

Diplomarbeit

**KLASSIFIKATION DER AKUTEN KAHNBEINFRAKTUR
UND DEREN AUSWIRKUNG AUF DIE THERAPIEENTSCHEIDUNG
EINE LITERATURSTUDIE**

eingereicht von Herrn
MATTHIAS SEBASTIAN URL

zur Erlangung des akademischen Grades
**Doktor der gesamten Heilkunde
(Dr. med. univ.)**

an der
Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der
Universitätsklinik für Orthopädie und Traumatologie

unter Anleitung von
Herrn Univ.-Prof. Mag. phil. Dr. med. univ. Franz Seibert
und
Frau OÄ Dr.ⁱⁿ med. univ. Anna Vasilyeva

St. Anna am Aigen, am 26. Mai 2017

Eidesstaatliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

St. Anna am Aigen, am 26. Mai 2017

Matthias Sebastian Url eh

Meinen Eltern

Lieber eine kühne Hypothese, als ein leerer Raum.

Christian Albert Theodor Billroth (1829 - 1894)

Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Mag. phil. Dr. med. univ. Franz Seibert bedanken, der mir unentwegt mit Rat und Tat hilfreich zur Seite gestanden ist. Herzlichsten Dank für die exzellente Betreuung und die ausgesprochen gute Zusammenarbeit.

Weiters möchte ich mich bei Frau OÄ Dr.ⁱⁿ med. univ. Anna Vasilyeva bedanken, die mit Ihrer Expertise auf dem Feld der Plastischen und Handchirurgie die Arbeit gewertet hat. Vielen Dank für die rasche und unkomplizierte Unterstützung.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern Rosamunde und Bruno, die mir dieses Studium erst ermöglicht haben. Ihnen soll diese Arbeit gewidmet sein.

Zusammenfassung

Hintergrund:

In der Literatur findet sich eine Vielzahl an Klassifikations- und Einteilungsversuchen der akuten Kahnbeinfraktur.

Auf Grund dieser großen Menge an unterschiedlichen Herangehensweisen fällt eine konkrete Aussage zur Behandlungskonsequenz oft schwer.

Die vorliegende Arbeit hat es sich zum Ziel gesetzt, neben den bekannten Klassifikationen auch die weniger bekannten genauer zu beleuchten und den Versuch zu unternehmen, an Hand derer eine Therapieempfehlung auszusprechen.

Weiters soll untersucht werden, ob eine eventuelle Zusammenführung der Klassifikationen möglich bzw. sinnvoll ist.

Methoden:

Der integrale Bestandteil der Arbeit basiert auf einer Literaturrecherche, welche unter Zuhilfenahme von gegenwärtiger Literatur und Pubmed durchgeführt wurde.

Der erste Teil befasst sich mit den allgemeinen Grundkenntnissen wie Anatomie, Pathomechanismen, Diagnostik, Komplikationen und Therapieoptionen, die essentiell für das Verstehen der akuten Kahnbeinfraktur sind.

Der zweite Teil behandelt die im Literaturstudium gefundenen Klassifikationen. Diese wurden unter den Gesichtspunkten von Lokalisation der Fraktur, Frakturverlauf und der mechanischen Stabilität tabellarisch aufgearbeitet und untereinander verglichen.

Resultate:

Es konnten 9 Klassifikationen genauer beschrieben werden. Die Unterkategorien dieser Klassifikationen können unter röntgenologischen und funktionellen Aspekten zusammengefasst werden und so einen Therapieentscheid erleichtern.

Conclusio:

Es ist durchaus möglich, mehrere Klassifikationen untereinander zusammenzufassen. Die ausgearbeitete Tabelle liefert eine Empfehlung, wie die jeweiligen Brüche bezogen auf deren Klassifizierung behandelt werden können. Es muss jedoch immer auf den maßgeblichen Einfluss der mechanischen Stabilität Rücksicht genommen werden.

Abstract

Purpose:

One can find lots of different types of classifications and graduations of acute scaphoid fractures in today's literature.

Due to this huge amount of various approaches, it's hard to set a definite statement on what the right treatment may be.

The purpose of this paper is to analyse not only the most established classifications, but also have a closer look on those not so common in the clinical routine and to check if there is a save way to derive a treatment relating to the classifications.

Furthermore, a potential merging of some graduations is investigated.

Methods:

The central element of this work is based on the research of recent literature and through Pubmed.

The first part is about basic aspects, such as anatomy, pathomechansim, diagnosis, complications and possible treamtens, while the second part discusses the different classifications and graduations found due to the research and compared with each other under the consideration of place, type and stability of the fracture.

Results:

9 classifications could be described closer. The sub-categories of those classifications can be summed-up based on radiological and functional aspects which helps to find an accurate treatment.

Conclusion:

It is possible indeed to merge some different classifications. The elaborated charts give a recommendation on how to handle scaphoid fractures based on their classification. However, the important influence of mechanical stability of the fractured fragments must be considered by all means.

Inhaltsverzeichnis

Danksagungen	5
Zusammenfassung	6
Abstract	7
Glossar und Abkürzungen	11
Abbildungsverzeichnis	12
Tabellenverzeichnis	17
1. Einleitung	18
2. Anatomie	19
2.1. Handwurzelknochen	19
2.2. Das Handgelenk	21
2.2.1. Articulatio radiocarpalis	21
2.2.2. Articulatio mediocarpalis	21
2.3. Bänder	23
2.4. Os scaphoideum	25
2.5. Blutversorgung	26
2.5.1. Extraossäre arterielle Blutversorgung	26
2.5.2. Intraossäre Blutversorgung	26
2.5.3. Venöse Blutversorgung	28
3. Pathomechanismus	29
4. Diagnostik	31
4.1. Physikalische Diagnostik	31

4.2. Radiologische Diagnostik.....	32
5. Klassifikationen	35
5.1. Klassifikation nach Böhler	35
5.2. Klassifikation nach Russe	37
5.3. Mayo – Klassifikation (Cooney et al.).....	38
5.4. OTA – Klassifikation	39
5.5. Klassifikation nach Herbert	40
5.6. Klassifikation nach Schernberg und Elzein.....	41
5.7. Klassifikation nach McLaughlin und Parkes	42
5.8. Klassifikation nach Prosser	44
5.9. Klassifikation nach Compson.....	45
5.10. Zusammenfassende Darstellung der Frakturklassifikationen	47
5.10.1. Klassifikation basierend auf der anatomischen	
Lokalisation der Fraktur.....	47
5.10.2. Klassifikation basierend auf der Verlaufsrichtung	
des Frakturspaltes.....	48
5.10.3. Klassifikation basierend auf der mechanischen	
Stabilität der Fraktur	49
6. Therapie.....	50
6.1. Konservative Therapie.....	50
6.2. Operative Therapie	51
6.2.1. Herbert – Schaubе	51
6.2.2. Platten – Osteosynthese	54

6.2.3. Operatives Procedere im Rahmen einer dislozieren

Kahnbeinfraktur unter Verwendung einer Herbert-

Schraube und dorsalem Zugang.....55

7. Komplikationen62

7.1. Pseudoarthrose62

8. Diskussion.....63

9. Literaturverzeichnis73

Glossar und Abkürzungen

M.	Musculus
Mm.	Musculi
N.	Nervus
Art.	Articulatio
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
A.	Arteria
Vv.	Venae
CT	Computertomographie
MRT	Magnetresonanztomographi
STIR	short tau inversion recovery
OTA	Orthopaedic Trauma Association
et al.	et alii
STT	Scapho-Trapezo-Trapezoidal
FDA	Federal Drug Administration
pAVK	peripher-arterielle Verschlusskrankheit
DISI	dorsal intercalated segment instability
SNAC	scaphoid nonunion advanced collapse
dist.	distal
prox.	proximal

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:

Handwurzelknochen (Ossa carpi) der rechten Hand mit angrenzendem Unterarm und Mittelhandknochen in Palmaransicht.

Quelle: ANDERHUBER, F., PERA, F. und STREICHER, J., 2012. Waldeyer - Anatomie des Menschen. 19. Auflage. Berlin/Bosten: De Gruyter.20

Abbildung 2:

Handwurzelknochen (Ossa carpi) der rechten Hand mit angrenzendem Unterarm und Mittelhandknochen in Dorsalansicht.

Quelle: ANDERHUBER, F., PERA, F. und STREICHER, J., 2012. Waldeyer - Anatomie des Menschen. 19. Auflage. Berlin/Bosten: De Gruyter.20

Abbildung 3:

Flachschnitt durch eine rechte Hand und Darstellung der Handgelenke in Palmaransicht.

Quelle: ANDERHUBER, F., PERA, F. und STREICHER, J., 2012. Waldeyer - Anatomie des Menschen. 19. Auflage. Berlin/Bosten: De Gruyter.22

Abbildung 4:

Graphische Darstellung der drei Schichten des karpalen Bandsystems.

Quelle: SCHMIDT, H.-M., LANZ, U., 2003. Chirurgische Anatomie der Hand. 2. Auflage. Stuttgart/New York: Thieme.23

Abbildung 5:

Karpale Bandsysteme der rechten Hand und des Daumensattels. Dorsalansicht.

Quelle: ANDERHUBER, F., PERA, F. und STREICHER, J., 2012. Waldeyer - Anatomie des Menschen. 19. Auflage. Berlin/Bosten: De Gruyter.24

Abbildung 6:

Karpale Bandsysteme der rechten Hand und des Daumensattels. Palmaransicht.

Quelle: ANDERHUBER, F., PERA, F. und STREICHER, J., 2012. Waldeyer - Anatomie des Menschen. 19. Auflage. Berlin/Bosten: De Gruyter.24

Abbildung 7:

Ansichten des Os scaphoideum von palmar, radial, dorsal und ulnar.

Quelle: SCHMIDT, H.-M-, LANZ, U., 1992. Chirurgische Anatomie der Hand. 1. Auflage. Stuttgart: Hippokrates.26

Abbildung 8:

Idealisierte Blutversorgung am Skaphoid.

Quelle: TALEISNIK, J., KELLY, P.J., 1966. The Extraosseous and Intraosseous Blood Supply of the Scaphoid Bone. The Journal of Bone and Joint Surgery. 1966; VOL. 48-A, NO. 6.27

Abbildung 9:

Perilunäre Luxationsfraktur.

Quelle: TOWFIGH, H., HIERNER, R., LANGNER, M., FRIEDEL, R., 2011. Handchirurgie. 2. Auflage. Berlin/Heidelberg: Springer.30

Abbildung 10:

Standardröntgenaufnahmen in der Kahnbeindiagnostik.

Quelle: KRIMMER, H., SCHMITT, R., HERBERT, T., 2000. Kahnbeinfrakturen - Diagnostik, Klassifikation und Therapie. Der Unfallchirurg. 2000;103.34

Abbildung 11:

Röntgenbilder in der Kahnbeindiagnostik.

Quelle: KRIMMER, H., SCHMITT, R., HERBERT, T., 2000. Kahnbeinfrakturen - Diagnostik, Klassifikation und Therapie. Der Unfallchirurg. 2000;103.34

Abbildung 12:

Frakturklassifikation nach Böhler.

Quelle: BÖHLER, L., TROJAN, E., JAHNA, H., 2003. The results of treatment of 734 fresh, simple fractures of the scaphoid. Journal of Hand Surgery (British and European Volume) 2003;28B:4.36

Abbildung 13:

Frakturklassifikation nach Russe.

Quelle: VOGL, T.J., REITH, W., RUMMENY, E.J., 2011. Diagnostische und interventionelle Radiologie. Berlin/Heidelberg: Springer.37

Abbildung 14:

MAYO-Klassifikation (Cooney et al.).

Quelle: https://www.researchgate.net/figure/50399987_fig6_MAYO-classification-for-scaploid-fractures.....38

Abbildung 15:

OTA-Frakturklassifikation.

Quelle: BAIERLEIN, S.A., 2010. Frakturklassifikationen. Stuttgart: Thieme. 1. Auflage.
.....39

Abbildung 16:

Frakturklassifikation nach Herbert.

Quelle: <http://doctorlib.info/surgery/plastic/76.html>.....40

Abbildung 17:

Frakturklassifikation nach Schernberg und Elzein.

Quelle: VOGL, T.J., REITH, W., RUMMENY, E.J., 2011. Diagnostische und interventionelle Radiologie. Berlin/Heidelberg: Springer.....41

Abbildung 18:

Frakturklassifikation nach McLaughlin und Parkes.

Quelle: McLAUGHLIN, H.L., PARKES, J.C., 1969. Fracture of the carpal navicular (scaphoid) bone: Graduations in therapy based upon pathology. The Journal of Trauma. 1969;Vol. 9, No. 4.43

Abbildung 19:

Frakturklassifikation nach Prosser.

Quelle: BACHU, H.K., 2014. Seminar on scaphoid and lunate fractures. <https://de.slideshare.net/haribachu/scaphoid-and-lunate-fractures>.....44

Abbildung 20:

Frakturklassifikation nach Compson.

Quelle: COMPSON, J. P., 1998. The anatomy of acute scaphoid fractures. A three-dimensional analysis of patterns. The Journal of Bone and Joint Surgery (British Volume). 1998;80-B.46

Abbildung 21:

Herbert-Schraube mit unterschiedlichen Steighöhen.

Quelle: <http://www.medicaexpo.de/prod/jeil-medical-corporation/product-68935-779778.html>.....52

Abbildung 22:

Kopflöse Doppelgewindeschraube.

Quelle:http://synthes.vo.llnwd.net/o16/LLNWMB8/INT%20Mobile/Synthes%20International/Product%20Support%20Material/legacy_Synthes_PDF/DSEM-TRM-0714-0117-3a_LR.pdf.....52

Abbildung 23:

MedArtis TriLock 1.5 Scaphoid Plate.

Quelle: http://www.medartis.com/uploads/Hand-02000001_e_v1.pdf.....54

Abbildung 24 :

Frakturachweis im Röntgen.

Quelle: KAWAMURA K., CHUNG, K., 2008. Treatment of Scaphoid Fractures and Nonunions. The Journal of Hand Surgery (American Volume). 2008; 33(6): 988-997. ..55

Abbildung 25:

Hautmarkierung.

Quelle: KAWAMURA K., CHUNG, K., 2008. Treatment of Scaphoid Fractures and Nonunions. The Journal of Hand Surgery (American Volume). 2008; 33(6): 988-997. ..56

Abbildung 26:

Darstellung des Skaphoid.

Quelle: KAWAMURA K., CHUNG, K., 2008. Treatment of Scaphoid Fractures and Nonunions. The Journal of Hand Surgery (American Volume). 2008; 33(6): 988-997. ..57

Abbildung 27:

Stabilisierung.

Quelle: KAWAMURA K., CHUNG, K., 2008. Treatment of Scaphoid Fractures and Nonunions. The Journal of Hand Surgery (American Volume). 2008; 33(6): 988-997. ..58

Abbildung 28:

Lageüberprüfung.

Quelle: KAWAMURA K., CHUNG, K., 2008. Treatment of Scaphoid Fractures and Nonunions. The Journal of Hand Surgery (American Volume). 2008; 33(6): 988-997. ..59

Abbildung 29:

Einbringen der Herbert-Schraube.

Quelle: KAWAMURA K., CHUNG, K., 2008. Treatment of Scaphoid Fractures and Nonunions. The Journal of Hand Surgery (American Volume). 2008; 33(6): 988-997. ..60

Abbildung 30:

Kontrollröntgen.

Quelle: KAWAMURA K., CHUNG, K., 2008. Treatment of Scaphoid Fractures and Nonunions. The Journal of Hand Surgery (American Volume). 2008; 33(6): 988-997. ..61

Abbildung 31:

Frakturverläufe.

Quelle: MORITOMO, H., 2014. Radiographic clues for determining carpal instability and treatment protocol for scaphoid fractures. Journal of Orthopaedic Science. 2014; Review-Article. DOI 10.1007/s00776-014-0546-y.64

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:

Klassifikationen basierend auf der anatomischen Lokalisation der Fraktur.....47

Tabelle 2:

Klassifikationen basierend auf der Verlaufsrichtung des Frakturspaltes.48

Tabelle 3:

Klassifikationen basierend auf der mechanischen Stabilität der Fraktur.49

Tabelle 4:

Gegenüberstellung der anatomischen Region der Frakturen.....67

Tabelle 5:

Behandlungsschema bei Frakturen nach röntgenologischer Klassifikation.71

Tabelle 6:

Behandlungsschema bei Frakturen nach funktioneller Klassifikation.72

1. Einleitung

In der Literatur findet sich eine Vielzahl an Autorinnen und Autoren, die diverse Klassifikations- und Einteilungsversuche der frischen Kahnbeinfraktur unternommen haben.

Trotz, oder gerade wegen dieser vielen verschiedenen Terminationen fällt es oft schwer, eine konkrete Aussage über deren Einfluss auf die Therapieentscheidung zu finden.

In der vorliegenden Arbeit werden neben den wichtigsten Klassifikationen auch die weniger bekannten, doch genau so akkuraten Klassifikationen genauer beleuchtet. Die deskriptive Aufarbeitung soll den Grundstein für nachfolgende Interpretationen liefern.

Zum einen wird der Versuch unternommen, auf Grund der Klassifizierung ein konkretes Therapiekonzept zu erstellen.

Zum anderen soll eine eventuell mögliche Zusammenführung der Klassifikationen bzw. derer Subgruppen gesucht werden.

Um diese Fragestellungen adäquat beantworten zu können, wurde eine umfassende Literaturrecherche zum Thema Klassifikationen und Behandlung der akuten Kahnbeinfraktur durchgeführt.

Als primäre Ressource wurden die in Pubmed veröffentlichten Arbeiten herangezogen. Neben den häufig zitierten Abhandlungen wurde weiters großes Augenmerk auf die weniger bekannten Arbeiten gelegt.

Daneben soll weiters ein Überblick über die Anatomie des Skaphoids und dessen umgebende Strukturen, den typischen Unfallhergang und die diagnostischen sowie therapeutischen Spezifitäten dieses Krankheitsbildes gegeben werden.

Das Endziel der vorliegenden Arbeit soll eine Zusammenführung der verschiedenen behandelten Klassifikationen und eine daraus resultierende Therapieempfehlung sein.

Hierfür soll systematisch eine tabellarische Auflistung der Klassifikationen im Hinblick auf Ort und Stabilität der Fraktur erstellt werden.

2. Anatomie

2.1. Handwurzelknochen

Der Carpus, die Handwurzel, lässt sich in seiner Gesamtheit in eine proximale sowie in eine distale Reihe untergliedern. Die acht unregelmäßigen kurzen Knochen stehen über Bandstrukturen miteinander in Verbindung, in der proximalen Reihe finden sich von radial nach ulnar folgende Knochen: Os scaphoideum (Kahnbein), Os lunatum (Mondbein), Os triquetrum (Dreieckbein) und Os pisiforme (Erbsenbein).

Distal liegen von radial nach ulnarwärts: Os trapezium (großes Vieleckbein), Os trapezoideum (kleines Vieleckbein), Os capitatum (Kopfbein) und Os hamatum (Hakenbein).

Neben dem Tuberculum ossis trapezii und dem Hamulus ossis hamati zeigt sich auch am Os scaphoideum ein markantes Detail, das Tuberculum ossis scaphoidei, welches sich bei Radialduktion als ein deutlich hervorspringender Knochenhöcker präsentiert.

Zwischen der Eminentia carpi radialis und der Eminentia carpi ulnaris befindet sich der Sulcus carpi. Ein kräftiges, sich über die beiden Erhabenheiten ausspannendes Retinaculum flexorum bildet das Dach des Sulcus in dem die Sehnen der Mm. flexores digitorum superficialis, Mm. flexores digitorum profundus, des M. flexor pollicis longus sowie der N. medianus zu liegen kommen (Anderhuber et al., 2012).

Die Abbildungen 1 und 2 geben einen Überblick über den knöchernen Aufbau dieses anatomischen Gebietes.

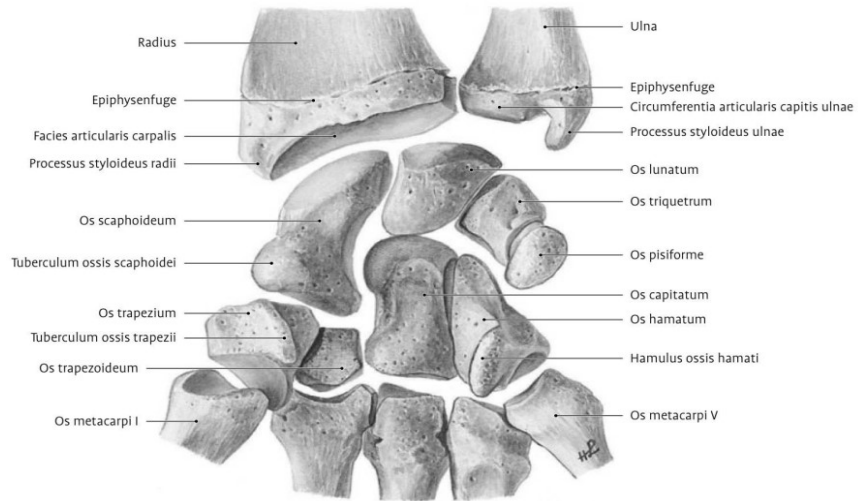


Abb. 1: Handwurzelknochen (Ossa carpi) der rechten Hand mit angrenzendem Unterarm und Mittelhandknochen in Palmaransicht.

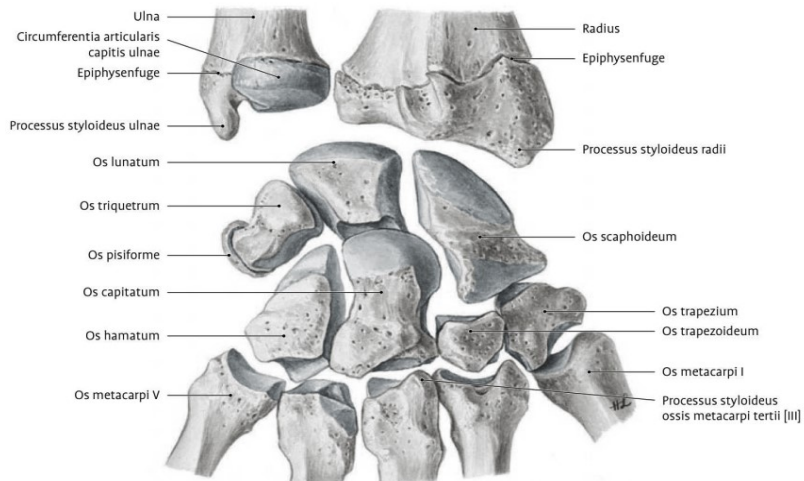


Abb. 2: Handwurzelknochen (Ossa carpi) der rechten Hand mit angrenzendem Unterarm und Mittelhandknochen in Dorsalansicht.

2.2. Das Handgelenk

2.2.1. Articulatio radiocarpalis

Bei der Articulatio radiocarpalis handelt es sich um eine Articulatio ellipsoidea, ein typisches Eigelenk.

Die kommunizierenden Knochen der proximalen Handwurzelreihe sind das Os scaphoideum, Os lunatum und Os triquetrum welche den Gelenkskopf bilden. Die Gelenkspfanne setzt sich aus der Facies articularis carpalis und dem Discus ulnocarpalis zusammen.

Proximal befindet sich das radiocarpale Kompartiment sowie das ulnare Kompartiment.

Im radiocarpalen Kompartiment, welches aus zwei Abschnitten besteht, artikuliert die radiale Facette des Radius (Fovea scaphoidea) mit dem Os scaphoideum, die ulnare Facette (Fovea lunata) mit dem Os lunatum.

Im ulnaren Kompartiment artikuliert der Discus ulnocarpalis mit dem Os lunatum (ulnarer Teil) sowie mit dem Os triquetrum (Anderhuber et al., 2012).

2.2.2. Articulatio mediocarpalis

Die Größenunterschiede der beteiligten Ossa carpalia bedingen einen kurvigen, glockenförmigen Verlauf dieses zusammengesetzten Gelenks zwischen proximaler und distaler Reihe der Handwurzelknochen. Man spricht auch vom „Napoleonshut der Radiologen“ (Anderhuber et al., 2012). Das radiale Drittel ist nach distal konvex, die ulnaren zwei Drittel sind nach distal konkav gekrümmt.

Die proximale, ulnar gelegene Gelenkpfanne bilden Os scaphoideum, Os lunatum und Os triquetrum artikuliert mit dem distalen, von Os hamatum und Os capitatum gebildeten Gelenkskopf.

Auch untereinander sind die Ossa carpalia der proximalen und distalen Reihe gelenkig miteinander verbunden (Anderhuber et al., 2012), wie Abb. 3 veranschaulicht.

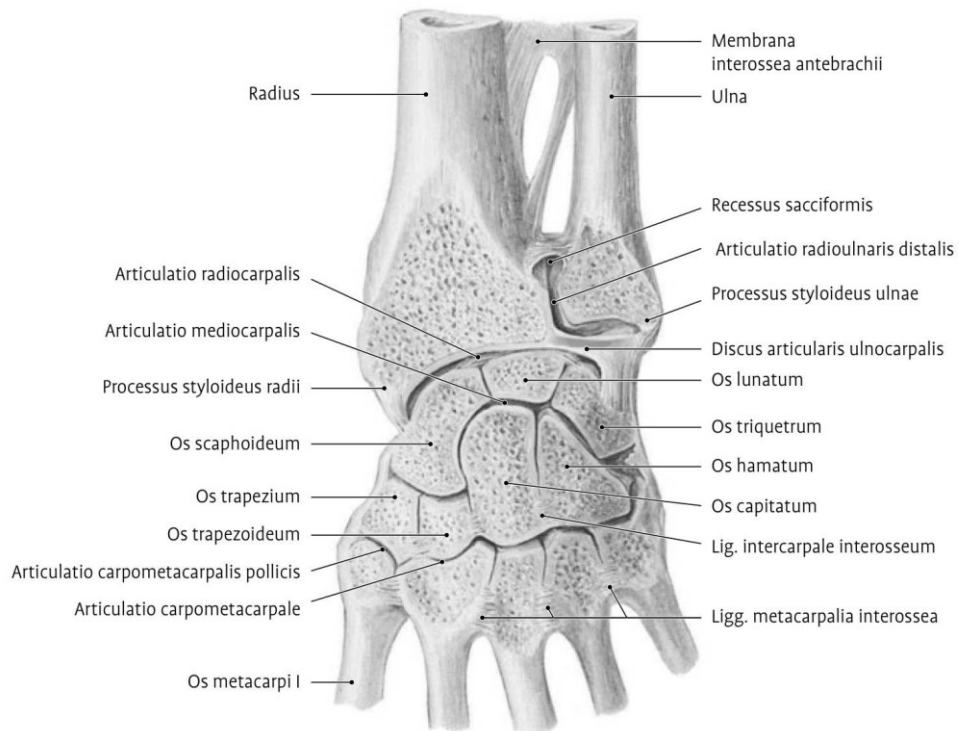


Abb. 3: Flachschnitt durch eine rechte Hand und Darstellung der Handgelenke in Palmaransicht.

2.3. Bänder

Der Bandapparat am Handgelenk ist durchaus komplex aufgebaut. Im Bereich der Art. radiocarpalis unterscheidet man zwischen dem radialen und ulnaren Bandkomplex, im Bereich der Art. mediocarpalis zwischen den Ligg. intercarpalia palmaria, dorsalia und interossea.

In der Praxis wichtig ist das so genannte Fick-Bogenband (Lig. carpi arcuatum dorsale sive intercarpale dorsale). Es spannt sich dorsal zwischen Os scaphoideum und Os triquetrum aus und hält das Os capitatum sowie das Os hamatum, welche gemeinsam den Gelenkkopf bilden, in der Pfanne.

Eine vereinfachte Form des kompliziert aufgebauten Bandsystems findet in der Klinik Niederschlag. Von Bedeutung sind hier die zwei palmaren V-Bänder (proximal, distal) und gegenüberliegend das dorsale V-Band (Anderhuber et al., 2012).

Das Verständnis dieses durchaus komplexen Aufbaues veranschaulichen nachfolgende Darstellungen.

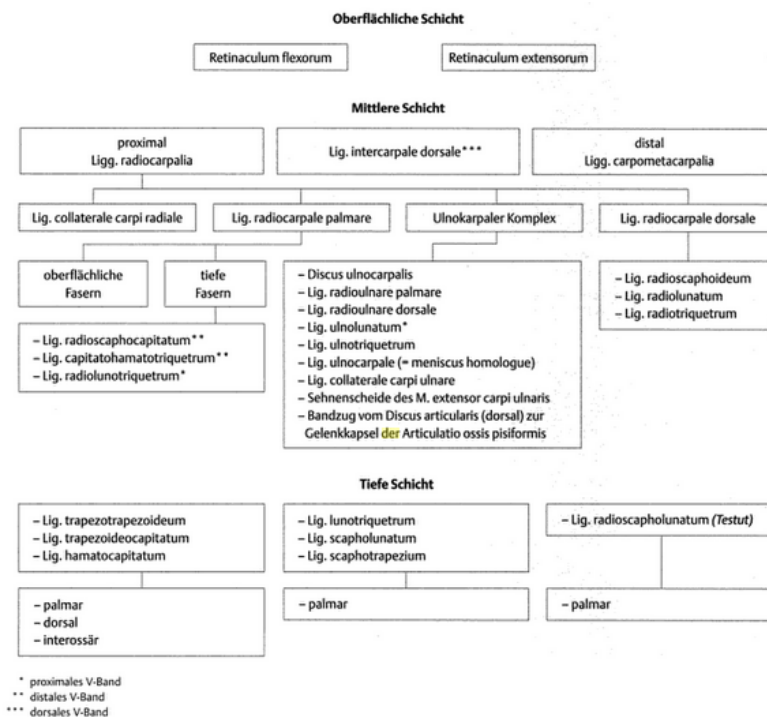


Abb. 4: Graphische Darstellung der drei Schichten des karpalen Bandsystems.

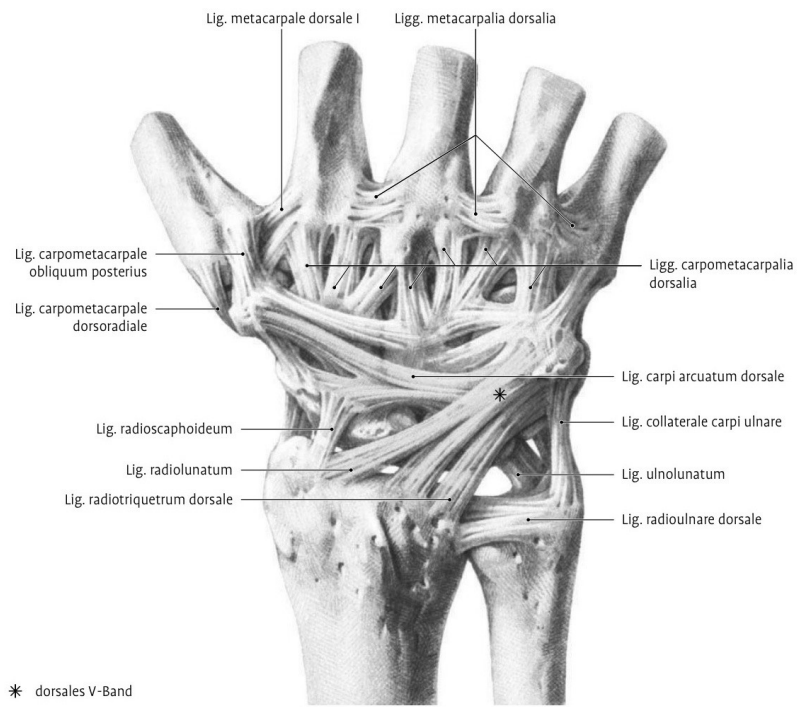


Abb. 5: Karpale Bandsysteme der rechten Hand und des Daumensattels. Dorsalansicht.

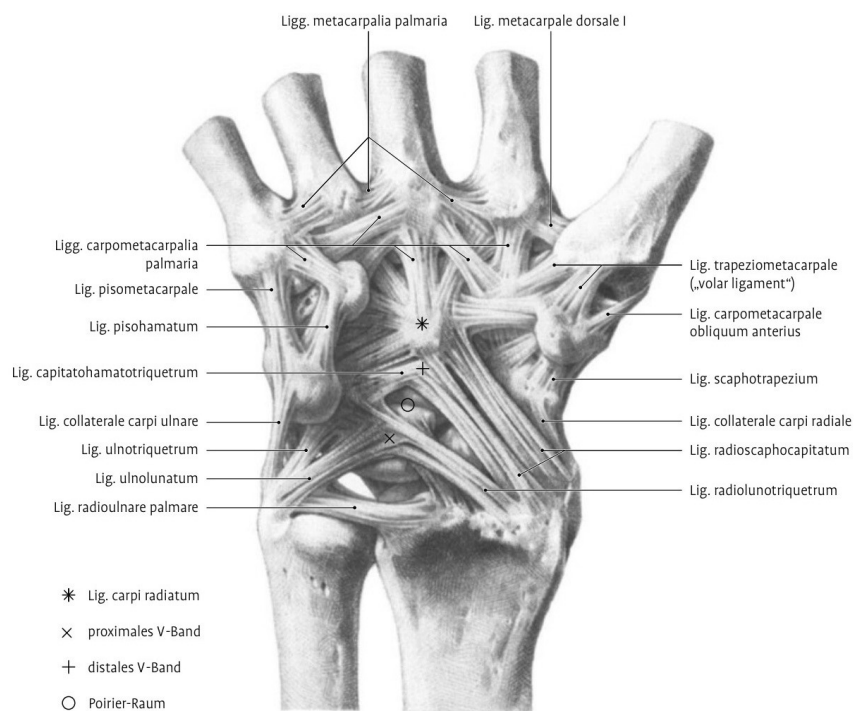


Abb. 6: Karpale Bandsysteme der rechten Hand und des Daumensattels. Palmaransicht.

2.4. Os scaphoideum

Das Kahnbein liegt auf der radialen Seite des Carpus. Zumhasch et al. (2012) beschreiben eine Länge von rund 16 mm sowie einer Breite von rund 28 mm, womit es der größte der vier proximalen Handwurzelknochen ist.

Auf Grund seiner besonderen Form und Lage artikuliert das Os scaphoideum mit allen seinen angrenzenden Strukturen. Proximal steht es mit dem Radius, distal mit dem Os trapezoideum und dem Os trapezium, sowie ulnar mit dem Os capitatum und Os lunatum in direkter Beziehung.

Anatomisch lassen sich sechs Flächen näher beschreiben. Die Facies superior des Os scaphoideum imponiert konvex, glatt, hat eine Dreiecksform und artikuliert mit dem distalen Radius.

Die nach unten, lateral und hinten gerichtete Facies inferior präsentiert sich ebenso konvex, glatt und dreieckig, wird jedoch durch eine Incisur in 2 Teile geteilt.

Während die radiale Hälfte mit dem Os trapezium in artikulierender Verbindung steht, artikuliert die ulnare Hälfte mit dem Os trapezoideum.

An der Facies dorsalis des Kahnbeins findet sich eine längliche, rauhe, über die gesamte Länge des Knochens verlaufende Erhebung, welche dem ligamentären Ansatz dient.

Die konkave Facies volaris erstreckt sich nach unten lateral in eine rundliche Erhebung, dem so genannten Tuberculus, an welchem das Ligamentum carpale transversum inseriert, sowie gelegentlich einige Fasern des M. Abduktor pollicis brevis ihren Ursprung finden.

Da sich an der Facies lateralis der Ansatz des Lig. collaterale transversum findet, ist diese neben der schmalen Form auch aufgerauht.

Die Facies medialis lässt sich wiederum in zwei artikulierende Einheiten untergliedern.

Die superiore Einheit einerseits ist abgeflacht und halbmondförmig. Sie artikuliert mit dem Os lunatum.

Die inferiore Einheit andererseits ist konkav und bildet zusammen mit dem Os lunatum den konkaven Kopf für das Os capitatum (Gray, 1918).

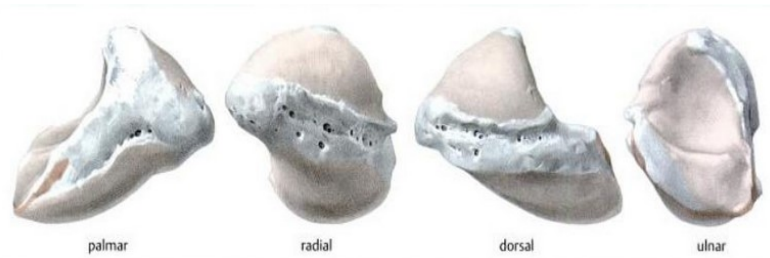


Abb. 7: Ansichten des Os scaphoideum von palmar, radial, dorsal und ulnar.

2.5. Blutversorgung

Neben Böhler, Gelberman und Menon, Strickner, Fasol, konnten durch Taleisnik und Kelly im Jahr 1966 im experimentellen Setting folgende Gefäße zur extra- bzw. intraossären Versorgung des Skaphoids verantwortlich gemacht werden.

2.5.1. Extraossäre arterielle Versorgung

Drei Gefäßgruppen, welche ihren Ursprung entweder in der A. radialis oder der A. radialis und ihrem Ramus superficialis palmaris nehmen, sowie der Ramus superficialis palmaris der A. radialis konnten hierbei beschrieben werden. Das Kahnbein wird von diesen Gefäßen und ihren Ästen im Bereich des mittleren Drittels sowie am Tuberculum durchstoßen.

Entsprechend dem Ursprungs- und Penetrationsort wurden sie unterteilt in:

- lateropalmare Gruppe
- dorsale Gruppe
- distale Gruppe

2.5.2. Intrasossäre Blutversorgung

Im Zuge der intraossären Blutversorgung beschrieben Taleisnik und Kelly eine Anastomosenbildung der lateropalmaren und dorsalen Gruppe, während die distale Gefäßgruppe ausschließlich die Circumferenz im Bereich der Tuberositas versorgt.

Das lateropalmare System ist der Hauptstamm zur intraossären Versorgung. Nach Eintritt in das Skaphoid teilt sich das Gefäß in ein bis vier Äste, die in Richtung der knorpeligen Gelenkfläche den proximalen und medialen Anteil versorgen.

In Richtung der Tuberositas verlaufen hingegen weniger und im Kaliber schwächere Äste. Gesamt machen die kaliberstarken Gefäße der lateropalmare Gruppe die Hauptversorgung der proximalen 2/3 des Kahnbeins aus.

Viele dieser kleinen und feinen Arterien anastomosieren untereinander und mit ähnlichen Gefäßen des dorsalen Systems und werden zu einem kleiner und kleiner werdenden arkadenartigen Geflecht.

Die distale Gruppe ist, verglichen mit den beiden anderen, wesentlich kleiner und versorgt einen relativ scharf umschriebenen Raum im Bereich der Tuberositas, wo sie sich in wenige, sehr dünne Gefäßenden aufteilt (Taleisnik und Kelly, 1966).

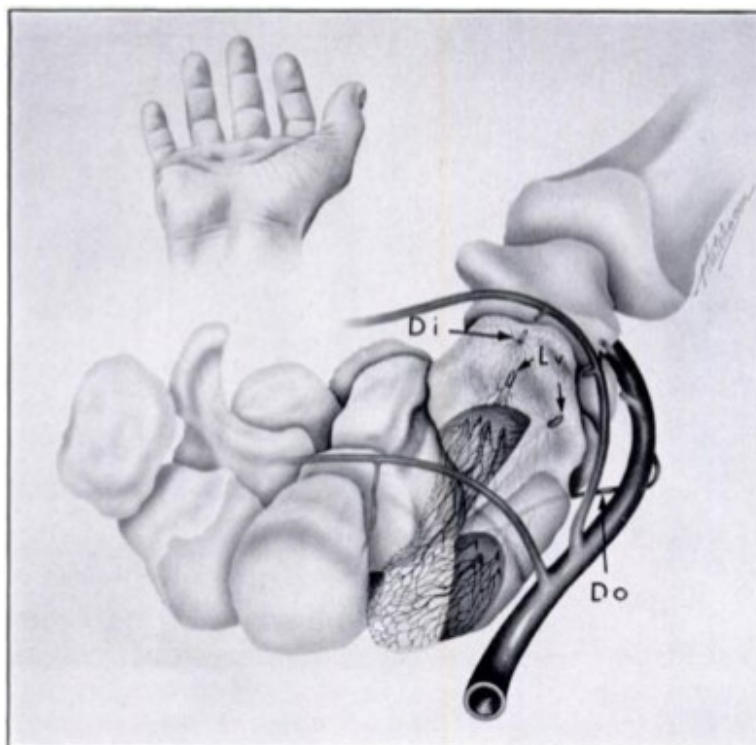


Abb. 8: Idealisierte Blutversorgung am Skaphoid.

2.5.3. Venöse Versorgung

Im Handwurzelbereich führt ein oberflächliches und ein tiefes Venensystem das Blut wieder ab.

Durch zahlreiche Anastomosen stehen die Venen des tiefen Systems auch untereinander in Verbindung, sie verlaufen als *Vv. comitantes palmar* entlang der Arterien. Zudem verbinden Perforans-Venen das Venensystem der Hohlhand mit dem des Handrückens (Oehmke, 1987).

3. Pathomechanismus

Frakturen des Skaphoids machen je nach Literatur zwischen 70% und 80% aller Karpalknochenfrakturen aus (Pines et al., 2013). Obwohl man sie in jeder Altersklasse wiederfindet, sind Jugendliche und junge Erwachsene am häufigsten betroffen. So liegt der Häufigkeitsgipfel zwischen dem 20. und 40. Lebensjahr; obwohl Männer wesentlich häufiger betroffen sind als Frauen, hat die Inzidenz bei Frauen in den letzten Jahrzehnten jedoch deutlich zugenommen (Fowler und Hughes, 2015).

Vergleicht man die Fraktur des Kahnbeins mit anderen, so ist sie insgesamt betrachtet dennoch selten (Weber und Eisenschenk, 2002). Jedoch nimmt die Erkennung und adäquate Therapie der akuten Kahnbeinfraktur einen großen Stellenwert in der Unfall- und Handchirurgie ein.

Der typische Unfallhergang besteht aus einem Sturz auf die ausgestreckte Hand, wobei das Handgelenk eine Abweichung nach radial aufweist und es zu einem Aufprall auf die palmare Handfläche kommt.

Dieser Ablauf übt zusätzlich eine Belastung auf das Ligamentum scaphoideo-lunatum (SL-Ligament) aus.

Der beschriebene Mechanismus führt zu einer Kompression des Os scaphoideum gegen die konkave Fläche des distalen Radius und führt so zu einer Fraktur, die am häufigsten im mittleren Bereich des Skaphoids auftritt.

Kommt es zu einem Sturz bei einem in Abduktionsstellung gehaltenen Handgelenk, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit einer Fraktur im proximalen Pol (Weber und Chao, 1978).

Eine weitere experimentelle Studie konnte nachweisen, dass Frakturen im mittleren Drittel des Skaphoids als Folge massivster Dorsiflexion ($>95^\circ$) des Handgelenks und zugleich einwirkender starker Kompression auf die radiale Seite der Handinnenfläche auftreten. Ein Vorgang, der in etwa den Ablauf eines Sturzes auf die Hand beim Stolpern beschreibt.

Auch eine forcierte Dorsalflexion bei Autounfällen (Krafteinwirkung des Handballens gegen ein Lenkrad) resultiert häufig in einem Kahnbeinbruch, ebenso wie ein Schlag gegen Skaphoid.

Auch Tuberkulumfrakturen entstehen durch ähnliche Verläufe. Uneinigkeit herrscht lediglich noch in der Frage, welche Ligamente dabei eine zentrale Rolle einnehmen (Schubert, 2000).

Eine Sonderform stellen die Luxationsfrakturen der Handwurzelknochen (greater arc injuries) dar, bei welchen die Kahnbeinfraktur sehr häufig zusätzlich auftreten. Eine allgemein anerkannte Klassifikation wurde 1984 von Panting vorgenommen, welcher zwischen Verletzungen mit rupturiertem SL-Band (schlechte Stabilität) und Verletzungen mit intakter Bandverbindung bei transskaphoidaler Luxationsfraktur (gute Stabilität) unterscheidet.

Wegen des seltenen Vorkommens dieser Verletzungen sind Abhandlungen zum Outcome mitunter rar. Generell kann man die Verletzungen konservativ und operativ versorgen. Während die bloße Reposition und nachfolgende Ruhigstellung zu mäßig guten Ergebnissen führte, kann mittels operativer Therapie (offene Reposition, Bandrekonstruktion und Kirschner-Draht-Fixation) ein gutes radiologisches und klinisches Ergebnis erzielt werden (Towfigh et al., 2011).

Abbildung 9.a stellt die vulnerablen Zonen bei einer perilunären Luxationsfraktur dar. Die Vielzahl der möglichen Frakturverläufe wird in Abb. 9.b dargestellt.

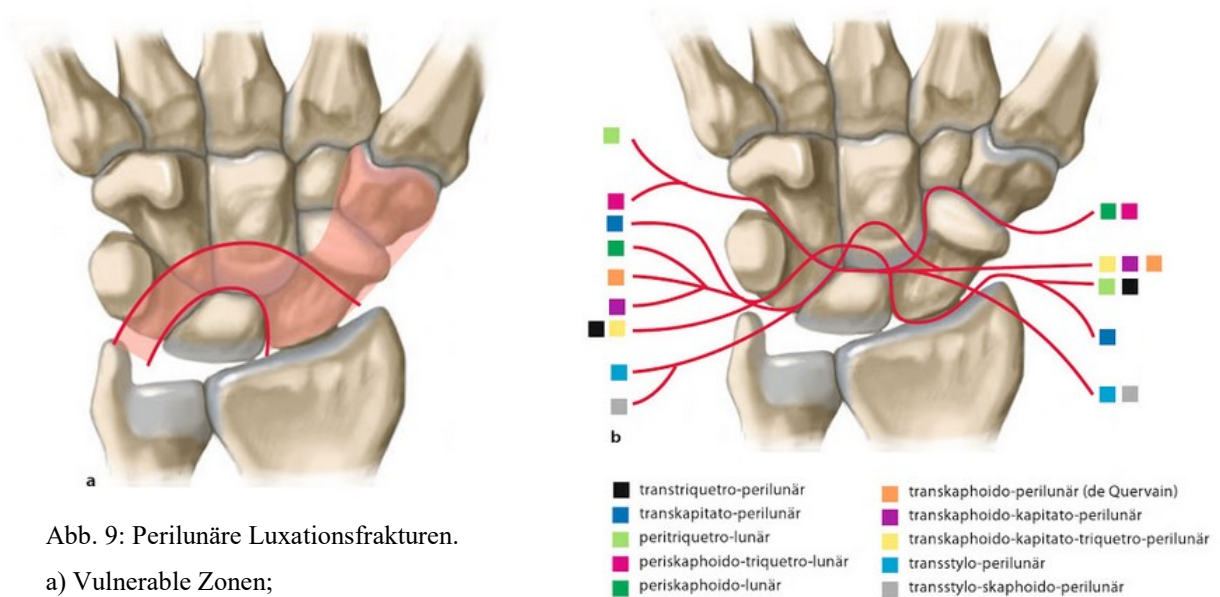


Abb. 9: Perilunäre Luxationsfrakturen.

a) Vulnerable Zonen;

b) Möglicher Verlauf der Fraktur.

4. Diagnostik

Zu einer adäquaten Diagnostik der frischen Kahnbeinfraktur gehört neben einer gründlichen Anamnese eine klinische sowie eine röntgenologisch-bildgebende Untersuchung.

Weiters müssen immer folgende Differentialdiagnosen zur klassischen Skaphoidfraktur ausgeschlossen werden:

- Scapholunäre Instabilität
- Fraktur oder Dislokation des Os lunatum
- Fraktur des Proc. styloideus radii
- Fraktur des Os trapezium
- Ruptur der Sehne des M. flexor carpi radialis
- Avulsion des M. extensor carpi radialis longus
- Avulsion des M. extensor carpi radialis brevis
(Schloss, 2001)

4.1. Physikalische Diagnostik

Leitsymptom der Kahnbeinfraktur ist ein Druckschmerz in der Fossa Tabatière. Weiters ist oft ein Schmerz bei Stauchung des 1. und 2. Strahles, sowie eine sichtbare Schwellung oder eine schmerzhafteste Bewegungseinschränkung aufgrund eines Handgelenkergusses zu finden (Wirth, 2013).

Zusätzlich zeigt sich oft ein Schmerz bei Dorsalflexion, radialer Deviation und bei einer longitudinalen Kompression bzw. Tension des Os metacarpale I.

Auf den Ausschluss eines eventuell vorhandenen Kompartment-Syndroms darf niemals vergessen werden (Schloss, 2001).

4.2. Radiologische Diagnostik

Bei der radiologischen Beurteilung des Skaphoids muss auf einige Spezifitäten Rücksicht genommen werden. Zum einen liegt das Kahnbein in einem rund 45 Grad beschreibenden Winkel orthogonal zu den Raumebenen. Zum anderen liegt es nicht in einer Ebene, sondern ist gekrümmt. Durch diese Eigenschaften kommt es in den seitlichen und dorsopalmaren, konventionellen Röntgen oft nur unvollständig zur Einsicht.

Abhilfe schafft hier eine zusätzliche Aufnahme in so genannter Stecher-Projektion, welche bei geschlossener Faust und Ulnarduktion erfolgt. Durch diese Einstellung des Handgelenks kommt das Kahnbein in seiner gesamten Länge zur Einsicht.

Auch die CT Untersuchung wird immer wichtiger, am aussagekräftigsten sind hier Schnitte parallel zur Längsachse. Nach Meinung zahlreicher Autoren eignet sich die CT weitaus besser zum Nachweis einer Fraktur als das Kahnbeinquantett im klassischen Röntgen (Stecher, Schreibfederhaltung, Extension, Hyperpronation). Deswegen kann sie durchaus früh nach dem konventionellen Röntgen in Auftrag gegeben werden. Nicht selten können so Frakturen nachgewiesen werden, welche im Standardröntgen als stabil eingestuft werden würden, in der sensibleren CT Untersuchung jedoch größere Verschiebungen aufweisen und so einer instabilen Klassifikation entsprechen.

Eine gute Alternative zur CT stellt die Magnetresonanztomographie dar. Bei der Verwendung von so genannten STIR-Sequenzen treten im Bereich des verletzten Knochenmarks vorkommende Ödeme signalintensiv, die Ränder des Bruches signalschwach auf.

Einschränkungen in der Verwendung der MRT sind in der Differenzierung signalintensiver Areale zu erwarten, welche nicht nur bei Frakturen, sondern auch bei Kontusionen und Mikrorisse der Trabekel entstehen. Ein so diagnostizierter Bruch kann durchaus fehlgedeutet worden sein.

Unter Beachtung dieser Punkte kommt man zum Schluss, dass in der akkuraten Diagnosestellung einer frischen Kahnbeinfraktur neben den konventionellen Kahnbeinquantett-Aufnahmen der Computeromographie ein hoher Stellenwert eingeräumt werden kann (Krimmer et al., 2000).

Schädel-Höpfner et al empfiehlt folgende Diagnostikabfolge unter Berücksichtigung der aktuellen S3-Leitlinie zur Therapie der frischen Skaphoidfraktur:

- Anamneseerhebung,
- gezielte klinische Durchuntersuchung,
- liegt ein begründeter Frakturverdacht vor, beginnt man mit einem konventionellen Röntgen in den 3 Standardebenen (Abb. 10; dorsopalmar, lateral, Stecher),
- kann mittels dieser Aufnahmen bereits eine Fraktur nachgewiesen werden, sollte zusätzlich eine CT-Untersuchung zur weiteren Planung und dem genauen Staging durchgeführt werden.
- Fehlt jedoch ein adäquater Nachweis in den 3 Standardaufnahmen, sollte zum Ausschluss bzw. zum eventuellen Nachweis einer im konventionellen Röntgen nicht gefundenen Bruch wiederum eine CT-Untersuchung durchgeführt werden.
- zeigen sich sowohl die konventionellen Röntgen, als auch die Computertomographie unauffällig, aber das klinische Bild einer Kahnbeinfraktur persistiert, kann eine spezielle MRT-Untersuchung zum Auffinden einer möglichen okkulten Fraktur durchgeführt werden (Schädel-Höpfner et al., 2016).

Bei einem Vorgehen nach oben genanntem Schema muss man jedoch immer beachten, dass manche Frakturen erst nach Ablauf eines gewissen Zeitrahmens in der Bildgebung sichtbar werden.

So kann mitunter die Verminderung des knöchernen Materials im Rahmen eines physiologischen Resorptionsvorganges im Bereich des Frakturspaltes einen Bruch anzeigen.



Abb. 10: Standardröntgenaufnahmen in der Kahnbeindiagnostik. a dorso-palmar, b) seitlich, c) Stecher-Projektion, d) CT-Aufnahme.

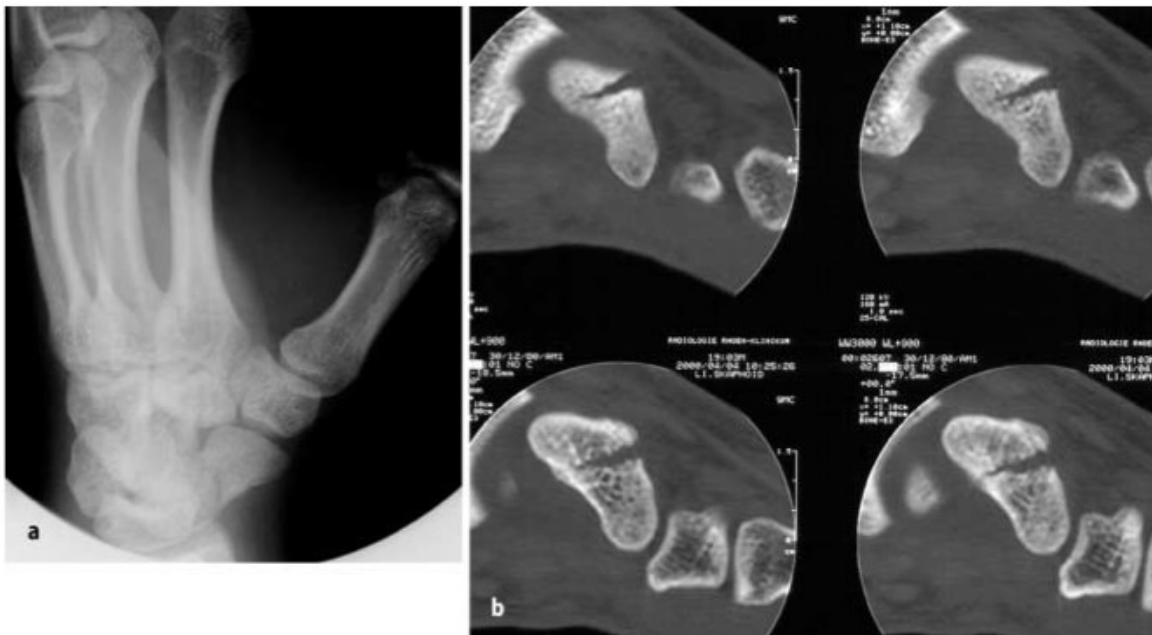


Abb. 11: Röntgenbilder in der Kahnbeindiagnostik. a) Darstellung des Bruchspaltes in Hyperpronation, b) Klassifikation mittels CT als instabile B1-Fraktur.

5. Klassifikationen

In der Literatur findet sich eine Vielzahl an Klassifikations- und Einteilungsversuchen der akuten sowie der verzögerten Kahnbeinfraktur.

Einige hiervon sind im klinischen Alltag überaus häufig, während andere wiederum weniger Niederschlag in der Praxis finden.

Im Nachfolgenden werden sowohl die bekannten als auch weniger bekannten Klassifikationen genauer beleuchtet.

5.1. Klassifikation nach Böhler

Den ersten Klassifikationsversuch unternahm Böhler 1954, welcher die akuten Kahnbeinfrakturen in Frakturen der Tuberositas, des proximalen Drittels, dem Übergang vom mittleren zum proximalen Drittel, dem mittleren Drittel, dem mittleren Drittel inklusive einem ausgesprengten Teil sowie dem distalen Drittel untergliedert.

Weiters differenziert er entsprechend dem Frakturverlauf in einen horizontalen Schrägbruch, Querbruch sowie vertikalen Schrägbruch (Abb. 12).

In einer Studie zeigte er, dass rund die Hälfte aller Skaphoidfrakturen in die Gruppe des horizontal-schrägen Bruches fallen. Der Bruchspalt verläuft hier von radial distal nach ulnar proximal. So scheint es, als verlaufe der Bruch schräg zur Skaphoidachse und lotrecht zur Unterarm-Hand-Achse.

Der Querbruch, welcher in der Studie rund ebenso häufig wie der horizontale Schrägbruch vorkam, verläuft im Lot zum Kahnbein und somit schräg zur Unterarm-Hand-Achse. Auf Grund der zusätzlich auftretenden Scherkräfte kann die Heilung im Vergleich zu den anderen Brucharten, welche nur Druckkräfte aufweisen, oft verzögert sein.

Der vertikale Schrägbruch ist der seltenste dieser drei Typen. Die Bruchlinie verläuft hier von radial palmar proximal nach ulnar dorsal distal. Wenn der Frakturspalt zur Gänze in radio-ulnarer Richtung verläuft, wird die Diagnostik des Bruches durch den nur in der Lateralaufnahme zu erkennenden Bruchspalt zusätzlich erschwert. Die Bruchheilung ist hier mitunter deutlich verzögert, bei einigen der untersuchten Patienten sogar gänzlich ausgeblieben (Böhler et al., 1954).

Die Darstellungen 3a und b, 4a und b sowie 5a und b in Abb. 12 korrespondieren mit der

für Kahnbeinfrakturen spezialisierten Röntgenaufnahme (gebeugte Finger und leichte Supination), Darstellung 5c korrespondiert mit einer Lateralaufnahme, da der Bruch häufig nur in dieser Position dargestellt werden kann.



Abb. 12: Frakturklassifikationen nach Böhler.

3a/b) horizontal-schräge Fraktur; 4a/b) transversale Fraktur; 5a-c) vertikal-schräge Fraktur.

5.2. Klassifikation nach Russe

Die Klassifikation nach Russe ähnelt der älteren Klassifikation nach Böhler.

Es handelt sich ebenso um eine radiologische Fraktur, die den Verlauf der Fraktur beschreibt (Vogt, 2011).

Russe differenziert zwischen einem extraartikulären Tuberculumabriss sowie gänzlich intraartikuläre Frakturen, welche an Hand des Verlaufes der Fraktur wiederum unterteilt werden. Am häufigsten sind Querfrakturen (ca. 60%), danach horizontal schräge Frakturen (ca. 35%) und zum Abschluss mit ca. 3% vertikal schräge Frakturen (Vogl et al., 2011).

Die instabile Typ-III Fraktur sollte nach Vogt (2011) operiert werden.



Abb. 13: Frakturklassifikation nach Russe. Typ I: horizontal schräg; Typ II: quer; Typ III: vertikal schräg.

5.3. Mayo – Klassifikation (Cooney et al.)

Die Mayo Klassifikation teilt Kahnbeinfrakturen in proximale (10%), mittlere (70%) und distale (20%) Frakturen sowie Frakturen an der Tuberositas ein.

Bei Frakturen im distalen Drittel wird weiters unterschieden zwischen einem Bruch im Bereich der distalen Gelenkfläche bzw. der distalen Tuberkulumfraktur (Samir et al).

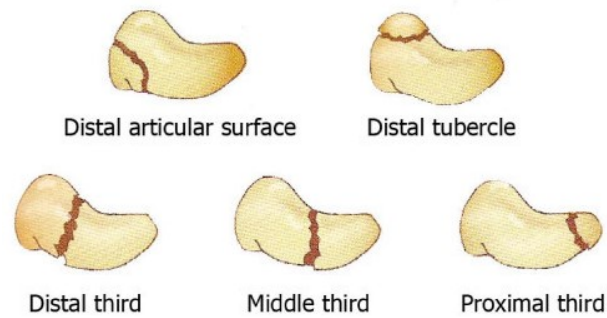


Abb. 14: Mayo-Klassifikation (Cooney et al).

5.4. OTA – Klassifikation

Die OTA (Orthopaedic Trauma Association) Klassifikation unterscheidet im Bezug auf die Skaphoidfraktur zwischen einfachen (Typ A, noncomminuted) und mehrfragmentierten (Typ B, comminuted) Brüchen. Im weiteren Verlauf werden die zwei Typen jeweils entsprechend der Lokalisation des Bruches in 3 Unterkategorien gegliedert, wie Abb. 15 veranschaulichen soll.

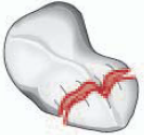
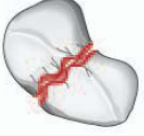

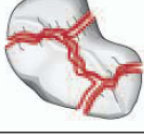
72 Skaphoid		
72-A...einfach	72-A1...proximaler Pol	
	72-A2...Mitte	
	72-A3...distaler Pol	
72-B...mehr-fragmentär	72-B1...proximaler Pol 72-B2...Mitte 72-B3...distaler Pol	

Abb. 15: OTA Frakturklassifikation.

5.5. Klassifikation nach Herbert

Diese radiologische Klassifikation ist dadurch gekennzeichnet, dass sie dezidierte Aussagen über die Frakturstabilität zulässt (Vogt, 2011).

Stabile Frakturen werden in der Kategorie Typ A zusammengefasst, welche Tuberkelfrakturen (Typ A1) und undislozierte Rissfrakturen mit quерem Verlauf im distalen oder mittleren Drittel (Typ A2) beinhaltet.

Frische instabile Frakturen hingegen werden untergliedert in Schrägfrakturen (Typ B1), dislozierte bzw. klaffende Frakturen (Typ B2), Frakturen des proximalen Drittels (Typ B3) und transskaphoide perilunäre Luxationsfrakturen (Typ B4).

Weiters wird zwischen verzögerter Heilung (Typ C) und Pseudoarthrose (Typ D) unterschieden (Krimmer et al., 2000).

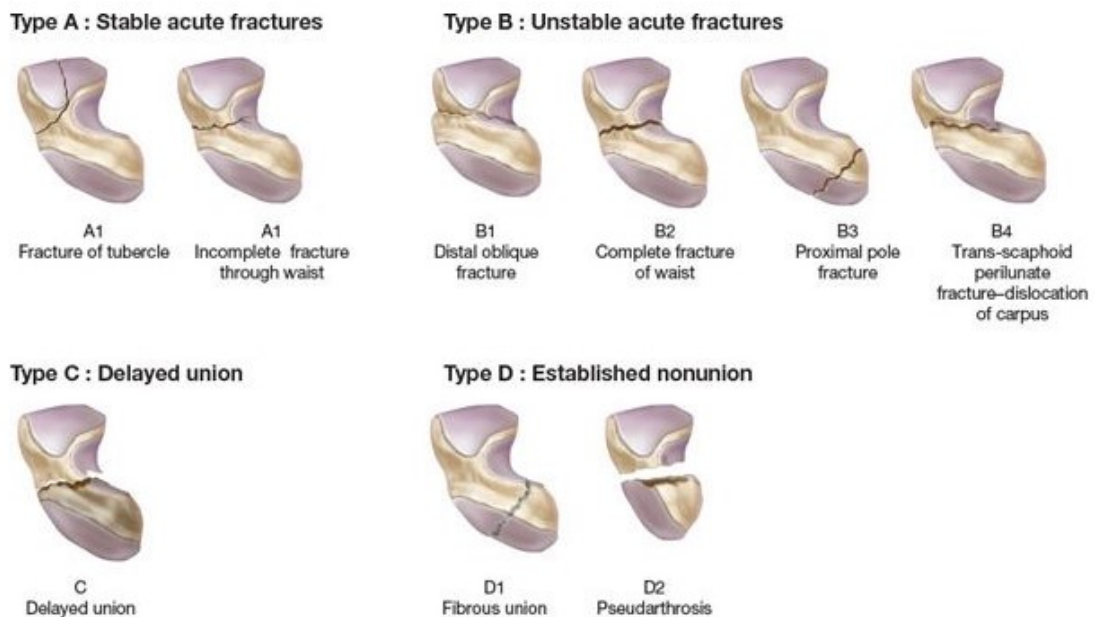


Abb. 16: Frakturklassifikation nach Herbert.

5.6. Klassifikation nach Schernberg und Elzein

Diese Klassifikation zeichnet sich dadurch aus, dass sie Frakturen am Kahnbein indirekt entsprechend der Blutversorgung der Fragmente einteilt. Unterschieden wird zwischen acht Typen, welche sich wie in Abb. 17 dargestellt folgend untergliedern:

- Typ I: Fraktur des proximalen Pols
 - Typ II: Fraktur des proximalen Korpus
 - Typ III: Fraktur des distalen Korpus
 - Typ IV: Fraktur der Tuberositas
 - Typ V: Fraktur der distalen Intermediärzone
 - Typ VIa: Tuberkulumfraktur, kleines Fragment
 - Typ VIb: Tuberkulumfraktur, Abbruch der halben skaphotrapezialen Gelenkfläche
 - Typ VIc: Tuberkulumfraktur, Abbruch der kompletten skaphotrapezialen Gelenkfläche
- (Vogl et al., 2011)

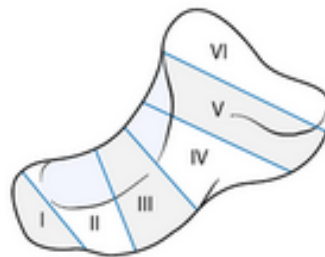


Abb. 17: Frakturklassifikation nach Schernberg und Elzein.

5.7. Klassifikation nach McLaughlin und Parkes

Im Jahre 1969 klassifizierten McLaughlin und Parkes Brüche des Kahnbeines in drei Gruppen basierend auf ihrer operativen Beschaffenheit, welche sie, wie auch Herbert, in stabile und instabile Frakturen gliederten.

Obwohl die examinierten Brüche leichte Unterschiede aufwiesen, konnten sie dennoch jeweils einer dieser drei Klassen zugeordnet werden.

Klasse A: Eine der Klasse A zugeordnete Fraktur ist charakterisiert durch einen frühzeitig erkennbaren Erguss im Bereich des Handgelenks, der eine undislozierte Skaphoidfraktur enthält. Relativ häufig kann man die Fraktur auf einem herkömmlichen Röntgen nicht nachweisen und selbst intraoperativ präsentiert sie sich oft nur in einem Haarriss der knorpeligen Artikulationsfläche oder dem umgebenden Bindegewebe.

Die Frakturen waren inkomplett und im Wesentlichen von intakten bzw. fast gänzlich intaktem Knorpel und Knochen umgeben. (Abb. 18)

Klasse B: Im Zuge einer Fraktur kommt es zu einem Gelenkserguss. Frakturen der Klasse B, wenn auch undisloziert, lassen sich daran erkennen. Im Allgemeinen kann man diese Frakturen auch leicht im Röntgen nachweisen.

Eine Besonderheit bei dieser Fraktur besteht darin, dass neben dem Knochen auch Teile des umliegenden Bindegewebes verletzt sind. Jedoch nicht die ganze Circumferenz, sondern nur Teile davon. Das restliche Gewebe, welches in intaktem Zustand den Knochen umgibt, schützt die Fraktur vor einer möglichen Dislokation. Befindet sich der Riss aber in gewissen Funktionen, kann er auch eine Art Schanierfunktion ausüben. Dies äußert sich darin, dass man das Skaphoid auf- und zuklappen kann (Abb. 18).

Klasse C: Diese Klasse beschreibt jegliche Art von dislozierten Frakturen. McLaughlin und Parkes gehen von jeder dislozierten Fraktur als instabil aus (Abb. 18) (McLaughlin und Parkes, 1969).

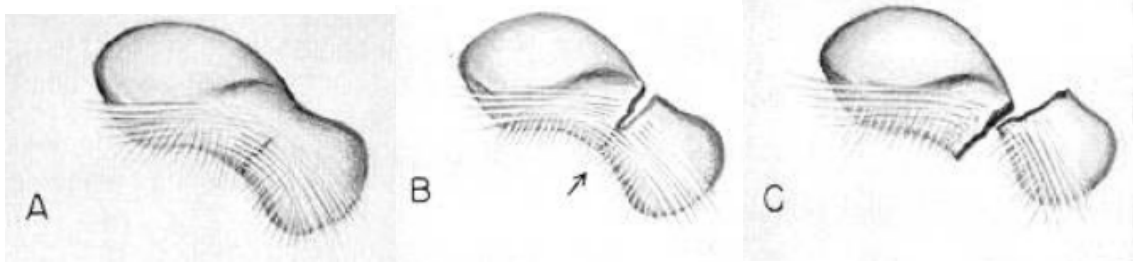


Abb. 18: Frakturklassifikation nach McLaughlin und Parkes 1969.

5.8. Klassifikation nach Prosser

Prosser klassifiziert Brüche des distalen Pols in folgende drei Klassen (Bachu, 2014):

- Typ 1: Fraktur der Tuberositas
- Typ 2: distale intra-artikuläre Fraktur
- Typ 3: osteochondrale Fraktur

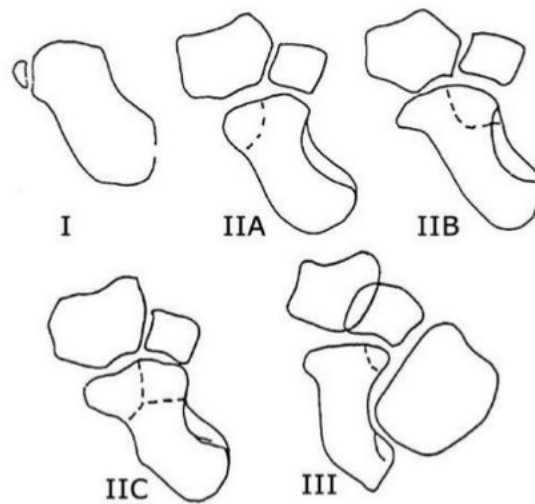


Abb. 19: Frakturklassifikation nach Prosser.

5.9. Klassifikation nach Compson

Compson konnte 1998 in einer explorativen Untersuchung von 80 Kahnbeinfrakturen drei Hauptmuster beschreiben:

- chirurgische Mitte/Mitte transversal
- Sulcus dorsalis/Mitte schräg
- proximaler Pol

Chirurgische Mitte (Abb. 20.a): Von den insgesamt 24 Brüchen, die in diesen Bereich fielen, verlief nur eine Fraktur exakt in der Ebene. Die restlichen 23 Frakturen variierten jedoch nur leicht und verliefen mit kleineren Abweichungen entlang der Mitte.

Sulcus dorsalis (Abb. 20.b): Frakturen in der Linie des Sulcus dorsalis verlaufen im 45° Winkel zur Mitte, was somit in etwa der longitudinalen Achse des Skaphoids entspricht. Die Brüche verfolgten initial den Sulcus, querten dann jedoch die volare Fläche in Richtung der Facette zwischen Skaphoid und Capitulatum.

Am lateralen Apex der dorsalen Kante gab es drei Variationen: Die Bruchlinie kann proximal, distal, oder an beiden Seiten des Apex verlaufen. Verläuft die Fraktur entlang beider Seiten des Apex, handelt es sich um einen dislozierten Bruch.

Proximaler Pol (Abb. 20.c): Diese Frakturen liegen proximal der hinteren Kante und entstammen vom dorsalen Apex. In ihrem Verlauf queren sie zuerst das radio-scaphoidale Gelenk und anschließend das Gelenk zwischen Skaphoid und Lunatum im Bereich des proximalen Endes.

Die scaphoideo-capitale Facette ist eine der variabelsten Eigenschaften in Bezug auf die Anatomie des Kahnbeines. Dementsprechend variieren Frakturen des proximalen Pols erheblich in ihrer Größe, obwohl die anatomische Grundlage stets konstant bleibt(Compson, 1998).

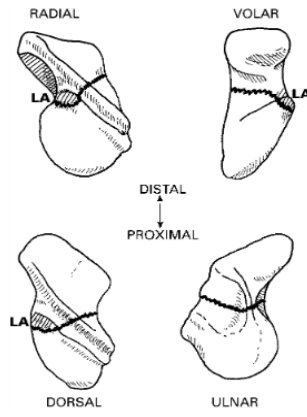


Abb. 20.a: Surgical waist.

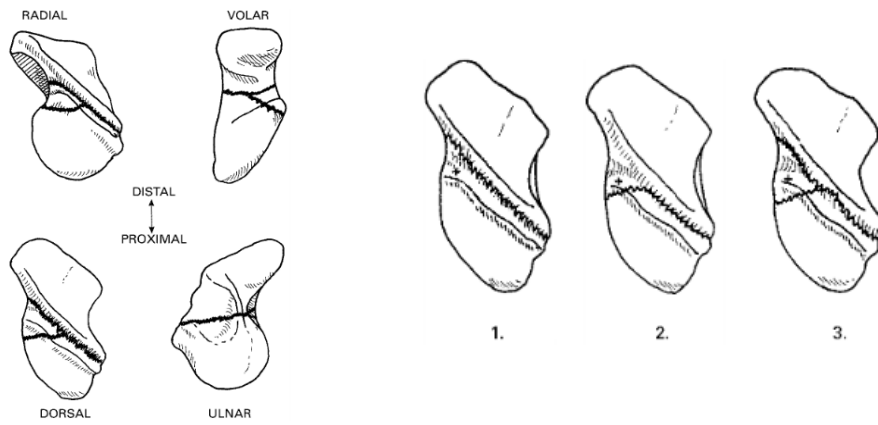


Abb. 20.b: Sulcus dorsalis.

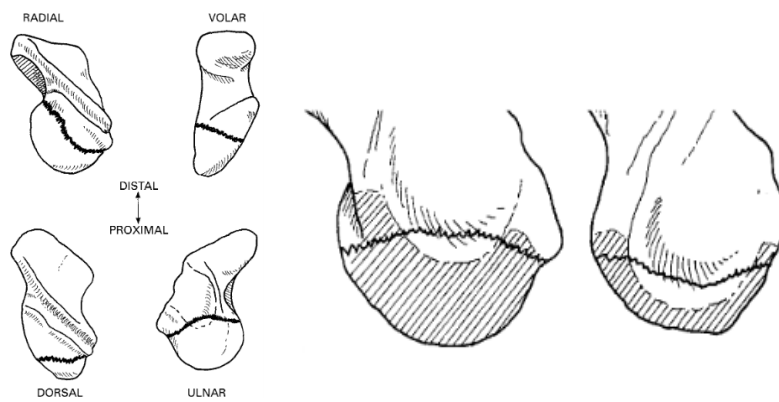


Abb. 20.c: Proximaler Pol.

5.10. Zusammenfassende Darstellung der Frakturklassifikationen

5.10.1. Klassifikationen basierend auf der anatomischen Lokalisation der Fraktur

Autor	Jahr	Typ	
Böhler et al.	1954	1	Tuberositas
		2a	Proximales Drittel
		2b	Mittleres/proximales Drittel
		2c	Mittleres Drittel
		2d	Mittleres Drittel, Teil ausgeschlagen
		2e	Distales Drittel
Mayo (Cooney et al.)	1980	1	Tuberositas
		2	Distale Gelenksfläche
		3	Distales Drittel
		4	Mitte, mittleres Drittel
		5	Proximaler Pol
Schernberg	1984	I	Proximaler Pol
		II, III, IV	Mitte
		V	Distale Intermediärzone
		VIa,b,c	Distales Tuberculum
Prosser	1988	I	Tuberositas
		II (A,B,C)	Distal intraartikulär
		III	Osteochondrale Fraktur

Autor	Jahr	Typ	
OTA	2007	72-A1	Proximaler Pol, einfach
		72-A2	Mitte, einfach
		72-A3	Distaler Pol, einfach
		72-B1	Proximaler Pol, mehrfragmentär
		72-B2	Mitte, mehrfragmentär
		72-B3	Distaler Pol, mehrfragmentär

Tab. 1: Klassifikationen basierend auf der anatomischen Lokalisation der Fraktur.

5.10.2. Klassifikationen basierend auf der Verlaufsrichtung des Frakturspaltes

Autor	Jahr	Typ	
Böhler et al.	1954		Horizontal-schräg
			Transversal
			Vertikal-schräg
Russe	1960		Horizontal-schräg
			Transversal
			Vertikal-schräg
Compson	1998	1	Chirurgische Mitte / Mitte transversal
		2	Sulcus dorsalis / Mitte schräg
		3	Proximaler Pol

Tab. 2: Klassifikationen basierend auf der Verlaufsrichtung des Frakturspaltes.

5.10.3. Klassifikationen basierend auf der mechanischen Stabilität der Fraktur

Autor	Jahr	Typ	
McLaughlin & Parkes	1969	A	Inkomplett
		B	Undisloziert, stabil
		C	Disloziert, instabil
Herbert	1984	A1	Stabil, Tuberculum
		A2	Stabil, Mitte inkomplett
		B1	Instabil, distal schräg
		B2	Instabil, Mitte
		B3	instabil, proximaler Pol
		B4	Instabil, Corpus Dislokation

Tab. 3: Klassifikationen basierend auf der mechanischen Stabilität der Fraktur.

6. Therapie

6.1. Konservative Therapie

Nach Schädel-Höpfner et al. (2016) sollte die primäre Ruhigstellung mit einer Schiene oder einem gespaltenen Gips, die folgende definitive Ruhigstellung mit einem zirkulären oder gleichwertigen Gips- oder Kunststoffverband vorgenommen werden. Bei Anlegen des Verbandes sollte darauf geachtet werden, dass das Handgelenk in einer leichten Extensionsstellung und das Os metacarpale I in leichter Oppositionsstellung eingeschlossen wird. Das Ellenbogengelenk soll ebenso wie das Daumenendgelenk und die Fingergrundgelenke nicht ruhiggestellt werden. Die Dauer der Immobilisation ist von der Frakturlokalisation abhängig und kann für Tuberkelfrakturen (Typ A1 nach Herbert) auf 4 Wochen begrenzt werden. Typ A2 Frakturen nach Herbert (undisloziert, distales bis mittleres Drittel) sollten bei adäquater Behandlung in einem Zeitrahmen von 6-8 Wochen ausheilen. Vor Abschluss der Behandlung muss immer eine Bildgebung zur Beurteilung der knöchernen Heilung durchgeführt werden. Besteht nach konventionellen Röntgen noch Unsicherheit bezüglich der Heilung des Bruches, wird empfohlen die Fixierung fortzuführen. Eine neuerliche bildgebende Kontrolle ist ab der neunten Woche durch eine Computertomographie indiziert. Sollte nach rund 3 Monaten noch kein Fortschritt zu verzeichnen sein, sollte eine Adaption der Therapie überdacht werden. Bevor mit einer konservativen Behandlung begonnen wird, sollte auch zum besseren Staging eine CT durchgeführt werden.

6.2. Operative Therapie

Zwei Faktoren sind grundsätzlich entscheidend für die operative Technik. Zum einen die Wahl des Osteosynthesematerials, zum anderen der Zugangsweg. Ob der Zugang von dorsaler oder volarer Seite erfolgt, entscheidet sich nach dem Verlauf der Fraktur. (Krimmer et al., 2000). Das Skaphoid kann sowohl von volarer als auch von dorsaler Seite erreicht werden. Der Zugang zu Brüchen im distalen und mittleren Bereich gelingt am besten über volar, da sich hier die Bruchlinie meist gut darstellen lässt und ein Erhalt der Blutversorgung gewährleistet werden kann (Rhemrev et al., 2011). Dislozierte Frakturen werden prinzipiell offen reponiert und fixiert. Sollte zusätzlich zur Fraktur eine Trümmerzone vorliegen, sollte man eine Spongiosaplastik in Erwägung gezogen werden.

Ist die Fraktur stabil, oder auch instabil, jedoch geschlossen reponierbar, sind minimal-invasive Maßnahmen oft zielführend. Ein Führungsdraht stabilisiert das Skaphoid, die Kontrolle erfolgt über den BV. Auf eine ausreichende Fixation ist hierbei besonders zu achten (Krimmer et al., 2000).

6.2.1. Herbert-Schraube

Die von Herbert entwickelte Schraube basiert auf der Funktionsweise eines Doppelgewindesystems. Während es sich bei dem ersten Modell um ein kleines Implantat handelte, bei dem man zum Einbringen eine spezielle Apparatur, einen so genannten guiding jig, benötigte, entwickelte er in weitere Folge auch kanülierte Schrauben.

Whipple modifizierte 1995 die von Herbert entworfene Schraube im Sinne einer Verkleinerung und Kanülierung (Schädel-Höpfner et al., 2000).

Das Prinzip dieser ersten Schraubensysteme beruht auf der unterschiedlichen Steigung der am proximalen bzw. distalen Ende des Schaftes angebrachten Gewinde.

Auf Grund dieser verschiedenen Steighöhen wird eine Kraft auf die beiden durch den Bruchspalt getrennten Fragmente ausgewirkt, was zu einer Kompression führt.

Im Fall der originalen Herbert-Schraube weisen die Gewinde an den beiden Enden eine verschiedene Steighöhe auf. P1 (Steighöhe am proximalen Ende) ist signifikant größer als P2 (Steighöhe am distalen Ende).

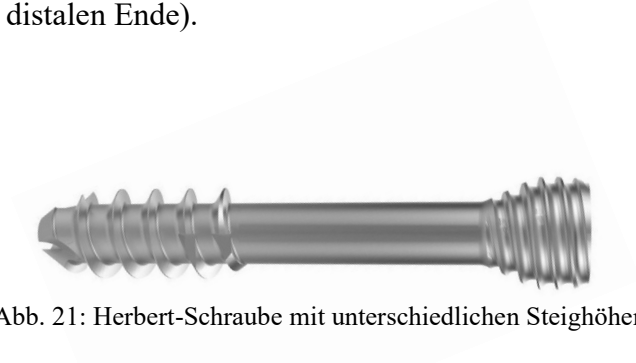


Abb. 21: Herbert-Schraube mit unterschiedlichen Steighöhen.

Bei diversen Weiterentwicklungen hat P1 jedoch die selbe Steighöhe wie P2. Das Funktionsprinzip und die Anwendung einer solchen Schraube soll anhand der HCS von Synthes veranschaulicht werden.



Abb. 22: Kopflose Doppelgewindeschraube.

Schritt 1: Einbringen des Führungsdrahtes

Unter Bildwandlerkontrolle wird ein Führungsdraht so weit in das Skaphoid eingebracht, bis dessen Spitze in der Kortikalis verankert ist.

Schritt 2: Bestimmung der Schrauben- und Gewindelänge

Über den Führungsdraht kann ein Messstab eingeführt werden, um die genaue Schraubenlänge zu bestimmen.

Wichtigstes Kriterium bei der Wahl der Gewindelänge ist der Ort des Bruchspaltes. Eine adäquate Kompression kann nur erzeugt werden, wenn die Schaftgewinde vollständig in

den Fragmenten zu liegen kommen und nicht über die Frakturlinie laufen.

Schritt 3: Vorbohren

Im vierten Schritt wird mittels Spiralbohrer über den Führungsdraht vorgebohrt, die effektive Bohrtiefe wird unter Bildwandlerkontrolle kontrolliert.

Schritt 5: Einbringen der Schraube und Kompression des Bruchspaltes

Wird in diesem Schritt zu fest gezogen, kann es zu einem Ausriss der Schraube kommen, was zu einem totalen Kompressionsverlust führt.

Weiters muss wiederum unter Bildwandlerkontrolle die Lage der Schraube bzw. des Gewindes kontrolliert werden, welches unter keinen Umständen wie oben beschrieben direkt über dem Bruchspalt zu liegen kommen darf.

Schritt 6: Schraube versenken

Im letzten Schritt wird die Schraube mit einem Schraubenziehereinsatz in der Kortikalis versenkt.

6.2.2. Platten-Osteosynthese

Die Versorgung mittels einer Platte stellt die Alternative zur Schrauben-Osteosynthese dar. In der von Jähne et al. 2016 herausgegeben Ausgabe “Was gibt es Neues in der Chirurgie? Jahresband 2016: Berichte zur chirurgischen Weiter- und Fortbildung” bleibt der Einsatz einer Platte jedoch nur den komplizierten Keilfrakturen sowie den mehrfragmentären Frakturen vorbehalten.



Abb. 23: MedArtis TriLock 1.5 Scaphoid Plate.

6.3.3. *Operatives Procedere im Rahmen einer dislozierten Kahnbeinfraktur unter Verwendung einer Herbert-Schraube und dorsalem Zugang (Kawamura und Chung, 2008)*

1. Nachweis einer dislozierten Fraktur im prä-operativen Röntgen im Taillenbereich des Kahnbeines (Typ B2 nach Herbert)



Abb. 24: Frakturnachweis im Röntgen.

2. Hautmarkierung der Inzisionslinie für einen dorsalen Zugang

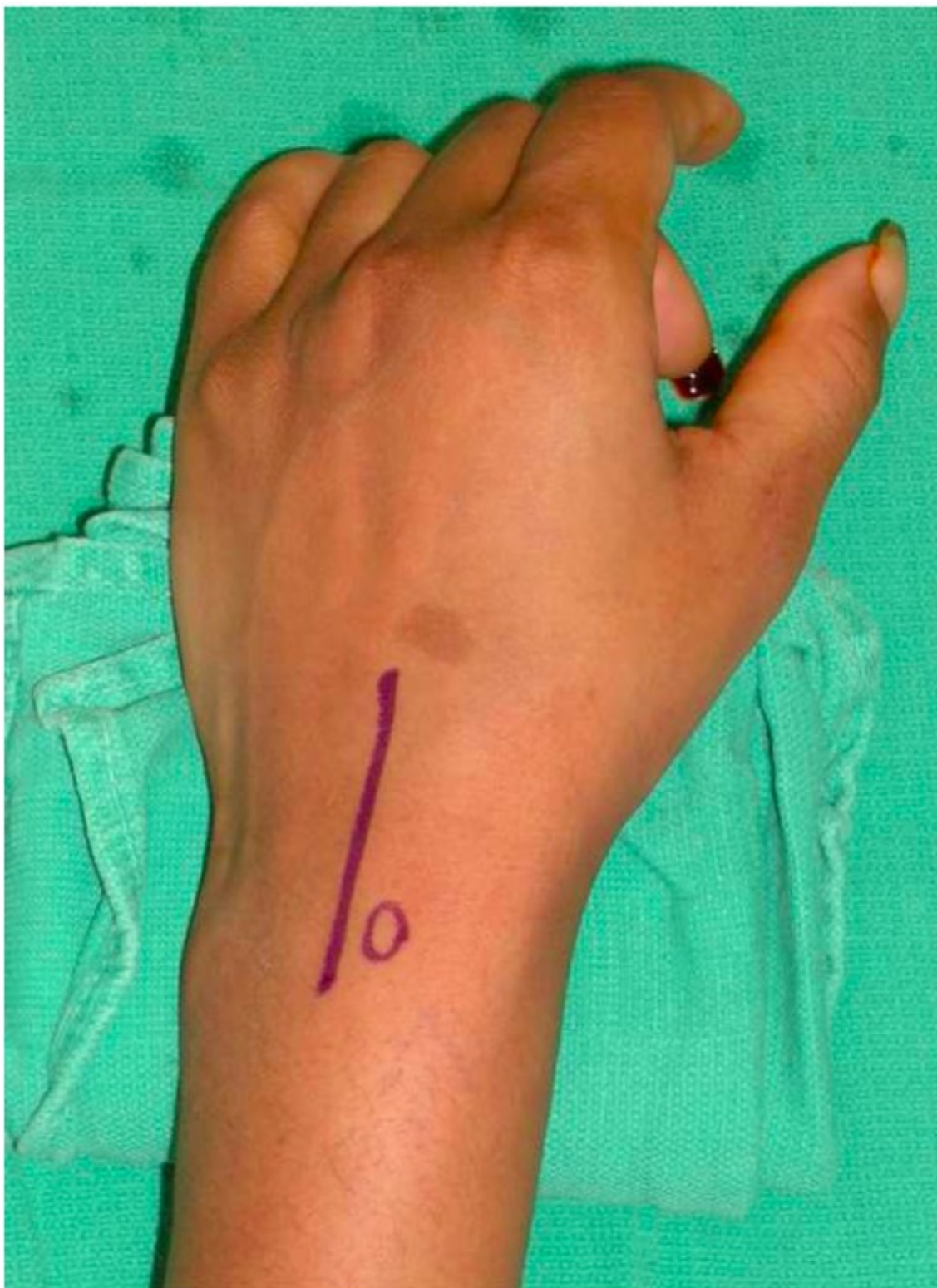


Abb. 25: Hautmarkierung.

3. Darstellung des Skaphoids

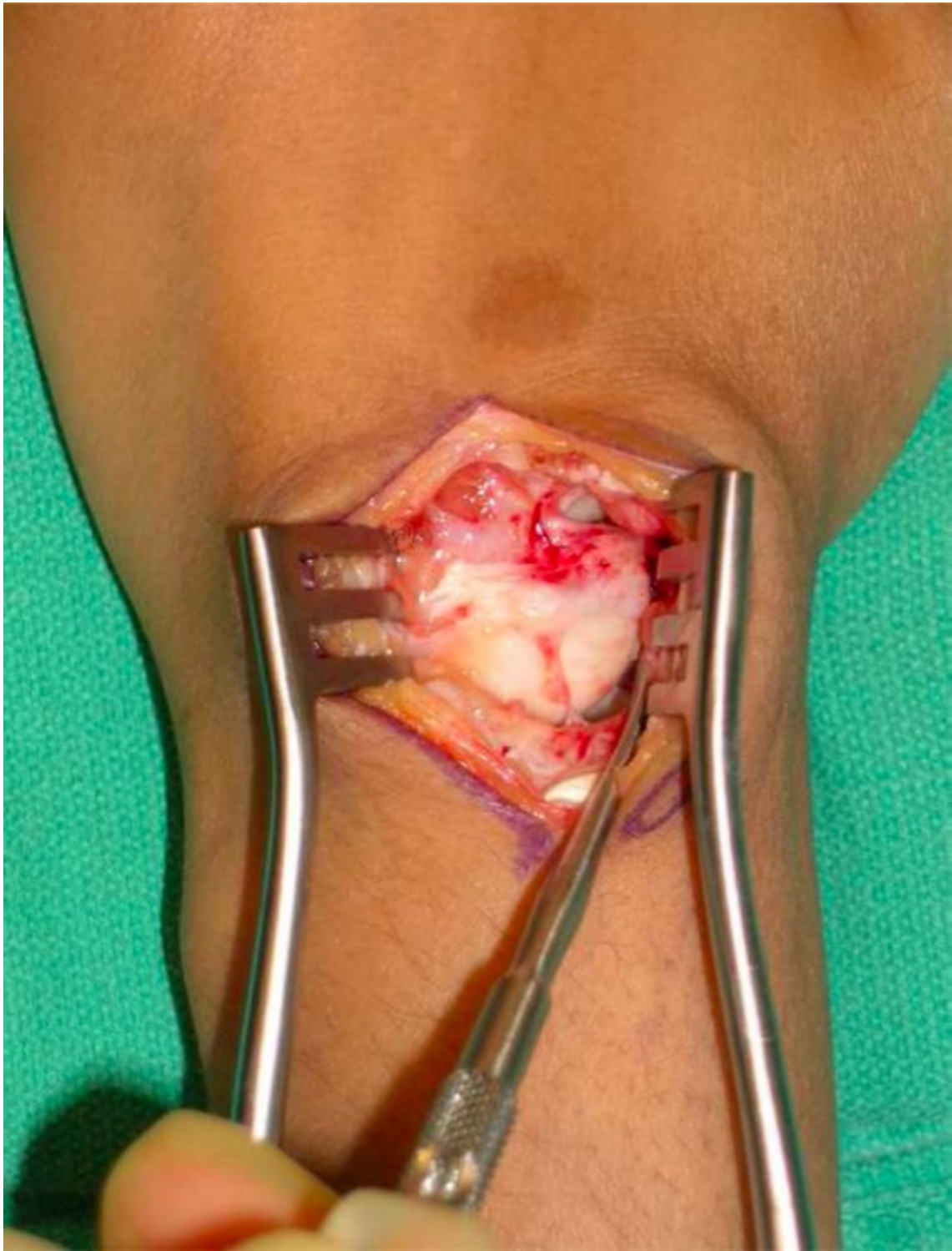


Abb. 26: Darstellung des Skaphoid.

4. Stabilisierung der reponierten Fragmente mittels Kirschner-Drähten

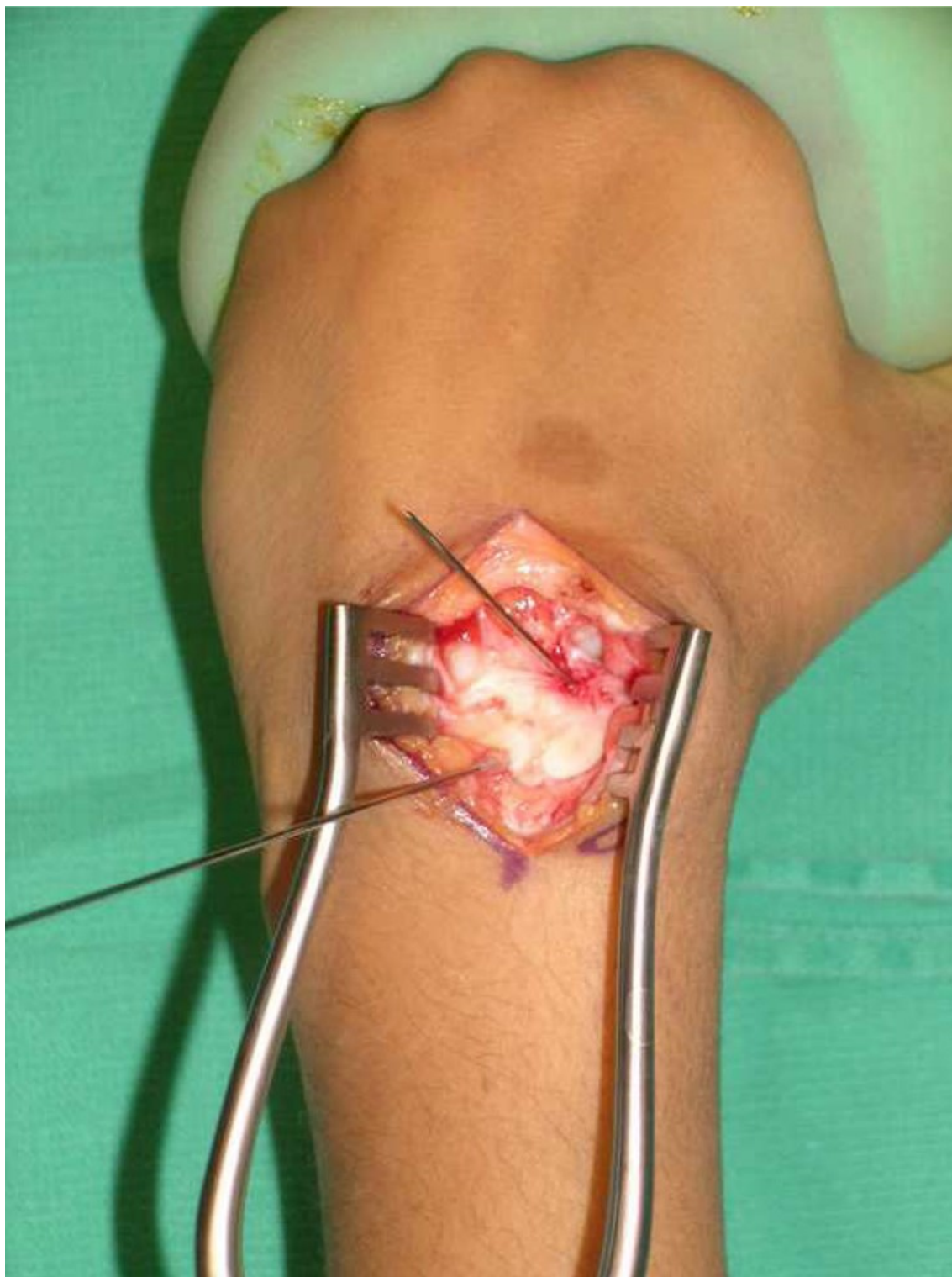


Abb. 27: Stabilisierung.

5. Lageüberprüfung unter Bildwandlerkontrolle

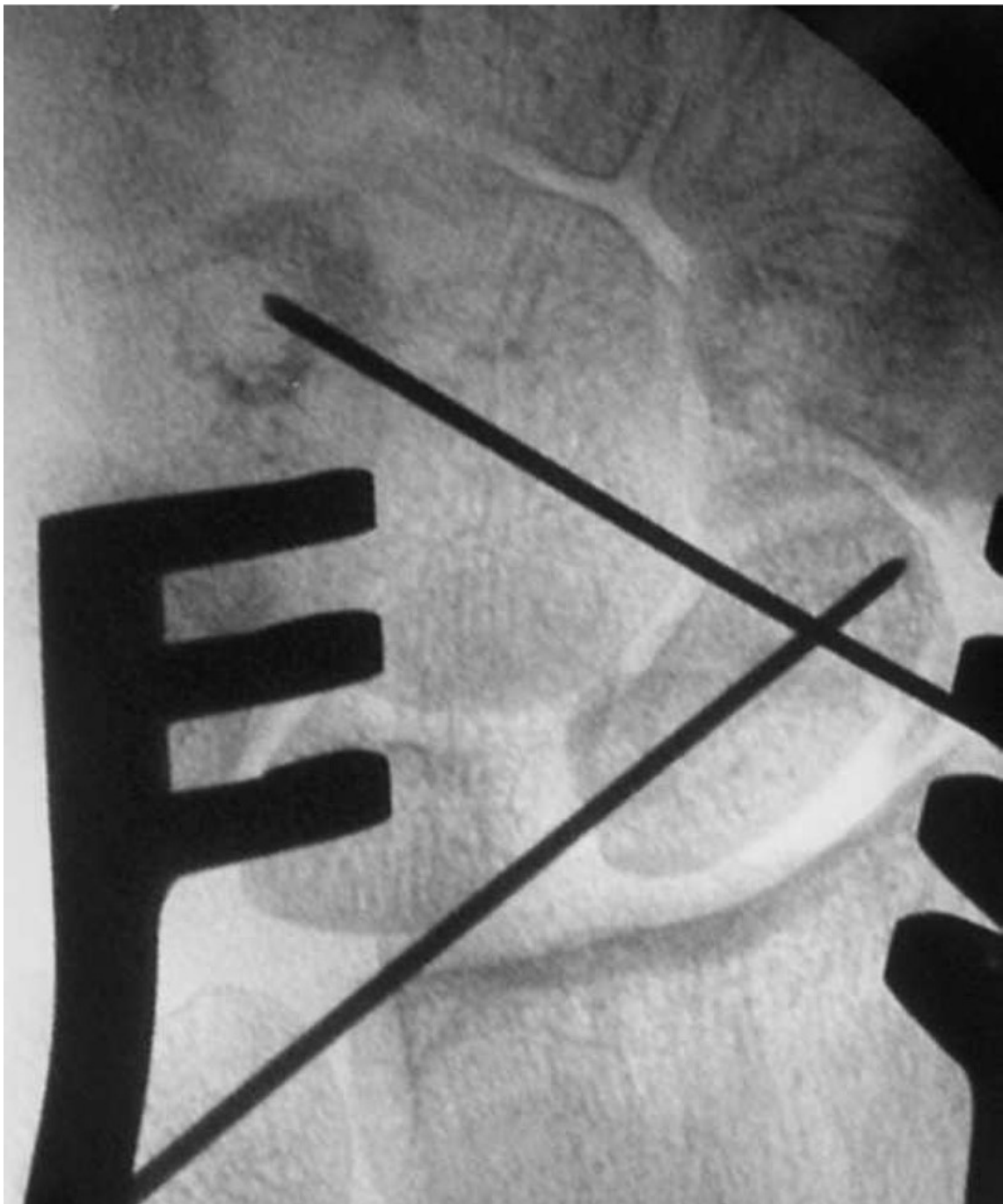


Abb. 28: Lageüberprüfung.

6. Einsetzen der Herbert-Schraube in beschriebener Technik

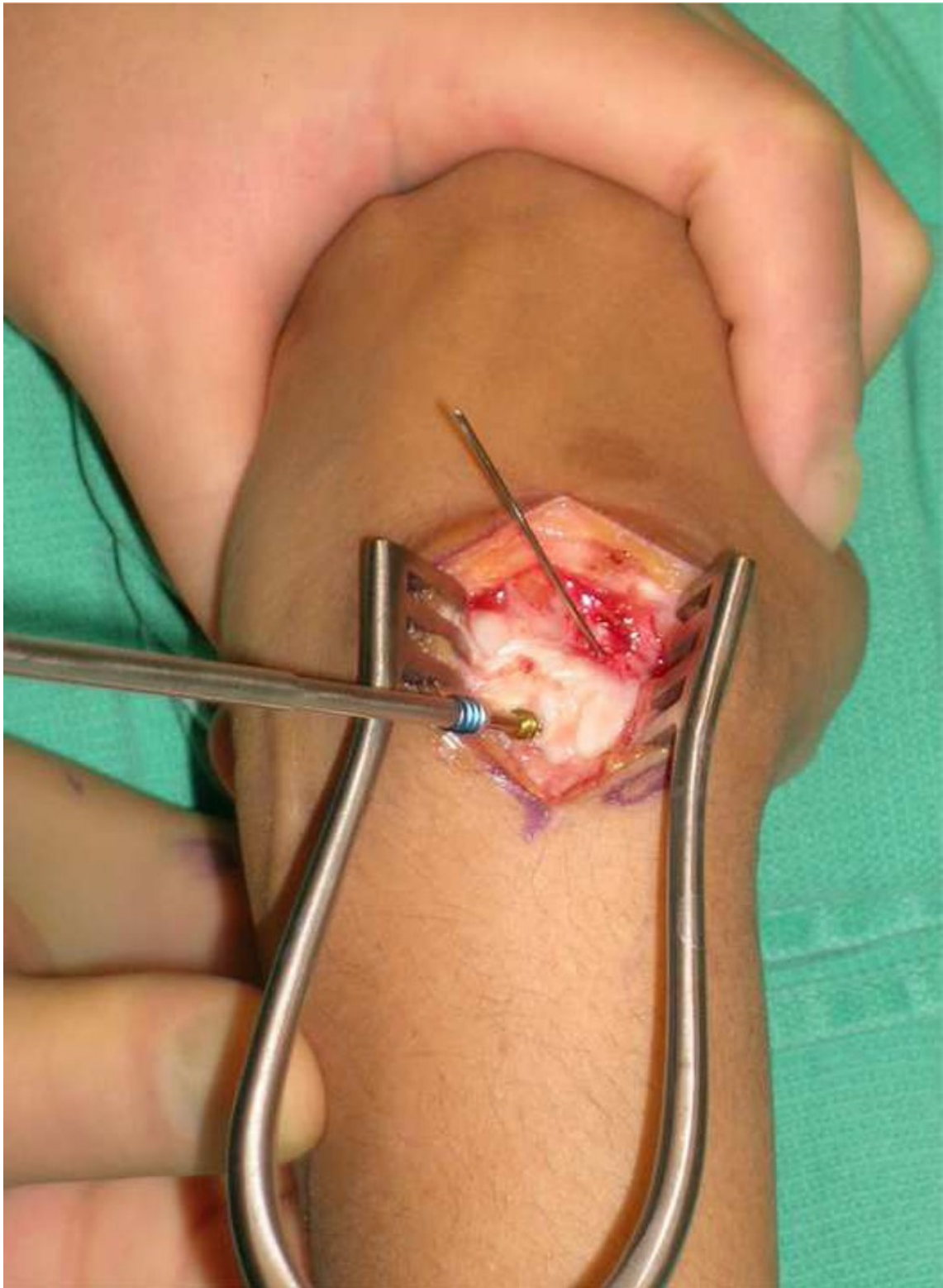


Abb. 29: Einbringen der Herbert-Schraube.

7. Abschließende post-operative Röntgenaufnahme zur Kontrolle



Abb. 30: Kontrollröntgen.

7. Komplikationen

7.1. Pseudoarthrose

Zum aktuellen Zeitpunkt liegt leider noch keine generelle Definition vor, ab wann man von einer Pseudoarthrose sprechen kann. Entwickelt sich im Zeitraum von drei bis sechs Monaten nach Unfallhergang noch keine knöchernen Verbindung, spricht man grundsätzlich von einer verzögerten Heilung. Der Prozess der Heilung ist hier jedoch noch nicht abgeschlossen.

Um eine Pseudoarthrose handelt es sich, wenn – je nach Definition im Zeitraum von 3 bis 9 Monaten nach dem Trauma – der Heilungsprozess stillsteht und keine knöchernen Konsolidierung erfolgt. Eine mögliche Definition kommt von der FDA (Federal Drug Administration), die von einer Pseudoarthrose ausgeht, wenn auch innerhalb von 9 Monaten keine Heilung eingetreten ist und kein Fortschreiten des Knochenaufbaues über drei Monate vorliegt. In der Praxis werden ganz besonders die fehlende Dynamik der Heilung sowie die fehlende kortikale Kontinuität bewertet (Steinhausen et al., 2013).

Bezogen auf die Ätiologie unterscheiden Steinhausen et al. (2013) patientenunabhängige sowie patientenabhängige Risikofaktoren.

Frakturlokalisierung und -muster, Durchblutungssituation und Weichteilschaden sind typische Vertreter der patientenunabhängigen Faktoren, Alter und eventuell vorhandene Komorbiditäten (Diabetes, pAVK) sowie Rauchen und die Einnahme von gewissen Medikamenten (Steroide, Zytostatika) findet man auf Seiten der patientenabhängigen Faktoren.

8. Diskussion

Die Versorgung einer Skaphoidfraktur hat sich von der starren, konservativen Immobilisation, wie sie Watson-Jones beschreibt, hin zur frühestmöglichen chirurgischen Versorgung entwickelt. Russe, McLaughlin und Pashis sind nur einige der Pioniere auf diesem Feld (Gupta et al., 2013).

Jedoch muss die Behandlung immer in Abhängigkeit der individuellen Situation entschieden werden. Wird ein Kahnbeinbruch nicht richtig behandelt, führt dies oft zur Ausbildung einer Pseudoarthrose, die in weiterer Folge den Weg für eine DISI bzw. SNAC-wrist ebnet (Moritomo, 2014). Eine inadäquate Ruhigstellung erhöht das Risiko für eine Pseudoarthrose lt. Gupta et al. (2013) um bis zu 30%. Die richtige Therapie der röntgenologisch diagnostizierten Skaphoidfraktur ist dementsprechend äußerst wichtig.

In erster Linie ist die Entscheidung zwischen konservativer und chirurgischer Therapie abhängig von folgenden Faktoren:

- Lokalisation des Frakturspaltes
- Dislokation von Knochenteilen
- Alter der Fraktur

Da im Nachfolgenden die Therapieentscheidung von frischen Kahnbeinfrakturen diskutiert wird, spielt das Alter in diesem Fall keine Rolle.

Das Heilungspotential einer Fraktur des Kahnbeines ist grundsätzlich ident mit den ausschlaggebenden Mechanismen, die auch für die primäre bzw. sekundäre Heilung von anderen Knochen verantwortlich sind (Gupta et al., 2013). Das wichtigste Werkzeug, das momentan in der Diagnostik zur Verfügung steht, sind die bildgebenden Verfahren, allen voran die Computertomographie.

Nach Gupta et al. (2013) können undislozierte Brüche und Brüche im Bereich der Tuberositas zum Großteil mittels Immobilisation und Gipsverband versorgt werden. Alternativ kann im Fall einer undislozierten Fraktur auch an eine perkutane Fixation des Skaphoids gedacht werden. Somit lässt sich eine im Gegensatz zur rein konservativen Therapie eine frühzeitige Mobilisation erzielen, wobei im 2-Jahres sowie auch im 10-Jahres follow-up keine Unterschiede festgestellt werden konnten.

Während hier nur zwischen stabilen und instabilen Brüchen, bzw. Brüchen der Tuberositas unterschieden wird, differenziert Moritomo (2014), welcher sich auf die

Frakturklassifikation nach Herbert bezieht, auch innerhalb der als instabil eingestuften Frakturen.

Wie oben beschrieben, fasst die Gruppe B nach Herbert Brüche zusammen, die weithin als instabil klassifiziert werden. Beurteilt man jedoch die mechanische in-vivo Beweglichkeit und somit die mechanische Stabilität, fällt auf, dass innerhalb der Gruppe B erhebliche Unterschiede auftreten. Während die Beweglichkeit innerhalb der Fragmente in B1-Frakturen relativ gering ist, kann sie in B2-Frakturen bereits deutlich ausgeprägt sein.

Ausschlaggebend dafür ist der Verlauf des Bruchspaltes bezogen auf den Apex des Skaphoids. B1 und B2-Frakturen haben in der Ansicht von volar den gleichen Verlauf, differieren aber im mittleren Drittel in der Ansicht von dorsal.

B1-Frakturen verlaufen proximal des Apex, B2-Frakturen vergleichsweise hingegen distal davon (Abb. 31).

So könnte man B1-Frakturen als “stabil” klassifizieren, wohingegen B2-Frakturen eindeutig als instabil zu verstehen und behandeln sind.

Hinzu kommt noch, dass die durch den Bruchspalt bedingte Instabilität des Lig. scapholunatum interosseum das proximale sowie das distale Fragment des Kahnbeins aus der normalen Position gebracht werden. Dieser Vorgang führt zur sogenannten “humpback” Deformität und zur DISI.

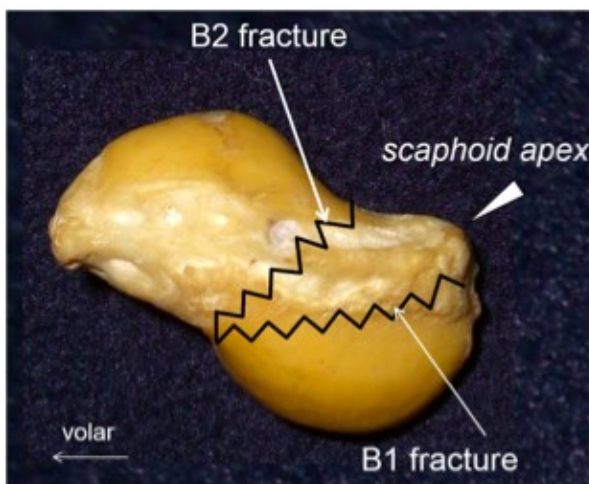


Abb. 31.: Frakturverläufe. B1-Frakturen verlaufen proximal, B2-Frakturen distal des Tuberculums.

Der radiologische Nachweis, ob es sich nun um eine B1 oder B2 Fraktur handelt, gelingt meist mittels zweier spezieller Röntgenaufnahmen.

In der schrägen Aufnahme eines Handgelenks in halber Pronationsstellung wird das Tuberculum in überlappender Position zum Os capitatum ersichtlich. Verfolgt man die Konturen, zeigt sich der Bruchspalt entweder proximal (B1) oder distal (B2) davon.

Die zweite Art korreliert mit der Verlaufsrichtung der Röntgenstrahlung in Neutralstellung. Erkennt man einen Bruchspalt im mittleren Drittel in einer a.-p.-Aufnahme, handelt es sich um eine B1-Fraktur. Hier laufen die Röntgenstrahlen nahezu parallel zum Bruchspalt.

Eine B2-Fraktur ist im Neutralstellungs-Röntgen zumeist verdeckt. Macht man in dieser Stellung ein Röntgen, verläuft der Bruchspalt schräg, und nicht parallel zum Röntgenstrahl (Moritomo, 2013).

Bachu (2014) empfiehlt die Behandlung einer akuten Kahnbeinfraktur basierend auf folgenden Gegebenheiten:

- Stabilität der Fraktur (stabil/instabil)
- anatomische Lokalisation (proximales Pol, Mitte, distaler Pol)
- einfach/mehrfragmentäre Fraktur
- Entdeckung der Fraktur (akut/verzögert)

Eine Fraktur kann als instabil (disloziert) bezeichnet werden, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt werden:

- Radiologisch nachgewiesener Bruchspalt mit einer Ausdehnung von $>1\text{mm}$
- Intrascaphoidaler Winkel $>20^\circ$

(Bachu, 2014)

Vielfach werden die Klassifikationen nach Mayo, Russe und Herbert als die wichtigsten zur Therapieentscheidung und Prognosestellung gesehen (Steinmann und Adams, 2006).

Insbesondere streichen Steinmann und Adams hier die Klassifikation nach Herbert heraus, da sie von den oben angeführten die einzige ist, welche die Stabilität der Fraktur berücksichtigt.

Nach Meinung der Autoren sollte jede akute Fraktur, die mittels standardmäßiger Röntgenaufnahme nachgewiesen werden kann, einer operativen Therapie zugeführt

werden. Die Begründung hierzu liegt in der Annahme der Autoren, dass jede auf diese Art nachzuweisende Fraktur als instabil zu klassifizieren ist.

Auch Krimmer et al. stellt in einer 2000 publizierten Abhandlung die einzelnen Aspekte der differenzierten Therapie gegenüber.

Auf Seiten der konservativen Behandlung steht die hohe Heilungsrate und die technisch anspruchsvolle Operation, bei der es zu zahlreichen Komplikationen kommen kann.

Eine sehr lange notwendige Ruhigstellung mittels Gipsverband von mindestens 12 Wochen sowie das immer vorhandene Restrisiko zur Ausbildung einer Pseudoarthrose spricht wiederum für die operative Behandlung.

In weiterer Folge stellen sie eine ausschließlich auf konservativen Methoden basierte Therapie auf Grund der unverändert hohen Zahlen von Patienten mit Kahnbeinpseudoarthrosen oder anderen Spätfolgen die zu einem karpalen Kollaps (SNAC-Wrist) führen jedoch grundsätzlich in Frage. Mit der Entwicklung von immer besser werdendem Osteosynthesematerial und fortschrittlichen minimal-invasiven Techniken kann ein operatives Vorgehen auch bei kaum dislozierten und sogar stabilen Frakturen vorteilhaft eingesetzt werden (Krimmer et al., 2000).

Instabile Frakturen bedürfen wegen der großen Zahl an möglichen Komplikationen bei konservativem Vorgehen einer definitiven chirurgischen Versorgung.

Das Hauptproblem in der Behandlung einer Kahnbeinfraktur liegt also in der Frage: Welche Fraktur ist stabil und welche Fraktur ist instabil?

Grundsätzlich kann man davon sprechen, dass jede Fraktur per se instabil ist. Die mechanische Stabilität, wie sie vor der Fraktur gegeben war, ist durch die Trennung der zumindest zwei Fragmente definitiv nicht mehr vorhanden. Weitaus wichtiger ist hier jedoch die Frage, wie die Fragmente zueinander stehen und welche Auswirkungen auf die betroffenen Knochenfragmente resultieren.

Gerade der Ort der Fraktur ist in der Behandlung der frischen Kahnbeinfraktur entscheidend. Ausschlaggebend für die Versorgung ist hier die Tatsache, dass der proximale Pol des Skaphoids über keine eigene Blutversorgung verfügt. Die Penetration durch Blutgefäße aus den weiter distal gelegenen Bereichen ist also essentiell. Kommt es bei einer Fraktur zu einer Trennung des proximalen Pols vom restlichen Skaphoid, kommt

es auch zu einer Trennung der Blutzufuhr und somit zu einer Nährstoff-Unterversorgung des Knochens.

Vergleicht man die Frakturen bezüglich ihres Ortes, ergibt sich folgende Tabelle:

Klassifikation	Tuberositas/distal	Mitte	proximaler Pol
Böhler (Frakturlokalisation)	dist. Drittel	mittleres Drittel mittleres Drittel inkl. aus- gesprengtem Teil	prox. Drittel
Böhler (Verlauf d. Fraktur)		horizontal-schräg transversal vertikal-schräg	
Russe		horizontal-schräg transversal vertikal-schräg	
Mayo (Cooney et al.)	distal	Mitte	proximal
Herbert	Typ A (stabil) - A1 Tuberculum - A2 inkomplett	Typ B (instabil) - B1 - B2 - B4	Typ B (instabil) - B3

Klassifikation	Tuberositas/distal	Mitte	proximaler Pol
Schernberg & Elzein	Typ V distale Intermediärzone Typ VI - VIa - VIb - VIc	Typ II Typ III Typ IV	Typ I
Prosser (distaler Pol)	Typ I Tuberositas Typ II Distal intra-art. Typ III Osteochondral		
Compson	Typ 2 Sulcus dorsalis	Typ 1 “surgical waist”	Typ 3 proximaler Pol
OTA	72-A3 dist. Pol, einfach 72-A1 dist. Pol, mehrfragmentär	72-A2 Mitte, einfach 72-B2 Mitte, mehrfragmentär	72-A1 prox. Pol, einfach 72-B1 prox. Pol, mehrfragmentär

Tab. 4: Gegenüberstellung der anatomischen Region der Frakturen.

Der zweite entscheidende Faktor ist das Ausmaß der Dislokation und die Frage, ob eine geschlossene Reposition durchführbar ist.

Cooney et al. beschreibt eine Fraktur als instabil, disloziert und somit operationswürdig, wenn der Bruchspalt röntgenologisch größer als 1mm ist und ein instabiles Muster im Sinne einer dorsalen Abkipfung eines Fragmentes in Richtung Os lunatum vorliegt.

Die Schwierigkeit in der Beantwortung der Frage nach der idealen Behandlung einer undislozierten Fraktur finden auch Schädel-Höpfner et al. in einer 2010 publizierten Studie.

Es wurden 94 Patientinnen und Patienten mit isolierten, stabilen und nicht verschobenen frischen Kahnbeinfrakturen in einer prospektiven Studie untersucht. Während ein Teil der Frakturen operativ mittels Schrauben-Osteosynthese versorgt wurde, wurde der zweite Teil konservativ mit Hilfe eines Gipsverbandes fixiert.

Das Ergebnis präsentierte sich ähnlich wie bei Gupta und Krimmer. Das Patientengut, welches operiert wurde, konnte schneller wieder zu den alten Aktivitäten zurückkehren, hatte weniger Schmerzen und war im Allgemeinen zufriedener. Auf Seiten der konservativen Therapie stehen wiederum, wie bereits beschrieben, die möglicherweise auftretenden Komplikationen.

In einer rezenten Studie von Clementson et al. (2015) wird hingegen empfohlen, nicht- und nur minimalst dislozierte Frakturen konservativ zu therapieren. Auch sie untersuchten Patientinnen und Patienten mit nicht- bzw. nur minimalst verschobenen Skaphoidfrakturen im mittleren Drittel, von denen eine Gruppe operativ mittels Arthroskopie-unterstützter Schraubenosteosynthese versorgt und die andere Gruppe konservativ behandelt wurde. Im Gegensatz zu Gupta fanden sie, dass in der Gruppe der operierten Patienten nach einem Mittel von 6 Jahren in radiologischen Untersuchungen erste Anzeichen von arthritischen Veränderungen festgestellt werden konnten, während das Outcome im kurzfristigen Verlauf besser war.

Auch in Zusammenschau aller oben genannter Faktoren lässt sich nun eine konservative oder operative Versorgung nur empfehlen, jedoch nicht als definitiv richtig festlegen. Die wichtigsten Kriterien sind hierbei die Art der Fraktur (disloziert bzw. undisloziert) sowie die Bruchstelle. Während undislozierte, stabile Frakturen durchaus konservativ therapiert werden können, sollten verschobene Brüche immer einer Operation zugeführt werden.

Ebenso Frakturen im proximalen Drittel, die auf Grund ihrer schlechten Blutversorgung und ihrer mangelnden mechanischen Stabilität mit einem hohen Risiko zur Ausbildung einer Pseudoarthrose behaftet sind. Stabile Frakturen können mit Augenmerk auf eine frühzeitige Mobilisation ebenfalls einer chirurgischen Versorgung zugeführt werden, oder klassisch konservativ behandelt werden.

Die genaue Lokalisation der Fraktur ist in weiterer Folge bei einem Entscheid zur operativen Versorgung auch für die Wahl des Zugangswegs essentiell. Um ein eventuelles Wegkippen der Fragmente zu verhindern, ist auf Grund der anatomischen Gegebenheiten bei Brüchen im proximalen bis mittleren Anteil des Kahnbeines ein dorsaler Zugang anzustreben, während hingegen bei distalen Kahnbeinfrakturen ein Zugang von volar empfehlenswert ist.

Zusammenfassend lassen sich also folgende Tabellen aufstellen.

Für röntgenologische Klassifikationen gilt:

	Konservativ	Operativ	
		volar	dorsal
Böhler (Frakturlokalisation)	1 2b 2c 2e		2a 2d
Böhler (Verlauf d. Fraktur)	horizontal- schräg		Querbruch vertikaler □ Schrägbruch
Russe	I II		III
Mayo (Cooney et al.)	1 2 3 4	5	
Schernberg & Elzein	II ? III ? IV V VIa,b,c	III ?	I II ?
Compson	1		2 (Frakturlinie bds. des Apex) 3
OTA	A	B	B

Tab. 5.: Behandlungsschema bei Frakturen nach röntgenologischer Klassifikation.

Für funktionelle Klassifikationen gilt:

	Konservativ	Operativ	
		volar	dorsal
McLaughlin & Parkes	A B	C	C
Herbert	A	B	B

Tab. 6.: Behandlungsschema bei Frakturen nach funktioneller Klassifikation.

9. Literaturverzeichnis

1. ANDERHUBER, F., PERA, F. und STREICHER, J., 2012. *Waldeyer - Anatomie des Menschen*. 19. Auflage. Berlin/Bosten: De Gruyter.
2. BACHU, H.K., 2014. *Seminar on scaphoid and lunate fractures*. <https://de.slideshare.net/haribachu/scaphoid-and-lunate-fractures>. Aufgerufen am 26.10.2016.
3. BÖHLER, L., TROJAN, E., JAHNA, H., 2003. The results of treatment of 734 fresh, simple fractures of the scaphoid. *Journal of Hand Surgery (British and European Volume)*. 2003;28B:4:319-331.
4. CLEMENTSON, M., JØRGSHOLM, P., BESJAKOV, J., THOMSEN, N., BJÖRKMAN, A., 2015. Conservative Treatment Versus Arthroscopic-Assisted Screw Fixation of Scaphoid Waist Fractures--A Randomized Trial With Minimum 4-Year Follow-Up. *Journal of Hand Surgery (American Volume)*. 2015;40(7):1341-8.
5. COMPSON, J. P., 1998. The anatomy of acute scaphoid fractures. A three-deimensional analysis of patterns. *The Journal of Bone and Joint Surgery (British Volume)*. 1998;80-B:218-24.
6. COONEY, W.P., 2003. Scaphoid fractures: current treatments and techniques. *Instructional Course Lectures*. 2003;52:197–208.
7. FOWLER, J.R., HUGHES, T.B., 2015. Scaphoid fractures. *Clinics in Sports Medicine*. 2015;34(1):37-50.
8. GRAY, H., 1918. *Anatomy of the human body*. Philadelphia: Lea & Febiger.
9. GUPTA, V., RIJAL, L., JAWED, A., 2013. Managing scaphoid fractures. How we do it? *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*. 2013;4(1):3-10. DOI: 10.1016/j.jcot.2013.01.009.

10. JÄHNE, J., KÖNIGSRÄINER, A., SCHRÖDER, W., SÜDKAMP, N.P., 2016. *Was gibt es Neues in der Chirurgie? Berichte zur chirurgischen Weiter- und Fortbildung*. Landsberg am Lech: ecomed Medizin-Verlag. Auflage: 2016.
11. KRIMMER, H., SCHMITT, R., HERBERT, T., 2000. Kahnbeinfrakturen - Diagnostik, Klassifikation und Therapie. *Der Unfallchirurg*. 2000;103:812-819.
12. McLAUGHLIN, H.L., PARKES, J.C., 1969. Fracture of the carpal navicular (scaphoid) bone: Graduations in therapy based upon pathology. *The Journal of Trauma*. 1969;Vol. 9, No. 4. 311-319.
13. MORITOMO, H., 2014. Radiographic clues for determining carpal instability and treatment protocol for scaphoid fractures. *Journal of Orthopaedic Science*. 2014; Review-Article. DOI 10.1007/s00776-014-0546-y.
14. OEHMKE, H-J., 1987. Gefäßversorgung und Funktion des Kahnbeines. *Unfallchirurgie*. 1987;13:174-177.
15. PINES, J.M., CARPENTER, C.R., RAJA, A.S., SCHUUR, J.D., 2013. *Evidence-Based Emergency Care: Diagnostic Testing and Clinical Decision Rules*. 2. Auflage. New Jersey: John Wiley & Sons.
16. RHEMREV, S.J., OOTES, D., BEERES, F.J.P., MEYLAERTS, S.A.G., Schipper, I.B., 2011. Current methods of diagnosis and treatment of scaphoid fractures. *International Journal of Emergency Medicine*. 2011;4:4, DOI: 10.1186/1865-1380-4-4.
17. RUDIGIER, J., 2006. *Kurzgefasste Handchirurgie. Klinik und Praxis*. 5. Auflage. Stuttgart: Thieme.
18. SAMIR, B. Aufgerufen unter: <https://radiopaedia.org/articles/mayo-classification-of-scaphoid-fractures>. Aufgerufen am 10.10.2016.
19. SCHÄDEL-HÖPFNER, M., BÖHRINGER, G., GOTZEN, L., 2000. Die perkutane Osteosynthese der Skaphoidfraktur mit der Herbert-Whipple-Schraube - Technik und Resultate. *Handchirurgie - Mikrochirurgie - Plastische Chirurgie*. 2000;32: 271-276.

20. SCHÄDEL-HÖPFNER, M., MARENT-HUBER, M., GAZYAKAN E., TANZER, K., WERBER, K.D., SIEBERT, H.R., 2010. Acute non-displaced fractures of the scaphoid: earlier return to activities after operative treatment. A controlled multicenter cohort study. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*. 2010;130(9):1117-27.
21. SCHÄDEL-HÖPFNER, M., BICKERT, B., DUMONT, C., LAIER, P., MEIER, R., NUSCHE, A., PILLUKAT, T., ROSENTHAL, H., SCHMITT, R., SIEMERS, F., ZACH, A., JUNG, M., 2016. Acute scaphoid fractures: Management under consideration of the new S3-level guideline. *Der Orthopäde*. 2016;45(11):945-950.
22. SCHLOSS, B., LIEBERMANN, G., 2001. *Scaphoid Fractures*. Aufgerufen unter: <http://eradiology.bidmc.harvard.edu/LearningLab/musculo/schloss.pdf>. Aufgerufen am 05.01.2017.
23. SCHUBERT, H.E., 2000. Scaphoid fracture. Review of diagnostic tests and treatment. *Canadian Family Physician*. 2000;46:1825-1832.
24. STEINHAUSEN, E., GLOMBITZA, M., BÖHM, H.-J., HAX, P.-M., RIXEN, D., 2013. Pseudoarthrosen. Von der Diagnose bis zur Ausheilung. *Der Unfallchirurg*. 2013;116:633-649. DOI 10.1007/s00113-013-2413-2.
25. STEINMANN, S.P., ADAMS, J.E., 2006. Scaphoid fractures and nonunions: diagnosis and treatment. *Journal of Orthopaedic Science*. 2006;11:424-431, DOI 10.1007/s00776-006-1025-x.
26. TALEISNIK, J., KELLY, P.J., 1966. The Extraosseous and Intraosseous Blood Supply of the Scaphoid Bone. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 1966;VOL. 48-A, NO. 6:1125-1135.
27. TOWFIGH, H., HIERNER, R., LANGNER, M., FRIEDEL, R., 2011. *Handchirurgie*. 2. Auflage. Berlin/Heidelberg: Springer.
28. VOGL, T.J., REITH, W., RUMMENY, E.J., 2011. *Diagnostische und interventionelle Radiologie*. Berlin/Heidelberg: Springer.

29. VOGT, P.M., 2011. *Praxis der Plastischen Chirurgie*. Berlin/Heidelberg: Springer.
30. WEBER, E.R., CHAO, E.Y., 1978. An experimental approach to the mechanism of scaphoid waist fractures. *Journal of Hand Surgery (American Volume)*. 1978;3(2):142-8.
31. WEBER, U., EISENSCHENK, A., 2002. *Leitlinien der Orthopädie*. 2. Auflage. Deutscher Ärzte Verlag. Köln: Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie und des Berufsverbandes der Ärzte für Orthopädie. Aufgerufen unter: <http://www.leitliniensekretariat.de/files/MyLayout/pdf/skaphoidfraktur.pdf>. Aufgerufen am 07.09.2016.
32. WIRTH, C.J., MUTSCHLER, W., KOHN, D., POHLEMANN, T., 2013. *Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie*. 3. Auflage. Stuttgart: Thieme.
33. ZUMHASCH, R., WAGNER, M., KLAUSCH, S., HIRT, B., 2012. *Anatomie und Biomechanik der Hand*. 2. Auflage, Stuttgart: Thieme.