

Die Krallengelenksarthrodese des Pferdes

Corsin Heim, Kaspar S. Sommer und Anton Fürst

Klinik für Pferdechirurgie, Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich

Zusammenfassung: In einer retrospektiven Fallstudie sollte bei 32 Pferden der Klinik für Pferdechirurgie, die im Zeitraum von 1995 bis 2018 einer Krallengelenksarthrodese (KGA) unterzogen wurden, eine Evaluation der jeweiligen Operationstechnik erfolgen. Dabei wurden vier unterschiedliche Operationstechniken ausgewertet, um künftig auf Erfahrungswerte in Hinblick auf Therapieempfehlungen und Heilungschancen zurückgreifen zu können. Weiter sollte die Hypothese geprüft werden, ob sich die Prognose für die KGA seit Einführung einer speziellen Kompressionsplatte für das proximale Interphalangealgelenk (PIP-LCP) verbessert hat. Darüber hinaus wurde der Erfolg einer im Rahmen eines Pilotprojektes zwischen 2004 und 2006 verwendeten Fünfeck-Fünfloch-Platte (FFP) evaluiert. Hierzu wurden als Follow-up Untersuchung Telefoninterviews geführt und die Ergebnisse mittels deskriptiver Statistik ausgewertet. Im Patientengut (n = 32) befanden sich 18 Pferde (56%) mit einer Arthrose im KG, zehn (31%) wiesen dagegen eine traumatische Luxation des KGs auf, drei (10%) wurden wegen subchondraler Zysten im Fessel- und/oder Kronbein vorstellig. Bei einem Patienten dagegen konnte der Grund für die durchgeführte KGA nicht rekonstruiert werden. Bei 41% der Pferde (n = 13) wurden neben der Verwendung der PIP-LCP zusätzlich transartikuläre Zugschrauben eingesetzt. Bei einem Pferd dagegen wurde eine Doppelplattentechnik mit zwei abaxialen Dynamic Compression Plates (DCP) und einer zusätzlichen transartikulären Zugschraube angewendet. Fünf Pferde wurden mit der neuartigen FFP operiert. Zwei Pferde aus dem Patientengut wurden an beiden Vordergliedmaßen operiert. Die Erfolgsrate lag bei insgesamt 70%, wobei die PIP-LCP-Technik zu 83%, die DCP-Technik in 70% der Fälle einen Erfolg aufwies. Drei von vier Patienten, welche die FFP erhielten, mussten hingegen euthanasiert werden. Dies war einem Implantatversagen an vier von sechs Gliedmaßen sowie einer Infektion um die Implantate an zwei Beinen geschuldet. Als Komplikation trat in der Studienpopulation bei 10 Pferden (31%) eine Infektion auf. Sieben (22%) davon hatten eine Mitbeteiligung des Knochens um die Implantate, weitere sieben hingegen wiesen ein Implantatversagen auf. Drei Pferde (9%) entwickelten eine Hufrehe, eines erlitt eine Fraktur der Kronbeinlehne. Als Erfolgsraten konnte für die Pferde mit subchondralen Zysten 100%, bei Patienten mit Luxation 78% und bei denen mit Arthrose 60% angegeben werden. Traten die Erkrankungen an den Hintergliedmaßen auf, war die Erfolgsrate mit 75% gegenüber der mit 67% an den Vorderbeinen nochmals größer. Die Autoren schließen daraus, dass die Anwendung der PIP-LCP-Technik bei in der Freizeitreiterei eingesetzten Pferden eine deutliche Steigerung der Erfolgsrate hervorbringt. Insgesamt konnte auch mittels DCP-Technik eine Erfolgssteigerung um 13% erzielt werden, wobei die Euthanasierate höher lag als bei der PIP-LCP-Technik. Für die Rückkehr auf ein vorheriges Leistungslevel im Turniersport liegt die Erfolgsrate beider Operationstechniken hingegen gleich hoch. Limitierend wirkt sich in der vorliegenden Studie die zu kleine Fallzahl der Gesamt- und Substudienpopulationen aus. Statistische Signifikanztests sind aus diesem Grund nicht durchführbar. Auch die uneinheitliche Lokalisation der Erkrankungen macht eine direkte Vergleichbarkeit schwierig und mag Ergebnisse verfälscht haben.

Schlüsselwörter: Pferd, Krallengelenk, Arthrodese, PIP-LCP, Zugschraube, DCP

Proximal interphalangeal joint arthrodesis in the horse

This retrospective case study evaluated proximal interphalangeal joint arthrodesis in 32 horses referred to the Clinic for Equine Surgery, Vetsuisse Faculty, University of Zurich, between 1995 and 2018. The study had three objectives. The first was to evaluate the success rate of four different surgical techniques for arthrodesis to determine the surgical method with the best prognosis based on in-house experience. The second was to test the hypothesis that the prognosis for proximal interphalangeal joint arthrodesis has improved since the introduction of an equine locking compression plate for the proximal interphalangeal joint (PIP-LCP). The third objective was to evaluate the success rate of a pentagonal plate used in a pilot project from 2004 to 2006. The long-term outcomes were determined by telephone interview. The results were presented using descriptive statistics. A total of 18 horses (56%) had osteoarthritis of the proximal interphalangeal joint, ten (31%) had traumatic luxation of the proximal interphalangeal joint and three (10%) had bone cysts. The indication for arthrodesis could not be determined from the history in the remaining horse. A PIP-LCP and additional transarticular lag screws were used in 13 horses (41%) and a dynamic compression plate (DCP) with additional transarticular lag screws was used in 13 other horses (41%). A double-plate technique using two abaxially placed DCPs and an additional transarticular lag screw was used in one horse, and a novel pentagonal plate was used in the remaining 5 horses. Both forelimbs were operated in two horses. The total success rate in terms of soundness at the walk and trot/return to the previous performance level was 22 of 32 (70%). The PIP-LCP technique was successful in 11 of 13 (83%) and the DCP technique in 9 of 13 cases (70%). Of the four horses treated with the pentagonal plate that had sufficient follow-up information, three had to be euthanized; one of the three horses had implant failure, one had implant failure and infection in the same limb and one had implant failure and infection in two different limbs. Ten of the 32 horses (31%) developed an infection, which was associated with the implant in seven horses, seven other horses (22%) had implant failure, three (9%) developed laminitis and one (3%) suffered a fracture of the second phalanx. All horses with bone cysts, eight of ten horses (80%) with traumatic luxation and 11 of 18 horses (60%) with osteoarthritis had a good outcome. Interphalangeal joint arthrodesis in the hind and forelimbs had success rates of 75 and 67%, respectively. The PIP-LCP technique increased the success rate by 13% compared with the older DCP technique. More horses operated with the DCP technique had to be euthanized compared with horses undergoing the PIP-LCP technique. There was no difference between the two techniques with respect to the number of horses returning to the previous performance level. Limitations of this study included the small number of cases, especially the numbers in some subgroups, and therefore statistical significance testing was not done. Furthermore, the anatomical distribution of the lesions was very heterogeneous and made direct comparisons between surgical techniques difficult.

Keywords: horse, proximal interphalangeal joint arthrodesis, PIP-LCP, lag screw, DCP

Zitation: Heim C., Sommer K. S., Fürst A. (2021) Die Krongelenksarthrodese des Pferdes, *Pferdeheilkunde* 37, 42–49; DOI 10.21836/PEM20210106

Korrespondenz: Prof. Anton Fürst, Vetsuisse Fakultät Zürich, Klinik für Pferde, Winterthurerstraße 260, 8057 Zürich, Schweiz; afuerst@vet-clinics.uzh.ch

Eingereicht: 1. Juni 2020 | **Angenommen:** 22. September 2020

Einleitung

Klassische Indikationen für eine Krongelenksarthrodese (KGA), die chirurgische Versteifung des Krongelenks (KG), sind eine fortgeschrittene degenerative Gelenkerkrankung (Arthrose) oder eine Instabilität des Gelenks durch Subluxation etwa nach Verletzung von Band- und Sehnenstrukturen (Carpenter und Baxter 2011, McCormik und Watkins 2017). Außerdem wird eine KGA bei Trümmerbrüchen von Fessel- und Kronbein sowie bei Osteochondrose, subchondralen zystischen Läsionen (McIlwraith und Goodman 1989) sowie septischer Arthritis empfohlen, wobei sie bei letzterer nur geringe Aussicht auf Erfolg hat (Groom et al. 2000). Besonders günstig wirkt sich aus, dass das KG von Natur aus keinen großen Bewegungsspielraum hat (Lischer und Auer 2019) und seine Ankylosierung den Bewegungsablauf kaum zu stören vermag. So stellt die KGA allgemein eine vielversprechende Therapieform da, um das Pferd wieder sportlich nutzbar zu machen (Zubrod und Schneider 2005).

Die Literatur bezüglich verschiedener Operationstechniken bleibt überschaubar, wobei die ältesten Veröffentlichungen auf das Jahr 1978 (Schneider et al. 1978, Martin et al. 1984) zurückgehen. Nahezu allen Angaben ist stets das Einhalten von zwei Grundprinzipien gemein: 1. Das Gelenk wird immer dorsal eröffnet und der Gelenkknorpel abgetragen. 2. Der Gelenkspalt muss komprimiert und das Gelenk fixiert werden. Hierzu werden transartikuläre Zugschrauben und/oder ein bis zwei Platten axial bzw. dorso-lateral und -medial angebracht. Die Entfernung des Knorpels kann mittels konventioneller, offener Verfahren unter Verwendung von Küretten nach kompletter Durchtrennung von Kollateralbändern und Extensorsehne sowie unter Exartikulation geschehen oder unter Anwendung von minimalinvasiver Technik. Neuere Ansätze schonen dabei die Kollateralbänder unter Anlegen eines Longitudinalschnitts durch die Extensorsehne und Verwendung eines Bohrers zur Entfernung des Knorpels (Jones et al. 2009). Alternativ ist zur Zerstörung des Knorpels auch Laserstrahlung geeignet (Watts et al. 2010). Die um die Jahrtausendwende oft verwendeten sog. „dynamic compression plates“ (DCP, Abb. 1) wurden ab etwa 2010 von den „locking compression plates“ (LCP, Abb. 2) abgelöst. Vorteil der LCP ist die Ausstattung mit Kombina-

tionslöchern, die es erlauben, die Platte fest, winkelstabil und mit weniger Auflage-/Kompressionsfläche auf dem Knochen zu fixieren (Frigg 2001, Herthel et al. 2016). So kommen die LCP in der Regel als Dreilochplatte aus, die DCP hatten dagegen bis zu sechs Löcher (Doran et al. 1987, Crabill et al. 1995). Neben diesen Plattenformen wurden auch die T-Platte (Steenhaut et al. 1985, Caron et al. 1990), die Y-Platte (Galluppo et al. 2000) und eine Löffelplatte (Sod et al. 2007) sowie eine speziell für das Tierspital Zürich hergestellte Fünfeck-Fünfloch-Platte (Abb. 3) mit vielversprechenden Ergebnissen entwickelt.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, mittels retrospektiver Fallstudie Daten zu Patienten, welche zwischen 1995 und 2018 in der pferdechirurgischen Klinik der Vetsuisse-Fakultät Zürich einer KGA unterzogen wurden, zu gewinnen und auszuwerten. Dabei lag der Fokus auf degenerativen Erkrankungen sowie der Subluxation des KGs, für welche eine gute Prognose in Hinblick auf Erholung und weitere Nutzung des Pferdes unter Durchführung der Arthrodese anzunehmen ist. Durch den langen Zeitraum wurde sichergestellt, dass eine möglichst heterogene, mittelgroße Stichprobe zur Auswertung kam. Die Erfolgsrate der jeweiligen Operationstechnik sollte ermittelt und mit anderen Studien verglichen werden.

Material und Methoden

Es lagen insgesamt 32 Fälle zur Auswertung vor, bei denen eine von vier Operationstechniken angewendet wurde: 1. Verwendung von einer DCP in Kombination mit transartikulären Zugschrauben, 2. Verwendung zweier DCP und einer transartikulären Zugschraube, 3. Arthrodese mittels Verwendung der neuartigen FFP und transartikulärer Anbringung von medialen Plattenschrauben oder 4. mittels PIP-LCP und Anbringung von transartikulären Zugschrauben.

Von der Studie ausgeschlossen wurden Pferde mit komplizierten Frakturverläufen, insbesondere Trümmerfrakturen und ein- oder beidseitige Frakturen der Kronbeinlehne. Kleinere Avulsionsfrakturen, die öfter bei Subluxation des KGs vorkommen sowie Fesselbeinfissuren führten dagegen nicht zum



Abb. 1 Beispiel einer schmalen 4.5 DCP (dynamic compression plate). ©Tierspital Zürich | Example of a narrow 4.5 DCP (dynamic compression plate) © Tierspital Zürich



Abb. 2 Darstellung der PIP-LCP (proximal interphalangeal locking compression plate). ©Tierspital Zürich | Illustration of the PIP-LCP (proximal interphalangeal locking compression plate). ©Tierspital Zürich

Ausschluss. Zudem musste von jedem Studienteilnehmer die vollständige Krankengeschichte vorliegen, um eine vergleichbare Datengrundlage zu generieren.

Es kamen die Daten aus der Krankenakte (inklusive Operationsprotokollen und Ergebnissen der weiterführenden Diagnostik sprich Röntgenbefunde) zur Auswertung. Die Befunde aus der Follow-up Untersuchung wurden per Telefon-Interview der Besitzer oder Haustierärzte erhoben. Dabei wurden der weitere klinische Verlauf, das allfällige Bestehen einer Lahmheit und sonstige Beeinträchtigungen erfragt. Besonderes Augenmerk wurde darauf gelegt zu erfahren, wie zufrieden der Interviewpartner mit der Behandlung insgesamt war, ob sie/er die Operation wieder durchführen lassen würde, ob dem Pferd aufgrund des KG-Problems länger als vorgesehen Antiphlogistika verabreicht wurden oder ob es länger einen Cast tragen musste, wie sich die Rehabilitation zeitlich gestaltete, wie groß die Bewegungsfreude des Pferdes ist sowie ob/welche andere(n) Gesundheitsprobleme aufgetreten sind.

Bei den radiologischen Verlaufskontrollen sollte zum einen erhoben werden, welches Ausmaß und innerhalb welchen Zeitraums eine Durchbauung des Gelenkspalts erfolgt ist und zum anderen sollte das Ausmaß periartikulärer Zubildungen bewertet werden. Ein guter Durchbauungsprozess wurde wie folgt quantifiziert: Wenn nach sechs Monaten bereits mindestens die Hälfte des Gelenkdurchmessers durchbaut erschien, bis zum achten Monat nochmals eine sichtbare Progression stattfand und das Gelenk nach zwölf Monaten komplett durchbaut war, galt das Urteil als „gut“. Bei verzögertem Verschwinden des Gelenkspalts dagegen galt das Urteil als „schlecht“. Falls nach zwölf Monaten noch weniger als 50 % des Gelenkdurchmessers durchbaut waren, führte dies zur Einstufung „sehr schlecht“. Ein sehr schlechtes Urteil konnte in keinem der Fälle erhoben werden.



Abb. 3 Dorsoplantare Röntgenaufnahme der Fünflock-Fünfloch-Platte (FFP). ©Tierspital Zürich | Dorsoplantar image of the pentagonal five-hole plate. © Tierspital Zürich

Besonderes Augenmerk wurde in der vorliegenden Arbeit auf das langfristige Outcome nach dem Eingriff gelegt. Als „sehr gutes“ Outcome wurde eine komplette Rehabilitation verstanden mit demselben (potentiellen) Einsatz des Pferdes wie vor der Operation. War das Pferd lahmheitsfrei bei einem reduzierten Belastungslevel, lautete das Fazit „gut“. Lagen gravierende chronische Lahmheiten vor, wurde das Outcome als „schlecht“ bezeichnet. „Sehr schlecht“ bedeutete wiederum, dass das Pferd aufgrund von Komplikationen oder einer schwerwiegenden chronischen Lahmheit euthanasiert werden musste.

Auf die genaue Beschreibung von Anästhesie, Durchführung der jeweiligen Operationstechnik, medikamentösen Nachbehandlung, Wundpflege usw. wird verzichtet. Bei Anästhesie und Antisepsis, beim Verankern der Platten und Schrauben, beim Nähen der Sehnen- und übrigen Gewebestrukturen sowie bei der Wundbehandlung und -revision bei Infektionen wurde auf standardisierte Prinzipien und Techniken zurückgegriffen, wie sie von Auer et al. (2019) dargestellt werden. Bei allen Pferden (mit Ausnahme von Pferd Nr. 25) wurde ein offener Zugang mit Aufklappen des KG gewählt. In der Mehrzahl der Fälle wurde die Extensorsehne mit einem umgekehrten V-Schnitt durchtrennt. Die Pferde erhielten postoperativ Antibiotika und nicht-steroidale Entzündungshemmer. Die operierte(n) Gliedmaße(n) wurden anschließend mit einem Cast fixiert. Eine autologe Spongiosoplastik wurde nur bei einem Pferd (Nr. 19) bei einer Revisionsoperation durchgeführt. Während des abhängig vom Heilungsverlauf unterschiedlich langen Klinikaufenthalts wurden regelmäßig radiologische Nachkontrollen vorgenommen. Nach der Entlassung wurden Kontrollen nach zwei und vier Monaten am Tierspital empfohlen.

Zwecks einer übersichtlichen Bilanz zum Erfolg der chirurgischen Technik wurde jeder Fall bezüglich Indikation, Operationstechnik, radiologischer Heilung und Outcome jeweils einer einfachen, klar definierten Kategorie (sehr gut, gut, schlecht, sehr schlecht) zugeteilt.

Die Auswertung erfolgte rein deskriptiv. Die graphische Darstellung der Daten wurde mittels Tabellen, Säulen- und Kreisdiagrammen im Programm Word vorgenommen. Auf eine quantitative statistische Analyse zur Bestimmung der Signifikanz der beobachteten Trends wurde verzichtet.

Ergebnisse

Zur Auswertung kamen KGA von insgesamt 32 Pferden bzw. Ponys/Kleinpferden. Die Mehrheit der Patienten waren Großpferde (n = 29), der Rest Ponys (n = 3). Die Tiere waren im Mittel zum Zeitpunkt der Operation 10 Jahre alt mit einer Spanne von drei Wochen bis 15 Jahre. Bei zwei Pferden (Nr. 7 und 17) wurden die KG zweier Gliedmaßen versteift. In drei Fällen wurden im Rahmen von Revisionsoperationen neue Implantate eingesetzt. Die Darstellung in den nachfolgenden Übersichtsdiagrammen bezieht sich aus Gründen der Vereinfachung dennoch immer auf jeweils ein Pferd mit einer Operationsmethodik pro Pferd bzw. klinischem Outcome und nur einer Gliedmaßengruppe pro Pferd (Vorder- oder Hinterhand). Dies war möglich, da die angewendete Operationstechnik zum einen sowohl bei den beid-

seitig als auch bei den erneut operierten Pferden nicht geändert wurde, zum anderen war bei den Fällen Nr. 7 und 17 nur die Vordergliedmaßen beidseits betroffen. Des Weiteren war bei den beidseits operierten Pferden die Indikation an beiden Gliedmaßen dieselbe. Insgesamt war der Anteil bilateral operierter Pferde eher klein. Abgewichen wurde von dieser Bezugsgröße nur bei der Aufschlüsselung der Häufigkeit von Implantatversagen und der Implantatinfektionen nach Art des Konstrukt.

Von den 32 Pferden dieser Fallstudie wurden 18 (56%) wegen einer Arthrose im KG und zehn (31%) wegen einer traumatisch bedingten Luxation operiert. Die übrigen drei Pferde wiesen zystische Veränderungen auf, bei einem Fall konnte die Indikation zur Operation nicht mehr ermittelt werden. Das durchschnittliche Alter der Arthrosepatienten betrug 10,1 Jahre, das der Luxationspatienten 9,2 Jahre.

Die am häufigsten angewendeten Operationstechniken waren die Verwendung der DCP in Kombination mit transartikulären Zugschrauben und die Verwendung der LCP in Kombination mit transartikulären Zugschrauben bei je 13 Pferden (41%). Die FFP wurde bei fünf Pferden, einem davon an beiden Vorderbeinen, implantiert.

Bei 22 Pferden traten nach dem Eingriff leichte oder schwere Komplikationen auf. Dies waren zu 48% Infektionen, wobei es sich bei sieben von zehn Fällen um schwerwiegende Infektionen des Bereichs um das Implantat handelte. Bei 33% der Komplikationen handelte es sich um ein Implantatversagen. Hierbei sind bei fünf Pferden Schrauben gebrochen (Abb. 4), ein Pferd wies einen Plattenbruch auf. Ein anderes wiederum lieferte radiologisch bereits Hinweise, dass eine Instabilität der Platten bestanden hat. Drei Patienten entwickelten postoperativ eine Hufrehe, ein Pferd erlitt dagegen eine Fraktur der Kronbeinlehne (Abb. 5). Auch Drucknekrosen durch den Castverband konnten bei 4 Pferden beobachtet werden. Darüber hinaus mussten drei Pferde einer neuerlichen Operation



Abb. 4 Radiologische Verlaufskontrolle der KGA (PIP-LCP + transartikuläre Schrauben), welche einen doppelten Bruch der distalen Schraube aufwies (Lateromediale Aufnahme). | Radiographic view based on a radiological KGA (PIP-LCP + transarticular screws) course control, which showed a double screw break as a complication.

unterzogen werden. Eines davon (Nr. 25) musste letztlich euthanasiert werden. Insgesamt mussten sechs Pferde mit Komplikationen noch während des Klinikaufenthalts eingeschläfert werden.

Kam es zum Implantatversagen, war dies am häufigsten bei Verwendung der FFP der Fall (67% mit dieser Operationstechnik). Im Gegensatz hierzu konnte unter Verwendung der PIP-LCP nur in 15% der Fälle, bei Verwendung der DCP sogar nur in 8% der Fälle ein Implantatversagen festgestellt werden. Darüber hinaus scheint es einen Zusammenhang zwischen Operationstechnik und Häufigkeit von Implantatinfektionen zu geben: Bei der Verwendung der FFP weisen 40% der Pferde eine Infektion auf. Bei der Anwendung der DCP liegt die Infektionsrate bei 31%.

In 16 Fällen war aufgrund fehlender Röntgenaufnahmen keine Beurteilung des radiologischen Heilungsprozesses möglich (Kategorie unklar). Bei sieben Fällen war die radiologische Heilung gar nicht beurteilbar, da die Pferde früh euthanasiert wurden bzw. da erst Röntgenbilder von der Zeit lange nach Abschluss des Umbauprozesses vorlagen. Immerhin konnte bei acht Pferden eine gute Durchbauung festgestellt werden. Bei einem Pferd erwies sich die Durchbauung als schlecht. Fälle, von denen eine Befundung 12 Monate nach dem Eingriff nicht vorlag, welche aber anhand von Röntgenaufnah-



Abb. 5 Dorsolaterale – Palmaromediale Röntgenaufnahme einer KGA (DCP + transartikuläre Schrauben). Verlaufskontrolle, welche eine Fraktur der Kronbeinlehne als Komplikation aufwies. | Dorsolateral – palmaromedial radiographic view based on the radiological KGA (DCP + transarticular screws) follow-up that showed a fracture of the second phalanx as a complication.

men, die nach sechs Monaten angefertigt wurden, bereits einen abgeschlossenen Durchbauprozess nachwiesen, wurden auch ohne Endkontrolle als „gut“ bewertet.

Umgekehrt mussten Pferde mit nicht abgeschlossener Durchbauung zum Zeitpunkt sechs Monate und ohne Röntgenbilder zum Zeitpunkt zwölf Monate der Kategorie „unklar“ zugeordnet werden.

Das Ausmaß an periartikulären Zubildungen wurde in der postoperativen Röntgenaufnahme bestimmt, in der diese am ausgeprägtesten waren und rangiert nach: keine oder leicht bis mittelgradig oder sehr stark. 26 Fälle konnten beurteilt werden, darunter war ein Pferd ohne Zubildungen und fünf Pferde mit sehr starken Veränderungen.

Insgesamt konnte bei den Interviews ein positiver Tenor vernommen werden. Von 22 Besitzern waren 77% (n = 17) ausdrücklich zufrieden mit der Operation. 12 Besitzer würden sich auch in Zukunft wieder so entscheiden. Dabei hatten die Operationen im Vorhinein nie das Ziel, die Pferde wieder auf ihr bisheriges Leistungsniveau zurück zu bringen.

Bei Betrachtung des langfristigen pauschalen Erfolgs aller Operationen ergibt sich folgendes Bild (Abb. 6): Bei 12 Pferden (37%) konnte ein sehr guter Ausgang der KGA ermittelt werden, bei sieben Pferden (22%) ein guter. Acht Pferden ging es so schlecht, dass sie euthanasiert werden mussten (25% Kategorie „sehr schlecht“). In fünf Fällen (16%) war es nicht möglich, aktuelle Informationen über die Pferde zu bekommen. Die Erfolgsquote der KGA kann demnach auf insgesamt 70% beziffert werden.

Bei Vergleich der Erfolgsraten jeder einzelnen Technik konnte folgendes festgestellt werden: Der größte Erfolg war bei Anwendung der PIP-LCP in Kombination mit Zugschrauben zu verzeichnen (83%). Danach folgte die DCP-Technik mit Zugschrauben (70%). Die Verwendung der FFP hat sich dagegen als nicht zuverlässig herausgestellt. Sie konnte nur bei einem von fünf Pferden eine Versteifung des KG ermöglichen. Die Euthanasierate bei Verwendung der PIP-LCP war überdies kleiner als bei Anwendung der DCP-Technik (17 versus 30%). Da-

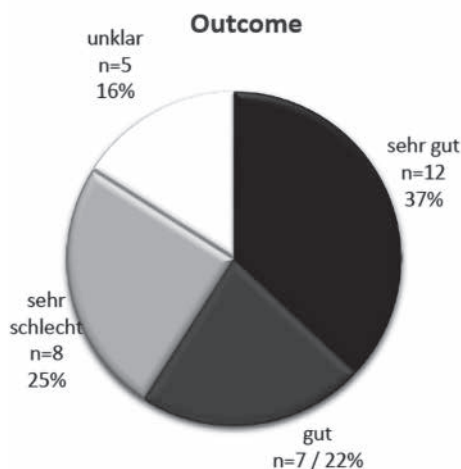


Abb. 6 Graphische Darstellung des langfristigen Outcomes nach Interview der Gesamtpopulation. | Graphical representation of the long-term outcome after interview of the total population.

bei ist jedoch zu beachten, dass es bei den Pferden, bei denen die DCP-Technik angewendet wurde, viel häufiger Fälle gab (23%), bei denen die Erhebung des längerfristigen Outcomes nicht möglich war.

Von den zwei Pferden, die an beiden Vordergliedmaßen operiert wurden (Pferd Nr. 7 und 17), war bei einem ein gutes Outcome zu verzeichnen, das andere musste aufgrund von Komplikationen an beiden Gliedmaßen euthanasiert werden.

Vergleicht man die Erfolgsraten anhand der Indikationen (Arthrose, Luxation, zystische Veränderungen), so kann festgestellt werden, dass Pferde, die wegen einer Arthrose operiert wurden, ein weitaus weniger gutes Ergebnis aufwiesen: 60% der Eingriffe waren erfolgreich, bei 33% wurde ein sehr guter Ausgang festgestellt. 40% der Pferde wurden jedoch eingeschläfert aufgrund eines sehr schlechten Outcomes. Am erfolgreichsten konnten dagegen die Pferde mit zystischen Veränderungen mittels Arthrodese behandelt werden. Die Fallzahl war mit n = 3 jedoch ausgesprochen klein. Besser dagegen sah die Erfolgsrate mit 78% bei Patienten mit Luxation aus. 56% der Pferde wiesen hier ein sehr gutes Outcome auf.

Im Vergleich des Therapieerfolgs an Vorder- und Hintergliedmaßen kann festgehalten werden, dass an den Hinterbeinen ein etwas besserer Erfolg erzielt werden konnte als an den Vorderbeinen (75 versus 67%) (Abb. 7). Insbesondere mussten mehr Pferde euthanasiert werden, die an den Vordergliedmaßen operiert wurden.

Diskussion

Von den 32 im Durchschnitt zehn Jahre alten Pferden wurden in dieser Fallstudie zwischen 1995 und 2018 bei 18 (56%) aufgrund einer Arthrose des KG, bei zehn (31%) wegen einer traumatischen Luxation und bei drei (10%) wegen subchondraler Zysten eine KGA durchgeführt. Bei einem weiteren Pferd ging die Indikation zur Operation nicht aus den Akten hervor. Die seit 2011 routinemäßig angewendete PIP-LCP sowie die DCP-Technik (beide in Kombination mit transartikulären Zugschrauben) wurden bei je 13 Tieren eingesetzt, nur ein Pferd wurde per Doppelplattentechnik operiert. Die in Zürich erstmals erprobte FFP wurde fünf Patienten implantiert. Insgesamt sind einige Komplikationen aufgetreten: 31% der Pferde (n = 10) erlitten Infektionen, davon war bei sieben der Knochen mitbeteiligt, bei 22% der Patienten (n = 7) kam es zum Implantatversagen (Abb. 4), drei Pferde (9%) erlitten eine Hufrehe und ein Patient zog sich eine Fraktur der Kronbeinlehne zu (Abb. 5). Dabei war die FFP-Technik besonders anfällig für Komplikationen: Bei zwei Dritteln der Konstrukte kam es zu einem mindestens teilweisen Versagen der Implantate, ein Drittel der Platten war infiziert. Dies könnte mit der inkorrekten Ausführung der Operationstechnik (fehlerhaftes Anbringen von Platten und Zugschrauben) in Zusammenhang stehen und wurde vereinzelt bei Betrachtung der Röntgenbilder ersichtlich. Diese Fälle waren generell mit einem schlechten Outcome assoziiert und wiesen ein Implantatversagen auf. Insgesamt war jedoch auf lange Sicht betrachtet bei 19 Pferden, ein Erfolg zu verzeichnen. Hiervon wurden 12 Patienten wieder auf dem vorherigen Leistungsniveau ge-

nutzt. Acht Pferde dagegen mussten euthanasiert werden und bei fünf Patienten konnten hierzu keine Informationen eingeholt werden. So wird die Gesamterfolgsrate dieser Studie auf 70 % beziffert. Dabei muss unbedingt zwischen den verschiedenen Operationsmethoden differenziert werden. Die PIP-LCP Technik weist in 83 % der Fälle einen Erfolg aus. Als ebenso zufriedenstellend kann der Erfolg der DCP-Technik mit 70 % bewertet werden. Dagegen muss die Verwendung der FFP als Misserfolg eingestuft werden: Sie war nur in 25 % der Fälle erfolgreich. So geben Herthel et al. (2016) in der bislang größten zum Thema durchgeführten Studie und der einzigen, in der auch die LCP-Technik verwendet wurde, Erfolgsraten von 74 % bei Warm- und bei Vollblütern bzw. 87 % bei Quarter Horses an. Insgesamt wird von einer Rückkehr in den Turniersport bei bis zu 63 % der Pferde berichtet. Der etwas leichtere Körperbau der Quarter Horses, so mutmaßen die Autoren, könnte die höhere Erfolgsquote der Arthrodese erklären. Knox und Watkins (2006) haben dagegen festgestellt, dass 87 % der Pferde nach der Arthrodese wieder wie gewünscht eingesetzt werden konnten, 85 % davon auf ihrem vorherigen hohen sportlichen Niveau. Des Weiteren untersuchten Schaer et al. (2001) 22 Fälle und bemaßen den Gesamterfolg auf knapp 72%. Dazu sei aber an dieser Stelle angemerkt, dass der Erfolg der mit der in der vorliegenden Arbeit vergleichbaren DCP-Technik etwas kleiner war als bei der Technik bei der nur Schrauben ohne Platte eingesetzt wurden. Jones et al. (2009) schließlich führten Operationen mit zwei unterschiedlichen Techniken mit minimalinvasiver Entfernung des Gelenkknorpels durch. Bei 92 % der elf Pferde konnte die Lahmheit um mindestens einen Grad reduziert werden, 73 % erfüllten die Erwartungen der Besitzer, zwei Pferde konnten sogar in den Profisport zurückkehren. Wurden auch Fälle zur Erfolgsbilanz mitgezählt, bei denen die Besitzer aufgrund einer komplizierteren Rekonvaleszenz zwar nicht zufrieden waren, das Endresultat aber trotzdem gut war, korrigierte sich die Zahl auf 82%. Im Vergleich zu den eigenen Ergebnissen fällt zu allererst auf, dass der Gesamterfolg an der Klinik für Pferdechirurgie mit 70 % etwas kleiner war und auch der Anteil der Pferde mit sehr gutem Outcome geringfügig kleiner ausfiel als in der

Literatur beschrieben. Dies ist sicherlich auf eine suboptimale Verteilung der Erkrankungsmuster, Operationstechniken und letztlich die kleine Populationsgröße zurückzuführen. Besonders kritisch muss die Verwendung der FFP in diesem Zusammenhang bewertet werden. Ein Vergleich zu Ergebnissen aus anderen Studien gelingt mangels verfügbarer Untersuchungen nicht. So kann über die Gründe ihres schlechten Abschneidens nur gemutmaßt werden. Ein Grund könnte in der mangelnden Übung im Umgang und wenig Erfahrung mit der Platte liegen. Dies führt zu einer Verlängerung der Operationsdauer, was wiederum das Risiko für das Erleiden von Wundinfektionen steigert (Ahern et al. 2010). Die Beurteilung der Technik hat bei Befundung der Röntgenbilder in der Verlaufskontrolle ergeben, dass die Platte in zwei Fällen etwas weit distal und somit aus biomechanischer Sicht nicht ideal angebracht war. Darüber hinaus liegen die maßgeblichen Unterschiede zu den anderen Techniken zum einen in der Abwesenheit von nicht plattenassoziierten transartikulären Schrauben, zum andern in der breiten Plattenform. Es kann vermutet werden, dass sich im Falle beginnender Instabilität das Vorhandensein separater transartikulärer Zugschrauben für die Stabilisierung positiv auswirkt, da somit keine Hebelkräfte auf die Platte einwirken, welche diese schwächen können. Durch ihre breite Form hat die Platte zudem eine recht große Auflagefläche auf dem Knochen. Je grösser die Auflagefläche, desto mehr wird möglicherweise die Blutversorgung des Knochens beeinträchtigt, was für eine möglichst schnelle Überbrückung hinderlich ist (Wagner 2003). Ob dies in den vorliegenden Fällen eine Rolle gespielt hat, kann jedoch nur spekuliert werden, da der Einfluss des Plattentypus auf die Blutversorgung und Heilung kontrovers in der Literatur diskutiert wird (Xue et al. 2016).

Die Häufung postoperativ aufgetretener Infektionen dieser Studie muss sehr kritisch bewertet werden. Ob es hierbei zu einer zufälligen Häufung gekommen war, kann nicht ermittelt werden. Im Vergleich mit anderen Studien (Knox und Watkins 2006, Jones et al. 2009, Herthel et al. 2016) werden unterschiedliche Inzidenzen von Wundinfektionen angegeben. In der vorliegenden Studie war sie jedoch mit 31 % insgesamt

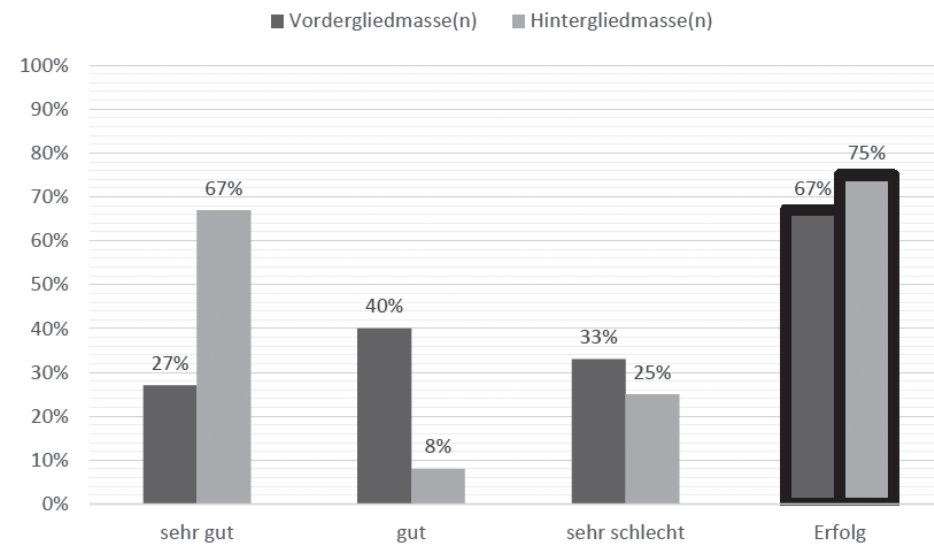


Abb. 7 Balkendiagramm des Erfolgsvergleichs zwischen Hinter- und Vordergliedmaße (korrigierte Erfolgsrate). | Bar chart of the success comparison between rear and front limb dimensions (corrected success rate).

bzw. 22% bezogen auf Implantatinfektionen selbst höher als bisher publiziert. Als Risikofaktor könnte u.a. ein zunehmendes Alter und weibliches Geschlecht angesehen werden (Ahern et al. 2010). Der zuletzt genannte Risikofaktor könnte möglicherweise auch in der Tatsache begründet liegen, dass bei Stuten oft schwierigere Operationen mit schlechterer Prognose dennoch versucht werden, da sie als Zuchtstuten besonders wertvoll sind. MacDonald et al. (1994) zeigten in einer ähnlichen Studie ebenfalls eine signifikante Geschlechtsprädisposition auf, mutmaßten allerdings, dass der Unterschied hormonell bedingt sein könnte. Das durchschnittliche Alter der von Infektionen betroffenen Pferde (neuneinhalb Jahre) lag zwar knapp unter dem Durchschnitt des gesamten Patientenguts, war aber trotzdem höher als das Durchschnittsalter von 2,7 Jahren in der Studie von Ahern et al. (2010). Die Tatsache, dass die KGA im Allgemeinen eher bei Pferden im mittleren Alter durchgeführt wird, könnte also die per se etwas höhere Infektionsrate erklären. Eine Geschlechtsprädisposition konnte in der vorliegenden Arbeit dagegen nicht verzeichnet werden.

Beachtet werden muss außerdem, dass es in dieser Studie einige Fälle gab, bei denen eine Infektion neben dem Implantatversagen bestand. Beide Vorkommnisse können sich gegenseitig begünstigen. Auch ist bei der radiologischen Beurteilung oft nicht klar, ob ein lytisches Areal infektiös bedingt ist oder ob Bewegungen einer Schraube die Lyse auslösen (Sande 1999). Die Instabilität von Implantaten kann die Entwicklung einer Infektion begünstigen, wobei nicht restlos geklärt ist, wie dieser Zusammenhang zustande kommt (Sabate Bresco et al. 2017).

Wie die vorliegende Arbeit zeigen konnte, kommt es vereinzelt zum Auftreten von Hufrehe im Zusammenhang mit einer KGA: Drei der operierten Pferde entwickelten diese Komplikation im Patientengut. Angaben anderer Untersuchungen konnten diese Komplikation ebenfalls (Herthel et al. 2016) oder zuweilen nur an der kontralateralen Gliedmaße feststellen (McCormick und Watkins 2017). Dies kann mit einer Überbelastung des kontralateralen Beins nach dem Eingriff erklärt werden (Zubrod und Schneider 2005). Im eigenen Patientengut wurde bei zwei der drei Fälle ebenfalls am kontralateralen Huf eine Hufrehe beobachtet. Beim dritten Pferd trat jedoch an der operierten Seite eine Hufrehe auf. Hierbei ist möglicherweise von einer Vasokonstriktion aufgrund neurovaskulärer Störungen auszugehen, die zur Rehe geführt haben könnte.

Mit der vorliegenden Arbeit sollte der Erfolg der Operation auch im Hinblick auf eine spezielle Indikation und für eine betroffene Gliedmaßengruppe bewertet werden. So belief sich der Erfolg bei den Pferden dieser Studie für die Anwendung aufgrund zystoider Defekte auf 100%, für die bei Luxationen auf 78% und letztlich noch auf 60%, wenn aufgrund von Arthrosen eine KGA durchgeführt werden sollte. Dies geht mit Angaben von Schaer et al. (2001), Knox und Watkins (2006) sowie Herthel et al. (2016) größtenteils konform und kann dadurch erklärt werden, dass der Erfolg der Arthrodese maßgeblich davon abhängt, wie viel Knorpel intra operationem entfernt werden kann, was für eine gute Durchbauung beider Knochenenden erforderlich ist (Jones et al. 2009, Richardson 2008, Watts et al. 2010). Aufgrund der ungleichen Verteilung auf die Subpopulationen (bei nur fünf Pferden wurde die FFP eingesetzt und dieses auch nur an den Vorderbeinen, für die

eine per se schlechtere Prognose anzunehmen ist und nur drei Pferde wurden aufgrund einer Zyste operiert) müssen diese Erfolgsraten aber mit Vorsicht interpretiert werden. Ebenso wurden die DCP hauptsächlich für das Indikationsgebiet Arthrose eingesetzt, welches a priori einen schlechteren Erfolg erwarten lässt.

Auch war bei den hier präsentierten Fällen die Erfolgsquote für die Hintergliedmaßen größer als bei den Vorderbeinen (75% versus 67%). Herthel et al. (2016) haben ebenfalls einen Unterschied in der Erfolgsquote festgestellt. Dieser war bezogen auf das gesamte Patientengut zwar nicht signifikant, wurden jedoch nur Pferde, die nach der Genesung wieder auf hohem Aktivitätslevel eingesetzt wurden, in den Vergleich aufgenommen, kam es zu einem signifikanten Unterschied (73 versus 25%). Bei den vorliegenden Ergebnissen wurde ein ähnlicher Effekt beobachtet: In der Outcome-Gruppe „sehr gut“ sind 67% der Hintergliedmaßen, aber nur 27% der Vordergliedmaßen vertreten. Auch Knox und Watkins (2006) können diesen Trend mit 95% versus 81% bestätigen. Ebenso weisen Resultate von Untersuchungen von MacLellan et al. (2001) und Schaer et al. (2001) die gleiche Tendenz auf. Back et al. (1995) konnten in Laufbanduntersuchungen an trabenden Pferden zeigen, dass die vertikale Geschwindigkeit des Hufaufpralls bei Vordergliedmaßen höher ist und die Fessel schneller wieder vorgeführt wird, was zu einer stärkeren kinetischen Belastung der Vorderbeine zu Beginn der Stützbeinphase führt und die schlechtere Erfolgsquote an der Vorhand zu erklären vermag.

Die erhobenen radiologischen Befunde können letztlich aufgrund einer mehr als dürftigen Datenlage nicht interpretiert werden. Die bei der radiologischen Nachkontrolle ersichtlichen Komplikationen wurden bereits diskutiert. Eine generelle Aussage über die Vollständigkeit und den zeitlichen Verlauf der knöchernen Durchbauung gelingt aufgrund der dürftigen Datenlage in dieser Studie dagegen wiederum nicht und erscheint wenig sinnvoll. Generell liegt eine der größten Schwachstellen der Arbeit sicherlich in der kleinen Fallzahl der Gesamt- sowie der Subpopulationen. Dies schmälert zusammen mit der Art der Studie (retrospektive Fallstudie) die statistische Power außerordentlich (Dohoo 2007). Hinzu kommt, dass die untersuchenden Tierärzte einer heterogenen Gruppe angehörten und diese nicht verblindet war. Auch das Fehlen einer Kontrollgruppe, die einen Vergleich mit der Patientengruppe möglich gemacht hätte, hätte verlässlichere Ergebnisse erbracht. Darüber hinaus konnten nicht immer alle Daten vollständig erhoben werden, besonders was die Nachkontrollen anging, fehlten die Daten z.T. gänzlich. Künftig sollte außerdem versucht werden, das Kriterium „Erfolg“ so objektiv wie nur möglich zu bewerten. Hier wäre eine vollständige Nachuntersuchung, welche am besten vom gleichen Tierarzt durchgeführt werden würde, von großem Vorteil. Dagegen liegt der Vorteil bei der Befragung des Besitzers darin, dass er nicht nur eine Momentaufnahme, sondern seine Beobachtungen über einen längeren Zeitraum wiedergeben kann. Dies liefert ein genaueres, realistischere Bild. Aufgrund der fehlenden statistischen Auswertbarkeit kann deshalb nur von Tendenzen gesprochen werden. Dennoch liefert die vorliegende Arbeit erste wertvolle Hinweise und die Basis für intensivere, weitergehende Forschung.

Schlussfolgerungen

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Operationstechnik unter Verwendung der PIP-LCP mit einer zusätzlichen Zugschraube die am geeignetste Methode für die KGA darstellt. Sie eignet sich für die Indikation Arthrose, Luxation sowie subchondraler Zysten in Kron- und Fesselbein. Dabei ist die Prognose jedoch sowohl abhängig von der zugrundeliegenden Ursache der Erkrankung als auch von ihrer Lokalisation. So zeichnet sich die KGA am Hinterbein durch eine bessere Prognose aus. Die Verwendung der FFP hat sich dagegen als ungeeignet erwiesen und sollte daher nicht mehr erfolgen. Gegenstand weiterer Forschung muss es sein, die hier ermittelten Tendenzen anhand größerer Fallzahlen und eines optimierten Studiendesigns statistisch abzusichern. Auch wäre es erstrebenswert, Aussagen über die Erfolgchancen für andere Indikationsgebiete (etwa Frakturen) zu gewinnen.

Literatur

- Ahern B. J., Richardson D. W., Boston R. C., Schaer T. P. (2010) Orthopedic infections in equine long bone fractures and arthrodeses treated by internal fixation: 192 cases (1990–2006). *Vet. Surg.* 39, 588–593; DOI 10.1111/j.1532-950X.2010.00705.x
- Auer J. A., Stick J. A., Kümmerle J. M., Prange T. (2019). *Equine surgery* (Fifth edition ed.) Elsevier. St. Louis, Missouri, 1377–1383
- Back W., Schamhardt H. C., Hartman W., Barneveld A. (1995) Kinematic differences between the distal portions of the forelimbs and hind limbs of horses at the trot. *Am. J. Vet. Res.* 56, 1522–1528
- Caron J. P., Fretz P. B., Bailey J. V., Barber S. M. (1990) Proximal interphalangeal arthrodesis in the horse. A retrospective study and a modified screw technique. *Vet. Surg.* 19, 196–202
- Carpenter R., Baxter G. (2011) The equine pastern. *Compend. Contin. Educ. Pract. Vet.* 33, E3
- Crabill M. R., Watkins J. P., Schneider R. K., Auer J. A. (1995) Double-plate fixation of comminuted fractures of the second phalanx in horses: 10 cases (1985–1993). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 207, 1458–1461
- Dohoo I. (2007) *Veterinary epidemiologic research* (2nd ed. ed.). Prince Edward Island: AVC Inc.
- Doran R. E., White N. A., Allen D. (1987) Use of a bone plate for treatment of middle phalangeal fractures in horses: seven cases (1979–1984). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 191, 575–578
- 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, 63–66
- Galuppo L. D., Stover S. M., Willits N. H. (2000) A biomechanical comparison of double-plate and Y-plate fixation for comminuted equine second phalangeal fractures. *Vet. Surg.* 29, 152–162
- Groom L. J., Gaughan E. M., Lillich J. D., Valentino L. W. (2000) Arthrodesis of the proximal interphalangeal joint affected with septic arthritis in 8 horses. *Can. Vet. J.*, 41, 117–123
- Herthel T. D., Rick M. C., Judy C. E., Cohen N. D., Herthel D. J. (2016) Retrospective analysis of factors associated with outcome of proximal interphalangeal joint arthrodesis in 82 horses including Warmblood and Thoroughbred sport horses and Quarter Horses (1992–2014). *Equine Vet. J.* 48, 557–564; DOI 10.1111/evj.12503
- Jones P., Delco M., Beard W., Lillich J. D., Desormaux A. (2009) A limited surgical approach for pastern arthrodesis in horses with severe osteoarthritis. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.* 22, 303–308; DOI 10.3415/vcot-08-03-0027
- Knox P. M., Watkins J. P. (2006) Proximal interphalangeal joint arthrodesis using a combination plate-screw technique in 53 horses (1994–2003). *Equine Vet. J.* 38, 538–542; DOI 10.2746/042516406x154840
- Lischer C. J., Auer J. A. (2019) Arthrodesis Techniques. Chapter 82. In: *Equine Surgery*. Elsevier. St. Louis, Missouri. 1374–1398
- MacDonald D. G., Morley P. S., Bailey J. V., Barber S. M., Fretz P. B. (1994). An examination of the occurrence of surgical wound infection following equine orthopaedic surgery (1981–1990). *Equine Vet. J.* 26, 323–326
- MacLellan K. N., Crawford W. H., MacDonald D. G. (2001). Proximal interphalangeal joint arthrodesis in 34 horses using two parallel 5.5-mm cortical bone screws. *Vet. Surg.* 30, 454–459; DOI 10.1053/jvet.2001.25873
- Martin G. S., McIlwraith C. W., Turner A. S., Nixon A. J., Stashak T. S. (1984) Long-term results and complications of proximal interphalangeal arthrodesis in horses. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 184, 1136–1140
- McCormick J. D., Watkins J. P. (2017) Double plate fixation for the management of proximal interphalangeal joint instability in 30 horses (1987–2015). *Equine Vet. J.* 49, 211–215; DOI 10.1111/evj.12578
- McIlwraith C. W., Goodman N. L. (1989). Conditions of the interphalangeal joints. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 5, 161–178
- Richardson D. W. (2008). Less invasive techniques for equine fracture repair and arthrodesis. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 24, 177–189; DOI 10.1016/j.cveq.2007.11.004
- Sabate Bresco M., O'Mahony L., Zeiter S., Kluge K., Ziegler M., Berse C., Moriarty T. F. (2017) Influence of fracture stability on Staphylococcus epidermidis and Staphylococcus aureus infection in a murine femoral fracture model. *Eur. Cell Mater.* 34, 321–340; DOI 10.22203/eCM.v034a20
- Sande R. (1999). Radiography of orthopedic trauma and fracture repair. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.* 29, 1247–1260
- Schaer T. P., Bramlage L. R., Embertson R. M., Hance S. (2001) Proximal interphalangeal arthrodesis in 22 horses. *Equine Vet. J.* 33, 360–365; DOI 10.2746/042516401776249552
- Schneider J. E., Carnine B. L., Guffy M. M. (1978) Arthrodesis of the proximal interphalangeal joint in the horse: a surgical treatment for high ringbone. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 173, 1364–1369
- Sod G. A., Mitchell C. F., Hubert J. D., Martin G. S., Gill, M. S. (2007) In vitro biomechanical comparison of equine proximal interphalangeal joint arthrodesis techniques: prototype equine spoon plate versus axially positioned dynamic compression plate and two abaxial transarticular cortical screws inserted in lag fashion. *Vet. Surg.* 36, 792–799. DOI 10.1111/j.1532-950X.2007.00338.x
- Steenhaut M., Verschooten F., de Moor A. (1985) Arthrodesis of the pastern joint in the horse. *Equine Vet. J.*, 17, 35–40
- Wagner M. (2003) General principles for the clinical use of the LCP. *Injury* 34, B31–42
- Watts A. E., Fortier L. A., Nixon A. J., Ducharme N. G. (2010) A technique for laser-facilitated equine pastern arthrodesis using parallel screws inserted in lag fashion. *Vet. Surg.* 39, 244–253; DOI 10.1111/j.1532-950X.2009.00627.x
- Xue Z., Xu H., Ding H., Qin H., An Z. (2016) Comparison of the effect on bone healing process of different implants used in minimally invasive plate osteosynthesis: limited contact dynamic compression plate versus locking compression plate. *Sci. Rep.* 6, 37902; DOI 10.1038/srep37902
- Zubrod C. J., Schneider, R. K. (2005) Arthrodesis techniques in horses. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 21, 691–711; DOI 10.1016/j.cveq.2005.07.004