

Interventionelle Computertomographie – eine neue Dimension in der Pferdemedizin – Teil 1: CT-gesteuerte Aufbohrung und Füllung subchondraler Knochenzysten beim Pferd

Eberhard Mettenleiter

Pferdeambulanz Sudenhof, Hagen a.T.W.

Zusammenfassung: Die Computertomographie ist zur weiterführenden Diagnostik sowohl im Kopf-Halsbereich als auch an den Gliedmaßen des Pferdes nicht mehr wegzudenken und wird an spezialisierten Pferdeambulanz räumlich eingesetzt. Mit ihrer Hilfe lässt sich eine überlagerungsfreie Darstellung von Körperteilen in verschiedenen Schnittebenen und im dreidimensionalen Bild erreichen. Die operative Therapie von subchondralen Knochenzysten (SKZ) am Pferdebein besteht im chirurgischen Debridement und eventuell in der Auffüllung der Zystenöhle, um eine Revaskularisierung und Durchbauung des Defektherdes zu erreichen. Dies geschieht je nach Lokalisation, Form und Größe der Zyste über einen arthroskopischen oder arthrotomischen Zugang. Alternativ zu intraartikulären Operationstechniken werden SKZ mittels transkortikaler Aufbohrung unter klassischer röntgenologischer Kontrolle oder Fluoroskopie durchgeführt. Diese Navigationsmethoden sind jedoch aufgrund der lediglich zweidimensionalen Bildgebung stark eingeschränkt und die gewonnene Information ist für den Chirurgen oftmals nicht befriedigend. An verschiedenen Beispielen (SKZ mit Verbindung zum Carpalgelenk, Fesselgelenk, Kron- gelenk und Bursa podotrochlearis) wird der klinische Einsatz der CT- gesteuerten, chirurgischen Versorgung von SKZ beim Pferd beschrieben. Unter dreidimensionaler computertomographischer Kontrolle wurde eine schrittweise Aufbohrung der SKZ durchgeführt, danach erfolgte das Debridement des Zysteninhaltes, die Spülung und die Füllung der Zystenöhle und der Bohrkavität. Im Ergebnis kann diese Operationstechnik auch bei schwer zugänglichen SKZ im Gelenkbereich bei Pferden als sinnvolle Alternative zum arthroskopischen oder arthrotomischen Vorgehen bezeichnet werden. Inwieweit tatsächlich eine Verbesserung der Erfolgsrate im Vergleich zu konventionellen Techniken resultiert, müssen weitere klinische Studien zeigen.

Schlüsselwörter: Pferd / Interventionelle Computertomographie / Chirurgie / Subchondrale Knochenzyste / Lahmheit

Interventional computer tomography – a new dimension in horse medicine – Part 1: CT assisted drilling and filling of subchondral cystic lesions in the horse

The computed tomography is indispensable to secondary diagnostic in the head and neck area as well as on the limbs of the horse and is used routinely in specialized equine clinics. With this technique a super positional free representation of body parts is possible in different sectional levels and in three-dimensional images. The surgical treatment of subchondral cystic lesions (SCL) in the horse consists of surgical debridement and possibly in the replenishment of the cyst cavity in order to achieve revascularization and bone fusion of the damaged area. Depending on localization, shape and size of the cyst this is done via an arthroscopic or arthrotomic access. As an alternative to intraarticular surgical techniques the subchondral cystic lesions are classically treated by transcortical drilling via radiological control or fluoroscopy. These navigation methods, however, are severely limited due to the only two-dimensional imaging and the obtained information is often not satisfactory for the surgeon. The clinical use of CT-assisted surgical treatment of subchondral cystic lesions in horses (SCL with connection to the carpal joint, fetlock joint, pastern joint and navicular bursa) is shown by various examples. Via three-dimensional computed tomographic control, a gradual drilling of SCL was performed, afterwards the debridement of the cyst content, flushing and filling the cyst cavity and the drill hole. As a result, this surgical technique may also be referred as a sensible alternative to an arthroscopic or arthrotomic approach for difficult to access SCL in the joint region in horses. Further clinical studies are required in order to prove, to what extent the success rate actually improves in comparison to conventional techniques.

Keywords: Horse / interventional computer tomography / surgery / Subchondral Cystic Lesion / lameness / diagnostic imaging

Zitation: Mettenleiter E. (2014) Interventionelle Computertomographie – eine neue Dimension in der Pferdemedizin – Teil 1: CT- gesteuerte transkortikale Aufbohrung und Füllung von subchondralen Knochenzysten beim Pferd. *Pferdeheilkunde* 30, 567-576

Korrespondenz: Dr. med. vet. Eberhard Mettenleiter, Pferdeambulanz Sudenhof, Holperdorferstr. 44, 49170 Hagen a.T.W., E-Mail: eberhard.mettenleiter@pferdeambulanz-sudenhof.de

Einleitung

Die interventionelle Radiologie hat bereits eine lange Geschichte. Schon vor mehr als 50 Jahren wurden beim Menschen Gallengangsdrainagen unter Röntgenkontrolle durchgeführt (Grönemeyer und Seibel 1989). Seit vielen Jahren finden auch diagnostische Eingriffe unter Durchleuchtung mittels Bildverstärker statt. Im Jahr 1967 berichtete Nordenström über die ersten perkutanen durchleuchtungsgesteuerten Lymphknotenbiopsien beim Menschen. Zunächst mittels

zweidimensionaler Fluoroskopie wird mittlerweile mittels modernen 3D-Bildverstärkern auch mit dreidimensionalen Rekonstruktionen gearbeitet (Kendoff et al. 2003).

In den 1980-iger Jahren stellen Grönemeyer und Seibel (1989) die Computertomographie beim Menschen als Hilfsmittel für exakt platzierte Punktionen und Injektionen vor (sogenannte interventionelle Computertomographie). Nach

Entwicklung spezieller Nadeln und Sonden ist es heute möglich millimetergenaue Eingriffe unter CT-Steuerung durchzuführen. Hierdurch wurde eine Vielzahl von Eingriffen in der Nachbarschaft von Risikoorganen oder gefährdeten Strukturen erst möglich. Mittlerweile haben sich viele dieser CT-gesteuerten Eingriffe als Standard in der Humanmedizin durchgesetzt und kommen routinemäßig zum Einsatz (Grönemeyer und Seibel 1989, Garg et al. 2000, Huch et al. 2007, Pitton et al. 2008, Wiewiorski et al. 2009b).

Die Computertomographie hat sich in den letzten Jahrzehnten auch in der Pferdemedizin zu einem wichtigen diagnostischen Hilfsmittel entwickelt. Durch ihre hohe Kontrastauflösung liefert sie vor allem im Bereich des Knochens exzellente Bilder, aber auch Weichteile lassen sich immer besser darstellen (Bienert und Stadler 2006). In der Pferdemedizin beschränkt sich ihr Einsatz bis jetzt fast nur auf die diagnostische Ebene. Vor allem wird der CT zur Diagnostik am Kopf, an der oberen Halswirbelsäule und an den Extremitäten genutzt (Pettersen und Bowman 1988, Tietje 1996, Del Chicca et al. 2008, Desbrosse et al. 2008, Crijns et al. 2010).

Es wird aber auch über den praeoperativen Nutzen der CT-Untersuchung beim Pferd in vivo berichtet (Barnes et al. 1995, Rose et al. 1997, Martens et al. 1999, Rijkenhuizen et al. 2005, Waselau et al. 2006, MacDonald et al. 2009, Schwarz and Puchalsky 2012, Mettenleiter 2014). Der mögliche Einsatz der CT-Technik zur exakten Darstellung und Fixierung von Frakturen am Pferdebein wurde in vitro überprüft (Vandeweerd et al. 2009, Perrin et al. 2010). Auch die in vitro Anwendung eines 3D Bildverstärkers in Verbindung mit einem computerassistierten Navigationssystem zur Fixierung von Frakturen am Pferdebein wurde in mehreren Publikationen vorgestellt. (Andritzky et al. 2005, Gygax et al. 2006, Rossol et al. 2008).

In neuester Zeit wird auch in der pferdemedizinischen Literatur über computertomographisch geführte Injektionstechniken im Bereich des Kopfes, der Halswirbelsäule und an der Gliedmassenspitze berichtet (Uhlendorf et al. 2011, Mettenleiter und Köster 2012, Toth und Hollerrieder 2013). Nur eine Arbeit beschreibt die intraoperative Nutzung eines Computertomographen in vivo beim Pferd. Perrin et al. (2011) nutzten einen speziell angefertigten, mobilen Computertomographen mit einer Gantryöffnung von 30 cm im Durchmesser direkt im Operationssaal. Über den Einsatz eines konventionellen Computertomographen beim Pferd direkt im CT-Untersuchungsraum zur praeoperativen Diagnostik, zur intraoperativen Assistenz und zur postoperativen Ergebnisüberprüfung in derselben Narkose, wie dies mit der täglichen, routinemäßigen Anwendung in der Humanmedizin vergleichbar ist, liegen bisher noch keine Arbeiten vor.

Subchondrale Knochenzysten (SKZ) wurden beim Pferd erstmals von Petterson und Sevelius (1966) als lahmheitsverursachende Erkrankung beschrieben. Sie sind definiert als röntgendurchlässige Areale des Knochens, die, abhängig von ihrer Entwicklung, vom umgebenden Gewebe durch einen sklerotischen Saum demarkiert sind (Fürst et al. 1997, von Rechenberg et al. 1998). SKZ kommen sowohl mit als auch ohne Gelenkbeteiligung vor (Pettersen und Reiland 1969). Nicht in allen Fällen sind sie jedoch lahmheitsverursachend (Bramlage 1993, Baxter 1996).

Die Diagnose von subchondralen Knochenzysten basiert auf der klinischen Untersuchung, diagnostischen Anästhesien und üblicherweise in der Röntgenuntersuchung, wobei das typische Erscheinungsbild eine einzelne, zirkulär oder semizirkulär umschriebene Aufhellungszone ist, welche normalerweise im subchondralen Knochen von einem sklerotischen Saum begrenzt wird (Verschooten und DeMoor 1982). SKZ sind meistens ungekammert, manchmal zweigeteilt aber auch mehrfach gekammerte Zysten kommen vor (Butler et al. 2000). Mit der klassischen Radiologie kann nicht immer die genaue Lokalisation der SKZ und eine mögliche Verbindung zum Gelenk bestimmt werden (Rijkenhuizen et al. 2005). Moderne bildgebende Verfahren wie Szintigraphie, Magnetresonanztomographie (MRT) und Computertomographie (CT) werden deshalb ergänzend zur Diagnostik herangezogen (McIlwraith 1998, Rijkenhuizen et al. 2005, Barrett und Zubrod 2008, Mair und Sherlock 2008, Del Chicca et al. 2008, McIlwraith 2010, Sherlock und Mair 2011).

Die chirurgische Therapie von SKZ beim Pferd wird sehr unterschiedlich durchgeführt. Von einigen Autoren wird das alleinige Debridement der Zyste (White et al. 1988, Story und Bramlage 2004) oder auch die Injektion von Kortikosteroiden in die Zystenhöhle beschrieben (Vandekeybus et al. 1999, Fortier und Nixon 2005, Wallis et al. 2008). Andere sehen als Therapie der Wahl ein operatives Debridement und die Füllung der SKZ mit autogenen Knochengrafts (Kold und Hickman 1983, Jackson et al. 2000). Weiterhin wird als Füllmaterial die Verwendung von multiplen osteochondralen Autografts in Form einer Mosaic Arthroplasty (Bodo et al. 2004, Janicek et al. 2010), der Einsatz von resorbierbaren oder metabolisierbaren, biologischen und synthetischen Biomaterialien oder auch die Verwendung von osteoinduktiven und osteokonduktiven Ersatzstoffen genannt (Fürst et al. 1997, Heidbrink und Sader 2001, Nixon 2002, Fortier und Nixon 2005; Krause and Kirker-Head 2006; Fuerst et al. 2007, Jackson et al. 2008, Orved et al. 2009, Jackson et al. 2012). Für die Versorgung von SKZ im Strahlbein wurde eine Operation mittels der sogenannten Wolterbohrung vorgeschlagen (Wolter und Ratusinski 1985, Zierz et al. 2000).

Der operative Zugang und das Auffinden der SKZ wird in den meisten Fällen mittels Arthroskopie (McIlwraith 1998, Story und Bramlage 2004) oder Arthrotomie (Bodo et al. 2004) vorgenommen. Fürst et al. (1997) beschrieb als alternativen Zugang zur Zystenhöhle die transkortikale, extraartikuläre Bohrung unter Kontrolle mittels konventionellem 2D-Bildverstärker. Später wurde diese Operationstechnik mithilfe eines computergesteuerten 3D-Bildverstärkers in Verbindung mit einem computerassistierten Operationsnavigationssystem (Fürst 2007, Auer 2012) verfeinert.

In Anlehnung an die humanmedizinischen Operationstechniken zur CT-gesteuerten retrograden Anbohrung osteochondraler Läsionen des oberen Sprunggelenks beim Menschen (Conti und Taranow 1996, Fink et al. 2001, Kono et al. 2006, Wiewiorski et al. 2009a) werden CT-gesteuerte Operationen nun auch beim Pferd durchgeführt (Mettenleiter und Köster 2012). Diese Arbeit präsentiert die ersten klinischen Erfahrungen der CT-gesteuerten Aufbohrung und Auffüllung von SKZ beim Pferd sowie die Überprüfung und der Nachweis der Durchführbarkeit dieser operativen Methode beim Pferd in klinischer Umgebung.

Material und Methodik

Insgesamt wurden zystische Läsionen im Os carpi radiale mit Verbindung zum Carpalgelenk (Abb. 1-5), im Fesselbein und Röhrlbein mit Verbindung zum Fesselgelenk (Abb. 6-8), im Kronbein mit Verbindung zum Krongelenk und im Strahlbein mit Verbindung zur Bursa podotrochlearis (Abb. 9-11) chirurgisch versorgt.

Geräte

Die CT kontrollierten Operationen wurden mithilfe eines Computertomographen der Firma Siemens (Siemens Somatom plus 4) durchgeführt. Es handelt sich hierbei um ein Gerät aus der Humanmedizin mit einer Gantryöffnung von 70 cm im Durchmesser. Es können High-End-Spiralaufnahmen angefertigt werden, wobei das gewonnene Bildmaterial direkt als 1 mm Schnittbilder und nach multiplanarer Reformatierung (MPR-Darstellung) als Längsschnittbilder oder als 3D-Rekonstruktion abgebildet werden können. Außerdem verfügt dieses Gerät über die Möglichkeit der direkten Strecken-, Längen-, Volumen-, Winkel- und Dichtemessung. Anhand der Biopsieführungsfunktion wird der zu wählende Inzisions- bzw. Bohrwinkel bzw. die exakte Inzisions- bzw. Bohrtiefe vorgegeben (Abb. 8a).

Patienten

Bei unserem Patientengut handelte es sich um sieben adulte Warmblutpferde. Zwei Pferde waren zum Zeitpunkt der Untersuchung im Alter von 8 Jahren, jeweils ein Pferd war 6 Jahre, 9 Jahre, 10 Jahre, 12 Jahre und 13 Jahre alt. Es wurden zwei Stuten und fünf Wallache operiert. Alle Pferde wurden wegen einer seit längerer Zeit bestehenden (mehr als vier Monate) mittel- bis hochgradigen, teils intermittierenden Lahmheit, vorgestellt. Zur Lahmheitsabklärung wurden sie einer eingehenden klinischen Untersuchung kombiniert mit Leitungsanästhesien und Gelenkanästhesien unterzogen. Außerdem wurden sie röntgenologisch und sonographisch untersucht. Die operierten Patienten, sowie die präoperativen klinischen und radiologischen Untersuchungsergebnisse sind in Tab. 1 dargestellt.

Methodik

Nach unauffälliger präanästhetischer Voruntersuchung wurde den Pferden ca. eine Stunde vor Narkosebeginn Penicillin-Streptomycin (Streptocombin: 5 ml/100 kg KGW i.m., Albrecht GmbH, Aulendorf, Deutschland) und Meloxicam (0,6 mg/KGW i.v., Emdocam, WDT eG, Garbsen, Deutschland) verabreicht. Zur Sedation erhielten sie Romifidin (0,06–0,08 mg/kg KGW i.v., Sedivet®, Boehringer, Boehringer Ingelheim, Deutschland) 15 Minuten vor Einleitung der Narkose. Zu diesem Zeitpunkt wurde auch das Operationsgebiet an den Gliedmaßen und der Brustbeinbereich (zur intraoperativen Aspiration von Knochenmark) rasiert und gewaschen, damit der CT-Raum möglichst sauber und trocken gehalten werden konnte. Zur Einleitung der Narkose wurden Diazepam (0,04 mg/kg, i.v., Diazepam 10 mg®, Rotexmedica GmbH, Trittau, Deutschland) und Ketamin (2,2 mg/kg i.v., Ursotamin®, Serumwerke Bernburg AG, Bernburg, Deutschland) verwendet. Nach oro-trachealer Intubation wurden die Pferde mittels Kran in den CT-Raum befördert.

Alle Operationen wurden in Seitenlage durchgeführt, wobei die Pferde auf dem CT-Untersuchungstisch mittels zusätzlichen Schaumstoffmatten weich gelagert wurden. Das jeweilige zu operierende Bein wurde mit Hilfe von Schaumstoffpolstern und speziellen Klettgurten an der Humanpatientenliege fixiert. Die Narkose wurde mit Isofluran (IsoFlo®, Albrecht GmbH, Aulendorf, Deutschland) aufrecht erhalten. Das betreffende OP-Gebiet an den Gliedmaßen und der Brustbeinbereich wurden steril vorbereitet und mit sterilen Einwegplastiktüchern abgedeckt.

Zunächst wurde ein Übersichtstopogramm der Region of Interest angefertigt und die Behandlungsebene definiert. Basierend auf diesem Topogramm wurde der zu operierende Teilbereich des Gelenks bzw. der Bereich der SKZ in 1 mm Querschnitten gescannt. Jedem angefertigten Schnittbild wird von der CT-Software automatisch ein Koordinatensatz zugeordnet. Die Koordinaten der Schnittebene, in welcher sich der optimale Zugang zur Zyste befindet, werden in der CT-Software markiert, so dass diese immer wieder exakt aufgefunden und gescannt werden können. Diese Ebene wurde mittels Anbringen eines röntgendichten Markers festgelegt (Abb. 3a).

Tab. 1 Patienten sowie klinische und radiologische Befunde / *Patients and clinical and radiographic findings*

Pferd	Alter	Rasse	Geschlecht	Lahmheit	Lokalisation	Anästhesie	Radiol. Befunde
1	8 J.	KWPN	Wallach	II/V	vo li	Articulatio antebrachio-carpea 90% +	SKZ Os carpi radiale
2	13 J.	Westfale	Wallach	IV/V im Schritt	vo re	TPA 90% + MPA 100% +	SKZ im Strahlbein Verschattung am Proc. ext. (Hufbein)
3	9 J.	Hannover	Wallach	II/V	vo li	Tiefe 4-Punkt 100% + Fesselgelenk 90% +	SKZ im distalen Os metacarpale III
4	12 J.	Hannover	Stute	I-IV/V intermittierend	vo re	Articulatio antebrachio-carpea 90% +	SKZ im Os carpi radiale
5	6 J.	Holsteiner	Wallach	II-III/V	vo re	TPA 100% +	SKZ im Strahlbein
6	10 J.	Holsteiner	Stute	III-IV/V	vo li	MPA 100% + Krongelenk 80% +	SKZ im proximalen Kronbein
7	8 J.	Russland	Wallach	I-IV/V intermittierend	hi re	Tiefe 4-Punkt 90% + Fesselgelenk 90% +	SKZ im proximalen Fesselbein

Anhand der CT-Bilder wurden die Bohrrichtung sowie die Bohrtiefe an der CT-Bedienkonsole vorgelegt (Abb. 8a). Die Haut, sowie Unterhautgewebe, Muskeln und Periost wurden mit einem ca. 1 cm langen Schnitt eröffnet. Der Zugang in die SKZ erfolgte transkortikal zunächst mit einem 2,5 mm Bohrer, welcher im vorbestimmten Winkel auf die vorbestimmte Bohrtiefe eingbohrt wurde. Während dieser Bohrung wurden mehrere Kontrollscans zur Überprüfung der korrekten Bohrrichtung und -tiefe angefertigt (Abb. 3b, c; 8b). Hierzu wurde die Bohrmaschine mittels Schnellverschluss von dem Bohrer abgekoppelt und der Patient auf die vorbestimmte Schnittebene in die Gantry gefahren. Hier wurden ein bis zwei Scans angefertigt. Danach wurde der Tisch sogleich wieder in die Operationsausgangslage zurückgefahren und die Bohrmaschine konnte wieder angekoppelt werden. Die Bedienung des Computertomographen kann hierzu durch eine zusätzliche Person am Bedienungstisch oder aber durch den Operateur selbst am steril abgeklebten Bedienfeld neben der Gantry



Abb. 1 SKZ Os carpi radiale / Carpalgelenk; Röntgenbild vor OP in 0° Darstellung
 SCL Os carpi radiale / carpal joint; radiographical image in 0° view.

erfolgen. Während der Scans begibt sich der Operateur hinter eine strahlenundurchlässige Schutzwand, wo sich auch die Kontroll- und Bedieneinheit des CT-Gerätes befindet..

Nach erfolgreicher Eröffnung der Zyste mit dem 2,5 mm Bohrer wurde der Kanal mit einem 4,0 mm Bohrer erweitert und die Trokarhülse des Zystenbestecks (Richard Wolf GmbH, Knittlingen, Deutschland) in den Bohrkanal eingeführt. Danach wurde der Zysteninhalt und die Zystenwand mithilfe einer 2,5 mm- und 3,5 mm-Handfräse von der Umgebung gelöst und durch den Spülkanal mit steriler Ringerlösung eingehend ausgespült. Der so vorbereitete Zystenhohlraum wurde mit Silikat substituiertem Calciumphosphat - Knochenersatzmaterial (Actifuse ABX, ApaTech Ltd. 370 Centennial Avenue, Centennial Park, Elstree, Hertfordshire, UK) aufgefüllt und das Füllmaterial mit dem abgerundeten Trokar in der Zystenhöhle und der Bohrkavität vorsichtig verdichtet. Zur Dokumentation der ausreichenden Füllung schloss sich ein weiterer Kontrollscan an (Abb. 4a, b). Danach erfolgte in einem weiteren Schritt die Entnahme von ca. 5 ml Knochenmark aus dem Brustbein mit einer 8 G x 10 cm Jamshidi Knochenmarkbiopsie und -aspirations Nadel. Mit diesem flüssigen Knochenmark wurde die Zyste über den Bohrkanal vollständig aufgefüllt.

Bei den SKZ im Strahlbein (Abb. 9-11) wurde der Zugang nach Anbringen einer Stichinzision in der Fesselbeuge manuell unter Verwendung der Trokarhülse und einem scharfen Trokar bis zum Erreichen der Zyste gelegt. Hierbei wurde neben dem subcutanen Bindegewebe auch die tiefe Beugesehne und die Bursa podotrochlearis perforiert. Das subcutane Gewebe wurde mit einer einfachen Sultan'schen Naht mit Polygalactin 911 (2/0 USP, Vicryl™, Ethicon, Johnson & Johnson Medical GmbH, Norderstedt, Deutschland) verschlossen. Die Naht der Haut erfolgte mit einfachen Knopflehten mit nicht-resorbierbarem Polyamid Faden (OUSP, Monosof™, Vétoquinol SA, Ravensburg, Deutschland). Zur Wundabdeckung wurde ein steriler Schutzverband angelegt. Bei den Pferden mit den SKZ im Strahlbein wurde zusätzlich ein Mittelfuß Scotchcast-Verband unter Einbeziehung des Hufes mit Trachtenerhöhung um ca. 12 mm angebracht. Alle Pferde erholten sich ohne Schwierigkeiten aus der Narkose, die Aufstehphasen verliefen problemlos. Die Pferde wurden über fünf Tage

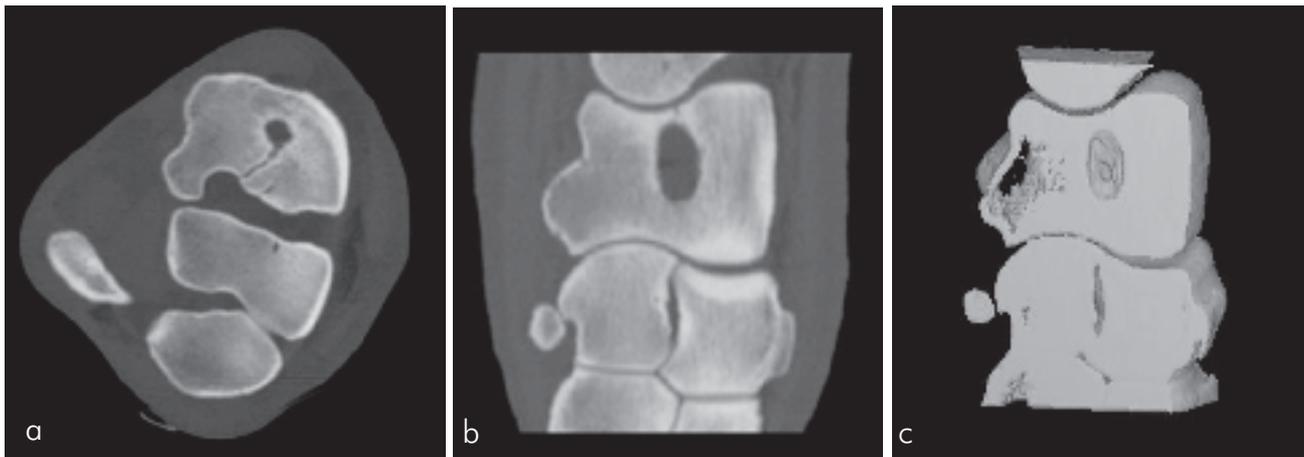


Abb. 2 SKZ im Os carpi radiale / Carpalgelenk. a. CT Querschnitt, b. MPR-Rekonstruktion (Längsschnitt), c. 3D Darstellung der SKZ; der feine Verbindungskanal zum Carpalgelenk ist zu erkennen.
 SCL in the Os carpi radiale / carpal joint; a. cross section, b. MPR - reconstruction (longitudinal plane), c. 3D image of the SCL; the fine connection canal to the carpal joint is to detect.

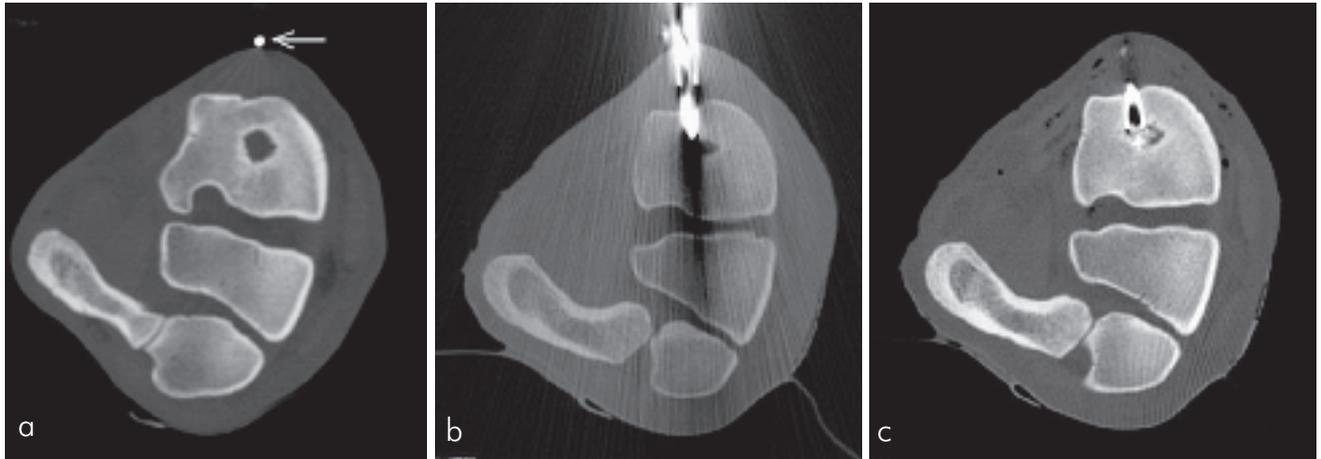


Abb. 3 SKZ Os carpi radiale / Carpalgelenk. Computertomographischer Querschnitt. OP-Verlauf. a: Bestimmung des Zugangs mit röntgendichtem Marker (Pfeil); b: Bohrung; c: Füllung durch die Trokarhülse.
SCL Os carpi radiale / carpal joint; Computertomographical cross section. Surgery process. a: Determination of the approach with radiopaque makers (arrow); b: drilling; c: filling through the trocars cannula.

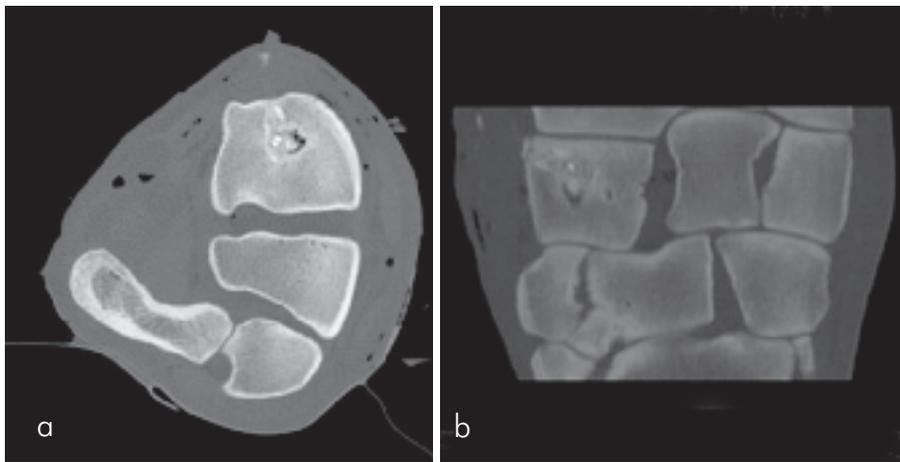


Abb. 4 SKZ Os carpi radiale / Carpalgelenk: OP-Ergebnis. a: Computertomographischer Querschnitt: gefüllte Zyste und Bohrkavität, b: MPR-Rekonstruktion (Längsschnitt).
SCL Os carpi radiale / carpal joint; surgery result. a: Computertomographical cross section: Filled cyst and drill hole, b: MPR-reconstruction (longitudinal image).



Abb. 5 SKZ Os carpi radiale / Carpalgelenk: Röntgenbild OP-Ergebnis in 0° Darstellung.
SCL Os carpi radiale / carpal joint; radiographical image surgery result in 0° view.



Abb. 6 SKZ MC III / Fesselgelenk: Röntgenbild vor OP in 0° Darstellung
SCL MC III / fetlock joint: radiographical image before surgery in 0° view.

post OP Penicillin-Streptomycin (Streptocombin: 5 ml/100 Kg KGW i.m.; Albrecht GmbH, Aulendorf, Deutschland) und den Patienten Nr. 1, 3, 4, 6, 7 Meloxicam ebenfalls über 5 Tage per os (Metacam: 0,6 mg/KGW oral, Boehringer Ingelheim Vetmedica GmbH, Ingelheim, Deutschland) verabreicht. Die Verbände wurden nach Bedarf gewechselt.

Resultate

Eine erfolgreiche CT-gesteuerte Aufbohrung und Auffüllung der subchondralen Knochenzysten im Os carpi radiale mit Verbindung zum Carpalgelenk, im distalen Os metacarpale III und proximalen Fesselbein mit Verbindung zum Fesselgelenk, im proximalen Kronbein mit Verbindung zum Kron- und im Strahlbein mit Verbindung zur Bursa podotrochlearis konnte ohne Komplikationen durchgeführt werden. Die Auswertung der Kontrollaufnahmen zeigt eine exakte Positionierung des Bohrers bzw. der Trokarhülle im Zentrum der SKZ. Abschließende Kontrollscans und postoperative Röntgenaufnahmen bestätigen eine erfolgreiche Auffüllung der Zystenhöhle.

12 Tage nach der Operation wurden in allen Fällen die Fäden gezogen. Zu diesem Zeitpunkt waren die Patienten Nr. 1, 3, 4, 6, 7 im Schritt lahmheitsfrei. Die Pferde Nr. 4 und Nr. 6 wurden 14 Tage post OP aus der Klinik entlassen. Die Besitzer erhielten folgende Anweisung: 30 Tage Boxenruhe mit 5 Minuten Schritt führen an der Hand auf ebenem, weichem Untergrund (Reithalle) pro Tag, danach Steigerung der Schrittführzeit auf zweimal 10 Minuten täglich. Die Patienten Nr. 1, 3, 7 verblieben, aufgrund der sehr weiten Entfernung zu ihren Heimatställen, in stationärer Betreuung und erhielten ein Rehabilitations- und Aufbauprogramm im klinkeigenen Aquatrainer. Nach ca. 3 Monaten post OP waren die Pferde Nr. 1, 3, 4, 7 im Schritt und Trab an der Hand auf ebenem, hartem und weichem Untergrund lahmheitsfrei. Patient Nr. 6 zeigte im Schritt keine Lahmheit mehr, im Trab war zu diesem Zeitpunkt noch eine leichte Lahmheit (I/V) zu sehen.

Den Patienten Nr. 2 und Nr. 5 wurde der Scotchcast-Verband am 10. Tag post OP abgenommen und durch einen Mittelfußverband ersetzt. Diese Pferde waren in den ersten Tagen post OP deutlich schmerzhafter an der operierten Gliedmaße

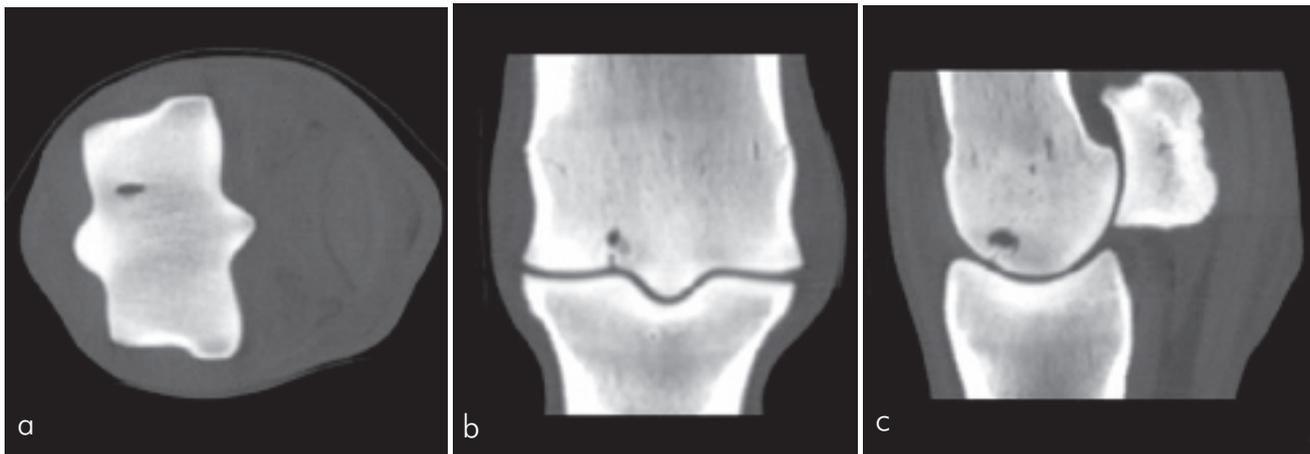


Abb. 7 SKZ MC III / Fesselgelenk: CT Befund vor OP: a: CT-Querschnitt; b, c: MPR-Rekonstruktion (Längsschnitt). Der Verbindungskanal zum Fesselgelenk ist zu erkennen.

SCL MC III / fetlock joint: CT findings before surgery, a: CT cross section; b, c: MPR reconstruction (longitudinal image). The connection canal to the fetlock joint is detected.

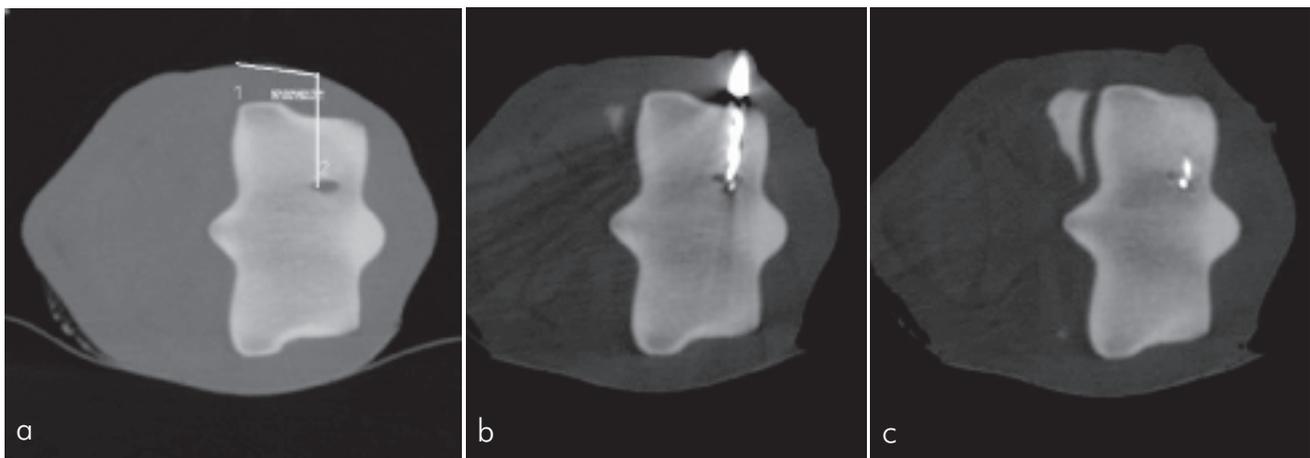


Abb. 8 SKZ MC III / Fesselgelenk: Computertomographischer Querschnitt: a: Festlegen von Bohrwinkel, Eintritts- und Zielpunkt mittels CT-Datensatz; die Distanz 2 markiert die Strecke von der Hautoberfläche bis zum Zentrum der SKZ, die Distanz 1 markiert die Strecke auf der Hautoberfläche zum höchsten Punkt. b, Bohrung, c Füllung.

SCL MC III / fetlock joint: Computertomographical cross section. a. determination of the drilling angle, point of entry and aim with the CT – data record; the distance 2 marks the distance from the skin surface to the centre of the SCL, the distance 1 marks the distance on the skin surface to the highest point. b, drilling, c. filling.

(Lahmheit IV/V im Schritt) als die anderen Patienten. Deshalb erhielten sie über einen längeren Zeitraum (21 Tage) Meloxicam per os. In dieser Zeit verringerte sich der Lahmheitsgrad von stetig. Beide Patienten verblieben in stationärer Obhut und erhielten ebenfalls ein dosiertes Bewegungsprogramm im Aquatrainier. Zusätzlich wurde beiden Pferden nach zwei, vier

und sechs Wochen post OP das Hufgelenk mit 3,5 ml IRAP Blutserum und die Bursa podotrochlearis mit 1,5 ml IRAP Blutserum (Orthogen veterinary GmbH, Düsseldorf, Germany) lokal behandelt. Drei Monate post OP waren beide Pferde im Schritt lahmheitsfrei, im Trab zeigten sie noch eine leichte Lahmheit (I-II/V).

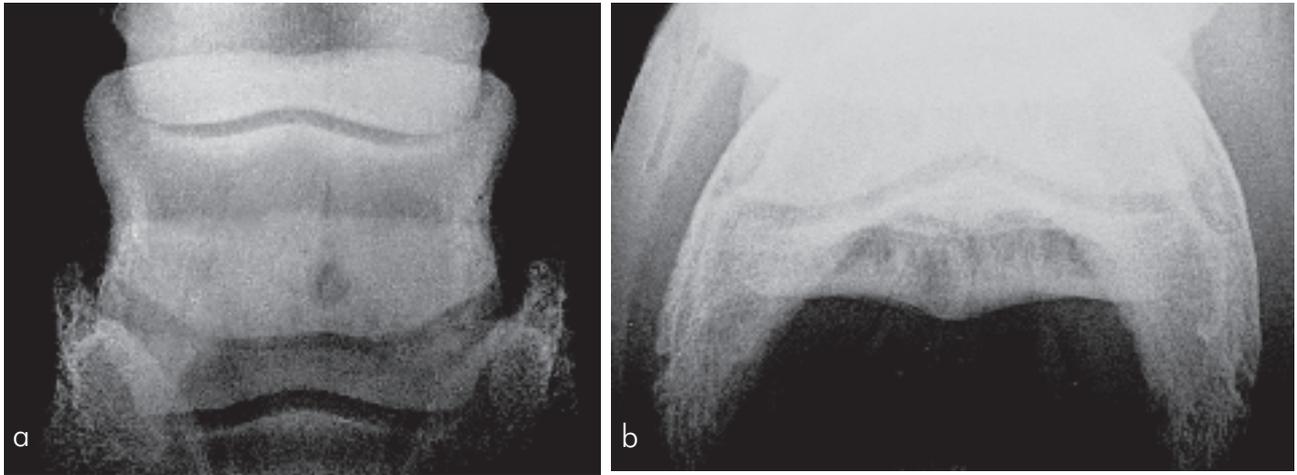


Abb. 9 SKZ Strahlbein: Röntgenbefund vor OP. a: Oxspringaufnahme, b: Tangentiale Aufnahme / *SCL navicular bone: radiographical findings before surgery. a: dorsoproximal-palmarodistal oblique view, b: palmaroproximal-palmarodistal oblique view.*

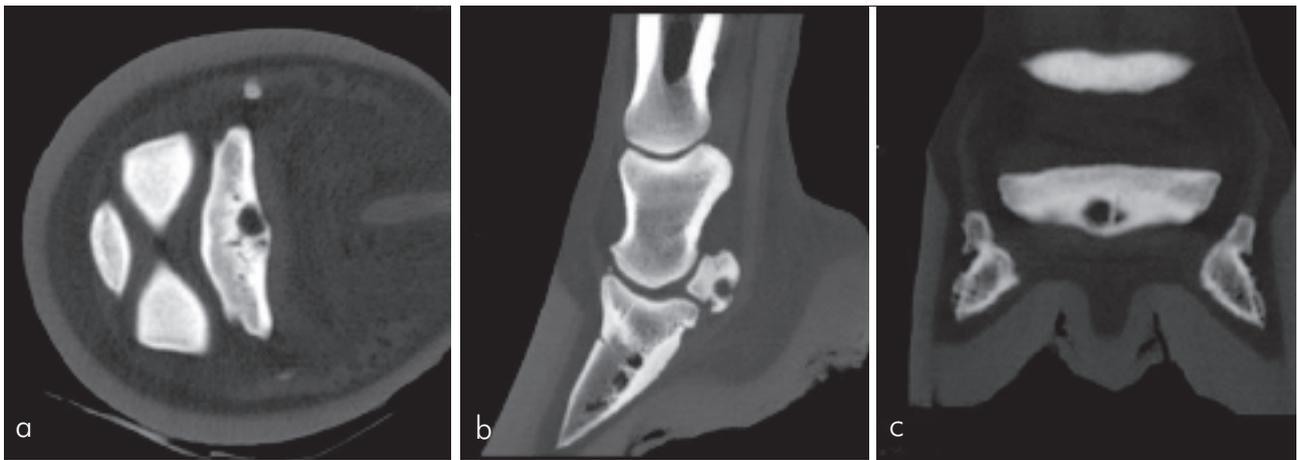


Abb. 10 SKZ Strahlbein, Verschattung am processus extensorius des Hufbeins: CT-Befund vor OP. a: CT-Querschnitt, b, c: MPR-Rekonstruktion (Längsschnitt). *SCL navicular bone, Radiopaque body proximal to the extensor process of the distal phalanx CT findings before surgery, CT cross section; b, c: MPR reconstruction (longitudinal image).*

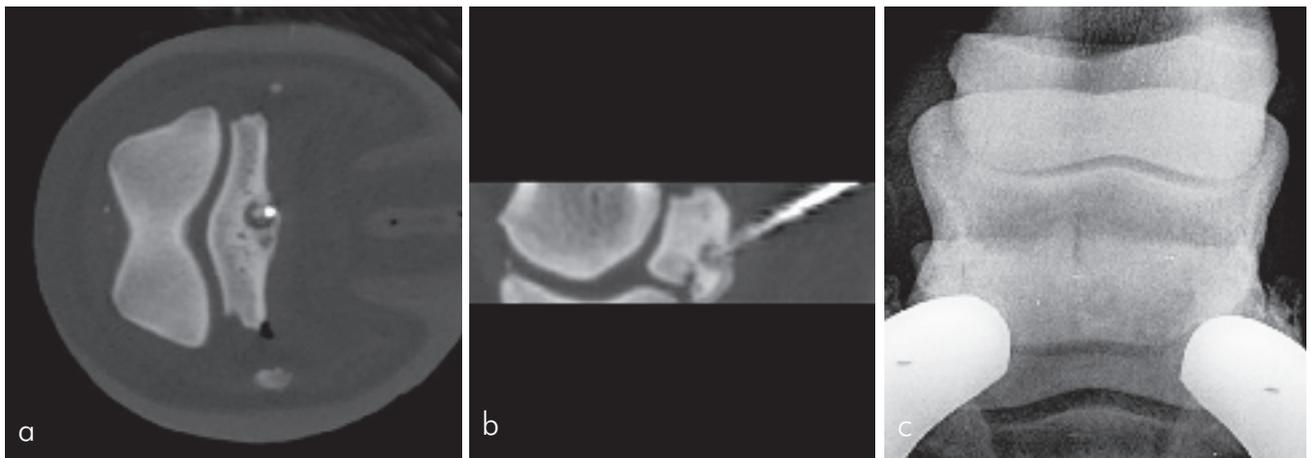


Abb. 11 SKZ Strahlbein: OP Verlauf. a: Computertomographischer Querschnitt (Pfeil: in der Zyste liegende Trokarhülzenspitze), b: MPR-Rekonstruktion (Längsschnitt), c: Röntgenbefund nach OP (Oxspring-Aufnahme) *SCL navicular bone: Surgery process. a: Computertomographical cross section (Arrow: tip of the trocar cannula inside the cyst), b: MPR reconstruction (longitudinal image), c: radiographical findings after surgery (dorsoproximal-palmarodistal oblique view).*

Diskussion

Intraartikuläre Operationstechniken von SKZ beim Pferd beinhalten meist ein Debridement des chondralen Anteils und der Zystenhöhle kombiniert mit Spülung und Injektion oder Füllung mit verschiedenen Substanzen oder Materialien (Sherlock und Mair 2011). Die Problematik der arthroskopischen Behandlung ist häufig durch die schwierige Erreichbarkeit der zystischen Läsionen (van Duyn 1996, Auer und von Rechenberg 2012) gegeben, da sie sich meist unter den gewichtstragenden Knochen im Zentrum der Gelenke befinden (McIlwraith 1982, von Rechenberg et al. 1998). Sind die subchondralen Knochenzysten zum Gelenk hin mit vitalem Gelenknorpel überdeckt, muss dieser für den intraartikulären Zugang zur Zyste entfernt werden (Nixon 2008).

Aufgrund dieser Probleme werden von einigen Autoren mittlerweile transosseäre, extraartikuläre Operationstechniken favorisiert (Bertone et al. 1986, Fürst et al. 1997, Fürst 2007, Mettenleiter 2014). Diese Verfahren der exakten Aufbohrung von SKZ in direkter Gelenknähe ohne Perforation des Gelenknorpels sind aber technisch anspruchsvoll und Fehlbohrungen sind auch trotz röntgenologischer Kontrollen in verschiedenen Ebenen oder mithilfe herkömmlicher Röntgenbildverstärker nicht immer zu vermeiden (Fürst et al. 1997). Falsche Bohrversuche können zur Schädigung der Gelenkfläche oder zur Schwächung des angebohrten Knochens führen, was wiederum ein erhöhtes Frakturrisiko in der postoperativen Aufstehphase in sich birgt (Bertone et al. 1986). Die Möglichkeit der intraoperativen dreidimensionalen Bildgebung mit modernen Computertomographen oder computerunterstützten 3D-Bildverstärkern vermindern dieses Risiko erheblich (Grönemeyer und Seibel 1989).

In Anlehnung an die Arbeiten aus der Humanmedizin werden nunmehr ebenfalls beim Pferd direkt im CT-Raum Operationen durchgeführt. Voraussetzung hierfür ist, dass genug Platz für den Operateur und das OP-Equipment sowohl hinter der Gantry als auch zwischen der Gantry und dem Pferdelageungstisch vorhanden ist. So werden Operationen an der Zehenspitze des Pferdes hinter der Gantry operiert, wobei der Patientenlagerungstisch dann weit in die Gantry vorgefahren wird, andererseits werden Operationen proximal des Fesselgelenkes vor der Gantry operiert. Da die jeweilige Extremität des Pferdes auf einem Polster gelagert fest mittels Klettgurten an der Humanpatientenliege fixiert wird, kann das Operationsgebiet steril vorbereitet und abgedeckt werden. Bei den genannten Fallbeispielen traten in keinem Fall Probleme mit der sterilen Abdeckung und einer sterilen Durchführung der Operationen auf. Die große Gantryöffnung ermöglicht einen ununterbrochenen Untersuchungs- und Operationsablauf. Im Gegensatz zu herkömmlichen intraoperativen Bildgebungsverfahren entfällt das umständliche Handling der sterilen Verpackung von nicht sterilisierbaren Röntgendektoren oder Röntgenkassetten und deren Entwicklung in einem anderen Raum oder die Platzierung eines mobilen C-Bogens. In der Arbeit von Perrin et al. (2011) wird von einem erhöhten Narkosezeit- aufwand und von einer hohen Strahlenexposition für den Operateur gesprochen. Im angegebenen Untersuchungs- und Operationsaufbau kann die Operationszeit kurz gehalten werden. Pro CT-Scan erhält man in kürzester Zeit eine Vielzahl an Information über die aktuelle OP-Situation. Die Anfertigung

präoperativer Koordinationsscans mit exakter Längen-, Volumen-, Winkel- und Dichtemessung, intraoperativer Kontrollscans und abschließender Ergebnisscans sind ohne Umlagerung oder manuelle Manipulation am Patienten in einer Narkose möglich. Die Querschnittsbilder erscheinen sofort nach dem Scan auf dem Monitor und die Rekonstruktionen (MPR oder 3D) werden in wenigen Sekunden automatisch errechnet. Eine erhöhte Strahlenbelastung für den Operateur besteht nicht, kann er sich doch bei jedem CT Scan hinter eine strahlenundurchlässige Bleischutzwand zurückziehen.

Ein Aspekt der minimalinvasiven, transosseären Versorgung von SKZ besteht in der Erhaltung des vitalen Gelenknorpels. Dies ist ein wichtiger Bestandteil für den erfolgreichen Ausgang einer operativen Versorgung von subchondralen Defekten (Wiewiorski et al. 2009b, Jackson et al. 2012). Unter Umständen ist der schlechtere Erfolg bei der Versorgung von SKZ bei älteren Pferden (Howard et al. 1995, Smith et al. 2005, Fürst et al. 2007, Nixon 2008, Auer und von Rechenberg 2012, Jackson et al. 2012) in der Tatsache begründet, dass diese Zysten in der Folge eines Gelenktraumas entstanden sind. Solche SKZ sind häufig mit feinen Rissen im Gelenknorpel und subchondralen Fissuren vergesellschaftet, welche dann zur Instabilität des betroffenen Knochens führen (Del Chicca et al. 2008). Diese können aber oft nicht mittels konventioneller Röntgentechnik oder Fluoroskopie erkannt werden (Martens et al. 1999, Kümmerle et al. 2008, Mettenleiter, 2014). Die exzellente Darstellung knöcherner Strukturen mittels CT ermöglicht präoperativ eine einfache und exakte Identifikation dieser feinen Knochenläsionen und ermöglicht die Auswahl geeigneter Operationsmethoden und Materialien zu ihrer operativen Versorgung (Wiewiorski et al. 2009b, Fürst 2014).

Die Anwendung der interventionellen Computertomographie zeigt sich bei der beschriebenen Indikation als sichere und effiziente Methode. Dem erhöhten technischen Aufwand stehen die Vorteile einer genaueren präoperativen Diagnostik, eines präzisen Bohrvorgangs, einer sicheren Kontrolle des Operationsverlaufes und Operationsergebnisses und dadurch einer kurzen Operationszeit gegenüber. Das gezeigte Operationsergebnis kann als zufriedenstellend bezeichnet werden.

Das Ziel dieser Studie war der Nachweis der Anwendbarkeit einer neuen operativen Methode beim Pferd in klinischer Umgebung. Weitere Studien müssen die postoperativen klinischen und radiologischen Verlaufsergebnisse, die Eingriffsdauer und die Anwendbarkeit für andere Indikationen im Vergleich zu herkömmlichen Operationsmethoden untersuchen.

Literatur

- Andritzky J., Rossol M., Lischer C., Auer J. A. (2005) Comparison of computer assisted surgery with conventional technique for the treatment of axial distal phalanx fractures in horses: an in vitro study. *Vet. Surg.* 34, 120-127
- Auer J. A. (2012) Computer assisted surgery. In: Auer, J.A. and Stick J.A. (Hrsg.) *Equine surgery*, 4. Edition, Elsevier, Saunders, St. Louis, Missouri, pp. 158-161
- Auer J. A., von Rechenberg (2012) Subchondral bone cysts. In: Auer, J.A. and Stick J.A. (Hrsg.) *Equine surgery*, 4. Edition, Elsevier, Saunders, St. Louis, Missouri, pp. 1255-1263

- Barnes H. G., Tucker R. L., Grant D., Roberts G. D., Prades M. (1995) Lag screw stabilization of a cervical vertebral fracture by use of computed tomography in a horse. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 206, 221-223
- Barrett M. F., Zubrod C. J. (2008) Use of magnetic resonance imaging and direct therapy of an osseous cystic lesion at the solear surface of the third phalanx of a horse. *Equine vet. Educ.* 20, 19-23
- Baxter G. M. (1996) Subchondral cystic lesions in the horse. In: *Joint Disease in the Horse*. McIlwraith C.W., Trotter G.W. (Hrsg.), W B. Saunders, Philadelphia, pp. 384-397
- Baxter G.M., Kawcak C.E. (2008) Arthroscopic injection of corticosteroids into the fibrous tissue of subchondral cystic lesions of the medial femoral condyle in horses: A retrospective study of 52 cases (2001-2006). *Equine Vet. J.* 40, 461-467
- Bertone A. L., McIlwraith C. W., Powers B. E., Stashak T. S., Aanes W. A., Turner A. S. (1986) Subchondral osseous cystic lesions of the elbow of horses: conservative versus surgical treatment. *J Am Vet Med Assoc.* 189, 540-546
- Bienert A., Stadler P. (2006) Computertomographische Untersuchung am Bewegungsapparat des Pferdes – eine Übersicht. *Pferdeheilkunde* 22, 218-226
- Bodo G., Hangody L., Modis L., Hurtig M. (2004) Autologues osteochondral grafting (Mosaic arthroplasty) for treatment of subchondral cystic lesions in the equine stifle and fetlock joints. *Vet. Surg.* 33, 588-596
- Bramlage L. R. (1993) Osteochondrosis-related bone cysts. *Proc. AM. Ass. Equine Practns.* 39, 83-85
- Butler J., Colles C., Dyson S., Kold S., Poulos P. (2000) The foot, pastern and fetlock. In: *Clinical Radiology of the horse*, 2. Auflage, Blackwell Scientific, Oxford, pp. 27-130
- Conti S. F., Taranow W. F. (1996) Transtalar retrograde drilling of medial osteochondral lesions of the talar dome. *Oper. Tech. Orthop.* 167, 226-230
- Crijns C. P., Gielen I. M. V. L., van Bree H. J. J., Bergman E. H. J. (2010) The use of CT and CT arthrography in diagnosing equine stifle injury in a Rheinländer gelding. *Equine vet. J.* 42, 367-371
- Del Chicca F., Kummerle J. M., Ossent P., Nitzl D., Fürst A., Ohlerth S. (2008) Use of computed tomography to evaluate a fracture associated with a subchondral pedal bone cyst in a horse. *Equine vet Educ.* 20, 515-519
- Desbrosse F. G., Vandeweerd J.-M. E. F., Perrin R. A. R., Clegg P. D., Launois M. T., Brogniez L., Gehin S. P. (2008) A technique for computed tomography of the foot in the standing horse. *Equine vet. Educ.* 20, 93-98
- Fink C., Rosenberger R. E., Bale R. J., Rieger M., Hackl W., Benedetto K. P., Künzel K.-H., Hoser C. (2001) Computerassistierte retrograde Bohrung osteochondraler Läsionen am Talus. *Der Orthopäde* 30, 59-65
- Fortier L. A., Nixon A. J. (2005) New surgical treatments for osteochondritis dissecans and subchondral bone cysts. *Vet Clin Equine* 21, 673-690
- Fürst A., Kaegi B., v. Rechenberg B., Auer J. (1997) Die Behandlung von 5 Pferden mit subchondralen zystoiden Defekten im Fesselbein. *Pferdeheilkunde* 3, 147-161
- Fürst A. (2007) Subchondrale Knochenzysten oder zystoide Defekte im Hufbein. *Proc.10. Kongress für Pferdemedizin und -chirurgie*, Genf, 185-188
- Fürst A., Derungs S., von Rechenberg B., Auer J. A., Schense J., Watson J. (2007) Use of a parathyroid hormone (PTH1-34) enriched hydrogel for the treatment of a subchondral cystic lesion in the proximal interphalangeal joint of a warmblood filly. A case report. *J of the American Vet. Med. Assoc.* 54, 107-112
- Fürst A. (2014) persönliche Mitteilung
- Garg N. K., Carty H., Walsh H. P. J., Dorgan J. C., Bruce C. E. (2000) Percutaneous ethibolic injection in aneurysmal bone cysts. *Skeletal Radiol* 29, 211-216
- Grönemeyer D. H. W., Seibel R. M. M. (1989) *Interventionelle Computertomographie*. Ueberreuter Wissenschaft, Wien, Berlin.
- Gygax D., Lischer C., Auer J. A. (2006) Computer-assisted surgery for screw insertion into the distal sesamoid bone in horses: An in vitro study. *Vet. Surg.* 35, 626-633
- Heidbrink U. H., Sader R. (2001) Surgical therapy of bone cysts with osteoconductive and osteoinductive bone substitutes. *Vet. Surg.* 30, 300
- Howard R. D., McIlwraith C. W., Trotter G. W. (1995) Subchondral Cystic Lesions of the Medial Femoral Condyle: Results of Arthroscopic Surgery in 41 Horses. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 206, 842-850
- Huch K., Röderer G., Ulmar B., Reichel H. (2007) CT-guided interventions in orthopedics. *Arch. Orthop. Trauma. Surg.* 127, 677-683
- Jackson W. A., Stick J. A., Amoczky S. P., Nickels F. A. (2000) The effect of compacted cancellous bone grafting on the healing of subchondral bone defects of the medial femoral condyle in horses. *Vet. Surg.* 29, 8-16
- Jackson M., Fricker C., Kummerle J., Fürst A. (2008) Die Behandlung von subchondralen zystoiden Defekten beim Pferd mit Benzopyron: eine retrospektive Analyse. *Wien. Tierärztl. Mschr.* 95, 158-165
- Jackson M. A., Ohlerth S., Kummer M., Bettschart R., Watson J., Manera C. L., von Rechenberg B., Auer J., Fürst A. (2012) Use of a parathyroid hormone Peptide (PTH 1-34)-enriched fibrin hydrogel for the treatment of subchondral cystic lesions in 15 horses. *Pferdeheilkunde* 28, 642-650
- Janicek J. C., Cook J. L., Wilson D. A., Ketzner K. M. (2010) Multiple osteochondral autografts for treatment of a medial trochlear ridge subchondral cystic lesion in the equine tarsus. *Vet. Surg.* 39, 95-100
- Kendoff D., Geerling J., Mahlke L., Citak M., Kfuri Jr. M., Hüfner T., Krettek C. (2003) Navigierte Iso-C 3D-basierte Anbohrung einer osteochondralen Läsion des Talus. *Unfallchirurg.* 106, 963-967
- Kold S. E., Hickman J. (1983) Use of an autogenous cancellous bone graft in the treatment of subchondral bone cysts in the medial femoral condyle of the horse. *Eq. Vet. J.* 15, 312-316
- Kono M., Takao M., Naito K., Uchio Y., Ochi M. (2006) Retrograde drilling for osteochondral lesions of the talar dome. *American J. Sports Medicine* 34, 1449-1456
- Kraus K. H., Kirker-Head C. (2006) Mesenchymal stem cells and bone regeneration. *Veterinary surgery* 35, 232-242
- Kummerle J. M., Auer J. A., Rademacher N., Lischer C., Bettschart-Wolfensberger R., Fürst A. (2008) Short incomplete fractures of the proximal phalanx in ten horses not used for racing. *Vet. Surg.* 37, 193-200
- MacDonald M. H., Galuppo L. D., Puchalsky S. M. (2009) Assessment of the utility of preoperative computed tomography in surgical planning for the equine distal extremity. *Proc. of ACVS Congress*
- Mair T. S., Sherlock C. E. (2008) Osseous cyst-like lesions in the feet of lame horses: Diagnosis by standing low-field magnetic resonance imaging. *Equine vet. Educ.* 20, 47-56
- Martens P., Ihler C. F., Rennesund J. (1999) Detection of a radiographically occult fracture of the lateral palmar process of the distal phalanx in a horse using computed tomography. *Vet. Radiol. Ultrasound* 40, 346-349
- McIlwraith C. W. (1982) Subchondral Cystic Lesions (Osteochondrosis) in the Horse. *Comp Cont Ed.* 4, 94-104
- McIlwraith C. W. (1998) Subchondral bone cysts in the horse: aetiology, diagnosis and treatment options. *Equine vet. Educ.* 10, 313-317
- McIlwraith C. W. (2010) Management of subchondral cystic lesions of medial femoral condyle – an evolution based on research and clinical evidence. *Pferdeheilkunde* 4, 591-597
- Mettenleiter E., Köster A. (2012) *Interventionelle Computertomographie: CT-gesteuerte Operationen und Behandlungen beim Pferd*. Proc. 22. Arbeitstagung der DVG-Fachgruppe Pferdekrankheiten, Hannover, 63
- Mettenleiter E. (2014) Die Behandlung von drei adulten Pferden mit subchondralen Knochenzysten am Ellenbogen: Computertomographische Diagnostik und transkortikale Füllung mit Knochenzement. *Pferdeheilkunde* 3, 283-290
- Nixon A. J. (2002) Arthroscopic technique for cartilage repair. *Equine pract.* 1, 257-269
- Nixon A. J. (2008) New treatment options for subchondral bone cystic lesions. *Proc. vet. europ. equine Meeting, Lido di venezia*, 2008, 163-165
- Nordenström B. (1967) Paraxiphoid approach to the mediastinum for mediastinography and mediastinal needle biopsy. A preliminary report. *Invest. Radiol.* 2, 141

- Ortved K., Greenberg M. J., Fortier L. A.* (2009) Treatment of subchondral bone cysts of the medial femoral condyle in mature horses using chondrocyte implantation: A retrospective study of 43 cases. *Proc Am Coll Vet Surg Vet Symp* 44, E41
- Perrin R., Launois T., Brogniez L., Desbrosse F., Coomer R., Clegg P., Reda A., Gehin S., Vandeweerd J. M.* (2010) Computed tomography to identify pre-operative guidelines for internal fixation of the distal sesamoid bone: An in vitro study. *Vet. Surg.* 39, 1030-1036
- Perrin R. A. P., Launois M. T., Brogniez L., Clegg P. D., Coomer R. P. C., Desbrosse F. G., Vandeweerd J. M. E.* (2011) The use of computed tomography to assist orthopaedic surgery in 86 horses (2002-2010): *Equine vet. Educ.* 23, 306-313
- Petterson P. R., Bowman K. F.* (1988) Computed tomographic anatomy of the distal extremity of the horse. *Vet. Radiol. Ultrasound* 29, 147-156
- Pettersson H., Sevelius F.* (1966) Subchondral bone cysts in the horse. A clinical study. *Equine vet. J.* 1, 75-80
- Petterson H., Reiland S.* (1969) Periarticular subchondral bone cysts in horses. *J Clin Orth Res*, 62, 95-103.
- Pitton M. B., Herber S., Koch U., Oberholzer K., Drees P., Düber C.* (2008) CT-guided vertebroplasty: analysis of technical results, extraosseous cement leakages and complications in 500 procedures. *Eur Radiol* 18, 2568-2578.
- Rijkenhuizen A. B. M., van den Top G. B., van den Belt A. J.* (2005) The role of computed tomography in the surgical management of cystic lesions. *Pferdeheilkunde* 21, 317-321
- Rose P. L., Seherman H., O'Callaghan M.* (1997) Computed tomographic evaluation of comminuted middle phalangeal fractures in the horse. *Vet. Radiol. Ultrasound* 38, 424-429
- Rossol M., Gyax D., Andritzky-Waas J., Zheng G., Lischer C. J., Zhang X., Auer J. A.* (2008) Comparison of computer assisted surgery with conventional technique for treatment of abaxial distal phalanx fractures in horses: An in vitro study. *Vet. Surg.* 37, 32-42
- Schwarz T., Puchalski S.* (2012) Interventional CT in equines. In Schwarz T. and Saunders J., *Veterinary Computed Tomography*. Wiley-Blackwell, p. 87
- Sherlock C., Mair T.* (2011) Osseous cyst-like lesions/subchondral bone cysts of the phalanges. *Equine vet. Educ.*, 23, 191-204
- Smith M. R. W., Crow O. C., Ellson C., Turner S. J., Patterson-Kane J. C., Schramme M. C., Smith R. K. W.* (2005) Surgical treatment of osseous cyst-like lesions in the distal phalanx arising from collateral ligament insertional injury. *Equine Vet. Educ.* 17, 739-744
- Story M. R., Bramlage L. R.* (2004) Arthroscopic debridement of subchondral bone cysts in the distal phalanx of 11 horses (1994-2000). *Equine vet J* 36, 356-360
- Stowater J. L., Kirker-Head, C. A., Jankowski R. M.* (1986) Osteochondrosis in the Lateral Femoral Condyles of a Horse. *Vet. Radiol.* 27, 115-117
- Tietje S.* (1996) Zur Bedeutung der Computertomographie beim Pferd. Teil 1: Erkrankungen an Kopf und Hals. *Der praktische Tierarzt* 77, 1090-1098
- Toth J., Hollerrieder J.* (2013) Erfahrungen mit der retrobulbären Anästhesie bei Augenoperationen am stehenden Pferd. *Pferdeheilkunde* 29, 21-26
- Trotter G. W., McIlwraith C. W.* (1981) Osteochondritis dissecans and subchondral cystic lesions and their relationship to osteochondrosis in the horse. *Equine Vet. Sci.* 5, 157-162
- Uhlendorf F., Müller J.-M. V., Winter J. C., Feige K.* (2011) Therapie des idiopathischen Headshaking durch Injektion von Glycol in das Ganglion trigeminale bei einer 5-jährigen Warmblutstute. *Pferdeheilkunde* 27, 568-588
- Vandekybus L., Desbrosse F., Perrin R.* (1999) Intralesional long acting corticosteroids as treatment for subchondral bone cystic lesions in horses. A retrospective study of 22 cases. *Proc. of the 8th annual scientific meeting of ECVS*, Brugge, 33-35
- Vandeweerd J. M. E., Perrin R., Launois T., Brogniez L., Clegg P. D., Desbrosse F. G.* (2009) Use of computed tomography in standing position to identify guidelines for screw insertion in the distal phalanx of horses: an ex vivo study. *Vet surg.* 38, 373-379
- Van Duin Y., Hurtig M. B.* (1996) Subchondral bone cysts in the distal aspect of the tibia of three horses. *Can Vet J* 37, 429-431
- Verschooten F., DeMoor A.* (1982) Subchondral cystic and related lesions affecting the equine pedal bone and stifle. *Equine vet. J.* 14, 47-54.
- Von Rechenberg B., McIlwraith C. W., Auer J. A.* (1998) Cystic bone lesions in horses and humans: a comparative review. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.* 11, 8-18
- Wallis T. W., Goodrich L. R., McIlwraith C. W., Frisbie D. D., Hendrikson D. A., Trotter G. W., Baxter G. M., Kawcak C. E.* (2008) Arthroscopic injection of corticosteroids into the fibrous tissue of subchondral cystic lesions of the medial femoral condyle in horses: A retrospective study of 52 cases (2001-2006). *Equine Vet. J.* 40, 461-467
- Waselau M., Bertone A. L., Green E. M.* (2006) Computed tomographic documentation of a comminuted fourth carpal bone fracture associated with carpal instability treated by partial carpal arthrodesis in a Arabian filly. *Vet. Surg.* 35, 618-625.
- White N. A., McIlwraith C. W., Allen D.* (1988) Curettage of subchondral bone cysts in medial femoral condyles of horses. *Equine Vet. J. Suppl* 6, 120-124
- Wiewiorski M., Jacob A. L., Rasmus M., Buettner O., Leumann A., Kretschmar M., Rasch H., Markus T., Dziergwa S., Bilecen D., Valderrabano V.* (2009a) CT-gesteuerte roboter-assistierte retrograde Anbohrung osteochondraler Läsionen des oberen Sprunggelenks. *Sport Ortho Trauma* 25, 280-285
- Wiewiorski M., Valderrabano V., Kretschmar M., Rasch H., Markus T., Dziergwa S., Kos S., Bilecen D., Jakob A. L.* (2009b). CT-guided robotically-assisted infiltration of foot and ankle joints. *Minim. Invas Therapy*, 18, 1-7
- Wolter D., Ratusinski C.* (1985) Das extraartikuläre, fächerförmige Aufbohren der Patellaspongiosa bei der Chondropathia patellae. *Unfallchirurg* 88, 425-431
- Zierz J., Schad D., Heeb D., Giersemehl K.* (2000) Chirurgische Möglichkeiten zur Versorgung von Strahlbeinzysten sowie Strukturdefekten im Strahlbein. *Pferdeheilkunde* 16, 171-176

Erklärung zum Ausschluss von Interessenkonflikten

Der Autor bestätigt, hinsichtlich der in diesem Beitrag erwähnten Medikamente oder medizinisch-technischen Geräte keinerlei Interessenkonflikte zu unterliegen.