

Computertomographische Untersuchungen am Bewegungsapparat des Pferdes – Eine Übersicht

Astrid Bienert und Peter Stadler

Klinik für Pferde, Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover

Zusammenfassung

Die Computertomographie (CT) 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. Auf dem Gebiet der Orthopädie wird die CT geschätzt, da sie überlagerungsfreie Schnittbilder und rekonstruierte dreidimensionale Aufnahmen erstellt, die die Bewertung von Lokalisation, Ausmaß und Charakter einer Erkrankung verbessern. In der folgenden Arbeit werden die wichtigsten Veröffentlichungen zur Computertomographie im Bereich des Bewegungsapparates des Pferdes aus den vergangenen 30 Jahren zusammengetragen.

Schlüsselwörter: Computertomographie, Orthopädie, Lahmheit, Diagnostik, Pferd

Computed tomographic examination of the locomotor apparatus of horses – a review

Today's computed tomography (CT) is a well established diagnostic tool in equine medicine. Due to today's high resolution, detailed images can be obtained especially of bony structures, and the quality of soft tissue images is steadily increasing. The advantages of computed tomography for the diagnosis of orthopedic patients lie in the production of non-overlapping image slices and the possibility of three-dimensional reconstruction. These improve the assessment of location, dimension and character of the disease process. In this paper we have compiled the major publications concerning computed tomography of the equine locomotor apparatus from the past 30 years.

Keywords: computed tomography, orthopedics, lameness, diagnostics, horse

Einleitung

Die erste Darstellung von überlagerungsfreien Schnittbildern in der Humanmedizin erfolgte im Jahr 1972 (Schmidt 1999). Die Scan- und Rekonstruktionszeiten betragen zu diesem Zeitpunkt etwa acht Minuten für jeden einzelnen Schnitt (Alexander et al. 1985). Anfangs galt die von Hounsfield entwickelte Computertomographie (CT) als Spezialverfahren in der Neuro-radiologie und wurde nur im Schädelbereich eingesetzt. Bald darauf wurden auch erste Weichteil-aufnahmen angefertigt (Alexander et al. 1985). Die Begeisterung über diese neuen, diagnostischen Möglichkeiten und der allgemeine Fortschritt in der Computertechnik erklären die rasante Weiterentwicklung der CT. 1974 wurden die ersten Ganzkörpercomputertomographen mit einem Öffnungsdurchmesser von mehr als 50 cm vorgestellt. Die Aufnahmedauer ließ sich in der folgenden Zeit bis auf eine Sekunde verkürzen (Schmidt 1999).

In der Veterinärmedizin war die Anwendung der CT anfangs auf Kleintiere und Primaten beschränkt. 1984 führte die Washington State University die CT in die Pferdeheilkunde ein (Barbee und Allen 1986). Bis zum heutigen Tag hat sie sich laut Barbee (1996) als allgemein anerkanntes, routinetaugliches und zuverlässiges Diagnostikverfahren mit hohem Aussagewert etabliert. Durch Abtastzeiten im Sekundenbereich, die Verringerung der Schichtdicken auf einen Millimeter und die verbesserte Auflösung durch eine größere Anzahl an Bildpunkten entstehen Bil-

der von hervorragender Qualität (Barbee et al. 1987a). Die CT wird in der Pferdemedizin vor allem zur Diagnostik von Zahn- und Sinuserkrankungen, sowie bei Erkrankungen des Bewegungsapparates und der ersten Halswirbel eingesetzt und ist indiziert, wenn andere diagnostische Verfahren keine befriedigende Darstellung der Veränderungen ermöglichen (Tietje 1996 und 1997 a). Die CT erlaubt eine exakte Beurteilung sowohl der knöchernen Strukturen der Gliedmaße (Abb. 1) als auch der umgebenden Weichteile (Abb. 2) im zwei- oder dreidimensionalen Bild (Dyson und Marks 2003).

In der folgenden Arbeit werden die wichtigsten computertomographischen Untersuchungen, Fallberichte und Studien aus den vergangenen zwanzig Jahren über den Bewegungsapparat des Pferdes zusammengetragen. Zusätzlich werden beispielhaft computertomographische Bilder, die mit dem humanmedizinischen System Tomoscan M/EG Compact (Fa. Philips Medical Systems, Hamburg) in der Klinik für Pferde der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover angefertigt wurden, abgebildet.

CT-Untersuchungen der normalanatomischen Verhältnisse an der Gliedmaße des Pferdes

Zunächst wurden die distalen Vordergliedmaßen von Pferden, die in diesem Bereich klinisch und röntgenologisch gesund

waren, computertomographisch untersucht (Abb. 3) und die resultierenden Bilder mit den dazugehörigen anatomischen Schnittpräparaten verglichen. Die Untersuchungsbefunde beider Verfahren stimmten miteinander überein und sollten die Interpretation computertomographischer Aufnahmen erkrankter Gliedmaßen erleichtern (Peterson und Bowman 1988).

Erste computertomographische Untersuchungen des Strahlbeins wurden von Hertsch et al. (1988) in Zusammenarbeit mit der Medizinischen Hochschule Hannover an Präparaten durchgeführt und mit weiteren diagnostischen Verfahren verglichen. Die computertomographischen Aufnahmen wiesen eine hohe Kontrastauflösung sowie eine ausgezeichnete Abbildung der Knochendichteunterschiede von spongiosen und sklerosierten Anteilen auf. Gegenüber den konventionellen Qxspring-Röntgenaufnahmen waren Struktur- und Konturaufklärung derzeit noch etwas geringer.

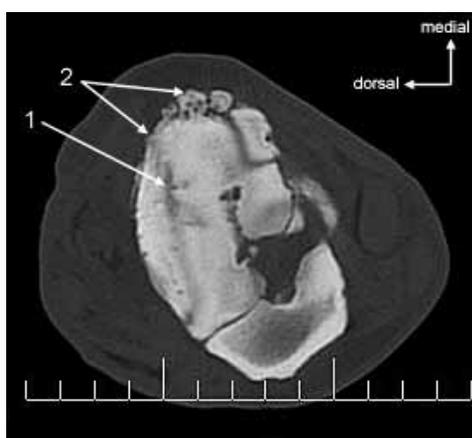


Abb 1 Transversales CT-Bild des Tarsus im Knochenmodus am Übergang vom proximalen Intertarsalgelenk zum Talus; intra- und periartikuläre arthrotische Veränderungen an Talus und Os tarsi centrale. 1 = intraartikuläre Aufhellungen mit unregelmäßiger Struktur. 2 = geringgradige Konturveränderungen dorsal und deutliche, unregelmäßige Verbreiterung der Kontur mit inhomogener Struktur medial am Talus.

Transverse CT image of tarsus at transition from the dorsal aspect of proximal intertarsal joint to the talus; intra- and periarticular arthrosis at talus and os tarsi centrale. 1 = intraarticular hypoechoic lesion with irregular borders. 2 = some irregularities at the dorsal aspect and severe irregular borders and inhomogeneous structure of the medial aspect of the talus.

Einige Jahre später wurden die normalanatomischen Verhältnisse im Bereich des Carpus mittels CT und MRI dargestellt und verglichen. Knochen, Sehnen und Bänder konnten mit der CT gut dargestellt werden. Es erfolgten Dichtemessungen einzelner Gewebe, wie z.B. von oberflächlicher und tiefer Beugesehne, für die unterschiedliche Durchschnittswerte von 115 bzw. 132 Hounsfield Units (HU) ermittelt werden konnten. Der Unterschied zum MRI lag in dessen besserem Weichgewebkontrast. Die CT lieferte hingegen gute Knochen- aber auch auswertbare Weichteilbilder (Kaser-Hotz et al. 1994).

Auch am Tarsus wurden die normalanatomischen Verhältnisse computertomographisch untersucht und in einzelnen Schnitten im Weichteil- und Knochenmodus dargestellt und ebenfalls dem anatomischen Präparat gegenübergestellt um so „CT-Referenzwerte“ zu ermitteln (Tomlison et al. 2003). Im Rahmen der Untersuchungen zur Kommunikation zwi-

schen Tarsometatarsal- und distalem Intertarsalgelenk mittels Kontrastmittelgaben wurden mit der CT die Transversalebene der Gelenke dargestellt (Kraus-Hansen et al. 1992). Die Ergebnisse (Kommunikation bei 31 %) lagen in Bereichen zwischen den stark differierenden Ergebnissen (zwischen 18 und 81 %) früherer Publikationen (Brown und Valko 1980, Sack und Orsini 1981, Rütther 1982).

Die tiefe Beugesehne (TBS) wurde vom distalen Abschnitt des Fesselgelenks bis zur Facies flexoria des Hufbeins computertomographisch mit Schnitten, die annähernd senkrecht zum Faserverlauf der TBS verliefen, untersucht (Abb. 4 a und b). Es bestand subjektiv eine gute Darstellbarkeit, die durch objektive Kriterien, wie Dichte-, Distanz- und Flächenmessungen untermauert wurde. Die mittlere Dichte der TBS lag bei 106,8 HU, die Tiefe bei 5,04 mm und die Breite bei 35,05 mm. Diese Werte waren reproduzierbar, so dass Schäden im Bereich



Abb 2 Computertomographischer Transversalschnitt einer Vordergliedmaße auf Höhe des Fesselbeins im Weichteilmodus; Darstellung der oberflächlichen (1) und tiefen (2) Beugesehne, sowie des geraden (3) und der schrägen (4) Sesambeinbänder. Pathologische Radioluzenz im medialen Bereich der tiefen Beugesehne (Pfeil).

Transverse CT slice of a frontlimb at level of the proximal phalanx; imaging of the superficial (A) and deep (B) digital flexor tendons as well as of the oblique (C) and straight (D) sesamoid ligaments. Hypoechoic area in the medial part of the deep digital flexor tendon (arrow).

der TBS nachgewiesen und objektiviert werden konnten. Die computertomographische Darstellbarkeit war lediglich im Bereich geringer Dichtedifferenzen zwischen TBS und umliegendem Gewebe, wie z.B. im Bereich der Sohlenbinde und der Kronbeinbeugerschenkel, eingeschränkt (Tietje et al. 2001).

Zusätzlich wurden densitometrische Messungen mit der CT für den Bereich der distalen Vordergliedmaße durchgeführt. Es konnte die mittlere Dichte verschiedener anatomischer unveränderter Strukturen in Hounsfield-Einheiten festgelegt werden. Dabei traten jedoch, vor allem im Bereich des Knochens, große Schwankungsbreiten auf, die keine sichere Unterscheidung physiologischer und pathologischer Zustände erlaubten. Dichtemessungen stellten somit lediglich bei hochgradigen Veränderungen eine zusätzliche diagnostische Maßnahme dar (Mäule 2002).

Nicht zuletzt wurde die Blutgefäßversorgung des distalen Anteils der klinisch gesunden Vordergliedmaße im CT

angiographisch dargestellt. Die so dargestellten Gefäße waren mit den in der anatomischen Literatur beschrieben und plastisch am Präparat dargestellten vergleichbar. Computertomographisch konnten auch kleinste Gefäße dargestellt werden. Die Autoren wiesen darauf hin, daß bei keinem der sechs untersuchten Pferde Komplikationen nach der Angiographie auftraten (Collins et al. 2004).

Aus zweidimensionalen, computertomographischen Schnittbildern einer gesunden distalen Vordergliedmaße wurden mittels spezieller Software und Graphikprogramme dreidimensionale Bilder rekonstruiert. Diese soliden 3D-Modelle konnten jeden einzelnen Knochen oder die gesamte distale Gliedmaße darstellen, allerdings mit reduzierter Qualität im Vergleich zu den Schnittbildern (Cheung und Thompson 1993).



Abb 3 CT-Bild im Weichteilmodus auf Höhe des Fesselbein-Strahlbein-Hufbein-Bandes (1) mit Bursa podotrochlearis (2) und tiefer Beugesehne (3). 4 = Kronbein.
 CT-image in soft tissue mode at level of the distal sesamoidean ligament (1) with bursa podotrochlearis (2) and deep digital flexor tendon (3). 4 = middle phalanx.

CT-Untersuchungen bei pathologischen Veränderungen im Bereich der distalen Gliedmaße des Pferdes

Hufbein

Zur Darstellung von Frakturen im Bereich des palmaren Processus des Hufbeines beim Fohlen wurde die Sensitivität der einzelnen bildgebenden Verfahren (Röntgen, CT und MRI) untersucht und verglichen und den entsprechenden histomorphologischen Schnittbildern gegenübergestellt. Die Sensitivität der drei Verfahren war gleichwertig. Durch die dreidimensionale Darstellung und Volumenvermessung entstand im CT ein deutlich verbessertes anatomisches Gesamtbild gegenüber dem Röntgen (Kaneps et al. 1995).

Ähnliche Erfahrungen teilten andere Autoren bei einem Fohlen mit Hufbeinfrakturen an beiden Vordergliedmaßen mit (Abb. 5). Röntgenologisch wurden die Frakturlinien mit der Oxspring-Technik, der exakte Verlauf und die beginnende Durchbauung jedoch erst im computertomographischen Bild nachgewiesen (Kampmann und Stadler 2001).

Die unterschiedliche Ausprägung von Verknöcherungen des Hufknorpels sowie benachbarter anatomischer Strukturen

wurden mittels CT und MRI untersucht. Beide Untersuchungsverfahren erlaubten die Visualisierung der Hufknorpel, wobei die CT Verknöcherungen und die inneren Strukturen mineralisierter Gewebe eindeutiger anzeigte. Die Differenzierung innerhalb der Weichgewebe sowie der inneren Strukturen des Knorpels und der Bänder war hingegen im MRI wesentlich besser (Ruohoniemi et al. 1997).

Strahlbein

Im Rahmen einer Studie zur vergleichenden computertomographischen und röntgenologischen Untersuchung von normalanatomischen und veränderten Strahlbeinen wurden Vorteile der CT bei der Beurteilung der seitlichen Strahlbeinenden, der Facies articularis, der Foramina nutritiva am Margo proximalis, der distalen Facies flexoria und der beteiligten

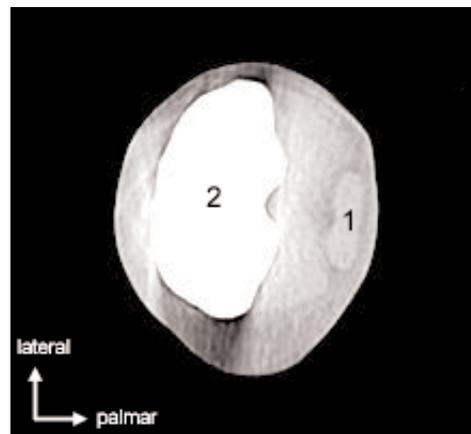


Abb 4 a CT-Bild des distalen Abschnittes der Fesselbeinregion; Referenzbild mit physiologischer tiefer Beugesehne (1). 2 = Fesselbein
 CT-image of the level of the distal middle phalanx; reference image with physiological deep digital flexor tendon (1). 2 = proximal phalanx

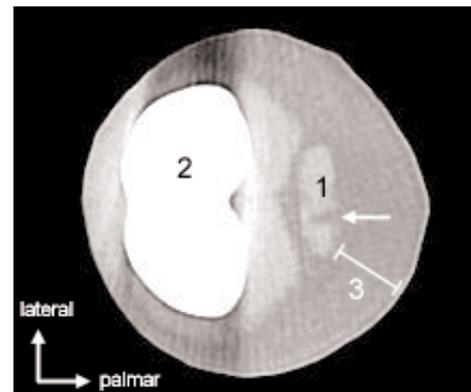


Abb 4 b CT-Bild des distalen Abschnittes der Fesselbeinregion; hypodenser Defekt der tiefen Beugesehne an der erkrankten Gliedmaße (Pfeil) mit massiver Verbreiterung der peritendinösen Umgebung (3).
 CT-image of the level of the distal middle phalanx; hypoechoic defect of the deep digital flexor tendon (arrow) of the lower limb with severe peritendinous swelling (3).

Bandstrukturen festgestellt. Zum Teil wurden röntgenologische Befunde erhoben, die im Gegensatz zu den CT-Bildern nicht eindeutig interpretiert werden konnten, oder röntgenologische Befunde mussten nach der computertomographi-

schen Untersuchung revidiert werden. Tietje (1995) hält die computertomographischen Dichtemessungen am Strahlbein für bedeutsam, obwohl der Dichteunterschied von Kortikalis und Spongiosa bei Pferden mit röntgenologisch und computertomographisch unauffälligen Strahlbeinen bis zu 800 HU betrug.

In einer weiteren Studie an Strahlbeinen mit röntgenologischen Befunden im Bereich der Facies flexoria sollte ermittelt werden, ob die CT weiterführende Informationen liefern kann (Abb. 6). Computertomographisch wurden ebenfalls große Variationen der kompakten und spongiösen Knochenstrukturen sowie der Ausprägung des Sagittalkammes vorgefunden. Die inneren Knochenstrukturen konnten ausschließlich computertomographisch dargestellt werden. Zudem erschien der Cortex im



Abb 5 Transversales CT-Bild einer lateralen Hufbeinfraktur (Pfeil) vorne rechts. 1 = Hufbein
Transverse CT-image of a right frontlimb distal phalanx with lateral coffin bone fracture (arrow). 1 = distal phalanx

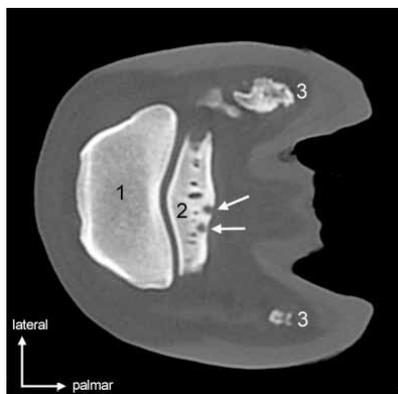


Abb 6 CT-Abbildung des distalen Strahlbeindrittels (2) mit Konturveränderung der Facies flexoria (subchondrale Einbrüche der Kortikalis) und Sklerosierungen (Pfeile). 1 = Kronbein; 3 = Hufbeinast und Hufbeinknorpel
CT-image of navicular bone (2) with irregularities of the flexor surface (subchondral defect of the cortex) and sclerosis (arrows). 1 = middle phalanx; 3 = distal phalanx and hoof cartilage

Bereich der Facies flexoria computertomographisch dünner als röntgenologisch (Ruohoniemi und Tervahartiala 1999).

Zur Diagnostik von Strahlbeinerkrankungen wurden die CT mit den MRI-Bildern und mit den zugehörigen pathologisch-anatomischen Schnitten verglichen. Veränderungen des Knochens, wie z. B. Zysten, Sklerosierungen und Formveränderungen wurden sowohl in der CT als auch magnetresonanztomographisch gut sichtbar, wobei die CT überlegen war. Röntgenologisch war häufig eine Vielzahl an Projektionen

notwendig, um Strahlbeinläsionen zu erkennen, die im CT jedoch ohne Probleme dargestellt werden konnten (Widmer et al. 2000).

Kronbein

Computertomographische Untersuchungen von Splitterfrakturen des Kronbeines vor einem chirurgischen Eingriff bzw. post mortem wurden zusätzlich zum Röntgen durchgeführt (Abb. 7). Anzahl und Verlauf der Frakturlinien sowie die Größe der Fragmente konnten mittels CT deutlich besser als im Röntgen erkannt werden, wodurch die Therapie sowie die OP-Planung optimiert und die Prognose für den Patienten besser eingeschätzt werden konnten (Rose et al. 1997).

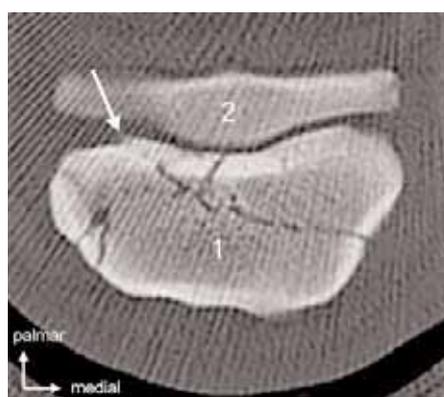


Abb 7 CT-Schnittbild im distalen Bereich des Kronbeins (1) mit Projektion des Strahlbeins (2). Darstellung einer Splitterfraktur des Kronbeins mit geringgradiger Dislokation des Knochens in der Nähe des Gelenkspaltes (Pfeil). Radiäre Streifung = Artefakt
Computed tomography image of the distal part of the middle phalanx(1) and the navicular bone (2). Imaging of a comminuted middle phalangeal fracture with little dislocation of the bone near the joint (arrow). Radial striping= artefacts

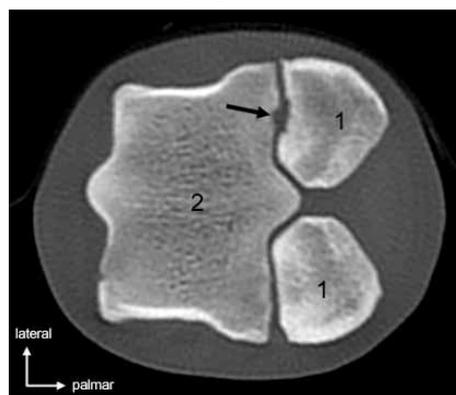


Abb 8 Computertomographischer Transversalschnitt eines Fesselgelenkes auf Höhe der Gleichbeine; Konturveränderung im Bereich der Gelenkfläche des lateralen Metacarposesamoidalgelenkes (Osteolyse des subchondralen Knochens im Bereich von Gleichbein und Röhrbein) (Pfeil). 1 = Gleichbeine; 2 = MC III
Computed tomography image of the fetlock at the level of the proximal sesamoid bones; contour changes of the articular surface of the lateral metacarpal sesamoid joint (osteolysis of subchondral bone of lateral sesamoid bone and the palmar surface of MC III) (arrow). 1 = sesamoid bone; 2 = MC III

Gleichbeine

Destruktive Erkrankungen des axialen Bereiches der Gleichbeine wurden mittels Röntgen, Szintigraphie und CT untersucht. Es

lagen insbesondere zentral und im Bereich der Apex sowohl zystische als auch diffuse Läsionen vor. Die CT zeigte eindrucksvoll, dass die Größe der Zysten röntgenologisch unterschätzt wurde. Auch das Ausmaß der Zerstörung der Knochenstruktur im Gleichbein wurde computertomographisch deutlicher veranschaulicht (Abb. 8). Die szintigraphische Untersuchung brachte bei den Pferden dieser Studie für die Diagnosestellung keine weiteren Erkenntnisse (Wisner et al. 1991).

Fesselgelenk

Im Fesselgelenk von Präparaten wurden Knorpel und artifiziel gesetzte Knorpelläsionen mittels computertomographischer Arthrographie untersucht. Der Knorpel konnte im Rahmen der

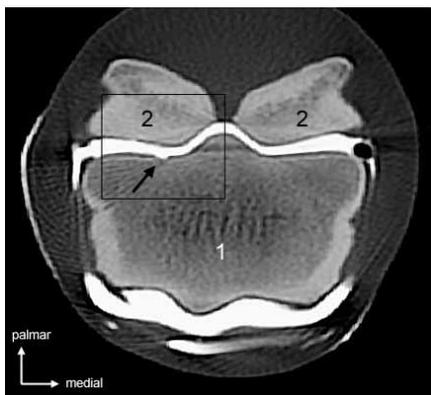


Abb 9 a Computertomographischer Transversalschnitt eines mit Kontrastmittel gefüllten Fesselgelenkes. weiß = Kontrastmittel; schwarz = Knorpel; 1 = Fesselbein; 2 = Gleichbein
Transverse CT-image of a fetlock filled with a positive contrast agent. white = contrast agent; black = cartilage; 1 = proximal phalanx; 2 = sesamoid bone

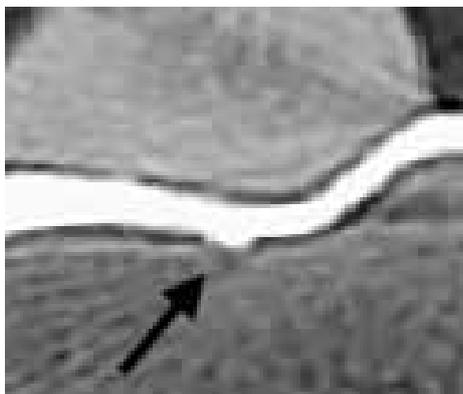


Abb 9 b Ausschnittsvergrößerung aus Abb. 9 a; Darstellung einer palmarolateral gelegenen Knorpelläsion am MC III (Pfeil).
Enlargement of part of Fig. 9 a; Imaging of a palmarolateral cartilage lesion of MC III (arrow).

Kontrastuntersuchung dargestellt und die künstlich gesetzten Knorpelschäden computertomographisch mit einer Sensitivität von 31,4 % nachgewiesen werden, wobei die Aufdeckung der Läsionen auffallend von Lokalisation und Größe des Defektes abhängig war (Abb. 9 a und b). Große Läsionen im palmaren bzw. plantaren Bereich von Metacarpus bzw. Metatarsus III (McIII bzw. MtIII) wurden zu einem deutlich höheren Prozentsatz ($\geq 50\%$) nachgewiesen (Vyhmeister 2002).

In weiteren Untersuchungen zum Vergleich von CT und MRI konnte der Fesselgelenksknorpel magnetresonanztomogra-

phisch nicht ausreichend dargestellt werden (Vyhmeister et al. 2001).

Um die Auswirkungen von Alter und extremer Belastung zu untersuchen, wurde die subchondrale Knochendichte am Fesselgelenk mittels computertomographischer Osteoabsorptiometrie (CT-OAM) gemessen. Dazu wurden Präparate computertomographisch untersucht, dreidimensional rekonstruiert und die ermittelte Knochendichte farblich dargestellt. Die subchondrale Knochendichte war bei älteren Pferden an allen Knochen des Fesselgelenkes insgesamt höher als bei jüngeren. In Bereichen hoher Belastung, z. B. am Sagittalkamm, an den Seitenrändern der Gelenkflächen und an den Gleichbeinen ergaben sich deutliche Dichtemaxima (Maierl et al. 2001).



Abb 10 CT-Bild der Fesselgelenksregion (transversale Schnittebene); 1 = Radioluzentes Areal mit gekammelter Binnenstruktur proximal der Gelenkfläche des lateralen Fesselbeins (zystoide Defekt); 2 = Rinne der Trochlea des Fesselbeins (physiologisch).
Computed tomography image of the fetlock region (transverse slice); 1 = hypoechoic multilobulated area at the proximolateral aspect of proximal phalanx (cyst-like lesion); 2 = groove of trochlea of proximal phalanx (physiological).

Die Grenzen der Röntgentechnik wurden von Barbee et al. (1987 b) im Rahmen eines Fallbereiches aufgezeigt. Lahmheitsverursachende röntgenologisch okkulte osteochondrale Defekte im Bereich des Fesselgelenkes konnten computertomographisch zweifelsfrei diagnostiziert und der operative Zugang im Folgenden optimal gewählt werden (Abb. 10).

Metacarpus und Metatarsus

Bei Vollblutpferden im Training wurde die Ätiologie distaler Kondylarfrakturen mit CT densitometrisch im Bereich der distalen Abschnitte von Metacarpus und Metatarsus III untersucht. Es entstanden wiederkehrende, charakteristische Muster der Knochendichte, wobei die höchste Dichte im palmaren bzw. plantaren Bereich der medialen und lateralen Kondylen lag. Die Dichte im Bereich der lateralen Kondyle erschien höher als medial. Die beiden Zonen hoher Dichte wurden jeweils durch einen Bereich geringer Dichte getrennt. Laut Aussage der Autoren könnten diese Grenzbereiche im Rahmen extremer Belastung für Stressfrakturen prädisponiert sein (Riggs et al. 1999 b).

Weiterführend untersuchten dieselben Autoren die distalen Condylen von McIII und MtIII der gleichen Pferdepopulation

mittels CT, Makroradiographie und Makrophotographie. Computertomographisch konnten gut umschriebene, linienförmige, radioluzente Defekte diagnostiziert werden, die sich im subchondralen und spongiösen Knochen der lateralen Gelenkfläche ausdehnten. Sie verliefen neben dem Sagittalkamm an der Grenze zwischen zwei Bereichen unterschiedlicher Dichte, wodurch die Autoren einen weiteren Teil der Ätiopathogenese der parasagittalen Kondylarfrakturen als geklärt ansehen (Riggs et al. 1999 a).

Als Reaktion des Knochens von Mclll und Mtlll auf frühzeitiges Training war die Knochendichte im Bereich der Epiphyse bei trainierten 2-jährigen Vollblutpferden deutlich höher als bei untrainierten. Im Bereich der Diaphyse war der Unterschied etwas geringer. Bei den bereits gearbeiteten Pferden wurde computertomographisch ein insgesamt größerer Knochenumfang als bei den untrainierten Pferden gemessen. Die Autoren weisen aufgrund dieser Befunde auf die Unverzichtbarkeit eines angepassten Trainingsregimes hin (Firth et al. 2005).

CT-Untersuchungen bei pathologischen Veränderungen im Bereich der proximalen Gliedmaße des Pferdes

Karpal- bzw. Tarsalgelenk

Auch im Karpalgelenk wurden Auswirkungen des frühzeitigen Trainings von jungen Rennpferden auf Knochen und Knorpel nachgewiesen. Die Knochendichte in den dorsalen Anteilen des Gelenkes, die einer ständigen, extremen Belastung ausgesetzt waren, zeigte sich bei den trainierten, symptomfreien Pferden signifikant höher. Als Ursache für die Dichtezunahme wurde die Dickenzunahme der proximodistal ausgerichteten Trabekel angesehen. Außerhalb des Bereiches hoher Belastung war die Knochendichte in beiden Gruppen deutlich geringer. Der hyaline Knorpel konnte im Weichteilmodus dargestellt werden und war vor allem im Bereich der Konkavität der Gelenksanteile des Radius bei den trainierten Pferden dicker als bei den untrainierten (Firth und Rogers 2005).

Untersuchungen an trainierten bzw. untrainierten Pferden wiesen eine subchondrale Dichtezunahme an den Metakarpalgelenkknochen, nicht jedoch an den kleinen Karpalgelenkknochen nach. Bei den trainierten Pferden, die am Ende des Versuches signifikant häufiger lahm waren, als die untrainierten, wurden computertomographisch osteochondrale Fragmente diagnostiziert, die röntgenologisch zum Teil nicht nachweisbar waren (Kawcak et al. 2000).

Der diagnostische Wert der CT für die Erkennung der relativ seltenen röntgenologisch okkulten subchondralen zystischen Läsionen im Talokruralgelenk ist erheblich, da sie röntgenologisch meist nicht nachweisbar sind. Szintigraphisch kann ein Defekt zwar diagnostiziert werden, dessen Ausmaß, Mineralisationsgrad und mögliche Kommunikation mit dem Gelenk sind aufgrund der höheren Sensitivität nur computertomographisch nachweisbar. Die Autoren schlagen vor, die kontralaterale Gliedmaße zum Vergleich ebenfalls computertomographisch mit zu untersuchen (García-López und Kirker-Head 2004).

Auch Hanson et al. (1996) konnten subchondrale Knochendefekte im Talokruralgelenk und zusätzlich im Fesselgelenk rönt-

genologisch nicht oder nur undeutlich darstellen. Szintigraphisch war in den erkrankten Bereichen dieser Gelenke eine fokale Anreicherung der radioaktiven Substanz zu verzeichnen, ohne dass eine Diagnose gestellt werden konnte. Computertomographisch wurden hypodense, fokale Läsionen diagnostiziert, die von einem hyperdensen Saum umgeben waren. Die Autoren stellen die Hypothese auf, dass sich die Knochenzysten röntgenologisch durch die Summation von hypodenser Lyse und hyperdenser Sklerose als normale Knochendichte präsentieren und dadurch Fehlinterpretationen entstehen. Im CT konnten zusätzlich Kommunikationen der Zysten mit dem Gelenk oder zwischen einzelnen Zysten dargestellt werden (Abb. 10).

Die vorangegangenen Aussagen werden durch retrospektive Auswertungen gestützt. Computertomographisch eindeutig diagnostizierte subchondrale Knochenzysten unterschiedlicher Lokalisationen konnten nur zu 9,4 % auch röntgenolo-



Abb 11 Computertomographischer Transversalschnitt eines Kniegelenkes mit dem proximalen Anteil der Eminentia intercondylaris (1) und den beiden Femurkondylen (2). Großes rundliches radioluzentes Areal (Pfeil) mit inhomogener Binnenstruktur und peripherer Sklerosierung im medialen Femurkondylus (zystoide Defekt). CT-image of the stifle region with the proximal end of the eminentia intercondylaris (1) and both femoral condyles (2). Large circular hypoechoic and irregular area (arrow) with peripheral sclerosis in the medial femoral condyle (cyst-like lesion).

gisch eindeutig identifiziert werden. Bei 46,9 % der Patienten waren röntgenologische Veränderungen vorhanden, deren Beurteilung jedoch schwierig war. 43,7 % der Pferde waren röntgenologisch ohne besonderen Befund, die Einstufung somit falsch negativ (de Buhr 2002).

Kniegelenk

Im Bereich des Kniegelenkes ist die computertomographische Untersuchung durch die Öffnung der Gantry limitiert. Dadurch war insbesondere die Darstellung der gesamten Patella häufig nicht möglich. Dagegen konnten die Menisken vollständig untersucht und dargestellt werden (Tietje 1997). In ersten computertomographischen Untersuchungen am Kniegelenk des gesunden und erkrankten Pferdes wurden sowohl Knochen- als auch Weichteilveränderungen dargestellt. Vorteile der CT lagen vor allem in der Darstellbarkeit der kaudalen Gelenkabschnitte. Bei einigen Pferden wurden computertomographisch gravierende Befunde erhoben, die weit über die röntgenologischen hinausgingen. Sie lagen im Bereich der Trochlea und Kondylen des Femur, sowie der Gelenkfläche der Tibia (Abb. 11). Die Weichteilveränderungen lagen im Bereich der Kreuz- und Kollateralbänder sowie der Menisken. Durch

die intraartikuläre Insufflation von CO₂ entstand eine deutliche Dichtedifferenz zu Knochen und Weichteilen, wodurch eine sehr gute Darstellung der Gelenkhöhlenausdehnung gegeben war. Arthroskopisch gesetzte Meniskusläsionen konnten bei vier von fünf Pferden computertomographisch dargestellt werden. An unveränderten Menisken wurden Dichtemessungen durchgeführt, die am lateralen Meniskus einen Mittelwert von 118,1 HU und am medialen von 113,9 HU ergaben. Auch für Kreuz-, Kollateral- und Kniescheibenbänder wurden stichprobenartige Dichtemessungen an einer kleinen Anzahl von Pferden durchgeführt.

Wirbelsäule

Bei der Stabilisierung einer Halswirbelfraktur (C2) mittels Zugschrauben wurde der intraoperative Einsatz der CT beschrieben.



Abb 12 Transversales CT-Bild des Tarsalgelenkes auf Höhe von Talus (1) und Calcaneus (2); deutliche unregelmäßige, raue Konturveränderung im Bereich des Sustentaculum tali (Pfeil).

Transverse CT image of the tarsus at the level of the talus (1) and calcaneus (2); clear irregular and rough borders of the sustentaculum tali (arrow).

ben. Durch die Extension des Kopf-Halsbereiches während des chirurgischen Eingriffes war der Frakturspalt intraoperativ nicht mehr sichtbar, so dass der korrekte Sitz der Schrauben computertomographisch kontrolliert werden mußte. Zudem konnten so lebensbedrohliche Schäden des Rückenmarks verhindert werden (Barnes et al. 1995).

Stenotische Myelopathien im Bereich der Halswirbelsäule wurden bei sechs Pferden computertomographisch, myelographisch und histopathologisch untersucht. Alle histopathologisch ermittelten Kompressionen konnten auch computertomographisch nachgewiesen werden, wobei ein Ergebnis falsch positiv war. Der CT lieferte wertvolle Zusatzinformation über Ursprung und Schweregrad der Kompression, sowie Detailinformationen wie z. B. komprimierte Nervenwurzeln. Zusätzlich wurden computertomographisch die Werte des kleinsten sagittalen Durchmessers ermittelt, die sowohl beim gesunden als auch beim erkrankten Pferd mit den histopathologischen Ergebnissen korrelierten (Moore et al. 1992).

Schlussfolgerung

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich die CT bei Patienten mit Problemen im Bereich des Bewegungsapparates nach sorgsamer Indikationsstellung mit Eingrenzung des ver-

mutlich erkrankten Bereiches vor allem bei unklaren oder fehlenden Befunden anderer bildgebender Diagnostik bewährt hat (Abb. 12). Durch ihr diagnostisches Potential rechtfertigt sie den erhöhten Aufwand und die Narkose für den Patienten nach Aufklärung des Besitzers über die Wahl des diagnostischen Hilfsmittels, seine Risiken und Kosten. Die CT wird auch in nächster Zukunft beim Pferd nur in Allgemeinnarkose erfolgen können. Durch kurze Mess- und Untersuchungszeiten ist es jedoch häufig möglich, die computertomographische Untersuchung und eine eventuelle Operation im Rahmen einer Narkose durchzuführen, wenn die räumliche Nähe von CT und Operationsraum gegeben ist.

Die Wahl der geeigneten weiterführenden bildgebenden Diagnostik (CT, MRI, Szintigraphie) sollte kritisch erfolgen. Weichteilkontraste können z. B. besser magnetresonanztomographisch dargestellt werden, wohingegen bei Knochenläsionen die CT meistens das Mittel der Wahl ist, aber gegebenenfalls auch zur Weichteildarstellung herangezogen werden kann (Kaser-Hotz et al. 1994). Die Qualität von im Stehen angefertigten MRI-Aufnahmen wird derzeit noch kontrovers diskutiert. Dyson und Marks (2003) fertigen MRI-Bilder nur an allgemeinanaesthetisierten Pferden an.

In Studien aus der Anfangszeit der CT wird die geringere Struktur- und Konturauflösung der computertomographischen gegenüber den röntgenologischen Aufnahmen kritisiert. Die CT-Untersuchungen zeigten nicht die Feinheit und Auflösung der konventionellen Röntgenübersichtsaufnahmen (Hertsch et al. 1988). Im Laufe der Jahre sind Computertomographen der verschiedenen Generationen zum Einsatz gekommen. Technische Verbesserungen und Entwicklungen haben sich vor allem auf die Minimierung von Scanzeiten und Schichtdicken, sowie bessere Bildauflösungen ausgewirkt. Außerdem stehen heute leistungsfähigere Computerprogramme zur späteren Bearbeitung der Aufnahmen zur Verfügung (Barbee 1996). Dies hat zu einer deutlichen Qualitätsverbesserung der heutigen CT-Bilder geführt.

Die weitere Zukunft könnte auch in der Pferdemedizin im Electron Beam Tomography Scanner (ETB) liegen, bei dem sich ein im Vakuum gelenkter Elektronenstrahl um den Patienten bewegt. Dadurch werden Scanzeiten von 50 ms erreicht, die auch Untersuchungen an bewegten Objekten ermöglichen.

Literatur

- Alexander J., W. Kalender und G. Linke (1985): Computertomographie. Verlag Siemens Aktiengesellschaft, Berlin-München
- Barbee D. D. (1996): Computed tomography (CT): a dip into the future. *Equine Vet J.* 28, 92
- Barbee D. D. und J. R. Allen (1986): Computed tomography in the horse: general principles and clinical applications. *Proc. 32th Ann. Conv. Am. Ass. Equine Pract.*, Nashville, 483-493
- Barbee D. D., J. R. Allen und P. R. Gavin (1987a): Computed tomography in horses. *Vet Rad* 28, 144-151
- Barbee D. D., J. R. Allen, B. D. Grant, M. W. Riggs, G. R. Crawley und R. D. Sande (1987b): Detection by computed tomography of occult osteochondral defects in the fetlock of a horse. *Equine Vet J* 19, 556-558
- Barnes H. G., R. L. Tucker, B. D. Grant, G. D. Roberts und M. Prades (1995): Lag screw stabilization of a cervical vertebral fracture by use of computed tomography in a horse. *J Am Vet Med Ass* 206, 221-223

- Brown M. P. und K. Valko (1980): A technique for intra-articular injection of the equine tarsometatarsal joint. *Vet Med Small Anim Clin* 75, 265-270
- Cheung T. K. und K. N. Thompson (1993): Of the lower forelimb of the horse. *Vet Radiol & Ultrasound* 34, 331-333
- Collins J. N., Galuppo L. D., Thomas H. L., Wisner E. R. und Hornof W. J. (2004): Use of computed tomography angiography to evaluate the vascular anatomy of the distal portion of the forelimb of horses. *Am J Vet Res* 65, 1409-1420
- De Buhr W. (2002): Vergleich der röntgenologischen und computertomographischen Darstellbarkeit subchondralen Knochenzysten beim Pferd. *Vet. med. Diss. München*
- Dyson S. und D. Marks (2003): Foot pain and the elusive diagnosis. *Vet Clin North Am Equine Pract* 19, 531-566
- Firth E. C. und C. W. Rogers (2005): Musculoskeletal responses of 2-year-old Thoroughbred horses to early training. 7. Bone and articular cartilage response in the carpus. *New Zeal Vet J* 53, 113-122
- Firth E. C., C. W. Rogers, M. Doube und N. B. Jopson (2005): Musculoskeletal responses of 2-year-old Thoroughbred horses to early training. 6. Bone parameters in the third metacarpal and third metatarsal bones. *New Zeal Vet J* 53, 101-112
- García-López J. M. und C. A. Kirker-Head (2004): Occult subchondral osseus cyst-like lesions of the equine tarsocrural joint. *Vet Surg* 33, 557-564
- Hanson J. A., H. J. Seeherman, C. A. Kirker-Head und M. W. O'Callaghan (1996): The role of compute tomography in evaluation of subchondral osseus lesions in seven horses with chronic synovitis. *Equine Vet J* 28, 480-488
- Hertsch B., D. Haack, R. Trummer, W. Döhring und F. L. M. A. H. de Laat (1988): Ein Vergleich der Darstellung des Strahlbeins beim Pferd mit Hilfe der herkömmlichen Röntgenübersichtsaufnahme nach Oxspring, der konventionellen Verwischungstomographie, der digitalen Lumineszenzradiographie, der Computertomographie und der Kernspintomographie. *Pferdeheilkunde* 4, 67-72
- Kampmann C. und P. Stadler (2001): Hufbeinfrakturen an beiden Vordergliedmaßen eines Fohlens. *Tierärztl Prax* 29, 194-198
- Kaneps A. J., Koblik P. D., Freeman D. M., Pool R. R. und O'Brien T. R. (1995): A comparison of radiography, computed tomography and magnetic resonance imaging for the diagnosis of palmar process fractures in foals. *Vet Radiol & Ultrasound* 36, 467-477
- Kaser-Hotz B., Sartoretti-Scheer S. und Weiss R. (1994): Computed tomography and magnetic resonance imaging of the normal equine carpus. *Vet Radiol & Ultrasound* 35, 457-461
- Kawcak C. E., C. W. McIlwraith, R. W. Nordin, R. D. Park und P. S. Steyn (2000): Clinical effects of exercise on subchondral bone of carpal and metacarpophalangeal joints in horses. *Am J Vet Res* 61, 1252-1258
- Kraus-Hansen A. E., H. W. Jann, D. V. Kerr und G. E. Fackelman (1992): Arthrographic analysis of communication between the tarsometatarsal and distal intertarsal joints of the horse. *Vet Surg* 21, 139-144
- Mäule M. (2002): Densitometrische Untersuchungen anhand der Computertomographie an der distalen Vordergliedmaße beim Pferd. *Vet. med. Diss. München*
- Maierl J., C. Schäfer, P. Böttcher und H.-G. Liebich (2001): Die subchondrale Knochendichte am Fesselgelenk des Pferdes. Teil 1: Computertomographische Osteoabsorptometrie (CT-OAM). *Pferdeheilkunde* 17, 339-345
- Moore B. R., T. C. Holbrook, J. D. Stefanacci, S. M. Reed, L. P. Tate und M. C. Menard (1992): Contrast-enhanced computed tomography and myelography in six horses with cervical stenotic myelopathy. *Equine Vet J* 24, 197-202
- Peterson P. R. und K. F. Bowman (1988): Computed tomographic anatomy of the distal extremity of the horse. *Vet Rad* 29, 147-156
- Riggs C. M., G. H. Whitehouse und A. Boyde (1999a): Pathology of the distal condyles of the third metacarpal and third metatarsal bones of the horse. *Equine Vet J* 31, 130-139
- Riggs C. M., G. H. Whitehouse und A. Boyde (1999b): Structural variation of the distal condyles of the third metacarpal and third metatarsal bones in the horse. *Equine Vet J* 31, 140-148
- Rose P. L., H. Seeherman und M. O'Callaghan (1997): Computed tomographic evaluation of comminuted middle phalangeal fractures in the horse. *Vet Radiol & Ultrasound* 38, 424-429
- Ruohoniemi M., Kärkkäinen M. und Tervahartiala P. (1997): Evaluation of the variably ossified collateral cartilages of the distal phalanx and adjacent anatomic structures in the finnhorse with computed tomography and magnetic resonance imaging. *Vet Radiol & Ultrasound* 38, 344-351
- Ruohoniemi M. und Tervahartiala P. (1999): Computed tomographic evaluation of finnhorse cadaver forefeet with radiographically problematic findings on the flexor aspect of the navicular bone. *Vet Radiol & Ultrasound* 40, 275-281
- Rüther A. (1982): Die Anästhesie der straffen Sprunggelenksabteilungen beim Pferd. *Vet. med. Diss. Hannover*
- Sack W. O. und P. G. Orsini (1981): Distal intertarsal and tarsometatarsal joints in the horse: Communication and Injection Sites. *J Am Vet Med Ass* 179, 355-359
- Schmidt T. (1999): Die Situation der Strahlenexposition bei CT. in: Nagel, H.D. (Hrsg.): Strahlenexposition in der Computertomographie. *Fachverband Elektromedizinische Technik im ZVEI e.V., Frankfurt*, 1-3
- Tietje S. (1995): Die Computertomographie im Strahlbeinbereich des Pferdes: ein Vergleich mit der konventionellen Röntgendarstellung. *Pferdeheilkunde* 11, 51-61
- Tietje S. (1996): Zur Bedeutung der Computertomographie beim Pferd. Teil 1: Erkrankungen an Kopf und Hals. *Der prakt Tierarzt* 77, 1090-1098
- Tietje S. (1997 a): Zur Bedeutung der Computertomographie beim Pferd (243 Fälle). Teil 2: Erkrankungen an den Gliedmaßen. *Der prakt Tierarzt* 78, 35-43
- Tietje S. (1997 b): Die Computertomographie im Kniebereich des Pferdes: ein Vergleich mit der röntgenologischen, sonographischen und arthroskopischen Untersuchung. *Pferdeheilkunde* 13, 647-658
- Tietje S., M. Nowak, S. Petzoldt und H. Weiler (2001): Die computertomographische Darstellung des distalen Abschnittes der tiefen Beugesehne (TBS) des Pferdes. *Pferdeheilkunde* 17, 21-29
- Tomlinson J. E., W. R. Redding, C. Berry und J. E. Smallwood (2003): Computed tomographic anatomy of the equine tarsus. *Vet Radiol & Ultrasound* 44, 174-178
- Vyhmeister C. (2002): Computertomographische Arthrographie von Knorpel und Knorpelläsionen im Fesselgelenk des Pferdes. *Vet. med. Diss. Hannover*
- Vyhmeister C., C. Kampmann und P. Stadler (2001): Computertomographische und magnetresonanztomographische Darstellung des Knorpels und Knorpelläsionen im Fesselgelenk des Pferdes. *Pferdeheilkunde Forum Berliner Fortbildungstage*. In: *Pferdeheilkunde* 17, 386-387
- Widmer W. R., K. A. Buckwalter, J. F. Fessler, M. A. Hill, D. C. VanSickle und S. Ivancevich (2000): Use of radiography, computed tomography and magnetic resonance imaging for evaluation of navicular syndrome in the horse. *Vet Radiol & Ultrasound* 41, 108-116
- Wisner E. R., T. R. O'Brien, R. R. Pool, J. R. Pascoe, P. D. Koblick, W. J. Hornoff und P. W. Poulos Jr. (1991): Osteomyelitis of the axial border of the proximal sesamoid bones in seven horses. *Equine Vet J* 23, 383-389

Dr. Astrid Bienert
Klinik für Pferde
Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover
Bischofsholer Damm 15
30173 Hannover
astrid.bienert@tiho-hannover.de