

Strahlbein-Frakturen beim Pferd: Prognose nach konservativer und chirurgischer Therapie

G. Stucki¹, A. E. Fürst¹, M. A. Jackson¹

¹Department für Pferde, Klinik für Pferdechirurgie, Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich, Schweiz

Zusammenfassung

Das Ziel dieser retrospektiven Studie ist, die konservative und chirurgische Therapie von Strahlbein-Frakturen beim Pferd zu beschreiben und zu vergleichen. Es wird versucht, kritische Punkte zu identifizieren, welche die Prognose dieser orthopädischen Erkrankung günstig beeinflussen können.

Es wurden alle Pferde in die Studie eingeschlossen, die zwischen 2005 und 2017 an der Pferdeklinik der Vetsuisse-Fakultät der Universität Zürich aufgrund einer Strahlbein-Fraktur behandelt worden waren. Der Schweregrad der Lahmheit bei der Erstuntersuchung, die röntgenologische Beurteilung, die Hufkonformation, die Behandlung (konservativ oder chirurgisch), die Komplikationen und der Outcome wurden anhand der Krankengeschichten ermittelt. Konservative und chirurgische Therapie bestanden aus Boxenruhe, kontrolliertem Bewegungsprogramm und einem therapeutischen orthopädischen Hufbeschlagn. Bei der chirurgischen Therapie wurde zusätzlich eine Frakturreduktion mit einer Corticalisschraube durchgeführt. Dabei wurden fünf Pferde mit Computer Assisted Surgery operiert und drei mit Hilfe der Computertomographie. Die Nachuntersuchungen umfassten klinische und röntgenologische Untersuchungen. Der Outcome wurde in drei Kategorien unterteilt: 1 = Sehr gut; 2 = Gut; 3 = Schlecht.

Zwölf Pferde erfüllten die Einschlusskriterien; vier Pferde wurden konservativ und acht chirurgisch behandelt. Nach konservativer Therapie hatten zwei Pferde (50%) einen sehr guten und zwei (50%) einen guten Outcome. Nach chirurgischer Therapie hatten vier Pferde (50%) einen sehr guten und vier (50%) einen schlechten Outcome. Insgesamt zeigten 67% der Pferde einen sehr guten oder guten Outcome, obwohl in keinem dieser Fälle röntgenologische Anzeichen einer Knochenheilung beobachtet werden konnten. Verschiedene Komplikationen konnten identifiziert werden, wie der Bruch einer Schraube, die Fragmentierung des kleinen Strahlbeinfragmentes, die Entwicklung von Osteoarthritis im Hufgelenk sowie eine fortschreitende Podotrochlose.

Diese Studie zeigt, dass die Prognose von Strahlbein-Frakturen grundsätzlich vorsichtig ist und dass degenerative Veränderungen vom Strahlbeinapparat die Prognose ver-

Navicular bone fractures in horses: Prognosis after conservative and surgical treatment

The aim of this retrospective study is to describe and compare conservative and surgical treatment of navicular fractures in horses. An attempt is made to identify critical points that can favorably influence the prognosis of this orthopedic disease.

All horses treated for a navicular fracture at the Equine Clinic, Vetsuisse Faculty, University of Zurich between 2005 and 2017 were included in this study. The severity of lameness at initial examination, radiographic assessment, hoof conformation, treatment (conservative or surgical), complications and outcome were determined from the medical records. Conservative and surgical treatment consisted of stable rest, a controlled exercise program and therapeutic orthopedic shoeing. During surgical treatment, fracture reduction was also carried out with a cortical screw. Computer assisted surgery were used in five horses and computer tomography in three horses. Follow-up examinations included clinical and radiographic examinations. The outcome was divided into three categories: 1 = very good; 2 = good; 3 = poor.

Twelve horses met the inclusion criteria; Four horses were treated conservatively and eight were treated surgically. After conservative treatment, two horses (50%) had a very good outcome and two (50%) had a good outcome. After surgical treatment, four horses (50%) had a very good outcome and four (50%) had a poor outcome. Overall, 67% of horses had a very good or good outcome, although radiographic signs of bone healing was not present in any of these cases. Various complications were identified, such as the fracture of a screw, the fragmentation of the small navicular bone fragment, the development of osteoarthritis in the coffin joint and progressive podotrochosis.

This study shows that the prognosis of navicular fractures is generally cautious and that degenerative changes to the navicular apparatus worsen the prognosis. In the present study, surgical treatment did not improve the prognosis of navicular fractures despite the intrasurgical use of three-di-

<https://doi.org/10.17236/sat00425>

Eingereicht: 01.08.2023
Angenommen: 22.04.2024

Strahlbein-Frakturen beim Pferd: Prognose nach konservativer und chirurgischer Therapie

G. Stucki, A. E. Fürst, M. A. Jackson

schlechtern. In der vorliegenden Studie verbesserte die chirurgische Behandlung die Prognose von Strahlbeinfrakturen trotz der intraoperativen Verwendung der dreidimensionalen Bildgebung nicht. Der technische Fortschritt könnte jedoch die Komplikationsrate in Zukunft verringern.

Schlüsselwörter: Dreidimensionale Bildgebung, Korrekativer Beschlag, Osteosynthese, Pferd, Strahlbeinfraktur

dimensional imaging. However, technical advances could reduce the complication rate in the future.

Keywords: Three-dimensional imaging, corrective fitting, osteosynthesis, horse, navicular fracture

Einleitung

Parasagittale Strahlbein-Frakturen sind eine seltene Lahmheitsursache beim Pferd.⁹ Sie stellen eine therapeutische Herausforderung dar und haben eine vorsichtige Prognose.⁸ Vordergliedmassen sind vermehrt betroffen.^{18,21}

Die Ätiologie von Parasagittalfrakturen des Strahlbeines kann traumatisch oder pathologisch (sekundär zur Podotrochlose) sein.^{9,13,14} Der genaue Pathomechanismus für die Entstehung von solchen Frakturen bleibt unklar. Laut Colles (2011) entstehen solche Frakturen am ehesten nach einer plötzlichen Rückbewegung vom Kronbein gegenüber dem Hufgelenk: Weil das *Lig. sesamoideum collaterale mediale* bzw. *laterale* seinen Ansatz am medialen bzw. lateralen Rand des Strahlbeines hat, entsteht ein starker Zug auf das Strahlbein nach dorsal, wenn starke Kräfte Richtung palmar/plantar auf das Zentrum des Knochens ausgeübt werden, was zu einer parasagittalen Fraktur führen kann. Da das Strahlbein in seiner Mitte verdickt ist, entsteht die Fraktur eher leicht lateral oder medial.⁴

Betroffene Pferde zeigen eine akute mittel- bis hochgradige Stützbeinlahmheit,⁹ welche sich aber auch ohne Behandlung schnell verbessert.^{4,8,19} Die endgültige Diagnose erfolgt mit einer radiologischen Untersuchung, wobei die drei üblichen Röntgenprojektionen des Strahlbeines angefertigt werden sollten.³ Als wichtige Differentialdiagnose einer Fraktur muss das zwei- oder sogar dreigeteilte Strahlbein («bi- and tripartite navicular bone») in Betracht gezogen werden.^{7,23}

Die konservative Therapie von Strahlbein-Frakturen besteht aus Boxenruhe und einem orthopädischen Hufbeschlag mit Trachtenerhöhung und Füllung der Sohle mittels Silikon, um den Hufmechanismus möglichst einzuschränken.^{9,13} Die Heilung von solchen Frakturen braucht mindestens zehn bis zwölf Monate und die Prognose zum weiteren sportlichen Einsatz wird von vielen Autorinnen und Autoren als ungünstig beschrieben.^{8,14,21} Die chirurgische Therapie mittels Zugschraube sollte durch Kompression mehr Stabilität erlauben und die Bildung eines knöchernen Kallus fördern.^{16,20} Die Anatomie des Strahlbeines lässt jedoch sehr wenig Spielraum für Fehler zu und die korrekte Platzierung der Schraube erfordert eine sehr präzise chirurgische

Technik. Die Penetration der umliegenden synovialen Strukturen – der Hufgelenkscapsel und der Bursa podotrochleari – muss unbedingt vermieden und der artikuläre Knorpel geschont werden. Dafür können verschiedene intraoperative bildgebende Verfahren benutzt werden: einerseits zweidimensional mit Röntgen⁴ oder Fluoroskopie,¹⁶ andererseits dreidimensional mit Hilfe der Computertomographie (CT), welche die korrekte Positionierung der Schraube stark vereinfacht hat^{10,17} und somit heutzutage als Goldstandard bei solchen Operationen gilt.⁵ Alternativ wurde diese Operation auch unter Computer Assisted Surgery (CAS) durchgeführt.^{11,20} Über die Erfolgsrate nach chirurgischer Therapie von Strahlbein-Frakturen ist in der Literatur sehr wenig beschrieben. Eine Studie berichtete eine Erfolgsrate von 72%.⁴ In einer anderen Studie waren die drei Pferde, die unter CT-Kontrolle operiert wurden, fünf Monate nach der Operation lahmheitsfrei und konnten wieder normal eingesetzt werden.¹⁰

Es gibt noch keine klinische Studie, die das Ergebnis der konservativen Therapie und der chirurgischen Fraktur-Reduktion unter Verwendung eines 3D-Bildgebungssystems bei Pferden mit Strahlbein-Frakturen vergleicht. Das Ziel dieser retrospektiven Studie ist, die Erfolgsrate und die Prognose nach konservativer und chirurgischer Therapie in unserer universitären Pferdeklinik zu analysieren und zu vergleichen.

Material und Methoden

Patienten

In dieser retrospektiven Studie wurden alle Patienten mit Strahlbein-Frakturen eingeschlossen, die zwischen 2005 und 2017 am universitären Tierspital Zürich behandelt wurden. Alle Informationen über Signalement, Anamnese, klinische und radiologische Untersuchung, Therapie und Nachkontrollen wurden in den Krankengeschichten der Pferdeklinik der Universität Zürich gesammelt und ausgewertet.

Radiologische Untersuchung

Röntgenaufnahmen vom betroffenen und kontralateralen Strahlbein (lateromediale, palmaroproximal-palmarodistale bzw. plantaroproximal-plantarodistal (tangential) und

dorsoproximal-palmarodistale bzw. dorsoproximal-plantarodistal («Oxspring») Aufnahme) wurden von allen Patienten angefertigt und durch zwei Autoren (GS, MJ) beurteilt. Die Grösse der Fragmente und des gesamten Strahlbeins wurde auf der tangentialen Aufnahme gemessen.

Bei der Diagnosestellung wurde der palmare bzw. plantare Winkel (PW) auf der lateromedialen Aufnahme von jedem Patienten gemessen (Abbildung 1). Die Anwesenheit von Osteoarthrose (OA) im Hufgelenk wurde auf den ersten Röntgenbildern als vorhanden oder nicht vorhanden bestimmt und mit den Verlaufsbildern verglichen (stationär, progressiv oder regressiv). Das Vorhandensein von Osteophyten dorsal am Kronbein und am *Processus extensorius* vom Hufbein sowie auch palmar bzw. plantar in der Nähe des Strahlbeins wurde besonders berücksichtigt. Degenerative Veränderungen des Strahlbeins (Sklerosierung der Spongiosa, Qualität des kortikospongiosen Übergangs und die Erweiterung der Kanäle) wurden ebenfalls berücksichtigt.

Therapie

Die konservative und chirurgische Therapie bestanden aus Boxenruhe, kontrollierter Bewegung und einem orthopädischen Beschlag mit Stegeisen, grossen Seitenkappen, guter Zehenrichtung, Trachtenerhöhung (abhängig vom palmarer/plantarer Winkel, ca 2 cm) und Füllung der Sohle mittels hartem Silikon, um den Hufmechanismus für mindestens vier Monate möglichst einzuschränken. Die chirurgische Therapie bestand zusätzlich aus einer Fixation der Fraktur mit einer Corticalisschraube (CS) als Zugschraube mittels CAS (Computer Assisted Surgery, Siremobil Iso C^{3d}, Siemens Medical Solution, Erlangen, Deutschland, 2005–2013) oder unter CT-Kontrolle (2014–2017). CT-Bilder wurden mit Hilfe eines 40-Schicht-Computertomographen (Somaton Sensation Open, Siemens Medical Solutions AG, Schweiz) angefertigt. Die Pferde wurden dabei in Allgemeinanästhesie in Seitenlage operiert, so dass das kleinere Strahlbein Fragment (cis Fragment) oben lag. Das Bein wurde in Hyperextensionsstellung fixiert, um das Strahlbein zu immobilisieren. Die Operation mittels CAS wurde gemäss *Gygax et al.* durchgeführt.¹¹ Die Operation unter CT-Kontrolle wurde mit Hilfe eines Zielgerätes (Compound Aiming Device, Baxter AG, Volketswil, Schweiz) durchgeführt (Abbildung 2). Das Zielgerät wurde am Huf fixiert und seine Position wurde mit CT überprüft und wenn nötig korrigiert, bis die geplante Bohrrichtung als perfekte Linie durch das Strahlbein dargestellt werden konnte. Es wurde dann zuerst durch die Hufwand und anschliessend durch das Strahlbein bis zum Frakturspalt mit je einem Bohrer (ein Bohrer für die Hufwand, dann ein Bohrer für das Strahlbein) das Gleitloch gebohrt (3,5 mm für die 3,5 mm CS und 4,5 mm für die 4,5 mm CS). Anschliessend wurde das Zugloch im Strahlbein gebohrt (2,5 mm Bohrer für die 3,5 mm CS und 3,2 mm Bohrer für die 4,5 mm CS) und das Gewinde geschnitten. Danach

wurde das Loch in der Hufwand mit einem 10,0-mm-Bohrer erweitert. Der Kopfraumfräser wurde nicht angewendet. Schliesslich konnte die passende Schraube (die Schraubenslänge wurde im CT gemessen) eingesetzt und das Loch in der Hufkapsel mit einem Amikacin getränkten Tupfer gefüllt werden. Der Huf wurde postoperativ durch einen Cast geschützt. Der orthopädische Beschlag wurde angebracht, sobald das Loch in der Hufwand trocken war, in der Regel zwei Wochen nach der Operation.

Strahlbein-Frakturen beim Pferd: Prognose nach konservativer und chirurgischer Therapie

G. Stucki, A. E. Fürst, M. A. Jackson

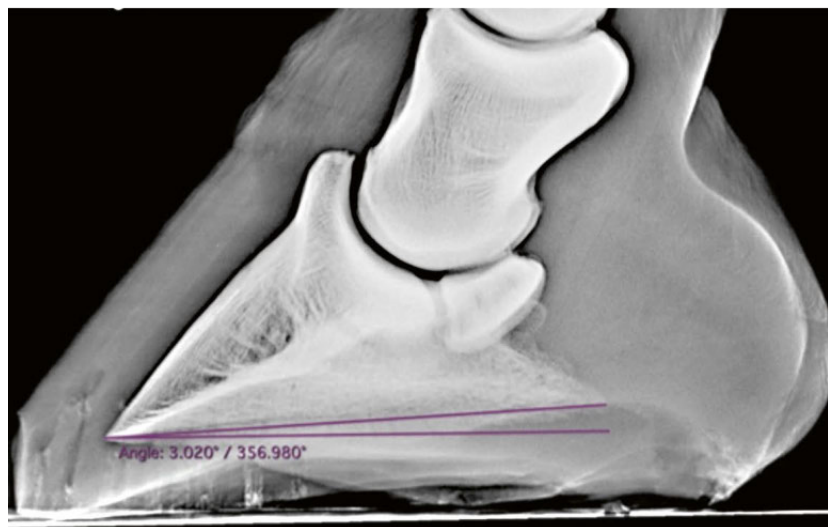


Abbildung 1: Beispiel einer Messung vom palmaren Winkel (PW) auf der lateromedialen Röntgenaufnahme des Hufes beim Pferd. Hier ist PW = +3°.

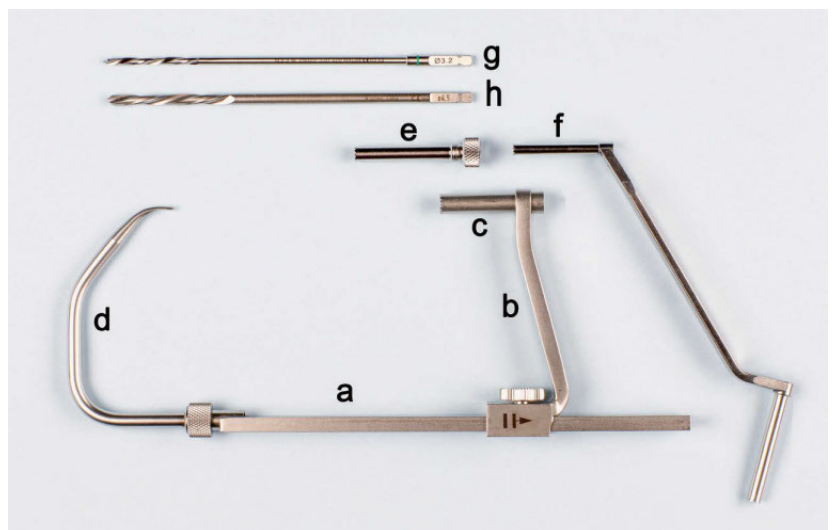


Abbildung 2: Zielgerät und erforderliche Instrumente für den Einsatz einer 4,5-mm Corticalisschraube (CS): (a) Messstange, (b) Verriegelungshülse, (c) Führungsrohr, in das Bohrhülse eingeschraubt werden können, und (d) grosser Haken. (e) 4,5-mm Bohrhülse; (f) 3,2-mm Bohrhülse; (g) 3,2-mm Bohrer; (h) 4,5-mm Bohrer.

Strahlbein-Frakturen beim Pferd: Prognose nach konservativer und chirurgischer Therapie

G. Stucki, A. E. Fürst, M. A. Jackson

Postoperative radiologische bzw. computertomographische Beurteilung

Bei den chirurgischen Fällen wurde die Position der Schraube auf dem postoperativen Röntgenbild oder auf CT-Bildern beurteilt und wie folgt klassifiziert: Optimal (P=1), wenn sich die Schraube in der Mitte des Strahlbeins befand und möglichst gerade war, suboptimal (P=2), wenn die Schraube nicht zentral war, und schlecht (P=3), wenn die Schraubenspitze die *Facies flexoria* oder die Gelenkfläche perforiert hatte (Abbildung 3). Die Breite des Frakturspaltes wurde bei den chirurgischen Fällen prä- und unmittelbar postoperativ gemessen, um die Kompressionswirkung der Schraube zu schätzen. Die Messung wurde immer auf Höhe der *Facies flexoria* durchgeführt. Je nach Verfügbarkeit wurden die CT-Bilder oder die prä-operative und die erste post-operative Skyline Röntgenaufnahme dafür verwendet.

Nachkontrolle und Outcome

Die Pferde wurden nach der Therapie klinisch wie radiologisch nachuntersucht. Ebenso wurden mit den Besitzern Telefongespräche geführt. Die chirurgisch behandelten Pferde wurden mindestens einmal post-operativ geröntgt.

Das Ergebnis der Behandlung (Outcome) wurde in drei Kategorien unterteilt: 1 = sehr gut (das Pferd konnte wieder wie vor der Fraktur ohne Einschränkung eingesetzt werden); 2 = gut (das Pferd war lahmheitsfrei (AAEP-Grad¹ 0/5), wurde aber auf einem niedrigeren Aktivitätsniveau als vor der Fraktur eingesetzt); 3 = schlecht (das Pferd zeigte eine persistierende Lahmheit, wurde deswegen euthanasiert oder neurektomiert. Ein Fall mit hochgradiger Lahmheit wurde bereits zwei Monate nach Therapiebeginn euthanasiert, alle andere Fälle mit schlechtem Outcome zeigten eine chronische Lahmheit mindestens sechs Monate nach Therapiebeginn). Die Nachkontrollen (Follow-up) waren zwischen 2 und 175 Monaten.

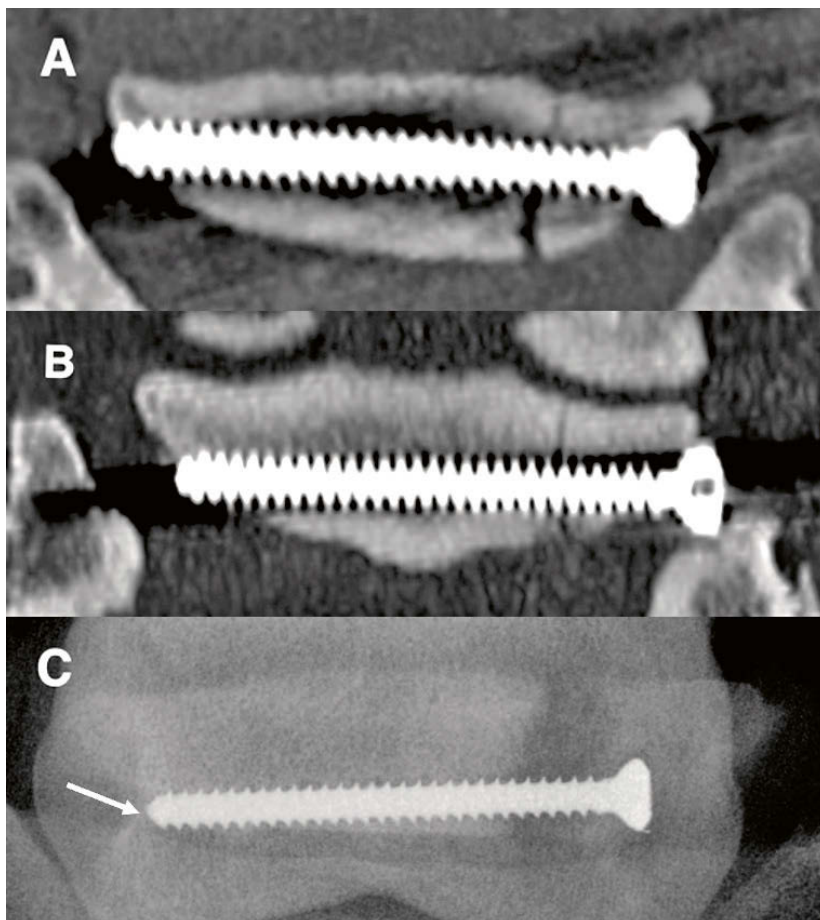


Abbildung 3: Beispiele von Schraubenposition im Strahlbein. A = Dorsaler CT-Schnitt; die Schraube ist genau in der Mitte des Knochens und hat somit eine optimale Position (P=1); B = Dorsaler CT-Schnitt; die Schraube ist suboptimal, d.h. sie ist nicht genau in der Mitte des Knochens und zeigt eine leichtgradige medioproximal-laterodistale Richtung (P=2); C = Oxspring Röntgenaufnahme; die Schraube ist schlecht positioniert, ist zu weit distal im Knochen und die Schraubenspitze durchdringt den distalen Cortex des Strahlbeines (Pfeil) (P=3).

Resultate

Patienten

Es wurden insgesamt 12 Pferde behandelt: Vier (Fälle 1–4) konservativ und acht (Fälle 5–12) chirurgisch. Verschiedene Rassen waren betroffen (9 Warmblüter, 1 Appaloosa, 1 Quarter Horse und 1 Deutsches Reitpony). Die Patienten waren zwischen 5 und 13 Jahre alt, mit einem Durchschnittsalter von 7,6 Jahren. Die Nutzung war variabel und für ein Pferd unbekannt (Tabelle 1). Bei 8 Pferden war die Unfallursache bekannt: Drei Pferde hatten einen Unfall auf der Weide, bei zwei Pferden trat die Lahmheit beim Reiten auf, bei einem Pferd beim Longieren, bei einem Pferd beim Freilaufen in der Halle und ein Pferd war lahm nach einem Unfall mit einem Motorrad. Die meisten Pferde (8/12) waren mittelgradig lahm (3/5 AAEP-Grad¹), während drei Pferde mit einer leichtgradigen Lahmheit (2/5) vorgestellt wurden. Ein Pferd, bei welchem die Fraktur schon mehr als ein Jahr zurück lag, war nicht lahm, obwohl anamnestisch unter stärkerer Belastung immer wieder eine Lahmheit an dem betroffenen Bein auftrat. Das Frakturalter war zwischen 1 Tag und 1,5 Jahren, mit einer Mediane von 45,5 Tagen (Tabelle 1).

Radiologische Untersuchung

Alle Frakturen waren parasagittal, 50 % medial, 50 % lateral. Die Vorderbeine (n=8) waren häufiger betroffen als die Hinterbeine (n=4). Der PW war zwischen $-1,3^\circ$ und $+5^\circ$, mit einer Mediane von $+2^\circ$. Das Verhältnis vom kürzeren zum längeren Fragment lag zwischen 21,9 % und 39,3 %, mit einem Medianwert von 28,75 % (Mittelwert = 29,5 %). Bei der initialen Untersuchung zeigten drei Pferde radiologisch Anzeichen einer OA des Hufgelenkes. Leicht- bis mittelgradige degenerative Veränderungen des Strahlbeins konnten bei neun Pferden (75 %) bei der Eintrittsuntersuchung ra-

Tabelle 1: Informationen über die verschiedenen Patienten.

Fall	Rasse	Alter des Pferdes bei Vorstellung (Jahre)	Ursache/ Entstehungsort	Alter der Fraktur bei Vorstellung	Nutzung
1	Warmblut	8	Auf der Weide	8 Monate	Freizeit
2	Warmblut	13	Gebockt bei longieren	2 Monate	Freizeit
3	Warmblut	6	Auf der Weide	2 Tage	Springen
4	Warmblut	7	Unfall mit einem Motorrad	5 Wochen	Freizeit
5	Quarter Horse	5	Beim Reiten	1,5 Jahre	Reining
6	Warmblut	8	Unbekannt	2 Monate	Springen/Freizeit
7	Warmblut	7	Unbekannt	10 Tage	Unbekannt
8	Warmblut	8	Unbekannt	2 Monate	Springen
9	Deutsches Reitpony	10	Unbekannt	4 Monate	Rennen
10	Warmblut	5	Auf der Weide	3 Tage	Dressur
11	Warmblut	10	Beim Freilaufen	4 Tage	Springen
12	Appaloosa	5	Beim Reiten	1 Tag	Freizeit

Strahlbein-Frakturen beim Pferd: Prognose nach konservativer und chirurgischer Therapie

G. Stucki, A. E. Fürst, M. A. Jackson

Tabelle 2: Zusammenfassung der radiologischen Befunde bei der Diagnosestellung.

Patient	Gliedmasse	Typ	PW	Kleines Fragment (mm)	Grosses Fragment (mm)	Ratio	Länge Strahlbein (mm)
1	Vo Re	Para/Med	+ 4°	21	54	28%	75
2	Vo Re	Para/Med	∅	14	50	21,9%	64
3	Hi Li	Para/Lat	-1°	19	43	30,6%	62
4	Vo Re	Para/Med	+2°	16	47	25,4%	63
5	Vo Li	Para/Med	+ 4°	22	38	36,6%	60
6	Hi Li	Para/Lat	+ 4°	18	43	29,5%	61
7	Vo Li	Para/Lat	+ 2°	25	42	37,3%	67
8	Vo Li	Para/Med	0°	18	56	24,3%	74
9	Vo Re	Para/Lat	+ 5°	18	39	31,5%	57
10	Hi Li	Para/Lat	0°	15	42	26,3%	57
11	Vo Re	Para/Med	+ 3°	15	50	23%	63
12	Hi Re	Para/Lat	-1,3°	22	34	39,3%	56

(Vo = vorne; Hi = hinten; Para = parasagittal; Med = medial; Lat = lateral; PW = palmarer/plantarer Winkel)

Tabelle 3: Zusammenfassung der radiologischen Befunde betreffend das Vorhandensein von Podotrochlose und Osteoarthrose (OA) des Hufgelenkes zur Zeit der Vorstellung und der Entwicklung von OA.

Patient	Podotrochlose	Osteoarthrose (OA)	Verlauf der degenerativen Veränderungen	Outcome
1	Leichtgradig	Keine	Stationär	2
2	Mittelgradig	Keine	Stationär	2
3	Keine	Keine	Stationär	1
4	Leichtgradig	Keine	Stationär	1
5	Keine	Keine	Stationär	1
6	Mittelgradig	Keine	Stationär	1
7	Mittelgradig	Leichtgradig	Progressiv	3
8	Mittelgradig	Leichtgradig	Stationär	3
9	Leichtgradig	Keine	Stationär	1
10	Keine	Keine	Stationär	1
11	Mittelgradig	Leichtgradig	Progressiv	3
12	Leichtgradig	Keine	Stationär	3

Strahlbein-Frakturen beim Pferd: Prognose nach konservativer und chirurgischer Therapie

G. Stucki, A. E. Fürst, M. A. Jackson

diologisch beobachtet werden (Tabellen 2 und 3). Eine Aufhellung im Bereich des Frakturspaltes (zystoide Läsion) konnte bei drei Patienten zur Zeit der Vorstellung dargestellt werden (Abbildung 4).

Therapie und Ergebnisse der konservativ behandelten Pferde

Vier Pferde wurden konservativ behandelt. Radiologisch konnte zur Zeit der Vorstellung bei keinem von diesen vier Pferden Anzeichen von OA im Hufgelenk festgestellt werden.

Drei Pferde konnten nach 4, 6 und 9 Monaten ohne den Korrekturbeschlagen wiederaufgebaut und normal geritten werden. Das vierte Pferd (Fall 4) hatte 12 Jahre nach Entstehung der Fraktur immer noch einen Keilbeschlagen mit einem Winkel von 5°, war aber lahmheitsfrei und wurde über kleine Hindernisse gesprungen. Zwei Pferde haben im Laufe der Rekonvaleszenz eine Lahmheit gezeigt (4 Monaten und 3,5 Jahren nach Anfang der Therapie); beide erhielten bei einer Nachkontrolle an der Pferdeklinik eine Hufgelenksbehandlung mit Betamethason und Hyaluronsäure und waren danach lahmheitsfrei.

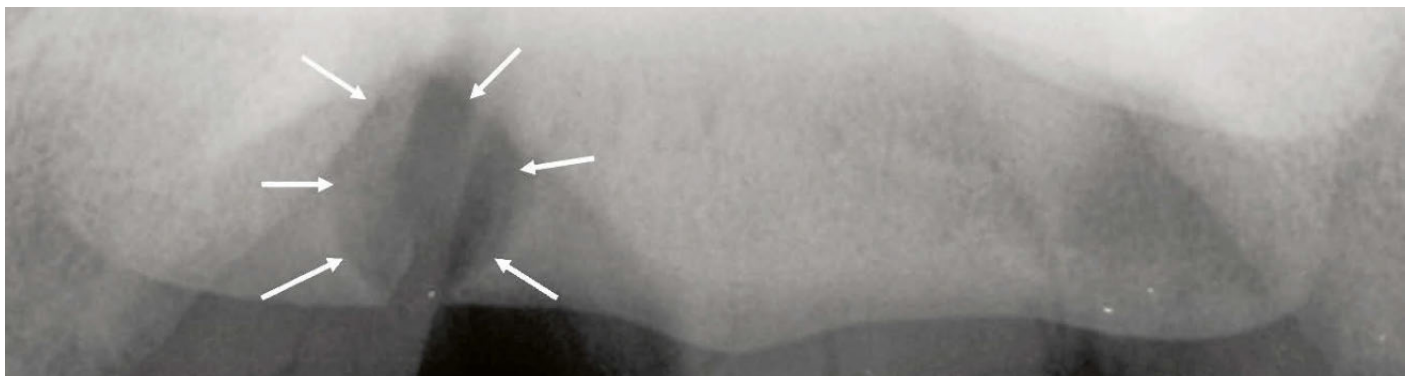


Abbildung 4: Prä-operative Tangentialaufnahme von Patient 5. Beachte die zystoide Läsion, die vermutlich durch Knochenresorption nach Entstehung der Fraktur (2 Monaten zuvor) entstanden ist (Pfeile).

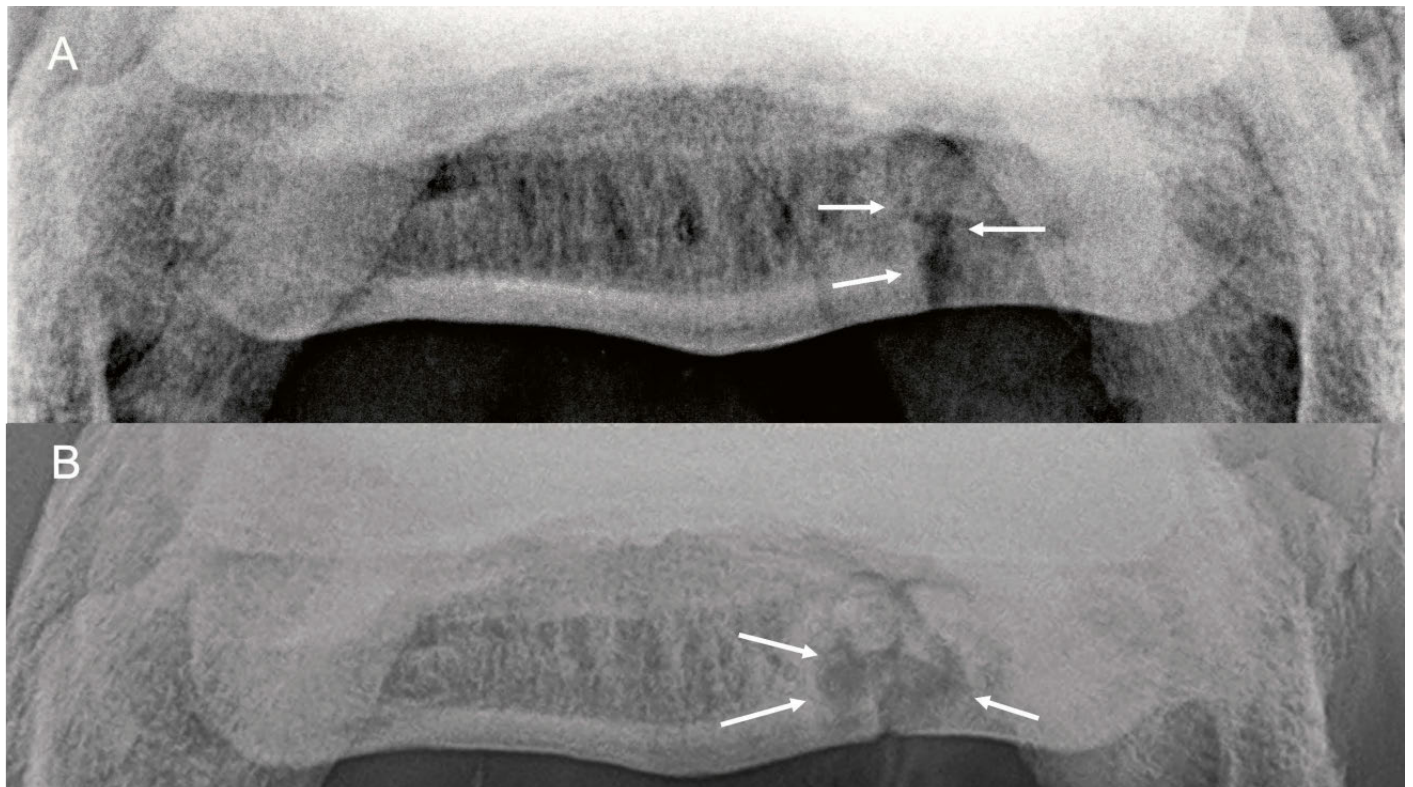


Abbildung 5: Oxspring Röntgenaufnahme von Patient 1, A = 8 Monate nach Frakturereignis und B = 4 Jahren nach Frakturereignis. Beachte im Bereich des Frakturspaltes (weisse Pfeile) die Knochenumbauvorgänge.

Radiologische Untersuchung

Eine radiologische Kontrolluntersuchung wurde für drei Patienten über eine gewisse Zeitspanne nach der Diagnosestellung durchgeführt (Tabelle 4). Bei allen drei Pferden konnte im Bereich des Frakturspaltes Knochenumbauvorgänge festgestellt werden, eine knöcherne Frakturheilung konnte bei keinem der drei Pferde beobachtet werden (Abbildung 5). Es konnten keine Anzeichen von OA festgestellt werden.

Outcome

Das Therapieergebnis war für zwei dieser Patienten gut (beide Vorderbeine, Outcome = 2) und für die zwei anderen sehr gut (ein Vorder- und ein Hinterbein, Outcome = 1). Die Dauer des Follow-ups war zwischen 48 und 96 Monaten.

Therapie und Ergebnisse der chirurgisch behandelten Pferde

Acht von den zwölf Patienten dieser Studie wurden chirurgisch behandelt, Fälle 5–9 mit CAS und Fälle 10–12 mit Hilfe der CT. Sechs Pferde wurden mit einer 3,5 mm CS,

die zwei anderen mit einer 4,5 mm CS behandelt. Die Position der Schraube wurde als optimal (P=1) in 3 Fällen (zwei mit CT und ein mit CAS), als suboptimal (P=2) in 3 Fällen (ein mit CT und zwei mit CAS) und als schlecht (P=3) in 2 Fällen (beide mit CAS, siehe Tabelle 5) beurteilt.

Intra-operative Komplikationen

Intra-operative Komplikationen wurden für zwei Pferde berichtet. Bei einem (Fall 6) wurde das Hufgelenk penetriert und bei einem zweiten Fall (Fall 8) konnte nur eine zu kurze Schraube eingesetzt werden, nachdem das Gewindeloch in Richtung *Facies flexoria* gebohrt wurde.

Post-operative Komplikationen

Bei einem Pferd (Fall 10) wurde auf dem post-operativen (13 Tage post-OP) Röntgenbild festgestellt, dass das kleine Strahlbein-Fragment gebrochen war (Abbildung 6). Das Pferd zeigte aber keine Lahmheit und hatte einen sehr guten Outcome (=1). Ein anderes Pferd (Fall 12) war zwei Monate nach der Operation noch stark lahm. Auf dem Röntgenbild war die Schraube gebrochen und die Fraktur war wieder instabil (Abbildung 7). Das Pferd wurde danach euthanasiert.

Strahlbein-Frakturen beim Pferd: Prognose nach konservativer und chirurgischer Therapie

G. Stucki, A. E. Fürst, M. A. Jackson

Tabelle 4: Outcome & Follow-Up von den Patienten.

Patient	Rx Follow-Up	Follow-Up	Outcome
1	4 Jahre	4 Jahre	2
2	3,5 Monate	8 Jahre	2
3	∅	8 Jahre	1
4	3,5 Jahre	12 Jahre	1
5	5 Monate	9 Jahre	1
6	12 Monate	13 Jahre	1
7	7 Monate	7 Monate	3
8	22 Monate	22 Monate	3
9	14 Monate	14 Jahre	1
10	13 Monate	3 Jahre	1
11	14 Monate	28 Monate	3
12	2 Monate	2 Monate	3

Tabelle 5: Outcome von chirurgisch behandelten Patienten.

Fall	Bildgebung	Schraube	Komplikation Intra-OP / Post-OP	Position der Schraube	Outcome
5	CAS	3,5mm	Keine / Keine	2	1
6	CAS	3,5mm	Synovia ausgetreten / Keine	3	1
7	CAS	3,5mm	Keine / Degenerative Knochenveränderung	1	3
8	CAS	3,5mm	Kürzere Schraube / Degenerative Knochenveränderung	3	3
9	CAS	3,5mm	Keine/Keine	2	1
10	CT	4,5mm	Keine / Fragmentierung des Knochens	1	1
11	CT	4,5mm	Keine / Osteoarthrose	2	3
12	CT	3,5mm	Keine / Schraube gebrochen	1	3

(CAS = Patienten, welche unter Computer Assisted Surgery operiert wurden; CT = Patienten, welche unter Computer Tomographie operiert wurden; Intra-OP = intraoperativ; Post-OP = postoperativ).

Strahlbein-Frakturen beim Pferd: Prognose nach konservativer und chirurgischer Therapie

G. Stucki, A. E. Fürst, M. A. Jackson

Bei Fall 7 bestand radiologisch ab dem 7. Monat eine Zone mit erhöhter Knochenresorption auf der Gleitfläche, was zu einer progressiven Lahmheit geführt hat, bis dieses Pferd ebenfalls euthanasiert wurde. Ein Pferd (Fall 11), welches präoperativ leichtgradige OA vom Hufgelenk zeigte, entwi-

ckelte ab dem dritten Monat nach der Operation hochgradige degenerative Veränderungen im Hufgelenk (Abbildung 8), war ein Jahr nach der Operation immer noch lahm (2/5 AAEP) und wurde neurektomiert. Das Pferd war nach der Neurektomie bis zum Zeitpunkt dieser Studie lahmheitsfrei und wurde wieder normal geritten.

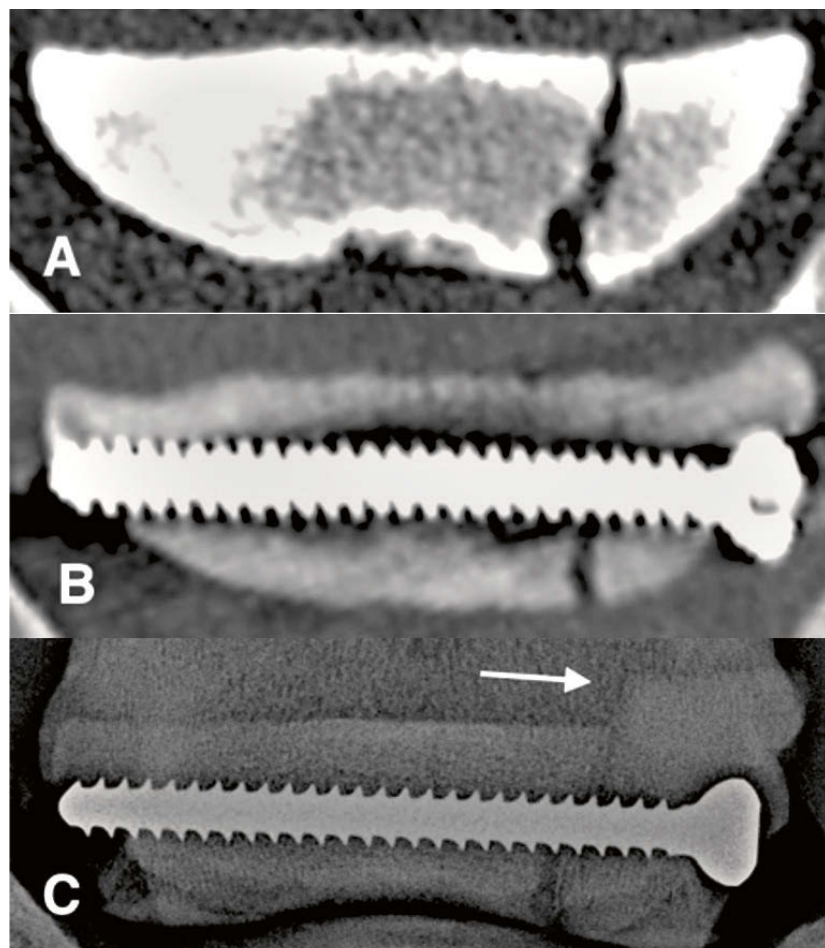


Abbildung 6: CT- und Röntgenbilder von Patient 1. A: Prä-operativer, dorsaler CT-Schnitt; B: Gleiche Aufnahme wie A, mit einer optimalen Position der Schraube. Beachte auch die Kompression des Frakturspaltes; C: Oxspring Röntgenaufnahme, 13 Tage post-OP. Beachte, dass das kleine cis- Fragment des Strahlbeines gebrochen ist (Pfeil = ober Hälfte des Fragmentes, disloziert).

Radiologische Untersuchung

Die Kompressionswirkung der Schraube wurde anhand der Spaltreduktion geschätzt (Tabelle 6): diese war zwischen 14,3% und 51,8% (Mittelwert = 33,4%). Beim Fall 4 machte die Überlagerung des Spaltes mit der Schraube eine Messung unmöglich. Eine radiologische Kontroll-Untersuchung wurde zwischen 2 und 22 Monaten nach der Operation durchgeführt. Es konnte bei keinem der operierten Pferde eine knöcherne Frakturheilung beobachtet werden. Eine Progression der degenerativen Veränderungen konnte bei zwei Patienten beobachtet werden.

Outcome

Nach chirurgischer Therapie hatten vier Pferde (50%) einen sehr guten Outcome (= 1) und vier (50%) einen schlechten (= 3). Die Dauer des Follow-up von allen Patienten mit Outcome=1 war zwischen 35 und 175 Monaten (Medianwert von 106,5 Monaten). Die Patienten mit schlechtem Outcome wurden bereits nach 2, 7 und 22 Monaten euthanasiert beziehungsweise ein Fall wurde nach 12 Monaten neurektomiert.

Abbildung 9 zeigt eine Übersicht über alle Patienten, Therapien und Outcome.

Diskussion

Die Resultate der vorliegenden Studie zeigen, dass 50% der Patienten von beiden Gruppen (zwei nach konservativer und vier nach chirurgischer Therapie) einen sehr guten Outcome hatten und wieder normal geritten werden konnten; zudem waren weitere 17% der Patienten (nach konservativer The-

Tabelle 6: Übersicht über die Kompression der Schraube.

Patient	Spalt (Prä-OP/Post-OP)	Spaltreduktion %	Spalt letzte RX
5	2,1 mm / nicht beurteilbar	/	Ø
6	2,5 mm / 1,35 mm (2 Tage)	- 46%	3,3 mm (5 Mo)
7	0,5 mm / 0,4 mm (10 Tage)	- 20%	1,4 mm (7 Mo)
8	2,25 mm / 1,7 mm (3 Tage)	- 24%	Ø
9	2,5 mm / 1,6 mm (4 Tage)	- 36%	1,7 mm (3 Wo)
10	2,7 mm / 1,3 mm	- 51,8%	Ø
11	0,7 mm / 0,6 mm	- 14,3%	1,2 mm (14 Mo)
12	1 mm / 0,58 mm	- 42%	0,6 mm (2 Mo)

(Prä-OP = präoperativ; Post-OP = postoperativ; Mo= Monaten; Wo= Wochen).

rapie) lahmheitsfrei und konnten auf einem reduzierteren Level als vor der Therapie wieder geritten werden. Allerdings macht die geringe Anzahl von Fällen es schwierig, eine statistische Auswertung zu machen, so dass man die Resultate mit Vorsicht interpretieren muss.

Zwei Pferde blieben trotz komplikationsloser Chirurgie der Strahlbeinfraktur chronisch lahm. Beide Pferde zeigten vor der Therapie leichtgradige degenerative Strahlbeinveränderung; in den Verlaufskontrollen konnte aber bei beiden Pferden eine progressive knöcherne Degeneration des Strahlbeines diagnostiziert werden. Im Gegensatz dazu zeigten drei Pferde, die zur Zeit der Diagnosestellung keine radiologischen Anzeichen von Podotrochlose hatten, keine progressive knöcherne Degeneration des Strahlbeines und hatten einen sehr guten Outcome. Das Vorhandensein von degenerativen Strahlbeinveränderungen scheint somit die Prognose bei Strahlbein-Frakturen zu verschlechtern, was auch von anderen Autoren beobachtet wurde. So konnte Colles in seiner Studie über die chirurgische Fixation von rein traumatischen Frakturen von sonst gesunden Strahlbeinen eine Erfolgsrate von 72 % erreichen.⁴ Im Gegensatz dazu zeigten in der vorliegenden Studie neun von zwölf Pferden bereits bei Nachweis der Fraktur Anzeichen einer knöchernen Degeneration vom Strahlbein, was möglicherweise auch zu der schlechteren Erfolgsrate dieser Studie beigetragen hat.

Die Relevanz der Podotrochlose bei der Entstehung von solchen Frakturen ist kontrovers diskutiert. Während gewisse Autoren berichten, dass eine hochgradige Podotrochlose prädisponierend für eine Strahlbein-Fraktur sein kann,^{9,13} konnte Colles in 40 Fällen seiner Studie keine Prädisposition finden und verband jede Fraktur direkt mit einem bestimmten Trauma.⁴ Allerdings wird auch bei pathologischen Frakturen häufig ein zusätzliches Trauma beobachtet, und somit ist die Unterscheidung nicht immer einfach. Aber auch in anderen Studien^{2,22} konnte gezeigt werden, dass das Vorkommen von Strahlbein-Frakturen bei Pferden mit Podotrochlose nicht deutlich höher war. Die radiologische Beurteilung zum Zeitpunkt der Diagnose ist entscheidend, um eine pathologische Fraktur zu identifizieren. Allerdings kommt es nach traumatisch entstandenen Frakturen sehr schnell zum Knochenumbau und die Frakturlinie zeigt dann bedeutsame strahlendurchlässige Zonen, die wie lytische Läsionen bei chronisch erkrankten Strahlbeinen aussehen können.³ Deswegen ist es zum Zeitpunkt der Diagnose wichtig, eine genaue Anamnese zu erheben, um die Fraktur möglichst gut zu beurteilen.

Ein Ziel der chirurgischen Therapie ist die Kompression des Frakturspaltes durch die Schraube, was die Frakturheilung vor allem bei artikulären Frakturen fördern sollte.¹² Allerdings konnte bei keinem chirurgischen Fall dieser Studie eine knöcherne Heilung beobachtet werden; diese ist aber laut Literatur auch nicht zu erwarten.⁴ Das Strahlbein ist

von zwei synovialen Strukturen umgeben und ist stark mechanisch belastet, was die Bildung eines knöchernen Kallus verhindert.⁸ Dazu macht es die topographische Lage des Strahlbeines in der Hufkapsel sehr schwierig, eine deutliche Kompression beider Knochenfragmente zu erzeugen. Die klinische Heilung wird aber dadurch offenbar nicht verhindert, was in mehreren Publikationen schon gezeigt werden konnte.^{4,10} Kurz nach der Operation konnte eine mehr oder weniger deutliche Spaltreduktion gemessen werden (33,4 % im Durchschnitt, siehe Tabelle 6). Bei den drei chirurgischen Fällen, die über eine längere Zeit radiologisch verfolgt werden konnten, wurde aber später eine erneute deutliche Erweiterung des Spaltes festgestellt. Anhand der Daten unserer Patienten kann die Hypothese formuliert werden, dass nicht unbedingt die Kompression der beiden Fragmente, sondern vielmehr die Stabilität entscheidend ist. Eine klinische Heilung konnte nämlich auch ohne Kompression der Fragmente beobachtet werden. Wäre die Kompression der zwei Fragmente nicht so entscheidend, könnten grössere Schrauben ohne Schraubenkopf zum Einsatz kommen, was die Stabilität des Knochens erhöhen würde.

Um eine optimale Position der Schraube im Strahlbein zu erreichen, wird heutzutage der Einsatz der Computertomographie (CT) als sehr genaues dreidimensionales bildgebendes Verfahren als Goldstandard für solche Operationen empfohlen.⁵ Studien haben gezeigt, dass eine erhöhte Präzision mit Hilfe der CT erreicht werden kann.¹⁷ Die CT-un-

Strahlbein-Frakturen beim Pferd: Prognose nach konservativer und chirurgischer Therapie

G. Stucki, A. E. Fürst, M. A. Jackson

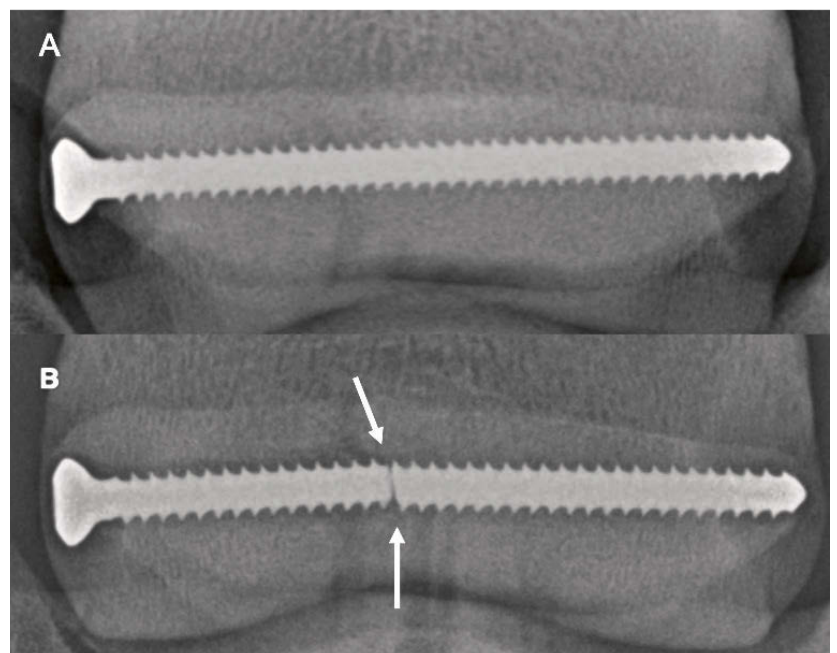


Abbildung 7: Oxspring Röntgenaufnahme von Patient 3, mit einer optimalen Position der Schraube. A = 17 Tage post-operativ; B = 2 Monate post-operativ. Beachte, dass die Schraube gebrochen ist (Pfeile).

Strahlbein-Frakturen beim Pferd: Prognose nach konservativer und chirurgischer Therapie

G. Stucki, A. E. Fürst, M. A. Jackson

terstützte Chirurgie erlaubt eine genaue Platzierung des Zielgerätes und eine gute Kontrolle beim Bohren des Strahlbeins. Die bessere Präzision durch die CT konnte in dieser Studie auch beobachtet werden: von den drei Schrauben, die mit der CT eingesetzt wurden, hatten zwei eine optimale und eine eine suboptimale Position, was eine Verbesserung verglichen mit dem vorherigen Einsatz von CAS darstellt (1x optimal, 2x suboptimal, 2x schlecht). Trotz Verwendung von 3D-Bildgebungssystem bleibt aber die Fixation von Strahlbein-Frakturen eine Herausforderung mit einigen möglichen Komplikationen. Das Versagen des Implantats (einer 3,5-mm Corticalisschraube) ist eine seltene Komplikation nach Fixation einer Strahlbeinfraktur⁹. Mehrere Publikationen haben über den guten klinischen Outcome mit 3,5-mm CS berichtet.^{4,10,16} Die Stabilität einer 3,5 mm Schraube hängt aber auch stark von der Grösse und dem Gewicht der Pferde

ab. Bei der gebrochenen 3,5-mm CS handelte es sich um eine Appaloosa Pferd. Die gleiche Schraube wurde bei zwei Ponies, zwei Trabern, zwei Warmblütern, einem Vollblüter und einem Paso Fino erfolgreich eingesetzt.^{10,16} Sie wurde in unserer Klinik auch fünf Mal erfolgreich eingesetzt (drei Warmblüter, ein Quarter Horse und ein Deutsches Reitpony). Eine weitere Publikation behauptet sogar, dass der Einsatz von grösseren Schrauben im Strahlbein unrealistisch ist.²⁰ In zwei der Fälle unserer Studie wurde eine 4,5 mm CS eingesetzt. Diese Schrauben sind signifikant stärker,¹⁵ und haben ein grösseres Gleitloch, was wahrscheinlich zur Sprengung des kleineren *cis* Fragmentes beim Fall 1 geführt hat. Zudem führte der Schraubenkopf von 8 mm in einer experimentellen Studie zu leichter Schädigung der Gelenkfläche in 9/10 Fällen.²⁰ Der Einsatz von 4,0-mm CS (6 mm Kopf und 2,9 mm Kern) als mögliche ideale Alternative wurde schon mehrmals erwähnt;^{15,20} es wurde bis jetzt aber keine Studie veröffentlicht, weder *in vivo* noch *in vitro*, welche den Einsatz von solchen Schrauben für die Behandlung von Strahlbein-Frakturen beschreiben.

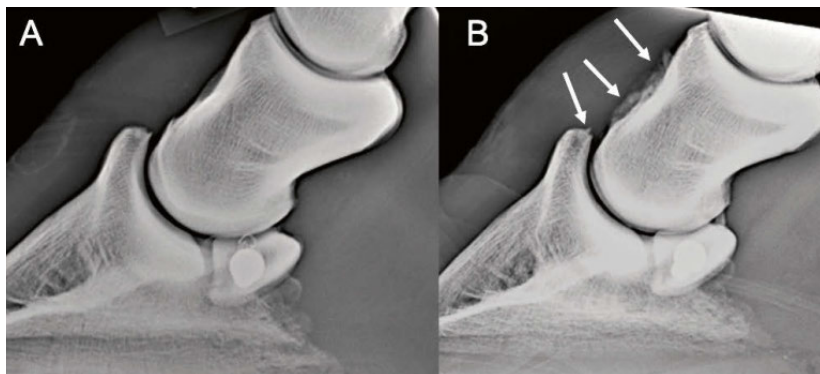


Abbildung 8: Lateromediale Röntgenaufnahme von Patient 2. A = 6 Tage post-operativ, milde OA im Hufgelenk; B = 3 Monate post-operativ, mit Progression der OA im Hufgelenk (weisse Pfeile).

Eine weitere interessante Beobachtung dieser Studie ist, dass vier Pferde einen ungenügenden palmaren oder plantaren Winkel zur Zeit der Vorstellung aufwiesen. Dieser sollte positiv sein, idealerweise zwischen +2° und +6° (<https://le-hoof.com>). Zwei Pferde hatten einen Winkel von 0° und zwei andere hatten sogar einen negativen Winkel. Mit einem Medianwert vom +2° hat die Hälfte der Pferde der Studie allgemein einen grenzwertigen oder sogar einen ungenügenden Winkel gehabt. Obwohl das nicht genug ist, um eine Fraktur zu verursachen, verstärkt es aber die Spannung der tiefen Beugesehne auf dem Strahlbein,⁶ was auf jeden Fall logischerweise die Behandlung von Strahlbeinproblemen (inklusive Frakturen) beeinflusst.

In Anbetracht des retrospektiven Charakters der vorliegenden Studie sind Limitationen wie der Mangel an objektiven Informationen oder die Tatsache, dass die klinischen und röntgenologischen Nachuntersuchungen für jedes Pferd zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt wurden, nicht zu vermeiden.

Schlussfolgerung

Diese Studie zeigt, dass die Prognose von Strahlbein-Frakturen grundsätzlich vorsichtig ist, mit 67 % aller Pferde mit sehr gutem und gutem Outcome. Die Prognose wird bei bestehender Podothrombose negativ beeinflusst, so dass diese bei der Vorstellung identifiziert werden sollten. In dieser Studie konnte eine chirurgische Fixation der Strahlbein-Frakturen unter Verwendung von 3D-Bildgebungssystemen nicht zu einer Verbesserung der Prognose führen; allerdings können die Komplikationen in der Zukunft mit den technischen Fortschritten (vor allem der Einsatz von CT, welche die Präzision der Schraubenposition verbessert) minimiert werden.

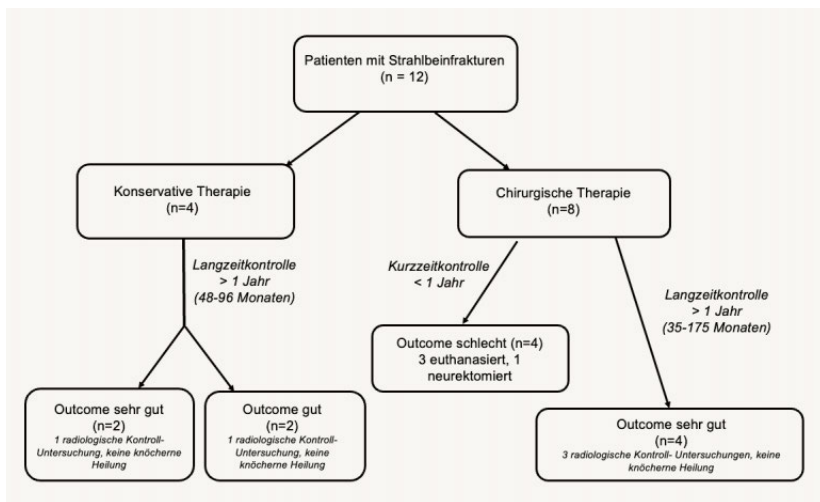


Abbildung 9: Flowchart über alle Patienten und deren Therapie und Outcome.

Fractures de l'os naviculaire chez le cheval: Pronostic après traitement conservateur et chirurgical

Le but de cette étude rétrospective était de décrire et de comparer le traitement conservateur et chirurgical des fractures de l'os naviculaires chez le cheval. Une tentative est faite pour identifier les points critiques qui peuvent influencer favorablement le pronostic de cette maladie orthopédique.

Tous les chevaux traités pour une fracture de l'os naviculaire à la Clinique équine de la Faculté Vetsuisse de l'Université de Zurich entre 2005 et 2017 ont été inclus dans cette étude. La gravité de la boiterie lors de l'examen initial, l'évaluation radiographique, la conformation du sabot, le traitement (conservateur ou chirurgical), les complications et le résultat ont été déterminés à partir des dossiers médicaux. Le traitement conservateur et chirurgical consistait en un repos au box, un programme d'exercice contrôlé et un ferrage orthopédique thérapeutique. Au cours du traitement chirurgical, une réduction de la fracture a également été effectuée à l'aide d'une vis corticale. La chirurgie assistée par ordinateur a été utilisée sur cinq chevaux et la tomographie assistée par ordinateur sur trois chevaux. Les examens de suivi comprenaient des examens cliniques et radiographiques. Les résultats ont été divisés en trois catégories: 1 = très bon; 2 = bon; 3 = mauvais.

Douze chevaux répondaient aux critères d'inclusion; quatre chevaux ont été traités de manière conservatrice et huit ont été traités chirurgicalement. Après un traitement conservateur, deux chevaux (50%) ont eu un très bon résultat et deux (50%) un bon résultat. Après le traitement chirurgical, quatre chevaux (50%) ont eu un très bon résultat et quatre (50%) un mauvais résultat. Dans l'ensemble, 67% des chevaux ont eu un très bon ou un bon résultat, bien que les signes radiographiques de guérison osseuse n'aient été présents dans aucun de ces cas. Diverses complications ont été identifiées, telles que la fracture d'une vis, la fragmentation du petit fragment de l'os naviculaire, le développement d'une arthrose dans l'articulation interphalangienne distale et une podotrochlose progressive.

Cette étude montre que le pronostic des fractures de l'os naviculaire est généralement réservé et que les modifications dégénératives de l'appareil naviculaire aggravent le pronostic. Dans la présente étude, le traitement chirurgical n'a pas amélioré le pronostic des fractures du naviculaire malgré l'utilisation intra-chirurgicale de l'imagerie tridimensionnelle. Cependant, les progrès techniques pourraient réduire le taux de complications dans le futur.

Mots clés: Imagerie tridimensionnelle, ferrage correctif, ostéosynthèse, cheval, fracture du naviculaire

Fratture del navicolare nei cavalli: prognosi dopo trattamento conservativo e chirurgico

Lo scopo di questo studio retrospettivo è di descrivere e confrontare il trattamento conservativo e chirurgico delle fratture del navicolare nei cavalli e di conseguenza individuare i punti critici che possono influenzare favorevolmente la prognosi di questa malattia ortopedica.

In questo studio sono stati inclusi tutti i cavalli trattati per una frattura del navicolare tra il 2005 e il 2017 presso la Pferdeklinik, Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich (Clinica Equina, della Facoltà di Medicina Veterinaria, dell'Università di Zurigo). La gravità della zoppia all'esame iniziale, la valutazione radiografica, la conformation dello zoccolo, il trattamento (conservativo o chirurgico), le complicazioni e l'esito sono stati determinati dalle cartelle cliniche. Il trattamento conservativo e chirurgico consisteva in riposo nel box, un programma di esercizi controllati e una ferratura ortopedica terapeutica. Durante il trattamento chirurgico, è stata anche eseguita la riduzione della frattura con una vite corticale. La chirurgia assistita da computer è stata utilizzata in cinque cavalli e la tomografia computerizzata in tre cavalli. Gli esami di follow-up includevano esami clinici e radiografici. L'esito è stato diviso in tre categorie: 1 = molto buono; 2 = buono; 3 = scadente.

Dodici cavalli soddisfacevano i criteri di inclusione; quattro cavalli sono stati trattati in modo conservativo e otto sono stati trattati chirurgicamente. Dopo il trattamento conservativo, due cavalli (50%) hanno avuto un esito molto buono e due (50%) hanno avuto un buon esito. Dopo il trattamento chirurgico, quattro cavalli (50%) hanno avuto un esito molto buono e quattro (50%) hanno avuto un esito scadente. Complessivamente, il 67% dei cavalli ha avuto un esito molto buono o buono, anche se segni radiografici di guarigione ossea non erano presenti in nessuno di questi casi. Diverse complicazioni sono state identificate, come la rottura di una vite, la frammentazione del piccolo frammento osseo del navicolare, lo sviluppo di osteoartrosi nell'articolazione interfalangea distale e la progressione della navicolite.

Questo studio dimostra come la prognosi delle fratture del navicolare è generalmente cauta e che i cambiamenti degenerativi dell'apparato navicolare peggiorano la prognosi. Nel presente studio, il trattamento chirurgico non ha migliorato la prognosi delle fratture del navicolare nonostante l'uso intrachirurgico dell'immagine tridimensionale. Tuttavia, progressi tecnici potrebbero ridurre il tasso di complicazioni in futuro.

Parole chiave: immagine tridimensionale, ferratura correttiva, osteosintesi, cavallo, frattura del navicolare

Strahlbein-Frakturen beim Pferd: Prognose nach konservativer und chirurgischer Therapie

G. Stucki, A. E. Fürst, M. A. Jackson

Strahlbein-Frakturen
beim Pferd: Prognose
nach konservativer und
chirurgischer Therapie

G. Stucki, A. E. Fürst,
M. A. Jackson

Literaturnachweis

- 1 AAEP. Definition and classification of lameness. In: Guide for Veterinary Service and Judging of Equestrian Events. 4th ed. American Association of Equine Practitioners Office, 1991: 19.
- 2 Arnbjerg J. Spontaneous Fracture of the Navicular Bone in the Horse. *Nordisk Veterinær Medicin*. 1979; 31: 429–435.
- 3 Butler JA, Colles CM, Dyson SJ, Kold SE and Poulos PW. The Foot. In: *Clinical Radiology of the Horse*, Blackwell W, 5th ed. 2017: 55–147.
- 4 Colles CM. Navicular bone fractures in the horse. *Equine Vet Educ*. 2011; 23: 255–261. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3292.2011.00228.x>
- 5 de Preux M, Klopfenstein Bregger MD, Brunisholz HP, Van der Vekens E, Schweizer-Gorgas D and Koch C. Clinical use of computer-assisted orthopedic surgery in horses. *Vet Surg*. 2020; 49: 1075–1087. <https://doi.org/10.1111/vsu.13486>
- 6 Denoix JM. Functional anatomy of the equine interphalangeal joints. *Proc. Am. Ass. equine Practnrs*. 1999.
- 7 Dyson S. Radiological interpretation of the navicular bone. *Equine Vet Educ*. 2011; 23: 73–87. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3292.2010.00168.x>
- 8 Eggleston RB, Baxter, GM, Belknap J, Parks A, Dern K, Watts AE, Brokken M., Ortved KF and Bertone AL. Lameness of the Distal Limb. In: Adams and Stashak's Lameness in Horses, Baxter G, 7th Edition, Wiley, 2020. <https://doi.org/10.1002/9781119276715.ch4>
- 9 Fürst AE, Lischer CJ. The Foot. In: *Equine Surgery*, Auer, Stick, Kümmerle & Prange, 5th ed.; St. Louis, MO, Saunders Elsevier, 2019: 1543–1586.
- 10 Gasiorowski JC, Richardson DW. Clinical use of computed tomography and surface markers to assist internal fixation within the equine hoof. *Vet Surg*. 2015; 44: 214–222. <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2014.12253.x>
- 11 Gygas D, Lischer C, Auer JA. Computer-assisted surgery for screw insertion into the distal sesamoid bone in horses: An in vitro study. *Vet Surg*. 2006; 35: 626–633. <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2006.00200.x>
- 12 Heer C, Fürst AE, Del Chicca F, and Jackson MA. Comparison of 3D-assisted surgery and conservative methods for treatment of type III fractures of the distal phalanx in horses. *Equine Vet Educ*. 2020; 32: 42–55. <https://doi.org/10.1111/eve.13232>
- 13 Hertsch B, Königsmann D. Die Sagittalfrakturen des Strahlbeines beim Pferd – ein Beitrag zur Diagnose und Therapie. *Pferdeheilkunde* 1993; 3–13.
- 14 Lillich JD, Ruggles AJ, Gabel AA, Bramlage LR and Schneider RK. Fracture of the distal sesamoid bone in horses: 17 cases (1982–1992). *J Am Vet Med Assoc*. 1995; 207: 924–927.
- 15 Mampe JR, Tatarniuk DM, Suarez-Fuentes DG and Kraus KH. Comparative Stiffness of an Equine Distal Sesamoid Bone Fracture Model Stabilized with 3,5-mm versus 4,5-mm Cortical Bone Screws in Lag Fashion. *Vet Comp Orthop and Traumatol*. 2019; 32: 440–446. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1692979>
- 16 Nemeth F, Dik KJ. Lag screw fixation of sagittal navicular bone fractures in five horses. *Equine Vet J*. 1985; 17: 137–139. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1985.tb02069.x>
- 17 Perrin R, Launois T, Brogniez L, Desbrosse FG, Coomer RP, Clegg PD, Reda AA, Gehin SG and Vandeweerd JM. Computed Tomography to Identify Preoperative Guidelines for Internal Fixation of the Distal Sesamoid Bone in Horses: An In Vitro Study. *Vet Surg*. 2010; 39: 1030–1036. <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2010.00749.x>
- 18 Rick MC. Navicular bone fractures. In: *Current practice of equine surgery*, White NA, Moore JN, Philadelphia, Lippincott, 1990: 602–605.
- 19 Schramme MC and Smith RK. Fractures of the Navicular Bone. In: *Equine Fracture Repair*, Nixon AJ, 2nd ed. 2019: 242–256. <https://doi.org/10.1002/9781119108757.ch15>
- 20 Schwarz CS, Rudolph T, Kowal JH, Auer JA. Introduction of 3,5 mm and 4,5 mm cortex screws into the equine distal sesamoid bone with the help of the VetGate Computer Assisted Surgery Systems and comparison of the results with the previously reported ones, acquired with the SurgiGATE 1.0 System – an in vitro study. *Pferdeheilkunde*. 2017; 33: 223–230. DOI 10.21836/PEM20170302.
- 21 Wintzer HJ, Dämmrich K. Über Strahlbeinfrakturen beim Pferd. *Schweiz Arch Tierheilkd*. 1997; 109: 487–496.
- 22 Wyn-Jones G. Fractures of the navicular bone. In: *Equine Lameness*. Oxford, Blackwell Scientific Publications. 1988: 241–245.
- 23 van der Zaag EJ, Weerts EA, van den Belt AJ and Back W. Clinicopathological findings in horses with a bi- or tripartite navicular bone. *BMC Vet Research*. 2016; 12:74. <https://doi.org/10.1186/s12917-016-0698-4>

Korrespondenzadresse

Michelle Jackson, Dr. med. vet., Dipl. ECVS
Winterthurerstrasse 260
CH – 8057 Zürich
E-mail: mjackson@vetclinics.uzh.ch