

Vergleich der navigierten und konventionellen perkutanen Verschraubung undislozierter Kahnbeinfrakturen

Comparison between navigated and conventional percutaneous screw fixation of non-displaced scaphoid fractures

Autoren

Kukuh Aji Prabowo¹, Eric Lopatta^{1,3}, Mark Lenz², Reinhardt Friedel², Ivan Marintshev², Isabel Graul², Ulf Teichgräber¹

Institut

- 1 Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Universitätsklinikum Jena, Friedrich-Schiller-Universität, Jena
- 2 Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum Jena, Friedrich-Schiller-Universität, Jena
- 3 Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Thüringen-Kliniken Georgius Agricola Saalfeld

Schlüsselwörter

Frische undislozierte Kahnbeinfraktur, navigierte Schraubenfixierung, konventionell perkutane Verschraubung

Key words

Acute non-displaced scaphoid fractures, navigated screw fixation, conventional percutaneous screw fixation

eingereicht 18.09.2020

akzeptiert 20.09.2020

Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/a-1276-1364>
 Handchir Mikrochir Plast Chir 2021; 53: 47–54
 © 2021. Thieme. All rights reserved.
 Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,
 70469 Stuttgart, Germany
 ISSN 0722-1819

Korrespondenzadresse

Dr. med. Kukuh Aji Prabowo
 Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie (IDIR)
 Universitätsklinikum Jena
 Friedrich Schiller Universität Jena
 Am Klinikum 1
 07743 Jena
 Deutschland
 Tel.: 03641-9324831
 E-Mail: Kukuh.Prabowo@med.uni-jena.de

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund Fehlplatzierungen und unbeabsichtigte Penetrationen der Schraube bei Stabilisation von Kahnbeinfrakturen werden laut Literatur in 5 bis 30 % beobachtet. Eine Optimierung der Schraubenlage ist daher wünschenswert, zumal eine exakt zentrale Schraubenlage im proximalen Fragment eine deutlich höhere Steifigkeit ergibt als eine periphere Schraubenlage.

Patienten und Methoden Jeweils 18 Patienten mit frischen undislozierten Kahnbeinfrakturen wurden navigiert bzw. konventionell perkutan von dorsal verschraubt. Neben der Dauer der Operation wurde die applizierte Röntgenstrahlendosis erfasst. Die Schraubenlage wurde in beiden Gruppen mittels eines eigens entwickelten CT-Modus ausgewertet und verglichen. Klinisch konnten 17 Patienten mit navigierter und 11 mit konventionell perkutaner Verschraubung mit einem Durchschnittsalter von 52 resp. 43,2 Jahren unter Erfassung des Krimmer- und DASH-Scores nachuntersucht werden.

Ergebnisse Alle 36 Kahnbeine heilten zeitgerecht. In 2 Fällen musste die navigierte Versorgung abgebrochen und eine konventionelle Versorgung durchgeführt werden. Die durchschnittliche OP-Zeit bei der navigierten Gruppe (NAVI-Gruppe) betrug 83,2 Minuten, die der konventionellen Gruppe (KONV-Gruppe) 42,1 Minuten. Die notwendige Röntgenstrahlendosis war in der NAVI-Gruppe doppelt so hoch wie bei der KONV-Gruppe ($106,5 \pm 19,9 \text{ cGy/cm}^2$; $45,6 \pm 8,0 \text{ cGy/cm}^2$). Bei den konventionell perkutanen Verschraubungen wurde 5-mal ein Überstand der versenkbaren Kompressionsschraube (HCS), 4-mal distal ($2,27 \pm 1,47 \text{ mm}$), 1-mal proximal, beobachtet. Nachoperationen waren jedoch nicht erforderlich. Bei den navigierten Verschraubungen wurde 11 Schraubenüberstände registriert, in 4 Fällen proximal ($2,01 \pm 0,81 \text{ mm}$) und distal ($1,21 \pm 0,64 \text{ mm}$), 3-mal nur distal ($1,18 \pm 0,44 \text{ mm}$) und 4-mal nur proximal ($1,61 \pm 0,57 \text{ mm}$). Die Auswertung der axialen Schraubenlage im Dünnschicht-CT zeigte bei der konventionellen Gruppe bessere Ergebnisse. Der Krimmer-Score lag bei den 17 nachuntersuchten Patienten mit navigierter Versorgung bei 83,6 Punkte, der DASH-Score bei 5,6. Der Krimmer-Score der 11 nachuntersuchten konventionell versorgten Patienten lag bei 95 Punkten und der DASH-Score bei 8,0.

Schlussfolgerung Die navigierte Verschraubung frischer undislozierter Kahnbeinfrakturen zeigte in dieser Studie weder bzgl. der Schraubenlage, der Penetration der Schrauben noch der klinischen Ergebnisse Vorteile gegenüber der konventionell perkutanen Technik.

ABSTRACT

Background Incorrect screw placement and penetration in screw fixation of scaphoid fractures are found in 5 to 30 %. Therefore, optimizing of screw placement is desirable, especially because an exact central position of the screw in the proximal fragment leads to a significant higher stability as a more peripheral position.

Patients and Methods 36 patients with an acute non-displaced scaphoid fracture were included in this randomized prospective study. 18 patients underwent navigated, the other 18 conventional percutaneous screw fixation of an acute non-displaced scaphoid fracture through a dorsal approach. Operation time and x-ray dose were measured. In both groups the position of the screw in the scaphoid was calculated on CT scans and compared with each other. Clinically, 17 patients with navigated and 11 with conventional percutaneous screw fixation with an average age of 52 resp. 43.2 years were available for follow-up examination including Krimmer- and DASH-score.

Results All scaphoids healed within an adequate time. Two cases of navigated screw fixation have been converted to conventional percutaneous screw fixation. The average operation time in the navigated group was 83.2 minutes, in the conventional group 42.1 minutes. X-ray dose measured $106,5 \pm 19,9 \text{cGy/cm}^2$ in the navigated group and $45,6 \pm 8,0 \text{cGy/cm}^2$ in the conventional group. Screw penetration using an intraosseous compression screw (HSC) was observed in 5 conventionally fixed scaphoids, 4 distally ($2,27 \pm 1,47 \text{ mm}$), 1 proximally. In the navigated group there were 11 screw penetrations, 4 proximally ($2,01 \pm 0,81 \text{ mm}$) and distally ($1,21 \pm 0,64 \text{ mm}$), 3 distally ($1,18 \pm 0,44 \text{ mm}$), and 4 proximally ($1,61 \pm 0,57 \text{ mm}$). Axial screw position was more accurate in the conventional group. The 17 navigated patients averaged a Krimmer-Score of 83.6 and a DASH-score of 5,6 points at follow-up. The 11 conventional treated patients averaged a Krimmer-Score of 95 and a DASH-score of 8.0 points at follow-up.

Conclusion In this study navigated screw fixation of acute non-displaced scaphoid fractures was not superior to conventional percutaneous screw fixation, neither for screw position, screw penetration nor with respect to the clinical outcome.

Einleitung

Die operative Versorgung frischer, nicht-dislozierter Kahnbeinfrakturen mittels vollkommen intraossär liegender Schrauben in minimal-invasiver Technik hat sich als Alternative zur konservativen Behandlung bewährt. Dabei kann die Schraube je nach Frakturtyp orthograd oder retrograd eingebracht werden. Biomechanische Untersuchungen belegen, dass die Schraubenlage im Kahnbein als solche, aber auch in Relation zum Frakturverlauf Auswirkungen auf die Stabilität der Versorgung hat [1–3]. Andererseits stellen Schraubenfehlplatzierungen sowie in das Radioskopoidal- und/oder Skaphotrapezoidal-gelenk überstehende Schrauben mit 5–30 % ein ernstzunehmendes Problem dar [4, 5].

Mit der Absicht, Schraubenposition und -länge zu optimieren, führte Liverneaux bereits 2005 2D-navigierte Kahnbeinverschraubungen an Leichenpräparaten durch [6]. Unter Verwendung einer röntgenstrahlendurchlässigen Schiene zur standardisierten Lagerung der Hand und des Handgelenkes (Chiroblock) und des C-Bogen gestützten Navigationssystems „Vector Vision“ von Brainlab brachte er dabei eine kanülierte Schraube ins Kahnbein ein. Das Verfahren wurde damals für den klinischen Einsatz als noch zu unausgereift eingeschätzt. Die Studie zeigte jedoch klar, dass es zwingend einer reproduzierbaren, standardisierten Lagerung von Hand und Handgelenk für eine navigierte Verschraubung des Kahnbeins bedarf.

Kendoff und Mitarb. veröffentlichten 2007 ihre Erfahrungen im Rahmen einer navigierten Verschraubung des Kahnbeins an 5 formalinfixierten, nicht-frakturierten Leichenpräparaten mit einer röntgenstrahlendurchlässigen, gassterilisierbaren Lagerungsschiene aus Polysulfon (Scaph Splint), die nicht nur eine absolut sichere Fixierung von Hand und Unterarm, sondern auch eines Referenzmarkers erlaubte und so die navigierte Verschraubung erleichterte [7].

Catalan-Lehnen und Mitarb. verglichen 2- und 3D-Navigation bei der Verschraubung des Kahnbeins von dorsal in einer Unter-

suchung an jeweils 4 Leichenpräparaten unter Verwendung einer eigens hierfür entwickelten Lagerungsschiene für das Handgelenk [8]. Die 3D-Navigation bedurfte längerer Durchleuchtungszeiten und war – so die Autoren – „schwieriger zu interpretieren“, führte jedoch zu einer präziseren Schraubenlage.

Walsh und Mitarb. verglichen die konventionelle palmare Kahnbeinverschraubung mit der computerassistierten Technik (CAS) an 10 Leichenpräparaten bezüglich Operationszeit, Röntgenzeit und Anzahl der Bohrversuche zur korrekten Platzierung der Führungsk-Drähte [9]. Röntgenzeit und Anzahl der Bohrversuche für den Führungsdraht waren in der CAS-Gruppe signifikant niedriger als in der Gruppe mit konventioneller Verschraubung.

Zur Optimierung der Schraubenlage bei Verschraubung frischer, undislozierter Kahnbeinfrakturen begannen wir 2008 mit der navigierten Kahnbeinverschraubung [10]. Nach Voruntersuchungen an Leichenpräparaten mit anfangs 2D- und dann 3D-Navigation, Entwicklung eines CT-Modus zur Auswertung der Schraubenlage im Kahnbein sowie einer röntgenstrahlendurchlässigen artefaktfreien Schiene mit integriertem Referenzmarker zur Lagerung der Hand und des Handgelenkes erfolgte eine prospektive Studie.

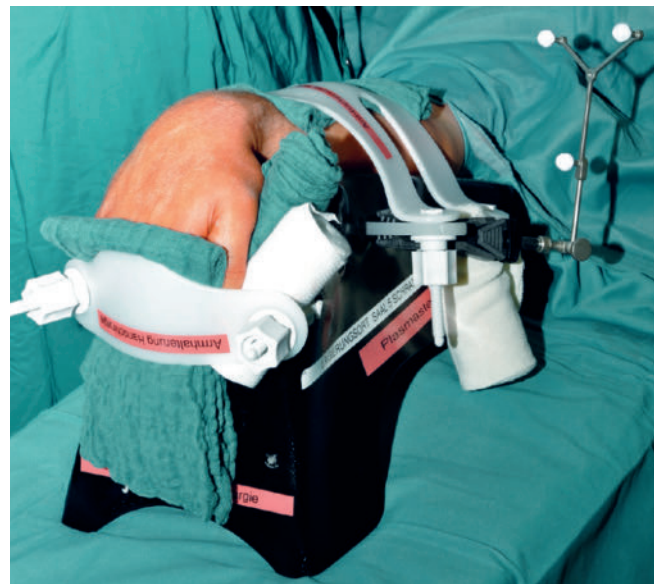
Ziel der Studie ist der Vergleich der navigierten mit der konventionell perkutanen Verschraubung frischer undislozierter Kahnbeinfrakturen von dorsal.

Patienten und Methoden

Zwischen 5/2008 und 6/2016 wurden insgesamt 36 Patienten in die Studie eingeschlossen. Bei 18 Patienten (15 Männer und 3 Frauen) mit einem Durchschnittsalter von 35,9 Jahren erfolgte eine navigierte Verschraubung, davon anfänglich 4-mal mittels 2D-Navigation unter Verwendung des Navigationssystems Cart II von Stryker und einer Twin-Fix-Schraube und danach unter Einsatz des 3D-Na-

► **Tab. 1** Vergleich der operierten Patienten beider Gruppen bzgl. Alter, Geschlecht, Skaphoidlänge, verwendeter Schraube, Operations- und Röntgenzeit sowie Röntgenstrahlendosis. Angaben Alter, Skaphoid- und Schraubenlänge, Länge Op- und Röntgenzeit sowie Röntgenstrahlendosis als Mittelwerte \pm Standarddeviation.

	NAVI	KONV	p-Wert
Patienten	18	18	
Alter bei Op (Jahre)	35,9 \pm 1,4	36,1 \pm 1,2	n. s.
Geschlecht (m/w)	15/3	16/2	n. s.
Skaphoidlänge (mm)	20,7 \pm 0,5	22,8 \pm 0,6	0,046
Schraubenlänge (mm)	19,8 \pm 0,5	19,6 \pm 0,6	n. s.
Schraubentyp			
HCS	14	15	
TwinFix	4	0	
Boldschraube	0	2	
Magnesiumschraube	0	1	
Operationsdauer (Min.)	83,3 \pm 8,6	42,2 \pm 10,2	<0,0001
Röntgenzeit (Min.)	2,1 \pm 0,3	1,1 \pm 0,1	0,014
Röntgenstrahlendosis/ cGy/cm ²	106,5 \pm 19,9	45,6 \pm 8,0	0,016



► **Abb. 1** Röntgenstrahldurchlässige, gassterilisierbare und artefaktfreie Universalschiene mit integriertem Tracker zur navigierten Verschraubung von Frakturen des rechten und linken Kahnbeins von palmar und dorsal, hier zur Verschraubung einer Fraktur des rechten Kahnbeins von dorsal.

vigationssystem von Brain-LAP „Vector Vision“ mit der Traumasoftware 2.6 und dem Iso-C-3D-Bildwandler und einer HCS-Schraube. Grund für den Wechsel zur 3D-Navigation war der Umstand, dass sich damit eine bessere Schraubenlage erzielen ließ. Bei den 18 konventionell perkutan versorgten Patienten handelte es sich um 16 Männer und 2 Frauen mit einem Durchschnittsalter von 36,1 Jahren (► **Tab. 1**). In dieser Gruppe wurde 15-mal eine HCS-Schraube, 2-mal eine Boldschraube und 1-mal eine Magnesiumschraube verwendet.

Operationstechnik der 3D-navigierten Verschraubung

Der Eingriff erfolgt in Allgemeinnarkose und Rückenlage mit Auslagerung des zu operierenden Armes auf einem Handtisch. Hand und Handgelenk werden nach der Desinfektion auf der sterilen (gassterilisierbar), röntgendurchlässigen Universalschiene mit integriertem Tracker in Flexion und Ulnarduktion straff fixiert (► **Abb. 1**).

Neben der Universalschiene mit integriertem Referenzmarker (RM) kommen folgende Instrumente/Geräte für die Navigation zum Einsatz (► **Abb. 2**):

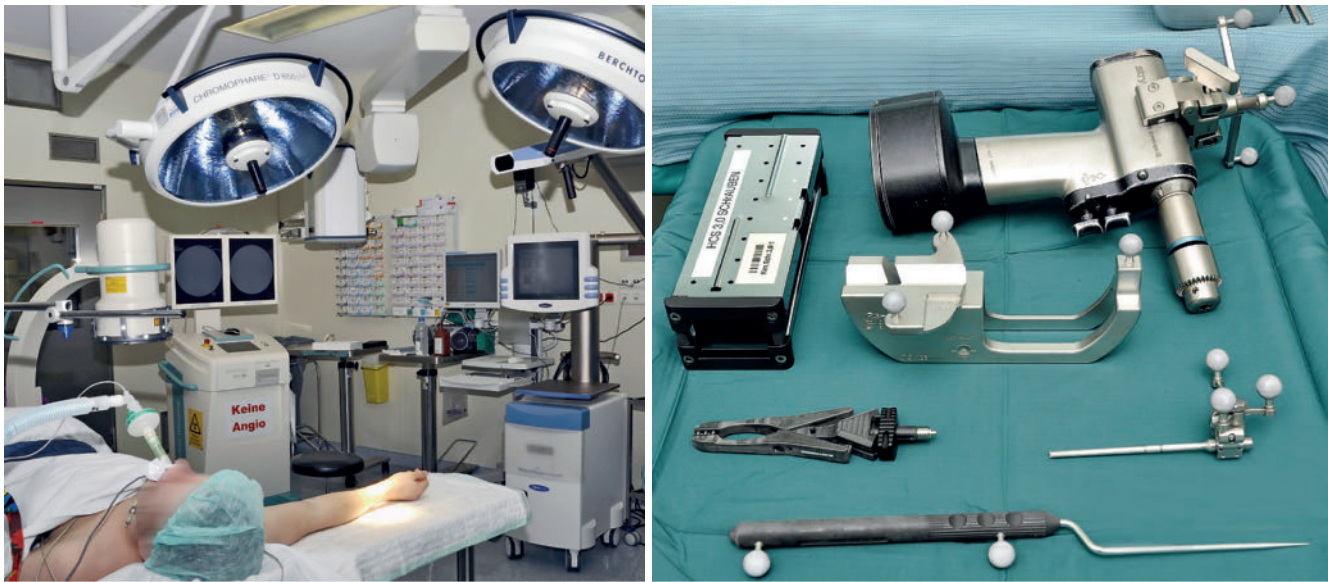
- Bohrmaschine mit Referenzmarker von Stryker
- navigierte Bohrhülse für den Führungsdraht (K-Draht) der HCS-Schraube
- Kalibriertool
- Pointer
- Iso-C-3D-Bildwandler mit Referenzmarker
- Navigationssystem „Vector Vision“ mit Traumasoftware 2.6

Nach Zentrierung des 3D-Bildwandlers und Kollisionsscheck wird ein 136-Grad-Scan mit 110 Bildern vom Kahnbein gefahren. Die dafür erforderliche Röntgenzeit liegt bei ca. 2 Minuten, die Röntgendosis bei ca. 55 cGy/cm². Anschließend werden die Scan-Da-

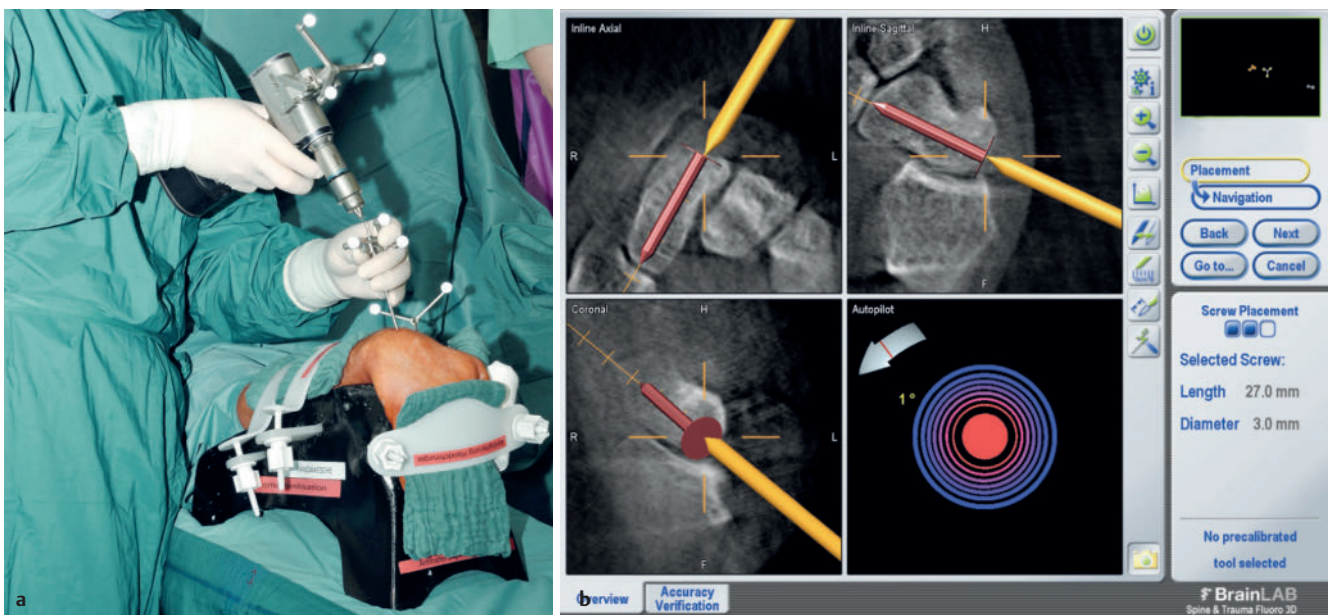
ten an das Navigationssystem übertragen. Es erfolgt nun die Kalibrierung der Bohrhülse. Mit Hilfe der axialen, sagittalen und koronalen Schnitte des Kahnbeins wird die Lage der Schrauben mit der Touchscreenfunktion am Bildschirm geplant und deren Länge festgelegt. Durch ein „Feintuning“ lassen sich Schraubenlage und -länge solange verändern, bis die dem Operateur optimal erscheinenden Einstellungen erreicht sind. Allerdings entspricht die virtuelle Schraubenlage nur dann der späteren realen Schraubenlage, wenn keinerlei Relativbewegungen zwischen Kahnbein und Referenzmarker entstanden sind und die Daten korrekt übernommen wurden. Mit dem Pointer wird nun die Einbringungsstelle der Schraube festgelegt und die Inzision durchgeführt. Entsprechend der Anweisungen des Autopiloten erfolgt mit der navigierten Bohrhülse eine Zentrierung in allen 3 Raumebenen. Sind die Ringe konzentrisch eingestellt, ist die optimale Situation für das Einbohren des Führungsdrahtes gegeben (► **Abb. 3a** und ► **Abb. 3b**). Auch hier ergeben sich noch Fehlermöglichkeiten durch Relativbewegungen der Führungshülse. Nach Einbringen des K-Drahtes wird ein zweiter Scan mit dem C-Arm durchgeführt, um eine eventuelle Fehllage auszuschließen. Anschließend erfolgt das Einbringen der HCS-Schraube mit nachfolgendem 3D-Scan zur Kontrolle der endgültigen Schraubenlage und -länge.

Auswertung der Schraubenlage mittels Computertomographie (CT)

Bei allen 36 Patienten erfolgte am 1. postoperativen Tag die Auswertung der Schraubenlage und -länge mittels Dünnschicht-CT unter Verwendung eines speziell hierfür entwickelten Protokolls. Dazu wird das Kahnbein mit einer axialen Schnittführung in 10 axialen Schnitten untersucht. Auf jedem dieser 10 Schnitte wird der virtuelle Mittelpunkt des Kahnbeins wie folgt bestimmt (► **Abb. 4a** und ► **Abb. 4b**):



► **Abb. 2** Für die 3D-Navigation benötigtes Equipment: Iso-C-3D-Bildwandler mit Referenzmarker, Navigationssystem „Vector Vision“, Kalibrier-tool, Bohrmaschine mit Referenzmarker, navigierte Bohrhülse für den Führungsdraht (K-Draht) der Kahnbeinschraube.

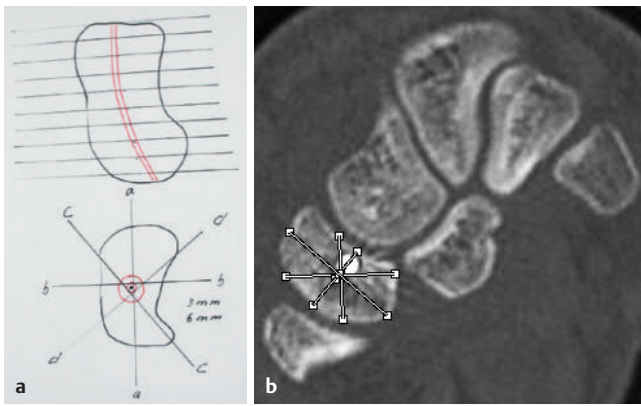


► **Abb. 3** Einbringen des K-Drahtes durch die navigierte Hülse entsprechend der geplanten Schraubenlage im Kahnbein: **a** intraoperative Situation, **b** Darstellung am Iso-C-3D-Bildwandler: Entsprechend der Anweisungen des Autopiloten erfolgt mit der navigierten Bohrhülse eine Zentrierung in allen 3 Raumbenen. Sind die Ringe konzentrisch eingestellt, ist die optimale Situation für das Einbohren des Führungsdrahtes gegeben.

1. Eine Achse aa wird möglichst mittig in der größten Längenausdehnung des Schnittes eingezeichnet.
2. Senkrecht und als Halbierende zu dieser Achse wird eine zweite Achse bb eingezeichnet.
3. In den Schnittpunkt der beiden Achsen aa und bb werden 2 Winkelhalbierende im 45° Winkel (cc und dd) eingezeichnet und so lange verschoben, bis sie die äußere Kortikalis des Kahnbeins im jeweiligen Sektor in zwei gleiche Teile teilen, wobei ihr Schnittpunkt nicht auf einer der beiden Hauptachsen liegen muss.

4. Der virtuelle Mittelpunkt des Kahnbeines wird als der Punkt definiert, der möglichst nahe zu allen Achsen liegt.

Als „optimal“ wird die Schraubenlage gewertet, wenn der Anschnitt der Schraube in einem Kreis mit einem Radius von 1,5 mm um den virtuellen Mittelpunkt liegt. Liegt der Anschnitt der Schraube zwischen 1,5 und 3 mm vom virtuellen Mittelpunkt des Kahnbeins entfernt, wird dies als „gute“ Lage gewertet. Bei größerem Abstand vom virtuellen Mittelpunkt wird das Ergebnis als „schlecht“ eingestuft.



► **Abb. 4** a Bestimmung des virtuellen Mittelpunktes des Kahnbeins in 10 axialen Schichten. b Überprüfung der Schraubenlage im Verhältnis zum virtuellen Mittelpunkt des Kahnbeins im CT mit axialer Schnittführung in Dünnschichttechnik. Der Schraubenrand liegt im Beispiel 1 mm vom virtuellen Mittelpunkt entfernt; die Schraubenlage ist damit optimal.

Neben der radiologischen Auswertung erfolgte eine klinische Nachuntersuchung. 17 der 18 Patienten (16 Männer und eine Frau) mit einem Durchschnittsalter von 52 (21–64) Jahren konnten im Mittel 2 Jahre postoperativ nachuntersucht werden. Neun Männer und 2 Frauen mit einem Durchschnittsalter von 43,2 (19–81) Jahren mit konventionell perkutaner Verschraubung konnten im Mittel 2,5 Jahre postoperativ nachuntersucht werden (► **Tab. 1**). Gemäß der Klassifikation von Krimmer und Mitarb. [11] fanden sich in der navigierten Gruppe eine A2-Fraktur, eine B1-, 12 B2- und 3 B3-Frakturen. In der konventionellen Gruppe fanden sich 3 A2-, 2 B1, 4 B2- und 2 B3-Frakturen. Bei der Nachuntersuchung wurden der Krimmer- sowie der DASH-Score erfasst.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm SPSS Statistics V26. P-Werte $\leq 0,05$ wurden als signifikant gewertet.

Ergebnisse

Bei 2 Patienten musste die navigierte Kahnbeinverschraubung abgebrochen werden und wurde konventionell perkutan beendet. Bei Beschwerden infolge eines Schraubenüberstandes war bei 2 Patienten mit navigierter Versorgung trotz knöcherner Heilung des Kahnbeines die Entfernung der eingebrachten Schraube erforderlich.

CT-Auswertung

► **Tab. 2** und ► **Abb. 5** zeigen die Distanz zwischen dem virtuellen Mittelpunkt des Kahnbeins in den 10 axialen Schichten und dem Rand der eingebrachten Schrauben. In der Gruppe (NAVI-Gruppe) mit navigierter Verschraubung war in allen Schichten der Abstand zwischen virtuellem Mittelpunkt und Schraubenrand größer als in der Gruppe mit konventioneller Verschraubung (KONV-Gruppe). Allerdings fand sich lediglich in Schicht 2 ein signifikanter Unterschied mit $p = 0,02$.

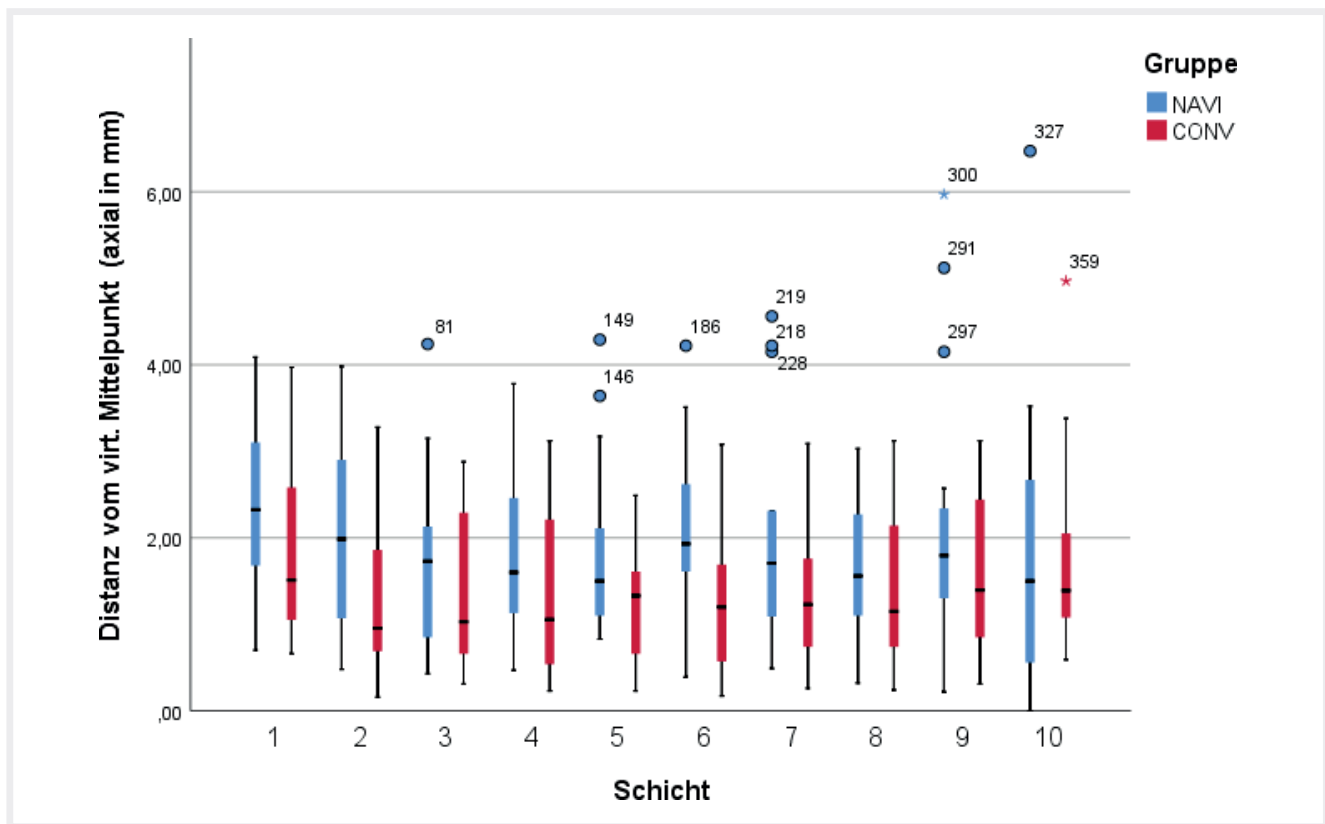
► **Tab. 3** fasst die Bewertung der Lage der jeweils 18 Schrauben in Relation zum virtuellen Mittelpunkt des Kahnbeins in den 10 axialen Schichten zusammen. Bei der navigierten Verschraubung konnte 76-mal eine optimale Schraubenlage und 75-mal eine gute

► **Tab. 2** Vergleich der Distanz zwischen virtuellem Mittelpunkt in 10 axialen Schichten des Kahnbeins und dem Schraubenrand (Mittelwerte \pm Standarddeviation) zwischen den beiden Gruppen. In allen Schichten lagen die konventionell eingebrachten Schrauben näher zum virtuellen Kahnbeinmittlepunkt. Der Unterschied war jedoch nur in Schicht 2 signifikant.

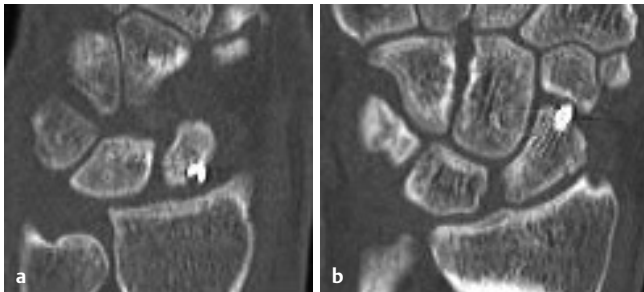
Schicht	NAVI	KONV	p-Wert
1	2,36 \pm 0,23	1,85 \pm 0,25	0,1
2	1,98 \pm 0,24	1,26 \pm 0,18	0,02
3	1,68 \pm 0,24	1,36 \pm 0,21	0,33
4	1,79 \pm 0,19	1,37 \pm 0,22	0,13
5	1,83 \pm 0,24	1,2 \pm 0,14	0,08
6	2,02 \pm 0,22	1,25 \pm 0,18	0,18
7	1,94 \pm 0,28	1,35 \pm 0,20	0,09
8	1,57 \pm 0,18	1,42 \pm 0,20	0,52
9	2,11 \pm 0,36	1,56 \pm 0,21	0,42
10	1,85 \pm 0,37	1,72 \pm 0,26	0,96

► **Tab 3** Vergleich der Schraubenlage in Relation zum virtuellen Mittelpunkt des Kahnbeins zwischen den beiden Gruppen in den 10 axialen Schichten im CT (optimal = Anschnitt der Schraube $\leq 1,5$ mm vom virtuellen Mittelpunkt; gut = Anschnitt der Schraube zwischen 1,5 und 3,0 mm vom virtuellen Mittelpunkt; schlecht = Anschnitt der Schraube $\geq 3,0$ mm vom virtuellen Mittelpunkt).

Schicht	Gruppe	optimal	gut	schlecht	total
1	NAVI	4	9	5	18
	KONV	10	5	3	18
2	NAVI	8	6	4	18
	KONV	12	5	1	18
3	NAVI	8	8	2	18
	KONV	10	8	0	18
4	NAVI	9	8	1	18
	KONV	11	6	1	18
5	NAVI	9	6	3	18
	KONV	13	4	1	18
6	NAVI	4	11	3	18
	KONV	12	5	1	18
7	NAVI	9	6	3	18
	KONV	12	4	2	18
8	NAVI	9	8	1	18
	KONV	10	6	2	18
9	NAVI	7	8	3	18
	KONV	10	6	2	18
10	NAVI	9	5	4	18
	KONV	12	3	3	18
Total	NAVI	76	75	29	180
	KONV	112	52	16	180



► **Abb. 5** Vergleich der beiden Gruppen bezüglich der Distanz zwischen virtuellem Kahnbeinmittelpunkt und Rand der Schraube.



► **Abb. 6** Proximaler (a) und distaler (b) Schraubenüberstand nach navigierter Verschraubung einer B2-Fraktur. Schraubenentfernung aufgrund von Beschwerden trotz knöcherner Heilung erforderlich.

Schraubenlage erzielt werden. 29-mal wurde die Schraubenlage als „schlecht“ eingestuft. Bei der konventionellen Verschraubung konnte 112-mal eine optimale Schraubenlage und 52-mal eine gute Schraubenlage erzielt werden. 16-mal wurde die Schraubenlage als „schlecht“ eingestuft.

Von den 18 navigiert versorgten Patienten wiesen 4 Patienten proximal ($2,01 \pm 0,81$ mm) und distal ($1,21 \pm 0,64$ mm) einen Schraubenüberstand (► **Abb. 6a** und ► **Abb. 6b**), 4 Patienten lediglich einen proximalen ($1,61 \pm 0,57$ mm) und 3 Patienten lediglich einen distalen Überstand ($1,18 \pm 0,44$ mm) auf. Demgegenüber fand sich bei den 18 Patienten mit konventioneller Kahnbeinverschraubung nur 4-mal ein distaler ($2,27 \pm 1,47$ mm) und einmal ein proximaler Schraubenüberstand im CT.

► **Tab. 4** Anzahl, Geschlecht, Frakturtyp sowie Krimmer- und DASH-Score der nachuntersuchten Patienten.

	NAVI	KONV
Patienten	17	11
Durchschnittsalter	52	43
Geschlecht (m/w)	16/1	9/2
Frakturtypen		
A2	1	3
B1	1	2
B2	12	4
B3	3	2
Krimmer-Score	83,6	95
DASH-Score	5,7	8

Operationszeit, Durchleuchtungszeit, Röntgenstrahlenendosis

Operations- und Durchleuchtungszeit waren in der NAVI-Gruppe signifikant länger als in der KONV-Gruppe, die Röntgenstrahlenendosis signifikant erhöht (► **Tab. 4**). In der NAVI-Gruppe betrug die durchschnittliche Op-Zeit $83,3 \pm 8,6$ Minuten, wohingegen in der KONV-Gruppe lediglich $42,2 \pm 10,2$ Minuten benötigt wurden ($p < 0,05$). Die durchschnittliche applizierte Röntgenstrahlenendosis lag in der navigierten Gruppe bei $106,5 \pm 19,9$ cGy/cm²,

in der konventionellen Gruppe lediglich bei $45,6 \pm 8,0$ cGy/cm² ($p = 0,016$).

Klinische Ergebnisse

Der Krimmer-Score der 17 nachuntersuchten Patienten mit Navigation lag durchschnittlich bei 83,6 Punkten, der DASH-Score bei 5,6. Die 11 nachuntersuchten Patienten mit konventionell perkutaner Verschraubung erzielten einen Krimmer-Score von 95 und einen DASH-Score von 8,0 Punkten.

Diskussion

Die vorliegende Studie hat zweifelsohne Defizite. So erfolgte ein Wechsel von der 2D- auf die 3D-Navigation. Auch wurden verschiedene Schraubensysteme verwendet. Bei einer Studiendauer von 8 Jahren wurden lediglich jeweils 18 Patienten in beiden Gruppen eingeschlossen, was vermuten lässt, dass sich zumindest bei der aufwändigen navigierten Kahnbeinverschraubung keine Routine im Ablauf einstellte. Alle diese Punkte mögen das Ergebnis der Studie negativ beeinflusst haben. Aus dem Umstand, dass es trotz aller Fortschritte in der navigierten Chirurgie, z. B. bei der navigierten Implantation einer Knieendoprothese, unseres Wissens bis dato kein käuflich zu erwerbendes Navigationssystem für die Verschraubung von Kahnbeinfrakturen gibt, lässt sich schließen, dass einerseits die navigierte Kahnbeinverschraubung weiterhin problembehaftet ist und andererseits die hier präsentierten Ergebnisse nicht ganz falsch sind.

Die freihändige Platzierung einer Skaphoidschraube unter Bildwandlerkontrolle ist aufgrund der komplexen dreidimensionalen Form und aufgrund der sowohl in der dorsopalmaren als auch ulnarradialen Ebene schrägen Lage des Kahnbeins im Karpus selbst bei undislozierten Frakturen auch für geübte Handchirurgen/Operateure eine Herausforderung. Bezeichnenderweise handelt es sich bei allen heute zur Fixierung einer Kahnbeinfraktur zur Verfügung stehenden Schrauben – selbst bei Mini- und Mikroschrauben – um Hohlschrauben, die über einen Führungsdraht eingebracht werden. Nicht selten sind mehrere Anläufe erforderlich bis der Führungsdraht korrekt/befriedigend platziert ist. Der Wunsch durch Navigation die Verschraubung von Kahnbeinbrüchen präziser zu machen, was Schraubenlage und -länge betrifft, ist vor diesem Hintergrund verständlich.

Als großes Problem bei der navigierten Verschraubung von Kahnbeinfrakturen kristallisierte sich von Beginn an die Notwendigkeit des Ausschaltens von auch nur kleinsten Relativbewegungen des Handgelenkes, genauer des Kahnbeins in Relation zu den navigierten Instrumenten heraus. Alle Arbeitsgruppen entwickelten deshalb spezielle Lagerungsschienen mit integrierten Referenzmarkern (RM) [5–9]. Nach den ersten Versuchen an Leichenarmen mit einer Thermoplastschiene und Klettbandverschlüssen war schnell klar, dass sich damit keine ausreichende Stabilisierung des Handgelenkes realisieren lässt, um Relativbewegungen zwischen Kahnbein und RM zu verhindern. Erst die Verwendung von Kunststoffschrauben und Platten zur Fixierung des Karpus gewährleistete die nötige und für die erforderliche Operationszeit andauernde Stabilität zwischen Kahnbein und RM. Die von uns entwickelte Universalschiene erlaubt eine entsprechende Fixierung zur Versorgung von rechten und linken Kahnbeinen von

palmar und dorsal, wobei in diese Studie ausschließlich Patienten eingeschlossen wurden, bei denen es eines dorsalen Zugangs bedurfte. Trotz der mit dieser Schiene sicher möglichen Fixierung der Hand und des Handgelenkes, verbleiben minimale Relativbewegungen, z. B. durch das stets vorhandene, wenn auch sehr kleine Spiel zwischen navigierter Bohrhülse und dem durch die Hülse einzubringenden Führungsdraht.

Dass sich trotz der stabilen Fixierung keine optimale Schraubenlage bei der navigierten Verschraubung erzielen ließ, ist aufgrund der minimal vorhandenen Relativbewegung zwischen Kahnbein und RM nachvollziehbar. Die deutlich höhere Anzahl an Schraubenpenetrationen – 11 in der navigierten, 5 in der konventionellen Gruppe – erklärt sich damit nicht.

Angesichts des Umstandes, dass Operations- und Durchleuchtungszeit bei navigierter Versorgung deutlich verlängert waren im Vergleich zur konventionellen Versorgung und die Röntgenstrahlenbelastung deutlich erhöht war, ist es mühsam nach Erklärungen zu suchen, wieso die navigierte Verschraubung der konventionellen Schraubenposition in dieser Studie unterlegen war. Mit 83,2 Minuten war die Operationsdauer in der NAVI-Gruppe nahezu doppelt so lang wie in der KONV-Gruppe mit 42,1 Minuten. Der Unterschied war signifikant ($<0,0001$). Die Röntgenzeit betrug bei den navigiert versorgten Patienten $2,1 \pm 0,31$ Minuten und war damit im Vergleich zur Röntgenzeit der konventionell perkutan versorgten Patienten mit $1,1 \pm 0,14$ Minuten signifikant ($p = 0,014$) verlängert. Auch war die Röntgenstrahlendosis mit $106,5 \pm 19,9$ cGy/cm² in der NAVI-Gruppe signifikant gegenüber der der KONV-Gruppe mit $45,5 \pm 8,0$ cGy/cm² ($p = 0,016$) erhöht.

Bei der Auswertung der Schraubenlage wurde der virtuelle Mittelpunkt des Kahnbeins in 10 axialen Schichten berücksichtigt. Die navigierte Verschraubung zeigte sich hierbei der konventionell perkutanen Verschraubung von dorsal nicht überlegen. Nicht berücksichtigt bei der Auswertung wurde der Frakturverlauf, respektive in welchem Winkel die Schraube die Fraktur kreuzt. Kreuzt die Schraube die Fraktur orthogonal, sind Steifigkeit und Festigkeit des Konstrukts aus Kahnbein und Schraube höher als wenn die Schraube in einem Winkel von 10 oder gar 20° zum Frakturverlauf eingebracht ist, wie Untersuchungen von McCallister und Mitarb. [1], aber auch eigene Untersuchungen [3] zeigen. Der Frakturverlauf ist unter Durchleuchtung schwierig zu visualisieren, mittels des 3D-CT-Scans bei der navigierten Verschraubung jedoch leicht zu erfassen. Durch Übertragung der entsprechenden Daten sollte es möglich sein, die Navigation so zu programmieren, dass die Schraube orthogonal zum Frakturverlauf eingebracht wird. Klinische Vorteile – schnellere Heilung, geringere Pseudarthrosenrate? – sind denkbar. Unter diesem Gesichtspunkt ist die navigierte Verschraubung von Kahnbeinfrakturen vielleicht doch nochmal eine Überlegung.

Schlussfolgerung

Die navigierte Verschraubung frischer undislozierter Kahnbeinfrakturen zeigte in dieser Studie weder bzgl. der Schraubenlage, der Penetration der Schrauben noch der klinischen Ergebnisse Vorteile gegenüber der konventionell perkutanen Technik.

Interessenkonflikt

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- [1] McCallister WV, Knigh J, Kaliappan R et al. Central placement of the screw in simulated fractures of the scaphoid waist: a biomechanical study. *J Bone Joint Surg Am* 2003; 85: 72–77
- [2] Dodds SD, Panjabi MM, Slade JF 3rd. Screw fixation of scaphoid fractures: A biomechanical assessment of screw length and screw augmentation. *J Hand Surgery Am* 2006; 31: 405–413
- [3] Graul I, Lindner R, Schettler N et al. Deviations in positioning variable pitch screws – scaphoid waist fractures. *Orthop Traumatol Surg Res* 2020; 106: 347–351
- [4] Adams BD, Blair WF, Reagen DS et al. Technical factors related to Herbert screw fixation *J Hand Surg Am* 1988; 13: 893–899
- [5] Herbert TJ, Fischer WE, Leicester AW. The Herbert bone screw: a ten years perspective. *J Hand Surg Br* 1992; 17: 415–419
- [6] Liverneaux P. Scaphoid percutaneous osteosynthesis by screw using computer assisted surgery: an experimental study. *Chir Main* 2005; 24: 169–173
- [7] Kendoff D, Citak R, Gardner M et al. Die navigierte Scaphoidschraube: Eine neue Indikation zur intraoperativen 3D-Navigation – eine Kadaverstudie. *Unfallchirurg* 2007; 9: 745–750
- [8] Catala-Lehnen P, Nüchtern J, Briem D et al. Comparison of 2 D and 3 D navigation techniques for percutaneous screw insertion into the scaphoid: Results of an experimental cadaver study. *Comput Aided Surg* 2011; 16: 280–287
- [9] Walsh E, Crisco JJ, Wolfe SW. Computer-assisted navigation of volar percutaneous scaphoid placement *J Hand Surg Am* 2009; 34: 1723–1728
- [10] Friedel R, Dönicke T, Kribus M et al. Die Entwicklung der navigierten Kahnbeinverschraubung. *Obere Extremität* 2011; 6: 45–51
- [11] Krimmer H, Schmitt R, Herbert T. Kahnbeinfrakturen – Diagnostik, Klassifikation und Therapie. *Der Unfallchirurg* 2000; 103: 812–819