

4 Diskussion

4.1 Allgemeines

Bei der Katze sollten Frakturen im Meta- und Diaphysenbereich der langen Röhrenknochen operativ versorgt werden. Die konservative Behandlung mit einem ruhigstellenden Schienenverband ist zwar bei Frakturen distal des Ellenbogen- oder des Kniegelenks möglich, aber meist aufwendiger, zeitraubender und letztlich dadurch auch kostspieliger als die Osteosynthese. Das sprichwörtliche Geschick der Katze führt in der Mehrzahl der Fälle dazu, dass die Tiere den Verband schon bald abstreifen oder verlieren und eine neuerliche Verbandanlage insbesondere bei gedeckt zu reponierenden Frakturen nur in Sedation oder Narkose erfolgen kann. Da die Regeln der Verbandsbehandlung entsprechend nicht eingehalten werden können, sind auch die Heilungsergebnisse schlechter als nach Osteosynthese (HARARI, 2002; BRUNNBERG et al., 2003). Zur Osteosynthese derartiger Schaftfrakturen sind verschiedene Verfahren wie die Plattenosteosynthese, Marknagelung, parakortikale Fixation und der Fixateur externe einzeln oder in Kombination geeignet. Unter diesen Techniken ist die Paraossäre Klammer-Cerclagen Stabilisierung nach WANIVENHAUS (2001) nicht nur ein sehr junges Verfahren, sondern auch in Montage und Materialaufwand eher bescheiden. Bisher liegen zu dieser Technik nur klinische aber recht gute Ergebnisse vor (WANIVENHAUS, 2001; GRAF, 2003). Daher sollte in biomechanischen Studien dieser Arbeit die Stabilität der parakortikalen Fixation vergleichend zum Fixateur externe geprüft werden. Weiterhin werden klinisch verschiedene Osteosyntheseverfahren, unter anderem die parakortikale Fixation nach WANIVENHAUS (2001), verglichen.

4.2 Biomechanische Studie

Die biomechanischen Studien wurden an Tibiae toter „skelettgesunder“ Katzen im rechts/links Seitenvergleich vorgenommen. Die Tibia wurde gewählt, weil sie bei der Katze unter den Frakturen nach denen des Os femoris (40% FUCHS, 1978) mit 27% (BRUNNBERG et al., 2003) noch vor denen des Radius/Ulna (22% EULER, 1979) und des Humerus (12% STAIMER, 1980) am zweithäufigsten betroffen ist. Im Hinblick auf Schaftfrakturen machen die der Tibia mit bis zu 45% vor denen des Unterarms mit 29%, denen des Os femoris mit 20% und denen des Humerus mit 5% (BRUNNBERG et al., 2002) den größten Anteil aus. Dies bestätigen auch die eigenen Untersuchungen. 43% der

Schaftfrakturen betrafen die Tibia (31/72). Abgesehen davon erlaubt es die Tibia, sowohl einen Fixateur externe als unilateralen (Typ I) oder bilateralen Rahmenfixateur (Typ II) zu montieren, bzw. aus dem Fixateur externe Typ II nach der Testung den Typ I zu entwickeln.

Implantatgröße

Für die biomechanischen Testungen wurden Kirschner-Bohrdrähte vom Kaliber 1,6 mm gewählt und Cerclagen mit einem Durchmesser von 0,9 mm bei der Parakortikalen Klammer-Cerclagen Stabilisierung. Damit wurde der Forderung nachgekommen, dass insbesondere beim Fixateur externe das Kaliber der Fixationsstangen maximal 20-30% des Schaftdurchmessers betragen sollte (ROUSH, 1992; EGGER, 1992). Die Korrelation Knochendurchmesser zu Kaliber Fixationsstange garantiert eine optimale Stabilität der Montage, ohne den Knochen zu destabilisieren. Die Tibiae der eigenen Studie wiesen an der Engstelle im mediolateralen und anterioposterioren Außendurchmesser im Durchschnitt einen Durchmesser von 1,1 cm auf. Die in diesem Bereich in lateromedialer Richtung eingebrachten 1,6 mm kalibrigen Bohrdrähte beanspruchten im Mittel 21,3% des Knochendiameters.

Ergebnisse

Um den Forderungen der Biomechanik, derartige Konstrukte zu testen (HULSE und HYMAN, 1991), gerecht zu werden, wurden alle Modelle in drei Zyklen um die Längsachse nach medial und lateral bis jeweils 15° gedreht. Zunächst wurde an vier intakten Tibiae die Torsionssteifigkeit getestet. Sie betrug 0,264 Nm/°, der Variabilitätskoeffizient 0,07. Damit war wie vermutet die Variabilität gering und eine gute Voraussetzung erfüllt, die Stabilität der PKCS und Fixateur externe Typ Ia und Typ II Konstrukte daran zu bemessen.

Die mit unilateralem Fixateur externe getesteten Präparate durchliefen die doppelte Anzahl an Zyklen, da sie aus dem bilateralen Typ II Fixateur entwickelt wurden. An zwei dieser unilateralen Modelle zeigte sich nach der Torsionsprüfung eine Lockerung der jeweils obersten Pins, die vor dem Testdurchlauf nicht bestand. Dass nur die Präparate der Fixateure externe Typ Ia Pinlockerungen aufwiesen, könnte auf die zweimalige Nutzung und damit doppelte Belastung zurückzuführen sein. Auch in klinischen Untersuchungen

sind je Fragment vorwiegend die proximalen Fixationsnägeln von der Lockerung betroffen, da sie der größten Belastung ausgesetzt sind (PALMER et al., 1992; BAHN, 1995).

Die Belastungs-/ Deformationskurven der nativen wie auch der Fixateur Typ II-Präparate verlaufen linear, während sie bei einem Drittel der parakortikalen sowie der Typ Ia Konstrukte biphasisch sind. Dieser zweistufige Kurvenverlauf ist wohl durch die asymmetrische Implantatanordnung zu erklären, die positionsabhängig unterschiedliche Steifigkeit hervorrufen kann.

Der Fixateur Typ II ist, abgesehen von den nativen Präparaten, mit durchschnittlich $0,114 \text{ Nm}^\circ$ Gesamtsteifigkeit am torsionssteifsten und die Variabilität ist mit $0,18$ relativ niedrig. Die Fragmente werden durch je zwei transkutane Fixationsnägeln gehalten und mit den Verbindungsschienen aus Acrylat-Kunststoff der Frakturspalt sehr rigide überbrückt (ROSS und MATTHIESEN, 1993; STÖRK et al., 2003). Dieses Konstrukt verliert durch Entfernung der medialen Montage (Typ Ia) mit durchschnittlich $0,045 \text{ Nm}^\circ$ deutlich an Gesamttorsionssteifigkeit.

Vergleicht man den Fixateur externe Typ Ia und die parakortikale Fixation (Gesamtsteifigkeit $0,049 \text{ Nm}^\circ$) in Hinblick auf die Stabilität, so ist die Torsionssteifigkeit vergleichbar, weil auch das Konstruktionsprinzip ähnlich ist. Beide bestehen aus einem senkrechten im Knochen verankerten und einem extramedullären parallel zur Knochenlängsachse gelegenen Rahmen. Jedoch ist bei der Kraftübertragung die Hauptlast unterschiedlich verteilt. Während das im Knochen verankerte Segment bei der parakortikalen Fixation nur sehr kurz aus der Knochenoberfläche ragt, sind dies beim Fixateur externe etwa $1,5 \text{ cm}$. Der größere Abstand reduziert die Steifigkeit des Implantats umgekehrt proportional mit der dritten Potenz zur Knochenoberfläche (PALMER, 1992). Beim Überbrückungselement ist die Verbindungsstange aus Acrylat-Kunststoff des Fixateur externe vorteilhafter, weil sie wesentlich verwindungssteifer als die beiden $1,6 \text{ mm}$ Bohrdrähte ist. Dies gilt auch, obwohl die beiden Bohrdrähte der parakortikalen Fixation mit dem Überbrückungselement der Torsionsachse näher und somit einem kleineren Drehmoment ausgesetzt sind. Damit lassen sich Schwächen der jeweiligen Technik, die zum Implantatversagen führen können, gut erklären. Beim Fixateur Typ Ia sind eher Pinlockerung oder -bruch zu erwarten (HARARI, 1992), während bei der

parakortikalen Fixation die Überbrückungselemente über dem Knochendefekt anfälliger sind und eher verbiegen oder brechen (WANIVENHAUS, 2001; GRAF, 2003).

Der Abstand der Acrylat-Schiene zur Knochenoberfläche von etwa 1,5 cm wurde gewählt, um der klinischen Anwendung gerecht zu werden. Empfohlen wird, bei Katzen einen Abstand zur Haut von 0,75 bis 1,0 cm nicht zu unterschreiten (ROSS und MATTHIESEN, 1993). Dies beachtend wurde in der biomechanischen Studie ein Gesamtabstand zum Knochen unter Berücksichtigung der Weichteilmanchette von 1,5 cm gewählt.

Die paraossäre Klammer-Cerclagen Stabilisierung weist den höchsten Variabilitätskoeffizienten (0,52) auf, das ist durch die große Streubreite der Steifigkeitswerte der einzelnen Messungen der PKCS bedingt. Dies könnte damit zu begründen sein, dass mehr und verschiedene Montageschritte bei der PKCS als beim Fixateur externe erforderlich sind. Beim Fixateur Typ Ia und Typ II ist die Streubreite der Werte (0,12 und 0,18) gering. Das heißt, die Verfahren sind gut reproduzierbar.

Aus der Literatur ist bekannt, dass sich mit dem Fixateur Typ Ia einfache Frakturen des Unterschenkels ausreichend stabil versorgen lassen. Er ist aber zur Osteosynthese von Splitter- und Trümmerfrakturen nicht geeignet. Wesentlich stabiler versorgt werden derartige Frakturen mit einem Typ Ib, Typ II oder einem Typ III Fixateur (ROUSH, 1992). Dies deckt sich mit Studien an Ratten mit einfacher Oberschenkelfraktur. Die Fraktur heilte schneller, je stabiler die Versorgung war und die Stabilität einem intaktem Knochen näher kam (UTVAG und REIKERAS, 1998). Allerdings fehlen nach wie vor definitive Daten zur Stabilität einer Osteosynthese (Steifigkeit), um eine optimale Heilung zu gewährleisten (CLAES et al., 1998; KLEIN et al., 2003).

Nach den Ergebnissen der biomechanischen Testung der Konstrukte ist die parakortikale Fixation zur Überbrückung von Unterschenkelfrakturen der Katze nicht das optimale Osteosyntheseverfahren. Sie ist hinsichtlich der Torsionssteifigkeit dem Typ II Fixateur externe deutlich unterlegen und erreicht nur ca. 20% der Torsionssteifigkeit einer intakten Tibia. Auch der Typ Ia Fixateur externe ist nur so stabil. Das heißt, sowohl PKCS als auch Fixateur externe Typ Ia können zur Osteosynthese einer komplizierten Tibiafraktur nur unter Vorbehalt eingesetzt werden. Dabei ist für die Parakortikale Fixation aber zu bedenken, dass mit der großzügigen Fraktur- und Knochenexposition Forderungen der

biologischen Osteosynthese (CLAUDI und OEDEKOVEN, 1991) unterlaufen werden. Die guten empirischen Ergebnisse an Patienten (WANIVENHAUS, 2001; GRAF, 2003), die die Autoren des AO Manuals zur Aufnahme dieses Verfahrens in das Lehrbuch veranlasst hat, wurden überwiegend bei unkomplizierten Frakturen erreicht. Dort scheint das Verfahren, ebenso wie der Typ Ia Fixateur externe, gut einsetzbar. Denkbar ist, dass Biegeversuche an Konstrukten die empirisch gewonnenen Ergebnisse an Patienten dieses Phänomen hätten besser erklären können, weil die Diaphyse langer Röhrenknochen dieser Kraft am häufigsten ausgesetzt ist. Es muss offen bleiben, ob bei großen Katzen ohne die Stabilität des Knochens im distalen Abschnitt zu gefährden mit 1,8 mm Bohrdrähten genügend Torsionssteifigkeit auch für Trümmerfrakturen erzielbar ist.

4.3 Klinische Studie

In der klinisch prospektiven Studie wurden die Schaftfrakturen der langen Röhrenknochen der Katze der Jahre 2002 (September) bis 2004 (Dezember) analysiert, die in der Klinik für kleine Haustiere der FU-Berlin versorgt wurden. Mit verschiedenen Osteosyntheseverfahren wurden 72 Frakturen von 68 Katzen erst- oder wiederholt stabilisiert.

Die Patienten waren zwischen 3 Monate und 14 Jahren, im Mittel 3,2 Jahre, alt. Dies deckt sich mit den Angaben von RICHARDSON und THACHER (1993) (2,5 Jahre), WEBER und MONTAVON (1994) (3,0 Jahre), MEYER-LINDENBERG et al. (1996) (2,6 Jahre), LANGLEY-HOBBS et al. (1996) (3,4 Jahre) und LORINSON et al. (2000) (4,1 Jahre). Dagegen fanden WENKEL und KAULFUSS (2001) zu Schaftfrakturen, LARIN et al. (2001) zu Frakturen des Os femoris und BRUNNBERG et al. (2003) zu Tibiafrakturen, dass zumindest 2/3 der Patienten jünger als 2 Jahre alt waren, während dieser Prozentsatz in der eigenen Studie 51% betrug.

Das durchschnittliche Körpergewicht der adulten Tiere betrug 4,7 kg (2,4- 8,0 kg). Die Patienten von MEYER-LINDENBERG et al. (1996), LORINSON et al. (2000) und LARIN et al. (2001) waren mit einem Durchschnittsgewicht von 3,8, 4,6 und 4,0 kg etwas leichter, doch aber auch eher schwer, vermutlich als Folge mangelnder Bewegung durch Wohnungshaltung im urbanen Bereich.

Im Hinblick auf das Geschlecht (56% männlich, 44% weiblich) und ob kastriert oder nicht (74% männlich, 67% weiblich) deckt sich diese Studie mit den Angaben in der Literatur (LANGLEY-HOBBS et al., 1996; LORINSON et al., 2000 und LARIN et al., 2001).

Frakturursache und -verteilung

Auch bei der Ursache der Frakturen [Sturz aus großer Höhe (58,8%), unbekannt (26,5%), Verkehrs- (5,9%), Unfall in der Wohnung (8,8%)] sind so gut wie keine Unterschiede zu den Angaben anderer zu entdecken (BRUNNBERG und WAIBL, 2002; CHANDLER und BEALES, 2002; HARARI, 2002; BRUNNBERG et al. 2003).

Dies trifft ebenfalls für die Frakturhäufigkeit zu. Dabei weichen die Zahlen nur geringfügig von den Angaben anderer Autoren ab, je nachdem ob alle Skelettanteile oder nur lange Röhrenknochen betrachtet werden. Humerusfrakturen variieren zwischen 4,0-12,7% (STAIMER, 1980; HARARI, 2002), Radius- und Ulnafrakturen zwischen 2,0-22,7% (EULER, 1979; HARARI, 2002), Frakturen des Os femoris zwischen 18,0-58,4% (WENKEL und KAULFUSS, 2001; HARARI, 2002) sowie Tibia- und Fibulafrakturen zwischen 5,0-27,0% (HARARI, 2002; BRUNNBERG et al., 2003). Häufigst gebrochener Knochen ist das Os femoris nach Literaturangaben. In dieser Studie traf das, wie auch bei BRUNNBERG (2001) mit 45%, auf Unterschenkelschaftfrakturen mit 43,1% (31/72) zu.

Wie bei BRUNNBERG und WAIBL (2002) erlitten auch bei den eigenen Patienten juvenile Tiere eher einfache Frakturen (67%), während adulte häufiger Splitter- oder Trümmerbrüche (87%) aufwiesen. Ursache dafür ist die mit dem Alter zunehmende Mineralisierung der Knochensubstanz. Sie läßt den Knochen steifer und spröder werden (RADASCH, 1999).

Bei ausgewachsenen Tieren konnte kein Zusammenhang zwischen Frakturform (einfach, Splitter- oder Trümmerbruch), Frakturlokalisation, dem Gewicht der Tiere und der Sturzhöhe aufgedeckt werden.

Bei den eigenen Patienten waren unter den offenen Frakturen mit 19,4% die Tibia/Fibula am häufigsten betroffen. Nach RICHARDSON und THACHER (1993) sowie WEBER und MONTAVON (1994) macht dieser Prozentsatz 46,2 bzw. 50,0% und bei BRUNNBERG et al. (2003) 21% aus. Dies läßt sich mit dem Unfall (Sturz) und dem dünnen, wenig schützenden Weichteilmantel (WEBER und MONTAVON, 1994) gut erklären.

Vergleich aller Kurzzeitergebnisse und Heilungsverläufe

Ziel der stabilen Osteosynthese ist eine möglichst zeitige und vollständige funktionelle Wiederherstellung der Gliedmasse. Um dies bei den verschiedenen Osteosyntheseverfahren gegeneinander abwägen zu können, wurde die postoperative Belastung engmaschig schon nach 3 Wochen beurteilt und verglichen. Daraus kann nicht auf die Frakturheilung rückgeschlossen werden (GOODSHIP et al., 1998; JOHNSON et al., 1998). Korrekt rekonstruierte Frakturen, insbesondere einfache und unkomplizierte Splitterfrakturen, lassen bei rigider Fixation schnell die Wiederbelastung zu, da keine schmerzhaften Bewegungen der Fragmente entstehen können (JOHNSON et al., 1998).

Insgesamt wurden gute Kurzzeitergebnisse erzielt. Zweiundneunzig Prozent der Patienten waren nach 3 Wochen lahmheitsfrei oder wiesen eine geringgradige Restlahmheit auf. Die schnelle Wiederbelastung führte dazu, dass nur in einem Fall (1,4%) eine Komplikation im Sinne einer Frakturkrankheit (Quadrizepskontraktur) beobachtet wurde.

Es ist höchst interessant, dass die Paraossäre Klammer-Cerclagen Frakturmontagen nach 3 Wochen zu 75% als erste, vor den Osteosynthesen mit intramedullärem Kirschner-Bohrdraht und Cerclage (62,5%), vollbelastet wurden und die Tiere lahmheitsfrei waren. Zu bedenken ist, dass diese Techniken vorwiegend bei unkomplizierten Frakturen (PKCS 90% und intramedullärer Bohrdraht mit Cerclage 87,5%) eingesetzt und meist mit Cerclage und Zugschraube kombiniert wurden. Die intramedulläre Schienung mit einem Bohrdraht mit Cerclage wurde insbesondere bei juvenilen Patienten montiert, da ihre Frakturen meist schon nach 2-3 Wochen bereits einen bindegewebigen belastungsstabilen Kallus aufwiesen (BRUNNBERG et al., 2003) und entsprechend nur eine kurze Zeit in achsengerechter Ruhigstellung überbrückt werden müssen.

Im Hinblick auf die postoperative Wiedererlangung der Funktion je nach angewandter Osteosynthesetechnik waren Patienten, bei denen eine 2,7 mm DCP oder ein Fixateur externe montiert wurde, in 46% der Fälle schon nach 3 Wochen lahmheitsfrei, während diese Quote beim Verriegelungsnagel (40%) bzw. bei der 2,0 mm DCP (31,25%) deutlich niedriger war. Dies läßt darauf schließen, dass mit der rigiden Stabilisierung Patienten weniger Schmerzen erleiden und deswegen eher und besser wiederbelasten.

Die einzelnen Röhrenknochen wiesen unterschiedlich häufig gute Kurzzeitergebnisse auf. Während bei Frakturen von Oberschenkel und Unterarm die Tiere 3 Wochen post op. zu 69 bzw. 52% lahmheitsfrei waren, waren es am Unterschenkel und Oberarm nur 41 bzw. 25%.

Kallusbildung

Die Kallusbildung hängt insbesondere bei weitem Bruchspalt (CLAES et al., 1998) direkt von der Stabilität der Fixation und vom Vaskularisationsgrad ab. Je weiter die Fragmente verschoben sind, umso mehr Kallus muss als Grundlage der knöchernen Konsolidierung gebildet werden (PAUWELS, 1980; HULSE und HYMAN, 2003). Welches Ausmaß an Kallus dafür notwendig ist, ist ungeklärt. Bekannt ist, dass eine begrenzte Kallusbildung infolge notwendiger Proliferations- und Differenzierungsprozesse (GOODSHIP et al., 1998; ZHANG et al., 2000) eine gute Vaskularisation und fortschreitende Heilung andeutet (PAUWELS, 1980; CLAES et al., 1998; BAILON-PLAZA und van der MEULEN, 2003). Unter dem Aspekt, die Kallusbildung als Stabilitätsmaß zu sehen, sind in den eigenen Studien die Kirschner-Bohrdraht/ Cerclage-Kombination (Indizes 1,7 bis 2,2) und der Verriegelungsnagel an den Hintergliedmassen (Indizes 1,6 und 1,9) wenig stabil. Dies trifft auch für den Fixateur externe bei Radiusfrakturen bei adulten Patienten zu (Indizes 1,6 bis 1,7), weil wegen des abgeplatteten Radius nur dünne Fixationspins eingesetzt werden können. Dies bedenkend empfiehlt sich der Fixateur externe am Unterarm nur bei einfachen Frakturen. Stabile Osteosyntheseverfahren am Unterarm der Katze sind die 2,0 mm DCP (Indizes selten höher als 1,1), die Paraossäre Klammer-Cerclagen Stabilisierung mit 1,6 mm Bohrdrähten (Indizes $\bar{\varnothing}$ 1,23) und die 2,7 mm DCP (Indizes $\bar{\varnothing}$ 1,26). Folgerichtig entstand bei Einsatz eines 1,4 mm Bohrdrahts bei der PKCS ein ausgeprägter Kallus (Index 2,0). Mit dem Fixateur externe am Radius juveniler und an der Tibia adulter Katzen wurde im Mittel ein Kallusindex von 1,2 erzielt. Das kommt der Stabilität einer Platte oder PKCS vergleichbar rigiden Fixation nah.

Die Auswertung der Kallusgrößen ist weitgehend mit der der Kurzzeitergebnisse konform. Rigide Osteosynthesen führen sowohl zu niedrigem Kallus, als auch zu einer schnellen Wiederbelastung der Gliedmasse. Eine Ausnahme stellt die vergleichsweise schwache intramedulläre Bohrdraht/ Cerclage-Kombination dar. Die schnelle Wiederbelastung wurde bei den ausschließlich juvenilen Tieren durch eine rasche Frakturkonsolidierung erreicht, die der Fraktur zusätzliche Stabilität verlieh.

Vergleich der Langzeitbewertungen

Für das Langzeitresultat sind die klinischen und röntgenologischen Befunde ausschlaggebend, um sowohl die Funktion als auch das Frakturheilungsergebnis zu

beschreiben (GOODSHIP et al., 1998; JOHNSON et al., 1998). Um Empfehlungen für zukünftiges Vorgehen geben zu können, ist die vergleichende Analyse der Verfahren korrelierend zur Fraktur und ihrer Lokalisation entscheidend.

Osteosynthesemethoden

Im Endergebnis konnten in dieser Studie mit der Osteosynthese von Frakturen langer Röhrenknochen in 53 von 64 Fällen (83%) gute bis befriedigende Resultate (90% WENKEL und KAULFUSS, 2001) erzielt werden. Dazu beigetragen haben mit 89% die Kirschner-Bohrdraht-Cerclage Technik, mit 83% die 2,7 mm DCP, mit 100% die PKCS und mit 85% der Fixateur externe, sowie die schlechteren Ergebnisse nach Verriegelungsnagelung mit 60% und die 2,0 mm DCP mit 69%.

Unter dem Aspekt „Alter“ war das Ergebnis bei juvenilen Patienten mit 94% (15/16) und bei adulten mit 79% (38/48) wie zu erwarten nicht gleich. Korreliert man die Faktoren Lokalisation, Alter und Osteosynthesetechnik, so war bei jungen Katzen die Kirschner-Bohrdraht mit Cerclage Technik (100%) bei Frakturen des Oberarms und Oberschenkels und das PKCS- bzw. Fixateur externe-Verfahren (jeweils 100%) bei Unterarm- und Unterschenkelfrakturen ausgezeichnet, während mit der 2,0 mm DCP Plattentechnik nur 67% (2/3) der Frakturen heilten. In der Synopse sind diese vier Verfahren bei Frakturen juveniler Katzen erfolgreich einsetzbar. Als besonders vorteilhaft sind Kirschner-Bohrdraht mit Cerclage und Fixateur externe bei jungen noch wachsenden Katzen anzusehen, weil das Verfahren für die relativ kurze Heilungszeit stabil genug ist.

Diese Faktoren bei adulten Tieren korrelierend, wurden mit der PKCS (6/6, 100%), der 2,7 mm DCP (10/12, 83%) und der Fixateur externe Montage (7/9, 78%) die besten Resultate erzielt. Dagegen waren die Ergebnisse mit Kirschner-Bohrdraht und Cerclage (50%), mit Verriegelungsnagel (3/5, 60%) und mit 2,0 mm DCP (69%) deutlich schlechter.

Aufgrund der eigenen Ergebnisse empfehlen sich die Paraossäre Klammer-Cerclagen Stabilisierung am Radius, Os femoris und Tibia bei Schräg-, Spiral- und rekonstruierbaren Splitterfrakturen. Unabhängig vom Frakturtyp gewährleistet die 2,7 mm DCP für den Humerus und das Os femoris gute Bedingungen für die Frakturheilung. Allerdings sollte die Steifigkeit und breite Auflage am Knochen (SCHMIDTMANN et al., 1997; CARTER

et al., 1998; CLAES et al., 2002; REEMS et al., 2003) besonders bei ausgeprägtem Weichteiltrauma bedacht werden. Eine ausreichende Stabilität ließe sich auch mit einer 2,0 mm DCP mit intramedullär eingebrachtem Kirschner-Bohrdraht erzielen, um den überlangen Heilungszeiten nach 2,7 mm DCP Montage vorzubeugen. Möglicherweise bietet auch die von LEUNIG et al. (2000), BOUDRIEU (2003) und SCHMÖKEL et al. (2003) empfohlene elastische Plattenfixation, bei der nur frakturfern mit je 2-3 Schrauben fixiert wird, eine schnellere Heilung. Die 2,0 mm DCP erwies sich in Konsens mit MEYER-LINDENBERG (1996) zur Osteosynthese von Unterarmfrakturen sowie einfachen und unkomplizierten Splitterbrüchen anderer Röhrenknochen als geeignet, während sie sich bei Trümmerfrakturen nicht empfiehlt. Bessere Resultate können mit dem verstärkten Modell erreicht werden. Nach Literaturangaben sind mit dem Verriegelungsnagel (ROUSH und McLAUGHLIN, 1999; LORINSON et al., 2000; DUHAUTOIS, 2003; BRUNNBERG et al., 2003) gute Heilungsergebnisse zu erwarten. Die eigenen Untersuchungen bestätigen das nicht. Das schlechte Resultat ist auf technische Fehler zurückzuführen. Der Fixateur externe erbrachte bei Unterarm- und Unterschenkelfrakturen trotz der hohen Komplikationsrate von 87,5% bei adulten Katzen letztlich gute Ergebnisse. Eine Optimierung wäre wohl mit weiteren untereinander divergierenden Fixationspins bei exakt ausgerichteter Knochenachse erreichbar (RUDD und WHITEHAIR, 1992; WEBER und MONTAVON, 1993; ANDERSON et al., 1997; GORSE, 1998; HAAS et al., 2003).

- Kirschner-Bohrdraht mit Cerclage (9 Fälle)

Mit dem Marknagel konnten in den eigenen Untersuchungen letztendlich in 87,5% der Fälle gute oder befriedigende Resultate erzielt werden. Die Komplikationsrate lag bei 25%. In Übereinstimmung mit HAAS und UNGER (2001) wurde die Fixation insbesondere bei juvenilen Katzen angewandt. Das Ergebnis war bei diesen gut (100%). Das System Kirschner-Bohrdraht/ Cerclage führte in allen Fällen zur sekundären Frakturheilung (WOLF et al., 1998; AUGAT et al., 2001). Die Fixation Kirschner-Bohrdraht mit Cerclage war postoperativ am Humerus immer (100%) und am Os femoris bei 25% der Fälle mit einer Lahmheitsphase behaftet. Die Kirschner-Bohrdraht Osteosynthese ist demnach für Oberschenkelschaftfrakturen juveniler Katzen besonders geeignet (McCORMACK et al., 2000; BRUNNBERG und WAIBL, 2002; WISS, 2002).

Bei zwei adulten Tieren kam es dagegen zu erheblichen Komplikationen, weil die Nägel, die nur etwa 70% des Markraums ausfüllten, auf Höhe des Frakturspalts brachen. Einer dieser Fälle heilte befriedigend aus. Mit diesen beiden Fällen wird eindrucksvoll belegt, dass nur eine markraumfüllende Osteosynthese beim ausgewachsenen Tier sichere Stabilität liefert (JOHNSON, 2003; ROE, 2003). Den Markraum dafür aufzubohren, um noch stabilere Nägel einbringen zu können, ist nach DUHAUTOIS (2003) nicht sinnvoll.

- Verriegelungsnagel (5 Fälle)

Von den Osteosynthesen mit dem Verriegelungsnagel konnten fünf (5/6) Patienten kontrolliert werden. 60% waren gut und 40% mangelhaft bei einer Komplikationsrate von 40% verheilt.

Das Ergebnis deckt sich nicht mit dem deutlich besseren in der Literatur (ROUSH und McLAUGHLIN, 1999; LORINSON et al., 2000; BRUNNBERG und WAIBL, 2002; DUHAUTOIS, 2003). Bei den eigenen Fällen entstand nach Verriegelungsnagelung am Humerus eine Pseudarthrose. Bei einer 13 Jahre alten Katze blieb die Frakturheilung aus, weil sie an einer Hyperthyreose und einer hypertrophen Kardiomyopathie litt und daran 3 Monate post op. starb. Nach ARON (1990) und GLOWACKI (1998) muss bei begleitenden systemischen Grunderkrankungen immer mit einer Frakturheilungsstörung gerechnet werden. Technisch gelang bei Splitter- und Trümmerfrakturen die distale Verriegelung einer Os femoris- und einer Tibiafraktur nicht, weil mit der Verriegelungsschraube die Querbohrung verfehlt wurde. Derartige Probleme sind auch von DUELAND et al. (1999), LORINSON et al. (2000) sowie LARIN et al. (2001) angegeben. Ursachen dafür sind, dass der Nagel distal nicht tief genug eingetrieben wurde, im Markraum Spiel hat und insbesondere die Zielschablone distal leicht abweichen kann. Ähnliche Erfahrungen machten auch DUELAND et al. (1999). Durch die fehlende distale Verriegelung kollabierte nur die Trümmerfraktur, während der Splitterbruch durch den Kontakt der Hauptfragmente untereinander (ARON et al., 1995; RADASCH, 1999; LAVERTY et al., 2002) zusätzlich stabilisiert wurde und komplikationsfrei heilte.

Nach den eigenen Untersuchungen und den Angaben in der Literatur sollte der Nagel möglichst gut die Markhöhle ausfüllen (LORINSON et al., 2000; LARIN et al., 2001; JOHNSON, 2003; WHEELER et al., 2004), tief im distalen Fragment verankert und insbesondere bei Trümmerfrakturen sicher verriegelt sein (LARIN et al., 2001), dann ist er

gut zur Osteosynthese feliner Ober- und Unterschenkelfrakturen geeignet (LORINSON et al., 2000; LARIN et al., 2001; SIMPSON und LEWIS, 2003; BRUNNBERG et al., 2003). Wie bei allen anderen Osteosyntheseverfahren auch, ist eine von der Lernfähigkeit und dem Geschick des Chirurgen abhängige Lernkurve in Kauf zu nehmen.

- Platte (29 Fälle)

Sechzehn Frakturen wurden mit einer 2,0 mm DCP, zwölf mit einer 2,7 mm DCP und eine mit einer Rekonstruktionsplatte fixiert. Bei 79% der Fälle wurde mit dem System letztlich ein gutes bzw. befriedigendes Ergebnis erreicht.

Da die 2,0 mm und 2,7 mm DCP deutlich unterschiedliche Steifigkeiten aufweisen und dadurch verschiedene Einsatzbereiche haben, werden sie getrennt diskutiert.

Bei juvenilen Patienten konnten die 2,0 mm DCP an zwei einfachen Radiusfrakturen erfolgreich eingesetzt werden. Bei einer fremdversorgten Humerussplinterfraktur brach die Platte. Dies unterstützt Forderungen von BRUNNBERG und WAIBL (2002), verstärkte Modelle für Humerusfrakturen bei der Katze zu montieren.

Bei 17 Katzen älter als ein Jahr wurden mit 2,0 mm T-Plättchen und 2,0 mm DCP neben 13 Unterarm- auch drei Tibia- und eine Os femoris-Fraktur stabilisiert.

Die Unterarmfrakturen heilten unabhängig vom Frakturtyp. In den eigenen Untersuchungen kam es, wie auch bei MEYER-LINDENBERG et al. (1996), an den anderen Röhrenknochen zu Komplikationen bei kompliziert gesplitterten oder zertrümmerten Knochen. Um die Heilungsrate zu verbessern, werden in der Literatur verstärkte 2,0 mm und die Kombination mit intramedullärem Nagel empfohlen (BRUNNBERG und WAIBL, 2002; BOUDRIEAU, 2003). Da an der Tibia auch eine verstärkte 2,0 mm DCP brach, könnte dort die Kombination mit einem Marknagel, der die Biege- und Scherkräfte auf die Platte reduziert (HULSE et al., 1997; RADASCH, 1999), von Vorteil sein, wie es von REEMS et al. (2003) und SIMPSON und LEWIS (2003) für überbrückende Osteosynthesen von Schaftfrakturen empfohlen wird. Damit ergaben sich kurze Heilungszeiten und eine niedrige Komplikationsrate.

Nur bei adulten Katzen wurde zwölfmal eine 2,7 mm DCP am Humerus (1), am Os femoris (5) und an der Tibia (6) eingesetzt. Das Heilungsergebnis war zu 83% gut oder befriedigend. Die Vor- und Nachteile einer relativ steifen Plattenfixierung, die

insbesondere zur Frakturüberbrückung eingesetzt wird, konnten in dieser Arbeit deutlich gemacht werden. Während sechs Frakturen (6/12) am Os femoris und der Tibia (je 3) trotz fehlender Ruhighaltung oder offenem Frakturtyp komplikationslos heilten, erwiesen sie sich bei drei von fünf (60%) Trümmerbrüchen als nur bedingt geeignet, weil die Frakturen verzögert (1) oder nicht (2) heilten. Als Ursache werden die ausgeprägte Denudierung bei Montage und die hohe Reizarmut am Frakturspalt gesehen (STÜRMER, 1996; SCHANDELMAIER et al., 1997; PERREN, 2002).

Die 3,5 mm Rekonstruktionsplatte einer Tibiafraktur brach aus, weil zu dick gewählte Schrauben den Knochen schwächten (McLAUGHLIN und ROUSH, 1999; MARCELLIN-LITTLE, 2003). Die Rekonstruktionsplatte ist keine Alternative zur DCP, weil sie als 2,7 mm-Modell als zu schwach für Frakturen langer Röhrenknochen der Katze gilt (HARARI, 2002; JOHNSON, 2003).

- Paraossäre Klammer-Cerclagen Stabilisierung (8 Fälle)

Mit der parakortikalen Fixationstechnik nach WANIVENHAUS (2001) wurde in 87,5% der Fälle ein befriedigendes Ergebnis erzielt.

Bei zwei jungen Katzen heilten die Tibiafrakturen klinisch und röntgenologisch einmal mit einer Hautwunde über einem Bohrdraht (Splitterfraktur) und einmal verzögert (einfache Querfraktur) gut ab. Die Heilungsverzögerung mag mit der geringen Rotationsstabilität der Parakortikalen Klammer-Cerclagen Technik (hohe interfragmentäre Kräfte; PERREN und CORDEY, 1980) besonders für Querfrakturen erklärt werden, wie sich aus dem Kallusindex von 1,4 und mit der biomechanischen Testung belegen läßt. Interfragmentäre Dehnungskräfte könnten initial die periostalen Gefäße schädigen (HENTE et al., 1992; HANNOUCHE et al., 2001). Die Frakturstabilisierung wäre dann von den sich langsamer entwickelnden endostalen Gefäßen abhängig und verspätet zur periostalen Kallusbildung befähigt (MARSH, 1998; REED et al., 2003).

Bei ausgewachsenen Katzen wurden parakortikal drei Radius- und drei Tibiafrakturen fixiert. Fünf der Fälle heilten einwandfrei (83%) ab, während bei einer offenen Tibiasplitterfraktur zwischen der 6. und 9. Woche post op. röntgenologisch eine Osteomyelitis nachweisbar war. Sie wurde neu versorgt und heilte. Interessant ist, dass unter den Frakturen auch zwei Tibiasplitterfrakturen heilten. Zwar verbogen sich die

Implantate, das klinisch funktionelle Ergebnis war aber gut. Bei derartigen Frakturen ließe sich wohl eine Implantatbiegung mit dickeren Bohrdrähten vermeiden.

Auch wenn die Fallzahlen gering sind, so belasteten die Patienten nach Radius-Ulnaosteosynthesen bereits nach knapp 1,7 Wochen wieder gut, während dies bei Tibiafrakturen erst nach etwa 7 Wochen eintrat. Bedacht werden muss, dass bei diesem System die Heilung der Tibiafrakturen komplikationsträchtiger war. Auch wenn die Paraossäre Klammer-Cerclagen Stabilisierung für viele Schaftfrakturen geeignet ist (WANIVENHAUS, 2001; GRAF, 2003), sollten Quer- und Trümmerfrakturen aufgrund der eigenen Erfahrungen anders osteosynthetisiert werden.

- Fixateur externe (13 Fälle)

In insgesamt 85% (11/13) der Fälle war das Langzeitresultat gut oder befriedigend.

Bei juvenilen Patienten wurden eine Radius- und drei Tibiafrakturen mit dem Fixateur externe versorgt. Das Heilungsergebnis war gut. Bei einer Tibiasplinterfraktur brach nach 10 Tagen der proximale Fixierungspin. Da sich aber bereits bindegewebiger Kallus gebildet hatte, wurde ungeplant eine gewisse Dynamisierung erreicht, die zu einem guten Endergebnis führte (DENNIS, 2003).

Bei adulten Tieren wurden mit Fixateur externe zwei Radius- und sieben Tibiafrakturen versorgt. Das Ergebnis war trotz vieler unwesentlicher Komplikationen (87,5%) in 75% der Fälle gut oder befriedigend. Dies deckt sich mit den Literaturangaben für Schaftfrakturen der Katze. Auch wir sahen wie HARARI (1992) und ROSS und MATTHIESEN (1993) oberflächliche Wundinfektionen, Pinlockerungen und Achs- sowie Rotationsfehler.

Auffällig war, dass 5 von 7 (71,4%) der frakturierten Unterschenkel post op. Achsenabweichungen oder Rotationsfehler aufwiesen oder entwickelten. Dabei war es unwesentlich, ob die Operation offen oder gedeckt erfolgte, wenn auch nachvollziehbar die offene Reposition nach HOWARD (1991) als weniger anfällig für solche Montagefehler gilt. Ebenso wenig konnte ein zu Beginn der Osteosynthese eingebrachter Marknagel entgegen Literaturangaben (EGGER, 1992; MARCELLIN-LITTLE, 2003) keine Verbesserung bringen. Wir vermuten, dass während des Anmodellierens der Kunststoffschienen Verschiebungen des zuvor korrekt ausgerichteten Knochens entstanden

sind. Zwei Rotationsfehler entstanden zwischen der 4. und 12. Woche post op. bei Patienten, die die Gliedmassen voll einsetzten.

Die Fixateur externes in dieser Arbeit wurden relativ einfach konstruiert. Es ist bekannt, dass die Heilungsrate durch eine maximale Anzahl positiv profilierter Fixierungspins verbessert werden kann (BRINKER et al., 1985; ANDERSON et al., 1997).

Die Fixateur externes wurden nach durchschnittlich 7,5 Wochen entfernt. Dieser Wert geht mit Angaben von WEBER und MONTAVON (1994) (7-8 Wochen) und PASSAVANT (2004) (7-12 Wochen) konform.

Röhrenknochen

In der vorliegenden Studie heilten Unterarmfrakturen verglichen mit Frakturen der anderen Röhrenknochen am besten. Die Unterarmfrakturen heilten (18/18) bei einer Komplikationsrate von 33,3 % (6/18). Ebenfalls gut war die Rate beim Os femoris mit 83% (10/12). Bei LANGLEY-HOBBS et al. (1996) und LARIN et al. (2001) betrug sie allerdings 91 und 92%, obwohl es laut SIMPSON und LEWIS (2003) als Knochen mit der höchsten Komplikationsrate gilt. Mit 23,0% hatte das Os femoris in dieser Arbeit trotz des zweithöchsten Anteils an Trümmerfrakturen (25%) die niedrigste Komplikationsrate. Weniger gute Ergebnisse wurden für den Humerus (3/5, 60%) und die Tibia (22/29, 76%) notiert. Jeweils bessere Resultate beschrieben RICHARDSON und THACHER (1993), BRUNNBERG und WAIBL (2002) sowie BRUNNBERG et al. (2003) bei Schaftfrakturen des Humerus und des Unterschenkels mit 97%, 85% bzw. 83,5% guter Ergebnisse. Die Komplikationen der eigenen Studie waren meistens unwesentlich, aber am Humerus mit 80% relativ hoch. Komplikationen des Unterschenkels waren mit 62% seltener als bei RICHARDSON und THACHER (1993) mit 82,5%, zwangen aber bei 24% zu Reoperationen.

Die in der Literatur an Unterarm und –schenkel beschriebenen Heilungsverzögerungen (RICHARDSON und THACHER, 1993; RENBERG et al., 1996; BOUDRIEAU, 2003), die Folge einer mangelhaften Blutversorgung durch die geringe Weichteilprotektion waren, können nicht bestätigt werden. Heilungsverzögerungen kamen gleichermassen an Humerus (20%), Os femoris (16%) und Tibia/Fibula (17%) vor, am Unterarm wurden sie nicht beobachtet.

Patienten mit einer Os femoris-Fraktur waren am schnellsten lahmheitsfrei (Mittel: 5,1 Wochen), während sie bei einer des Unterschenkels erst nach durchschnittlich 5,9 Wochen und des Unterarms nach 6,3 Wochen voll belasteten. Patienten mit Humerusfrakturen lahnten durchschnittlich bis zur 8. Woche post op. Bezüglich der durchschnittlichen Zeit bis zur vollständigen Kalzifizierung der Fraktur unterschieden sich das Os femoris mit 11,6, der Unterarm mit 12,8, der Humerus mit 13,5 und der Unterschenkel mit 13,6 Wochen kaum.

- Humerus

Der Oberarmknochen der Katze ist bedingt durch seine gerade und schlanke Form für den Einsatz einer internen Fixation gut geeignet. Da sie bei einfachen Frakturen ausreichende Stabilität gewährleistet (BRUNNBERG und WAIBL, 2002; HARARI, 2002), wurden zwei Schrägfrakturen juveniler Patienten, wie auch von ROCHAT und PAYNE (1993), BRUNNBERG und WAIBL (2002) und TOMLINSON (2003) beschrieben, durch Kirschner-Bohrdraht mit Cerclage stabilisiert. Sie heilten, waren aber von einer relativ langen Lahmheitszeit mit Schmerzhaftigkeit im Schultergelenk begleitet.

Weiterhin wurde in der vorliegenden Studie bei Splitterfrakturen des Humerus nur mit der 2,7 mm DCP ein gutes Ergebnis erzielt. Die alio loco bei einer juvenilen Katze mit Splitterfraktur lateral angebrachte Veterinär- 2,0 mm DCP brach nach 6 Wochen, und die mit Verriegelungsnagel versorgte Fraktur heilte trotz funktionell gutem Ergebnis nicht. Während die 2,0 mm DCP als zu labil betrachtet werden muss, ist nach Literaturangaben nicht anzunehmen, dass der Verriegelungsnagel für komplizierte Frakturen am Humerus der Katze ungeeignet ist. Nach BRUNNBERG und WAIBL, (2002), PEIRONE et al. (2002) und TOMLINSON (2003) ist er dem Fixateur externe und der Platte vergleichbar. Er ist, wenn distal sicher verriegelbar, aufgrund der weniger ausgiebigen Darstellung des Frakturbereichs der Platte vorzuziehen (BRUNNBERG und WAIBL, 2002; TOMLINSON, 2003).

- Radius und Ulna

Juvenile Katzen wiesen ausnahmslos einfache Frakturen auf, die mit Fixateur externe (1) oder Platte (3) versorgt wurden. Die Frakturen heilten wie auch in anderen Studien

(EULER, 1979; ROCHAT und PAYNE, 1993; WEBER und MONTAVON, 1994; SARDINAS und MONTAVON, 1997; GORSE, 1998; LAVERTY et al., 2002; BOUDRIEAU, 2003) gut, wobei der Fixateur externe eine schnellere Wiederbelastung (1 zu 3 Wochen) und Frakturkonsolidierung (6 zu 12 Wochen) ermöglichte. Somit scheint der Fixateur externe bei juvenilen Katzen besonders geeignet zu sein.

Auch bei adulten Patienten heilten die Frakturen. Es wurden zwei Schrägfrakturen mit PKCS (1) und verstärkter 2,0 mm DCP (1) und 11 Splitter- und Trümmerbrüche mit Platte (7), Fixateur externe (2) und PKCS (2) stabilisiert. Einmal wurde nur die Ulna mit einem Kirschner-Bohrdraht intramedullär versorgt.

Untersuchungen von LAVERTY et al. (2002), nach denen komplexe und offene Radiusfrakturen mit Fixateur externe versorgt gegenüber der Platte eine kürzere Heilungszeit und niedrigere Komplikationsrate aufweisen, werden durch die vorliegenden Daten nur insofern gestützt, als die Komplikationen des Fixateur externe das funktionelle Ergebnis weniger beeinflussten und somit eine schnellere Vollbelastung erreicht werden konnte. Der Fixateur externe ermöglichte gegenüber der Platte bis zur 6. Woche post op. eine schnellere Wiederbelastung (100 zu 62,5%), hatte aber mit 50%, wenn auch durch eine geringere Fallzahl reduziert aussagekräftig, gegenüber der Platte mit nur 25% eine deutlich höhere Komplikationsrate.

Die Implantate irritierten nur bei der Platte, nicht beim Fixateur externe, wie es von RUDD und WHITEHAIR (1992) sowie GORSE (1998) befürchtet wird, das umliegende Weichgewebe. Bei den Patienten wurden Streckdefizite im Ellenbogen- und Karpalgelenk festgestellt, die in Übereinstimmung mit BOUDRIEAU (2003) nach Implantatentfernung verschwanden.

Die Paraossäre Klammer-Cerclagen Stabilisierung wurde an einer einfachen und zwei Splitterfrakturen montiert. In beiden Fällen erzielten wir, wie GRAF (2003), funktionell gute Ergebnisse, ohne sie röntgenologisch bis zur Heilung kontrollieren zu können.

- Os femoris

Es wurden vier Oberschenkelfrakturen juveniler Katzen wegen der Gefahr verletzungsbedingter Wachstumsstörungen (BAHN, 1995; WISS, 2002; JOHNSON, 2003) durch Kirschner-Bohrdraht mit Cerclage versorgt. Die Heilungsverläufe zeichneten sich

durch schnelle Vollbelastung der Gliedmassen (75% nach 3 Wochen) und Komplikationsfreiheit aus.

Mit Platte und Verriegelungsnagel versorgte Splitterfrakturen des Os femoris adulter Katzen heilten analog zu MEYER-LINDENBERG et al. (1996) und JOHNSON et al. (1998), bei denen die Platte ebenfalls gute Ergebnisse erzielte, ausschließlich gut und komplikationsfrei. Beide Techniken führten zu gleichermaßen schneller Wiederbelastung bis zur 3. Wochen post op. Die Frakturkalzifizierung konnte jedoch beim Verriegelungsnagel (6 Wochen post op.) deutlich früher als bei der Platte (12 Wochen post op.) festgestellt werden.

Schlechte Resultate wurden dagegen bei der Versorgung von Trümmerbrüchen festgestellt. Nur eine der 3 Frakturen heilte (33,3%), obwohl Platte und Verriegelungsnagel für die Versorgung dieser Bruchart als geeignet gelten (ROUSH, 1995; JOHNSON et al., 1998; KARNEZIS, 2000; SIMPSON und LEWIS, 2003). Mit der Plattenosteosynthese mißlang zweimal die exakte Ausrichtung der Knochenachse. Die resultierenden Patellaluxationen bestätigen MEYER-LINDENBERG et al. (1996), wonach die exakte Anmodellierung der Platte am Oberschenkel von besonderer Bedeutung ist. Zusätzlich entstand eine Pseudarthrose, und es kam zum Ermüdungsbruch der Platte. Aus anatomischen Gründen kann besonders an den distalen zwei Dritteln des Femurschafts eine ausgedehnte Manipulation und eine starre Fixierung die Revaskularisation (GLOWACKI, 1998; KLEIN et al., 2003) und Knochenheilung (CARTER et al., 1998; AUGAT et al., 2001) verzögern. Die distale Verriegelung eines Nagels scheiterte, wie schon bei LORINSON et al. (2000) und KRETTEK (2001) erwähnt, an der Ungenauigkeit der Schablone und dem zu klein gewählten Nagel.

- Tibia und Fibula

Tibiafrakturen machten mit 43,1% den höchsten Anteil in dieser Studie aus. Trümmerfrakturen (juvenil 17%, adult 48%) bestanden, verglichen denen anderer Röhrenknochen in dieser Studie (juvenil 0%; adult 0 bis 34%) und verglichen mit denen anderer Untersuchungen (RICHARDSON und THACHER, 1993; BRUNNBERG et al., 2003), am häufigsten an diesem Knochen.

Die eigenen Untersuchungen stützen vorangegangene vergleichende Studien, die den Verriegelungsnagel (2) an der Tibia anderen Osteosynthesen vorziehen. Mit Platte (10)

stabilisierte Frakturen heilten häufiger verzögert, mehrfach kam es zu tiefen Infektionen und Implantatversagen. Der Fixateur externe (10), bei einfachen und unkomplizierten Splitterfrakturen mit dem VN vergleichbar (ANDERSON et al., 1997), hatte bei komplizierten Brüchen eine verlängerte Zeit bis zur vollständigen Wiederbelastung und eine erhöhte Anzahl an Achsenfehlern. Pinlockerungen machten erneute Intervention erforderlich und beeinträchtigten analog zu SCHANDELMAIER et al. (1997) und BHANDARI et al. (2001) den Patientenkomfort. Eine Minimalosteosynthese, die nach BRUNNBERG et al. (2003) bei komplizierten Unterschenkelbrüchen nicht angewandt werden sollte, versagte, während mit der PKCS (5) nur gute Ergebnisse erzielt wurden.

An den Tibiae juveniler Katzen wurden drei einfache, zwei Splitter- und eine Trümmerfraktur mit Fixateur externe und PKCS versorgt. Die Frakturen heilten.

Der Heilungsverlauf beider Techniken unterschied sich durch eine schnellere Wiederbelastung der PKCS versorgten (1 gegenüber 12 Wochen post op.) gegenüber einem schnelleren röntgenologischen Durchbau der mit Fixateur externe versorgten (5 gegenüber 15 Wochen post op.) Frakturen.

Bei adulten Katzen konnten zu 73% gute oder befriedigende Ergebnisse beobachtet werden. Frakturen, die mit einem Verriegelungsnagel (2) oder einer Paraossären Klammer-Cerclagen Stabilisierung (3) versorgt waren, heilten gut. Auch der Fixateur externe erzielte mit 75% (6/8) ein gutes Resultat am Unterschenkel. Unter diesen drei Techniken hatte der Fixateur externe mit 80% die höchste Komplikationsrate. Wie bereits zuvor erwähnt, führte er deutlich häufiger als andere Implantate zu Rotations- oder Achsenfehlern (5/7, 71%). Die Problematik wird von JOHNSON (2003) speziell für die Tibia mit einer durch die dreieckige Form proximal und dem sigmoiden Verlauf des Schafts sowie durch die proximolaterale Bemuskulung erschwerten exakten Ausrichtung der Fixationsstangen erklärt.

Das Ergebnis der Plattenfixationen war insgesamt entgegen anderen Untersuchungen (RICHARDSON und THACHER, 1993; BRUNNBERG et al., 2003) sehr schlecht, weil 40% der Ergebnisse mangelhaft waren. Dies ist ausnahmslos bei Trümmerbrüchen beobachtet worden, da Splitterfrakturen verheilten. Während mit 2,7 mm DCP zwei Trümmerfrakturen langsam und eine nicht heilten, war die Heilung der drei mit 2,0 mm DCP versorgten Frakturen mangelhaft. Die Studie gibt Hinweise darauf, dass die

Effektivität der 2,7 mm DCP durch eine elastische Fixierung (je 2 Schrauben) in Kombination mit einem intramedullären Kraftträger, wie es auch LEUNIG et al. (2000), BOUDRIEAU (2003) und SCHMÖKEL et al. (2003) empfehlen, gesteigert werden kann, weil sie gegenüber rigider fixierten Platten (7 und 10 Fixierungsschrauben) das bessere Heilungsergebnis erbrachte.

Die 2,0 mm DCP in Überbrückungsfunktion am Katzenunterschenkel ist dagegen nicht geeignet.

Frakturtypen

Die 16 Frakturen juveniler Patienten mit insgesamt elf einfachen Bruchformen heilten komplikationsarm. Bei adulten Katzen konnten sechs einfache, 27 Splitter- und 15 Trümmerbrüche ausgewertet werden. Gute oder befriedigende Ergebnisse erzielten 83% (5/6) der einfachen und 89% (24/27) der Splitterfrakturen. Das Resultat der Trümmerbrüche war nur zu 53% (8/15) gut oder befriedigend.

Bei Trümmerfrakturen ermöglichten eine Parakortikale Klammer-Cerclagen Stabilisierung und ein Fixateur externe eine komplikationsfreie Heilung. Der Verriegelungsnagel, die 2,7 mm und die 2,0 mm DCP erzielten bei Trümmerfrakturen nur jeweils 50, 60 und 40% gute Resultate. Diese Studie deckt sich nicht mit anderen (SCHANDELMAIER et al., 1997; ANDERSON et al., 1997; BHANDARI et al., 2001), nach denen der Verriegelungsnagel diesbezüglich der Platte überlegen ist.

Obwohl Trümmerfrakturen durch fehlenden Kontakt nervenreichen Periosts als weniger schmerzhaft gelten, wurden deutlich schlechtere Kurzzeitbewertungen (7,7% lahmheitsfrei nach 3 Wochen) als bei Splitterfrakturen (38,7% lahmheitsfrei nach 3 Wochen) registriert. Die Ursache mag einerseits im ausgedehnteren Weichteiltrauma liegen, andererseits wurden an Splitterfrakturen häufiger eine PKCS oder ein Fixateur externe montiert, mit denen insgesamt deutlich bessere Kurzzeitergebnisse als mit einer DCP erzielt wurden.

Komplikationen

Die Komplikationsraten der Osteosynthesemethoden differierten unwesentlich und waren mit Werten zwischen 50 und 67% relativ hoch, wobei zu berücksichtigen ist, dass auch für den Heilungsverlauf unwesentliche Auffälligkeiten (z.B. oberflächliche Pintraktinfektionen, zwischenzeitlich geringgradige Lahmheiten durch

Implantatirritationen usw.) notiert wurden. Die Komplikationsraten unterscheiden sich zum Teil unter dem Altersaspekt juvenil und adult erheblich. Bei juvenilen Katzen betrug die Komplikationsrate der PKCS 100% und des Fixateur externe 25%. Bei Adulten waren Kirschner-Bohrdraht (100%) und Fixateur externe (88%) überdurchschnittlich oft und PKCS (34%) selten komplikationsbehaftet.

Von Komplikationen begleitet war die 2,0 mm DCP in 31%, die Kirschner-Bohrdraht/Cerclagen-Methodik und der Verriegelungsnagel in je 25% der Fälle häufiger als bei der 2,7 mm DCP (17%), der PKCS (12,5%) und dem Fixateur externe (17%).

Erste Fehlerquellen waren die Wahl falscher Osteosynthesematerialien [Kirschner-Bohrdraht bei Adulten (1), Rekonstruktionsplatte (1)], zu schwache Platten [2,0 mm DCP in Überbrückungsfunktion (3)] und zu dünne Bohrdrähte in der PKCS [1,4 mm, (1)] sowie eine zu geringe Anzahl an Fixierungspins im Fixateur externe System (13).

Re-Operationen waren wegen Implantatversagens (8), Osteomyelitis (1) und Dynamisierungen (3) erforderlich. Eine Osteosynthese während des Heilungsverlaufs zu dynamisieren wird kontrovers diskutiert (KRETTEK, 2001; JOHNSON, 2003; DURALL et al., 2004), hat sich aber in dieser Studie bewährt, weil schon bei der ersten Kontrolle nach diesem Eingriff ein deutlicher Heilungsfortschritt zu erkennen war. Dies deckt sich mit Untersuchungen von CLAES et al. (1995), CHAO et al. (1998), GOODSHIP et al. (1998), JOHNSON et al. (1998) sowie BAILON-PLAZA und van der MEULEN (2003). Sie konnten durch eine dezente Dynamisierung in der Zeit, in der sich knöcherne Brücken gebildet und Remodellierungsprozesse bereits eingesetzt hatten, signifikant mehr Kallus und eine höhere Zugfestigkeit des neu formierten Knochengewebes feststellen.

Einfluss offener Frakturen

Offene Frakturen erhöhen zufolge dieser Arbeit nicht die Gefahr einer Heilungskomplikation. Dies deckt sich mit Angaben der Literatur (SCHANDELMAIER et al., 1997; LEUNIG et al., 2000; LAVERTY et al., 2002). In drei von acht Fällen (37,5%) kam es zu geringgradigen Komplikationen. Letztendlich heilten die Frakturen aber. Nach MARSH (1998) tragen Weichteilschäden nur bei Frakturen des Typs A (AO-Klassifizierung) signifikant zur Verlängerung der Heilungsdauer bei. In der vorliegenden Studie waren die Knochen bei offenen Frakturen gesplittert (7) oder zertrümmert (1).

Auswertung

Statistisch ließen sich die Ergebnisse wegen verschiedener nicht zu normierender Parameter wie Wahl und Ausführung der Osteosyntheseverfahren und anderer Kriterien (4 Operateure, 4 Gliedmassenabschnitte, 5 Osteosynthesen, 2 Altersgruppen) nicht auswerten. Zudem war die Patientenzahl dafür zu gering.

Der Wahl des Osteosyntheseverfahrens lagen die bekannten Kriterien zur Frakturversorgung (MÜLLER et al., 1984; ROCHAT und PAYNE, 1993; ROUSH, 1995; CHANDLER und BEALES, 2002; HARARI, 2002) zugrunde und wurden entsprechend vom Chirurgen festgelegt. Eine randomisierte Verteilung der Patienten auf die Osteosynthesen war nicht möglich, weil die Einhaltung der Grundregeln zur Frakturversorgung und der Erfolg der Stabilisierung im Vordergrund standen.

In einigen Fällen konnte das Heilungsergebnis nur telefonisch erfragt werden. Diese Angaben beziehen sich nur auf die Funktion.

In dieser Arbeit wurden 64 Frakturen langer Röhrenknochen junger und erwachsener Katzen (n=58) mit fünf Verfahren osteosynthetisiert. Diese Parameter lassen bereits erkennen, dass für jedes Verfahren letztlich immer nur eine geringe Fallzahl zur Auswertung vorlag. Entsprechend lassen sich nur sehr unter Vorbehalt Rückschlüsse und Empfehlungen ableiten.

Die Kirschner-Bohrdraht/ Cerclage Technik ist nur bei juvenilen Katzen und nur dann geeignet, wenn die Fraktur rekonstruierbar ist. Der Verriegelungsnagel ist in dieser Studie schlecht beurteilbar, da nur wenige Fälle vorliegen und relativ häufig technische Fehler unterliefen. Die PKCS ist für einfache, außer Querfrakturen, und Splitterfrakturen besonders geeignet. 2,0 mm DCP bewähren sich bei einfachen Frakturen, insbesondere des Unterarms. Für die Osteosynthese von Splitter- und Trümmerfrakturen sind 2,7 mm DCP geeignet, wenn eine gute Revaskularisation zu erwarten ist. Der Fixateur externe erzielte gute Ergebnisse bei allen Frakturformen der unteren Gliedmassenabschnitte, sollte aber trotz des geringen Körpergewichts der Katze möglichst stabil konstruiert werden.

Am Humerus juveniler Katzen ist eine Minimalosteosynthese mit Kirschner-Bohrdraht und Cerclage anwendbar. Bei Adulten sollte eine 2,7 mm DCP oder ein Verriegelungsnagel verwendet werden. Unterarmfrakturen bei juvenilen und adulten Katzen heilten gut mit einer PKCS, einer 2,0 mm DCP, einem 2,0 mm T-Plättchen oder einem Fixateur externe. Frakturen des Os femoris juveniler Patienten sind mit Kirschner-Bohrdraht/ Cerclage Technik zu versorgen. Für einfach und gesplittet frakturierte Os femoris adulter Katzen

können 2,7 mm DCP und Verriegelungsnagel verwendet werden. Bei ausgeprägtem Weichteilschaden ist der Verriegelungsnagel zu bevorzugen. Insbesondere bei Trümmerfrakturen ist auf eine exakte Ausrichtung der Knochenachse zu achten. Tibia- und Fibulafrakturen heilen bei juvenilen und ausgewachsenen Katzen mit Verriegelungsnagel, Platte und Fixateur externe gleichermaßen gut, wenn sie einfach oder gesplittert sind. Trümmerfrakturen sollten mit einem Verriegelungsnagel oder einem stabilen Fixateur externe osteosynthetisiert werden. Nur bei noch nicht ausgewachsenen Katzen ist eine Kirschner-Bohrdraht/ Cerclage Technik möglich.