

Hufgelenkarthrodese mittels drei 5,5 mm-Zugschrauben von dorsoproximal nach palmarodistal bei einem adulten Pferd – eine alternative Technik

Nils Adolphsen und Antonia Zanker

Tierärztliche Klinik für Pferde Wolfesing, Wolfesing, Deutschland

Zusammenfassung: In der Pferdechirurgie werden Arthrodesen des Hufgelenkes („High-Motion-Joint“), im Gegensatz zu Arthrodesen anderer Gelenke wie Kron- oder Tarsometatarsalgelenke („Low-Motion-Joints“), bisher eher selten durchgeführt. Hauptgrund sind sowohl die anatomische Lage in der Hornkapsel und der damit verbundene schwierige operative Zugang als auch die ungünstige Prognose. Ziel der Hufgelenkarthrodese ist daher die Koppel- und Zuchttauglichkeit und die Entlastung des kontralateralen Beines und nicht die Rückkehr in den Sport. Aufgrund der exzellenten postoperativen Entwicklung eines mit einer bisher nicht veröffentlichten Operationstechnik behandelten Patienten soll nun dieser Fallbericht publiziert werden. Ein 9-jähriger Pura Raza Española (PRE) Hengst wurde mit hochgradigen arthrotischen Veränderungen des Hufgelenkes und einer daraus resultierenden Lahmheit (Grad IV-V/V AAEP-Lahmheitsskala (AAEP 2021)) der rechten Vordergliedmaße in der tierärztlichen Klinik für Pferde Wolfesing vorgestellt. Aufgrund der hochgradigen Schmerzhaftigkeit des Pferdes, dem Nichtansprechen auf medikamentelle Behandlungen des Hufgelenkes und fehlender Alternativen wurde eine Arthrodese des Hufgelenkes mit drei 5,5 mm Schrauben, welche von dorsoproximal im Kronbein nach palmarodistal im Hufbein eingebracht wurden, durchgeführt. Ein Jahr postoperativ war das Pferd im Trab auf der Geraden lahmfrei und zeigte lediglich noch einen Wendeschmerz im Trab Grad I-II/V.

Schlüsselwörter: Pferd, Hufgelenk, Arthrodese, Zugschraube

Arthrodesis of the distal interphalangeal joint in a horse using three 5.5 mm cortical screws in a dorsoproximal to palmarodistal direction in an adult horse – an alternative technique

A 9 year old PRE stallion was presented with severe arthrosis of the right front coffin joint causing a severe lameness (grade IV-V/V, AAEP-lameness scale). This severe arthrosis was caused by a septic arthritis after an injection into the coffin joint using unknown substances one year prior to presentation. After the mentioned injection, the horse became increasingly lame and was running a high fever up to 40,5°C (104,9°F). Treatment at that time was only palliative, without using antimicrobials. At our first visit, one year after the described injection, the horse was in severe pain showing a lameness grade IV-V/V (AAEP lameness scale) with a firm swelling proximal to the coronary band. On the lateromedial radiograph, the coffin joint was profoundly arthritic with a high degree of osteophytes propagating dorsally. The second phalanx (P2) showed serious osteophytes involving the entire dorsal surface of the bone and moderate osteophytes on the palmar surface. The navicular bone had a spike like osteophyte propagating proximally. Soft tissue swelling on the dorsal joint surface could be noticed. On the dorsopalmar view, the appearance of P2 seemed heterogenous due to the overlap of the dorsal and palmar osteophytes and the coffin joint was collapsed laterally. A high degree of osteophyte formation was also noted around the joint. The coffin joint was anesthetized using the dorsal approach with 6 mls of Mepivacaine (Mepivacaine hydrochloride 20 mg/ml, Puren Pharma), which showed a significant reduction in the lameness grade (about 70% after five minutes, after ten minutes further amelioration). The synovial fluid appeared watery and the cell count was $0,6 \times 10^9/L$, which does not indicate a septic joint. An attempt was made to treat the joint medically using hyaluronic acid (3 ml HY 50 Vet. 17 mg/ml) and two corticosteroids (triamcinolone acetonide (1 ml Triamhexal® 10 mg/ml) and dexamethasone (1 ml Lipotalon® 2,5 mg/ml)). After two weeks the horses' lameness improved to grade III/V (AAEP lameness scale) for one week. After that the horse deteriorated to its former grade of lameness within eight days. Due to a lack of other options, the decision was made to perform a coffin joint arthrodesis. The surgery was performed in lateral recumbency with the affected joint uppermost. To achieve maximal stability, the decision was made to use the 5.5 mm cortical screw system. The drilling direction was established by using hypodermic needles under radiographic guidance. The first incision was made centrodorsal on P2, splitting the extensor tendon along its length for two centimeters. The glide hole in P2 was made from dorsoproximal to palmarodistal. The planned end of the glide hole (at the joint space) was identified radiographically. After that, the thread hole was drilled using radiographic guidance. Finally, the hole was countersunk, the length was measured and tapped creating the threads. Special care was taken to use a length of screw that was able to compress the joint space. The other two screws were inserted in the same fashion lateral and medial to the first one. All the screws were tightened immediately after insertion. The horse was in external coaptation using a half limb cast for 14 days, and then a splint bandage was used for another four weeks. Six weeks after surgery, no substantial bony changes could be found at the operated region. Despite complications like non weightbearing lameness on the non-operated limb for 24 hours, which was due to nerve trauma (we did not consider this complication to be induced by the damage of muscle tissue since there was no swelling, heat or pain in the region of interest), and a non-reduction in the lameness grade on the operated limb for another eight to ten weeks, the described arthrodesis technique led to a substantial success. One-year post operatively, the horse was sound in trot on a straight line but showed a slight lameness on the circle (grade I-II/IV, AAEP lameness scale) and could be used for pleasure riding. One year after surgery, the joint space appeared fused to a high degree and the navicular bone seemed incorporated into P2 and P3 on the lateromedial. The dorsopalmar view established a fusion of about 50% within the coffin joint and a more homogenous texture at the level of P2. An osteophyte was bridging the joint laterally.

Keywords: horse, coffin joint, arthrodesis, lag fashion

Zitation: Adolphsen N., Zanker A. (2021) Hufgelenkarthrodese mittels drei 5,5 mm-Zugschrauben von dorsoproximal nach palmarodistal – eine alternative Technik. *Pferdeheilkunde* 37,510–517; DOI 10.21836/PEM20210507

Korrespondenz: Dr. Nils Adolphsen, Tierärztliche Klinik für Pferde Wolfesing, Wolfesing 12, 85604 Zorneding; nilsado1@aol.com

Eingereicht: 17. März 2021 | **Angenommen:** 14. Mai 2021

In der Pferdemedizin werden Arthrodesen des Hufgelenkes („High-Motion-Joint“), im Gegensatz zu Arthrodesen anderer Gelenke wie Krallengelenke oder Tarsometatarsalgelenke („Low-Motion-Joints“), eher selten durchgeführt. Gründe hierfür sind sowohl die anatomische Lage in der Hornkapsel und der damit verbundene schwierige operative Zugang als auch die ungünstige Prognose. Ziel der Hufgelenkarthrodese ist daher die Koppel- und Zuchttauglichkeit und nicht die Rückkehr in den Sport ist. Der folgende Bericht schildert eine bisher nicht veröffentlichte OP-Technik sowie den sehr guten postoperativen Verlauf des Falles.

Fallbericht

Anamnese und Vorbehandlung

Der neunjährige PRE Hengst wurde aufgrund einer über ein Jahr dauernden Lahmheitsproblematik der rechten Vordergliedmaße im heimatlichen Stall vorgestellt. Vorberichtlich erhielt das Pferd vor einem Jahr eine Hufgelenksinjektion mit unbekanntem Substanzen, woraufhin es laut Besitzerin in den darauffolgenden fünf bis sieben Tagen eine hochgradige Lahmheit und Fieber entwickelte. Die damalige Behandlung beschränkte sich auf systemische Schmerzmittelgabe, wodurch sich der Allgemeinzustand des Pferdes verbesserte, die Lahmheit aber bestehen blieb. Die genauen zeitlichen Abläufe der Behandlungen konnten nicht mehr gänzlich nachvollzogen werden.

Bei Vorstellung zeigte das Pferd eine Lahmheit Grad IV-V/V (AAEP Lahmheitsskala) vorne rechts und adspektorisch eine deutliche Umfangsvermehrung vor allem dorsoproximal des Kronsaums. Palpatörisch war diese Zubildung von harter Konsistenz und geringgradig vermehrter Wärme, allerdings kaum druckdolent. Es bestand eine geringgradige Beugehemmung der distalen Zehe verglichen mit der Gliedmaße der kontralateralen Seite. Auf den lateromedialen Röntgenaufnahmen (Abb. 1A) waren höchstgradige arthrotische Veränderungen des Hufgelenks mit hochgradigen osteophytären Zubildungen dorsal auf dem Kronbein darstellbar. Am Hufbein erschien der Processus extensorius stark vergrößert und nach proximal ausgezogen. Im palmaran Gelenkbereich zeigten sich gering- bis mittelgradige knöcherne Zubildungen am Kronbein, sowie eine 7 mm lange Ausziehung proximal am Strahlbein. Im dorsopalmaran Strahlengang (Abb. 1B) erschien das Kronbein in einer sehr heterogenen Textur, was den hochgradigen dorsalen Zubildungen geschuldet war. Der laterale Anteil des Gelenkspalts erschien kollabiert. Außerdem waren mittelgradige knöcherne Zubildungen lateral und medial am Kronbein, sowie eine spangenartige Zubildung lateral zwischen Kron- und Hufbein darstellbar. Eine weitere Auffälligkeit war eine zirkuläre nach axial verstreichende Aufhellungszone proximalateral im Hufbein.

Zur folgenden Diagnostik wurde eine Hufgelenkanästhesie über den dorsalen Zugang mit 6 ml eines Lokalanästhetikums vom Amidtyp (Mepivacainhydrochlorid 20 mg/ml (Mecain®, Puren Pharma)) durchgeführt. Diese musste unter Röntgenkontrolle stattfinden, da die physiologische anatomischen Gegebenheiten stark verändert waren. Die Anästhesie war nach fünf Minuten zu 70% positiv und verbesserte sich nach weiteren fünf Minuten geringgradig. Auf Wunsch der Besitzerin erfolgte eine therapeutische intraartikuläre Injektion in das Hufgelenk mit Hyaluronsäure (4 ml HY 60® Adelpharma) und zwei Kortikosteroiden (Triamcinolonacetonid (1 ml Triamhexal® 10 mg/ml, Hexal) und Dexamethason (1 ml Lipotalon® 2,5 mg/ml, Recordati Pharma GmbH)). Nach zweiwöchiger Boxenruhe verbesserte sich die Lahmheit des Pferdes auf Grad III/V, was sich allerdings innerhalb einer Woche auf den Ursprungszustand verschlechterte. Aufgrund der hochgradigen Schmerzhaftigkeit des Pferdes und der Schwere der Röntgenbefunde wurde eine Arthrodese des Hufgelenks als ultima ratio angeraten.

Operationstechnik

Der Empfehlung, das Pferd sofort in die Klinik zu bringen, wurde nicht gefolgt. Stattdessen verblieb der Patient im heimischen Stall und wurde mit Phenylbutazon® unbekannter Dosierung versorgt. Bei Einlieferung des 572 kg schweren Pferdes in die Klinik zwei Monate nach beschriebener Hufgelenkbehandlung wurde das Bein vom Kronrand bis distal des Karpus geschoren. Das Zerfallshorn wurde mittels eines Hufmessers abgetragen und die Glasurschicht manuell entfernt. Daraufhin wurden sowohl der Huf als auch das Bein mit einem desinfizierenden Verband (Ethacridinlactat) über 16 Stunden versehen. Präoperativ wurde ein weißes und rotes Blutbild, Muskel-, Leber- und Nierenwerte und der Serum-Amyloid-A-Wert getestet. Die erste Gabe eines Breitspektrum-Cephalosporins der dritten Generation (Ceftiofur, 3,5 mg/kg 1 × tgl., Excenell® zoetis) erfolgte 12 Stunden präoperativ intravenös, um einen ausreichend hohen Spiegel zu Beginn der Operation zu gewährleisten. Das genannte Antibiotikum wurde gewählt, da von einer langen OP-Dauer auszugehen war und die meisten Erreger der klinikinduzierten Infektionen der letzten Jahre sensitiv auf Cephalosporine der dritten Generation waren. Zusätzlich wurde zum gleichen Zeitpunkt ein nichtsteroidaler Entzündungshemmer (Phenylbutazon 4,4 mg/kg, Phenylbutazon Gel PH 100 mg/ml, cp-pharma) per os appliziert. Am Tag des Eingriffs erhielt das Pferd Phenylbutazon (4,4 mg/kg, Phenylarthrite injectable, vetoquinol) intravenös. Die Narkoseprämedikation setzte sich aus Acepromacin (0,04 mg/kg i.v., Tranquisol® 10 mg/ml cp-pharma), Detomidin (0,02 mg/kg i.v., Cepesedan RP® 10 mg/ml cp-pharma) und Butorphanol (0,025 mg/kg, Torbugesic® Vet 10 mg/ml zoetis) zusammen. Die Einleitung der Narkose erfolgte mit

Diazepam (0,1 mg/kg, DIAZEPAM 5 mg/ml, panpharma) und Ketamin (2,2 mg/kg, Anesketin® 100 mg/ml Dechra) die im weiteren Operationsverlauf mit Isofluran (Isofluran CP® 1 ml/ml cp.pharma) als Inhalationsnarkose aufrechterhalten wurde. Der Patient wurde in Seitenlage gelagert. Die aseptische Vorbereitung des Operationsfeldes erfolgte bis einschließlich des Karpalgelenkes, den Huf inkludierend.

Die korrekte Platzierung der ersten Inzision wurde durch Markierung mittels hypodermischen Nadeln der Größe 20 Gauge unter Röntgenkontrolle festgestellt. Der erste Schnitt wurde ca. 5,5 cm proximal des Kronrandes und zentrodorsal auf dem Kronbein gesetzt, wobei die Strecksehne mittels einer Stichinzision von proximal nach distal gesplittet wurde. Die Bohrrichtung von dorsoproximal im Kronbein nach palmarodistal im Hufbein wurde mittels eines 2,5 mm Bohrers unter Röntgenkontrolle festgelegt. Der Eintrittswinkel zwischen dem Bohrer und dem dorsalen Rand des Kronbeins betrug ca. 36°. Nach Ermittlung der korrekten Bohrrichtung wurde das Gleitloch bis zum Gelenkspalt mittels eines 5,5 mm Bohrers gesetzt. Anschließend erfolgte die Bohrung des Gewindelochs unter Verwendung eines 4,0 mm Bohrers durch das Hufbein. Diese erfolgte unter Zuhilfenahme der lateromedialen und dorsopalmaren Röntgenaufnahmen. Die dorsoproximale Eintrittsstelle im Kronbein wurde mit einem Kopfraumfräser vertieft, um eine korrekte Auflagefläche der Schraube zu gewährleisten. Die Schraubenlänge wurde mittels eines Tiefenmessers ermittelt. Daraufhin wurde das Gewinde im Bohrloch des Huf-

beins mit Hilfe eines Gewindeschneiders geschnitten und eine 5,5 mm Kortikalisschraube der Länge 80 mm eingebracht. Die beiden abaxialen Inzisionen wurden ca. 3 cm jeweils medial und lateral und ca. 1 cm weiter distal gesetzt. Die Einbringung der Schrauben (die Länge der medialen Schraube betrug 76 mm, die der lateralen 80 mm) erfolgte auf gleiche Weise wie oben beschrieben. Der Unterschied der Schraubenlängen ist der konkaven Form des Hufbeins geschuldet, da die mediale Schraube weiter axial als die laterale Schraube gesetzt wurde. Nach abschließender Überprüfung der korrekten Lage der Schrauben erfolgte die Naht der Strecksehne mittels eines resorbierbaren Fadens (Ethicon® Vicryl 1 USP 4 Ph. Eur.) mit fortlaufender Naht. Die Haut wurde durch U-Hefte mit nicht resorbierbarem Faden (Seralon® 1 USP 4 Ph. Eur.) verschlossen.

Nachbehandlung

Es wurde ein Cast-Gips (Cellacast®Xtra 10 cm × 3,6 m und 12,5 cm × 3,6 m) mit insgesamt sechs Castbinden bis hochproximal des Röhrbeins im Liegen angebracht, wobei der palmare Anteil des Hufs mittels eines Keils um circa drei Zentimeter erhöht wurde. Anschließend wurde das Pferd in die Aufwachbox verlegt. Die Dauer der Narkose betrug dreieinhalb Stunden, die Operationsdauer 165 Minuten. Das Aufstellen des Pferdes erfolgte assistiert. Nach dem Aufstehen hielt der Patient seine kontralaterale Gliedmaße in Flexionsstellung und war nicht in der Lage, diese zu belasten. Die sofort durchgeführte radiologische Untersuchung der gesamten Gliedmaße ergab keine besonderen Befunde, woraufhin von einem Weichteiltrauma auszugehen war. Auch der Ultraschall der Gliedmaße war ohne besonderen Befund, der Kreatinkinasewert zeigte sich vier Stunde post OP erhöht (1100 U/l), wobei allerdings nicht zwischen einem physiologischen postoperativen Anstieg oder einer regional begrenzten Myositis des betroffenen Bereichs unterschieden werden konnten. Da die Werte der Muskelenzyme im Blutbild 24 Stunden postoperativ wieder fielen, gehen die Autoren von einer temporären neurogenen Dysfunktion aus. Diese Annahme wird außerdem durch den Urin des Pferdes bestätigt, der zu keiner Zeit verändert schien. Das Pferd wurde in einem Gurt-Trage-System aufgehängt und das funktionsunfähige Bein durch einen Schienenverband mithilfe eines dorsal angebrachten Halbrohres (Kanalgrundrohr) stabilisiert. Die Stabilisierung des Pferdes erfolgte in der Aufwachbox mittels Infusionen (Ringer Lactat Lösung, initial (30 Minuten) 30 ml/kg KG/Std, danach 10 ml/kg KG/Std für weitere vier Stunden). Zur Unterstützung erhielt der Patient Phenylbutazon (4,4 mg/kg, Phenylarthrite injectable, vetoquinol) intravenös. Nach ca. 12 Stunden konnte das Pferd in seine Box verbracht werden und nach weiteren 12 Stunden konnte die stabilisierende Schiene vom kontralateralen Bein entfernt werden. Die antibiotische Versorgung erfolgte mit Ceftiofur (3,5 mg/kg, Excenel® Zoetis) intramuskulär für weitere fünf Tage. Als Entzündungshemmer und zur Vermeidung einer Belastungsreihe wurde Phenylbutazon (2,2 mg/kg BID per os, Phenylbutazon-Gel PH 100 mg/ml, cp-pharma) über weitere acht Wochen eingesetzt. Prophylaktisch bekam das Pferd den H-Ionen-Blocker Omeprazol (GastroGard®, 2 mg/kg Körpergewicht per os 1 × täglich, Boehringer Ingelheim) zur Vermeidung einer ulzerativen Gastritis. Der erste Castwechsel konnte aufgrund der Problematik der kontra-

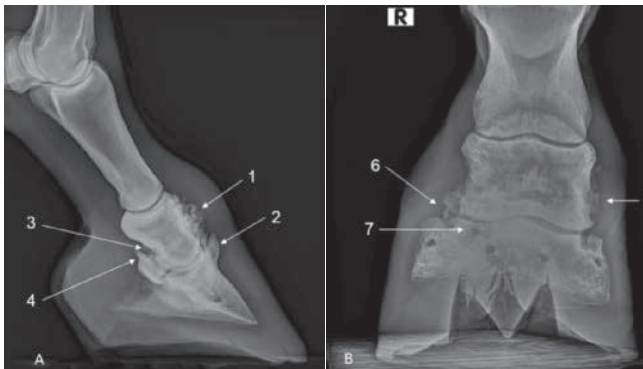


Abb. 1 Röntgenbilder prä OP im lateromedialen (A) und dorsopalmaren (B) Strahlengang. Auf der lateromedialen Aufnahme (A) sind hochgradige osteophytäre Zubildungen dorsal auf dem Kronbein (1), ein hochgradig vergrößerter Processus extensorius, welcher nach proximal ausgezogen ist (2), gering- bis mittelgradige knöcherne Zubildungen palmar am Kronbein (3) und eine Ausziehung proximal am Strahlbein (4) zu erkennen. Im dorsopalmaren Strahlengang sind neben der heterogenen Textur des Kronbeins und dem lateral z.T. kollabierten Gelenkspalt des Hufgelenks, mittelgradige knöcherne Zubildungen medial (5) und lateral mit Spangenbildung zwischen Kron- und Hufbein (6), und eine zirkuläre nach axial verstreichende Aufhellungszone im Hufbein (7) zu sehen. | Radiographs before surgery on the lateromedial (A) and dorsopalmar view (B). On the lateralmedial view (A) one can identify osteophytes to a high degree on the crown bone (1) dorsally and a highly enlarged extensor process of the coffin bone with a spike aiming proximally (2). Further slight to medium degree osseous bony proliferation on the crown bone (3) palmarly and a spike proximally of the navicular bone (4). In the dorsopalmar view there are beside the heterogeneous texture of the crown bone and the partially collapsed coffin bone laterally osseous proliferations medially (5) and laterally bridging coffin and crown bone (6) and a circular axially elapsing lucency in the coffin bone (7).

lateralen Gliedmaße zum ersten Mal an Tag zwei post OP durchgeführt werden. Zur Vermeidung von Dekubitusstellen wird in unserem Haus standardmäßig ein Castwechsel einen Tag postoperativ unter Sedation durchgeführt. Während der ersten 12 Stunden nach der Operation belastete der Hengst das operierte Bein zu nahezu 100%. Nachdem sich das andere Bein nach 24 Stunden erholt hatte und wieder Gewicht aufnehmen konnte, entlastete der Patient das operierte Bein komplett. Unterstützend wurde die kontralaterale Gliedmaße mit einem Stützverband versorgt.

Im weiteren Verlauf belastete der Patient die operierte Gliedmaße kaum und die Lahmheit Grad IV-V/V blieb weiterhin bestehen. Aufgrund des schlechten klinischen Erscheinungsbildes erfolgte einmal wöchentlich ein Castwechsel unter Sedation (0,02 mg/kg Detomidin i.v. und 0,04 mg/kg Butorphanol i.v.), um eventuell auftretende Komplikationen, die die

unzureichende Belastung hätten verursachen können, auszuschließen. Die Wundheilung verlief komplikationslos und die Fäden konnten 10 Tage postoperativ entfernt werden. 14 Tage nach dem Eingriff wurde der Kunststoffgips durch eine dorsale Schiene aus gleichem Material ersetzt. Auch dadurch konnte die Belastung nicht verbessert werden. Nachdem sich der Lahmheitsgrad ab Woche vier post OP geringgradig besserte, wurde das Pferd sechs Wochen postoperativ mit einer Lahmheit Grad III-IV/V aus der Klinik nach Hause entlassen. Auch nach Entlassung erhielt das Pferd Antiphlogistika (Phenylbutazon 1,8 mg/kg KG) und H-Ionenblocker (Gastrogard® (2 mg/kg)). Zudem wurde das Bein unter einem einfachen Verband gehalten. Zum Zeitpunkt der Entlassung hatte das Bein dorso-proximal des Kronsaums eine geringgradige Schwellung und die Nahtstellen waren komplikationslos abgeheilt. Durch die Flexion der distalen Gliedmaße konnte die Lahmheit nur geringgradig verstärkt werden.

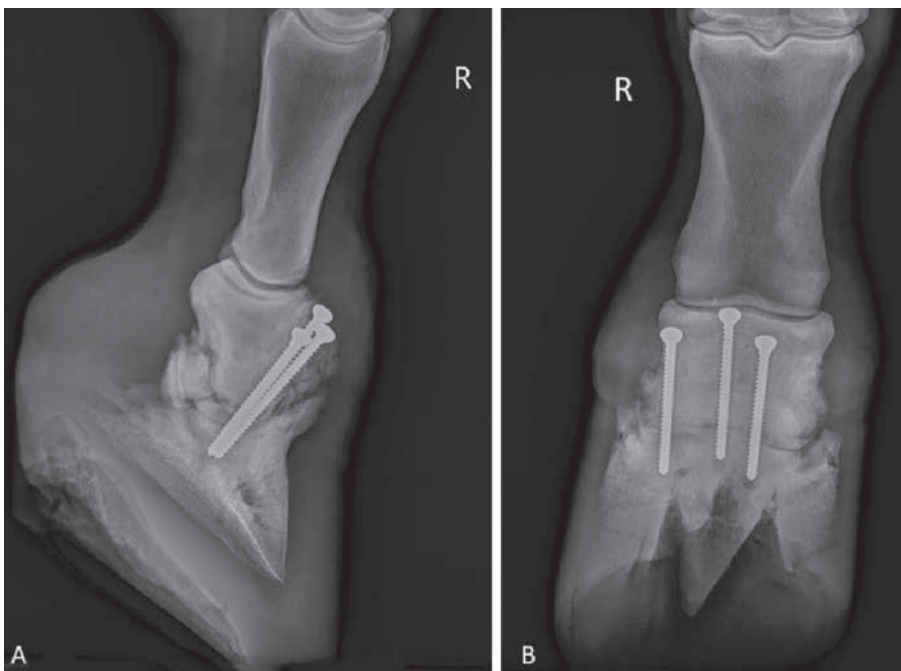


Abb. 2 Röntgenbilder sechs Wochen post OP im lateromedialen (A) und dorsopalmar (B) Strahlengang | Radiographs six weeks post-operative lateromedial (A) and dorsopalmar (B) view

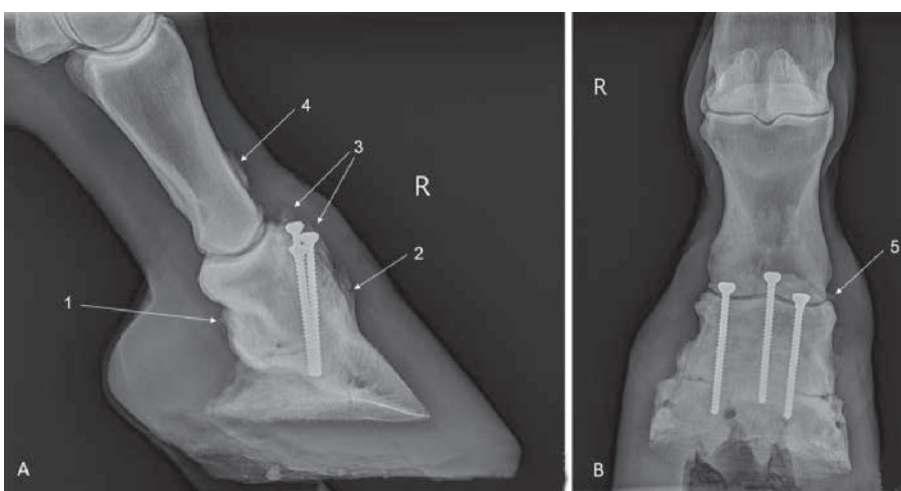


Abb. 3 Röntgenbilder ein Jahr post OP, lateromediale Aufnahme (A) und dorsopalmar Aufnahme (B). Auf der lateromedialen Aufnahme erscheint das Strahlbein sowohl mit dem Huf- als auch mit dem Kronbein verwachsen zu sein (1). Die dorsalen periartikulären Zubildungen auf Huf- und Kronbein sind durchbaut (2). Um die Schraubenköpfe (3) und dorsodistal des Fesselbeins (4) sind deutliche knöcherne Zubildungen zu erkennen. Auf der dorsopalmar Aufnahme sind neben dem zu ca. 50% durchbauten Hufgelenkspalt und der homogener wirkenden Textur des Kronbeins, gering- bis mittelgradige knöcherne Zubildungen im medialen Krongelenkbereich zu sehen (5). | Radiographs one year after surgery: lateromedial view (A) and dorsopalmar view

(B). On the lateromedial view one can identify an ankylosis of the navicular bone involving crown and coffin bone (1). The dorsally located osseous periarticular osteophytes of the crown and coffin bone are bridging the coffin joint (2). Around the heads of the screws (3) and dorsodistally of the fetlock bone (4) there are clear osseous proliferations. On the dorsopalmar view there are, beside the partially collapsed joint space of the coffin bone (about 50%) and the more homogeneous appearing texture of the crown bone, slight to medium degree of osseous proliferations of the crown joint medially (5).

Auf den Röntgenbildern sechs Wochen nach dem operativen Eingriff konnten sowohl auf der lateromedialen (Abb. 2A) als auch auf der dorsopalmaren (Abb. 2B) Aufnahme nur marginale Veränderungen festgestellt werden (Abb. 2). Die Hufform blieb unverändert.

Gemäß telefonischer Kommunikation mit der Besitzerin verbesserte sich die Belastung nach ca. zehn Wochen signifikant. Zu diesem Zeitpunkt wurde mit einem vorsichtigen Aufbauprogramm begonnen, was sich zunächst aus sehr kurzen Schritten Reprisen zusammensetzte. Eine Lahmfreiheit im Schritt konnte laut Besitzerin nach ca. 14 Wochen zum ersten Mal beobachtet werden. Innerhalb der folgenden Monate wurde das Schrittprogramm gesteigert und das Pferd durfte tagsüber zusätzlich auf einen boxengroßen Paddock verbracht werden. Ein Jahr post OP erfolgte eine Nachuntersuchung. Eine frühere Nachuntersuchung war aufgrund erfolgloser Kommunikationsversuche mit der Besitzerin nicht möglich. Bei dieser präsentierte sich das Pferd im Schritt vollkommen lahmfrei und zeigte im Trab auf den Wendungen noch eine Lahmheit Grad I-II/V. Zu diesem Zeitpunkt wurde der Hengst im Freizeitsport mit geringer Belastung eingesetzt. Auf den Röntgenbildern in der lateromedialen Projektion (Abb. 3A) war der Gelenkspalt von dorsal nach palmar reichend ca. zur Hälfte bis zwei Drittel durchbaut. Das Strahlbein erschien sowohl mit dem Hufbein als auch mit dem Kronbein verwachsen. Die dorsalen periartikulären Zubildungen auf Huf- und distalem Kronbein erschienen durchbaut. Im Bereich der Schraubenköpfe dorsoproximal am Kronbein waren deutliche knöcherne Zubildungen feststellbar. Dorsodistal am Fesselbein war eine flächige ca. 17 mm lange knöcherne Zubildung erkennbar. Im dorsopalmaren Strahlengang (Abb. 2B) zeigte sich der Hufgelenkspalt zentral auf ca. 50% der Gesamtbreite durchbaut. Die Knochentextur des Kronbeins erschien deutlich homogener als präoperativ. Medial im Krongelenkbereich hatte sich eine geringgradige bis mittelgradige knöcherne Zubildung entwickelt.

Diskussion

Im hier vorgestellten Fall ist davon auszugehen, dass die Ursache der schweren arthrotischen Veränderungen auf eine intraartikuläre Injektion mit konsekutiver Sepsis des Gelenkes zurückzuführen ist, da das Pferd ca. ein Jahr vor Vorstellung in der Klinik eine Hufgelenksinjektion mit nicht bekannten Substanzen erhielt. Daraufhin entwickelte der Patient eine Lahmheit Grad IV-V/V und zeigte schlechtes Allgemeinbefinden mit hohem Fieber (persönliche Kommunikation mit Besitzer). Warum das Pferd zum damaligen Zeitpunkt keine andere Sofortbehandlung, wie z.B. mehrfache arthroskopische Spülungen oder Stauungsantibiose, als systemische Antiphlogistika erhielt, ist retrospektiv nicht nachzuvollziehen. Von anderen möglichen Ursachen für arthrotische Veränderungen wie degenerative Prozesse, intraartikuläre Frakturen, Luxation, Subluxation oder Kontusionen mit Knorpeldestruktion (Baxter und Eggleston 2020) ist aufgrund des Vorberichtes nicht auszugehen.

Als Ankylose wird in der Medizin die abnormale Adhäsion eines Gelenkes bezeichnet, welche ein langsamer Prozess ist und mit großen Schmerzen für das Pferd und entzündlichen Prozessen

der beteiligten Strukturen einhergeht (Lischer 2009). Anders als zum Beispiel Krongelenkarthrodese werden Hufgelenkarthrodese sehr wenig durchgeführt und sind in der Literatur bislang selten beschrieben, wobei die Techniken stark variieren (Carnine 1977, Schneider et al. 1993, Honnas et al. 1995, Lescun et al. 2004, Busschers und Richardson 2006). Bei der ersten Beschreibung 1977 von „Carnine“ wurden bei zwölf gesunden Pferden zwei 4,5 mm Schrauben über Kreuz von proximalateral (bzw. proximomedial) im Kronbein nach distomedial (bzw. distolateral) im Hufbein fixiert (Carnine 1977).

1993 folgte die Veröffentlichung über die Hufgelenkarthrodese zweier Pferde mittels drei 5,5 mm Kortikalisschrauben durch „Schneider et al.“. Bei dieser Methode wurden die drei Zugschrauben von proximalpalmar im Kronbein nach distodorsal ins Hufbein gebohrt (Schneider et al. 1993). Diese Technik wird auch in der aktuellen Literatur beschrieben (Auer et al. 2019). 1995 folgte die zur Ankylose führende Einbringung von zwei Stahlkörben gefüllt mit autologem Spongiosatransplantat und fixiert mit zwei 4,5 mm Schrauben in Zugschraubentechnik bei einem sieben Monate alten Fohlen (Honnas et al. 1995). 2004 konnte bei einem drei Monate alten Fohlen die Ankylose eines infizierten Hufgelenkes durch chirurgische Entfernung des Gelenkknorpels, Einbringen eines autologen Spongiosatransplantats und Ruhigstellen des Gelenkes mittels eines Transfixationscastes erreicht werden (Lescun et al. 2004). Bei zwei jungen Pferden konnte eine Arthrodese durch folgende Technik herbeigeführt werden: Zuerst wurde eine Bohrung durch die Hornkapsel von lateral nach medial mit sequenzieller Erweiterung bis 12,7 mm vorgenommen. Dieses Bohrloch wurde mit autologem Spongiosatransplantat und Tobramycin (Nebcin: Eli Lilly and Company, Indianapolis, IN, USA) versetztem Polymethylmetacrylat (PMMA) gefüllt. Die Hufwand wurde mit Spongiosatransplantat und PMMA, versetzt mit Gentamicin, verschlossen. Um eine Belastung der Gliedmaße zu gewährleisten, wurde ein Transfixationscast, der den Huf inkludierte und bis unter den Metacarpus reichte, angebracht (Easter et al. 2011). 2006 erreichten „Busschers und Richardson“ eine Hufgelenkankylose bei einem 16-jährigen Vollblüter, indem sie unter arthroskopischer Kontrolle transartikulär drei 5,5 mm Kortikalisschrauben von dorsodistal im Hufbein nach palmaroproximal ins Kronbein unter Fenestrierung der Hufwand einbrachten (Busschers und Richardson 2006). Diese Technik wird auch in den aktuell relevanten Lehrbüchern erwähnt (Auer und Lischer 2019). 2019 wurde die Hufgelenkarthrodese mittels zweier Zugschrauben und einer zentralen 4,5 mm Drei Loch Verriegelungsplatte beschrieben. Vorher erfolgte die arthroskopische Kürretage des Gelenkknorpels sowohl von dorsal als auch von palmar/plantar. Die zuerst einzubringenden Zugschrauben wurden von dorsoproximal im Kronbein nach palmaro-/plantarodistal ins Hufbein eingebracht. Die Verriegelungsplatte wurde mittels einer Verriegelungsschraube und einer Zugschraube im Kronbein und einer Verriegelungsschraube im Hufbein, unter Fenestrierung der dorsalen Hornkapsel, fixiert. Die mittlere Verriegelungsschraube diente außerdem der Fixation des Strahlbeins (Auer und Lischer 2019).

Die seltene Durchführung der Arthrodese des Hufgelenkes ist darauf zurückzuführen, dass es sich, wie auch das Fesselgelenk, um ein sogenanntes „High-Motion-Joint“

handelt und hier in der Regel durch eine Versteifung des Gelenkes keine komplette Lahmfreiheit erzielt werden kann. Ziel der Hufgelenkarthrodese ist daher die Wiederherstellung der Zuchttauglichkeit, bzw. der schmerzfreie Koppelgang und die Entlastung des kontralateralen Beines, wohingegen die Arthrodese der „Low-Motion-Joints“ auf eine Wiederherstellung der Sporttauglichkeit abzielt (Lischer 2009, Zubrod und Schneider 2005). Zusätzlich erschwerend kommt die partielle Überdeckung des Hufgelenks durch die Hornkapsel zum Tragen (Wissdorf et al. 2010, Liebich et al. 2011).

Da sich keine der vielen beschriebenen Operationstechniken als Standard etabliert hat, entschlossen wir uns, eine möglichst atraumatische, einfache und das Risiko der Infektion minimierende Technik anzuwenden. Als aktuelle Referenzmethode der AO-Surgery-Reference gilt das Einbringen von zwei abaxialen Schrauben in der auch hier beschriebenen Bohrrichtung und einer zentralen dynamischen Kompressionsplatte oder einer kombinierten winkelstabilen und dynamischen Kompressionsplatte (schmale 4,5 mm Platte) (Auer et al. 2020). Wobei die distale Verriegelungsschraube durch Fenestrierung der Hornkapsel eingebracht werden muss. Die mittlere Verriegelungsschraube inkludiert sowohl das Kronbein als auch das Strahlbein (Auer und Lischer 2019). Das Einbringen der Platte war im vorliegenden Fall aufgrund der hochgradigen dorsalen Zubildungen auf Huf- und Kronbein erschwert, weswegen wir uns zur Einbringung dreier Zugschrauben entschieden haben. In der Literatur finden sich außer den beschriebenen Techniken keine Fallberichte der zentralen 4,5 mm Platte mit zwei Kompressionsschrauben. Es bleibt abzuwarten, ob der Zuwachs an Stabilität die Nachteile der verlängerten OP-Dauer, der Fenestrierung der Hornkapsel und dem Einbringen von mehr Fremdmaterial (Infektionsrisiko) überwiegt. Die bei „Auer und Lischer 2019“ beschriebene Fixation des Strahlbeins mittels einer Verriegelungsschraube, kann zu mehr Stabilität und zur sichereren Ankylosierung des Strahlbeins mit den umliegenden Strukturen führen. Diese konnte im vorliegenden Fall allerdings auch ohne zusätzliche Fixierung erreicht werden, wie auf den Röntgenbildern ein Jahr post Operation zu sehen ist. Es ist davon auszugehen, dass aufgrund der hochgradigen Knorpelschäden im Bereich der Artikulation des Strahlbeins mit Huf- und Kronbein, die Ankylosierung erfolgte. Die Fixation des Strahlbeins mittels einer zusätzlichen Schraube im vorliegenden Fall wäre aufgrund der Lage der zentralen Zugschraube nicht möglich gewesen. Aufgrund der Vorgeschichte und den hochgradigen radiologischen Veränderungen des Hufgelenks wurde auf eine Kürettage des Gelenkknorpels verzichtet. Anhand der radiologischen Befunde gingen die Autoren von einer nahezu vollständigen Zerstörung des Gelenkknorpels sowohl im Hufgelenk als auch in der Artikulation des Strahlbeins mit Huf- und Kronbein aus. Um dies zu verifizieren, hätte eine arthroskopische Darstellung (Busschers und Richardson 2006), bzw. eine Arthrotomie des Gelenkes (Schneider et al. 1993) erfolgen müssen. Im Nachhinein ist der Grad der Ankylosierung vergleichbar mit anderen in der Literatur beschriebenen Arthrodesen des Hufgelenkes, bei denen nicht auf eine Kürettage verzichtet wurde (Busschers und Richardson 2006). Somit erwies sich die Annahme des per se zerstörten Gelenkknorpels als sehr wahrscheinlich. Im hier vorliegenden Fall war aufgrund der hochgradigen Zubildungen im dorsalen Gelenkbereich der Zugang zum Hufgelenk

extrem erschwert und wäre nur durch massive Manipulation und starke Traumata möglich gewesen. Da selbst bei der sehr invasiven und traumatischen Methode der Arthrotomie über zwei Zugänge (dorsal und palmar/plantar) lediglich eine Zerstörung des Hufknorpels von maximal 80% zu erreichen gewesen wäre (Schneider et al. 1993), wurde im vorliegenden Fall die Arthrotomie aufgrund ihrer Nachteile wie dem Durchtrennen der tiefen Beugesehne und der Eröffnung der Fesselbeugesehnenscheide nicht in Betracht gezogen. Auch in der aktuellen Literatur wird von einem Knorpeldebridement mittels Arthrotomie aufgrund des erhöhten Risikos von Wundheilungsstörungen abgeraten (Zubrod und Schneider 2020). Die Autoren gehen davon aus, dass die Nachteile einer Arthrotomie deutlich schwerwiegender sind als die Vorteile einer potenziell schnelleren und vollständigen Ankylosierung. Nichtsdestotrotz ist es den Autoren bewusst, dass im Normalfall eine arthroskopische Darstellung des Hufgelenkes von dorsal und palmar mit einer Zerstörung des Gelenkknorpels erfolgen sollte. Eine verspätete Fusion des palmaren Bereichs des Hufgelenks ist darauf zurückzuführen, dass der Gelenkknorpel im palmaren Bereich nicht komplett entfernt werden konnte (Busschers und Richardson 2006). Wann es im vorliegenden Fall zu einer weitgehenden Ankylosierung des Hufgelenks kam, ist bedauerlicherweise nicht zu sagen, da der Patient zwischen Entlassung und Nachuntersuchung ein Jahr post OP röntgenologisch nicht greifbar war. Des Weiteren stellt sich auch die Frage, ob es aufgrund der massiven Veränderungen, welche bereits vor der OP bestanden, zu einer spontanen Ankylosierung gekommen wäre. Die Prognose bei einer Historie mit Sepsis hinsichtlich einer Ankylose ist besser, als bei Pferden mit schweren degenerativen Veränderungen (Busschers und Richardson 2006). Obwohl auch in dem hier vorliegenden Fall von einer potenziell vorangegangenen Sepsis auszugehen ist, war ein Jahr post OP die Fusion zwischen Kron- und Hufbein nicht als vollständig anzusehen. Dies kann zum einen auf das Alter des Patienten zurückzuführen sein, da die bisher beschriebenen schnell fusionierenden infizierten Gelenke bei sehr jungen Pferden (acht Monate Easter et al. 2011 resp. drei Monate Lescun et al. 2004) auftraten.

Die Bohrführung von dorsoproximal nach palmarodistal wurde gewählt, weil es weder notwendig war, die tiefe Beugesehne zu durchtrennen, noch die Fesselbeugesehnenscheide zu eröffnen. Es waren lediglich drei Stichinzisionen durch das Weichteilgewebe im dorsoproximalen Bereich des Kronbeins nötig. Die Option, die zentrale Schraube weiter distal zu platzieren, um mit der zu erwartenden periostalen Reaktion nicht die Funktion des Krongelenkes zu beeinflussen, birgt den Nachteil, dass aufgrund der konkaven Form der Sohle des Hufbeins weniger Substanz für das Gewindeloch zur Verfügung steht. Bei einer Platzierung der Schraube weiter distal besteht die Gefahr der Frakturierung des Kronbeins aufgrund der geringeren Knochensubstanz dorsal der Schraube. Wie aus vorangegangenen Studien hervorgeht, ist nach einer Hufgelenkarthrodese aus biomechanischen Gründen häufig mit einer Arthrose des Krongelenkes zu rechnen, wodurch eine Arthrodese dessen notwendig werden kann (Schneider et al. 1993, Easter et al. 2011). In unserem Fall wäre das Einbringen einer Verriegelungsplatte und der dazugehörigen Verriegelungsschraube für eine Krongelenkarthrodese durch die hochproximal gelegene Schraube der Hufgelenkarthrodese, ohne Entfernung dieses Implantats, nicht möglich. Unter an-

derem wurde dieser Zugang gewählt, da ein Grund für die persistierende Lahmheit die Durchtrennung der tiefen Beugesehne sein kann (Schneider et al. 1993). Obwohl die hier beschriebene Methode biomechanisch den Nachteil bringt, dass das Gleitloch im längeren Kronbein und das Zugloch im kurzen Hufbein ist (Busschers und Richardson 2006), wurde diese Methode aufgrund des geringen Weichteiltraumas und des erleichterten aseptischen Arbeitens gewählt. Des Weiteren bleibt zu diskutieren, dass die Bohrrichtung von palmaroproximal im Kronbein nach dorsodistal im Hufbein, aufgrund der Möglichkeit des längeren Zuglochs im Hufbein, eine höhere Stabilität bietet (Zubrod und Schneider 2020). Trotzdem wurde dieser Zugang nicht gewählt, weil es hierbei zwingend notwendig ist, wie oben erwähnt, die Fesselbeugesehnscheide zu eröffnen und die tiefe Beugesehne zu durchtrennen.

Durch die hier angewandte Technik konnte auf ein Eröffnen der Hornkapsel verzichtet werden, wodurch die Schwierigkeiten einer aseptischen Hufzubereitung umgangen werden konnten. Zudem wurde auf das Durchtrennen des Saumbandes verzichtet, was zu einer Beeinträchtigung des Hornwachstums führen kann (Honnas et al. 1995). Aufgrund der Bohrrichtung von dorsoproximal nach palmarodistal konnte die Durchbohrung und partielle Beschädigung des Hufbeinträgers wie bei „Busschers und Richardson“ beschrieben, vermieden werden (Busschers und Richardson 2006). Zudem wurde auch das Risiko der späteren Abszessbildung bei nicht vollständiger Versenkung der Schraubenköpfe unter die Lamellenschicht in das Hufbein umgangen (Zubrod und Schneider 2020). Als weitere Nachteile infolge des Eröffnens der Hornkapsel werden Osteomyelitis, Keratombildung und seröse Drainagen ohne Infektion beschrieben (Zubrod und Schneider 2020).

Bei einigen bisher beschriebenen Hufgelenkarthrodosen wurde mittels eines autologen Knochenmarkstransplantats, vornehmlich aus dem Tuber Coxae, gearbeitet (Schneider et al. 1993, Honnas et al. 1995, Lescun et al. 2004, Busschers und Richardson 2006, Easter et al. 2011). In der hier vorliegenden Fallbeschreibung wurde auf eine Osteoinduktion und Osteogenese mittels des autologen Knochenmarkimplantats verzichtet. Der Grund hierfür war, dass die Arthroskopie und die Zerstörung des Hufknorpels nicht durchgeführt wurden und somit kein arthroskopischer Zugang zum Hufgelenk vorhanden war. Zu diskutieren bleibt, ob eine schnellere Ankylosierung durch Einbringen des autologen Spongiosatransplantats hätte erreicht werden können. Dies ist abschließend nicht zu beurteilen, da aufgrund der fehlenden Röntgenkontrolle und des Fehlens einer Vergleichsgruppe mit Spongiosatransplantat der genaue Ankylosierungszeitpunkt nicht verifiziert werden konnte.

Als Hauptkomplikation im hier vorliegenden Fall ist die Nichtbelastung der operierten Gliedmaße über viele Wochen anzusprechen. Deswegen ist es als höchst verwunderlich zu betrachten, dass der Patient weder prä- noch postoperativ eine Überbelastungsreihe auf der kontralateralen Gliedmaße entwickelt hat. Grundsätzlich ist, um eine vollständige Perfusion des Hufes zu gewährleisten, eine Be- und Entlastung von ca. 125 ± 55 -mal (Hood 1998) pro Stunde notwendig, um dieses zu vermeiden.

Unter Umständen ist es dem Fakt der Nichtbelastung und dem daraus resultierenden Fehlen von Druck, Scher- oder

Rotationskräften geschuldet, dass der Patient, im Gegensatz zu bisher veröffentlichten Fallberichten (Schneider et al. 1993, Busschers und Richardson 2006), nur einen sehr geringen Grad an knöchernen Zubildungen postoperativ aufwies. Andererseits ist aber auch zu berücksichtigen, dass die Destruktion des Gelenks bereits präoperativ in hohem Maße fortgeschritten war und es somit postoperativ nicht zu weiteren Zubildungen kam.

Als weitere Komplikation ist die knöcherne Zubildung im Krongelenk zu benennen, die bereits in mehreren Publikationen beschrieben wurde (Schneider et al. 1993, Easter et al. 2011). Die Ausprägung dieser Veränderung ist aber im vorliegenden Fall als gering einzustufen. Die Vermeidung einer potenziell eintretenden Krongelenkarthrose wird von den Autoren als schwierig eingestuft, da durch eine Hufgelenkarthrodese in jedem Fall die Biomechanik im distalen Abschnitt der Gliedmaße stark verändert wird.

Trotz bestmöglicher Lagerung des Patienten trat anschließend eine hochgradige Lahmheit der unten liegenden Gliedmaße auf, wodurch das Pferd nicht in der Lage war, das Bein zu strecken bzw. Gewicht aufzunehmen. Ob es sich um eine Neuro- oder Myopathie handelte, ist abschließend nicht zu klären, da in beiden Fällen die betroffene Gliedmaße nicht belastet oder bewegt werden kann. Diese Komplikation ist trotz relativ kurzer OP-Dauer und vermeintlich korrekter Lagerung beschrieben (Driessen et al. 2017).

Die ansonsten erwähnten Komplikationen wie Abszessbildung (Schneider et al. 1993), Infektion mit Osteolyse des Hufbeins (Honnas et al. 1995) oder Osteolyse im Bereich der Schrauben (Schneider et al. 1993, Honnas et al. 1995) traten nicht auf.

Abschließend ist zu sagen, dass die hier beschriebene Technik bisher nur bei einem Patienten angewendet wurde. Trotz des hier sehr positiven Ausgangs sind die oben beschriebenen Risiken dieser Technik nicht außer Acht zu lassen.

Wie schon dargestellt, ist das Ziel der Arthrodese eines „High-Motion-Gelenks“ die Koppel- und Zuchttauglichkeit, sowie die Entlastung des kontralateralen Beins, und nicht die Rückkehr in den Sport (Zubrod und Schneider 2020). Dieses Ziel wurde in diesem Fall voll erfüllt, eher sogar überschritten, da das Pferd nach einem Jahr auf gebogenen Linien noch eine Restlahmheit Grad I-II/V im Trab zeigte und auf der Geraden lahmfrei war. In Bezug auf die Restlahmheit ist zu sagen, dass in der aktuellen Literatur davon ausgegangen wird, dass eine Restlahmheit aufgrund der mechanischen Veränderung bleiben kann, ohne dass das Pferd Schmerzen hat (Zubrod und Schneider 2020). Auf den Versuch einer Schmerzmittelgabe, um zu eruieren, ob die Lahmheit entzündlich schmerzhafter Genese ist oder rein mechanisch bedingt ist, wurde aufgrund des ausreichend guten Ergebnisses verzichtet.

Fazit

Die hier beschriebene Arthrodese-technik weicht in vielerlei Hinsicht von bisher durchgeführten Techniken ab. Vorteile sind eine kurze OP-Dauer, die nicht notwendige Durchtrennung

der tiefen Beugesehne mit Eröffnung der Fesselbeugesehnenscheide und die Umgehung der Eröffnung der Hornkapsel. Grundsätzlich empfehlen wir die arthroskopische Zerstörung des Gelenknorpels, auf die hier bedingt durch den hohen Grad an knöchernen Zubildungen an den arthroskopischen Zugängen verzichtet wurde. Auch das Einbringen von autologem Knochentransplantat durch die Arthroskopiezugänge sollte als weitere unterstützende Option in Erwägung gezogen werden. Offen bleibt, ob ein Gelenk mit weniger starken Veränderungen mit der beschriebenen OP-Technik einen gleich positiven Ausgang gehabt hätte.

Literatur

- American Association of Equine Practitioners AAEP (2021) Lameness Scale. In: Lameness exams: Evaluating the lame horse; URL: <https://aaep.org/horsehealth/lameness-exams-evaluating-lame-horse> (abgerufen am 05.05.2021)
- Auer J. A., Lischer C. J. (2019) Arthrodesis Techniques: Distal Interphalangeal Joint. In: Equine Surgery/Hrsg.: Auer J. A., Stick J. A., Kümmeler J. M., Prange T., 5. Auflage, 1375–1377, Elsevier, Missouri, ISBN 978-0-323-48420-6
- Auer J. A., Bramlage L., Hogan P., Ruggles A., Watkins J. (2020) Arthrodesis with plate and screws in Distal interphalangeal joint. In: Degenerative Joint disease; URL: <https://surgeryreference.aofoundation.org> (abgerufen am 20.12.2020)
- Baxter G. M., Eggleston R. B. (2020) Osteoarthritis of the distal interphalangeal joint. In: Adams and Stashak's lameness in horses, 7. Auflage, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 463–465
- Busschers E., Richardson D. W. (2006) Arthroscopically assisted arthrodesis of the distal interphalangeal joint with transarticular screws inserted through a dorsal hoof wall approach in a horse. J. Am. Vet. Med. Assoc. 228, 909–913; DOI 10.2460/javma.228.6.909
- Carnine B. L. (1977) Surgical arthrodesis of the distal interphalangeal joint in a horse. Diss. Med. Vet. Kansas State University
- Driessen B., Hopster K., Ionita J.-C., Kästner S. (2017) Komplikationen im Bereich des Nervensystems und der Muskulatur: Neuropathien. In: Handbuch Pferdepraxis/Hrsg.: Brehm W., Gehlen H., Ohnesorge B., Wehrend A., 4. Auflage, Enke Verlag, Stuttgart, 126–127
- Easter J., Schumacher J., Watkins J. (2011) Transfixation cast technique for arthrodesis of the distal interphalangeal joint of horses. Vet. Comp. Orthop. Traumatol. 24, 62–67; DOI 10.3415/VCOT-09-05-0061
- Honnas C., Vacek J., Schumacher J. (1995) Arthrodesis of the distal interphalangeal joint in a horse using stainless steel baskets and transarticular 4.5-mm cortical screws. Vet. Comp. Orthop. Traumatol. 8, 46–51; DOI 10.1055/s-0038-1632426
- Hood D. (1998) Center of digital load during quasi-static loading. 12th Annual Bluegrass. Laminitis Symposium. Louisville (KY)
- Lescun T., Morisset S., Fugaro M., Blevins W. (2004) Facilitated ankylosis of the distal interphalangeal joint in a foal. Aust. Vet. J. 82, 282–285; DOI 10.1111/j.1751-0813.2004.tb12704.x
- Liebich H.-G., Maierl J., König H. E. (2011) Zehengelenke des Pferdes: Zehenendgelenk. In: Anatomie der Haussäugetiere: Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis. König H. E., Liebich H.-G., 5. Auflage, Schattauer Stuttgart, 173–176
- Lischer C. (2009) Arthrodesetechniken bei Pferden. In: Leipziger Blaue Hefte: Proceedings 5. Leipziger Tierärztekongress Band 1/Hrsg.: Vervuert I., Aschenbach J. R., Gäbel G., Dauschies A., Leipziger Universitätsverlag Leipzig, 49–52
- Schneider R. K., Bramlage L. R., Hardy J. (1993) Arthrodesis of the distal interphalangeal joint in two horses using three parallel 5.5 mm cortical screws. Vet. Surg. 22, 122–128; DOI 10.1111/j.1532-950X.1993.tb01685.x
- Wissdorf H., Otto B., Geburek F., Fürst A., Hertsch B., Keller H. (2010) Schultergliedmaße Hufbereich Hufgelenk. In: Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes/Hrsg. Wissdorf H., Gerhards H., Huskamp B., Deegen E., 3. Auflage. M. & H. Schaper Hannover, 389–394
- Zubrod C. J., Schneider R. K. (2020) Arthrodesis of the Distal Interphalangeal Joint. In: Equine Fracture Repair/Hrsg. Nixon A. J., 2. Auflage, John Wiley & Sons, Hoboken, 257–263
- Zubrod C. J., Schneider R. K. (2005) Arthrodesis Techniques in Horses. In: Veterinary Clinics: Equine Pract. 21, 691–711; DOI 10.1016/j.cveq.2005.07.004