrasonographie und Computertomographie beim Warmblutpferd. Diss. Med. Vet. TIHO Hannover, auch Cuvillier Verlag, Göttingen, 2018
- Rantanen N., Gavin P. R., Barbee D. D., Sande R. D. (1981) Ataxia and paresis in horses Part II. Radiographic and myelographic examination of the cervical vertebral column. *Comp. Cont. Educ. Pract. Vet.* 3, 161–170
- Reed S., Moore B. R. (1993) Pathogenesis of cervical vertebral stenotic myelopathy. *Proceedings of the 39th Annual Convention American Association of Equine Practitioners* 39, 113–115
- Ricardi G., Dyson S. (1993) Forelimb lameness associated with radiographic abnormalities of the cervical vertebrae. *Equine Vet. J.* 25, 422–426
- Rohwerder B. (2020) Die radiomorphologischen Variationen der Insertionsstelle des Ligamentum nuchae beim heranwachsenden Pferd. Diss. Med. Vet. LMU München
- Rovel T., Zimmerman M., Duchateau L., Delesalle C., Adriaensen E., Mariën T., Saunders J. H., Vanderperren K. (2021) Computed tomographic examination of the articular process joints of the cervical spine in warmblood horses: 86 cases (2015–2017). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 259, 1178–1187; DOI 10.2460/javma.20.03.0105
- Schebitz H., Dahme E. (1967) Spinal ataxia in the horse. *Proceedings 13th An. Convention of Am. Assoc. Equine Practitioners, New Orleans*, 133–148
- Schmidburg J. (2006) Bestimmung des funktionellen Durchmessers des Wirbelkanals in der isolierten equinen Halswirbelsäule. in: Tagungsband der 19. Arbeitstagung der Fachgruppe „Pferdekrankheiten“ der DVG in Hannover, Verlag DVG Service GmbH, Gießen, 1–4
- Schütte A. (2005) Untersuchungen zum equinen Wobbler Syndrom - Literaturstudie mit folgender klinischer Untersuchung des operativen Therapieerfolges. Diss. Med. Vet. LMU München
- Schulze N., Ehrle A., Beckmann I., Lischer C. (2021) Arthroscopic removal of osteochondral fragments of the cervical articular process joints in three horses. *Vet. Surg.*; DOI 10.1111/vsu.13681. Online ahead of print.
- 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
- Tucker R., Hall Y. S., Hughes T. K., Parker R. A. (2022a) Osteochondral fragmentation of the cervical articular process joints; prevalence in horses undergoing CT for investigation of cervical dysfunction. *Equine Vet J.* 54, 106–113; DOI 10.1111/evj.13410.
- Tucker R., Parker R. A., Meredith L. E., Hughes T. K., Foote A. K. (2022b) Surgical removal of intra-articular loose bodies from the cervical articular process joints in 5 horses. *Vet. Surg.* 51, 173–181; DOI 10.1111/vsu.13744.
- van Biervliet J., Mayhew I., Delahunta A. (2006) Cervical compressive myelopathy: Diagnosis. *Clin. Tech Equine Pract.* 5, 54–59
- van Biervliet J., McNeill R. L., Pease A. (2004) How to take standing survey radiographs of the cervical spine in the horse. *Proceedings of the 43rd British Equine Veterinary Assoc. Congress, Birmingham*
- van Suntum M. (1983) Untersuchungen zur Röntgendiagnostik degenerativer Zehengelenkserkrankungen des Pferdes - Ein Vergleich röntgenologischer und pathologisch-anatomischer Befunde. Diss. Med. Vet. FU Berlin
- Whitwell K., Dyson S. (1987) Die Röntgenologie der Halswirbelsäule beim Pferd. *Pferdeheilkunde* 3, 203–212; DOI 10.21836/PEM19870403
- Williams N. M. (2003) Equine neurologic disease. *Equine Dis. Quart.* 12, 5–6
- Withers J. M., Voute L. C., Hammond G., 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, DOI 10.2746/042516409x434107
- Wilsmann F. (2016) Statistische Erhebungen zur Prävalenz röntgenologisch erfassbarer Befunde an der Halswirbelsäule des Pferdes. Diss. Med. Vet. LMU München
- Wilsmann F., Gerhards H., Pichon S. (2020) Statistische Erhebungen zur Prävalenz röntgenologisch erfassbarer Befunde an der Halswirbelsäule des Pferdes. *Pferdeheilkunde* 36, 128–136; DOI 10.21836/PEM20200205
- Wissdorf H., Otto B., Gerhards H., Huskamp B. (2010) Hals. in: *Wissdorf H., Gerhards H., Huskamp B., Deegen E.: Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes*. 3. Aufl., Schaper, Hannover, 253–291
- Zingher C.-A. (2021) Radiologische Befunderhebung und biometrische Referenzwertetablierung an Facettengelenken und Wirbelkanal der Halswirbelsäule an 84 Warmblutpferden im Alter von unter 3 Jahren. Diss. Med. Vet. LMU München