

Aus der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie (CMSC)  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Evaluation operativer Versorgungsstrategien ausgewählter karpaler  
Pathologien anhand klinischer Langzeitergebnisse

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Christian Eder

aus Pritzwalk

Datum der Promotion: 04.06.2021

Meiner Mutter,  
meinem Lebensgefährten und  
meiner verstorbenen Großmutter gewidmet.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Zusammenfassung</b> .....	<b>5</b>
1.1 Abstract .....	5
1.1.1 Deutsch.....	5
1.1.2 Englisch.....	7
1.2 Einleitung .....	9
1.2.1 Einführung.....	9
1.2.2 Zielsetzung der Dissertation.....	12
1.3 Material und Methodik.....	12
1.3.1 Publikationsübergreifende Aspekte.....	12
1.3.1.1 Fallzahlidentifikation .....	12
1.3.1.2 Retrospektive Datenanalyse .....	12
1.3.1.3 Klinische Nachuntersuchung.....	13
1.3.1.4 Literaturrecherche .....	13
1.3.1.5 Statistik.....	14
1.3.2 Publikationsspezifische Aspekte .....	14
1.3.2.1 Publikation 1 ( <i>Skaphoidpseudarthrose</i> ).....	14
1.3.2.1.1 Patientenkollektiv .....	14
1.3.2.1.2 Operationstechnik.....	14
1.3.2.1.3 Charakterisierung des Implantates .....	15
1.3.2.2 Publikation 2 ( <i>karpaler Kollaps</i> ).....	15
1.3.2.2.1 Patientenkollektiv .....	15
1.3.2.2.2 Operationstechnik.....	15
1.3.2.2.3 Charakterisierung des Implantates .....	16
1.3.2.2.4 Case Documentation Form 1 (CDF 1) .....	17
1.3.2.3 Publikation 3 ( <i>koronare Os hamatum Fraktur</i> ) .....	17
1.3.2.3.1 Patientenkollektiv .....	17
1.3.2.3.2 Operationstechnik.....	18
1.4 Ergebnisse .....	18
1.4.1 Publikation 1 ( <i>Skaphoidpseudarthrose</i> ).....	18
1.4.1.1 Retrospektive Datenanalyse .....	18
1.4.1.2 Klinische Langzeitergebnisse.....	19
1.4.2 Publikation 2 ( <i>karpaler Kollaps</i> ).....	20

1.4.2.1	Retrospektive Datenanalyse .....	20
1.4.2.2	CDF 1 .....	20
1.4.2.3	Klinische Langzeitergebnisse.....	20
1.4.3	Publikation 3 ( <i>koronare Os hamatum Fraktur</i> ) .....	21
1.4.3.1	Retrospektive Datenanalyse .....	21
1.4.3.2	Klinische Langzeitergebnisse.....	22
1.5	Diskussion und Schlussfolgerungen.....	23
1.5.1	Publikationsspezifische Diskussion und Schlussfolgerung.....	23
1.5.1.1	Publikation 1 ( <i>Skaphoidpseudarthrose</i> ).....	23
1.5.1.2	Publikation 2 ( <i>karpaler Kollaps</i> ).....	24
1.5.1.3	Publikation 3 ( <i>koronare Os hamatum Fraktur</i> ) .....	25
1.5.2	Publikationsübergreifende Diskussion.....	28
1.6	Wissenschaftlicher Nutzen, Ausblick und Folgeuntersuchungen .....	29
1.7	Literaturverzeichnis.....	30
<b>2.</b>	<b>Eidesstattliche Versicherung.....</b>	<b>35</b>
<b>3.</b>	<b>Anteilerklärung an den erfolgten Publikationen .....</b>	<b>36</b>
<b>4.</b>	<b>Verwendete Publikationen .....</b>	<b>39</b>
4.1	A new variant of scaphoid reconstruction: Treatment of scaphoid non-union with avascular bone interponate and high compression screw (Synthes®).....	39
4.2	Four-Corner-Arthrodesis of the wrist using Variable Angle Locking-Compression Intercarpal fusion plate (VA-LCP ICF plate; Synthes®): pre- and postoperative radiological analysis and clinical outcome in long-term evaluation.....	48
4.3	Hamate's coronal fracture: diagnostic and therapeutic approaches based on a long-term follow-up.....	61
<b>5.</b>	<b>Lebenslauf.....</b>	<b>75</b>
<b>6.</b>	<b>Publikationsverzeichnis (Stand 08/2020) .....</b>	<b>78</b>
6.1	Kongressbeiträge .....	78
6.2	Publikationen.....	79
<b>7.</b>	<b>Danksagung.....</b>	<b>80</b>



# 1. ZUSAMMENFASSUNG

## 1.1 Abstract

### 1.1.1 Deutsch

#### Einleitung

Skaphoidpseudarthrosen treten in 4–50 % in Folge aller Skaphoidfrakturen auf. Therapeutisch kommt als operatives Verfahren die Matti-Russe-Plastik in unterschiedlichen Modifikationen zur Anwendung. Nachuntersuchungsergebnisse hinsichtlich knöcherner Fusionsrate und funktionellem Outcome nach operativer Versorgung mittels *headless compression screw* (auch *high compression screw*) (HCS) und Interposition eines avaskulären Knochenspans sind rar. Bei Auftreten eines karpalen Kollapses kommt als *salvage Operation* eine Four-Corner-Fusion in Frage. Hierfür stehen unterschiedliche Osteosynthesematerialien zur Verfügung. Es existieren nur wenige Daten zum Langzeitoutcome nach Verwendung des *Variable Angle Locking Intercarpal Fusion System*. Die *koronare Os hamatum Fraktur* stellt eine seltene Frakturentität dar. Bisher ist hierfür kein evidenzbasierter Therapiealgorithmus publiziert.

#### Material und Methoden

Im Rahmen von monozentrischen Untersuchungen oben genannter Pathologien erfolgte die mehrstufige Nachuntersuchung bestehend aus retrospektiver Datenanalyse (demographische Merkmale, Operationstechnik, Implantat), Auswertung radiologischer Daten und klinischer Nachuntersuchung mithilfe eines standardisierten Nachuntersuchungsprotokolls. Dieses umfasst subjektive und objektive Outcomeparameter.

#### Ergebnisse

Bei Verwendung der HCS und Interposition eines avaskulären Knochenspans konnte eine ossäre Fusionsrate von 80,95 % erreicht werden. Der M<sup>2</sup> DASH ergab durchschnittlich 29,8 Punkte (Publikation 1).

Nach Implantation des *Variabel Angle Locking Intercarpal Fusion System* konnte in 100 % der Fälle eine ossäre Fusion erreicht werden. Der M<sup>2</sup> DASH ergab durchschnittlich 41,5 Punkte. Faustschluss und Pinzettengriff waren bei allen Patienten uneingeschränkt möglich (Publikation 2).

Nach Osteosynthese der *koronaren Os hamatum Frakturen* konnte in allen Fällen eine knöcherne Konsolidierung erreicht werden. 89,47 % der Frakturen sind offen reponiert und 10,53 % geschlossen versorgt worden. Der M<sup>2</sup> DASH ergab durchschnittlich 26,22 Punkte (Publikation 3).

## Diskussion

Mit der HCS kann in der operativen Versorgung von Skaphoidpseudarthrosen im Vergleich eine hohe ossäre Fusionsrate erzielt werden. Die Frakturlokalisation im proximalen Drittel des Os scaphoideum bleibt weiterhin ein relevanter Risikofaktor für die ausbleibende knöcherne Konsolidierung.

Das *Variable Angle Locking Intercarpal Fusion System* zeigte mit einer Fusionsrate von 100 % ein exzellentes Ergebnis. Der singuläre Schraubenbruch blieb in der vorliegenden Kohorte die einzige Komplikation. Damit konnte im Vergleich mit anderen Implantaten eine deutlich geringere Komplikationsrate gezeigt werden. Hinsichtlich der subjektiven Patientenzufriedenheit fielen erhebliche interindividueller Unterschiede auf, welche sich nicht kongruent zu den guten objektiven klinischen Ergebnissen zeigten.

Zur Diagnose der *koronaren Os hamatum Fraktur* sollte die Standard - Röntgendiagnostik um die 45° oblique Aufnahme ergänzt werden. Für die operative Planung bleibt eine Computertomographie unabdingbar. In Abhängigkeit der Frakturmorphologie wird entweder ein geschlossenes Vorgehen oder die offene Reposition empfohlen. Die Einordnung der Nachuntersuchungsergebnisse bleibt bei geringer Datenlage schwierig.

## 1.1.2 Englisch

### Introduction

Scaphoid pseudarthroses occur in 4 to 50% of all scaphoid fractures. Therapeutically, the Matti-Russe-plasty is used in different modifications. Follow-up examinations with regard to the osseous fusion rate and functional outcome in surgical treatment using headless compression screw (also high compression screw) (HCS) and interposition of an avascular bone graft are scarce. If a carpal collapse occurs, a four-corner-fusion with different osteosynthesis material can be considered as a salvage operation. There is little data on long-term outcome after using the Variable Angle Locking Intercarpal Fusion System. The coronal hamate fracture is a rare fracture entity. To date, no evidence-based therapy algorithm has been published.

### Material and methods

A monocentric study was carried out with a multi-stage follow-up process consisting of retrospective data analysis (demographic features, surgical technique, implant), evaluation of radiological data and clinical follow-up using a standardized follow-up protocol. This includes subjective and objective outcome parameters.

### Results

An osseous consolidation rate of 81% was achieved using the HCS and interposition of an avascular bone graft treating scaphoid pseudarthroses. The mean M<sup>2</sup> DASH was 29.8 points (publication 1).

After implantation of the Variabel Angle Locking Intercarpal Fusion System, an osseous fusion was achieved in 100% of the cases. The M<sup>2</sup> DASH averaged 41.5 points. Fist clenching and pinch grip were possible without restriction in all patients (publication 2).

89.47% of all coronal hamate fractures were openly reduced and 10.53% were treated with a closed approach. Consolidation was achieved in all patients. The mean M<sup>2</sup> DASH was 26.22 points (publication 3).

### Discussion

In comparison, the HCS achieves a high consolidation rate in the treatment of scaphoid pseudarthroses. Fractures localized in the proximal third of the scaphoid remain a relevant risk factor for persisting pseudarthroses.

The Variable Angle Locking Intercarpal Fusion System showed an excellent result with a fusion rate of 100%. Singular screw breakage remained the only complication in the present cohort.

Compared to other implants, the complication rate appears to be remarkably lower. Regarding patient's satisfaction, there were considerable inter-individual differences which were not found to be congruent with the good objective clinical results.

Standard X-ray diagnosis should be supplemented by the 45° oblique image for diagnosing hamate's coronal fractures. Computed tomography is indispensable for operative planning. The fracture morphology dictates whether a closed or open reduction is necessary. This study is the first to show detailed long-term data after treatment of coronal hamate fractures.

## 1.2 Einleitung

### 1.2.1 Einführung

Verletzungen der Hand und des Handgelenkes sind für einen relevanten Anteil unfallchirurgischer Erstkonsultationen verantwortlich. Bis zu 7 % aller Konsultationen in US-amerikanischen Rettungsstellen erfolgten aufgrund von Verletzungen der Hand, wie Daten des National Emergency Department Sample aus den Jahren 2009 bis 2012 zeigen (1). Die traumatische Genese war mit 77,6 % die häufigste Ursache; in über einem Viertel der Fälle war dies ein Sturzereignis. Frakturen machten in diesem Patientenkollektiv einen Anteil von etwa 14,5 % aus (1).

Die Skaphoidfraktur ist nach der distalen Radiusfraktur die zweithäufigste Fraktur der oberen Extremität und mit einer Inzidenz von 60–70 % die häufigste Fraktur karpaler Knochen (2). Als Verbindungselement zwischen der proximalen und distalen Handwurzelreihe kommt dem Skaphoid eine herausragende anatomische Stellung zu (2). Das Skaphoid ist geprägt durch seine dreidimensionale gelenkige Einfassung und ist aufgrund der Stellung als verbindendes Element der proximalen und distalen Handwurzelreihe ein maßgeblicher Stabilitätsfaktor der Handwurzel (2). In Anbetracht dieser Tatsache und der prozentualen Häufigkeit von Skaphoidfrakturen (2) kommt dieser Verletzung eine überaus große handchirurgische Relevanz zu.

Therapeutische Algorithmen zur Versorgung von Skaphoidfrakturen sind in der Literatur epidemiologisch (3), in Fallberichten und -serien (4, 5) sowie in Übersichtsarbeiten (6, 7) hinreichend definiert. Eine Pseudarthrose – eine unzureichende knöcherne Heilung nach Ablauf von sechs Monaten (8) – ist mit einer Inzidenz zwischen 4 bis 50 % (2, 9, 10) eine wesentliche Komplikation in der Behandlung. Aufgrund der retrograden Perfusion des Skaphoids ist eine proximale Lokalisation der Fraktur (11) ein Risikofaktor für die Entstehung einer Pseudarthrose. Ein weiterer relevanter Risikofaktor ist eine verzögerte Diagnosestellung und Therapieeinleitung (12).

Als ursprünglicher chirurgischer Goldstandard der Pseudarthrosenbehandlung ist die sogenannte Matti-Russe-Plastik zu nennen. Sie beinhaltet die Interposition eines autologen Knochenspanes ohne osteosynthetische Sicherung (13, 14). Heute findet sie vor allem als modifiziertes Verfahren mit additiver Osteosynthese Anwendung (15).

Insgesamt kommen mehrere operative Optionen zur Behandlung einer Skaphoidpseudarthrose in Frage. Neben der Interposition eines autologen kortiko-spongiösen Knochenspanes und Sicherung mittels Kirschnerdraht- (K-Draht) Osteosynthese (9), besteht die Möglichkeit einer Osteosynthese mittels Herbert-Schraube (sowie fakultativer Knochenspanplombierung) (16-19). Des Weiteren besteht die Möglichkeit einer Interposition eines gestielten, vaskularisierten Knochentransplantates und Sicherung mittels Herbert-Schraube oder K-Draht-Osteosynthese (20). Über den am besten

geeigneten Entnahmeort des Knochenspanes, die Notwendigkeit einer Vaskularisierung des eingebrachten Interponates sowie über das geeignete Osteosynthesematerial zur Sicherung besteht keine einheitliche Empfehlung in der Literatur.

Mit der HCS der Firma DePuy Synthes (West Chester, Pennsylvania, USA), steht ein weiteres Implantat zur Behandlung von Skaphoidpseudarthrosen zur Verfügung. Eine Untersuchung des funktionellen Outcomes, welches mit der modifizierten Matti-Russe-Technik im Sinne einer Interposition eines avaskulären Knochenspanes und Osteosynthese mit HCS der Firma DePuy Synthes erreicht wird, ist zum Vergleich mit den zuvor genannten erforderlich. Dieser Fragestellung widmet sich die Publikation 1.

Eine mögliche und folgenreiche Komplikation der Skaphoidpseudarthrose ist der *scaphoid nonunion advanced collapse* (SNAC wrist) (9). Maßgebliches Kennzeichen dieser Fehlstellung ist eine zunehmende karpale Gefügestörung. Diese beinhaltet eine palmare Subluxation und Rotation des *Os lunatum* nach dorsal. Das Skaphoid weist hierbei eine flektierte Stellung auf. Beide Tendenzen führen in der Folge zu einer Vergrößerung des skapholunären Winkels. Begünstigt durch diese Fehlstellung tritt abschließend das *Os capitatum* weiter nach proximal und begründet so den karpalen Kollaps (21).

Neben einer Skaphoidpseudarthrose führt auch eine längerfristig bestehende Ruptur des *Ligamentum interosseum scapholunatum* (SL-Band) zu einem karpalen Kollaps. Je nach zugrundeliegender Pathologie wird die karpale Gefügestörung als *SNAC* oder *SLAC* (*scapholunate advanced collapse*) wrist bezeichnet (21).

Der karpale Kollaps führt zu einer progredienten Arthrose in typischer Lokalisationsabfolge. Auf dem Boden dieser Beobachtung ergibt sich eine Stadieneinteilung und Graduierung des karpalen Kollapses nach Watson und Ryu (22). Klinisch fallen die Patienten mit zunehmenden, häufig belastungsabhängigen Schmerzen und resultierenden funktionellen Defiziten sowie Krafteinbußen im Bereich der betroffenen Hand auf.

Die therapeutischen Optionen lehnen sich an die Klassifikation nach Watson und Ryu an: im Stadium I kommen rekonstruktive Verfahren in Kombination mit einer Resektion des *Processus styloideus radii* in Betracht. Im Stadium II ist die Resektion der proximalen Handwurzelreihe (proximal row carpectomy, PRC) oder die mediokarpale Teilarthrodese indiziert. Im Stadium III verbleibt die mediokarpale Teilarthrodese als therapeutische Option, da die Arthrose bereits mediokarpal fortgeschritten ist (23). Neben der Four-Corner-Fusion (4 CF; Fusion von *Os lunatum*, *Os capitatum*, *Os hamatum* und *Os triquetrum* in der Regel verbunden mit einer

Resektion des *Os scaphoideum*) als Form der mediokarpalen Teilarthrodese sind verschiedene andere Techniken als therapeutische Optionen beschrieben (22, 24, 25). Unterschiedliche Osteosynthesematerialien werden für die 4 CF verwendet. Neben klassischen Verfahren wie der K-Draht- (26), Klammer- (27) oder Schraubenosteosynthese (28) steht seit 1999 die Möglichkeit der Arthrodese mittels spezieller plattenosteosynthetischer Verfahren (29) zur Verfügung. Unter Berücksichtigung biomechanischer Gesichtspunkte und zur Minimierung der Komplikationsraten (27, 30) wurden die Plattendesigns sukzessive weiterentwickelt. Ein Goldstandard des zu verwendenden Osteosynthesematerials zum Erreichen einer stabilen 4 CF existiert bisher nicht (31). Im Jahr 2011 wurde das *Variable Angle Locking Intercarpal Fusion System* der Firma Synthes (West Chester, Pennsylvania, USA) auf den Markt gebracht, welches die Optionen der multiangulären Verblockung mit der Verwendung von Kompressionsschrauben im Design einer dorsalen zirkulären Platte kombinierte (32). Bisher existiert eine englischsprachige Publikation, welche das klinische Outcome nach der Verwendung dieses Implantats untersucht (33). Die Publikation 2 untersucht nun das längerfristige Outcome von Patienten nach 4 CF mittels *Variable Angle Locking Intercarpal Fusion System*.

Eine seltene Entität innerhalb der karpalen Frakturen sind Frakturen des *Os hamatum* (34). Hamatumfrakturen wurden anhand der gängigen Klassifikation nach Milch (35) in Frakturen des *Hamulus ossis hamati* und Korpusfrakturen unterschieden (34). Eine spezielle und seltene Subentität (36-39) der Korpusfrakturen ist die *koronare Os hamatum Fraktur*, welche in der Klassifikation nach Milch nicht explizit abgebildet ist (35). Typischer Unfallmechanismus ist ein Schlagtrauma mit einer im Handgelenk radialabduzierten und circa 10 Grad flektierten geschlossenen Faust (40-42). Einigkeit in der gängigen Fachliteratur besteht über die erschwerte Diagnosestellung aufgrund unspezifischer klinischer Symptompräsentation kombiniert mit häufig inkonklusiver konventionell-radiologischer Diagnostik (43-46). Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Publikation 3 (2019) existierten Einzelfallberichte oder Fallserien mit geringen Patientenzahlen mit *koronarer Os hamatum Fraktur* (40-42, 44, 45, 47-58). Die größte Patientenkohorte (14 Patienten) wurde von der Arbeitsgruppe um Wharton et al. veröffentlicht (59). Die geringe Fallzahl erschwert die Etablierung standardisierter Empfehlungen über diagnostische und therapeutische Algorithmen. Ein evidenzbasiertes Frakturmanagement oder die Ausarbeitung einer Leitlinienempfehlung existiert bisher nicht. In Publikation 3 werden nun anhand der bisher größten Fallserie ein Frakturmanagement dargestellt sowie Langzeitergebnisse anhand subjektiver und objektiver Outcome-Parameter erhoben und die Gesamtergebnisse mit den bisherigen Therapieoptionen verglichen.

## 1.2.2 Zielsetzung der Dissertation

Karpale Verletzungen stellen einen relevanten Anteil handchirurgischer Pathologien dar. Eine detaillierte und strukturierte Analyse ist zur Untersuchung verfügbarer Operationstechniken ebenso wie zur Erfassung des Langzeit-Outcome erforderlich.

Ziel dieser Dissertation ist es durch die Zusammenführung der prospektiv und retrospektiv erhobenen Daten das postoperative klinische Outcome von Patienten mit karpalen Verletzungen zu untersuchen. Anhand des größten bisher untersuchten Patientenkollektivs mit *koronarer Os hamatum Fraktur* soll zudem ein strukturiertes Frakturmanagement ausgearbeitet und das Langzeit-Outcome nach operativer Frakturversorgung vergleichend beschrieben werden.

## 1.3 Material und Methodik

### 1.3.1 Publikationsübergreifende Aspekte

#### 1.3.1.1 Fallzahlidentifikation

Vor dem Beginn der Datenerhebung und -analyse ist das Studienprotokoll erstellt und von der lokalen Ethikkommission genehmigt worden. Die Patienteneinwilligung wurde im Zuge der Nachuntersuchung eingeholt; eine schriftlich unterzeichnete Einwilligung liegt jeweils vor.

Nach Erhalt des positiven Ethikvotums wurde anhand der entsprechenden Diagnoseschlüssel, basierend auf der *Internationalen Statistischen Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitszustände* (ICD, englisch: International Statistical Classification of Diseases and Related Health Conditions) in der klinikinternen Datenbank und den Patientenverzeichnissen die Fallzahlermittlung der zu untersuchenden karpalen Pathologien durchgeführt. So wurde für Publikation 1 und 2 ein Untersuchungszeitraum von 2011 bis 2013 angesetzt. Aufgrund der Seltenheit von Hamatumfrakturen wurde der Analysezeitraum für Publikation 3 auf die Jahre 2009 bis 2014 erweitert.

#### 1.3.1.2 Retrospektive Datenanalyse

Es fand primär die retrospektive Datenanalyse anhand der gegebenen Daten der Klinikdatenbank statt. Hierzu wurden die folgenden Daten herausgefiltert: Patientenalter, Geschlecht, Vorerkrankungen, Trauma- und Verletzungsmechanismus, Operationstechnik, Operationszeit, Komplikationen, genutztes Implantat sowie die postoperative Immobilisationszeit. Weiterhin fand eine detaillierte Analyse der im Rahmen der Nachbehandlung durchgeführten Projektionsradiographien statt. So waren insbesondere für die Untersuchung der



Skaphoidpseudarthrose (Publikation 1) und der *koronaren Os hamatum Fraktur* (Publikation 3) die Heilungsraten und die Implantatlage entscheidend, wohingegen neben der eigentlichen Implantatposition für die 4 CF die Rate der knöchernen Fusion das entscheidende Kriterium darstellte. Im Rahmen der studienspezifischen Nachuntersuchung wurde bewusst darauf verzichtet, bei asymptomatischen Patienten erneute Röntgendiagnostik zu initiieren, um den Strahlenschutzrichtlinien und ethischen Gesichtspunkten zu folgen.

Die Auswertung der oben genannten Datenreihen wurde in der jeweiligen Publikation unter dem Stichpunkt der *short-term evaluation* zusammengefasst und statistisch ausgewertet.

#### 1.3.1.3 Klinische Nachuntersuchung

Nach ausführlicher Aufklärung über Studieninhalt und schriftlicher Unterzeichnung der Einverständniserklärung wurde die Nachuntersuchung anhand subjektiver und objektiver klinischer Outcome-Parameter durchgeführt: als validierte Fragebögen wurden für die Analyse subjektiver Outcome-Parameter in Publikation 1 und 2 eine gekürzte Version des SF-36 (Short Form 36 Gesundheitsfragebogen (60)) sowie der Manchester-Modified Disability of the Arm, Shoulder and Hand questionnaire (M<sup>2</sup> DASH) (61) eingesetzt. Für die Publikation 3 wurde der M<sup>2</sup> DASH erhoben. Weitere subjektive Outcome-Parameter wurden innerhalb eines standardisierten Nachuntersuchungsprotokolls erhoben. Diese umfassten Schmerzerleben (in Ruhe und unter Belastung) und Sensibilitätsstörungen anhand der spezifischen Qualitäten sowie Phänomene wie Morgensteifigkeit. Daneben umfasste dieses Protokoll objektive Parameter wie Bemessung der Bewegungsumfänge (Goniometrie) des Handgelenkes und eine Funktionstestung (Faustschluss, Pinzettengriff und Opponierbarkeit der *Digitus manus I et V*). Zusätzlich wurde eine Kraftmessung mithilfe des Jamar<sup>®</sup> Handkraftmessgerätes (Patterson Medical, Warrenville, IL, USA) durchgeführt (62), welches eine seitenisolierte hydraulische Messung der isometrischen Handkraft ermöglicht. Hierzu wurde das *Best of Three* (größter Wert der Kraftentwicklung aus drei sequentiellen Untersuchungen je Seite) ermittelt und mit der kontralateralen Seite verglichen.

#### 1.3.1.4 Literaturrecherche

Für jede Publikation erfolgte eine Literaturrecherche in der Medline-Datenbank (inklusive Oldmedline). Die relevanten Artikel wurden ausgewertet und in die vergleichende Analyse einbezogen.

### 1.3.1.5 Statistik

Die erhobenen Daten wurden mittels SPSS Inc. Version 19.0 (Publikation 1) beziehungsweise Version 24 (Publikationen 2 und 3) ausgewertet. Analysiert wurden das arithmetische Mittel, der Median (MD), die Standardabweichung (SD) sowie das Minimum (MIN) und Maximum (MAX). Aufgrund differenter Parameter und der geringen Gruppengrößen innerhalb der Nachuntersuchungen und Protokolle der gängigen fachwissenschaftlichen Literatur wurde die deskriptive Datenanalyse favorisiert und bewusst auf eine vergleichende statistische Analyse verzichtet.

## 1.3.2 Publikationsspezifische Aspekte

### 1.3.2.1 Publikation 1 (*Skaphoidpseudarthrose*)

#### 1.3.2.1.1 Patientenkollektiv

Alle Patienten, die sich aufgrund einer Skaphoidpseudarthrose einer operativen Versorgung in der Charité – Universitätsmedizin Berlin, Campus Virchow Klinikum unterzogen, wurden in die Studie eingeschlossen. Diagnostisches Kriterium hierfür war ein sechs Monate nach Initialtrauma röntgenologisch nachweisbarer Frakturspalt (Klassifikation nach Gupta (8)).

Die Fallzahlermittlung ergab eine absolute Anzahl von 22 Patienten mit einem Durchschnittsalter von 30,27 Jahren (MD = 25 / SD = 13,5). 18 Patienten (81,82 %) waren männlichen und vier (18,18 %) weiblichen Geschlechts.

Für die Nachuntersuchung standen 12 Probanden zur Verfügung; ein Patient willigte lediglich in die Kraftgradmessung ein. Die Nachuntersuchung wurde mit einem zeitlichen Abstand von durchschnittlich 26 Monaten (MD = 22 / SD = 8,87 / MIN = 15 / MAX = 41) durchgeführt.

#### 1.3.2.1.2 Operationstechnik

Der standardisierte chirurgische Zugang erfolgt radiallyseitig, palmar am Handgelenk. Die Präparation und Darstellung der Pseudarthrose erfolgt unter Schonung der neurovaskulären Strukturen zwischen der *Arteria radialis* und der Sehne des *Musculus flexor carpi radialis*. Die Pseudarthrose wird gefenstert und mit einem scharfen Löffel reseziert. Im Falle des Vorliegens einer straffen Pseudarthrose wird diese mithilfe einer Kugelfräse reseziert.

Sodann wird der entnommene und präparierte kortikospongiöse Knochenspan (bikortikaler spongiöser Knochenspan des Beckenkammes beziehungsweise monokortikaler Knochenspan des distalen Radius) nach der Technik nach Matti und Russe im Bereich der angefrischten Pseudarthrose interponiert und verblockt. Die gehaltene Reposition der Pseudarthrose wird mittels

eines gewindeträgenden K-Drahtes gesichert. Nun wird der K-Draht mithilfe eines kanülierten Bohrinstrumentariums überbohrt und die kanülierte HCS über den K-Draht in Zugschraubentechnik mittels Kompressionshülse eingebracht. Hierdurch wird der Frakturspalt komprimiert. Abschließend wird die Schraube auf Kortikalisniveau versenkt.

#### 1.3.2.1.3 Charakterisierung des Implantates

Im Studienzentrum wurde die HCS der Firma DePuy Synthes (West Chester, Pennsylvania, USA) verwendet. Das Implantat liegt in den dem Durchmesser entsprechenden Größen 2,4 mm und 3,0 mm vor. In unserem Zentrum wird ausschließlich die Titanausführung des Implantates gebraucht. Zwei unterschiedliche Teilgewindelängen (jeweils in Relation zur Gesamtschraubenlänge) ermöglichen die Implantatauswahl unter Berücksichtigung der Fragmentgröße und des Frakturverlaufs. Der identische Steigungswinkel von Kopf- und Schaftgewinde erwirkt eine Kompressionskraft auf den Frakturspalt. Zusätzlich sind die Gewindelippen des Kopf- als auch des Schaftgewindes selbstschneidend und somit zeitsparend (63).

#### 1.3.2.2 Publikation 2 (*karpaler Kollaps*)

##### 1.3.2.2.1 Patientenkollektiv

Alle Patienten, die sich aufgrund eines karpalen Kollapses der operativen Versorgung in der Charité – Universitätsmedizin Berlin, Campus Virchow Klinikum mittels 4 CF mit dem *Variable Angle Locking Intercarpal Fusion Systems* der Firma Synthes unterzogen, wurden in die Studie eingeschlossen.

Insgesamt konnten 11 Patienten eingeschlossen werden. Das durchschnittliche Alter betrug 53,3 Jahre (MD = 45 / SD = 16,38). Sechs Patienten waren männlichen (54,55 %) und fünf weiblichen Geschlechts (45,45 %).

Hinsichtlich der studienspezifischen Langzeitnachuntersuchung konnten die Daten von insgesamt sechs Patienten erhoben und analysiert werden. Die Nachuntersuchung wurde mit einem zeitlichen Abstand von durchschnittlich 37,67 Monaten (MD = 35,5 / SD = 7,69 / MIN = 30 / MAX = 49) durchgeführt.

##### 1.3.2.2.2 Operationstechnik

Dargestellt wird das typische operative Vorgehen. In Ausnahmefällen kann das Os scaphoideum in situ verbleiben (bspw. im Rahmen einer zugrundeliegenden Lunatumnekrose). Der chirurgische Zugang wird bogenförmig dorsal über dem Handgelenk unter Eröffnung des zweiten, dritten und

vierten Strecksehnenfachs ausgeführt. Die Strecksehnen werden im gesamten zugänglichen Verlauf dargestellt, präpariert und nach ulnar und radial verlagert. Die Handgelenkscapsel wird hierunter türflügelartig eröffnet und die Fehlstellung der Karpalia dargestellt. Es erfolgt die vollständige Exzision des *Os scaphoideum*. Nach Entknorpelung der entsprechenden Gelenkflächen der Karpalia wird das *Os lunatum* über einen K-Draht reponiert. Zur Retention werden temporär K-Drähte eingebracht. Folgend wird das Zielinstrumentarium unter Röntgenkontrolle aufgesetzt und mittels K-Drähten in der entsprechenden Position fixiert. Sodann wird mit der Fräse das Plattenlager geschaffen. Nun wird der intercarpale Bereich mit autologer Spongiosa aus dem entnommenen *Os scaphoideum* aufgefüllt. Die Platte wird aufgelegt und mit den betreffenden Karpalia (*Ossa hamatum, capitatum, triquetrum, lunatum*) verschraubt.

#### 1.3.2.2.3 Charakterisierung des Implantates

Das *Variable Angle Locking Intercarpal Fusion System* der Firma DePuy Synthes (West Chester, Pennsylvania, USA) ist in zwei Größen erhältlich (6-Loch, Durchmesser 15 mm und 7-Loch, Durchmesser 17 mm). In unserem Zentrum findet nur die Ausführung in Titanlegierung Anwendung. Zur Vermeidung von Impingementsyndromen (64, 65), wie diese zum Teil aus Erfahrungen mit älteren Plattendesigns dieser Indikation bekannt sind, wurde besonderes Augenmerk auf ein flaches Plattendesign, glatte Oberflächen und abgerundete Kanten gelegt (66). Das Design der Platte erlaubt zusätzlich die temporäre Sicherung mittels K-Drähten, sowie durch ein größeres zentrales Loch das Einbringen zusätzlicher autologer Spongiosa. Die eigentlichen Variable Angle Locking Schraubenlöcher erlauben sowohl das Einbringen von 2,4 mm durchmessenden koaxialen Kopfverriegelungsschrauben als auch polyaxialer Kopfverriegelungsschrauben mit einer Angulation von bis zu 15 Grad zur Zentralachse. Hierdurch wird ein, der anatomischen Position der Ossa carpalia optimal angepasstes Einbringen der Schrauben ermöglicht. Zusätzlich zu den Kopfverriegelungsschrauben können auch 2,4 mm durchmessende Kortikalisschrauben über die vorgefertigten Schraubenlöcher eingebracht werden. Dies erzielt einen zusätzlichen Kompressionseffekt des Implantates auf die Karpalia. Ein wichtiges Instrument ist die dynamische Führungszange, die vom Hersteller als sogenannter „reduction reaming guide“ geführt wird (67). Mithilfe dieses Instrumentariums kann sowohl die optimale Plattenlage sichergestellt, als auch eine Distraction auf den Karpus ausgeübt werden. Dies erleichtert zunächst das Einbringen der autologen Spongiosa und kann abschließend vor Aufbringen der Platte in eine Kompression umgekehrt werden (66).

#### 1.3.2.2.4 Case Documentation Form 1 (CDF 1)

Dieser Datenerfassungsbogen zur prä- und intraoperativen Analyse wurde von der Firma DePuy Synthes zur strukturierten Untersuchung des *Variable Angle Intercarpal Fusion Systems* zur Verfügung gestellt.

Neben demographischen Daten, Hinweisen zum gebrauchten Implantat, zugrundeliegender Pathologie und Operationsdetails werden die intraoperativen Erfahrungen des Chirurgen mit dem System anhand von elf Fragen evaluiert. Die Beantwortung der Fragen ermöglicht eine detaillierte Analyse wichtiger intraoperativer Details zum Zielinstrumentarium (Handhabung, Funktionsfähigkeit, Sitz des Instrumentes), zur Durchführbarkeit des Fräsvorgangs (Handhabung, Funktionsfähigkeit), zum Aufbringen und Ausrichten der Platte, sowie zum Einbringen der Schrauben, Erreichen von Kompression und zur abschließenden Bewertung der Stabilität. Die Bewertung erfolgt anhand einer vierfach abgestuften Verbalskala (exzellent bis mangelhaft und nicht klassifizierbar).

Neben dem für karpale Instabilitäten entscheidenden karpalen Höhenindex nach Youm werden knöcherne Konsolidierung sowie der ulnare Translationsindex nach Chamay dokumentiert.

Der karpale Höhenindex nach Youm berechnet sich als Quotient aus der Länge des Karpus (in der posterior-anterioren Röntgen-Aufnahme gemessen von der Basis des *Os metacarpale* (MC) III bis zur distalen Gelenkfläche des Radius im Lot) und der Länge des MC III (ebenfalls in posterior-anteriorer Aufnahme ausgehend von der proximalen zur distalen Gelenkfläche). Karpale Instabilitäten spiegeln sich hierbei durch eine Abnahme der karpalen Höhe wieder (Normwerte nach Youm:  $0,54 \pm 0,03$  (68) (69, 70)).

#### 1.3.2.3 Publikation 3 (*koronare Os hamatum Fraktur*)

##### 1.3.2.3.1 Patientenkollektiv

Einschlusskriterium war die Diagnose einer *koronaren Os hamatum Fraktur* unabhängig ihrer Begleitverletzungen.

Die Fallzahlermittlung in der klinikinternen Datenbank ergab eine absolute Patientenzahl von 19 mit diagnostizierten *koronaren Os hamatum Frakturen*. Das Durchschnittsalter der Patientenkohorte betrug 25,37 Jahre (MD = 22 / SD = 7,6). Die Geschlechtsverteilung zeigte 18 männliche Patienten (94,74 %) und eine weibliche Patientin (5,26 %).

18 Patienten wiesen eine frische Verletzung auf; in einem Fall war die Verletzung extern nicht diagnostiziert worden und es erfolgte somit die Therapieeinleitung im Zeitversatz. Für die Langzeitnachuntersuchung konnten die Daten von insgesamt neun Patienten erhoben und

analysiert werden. Die Nachuntersuchung wurde mit einem zeitlichen Abstand von durchschnittlich 33,67 Monaten (MD = 29 / SD = 13,91 / MIN = 14 / MAX = 54) durchgeführt.

#### 1.3.2.3.2 Operationstechnik

Die Versorgung mittels Schraubenosteosynthese ist bei *koronaren Os hamatum Frakturen* ein etabliertes Operationsverfahren (47, 49, 51, 71). Im vorliegenden Patientenkollektiv, welches zur Erstellung von Publikation 3 untersucht wurde, stellt die Schraubenosteosynthese das am häufigsten verwendete Verfahren dar. Relevante Begleitverletzungen *koronarer Os hamatum Frakturen* sind MC IV und V Basisfrakturen. In Anbetracht dieser Tatsache wird dies in der folgenden Beschreibung der Operationstechnik berücksichtigt.

Der operative Zugang von vier Zentimetern Länge wird dorsal im Intervall zwischen dem MC IV und V nach proximal reichend angelegt. Unter Schonung der Strecksehnen wird die darunterliegende Faszie eröffnet und die Fraktur unter Schonung der Bandverbindungen der MC IV und V Basis per scharfer Präparation dargestellt. Unter axialem Zug und dorsalem Druck ist eine anatomische Reposition der MC IV und V Frakturen möglich. Zur Retention der Reposition werden K-Drähte eingebracht. Nun kann die Reposition der *koronaren Os hamatum Fraktur* erfolgen. Die Sicherung der anatomischen Reposition erfolgt ebenfalls mittels K-Draht. Nach Röntgenkontrolle mittels Bildwandler erfolgt das schrittweise Einbringen zweier 1,5 mm durchmessender Schrauben. Sodann wird der temporär eingebrachte K-Draht entfernt.

### 1.4 Ergebnisse

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der einzelnen Publikationen, nach retrospektiver Datenanalyse und Langzeit-Nachuntersuchungsergebnissen aufgeschlüsselt dargestellt werden. Zur besseren Übersicht erfolgt die Zusammenstellung publikationsspezifisch.

#### 1.4.1 Publikation 1 (*Skaphoidpseudarthrose*)

##### 1.4.1.1 Retrospektive Datenanalyse

In absteigender Häufigkeit waren für die Skaphoidfraktur ursächlich: Sturzgeschehen (11 Patienten, 50 %), sportliche Aktivität (4 Patienten, 18,18 %), Verkehrsunfall (3 Patienten, 13,64 %), körperliche Auseinandersetzung (1 Patient, 4,55 %) sowie drei nicht näher bezeichnete Fälle (13,64 %).

Nach operativer Versorgung einer Skaphoidpseudarthrose mittels HCS und Implantation eines avaskulären Knochenspans (21 Patienten, 95,46 %) konnte bei 17 Patienten (80,95 %) eine

Frakturkonsolidierung erreicht werden. Drei der nicht geheilten Pseudarthrosen waren im proximalen Drittel lokalisiert; einer weiteren persistenten Pseudarthrose lag eine Fraktur im mittleren Drittel zugrunde mit einem Zeitversatz von fünf Jahren zwischen Initialtrauma und operativer Versorgung.

#### 1.4.1.2 Klinische Langzeitergebnisse

In fünf Fällen betraf die Fraktur die dominante, rechte Hand (41,67 %). Konsekutiv zeigte die Verteilung eine Inkongruenz zwischen frakturierter und dominanter Seite in sieben Fällen (58,33 %). Der SF-36 ergab bezüglich der Fragestellung nach dem generellen Gesundheitszustand in einem Fall die Antwort sehr gut, in sieben Fällen gut und in zwei Fällen die Aussage schlecht; ein Patient antwortete nicht.

Die Auswertung der M<sup>2</sup> DASH Fragebögen ergab einen durchschnittlichen Wert von 29,8 Punkten (MD = 29 / SD = 9,46 / MIN = 18 / MAX = 48).

Keiner der nachuntersuchten Patienten beklagte Schmerzen in Ruhe; fünf schilderten Schmerzen nach stärkerer Belastung (reichend von 4 bis 8 auf der numerischen Analogskala).

Dysästhesien in der betroffenen Hand wurden von zwei Patienten ebenfalls nach stärkerer Belastung beschrieben.

In der goniometrischen Analyse zeigte sich eine durchschnittliche Dorsalextension von 72,73° (MD = 80° / SD = 17,23° / MIN = 30° / MAX = 85°). Die durchschnittliche Flexion betrug 73,64° (MD = 80° / SD = 8,97° / MIN = 60° / MAX = 80°). Die Ulnarduktion ergab einen Durchschnitt von 39,09° (MD = 40° / SD = 2,02° / MIN = 35° / MAX = 40°); die Radialduktion betrug durchschnittlich 29,09° (MD = 30° / SD = 3,01° / MIN = 20° / MAX = 30°).

Die Funktionsprüfung ergab bei allen Patienten eine uneingeschränkte Ausführbarkeit von Faustschluss, Pinzettengriff (schmerzhaft in einem Fall, 8,33 %) und Daumenopposition (schmerzhaft in zwei Fällen, 16,67 %).

In der Griffkraftprüfung zeigte sich eine identische Kraftentwicklung der frakturierten und der nicht traumatisierten Hand in drei Fällen (25 %). Fünf Patienten (41,67 %) zeigten eine geringgradige Überlegenheit der nicht frakturierten Hand (0,5 kg bis 4 kg Differenz) und zwei Patienten (16,67 %) eine deutlich höhere Kraftentwicklung der nicht frakturierten Hand (10 kg bis 20 kg) im Vergleich zur Gegenseite. Bei zwei Patienten (16,67 %) stellte sich die frakturierte Hand stärker dar (2 kg Differenz).

## 1.4.2 Publikation 2 (*karpaler Kollaps*)

### 1.4.2.1 Retrospektive Datenanalyse

In absteigender Häufigkeit waren für das Auftreten des karpalen Kollapses ursächlich: SNAC wrist Pathologie (5 Patienten, 45,46 %), SLAC wrist Pathologie (4 Patienten, 36,36 %), de Quervainsche Fraktur (1 Patient, 9,09 %) sowie CIND (*carpal instability non-dissociative*) auf Boden eines Morbus Kienböck (1 Patient, 9,09 %).

Die radiologische Diagnostik im Rahmen der postoperativen Nachsorge zeigte eine knöcherner mediokarpale Konsolidierung in allen Fällen. In einem Fall (9,09 %) kam ein singulärer Schraubenbruch zur Darstellung. Es wurden keine weiteren Komplikationen beobachtet.

### 1.4.2.2 CDF 1

Der CDF 1 konnte von sieben Patienten erhoben werden.

In der intraoperativen Erhebung wurde die finale Stabilität in vier Fällen (57,14 %) als *exzellent* eingeschätzt; die Leichtigkeit des Einbringens der *variable angle locking screws* durch das Zielinstrumentarium ist in drei Fällen (42,86 %) als *ausreichend* bewertet worden. Die übrigen Kriterien wurden durchschnittlich mit *gut* bewertet.

Die präoperative Erhebung des karpalen Höhenindex nach Youm ergab einen durchschnittlichen Wert von 0,44 (MD = 0,45 / SD = 0,05 / MIN = 0,37 / MAX = 0,52).

In Gegenüberstellung mit den postoperativen Berechnungen konnte in allen Fällen eine Vergrößerung des karpalen Höhenindex nach Youm dargestellt werden.

### 1.4.2.3 Klinische Langzeitergebnisse

In vier Fällen betraf die Fraktur die dominante, rechte Hand (66,67 %). Dementsprechend war die nicht-dominante linke Hand in zwei Fällen (33,33 %) betroffen. Der SF-36 ergab bezüglich der Fragestellung nach dem generellen Gesundheitszustand in zwei Fällen (33,33 %) die Antwort *gut*; vier Patienten (66,67 %) antworteten mit *zufriedenstellend*.

Die Auswertung der M<sup>2</sup> DASH Fragebögen ergab einen durchschnittlichen Wert von 41,5 Punkten (MD = 44 / SD = 16,62 / MIN = 21 / MAX = 65).

Einer der nachuntersuchten Patienten (16,67 %) beklagte Schmerzen in Ruhe, ein weiterer (16,67 %) klagte über Schmerzen nach milder und vier Patienten nach stärkerer Belastung (66,67 %).

Dysästhesien der betroffenen Hand wurden von drei Patienten (50 %) beschrieben.



In der goniometrischen Analyse zeigte sich eine durchschnittliche Dorsalextension von  $54,17^\circ$  (MD =  $52,5^\circ$  / SD =  $19,08^\circ$  / MIN =  $30^\circ$  / MAX =  $80^\circ$ ). Für die Flexion ließen sich durchschnittlich  $45,83^\circ$  bemessen (MD =  $47,5^\circ$  / SD =  $23,54^\circ$  / MIN =  $5^\circ$  / MAX =  $75^\circ$ ). Die Ulnarduktion ergab eine durchschnittliche Bemessung von  $26,67^\circ$  (MD =  $30^\circ$  / SD =  $14,02^\circ$  / MIN =  $10^\circ$  / MAX =  $40^\circ$ ); die Radialduktion bemaß durchschnittlich  $24,17^\circ$  (MD =  $27,5^\circ$  / SD =  $8,01^\circ$  / MIN =  $10^\circ$  / MAX =  $30^\circ$ ).

Die Funktionsprüfung ergab bei allen Patienten eine uneingeschränkte Ausführbarkeit von Faustschluss und Pinzettengriff. Die Opponierbarkeit zeigte sich bei fünf Patienten (83,33 %) unbeeinträchtigt; bei einem Patienten bestand ein Defizit von 0,2 cm. Bei einem Patienten mit voller Opponierbarkeit wurden Schmerzen in der Durchführung beklagt.

Die Griffkraftprüfung ergab eine unterschiedliche Kraftverteilung: in vier Fällen (66,67 %) zeigte sich die nicht betroffene Hand der operierten in der Kraftmessung überlegen, wohingegen in zwei Fällen (33,33 %) die operierte Hand die größere Kraftentwicklung aufwies.

### 1.4.3 Publikation 3 (*koronare Os hamatum Fraktur*)

#### 1.4.3.1 Retrospektive Datenanalyse

In absteigender Häufigkeit zeigten sich folgende Traumamechanismen für die *koronare Os hamatum Fraktur* ursächlich: Schlagverletzung (10 Patienten, 52,63 %), Sturzereignis (6 Patienten, 31,58 %), Unfälle im häuslichen Umfeld (2 Patienten, 10,53 %) sowie Verkehrsunfall (1 Patient, 5,26 %).

18 von 19 Patienten zeigten als Begleitpathologie zu der *koronaren Os hamatum Fraktur* mindestens eine Luxation eines carpometacarpalen (CMC) Gelenkes; 12 Patienten wiesen mehr als eine Dislokation in der CMC Gelenkebene auf (63,16 %). Am häufigsten war hierbei die Kombination aus Luxationen der CMC Gelenke IV und V.

Begleitfrakturen der MC fanden sich wie folgt verteilt: MC III Fraktur in 31,58 %, MC IV Frakturen in 63,16 %, MC V Frakturen in 10,53 %. Eine vergesellschaftete Fraktur des *Os capitatum* war bei 4 Patienten (21,05 %) zu diagnostizieren.

In allen Fällen lag mindestens eine Begleitverletzung vor.

Zur operativen Therapie der *koronaren Os hamatum Fraktur* ist in Abhängigkeit der Frakturmorphologie in zwei Fällen (10,53 %) die geschlossene Reposition und K-Draht-Osteosynthese und in 17 Fällen (89,47 %) ein offenes Vorgehen angewandt worden.

Im Rahmen der offenen operativen Versorgung erfolgte die Osteosynthese mit folgenden Verfahren: Schraubenosteosynthese (9 Patienten, 52,94 %), Gitterplattenosteosynthese

(6 Patienten, 35,29 %), Kirschnerdraht-Osteosynthese (1 Patient, 5,88 %), Arthrodesse (1 Patient, 5,88 %).

Die radiologische Diagnostik im Rahmen der postoperativen Nachsorge zeigte eine knöchernen Frakturkonsolidierung bei allen Patienten mit osteosynthetischer Versorgung; der mittels Arthrodesse versorgte Patient zeigte eine suffiziente Fusion. In keinem Fall kam es zu einem Osteosyntheseversagen.

#### 1.4.3.2 Klinische Langzeitergebnisse

In acht Fällen betraf die Fraktur die dominante Hand (88,89 %).

Die Auswertung der M<sup>2</sup> DASH Fragebögen ergab einen durchschnittlichen Wert von 26,22 Punkten (MD = 22 / SD = 11,31 / MIN = 18 / MAX = 52).

Einer der nachuntersuchten Patienten (11,11 %) beklagte intermittierende Schmerzen in Ruhe, ein weiterer (11,11 %) klagte über Schmerzen nach milder und vier Patienten (44,44 %) nach stärkerer Belastung (reichend von drei bis fünf auf der numerischen Analogskala).

Dysästhesien im Bereich des dorsalen CMC IV Gelenk wurden von einem Patienten (11,11 %) nach stärkerer Belastung beschrieben.

In der goniometrischen Analyse zeigte sich eine durchschnittliche Dorsalextension von 83,33° (MD = 85° / SD = 3,54° / MIN = 75° / MAX = 85°). Für die Flexion ließen sich durchschnittlich 77,78° bemessen (MD = 80° / SD = 4,41° / MIN = 70° / MAX = 80°). Die Ulnar- sowie die Radialduktion zeigten sich bei allen Patienten vollständig unbeeinträchtigt.

Die Funktionsprüfung ergab bei allen Patienten eine uneingeschränkte Ausführbarkeit des Faustschlusses. Der Pinzettengriff zeigte sich bei 7 Patienten (77,78 %) unbeeinträchtigt; bei zwei Patienten fiel ein Defizit von 0,2 cm respektive 0,5 cm auf. Die Opponierbarkeit zeigte sich bei 6 Patienten (66,67 %) unbeeinträchtigt; bei einem Patienten bestand ein messbares Defizit von 0,1 cm und bei zwei weiteren ein Defizit von 0,5 cm.

Die Griffkraftprüfung ergab in fünf Fällen (55,56 %) eine Überlegenheit der nicht betroffenen Hand gegenüber der operierten, wohingegen in zwei Fällen (22,22 %) die operierte Hand die größere Kraftentwicklung aufwies. In zwei Fällen (22,22 %) zeigte sich kein Kraftunterschied beider Hände.

## 1.5 Diskussion und Schlussfolgerungen

### 1.5.1 Publikationsspezifische Diskussion und Schlussfolgerung

#### 1.5.1.1 Publikation 1 (*Skaphoidpseudarthrose*)

Die Vergleichsgrundlage zur Einordnung der Untersuchungsergebnisse der zugrundeliegenden Arbeit bilden publizierte Daten der gängigsten Modifikationen der Matti-Russe-Plastik.

Als primärer Erfolg der operativen Versorgung der Skaphoidpseudarthrose ist die knöcherne Konsolidierung (auch als Heilungsrate bezeichnet) anzusehen. Bei Verwendung einer HCS mit avaskulärem Knochenspan lag diese in der vorliegenden Untersuchung bei 85,7 %. Die Arbeitsgruppe um Park et al. wiederum beschreibt eine Gesamtheilungsrate (autologes Knocheninterponat und K-Draht-Osteosynthese) von bis zu 88,2 % (9). Die Fusionsraten nach operativer Versorgung mittels Herbert-Schraube und avaskulärem Knocheninterponat divergieren von 60 % (17) bis zu 84 % erfolgreich konsolidierter Pseudarthrosen (19) in der Literatur.

Wurde im Gegensatz hierzu ein vaskulärer Knochenspan verwendet, sind Heilungsraten von 66,7 % (Herbert-Schrauben-Osteosynthese) und 69,4 % (K-Draht-Osteosynthese) publiziert (20). Die mit 85,7 % ermittelte Heilungsrate des untersuchten Patientenkollektivs liegt somit im oberen Querschnittsbereich der dokumentierten Fusionsraten der Literatur.

Detaillierte Angaben bezüglich goniometrischer Bemessungen finden sich deutlich seltener publiziert. Nach K-Draht-Osteosynthese und Implantation eines autologen Knocheninterponates konnten im Vergleich zur vorliegenden Kohorte eine geringere Dorsalextension von 55° bis 58,5° sowie Flektierbarkeit des Handgelenkes von 58,2° bis 59,5° erreicht werden (9). Auch im Vergleich mit der Bewegungsprüfung in der klinischen Nachuntersuchung von Hirche et al., konnten wir einen um 30 % größeren Bewegungsradius hinsichtlich der Flexions-Extensions Ebene ermitteln (72).

Die Analyse der Handkraftmessungen zeigte bei 10 der 12 nachuntersuchten Patienten zufriedenstellende Ergebnisse; zum Teil blieb der Vergleich mit der kontralateralen Seite ohne jegliches Kraftdefizit. Lediglich zwei der Patienten zeigten eine deutliche Kraftdifferenz mit minus 20 kg respektive minus 10 kg Kraftentwicklung im Vergleich zur gesunden Seite.

Die Ergebnisse des M<sup>2</sup> DASH im Rahmen der subjektiven Selbsteinschätzung stützten mehrheitlich die positiven objektiven Outcome-Parameter.

In der Literatur gelten höheres Patientenalter, Zeit bis zur Versorgung, vorangegangene Operationen, Fraktur des proximalen Drittels und aktiver Nikotinkonsum als Risikofaktoren für ein Therapieversagen (9, 20, 73).

Auch im vorliegenden Patientenkollektiv lag die Frakturlokalisierung der nicht erfolgreichen Osteosynthesen in drei Fällen im proximalen Drittel.

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass die operative Versorgung der Skaphoidpseudarthrose mit avaskulärer Kochenspanplastik und HCS gute bis sehr gute Heilungsraten und funktionelle Ergebnisse aufweist. Ein relevanter Risikofaktor für die Entstehung einer Pseudarthrose stellt nach wie vor eine Frakturlokalisierung im proximalen Skaphoiddrittel dar. Hierzu sind zukünftig weitere Studien erforderlich.

#### 1.5.1.2 Publikation 2 (*karpaler Kollaps*)

Die Erfolgsraten einer 4 CF sind in der Literatur vom verwendeten Osteosynthesematerial abhängig. Zunächst gilt es hier zwischen klassischen Osteosynthesematerialien (K-Drähte, Klammern und Schrauben) und Plattenosteosynthesen (locking und non-locking Platten) zu unterscheiden. Für die klassischen Verfahren sind knöcherne Fusionsraten von 83 % bis 100 % beschrieben (30, 65, 74-77). Für die non-locking Arthrodesenplatten sind Fusionsraten von 37,5 % bis 100 % publiziert (78, 79).

Für die unterschiedlichen Modelle der locking plates, welche als Weiterentwicklung der non-locking plates entstanden, sind hohe Fusionsraten von 80 bis 100 % publiziert (80-83). In der vorliegenden Untersuchung konnte für das *Variable Angle Intercarpal Fusion System* der Firma DePuy Synthes ebenfalls eine exzellente Fusionsrate von 100 % gezeigt werden. Dies entspricht somit der hohen Fusionsrate, die im Allgemeinen für dieses Implantat angenommen wird (33, 84). Die prä- und postoperative vergleichende Analyse des karpalen Höhenindex nach Youm zeigt in allen Fällen einen Anstieg der karpalen Höhe. Dies gibt Hinweise auf eine erfolgreiche Reposition des karpalen Gefüges und eine suffiziente Sicherung mittels des eingebrachten Implantates.

Eine wesentliche Komplikation stellen Impingement-Syndrome und hierunter vor allem das dorsale Impingement aufgrund des Implantates selbst dar. Die Implantatwahl scheint einen relevanten Einfluss auf die Häufigkeit eines postoperativen Impingements zu haben. So berichten Vance et al. eine Impingementrate von 3 % nach 4 CF mit traditionellen Osteosynthesematerialien, wohingegen nach Versorgung mittels non-locking plates in 26 % ein Impingementsyndrom auftrat (65). Im direkten Vergleich von non-locking plates und locking plates konnten Impingementraten von 30 % respektive 5 % gezeigt werden (85). Bei der Verwendung des *Variabel Angle Locking Intercarpal Fusion System* konnte in der vorliegenden Studie kein Impingementsyndrom festgestellt werden, gleichwohl für das Implantat ein Auftreten von 10 % beschrieben ist (33). Abseits davon wurde in der vorliegenden Untersuchung ein Fall mit postoperativem

Implantatversagen im Sinne eines singulären Schraubenbruches diagnostiziert. Der Patient dieser Untersuchung zeigte eine selbstständige Überbeanspruchung des versorgten Handgelenkes direkt postoperativ. In der Literatur wird die Häufigkeit von vergleichbarem Materialversagen (Schraubenbruch, Schraubenlockerungen und -dislokationen, Schraubenfehlage sowie Plattenbrüche) mit bis zu 27 % angegeben (79, 80, 83, 86).

Ein weiterer wichtiger Parameter ist die Funktionalität und die Patientenzufriedenheit, um den therapeutischen Erfolg der Arthrodese als *salvage operation* in der Therapie des karpalen Kollapses zu bewerten. Die Ausführung und Darstellung der Nachuntersuchungsergebnisse in der Literatur zeigen sich uneinheitlich. Dies erschwert die Vergleichbarkeit zwischen den Studien. Die hier erhobenen Daten zeigen sich den anderen Studien mit verschiedenen Plattendesigns vor allem hinsichtlich der Bewegungsgrade in der Flexions-Extensionsachse überlegen (65, 79, 80, 83, 85-89). Mit einer durchschnittlichen Kraftentwicklung von 25,21 kg der operierten Hand zeigt sich dieser Parameter im Mittel vergleichbar mit anderen publizierten Ergebnissen (29, 31, 65, 83, 85-90). Die zufriedenstellenden Ergebnisse der objektiven Outcome-Parameter stehen konträr zu den relativ hohen Punktwerten im M<sup>2</sup> DASH der Patientenkohorte. Hierbei fand sich eine hohe Schwankungsbreite reichend von 21 Punkten bis 65 Punkten und auch hinsichtlich der jeweils individuell negativ konnotierten Aspekte, sodass kein eindeutiges Muster erkennbar wurde.

Ein weiteres Kriterium stellt die Einschätzung des Operateurs bezüglich der intraoperativen Funktionalität des Implantates dar. Diese zeigten sich vor allem bezüglich der Schraubenpositionierung bei einliegendem reaming guide in der vorliegenden Empfehlung verbesserungswürdig.

Zusammenfassend kann auf Boden der in der Publikation dargelegten 100 %igen Fusionsrate, der geringen Komplikationsrate sowie den vergleichbar zufriedenstellenden Nachuntersuchungsergebnissen das *Variable Angle Locking Intercarpal Fusion System* der Firma DePuy Synthes als Implantat zur Erreichung einer 4 CF empfohlen werden. Bezüglich der Patientenzufriedenheit sind weitere Erhebungen notwendig, um die differenten Ergebnisse der objektiven und subjektiven Langzeitresultate einzuordnen.

#### 1.5.1.3 Publikation 3 (*koronare Os hamatum Fraktur*)

Die Publikation 3 untersucht das bisher größte Patientenkollektiv mit *koronarer Os hamatum Fraktur*. Die Klinik der Patienten ist häufig unspezifisch (Schwellung und Hämatom über dem Handrücken sowie Schmerzen im Bereich der dorso-ulnaren Hand und schmerzhafter Bewegungseinschränkung des Handgelenkes) (40, 42, 51). Spezifischere Symptome wie die

inspektorisch auffallende CMC Gelenksluxation werden vor allem durch typische Begleitverletzungen ausgelöst (40, 91).

In der Fachliteratur besteht weiterhin Konsens darüber, dass die klassische Projektionsradiographie (posterior- anterior Aufnahme und streng seitliche Aufnahme der Hand mit Handgelenk) für die Diagnosestellung häufig unzureichend ist (35-37, 40, 42-45, 51, 54, 59, 91-93). Auch mögliche Hinweise in der Röntgendiagnostik beziehen sich mehrheitlich auf potenzielle Begleitverletzungen (fehlendes Alignment der CMC Gelenke, fehlende Einsicht in CMC Gelenkspalt etc.). Nur wenige potentiell relevante Zeichen können eine *koronare Os hamatum Fraktur* in der Standard - Projektionsradiographie vermuten lassen: Überlagerung von *Os hamatum* und *Os triquetrum*, Doppelkontur des *Margo inferior ossis hamati* sowie zum Teil eine dorsale Dislokation des *Os hamatum* selbst (37, 40, 42, 45, 52, 56). Dies bedingt häufig eine verzögerte Diagnosestellung und Therapieeinleitung (42, 43, 45, 49, 94-97). In einer Untersuchung von Langenhan et al. zeigte sich, dass lediglich ein Drittel aller *koronaren Os hamatum Frakturen* im Rahmen der Erstvorstellung diagnostiziert worden waren (40). Die Zeitverzögerung bedingt mitunter klinisch weitreichende Folgekomplikationen wie muskuläre Imbalance, Verstärkung der posttraumatischen Arthroseentwicklung bis hin zur Pseudarthrose mit starkem Schmerzerleben und funktionellen Defiziten (40, 42, 54, 95, 96, 98, 99). Auch in der vorliegenden Untersuchung konnte ein Fall mit einer auswärtig nicht diagnostizierten *koronaren Os hamatum Fraktur* eingeschlossen werden, der bei der Erstvorstellung in unserem Zentrum mit deutlichem Zeitverstanz zum Primärtrauma bereits ein in Fehlstellung konsolidiertes *Os hamatum* sowie eine chronische Subluxation beziehungsweise eine chronische Luxation des CMC IV und V Gelenkes und eine fortgeschrittene Arthrose der CMC IV und V Gelenke zeigte. Die Arthrodesse war in diesem Fall die einzige sinnvolle therapeutische Option.

Um die Diagnosesicherung in der Primärvorstellung der Patienten zu verbessern, empfehlen viele Autorengruppen die Erweiterung der Standard - Röntgendiagnostik um eine Schrägaufnahme der Hand und des Handgelenkes (36, 37, 40-42, 49-52, 54, 57, 94, 95, 100, 101). Die Angulierung der Schrägaufnahme selbst wiederum bleibt strittig; es finden sich Empfehlungen für 15°, 30° und 40° bis 50° Aufnahmen (36, 37, 42, 49, 54, 57, 101). In der vorliegenden Untersuchung wurde stets eine Röntgendiagnostik bestehend aus Standardaufnahmen (posterior-anterior, streng seitlich) sowie einer 30° Schrägaufnahme durchgeführt. Nach Kenntnisstand der Autoren konnten hiermit und unter Berücksichtigung der Traumaanamnese und Diagnose etwaiger Begleitverletzungen alle *koronaren Os hamatum Frakturen* suffizient diagnostiziert werden.

Zur eigentlichen Therapieplanung wird eine additive Computertomographie empfohlen (36, 37, 39-46, 49-51, 54, 91-95, 100, 102).

Die Empfehlungen bezüglich des therapeutischen Algorithmus gründen ausschließlich auf Fallberichten oder kleineren Fallserien (siehe hierzu Tabelle 3, Publikation 3). Typischerweise stehen sich konservatives und operatives Vorgehen gegenüber. Die Arbeitsgruppe um Gala et al. beschreibt die konservative Therapie als Option ausschließlich für die seltene *koronare Os hamatum Frakturen* ohne jegliche Dislokation (42). In der Untersuchung von Ebraheim et al. zeigte sich ein Fall mit CMC Subluxation und kombinierter *Os hamatum* Fraktur mit einem Verlust der anatomischen Reposition und chronischer Subluxation nach konservativer Therapie im Vergleich zu den operativ versorgten Patienten (37). Verschiedene Autorengruppen betonen den instabilen Charakter und das Versagensrisiko der konservativen Frakturversorgung bei kombinierter CMC-Gelenkluxation oder Gelenksubluxation (36, 39, 41). In der vorliegenden Untersuchung wurde aufgrund der Begleitpathologien und anhand der Ergebnisse der Literatur in allen Fällen ein operatives Vorgehen gewählt. Eine operative Therapie wird in der Literatur vor allem bei vorliegender Begleitpathologie, instabiler Fraktursituation und Gelenkbeteiligung empfohlen (36-43, 45, 51-53, 59, 92, 102). Bezüglich einer geschlossenen versus einer offenen Reposition gibt es keine evidenzbasierte Versorgungsempfehlung, sodass wir die von Ebraheim publizierte Klassifikation zugrundelegten (37). Typ A Frakturen (koronare Frakturen durch das Zentrum des *Corpus ossis hamati*) sowie Typ B Frakturen (Frakturen in schräger Ausrichtung unter Einbeziehung der distalen Gelenkfläche) sind in der vorliegenden Untersuchung als Indikationen für eine offene Reposition gewertet worden. Typ C Frakturen (Avulsionsfrakturen) wiederum können einer offenen oder geschlossenen Reposition und Osteosynthese zugeführt werden. Hierbei wird die Entscheidung auch von vorliegenden Begleitpathologien abhängig gemacht. Sollten Begleitverletzungen vorliegen, die ein offenes Vorgehen erfordern (beispielsweise multiframegmentäre Basisfrakturen der MC), verbietet sich ein geschlossenes Vorgehen.

Die Wahl des geeigneten Osteosynthesematerials im Rahmen der internen Fixation nach offener Reposition sollte hierbei von der Frakturmorphologie und von der Stabilität abhängig gemacht werden.

Es besteht nach wie vor eine sehr geringe Datenlage bezüglich des postoperativen Outcomes. Der Vergleich mit den von Kimura et al. publizierten postoperativen Bewegungsausmaßen zeigte in der vorliegenden Untersuchung eine deutlich höhere Radialduktion, wohingegen Flexion, Extension und Ulnarduktion vergleichbare Werte zeigten (52). Weitere isolierte Ergebnisse finden sich lediglich in den Publikationen von Wharton et al. (DASH von 0 bis 45 Punkten) und Valente et al. (Flexionsdefizit 14° und Extensionsdefizit 20° der CMC Gelenke IV und V nach geschlossener Reposition und Kirschnerdraht-Osteosynthese) (59, 103).

In der hier vorliegenden Kohorte zeigten sich alle Frakturen konsolidiert. Komplikationen traten nicht auf. Die Outcome-Analyse zeigte lediglich minimale Einschränkungen der Flexion und Dorsalextension des betroffenen Handgelenkes. Die Radial- und Ulnarduktion waren bei allen Patienten unbeeinträchtigt. Auch die subjektiven Outcome-Parameter anhand des M<sup>2</sup> DASH ergaben mit durchschnittlich 26,22 Punkten ein gutes, die objektiven Parameter stützendes Ergebnis. Lediglich die Funktionsprüfung zeigte hinsichtlich des Pinzettengriffs und der Oppositionsprüfung bei einigen Patienten Defizite. In der Zusammenschau ließen sich keine validen Kraftunterschiede zwischen der operierten und der nicht betroffenen Hand feststellen.

Zusammenfassend kann in der dargestellten Publikation anhand der größten bisher publizierten Fallserie ein diagnostischer und therapeutischer Algorithmus mit zufriedenstellenden Nachuntersuchungsergebnissen gezeigt werden.

Weitere Studien mit Subgruppenanalysen und größeren Fallzahlen wären wünschenswert, um die Einzelaspekte der Outcome-Analyse vergleichbarer zu machen und das vorgeschlagene Regime zu evaluieren.

#### 1.5.2 Publikationsübergreifende Diskussion

Aufgrund der nicht standardmäßig erfassten präoperativen subjektiven und objektiven Parameter des Untersuchungsprotokolls ist ein longitudinaler Vergleich der Patientendaten nicht möglich gewesen.

Weiterhin ist die teilweise geringe Fallzahl als Limitation zu werten, wobei diese nicht zuletzt in der Seltenheit der einzelnen Diagnosen begründet ist. Die geringe Fallzahl bedingt ebenfalls die verwendete deskriptive Datenanalyse. Diese wurde in der vorliegenden Analyse bewusst gebraucht, da die Nachuntersuchungsprotokolle der verwendeten Literaturgrundlagen stark divergieren und dadurch eine vergleichende statistische Analyse nicht sinnvoll erscheinen ließen. Eine weitere Limitation stellt die jeweils fehlende Vergleichskohorte dar. Dies findet ethische Gesichtspunkte als Begründung, da die jeweils dargelegten diagnostischen und therapeutischen Algorithmen den Goldstandard des Studienzentrums darstellen. Von diesem etablierten Standard wurde nicht abgewichen. Stattdessen wurden die Ergebnisse mit den in der Literatur publizierten Ergebnissen verglichen.

Als Stärken der vorliegenden Arbeiten können das Zusammenbringen und Gegenüberstellen objektiver und subjektiver klinischer Outcome-Parameter gewertet werden. Dies ermöglicht im Speziellen eine detaillierte Betrachtung des Outcomes. Weiterhin können die spezifischen, deskriptiv erhobenen Daten als Vergleichsgrundlage weiterer klinischer Erhebungen dienen. Eine weitere Stärke ist die klare Standardisierung der Nachuntersuchungen mittels validierter



Fragebögen, Fokussierung auf ausschließlich einen nachuntersuchenden Studienarzt sowie einem entworfenen speziellen Nachuntersuchungsprotokoll, welches eine Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit der erhobenen Daten möglich macht. Weiterhin fand die operative Versorgung der Patienten stets durch das gleiche Operationsteam statt; somit konnten interindividuelle Unterschiede durch die Operationstechnik selbst minimiert werden. Publikation 3 konnte die größte bisher publizierte Fallserie nach *koronarer Os hamatum Fraktur* zusammenfassend veröffentlichen.

## **1.6 Wissenschaftlicher Nutzen, Ausblick und Folgeuntersuchungen**

Publikation 1 und 2 werden nach Kontaktaufnahme durch Vertreter der Firma DePuy Synthes in die firmeninterne Materialstudien und Fehleranalysen einbezogen. Die entsprechende weiterführende Kommunikation und Zusammenarbeit erfolgen durch den Promovenden.

Bezüglich der Publikation 2 ist eine klinikinterne Folgestudie geplant. Diese soll die hier dargelegten retrospektiven Daten und Nachuntersuchungsergebnisse nach implantierter *Variable Angle Locking Intercarpal Fusion Plate* mit denen nach 4 CF mittels Nitinol-Klammern vergleichend bewerten. Ein entsprechender Ethikantrag ist bereits bewilligt und der Patienteneinschluss findet statt. Der Promovend betreut diese Studie maßgeblich als beteiligter Studienarzt.

Die Publikation 3 fand einige Beachtung in der Wissenschaftsöffentlichkeit. Hierbei steht der Promovend unter anderem mit Kollegen in Südamerika zum Erfahrungsaustausch in Kontakt. Weiterhin ist aus der kollegialen Zusammenarbeit die Studienidee einer bizenrischen klinischen Untersuchung von Patientenkohorten mit CMC Luxationen und Luxationsfrakturen erwachsen. Hierfür ist bereits der Ethikantrag erstellt; die abschließende Bewertung steht noch aus. Durchgeführt wird diese Studie unter der Leitung des Promovenden.

## 1.7 Literaturverzeichnis

1. Colen DL, Fox JP, Chang B, Lin IC. Burden of Hand Maladies in US Emergency Departments. *Hand (N Y)*. 2018;13(2):228-36.
2. Ko JH, Pet MA, Khouri JS, Hammert WC. Management of Scaphoid Fractures. *Plast Reconstr Surg*. 2017;140(2):333e-46e.
3. Sward EM, Schriever TU, Franko MA, Bjorkman AC, Wilcke MK. The epidemiology of scaphoid fractures in Sweden: a nationwide registry study. *J Hand Surg Eur Vol*. 2019;44(7):697-701.
4. Pandit S, Wen DY. Scaphoid fractures with unusual presentations: a case series. *Cases J*. 2009;2:7220.
5. Toker S, Kilincoglu V. An abnormally displaced scaphoid fracture: a case report. *Cases J*. 2009;2:9309.
6. Clementson M, Bjorkman A, Thomsen NOB. Acute scaphoid fractures: guidelines for diagnosis and treatment. *EFORT Open Rev*. 2020;5(2):96-103.
7. Backer HC, Wu CH, Strauch RJ. Systematic Review of Diagnosis of Clinically Suspected Scaphoid Fractures. *J Wrist Surg*. 2020;9(1):81-9.
8. Gupta A, Risitano G, Crawford RJ, Burke FD. The Ununited Scaphoid: Prognostic Factors in Delayed and Nonunions of the Scaphoid. *Hand Surg*. 1999;4(1):11-9.
9. Park HY, Yoon JO, Jeon IH, Chung HW, Kim JS. A comparison of the rates of union after cancellous iliac crest bone graft and Kirschner-wire fixation in the treatment of stable and unstable scaphoid nonunion. *Bone Joint J*. 2013;95-b(6):809-14.
10. Buijze GA, Ochtman L, Ring D. Management of scaphoid nonunion. *J Hand Surg Am*. 2012;37(5):1095-100; quiz 101.
11. Gelberman RH, Menon J. The vascularity of the scaphoid bone. *The Journal of hand surgery*. 1980;5(5):508-13.
12. Jaminet P, Gotz M, Gonser P, Schaller HE, Lotter O. Treatment of Scaphoid Nonunion: Radiologic Outcome of 286 Patients in 10 Years. *Eplasty*. 2019;19:e5.
13. Matti H. Ueber die Behandlung der Navicularefraktur und der Refractura patellae durch Plombierung mit Spongiosa 1937.
14. Russe O. Fracture of the carpal navicular. Diagnosis, non-operative treatment, and operative treatment. *J Bone Joint Surg Am*. 1960;42-a:759-68.
15. Weber U EA. Scaphoidpseudarthrose, Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie und des Berufsverbandes der Ärzte für Orthopädie (BVO), A WMF-Leitlinien-Register Nr. 033/030. Dt Ärzte-Verlag. 2002;2. Auflage.
16. Radford PJ, Matthewson MH, Meggitt BF. The Herbert screw for delayed and non-union of scaphoid fractures: a review of fifty cases. *J Hand Surg Br*. 1990;15(4):455-9.
17. Maruthainar N, Rasquinha VJ, Gallagher P. The treatment of scaphoid nonunion. A review of a novel technique using precision bone grafting compared with Herbert screw fixation and bone graft. *J Hand Surg Br*. 2000;25(5):427-30.
18. Merrell GA, Wolfe SW, Slade JF, 3rd. Treatment of scaphoid nonunions: quantitative meta-analysis of the literature. *J Hand Surg Am*. 2002;27(4):685-91.
19. Munk B, Larsen CF. Bone grafting the scaphoid nonunion: a systematic review of 147 publications including 5,246 cases of scaphoid nonunion. *Acta Orthop Scand*. 2004;75(5):618-29.
20. Werdin F, Jaminet P, Naegele B, Pfau M, Schaller HE. Reconstruction of scaphoid nonunion fractures of the proximal one third with a vascularized bone graft from the distal radius. *Eplasty*. 2014;14:e24.
21. Krimmer H, Lanz U. Der posttraumatische karpale Kollapsverlauf und Therapiekonzept. *Der Unfallchirurg*. 2000;103(4):260-6.

22. Watson HK, Ryu J. Evolution of arthritis of the wrist. *Clin Orthop Relat Res.* 1986(202):57-67.
23. Dacho A, Grundel J, Harth A, Germann G, Sauerbier M. [Functional outcome after midcarpal arthrodesis in the treatment of advanced carpal collapse (SNAC-/SLAC-wrist)]. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2005;37(2):119-25.
24. Sauerbier M, Bickert B, Tränkle M, Kluge S, Pelzer M, Germann G. [Surgical treatment possibilities of advanced carpal collapse (SNAC/SLAC wrist)]. *Der Unfallchirurg.* 2000;103(7):564-71.
25. Draeger RW, Bynum DK, Jr., Schaffer A, Patterson JM. Bicolumnar intercarpal arthrodesis: minimum 2-year follow-up. *J Hand Surg Am.* 2014;39(5):888-94.
26. Winkler FJ, Borisch N, Rath B, Grifka J, Heers G. [Mid-term results after scaphoid excision and four-corner wrist arthrodesis using K-wires for advanced carpal collapse]. *Z Orthop Unfall.* 2010;148(3):332-7.
27. Bain GI, Watts AC. The outcome of scaphoid excision and four-corner arthrodesis for advanced carpal collapse at a minimum of ten years. *J Hand Surg Am.* 2010;35(5):719-25.
28. Richards AA, Afifi AM, Moneim MS. Four-corner fusion and scaphoid excision using headless compression screws for SLAC and SNAC wrist deformities. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 2011;15(2):99-103.
29. Bedford B, Yang SS. High fusion rates with circular plate fixation for four-corner arthrodesis of the wrist. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468(1):163-8.
30. Mavrogenis AF, Flevas DA, Raptis K, Megaloikonomos PD, Igoumenou VG, Antoniadou T, Dimopoulos L, Antonopoulos D, Spyridonos SG. Four-corner fusion of the wrist: clinical and radiographic outcome of 31 patients. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2016;26(8):859-66.
31. Pauchard N, Lecoanet-Strugarek C, Segret J, De Gasperi M, Dap F, Dautel G. Dorsal locking plates versus staples in four-corner fusion: a comparative clinical and radiological study. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2014;100(6):593-7.
32. González Del Pino J, Campbell D, Fischer T, Vázquez FN, Jupiter JB, Nagy L. Variable angle locking intercarpal fusion system for four-corner arthrodesis: indications and surgical technique. *Journal of wrist surgery.* 2012;1(1):73-8.
33. Tielemans A, Van Innis F, Troussel S, Detrembleur C, Libouton X, Lequint T. Effect of four-corner fusion with locking plate without bone graft on functional recovery of the wrist: New treatment guidelines. *Hand Surg Rehabil.* 2017;36(3):186-91.
34. Hey HW, Chong AK, Murphy D. Prevalence of carpal fracture in Singapore. *J Hand Surg Am.* 2011;36(2):278-83.
35. Milch H. Fracture of the hamate bone. *JBJS.* 1934;16(2):459-62.
36. Cain JE, Jr., Shepler TR, Wilson MR. Hamatometacarpal fracture-dislocation: classification and treatment. *J Hand Surg Am.* 1987;12(5 Pt 1):762-7.
37. Ebraheim NA, Skie MC, Savolaine ER, Jackson WT. Coronal fracture of the body of the hamate. *J Trauma.* 1995;38(2):169-74.
38. Hirano K, Inoue G. Classification and treatment of hamate fractures. *Hand Surg.* 2005;10(2-3):151-7.
39. Kim JK, Shin SJ. A novel hamatometacarpal fracture-dislocation classification system based on CT scan. *Injury.* 2012;43(7):1112-7.
40. Langenhan R, Hohendorff B, Probst A. [Coronal fracture dislocation of the hamate and the base of the fourth metacarpal bone: a rare form of carpometacarpal injury]. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2011;43(3):140-6.
41. Kang SY, Song KS, Lee HJ, Lee JS, Park YB. A case report of coronal fractures through the hamate, the capitate, and the trapezoid. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2009;129(7):963-5.

42. Cano Gala C, Pescador Hernandez D, Rendon Diaz DA, Lopez Olmedo J, Blanco Blanco J. Fracture of the body of hamate associated with a fracture of the base of fourth metacarpal: A case report and review of literature of the last 20 years. *Int J Surg Case Rep.* 2013;4(5):442-5.
43. Robison JE, Kaye JJ. Simultaneous fractures of the capitate and hamate in the coronal plane: case report. *J Hand Surg Am.* 2005;30(6):1153-5.
44. Gella S, Borse V, Rutten E. Coronal fractures of the hamate: are they rare or rarely spotted? *J Hand Surg Eur Vol.* 2007;32(6):721-2.
45. Chase JM, Light TR, Benson LS. Coronal fracture of the hamate body. *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* 1997;26(8):568-71.
46. Andresen R, Radmer S, Brossmann J, Sartoris DJ, Sparmann M, Bogusch G, Banzer D. [The imaging of hamate fractures in the conventional X-ray and CT: experimental results and clinical experiences]. *Rofo.* 1998;169(1):53-7.
47. Borse VH, Hahnel J, Faraj A. Lessons to be learned from a missed case of Hamate fracture: a case report. *J Orthop Surg Res.* 2010;5:64.
48. Busche MN, Knobloch K, Rosenthal H, Vogt PM. Stress fracture of the hamate body and fourth metacarpal base following military style push-ups: an unusual trauma mechanism. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008;16(12):1158-60.
49. Chalmers RL, Kong KC. An unusual fracture of the hamate. *J Hand Surg Br.* 2006;31(5):577-8.
50. Fakhri RR, Fraser AM, Pimpalnerkar AL. Hamate fracture with dislocation of the ring and little finger metacarpals. *J Hand Surg Br.* 1998;23(1):96-7.
51. Kaneko K, Ono A, Uta S, Mogami A, Shimamura Y, Iwase H, Kurosawa H. Hamatometacarpal fracture-dislocation: distinctive three dimensional computed tomographic appearance. *Chir Main.* 2002;21(1):41-5.
52. Kimura H, Kamura S, Akai M, Ohno T. An unusual coronal fracture of the body of the hamate bone. *J Hand Surg Am.* 1988;13(5):743-5.
53. Loth TS, McMillan MD. Coronal dorsal hamate fractures. *J Hand Surg Am.* 1988;13(4):616-8.
54. Roche S, Lenehan B, Street J, O'Sullivan M. Fourth metacarpal base fracture in association with coronal hamate fracture. *Injury Extra.* 2005;36(8):316-8.
55. Schwartz GB. Displaced dorsal coronal fracture of the hamate. *Orthop Rev.* 1989;18(8):875-7.
56. Sullivan KL, Karasick D. Case report 397: Fracture of the hamate in its coronal plane and dislocation of the hamate-triquetrum. *Skeletal Radiol.* 1986;15(7):593-6.
57. Takami H, Takahashi S, Hiraki S. Coronal fracture of the body of the hamate: case reports. *J Trauma.* 1992;32(1):110-2.
58. Torres J, Abat F, Monteiro E, Gelber P. Isolated fracture of the body of the hamate bone. About a case. *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología (English Edition).* 2011;55(4):288-91.
59. Wharton DM, Casaletto JA, Choa R, Brown DJ. Outcome following coronal fractures of the hamate. *J Hand Surg Eur Vol.* 2010;35(2):146-9.
60. Ware JE, Jr., Sherbourne CD. The MOS 36-item short-form health survey (SF-36). I. Conceptual framework and item selection. *Med Care.* 1992;30(6):473-83.
61. Khan WS, Dillon B, Agarwal M, Fehily M, Ravenscroft M. The validity, reliability, responsiveness, and bias of the Manchester-Modified Disability of the Arm, Shoulder, and Hand score in hand injuries. *Hand (N Y).* 2009;4(4):362-7.
62. Bohannon RW. Reference values for extremity muscle strength obtained by hand-held dynamometry from adults aged 20 to 79 years. *Arch Phys Med Rehabil.* 1997;78(1):26-32.

63. <http://synthes.vo.llnwd.net/o16/LLNWMB8/US%20Mobile/Synthes%20North%20America/Product%20Support%20Materials/Technique%20Guides/SUTG2.4VALCPIntercarpalJ10361B.pdf> (letzter Zugriff am 08.08.2020 17:35 Uhr)
64. Mulford JS, Ceulemans LJ, Nam D, Axelrod TS. Proximal row carpectomy vs four corner fusion for scapholunate (Slac) or scaphoid nonunion advanced collapse (Snac) wrists: a systematic review of outcomes. *J Hand Surg Eur Vol.* 2009;34(2):256-63.
65. Vance MC, Hernandez JD, Didonna ML, Stern PJ. Complications and outcome of four-corner arthrodesis: circular plate fixation versus traditional techniques. *J Hand Surg Am.* 2005;30(6):1122-7.
66. Gonzalez Del Pino J, Campbell D, Fischer T, Vazquez FN, Jupiter JB, Nagy L. Variable angle locking intercarpal fusion system for four-corner arthrodesis: indications and surgical technique. *J Wrist Surg.* 2012;1(1):73-8.
67. <http://synthes.vo.llnwd.net/o16/LLNWMB8/US%20Mobile/Synthes%20North%20America/Product%20Support%20Materials/Technique%20Guides/SUTG2.4VALCPIntercarpalJ10361B.pdf> (letzter Zugriff am 08.08.2020).
68. Schmitt R. Bildgebende Diagnostik der Hand: 362 Tabellen: Thieme; 2008.
69. Youm Y, McMurthy RY, Flatt AE, Gillespie TE. Kinematics of the wrist. I. An experimental study of radial-ulnar deviation and flexion-extension. *J Bone Joint Surg Am.* 1978;60(4):423-31.
70. Vaezi T, Hassankhani GG, Ebrahimzadeh MH, Moradi A. Evaluation of Normal Ranges of Wrist Radiologic Indexes in Mashhad Population. *Arch Bone Jt Surg.* 2017;5(6):451-8.
71. Fakhri R, Fraser A, Pimpalnerkar A. Hamate fracture with dislocation of the ring and little finger metacarpals. *Journal of Hand Surgery.* 1998;23(1):96-7.
72. Hirche C, Heffinger C, Xiong L, Lehnhardt M, Kneser U, Bickert B, Gazyakan E. The 1,2-intercompartmental suprarretinacular artery vascularized bone graft for scaphoid nonunion: management and clinical outcome. *J Hand Surg Am.* 2014;39(3):423-9.
73. Jaminet P, Werdin F, Pfau M, Gotz M, Manoli T, Rahmanian-Schwarz A, Schaller HE. [Treatment algorithm for scaphoid nonunion : retrospective case-control study of 208 patients]. *Unfallchirurg.* 2012;115(11):994-9.
74. Tomaino MM, Miller RJ, Cole I, Burton RI. Scapholunate advanced collapse wrist: proximal row carpectomy or limited wrist arthrodesis with scaphoid excision? *J Hand Surg Am.* 1994;19(1):134-42.
75. De Smet L, Deprez P, Duerinckx J, Degreef I. Outcome of four-corner arthrodesis for advanced carpal collapse: circular plate versus traditional techniques. *Acta Orthop Belg.* 2009;75(3):323-7.
76. Rodgers JA, Holt G, Finnerty EP, Miller B. Scaphoid excision and limited wrist fusion: a comparison of K-wire and circular plate fixation. *Hand (N Y).* 2008;3(3):276-81.
77. Wyrick JD, Stern PJ, Kiefhaber TR. Motion-preserving procedures in the treatment of scapholunate advanced collapse wrist: proximal row carpectomy versus four-corner arthrodesis. *J Hand Surg Am.* 1995;20(6):965-70.
78. Kendall CB, Brown TR, Millon SJ, Rudisill LE, Jr., Sanders JL, Tanner SL. Results of four-corner arthrodesis using dorsal circular plate fixation. *J Hand Surg Am.* 2005;30(5):903-7.
79. Merrell GA, McDermott EM, Weiss AP. Four-corner arthrodesis using a circular plate and distal radius bone grafting: a consecutive case series. *J Hand Surg Am.* 2008;33(5):635-42.
80. Rudnick B, Goljan P, Pruzansky JS, Bachoura A, Jacoby SM, Rekant MS. Four-corner arthrodesis with a radiolucent locking dorsal circular plate: technique and outcomes. *Hand (N Y).* 2014;9(3):315-21.
81. Rhee PC, Shin AY. The rate of successful four-corner arthrodesis with a locking, dorsal circular polyether-ether-ketone (PEEK-Optima) plate. *J Hand Surg Eur Vol.* 2013;38(7):767-73.

82. Luegmair M, Houvet P. Effectiveness of four-corner arthrodesis with use of a locked dorsal circular plate. *Clin Orthop Relat Res.* 2012;470(10):2764-70.
83. Woehl R, Maier J, Gehmert S, Palm C, Riebschlaeger B, Nerlich M, Huber M. 3D analysis of Osteosyntheses material using semi-automated CT segmentation: a case series of a 4 corner fusion plate. *BMC Musculoskelet Disord.* 2018;19(1):52.
84. Drac P, Cizmar I, Homza M, Prasil V, Zapletalova J. [Scaphoid excision and four-corner fusion using the variable angle locking intercarpal fusion plate for treatment of post-traumatic degenerative changes of the wrist]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2014;81(2):135-9.
85. Reissner L, Hensler S, Kluge S, Marks M, Herren DB. Treatment Outcomes of 4-Corner Arthrodesis for Patients With Advanced Carpal Collapse: An Average of 4 Years' Follow-Up Comparing 2 Different Plate Types. *J Hand Surg Am.* 2018;43(5):487.e1-e6.
86. Chung KC, Watt AJ, Kotsis SV. A prospective outcomes study of four-corner wrist arthrodesis using a circular limited wrist fusion plate for stage II scapholunate advanced collapse wrist deformity. *Plast Reconstr Surg.* 2006;118(2):433-42.
87. Espinoza DP, Schertenleib P. Four-corner bone arthrodesis with dorsal rectangular plate: series and personal technique. *J Hand Surg Eur Vol.* 2009;34(5):609-13.
88. Xu YQ, Zhu YL, Wang Y. The memory plate for four-corner fusion of scaphoid non-union advanced collapse. *J Plast Surg Hand Surg.* 2013;47(6):442-5.
89. Chaudhry T, Spiteri M, Power D, Brewster M. Four corner fusion using a multidirectional angular stable locking plate. *World J Orthop.* 2016;7(8):501-6.
90. Mantovani G, Mathoulin C, Fukushima WY, Cho AB, Aita MA, Argintar E. Four corner arthrodesis limited to the centre using a scaphoid one piece graft and a dorsal circular plate. *J Hand Surg Eur Vol.* 2010;35(1):38-42.
91. Bickert B. Hamatumfrakturen—Diagnostik und Therapie. *Handchirurgie Scan.* 2014;3(03):229-39.
92. Dunet B, Vargas M, Pallaro J, Tournier C, Fabre T. A rare coronal fracture of the medial carpal column: Case report. *Chir Main.* 2015;34(2):94-7.
93. Uhl RL, Campbell M. Hamate fracture-dislocation: a case report. *J Hand Surg Am.* 1995;20(4):578-80.
94. Athanasiou V, Iliopoulos ID, Pantazis K, Panagopoulos A. Fracture of the Body of the Hamate With Dorsal Dislocation of the 4(th) and 5(th) Metacarpals: A Case Report. *Open Orthop J.* 2017;11:447-51.
95. Cecava ND, Finn MF, Mansfield LT. Subtle radiographic signs of hamate body fracture: a diagnosis not to miss in the emergency department. *Emergency radiology.* 2017;24(6):689-95.
96. Thomas A, Birch R. An unusual hamate fracture. *The Hand.* 1983;15(3):281-6.
97. Garcia-Elias M, Bishop AT, Dobyns JH, Cooney WP, Linscheid RL. Transcarpal carpometacarpal dislocations, excluding the thumb. *J Hand Surg Am.* 1990;15(4):531-40.
98. Nakamura K, Patterson RM, Viegas SF. The ligament and skeletal anatomy of the second through fifth carpometacarpal joints and adjacent structures. *J Hand Surg Am.* 2001;26(6):1016-29.
99. Terrono A, Ferenz CC, Nalebuff EA. Delayed diagnosis in non-union of the body of the hamate: a case report. *J Hand Surg Br.* 1989;14(3):329-31.
100. Snoop T, Habeck J, Ruiter T. Hamate Fracture. *Eplasty.* 2015;15:ic28.
101. Bora FW, Jr., Didizian NH. The treatment of injuries to the carpometacarpal joint of the little finger. *J Bone Joint Surg Am.* 1974;56(7):1459-63.
102. Moriya K, Saito H, Takahashi Y, Ohi H. Divergent fracture-dislocation of the hamatometacarpal joint: case report. *J Hand Surg Am.* 2011;36(1):47-51.
103. Valente L, Sousa A, Gonçalves AM, Loureiro M, Almeida L. Fracture of the hamate with carpometacarpal dislocation. *Acta medica portuguesa.* 2007;20(2):179-84.

## 2. EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG

„Ich, Christian Eder, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema:

„Evaluation operativer Versorgungsstrategien ausgewählter karpaler Pathologien anhand klinischer Langzeitergebnisse“

selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; [www.icmje.org](http://www.icmje.org)) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

---

Unterschrift

### 3. ANTEILSERKLÄRUNG AN DEN ERFOLGTEN PUBLIKATIONEN

Christian Eder hatte folgenden Anteil an den folgenden Publikationen:

#### **Publikation 1:**

Eder C, Schwab N, Scheller A, Krapohl BD. A new variant of scaphoid reconstruction: Treatment of scaphoid non-union with avascular bone interponate and high compression screw (Synthes®). GMS Interdiscip Plast Reconstr Surg DGPW. 2015

#### Beitrag im Einzelnen:

Primär entwickelte ich die Studienidee sowie die eigentliche wissenschaftliche Fragestellung dieser Publikation. In der Folge ist durch mich der Ethikantrag erstellt, sowie die erforderlichen Dokumente zusammengetragen worden. Es wurde durch mich die klinikinterne Datenbank zur Fallzahlanalyse ausgelesen und ein Patientenregister erstellt. Weiterhin partizipierte ich teilweise als operative Assistenz im Rahmen der Therapie der untersuchten Pathologie. Es wurde durch mich die Sichtung der retrospektiven Parameter und Daten durchgeführt und diese eigenständig zusammengetragen. Hierzu wurde vorher durch mich eine Matrix zur Datenanalyse erstellt.

Unter anderem wurde hier die supervidierte Analyse der radiologischen Untersuchungen vorgenommen. Hieraus entstand beispielhaft die Abbildung 3. Für die Nachuntersuchung führte ich eigenständig die Patientenakquise durch telefonische und postalische Kontaktaufnahme sowie Terminierung der Nachuntersuchungen durch. Es wurden dann die Nachuntersuchungen aller Studienpatienten inklusive Erhebung der verwendeten Scores sowie Erhebung der Bewegungsumfänge (entsprechend des selbstständig entwickelten Nachuntersuchungsprotokolls) und Kraftgradmessungen durch mich durchgeführt. Auch diese Daten wurden durch mich in die entsprechende Datenmatrix eingepflegt. Anschließend erfolgte die statistische Analyse mittels SPSS durch mich. Hieraus entstanden die Abbildungen 1 und 2 sowie der Fließtext des Ergebnisteils der Publikation durch mich. Weiterhin führte ich eine eigenständige Literaturrecherche und Einordnung der Daten entsprechend der aktuellen Fachliteratur durch. Somit konnte ich auch den weiteren Fließtext (Einleitung, Diskussion, Schlussfolgerungen) eigenständig erstellen. Auch wurde durch mich der Material- und Methodikteil der Publikation verfasst. Es erfolgte abschließend die Überarbeitung (exklusive Korrekturen) der Publikation entsprechend der Journal-spezifischen Vorgaben.

#### **Publikation 2:**

Eder C, Scheller A, Schwab N. Four-Corner-Arthrodesis of the wrist using Variable Angle Locking-Compression Intercarpal fusion plate (VA-LCP ICF plate; Synthes®): pre- and



postoperative radiological analysis and clinical outcome in long-term evaluation. GMS Interdiscip Plast Reconstr Surg DGPW. 2019

Beitrag im Einzelnen:

Primär entwickelte ich die Studienidee sowie die eigentliche wissenschaftliche Fragestellung dieser Publikation. In der Folge ist durch mich der Ethikantrag erstellt, sowie die erforderlichen Dokumente zusammengetragen worden. Es wurde durch mich die klinikinterne Datenbank zur Fallzahlanalyse ausgelesen und ein Patientenregister erstellt. Weiterhin partizipierte ich teilweise als operative Assistenz im Rahmen der Therapie der untersuchten Pathologie. Es wurde durch mich die Sichtung der retrospektiven Parameter und Daten durchgeführt und diese eigenständig zusammengetragen.

Hierzu wurde vorher durch mich eine Matrix zur Datenanalyse erstellt.

Unter anderem wurde hier die supervidierte Analyse der radiologischen Untersuchungen vorgenommen. Hieraus entstand beispielhaft die Abbildung 5.

Für die Nachuntersuchung führte ich eigenständig die Patientenakquise durch telefonische und postalische Kontaktaufnahme sowie Terminierung der Nachuntersuchungen durch. Es wurden dann die Nachuntersuchungen aller Studienpatienten inklusive Erhebung der verwendeten Scores sowie Erhebung der Bewegungsumfänge (entsprechend des selbstständig entwickelten Nachuntersuchungsprotokolls) und Kraftgradmessungen durch mich durchgeführt. Auch diese Daten wurden durch mich in die entsprechende Datenmatrix eingepflegt. Anschließend erfolgte die statistische Analyse mittels SPSS durch mich. Hieraus entstanden die Abbildungen 3 und 4 sowie der Fließtext des Ergebnisteils der Publikation durch mich. Weiterhin führte ich eine eigenständige Literaturrecherche und Einordnung der Daten entsprechend der aktuellen Fachliteratur durch. Somit konnte ich auch den weiteren Fließtext (Einleitung, Diskussion, Schlussfolgerungen) mit entsprechenden Tabellen 1 und 2 sowie Abbildungen 1 und 2 eigenständig erstellen. Auch wurde durch mich der Material- und Methodikteil der Publikation verfasst. Es erfolgte abschließend die Überarbeitung (exklusive Korrekturen) der Publikation entsprechend der Journal-spezifischen Vorgaben.

**Publikation 3:**

Eder C, Scheller A, Schwab N, Krapohl BD. Hamate's coronal fracture: diagnostic and therapeutic approaches based on a long-term follow-up. GMS Interdiscip Plast Reconstr Surg DGPW. 2019

Beitrag im Einzelnen:

Primär entwickelte ich die Studienidee sowie die eigentliche wissenschaftliche Fragestellung dieser

Publikation. In der Folge ist durch mich der Ethikantrag erstellt, sowie die erforderlichen Dokumente zusammengetragen worden. Es wurde durch mich die klinikinterne Datenbank zur Fallzahlanalyse ausgelesen und ein Patientenregister erstellt. Weiterhin partizipierte ich teilweise als operative Assistenz im Rahmen der Therapie der untersuchten Pathologie. Es wurde durch mich die Sichtung der retrospektiven Parameter und Daten durchgeführt und diese eigenständig zusammengetragen. Hierzu wurde vorher durch mich eine Matrix zur Datenanalyse erstellt.

Unter anderem wurde hier die supervidierte Analyse der radiologischen Untersuchungen vorgenommen. Hieraus entstand beispielhaft die Abbildung 4.

Weiterhin konnten anhand der durch mich ausgewerteten retrospektiven Patientendaten die Abbildungen 1, 2 und 3 sowie die Tabelle 1 durch mich gestaltet werden.

Für die Nachuntersuchung führte ich eigenständig die Patientenakquise durch telefonische und postalische Kontaktaufnahme sowie Terminierung der Nachuntersuchungen durch. Es wurden dann die Nachuntersuchungen aller Studienpatienten inklusive Erhebung der verwendeten Scores sowie Erhebung der Bewegungsumfänge (entsprechend des selbstständig entwickelten Nachuntersuchungsprotokolls) und Kraftgradmessungen durch mich durchgeführt. Auch diese Daten wurden durch mich in die entsprechende Datenmatrix eingepflegt. Anschließend erfolgte die statistische Analyse mittels SPSS durch mich. Hieraus entstand die Abbildung 5 sowie der Fließtext des Ergebnisteils der Publikation durch mich. Weiterhin führte ich eine eigenständige Literaturrecherche und Einordnung der Daten entsprechend der aktuellen Fachliteratur durch. Somit konnte ich auch den weiteren Fließtext (Einleitung, Diskussion, Schlussfolgerungen) mit entsprechenden Tabellen 2 und 3 sowie Abbildung 6 eigenständig erstellen. Auch wurde durch mich der Material- und Methodikteil der Publikation verfasst. Es erfolgte abschließend die Überarbeitung (exklusive Korrekturen) der Publikation entsprechend der Journal-spezifischen Vorgaben.

---

Unterschrift, Datum und Stempel des erstbetreuenden Hochschullehrers

---

Unterschrift des Doktoranden

## 4. VERWENDETE PUBLIKATIONEN

### 4.1 **A new variant of scaphoid reconstruction: Treatment of scaphoid non-union with avascular bone interponate and high compression screw (Synthes®)**

Eder C, Schwab N, Scheller A, Krapohl BD. A new variant of scaphoid reconstruction: Treatment of scaphoid non-union with avascular bone interponate and high compression screw (Synthes®). GMS Interdiscip Plast Reconstr Surg DGPW. 2015 Aug 24;4:Doc07

DOI: [10.3205/iprs000066](https://doi.org/10.3205/iprs000066)

# A new variant of scaphoid reconstruction: Treatment of scaphoid non-union with avascular bone interponate and high compression screw (Synthes®)

## Eine neue Variante der Kahnbeinrekonstruktion: Operative Behandlung der Kahnbeinpseudarthrose mit einem avaskulären Knochenspan und einer HCS-Schraube (high compression screw, Synthes®)

### Abstract

Scaphoid fractures as frequently overseen injuries often result in scaphoid non-unions, that need to be treated to prevent carpal collapse and secondary cartilage damage. Vital bone tissue and compression of fracture and bone graft ends seem to be crucial in for ossification and final bone healing. In the present study we compare our results using a high compression screw (HCS Synthes®) to results in the literature using different kinds of internal fixation including compression screws of various types. We present 22 patients with scaphoid non-unions treated with a bone graft and a HCS Synthes®. We evaluated our post-operative results. The Manchester-Modified Disability of the Shoulder, Arm and Hand-Score (M-Dash) imposed with an average of 29.8 points (MD=29 / SD=9.46 / MIN=18 / MAX=48). None of the re-evaluated patients sorrowed for pain in rest. Five patients stated pain (ranging from 4 to 8 on numeric analogue scale) after heavy burden (e.g. boxing, weight lifting). In exploring the range of motion of the operated hand we deliver the following results: dorsal extension: average 72.73° (MD=80° / SD=17.23° / MIN=30° / MAX=85°), flexion: average 73.64° (MD=80° / SD=8.97° / MIN=60° / MAX=80°), ulnar deviation: average 39.09°, (MD=40° / SD=2.02° / MIN=35° / MAX=40°), radial deviation: average 29.09°, (MD=30° / SD=3.01° / MIN=20° / MAX=30°). Additionally a performance testing was conducted: fist clenching sign: complete without pain in 100%, pinch grip: complete in 100%, moderate pain in n=1 (8.33%), opposition digitus manus I-V complete in 100%, moderate pain n=2 (16.67%). Three patients with persisting fracture gap had a scaphoid bone fractured in the proximal third; one patient even with a very small proximal fragment. One persisting non-union was localized in the middle third (period between injury and operation = 5 years). In conclusion, our patients showed better healing rates compared to results presented in the literature. Non-unions localized in the proximal third of the scaphoid did not seem to benefit using this technique.

**Keywords:** scaphoid fracture, scaphoid non-union, compression screw, bone healing

### Zusammenfassung

Kahnbeinbrüche werden häufig übersehen und führen zu Kahnbeinpseudarthrosen, die einer Therapie bedürfen, um den karpalen Kollaps und sekundären Knorpelschaden zu verhindern. Vitales Knochengewebe und Kompression der Frakturrenden bzw. der Enden von Knocheninterponaten scheinen wesentlich für die Ossifikation und knöchernen Durchbauung zu sein. In der vorliegenden Studie vergleichen wir unsere

Christian Eder<sup>1</sup>  
Nina Schwab<sup>1</sup>  
Ariane Scheller<sup>1</sup>  
Björn Dirk Krapohl<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Centre for Musculoskeletal Surgery, Charité – Medical University of Berlin, Germany

<sup>2</sup> Department of Plastic and Hand Surgery, St. Marien-Krankenhaus, Berlin, Germany



Ergebnisse in der Pseudarthrosenversorgung mittels Knochenspan und der Hochkompressionschraube der Firma Synthes® (HCS Synthes®) mit anderen Studien aus der Literatur. Wir stellen die Nachuntersuchungsergebnisse von 22 Patienten vor. Der Manchester-Modified Disability of the Shoulder, Arm and Hand-Score (M-Dash) lieferte durchschnittlich 29,8 Punkte (MD=29 / SD=9,46 / MIN=18 / MAX=48). Keiner der Patienten gab Ruheschmerzen an. Fünf Patienten beklagten Schmerzen in der Höhe von 4 bis 8 auf der numerischen Schmerzskala nach starker Belastung wie z.B. Boxen und Gewichtheben. Der Bewegungsumfang betrug an der betroffenen Hand: Extension: Mittelwert 72,73° (MD=80° / SD=17,23° / MIN=30° / MAX=85°), Flexion: Mittelwert 73,64° (MD=80° / SD=8,97° / MIN=60° / MAX=80°), Ulnarduktion: Mittelwert 39,09° (MD=40° / SD=2,02° / MIN=35° / MAX=40°), Radialduktion: Mittelwert 29,09° (MD=30° / SD=3,01° / MIN=20° / MAX=30°). Weitere Testergebnisse: Fist clenching sign: komplett ohne Schmerzen in 100%, Pinch grip: komplett in 100%, mäßige Schmerzen in n=1 (8,33%), Opposition digitus manus I-V komplett in 100%, mäßige Schmerzen n=2 (16,67%). Drei Patienten mit persistierendem Pseudarthrosenspalt hatten eine originäre Fraktur im proximalen Drittel, eine persistierende Pseudarthrose lag im mittleren Drittel bei einem Alter der initialen Pseudarthrose von 5 Jahren. Zusammenfassend zeigten unsere Patienten eine bessere knöcherne Heilungsrate als die Patienten der in der Literatur beschriebenen Studien. Lediglich bei den Pseudarthrosen im proximalen Drittel war unsere Methode nicht überlegen.

**Schlüsselwörter:** Kahnbeinfraktur, Kahnbeinspseudarthrose, Kompressionschraube, Frakturheilung

## Introduction

Scaphoid fractures are the most common fractures in the carpal region [1], [2], [3]. Although the treatment has been monitored and improved over many years, scaphoid non-unions as a consequence of insufficient bony healing are stated with 5% to 15% in literature [4], [5]. Autologous bone grafts, mostly harvested from the iliac crest, has become the gold standard for surgical treatment of scaphoid non-union/pseudarthrosis [6], [7], [8], [9]. In further development and re-evaluation of patients' outcome, a lot of different varieties and modifications have been described [1], [4], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17]. The aim of this study is to evaluate the short- and long-term outcome of a modified treatment of scaphoid non-union by using the high compression screw (HCS Synthes®) and autologous avital (iliac bone, radius) interposition in comparison to other procedures.

## Material and methods

Between 2011 and 2013, 22 patients with scaphoid non-union were diagnosed and treated in the Centre for Musculoskeletal Surgery at Charité Berlin using the below new compression screw. A persistent fracture gap six months after initial trauma was defined as scaphoid non-union according to the classification by Gupta et al. [18]. The patients were explored clinically and radiologically

(either X-ray, computertomographic image or MRI) for diagnosing and preoperative planning.

Retrospectively, patients' medical recordings have been explored. Therefore age and gender, previous medical history, trauma history, operation technique (approaches, operation time, complications), pre- and postoperative radiological images, outcome up to three month after operation and healing rates were analyzed and summarized under short-term evaluation of the explained modified treatment.

Furthermore, a long-term evaluation was performed. Patients under 18 years were excluded after guidance of the local ethics committee. Due to this constraint and patient's non response, in conclusion a total of 12 patients could be re-evaluated. This long-term evaluation consisted of obtaining a general health questionnaire (for this a simplified SF-36 was chosen) and the score according to the Manchester-Modified Disability of the Arm, Shoulder and Hand [19]. Additionally, a clinical examination was performed with regard to the specific aspects: range of motion, sensory deficiencies, pain and strength. To objectify the strength regain, an investigation by using the hand-held dynamometer (JAMAR®) [20] was conducted.

## Patients' data

The 22 patients initially operated had an average age of 30.27 years (MD=25 / SD=13.5). The group includes 18 male (81.82%) and 4 female (18.18%) patients.



Presented mechanisms of scaphoid fracturing:

- 1 case of punch-injury
- 3 cases of traffic accident
- 4 cases of sports injury
- 11 cases of fall (either by bike or in domesticity)
- 3 otherwise non-specified

One of the patients was treated conservatively in a different hospital and one patient was amended with high compression screw and a bony implant after presenting with implant failure due to a Matti-Russe-plasty operation which had been performed externally. The last one is going to be excluded in further analysis.

All of these 22 patients underwent surgery with the modified scaphoid reconstruction technique using an iliac crest bone graft combined with the high compression screw (HCS Synthes®). Concerning to the different non-union extents, 20 patients got autologous iliac crest interponates (90.9%), one got autologous distal radius interponates (4.55%) and one patient was treated without any bony interponate (4.55%).

The Synthes®-HCS is a self-drilling canulated compression screw. It is supplied as a steel and a titanium screw, the later was used for our patients. Compared to other scaphoid compression screws it leads to shorter surgery due to a simplified surgical technique. It is also applicable for minimally invasive technique. Reverse-cutting flutes facilitate screw removal and prevent potential breaking of the implant. Two different thread lengths of the shaft car for an optimal implant for any fragment size.

Immobilization (casting in short thumb cast) for 6 weeks was conducted. In case of inadequate healing (evaluation by surgeon) two more weeks of immobilization were added.

For long-term re-evaluation 2 patients had to be excluded because of being younger than 18 years. Furthermore, 7 patients were lost in follow-up and one patient has been excluded because of having undergone surgery in a different hospital before. In conclusion 12 patients were clinically examined again with a mean follow up of 26 months (MD=22 / SD=8.87 / MIN=15 / MAX=41).

In 5 patients (41.67%) the fracture affected the dominant hand (always right hand) and in 7 cases (58.33%) the non-dominant hand was fractured (6 times right, 1 time left extremity).

As a retrospective study an evaluation of existing radiographic imaging during the clinical follow up until union was obtained.

Generating radiological images in long-term evaluation was relinquished – due to no or just moderate clinical conspicuousness it was relinquished to generate new radiological images in long-term evaluation; the radiation exposure would not have been ethically and medically justifiable.

All descriptive statistics were performed using average/mean (MD), standard deviation (SD), minimum (MIN) and maximum (MAX) and percentage. SPSS v19.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois) was used to create statistics.

## Results

### Short-term evaluation

Concerning to our short-term evaluation the data of 21 patients could have been analyzed. Average surgery time was 70.3 minutes (MD=64.5 / SD=19.3 / MIN=37 / MAX=107). A post-operative immobilization-time of 6.36 weeks in average (SD=0.79) was indicated. At the end of regular therapy and in the last indicated X-ray images (or CT if plain radiograph findings were suspicious) in average 3 months after operation, 17 patients (80.95%) imposed with incipient bony healing of scaphoid non-union in average 3 months after operation. Three patients with persisting fracture gap have had the scaphoid bone fractured in the proximal third; one patient even with a very small proximal fragment. One persisting non-union was localized in the middle third (period between injury and operation = 5 years).

### Long-term evaluation

In long-term evaluation, three patients with persisting fracture gap are included. One patient suffered from polyarthritis in both hands, additionally.

The results in the shortened SF-36 general health survey (self-reporting health status for the last four weeks) showed no significant constraints. Asking for the general health status in self-estimation one patient answered “very good”, seven patients answered “good”, two answered “bad”. No further significant results could be found in analyzing the SF-36.

The Manchester-Modified Disability of the Shoulder, Arm and Hand-Score (M-Dash) imposed with an average of 29.8 points (MD=29 / SD=9.46 / MIN=18 / MAX=48).

None of the re-evaluated patients sorrowed for pain in rest. Five patients stated pain (ranging from 4 to 8 on numeric analogue scale) after heavy burden (e.g. boxing, weight lifting).

Furthermore, two patients noticed dysesthesia after heavy burden und three in the morning, but irregularly an infrequently.

In exploring the range of motion of the operated hand, the following results can be presented:

- dorsal extension: average 72.73°  
(MD=80° / SD=17.23° / MIN=30° / MAX=85°)
- flexion: average 73.64°  
(MD=80° / SD=8.97° / MIN=60° / MAX=80°)
- ulnar deviation: average 39.09°  
(MD=40° / SD=2.02° / MIN=35° / MAX=40°)
- radial deviation: average 29.09°  
(MD=30° / SD=3.01° / MIN=20° / MAX=30°)

Additionally a performance testing was conducted :

- fist clenching sign: complete without pain in 100%
- pinch grip: complete in 100%, moderate pain in n=1 (8.33%)

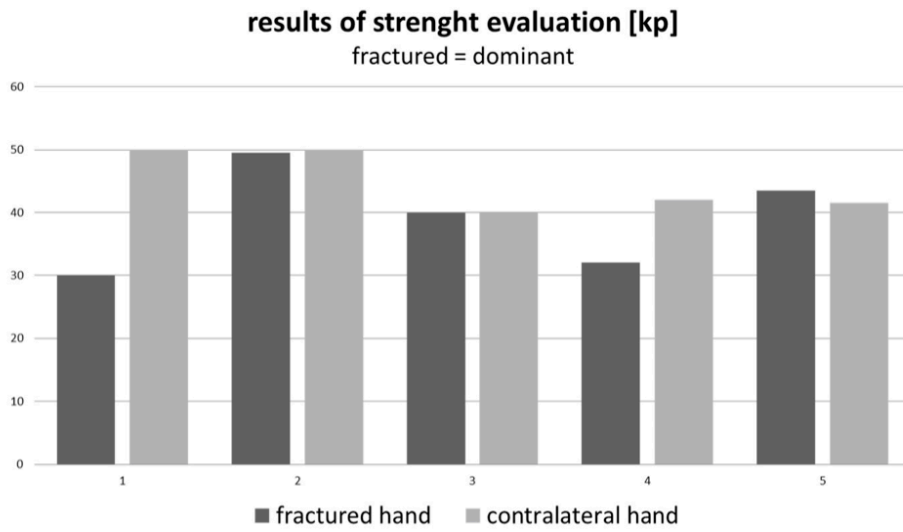


Figure 1: Difference in both hands in average 4.93 kp (MD=2 kp / SD=8.56 kp)

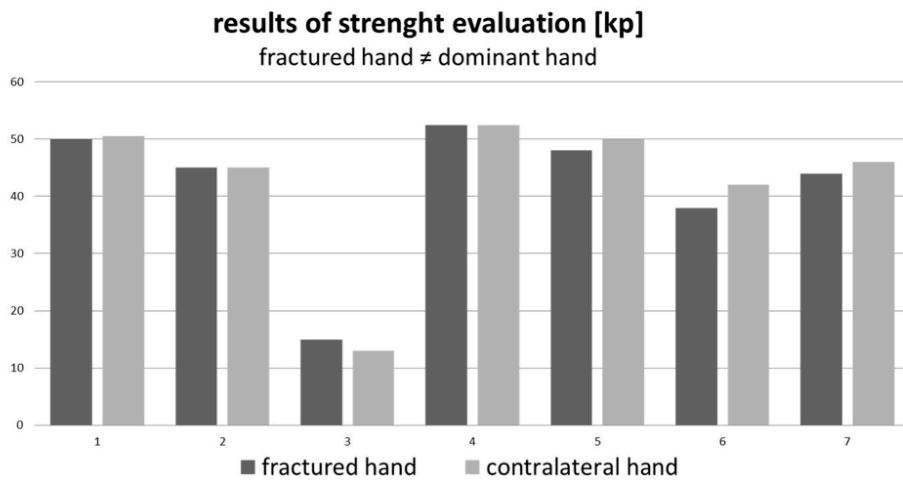


Figure 2: Difference in average 4.93 kp (MD=2 kp/ SD=9.4 kp)

- opposition digitus manus I-V: complete in 100%, moderate pain n=2 (16.67%)

Grip strength evaluation was performed by using the hand-held dynamometer. Patients were divided into two groups. Figure 1 showing patients with fractures of the dominant hand, Figure 2 patients who sustained fractures of the non-dominant hand.

Figure 3 shows an X-ray follow-up of an 18 months old scaphoid non-union successfully treated with a bone graft from the iliac crest and an HCS (Synthes®).





Figure 3: X-ray of an 18 months old scaphoid non-union of a 32 y.o. male treated with a bone graft from the iliac crest and an HCS (Synthes®), 6 week post-operative follow-up

## Discussion

Treating scaphoid non-union with bone grafts and compression screws is widely accepted [6], [7], [21], [22]. Historically, this technique was performed without using any additional osteosynthesis material [6], [7].

Several modifications of the original Matti-Russe-plasty have been developed and described in the literature [1], [4], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [23], [24], [25], [26], [27].

Based on a review of the literature we compared our results using the high compression screw (Synthes®) combined with avital autologous bone interponate with the most commonly used techniques:

- autologous cancellous bone interponate (distal radius) and Kirschner wire osteosynthesis
- Herbert screw osteosynthesis with or without avital bone interposition
- vascular pedicled bone graft and Herbert screw or Kirschner wire osteosynthesis

Park et al. described their technique using avital distal radius interponate with additional osteosynthesis by Kirschner wires. It resulted a general healing rate of 88.2% to 83.9%. The functional outcome was stated with 55° to 58.5° in dorsal extension and 58.2 to 59.5° in flexion of the wrist [4].

Using the Herbert screw osteosynthesis with or without avital bone interposition, Radford et al. stated a healing rate of scaphoid non-union (here defined as insufficient bone healing 6 month after injury, according to the Herbert and Fisher classification [28]) of 79% [29]. Furthermore, Maruthainar et al. described a scaphoid union after using Herbert screw and bone graft of 60% [30]. In both studies, the range of motion has not been published in detail. Merrell et al. and Munk et al. presented a general healing rate of 74% to 84% with the classical modified Matti-Russe-plasty (iliac bone and Herbert screw) [31], [32].

Werdin et al. examined their surgical technique of treating the proximal pole scaphoid non-union with vascularized bone graft and Herbert screw or Kirschner wire osteosynthesis respectively. A general union rate of 68.5% has been reported. Subdivided achievement ratios of 66.7% by performing osteosynthesis with Herbert screw and 69.4% with K-wire were presented [33]. In further clinical trials, healing rates after treatment with different vascularized bone grafts range from 27% to 100% [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36]. In the literature there has been a discussion regarding the preferred localization for the bone graft [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39].

It has to be mentioned that results and analysis of the screw versus K-wire osteosynthesis in treating scaphoid non-union has been discussed with conflicting results in



the recent literature. On the one hand Jones et al. described no significant difference in these both procedures, on the other hand Merrell et al. stated that Herbert screw fixation is superior comparing to Kirschner wire fixation [31], [40].

In comparison to Park's et al. results in post-operative range of motion out-comes (using K-wire fixation), the HCS (Synthes®) variant seems to be more successful in achieving functional recovery. Our results showing a union rate of 85.7% and good functional outcome suggest that using a HCS screw (Synthes®) instead of the common Herbert screw is a successful alternative method treating scaphoid non-union. However, it has to be noted that the high compression screw osteosynthesis failed in three patients having a scaphoid non-union in the proximal third. This fracture localization is known as a further risk factor for non satisfying treatment [33]. Taleisnik et al. described the anatomically critical blood supply of the proximal pole of scaphoid bone by the distal radial and lateral volar artery groups [41]. Therefore a high risk of avascular necrosis and a non-union rate up to 30% has been described in literature [4], [33]. The results of our study show that the modified variation of scaphoid reconstruction with HCS (Synthes®) is not able to guarantee higher chances for reaching bony union in proximal scaphoid non-unions.

It has to be pointed out that both the surgical technique and the duration of post-operative immobilization affect functional recovery. The here presented procedure has been performed by the same surgeon using a palmar approach. The post-operative treatment was a combined immobilization with a short thumb cast (6.36 weeks in average) and subsequent physiotherapy. The long-term evaluation showed a range of motion of 72.73° - 0 - 73.64° (dorsal extension - palmar flexion) and an ulnar deviation of 39.09° to radial deviation of 29.09° (all average).

In comparison to Hirsch's et al. postoperative treatment with an average immobilization time of 12 weeks the results of this study showed an additional range of motion of 45.37° regarding extension and flexion (improvement of 31%) [42]. Furthermore, Park et al. performed a period of post-operation immobilization of 7.5 to 8 weeks and reached a healing rate of 88.2% to 83.9% and functional outcome with 55° to 58.5° in dorsal extension and 58.2 to 59.5° in flexion [4].

We assume, that shorter immobilization may lead to better functional recovery although other factors may determine functional outcome as well. Further studies have to be performed to verify this hypothesis.

The literature presented several risk factors regarding bony healing treating scaphoid non-union; the most common ones are [4], [12], [43]:

- patient's age
- time until treatment
- former operations
- blood supply in proximal pole
- smoking

In our study we could show that a persistent non-union of 20 years could be treated successfully, suggesting that time might not be the limiting factor regarding bony union. We have to admit that this study has some limitations: 7 patients were lost in follow-up (31.82%), a restricted power of analysis due to small and not representative patient population has to be noted and in our presented study the high compression screw (Synthes®) was used exceptionless, therefore all comparisons could just have been performed by reviewing actual literature.

## Conclusion

The here presented alternative of the original modified Matti-Russe-plasty showed better healing rates compared to results presented in the literature. Non-unions localized in the proximal third of the scaphoid did not seem to benefit using this technique.

## Notes

### Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

## References

1. Zoubos AB, Triantafyllopoulos IK, Babis GC, Soucacos PN. A modified matti-russe technique for the treatment of scaphoid waist non-union and pseudarthrosis. *Med Sci Monit.* 2011;17(2):MT7-12.
2. Wolf JM, Dawson L, Mountcastle SB, Owens BD. The incidence of scaphoid fracture in a military population. *Injury.* 2009 Dec;40(12):1316-9. DOI: 10.1016/j.injury.2009.03.045
3. Brøndum V, Larsen CF, Skov O. Fracture of the carpal scaphoid: frequency and distribution in a well-defined population. *Eur J Radiol.* 1992 Sep;15(2):118-22. DOI: 10.1016/0720-048X(92)90135-V
4. Park HY, Yoon JO, Jeon IH, Chung HW, Kim JS. A comparison of the rates of union after cancellous iliac crest bone graft and Kirschner-wire fixation in the treatment of stable and unstable scaphoid nonunion. *Bone Joint J.* 2013 Jun;95-B(6):809-14. DOI: 10.1302/0301-620X.95B6.31259
5. Buijze GA, Ochtman L, Ring D. Management of scaphoid nonunion. *J Hand Surg Am.* 2012 May;37(5):1095-100. DOI: 10.1016/j.jhssa.2012.03.002
6. Matti H. Über die Behandlung der Navicularefraktur und der Refractura patellae durch Plombierung mit Spongiosa. *Zentralbl Chir.* 1937;64:2353-9.
7. RUSSE O. Fracture of the carpal navicular. Diagnosis, non-operative treatment, and operative treatment. *J Bone Joint Surg Am.* 1960 Jul;42-A:759-68.
8. Kołodziej RK, Blacha J, Bogacz A, Mazurkiewicz T. Long-term outcome of scaphoid nonunion treated by the Matti-Russe operation. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2006 Oct 31;8(5):507-12.



9. Dacho A, Germann G, Sauerbier M. Die Rekonstruktion von Skaphoidpseudarthrosen durch die Operation nach Matti-Russe. Eine retrospektive Analyse von 84 nachuntersuchten Patienten [The reconstruction of scaphoid pseudoarthroses with the operation of Matti-Russe. A retrospective follow-up analysis of 84 patients]. *Unfallchirurg*. 2004 May;107(5):388-96. DOI: 10.1007/s00113-004-0748-4
10. Mahmoud M, Koptan W. Percutaneous screw fixation without bone grafting for established scaphoid nonunion with substantial bone loss. *J Bone Joint Surg Br*. 2011 Jul;93(7):932-6. DOI: 10.1302/0301-620X.93B7.25418
11. Lim TK, Kim HK, Koh KH, Lee HI, Woo SJ, Park MJ. Treatment of avascular proximal pole scaphoid nonunions with vascularized distal radius bone grafting. *J Hand Surg Am*. 2013 Oct;38(10):1906-12.e1. DOI: 10.1016/j.jhsa.2013.07.025
12. Jaminet P, Werdin F, Pfau M, Götz M, Manoli T, Rahmiani-Schwarz A, Schaller HE. Behandlungsalgorithmus der Kahnbeinpseudarthrose : Eine retrospektive radiologische Fall-Kontroll-Studie von 208 Patienten [Treatment algorithm for scaphoid nonunion : retrospective case-control study of 208 patients]. *Unfallchirurg*. 2012 Nov;115(11):994-9. DOI: 10.1007/s00113-011-1956-3
13. Saint-Cyr M, Oni G, Wong C, Sen MK, LaJoie AS, Gupta A. Dorsal percutaneous cannulated screw fixation for delayed union and nonunion of the scaphoid. *Plast Reconstr Surg*. 2011 Aug;128(2):467-73. DOI: 10.1097/PRS.0b013e31821e703b
14. Sawaizumi T, Nanno M, Ito H. Vascularized second metacarpal-base bone graft in scaphoid non-union by the palmar approach. *J Reconstr Microsurg*. 2003 Feb;19(2):99-106. DOI: 10.1055/s-2003-37814
15. Sauerbier M, Bishop AT, Ofer N. Gestielte vaskularisierte Knochentransplantate von der Streckseite des peripheren Speichenendes zur Skaphoidrekonstruktion [Pedicled vascularized bone grafts from the dorsum of the distal radius for treatment of scaphoid nonunions]. *Oper Orthop Traumatol*. 2009 Nov;21(4-5):373-85. DOI: 10.1007/s00064-009-1908-z
16. Schaller E, Lassner F, Pallua N, Schneider W, Berger A. Ein Vergleich unterschiedlicher Behandlungsmethoden von Pseudarthrosen und Rezidivpseudarthrosen des Skaphoids [A comparison of different treatment methods of pseudarthroses and recurrent pseudarthroses of the scaphoid]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*. 1993 Jul;25(4):204-10.
17. Schmidt G. Moderne Methoden in der Hand- und plastischen Chirurgie. Neuere Behandlungsverfahren bei Skaphoidfrakturen und -pseudarthrosen. *Trauma Berufskrankh*. 2004;6 Suppl 1:110-8. DOI: 10.1007/s10039-004-0865-x
18. Gupta A, Risitano G, Crawford RJ, Burke FD. The Ununited Scaphoid: Prognostic Factors in Delayed and Nonunions of the Scaphoid. *Hand Surg*. 1999 Jul;4(1):11-9. DOI: 10.1142/S0218810499000101
19. Khan WS, Dillon B, Agarwal M, Fehily M, Ravenscroft M. The validity, reliability, responsiveness, and bias of the Manchester-Modified Disability of the Arm, Shoulder, and Hand score in hand injuries. *Hand*. 2009 Dec;4(4):362-7. DOI: 10.1007/s11552-009-9191-x
20. Bohannon RW. Reference values for extremity muscle strength obtained by hand-held dynamometry from adults aged 20 to 79 years. *Arch Phys Med Rehabil*. 1997 Jan;78(1):26-32. DOI: 10.1016/S0003-9993(97)90005-8
21. Hooning van Duyvenbode JF, Keijser LC, Hauet EJ, Obermann WR, Rozing PM. Pseudarthrosis of the scaphoid treated by the Matti-Russe operation. A long-term review of 77 cases. *J Bone Joint Surg Br*. 1991 Jul;73(4):603-6.
22. Stark A, Broström LA, Svartengren G. Scaphoid nonunion treated with the Matti-Russe technique. Long-term results. *Clin Orthop Relat Res*. 1987 Jan;(214):175-80.
23. Yuceturk A, Isiklar ZU, Tuncay C, Tandogan R. Treatment of scaphoid nonunions with a vascularized bone graft based on the first dorsal metacarpal artery. *J Hand Surg Br*. 1997 Jun;22(3):425-7. DOI: 10.1016/S0266-7681(97)80420-2
24. Garcia RM, Leversedge FJ, Aldridge JM, Richard MJ, Ruch DS. Scaphoid nonunions treated with 2 headless compression screws and bone grafting. *J Hand Surg Am*. 2014 Jul;39(7):1301-7. DOI: 10.1016/j.jhsa.2014.02.030
25. Herbert TJ, Filan SL. Proximal scaphoid nonunion-osteosynthesis. *Handchir Mikrochir Plast Chir*. 1999 May;31(3):169-73. DOI: 10.1055/s-1999-13516
26. Korompilias AV, Lykissas MG, Kostas-Agnantios IP, Gkiatas I, Beris AE. An alternative graft fixation technique for scaphoid nonunions treated with vascular bone grafting. *J Hand Surg Am*. 2014 Jul;39(7):1308-12. DOI: 10.1016/j.jhsa.2014.04.021
27. Wilhelm K, Wilhelm A. Die Skaphoidpseudarthrose im proximalen Drittel – Ergebnisse der Behandlung mit der Herbert-Schraube [Scaphoid pseudoarthrosis of the proximal third – results of treatment with the Herbert screw]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*. 1999 May;31(3):178-81. DOI: 10.1055/s-1999-13518
28. Herbert TJ, Fisher WE. Management of the fractured scaphoid using a new bone screw. *J Bone Joint Surg Br*. 1984 Jan;66(1):114-23.
29. Radford PJ, Matthewson MH, Meggitt BF. The Herbert screw for delayed and non-union of scaphoid fractures: a review of fifty cases. *J Hand Surg Br*. 1990 Nov;15(4):455-9. DOI: 10.1016/0266-7681(90)90089-M
30. Maruthainar N, Rasquinha VJ, Gallagher P. The treatment of scaphoid nonunion. A review of a novel technique using precision bone grafting compared with Herbert screw fixation and bone graft. *J Hand Surg Br*. 2000 Oct;25(5):427-30.
31. Merrell GA, Wolfe SW, Slade JF 3rd. Treatment of scaphoid nonunions: quantitative meta-analysis of the literature. *J Hand Surg Am*. 2002 Jul;27(4):685-91. DOI: 10.1053/jhsu.2002.34372
32. Munk B, Larsen CF. Bone grafting the scaphoid nonunion: a systematic review of 147 publications including 5,246 cases of scaphoid nonunion. *Acta Orthop Scand*. 2004 Oct;75(5):618-29. DOI: 10.1080/00016470410001529
33. Werdin F, Jaminet P, Naegle B, Pfau M, Schaller HE. Reconstruction of scaphoid nonunion fractures of the proximal one third with a vascularized bone graft from the distal radius. *Eplasty*. 2014 Jun 27;14:193-201.
34. Zaidenberg C, Siebert JW, Angrigiani C. A new vascularized bone graft for scaphoid non-union. *J Hand Surg Am*. 1991;16(3):474-8. DOI: 10.1016/0363-5023(91)90017-6
35. Straw RG, Davis TR, Dias JJ. Scaphoid nonunion: treatment with a pedicled vascularized bone graft based on the 1,2 intercompartmental supraretinacular branch of the radial artery. *J Hand Surg Br*. 2002 Oct;27(5):413-16. DOI: 10.1054/jhsb.2002.0808
36. Malizos KN, Zachos V, Dailiana ZH, Zalavras C, Varitimidis S, Hantes M, Karantanas A. Scaphoid nonunions: management with vascularized bone grafts from the distal radius: a clinical and functional outcome study. *Plast Reconstr Surg*. 2007 Apr;119(5):1513-25. DOI: 10.1097/01.prs.0000256144.52654.da
37. Jarrett P, Kinzel V, Stoffel K. A biomechanical comparison of scaphoid fixation with bone grafting using iliac bone or distal radius bone. *J Hand Surg Am*. 2007 Nov;32(9):1367-73. DOI: 10.1016/j.jhsa.2007.06.009
38. Tambe AD, Cutler L, Murali SR, Trail IA, Stanley JK. In scaphoid non-union, does the source of graft affect outcome? Iliac crest versus distal end of radius bone graft. *J Hand Surg Br*. 2006 Feb;31(1):47-51. DOI: 10.1016/j.jhsb.2005.07.008



39. Chang MA, Bishop AT, Moran SL, Shin AY. The outcomes and complications of 1,2-intercompartmental suprapretinacular artery pedicled vascularized bone grafting of scaphoid nonunions. *J Hand Surg Am.* 2006 Mar;31(3):387-96. DOI: 10.1016/j.jhssa.2005.10.019
40. Jones DB Jr, Bürger H, Bishop AT, Shin AY. Treatment of scaphoid waist nonunions with an avascular proximal pole and carpal collapse. A comparison of two vascularized bone grafts. *J Bone Joint Surg Am.* 2008 Dec;90(12):2616-25. DOI: 10.2106/JBJS.G.01503
41. Taleisnik J, Kelly PJ. The extraosseous and intraosseous blood supply of the scaphoid bone. *J Bone Joint Surg Am.* 1966 Sep;48(6):1125-37.
42. Hirche C, Heffinger C, Xiong L, Lehnhardt M, Kneser U, Bickert B, Gazyakan E. The 1,2-intercompartmental suprapretinacular artery vascularized bone graft for scaphoid nonunion: management and clinical outcome. *J Hand Surg Am.* 2014 Mar;39(3):423-9. DOI: 10.1016/j.jhssa.2013.10.028
43. Ramamurthy C, Cutler L, Nuttall D, Simison AJ, Trail IA, Stanley JK. The factors affecting outcome after non-vascular bone grafting and internal fixation for nonunion of the scaphoid. *J Bone Joint Surg Br.* 2007 May;89(5):627-32. DOI: 10.1302/0301-620X.89B5.18183

**Corresponding author:**

Prof. Dr. med. Björn Dirk Krapohl  
Department of Plastic and Hand Surgery, St.  
Marien-Krankenhaus, Gallwitzallee 123, 12249 Berlin,  
Germany  
bjoern-dirk.krapohl@charite.de

**Please cite as**

Eder C, Schwab N, Scheller A, Krapohl BD. A new variant of scaphoid reconstruction: Treatment of scaphoid non-union with avascular bone interponate and high compression screw (Synthes®). *GMS Interdiscip Plast Reconstr Surg DGPW.* 2015;4:Doc07.  
DOI: 10.3205/iprs000066, URN: urn:nbn:de:0183-iprs0000669

**This article is freely available from**

<http://www.egms.de/en/journals/iprs/2015-4/iprs000066.shtml>

**Published:** 2015-07-30

**Copyright**

©2015 Eder et al. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 License. See license information at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

**4.2 Four-Corner-Arthrodesis of the wrist using Variable Angle Locking-Compression Intercarpal fusion plate (VA-LCP ICF plate; Synthes®): pre- and postoperative radiological analysis and clinical outcome in long-term evaluation**

Eder C, Scheller A, Schwab N. Four-Corner-Arthrodesis of the wrist using Variable Angle Locking-Compression Intercarpal fusion plate (VA-LCP ICF plate; Synthes®): pre- and postoperative radiological analysis and clinical outcome in long-term evaluation. GMS Interdiscip Plast Reconstr Surg DGPW. 2019 Nov 15; 8:Doc15

DOI: [10.3205/iprs000141](https://doi.org/10.3205/iprs000141)

# Four-corner arthrodesis of the wrist using Variable Angle Locking Compression Intercarpal Fusion Plate (VA LCP ICF Plate; Synthes®): pre- and postoperative radiological analysis and clinical outcome in long-term evaluation

## Mediokarpale Teilarthrodese des Handgelenkes mit der Variable Angle Locking Compression Intercarpal Fusion Plate (VA LCP ICF Plate, Firma Synthes®): Prä- und postoperative radiologische Analyse und klinische Langzeitergebnisse

### Abstract

Long persisting scaphoid non-unions or scapholunate ligament ruptures can lead to carpal collapse.

The resulting clinical symptoms are restrictions in the range of motion, pain, and loss of grip strength. The symptomatic treatment so far offers different options. In our study, the Variable Angle Locking Compression Intercarpal Fusion Plate (VA LCP ICF Plate) by Synthes® was used in 11 cases of advanced carpal collapse for a four-corner fusion of the wrist. The intra- and postoperative as well as follow-up results have been assessed and compared with those of current literature.

The results of the Manchester-Modified Disability of the Shoulder, Arm and Hand Score (M<sup>2</sup>-Dash) showed an average of 41.5 points (MD=44/SD=16.62/MIN=21/MAX=65).

One of the re-evaluated patients complained about pain at rest. One patient stated pain after mild strain; 4 patients complained pain after heavy burden (e.g. boxing, weight lifting).

Measuring the range of motion, the operated hand showed a maximum in dorsal extension of 78.31% and in flexion of 57.89% compared to the contralateral, non-operated hand. In performance testing the fist clenching sign as well as pinch grip were complete and void of pain in 100%, whereas opposition (dig. man. I to V) was complete in five patients (83.33%), with moderate pain in one patient (16.67%) and a persisting gap of 0.2 cm in n=1 (16.67%). In comparison with the current literature regarding healing rates, complications, and follow-up results, we recommend the Synthes® VA LCP ICF Plate as a good surgical option in patients suffering from advanced carpal collapse.

**Keywords:** wrist fusion, SNAC wrist, SLAC wrist, intercarpal arthrodesis

### Zusammenfassung

Lang bestehende Skaphoidpseudarthrosen oder skapholunäre Bandrupturen können zu einem karpalen Kollaps führen. Symptome dessen sind unter anderem Bewegungseinschränkung, belastungsabhängige Schmerzen und Kraftreduktion. In der aktuellen Literatur sind diverse unterschiedliche Prozeduren und therapeutische Optionen für dieses Krankheitsbild beschrieben. In der vorliegenden Studie werden das intraoperative Handling und die postoperativen klinischen und radiologischen Ergebnisse der Variable Angle Locking Compression Intercarpal Fusion Plate (VA LCP ICF Plate, Firma Synthes®) für die mediokarpale Teilarthrodese (four-corner fusion) mit den Ergebnissen anderer Verfah-

**Christian Eder<sup>1</sup>**  
**Ariane Scheller<sup>1</sup>**  
**Nina Schwab<sup>2</sup>**  
**Björn Dirk Krapohl<sup>3</sup>**

1 Centre for Musculoskeletal Surgery, Charité – Medical University, Campus Virchow Clinic, Berlin, Germany

2 Healthcare Center Meviva, Berlin, Germany

3 Carl-Thiem-Klinikum, Cottbus, Germany





ren und Implantate der aktuellen Literatur verglichen. Das Implantat wurde bei 11 Patienten verwendet; die Nachuntersuchung ergab folgende Ergebnisse: Manchester-Modified Disability of the Shoulder, Arm and Hand-Score (M<sup>2</sup>-DASH) mit einem Durchschnittswert von 41,5 Punkten (MD=44/SD=16,62/MIN=21/MAX=65). Ein Patient klagte über Ruheschmerz, ein weiterer Patient über Schmerz nach leichter Beanspruchung der Hand, wohingegen vier Patienten Schmerzen nach stärkerer Belastung (beispielsweise Boxen, Gewichtheben) beklagten. Die Bewegungsprüfung zeigte folgende Resultate: Dorsalextension mit einem Durchschnittswert von 78,31% und Palmarflexion mit einem Durchschnittswert von 57,89% (jeweils der operierten Hand im Vergleich mit der nicht verletzten Hand). Der Faustschluss war bei allen Patienten unbeeinträchtigt, die Kleinfinger-Daumen-Oppositionsprobe ließ sich bei 83,33% der Patienten unbeeinträchtigt feststellen. Ein Patient beklagte bei Letzterem das Auftreten von Schmerzen, bei einem weiteren zeigte sich eine persistente Distanz von 0,2 cm (je 16,67%). Im Vergleich mit der aktuellen Fachliteratur bezüglich Heilungsraten, Komplikationen und Nachuntersuchungsergebnissen kann die VA LCP ICF Platte als gute Option der mediokarpalen Teilarthrodese empfohlen werden.

**Schlüsselwörter:** karpaler Kollaps, Implantate, Langzeitergebnisse

## Introduction

Persisting scaphoid non-unions and scapholunate ligament ruptures are the main causes for developing an insufficiency in carpal joint structure (carpal collapse, named as scaphoid nonunion advanced collapse = SNAC wrist or scapholunate dissociation advanced collapse = SLAC wrist respectively) [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16]. Watson and Ryu classified the severity of degenerative changes into three stages as shown in Table 1 [17].

**Table 1: Stages of advanced carpal collapse according to x-ray related visible arthrosis according to Watson and Ryu [17]**

Stage of carpal collapse	Localisation of arthrosis
I	radial styloid only
II	radioscaphoidal additionally
III	mediocarpal additionally

The specific therapeutic surgical options rely on this classification, displaying the here shown possibilities:

- stage I: scaphoid reconstruction and osteosynthesis (for SNAC) or scapholunate ligament refixation (for SLAC), both combined with resection of the radial styloid (styloidectomy)
- stage II: proximal row carpectomy (PCR) or midcarpal arthrodesis (e.g. three- or four-corner fusion)
- stage III: midcarpal arthrodesis including excision of scaphoid bone (with or without bone graft)

Simplified grouping of operative approaches in stage II and stage III carpal collapse leading to specific study topic (Figure 1).

The four-corner fusion, primarily described by Watson and Ryu, is one of the most popular and common procedures for treating stage II or stage III carpal collapse [17].

However, there is disagreement concerning the best osteosynthesis material for this surgery [3], [16], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26]. While traditionally Kirschner wires, staples or compression screws have been used, in 1999 circular plates were introduced, promising better results [27]. Nowadays, many different plate designs are available on the market, but long-term results are currently scarce.

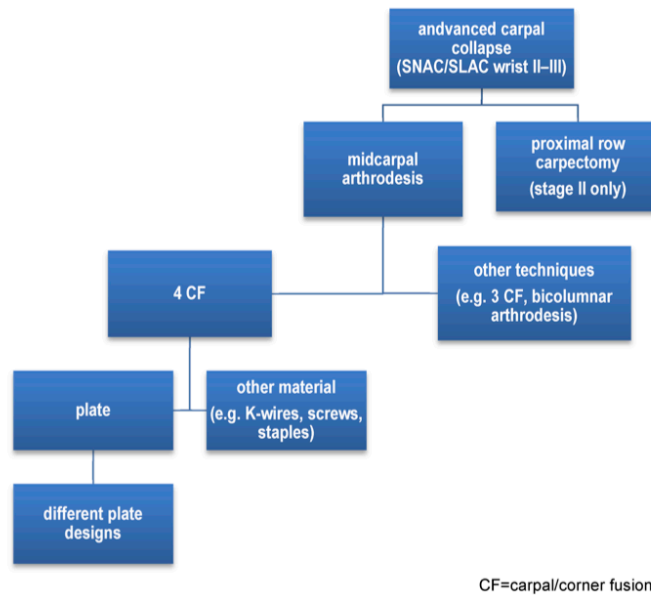
Therefore, the purpose of this study is to evaluate the long-term clinical outcome after four-corner arthrodesis of the wrist using the Variable Angle Locking Compression Intercarpal Fusion Plate by Synthes®.

## Material and methods

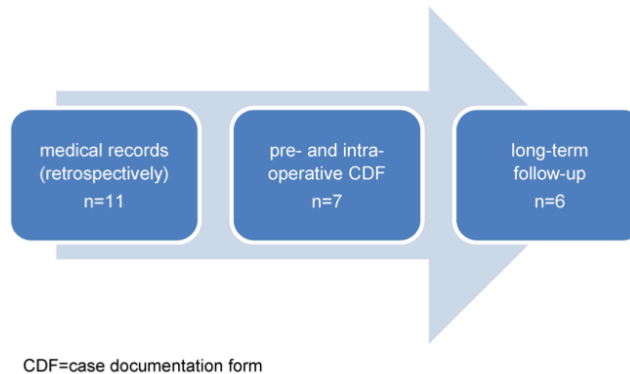
Between 2011 and 2013, 11 patients underwent surgical treatment including implantation of a Variable Angle Locking Compression Intercarpal Fusion Plate (Synthes®) in the Centre for Musculoskeletal Surgery of the Charité, Medical University of Berlin. All patients were explored clinically and radiologically (either X-ray or additionally computed tomographic or magnetic resonance imaging if medically advised) for diagnosis and preoperative planning.

To present convincing data, the patients included in the study were interviewed and examined during different steps of the diagnostic and therapeutic process as shown in Figure 2.

Retrospectively, patients' medical records have been reviewed. Therefore, age and gender, previous medical history, trauma history, operation technique (approaches, operation time, complications), pre- and postoperative radiological images, outcome up to three months after the surgery, and fit of the implant were analyzed and summarized under short-term evaluation of the explained modified treatment.



**Figure 1: Short algorithm for treatment options of advanced carpal collapse (stages two and three)**  
 [1], [3], [4], [9], [10], [11], [13], [14], [15], [16], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [31], [32], [33], [34], [35], [42], [43], [45], [46], [47], [50]



**Figure 2: Data collection during patients' clinical process**

Additionally, 7 patients agreed in ascertaining data in form of a pre- and intraoperative case documentation (case documentation form 1, CDF 1). This CDF 1 was presented by Synthes® and was used in the regular treatment of the individual in-patient's stay to get a detailed view on specific interests (such as carpal height pre- and postoperatively). In this study, the data have been assessed and compared retrospectively. Final and core part of this study is long-term evaluation. Patients under 18 years and those who were unable to give informed consent were excluded according to guidance of the local ethics committee. Due to this constraint

and patient's non-response, in conclusion, a total number of 6 patients were re-evaluated. This long-term evaluation consisted of obtaining a general health questionnaire (therefore a shortened SF-36 was chosen) [28] and the Manchester-Modified Disability of the Arm, Shoulder and Hand-Score [29]. Based on a standardized protocol including range of motion, sensory deficiencies, pain, and strength, all patients underwent a clinical examination by a single surgeon. Grip strength was evaluated by using the hand-held dynamometer (JAMAR®) [30]. Generating radiological images in long-term evaluation was relinquished – due to no or just moderate clinical

conspicuousness; the radiation exposure would not have been ethically and medically justifiable.

All descriptive statistics for our approximately normally distributed data were performed using average/mean (MD), standard deviation (SD), minimum (MIN) and maximum (MAX) and percentage. SPSS v24.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois) has been used to create statistics.

Based on the Medline database a literature research provided the data for comparing the findings of this study with those of other working groups.

The study protocol was approved by the local ethic boards. Written consent was obtained from all patients.

## Results

### Patients' data

Eleven patients underwent implantation of Synthes' Variable Angle Locking-Compression Intercarpal Fusion Plate (VA LCP ICF Plate). 6 of them (54.55%) were male, whereas 5 patients were female gender (45.45%). The average age was 53.27 years (MD=45/SD=16.38) with a maximum of 74 and a minimum of 25 years.

Indications for implantation of VA LCP ICF Plate (total number: n=11) were:

- scapholunate advanced collapse (SLAC) n=4
  - stage II (1 case)
  - stage III (3 cases)
- scaphoid nonunion advanced collapse (SNAC) n=5
  - stage II (3 cases)
  - stage III (2 cases)
- de Quervain fracture with instability, initial treatment in a different hospital (1 case)
- carpal instability non-dissociative (CIND) caused by avascular necrosis of the lunate (Kienböck's disease) stage IIIa (1 case)

All of these 11 patients underwent standard operation procedure for a four-corner arthrodesis, always performed by the leader of the clinic's department for hand surgery. 6 of these patients (54.55%) got a six hole VA LCP ICF Plate; due to a better fit, assessed during the operation, 5 patients were treated with a seven hole variant of the Synthes® plate. Additionally, 10 patients got their scaphoid bone excised. In these cases, cancellous bone of the scaphoid was extracted and reimplanted. Therefore, no further spongiosa plasty from the iliac crest was necessary.

The scaphoid bone remained in situ in one case (carpal instability after avascular necrosis of the lunate) and hence an autologous bone graft transfer from the iliac crest was performed to achieve a satisfactory implant fit and to improve further healing rates.

Following our experiences and recommendation of current literature, immobilization (forearm cast with thumb spica) for 4 to 6 weeks was implemented in postoperative care [20].

For long-term re-evaluation two patients were lost in follow-up and three patients did not want to participate. In conclusion, six patients were clinically re-examined with a mean follow-up of 37.67 months (MD=35.5/SD=7.69/MIN=30/MAX=49). The group of patients, who underwent long-term clinical examination showed the following characteristics:

- 50% male and 50% female patients
- average age of 57.83 years
- comorbidities: 1 patient suffering from nerve lesion of the upper extremity after trauma, 1 patient with total shoulder-replacement and depressive disorder

### Short-term evaluation

Concerning the short-term evaluation, data of 11 patients were analyzed. Post-operative immobilization time of 4 to 6 weeks was conducted. The decision was based on intraoperative stability of the arthrodesis and patient's compliance in participating in postoperative treatment. After about three months after finishing physiotherapy all patients presented with incipient bone healing and good siting of the implant based on the last x-ray images (or CT if plain radiograph findings were suspicious). Except of one case where there was a broken screw, there were no further complications. The screw breakage may be related to the patient's in compliance in postoperative treatment (no immobilization was tolerated since he did weight lifting shortly after surgery).

### CDF 1

Seven patients agreed in taking further pre- and intraoperative data in this standardized form ("Pre- and intraoperative Case Documentation Form" by Synthes®).

The main goal of this form was to generate more detailed information about the specific radiographic characteristics for each patient individually:

- dorsiflexion deformity of the lunate
- carpal height (Youm)
- ulnar wrist translation (Chamay)

Furthermore, it was designed to explore the surgeons experience regarding the implant during the procedure. We evaluated the subitems concerning the special Synthes® reaming guide for the VA LCP ICF Plate "fit", "handling" and "holding strength" with good. Furthermore, the "ease of reaming", "reaming depth", "plate placement" and "assessment of quality of reduction" were considered good on a scale reaching from excellent to poor (excellent – good – satisfactory – poor). The "assessment of final stability" resulted in four excellent intraoperative findings and three good ones. Just the "ease of drilling VA-locking screws through reaming guide" was judged in 3 cases with satisfactory only. Caution is advised to prevent screw breakages intraoperatively.



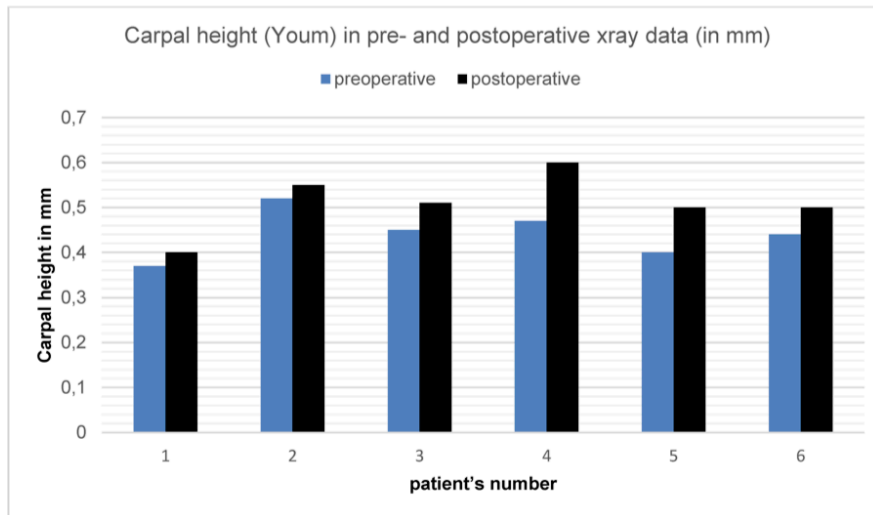


Figure 3: Carpal height (Youm) measured in pre- and postoperative x-ray data of six long-term follow-up patients

### Preoperative x-ray evaluation

One patient brought pre-operative x-ray images from an external hospital; due to technical incompatibility the preoperative radiographic analysis could not have been done properly; therefore, we included just 6 patients.

The dorsiflexion of the wrist in x-ray analysis intraoperatively imposed with an average of  $42.83^\circ$  (MD=46/SD=15.37/MIN=20/MAX=60).

Measuring the Carpal height (Youm) shows an average of 0.44 cm (MD=0.45/SD=0.05/MIN=0.37/MAX=0.52) (Figure 3).

The average of the ulnar translation of the wrist [position of the lunate] (Chamay) is 0.30 cm (MD=0.31/SD=0.04/MIN=0.23/MAX=0.34).

### Postoperative x-ray evaluation

The comparison of pre- and postoperative carpal height (Youm) is shown in Figure 3.

### Long-term evaluation

Six patients were included. In four patients (66.67%) the carpal collapse affected the dominant hand (right hand always) and in 2 cases (33.33%) the non-dominant hand (left hand always).

The results in the shortened SF-36 general health survey (self-reporting health status for the last four weeks) showed no significant restrictions. Asking for the general health status (independent from age and further comorbidities) in self-estimation two patients answered "good", four said "satisfying". No further significant results could be found in analyzing the SF-36.

The outcome of the Manchester-Modified Disability of the Shoulder, Arm and Hand-Score (M<sup>2</sup>-Dash) is an average of 41.5 points (MD=44/SD=16.62/MIN=21/MAX=65).

One of the re-evaluated patients complained about pain at rest. One patient stated pain after mild strain; 4 patients mentioned pain after heavy burden (e.g. boxing, weight lifting).

Furthermore, three patients noticed dysaesthesia especially in digiti manus IV and V dorsal. In one case, dysaesthesia was already known before surgery.

In exploring the range of motion of the operated hand, the following results can be presented:

- dorsal extension: average  $54.17^\circ$  (MD= $52.5^\circ$ /SD= $19.08^\circ$ /MIN= $30^\circ$ /MAX= $80^\circ$ )
- flexion: average  $45.83^\circ$  (MD= $47.5^\circ$ /SD= $23.54^\circ$ /MIN= $5^\circ$ /MAX= $75^\circ$ )
- ulnar abduction: average  $26.67^\circ$  (MD= $30^\circ$ /SD= $14.02^\circ$ /MIN= $10^\circ$ /MAX= $40^\circ$ )
- radial abduction: average  $24.17^\circ$  (MD= $27.5^\circ$ /SD= $8.01^\circ$ /MIN= $10^\circ$ /MAX= $30^\circ$ )

The differences in mobility of the wrist between the operated and the other hand are shown here (percentage ROM of operated hand compared to non-operated hand):

- dorsal extension: 78.31% of non-operated hand
- flexion: 57.89% of non-operated hand

Additionally, a performance test was conducted:

- fist clenching: complete without pain in 100%
- pinch grip: complete without pain in 100%
- thumb opposition: complete in n=5 (83.33%), moderate pain n=1 (16.67%), persisting gap of 0.2 cm in n=1 (16.67%)

Grip strength evaluation was performed by using the hand-held dynamometer (Jamar<sup>®</sup>). Figure 4 shows the

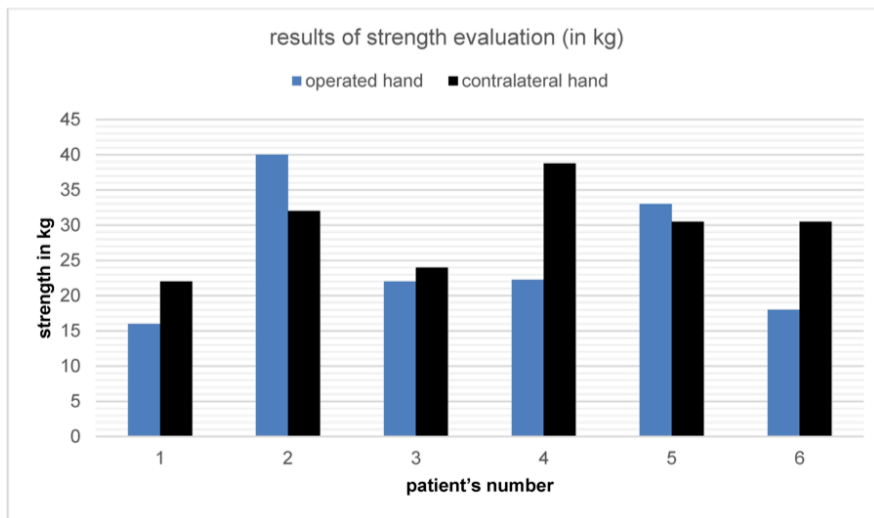


Figure 4: Results of grip strength evaluation of operated and contralateral hand by using the hand-held dynamometer (Jamar®) in six long-term follow-up patients



Figure 5: X-ray series of an advanced carpal collapse (SNAC wrist II-III) treated with Synthes® VA LCP ICF Plate up to six months after operation

results comparing reached maximum grip strength of operated hand versus non-operated hand (highest level out of three tries).

Figure 5 shows an X-ray series of an advanced carpal collapse (SNAC wrist II-III) treated with Synthes® VA LCP ICF Plate up to six months after operation.

## Discussion

There is a variety of different operation techniques, treating carpal instabilities like SNAC or SLAC wrist deformities in stage II or III. Most commonly and best described in literature are the 4-corner fusion of the wrist and the proximal row carpectomy [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [9], [10], [11], [13], [16], [18], [19], [31], [32], [33], [34], [35]. Nonetheless, some authors recommend the 3-corner fusion, bicolunar intercarpal arthrodesis or other modifications as better options for treating wrist instabilities [14], [15].

Based on a systematic literature review we want to discuss and compare the 4-corner fusion, with emphasis on the variable angle locking plate (VA LCP ICF Plate by Synthes®), with other well accepted treatment options. Furthermore, we want to find out whether there were any differences between the Synthes® Variable Angle Locking Compression Intercarpal Fusion Plate and other fixation techniques used for the wrist arthrodesis (either traditional fixation techniques or different plate designs).

Proximal row carpectomy (PCR) and midcarpal arthrodesis (MCA) are motion preserving options for the treatment of stage II carpal collapse [9]. Many studies have been published to discuss the outcome of both operations. Exemplarily, Dacho et al. stated, that the PCR is easier to perform than the MCA operation [9]. However, the biomechanical situation after excision of the proximal carpal row is more dysfunctional due to the creation of incongruent articular surfaces [4], [9]. Furthermore, Brinkhorst et al. explored better functional outcomes (according to the Sollerman hand function test) of PCR patients comparing to those with MCA [36]. Additionally, there were specific complications for PCR and MCA mentioned in literature: On the one hand PCR can cause arthrosis in the radiocarpitate region (particularly with necessity for denervation procedures), whereas on the other hand MCA may lead to insufficient cartilage removal, persisting pain, lower functional level postoperative, improper realignment of carpal height with nonunion in consequence (particularly with necessity for complete arthrodesis with loss of motion preserving keynote) [2], [4], [5], [9], [10], [11].

Williams et al. described significantly higher rates of secondary operations after 4 CF compared to PRC procedures due to non-unions, hardware impingement and others. They saw no significant differences in conversion rate to total wrist arthrodesis in the PRC group versus 4 CF group patients [37]. In overall conclusion of a randomized clinical trial comparing proximal row carpectomy and four-corner fusion, Aita et al. resumed no significant statistical differences in clinical and functional results between both salvage procedures [38].

In systematically researching current literature, it becomes obvious that there is a variety of studies seeing advantages and disadvantages for both procedures with consequently recommending either PCR or MCA [34] or seeing no statistical significant differences [38].

Therefore Mulford et al. performed a systematic analysis for comparing both operative treatments for stage II carpal collapse. Although there were no significant differences in pain relief, grip strength, subjective outcomes (such as patient's satisfaction) or reaching the state of complete arthrodesis, the authors stated a higher rate of radiocarpitate arthrosis after PCR and 10% higher rate of general complications like non-union, dorsal impingement and material conflicts after MCA [34]. The post-operative flexion-extension arc was 10 degrees lower after MCA in comparison to PCR operation. In conclusion of Mulford et al.'s systematic review there is no clear overall difference between MCA and PCR whereby both procedures are equal options in therapeutic considerations [34].

The other systematical review comparing four-corner fusion (4 CF) and PCR by the working of group of Saltzman et al. stated a significant higher postoperative radial abduction range after MCA, whereas dorsal extension and palmar flexion as well as ulnar abduction displayed no significant differences [39]. Furthermore, the evaluated grip strength after 4 CF showed higher levels than the PCR cohort. Patient's satisfaction and pain severity did not lead to any statistically significant differences [39].

There are many well described variations of midcarpal arthrodesis. Common options are 3-corner arthrodesis and 4-corner arthrodesis as well as bicolunar arthrodesis of the wrist [13], [14], [15]. Klausmeyer et al. documented a more physiological situation after performing 3-corner arthrodesis due to better articulating surfaces [15]. However, Draeger et al. showed a restricted range of motion in wrists after bicolunar arthrodesis [14]. They supposed a higher fusion rate because of leaving greater bone surfaces due to not excising the scaphoid bone [14]. Therefore, no clear recommendation for either one or another varied midcarpal arthrodesis operation is given so far. In our study, all patients were treated with a 4 CF. Following the earlier presented decision tree for treatment of stage II and III carpal collapses, the next step is to consider the right material for the midcarpal arthrodesis operation technique.

After the different variants of traditional techniques (e.g. staples, screws, K-wires), initially the NLDP (e.g. the Spider™ Limited Wrist Fusion Plate, Kinetikos Medical Inc., San Diego, CA, USA) were designed as a new fixation system for 4 CF [4].

In literature research, a lot of case reports or series with either using traditional osteosynthesis material or NLDP are to be found. Comparing studies are rare.

One of these is the study published by Mavrogenis et al. They compared the long-term results of patients with 4 CF with either K-wires, headless compressive screws or a circular plate [40]. They reported patient's satisfaction and improvement of pre-operative pain level, range of motion and grip strength in all groups. Additionally, they displayed a fusion rate of 90.3% and a partial fusion in 9.7%. The partial fused wrists were treated in two cases with K-wire MCA and in one case with a circular plate. The overall complication rate is given with 10% of total:



2 patients with the circular plate (1 case of impingement and 1 case of regional pain syndrome) and one patient after K-wire/ headless compression screws fixation (impingement) [40].

Vance et al. compared the results after 4 CF with non-locking dorsal plates (NLDP) in one group with 4 CF done with traditionally used materials (wires, staples or screws) [23]. The study group discovered non-union rates of 3% in traditional fixation techniques against 26% in the NLDP group [19]. Additionally, they reported impingement rates of 3% in the traditional group versus 22% in the plate group [19]. Grip strength, range of motion and Disability of Arm and Shoulder (DASH) score also showed less satisfactory results in the NLDP group [19]. Furthermore, Chung et al. also reported that even pain relief was poorer after 4 CF with non-locking plate [4]. They have seen no significant pain decrease but an overall increasing patients' satisfaction after the operation. Only two patients described complete pain-freeness. As conclusion, Chung et al. claimed further investigations due to not full satisfying outcomes [4].

Opposingly, the operation technique using a plate for performing the four corner arthrodesis has its advantages: less infections (especially pin infections after K-wire implantation), absence of implant protrusion, no need for further operations (like implant excision when K-wires have been used) [3], [19], [31].

The study group of Hernekamp et al. reported of no statistical differences comparing patients with K-wire 4 CF and locking plate 4 CF [41].

Pauchard et al. stated that the final decision about the most adequate material for performing midcarpal arthrodesis has not been made yet [20]. Therefore, different techniques are currently used. Inconsistent arguments can be found in literature whether screws, K-wires, staples or plates are the best material to reach the most satisfying results in operating on carpal collapses [19], [20].

Evaluations of the non-union rates after using NLDP when performing a 4 CF of the wrist show different results. Kendall et al. stated a high rate of insufficient bony fusion with 62.5% [42] whereas Merrell et al. reached a 100% union rate after using an internal plate fixation technique [22]. Different authors reported non-union rates after 4 CF with traditional fixation materials ranging from 0% [43], [44] up to 17% [45], [46]. Shindle et al. presented a non-union rate of 25% and an overall complication rate of 56% after performing 4 CF via internal plate fixation [47].

In our study we used autogenous bone graft taken from the excised scaphoid bone in 10 cases and reached a 100% union rate. Which may have contributed to the good outcome in healing was the included reaming guide, leading to a better placement of the material. Furthermore, the rigid system with locking screws may contribute to bony fusion, as evaluated by Tielemans et al. using the same implant with reaching bony fusion in 100% as well [48] Drác et al. reported of no non-union after 4 CF with VA LCP ICF Plate in their study population (abstract only, article in Czech) [35].

Furthermore, Friedel et al. stated the necrosis of the lunate bone to be a strict contraindication for implanting a plate for 4 CF [18]. We had one case with carpal collapse due to Kienböck's disease and can report good outcomes after implanting the VA LCP ICF Plate.

Another important and objective differentiator is the rate of complications occurring after 4 CF with either traditional fixation material or NLDP in different designs.

Chung et al. reported of three cases with screw break postoperatively (complication rate of 27.3%) [4].

The working group of Merrell, using a second-generation circular plate, displayed 2 cases of material failure including 1 case of broken plate and 1 case of screw back-out (total of 28 patients) [22].

Mantovani et al. performed an outcome study after 4 CF with a circular titanium plate with 4 non-locking screws (Carpal Button, SBI International, Peronnas, France). They achieved complete fusion in 18 of 19 patients (94.7%) [24]. Additionally they reported of one case of screw break and two cases of persisting pain. This plate design only allows positioning one screw in each carpal bone. Mantovani et al. described this as a disadvantage because intraoperative screw break-outs are not easy to correct and compensate [24]. The necessity for drilling two screws in each bone was stated by other study groups as well [25]. The VA LCP ICF Plate by Synthes® (six or seven hole design) used in this study allowed the performing surgeon to consider the individual anatomic differences and decide in each case how many screws to be used to achieve a stable result.

Due to these high complication rates and a high risk of non-union, further investigations have been pursued. As consequence, the NLDP were ousted by the new generation of internal fixation method: LDP (locking dorsal plates) in different designs and variations (like the here used Variable Angle Locking Intercarpal Fusion Plate by Synthes®) [13], [21].

Reissner et al. published their comparison of 4 CF patients either treated with a non-locking plate (Spider plate, Integra LifeSciences.Corp., Plainsboro, NJ) or with a dorsal locking fusion system (Flower plate, KLS Martin group, Tuttlingen, Germany) [49]. In overall conclusion, they recommend the locking plates due to their lower rates of dorsal impingement (5% for locking plates versus 30% for non-locking plates) and lower rates of material loosening [49].

Rudnick et al. presented a fusion rate of 80% by using the Xpode® Cup as variant of a LDP (total of 26 operated wrists in 24 patients) [21]. They reported of one case in which a complete wrist arthrodesis had to be performed due to persisting pain and the development of radiolunate arthritis. There were also two cases of screw break-out [21]. Furthermore, five patients imposed with necessity for further surgical treatment because of dorsal adhesion of joint capsule, persisting pain within material conflict and/or impingement symptoms [21].

Luegmair et al., using the same implant, remarked a union rate of 92% [50]. Whereas Rhee et al. reported of 96% of bony healing after using the Xpode® Cup [25].

**Table 2: Comparison of results in grip strength and range of motion after four-corner arthrodesis via plate osteosynthesis in different working groups**

Author (plate used – NLDP or LDP)	Grip strength Range of motion (as reported)
Chung et al. [4] (spider plate, NLDP)	17.3 ± 14.5 kg 37.7 ± 15.6° flexion, 36.1 ± 10.4° extension (flexion-extension arc 73.8 ± 24.0°), 15.5 ± 9.5° radial abduction, 21.7 ± 8.7° ulnar abduction
Friedel et al. [18] (spider plate, NLDP)	76% of contralateral 41–53% of contralateral
Vance et al. [19] (spider plate, NLDP)	30 kg (70% of contralateral) 30° flexion, 35° extension, 50% flexion-extension arc of contralateral, 5% radial abduction, 30° ulnar abduction
Pauchard et al. [20] (APTUS four corner fusion® dorsal locking plate, LDP)	29.6 kg (70.7% of contralateral) 67.3° flexion-extension arc, 30.5° radial to ulnar abduction arc
Rudnick et al. [21] (radiolucent circular plate, LDP)	76.7–77.9% of contralateral 23.3° flexion, 46.5° extension (flexion-extension arc 69.8°), 13.1° radial abduction, 15.9° ulnar abduction
Merrell et al. [22] (spider plate, NLDP)	82% of contralateral 26° flexion, 35° extension, 45% ROM of contralateral
Espinoza et al. [23] (dorsal rectangular plate, NLDP)	27 kg (79% of contralateral) 34° flexion, 30° extension, 64° flexion-extension arc (61% of contralateral), 18° radial abduction, 19° ulnar abduction, 37° radial to ulnar abduction arc (76% of contralateral)
Mantovani et al. [24] (carpal button, NLDP)	27.5 kg (37.0 kg contralateral) 74.6° flexion-extension arc 151.0° contralateral), 36.2° radial to ulnar abduction arc (59.7° contralateral)
Xu et al. [26] (memory plate, NLDP)	20 kg 22° flexion, 19° extension, 11° radial abduction, 17° ulnar abduction
Bedford et al. [27] (spider plate, NLDP)	26 kg (78% of contralateral) 84° average total arc of motion (71% of contralateral)
Reissner et al. [49] (Flower plate, KLS Martin group, Tuttlingen, Germany, LDP)	29 kg 28° flexion 32° extension 14° radial abduction 13° ulnar abduction
Chaudhry et al. [51] (APTUS four corner fusion® dorsal locking plate, LDP)	27 kg (4–48 kg); 72% of contralateral 30° flexion (20–45°) 31° extension (10–60°)
Woehl et al. [52] (APTUS four corner fusion® dorsal locking plate, LDP)	18 ± 10 kg; 54% of contralateral 30 ± 9° flexion (48% of contralateral) 30 ± 15° extension (54% of contralateral) 18 ± 7° radial abduction (78% of contralateral) 16 ± 6° ulnar abduction (55% of contralateral) pronation and supination preserved in all
Zatrapa et al. (abstract only) [53] (nfs., NLDP and LDP)	27.5 kg mean (8–54 kg) sagittal plane 63.7° mean frontal plane 32.1° mean

nfs.=no further specification

Chaudhry et al. published their findings after performing 4 CF with the Aptus® LDP by Medartis, showing 2 cases of initial non-union with necessity for revision [51]. The working group of Woehl et al. described bony fusion in all patients (n=11) receiving 4 CF with the Aptus® plate (Medartis, Basel, Switzerland). They reported of two

complications: one screw malpositioning in the pisotriquetral joint and one proximal positioning of implanted plate leading to restricted mobility and pain after stressful movement [52]. As advantage of the Aptus® plate compared to the here used Synthes® implant they described a lower profile, the smaller diameter and more screw

options [52]. But in conclusion they reported of more difficulties in plate positioning due to the missing reaming guide. We can underline this argument due to our good experiences illustrated in the CDF 1 results.

The overall comparison of outcomes in grip strength and range of motion postoperatively is quite difficult, because specific data is commonly missing in the presented studies. If the articles include details about the postoperative clinical evaluation, there is no standardization making direct comparison, even statistically, impossible. Table 2 therefore is just a schedule with included references, using NLDPs or LDPs and giving information about the long-term clinical results.

Tielemans et al. presented their functional outcome score (QuickDASH) after 4 CF using the VA LCP ICF Plate to be improved and the pain level to be decreased post-surgery. They reported of 10% dorsal impingement with necessity to plate removal and 14% of all patients suffering from complex regional pain syndrome [48].

In comparison to studies dealing with different techniques, material and plate designs respectively, the ICF plate by Synthes® seems to be a good option for treating carpal collapse, which we illustrated with our findings as well.

In the long-term evaluation there were no complications like non-union of bony reconstruction, impingement or further material failures in our study population. The examined range of motion and grip strength were comparable to the results of other studies dealing with different implant variations.

As limitation of our study, only few patients could have been long-term re-evaluated. Additionally, there was no comparison group with other implants in our hospital; therefore, we could draw a parallel with other study results only. A larger multicenter study could solve these problems. A randomized clinical trial with different plate designs to afford more comparable results would be desirable. Another disadvantage is the lack of direct and statistical comparison of the results presented in current literature due to the non-standardized dissemination and elicitation of examination data. Thus, it was decided within this study to present all data as descriptive data. Advantageously, all operations were performed by the same surgeon. Additionally, the long-term re-evaluation was always done by the same physician to reach the highest level in commensurability. We used only evaluated and well-validated questionnaires and diagnostic measures to survey patient's state of health.

## Conclusion

The four-corner fusion is a salvage operation for advanced carpal collapse such as SNAC and SLAC wrist. K-wires were the gold standard for the operation procedure formerly. By using K-wires, good consolidation rates were achieved. Disadvantageously, higher infection rates, K-wire dislocations and tendon ruptures are described in the literature.

Comparing the used locking plate by Synthes® with the K-wire osteosynthesis, the plate showed similar consolidation rates with less complications. Advantageously, no second operation for K-wire removal is needed. Furthermore, the evaluated range of motion, especially in long-term follow-up, is remarkably higher in plate arthrodesis. The non-locking plates, being the ancestor plate implants for four-corner arthrodesis, also showed complications like plate dislocations, missed healing and material failure, which were less frequent in the newer dorsal locking plate designs.

In overall comparison, Synthes® VA LCP ICF Plate is a more expensive option than K-wires or NLDPs for four-corner fusions, but our long-term evaluations showed comparable healing rates and distinctly better postoperative results especially in grip strength and range of motion.

## Notes

### Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

## References

1. Dacho A, Grundel J, Holle G, Germann G, Sauerbier M. Long-term results of midcarpal arthrodesis in the treatment of scaphoid nonunion advanced collapse (SNAC-Wrist) and scapholunate advanced collapse (SLAC-Wrist). *Ann Plast Surg.* 2006 Feb;56(2):139-44. DOI: 10.1097/01.sap.0000194245.94684.54
2. Ashmead D 4th, Watson HK, Damon C, Herber S, Paly W. Scapholunate advanced collapse wrist salvage. *J Hand Surg Am.* 1994 Sep;19(5):741-50. DOI: 10.1016/0363-5023(94)90177-5
3. Winkler FJ, Borisch N, Rath B, Grifka J, Heers G. Mittelfristige Ergebnisse nach Skaphoide resektion und mediokarpaler Teilarthrodes unter Verwendung von K-Drähten bei fortgeschrittenem karpalen Kollaps [Mid-term results after scaphoid excision and four-corner wrist arthrodesis using K-wires for advanced carpal collapse]. *Z Orthop Unfall.* 2010 May;148(3):332-7. DOI: 10.1055/s-0029-1240757
4. Chung KC, Watt AJ, Kotsis SV. A prospective outcomes study of four-corner wrist arthrodesis using a circular limited wrist fusion plate for stage II scapholunate advanced collapse wrist deformity. *Plast Reconstr Surg.* 2006 Aug;118(2):433-42. DOI: 10.1097/01.prs.0000227737.90007.5d
5. Sauerbier M, Bickert B, Tränkle M, Kluge S, Pelzer M, Germann G. Operative Behandlungsmöglichkeiten bei fortgeschrittenem karpalen Kollaps (SNAC/SLAC wrist) [Surgical treatment possibilities of advanced carpal collapse (SNAC/SLAC wrist)]. *Unfallchirurg.* 2000 Jul;103(7):564-71. DOI: 10.1007/s001130050584
6. Papaloizos M. Wann, welche Behandlung bei scapho-lunären Bandverletzungen? [When and which treatment for scapho-lunate ligament lesions?]. *Ther Umsch.* 2014 Jul;71(7):385-90. DOI: 10.1024/0040-5930/a000527





7. Dacho A, Grundel J, Harth A, Germann G, Sauerbier M. Funktionelle Ergebnisse nach mediokarpaler Teilarthrodese als Behandlungskonzept bei fortgeschrittenem karpalem Kollaps (SNAC-/SLAC-Wrist) [Functional outcome after midcarpal arthrodesis in the treatment of advanced carpal collapse (SNAC-/SLAC-wrist)]. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2005 Apr;37(2):119-25. DOI: 10.1055/s-2004-821287
8. Pappou IP, Basel J, Deal DN. Scapholunate ligament injuries: a review of current concepts. *Hand (N Y).* 2013 Jun;8(2):146-56. DOI: 10.1007/s11552-013-9499-4
9. Dacho AK, Baumeister S, Germann G, Sauerbier M. Comparison of proximal row carpectomy and midcarpal arthrodesis for the treatment of scaphoid nonunion advanced collapse (SNAC-wrist) and scapholunate advanced collapse (SLAC-wrist) in stage II. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2008 Oct;61(10):1210-8. DOI: 10.1016/j.bjps.2007.08.007
10. Tränkle M, Sauerbier M, Blum K, Bickert B, Germann G. Die Entfernung der proximalen Handwurzelreihe als bewegungserhaltender Eingriff beim karpalen Kollaps [Proximal row carpectomy: a motion-preserving procedure in the treatment of advanced carpal collapse]. *Unfallchirurg.* 2003 Dec;106(12):1010-5. DOI: 10.1007/s00113-003-0670-1
11. Streich NA, Martini AK, Daecke W. Proximal row carpectomy: an adequate procedure in carpal collapse. *Int Orthop.* 2008 Feb;32(1):85-9. DOI: 10.1007/s00264-006-0281-x
12. Engelhardt TO, Krimmer H. Dissoziative Instabilitäten der proximalen Handwurzelreihe. In: Krupp J, Rennekampff HO, editor. *Plastische Chirurgie. 27. Erg.-Lfg.* Landsberg: Ecomed; 2006.
13. González Del Pino J, Campbell D, Fischer T, Vázquez FN, Jupiter JB, Nagy L. Variable angle locking intercarpal fusion system for four-corner arthrodesis: indications and surgical technique. *J Wrist Surg.* 2012 Aug;1(1):73-8. DOI: 10.1055/s-0032-1323640
14. Draeger RW, Bynum DK Jr, Schaffer A, Patterson JM. Bicolunar intercarpal arthrodesis: minimum 2-year follow-up. *J Hand Surg Am.* 2014 May;39(5):888-94. DOI: 10.1016/j.jhssa.2014.01.023
15. Klausmeyer MA, Fernandez DL, Caloia M. Scaphocapitolunate arthrodesis and radial styloidectomy for posttraumatic degenerative wrist disease. *J Wrist Surg.* 2012 Aug;1(1):47-54. DOI: 10.1055/s-0032-1323846
16. Richards AA, Afifi AM, Moneim MS. Four-corner fusion and scaphoid excision using headless compression screws for SLAC and SNAC wrist deformities. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 2011 Jun;15(2):99-103. DOI: 10.1097/BTH.0b013e3181f60fec
17. Watson HK, Ryu J. Evolution of arthritis of the wrist. *Clin Orthop Relat Res.* 1986 Jan;(202):57-67. DOI: 10.1097/00003086-198601000-00008
18. Friedel R, Lenz M, Dönicke T, Hofmann G. Mediokarpale Teilarthrodese des Handgelenks mittels Spiderplatte [Midcarpal fusion with the spider plate]. *Oper Orthop Traumatol.* 2011 Apr;23(2):98-104. DOI: 10.1007/s00064-011-0020-3
19. Vance MC, Hernandez JD, Didonna ML, Stern PJ. Complications and outcome of four-corner arthrodesis: circular plate fixation versus traditional techniques. *J Hand Surg Am.* 2005 Nov;30(6):1122-7. DOI: 10.1016/j.jhssa.2005.08.007
20. Pauchard N, Lecoanet-Strugarek C, Segret J, De Gasperi M, Dap F, Dautel G. Dorsal locking plates versus staples in four-corner fusion: a comparative clinical and radiological study. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2014 Oct;100(6):593-7. DOI: 10.1016/j.otsr.2014.05.016
21. Rudnick B, Goljan P, Pruzansky JS, Bachoura A, Jacoby SM, Rekant MS. Four-corner arthrodesis with a radiolucent locking dorsal circular plate: technique and outcomes. *Hand (N Y).* 2014 Sep;9(3):315-21. DOI: 10.1007/s11552-014-9617-y
22. Merrell GA, McDermott EM, Weiss AP. Four-corner arthrodesis using a circular plate and distal radius bone grafting: a consecutive case series. *J Hand Surg Am.* 2008 May-Jun;33(5):635-42. DOI: 10.1016/j.jhssa.2008.02.001
23. Espinoza DP, Schertenleib P. Four-corner bone arthrodesis with dorsal rectangular plate: series and personal technique. *J Hand Surg Eur Vol.* 2009 Oct;34(5):609-13. DOI: 10.1177/1753193409349905
24. Mantovani G, Mathoulin C, Fukushima WY, Cho AB, Aita MA, Argintar E. Four corner arthrodesis limited to the centre using a scaphoid one piece graft and a dorsal circular plate. *J Hand Surg Eur Vol.* 2010 Jan;35(1):38-42. DOI: 10.1177/1753193409349905
25. Rhee PC, Shin AY. The rate of successful four-corner arthrodesis with a locking, dorsal circular polyether-ether-ketone (PEEK-Optima) plate. *J Hand Surg Eur Vol.* 2013 Sep;38(7):767-73. DOI: 10.1177/1753193413475962
26. Xu YQ, Zhu YL, Wang Y. The memory plate for four-corner fusion of scaphoid non-union advanced collapse. *J Plast Surg Hand Surg.* 2013 Dec;47(6):442-5. DOI: 10.3109/2000656X.2013.777844
27. Bedford B, Yang SS. High fusion rates with circular plate fixation for four-corner arthrodesis of the wrist. *Clin Orthop Relat Res.* 2010 Jan;468(1):163-8. DOI: 10.1007/s11999-009-1139-5
28. Brazier JE, Harper R, Jones NM, O' Cathain A, Thomas KJ, Usherwood T, Westlake L. Validating the SF-36 health survey questionnaire: new outcome measure for primary care. *BMJ.* 1992 Jul 18;305(6846):160-4. DOI: 10.1136/bmj.305.6846.160
29. Khan WS, Dillon B, Agarwal M, Fehily M, Ravenscroft M. The validity, reliability, responsiveness, and bias of the Manchester-Modified Disability of the Arm, Shoulder, and Hand score in hand injuries. *Hand (N Y).* 2009 Dec;4(4):362-7. DOI: 10.1007/s11552-009-9191-x
30. Bohannon RW. Reference values for extremity muscle strength obtained by hand-held dynamometry from adults aged 20 to 79 years. *Arch Phys Med Rehabil.* 1997 Jan;78(1):26-32. DOI: 10.1016/S0003-9993(97)90005-8
31. Trail IA, Murali R, Stanley JK, Hayton MJ, Talwalkar S, Sreekumar R, Birch A. The long-term outcome of four-corner fusion. *J Wrist Surg.* 2015 May;4(2):128-33. DOI: 10.1055/s-0035-1549277
32. Sauerbier M, Tränkle M, Linsner G, Bickert B, Germann G. Midcarpal arthrodesis with complete scaphoid excision and interposition bone graft in the treatment of advanced carpal collapse (SNAC/SLAC wrist): operative technique and outcome assessment. *J Hand Surg Br.* 2000 Aug;25(4):341-5. DOI: 10.1054/jhsb.2000.0434
33. Bain GI, Watts AC. The outcome of scaphoid excision and four-corner arthrodesis for advanced carpal collapse at a minimum of ten years. *J Hand Surg Am.* 2010 May;35(5):719-25. DOI: 10.1016/j.jhssa.2010.01.025
34. Mulford JS, Ceulemans LJ, Nam D, Axelrod TS. Proximal row carpectomy vs four corner fusion for scapholunate (Slac) or scaphoid nonunion advanced collapse (Snac) wrists: a systematic review of outcomes. *J Hand Surg Eur Vol.* 2009 Apr;34(2):256-63. DOI: 10.1177/1753193408100954
35. Dráč P, Čížmář I, Homza M, Prášil V, Zapletalová J. Excize clunkové kosti a čtyřrohá fúze zápeští pomocí VA-LIF v léčbe degenerativních poúrazových zmen zápeštního kloubu [Scaphoid excision and four-corner fusion using the variable angle locking intercarpal fusion plate for treatment of post-traumatic degenerative changes of the wrist]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2014;81(2):135-9.

36. Brinkhorst ME, Singh HP, Dias JJ, Feitz R, Hovius SER. Comparison of activities of daily living after proximal row carpectomy or wrist four-corner fusion. *J Hand Surg Eur Vol.* 2017 Jan;42(1):57-62. DOI: 10.1177/1753193416638812
37. Williams JB, Weiner H, Tyser AR. Long-Term Outcome and Secondary Operations after Proximal Row Carpectomy or Four-Corner Arthrodesis. *J Wrist Surg.* 2018 Feb;7(1):51-6. DOI: 10.1055/s-0037-1604395
38. Aita MA, Nakano EK, Schaffhauser HL, Fukushima WY, Fujiki EN. Randomized clinical trial between proximal row carpectomy and the four-corner fusion for patients with stage II SNAC. *Rev Bras Ortop.* 2016 Aug 20;51(5):574-82. DOI: 10.1016/j.rboe.2016.08.008
39. Saltzman BM, Frank JM, Slikker W, Fernandez JJ, Cohen MS, Wysocki RW. Clinical outcomes of proximal row carpectomy versus four-corner arthrodesis for post-traumatic wrist arthropathy: a systematic review. *J Hand Surg Eur Vol.* 2015 Jun;40(5):450-7. DOI: 10.1177/1753193414554359
40. Mavrogenis AF, Flevas DA, Raptis K, Megaloikonon PD, Igoumenou VG, Antoniadou T, Dimopoulos L, Antonopoulos D, Spyridonos SG. Four-corner fusion of the wrist: clinical and radiographic outcome of 31 patients. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2016 Dec;26(8):859-66. DOI: 10.1007/s00590-016-1824-5
41. Hernekamp JF, Reinecke A, Neubrech F, Bickert B, Kneser U, Kremer T. Four-corner fusion: comparison of patient satisfaction and functional outcome of conventional K-wire technique vs. a new locking plate. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016 Apr;136(4):571-8. DOI: 10.1007/s00402-016-2416-x
42. Kendall CB, Brown TR, Millon SJ, Rudisill LE Jr, Sanders JL, Tanner SL. Results of four-corner arthrodesis using dorsal circular plate fixation. *J Hand Surg Am.* 2005 Sep;30(5):903-7. DOI: 10.1016/j.jhssa.2005.04.007
43. Tomaino MM, Miller RJ, Cole I, Burton RI. Scapholunate advanced collapse wrist: proximal row carpectomy or limited wrist arthrodesis with scaphoid excision? *J Hand Surg Am.* 1994 Jan;19(1):134-42. DOI: 10.1016/0363-5023(94)90237-2
44. De Smet L, Deprez P, Duerinckx J, Degreef I. Outcome of four-corner arthrodesis for advanced carpal collapse: circular plate versus traditional techniques. *Acta Orthop Belg.* 2009 Jun;75(3):323-7.
45. Rodgers JA, Holt G, Finnerty EP, Miller B. Scaphoid excision and limited wrist fusion: a comparison of K-wire and circular plate fixation. *Hand (N Y).* 2008 Sep;3(3):276-81. DOI: 10.1007/s11552-008-9099-x
46. Wyrick JD, Stern PJ, Kieffhaber TR. Motion-preserving procedures in the treatment of scapholunate advanced collapse wrist: proximal row carpectomy versus four-corner arthrodesis. *J Hand Surg Am.* 1995 Nov;20(6):965-70. DOI: 10.1016/S0363-5023(05)80144-3
47. Shindle MK, Burton KJ, Weiland AJ, Domb BG, Wolfe SW. Complications of circular plate fixation for four-corner arthrodesis. *J Hand Surg Eur Vol.* 2007 Feb;32(1):50-3. DOI: 10.1016/j.jhseb.2006.08.016
48. Tielemans A, Van Innis F, Troussel S, Detrembleur C, Libouton X, Lequint T. Effect of four-corner fusion with locking plate without bone graft on functional recovery of the wrist: New treatment guidelines. *Hand Surg Rehabil.* 2017 Jun;36(3):186-191. DOI: 10.1016/j.hansur.2017.01.005
49. Reissner L, Hensler S, Kluge S, Marks M, Herren DB. Treatment Outcomes of 4-Corner Arthrodesis for Patients With Advanced Carpal Collapse: An Average of 4 Years' Follow-Up Comparing 2 Different Plate Types. *J Hand Surg Am.* 2018 May;43(5):487.e1-487.e6. DOI: 10.1016/j.jhssa.2017.10.036.
50. Luegmair M, Houvet P. Effectiveness of four-corner arthrodesis with use of a locked dorsal circular plate. *Clin Orthop Relat Res.* 2012 Oct;470(10):2764-70. DOI: 10.1007/s11999-012-2312-9
51. Chaudhry T, Spiteri M, Power D, Brewster M. Four corner fusion using a multidirectional angular stable locking plate. *World J Orthop.* 2016 Aug;7(8):501-6. DOI: 10.5312/wjo.v7.i8.501
52. Woehl R, Maier J, Gehmert S, Palm C, Riebschlaeger B, Nerlich M, Huber M. 3D analysis of Osteosyntheses material using semi-automated CT segmentation: a case series of a 4 corner fusion plate. *BMC Musculoskelet Disord.* 2018 02;19(1):52. DOI: 10.1186/s12891-018-1975-0
53. Zatrpa T, Veigl D, Pech J, Landor I, Šimková M. [Four-Corner Arthrodesis of the Wrist with Dorsal Circular Plate – a Retrospective Monocentric Study]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2017;84(3):189-195.

**Corresponding author:**

Prof. Dr. med. Björn Dirk Krapohl  
Plastic and Reconstructive Surgery, Carl-Thiem-Klinikum  
Cottbus, Thiemstr. 111, 03048 Cottbus, Germany  
bjoern-dirk.krapohl@charite.de

**Please cite as**

Eder C, Scheller A, Schwab N, Krapohl BD. Four-corner arthrodesis of the wrist using Variable Angle Locking Compression Intercarpal Fusion Plate (VA LCP ICF Plate; Synthes®): pre- and postoperative radiological analysis and clinical outcome in long-term evaluation. *GMS Interdiscip Plast Reconstr Surg DGPW.* 2019;8:Doc15. DOI: 10.3205/iprs000141, URN: urn:nbn:de:0183-iprs0001411

**This article is freely available from**

<https://www.egms.de/en/journals/iprs/2019-8/iprs000141.shtml>

**Published:** 2019-11-08

**Copyright**

©2019 Eder et al. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 License. See license information at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.





### **4.3 Hamate's coronal fracture: diagnostic and therapeutic approaches based on a long-term follow-up**

Eder C, Scheller A, Schwab N, Krapohl BD. Hamate's coronal fracture: diagnostic and therapeutic approaches based on a long-term follow-up. *GMS Interdiscip Plast Reconstr Surg DGPW*. 2019 Mar 29;8:Doc05

DOI: [10.3205/iprs000131](https://doi.org/10.3205/iprs000131)

# Hamate's coronal fracture: diagnostic and therapeutic approaches based on a long-term follow-up

## Die coronare Os-hamatum-Fraktur: Diagnostischer und therapeutischer Algorithmus auf Basis einer Langzeituntersuchung

### Abstract

Hamate fractures are commonly divided into hook fractures and body fractures. The coronal fractures as a special form of hamate's body fracture are very rare injuries. Because of unspecific clinical findings and the mostly inconclusive x-ray imaging, these fractures are frequently overseen or misdiagnosed. This leads to further complications like secondary arthritis, persisting pain, and functional deficits in patient's wrist mobility. In our study, a collocation of coronal hamate fractures is analyzed and evaluated with respect to functional outcome after operative treatment and compared to the literature. Furthermore, we compare the strategies for diagnosis and treatment in our clinical center with those presented in the literature.

Our standard in the initial diagnostic process is to obtain radiographs in an anterior-posterior, lateral, and 30° oblique view of the wrist. For further diagnosis and preoperative planning, a CT scan of the wrist is obligatory. Due to the high occurrence of comorbidities (especially CMC dislocations) all patients in our cohort obtained operative treatment.

In long-term post-operative evaluation, we present the following results: The Manchester-Modified Disability of the Shoulder, Arm and Hand Score (M<sup>2</sup> DASH) imposed with an average of 26.22 points (MD=22/SD=11.31/MIN=18/MAX=52). None of the re-evaluated patients sorrowed for severe pain in rest. Four patients stated pain (ranging from 3 to 5 on numeric analogue scale) after heavy burden (e.g. boxing, weight lifting). In exploring the range of motion of the operated hand the following results are obtained: dorsal extension: average 83.33° (MD=85°/SD=3.54°/MIN=75°/MAX=85°), flexion: average 77.78° (MD=80°/SD=4.41°/MIN=70°/MAX=80°). Additionally, a performance testing was conducted: fist clenching sign: complete without pain in 100%, pinch grip: complete in 77.78%, opposition digitus manus I-V complete in 66.67%.

The conservative treatment is not recommended (especially shown in the here presented "add" case with a misdiagnosed fracture). The open approach has its advantages compared to a closed operative procedure and should always be intraoperatively considered as an operative expansion.

**Keywords:** hamate fracture, carpal fractures, Ebraheim's classification

### Zusammenfassung

Hamatumfrakturen werden in Hamulus-ossis-hamati- und Corpusfrakturen unterteilt. Die coronare Os hamatum Fraktur ist, als Sonderform der Corpusfraktur, eine sehr seltene Verletzung. Aufgrund der unspezifischen klinischen Symptomatik und unsicheren projektionsradiografischen Diagnostik wird dieser Frakturtyp in der Primärdiagnostik häufig übersehen oder fehldiagnostiziert. Dies führt zu möglichen Folgekomplikationen, wie posttraumatischer Arthrose, persistierender Schmerzzustände und funktioneller Defizite.

Christian Eder<sup>1</sup>

Ariane Scheller<sup>1</sup>

Nina Schwab<sup>2</sup>

Björn Dirk Krapohl<sup>3</sup>

1 Centre for Musculoskeletal Surgery, Charité – Medical University, Campus Virchow Clinic, Berlin, Germany

2 Healthcare Center Meviva, Berlin, Germany

3 Department of Cranio-maxillofacial, Plastic, and Reconstructive Surgery, Carl-Thiem-Klinikum, Cottbus, Germany

In der vorliegenden Studie werden die an unserem Zentrum behandelten coronaren Hamatumfrakturen zusammengestellt, anhand des funktionellen Ergebnisses nach operativer Versorgung ausgewertet und mit der aktuellen Literatur verglichen. Weiterhin wird der diagnostische und therapeutische Algorithmus unseres Zentrums dem publizierten Standard gegenübergestellt.

Standarddiagnostikum sind Röntgenbilder des Handgelenks in drei Ebenen (anterior-posterior, streng seitlich, 30° schräg – Aufnahme). Zur weiteren Diagnostik und insbesondere präoperativen Planung ist die Computertomografie des Handgelenks obligat. Aufgrund des häufigen Vorhandenseins von Begleitverletzungen (insbesondere carpometacarpale Dislokationen) wurden alle Patienten operativ therapiert. Im Rahmen der klinischen Langzeitevaluation zeigten sich folgende Resultate: Der Manchester-Modified Disability of the Shoulder, Arm and Hand Score (M<sup>2</sup> Dash) lag im Durchschnitt bei 26,22 Punkten (MD=22 / SD=11,31 / MIN=18 / MAX=52). Keiner der nachuntersuchten Patienten klagte über starke Ruheschmerzen. Vier Patienten gaben Schmerzen von 3–5 auf der numerischen Analogskala nach stärkerer Belastung (beispielsweise Boxen, Anheben von Lasten) an. Bezüglich des Range of Motion zeigten sich folgende Ergebnisse: Dorsalextension: Durchschnitt 83,33° (MD=85° / SD=3,54° / MIN=75° / MAX=85°), Flexion: Durchschnitt 77,78° (MD=80° / SD=4,41° / MIN=70° / MAX=80°). In der Funktionsprüfung zeigten sich: Faustschluss vollständig und schmerzfrei in 100%, Pinzettengriff vollständig in 77,78% und Opposition Daumen–Kleinfinger vollständig in 66,67%.

Insbesondere aufgrund des hier gezeigten fehldiagnostizierten Falles („add“ case) kann das konservative Vorgehen nicht empfohlen werden. Im Vergleich mit einem geschlossenen operativen Verfahren zeigt das offene Vorgehen seine Vorteile und sollte intraoperativ als mögliche Erweiterung in Erwägung gezogen werden.

**Schlüsselwörter:** Hamatumfraktur, karpale Fraktur, Klassifikation nach Ebraheim

## Introduction

The hamate bone consists of two different anatomic parts: the hook and the body. Proximally it forms an articulation with the triquetrum and distally it articulates with the fourth and fifth metacarpals (hamato-metacarpal articulation, CMC: carpometacarpal articulation). Fractures of the hamate bone are stated with 2–4% of all carpal injuries [1], [2], [3], [4], [5] and were classified firstly by Milch et al. [6]. He described type 1 fractures as body fractures with fracture line passing either the hook ulnarly or radially and type 2 as hook fractures [6].

Within Milch's classification, the coronal fracture of the body has not been considered. In further studies, other classifications have been introduced, such as Cain's or Ebraheim's classification with a more specific interest on body fractures of the hamate [7], [8], [9], [10].

The coronal fracture in general appears mostly after punch injuries with a radial-abducted and approximately 10° flexed hand [11], [12] against an unyielding object [2], [4], [5], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22].

The diagnostic is intricate because of few clinical findings and often inconclusive initial x-ray observations [2], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [14], [16], [19], [20], [23], [24], [25], [26].

Moreover, even the treatment of coronal hamate-fractures is still unclear nowadays [2], [5], [16]. Radiological and clinical findings can lead either to a conservative or operative (open versus closed) treatment.

This paper aims to show a more sensitive diagnostic approach as well as different surgical options in treating coronal fractures of the hamate. We present the largest case series ever published and performed a long-term follow-up of the patients treated in our centre, to create a more detailed view on this specific carpal injury.

## Material and methods

From 2009 through 2014, 19 cases of coronal hamate fractures were diagnosed in the Centre for Musculoskeletal Surgery of Charité Berlin, Campus Virchow Clinic. Initially patients were examined in the emergency unit and transferred to our specific outpatient clinic for hand surgery for further diagnostic and treatment afterwards.

Retrospectively, patients' medical recordings have been reviewed. Therefore, age and gender, previous medical history, trauma history, accompanied injuries, operative technique (approaches, operation time, complications), pre- and postoperative radiological images, outcome up to three months after operation, and healing rates were analyzed and summarized under short-term evaluation. Furthermore, a long-term evaluation was performed in nine patients.

The long-term evaluation consisted of two parts to create the best and most detailed view of the long-term results possible. On the one hand, the subjective patient's opinion concerning their individual reconvalescence was taken by offering the Manchester-Modified Disability of the Arm, Shoulder and Hand questionnaire (M<sup>2</sup> DASH) [27]. On the other hand, x-ray analysis, objectification of grip strength regain via investigation by hand-held dynamometer (Jamar<sup>®</sup>) [28], and a clinical examination with special regard to range of motion, sensory deficiencies, pain, and strength were conducted. The physical examination was done by the same doctor in all cases with the use of a goniometer and a standardized evaluation protocol. The M<sup>2</sup> DASH itself includes three thematic subunits:

- 11 activities of daily living (e.g. writing, washing hair, putting on a pullover etc.); scaling 1 point (no difficulties) up to 5 points (not even possible)
- 3 symptoms: paresthesia, weakness, stiffness; scaling 1 point (not present) up to 5 points (extreme)
- 4 psychosocial aspects (e.g. social interference, vocational interference, sleeping disorders, depressive mood); scaling 1 point (not present) up to 5 points (extreme)

Therefore, the highest attainable, and most negative, amount is 80 points. The lowest score is 18 points, showing the best results in all subunits.

As a retrospective study, an evaluation of existing radiographic imaging during the clinical follow-up (usually up to three months after initial treatment including removal of temporary arthrodesis) was obtained.

It was relinquished to generate new radiological images in long-term evaluation due to none or just moderate clinical conspicuousness; the radiation exposure would not have been ethically and medically justifiable except in cases with clinical anomalies.

SPSS v24.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois) has been used to create all descriptive statistics including average, the mean (MD), standard deviation (SD), minimum (MIN) and maximum (MAX) and percentage.

Relevant literature and publications were identified using the internet database MEDLINE (including OLDMEDLINE). Further references were found manually.

## Patients' data

The average age of the 19 patients initially operated was 25.37 years (MD=22/SD=7.6/MIN=16/MAX=45) when

fracturing the hamate bone. The cohort includes 18 male (94.74%) and one female (5.26%).

All of the patients were initially referred to our emergency unit. After initial x-ray diagnosis and computer tomographic scan, the surgery was performed in the Department for Musculoskeletal Surgery of Charité – Medical University of Berlin.

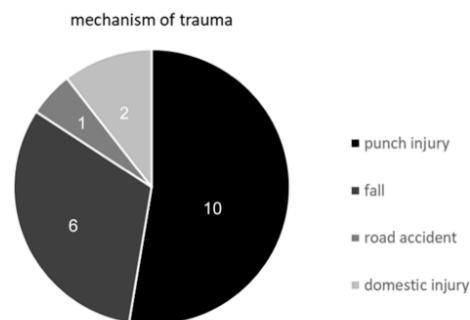
For long-term re-evaluation one patient had to be excluded due to being younger than 18 years. Furthermore, three patients were lost in follow-up and five patients denied taking part in another clinical examination since they were not experiencing any symptoms or problems. Additionally, one case (external misdiagnosing) came to our hospital with an already malpositioned healed hamate including chronic carpometacarpal subluxations and secondary arthrosis which led to exclusion from long-term reevaluation. This patient got an arthrodesis wherefore ROM and grip strength examination as well as performance testing would have been distorted. So, in conclusion nine patients were clinically examined, again with a mean follow-up of 33.67 months (MIN=14/MAX=54).

In all but one patient evaluated in long-term outcome the fracture affected the dominant hand (88.89%). In seven cases (77.78%) the right hand was fractured, the left one in three cases.

## Results

### Short-term evaluation

In short-term analysis, the data of 19 patients with coronal fracture of hamate's body were listed. Three of them suffered from externally overseen carpal injury. Mechanisms of trauma based on anamnestic inquiry (Figure 1):



**Figure 1: Mechanisms of trauma leading to a coronal fracture of the hamate in our cohort**

- 10 cases of punch-injury
- 6 cases of fall
- 1 case of traffic accident
- 2 cases of domestic injury

A post-operative immobilization-time of 5.31 weeks in average (SD=0.75) was indicated. Decision about length of immobilization was made intraoperatively concerning the grade of stability in combination with the anticipated compliance of the patient towards postoperative treatment. At the end of regular therapy and after the last indicated X-ray images (or CT if plain radiograph findings were suspicious) in average 3 months post-surgery, 18 patients (80.95%) imposed with bony healing of hamate's fracture in physiological anatomic position. One patient (initially misdiagnosed externally six weeks ago and malpositioned healing of hamate including secondary arthrosis at initial presentation) had a satisfying arthrosis situation.

Table 1 visualizes patients' co-injuries, treatment of accompanied injuries, and the type of osteosynthesis (including specific material) of hamate body chosen in the individual content.

Dislocations of at least one CMC joint were present in 18 of our 19 cases (94.74%). 12 of them had dislocations in more than one CMC (most commonly MC IV combined with MC V dislocations) (63.16%). Furthermore, bony avulsion of ligaments imposed in 42.11% (eight cases): six patients ruptured the dorsal carpometacarpal ligaments, whereas two patients had an avulsion in the dorsal intercarpal ligament fixing the hamate onto the capitate. Additional fractures in combination with the hamate fracture:

- metacarpal III: 6 cases (31.58%)
- metacarpal IV: 12 cases (63.16%)
- metacarpal V: 2 cases (10.53%)
- capitate: 4 cases (21.05%)

None of the here presented patients had an isolated coronal fracture of the hamate body without any accompanied injuries.

The specific therapeutic approach for the co-injuries is shown in Table 1 as well. The decision whether dislocations in the carpometacarpal joints required an arthrodesis or not, was made intraoperatively; the stability was evaluated after correct osteosynthesis of the hamate bone and, if fractured, the metacarpal bones.

Figure 2 and Figure 3 show the therapeutic concept in the here presented case series addressing the hamate fracture itself, visualizing the distribution of closed versus open reduction and the material used for open approach respectively.

All 19 patients were treated surgically, due to the following reasons: severity of fracturing implicating no success for conservative approach, unstable situation in all cases (CMC dislocation, ligamentous rupture, co-injuries), delay in three cases because of externally misdiagnosis, demand of all patients for a fast recovery and return to work/physical activity.

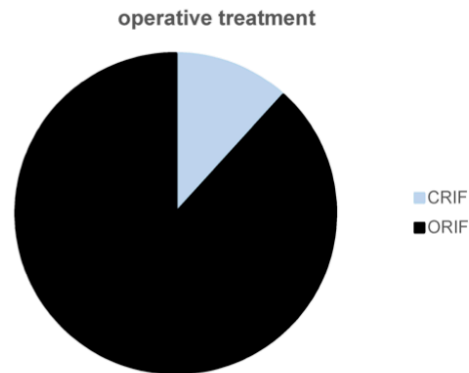


Figure 2: Distribution of open versus closed surgery in the here presented cohort

17 patients were treated with open reduction (fractures type A or B in Ebraheim's classification), whereas in two cases fracture repositioning was done via closed reduction and K-wire osteosynthesis (Figure 2). The group of patients with open reduction and internal fixation got the osteosynthesis in (Figure 3):

**material for osteosynthesis for coronal fracture of hamate in open treatment**

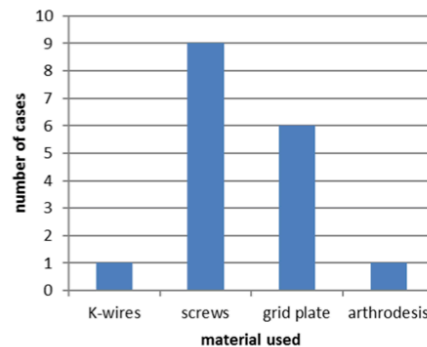


Figure 3: Distribution of different material for osteosynthesis in the subpopulation treated with ORIF

- 1 case with K-wire OS
- 9 cases with OS via screws
- 6 cases with OS via grid plate
- 1 case with misdiagnosed hamate fracture externally and secondary arthrosis including chronic subluxation of MC bones as well as malpositioned healing of hamate, where arthrodesis was the only option left

Main causes for using different material were the number and sizes of fragments, the accompanied injuries and the grade of stability anticipated. A CT scan preoperatively plainly simplifies the preparation for operative procedure and is even necessary to make clear whether an open



**Table 1: Listing of patient's accompanied injuries, treatment of those and type of osteosynthesis material for hamate's body**

Case number	Co-injuries	Treatment of co-injuries	Osteosynthesis of hamate fracture
case 1	1. luxation CMC IV and V 2. bony ligamentous avulsion (dorsal intercarpal lig. hamate – capitate)	ad 1. no treatment (stable after OS of hamate) ad 2. suture of ligament	ORIF (2x 1.5 mm screws)
case 2	1. fracture-dislocation of MC IV base 2. distinct soft tissue damage	ad 1. K-wire OS	ORIF (K-wires)
case 3	1. fracture of MC III base 2. luxation CMC III, IV, V 3. bony ligamentous avulsion (dorsal carpometacarpal ligg. III and V)	ad 1./2. temporary arthrodesis MC III, IV and V ad 3. suture	ORIF (2x 1.5 mm screws)
case 4	1. luxation CMC IV and V 2. fracture MC IV base 3. fracture of capitate	ad 1. temporary arthrodesis MC IV and V ad 2. K-wire OS ad 3. K-wire OS	CRIF (K-wires)
case 5	1. luxation CMC V 2. fracture of MC III and IV bases 3. bony ligamentous avulsion (dorsal carpometacarpal ligg. IV and V)	ad 1. no treatment (stable after OS of hamate) ad 2. K-wire OS for MC III and temporary arthrodesis toward capitate, 1.5 mm screw OS for MC IV ad 3. suture	ORIF (grid plate 1.3 mm, 4 holes)
case 6	1. fracture MC III and IV base 2. dorsoulnar avulsion of capitate bone	ad 1. OS via locking-compression plate 2.0 MC III, temporary arthrodesis MC IV towards capitate ad 2. no treatment necessary	ORIF (1x 1.5 corticall screw, 2x 2.0 corticall screws)
case 7	1. fracture MC IV shaft 2. luxation CMC V 3. bony ligamentous avulsion (dorsal CMC lig. IV)	ad 1. OS via screws (1x 1.3 mm, 1x 1.5 mm) ad 2. temporary arthrodesis MC V towards hamate ad 3. cerclage MC IV – hamate	ORIF (1x 1.5 mm screw)
case 8	1. fracture MC III shaft 2. fracture MC IV base 3. luxation CMC V	ad 1. OS via plate (2.0 mm T plate) ad 2. OS via plate (2.0 mm LCP and 1.5 mm screw) ad 3. temporary arthrodesis MC V towards hamate	ORIF (2x 1.5 mm screws)
case 9	1. luxation CMC IV 2. luxation CMC V 3. bony ligamentous avulsion (dorsal CMC lig. V)	ad 1. no treatment (stable after OS of hamate) ad 2. temporary arthrodesis MC V towards hamate ad 3. K-wire refixation of avulsion	ORIF (1.3 mm grid plate, 4 holes)
case 10	dislocation MC V within fracture gap	no treatment necessary due to stable situation after OS of hamate	ORIF (2x 1.5 screws)
case 11	1. luxation CMC IV 2. luxation CMC V 3. fracture of MC IV shaft	ad 1. temporary arthrodesis MC IV towards capitate ad 2. temporary arthrodesis MC V towards hamate ad 3. OS via plate (1.5 mm T-plate + outer implant 1.3 mm screw)	ORIF (1.5 mm grid plate, 4 holes)
case 12	1. luxation CMC IV 2. luxation CMC V 3. fracture MC IV shaft 4. bony ligamentous avulsion (dorsal CMC lig. V)	ad 1. no treatment (stable after OS of hamate and stabilizing CMC V) ad 2. temporary arthrodesis MC V towards hamate ad 3. OS via plate (1.5 mm T-plate) ad 4. via OS of hamate + cerclage	ORIF (1.3 mm grid plate, 4 holes and 1.0 mm screws)
case 13	1. luxation CMC III, IV and V 2. fracture MC III and IV bases 3. bony ligamentous avulsion (dorsal intercarpal lig. hamate – capitate)	ad 1. temporary arthrodesis MC V towards ad 2. K-wire OS and temporary arthrodesis due to persistent subluxations tendency ad 3. suture	ORIF (2x 1.3 mm screws)
case 14	1. fracture of ulna-shaft 2. Bennet's fracture 3. luxation CMC II, III, IV, V 4. fracture of MC I, II, III, IV bases 5. fracture of capitate 6. STT rupture 7. distinctive soft tissue damage	ad 1. OS via plate and and screws (2x 2.4 mm) ad 2. K-wire OS ad 3. temporary arthrodesis CMC I to III ad 4. MC I: CRIF and TA MC I to scaphoid MC II: CRIF (K-wire) MC III: ORIF K-wire and spongiosa plasty MC IV: ORIF screws and spongiosa plasty ad 5. suture anchor OS (Mitek® 3.0) ad 6. temporary arthrodesis STT	ORIF (1x 1.3 mm screws)
case 15	fracture of capitate	1x 1.5 mm and 1 x 2.0 mm screw	ORIF (1.5 mm grid plate, 4 holes)
case 16	1. luxation of CMC IV and V 2. fracture of MC IV and V bases	ad 1. temporary arthrodesis MC IV/ V towards capitate ad 2. K-wire OS MC IV and V	ORIF (2x2.0 mm screws)
case 17	1. fracture of MC IV base 2. luxation of CMC V 3. bony ligamentous avulsion (dorsal CMC ligg. IV and V)	ad 1. OS via 2.0 locking compression plate ad 2. temporary arthrodesis MC V to hamate ad 3. K-wire, ligamentous suture, temporary arthrodesis MC IV towards capitate	ORIF (1.5 mm grid plate, 4 holes)
case 18	1. luxation of CMC IV and V 2. distinctive soft tissue damage	ad 1. temporary arthrodesis MC IV to hamate and capitate MC V towards hamate	CRIF (K-wires)
add.	1. chronic subluxation MC IV and chronic luxation MC V 2. missed externally 3. malpositioned healing of hamate 4. secondary arthrosis CMC IV/V	ad 1. arthrodesis MC IV and V towards hamate including spongiosa plasty	arthrodesis via 2.4 mm T-plate and 2.0 mm screw

OS= osteosynthesis, CMC= carpometacarpal joint, MC= metacarpal bone



**Figure 4:** Three patients with coronal hamate's fracture (A – grid plate OS, B – K-wire and screw OS, C – screw OS). From left to right: preoperative x-ray, preoperative CT scan, postoperative x-ray

approach is needed or a CRIF (closed reduction and internal fixation) should be considered.

Figure 4 shows three radiological series, consisting of one exemplary pre-operative x-ray image, pre-operative CT image, and the post-operative final x-ray. Patient A was treated with a grid plate, patient B via K-wire osteosynthesis and patient C got a screw osteosynthesis of the hamate body.

Immobilization (casting in short thumb cast) was conducted for either five, six or seven weeks. The length depended on the accompanied injuries, the grade of instability and the patient's compliance.

The dissolution of arthrodesis in CMC joints was timed for five to six weeks after initial operation. All patients got x-ray imaging for final decision whether the ulnar carpal region was considered stable and allowed removing of the arthrodesis. The last and essential step in regular treatment was the referral to specialized occupational therapists and physiotherapists to regain best functional outcome possible.

### Long-term evaluation

In long-term evaluation, nine patients could be included. For subjectively measuring patient's satisfaction with the treatment out-come, the M<sup>2</sup> DASH was used.

The Manchester-Modified Disability of the Shoulder, Arm and Hand Score (M<sup>2</sup> Dash) imposed with an average of 26.22 points (MD=22/SD=11.31/MIN=18/MAX=52). Three patients got 18 points, showing the best results possible; whereas one patient had a poor outcome with 52 points in the M<sup>2</sup> DASH. This patient missed the date for removal of the arthrodesis K-wires (actually five weeks after definitive care) that may contribute to the unsatisfying result.

None of the re-evaluated patients sorrowed for severe pain in rest. One patient complained about rest-pain seldomly and one after mild activities. Four patients suffered from pain (ranging from three to five on NAS) after heavy burden (e.g. boxing, weight lifting). There were no clinical or radiological reasons visible for these pain episodes, except in the patient with still enclosed arthrodesis K-wires.

Additionally, one patient noticed dysaesthesia after heavy burden in the dorsal of CMC IV.

By exploring the range of motion of the operated hand, these are the results:

- dorsal extension: average 83.33° (MD=85/SD=3.54/MIN=75/MAX=85)
- flexion: average 77.78° (MD=80/SD=4.41/MIN=70/MAX=80)
- ulnar deviation: full range of motion in 100%
- radial deviation: full range of motion in 100%

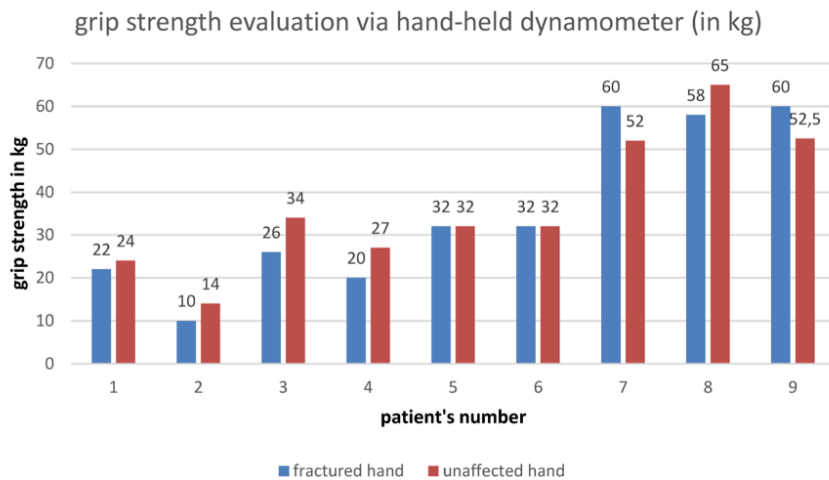


Figure 5: Grip strength evaluation of fractured versus unfractured hand

Additionally, a performance testing was conducted:

- fist clenching: complete without pain in 100%
- pinch grip complete in 77.78%, gap of 0.2 cm in 1 case, gap of 0.5 cm in 1 case, pain free in 100%
- opposition digitus manus I–V complete in 66.67%, gap of 0.1 cm in 1 case, gap of 0.5 cm in 2 cases

Grip strength evaluation was performed by using the hand-held dynamometer, visualized in Figure 5.

Eight of nine patients (88.89%) were satisfied with their overall outcome and stated full level of activity in the fields of work and physical activity. One patient with poorer outcome in long-term evaluation missed to return for removal of K-wire arthrodesis even one year after initial operation. This led to the high number in M<sup>2</sup>-DASH (52 points), seldom pain in rest, pain after mild activities of daily living, restricted flexion-extension arc, gap in opposition ability and pinch grip as well as less grip strength.

## Discussion

Fractures of the hamate, including hook fractures and those of the hamate body, are stated with 2–4% of all carpal fractures in the literature [1], [2], [3], [4], [5]. Concerning fracture-dislocations of the carpometacarpal region, the hamate-metacarpal fracture-dislocation constitutes 10–15% of those [11].

Generally, hamate fractures have to be subdivided into hook fractures and fractures of hamate's body. Hook fractures were not discussed and included within this paper. Body fractures at all, are less frequent [19], [24]. This kind of fracture group consists of different entities with variant therapeutic considerations. The first classification of hamate fractures has been established by Milch et al. in 1934 [6]. It does not include the here discussed coronal fracture [6]. Due to further clinical and

radiological investigations, other classifications were presented with a more detailed view on body fractures including coronal body fractures as well [7], [8], [9], [10]. Two of them are mostly named in literature – Cain's classification on hamato-metacarpal-dislocations and Ebraheim's classification on hamate fractures [7], [8]. Whereas Cain et al. concentrated on the dislocation of fifth CMC and further co-fractures of the hamate, Ebraheim et al. put the course of the fracture line through hamate's body in the focus of classifying [7], [8].

For preoperative planning, we used Ebraheim's variant of subdivision because we hypothesized, that this might deliver the best information necessary for treatment considerations.

Some main facts about the specific anatomy and over all biomechanical situations in the healthy ulnar carpal region and its articulation with the metacarpal bones are necessary to know to understand the trauma leading to a fractured hamate bone.

The precise use of hand functions is essential for everyday-life and a substantive factor of human beings. This evolutionary asset is realised through the concise interaction of different anatomical structures and bonds in the human hand.

Sangole et al. postulated, that the kinematics of the CMC joints are necessary to let the palm form a bow and therefore realising a precise grip [29], [30]. The impairment of these CMC can lead to highly decreased grip strength [31].

El-Shennawy et al. performed a biomechanical study with special regard to the carpometacarpal joints (CMC) and their differences. The working group concluded that the degrees of movement are increasing from radial to ulnar. Therefore, the CMC V possesses the greatest range of motion (ROM) with special regard to the ROM of the fifth CMC depending on the unaffected movement of the fourth CMC [10], [32], [33]. The reason for this rise of mobility



**Table 2: Hints for coronal hamate's fracture in conventional x-ray images [1], [2], [8], [11], [20], [37]**

Posterior-anterior view	Lateral view
missing alignment in CMC	luxation/subluxation in CMC
missing articulation gap in CMC	dorsal dislocation of hamate itself
overlap of hamate and triquetrum	
hamate's inferior margin showing double contour	
obliteration of fifth CMC	

is the looser ligamentous attachments around CMC IV and V in comparison to those of CMC II and III [10], [34].

Fractures of the metacarpal bones IV and V as well as dislocations in the carpometacarpal joints can be accompanied by coronal fractures of the hamate [1], [2], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [25], [26], [34], [35], [36], [37]. Therefore, a restricted mobility and function ensues [38], [39].

Coronal fractures of the hamate appear mostly after punching injuries or motor vehicle accidents [1], [4], [5], [7], [8], [10], [11], [12], [13], [14], [16], [17], [19], [20], [21], [23], [25], [26], [35], [37], [40], [41]. Other mechanisms of trauma are less frequent. Mainly, the fracture occurs after a transmission of forces along the fourth metacarpal (MC) axis [1], [5], [6], [7], [10], [11], [12], [14], [15], [20], [21], [24], [35], [36], [37], [42]. In a radial-deviated and about ten degree flexed fist, the distal part of the fourth MC bone stands upon the other anatomical structures and is the main point for loading the forces in a situation of falling or punching [11], [12]. Forwarding this kinetic energy leads to a fractured hamate and a shortening of the fourth finger including fourth metacarpal bone [7], [35]. This results in a loss of targeted power transmission towards the carpal structures and the base of fifth metacarpal. Now, the forces are directly transferred to the fifth MC shaft and may induce a fracture. Possible as well are base fractures of the fourth and fifth metacarpal bone [7], [21], [35]. Biomechanically important is the degree of flexion in CMC joint during the trauma; whereas a palmar-flexed MC bone is leading to a dorsal rim fracture of the hamate, a less flexed MC bone leads to the coronal body fracture and a furtherly extended MC bone contributes to a hook-fracture occurrence [2], [7], [35].

Typically, the coronal fracture of the body of the hamate imposes with a dorso-ulnar pain, accentuating by manual pressing or passive movement, dorsal ecchymosis and swelling [1], [2], [4], [5], [6], [7], [8], [11], [12], [13], [14], [15], [17], [18], [19], [20], [22], [26], [35], [37], [40], [43]. Further and more suspicious findings in clinical evaluation are caused by specific complications of the coronal fracture: palsy of motor branch of ulnar nerve, fractures of fourth and/or fifth MC, dislocations or subdislocations of CMC four and/or five, soft tissue damage, rupture of dorsal ligaments or rupture of extensor tendons. The compromising of ulnar nerve's deep branch is either caused by contusion or by pressure induced by haemorrhage and/or oedema [1], [11], [20], [44], [45]

and appears more often in connection with hook fractures because of its anatomical course around the ulnar side of the hamulus [1]. The impairment causes atrophy of interosseous muscles [11], [45].

Additionally, the coronal fracture of hamate's body can be accompanied with either fractures of the fourth and/or fifth metacarpal bone or dislocations of the fourth and/or fifth CMC or a combination of both comorbidities. This causes a piano key phenomenon on the dorso-ulnar hand [11], [36] due to the mainly dorsally displaced MC base [1], [2], [7], [8], [10], [13], [14], [25], [35], [36], [43]. Furthermore, it leads to a weakened grip strength, limited opposition ability, pain accentuation by pressing along the MC axis and restricted mobility in CMC joints [6], [11], [12], [13], [14], [15]. The displacement is caused by a rupture of the interosseous ligaments that tie the metacarpals together. Other reasons are the rupture of the dorsal articular ligaments, the joint's capsule, and the tensile forces of the tendons of flexor carpi ulnaris muscle and hypothenar muscles [2], [8], [10], [13], [20], [40], [46], [47], [48].

In most of our cases, the symptoms caused by accompanied injuries were predominant in comparison to those caused by hamate's fracture itself.

Without specific clinical findings caused by certain comorbidities or complications of hamate's body fracture, the initial diagnosis is even more difficult. There is wide consent in literature, that the conventional x-ray images are incommensurate for diagnosing the coronal fracture of hamate's body [2], [6], [7], [8], [11], [13], [14], [15], [16], [19], [20], [23], [24], [25], [26], [36]. Table 2 shows possible hints in x-ray images.

However, some authors described the initial x-rays without any obvious indications for a hamate's fracture at all. This leads to an often-delayed diagnosis and therapy (either surgical or conservative) [2], [5], [16], [18], [20], [21], [23], [42], [49]. Langenhan et al. presented that even just one third of all coronal fractures of hamate's body is found in initial presentation [11]. Chase et al. evaluated a diagnostic delay of one month after initial presentation and Ebraheim et al. an average delay of ten days [7], [20]. Wharton et al. performed a follow-up by data from the M-DASH and reported that one patient with later diagnosis and therefore delayed treatment had a significant less satisfying outcome than the others with lower delay in diagnosis [25]. This may be caused by the complications because of missing initial diagnose: muscular imbalance, arthritis, weakened grip strength and pseudarthrosis with persisting pain and functional impairment [2], [11], [14], [21], [24], [38], [42], [50]. It

**Table 3: Collocation of studies dealing with coronal fractures of the hamate bone, showing patients count and chosen treatment.**

Authors	Number of enrolled patients	Therapy
Borse et al. [53]	1	ORIF (screws)
Busche [51]	1	conservative
Chalmers et al. [18]	1	ORIF (lag screws)
Chase et al. [20]	1	ORIF (K-wires)
Ebraheim et al. [8]	11	1x conservative 4x ORIF 6x CRIF
Fakih et al. [17]	1	ORIF (2 Herbert screws)
Gala et al. [2]	1	ORIF (screw + K-wires)
Gella et al. [19]	1	ORIF (twin fix screw)
Hirano et al. [9]	11	5x CRIF 6x ORIF
Kaneko et al. [13]	2	ORIF (screws)
Kang et al. [12]	1	CRIF
Kimura et al. [37]	1	ORIF (K-wires)
Langenhan et al. [11]	2	ORIF (screw + K-wires, K-wires)
Loth et al. [43]	4	ORIF (mini lag screws + K-wires)
Roche et al. [14]	1	ORIF (Liebinger's screws)
Schwartz [52]	1	ORIF
Sullivan et al. [1]	1	ORIF (K-wires)
Takami et al. [40]	2	ORIF (K-wires)
Torres et al. [41]	1	conservative
Wharton et al. [25]	14	3x ORIF 5x conservative 6x CRIF

ORIF: open reduction and internal fixation;  
CRIF: closed reduction and open fixation

underlines the necessity for a clear algorithm in diagnosing hamate's coronal fracture, to avoid these complications caused by delayed diagnostics. Gala et al. as well as Valente et al. are concerned that a strong clinical suspicion and proper radiological imaging are essential to recognize the fracture in patient's initial presentation in the hospital [2], [23]. We want to add, that not only the clinical suspicion, but also the trauma history and the presence of co-fractures (like MC IV or V) can act as clues in initial diagnosing-process. In 2013 Gala et al. said, that the optimal and adequate radiological examination is still unclear [2]. Moreover, even nowadays there is no marked improvement. The standard radiographs (including lateral and anterior-posterior views) are mostly uncertain, as already outlined. As improvement, many authors gave the advice to conduct an oblique image of the carpal region [2], [4], [5], [7], [8], [11], [12], [13], [14], [17], [18], [20], [21], [24], [31], [37], [40].

However, the right angle seems to be unclear as well: there are different opinions whether 15°, 30° or 40–50° delivers the information needed [2], [7], [8], [14], [18], [24], [31], [40]. Andresen et al. published an evaluation in 1998 about hamate fractures (hook and corpus fractures included) in three different clinics over five years

and they concluded, that in oblique views angling between 40 and 50 degrees, only 50% of all fractures were recognized [24]. Therefore they advised to perform ap, lateral and carpal tunnel (carpal tunnel view especially for hook fractures and very palmar body fractures) views standardly [24]. On the other hand, different authors recommend the 30° oblique view [2], [5], [8], [31], [40], whereas Cain et al. urge a combination of 15° and 45° supination image [7]. We have good results with a 30° oblique view, because of the fracture itself and the co-injuries getting unmasked clearly within this angle. However, we want to underline the special need for further studies dealing with the evaluation of the perfect angle of oblique x-ray images in carpal fractures.

Nonetheless, for further therapeutic planning, the performance of a computed tomography study is indispensable. Concerning this point, there is nearly unified consent in literature [2], [4], [5], [7], [8], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [23], [24], [26], [35], [36]. Especially Andresen et al. gave objectified data in comparing x-ray's and CT's outcome in diagnosing coronal fractures of hamate bone: whereas the conventional x-ray studies have an accuracy of 80.5%, CT studies stated 97.2%. Furthermore, the CT is superior in sensitiv-

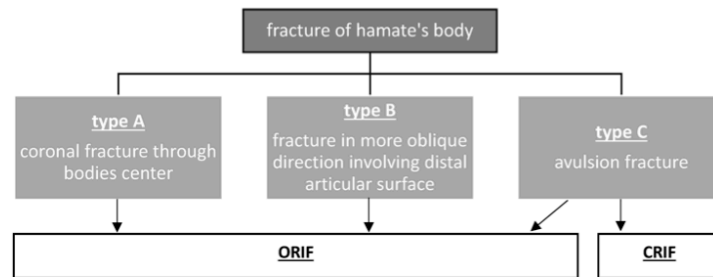


Figure 6: Ebraheim's classification of coronal fractures of the hamate bone [8] with suggested treatment

ity and specificity (100% and 94.4% compared to 72.7% and 88.8% for x-ray analysis) [24]. The data based on clinical findings and artificial fractured hamates in corpse hands [24].

In synopsis of all these findings and opinions concerning an adequate diagnostic process for coronal fracture of hamate's body, we would like to recommend the following algorithm: Primarily, history with special regard to trauma mechanism and the clinical examination (with the knowledge of mostly unspecific clinical findings and the possible co-injuries) is necessary. The conventional x-ray analysis is supplemented with an additional 30° supination oblique image, to provide better visibility of CMC joint. A computer tomographic scan completes the diagnostic approach and forms the basis of further therapeutic planning.

There is no clear treatment algorithm published in current literature. All advice given so far is based on experts' opinions and either case reports or smaller case series with no statistical significance and plain evidence. Generally, there is a choice between a conservative or operative approach. The main point within this deliberation is, whether the coronal fracture of the hamate is supposed to be stable or unstable. By comparing the current literature, there is no clear consent towards this issue [2], [3], [8], [10], [11], [17]. Whereas authors like Busche et al. and Torres et al. described good results with their conservative treatment including a casting regimen, most of the other working groups decided for operative therapy in either open or closed reduction and internal fixation [1], [2], [9], [11], [12], [13], [14], [17], [18], [19], [20], [23], [37], [40], [41], [43], [51], [52]. Table 3 shows a compilation of studies dealing with coronal fractures and their therapy.

The conservative treatment can only be an option for coronal fractures without any dislocation at all. Gala et al. stated that this fracture type is exceedingly rare [2]. Additionally, in our case series, there were no isolated coronal fractures without any accompanied injuries. Kim et al. and Cain et al. support this observation with their finding that all CMC dislocations occur with any kind of hamate fracture are usually unstable and will dislocate again after initial closed reduction [7], [10]. Furthermore, Kang et al. saw the risk for an aggravated dislocation by just casting carpal fractures without any operative fixation

[12]. Ebraheim et al. published a case series of 11 patients with hamate fractures combined with CMC dislocations. They treated 10 patients surgically and one case in closed reduction and casting. The loose of anatomical repositioning and the development of persistent subluxation in CMC were described in the conservative case [8]. Hence, the hamate fracture was considered unstable and required operative treatment to give best outcomes [8]. The results of our study support this conclusion. If the coronal hamate fracture is combined with further injuries, most of the results in previous literature underline the inadequacy of conservative treatment [2], [9], [11], [12], [15], [16], [20], [25], [35], [43]. Furthermore, we believe that subluxations in CMC are a strict contraindication for conservative treatment at all, due to the unstable situation and mostly poor outcomes in published studies [8], [11].

Reasons leading to the decision for operative treatment are mostly the dislocations in CMC joints, the instability of the fracture and included joint involvement [2], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [20], [25], [37], [43].

The results of CRIF (closed reduction and internal fixation) against ORIF (open reduction and internal fixation) are difficult to compare because of the lack of larger case series or randomized trials. Additionally, even the indication for either the one or the other procedure is not defined clearly and inconclusive comparing different studies. Mainly, the decision for either ORIF or CRIF is influenced by the habitus of the fracture, visible in the CT scan preoperatively. If there are only a few fragments and the fracture dislocation is considered to be reconstructable with a closed approach including K-wire osteosynthesis, and there are no co-injuries requiring an open treatment, CRIF might be a valid option. In accordance to Ebraheim's suggestions and his classification (Figure 6), we decided for the following stage-depending treatment:

In type A and type B fractures an ORIF with either screw or plate osteosynthesis was performed. Closed reduction and internal fixation was chosen for type C fractures to reach anatomical reconstruction again [8].

The statements concerning follow-up examinations are very poor in current literature. Only Valente et al. described a functional impairment by evaluating deficiencies of 14° in flexing and 20° in extending CMC after CRIF



[23], whereas nearly all of the other studies gave no further information to structured follow-up protocols [2], [8], [11], [12], [13], [16], [17], [18], [20], [40], [43]. Wharton et al. interviewed 12 of their patients by telephone with using the M-DASH score. They stated results reaching from 0 (3 cases) up to 45 (one case) points [25]. Two more cases where 35 and 36 points respectively with all the others laying in between. There is no average given and the reliability of follow-up stays restricted using the M2 DASH as subjective instrument for examination only [25]. The here used M<sup>2</sup> DASH uses a different point calculation, wherefore the comparability is unclear. Therefore, a detailed comparison of our long-term follow-up results with these of other study protocols is not possible at all. Kimura et al. gave their results of one case of coronal fracture treated with ORIF and K-wire osteosynthesis after ten months showing 70° flexion, 80° extension, 30° ulnar deviation, and 10° radial deviation [37]. The range of radial deviation is more restricted in their studies than in our examination in long-term follow-up, whereas the other movements are comparable to our findings.

Based on our own examinations, we hypothesize that there can be no clearly defined treatment algorithm for coronal hamate fractures at all. This is caused by a diversity of accompanied injuries, which demands for a high grade of experience to evaluate the situation of stability for each fracture individually. Plainly, in our opinion, there is no complete "stable" or "unstable" situation as hypothesized by some authors. Therefore, it has to be proven whether the fracture can be repositioned in a closed approach or if an open surgery is necessary. When performing ORIF, the surgeon has the choice between K-wire, screw, or plate osteosynthesis. As indicators for the different material serve the number of fragments, the extent of co-injuries, and their purport for stability in the ulnar carpal region and the expertise of the surgeon himself.

Due to few case numbers, there was no option to perform an advanced subgroup analysis for comparing the outcome of these different material for osteosynthesis. Because of the rarity of hamate fractures in coronal plain, a multicenter and larger study has to be considered to generate reliable data for giving further advice. We can only say that the outcome of the patients treated and examined in long-term yields good results leading to the hypothesis that the different materials used are not the specific determining factors for functional outcome and patients' satisfaction.

Limitations of this paper are the still small number of recruited patients and the amount of patient's non-response. This furthermore leads to a small number of subgroups (e.g. plate versus screw in the ORIF group). Therefore, a significant analysis as well as valid and reliable outcomes comparing these subgroups are not feasible. There is specific need for subsequent investigations especially in randomized controlled groups to create more objective data. However, the here presented case series of coronal hamate fractures is, to our knowledge,

the largest ever published. The clinical examination as well as the surgical therapy was performed by the same physician, which prevents interrater bias. The use of clearly defined algorithms in diagnostics and therapy avoid arbitrary decisions in single cases.

## Conclusion

In hamate fractures, the standard radiographs including an anterior-posterior and a lateral view only, are mostly inconclusive and incommensurate for the definite diagnosis and evaluation. Therefore, the diagnostic approach has to be completed with an oblique view of the carpal region and a CT scan, providing the basis for therapeutic planning. The conservative treatment is not to be recommended, due to high complication rates such as chronic subluxations in CMC joints and absent in pain relief. The open reduction and internal fixation, in comparison to the closed approach, offers the following advantages: anatomical repositioning of the fractured hamate bone, physiological restoration of articular surfaces, and possible remedying of co-injuries. The good postoperative results, in short- and long-term evaluation, are justifying the open approach. Especially the "add" case in the given list of cases shows the disadvantages of a conservative treatment in hamate's coronal fracture. The closed reduction and internal fixation remain an option for type C body fractures (according to Ebraheim's classification). Open reduction should always be considered intraoperatively as an operative extension.

## Notes

### Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

## References

1. Sullivan KL, Karasick D. Case report 397: Fracture of the hamate in its coronal plane and dislocation of the hamate-triquetrum. *Skeletal Radiol.* 1986;15(7):593-6. DOI: 10.1007/BF00361063
2. Cano Gala C, Pescador Hernández D, Rendón Díaz DA, López Olmedo J, Blanco Blanco J. Fracture of the body of hamate associated with a fracture of the base of fourth metacarpal: A case report and review of literature of the last 20 years. *Int J Surg Case Rep.* 2013;4(5):442-5. DOI: 10.1016/j.ijscr.2013.01.023
3. Nisenfield FG, Neviasser RJ. Fracture of the hook of the hamate: a diagnosis easily missed. *J Trauma.* 1974 Jul;14(7):612-6. DOI: 10.1097/00005373-197407000-00009
4. Snoap T, Habeck J, Ruiter T. Hamate Fracture. *Eplasty.* 2015;15:ic28.
5. Athanasiou V, Iliopoulos ID, Pantazis K, Panagopoulos A. Fracture of the Body of the Hamate With Dorsal Dislocation of the 4 and 5 Metacarpals: A Case Report. *Open Orthop J.* 2017;11:447-51. DOI: 10.2174/1874325001711010447

6. Milch H. Fracture of the hamate bone. *J Bone Joint Surg.* 1934;16:459-62.
7. Cain JE Jr, Shepler TR, Wilson MR. Hamatometacarpal fracture-dislocation: classification and treatment. *J Hand Surg Am.* 1987 Sep;12(5 Pt 1):762-7. DOI: 10.1016/S0363-5023(87)80064-3
8. Ebraheim NA, Skie MC, Savolaine ER, Jackson WT. Coronal fracture of the body of the hamate. *J Trauma.* 1995 Feb;38(2):169-74. DOI: 10.1097/00005373-199502000-00004
9. Hirano K, Inoue G. Classification and treatment of hamate fractures. *Hand Surg.* 2005;10(2-3):151-7.
10. Kim JK, Shin SJ. A novel hamatometacarpal fracture-dislocation classification system based on CT scan. *Injury.* 2012 Jul;43(7):1112-7. DOI: 10.1016/j.injury.2012.02.019
11. Langenhan R, Hohendorf B, Probst A. Koronare Spaltluxationsfrakturen des Os hamatum und der Os metakarpale IV-Basis: eine seltene Form der karpometakarpalen Verletzung [Coronal fracture dislocation of the hamate and the base of the fourth metacarpal bone: a rare form of carpometacarpal injury]. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2011 Jun;43(3):140-6. DOI: 10.1055/s-0031-1271802
12. Kang SY, Song KS, Lee HJ, Lee JS, Park YB. A case report of coronal fractures through the hamate, the capitate, and the trapezoid. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2009 Jul;129(7):963-5. DOI: 10.1007/s00402-009-0817-9
13. Kaneko K, Ono A, Uta S, Mogami A, Shimamura Y, Iwase H, Kurosawa H. Hamatometacarpal fracture-dislocation: distinctive three dimensional computed tomographic appearance. *Chir Main.* 2002 Jan;21(1):41-5. DOI: 10.1016/S1297-3203(01)00087-7
14. Roche S LB, Street J, O'Sullivan M. Fourth metacarpal base fracture in association with coronal hamate fracture. *Injury Extra.* 2005;36:316-8. DOI: 10.1016/j.injury.2004.12.058
15. Dunet B, Vargas M, Pallaro J, Tournier C, Fabre T. A rare coronal fracture of the medial carpal column: Case report. *Chir Main.* 2015 Apr;34(2):94-7. DOI: 10.1016/j.main.2015.01.003
16. Robison JE, Kaye JJ. Simultaneous fractures of the capitate and hamate in the coronal plane: case report. *J Hand Surg Am.* 2005 Nov;30(6):1153-5. DOI: 10.1016/j.jhsa.2005.06.016
17. Fakh RR, Fraser AM, Pimpalnerkar AL. Hamate fracture with dislocation of the ring and little finger metacarpals. *J Hand Surg Br.* 1998 Feb;23(1):96-7. DOI: 10.1016/S0266-7681(98)80231-3
18. Chalmers RL, Kong KC. An unusual fracture of the hamate. *J Hand Surg Br.* 2006 Oct;31(5):577-8. DOI: 10.1016/j.jhsb.2006.04.024
19. Gella S, Borse V, Rutten E. Coronal fractures of the hamate: are they rare or rarely spotted? *J Hand Surg Eur Vol.* 2007 Dec;32(6):721-2. DOI: 10.1016/J.JHSE.2007.05.006
20. Chase JM, Light TR, Benson LS. Coronal fracture of the hamate body. *Am J Orthop.* 1997 Aug;26(8):568-71.
21. Cecava ND, Finn MF, Mansfield LT. Subtle radiographic signs of hamate body fracture: a diagnosis not to miss in the emergency department. *Emerg Radiol.* 2017 Dec;24(6):689-95. DOI: 10.1007/s10140-017-1523-5
22. Mouzopoulos G, Vlachos C, Karantzalis L, Vlachos K. Fractures of hamate: a clinical overview. *Musculoskelet Surg.* 2018 May 29. DOI: 10.1007/s12306-018-0543-y
23. Valente L, Sousa A, Gonçalves AM, Loureiro M, Almeida L. Fractura do unciforme com luxação carpometacarpica [Fracture of the hamate with carpometacarpal dislocation]. *Acta Med Port.* 2007 Mar-Apr;20(2):179-84.
24. Andresen R, Radmer S, Brossmann J, Sartoris DJ, Sparmann M, Bogusch G, Banzer D. Darstellung von Os hamatum-Frakturen im konventionellen Röntgenbild und CT: experimentelle Ergebnisse sowie klinische Erfahrungen [The imaging of hamate fractures in the conventional X-ray and CT: experimental results and clinical experiences]. *Rofo.* 1998 Jul;169(1):53-7. DOI: 10.1055/s-2007-1015049
25. Wharton DM, Casaletto JA, Choa R, Brown DJ. Outcome following coronal fractures of the hamate. *J Hand Surg Eur Vol.* 2010 Feb;35(2):146-9. DOI: 10.1177/1753193408098907
26. Uhl RL, Campbell M. Hamate fracture-dislocation: a case report. *J Hand Surg Am.* 1995 Jul;20(4):578-80. DOI: 10.1016/S0363-5023(05)80271-0
27. Khan WS, Dillon B, Agarwal M, Fehily M, Ravenscroft M. The validity, reliability, responsiveness, and bias of the Manchester-Modified Disability of the Arm, Shoulder, and Hand score in hand injuries. *Hand (N Y).* 2009 Dec;4(4):362-7. DOI: 10.1007/s11552-009-9191-x
28. Bohannon RW. Reference values for extremity muscle strength obtained by hand-held dynamometry from adults aged 20 to 79 years. *Arch Phys Med Rehabil.* 1997 Jan;78(1):26-32. DOI: 10.1016/S0003-9993(97)90005-8
29. Sangole AP, Levin MF. Arches of the hand in reach to grasp. *J Biomech.* 2008;41(4):829-37. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2007.11.006
30. Buffi JH, Crisco JJ, Murray WM. A method for defining carpometacarpal joint kinematics from three-dimensional rotations of the metacarpal bones captured in vivo using computed tomography. *J Biomech.* 2013 Aug;46(12):2104-8. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2013.05.019
31. Bora FW Jr, Didizian NH. The treatment of injuries to the carpometacarpal joint of the little finger. *J Bone Joint Surg Am.* 1974 Oct;56(7):1459-63. DOI: 10.2106/00004623-197456070-00014
32. El-Shennawy M, Nakamura K, Patterson RM, Viegas SF. Three-dimensional kinematic analysis of the second through fifth carpometacarpal joints. *J Hand Surg Am.* 2001 Nov;26(6):1030-5. DOI: 10.1053/jhsu.2001.28761
33. Nanno M, Buford WL Jr, Patterson RM, Andersen CR, Viegas SF. Three-dimensional analysis of the ligamentous attachments of the second through fifth carpometacarpal joints. *Clin Anat.* 2007 Jul;20(5):530-44. DOI: 10.1002/ca.20426
34. Lawlis JF 3rd, Gunther SF. Carpometacarpal dislocations. Long-term follow-up. *J Bone Joint Surg Am.* 1991 Jan;73(1):52-9. DOI: 10.2106/00004623-199173010-00007
35. Moriya K, Saito H, Takahashi Y, Ohi H. Divergent fracture-dislocation of the hamatometacarpal joint: case report. *J Hand Surg Am.* 2011 Jan;36(1):47-51. DOI: 10.1016/j.jhsa.2010.08.035
36. Bickert B. Hamatumfrakturen - Diagnostik und Therapie. *Handchirurgie Scan.* 2014;3:229-39. DOI: 10.1055/s-0034-1377447
37. Kimura H, Kamura S, Akai M, Ohno T. An unusual coronal fracture of the body of the hamate bone. *J Hand Surg Am.* 1988 Sep;13(5):743-5. DOI: 10.1016/S0363-5023(88)80139-4
38. Nakamura K, Patterson RM, Viegas SF. The ligament and skeletal anatomy of the second through fifth carpometacarpal joints and adjacent structures. *J Hand Surg Am.* 2001 Nov;26(6):1016-29. DOI: 10.1053/jhsu.2001.26329
39. Zemel NP, Stark HH. Fractures and dislocations of the carpal bones. *Clin Sports Med.* 1986 Oct;5(4):709-24.
40. Takami H, Takahashi S, Hiraki S. Coronal fracture of the body of the hamate: case reports. *J Trauma.* 1992 Jan;32(1):110-2. DOI: 10.1097/00005373-199201000-00023

41. Torres J AF, Monteiro E, Geiber P. Isolated fracture of the body of the hamate bone - About a case. *Rev esp cir ortop traumatol.* 2011;55(4):288-91. DOI: 10.1016/j.recot.2011.04.002
42. Thomas AP, Birch R. An unusual hamate fracture. *Hand.* 1983 Oct;15(3):281-6.
43. Loth TS, McMillan MD. Coronal dorsal hamate fractures. *J Hand Surg Am.* 1988 Jul;13(4):616-8. DOI: 10.1016/S0363-5023(88)80108-4
44. Waugh RL, Yancey AG. Carpometacarpal dislocations with particular reference to simultaneous dislocation of the bases of the fourth and fifth metacarpals. *J Bone Joint Surg Am.* 1948 Apr;30A(2):397-404. DOI: 10.2106/00004623-194830020-00013
45. Dahlin L, Palfy L, Widerberg A. Injury to the deep branch of the ulnar nerve in association with dislocated fractures of metacarpals II-IV. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg.* 2004;38(4):250-2. DOI: 10.1080/02844310410027266
46. Zoltie N. Fractures of the body of the hamate. *Injury.* 1991 Nov;22(6):459-62. DOI: 10.1016/0020-1383(91)90129-3
47. Lilling M, Weinberg H. The mechanism of dorsal fracture dislocation of the fifth carpometacarpal joint. *J Hand Surg Am.* 1979 Jul;4(4):340-2. DOI: 10.1016/S0363-5023(79)80070-2
48. Marck KW, Klasen HJ. Fracture-dislocation of the hamatometacarpal joint: a case report. *J Hand Surg Am.* 1986 Jan;11(1):128-30. DOI: 10.1016/S0363-5023(86)80119-8
49. Garcia-Elias M, Bishop AT, Dobyns JH, Cooney WP, Linscheid RL. Transcarpal carpometacarpal dislocations, excluding the thumb. *J Hand Surg Am.* 1990 Jul;15(4):531-40. DOI: 10.1016/S0363-5023(09)90011-9
50. Terrono A, Ferenz CC, Nalebuff EA. Delayed diagnosis in non-union of the body of the hamate: a case report. *J Hand Surg Br.* 1989 Aug;14(3):329-31.
51. Busche MN, Knobloch K, Rosenthal H, Vogt PM. Stress fracture of the hamate body and fourth metacarpal base following military style push-ups: an unusual trauma mechanism. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008 Dec;16(12):1158-60. DOI: 10.1007/s00167-008-0634-7
52. Schwartz GB. Displaced dorsal coronal fracture of the hamate. *Orthop Rev.* 1989 Aug;18(8):875-7.
53. Borse VH, Hahnel J, Faraj A. Lessons to be learned from a missed case of Hamate fracture: a case report. *J Orthop Surg Res.* 2010 Aug;5:64. DOI: 10.1186/1749-799X-5-64

**Corresponding author:**

Prof. Dr. med. Björn Dirk Krapohl  
 Department of Cranio-maxillofacial, Plastic, and  
 Reconstructive Surgery, Carl-Thiem-Klinikum Cottbus,  
 Thiemstraße 111, 03840 Cottbus, Germany  
 bjoern-dirk.krapohl@charite.de

**Please cite as**

Eder C, Scheller A, Schwab N, Krapohl BD. Hamate's coronal fracture: diagnostic and therapeutic approaches based on a long-term follow-up. *GMS Interdiscip Plast Reconstr Surg DGPW.* 2019;8:Doc05. DOI: 10.3205/iprs000131, URN: urn:nbn:de:0183-iprs000131

**This article is freely available from**

<http://www.egms.de/en/journals/iprs/2019-8/iprs000131.shtml>

**Published:** 2019-04-01

**Copyright**

©2019 Eder et al. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 License. See license information at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

## **5. LEBENSLAUF**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.



Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

## **6. PUBLIKATIONSVERZEICHNIS (STAND 08/2020)**

### **6.1 Kongressbeiträge**

**Eder C**, Schwab N, Scheller A. Operative Versorgungsmöglichkeiten der coronaren Os hamatum Fraktur.

Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für plastische und Wiederherstellungschirurgie (DGPW) 2013. Vortrag (Ehrung mit dem Vortragspreis für den besten mündlichen Kongressbeitrag)

**Eder C**, Schwab N, Scheller A, Haas NP. Operative Versorgungsmöglichkeiten der coronaren Os hamatum Fraktur.

Jahreskongress der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU) 2014. Plakat

**Eder C**, Winkler T. Regenerative Zelltherapie in der orthopädischen Chirurgie - Eine Fallpräsentation. RegMed Forum 2019. Vortrag

**Eder C**, Tempka A. Physiotherapie und Frühmobilisation auf Intensivstationen - DIVI Qualitätsindikator IX. Update perioperative Medizin, Berufsverband der Deutschen Chirurgen, Deutsche Akademie für chirurgische Fort- und Weiterbildung 2019. Vortrag

**Eder C**. eLearning – Konzept AO Trauma I Kurs – Teilnehmererwartungen an eLearning Konzepte. Auftaktkonferenz des AO Trauma I Kurses 2020. Vortrag (online)

## 6.2 Publikationen

**Eder C**, Schwab N, Scheller A, Krapohl BD. A new variant of scaphoid reconstruction: Treatment of scaphoid non-union with avascular bone interponate and high compression screw (Synthes®). *GMS Interdiscip Plast Reconstr Surg DGPW*. 2015 Aug 24;4:Doc07 (IF: 0)

**Eder C**, Scheller A, Schwab N, Krapohl BD. Hamate's coronal fracture: diagnostic and therapeutic approaches based on a long-term follow-up. *GMS Interdiscip Plast Reconstr Surg DGPW*. 2019 Mar 29;8:Doc05 (IF: 0)

**Eder C**, Scheller A, Schwab N, Krapohl BD. Four-Corner-Arthrodesis of the wrist using Variable Angle Locking-Compression Intercarpal fusion plate (VA-LCP ICF plate; Synthes®): pre- and postoperative radiological analysis and clinical outcome in long-term evaluation. *GMS Interdiscip Plast Reconstr Surg DGPW*. 2019 Nov 15; 8:Doc15 (IF: 0)

**Eder C**, Schmidt-Bleek K, Geissler S, Sass FA, Maleitzke T, Pumberger M, Perka C, Duda GN, Winkler T. Mesenchymal stromal cell and bone marrow concentrate therapies for musculoskeletal indications: A concise review of current literature. *Mol Biol Rep*. 2020 Jun;47(6):4789-4814 (IF: 1.4)

Maleitzke T, Elazaly H, Festbaum C, **Eder C**, Karczewski D, Perka C, Duda GN, Winkler T. Mesenchymal Stromal Cell-Based Therapy-An Alternative to Arthroplasty for the Treatment of Osteoarthritis? A State of the Art Review of Clinical Trials. *J Clin Med*. 2020 Jun 30;9(7) (IF: 3.3)

## **7. DANKSAGUNG**

Zuerst danke ich Herrn Professor B. D. Krapohl für die Übernahme der Promotionsbetreuung, die fachlichen Hinweise und die zeitintensive und problemorientierte Begleitung während des Publikationsprozesses. Auch danke ich ihm für das mehrmalige Korrigieren und die vielen hilfreichen Anmerkungen.

Weiterhin danke ich vor allem Frau A. Scheller für die Bereitstellung des Themas und das Ermöglichen der Promotion unter ihrer Sektionsleitung. Ich danke ihr für die inzwischen neun Jahre dauernde fachliche und menschliche Beratung, Betreuung, Weiterbildung und Zusammenarbeit. Ich hoffe auf viele weitere arbeits- und lehrreiche Jahre mit ihr als Mentorin.

Von Herzen danke ich meiner Mutter und meinem Lebensgefährten. Ich danke ihnen für die geopfert Zeit, die Beratung in schwierigen Phasen des Schreibens, das kritische Kommentieren und die uneingeschränkte, liebevolle Unterstützung in allen Lebenslagen.

Auch danke ich meinen engen Studienfreunden Nina Brüggemann, Svenja Beutner, Sophie Strozyk und Dominik Geus für das gemeinsame Stärken, Fördern und Anspornen.