Entwicklung der navigierten Versorgung von Kahnbeinfrakturen

Die operative Versorgung von frischen Kahnbeinfrakturen mit minimal-invasiver Technik zur Platzierung der verschiedenen Schraubensysteme hat sich allgemein durchgesetzt. Dabei kann die Schraube je nach Frakturtyp orthograd oder retrograd eingebracht werden. Fehlplatzierungsraten sowie unbeabsichtigte Penetration der Schraube durch den Knorpel werden in der Literatur mit 5–30% angegeben [1, 5]. Nach biomechanischen Studien von McCallister et al. [8] zeigt eine exakte zentrale Lage der Schraube im proximalen Fragment eine 43%ige höhere Steifigkeit im Vergleich zu einer peripheren Lage und bietet somit eindeutige biomechanische Vorteile. Unterstützt werden diese Daten durch biomechanische Arbeiten von Seth et al. [10]. Die perkutane Schraubenplatzierung erfordert in der Regel auch relativ lange Röntgenzeiten [2, 5], die durch die 2-D-Navigation signifikant reduziert werden können. Mithilfe der Navigation lässt sich eine hohe Präzision der Schraubenposition und Länge realisieren. Aus diesen Gründen hat Liverneaux [7] bereits 2005 am Kadaverpräparat eine 2-D-navigierte Kahnbeinverschraubung durchgeführt. Dabei konnte er mit einer röntgenstrahlendurchlässigen Handgelenkschiene (Chiroblock) unter Verwendung des C-Bogen-gestützten Navigationssystems VectorVision von Brainlab eine kanülierte Schraube einbringen. Die Methode wurde damals für den klinischen Einsatz noch als unausgereift eingestuft. Kendoff et al. [6] entwickelten eine röntgenstrahlendurchlässige, gassterilisierbare Lagerungsschiene aus Polysulfon

(„Scaph splint“), die eine sichere Fixation des Referenzmarkers (RM) ermöglichte. Mit der 3-D-Echtzeitbewegungsanalyse am Kadaverpräparat konnte die Messung der Relativbewegungen zwischen Marker und Os scaphoideum als tolerabel eingeschätzt werden. Ein Nachteil dieser Studie lag in der geringen Anzahl von nur 5 formalinfixierten, nichtfrakturierten Präparaten.

Catala-Lehnen et al. [3] stellten 2009 ihre Ergebnisse beim Deutschen Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie vor. Sie verglichen an jeweils 4 Kadaverpräparaten die 2-D- und 3-D-Navigation mit dem Navigationssystem VectorVision Fluoro 3D (Brainlab) und einer eigens dazu entwickelten Lagerungsschiene (PE, Thum & Wilharm). Der Vergleich zeigte, dass die 2-D-Technik einfacher und sicherer durchzuführen ist und im Literaturvergleich gegenüber der konventionellen Technik eine geringere Fehlplatzierungsrate erwarten lässt.

Walsch et al. [11] verglichen die konventionelle palmare Kahnbeinverschrau-

bung mit der computerassistierten Technik (CAS) an 10 Kadaverarmpaaren bezüglich Operationszeit, Röntgenzeit und Anzahl der Bohrversuche der K-Drähte. Dabei war es ihnen möglich, die Röntgenzeit und die Anzahl der Bohrversuche für den Führungsdraht in der CAS-Gruppe signifikant zu reduzieren.

Citak et al. [4] konnten erstmals bei einem 30-jährigen Patienten mit Kahnbeinfraktur, Os-hamatum-Fraktur und scapholunäre Dissoziation eine erfolgreiche 3-D-assistierte Kahnbeinverschraubung durchführen.

2-D-Navigation

Material und Methode

In einer ersten Phase sollte die Navigationsqualität an 10 frischen Oberarmkadaverpräparaten überprüft werden. Eine speziell angefertigte Arm-

Übernahme aus:
Obere Extremität (2011)6:45–51

Abb. 1 ► Speziell entwickelte Thermoplast-schiene mit integriertem Referenzmarker für die Kadaveruntersuchungen

Abb. 2 ▲ Equipment für die 2-D-Navigation an Kadaverarmen. *Links:* C-Bogen mit Tracker und Bohrmaschine. *Mitte:* Stryker Navigation System Cart II. *Rechts:* Kalibrierstation, Pointer, Spine Tracker

Abb. 3 ▲ Einbringen des K-Drahts anhand der 3 übertragenen Röntgenaufnahmen. *Links:* Mit dem Pointer wird die Einbringungsstelle markiert und der Verlauf in allen 3 Ebenen angezeigt. *Mitte:* Virtuelle Achse in den angefertigten 3 Röntgenbildern. *Rechts:* Einbohren des 1,5mm-K-Drahts für die TwinFix-Schraube mit navigierter Bohrhülse

Abb. 4 ▲ Postoperative Röntgenkontrolle der Schraubenlage in 3 Ebenen

schiene aus Thermoplast diente der rigiden Befestigung von RM und Kadaverarm (■ **Abb. 1**). Für diese Untersuchungen wurde mit Unterstützung der Fa. Stryker folgendes Equipment verwendet (■ **Abb. 2**):

- Stryker Navigation System Cart II
- Virtual Fluoroscopy 2.1

- NavLock-Adapter
- Universaltracker
- C-Bogen-Tracker
- Kalibrierstation
- Ringadapter für Bohrmaschine
- Pointer
- Anchoring Pins
- Spine Clamp

- TwinFix-Schrauben
- Navigierte Bohrhülse

Je 5 rechte und 5 linke Kadaverpräparate wurden ohne Fraktur navigiert versorgt. Mit dem Bildwandler wurden nach Validierung des Systems 3 Röntgenaufnahmen (a.-p., lateral, a.-p. mit 20° Neigung)

angefertigt und auf dem Bildschirm übernommen. Mit dem Pointer konnte die Eintrittsstelle der Schraube markiert und der Verlauf der einzubringenden Schraube angezeigt werden. Die entsprechende Bohrhülse wurde mit einer Kalibrierstation in die Navigation eingebunden. Dadurch war die zielgerichtete Bohrung für den K-Draht gewährleistet. In Kombination mit der navigierten Bohrhülse und der navigierten Bohrmaschine wurde der 1,5-mm-K-Draht eingebracht (■ Abb. 3).

Mit einer virtuellen Verlängerung der Bohrhülse oder des Bohrers wurde die Länge der einzubringenden Schraube millimetergenau bestimmt. Nach Einbringen der TwinFix-Schraube erfolgten die Röntgenkontrolle in 3 Ebenen (■ Abb. 4) sowie die Exstirpation der Kahnbeine zur Beurteilung eventueller Schraubenperforationen.

Die Qualität der Schraubenlage wurde mit einem Computertomogramm kontrolliert. Dazu wurden die Präparate mit einer axialen Schnittführung in Dünnschichttechnik [(0,62 mm/1,25 mm: Schichtdicke/Tischvorschub):10] untersucht.

Probleme ergaben sich in Bezug auf die jeweilige Festlegung des Mittelpunkts und der idealen Achse, da das Os scaphoideum einen in allen 3 Raumachsen unregelmäßig geformten und gekrümmten Körper darstellt. Demnach müsste die optimale Schraubenform einem leicht gekrümmten Kreisbogen folgen, was technisch nicht durchführbar ist. Aus dem Dünnschichtscan wurden zur Auswertung 1-mm-Schnitte reformatiert und in jedem der Schnitte wurde der virtuelle Mittelpunkt festgelegt. Aus jedem Präparat wurden 10 Schnitte ausgewählt, um die Lage der Schraube zum virtuellen Mittelpunkt zu bestimmen. Zur Beurteilung der mittennahen Lage in allen 3 Raumachsen wurde die Zahl der Schnitte mit einer Lage der Schraube in einem Kreis von 3 mm um den virtuellen Mittelpunkt gezählt. Als gute Lage wurde definiert, wenn der Anschnitt der Schraube in einem Kreisradius von 1,5 mm um den virtuellen Mittelpunkt lag (■ Abb. 5).

Trauma Berufskrankh 2012 · 14[Suppl 2]:157–163 DOI 10.1007/s10039-012-1855-z
© Springer-Verlag 2012

R. Friedel

Entwicklung der navigierten Versorgung von Kahnbeinfrakturen

Zusammenfassung

Die perkutane Verschraubung von nichtdislozierten Kahnbeinfrakturen bleibt trotz allgemeiner Verbreitung eine technische Herausforderung. Die operative Versorgung frischer nichtdislozierter Kahnbeinfrakturen wird bei jungen aktiven Patienten empfohlen, um die Heilung zu beschleunigen, eine frühe Mobilisation zu gewährleisten und die Nachteile der langen Gipsruhigstellung zu vermeiden. Die von uns entwickelte Kahnbeinuniversal-schiene ermöglicht eine komplette Immobilisation des Carpus sowie einen dorsalen und palmaren Zugang. Dies garantiert eine adäquate Stabilität des Referenzmarkers und

damit eine erfolgreiche 2-D/3-D-basierte navigierte Bohrung des K-Drahts und Insertion der Schraube in das Os scaphoideum. Biomechanische Studien, Kadaveruntersuchungen und erste klinische Resultate unterstreichen die Vorteile der computerassistierten Chirurgie (CAS) gegenüber der konventionellen perkutanen Platzierung der Schraube.

Schlüsselwörter

Kahnbein · Knochenschraube · Orthopädische Verfahren · Schiene · Computerassistierte Chirurgie

Development of computer-assisted surgery for scaphoid fractures

Abstract

Percutaneous screw fixation of nondisplaced scaphoid fractures has gained popularity but remains technically demanding. Internal fixation has been advocated in young active individuals with nondisplaced scaphoid fractures to accelerate healing, allow early wrist motion, and avoid the disadvantages with prolonged immobilization. Central placement of the screw in the proximal fragment of the scaphoid is associated with decreased time to union. The newly developed universal scaphoid splint results in complete immobilization of the wrist and allows either a dorsal or palmar surgical approach. The univer-

sal scaphoid splint offers adequate reference marker stability and successful 2D/3D-navigated fluoroscopic K-wire drilling and screw placement in the scaphoid bone. Biomechanical studies, cadaver investigations, and early clinical results support the advantages of computer-assisted surgery (CAS) compared to percutaneous screw placement.

Keywords

Scaphoid bone · Bone screws · Orthopedic procedures · Splint · Computer-assisted surgery

Ergebnisse

In keinem der 10 Kahnbeinverschraubungen kam es zur proximalen oder distalen Penetration der eingebrachten Schraube. Die Operationszeit konnte von 60 auf 10 min reduziert werden (■ Abb. 6). Die durchschnittlich erforderliche Röntgenzeit für die 3 Aufnahmen lag mit 26 s deutlich unter der notwendigen Röntgenzeit bei 40 Patienten mit konventionellen Verschraubungen (98 s). Geht man von der Reihenfolge der Operationen von 1 bis 10 aus, bildet das Ergebnis eine steile Lernkurve des Operateurs ab. Ab der 6. Operation ist festzustellen, dass eine gute Lage der Schraube erreicht wurde. Bei den Präparaten 9 und 10 gelang eine ideale Schraubenposition (■ Abb. 7).

Klinische Anwendung der Kahnbeinnavigation

Die Ergebnisse der Kadaverstudie ermunterten uns zur klinischen Anwendung der Navigation bei nichtdislozierten frischen Kahnbeinfrakturen der Klassifikation Blund B2. Die für die Kadaverstudie verwendete Fixierungsschiene mit Klettverschlüssen war für die klinische Anwendung nicht geeignet. Deshalb wurde eine neue Universal-schiene für die Versorgung der rechten und linken Hand sowie für die Möglichkeit des dorsalen oder palmaren Zugangs entwickelt (■ Abb. 8). Kendoff et al. [6] hatten 2007 nachweisen können, dass mit einer solchen Lage-rungsschiene ohne invasive Fixation des RM eine exakte Platzierung der Schraube

Abb. 5 ▲ Auswertung der Dünnschicht-CT bezüglich der Schraubenqualität. *Links:* Reformation von 1-mm-Schichten aus dem Dünnschicht-CT (Schema). *Rechts:* Messung der Abweichung der Schraube in der Schicht vom idealen Mittelpunkt. Eine Abweichung von bis zu 3 mm wird als gute Lage definiert

Abb. 6 ◀ Operationszeit in min bei der Durchführung der 10 Kadaveruntersuchungen. Bei der 2-D-Navigation zeigt sich eine steile Lernkurve, sodass die 10. Operation in 10 min möglich war

(<2 mm Fehler) möglich ist. Der RM sollte dabei möglichst nahe am Kahnbein liegen, ohne den operativen Vorgang zu behindern, und gleichzeitig den notwendigen Sichtkontakt zum Sender halten. Bei dieser Schiene werden der Unterarm und die Hand durch Kunststoffschrauben und Platten in der notwendigen Flexion und Ulnarabduktion stabil fixiert. Die Universalschiene kann auch für die konventionelle Verschraubung eingesetzt werden.

3-D-Navigation

Material

Für den klinischen Einsatz der 3-D-Navigation zur Versorgung frischer nichtdislozierter Kahnbeinfrakturen wurde folgendes Equipment verwendet (■ **Abb. 9**):

- Stryker-Bohrmaschine mit RM
- Universalschiene mit integriertem RM
- 3,0-HCS-Schrauben der Fa. Synthes
- Navigierte Bohrhülse für den K-Draht der HCS-Schraube
- Kalibriertool
- Pointer

- ISO-C-3D-Bildwandler mit RM
- Brainlap-Navigationssystem Vector-Vision mit Traumasoftware 2.6

Vorgehen bei klinischem Einsatz

Der Patient liegt in Rückenlage und nach entsprechender Desinfektion werden Unterarm und Hand in die Universalschiene auf dem Handtisch eingespannt. Die dabei notwendige Flexion des Handgelenks mit Ulnarabduktion wird durch das Schienendesign realisiert.

Nach Zentrierung des Bildwandlers und Antikollisionscheck wird ein 136°-Scan mit 110 Bildern vom Kahnbein gefahren. Das erfordert eine Röntgenzeit von ca. 2 min mit einer Röntgendosis von ca. 55 cGy/cm². Anschließend werden die Daten des Scan an das Navigationssystem übertragen (■ **Abb. 10**). Nun erfolgt die Kalibrierung der Bohrhülse. Mithilfe der axialen, sagittalen und koronaren Schnitte des Kahnbeins kann die optimale Lage der Schraube am Bildschirm mit der Touchscreenfunktion geplant und deren notwendige Länge millimetergenau festgelegt werden. In jeder der genannten Ebenen kann nun ein „Feintuning“ der Schraubenlage durchgeführt werden, bis eine optimale virtuelle Lage erreicht ist (■ **Abb. 11**). Mit dem Pointer wird nun die Einbringungsstelle der Schraube festgelegt und eine Inzision durchgeführt. Mit der navigierten Bohrhülse erfolgt eine Zentrierung in allen Raumebenen entsprechend den Anweisungen des Autopiloten. Sind die Ringe konzentrisch eingestellt, ist die optimale Situation für das Einbohren des Führungsdrahts für die HCS-Schraube gegeben (■ **Abb. 12**). Bei diesem Schritt können sich immer noch Fehler einschleichen, sodass der Einsatz eines „help arm“ wünschenswert erscheint. Nach Einbringen des K-Drahts kann ein zweiter Scan mit dem C-Arm durchgeführt werden, um eine mögliche Fehllage noch auszuschließen. Anschließend erfolgt das Einbringen der HCS-Schraube mit nachfolgendem 3-D-Scan zur Kontrolle der endgültigen Schraubenlage. Am 1. postoperativen Tag wird die Schraubenlage im Dünnschicht-CT nach angegebenen Protokoll kontrolliert. Weitere Röntgenkon-

Abb. 7 ▲ Qualität der Schraubenlage im Dünnschicht-CT. Im Präparat 10 wurde in 8 Schnitten des Kahnbeins eine optimale Lage der Schraube innerhalb der 3 mm gefunden. Nur in 2 Schnitten lag diese im 6-mm-Bereich

Abb. 8 ▲ Röntgendurchlässige artefaktfreie Universalschiene zur navigierten Verschraubung der Kahnbeinfraktur mit integriertem Referenzmarker

Abb. 9 ▲ Instrumentarium für die klinische Anwendung der 3-D-Navigation. *Links:* 3-D-Bildwandler mit Navigationssystem VectorVision von Brainlab. *Rechts:* Stryker-Bohrmaschine, navigierte Bohrhülse, Pointer, Klemme für den Schienen-RM, Kalibrierstation

Abb. 10 ▲ Durchführung des 3-D-Scans nach Zentrierung des Bildwandlers und Antikollisionscheck. *Links:* Übersicht im Operationssaal. *Rechts:* 3-D-Bildwandlerdarstellung nach dem Scan

trollen werden nach 1 Monat, 2 Monaten und 1 Jahr durchgeführt.

Patienten und erste Ergebnisse der 2-D/3-D-Navigation

Von Mai 2008 bis Oktober 2010 wurden 9 Patienten (8 Männer, 1 Frau) mit

nichtdislozierten Kahnbeinfrakturen mit einem dorsalen Zugang unter Anwendung der Universalschiene versorgt (Tab. 2). Das Durchschnittsalter lag bei 30,3 Jahren (Range: 19–54 Jahre). Die Patienten wurden vorher über die Vorteile und möglichen Nachteile (längere Operationszeit) der navigierten Kahnbeinver-

sorgung aufgeklärt. Bei 4 Patienten wurden TwinFix-Schrauben mit der 2-D-Navigation (Stryker) eingebracht. Fünf Patienten erhielten eine 3-D-navigierte Kahnbeinverschraubung (VectorVision, Brainlab) mit der 3,0-HCS-Schraube. Die Nachuntersuchung der Patienten erfolgte nach durchschnittlich 13,7 Monaten (Range: 2–28 Monate). Dabei lag der Nachuntersuchungszeitraum nach den 2-D-navigierten Operationen bei 27 Monaten, der durchschnittliche Nachuntersuchungszeitraum bei den 3-D-navigierten Operationen bei nur 3,3 Monaten.

Als einzige Komplikation musste eine Schraube wegen proximaler Penetration und Beschwerden des Patienten aus der 2-D-Gruppe vorzeitig entfernt werden. Alle 9 Frakturen heilten zeitgerecht knöchern aus. Der durchschnittliche DASH-Score lag in der 2-D-Gruppe bei 15,6, in der 3-D-Gruppe bei 3,3. Der durchschnittlich erreichte Krimmer-Score von 91/87 (2-D/3-D) zeigte in beiden Gruppen keine wesentlichen Unterschiede. Bezüglich der Qualität der Schraubenlage im Dünnschicht-CT erwies sich die technisch aufwendigere 3-D-Navigation als deutlich genauere Methode. So lagen bei den 3-D-navigierten Versorgungen 90% der Schnitte im als optimal definierten 3-mm-Bereich, bei den 2-D-Versorgungen

Abb. 11 ▲ Planung der Schraubenlage und -länge in den virtuellen Schichten axial, sagittal und koronar

Abb. 12 ▲ Einbringen des K-Drahts mit der navigierten Bohrhülse entsprechend der geplanten Schraubenlage im Kahnbein

gen traf dies nur bei 65% der Schnitte zu (■ Tab. 2).

Diskussion

Das durch den zweidimensionalen Bildwandler gestützte Einbringen der Kahn-

beinschraube ist auch für den geübten Handchirurgen aufgrund der komplexen dreidimensionalen Form und Lage des Kahnbeins im Carpus sowie der großen individuellen morphologischen Varianz des Kahnbeins eine technisch schwierige Aufgabe, die teilweise lange Rönt-

genzeiten erfordert. Hinzu kommt, dass die intraoperative Kontrolle der exakten Schraubenlage und -länge sowie des Repositionsergebnisses eigentlich nur mit einer intraoperativen CT möglich ist.

Ein großes Problem bei der Entwicklung der CAS des Kahnbeins war die Entwicklung von geeigneten Schienen mit integriertem RM. Dabei mussten jegliche Relativbewegungen zwischen RM und Kahnbein auf ein Mindestmaß reduziert werden. In Übereinstimmung mit Kendoff et al. konnten wir die für die Kadaveruntersuchungen (erste Phase) verwendete Thermoplastschiene mit Klettbandverschlüssen zur universal anwendbaren, artefaktfreien und sterilisierbaren Lagerungsschiene weiterentwickeln. Die Verwendung von Kunststoffschrauben und -platten zur Fixation des Carpus ermöglichte erstmals eine absolute Stabilität zwischen RM und Kahnbein. Mit der Universalschiene können rechte und linke Handgelenke sowie der dorsale oder palmare Zugang unabhängig von der individuellen Größe der Hand und des Arms durchgeführt werden. Darüber hinaus ist die Schiene auch für die konventionelle Kahnbeinverschraubung einsetzbar.

In einer zweiten Phase erfolgte eine biomechanische Studie zur optimalen Schraubenlage bei gleicher Schraubenlänge mit gematchten frischen Kahnbeinpaaren. In der dritten Phase der Entwicklung der Kahnbeinnavigation wurden Patienten nach entsprechender Aufklärung mit frischen nichtdislozierten Kahnbeinfrakturen (B1, B2) 2-D-navigiert versorgt. Hierzu verwendeten wir das Stryker-System, das auch für die bereits beschriebenen Kadaveruntersuchungen Anwendung fand. Hierbei konnte eine deutliche Reduktion der Röntgenzeit im Vergleich zur konventionellen Technik erreicht werden. Die Darstellung des Bohrvorgangs bzw. die multiplanare Planung der Schraubenlage und -länge war hiermit nicht möglich. Ebenfalls entfällt die Möglichkeit der intraoperativen 3-D-Kontrolle der Lage des Führungsdrahts, um eine eventuelle Korrektur vor Einbringen der Schraube zu realisieren. Deshalb haben wir die 2-D-Navigation zugunsten der 3-D-Technik verlassen. Der intraoperative 3-D-Scan bei liegendem Führungsdraht ermöglicht eine exakte Beurteilung

Tab. 1 Ergebnisse der navigierten Kahnbeinverschraubung bei nichtdislozierten frischen Kahnbeinfrakturen in einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von 13,7 Monaten

	NU (Monate)	DASH- Score	Krimmer- Score	Schnitte im 3-mm- Bereich (%)
2-D-Navigation mit Stryker TwinFix	27	15,6	91	65
3-D-Navigation mit Brainlab HCS 3,0	3,3	3,3	87	90
2-D/3-D	13,7	10,6	89	77,5

NU Nachuntersuchungszeitraum, DASH „disabilities of the arm, shoulder und hand“.

Tab. 2 Übersicht über die 9 Patienten mit navigierter Kahnbeinverschraubung

Patient	Fraktur	Op.-Datum, Schraube	2-D/3-D-Navigation
R.M. 29 Jahre ♂	B2 links	26.05.08, TwinFix	2-D Stryker
D.R. 25 Jahre ♂	B2 rechts	28.05.08, TwinFix	2-D Stryker
Th.A. 19 Jahre ♂	B1 links	26.06.08, TwinFix	2-D Stryker
B.A. 22 Jahre ♂	B2 rechts	31.08.09, TwinFix	2-D Stryker
H.PH. 22 Jahre ♂	B2 rechts	25.03.10, 3,0 HCS	3-D Brainlab
D.A. 24 Jahre ♂	B2 rechts	09.04.10, 3,0 HCS	3-D Brainlab
M.C. 23 Jahre ♀	B2 rechts	22.04.10, 3,0 HCS	3-D Brainlab
L.T. 25 Jahre ♂	B2 rechts	08.07.10, 3,0 HCS	3-D Brainlab
R.M. 64 Jahre ♂	B2 rechts	04.10.10, 3,0 HCS	3-D Brainlab

der Lage in allen Kahnbeinschichten mit der Option der nochmaligen Korrektur des Führungsdrahts. Der Wechsel von navigierter zu konventioneller Technik ist jederzeit möglich. Der Nachteil der 3-D-assistierten Kahnbeinverschraubung liegt in der längeren Operationszeit und in einer deutlich längeren Lernkurve. Darüber hinaus beanspruchen die erforderlichen ein bis zwei 3-D-Scans eine im Vergleich zur 2-D-Navigation längere Röntgenzeit und höhere Strahlendosis.

Im Gegensatz zu den in der Literatur bereits beschriebenen Lagerungsschienen (Chirobloc, Scaph Splint) sind mit der Universalschiene je nach Frakturlokalisation dorsale und palmare Zugänge prinzipiell möglich. In unserem Krankengut haben wir aufgrund der eingeschränkten Indikation zunächst nur den dorsalen Zugang verwendet. Das von uns benutzte Protokoll zur Festlegung der Schraubenlage im Dünnschicht-CT ermöglicht eine numerische Darstellung der Qualität der Schraubenlage. Schwächen der oben dargestellten Auswertung liegen in der willkürlichen Auswahl der Schnitte, wobei auf eine möglichst gleichmäßige Verteilung über die Kahnbeinkörper geachtet wurde. Ein weiterer Schwachpunkt ist in der Festlegung des virtuellen Mittelpunkts im Einzelschnitt anhand der konstruierten Achsen zu sehen, da diese in ihrer Summe die virtuelle, gekrümmte Idealachse

des Os scaphoideum nur annäherungsweise abbilden.

Die guten klinischen Ergebnisse der ersten 9 Patienten mit navigierter Kahnbeinversorgung sollen durch eine derzeit laufende kontrollierte prospektive Studie mit dem Vergleich der 3-D-Navigation mit der konventionellen Technik bei Patienten mit frischen nichtdislozierten Kahnbeinfrakturen weiter evaluiert werden.

Fazit für die Praxis

Der Einsatz der Navigation am Kahnbein ist zum jetzigen Zeitpunkt noch keinesfalls als Standardtechnik zu bewerten. Die Anwendung der 2-D-Navigation zur Versorgung der frischen Kahnbeinfraktur führte zu einer deutlichen Reduktion der Strahlenbelastung sowie einer exakteren Schraubenlage, als es mit der konventionellen Technik möglich ist. Die technisch aufwendigere 3-D-Methode zeigte in Übereinstimmung mit anderen Autoren eine gut reproduzierbare Qualität der Schraubenlage und -länge im Kahnbein. Mit den in den meisten großen Kliniken vorhandenen Navigationssystemen (VectorVision, Brainlab), dem ISO-C-3D-Bildwandler und der verfügbaren Traumasoftware 2.6 lässt sich eine exakte Planung und Positionierung der einzubringenden Schraube realisieren. Die

Möglichkeit der intraoperativen Kontrolle der Lage des Führungsdrahts schließt gravierende Fehllagen der Schraube weitestgehend aus. Der tatsächliche Benefit für den Patienten hinsichtlich der Ausheilungsrate und Funktion muss durch weitere kontrollierte klinische Studien evaluiert werden.

Korrespondenzadresse

Dr. R. Friedel

Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum Jena, Erlanger Allee 101, 07747 Jena Lobeda-Ost
Reinhard.Friedel@med.uni-jena.de

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- Adams BD, Blair WF, Reagen DS, Grundberg AB (1988) Technical factors related to Herbert screw fixation. J Hand Surg Am 13:893–899
- Bain GI, Bennet JD, Mac Dermid JC et al (1998) Measurement of the scaphoid humpback deformity using longitudinal computed tomography: intra- and interobserver variability using various measurement techniques. J Hand Surg Am 23:76–81
- Catala-Lehnen P, Nüchtern J, Briem D et al (2009) Neue Möglichkeiten in der Therapie der Scaphoidfrakturen – 2D versus 3D navigierte Verschraubung von nicht-dislozierten Scaphoidfrakturen. Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie, Berlin, 21–24 Okt 2009, Abstract W157–W255
- Citak M, Padhraig F, Loughlin O et al (2010) Navigated scaphoid screw placement using customized scaphoid splint: an anatomical study. Arch Orthop Trauma Surg 130:889–895
- Herbert TJ, Fischer WE, Leicester AW (1992) The Herbert bone screw: a ten-year perspective. J Hand Surg Br 17:415–419
- Kendoff D, Citak R, Gardner MJ et al (2007) Die navigierte Scaphoidschraube – eine neue Indikation zur intraoperativen 3D-Navigation. Eine Kadaverstudie. Unfallchirurg 9:745–750
- Liverneaux P (2005) Scaphoid percutaneous osteosynthesis by screw using computer assisted surgery: an experimental study. Chir Main 24:169–173
- McCallister WV, Knigh J, Kaliappan R, Trumble TE (2003) Central placement of the screw in simulated fractures of the scaphoid waist: a biomechanical study. J Bone Joint Surg Am 85:72–77
- Moran R, Curtin J (1988) Scaphoid fractures treated by Herbert screw fixation. J Hand Surg Br 13:453–455
- Seth D, Dodds MD, Manohar MP, Slade JF III (2006) Screw fixation of scaphoid fractures: a biomechanical assessment of screw length and screw augmentation. J Hand Surg 31A:405–413
- Walsch E, Cristo JJ, Wolfe SW (2009) Computer-assisted navigation of percutaneous scaphoid placement. J Hand Surg Am 34A:1723–1728