

Fortschritte in der Osteosynthese beim Pferd

Jörg A. Auer

Emeritus Professor Departement für Pferde, Universität Zürich, Schweiz

Zusammenfassung: Die Fortschritte in der Osteosynthese beim Pferd, die während den letzten 50 Jahren erzielt wurden, werden in verschiedenen Kapiteln erörtert und aufgeteilt in Schrauben- und Plattenfixationen. Bei den Letztern wird die Entwicklung der verschiedenen Systeme kurz beschrieben und deren Vor- bzw. Nachteile aufgelistet. Die Verriegelungsplatten und Schrauben sind heute die Produkte der Wahl bei der Plattenosteosynthese und es lohnt sich, die höheren Kosten zu investieren, denn die Erfolge mit diesen Implantaten sind deutlich besser. Dabei ist es nicht nötig, nur Verriegelungsschrauben zu verwenden, denn zwei Schrauben auf jeder Seite der Fraktur genügen in den meisten Fällen, um die Stabilität zu erreichen. Die restlichen Plattenlöcher können mit Kortexschrauben versehen werden, die deutlich preiswerter sind. Es wird auch auf den Einsatz der Externen Fixation, Transfixation und der Verriegelungsnägel kurz eingegangen. Die Prävention von Infektionen bei der Osteosynthese, die Computer-assistierte Chirurgie, der intraoperative Einsatz von Computertomographen, die minimalinvasive Frakturbehandlung, sowie die Frakturbehandlung am stehenden Pferd werden kurz besprochen. Ein kurzer Ausblick auf künftige Entwicklungen bildet den Abschluss.

Schlüsselwörter: Fortschritte / Osteosynthese / Frakturen / Pferd / LCP / Orthopädie / Traumatologie

Advances in osteosynthesis in the horse

The advances in osteosynthesis in horses that have been achieved during the last 50 years will be discussed in different chapters and divided into screw and plate fixations. In the latter the various systems, as they were developed are briefly described and their advantages and disadvantages listed. The locking plates and screws are now the implants of choice in the plate fixation, and it is worth to invest in the higher costs because these implants, if applied correctly, result in a better success rate. It is not necessary to use exclusively locking head screws along the plate; two screws on each side of the fracture are in most cases sufficient to achieve superior stability. The remaining plate holes can be filled with cortex screws, which are significantly more economical. The possibilities of fracture management with the help of external fixation, transfixation pins and the locking nails are briefly discussed. Prevention of infections in osteosynthesis, the use of computer-assisted surgery, the intraoperative use of computed tomography, minimally invasive osteosynthesis, and fracture management in the standing horse are mentioned. A brief outlook on future developments concludes this essay.

Keywords: advances / osteosynthesis / fractures / horse / LCP / orthopedics / traumatology

Zitation: Auer J. A. (2016) Fortschritte in der Osteosynthese beim Pferd. *Pferdeheilkunde* 32, 148-159

Korrespondenz: Prof. em. Jörg A. Auer, Ammerswilerstrasse 5, 5600 Lenzburg, Schweiz; E-Mail: jauer@swissonline.ch

Einleitung

Die Osteosynthese beim Pferd hat in den letzten 50 Jahren enorme Fortschritte erzielt – die rasantesten in den letzten 15 Jahren. Zwischen den Versuchen und den heutigen Osteosynthesen mit Verriegelungsplatten besteht ein gewaltiger Unterschied. Der Weg dahin ist gepflastert mit kleinen, persönlichen Fortschritten, auf denen man den nächsten Eingriff aufbauen konnte, Fehlern aus denen man lernte und Diskussionen mit Kollegen, die sich auch für die Behandlung von Frakturen beim Pferd interessierten. Die Zusammenarbeit in der AOVET, dem „Veterinär-Arm“ der AO-Stiftung, vor, im Zusammenhang mit den AOVET-Kursen in der Behandlung von Frakturen beim Pferd, welche sich von Europa und den USA ausgehend über die ganze Welt verbreiteten, ist für die größten Fortschritte verantwortlich. Die überaus großzügige Unterstützung der Industrie, vorab das ehemalige Institut Straumann in Waldenburg, und die Firma Mathys AG in Bettlach, haben diese Fortschritte erst möglich gemacht, indem sie qualitativ hochstehende Implantate und die dazugehörigen Instrumente entwickelten und vertrieben (Auer et al. 2013). Dazu kam die Synthes USA, welche die anderen beiden Firmen zu Beginn dieses Jahrhunderts übernahm und zur Synthes Ltd. zusammenschweißte. Vor 2 Jahren wurde dann die Synthes Ltd von Johnson & Johnson übernommen und zusammen mit DePuy als DePuy-Synthes weitergeführt. Im

Juni 2015 wurde die weltweite Zusammenarbeit mit einem neuen, vorerst auf 5 Jahre beschränkten „Cooperations Agreement“ von den Verantwortlichen der AO Foundation und Johnson & Johnson unterschrieben.

Die ersten Schritte fanden in der Schweiz statt, doch sprang der Funke schon sehr früh auf die USA über, wo auch die größten Fortschritte erzielt wurden (Auer et al. 2013). Die ersten Promotoren der Frakturbehandlung beim Pferd waren unter anderen Professor Björn von Salis, Frauenfeld, der auch als 1. Präsident der AOVET amtierte; Professor Jacques Jenny, auch ein Schweizer, der an der University of Pennsylvania dozierte; Professor Al Gabel, Ohio State University; Professoren Gustave Fackelman und David Nunamaker, New Bolton Center, Pennsylvania. Die 2. Generation ist vertreten durch Larry Bramlage, Kentucky; Simon Turner, Colorado State University; den Autor dieser Publikation; Dean Richardson, New Bolton Center, Pennsylvania; Robert Schneider, Washington; Al Ruggles, Kentucky und Jeffrey Watkins, Texas A&M University (Auer et al. 2013).

In diesem Übersichtsbeitrag werden die einzelnen Entwicklungen, wie sie in der Osteosynthese beim Pferd stattfanden, kurz beschrieben und die heutige *lege artis* der Frakturbehandlung beim Pferd vorgestellt.

Die ersten Schritte

Die ersten Osteosynthesen beim Pferd wurden in den späten 60er Jahren des letzten Jahrhunderts durchgeführt. Es war ein großes Anliegen von Björn von Salis, einem praktischen Tierarzt aus der Schweiz, Pferden mit Frakturen zu helfen (Auer et al. 2013). Die Möglichkeit erbot sich als er, damals vorübergehend, in einer Kleintierpraxis in Basel tätig, Fritz Straumann kennenlernte, der Schrauben und Platten für die Humanärzte der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese (AO) herstellte. Fritz Straumann war auch ein Tierliebhaber und wollte, dass die Vorteile, welche die Humanpatienten durch die Innere Fixation von Frakturen erfahren durften, auch den Tieren zugute kamen. Zwischen diesen beiden und einigen anderen Tierärzten in der Gegend entstand eine intensive Zusammenarbeit. Bei regelmäßigen Treffen in Waldenburg, dem Sitz des Institut Straumann, wurden die Tierärzte durch Spezialisten der Human-Osteosynthese in deren Techniken eingeweiht; so entstand die „Waldenburg Gruppe“. Vorerst wurde hauptsächlich an Kadaverknochen geübt.

Die ersten Pferdefrakturen, die mittels Osteosynthese behandelt wurden, betrafen vorwiegend die distalen Gliedmaßenknochen, hauptsächlich die proximale Phalanx (von Salis 1972). Sagittale Frakturen wurden erfolgreich mittels Zugschraubentechnik fixiert (Abb. 1). Die erste erfolgreiche

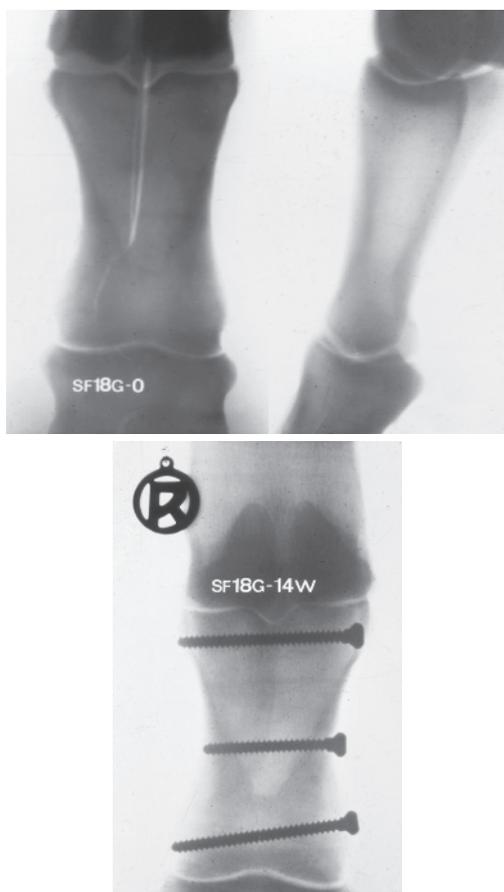


Abb. 1 Eine der ersten Frakturen beim Pferd, die durch Björn von Salis mittels AO-Osteosynthese behandelt wurden. a: dorsopalmare (links) und lateromediale (rechts) Röntgenaufnahmen einer monokortikalen, sagittalen Fraktur der proximalen Phalanx; b: 14 Wochen postoperative, dorsopalmare Röntgenaufnahme der geheilten Fraktur, die mit 3 interfragmentären Kortexschrauben in Zugschraubentechnik behandelt wurde. (Photo: B. von Salis)

Plattenosteosynthese an einem lebenden Pferd fand im Jahre 1968 in einem Stall statt (Auer et al. 2013). Ein gesundes Pferd mit dem Namen „Maxlie“, das für die Schlachtung vorgesehen war, wurde von Fritz Straumann gekauft. Unter Vollnarkose wurde dem Tier, eine Osteotomie des MIII mittels zwei 4.5mm-Titanplatten fixiert. Es handelte sich um Versuchsplatten, die am AO-Forschungszentrum entwickelt wurden. Die Osteotomie heilte problemlos. Maxlie erholte sich gut von der Operation, und konnte noch viele Jahre auf Fritz Straumann's Hof lahmheitsfrei weiterleben. Der Gedanke bei diesem Versuch bestand darin, dass, falls die Verplattung bei einem Pferd erfolgreich verlaufen werde, diese Platten beim Menschen eingesetzt würden; und so kam es dann auch.

Schraubenosteosynthese

Osteosynthesen mittels Schrauben werden am häufigsten durchgeführt. Dies liegt einerseits daran, dass diese Art der Behandlung bei einfachen Frakturen, hauptsächlich in den distalen Gliedmaßen, wo sie zahlreich auftreten, zum Zuge kommt, und andererseits wenige Implantate benötigt, was sich in einem geringeren finanziellen Aufwand auswirkt. Dabei wird meistens die Zugschraubentechnik angewendet.

Die 4.5mm-Kortexschraube ist das „Work-Horse“ der chirurgischen Frakturbehandlung. An besonders exponierten und starken Kräften ausgesetzten Stellen kommt oft die 5.5mm-Kortexschraube zum Zuge, während die 3.5mm-Kortexschraube bei kleineren Fragmenten, die nicht so großen Kräften ausgesetzt sind, angewendet wird (Auer 2006, 2012).

Die Zugschrauben-Fixation wird bei Frakturen der Phalangen, proximalen Sesambeinen, bei lateralen und teilweise bei medialen Kondylenfrakturen der Röhreibe sowie bei größeren Frakturen der Karpal- und Tarsalknochen eingesetzt. Die Technik der Zugschraubenfixation ist in der einschlägigen Literatur gut beschrieben (Auer 2006, 2012) und wird hier nicht weiter diskutiert. Heute werden gewisse Zugschraubenfixationen auch am stark sedierten, stehenden Pferd erfolgreich durchgeführt. Dies gilt auch für die Entfernung von Implantaten nach erfolgter Knochenheilung (siehe später).

Bei artikulären Frakturen wird heute die anatomische Reduktion während der Zugschraubenfixation arthroskopisch überwacht. Dies erlaubt es auch dem Chirurgen, die Prognose betreffend eines Wiedereinsatzes im Sport besser abzuschätzen.

Spongiaschrauben werden heute sehr selten eingesetzt. Dies gilt auch für die durchbohrten Spongiaschrauben, die über einen 2.5mm-Durchmesser Kirschner-Nagel implantiert werden (Fackelman und Auer 1996); diese Schrauben sind für Pferde zu schwach. Auch die „kopflösen“ Schrauben, wie die „Acu-track Equine Screw“ (Galuppo et al. 2001, Galuppo et al. 2002a) haben sich nicht durchgesetzt. Das gleiche gilt für die resorbierbaren Schrauben, welche aus Polylaktat hergestellt werden (Witte et al. 2008, Zang et al. 2010). Sie sind zu wenig widerstandsfähig, um bei größeren Frakturen eingesetzt zu werden und bieten den zusätzlichen Nachteil, dass sie postoperativ röntgenologisch nur schwer darstellbar sind. Heute werden sie in kleineren Dimensionen hauptsächlich zur Verankerung von Fäden im Knochen in Gelenknähe eingesetzt.

Plattenosteosynthese

Rundlochplatten

Die ersten in den 60er-Jahren angewendeten Platten hatten runde Schraubenlöcher (Abb. 2), die den Schraubenkopf vollkommen umgaben und somit Mikrobewegungen der Schraubenköpfe in den Plattenlöcher weitgehend verhinderten (Allgöwer et al. 1973). Die Unterseite der Platten war durchgehend gestaltet und zielte zwecks Erzeugung von Reibung und der damit einhergehenden Stabilität auf eine möglichst große Kontaktfläche mit dem darunterliegenden Knochen. Die axiale Kompression der Frakturebene wurde mittels eines speziellen Zuginstrumentes erzeugt, welches nach Schraubenfixation der Platte auf der einen Seite der Fraktur am anderen Ende der Platte eingehängt und mittels einer kurzen Schraube im Knochen fixiert wurde (Nunamaker 2000). Dies erfolgte durch Anziehen einer Schraube, welche die Platte in Richtung des Instrumentes zog und damit axiale Kompression auf die Frakturebene ausübte. Durch einsetzen von Schrauben auf der anderen Seite der Fraktur konnte die Kompression aufrecht erhalten werden. Anschließend wurde das Instrument entfernt und die restlichen Schraubenlöcher mit Schrauben versehen. Bei Schrägfrakturen wurde auch eine interfragmentäre Schraube in Zugschraubentechnik durch ein Plattenloch gesetzt. Eine Studie, in der Osteotomien am Radius beim Hund mittels Rundlochplatten und axialer Kompression fixiert wurden, zeigte direkte Knochenheilung ohne Kallusbildung (Schenk und Willenegger 1963).

Dynamische Kompressionsplatte (DCP)

Die DCP wurde ab 1969 in der Human- und Veterinärchirurgie eingesetzt (Allgöwer et al. 1973, Nunamaker 2000, Rüedi et al. 2007). Die Geometrie der Schraubenlöcher ließ das Einsetzen der Schraube in neutraler- oder Kompressionsposition zu. Somit konnte auf das vorher erwähnte Zuginstrument weitgehend verzichtet werden. Von der Plattenmitte aus wurden die Plattenlöcher in entgegen gesetzter Richtung angeordnet (auf einer Hälfte der Platte alle in gleicher Richtung). Die Platte wurde zuerst an einem Ende mittels einer Kortexschraube befestigt, doch wurde die Schraube nicht vollends angezogen, damit die Platte leicht in Richtung Fraktur verschoben werden konnte. Damit kam die 1. Schraube innerhalb des ovalen Schraubenlochs in Kompressionsposition zu liegen. Die nächste Schraube wurde auf der gegenüberliegenden Seite der Platte in einem der letzten Plattenlöcher ent-



Abb. 2 Demonstrationsplatte mit den verschiedenen Plattenloch-arten und den Jahreszahlen, in welchen sie eingesetzt wurden.

weder in neutraler oder Kompressions-Position eingesetzt. Durch das darauffolgende feste Anziehen der beiden Schrauben wurde die Frakturebene ca. 2 mm komprimiert. Wenn nötig konnte auf jeder Seite der Fraktur eine weitere Schraube unter Kompression eingesetzt werden. Allerdings musste vor dem Eindrehen der 2. Schraube die erste leicht gelöst werden, damit die Kompression auf die Frakturebene übertragen wurde. Wurde dies nicht durchgeführt, wurde die zweite Schraube gegen die erste gepresst, was erstens keine zusätzliche axiale Kompression ermöglichte und zweitens beide Implantate unnötig beanspruchte. Die restlichen Schrauben wurden dann in neutraler Position eingesetzt. Erst mit der Einführung dieses Systems entwickelte sich die Plattenosteosynthese bei den langen Röhrenknochen beim Pferd richtig (Bramlage 1983, Sanders-Shamis and Bramalge 1986, Auer and Watkins 1987).

Dynamische Kondylenschraube-System (DCS)

Das Dynamische Kondylenschraube (DCS) Platten-Implantat-system ist eine Weiterentwicklung der vor allem früher beim Menschen eingesetzten Winkelplatte (Angled Blade Plate, ABP). Es wurde in den 80er Jahren als Fortschritt gegenüber der breiten DCP für Pferde eingeführt (Auer 1988). Diese Platte ist gleich breit wie die breite DCP, aber einen Millimeter dicker. In Kombination mit der großen DC-Schraube, die durch einen Zylinder im Knochen verankert wird, trägt dieses Implantat bei metaphysären Frakturen der langen Röhrenknochen sehr viel zur Stabilität des kleineren Fragments bei (Abb.

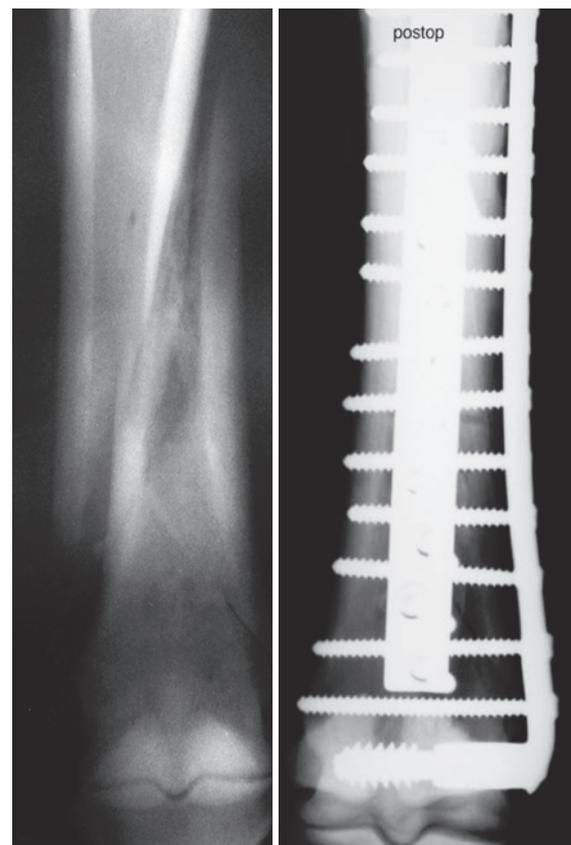


Abb. 3 a: Dorsopalmare Röntgenaufnahme einer diaphysären Schrägfraktur des MCIII; b: Postoperative dorsopalmare Röntgenaufnahme der Fraktur nach Fixation mittels einer dorsalen DCP und einer lateralen DCS-Platte. (Photo: Jeff Watkins, USA)

3). Die Kombination einer DCS-Platte mit einer breiten DCP kam vor der Einführung der Verriegelungsplatten sehr erfolgreich bei Frakturen des Radius, Tibia und auch des Röhrens zum Einsatz. Bei Femurfrakturen konnten gute Resultate mit der Kombination einer lateralen DCS- mit einer kranialen Dynamischen Hüftschrauben-Platte (DHS) erzielt werden. Sie ist ähnlich gebaut wie die DCS-Platte, mit einem längeren Zylinder und einem Zylinderwinkel zwischen 135 und 155 Grad). Das System enthält spezielle Instrumente, Schrauben und Platten. Die Schrauben bestehen aus einer langen Hohl-schraube mit 12,5 mm Gewindebreite, 25 mm Gewindelänge und 8 mm Schaftdurchmesser. Der Schaft ist auf zwei gegenüberliegenden Seiten abgeflacht, um die Drehung der Schraube innerhalb des Plattenzylinders zu verhindern. Der Zylinder der DCS hat einen vorbestimmten Winkel gegenüber der Platte von 95 Grad. Der wichtigste Schritt in der Anwendung des DCS Plattensystems ist das korrekte Setzen des 2,5-mm-Führungsdrahtes. Das Zielgerät hilft bei der Platzierung des Führungsstifts. Vor dem Bohren des Schraubenlochs wird der korrekte Sitz des Führungsdrahts mittels Fluoroskopie oder Röntgenbilder verifiziert und wenn nötig angepasst. Das Vorbohren des Kortex mit einem 2,5-mm-Bohrer erleichtert das Einführen des Führungsstiftes. Die detaillierte Anwendung dieser Plattensysteme ist in der Literatur eingehend beschrieben (Auer 1988, 2006, 2012)

Dynamische Kompressionsplatten mit begrenzter Kontaktfläche (LC-DCP)

In den späten 70er Jahren wurde erkannt, dass sich beim Menschen unterhalb der DC-Platten in vielen Fällen eine Knochennekrose entwickelte, die nach Plattenentfernung zu pathologischen Frakturen führte (Gautier et al. 1984). Verschiedene Studien eruierten die Ursache dafür in der verminderten Durchblutung der Knochenkortikalis unter der Platte (Perren et al. 1988). Durch Auflockerung der Plattenunterseite konnte diese Knochennekrose weitgehend verhindert werden. Die Lösung, um dieses Problem zu korrigieren, war die Entwicklung der LC-DCP, die im Jahr 1985 eingeführt wurde. Die LC-DCP hat, wie der Name sagt, eine begrenzte Platten-Knochen Kontaktfläche auf der Unterseite (Abb. 4). Die Plattenlöcher sind gleichmäßig über die ganze Länge angeordnet und haben ein symmetrisches Design. Die sogenannten „Dynamischen Kompressions-Units“ (DCU) ermöglichen Kompression von beiden Seiten des Plattenlochs, wodurch die Platte keine Mitte aufweist. Da die Unterseiten der DCUs in Achsenrichtung weit ausgeschnitten sind, ist es möglich, die eingesetzten Schrauben bis zu 40 Grad in der Längsachse abzuwinkeln; in der transversalen Achse bis zu 7 Grad. Kortexschrauben kön-

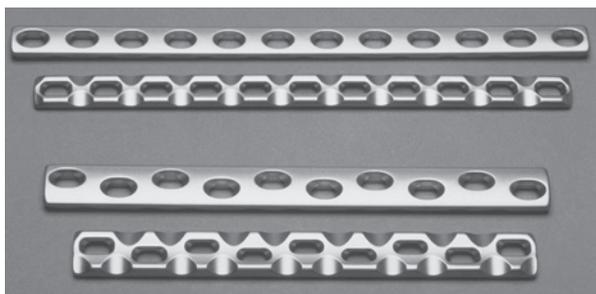


Abb. 4 Ober- und Unterseite der schmalen (oben) und breiten 4.5mm LC-DCP (unten). Die Einkerbungen auf der jeweiligen Unterseite sind gut erkennbar.

nen sowohl in Kompressions- als auch in Neutralstellung implantiert werden, je nachdem, ob axiale interfragmentäre Kompression erwünscht ist. Da jeder Querschnitt der Platte an jeder Stelle genau gleich viel Metall enthält und der Unterschied nur in der Anordnung des Metalls besteht, kann die Platte gleichmäßig konturiert werden und übernimmt eine gleichmäßige Belastungsverteilung entlang der gesamten Plattenlänge, was sie vor Spannungskonzentrationen schützt.

Um die LC-DCP auch bei Frakturen der langen Röhrenknochen bei Pferden einsetzen zu können, wurde eine spezielle 5.5 mm Platte entwickelt (Sod et al. 2008b). Für das Implantieren von Schrauben in Kompressions- und Neutralstellung wurde eine spezielle Doppelbohrbüchse entwickelt, die an die veränderte Plattenloch-Geometrie der DCU gegenüber der DCP angepasst ist. Um die LC-DCP-Doppelbohrbüchse von der DCP-Doppelbohrbüchse unterscheiden zu können, wurden analog der Plattengeometrie Einkerbungen entlang der Unterseite des Bohrbüchsenriffes angebracht.

Die Universalbohrbüchse stellt als Weiterentwicklung die einzige Bohrbüchse dar, die sowohl für die Kompressions- als auch Neutralstellung von Schrauben für alle Synthes-Plattenlöcher eingesetzt werden kann. Soll die Kortexschraube axiale interfragmentäre Kompression bewirken, wird die Universalbohrbüchse an dem weiter entfernten Ende des Plattenlochs gegenüber der Frakturebene angesetzt und kein Druck auf die Universalbohrbüchse ausgeübt. Durch Druck auf die Universalbohrbüchse gleitet das Instrument entlang dem abgechrägten Plattenloche nach unten und kommt in Neutralstellung zu liegen. Der einzige Nachteil der Universalbohrbüchse liegt darin, dass sich das Gewinde am unteren Teil der Bohrbüchse dauernd löst, und dass es immer wieder angezogen werden muss.

Plate Luting

Beim Platteneinsatz am Pferd besteht keine Gefahr für die Entstehung einer Knochennekrose unter den Platten, da der Knochenkortex beim Pferd viel dicker ist, als beim Menschen und bei den Kleintieren. Um im Gegenteil größere Reibung zwischen der Knochenoberfläche und der Plattenunterseite zu erzeugen, was in einem stabileren Konstrukt resultiert, wurde das sogenannte „Plate Luting“ eingeführt (Nunamaker et al. 1986a, Turner et al. 1990). Dabei wird die Platte zunächst mit allen Schrauben auf dem Knochen befestigt. Dann werden die Schrauben mit dem in der Bohrmaschine eingespannten kurzen Schraubenzieher gelockert, die Platte etwas von der Knochenoberfläche abgehoben und zu diesem Zeitpunkt noch weicher Knochenzement (Polymethylmetacrylat, PMMA) darunter verteilt. Im Anschluss daran werden die Schrauben wieder mit der Bohrmaschine angezogen, gefolgt von weiterem Anziehen der Schrauben mit der Hand. Es muss auch darauf geachtet werden, dass kein PMMA in den Frakturspalt gelangt, da dies die Knochenheilung verhindert. Durch das Anziehen der Schrauben verteilt sich das PMMA unter der Platte und dringt auch in die ovalen Plattenlöcher ein. Das unter der Platte hervorquellende PMMA wird sofort entfernt und es wird darauf geachtet, dass kein PMMA über den Schraubenköpfen hängen bleibt, da dies das eventuelle spätere Entfernen der Implantate verhindern würde. Da das Erhärten des PMMA mit einer exothermen Reaktion einher-

geht, ist es angezeigt, die Platte während dieser Zeit mit kalter physiologischer Kochsalzlösung zu kühlen. Der eigentliche Effekt von „Plate Luting“ wird durch das Ausfüllen der Plattenlöcher rund um die Schraubenköpfe erreicht (Turner et al. 1991). Durch die hohe Belastung der Schrauben beim Pferd entwickelt sich im Normalfall mit der Zeit eine Mikrobewegung der Schraubenköpfe in den Plattenlöcher. Dies kann im Extremfall zum Bruch der Frakturfixation führen. Das Ausfüllen der Schraubenlöcher mit PMMA fixiert die Schraubenköpfe und die Mikrobewegung wird verhindert. Durch Zufügen von Antibiotika (z.B. Ampizillin, Ciprofloxazin, Dobromyzin) während des Mischens von PMMA wird zusätzlich eine wirkungsvolle postoperative Antibiose induziert, die über einige Wochen anhält (siehe später).

PC-FIX

Das Akronym „PC-FIX“ steht für „Point-Contact Fixateur“, was eine Weiterentwicklung der LC-DCP darstellt und als eigentlicher „Fixateur Interne“ angesehen werden kann (Tepic und Perren 1995). Diese Platte wird oberhalb des Periosts eingeführt, berührt den darunterliegenden Knochen nur punktuell und wird mit dem Knochen durch konische, unikortikale Schrauben gleicher Länge verbunden. Auch die Schraubenlöcher sind konisch gebaut und umgeben somit den Schraubenkopf rund herum. Axiale Kompression kann nur mit dem vorher beschriebenen Zuginstrument erzeugt werden. Die Platte wurde nie im Markt eingeführt, doch hatte man sie Mitte der 90er Jahre bei Pferden und Rindern eingesetzt (Auer et al. 1995), um die klinische Tauglichkeit zu testen (Abb. 5). Während dieser Zeit konnten Erfahrungen gewonnen werden, die dann in die Entwicklung des 3.5 PCFix II einfließen. Auch dieses Implantatsystem wurde vorerst an Tieren (Hunden) getestet (Savoldelli and Montavon 1995), bevor es am Humerus des Menschen eingesetzt wurde. Allerdings dauerte der Einsatz beim Menschen nicht lange, da hier einige Probleme eintraten, die bei den Hunden nicht aufgetreten waren. Ein Grund dafür war die teilweise ungenügende Schulung der Ärzte in dieser neuen Technik.

LISS

Unter „LISS“ versteht man „Less Invasive Stabilization System“, also ein minimalinvasives Fixationssystem, das durch einen kleinen Hautschnitt und vorhergehendem Lösen des Periosts vom subkutanen Gewebe entlang des Knochens eingeführt wird. Die Verriegelungsschrauben werden mit Hilfe eines Zielgerätes transkutan via Stichinzisionen unikortikal implantiert und verankern sich im Gewinde der runden Plattenlöcher. Bei diesem System wird keine axiale Kompression erzeugt und alle Implantate bestehen aus Titan (Auer 2006, 2012). Die zum System gehörenden Platten werden mittels eines Press-Fit-Verfahrens mit korrekter Biegung speziell für die rechte und linke Tibia des Menschen und für das rechte und linke distale Femur hergestellt. Hier kommen ausschließlich selbst-bohrende und selbst-schneidende Verriegelungsschrauben zur Anwendung. Dieses Implantatsystem wurde über kurze Zeit erfolgreich beim Menschen eingesetzt, bevor es durch die Verriegelungskompressionsplatten abgelöst wurde (Marti et al. 2001). Bei Großtieren wurde es – hauptsächlich aus Kostengründen – nur sporadisch angewendet (Abb. 6).

Verriegelungskompressionsplatten (LCP)

Wohl war es möglich, mit den runden Verriegelungslöchern der LISS stabile Frakturfixationen zu erreichen, doch ließen sie keine axiale Kompression der Frakturbene(n) zu. Dies änderte sich durch die Einführung der Kombi-Löcher, die aus einer Kombination eines DCU- und eines runden Verriegelungslöcher bestehen. Auf den DCU-Seiten der Plattenlöcher kann mittels Kortexschrauben die Frakturbene unter axiale Kompression gesetzt werden, während sich im Verriegelungsteil des Plattenlochs die Verriegelungsschraube mittels eines Doppelgewindes am Schraubenkopf mit dem komplementären Doppelgewinde des Plattenloches mit der Platte solid vereint und keine Bewegungen mehr zulässt. Logischerweise kann durch ein Kombi-Plattenloch nur entweder eine Verriegelungsschraube oder eine Kortexschraube eingesetzt werden (Frigg 2001, Wagner und Frigg 2006). Damit axiale Kompression von beiden Seiten der Platte ausgeübt werden kann, sind die Kombi-Plattenlöcher auf beiden Plattenhälften spiegelbildlich angeordnet. Auf jeder Plattenhälfte sind die DCU- Plattenlochteile jeweils gegen das Plattenende hin orientiert, während die Verriegelungs-Plattenlochteile jeweils gegen die Plattenmitte bzw. die Fraktur zeigen. Die Plattenunterseite ist analog der LC-DCP verarbeitet (Frigg 2001, Wagner und Frigg 2006).

Bei den Humanplatten sind beide Plattenenden zugespitzt und abgeflacht, was ein minimalinvasives Einführen der Platte durch einen kleinen Hautschnitt erlaubt. Zuvor wird die Platte anhand der Röntgenbilder des intakten Knochens der anderen Seite korrekt konturiert und die subkutanen Gewebe mittels eines speziellen Instrumentes vom Periost getrennt und somit das Plattenbett vorbereitet.

Die Veterinär-Verriegelungsplatten haben jeweils nur eine Seite mit einem spitzen und abgeflachten Ende. Dies erlaubt immer noch das minimal-invasive Einführen der Platte. Die andere Seite hat jedoch ein rundes nicht abgeflachtes Ende. Da – wenn immer möglich – die letzten Plattenlöcher mit Verriegelungsschrauben besetzt sein sollten, würde, weil der Verriegelungsteil der Kombi-Löcher gegen die Plattenmitte hin angeordnet sind, das zugespitzte, dünne Ende der Human-Platte jeweils über das Gelenk hinaus ragen, was zu vermeiden ist (Abb. 6a). Das abgerundete Plattenende enthält ein rundes Plattenloch, welches als „stacked Kombi-Loch“ bezeichnet wird und entweder mit einer Verriegelungs- oder einer Kortexschraube besetzt werden kann (Abb. 6b) (Auer 2006, 2012).

Die Platten und Verriegelungsschrauben sind so konstruiert, dass durch das Einsetzen und Verriegeln der Schrauben in die Platte ein 2 mm weiter Spalt zwischen dem Knochen und der Platte entsteht. Dies verhindert beim Menschen das Entstehen einer Knochennekrose unter der Platte. Die Verriegelung der Schrauben in den Platten erübrigt eine genaue, anatomische Konturierung der Platten vor dem Einsetzen (Wagner und Frigg 2006). Auch diese Konstrukte können als Fixateur Interne angesehen werden (Frigg 2001).

Verriegelungsschrauben sind signifikant teurer als Kortexschrauben, während die Platten nur wenig mehr kosten als DCP oder LC-DC Platten. Eine Studie zeigte, dass bei der Implantation von 2 im rechten Winkel zueinander angeordneten Verriegelungsplatten mit jeweils 2 Verriegelungsschrauben auf jeder Seite eines schrägen Sägenschnittes durch

einen künstlichen Knochen – die restlichen Plattenlöcher wurden mit Kortexschrauben belegt – eine signifikante Erhöhung der Steifigkeit des Konstruktes bei 4-Punkt-Biegung erreicht wurde (Florin et al. 2005). Es ist somit nicht zwingend, dass alle Plattenlöcher mit Verriegelungsschrauben besetzt werden –

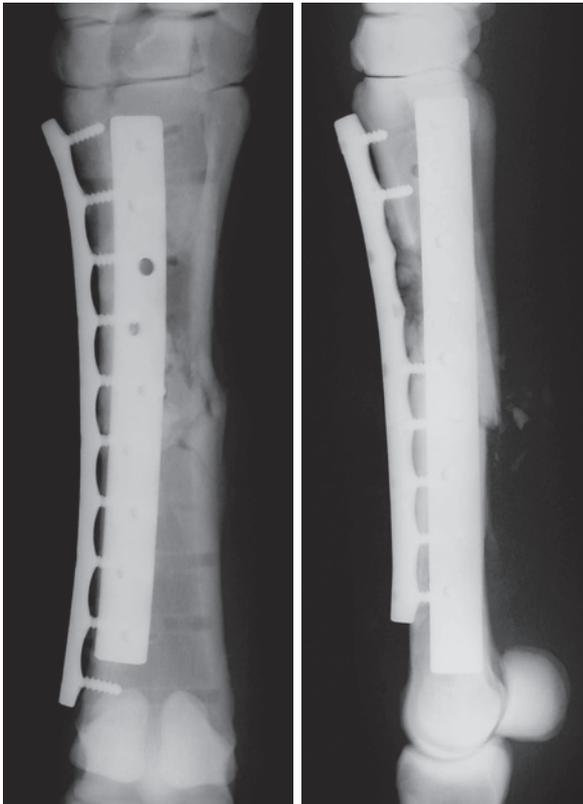


Abb. 5 Dorsoplare (links) und lateromediale Röntgenaufnahme (rechts) einer metaphysären MCIII Fraktur, die mittels zwei PcFix-Platten im rechten Winkel zueinander fixiert wurde. Die unikortikalen Schrauben, die rechtwinklig relativ zur Plattenoberfläche eingesetzt wurden sind gut erkennbar.



Abb. 6 a: Eine 10-Loch Veterinär-LCP. Ein Ende ist zugespitzt und eignet sich für das minimalinvasive Einführen entlang des frakturierten Knochens. Das andere Ende ist abgerundet und erlaubt das Einsetzen einer Verriegelungsschraube in Gelenknähe. b: Das runde Ende einer Veterinär-LCP mit einer eingesetzten Verriegelungsschraube im letzten- und einer Kortexschraube im zweitletzten Plattenloch.

so genannte Hybridkonstrukte sind durchaus möglich und sehr wirkungsvoll.

Wie zuvor bei der Beschreibung des Plate Luting erwähnt, ist es beim Pferd wichtig, dass möglichst viel Knochen-Platten-Kontakt besteht. Dies kann durch 2 Techniken auch bei Verriegelungsplatten erreicht werden. Durch das Einsetzen des „Push-Pull-Devices“ kann die Platte zu Beginn der Implantation auf den Knochen gedrückt werden (Abb. 7). Das „Push-Pull-Device“ wird schräg durch das letzte Plattenloch mit der Trokarspitze im Knochen verankert. Durch das anschließende Drehen des „Mantels“ wird die Platte auf den Knochen gedrückt. Das gleiche Procedere wird auf der anderen Seite der Platte wiederholt. Die andere Möglichkeit besteht darin, dass vor der Implantation der ersten Verriegelungsschraube Kortexschrauben an strategisch wichtigen Stellen implantiert werden, die so die Platte solid auf den Knochen pressen. Dabei kann natürlich gleichzeitig auch axiale Kompression auf die Frakturebenen(n) ausgeübt werden.

Die Verriegelungsplatten haben sich in der relativ kurzen Zeit seit ihrer Einführung durchgesetzt – sie haben sich zur Behandlung von Frakturen beim Pferd zum „Implantat der Wahl“ entwickelt (Levine und Richardson 2007, Ahern et al. 2013). Mit dieser Platte werden alle Möglichkeiten abgedeckt. Die Platte kann erstens ausschließlich mit Kortexschrauben versehen werden, was grundsätzlich einer Fixation mittels LC-DCPs entspricht. Zweitens können, wo keine finanziellen Einschränkungen gegeben sind, nur Verriegelungsschrauben eingesetzt werden. Drittens kann eine Kombination der beiden Methoden Anwendung finden. Aus diesen Gründen rät der Autor Tierärzten, die sich mit Plattenfixationen befassen wollen, nach einer speziellen AOVET-Ausbildung in Plattenfixation in erster Linie in Verriegelungsplatten zu investieren (Auer 2012). Zu einem späteren Zeitpunkt können dann Verriegelungsschrauben erworben werden, denn die Platten sind bereits vorhanden. Geht man den anderen Weg und investiert anfangs in andere Platten, dann sind diese später, wenn auf Verriegelungsplatten und -schrauben umgestellt wird, wertlos.

Zahlreiche In vitro-Studien konnten die Überlegenheit der Verriegelungssysteme über die früheren Frakturfixationstechniken beweisen (Sod et al. 2008a, 2008b, Ahern et al. 2013). Für Pferde wurde mit der 5,5-mm-Verriegelungsplatte, einer dickere und dadurch stärkere Platte entwickelt, die sich vor allem für Metakarpo/Metatarso-phalangeale Arthrodesen sowie die Behandlung von Radius- und Tibiafrakturen eignet. Der Pferderadius ist bekanntlich, von der Seite gesehen, nach kranial gebogen. Bei Einsatz einer geraden Platte entlang des lateralen Radius würden sich die mittleren Schrauben hinter dem Knochen befinden. Die humane LCP-Femurplatte ist leicht seitlich verbogen und erlaubt somit deren Einsatz entlang der ganzen Lateralseite des Pferderadius (Abb. 8).

Bereits heute gibt es bei den Verriegelungssystemen Weiterentwicklungen, die beim Menschen angewendet werden. Als Beispiel sei die volare distale Radiusplatte erwähnt, bei welcher die Verriegelungsschrauben nicht mehr senkrecht eingedreht werden müssen. Dies war die erste VA-LCP (Variable Angle, LCP), die entwickelt wurde. Im Moment sind diese Implantate noch sehr teuer, aber für den Autor besteht kein Zweifel, dass sie sich in Zukunft auch beim Pferd durchsetzen werden, vorausgesetzt die Anschaffungskosten sinken.

Erste Hilfe und Transport von Frakturpatienten

Prof. Dr. Björn von Salis kann als der Pionier der ersten Hilfe und des Transports von Frakturpatienten bezeichnet werden. Seine Erkenntnisse über die Wichtigkeit der sofortigen Lege artis-Stabilisation frakturierter Gliedmaßen und die entsprechenden Maßnahmen, die er in den siebziger Jahren etablierte wurden stetig weiter entwickelt (von Salis 1989, Fürst et al. 1993). Bramlage (1999) schlug ein logisches Konzept der Notfallstabilisation von Gliedmaßenfrakturen beim Pferd vor, in dem er die Gliedmaße vom Huf bis zur Schulter bzw. Becken in 4 verschiedene Zonen unterteilte und jeweils die ideale Stabilisationstechnik beschrieb. Der Erfolg einer Osteosynthese ist maßgeblich von der Effektivität und Qualität der Notfallversorgung und dem Transport des Frakturpatienten abhängig (Bramlage 1999, Fürst 2012)

Prinzipien der Frakturverplattung

In den letzten 30 bis 40 Jahren wurden nach und nach durch Versuch und Erfolg/Misserfolg eine Reihe von Frakturverplattungsprinzipien erarbeitet, die sich in der Zwischenzeit bewährt haben und bei den AOVET Grundlagen-, Fortgeschrittenen- und Masterkursen gelehrt werden.

- In den meisten Frakturen werden die Fragmente zuerst anatomisch reponiert, gefolgt von der Fixation mittels ein bis zwei 3.5- oder 4.5 mm in Zugschraubentechnik implantierten Kortexschrauben. Es ist ratsam, die Schrauben an Stellen einzusetzen, die anschließend nicht von einer Platte belegt werden. Die 3.5-mm-Kortexschrauben können so in Kortex der langen Röhrenknochen versenkt werden (der Schraubenkopf ist viel kleiner und flacher), dass im Notfall auch eine Platte darüber gelegt werden kann. Sollten Plattenschrauben mit den ursprünglich eingesetzten mittels Zugschraubentechnik eingesetzten Schrauben interferieren, können letztere entfernt werden, da die Platten deren Funktion übernehmen.
- Außer bei bestimmten Frakturen bei Fohlen und Ponies werden die langen Röhrenknochen grundsätzlich mit langen Platten verplattet, die im rechten Winkel zueinander liegen. Bei diaphysären Querfrakturen des Radius bei Fohlen und Ponies genügt unter Umständen eine einzelne kraniale Platte.
- Eine der Platten sollte auf der Zugseite des Knochen angebracht werden, da Implantate auf Zugbelastung am widerstandsfähigsten sind.



Abb. 7 Das Push-Pull-Device wurde in schräger Richtung durch das Letzte Plattenloch eingeführt und fixiert, um die Platte am Knochen zu fixieren und sie auf den Knochen zu drücken.

- Wenn möglich sollten die Platten von einem Ende des Knochens zum anderen reichen. Ist dies nicht möglich, so dürfen die Platten nicht auf gleicher Höhe enden, da dadurch am Ende der Platten während einer Extrembelastung (Aufstehphase) eine Stresssummation entsteht, die zu einer Knochenfraktur führen kann (Abb. 9).
- Wann immer möglich sollten die Plattenschrauben rechtwinklig zur Längsachse des Knochens implantiert werden.
- Die Platten sind so anzubringen, dass eine Schraube der einen Platte zwischen den zwei benachbarten Schrauben der andern Platte eingeführt wird, ohne dass sie sich berühren. Werden die Schrauben schräg eingeführt, so besteht die Gefahr, dass sie auf andere Schrauben treffen und so nicht beide Kortices erreichen, was eine Einbusse der Stabilität zur Folge hat. Da bei Verriegelungsplatten die Schrauben nicht immer im gleichen Abstand eingeführt werden (je nach dem ob eine Verriegelungsschraube oder eine Kortexschraube implantiert wird), muss der Plattenlokalisierung große Aufmerksamkeit geschenkt werden, um das Interferieren von Schrauben der beiden Platten zu vermeiden.
- Grundsätzlich werden bei DCPs und LC-DCPs alle Plattenlöcher mit Schrauben versehen. Überqueren die Schrauben die Frakturbene, so werden sie in Zugschrauben-Technik implantiert. Kommt ein Plattenloch direkt über der Fraktur zu liegen, dann kann durch dieses Plattenloch eine Schraube auch in Zugschraubentechnik eingesetzt werden. In letzter Zeit wird berichtet, dass bei Verriegelungsplatten einzelne Schraubenlöcher leer gelassen werden können, mit der

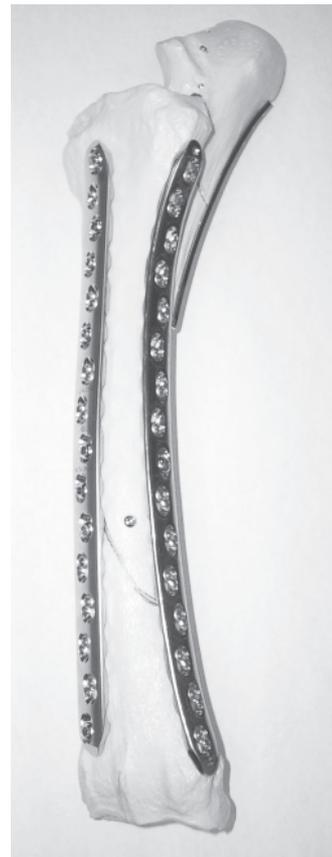


Abb. 8 Verplattung einer Schrägfraktur eines Radius aus Polyurethan bestehend mittels einer kranialen 16-Loch LCP und einer lateralen 16-Loch human Femur-LCP. Da letzte Platte in der Mitte leicht gebogen ist, kann sie von distal bis proximal auf dem Knochen fixiert werden.

Begründung, dass die Konstrukte so stabil seien, dass dadurch keine Gefahr eines Bruchs der Fixation bestehe. Bevor dieses Vorgehen jedoch allgemein angewendet werden kann, müssen Langzeit- und In vitro-Versuche beweisen, dass dies problemlos möglich ist.

- Bei Ponies und Fohlen bildet die verstärkte 3.5 mm-Platte eine gute Alternative zu den schmalen 4.5 mm-Platten; beide Platten haben die identische Querschnittform. Da die Plattenlöcher bei der 3.5 mm Platte kleiner sind, weist sie auf beiden Seiten der Löcher mehr Metall auf und ist somit widerstandsfähiger als die schmale 4.5 mm-Platte. Zudem sind auf der gleichen Länge mehr Schraubenlöcher einge- fräst, was das Einsetzen von mehr Schrauben erlaubt. Da die Schraubengewinde der 3.5 mm-Kortexschrauben feiner sind, kann damit mehr Knochen der relativ dünnen und weichen Kortices erfasst werden. Die kleineren Schrauben sind allerdings schwächer als die 4.5 mm-Schrauben. In der Klink haben sich diese Implantate bestens bewährt (Abb. 10). Achtung: die Köpfe der Verriegelungsschrauben verkeilen sich gern mit dem Gewinde der Platte und täuschen eine solide Fixierung vor, auch wenn sich die eigentliche Schraube nicht im Knochen befindet.

Externe Fixation

Die beim Menschen und Kleintier sehr populäre Externe Fixation von Frakturen konnte sich beim Pferd nicht etablieren. Eine Ausnahme bildet die Transfixation von Frakturen der distalen Gliedmaßen, wobei Steinmann-Nägel proximal der Fraktur eingeführt und in einen Fiberglas-Fixationsverband eingeschlossen werden. Diese Art der Fixation wird auch heute noch mit gutem Erfolg bei komplizierten Frakturen der Phalangen eingesetzt; entweder als alleinige Behandlungsart oder zum Schutz einer selektiven Schraubenosteosynthese (McClure et al. 1994a,b, 1996, 2000). Ein spezieller Externer Fixator, der distal am Hornschuh und proximal der Fraktur mittels Transfixationsnägel verankert wurde und somit den frakturierten Knochen ohne zusätzlichen Fixationsverband überbrückte, konnte sich nicht durchsetzen (Nunamaker et al. 1986b).

Marknagelung

Erste Versuche die Marknagelung bei Röhrrbeinfrakturen einzusetzen wurden bereits in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts durchgeführt (Fröhlich 1973). Auch in den darauffolgenden Jahren wurden weitere Versuche gestartet, diese beim Menschen und Kleintier sehr populäre Frakturbehandlungstechnik beim Pferd einzuführen (Fitch et al. 2001). Auch die Entwicklung der Verriegelungsmarknägel machte nicht Halt vor der versuchsweisen Anwendung beim Pferd (Lopez et al. 2001, Watkins und Ashman 1991, McDuffee et al. 1994, Herthel et al. 1996, Herthel 1996, Radcliffe et al. 2001, Galuppo et al. 2002b) Von all den getesteten Implantaten, hat sich bis heute nur eines einigermaßen behauptet und wird noch eingesetzt. Es geht auf die Initiative von Jeff Watkins an der Texas A&M Universität zurück und kann erfolgreich bei jüngeren Pferden eingesetzt werden. Dieser Verriegelungsnagel wird neuerdings in Kombination mit einer Verriegelungsplatte, in welche unikortikale Verriegelungsschrauben eingesetzt werden, verstärkt (Watkins 2015).

Prävention von Infektionen

Grundsätzlich werden Osteosynthese-Patienten zum Zeitpunkt der Einleitung der Narkose routinemäßig mit Antibiotika versorgt. Die Dosis wird intraoperativ alle 2 Stunden wiederholt. Durch parallel neben den Platten angelegte auf starke Fäden aufgezogenen PMMA-Kugeln, die vor dem Härten mit Antibiotika vermischt wurden, kann ein lokaler, einige Wochen anhaltender Infektionsschutz erreicht werden. Dobramyzin und Ciprofloxazin (2,5g/200g PMMA) haben sich bestens bewährt und wirken in ihrer Umgebung während Wochen, während Ampizillin, gleich wie die Garamyzin-Kollagenschwämme, nur während einigen Tagen eine Wirkung aufweisen. Anstelle von PMMA-Kugeln können bei den Verriegelungsplatten die Löcher neben den implantierten Schrauben mit Antibiotika-impregniertem PMMA gefüllt werden. Allerdings muss darauf geachtet werden, dass die Löcher in den Schraubenköpfen nicht mit PMMA gefüllt werden, da dadurch eine mögliche spätere Plattenentfernung verunmöglicht wird (Richardson und Ahern 2012). Zusätzlich wird am Ende des Eingriffs, während Weichteile und Haut verschlossen werden, die betroffene Gliedmaße über ca. 20 Minuten einer regionalen intravenösen Antibiotikatherapie ausgesetzt (Richardson und Ahern 2012).

Minimal-Invasive Implantationstechnik

Die minimal-invasive Frakturfixation wird bei Kleintieren schon seit einigen Jahren praktiziert (Palmer 1999, Pozzi et al. 2013). Die Methode hat auch vor dem Pferd nicht halt gemacht. Obwohl nicht alle Techniken, die beim Menschen bzw. den Kleintieren routinemäßig durchgeführt werden, beim Pferd angewendet werden können, haben diese Techniken dennoch großen Wert für Pferdechirurgen. In geeigneten Fällen, z.B. bei medialen McIII/MtIII-Kondylenfrakturen, kann sie zur Anwendung kommen. Es ist ratsam, vor dem Eingriff mittels CT-Untersuchung die genaue Konfiguration der Fraktur abzuklären. Anhand von Röntgenbildern des korrespondierenden Knochens der ipsilateralen Gliedmaße kann die für die Fixation geplante Platte anatomisch konturiert und anschließend sterilisiert werden. Es ist wichtig zu verhindern, dass die Plattenschrauben in die Frakturebene zu liegen kommen. Die beiden untersten Kortexschrauben werden meist einzeln durch Stichinzisionen in Zugschraubentechnik implantiert. Oberhalb der oberen Schraube wird ein ca. 5 cm langer Hautschnitt bis zum Periost geführt gefolgt vom Trennen des Periosts vom subkutanen Gewebe mittels Separator, der oberhalb des Periosts in proximaler Richtung eingeführt ein Bett für die Platte vorbereitet. Anschließend wird die vorbereitete Platte eingeschoben und mittels Röntgenkontrolle die korrekte Position verifiziert. Die Platte wird mit je einem „Push-Plull-Device im untersten und obersten Plattenloch (letzteres via Stichinzision) fixiert und auf den Knochen gepresst. Durch das Platzieren einer identischen Platte direkt über der subkutan eingeführten, können Stichinzisionen entweder über den Verriegelungsschrauben- oder den Kortexschraubenlöcher gesetzt und die Schrauben implantiert werden (Abb. 10). Nach dem Anziehen aller Schrauben werden die Stichinzisionen mit einfachen Hautnähten verschlossen.

Der Vorteil der minimalinvasiven Verplattung liegt darin, dass die Haut nicht über einen größeren Schnitt eröffnet wird. Beim

konventionellen Hautverschluss wird das Gewebe durch Zug traumatisiert, dies besonders dann, wenn eine oder zwei Platten am Knochen befestigt wurden, mit der Folge allfälliger Wunddehissenzen. Da bei kleinen Stichwunden die Haut zwischen zwei solcher Wunden den Hauptanteil des Zugs übernimmt, wird der Zug auf die Hautnähte der Stichwunden minimiert.

Chirurgie am stehenden Pferd

Mit dem Ziel der Kostenreduktion werden mehr und mehr chirurgische Eingriffe am stehenden, sedierten Pferd durchgeführt. Zudem werden mögliche Narkosezwischenfälle und Komplikation während der Aufwachphase verhindert. Die Chirurgie am stehenden Pferd hat auch vor Osteosynthese-Eingriffen nicht halt gemacht. Allerdings sind sie auf Schraubenfixationen und Implantatentfernungen beschränkt.

Computer-assistierte Orthopädische Chirurgie

Die Computer-assistierte Chirurgie wurde vor einigen Jahren in der Osteosynthese beim Pferd eingesetzt, doch hat sie in der Zwischenzeit keine zusätzlichen Anhänger und Anwender gefunden. Die Technik, an sich ist sehr einleuchtend und vorteilhaft, wird zusammengefasst so beschrieben: Zuerst werden die Fragmente, die wichtigsten Instrumente und der Spezial C-Bogen mit Sensoren versehen, welche die betreffenden Gegenstände im Raum definieren. Dann wird mittels des C-Bogens 3° der frakturierte Knochen über 190 Grad mit 100 einzelnen Röntgenbilder innerhalb 1 Minute abgetastet und die einzelnen Aufnahmen umgehend verarbeitet. Die Daten



Abb. 9 Refraktur einer verplatteten distalen Metaphysenfraktur des Radius. Wohl wurden zwei Platten gestaffelt im rechten Winkel zueinander angebracht, überspannten die beiden Platten nicht die ganze Länge des Knochens. Während der Aufstehphase nach der Narkose, belastete das Pferd die behandelten Knochen, als die Gliedmaße nach hinten fixiert.

werden anschließend auf das Navigationssystem übertragen, wo vorerst am Computer die korrekte Lokalisation und Orientierung der einzelnen Schrauben eingezeichnet und geplant wird. Die mit Sensoren ausgestatteten Instrumente, wie Bohrer und Bohrhülse, werden via aktiver Navigation an die Stelle der ersten geplanten Schraube geführt. Dort wird nach einem kleinen Hautschnitt der darunterliegende Knochen frei gelegt. Die Bohrerspitze wird auf den Knochen aufgesetzt und durch Bewegungen des Bohrers und der Bohrbüchse wird die Bohrrichtung mit Hilfe der aktiven Navigation definiert. Die eigentliche Bohrtiefe kann jederzeit auf dem Bildschirm abgelesen werden und das Erreichen der Frakturebene ist auch ersichtlich. Anschließend wird auf den Gewindelochbohrer gewechselt, dessen Länge kalibriert und das Gewindeloch gebohrt. Die anschließenden Manipulationen für das Einsetzen der Schraube werden routinemäßig ohne Navigation durchgeführt. Die Präparation des nächsten Bohrlochs wird wieder mit Hilfe der Navigation durchgeführt (Andritzki et al. 2005).

Die computer-assistierte Osteosynthese ist vor allem im Hufbereich bei Strahl- und Hufbeinfrakturen sehr erfolgreich. Es können Frakturen mit Schrauben fixiert werden, ohne Gefahr zu laufen, dass ein Gelenk oder andere wichtige Strukturen verletzt werden (Rossol et al. 2008). Wegen der hohen Anschaffungskosten und der verschiedenen, problem-anfälligen Zwischenschritte konnte sich das System bis heute nicht etablieren. Auch verlangt die effiziente Anwendung der Technik eine gewisse Lernkurve, welche es mit der Zeit erlaubt, die Eingriffe in kurzer Zeit durchzuführen.

Intraoperative Bildgebende Verfahren

Neben der herkömmlichen Radiographie hat sich intraoperativ die direkte Radiographie (DR) durchgesetzt. Diese Art des Röntgens erlaubt die sofortige Visualisierung des abgebildeten Knochens und somit kann ohne wesentliche Zeiteinbuße die Präzision des Einsetzens der Implantate verbessert werden. Auch die Ultrasonographie kann in der orthopädischen Chirurgie erfolgreich eingesetzt werden, mit der Einschränkung dass damit transkutan nur Knochenoberflächen abgetastet werden. Die Zukunft gehört jedoch dem mobilen 4D-Computertomographen. Durch Anbringen metallischer Markierungen (z.B. sterilen Hautklammern) an anatomisch wichtigen Stellen, können die Implantationspunkte auf den 3D-Rekonstruktionen oder den Querschnitten der Röntgenbilder später intraoperativ identifiziert oder extrapoliert werden. Dadurch können die Implantate hoch präzise implantiert werden. Diese Art intraoperativer bildgebender Technik wird dauernd weiter entwickelt. Bereits heute gibt es Software, die es ermöglicht, die Streustrahlen von Metallimplantaten auf den rekonstruierten Röntgenbildern weitgehend zu eliminieren.

Ausblick

Trotz all den Fortschritten können nach wie vor nicht alle Frakturen beim Pferd erfolgreich behandelt werden. So ist es mit den heute zur Verfügung stehenden Implantaten und Techniken nicht möglich, beim erwachsenen Pferd Frakturen des Humerus (Nixon and Watkins 1996) und des Femur zu behandeln. Ausnahmen sind kleinere Frakturen, die aber noch eine Belastung dieser Knochen zulassen. Trotz zahlrei-

cher Studien mit mesenchymalen Stammzellen zur Beschleunigung der Frakturheilung (Jang et al. 2008, Fayaz et al. 2011, Rolim Filho et al. 2013, Ferris et al. 2014), die bekanntlich beim Pferd langsamer vor sich geht als beim Menschen (Schenk und Willenegger 1963), sind auf dem Gebiet bis heute keine eigentlichen Fortschritte erzielt worden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich dies in naher Zukunft ändert. Mit BMPs (Bone Morphogenic Proteins) konnten gewisse Erfolge erzielt werden (Kirker-Head 1995, Kloss et al. 2013), doch sind auch auf diesem Gebiet Aspekte betreffend Zeitpunkt des Einsatzes und Art des BMPs noch ungeklärt.

Es besteht kein Zweifel, dass auch neue Implantate auf den Markt kommen werden, die noch bessere Eigenschaften aufweisen und womöglich schon Abwehrmechanismen gegen Wundinfektionserreger enthalten. Solche Implantate könnten bei entsprechenden Kosten auch beim Pferd eingesetzt werden. Eines ist sicher: "Die Entwicklung geht weiter dem Kliniker und orthopädischen Chirurgen wird es nicht langweilig."

Herstelleradressen

- ^a DePuy Synthes Mitek Sports Medicine, Raynham, MA, USA
- ^b Arthrex Swiss AG, Belp, Schweiz
- ^c Acadis orbic 3D, Siemens Schweiz AB, Zürich, Schweiz
- ^d CereTom mobile CT; NeuroLogica Corp. Danvers, MA, USA

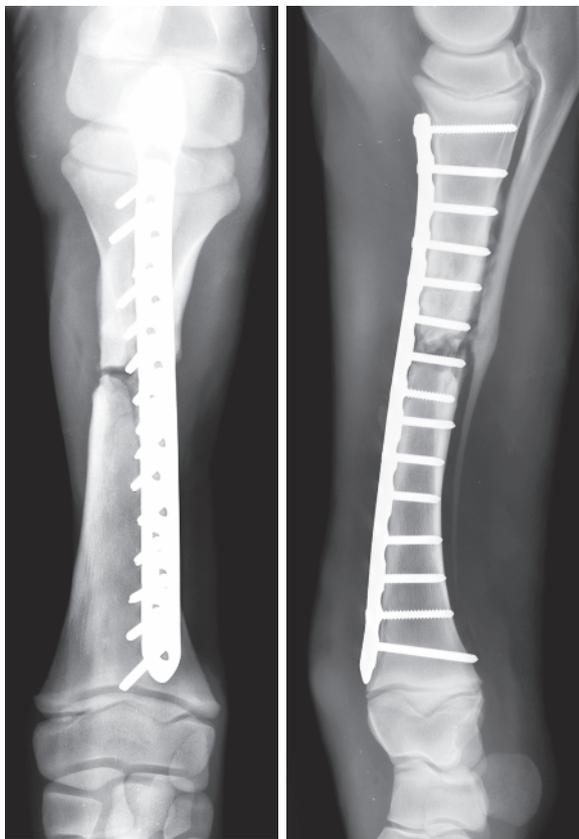


Abb. 10 Kraniokaudale (links) und lateromediale (rechts) postoperative Röntgenaufnahmen einer diaphysären Radiusfraktur bei einem neugeborenen Fohlen. Die mit einer verstärkten 3.5 mm LCP fixiert wurde. Eine Verriegelungsschraube befindet sich in der Frakturebene. Die Platte wurde minimalinvasiv eingeführt, und die Schrauben wurden durch Stichinzisionen eingedreht. Da sich die Verriegelungsschrauben mit ihrem Gewinde im Kopf mit dem komplementären Gewinde in der Platte vereinen, scheinen sie solide fixiert, auch wenn sie sich nicht im Knochen befinden.

Literatur

- Ahern B. J., Showalte B. L., Elliott D. M., Richardson D. W., Getman L. M. (2013) In vitro biomechanical comparison of a 4.5mm narrow locking compression plate construct versus a 4.5mm limited contact compression plate construct for arthrodesis of the equine proximal interphalangeal joint. *Vet. Surg.* 42, 335-340
- Allgöwer M., Matter P., Perren S. M., Rüedi T. P. (1973) *The dynamic compression plate DCP.* Springer-Verlag, Berlin
- Andritzky J., Rossol M., Lischer C., Auer J. A. (2005) Comparison of Computer-Assisted Surgery with Conventional Technique for the Treatment of Axial Distal Phalanx Fractures in Horses: An In Vitro Study. *Vet. Surg.* 34, 1-8
- Auer J. A., Watkins J. P. (1987) Treatment of radial fractures in adult horses: An analysis of 15 cases. *Equine Vet. J.* 19, 103-110
- Auer J. A. (1988) Application of the Dynamic Condylar Screw and Dynamic Hip Screw Implant Systems in the Horse. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.* 1, 18-25
- Auer J. A., Lischer C., Kaegi B., Iselin U., Fürst A., Matter G. (1995) Application of the point contact fixator in large animals. *Injury* 26 (Suppl 2):B37-B46, 1995
- Auer J. A. (2006). Principles of Fracture Treatment. In: Auer, J.A., Stick, J.A. (Eds): *Equine Surgery*, third ed., Saunders Elsevier, St. Louis, Missouri, 1000 -1029
- Auer J. A. (2012) Principles of Fracture Treatment. In: Auer J. A., Stick J. A. (Eds): *Equine Surgery*, fourth ed., Saunders Elsevier, St. Louis, Missouri, 1053-1087
- Auer J. A., Schlünder M., von Salis B., Kása F., Kása G., Olmsted M., Fackelman G. E., Pohler O. (2013) History of AOVET – the first 40 years. AO Publishing
- Bramlage L. R. (1983) Long bone fractures. *Vet. Clin. North Am.; Large Anim. Pract.* 5, 285-310
- Bramlage L. R. (1999) Emergency first aid treatment and transportation of equine fracture patients. In: Auer J. A., Stick J. A., (eds): *Equine Surgery*. second ed., Saunders, Philadelphia, Pennsylvania, 635-641
- Fackelman G. E., Auer J. A. (1996) The AO/ASIF 7.3 mm cannulated screw in a model of the equine distal limb. *Equine Pract.* 18, 15-18
- Fayaz H. C., Giannoudis P. V., Vrahas M. S., Smith R. M., Moran M., Pape H. C., Krettek C., Jupiter J. B. (2011) The role of stem cells in fracture healing and nonunion. *Int. Orthop.* 35, 1587-1597
- Ferris D. J., Frisbie D. D., Kisiday J. D., McIlwraith C. W., Hague B. A., Major M. D., Schneider R. K., Zubrod C. J., Kawcak C. E., Goodrich L. R. (2014) Clinical outcome after intraarticular administration of bone marrow derived mesenchymal stem cells in 33 horses with stifle injury. *Vet. Surg.* 43, 255-265
- Fitch G. L., Galuppo L. D., Stover S. M., Willits N. H. (2001) An in vitro biomechanical investigation of an intramedullary nailing technique for repair of third metacarpal and metatarsal fractures in neonates and foals. *Vet. Surg.* 30, 422-431
- Florin M., Arzdorf M., Linke B., Auer J. A. (2005) Assessment of stiffness and strength of four different implants available for equine fracture treatment: A study on a 20-degree oblique long bone fracture model using a bone substitute. *Vet. Surg.* 34, 231-238
- Frigg R. (2001) Locking compression plate (LCP): An osteosynthesis plate based on the dynamic compression plate and the point contact fixator (PC-Fix). *Injury* 32 (Suppl. 2), 63-66
- Fröhlich D. (1973) Versuche zur intramedullären Osteosynthese des Metacarpus beim Pferd. Thesis, University of Zürich, Switzerland.
- Fürst A. E., Kaegi B., Auer J. A. (1993) Die Erstversorgung von Pferden mit Frakturen. *Tierärztl. Praxis* 24, 21-25
- Fürst A. (2012) Emergency Treatment and Transport of the Fracture Patient. In: Auer J. A., Stick J. A. (Eds.): *Equine Surgery*, fourth ed., Saunders Elsevier, St. Louis, Missouri, 1015-1025
- Galuppo L. D., Stover S. M., Jensen D. G., Willits N. H. (2001) A biomechanical comparison of headless tapered variable pitch and AO cortical bone screws for fixation of simulated lateral condylar fractures in equine third metacarpal bones. *Vet. Surg.* 30, 332-340
- Galuppo L. D., Stover S. M., Jensen D. G. (2002a) A biomechanical comparison of equine third metacarpal condylar bone fragment compression and screw pushout strength between headless tapered variable pitch and AO cortical bone screws. *Vet. Surg.* 31, 201-210

- Galuppo L. D., Stover S. M., Aldridge A., Hewes C., Taylor K. T. (2002b) An in vitro biomechanical investigation of an MP35N intramedullary interlocking nail system for repair of third metacarpal fractures in adult horses. *Vet. Surg.* 31, 211-225
- Gautier E., Cordey J., Mathys R., Rahn B. A., Perren S. M. (1984) Porosity and remodeling of plated bone after internal fixation: result of stress shielding or vascular damage? Elsevier Science, Amsterdam
- Herthel D. J., Lauper L., Rick M. C., Moody J. L., Parks G. R., Hamer E. J. (1996) Comminuted MCIII fracture treatment using titanium static interlocking intramedullary nails. *Equine Pract.* 18, 26-34
- Herthel D. J. (1996) Application of the Interlocking Intramedullary Nail. In: Nixon, A.J. (Ed): *Equine Fracture Repair*. Saunders, Philadelphia. 371-376
- Jang B. J., Byeon Y. E., Lim J. H., Ryu H. H., Kim W. H., Koyama Y., Kikuchi M., Kang K. S., Kweon O. K. (2008) Implantation of canine umbilical cord blood-derived mesenchymal stem cells mixed with beta-tricalcium phosphate enhances osteogenesis in bone defect model dogs. *J. Vet. Sci.* 9, 387-393
- Kirker-Head C. A. (1995) Recombinant bone morphogenic proteins; novel substances for enhancing bone healing. *Vet. Surg.* 24, 408-419
- Kloss F. R., Singh S., Hächl O., Rentenberger J., Auberger T., Kraft A., Klima K., Mitterlechner T., Steinmüller-Neithl D., Lethaus B., Rasse M., Lepperding G., Gassner R. (2013) BMP-2 immobilized on nanocrystalline diamond-coated titanium screws; demonstration of osteoinductive properties in irradiated bone. *Head and Neck* 35, 235-241
- Levine D. G., Richardson D. W. (2007) Clinical use of the locking compression plate (LCP) in horses: A retrospective study of 31 cases (2004-2006). *Equine Vet. J.* 39, 401-406
- Lopez M. J., Wilson D. G., Trostle S. S., Markel M. D. (2001) An in vitro biomechanical comparison of two interlocking-nail systems for fixation of osteotomized equine third metacarpal bones. *Vet. Surg.* 30, 246-252
- Marti A., Fankhauser C., Frenk A., Cordey J., Gasser B. (2001) Biomechanical evaluation of the less invasive stabilization system (LISS) for fixation of distal femur fractures. *J. Orthop. Traum.* 14, 133-134
- McClure S. R., Watkins J. P., Ashman R. B. (1994a) In vitro comparison of the effect of parallel and divergent transfixation pins on breaking strength of equine third metatarsal bones. *Am. J. Vet. Res.* 55, 1327-1330
- McClure S. R., Watkins J. P., Bronson D. G. (1994b) In vitro comparison of the standard short limb cast and three configurations of short limb transfixation casts in equine fore limbs. *Am. J. Vet. Res.* 55, 1331-1334
- McClure S. R., Watkins J. P., Hogan H. A. (1996) In vitro evaluation of four methods of attaching transfixation pins into a fiberglass cast for use in horses. *Am. J. Vet. Res.* 57, 1098-1101
- McClure S. R., Hillberry B. M., Fisher K. E. (2000) In vitro comparison of metaphyseal and diaphyseal placement of centrally threaded, positive-profile transfixation pins in the equine third metacarpal bone. *Am. J. Vet. Res.* 61, 1304-1308
- McDuffee L. A., Stover S. M., Taylor K. T., Clifford M. L. (1994) In vitro biomechanical investigation of an interlocking nail for fixation of diaphyseal tibial fractures in adult horses. *Vet. Surg.* 23, 219-230
- Nixon A. J., Watkins J. P. (1996) Fractures of the Humerus. In: Nixon, A.J. (ed): *Equine Fracture Repair*. Saunders, Philadelphia. 242-253
- Nunamaker D. M., Bowmann K. F., Richardson D. W., Herring D. (1986a) Plate luting: A preliminary report on its use in horses. *Vet. Surg.* 15, 289-293
- Nunamaker D. M., Richardson D. W., Butterweck D. M., Provost M. T., Sigafos R. D. (1986b) A new external skeletal fixation device that allows immediate weight bearing: Application in the horse. *Vet. Surg.* 15, 345-355
- Nunamaker D. M. (2000) Basic Principles of Fracture Treatment. In: Fackelman G. E., Auer J. A., Nunamaker D. M. (Eds.): *AO Principles of Equine Osteosynthesis*. Thieme Verlag, Stuttgart, Germany, 5-9
- Palmer R. H. (1999) Biological osteosynthesis. *Vet. Clin. North Am.: Small Anim. Pract.* 29, 1171-1185
- Perren S. M., Cordey J., Rahn B. A., Gauthier E., Schneider E. (1988) Early temporary porosis of bone induced by internal fixation implants. A reaction to necrosis, not to stress protection? *Clin. Orthop. Rel. Res.* 232, 139-151
- Pozzi A., Hudson C. C., Gauthier C. M., Lewis D. D. (2013) Retrospective Comparison of minimally invasive plate osteosynthesis and open reduction and internal fixation of radius-ulna fractures in dogs. *Vet. Surg.* 42, 28-37
- Radcliffe R. M., Lopez M. J., Turner T. A., Watkins J. P., Radcliffe C. H., Markel M. D. (2001) An in vitro biomechanical comparison of interlocking nail constructs and double plating for fixation of diaphyseal femur fractures in immature horses. *Vet. Surg.* 30, 179-190
- Richardson D. W., Ahern B. J. (2012) Synovial and Osseous Infections. In: Auer J. A., Stick J. A. (Eds): *Equine Surgery*, fourth ed., Saunders Elsevier, St. Louis, Missouri, 1189-1201
- Rüedi T. P., Buckley R. E., Moran C. G. (2007) AO Philosophy and Evolution. In: Rüedi T. P., Buckley R. E., Moran C. G. (eds): *AO Principles of Fracture Management*. 2nd Expanded Edition, Thieme Verlag, Stuttgart, Germany
- Rolim Filho E. L., Larrazabal M. C., Costa L. F. Jr, Santos S. M., Santos R. M., Aguilár J. L. (2013) Effect of autologous stem cells on regenerated bone during distraction osteogenesis by Ilizarov technique in the radius of dogs. *Histomorphometric analysis. Acta Chir. Brasil.*, 28, 574-81.
- Rossol M., Gygax D., Andritzky-Waas J., Zheng G., Lischer C. L., Zhang X., Auer J. A. (2008) Comparison of computer assisted surgery with conventional technique for treatment of abaxial distal phalanx fractures in horses: an in vitro study. *Vet. Surg.* 37, 32-42
- Sanders-Shamis M., Bramlage L. R. (1986) Radius fractures in the horse: A retrospective study of 47 cases. *Equine Vet. J.* 18, 432-437
- Savoldelli D., Montavon P. (1995) PcFix Clinical handling: Small animals. *Injury* 26(Suppl):B47-53
- Schenk R. K., Willenegger H. (1963) Zum histologischen Bild der sogenannten Primärheilung der Knochenkompakta nach experimentellen Osteotomien am Hund. *Experientia* 19, 593-597
- Sod G. A., Mitchell C. F., Hubert J. D., Martin G. S., Gill M. S. (2008a) In vitro biomechanical comparison of locking compression plate fixation and limited-contact dynamic compression plate fixation of osteotomized equine third metacarpal bones. *Vet. Surg.* 37, 283-288
- Sod G. A., Mitchell C. F., Hubert J. D., Martin G. S., Gill M. S. (2008b) An In Vitro Biomechanical Comparison of a 5.5 mm Limited-Contact Dynamic Compression Plate Fixation with a 4.5 mm Limited-Contact Dynamic Compression Plate Fixation of Osteotomized Equine Third Metacarpal Bones. *Vet. Surg.* 37, 289-293
- Sod G. A., Riggs L. M., Mitchell C. F., Martin G. S., Gill M. S. (2010) An in vitro biomechanical comparison of 5.5 mm locking compression plate fixation with a 4.5 mm locking compression plate fixation of osteotomized equine third metacarpal bones. *Vet. Surg.* 39, 581-587
- Tepic S., Perren S. M. (1995) The biomechanics of the PC-Fix internal fixator. *Injury* 26 (Suppl 2), B5-B10
- Turner A. S., Cordey J. R., Nunamaker D. M., Tate M. L., McIlff T., Perren S. M. (1990) In vivo strain patterns of the intact equine metacarpus and metatarsus following plate luting. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.* 3, 84-89
- Turner A. S., Smith F. W., Nunamaker D. M., Pohler O. E. M., Lopper T., Lillich J. (1991) Improved plate fixation of unstable fractures due to bone cement around the screw heads. *Vet. Surg.* 20, 349-350
- von Salis B. (1972) Internal fixation in the equine: recent advances and possible applications in private practice. *Proc. Am. Assoc. Equine Pract.* 18, 193-218
- von Salis B. (1989) Olyckfalls-och amulansberedskap (rid-och kör-sport). *Svensk Veterinärtidning* 41, 104-108
- Wagner M., Frigg R. (2006) *AO Manual of fracture management: Internal fixators – Concepts and Cases Using LCP and LISS*. Thieme Verlag, Stuttgart, Germany
- Watkins J. P., Ashman R. B. (1991) Intramedullary interlocking nail fixation in transverse humeral fractures: An in vitro comparison with stacked pin fixation. *Proc. Vet. Orthop. Soc.* 18, 54
- Watkins J. P. (2015) Intramedullary, Interlocking Nail Fixation: Fracture of the Humerus and Femur. Abstract AOVET Course – Advances in Equine Fracture Management, Hong Kong SAR, China.
- Witte F., Calliess T., Windhagen H. (2008) Biodegradable synthetic implant materials: clinical application and immunologic aspects. *Orthopäde.* 37, 125-30 (ISSN: 1433-0431)
- Zang J., Xiao B., Wu Z. (2010) Surgical treatment of calcaneal fractures with bioresorbable screws. *Int. Orthop. Traum.* 24, 529-533