

**Aus der Klinik für Handchirurgie
Bad Neustadt an der Saale
Direktor: Professor Dr. med. K.-J. Prommersberger
Professor Dr. med. J. van Schoonhoven**

**Mittelfristige Ergebnisse nach Skaphoidpseudarthrosenrekonstruktion
mittels
nicht-vaskularisierter Knochentransplantate**

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

**Katharina Elisabeth Nickel
aus Erlangen**

Würzburg, Januar 2019

Referent: Prof. Dr. med. K.-J. Prommersberger

Koreferent: Prof. Dr. med. R. Jakubietz

Dekan: Prof. Dr. med. Matthias Frosch

Mitbetreuung: Dr. med. K. Kalb

Tag der mündlichen Prüfung: 13.11.2019

Die Promovendin ist Ärztin

Inhalt

EINLEITUNG.....	1
Bedeutung der Skaphoidpseudarthrose.....	1
Anatomie.....	3
Handgelenk.....	3
Knöcherner Form des Skaphoids.....	4
Bandapparat.....	5
Gefäßversorgung.....	8
Epidemiologie.....	11
Skaphoidfraktur.....	11
Skaphoidpseudarthrose.....	11
Pathomechanismus.....	13
Skaphoidfraktur.....	13
Skaphoidpseudarthrose.....	14
Klassifikation.....	15
Modifizierte Herbert-Klassifikation.....	15
Klinik.....	18
Diagnostik.....	18
Klinische Tests.....	18
Bildgebende Verfahren.....	19
Röntgen.....	19
CT.....	21
MRT.....	22
Weitere bildgebende Verfahren.....	23
Komplikationen.....	23
Avaskuläre Nekrose.....	23
Humpback-Deformität.....	24
Karpale Instabilität.....	25
Ausheilung des Skaphoids in Fehlstellung (Malunion).....	27
Therapie der Skaphoidpseudarthrose.....	28
Sanierende Eingriffe.....	28
Plastik nach Matti-Russe.....	28
Die Entwicklung der Herbert-Schraube.....	29
Wahl des Zugangswegs.....	30
Wahl des Osteosynthesematerials.....	31
Wahl des Knochentransplantats.....	32
Mikrovaskulär angeschlossene Transplantate.....	32
Palliative Operationen.....	33
Denervation nach Wilhelm.....	33

Styloidektomie.....	34
Mediokarpale Teilarthrodese	35
Proximal row carpectomy	35
Künstlicher Ersatz des Skaphoids	37
Klinische Untersuchungsscores.....	37
DASH-Score	37
Mayo Wrist Score.....	38
Krimmer-Score.....	38
Ziel der Studie.....	39
PATIENTEN UND METHODEN	40
Studiendesign.....	40
Ethikkommission und Datenschutz.....	40
Rekrutierung des Patientenguts	40
Einschlusskriterien	41
Ausschlusskriterien	42
Untersuchungsaufbau	42
Patienten	43
ERGEBNISSE.....	44
Epidemiologie.....	44
Altersverteilung	44
Händigkeit.....	44
Beruf	44
Ursachen der Skaphoidfraktur	45
Zeitlicher Verlauf.....	45
Vorbehandlung.....	45
Frakturverteilung.....	46
Operative Versorgung.....	46
Revisionseingriffe	47
Operationsdauer und Operateure	48
Krankenhausaufenthalt.....	48
Schmerzentwicklung.....	49
Numerisch-analoge Schmerzskala.....	49
In Ruhe.....	49
Bei Belastung.....	50
Verbale Schmerzskala.....	51
Gebrauchsfähigkeit.....	51
Bewegungsumfang	52

Griffstärke	53
Handgelenksscores	54
Modifizierter Mayo Wrist Score	54
DASH-Score.....	54
Knöcherne Konsolidierung.....	54
Wiederherstellung der anatomischen Form.....	54
Konsolidierung in Abhängigkeit des zeitlichen Verlaufs.....	55
Konsolidierung in Abhängigkeit der Vorbehandlung	55
Konsolidierung in Abhängigkeit des verwendeten Knochenmaterials	55
Konsolidierung in Abhängigkeit der Frakturlokalisierung	55
Arthrotische Veränderungen	55
Komplikationen	56
Handgelenk.....	56
Beckenkamm	56
DISKUSSION.....	57
Epidemiologie.....	57
Geschlecht.....	57
Alter	57
Händigkeit.....	60
Berufswechsel und Berentung	60
Ursachen der Skaphoidfraktur	61
Auswirkungen des zeitlichen Zusammenhangs zwischen Unfall und operativer Versorgung	62
Frakturverteilung.....	63
Zusammenhang zwischen Frakturverteilung und Ausheilungsrate	64
Vorbehandlung.....	66
Operateure.....	67
Klinische Ergebnisse	69
Arthrotische Veränderungen	69
Schmerzen.....	69
Gebrauchsfähigkeit.....	70
Griffstärke	70
Bewegungsumfang	71
Komplikationen	72
Handgelenk.....	72
Beckenkamm	72
Modifizierter Mayo Wrist Score (Krimmer-Score).....	73
DASH-Score	74
Operative Versorgung.....	74
Wahl des Zugangswegs.....	74
Schwierigkeiten bei der operativen Versorgung.....	75
Einflussfaktoren	76
Voraussetzungen für eine gute Ausheilung.....	76

Negative Prädiktoren in Hinsicht auf das funktionelle Ergebnis	77
Zusammenhang zwischen knöcherner Konsolidierung und klinischem Ergebnis	77
Spontanheilung von Skaphoidpseudarthrosen	78
Einordnung in die Literatur	80
Limitationen der Studie.....	83
Zusammenfassung.....	85
ANHANG.....	87
Abkürzungsverzeichnis	87
Untersuchungsbogen Skaphoidpseudarthrose	88
Traditioneller Handgelenksscore [98].....	92
Mayo Wrist Score (Cooney und Mitarbeiter, 1987)	93
DASH-Score	94
Literatur.....	98
Abbildungsverzeichnis	103
Diagrammverzeichnis	103
Tabellenverzeichnis.....	104

Einleitung

Bedeutung der Skaphoidpseudarthrose

Skaphoidfrakturen machen mit einer Inzidenz von etwa 30/100.000 Einwohner pro Jahr in Europa etwa 2% aller Frakturen aus. An der Handwurzel stellen sie mit einem Anteil von etwa 50-60% die häufigste Fraktur dar [1]. Als Frakturursache stehen in der heutigen Zeit in erster Linie Freizeitunfälle wie Sportverletzungen oder Stürze im Vordergrund [2].

Es sind hauptsächlich junge Männer im erwerbsfähigen Alter von Skaphoidfrakturen betroffen, sodass besonderer Wert auf die Vermeidung langfristiger Auswirkungen wie einer vorzeitigen Arthrosebildung im Handgelenk gelegt werden muss, sowohl aus gesundheitlichen als auch aus ökonomischen Gesichtspunkten [3].

Etwa 10% aller Skaphoidfrakturen gehen im Verlauf in Skaphoidpseudarthrosen über [4]. Dies ist u.a. abhängig von der Frakturlokalisation, dem Frakturtyp, möglichen Begleitverletzungen und der Dauer zwischen Verletzung und Therapieeinleitung. Ein wesentlicher Hauptfaktor für die Entstehung von Skaphoidpseudarthrosen stellt eine mangelhafte Diagnostik dar, bedingt durch eine relative Symptomarmut direkt nach dem Unfall und eine unsichere Darstellbarkeit der frischen Fraktur in herkömmlichen Röntgenbildern [2]. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die schwierige Durchblutungssituation des proximalen Skaphoidpols [4].

In der Literatur werden häufig sehr gute Heilungsraten nach Versorgung von Skaphoidfrakturen und -pseudarthrosen von teilweise bis zu 90% und höher beschrieben. Die Qualität dieser Studien ist jedoch sehr variabel [5].

Im klinischen Alltag hingegen muss man feststellen, dass diese Verletzung doch immer wieder Probleme bereitet und nicht selten Komplikationen bei der Therapie auftreten.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, einen Überblick über die mittelfristigen klinischen und radiologischen Ergebnisse nach der Rekonstruktion von

Skaphoidpseudarthrosen in einer Ausbildungsklinik mit unselektiertem Patientengut zu erlangen sowie mögliche Schwierigkeiten bei der Versorgung zu ermitteln. Hierbei werden nur Patienten berücksichtigt, die mit nicht-vaskularisierten Knochentransplantaten und Schraubenosteosynthese bzw. Kirschner-Drähten versorgt wurden. Der Operationszeitpunkt liegt zwischen dem 01.01.2006 und dem 31.12.2009, um einen Nachbeobachtungszeitraum von mindestens fünf Jahren sicherstellen zu können.

Abschließend erfolgt eine Einordnung der Ergebnisse in die aktuelle Literatur und die Ermittlung möglicher Einflussfaktoren.

Anatomie

Handgelenk

Das Handgelenk besteht aus acht Handwurzelknochen, die in zwei Reihen zu je vier Knochen angeordnet sind. In der proximalen Reihe befindet sich das Skaphoid am weitesten radial, nach ulnar folgen das Lunatum, das Triquetrum und das Pisiforme. Hierbei stellt das Pisiforme funktionell ein Sesambein der Sehne des M. flexor carpi ulnaris dar und hat keinen Einfluss auf die Handgelenksstatik. Die distale Reihe besteht von radial nach ulnar aus dem Trapezium, dem Trapezoid, dem Kapitatum sowie dem Hamatum [6] (vgl. Abb. 1).

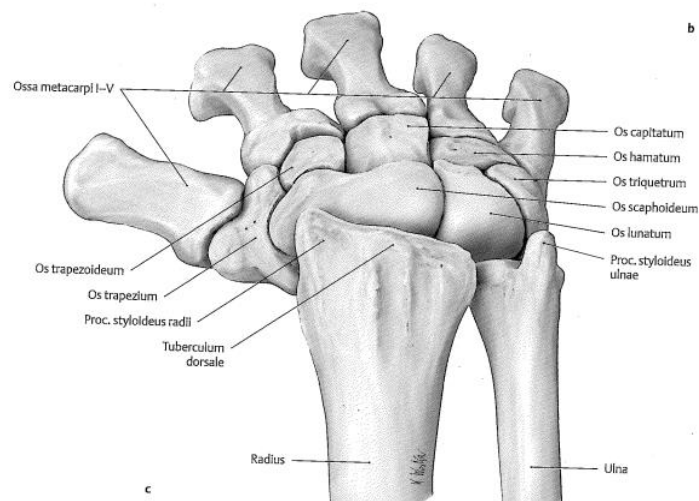


Abbildung 1: Anatomie Handgelenk [7]

Beim Handgelenk handelt es sich nicht um *ein* Gelenk, vielmehr setzt sich das Handgelenk aus mehreren Teilgelenken zusammen: dem Radiokarpalgelenk, dem Ulnokarpalgelenk, dem distalen Radioulnargelenk, dem Mediokarpalgelenk und dem Karpometakarpalgelenk, wobei diese Gelenke wiederum Untergelenke aufweisen [6].

Das Radiokarpalgelenk (proximales Handgelenk) wird von der proximalen Handwurzelreihe als konvexer distaler Gelenkfläche gebildet sowie vom distalen Radius und dem Discus ulnocarpalis als proximaler Gelenkfläche.

Das Gelenk zwischen distaler und proximaler Handgelenksreihe wird als Mediokarpalgelenk (distales Handgelenk) bezeichnet [8].

Knöcherner Form des Skaphoids

Das Skaphoid selbst ist ein länglicher Knochen mit einer durchschnittlichen Länge von etwa 25 mm sowie einer durchschnittlichen Breite von 16,7 mm. Es ist der größte der Handwurzelknochen und bildet eine wichtige Verbindung zwischen der distalen und proximalen Handwurzelreihe [9]. Der Name "Skaphoid" (Kahnbein) ist auf die Form zurückzuführen, die mit einer medialen und einer distalen Konkavität an ein Schiff erinnert.

Das Skaphoid verfügt über vier Gelenkflächen, die zusammengenommen 80% seiner Oberfläche ausmachen. Die stark konvexe lateroproximale Gelenkfläche steht mit dem Radius über die Fossa scaphoidea in Verbindung. Medial steht das Skaphoid über eine halbmondförmige Gelenkfläche mit dem Lunatum in Verbindung. Hier befindet sich auch der Ansatzpunkt des Lig. scapholunatum. Distomedial bildet sich zum Kapitatum eine konkave, ovale Gelenkfläche aus.

Nach distal kommuniziert das Skaphoid über einen konvexen Anteil mit Trapezium und Trapezoideum. Palmar befindet sich eine rundliche Erhabenheit, das Tuberculum ossis scaphoideum, das einerseits als Ansatzpunkt für das Lig. radioscapnocapitatum und das Lig. scaphotrapeziotrapezoideum dient, andererseits als Drehpunkt für die Sehne des M. flexor carpi radialis [10] (vgl. Abb. 2). Die Form des Skaphoids ist in sich stark variabel, was die Darstellbarkeit im Röntgen sowie die operative Versorgung beeinträchtigen kann [11].

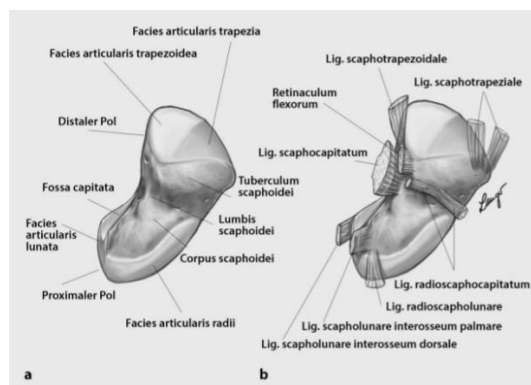


Abbildung 2: Os scaphoideum in der Ansicht von palmar; a rein knöcherner Strukturen, b mit Bandansätzen und Bandursprüngen [120]

Bandapparat

Am Handgelenk unterscheidet man ein intrinsisches Bandsystem, das die Handwurzelknochen untereinander verbindet, von einem extrinsischen, das die Handwurzel mit dem Radius und dem Metakarpalsystem verbindet [8].

Außerdem können die Bänder funktionell in 3 Schichten eingeteilt werden:

Die oberflächliche Schicht besteht aus dem Retinaculum flexorum und dem Retinaculum extensorum. Ihre Hauptaufgabe besteht darin, die Sehnen zu zügeln und sie in der richtigen Position zu halten [12].

Die mittlere Schicht besteht hauptsächlich aus den extrinsischen Bändern. Diese sind stark mit der Gelenkkapsel verwebt, sodass diese stabilisiert wird [3]. Sie sind palmar als Folge der entwicklungs geschichtlich plantigraden Ausrichtung der Hand deutlich stärker ausgeprägt, dorsal sind die wesentlich dünneren Bandanteile mit den Wänden der Strecksehnenfächer verwachsen [12].

Die intrinsischen Bänder entsprechen der tiefen Schicht des karpalen Bandapparates. Sie verbinden die Handwurzelknochen untereinander, sowohl palmar als auch dorsal und in den gelenkflächenfreien Zonen [13]. Die distale Handwurzelreihe wird durch kurze intrinsische Bänder verbunden, sodass eine funktionelle Einheit entsteht [13]. In der proximalen Handwurzelreihe liegen das skapholunäre Band (SL-Band) und das lunotriquetrale Band (LT-Band).

Das SL-Band verbindet den proximalen Kahnbeinpol mit der radialen Seitenfläche des Lunatum [13]. Es ist sehr fest, da seine Funktion entscheidend für die karpale Stabilität ist. Das Band ist palmar länger als dorsal und verläuft leicht schräg, sodass eine Rotation zwischen Skaphoid und Lunatum ermöglicht wird [14,15]. Bei aufgehobener Kopplung, z.B. durch eine Ruptur der Bandverbindung, folgen sowohl Skaphoid als auch Lunatum ihren jeweiligen Eigenbewegungen, sodass es zu einer DISI-Fehlstellung („dorsal intercalated segment instability“), also einer Verkippung des Lunatums im seitlichen Strahlengang in Extensionsstellung und damit verbunden zu einer Einschränkung der karpalen Stabilität kommt [16].

Das LT-Band bildet eine feste palmare Bandverbindung zwischen Lunatum und der pisiformen Gelenkfläche des Triquetrum [13] (vgl. Abb. 3). Das

skaphotrapeziales Band verbindet mit etwas längeren Faserzügen Skaphoid mit Lunatum und Trapezium. Dies erlaubt dem Trapezium und dem Trapezoideum, auf dem distalen Pol des Kahnbeins zu wandern, was eine notwendige Voraussetzung für die palmar flektierte Stellung ("tiefe Stellung") des Skaphoids während der Radialduktion und Flexion ist [13].

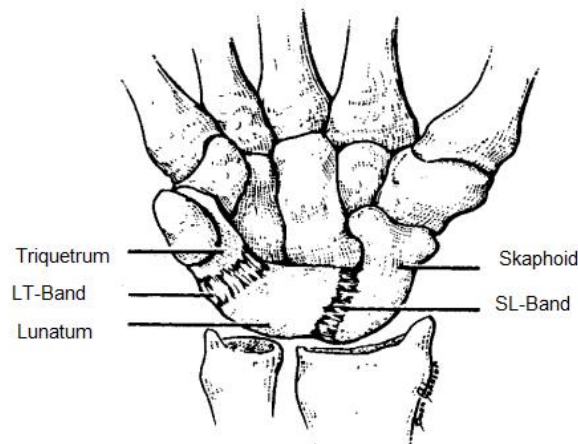


Abbildung 3: Intrinsische Handgelenksbänder [17]

Der intrakapsuläre Bandapparat besteht aus einem dorsalen und einem palmaren V-Band, welche in ihren proximalen Abschnitten das radiokarpale Gelenk und in ihren distalen Abschnitten das mediokarpale Gelenk stabilisieren [14].

Das palmare V-Band wird in einen proximalen und einen distalen Abschnitt unterteilt: Proximal erfolgt die kapsuläre Stabilisierung über das Lig. radiolunatum und das Lig. ulnolunatum. Das Lig. radiolunatum dient dem proximalen Skaphoidpol als Widerlager, obwohl es nicht an diesem direkt ansetzt [14]. Den distalen Abschnitt des palmaren V-Bandes bilden das Lig. capitohamatotriquetrum und das Lig. radioscapnocapitatum, wobei letzteres dem Skaphoid während seiner umfangreichen Kippbewegungen bei Extensions- und Flexionsbewegungen als zusätzliche palmare Abstützung und Rotationsachse dient (vgl. Abb. 4).



Abbildung 4: Palmare V-Bänder [14]

Das dorsale V-Band besteht aus dem Lig. radiolunotriquetrum dorsale sowie dem intrinsischen Lig. intercarpale dorsale [14] (vgl. Abb. 5).



Abbildung 5: Dorsale V-Bänder [14]

Das Skaphoid wird von verschiedenen Bändern bzw. Sehnen stabilisiert. Diese verhindern die palmare Subluxation des Skaphoids auch bei kompletter Ruptur des SL-Bandes. Hierzu gehören das Lig. radioscaphocapitatum, die Sehne des M. flexor carpi radialis sowie das Lig. scaphotrapeziumtrapezoideum [14] (vgl. Abb. 6).

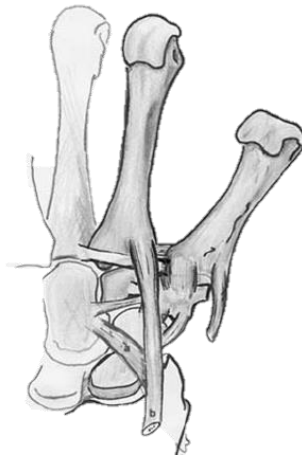


Abbildung 6: Sekundäre Stabilisatoren des Skaphoids [14]

Gefäßversorgung

Die Gefäßversorgung des Skaphoids nimmt einen wesentlichen Einfluss auf die Heilungsrate der Skaphoidfrakturen [18]. Sie wurde mehrfach an Leichen untersucht [19,20]. Hauptsächlich erfolgt die Gefäßversorgung über die A. radialis, die eine konsistente Anastomose mit den palmaren Anteilen der A. interossea anterior ausbildet [20] (vgl. Abb. 7).

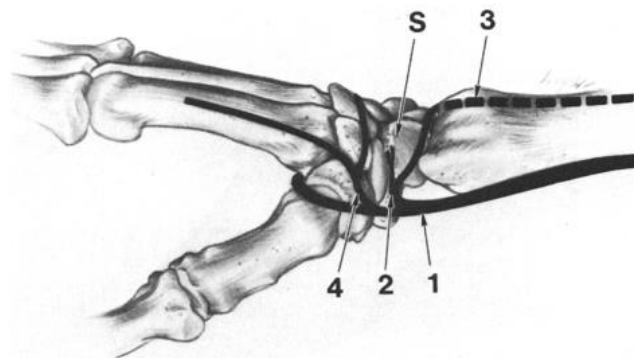
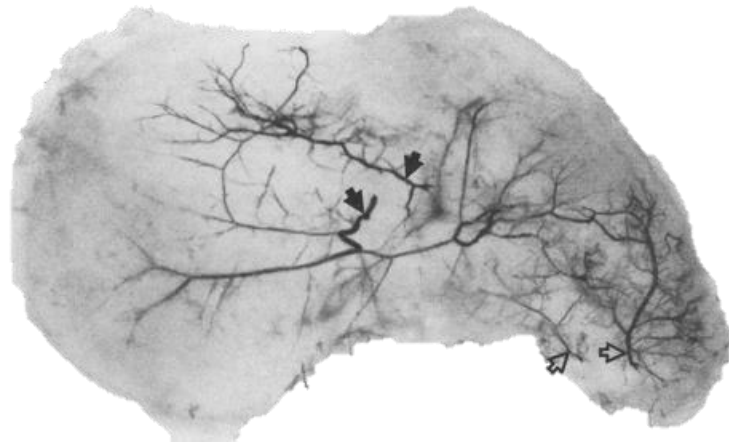


Abbildung 7: Blutversorgung; S: Skaphoid, 1: A. radialis, 2: Dorsaler Skaphoidast, 3: Dorsale Aufteilung der A. interossea anterior, 4: A. intercarpalis [20]

80% der Blutversorgung erfolgen über einen oder zwei dorsale Skaphoidäste der A. radialis, die in Höhe der Taille ins Skaphoid eintreten. Die distalen 20% werden durch Gefäße versorgt, die von palmar durch das Tuberkulum und den distalen Pol eintreten (vgl. Abb. 8). Die dorsale Vaskularisation erfolgt durch viele kleine Foramina entlang des dorsalen Kamms. Die Blutgefäße verlaufen zum größten Teil in den Weichteilgewebeanhängen, also den Bänder- und Kapselanteilen [20].



*Abbildung 8: Blutversorgung Skaphoid;
schwarze Pfeile: dorsale Gefäße, helle Pfeile: palmare Gefäße [19]*

Eine relevante Anastomosierung zwischen dorsalen und palmaren Ästen konnte in der dreidimensionalen Darstellung bei Gelberman und Mitarb. nicht nachgewiesen werden [20].

Der superfizielle palmare Ast der A. radialis scheint keinen konsistenten oder unersetzbaren Gefäßast zum Skaphoid auszubilden und kann so bei operativen Zugängen von palmar geopfert werden [20]. Der proximale Kahnbeinpol ist komplett mit Knorpel überzogen. Seine Blutversorgung erfolgt ausschließlich endarteriell. Dies erklärt, warum die Gefahr von Nekrosen und Pseudarthrosen ansteigt, je weiter proximal sich die Frakturlinie befindet.

Herbert vermutet auch eine Beteiligung des Lig. scapholunatum an der Versorgung des Skaphoids, begründet auf dem Bestehen verschiedener vitaler proximaler Fragmente, die keine sonstige Versorgung aufweisen und die Ausbildung einer AVN (avaskuläre Nekrose) bei Patienten mit rupturiertem SL-Band [4,21]. Dies wurde jedoch in verschiedenen Studien widerlegt [20,22].

Auch eine Beteiligung des Lig. radioscapulunatum ("Ligament de Testut") an der Blutversorgung des Skaphoidpols wurde aufgrund seines auffälligen Gefäßreichtums und der außergewöhnlichen Dehnbarkeit vermutet [23].

Im Gegensatz hierzu steht die Studie von Oehmke und Mitarb., die eine sehr ausgedehnte Blutversorgung des Skaphoids beschreibt, sodass bei Ausfall eines Gefäßastes die Versorgung trotzdem vollständig sichergestellt ist. Der palmare

proximale Anteil des Skaphoids wird vor allem durch den R. carpalis palmaris der A. radialis versorgt. Sollte dieser fehlen, ist als Kompensation hierfür die A. palmaris superficialis stärker ausgeprägt. Im mittleren Drittel erfolgt die Versorgung von palmar vor allem durch die A. palmaris superficialis. Auch einige Äste der A. metacarpalis dorsalis I waren in einigen Fällen an der Versorgung mitbeteiligt [24]. Der venöse Abfluss des Skaphoids erfolgt über den dorsalen Kamm in die Vv. commitantes der A. radialis [25].

Epidemiologie

Skaphoidfraktur

Brüche an der Hand machen etwa 20-25% aller Frakturen aus, wobei die Mittelhand und die Finger häufiger betroffen sind als der Karpus, auf den etwa 2% aller Frakturen entfallen. Innerhalb der Handwurzelknochen ist das Skaphoid mit etwa 60% am häufigsten betroffen [26,1]. Andere Studien gehen sogar von einem Anteil der Skaphoidfrakturen von 80% an allen karpalen Frakturen aus [27].

Die Inzidenz von Skaphoidfrakturen liegt in verschiedenen regionalen Studien bei etwa 30 auf 100.000 Einwohner pro Jahr [1,28,29]. Am häufigsten betroffen sind Männer zwischen 15 und 40 Jahren, wobei das Verhältnis Männer zu Frauen etwa bei 6:1 liegt [27]. Die häufigsten Ursachen für eine Skaphoidfraktur sind Sportunfälle, gefolgt von Wegeunfällen und Arbeitsunfällen [26].

Skaphoidpseudarthrose

Je nach Literatur wird von einer Pseudarthrosenrate nach Skaphoidfrakturen zwischen 5% und 15% ausgegangen [4,30,31]. Der Begriff Skaphoidpseudarthrose kann klinisch oder zeitlich definiert sein, in der Literatur findet sich keine einheitliche Definition [5]. Zeitlich unterscheidet man üblicherweise eine „delayed union“ von einer Pseudarthrose.

In der Literatur ist die Definition der Begriffe „delayed union“ und Pseudarthrose uneinheitlich. Im Allgemeinen liegt bei einem Frakturalter zwischen sechs und zwölf Wochen eine delayed union vor, bei einem Frakturalter über 26 Wochen eine Pseudarthrose[4,5, 32–3436]. Der Begriff „delayed union“ wird von manchen Autoren bei der Skaphoidfraktur als problematisch angesehen, da aufgrund der besonderen anatomischen Situation mit fehlendem periostalem Überzug eine langsame, kontinuierliche Heilung und damit eine „delayed union“ nicht möglich ist [35].

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den Begriff „Pseudarthrose“ nicht an ein bestimmtes Zeitintervall zu koppeln, sondern an das Fehlen der fortschreitenden

Heilung unabhängig vom Zeitraum [35]. Hierbei werden radiologische Kriterien hinzugezogen, die auf das Ausbleiben der fortschreitenden Heilung zurückgehen. Häufig treten hier z.B. Resorptionszysten, eine Sklerosierung der Fraktur­ränder und eine fehlende knöcherne Durchbauung des Bruchspalts auf [35].

Pathomechanismus

Skaphoidfraktur

Der typische Unfallmechanismus mit einer Häufigkeit von etwa 90% besteht aus einem Hyperextensionstrauma mit Sturz auf die ausgestreckte, dorsal extendierte Hand [4]. Hierbei erfolgt die größte Auswirkung auf den Mediokarpalbereich, der auf Höhe der Taille des Skaphoids liegt [3]. Entscheidend für die Höhe der Fraktur ist in der Regel der Grad der Ulnarduktion zum Zeitpunkt der Krafteinwirkung. Hierbei führt eine Radialduktion eher zu einer Fraktur des distalen Drittels, während eine Ulnarduktion eher in einer Fraktur des proximalen Drittels resultiert [3]. Frakturen im Bereich der Taille sind dagegen oft auf Scherkräfte zurückzuführen [4].

Frykman zeigt in einer Studie an Leichen, dass eine Skaphoidfraktur wahrscheinlicher auftritt, wenn die Hand hyperextendiert und radially flektiert wird, eine distale Radiusfraktur hingegen schon bei einem geringeren Extensionsgrad und unter geringerer Krafteinwirkung auftritt [37].

Ziel der ebenfalls an Leichen durchgeführten Studie von Weber und Chao ist es, Skaphoidfrakturen im mittleren Drittel zu produzieren [38]. Dies gelingt bei axialer Krafteinwirkung, wenn das Handgelenk in 95° Extension und 10° Radialduktion stand. Es zeigt sich, dass dabei die gesamte Kraft über das Skaphoid abgeleitet wird. Gleichzeitig entspannt sich der palmare Bandapparat durch die Radialduktion. Während der proximale Pol wie in einem Schraubstock fest in der Fossa scaphoidea gehalten und damit an den Radius fixiert wird, wird der distale Pol ruckartig nach dorsal beschleunigt. Dies führt dazu, dass das Skaphoid unter Spannung zunächst palmar zu frakturieren beginnt [38].

Durch den gleichen Unfallmechanismus wie Skaphoidfrakturen entstehen auch Frakturen des Metakarpale I, Radiuskopfluxationen, perilunäre Luxationen und Radiusfrakturen in loco typico. Diese findet man im Gegensatz zu Skaphoidfrakturen eher bei älteren Patienten [39]. Auch eine direkte Gewalteinwirkung durch ein Rückschlagtrauma wie z.B. früher durch Autokurbeln kann zu einer Fraktur führen [40].

Skaphoidpseudarthrose

Die Gründe für die Entstehung einer Pseudarthrose können vielfältig sein. Beschwerden sind zu Beginn meist gering ausgeprägt und unspezifisch, so dass viele Patienten die Fraktur als Handgelenksdistorsion fehldeuten und keinen Arzt aufsuchen, also auch keine Diagnostik erfolgt.

Außerdem ist die Diagnostik einer Skaphoidfraktur klinisch und radiologisch schwierig. In den initialen Röntgenaufnahmen wird die Fraktur häufig übersehen. Parvizi und Mitarb. berichten, dass 14% der Patienten mit einer Skaphoidfraktur initial unauffällige Röntgenaufnahmen haben [41]. In einer Metastudie von Hunter und Mitarb. ist von 16% nicht entdeckter Skaphoidfrakturen die Rede [42].

Eine Studie von Karle und Mitarb. ergibt, dass sich 70% der untersuchten Patienten mit Skaphoidpseudarthrose nach dem Unfallereignis in ärztlicher Behandlung befanden. In 71% dieser untersuchten Fälle war die Fraktur jedoch nicht korrekt diagnostiziert worden [43]. In einer Übersichtsarbeit über die Ursachen von Skaphoidpseudarthrosen sprechen Strassmair und Wilhelm sogar von bis zu 80% der Patienten, die sich in ärztlicher Behandlung befanden. Bei etwa einem Drittel dieser Patienten wurde, teilweise aufgrund mangelnder radiologischer Diagnostik, eine falsche Diagnose im Sinne einer Handgelenksdistorsion gestellt. Ein weiterer entscheidender Faktor war in etwa einem Drittel der Fälle eine mangelnde Indikationsstellung für eine operative Versorgung von instabilen Frakturen. Ebenfalls Einfluss nahm eine zu kurze Ruhigstellungszeit der frischen Fraktur in 12% der Fälle [2].

Auch nach operativer Versorgung wird in der Literatur eine Pseudarthrosenrate von bis zu 10% angegeben [44]. Ursache hierfür kann u.a. die Dislokation der Fraktur sein sowie eine fehlerhafte Operationstechnik, z.B. inkorrekte Schraubenpositionierung [45].

Biomechanisch muss für eine gute knöchernen Heilung der Kontakt zwischen den Fragmenten sowie eine gute Fixierung in anatomisch korrekter Position gegeben sein. Zusätzlich kommt es durch Verkippung des Kahnbeins zu einem Impingement zwischen Proc. styloideus radii und Tuberositas scaphoidea, so dass hier die ersten arthrotischen Veränderungen nachweisbar sind [3].

Klassifikation

Von den verschiedenen in der Literatur beschriebenen Einteilungen hat sich die modifizierte Klassifikation nach Herbert als die klinisch relevanteste herauskristallisiert. Die Einteilung der Skaphoidfrakturen nach Lokalisation und Stabilitätskriterien bietet die Basis für ein differenziertes Therapiekonzept mit hohen Heilungsraten [43].

Modifizierte Herbert-Klassifikation

Herbert nimmt anhand von konventionellen Röntgenbildern die Einteilung in vier Hauptgruppen vor [46]:

Unter Typ A werden die akuten stabilen Frakturen zusammengefasst, die konservativ behandelt werden können. A1 stellt die Tuberkelfraktur dar. Da das Tuberkulum keinen Einfluss auf die Stabilität des Handgelenks nimmt, wird auch eine dislozierte Tuberkelfraktur noch als stabil gewertet. Als Typ A2 bezeichnet man die undislozierte inkomplette oder komplette Fraktur der Kahnbeintaille.

Unter Typ B werden akute instabile Frakturen zusammengefasst. Typ B1 erfasst die distale oblique Fraktur, Typ B2 die komplette Fraktur der Skaphoidtaille mit Dislokation. Die Fraktur des proximalen Pols wird als Typ B3 bezeichnet und gilt immer als instabil. Als Typ B4 gilt die translunäre-periskaphoidale Frakturdislokation des Karpus. Typ B-Frakturen sollten aufgrund der Gefahr einer sekundären Dislokation (B1) bzw. der vorhandenen Dislokation (B2) und der speziellen Durchblutungssituation (B3) mit Gefahr der Nekrosenentwicklung operiert werden (vgl. Abb. 9).

Typ C bezeichnet die delayed union. Kennzeichen hierfür sind ein erweiterter Frakturspalt, zystische Veränderungen des Skaphoids sowie eine relativ erhöhte Densität des proximalen Fragments. In der zweiten Fassung der Klassifikation aus dem Jahr 1996 wird dieser Typ weggelassen, da er keine natürliche Gruppe ausmacht [33]. Aufgrund des fehlenden periostalen Überzugs existiert keine langsame, kontinuierliche Knochenheilung [35].

Typ D schließlich bezeichnet die Pseudarthrosen des Skaphoids. Hierbei werden relativ stabile fibröse Pseudarthrosen, die oft nach konservativer Behandlung

entstehen, von instabilen Pseudarthrosen unterschieden, die eine dringende OP-Indikation darstellen [46].

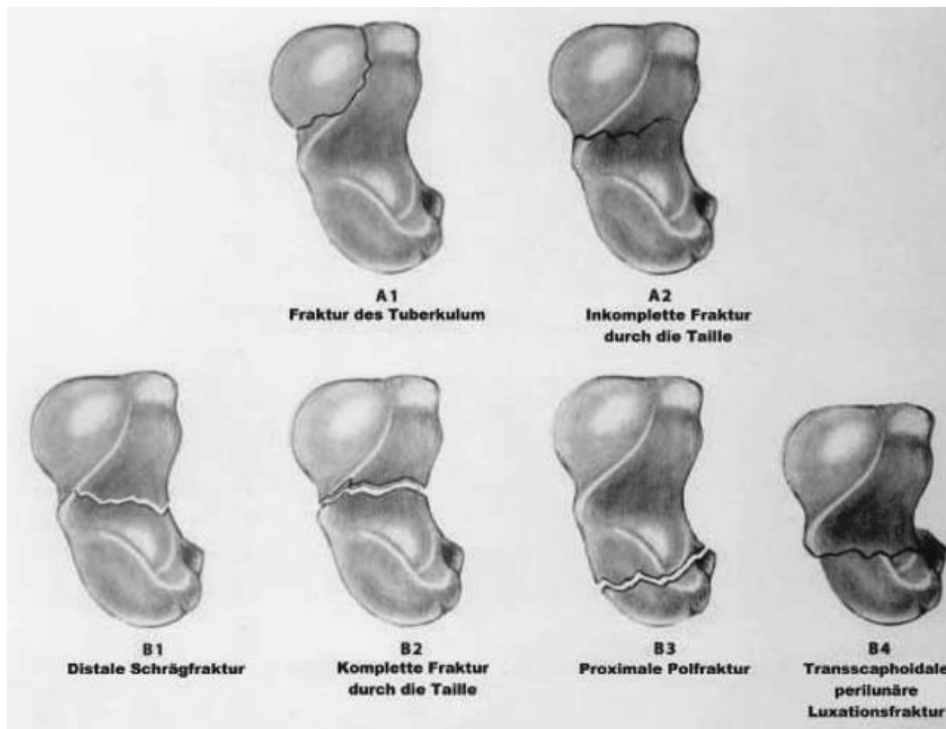


Abbildung 9: Herbert-Klassifikation [121]

Die Pseudarthrose kann wiederum nach Herbert und Filan in vier Subtypen D1 bis D4 unterteilt werden: D1 beschreibt eine fibröse Pseudarthrose, D2 eine nicht dislozierte Pseudarthrose, D3 eine sklerosierte Pseudarthrose und D4 eine Pseudarthrose mit avitalem proximalem Fragment [33] (vgl. Abb. 10).

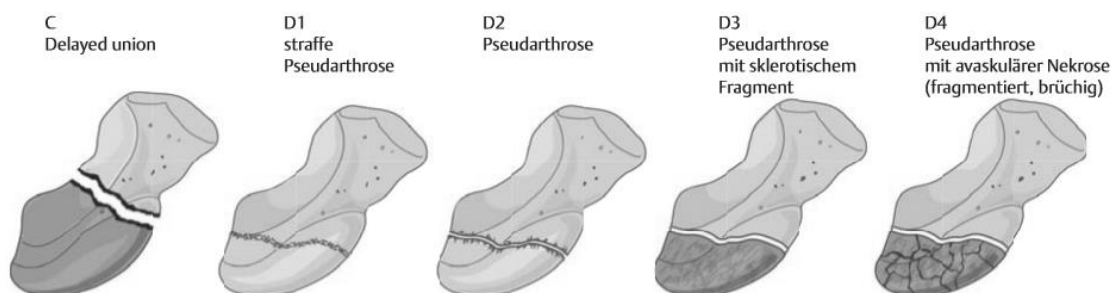


Abbildung 10 Klassifikation Pseudarthrosen [27]

Die rein auf Röntgenbildern beruhende Klassifikation von Herbert wurde von Krimmer und Mitarb. unter Berücksichtigung des CT-Befundes modifiziert [43].

Alle undislozierten Frakturen im mittleren und distalen Drittel werden hierbei als stabil angesehen und können konservativ oder minimal-invasiv versorgt werden. Frakturen des proximalen Drittels sowie dislozierte Frakturen oder solche Frakturen, die eine Trümmerzone aufweisen, werden als instabil angesehen und benötigen operative Versorgung [43]. Durch die zusätzlichen CT-basierten Stabilitätskriterien werden einige Frakturen, die nach den Röntgenaufnahmen als stabil gelten würden, als instabil klassifiziert und fallen so in den Bereich der OP-Indikationen. Krimmer und Mitarb. berichten, dass sich bei 41,5% der mittels Projektionsradiographie untersuchten und als stabil befundenen Frakturen nach Hinzuziehen des CT-Befundes doch eine Operationsindikation ergab [43].

Klinik

Eine Skaphoidfraktur kann klinisch sehr blande verlaufen und wird oft bei der Erstdiagnose als Handgelenksdistorsion fehldiagnostiziert [2]. Die Hauptsymptome einer Skaphoidfraktur setzen sich aus Schmerzen und Schwellung (vor allem im Bereich der Tabatière), Bewegungseinschränkungen und Kraftverlust zusammen. Bei vielen Patienten kommt es nach anfänglichen Schmerzen zunächst zu einem beschwerdefreien Intervall, gefolgt von einer Phase zunehmender Schmerzen, v.a. bei Belastung [23].

Diagnostik

Klinische Tests

Die alleinige klinische Diagnose einer Skaphoidfraktur ist schwierig, da aktuell keine Untersuchungsmethode ausreichend spezifisch und sensitiv ist. Dieses Problem bleibt auch bestehen, wenn verschiedene Tests miteinander kombiniert werden.

Die typischen Druckschmerzpunkte liegen zum einen im Bereich der Tabatière, zum anderen aber auch über dem proximalen Skaphoidpol von dorsal sowie dem Tuberkulum von palmar. Zudem wird häufig ein Stauchungsschmerz des Daumenstrahls beschrieben [2].

Der Schmerz verstärkt sich bei Handgelenksextension und Radialduktion. Diese Zeichen sind jedoch wenig spezifisch und können auch z.B. auf eine Handgelenksdistorsion oder eine Verletzung des Bandapparates zurückzuführen sein. Insgesamt ist die Spezifität dieser Tests mit nur 40% sehr niedrig. Die Sensitivität liegt mit etwa 85% deutlich höher [41].

Die klinische Untersuchung zeigt oft eine Bewegungseinschränkung im Vergleich zur nicht betroffenen Seite. Besonders betroffen sind hiervon die Dorsalextension sowie die Radialduktion [18,47].

Die Griffstärke ist generell herabgesetzt. Herbert spricht von einer Herabsetzung um durchschnittlich 50%, die sich jedoch innerhalb von 12 Monaten postoperativ wieder normalisiert [4].

Unay und Mitarb. berichten in ihrer Studie, dass eine Kombination aus zehn verschiedenen klinischen Untersuchungen (z.B. Flexion des Handgelenks, Extension des Handgelenks, Pronation und Supination, Daumenabduktion etc.) lediglich eine Spezifität von 0,75 und eine Sensitivität von 0,73 erbringt [48], also keinen wesentlichen Vorteil gegenüber den Einzeluntersuchungen bietet.

In einer Studie von Waizenegger und Mitarb. werden zwölf verschiedene klinische Untersuchungsmethoden bei Patienten mit radiologisch bestätigten Skaphoidfrakturen mit gesunden Probanden verglichen. Hierbei stellen sie fest, dass es klinisch keine eindeutig reliablen und validen Zeichen für die Diagnose einer Skaphoidfraktur gibt. Von den zwölf untersuchten Merkmalen sind bei betroffenen Patienten im Schnitt 8,57 positiv, bei den Probanden mit knöchern intaktem Skaphoid 7,54 [49].

Wesentlich für die Diagnostik ist jedoch, eine Skaphoidfraktur aktiv auszuschließen, wenn die anatomische Tabatière druckdolent ist.

Bildgebende Verfahren

Röntgen

Die Skaphoidfraktur entzieht sich oft der radiologischen Darstellung am Unfalltag, was die Diagnostik stark erschwert, u.a. bedingt durch die um 45° gekippte Position des Skaphoids zu allen drei orthogonalen Ebenen des Raumes [50].

Durch die gekrümmte Form des Skaphoids und seinen schrägen Einbau in die Handwurzel trifft der Röntgenzentralstrahl Frakturen meist nicht orthograd, was die Frakturdetektion erschwert, so dass hier oftmals nur Frakturen mit Fragmentdislokationen oder ausgedehnten Trümmerzonen darstellbar sind [50].

Grundlage für die Bildgebung stellen dorsopalmare und seitliche Röntgenaufnahmen mit Zentrierung auf das Radiokarpalgelenk dar. Die Aufnahmen sollten stets an der gips- und schienenfreien Hand erfolgen [51].

Als Standarddiagnostik zählte lange Zeit das sogenannte "Kahnbeinquantett", eine Kombination aus vier verschiedenen Röntgenaufnahmen [52]. Nach den aktuellen S3-Leitlinien reichen jedoch drei Aufnahmen aus:

- Eine posterior-anteriore Aufnahme in Neutralstellung des Handgelenkes bei 90° abduziertem Oberarm und 90° gebeugtem Ellenbogen sowie Neutralstellung bezüglich der Unterarmdrehung mit Zentrierung aufs Handgelenk
- Eine laterale Aufnahme in Neutralstellung des Handgelenks, neutraler Unterarmdrehung bei angelegtem Oberarm und rechtwinklig gebeugtem Ellenbogen
- Eine Stecher-Aufnahme; dorsopalmare Aufnahme bei Faustschluss und Ulnarduktion der Hand mit Zentrierung auf das radialseitige Handgelenk

Diese drei Standardaufnahmen gewähren eine bessere Vergleichbarkeit für Therapiekontrollen. Ein Vergleich zur Gegenseite ist obsolet.

Als sichere Frakturzeichen gelten eine Frakturlinie, die zwei gegenüberliegende Kompaktaabschnitte erreicht, sowie eine Fragmentdislokation. Durch den straffen kapsuloligamentären Apparat, sind am Skaphoid diese Kriterien jedoch nur inkonstant anzutreffen, da die Rückstellkräfte die Fragmente häufig anatomisch gerecht readaptieren [53].

Die Diagnostik von Skaphoidfrakturen mittels Röntgenbildern ist schwierig. Die Rate falsch-negativer initialer Röntgenbilder liegt in der Literatur teilweise bei fast 40% [53].

Wenn auf den initialen Röntgenbildern kein Frakturachweis erfolgt, kann bei bestehendem klinischem Verdacht auf eine Skaphoidfraktur eine erneute Röntgenuntersuchung ein bis zwei Wochen nach dem Unfallereignis erfolgen. Die Metaanalyse von zehn großen Studien mit 2240 Patienten ergab, dass bei Röntgenuntersuchungen nach zwei Wochen in 16% Skaphoidfrakturen diagnostiziert werden konnten, die initial nicht zu sehen waren bzw. nicht gesehen wurden [42].

Andere Studien über die erneute Überprüfung durch Röntgenbilder brachten jedoch deutlich niedrigere Raten, wie zehn initial übersehene Skaphoidfrakturen bei 1052 Patienten 10 bis 14 Tage nach dem Unfallereignis [54] bzw. 2% initial übersehene Skaphoidfrakturen bei 222 Patienten 14 Tage nach dem

Unfallereignis [45].

In einer Studie mit 361 Patienten zeigen Strassmair und Wilhelm, dass 79% aller Patienten mit einer Skaphoidfraktur nach dem Primärtrauma zeitnah einen Arzt aufsuchten. Von diesen Patienten wurden 23% durch den Arzt nicht korrekt diagnostiziert, sondern als Distorsion eingeordnet. Weitere 8% wurden infolge unzureichender radiologischer Diagnostik nicht korrekt behandelt. Dies macht einen Gesamtanteil von 31% der Patienten, die trotz eines Arztbesuchs ein deutlich erhöhtes Risiko für die Ausbildung einer Pseudarthrose hatten [2].

Auch andere Studien zeigen, dass die Detektionsrate bei der Erstdiagnostik von Skaphoidfrakturen bei Projektionsradiographie unter 70% liegt [53,55]. Einige Frakturen zeigen sich erst zwei bis sechs Wochen nach dem Unfall in den Röntgenaufnahmen [56].

Eine Skaphoidpseudarthrose zeigt sich im Röntgen im Gegensatz zu einer Skaphoidfraktur durch sklerosierte Fragmentränder, Lysezonen bzw. Pseudozysten sowie eventuell eine sekundäre Arthrose im Sinne eines SNAC-Wrist (scaphoid-nonunion-advanced-collaps) [53].

CT

Für CT-Aufnahmen bei Skaphoidfrakturen ergänzend zur konventionellen Röntgendiagnostik bestehen grundsätzlich drei wichtige Indikationen [57]:

- Bei klinisch bestehendem Verdacht auf eine Skaphoidfraktur und fehlendem Nachweis in den Röntgenbildern zur Detektion oder zum sicheren Ausschluss einer knöchernen Verletzung
- Bei bereits nachgewiesenen Frakturen zum Staging und zur besseren Therapieplanung
- Bei Komplextraumen und Luxationsverletzungen

Die Computertomographie bietet eine wesentlich höhere Sensitivität bei der Detektion von Skaphoidfrakturen im Vergleich zu Röntgenaufnahmen. Karle und Mitarb. berichten von 33,9% der untersuchten Patienten, bei denen eine Fraktur erst in der Computertomographie nachgewiesen werden konnte, nachdem die Röntgenbilder keinen Hinweis auf eine knöchernen Verletzung lieferten [43].

Für die Computertomographie am besten geeignet sind 45° schräge Sagittalschichten, um das Skaphoid bereits in der Primärschichtung in der gesamten Längsausdehnung darstellen zu können. Die Schnittdicke sollte maximal 1 mm betragen [53].

Ein Mitscannen der angrenzenden Handwurzelknochen und des distalen Radius hilft, begleitende Luxationen oder Frakturen auszuschließen bzw. nachzuweisen.

MRT

Die MRT weist eine sehr hohe Sensitivität für die Darstellung von Knochenmarksödemen auf und ist so sehr gut für den Nachweis einer frischen Skaphoidpathologie geeignet [53]. Ein großer Vorteil liegt darin, dass ein unauffälliges MRT eine Skaphoidfraktur definitiv ausschließt. Trotzdem tritt sie im klinischen Alltag eher in den Hintergrund, vor allem da die CT-Diagnostik für frische Frakturen wesentlich exakter ist.

Dies liegt zum einen an der beim MRT im Vergleich zum CT schlechteren örtlichen Auflösung der Frakturzone als auch an der geringen Spezifität, da ein sogenanntes "bone bruise" auch bei Knochenkontusion und trabekulärer Mikrofrakturierung auftreten kann. Aus therapeutischer Sicht ist die Abgrenzung zwischen Kahnbeinfraktur und "bone bruise" jedoch entscheidend [53].

Die Indikation zur MRT ergibt sich also bei Patienten, die trotz negativen Frakturachweises in Röntgen und CT eine entsprechende Klinik aufweisen und dient dann der Detektion bzw. dem Ausschluss einer okkulten Fraktur [57]. Es sollte jedoch im Anschluss immer eine CT zur Therapieplanung durchgeführt werden, da hierfür die MRT nicht ausreicht [27].

Von Vorteil ist außerdem die im MRT mögliche zusätzliche Darstellung von Knorpel- und Bandanteilen im Handgelenk, die direkt mitbeurteilt werden können [23]. Ein weiterer Einsatzbereich der MRT ist die Diagnostik der avaskulären Nekrose. Hierbei kann die Sensitivität der MRT-Untersuchung der Vitalität des proximalen Fragments durch Kontrastmittelgabe signifikant gesteigert werden [58]. Das notwendige Frequenzspektrum umfasst koronare flüssigkeitssensitive STIR Sequenzen sowie T1-gewichtete Sequenzen in koronarer und sagittaler

Schichtung [23].

Weitere bildgebende Verfahren

Auch weitere bildgebende Verfahren wurden in der Vergangenheit herangezogen, wie die Szintigraphie oder die Sonographie. Diese Methoden wurden jedoch wieder verlassen.

Obwohl die Szintigraphie eine Sensitivität von nahezu 100% aufweist [56], sollte sie aufgrund ihrer schlechten Ortsauflösung und der geringen Spezifität, die eine ergänzende CT im Regelfall notwendig macht, nicht mehr angewandt werden. Zudem ist die Strahlenbelastung in diesem Verfahren vergleichsweise hoch [57].

In der hochauflösenden Sonographie können Fragmentdislokationen sowie parossale Hämatome dargestellt werden. Sie ist jedoch nicht zum genauen Staging und zur Therapieplanung geeignet, zumal diese Untersuchungsmethode stark von der Erfahrung des Untersuchers abhängig ist [57].

Komplikationen

Avaskuläre Nekrose

Die avaskuläre Nekrose des Skaphoids stellt eine aseptische Knochennekrose dar, die aufgrund der schwierigen Durchblutungssituation fast ausschließlich den proximalen Pol betrifft. Wie der Begriff „aseptisch“ besagt, sind keine Erreger an der Nekrose beteiligt. Die Ätiologie ist häufig ischämisch und geht auf eine Unterbrechung der Blutzufuhr bedingt durch eine Fraktur zurück, man spricht von einer sekundären Osteonekrose [59]. Abzugrenzen ist hiervon der Morbus Preiser, bei dem es sich um eine idiopathische aseptische Knochennekrose handelt. Da die Abgrenzung sehr schwierig ist, gehen einige Ärzte davon aus, dass es sich eigentlich um das gleiche Krankheitsbild handelt [59].

Der genaueste Hinweis für die Vitalität der Skaphoidfragmente ist das Auftreten von Blutungspunkten nach dem Anfrischen der sklerosierten Zonen während der Operation [18]. Etwa ein Viertel der Patienten mit etablierten Pseudarthrosen weist intraoperativ keinerlei Blutungspunkte auf [60].

Auch bildgebende Verfahren können Hinweise auf eine avaskuläre Nekrose

geben, sind in ihrer Zuverlässigkeit jedoch eingeschränkt. Einige Autoren gehen davon aus, dass eine vermehrte Dichte des proximalen Pols für eine avaskuläre Nekrose spricht [5,21].

Green und Mitarb. bemerken keinen Zusammenhang zwischen den präoperativen Röntgenbildern und dem intraoperativen Vorkommen von Blutungspunkten [18].

Trumble stellt ebenfalls keine signifikante Korrelation zwischen der Densität des proximalen Pols auf präoperativen Röntgenaufnahmen und der histologischen Viabilität fest. Die MRT-Aufnahmen korrelieren hingegen gut mit den histologischen und den intraoperativen Befunden [61].

Die Größe des Pols bietet ebenfalls keine ausreichenden Hinweise auf die Vaskularität [18].

Cooney und Mitarb. postulieren die mikroskopische Untersuchung von avaskulären Fragmenten zur besseren Beurteilung [18]. Da jedoch im proximalen Pol avaskuläre neben vaskulären Anteilen liegen können, müsste man für eine sichere Aussage den kompletten Pol untersuchen [18].

Die Heilungsraten können bei der avaskulären Nekrose durch den Einsatz von vaskularisierten Knochenspänen verbessert werden und das avitale Fragment kann sich unter Umständen wieder regenerieren [62]. Einige Studien berichten nahezu von einer Verdopplung der Heilungsrate durch den Einsatz von vaskularisierten Knochenspänen, z.B. von 47% auf 87% [63]. Auch bei einer Versorgung der Skaphoidpseudarthrose mit nicht-vaskularisiertem Knochenmaterial kann es unter Umständen zu einer Erholung des scheinbar avitalen proximalen Pols kommen [64]. Umgekehrt gibt es auch Fälle, in denen es bei operierten frischen Skaphoidfrakturen im Verlauf zur Ausbildung einer avaskulären Nekrose trotz knöcherner Ausheilung kam [21].

Humpback-Deformität

Als Humpback-Deformität bezeichnet man eine Achsenknickung der Skaphoidfragmente. Hierbei dreht sich der proximale Pol in Extensionsstellung, wogegen sich der distale Pol in eine Flexionsstellung dreht. Das Lig.

radioscaphocapitatum, das über die Skaphoidtaille zieht, dient hierbei als Drehpunkt [65].

Coblenz und Mitarb. beschreiben bei frischen Skaphoidfrakturen eine Wahrscheinlichkeit von 17% für das Auftreten einer Humpback-Deformität, bei Pseudarthrosen liegt die Wahrscheinlichkeit mit 53% der Fälle noch einmal deutlich höher [53]. Die Diagnostik erfolgt meist mittels lateraler Röntgenaufnahme der Hand. Ist dies nicht ausreichend, da zu viele Überlagerungen durch die anderen Handwurzelknochen bestehen, kann alternativ eine CT herangezogen werden [66]. Es besteht ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten einer Humpback-Deformität und einer DISI-Deformität [67].

Karpale Instabilität

Als karpaler Kollaps wird ein Zustand des Handgelenks mit einer Instabilität der proximalen Handgelenksreihe bezeichnet, aufgrund derer es zu arthrotischen Veränderungen kommt [68]. Dabei wird unterschieden zwischen „SNAC-“ und „SLAC-Wrist“: „SNAC-Wrist“ steht für „scaphoid nonunion advanced collapse“ und entsteht auf Grundlage einer Skaphoidpseudarthrose [68]. Ursächlich für den „SLAC-Wrist“ („scapholunate advanced collapse“) ist hingegen eine Ruptur des SL- Bandes [69].

Die DISI-Fehlstellung („dorsal intercalated segment instability“) beschreibt im seitlichen Strahlengang eine Verkipfung des Lunatum in die Extensionsstellung (Vgl. Abb. 11). Durch die Unterbrechung der Verbindungen der proximalen Handgelenksreihe folgen Skaphoid und Lunatum ihren natürlichen Bewegungstendenzen [14]. Da das Lunatum palmar breiter ist als dorsal, kippt es nach palmar aus dem Karpus heraus und gelangt so in eine Extensionsstellung. Diese Tendenz wird durch eine Palmarneigung der distalen Radiusgelenksfläche noch zusätzlich verstärkt [16].



Abbildung 11: SLAC-Wrist mit DISI-Deformität [68]

Ist das Skaphoid frakturiert, weisen die beiden Fragmente unterschiedliche Bewegungstendenzen auf. Der distale Anteil des Skaphoids kippt hierbei nach palmar in Flexionsstellung, während der proximale Anteil durch seine straffe Fixierung durch das Lig. scapholunare an das Lunatum eine Dorsalkippung in Extensionsstellung vollführt (Vgl. Abb. 12). Durch dieses Zusammenspiel kommt es außerdem zu einem Proximaltreten des Kapitatum mit Radialverschiebung [69]. Das distale Fragment verkantet bei dieser Rotation mit dem Proc. styloideus radii, wo die ersten arthrotischen Veränderungen auftreten [68].



Abbildung 12: SNAC-Wrist mit DISI-Deformität [68]

Als PISI bzw. VISI („palmar/ volar intercalated segment instability“) bezeichnet man eine im seitliche Strahlengang sichtbare Flexion des Lunatums, oft zu beobachten bei Ruptur des LT-Bandes [14].

Wie in Abb. 13 ersichtlich, werden die arthrotischen Veränderungen beim SNAC-

Wrist nach Watson und Ryu in drei verschiedene Stadien eingeteilt [70]:

- Stadium 1: Ausschließlicher Befall des Proc. styloideus radii
- Stadium 2: Ausbreitung auf den radioskaphoidalen Gelenkabschnitt zwischen distalen Fragment und Radius
- Stadium 3: Arthrose zwischen Kapitatumkopf und den korrespondierenden Gelenkflächen des Lunatums sowie des proximalen Skaphoidfragments.

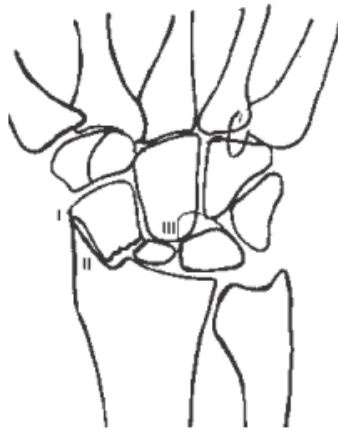


Abbildung 13: Stadieneinteilung nach Arthroseausmaß bei SNAC-Wrist [2]

Das radiolunäre Gelenk ist so gut wie nie von arthrotischen Veränderungen betroffen [70].

Radiologisch kann eine karpale Instabilität anhand einer Vergrößerung des skapholunären Winkels auf $>70^\circ$, einer Vergrößerung des Abstandes zwischen Skaphoid und Lunatum oder zwischen Lunatum und Triquetrum von $>2,5$ mm sowie an einer Vergrößerung des radiolunären Winkels auf $>10^\circ$ vermutet werden [71]. Ein weiteres Zeichen für einen karpalen Kollaps ist die Verminderung der carpal height ratio auf unter 0,50 [71].

Ausheilung des Skaphoids in Fehlstellung (Malunion)

Neben der persistierenden Pseudarthrose stellt auch die Ausheilung des Skaphoids in Fehlstellung (Malunion) eine häufige, wenn auch selten erkannte Komplikation der Skaphoidfraktur dar. Sie bezeichnet einen Achsknick des verheilten Skaphoids, also einen veränderten Winkel zwischen dem distalen und

dem proximalen Pol, was bei Patienten zu persistierenden klinischen Beschwerden trotz knöcherner Durchbauung führen kann. Eine Ursache hierfür kann sein, dass eine Humpbackdeformität und/oder eine Rotation sowie ein Versatz eines Fragmentes nicht ausreichend korrigiert wurde und somit die Form des Skaphoids nicht korrekt wiederhergestellt wurde [72].

Ein gutes Maß für das klinische Ergebnis stellt unter anderem der laterale intraskaphoidale Winkel dar, der in der lateralen Ansicht bestimmt wird (vgl. Abb. 14). Ab einem Winkel größer 45° steigt der Anteil an schlechten klinischen Ergebnissen deutlich an [72].

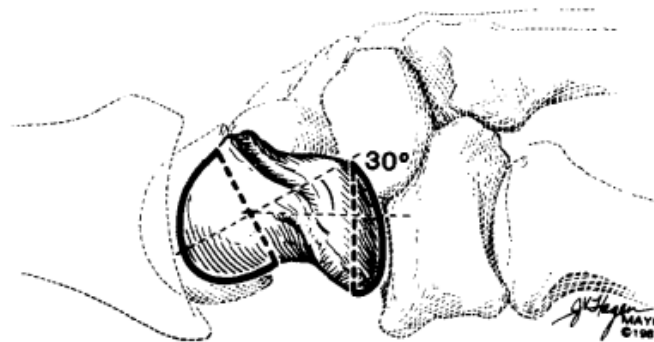


Abbildung 14: Bestimmung des lateralen intraskaphoidalen Winkels [72]

Therapie der Skaphoidpseudarthrose

Zur Therapie von Skaphoidpseudarthrosen kommen generell nur operative Methoden zum Einsatz. Falls eine Rekonstruktion keine Aussicht auf Erfolg mehr bietet, können „Rettungsoperationen“ angewandt werden, die eine Schmerzreduktion auf Kosten von Funktionalität bieten.

Sanierende Eingriffe

Plastik nach Matti-Russe

Hermann Matti beschrieb 1937 erstmals eine Operationstechnik, in der bei Skaphoidpseudarthrosen das nekrotische Gewebe über einen dorsalen Zugang vollständig entfernt und durch einen spongiösen Knochenblock wie in Abb. 15 dargestellt ersetzt wird, um die ursprüngliche Länge des Skaphoids wiederherzustellen und die Heilung zu fördern [73].

Otto Russe modifizierte diese Technik 1960, indem er einen palmaren Zugang anwendete, da so seiner Meinung nach die Blutversorgung weniger gefährdet würde. Zudem verwendete er kortikospongiöse Knochenblöcke vom autologen Beckenkamm statt Spongiosa [74]. Der kortikale Anteil soll die Stabilität sicherstellen, wohingegen der spongiöse Anteil die Osteogenese fördern soll [18].

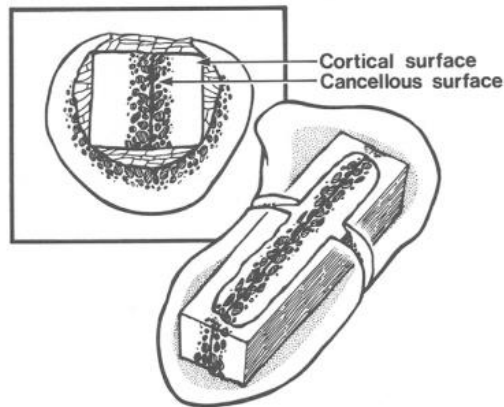


Abbildung 15: Matti-Russe-Plastik [18]

Die Matti-Russe-Plastik fand früher vor allem bei Pseudarthrosen im mittleren und proximalen Drittel Verwendung. Voraussetzung hierfür ist eine erhaltene Vaskularität der Fragmente, eine totale avaskuläre Nekrose stellt laut Russe eine Kontraindikation dar [18]. Die Technik wurde vor allem bei Pseudarthrosen mit großen Gewebdefekten angewandt, bei denen eine direkte Verschraubung nicht möglich ist.

Ein Nachteil dieser Technik ohne interne Fixierung besteht in der sehr langen Ruhigstellungsdauer von mindestens 12 Wochen, teilweise sogar bis zu 6 Monaten, im Oberarmgipsverband, mit den damit verbundenen negativen Auswirkungen auf Beweglichkeit und Kraft des Handgelenks, weshalb diese Technik aktuell nur noch selten angewandt wird.

Die Entwicklung der Herbert-Schraube

Herbert stellte erstmals 1984 die nach ihm benannte Knochenschraube zur Behandlung von frischen Skaphoidfrakturen und Skaphoidpseudarthrosen vor.

Ziel bei der Entwicklung der Herbertschraube war es, eine Methode zu finden, die für eine stabile Fixierung auch kleiner Knochenfragmente sorgt. Da es sich bei Skaphoidfrakturen um intraartikuläre Verletzungen handelt, sah Herbert die intramedulläre Fixation als beste Möglichkeit an.

Die Herbertschraube weist statt einem Schraubenkopf ein zweites Gewinde mit einer flacheren Steigung als das vordere Gewinde, aber einem größeren Durchmesser auf. Hierdurch kommt es zu einer Kompression der Fragmente, die zusätzlich über die Anzahl der Umdrehungen gesteuert werden kann. Herbertschrauben sind aus einer Titanlegierung gefertigt und in Längen zwischen 16 mm und 30 mm verfügbar. Sie weisen einen Durchmesser von 4 mm auf.

Für die Versorgung von kleinen proximalen Fragmenten stehen Mini-Herbertschrauben zur Verfügung, die eine Länge von 12 bis 20 mm sowie einen Schaftdurchmesser von etwa 1,5 mm aufweisen. Das Risiko der Sprengung des proximalen Fragments während der Schraubeneinbringung wird so minimiert [75].

Obwohl die Herbertschraube anderen früher verwendeten Schrauben (z.B. ASIF 4.0) an Kompressionskraft in vitro unterlegen ist, ist sie biologisch gesehen vor allem aufgrund ihrer geringen Größe überlegen, da sie die Knochenarchitektur nur gering beeinflusst [76].

Die Pseudarthrosenresektion und das Einbringen eines Knochentransplantats mit kanülierten Doppelgewindeschrauben hat sich laut Literatur bewährt. Verschiedene Studien zeigen bei dieser Technik Konsolidierungsraten zwischen 73 und 100 Prozent [18].

Wahl des Zugangswegs

Die Versorgung von Skaphoidfrakturen und -pseudarthrosen ist sowohl über einen palmaren als auch über einen dorsalen Zugang sowie mit einer Kombination der beiden Zugangswege möglich.

Der palmare Zugang bietet hierbei die Möglichkeit einer besseren Korrektur der Achsfehlstellung (Humpback), ist jedoch für proximale Pseudarthrosen nicht gut

geeignet [77].

Der dorsale Zugang (vgl. Abb, 16) bietet eine gute Möglichkeit, auch kleine proximale Fragmente gut und sicher zu fixieren. Allerdings ist über einen alleinigen dorsalen Zugang die Wiederaufrichtung des Skaphoids schwierig. Das Einbringen der Herbertschraube erfolgt hierbei retrograd [77].

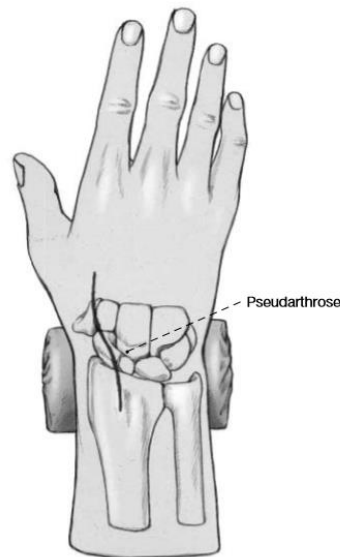


Abbildung 16: Dorsaler Zugangsweg [78]

Wahl des Osteosynthesematerials

Bei der Wahl des Osteosynthesematerials gibt es verschiedene Möglichkeiten. Standardmäßig werden kopflose Kompressionsschrauben wie beispielsweise die Herbertschraube herangezogen. Es ist aber auch möglich, Kirschnerdrähte oder winkelstabile Skaphoidplatten zu verwenden.

Gerade bei instabilen Pseudarthrosen bieten Schrauben laut Merell und Mitarb. eine wesentlich größere Stabilität als eine alleinige Fixation mit Kirschnerdrähten, was sich in einer deutlich höheren Heilungsrate niederschlägt. In besagter Studie lag diese bei 94% für die Schraubenosteosynthese im Vergleich zu 77% bei der Kirschnerdrahtosteosynthese [63].

Eine Metastudie aus dem Jahr 2015 von Alluri und Mitarb. kommt zu einem gegenteiligen Ergebnis: Hier liegt die Ausheilungsrate mit Kirschner-Drähten im Vergleich zur Schraubenosteosynthese um etwa 25% höher. Zudem zeigte sich

eine Tendenz zu einer kürzeren Ausheilungsdauer. Diese Daten beziehen sich allerdings ausschließlich auf vaskularisierte Knochenspäne [79].

Auch Tambe und Mitarb. berichten von signifikant besseren Ergebnissen bei der Versorgung mit Schrauben im Gegensatz zur Versorgung mit Kirschnerdrähten [80]. Kirschnerdrähte erfordern zudem eine längere postoperative Immobilisation [65].

Neben der Herbertschraube stehen noch verschiedene andere kanülierte Schrauben zur Versorgung des Skaphoids zur Verfügung (z.B. Acutrak, Arthrex u.v.m.)

Wahl des Knochentransplantats

Knochentransplantate werden zum einen eingesetzt, um die ursprüngliche Länge und die Form des Skaphoids wiederherzustellen, zum anderen sollen sie die Knochenheilung durch osteogenetische, osteoinduktive und osteokonduktive Wirkungen fördern [81]. Ziel ist dabei ein lateraler intraskaphoidaler Winkel von kleiner gleich 35° [72] sowie ein skapholunärer Winkel zwischen 30° und 60° [67]. Hierzu werden vor allem kortikospongiöse Späne aus dem Beckenkamm oder dem distalen Radius herangezogen. Auch der ausschließliche Einsatz von Spongiosa kann zu einem guten Ausheilungsergebnis führen. Voraussetzung hierfür ist, dass der distale sowie der proximale Pol jeweils groß genug sind, dass eine Schraube sicher fassen kann und die Fragmente so in Position gehalten werden können. Vorteile dieser Methode sind ein vereinfachter chirurgischer Eingriff zum Entnehmen sowie ein schnelleres Einwachsen von ausschließlich spongiösem Material im Vergleich zu einem kortikospongiösen Knochenblock [82].

Beckenkammspäne und Radiusspäne sind in Hinblick auf die Heilungsrate und die Zeitdauer bis zur knöchernen Konsolidierung gleichwertig [65]. Auch bei der Wiederherstellung der Anatomie und der karpalen Höhe finden sich keine signifikanten Unterschiede [80].

Mikrovaskulär angeschlossene Transplantate

Eine weitere Möglichkeit neben dem Einsatz eines kortikospongiösen

Knochenblocks zur Auffüllung eines Pseudarthrosenspaltes stellt das mikrovaskulär angeschlossene Knochentransplantat dar. Dieses kommt vor allem zum Einsatz, wenn bereits ein frustraner Versuch mit einem nicht-vaskularisierten Knochenspan in der Vorgeschichte erfolgt ist oder ein kleines proximales Fragment mit schlechter Blutversorgung besteht. Eine Möglichkeit stellt der Zaidenbergspan dar, ein gefäßgestielter Knochenspan aus dem distalen Radius [83]. Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz von freien mikrovaskulär angeschlossenen Knochentransplantaten aus dem medialen Femurkondylus [84].

Palliative Operationen

Bei fehlender Indikation zum erneuten Versuch einer Kahnbeinrekonstruktion, z.B. mittels gefäßgestielten Femurspans, aber entsprechenden Beschwerden kommen Rettungsoperationen in Betracht. Hierbei steht nicht die Wiederherstellung des Kahnbeins im Vordergrund, sondern es wird ein Kompromiss eingegangen zwischen der bestmöglichen Schmerzfreiheit des Patienten und einer Restbeweglichkeit bzw. einer reduzierten Belastbarkeit des Handgelenks.

Denervation nach Wilhelm

Die Denervation des Handgelenks ist eine partielle sensible Neurotomie zur Unterbrechung der peripheren schmerzleitenden Nervenbahnen. Sie stellt die unkomplizierteste und am wenigsten invasive Methode der Rettungsoperationen dar und wird oft mit anderen Eingriffen kombiniert [23].

Erstmalig wurde die Denervation des Handgelenkes von A. Wilhelm zur Behandlung der posttraumatischen Arthrose beschrieben [85]. Indikationen stellen vor allem arthrotische oder rheumatische Veränderungen am Handgelenk dar, aber auch therapieresistente Neuralgien des N. interosseus posterior sowie die Styloiditis radii [23]. Voraussetzungen für die Durchführung der Operation ist eine erhaltenswerte Beweglichkeit des Handgelenks [86].

Als komplette Denervation bezeichnet man eine Ausschaltung aller zehn von Wilhelm beschriebenen Gelenksnerven, eine partielle Denervation ist auch dann schon gegeben, wenn nur der N. interosseus posterior ausgeschaltet wird.

Styloidektomie

Die radiale Styloidektomie wurde erstmals 1948 von Barnard und Stubbins beschrieben als Hilfstechnik bei Skaphoidpseudarthrosen und -malunion. Ursprünglich diente diese Operation dem besseren Sichtgewinn auf das Operationsfeld und einer leichteren Erreichbarkeit der Fraktursegmente. Zudem glaubten die Autoren, dadurch die Wahrscheinlichkeit für sekundäre arthrotische Veränderungen reduzieren zu können [87].

Verschiedene Symptome bei Skaphoidpseudarthrosen können durch die Entfernung des Proc. styloideus radii gebessert werden, da ein Impingement verhindert wird, vor allem Schmerzen bei radialer Deviation und Palmarflexion [4] (vgl. Abb. 17). Eine radiale Styloidektomie macht vor allem dann Sinn, wenn 3. und 4. gradige Knorpelschäden an der radialen Gelenkfläche der Fossa scaphoidea vorzufinden sind. Sie sollte sparsam durchgeführt werden [23]. Durch eine zu ausgiebige Resektion kann es zu einer Destabilisierung des Handgelenks kommen, die darauf zurückzuführen ist, dass die Insertion einiger der wichtigen extrinsischen Bänder des Handgelenks hierdurch gestört wird [88].

Einige Studien stehen der Styloidektomie daher skeptisch gegenüber und raten, sie wann immer möglich zu vermeiden, da sich teilweise bei diesen Patienten ein statistisch schlechteres klinisches Ergebnis zeigt als bei Patienten ohne Styloidektomie [67].



Abbildung 17: Z.n. Styloidektomie (eigenes Patientengut)

Mediokarpale Teilarthrodese

Die mediokarpale Teilarthrodese wird auch als "four-corner fusion" bezeichnet (vgl. Abb. 18). Die Operationsindikation ist gegeben, wenn Schmerzen und Schwellung zu starken Beeinträchtigungen im Alltag führen und im Röntgen ein karpaler Kollaps mit einhergehenden arthrotischen Veränderungen im Sinne eines SNAC-Wrist bei intaktem radiolunärem Gelenkabschnitt nachweisbar ist. Bei dieser Operationstechnik wird das Skaphoid vollständig entfernt. Die Schmerzreduktion wird erreicht auf Kosten von Beweglichkeit und Griffstärke.



Abbildung 18: Handgelenk nach MKTA (eigenes Patientengut)

Im Schnitt beträgt der normale Bewegungsumfang für Extension und Flexion zusammengenommen etwa 133°, für die radiolunare Deviation etwa 40,5° [89], wobei für die alltäglichen Aufgaben ein Bewegungsumfang von 5° Flexion und 30- 35° Extension sowie 10° radiale Deviation und 15° ulnare Deviation ausreicht [90,89]. Durchschnittlich verbleibt bei der mediokarpalen Teilarthrodese ein aktiver Bewegungsumfang (AROM) von ca. 60° für Extension/Flexion [91].

Proximal row carpectomy

Beschrieben wurde die Proximal row carpectomy erstmals von T. T. Stamm 1944. Operationsindikationen stellen Erkrankungen der proximalen Handgelenksreihe dar, z.B. Skaphoidpseudarthrosen, Morbus Kienböck oder das Handgelenksempyem mit fortschreitender Destruktion der interkarpalen Bänder [92].

Der Eingriff dient zur Entlastung des Gewebes von Stress durch Kompression oder Überdehnung. Laut Stamm reicht die Entfernung des Skaphoids alleine nicht aus, da dies nur zu einer Entlastung des Scherstress führt, andere Einflussfaktoren aber unbeachtet lässt. Zudem wird die Handgelenksmechanik durch die Entfernung des einzelnen Knochens in Richtung Instabilität beeinflusst. Um dies zu verhindern, werden neben dem Skaphoid auch die restlichen Knochen der proximalen Handwurzelreihe entfernt, also Lunatum und Triquetrum. In Folge dessen entsteht aus dem kombinierten Gelenk ein einfaches Kugelgelenk zwischen Kapitatum und Radius [92] (vgl. Abb. 19).



Abbildung 19: Handgelenk nach PRC (eigenes Patientengut)

Voraussetzung für die Operation ist ein guter Knorpelüberzug des proximalen Pols des Kapitatum sowie der Fossa lunata des Radius, da in diesem Bereich das neue Gelenk entsteht [93].

Die Endbewegung beträgt laut Stamm etwa 65% des normalen Bewegungsumfangs, wobei angenommen wird, dass durch die Vereinfachung des Gelenks ein Maximum von etwa 70% der ursprünglichen Bewegung möglich ist [92]. In einer Studie von Green und Mitarb. muss bei etwa 10% der Patienten im Verlauf eine Totalarthrodese des Handgelenks erfolgen [93].

Die Vorteile einer PRC im Vergleich zur MKTA liegen in einer einfacheren Operationstechnik, einer kurzen postoperativen Ruhigstellung, einer guten Restbeweglichkeit sowie darin, dass es nicht zu Implantat-assoziierten

Problemen kommen kann [94].

Künstlicher Ersatz des Skaphoids

Der Ersatz des Skaphoids bei Pseudarthrose durch ein künstliches Implantat ist im klinischen Alltag von geringer Bedeutung. Obwohl mechanische Studien Hinweise darauf ergaben, dass Implantate eine tragende Kraft im Handgelenksgefüge aufweisen, wenn auch eine dem normalen Skaphoid unterlegene [95], brachte ein Ersatz des Skaphoids durch Silikonimplantate keine Verbesserung des Operationsergebnisses mit sich [96]. Grund hierfür war vor allem die Ausbildung von Silikonsynovialitiden mit nachfolgenden zystischen Knochenveränderungen [68].

Klinische Untersuchungsscores

DASH-Score

Beim DASH-Score (Disabilities of Arm, Shoulder and Hand) handelt es sich um einen Mitte der 90er-Jahre vom Council of Musculoskeletal Specialty Societies, American Academy of Orthopaedic Surgeons und vom Institute for Work and Health Canada entwickelten sogenannten „self-report“- Fragebogen, der zur subjektiven Beurteilung der Lebensqualität von Patienten mit Verletzungen an der oberen Extremität dient. Er betrachtet hierbei die obere Extremität im Gesamten und stellt den am häufigsten eingesetzten Fragebogen in diesem Bereich dar.

Er setzt sich aus 34 Fragen in drei verschiedenen Teilgebieten zusammen, die auf einer Skala von 1 bis 5 bewertet werden, wobei "1" keine Einschränkungen bedeutet, "5" dagegen stärkste Einschränkungen. Teil A, der sich aus 23 Fragen zusammensetzt, beschäftigt sich vor allem mit der Funktion im Alltag. Teil B versucht die Schmerzsymptomatik abzudecken, während sich Teil C auf die besonderen Anforderungen an die obere Extremität beim Spielen eines Musikinstrumentes oder beim Ausüben von bestimmten Sportarten bezieht. Die Summe der ersten 30 Fragen (insgesamt 30 bis 150 mögliche Punkte) wird in

eine Skala von 0 bis 100 transformiert. 0 bedeutet hierbei keine, 100 maximale Einschränkung [68].

Zusätzlich zum DASH-Score existiert noch ein Quick-DASH, der sich im A-Teil auf die elf wichtigsten der 30 Fragen beschränkt und so aus insgesamt 19 Fragen besteht.

Mayo Wrist Score

Der Mayo Wrist Score (MWS) wurde von Cooney und Mitarb. 1987 als "Clinical Scoring Chart" in der Nachuntersuchung von dislozierten perilunären Frakturen des Handgelenks beschrieben [88].

Grundlage hierfür bildet das Beurteilungssystem von Green und O'Brien, das ursprünglich für karpale Dislokationen angewandt worden war [97]. Der MWS bewertet die Parameter Schmerz, funktionellen Status, Handgelenksbeweglichkeit und Griffkraft. In jedem dieser Parameter können maximal 25 Punkte erreicht werden.

Die Einteilung der Punktesummen erfolgt in ein "hervorragendes" (91 bis 100 Punkte), ein "gutes" (81 bis 90 Punkte), ein "befriedigendes" (65 bis 80 Punkte) und ein "schlechtes" Ergebnis (<65 Punkte) [88].

Krimmer-Score

Der modifizierte Mayo Wrist Score nach Krimmer wurde ursprünglich im Zusammenhang mit Untersuchungsergebnissen nach mediokarpaler Teilarthrodese bzw. Totalarthrodese vorgestellt [98]. Die Modifizierung umfasst u.a. die Schmerzerfassung und den funktionellen Status:

- Bei der Schmerzerfassung wird durch Krimmer und Mitarbeiter postuliert, dass eine Differenzierung aus Patientensicht zwischen leichtem und mäßigem Schmerz oft nicht reproduzierbar möglich ist. Die Unterscheidung zwischen Ruhe- und Belastungsschmerz hingegen ist quasi immer möglich. So gibt es beim Krimmer-Score die Unterteilung in „Schmerzfreiheit“ (20 Punkte), „ausschließlich Belastungsschmerz“ (15 Punkte), „Ruheschmerz und Belastungsschmerz“ (10 Punkte) sowie „starke, unerträgliche Schmerzen“ (0 Punkte) [98].

- Im Hinblick auf den funktionellen Status wird der Fokus weg von der Berufsfähigkeit des Patienten, die auch anderen Einflussfaktoren unterliegt, hin zur Gebrauchsfähigkeit der Hand im Alltag verschoben. Die Graduierung umfasst „normal, keine Einschränkungen“ (30 Punkte), „eingeschränkt nur bei speziellen Tätigkeiten“ (20 Punkte), „erhebliche Einschränkungen“ (10 Punkte) sowie „starke Einschränkungen bereits im Alltag“ (0 Punkte) [98].

Die Spannbreite ist zwischen 0 und 100 festgelegt. Die Bewertung der einzelnen Punktzahlen unterscheidet sich vom MWS: 81 bis 100 Punkte werden mit „sehr gut“ bewertet, 66 bis 80 Punkte mit „gut“, 50 bis 65 Punkte mit „befriedigend“ und unter 50 Punkte mit „schlecht“.

Auch die Gewichtung der vier Parameter ist im Gegensatz zum MWS unterschiedlich. „Kraft“ und „Gebrauchsfähigkeit“ können jeweils mit bis zu 30 Punkten bewertet werden, „Beweglichkeit“ und „Schmerz“ mit jeweils nur bis zu 20 Punkten [98]. Beim Krimmer-Score kann die Unterarm-Umwendbeweglichkeit, je nach betroffener Region, ohne Auswirkungen auf die Bewertung entfallen. Das Bewertungsschema ist auf alle Eingriffe am Handgelenk anwendbar, sodass auch die Möglichkeit gegeben ist, verschiedene Operationsmethoden miteinander zu vergleichen.

Ziel der Studie

Ziel der Studie ist es, einen Überblick über die Versorgungswirklichkeit der Skaphoidpseudarthrose bei unselektiertem Patientengut in einer Ausbildungsklinik zu erhalten.

Patienten und Methoden

Studiendesign

Das Studiendesign entspricht einer retrospektiven monozentrischen Kohortenstudie. Damit ist ein Evidenzlevel der Stufe IV gegeben [99].

Als Erfolgsparameter dient zum einen das radiologische Ergebnis im Sinne einer knöchernen Konsolidierung, zum anderen das klinische Ergebnis. Hierzu werden verschiedene Parameter wie Funktionalität und subjektives Empfinden herangezogen.

Zur Prüfung der Funktionalität erfolgen Kraftmessungen mittels Jamar-Dynamometer und Messungen des Bewegungsumfangs mittels Winkelmesser für kleine Gelenke. Die Auswertung erfolgt mittels Übertragung in den modifizierten Mayo Wrist Score.

Ethikkommission und Datenschutz

Zu Beginn der Studienplanung wurde das Einverständnis der klinikinternen Ethikkommission eingeholt (Ethikvotum 13/2014; 24.09.2014, Bad Neustadt a.d. Saale).

Die Aufklärung über Durchführung und Zweck der Studie sowie Datenschutz erfolgte bereits schriftlich im Einladungsschreiben und wurde am Untersuchungstag nochmals durch die Untersucherin ausführlich erläutert.

Es erfolgte eine schriftliche Zustimmung der Patienten für die Untersuchung und die anonymisierte Nutzung der erhobenen Daten.

Rekrutierung des Patientenguts

Eine Abfrage der klinikinternen Datenbank ergab 330 Patienten, die im Zeitraum vom 01.01.2006 bis zum 31.12.2009 in der Klinik für Handchirurgie mit der Diagnose "Skaphoidpseudarthrose" operiert wurden. Wie in Diagramm 1 dargestellt waren von diesen 330 angeschriebenen Patienten 80 Einladungen zur Studie nicht zustellbar, da die Empfänger verzogen oder verstorben waren.

Von den verbliebenen 250 Patienten meldeten sich 100 zurück, die zur Untersuchung einbestellt wurden. Insgesamt ergibt sich somit eine Rücklaufquote von 30% auf die Gesamtpatientenzahl bzw. 40% auf die zustellbaren Einladungen gerechnet.

30 der einbestellten Patienten wurden nach erfolgter Untersuchung von der Auswertung ausgeschlossen, da sie die untenstehenden Einschlusskriterien nicht vollständig erfüllten. Die Gesamtzahl der in die Auswertung einfließenden Patienten beträgt somit 70 Studienfälle.

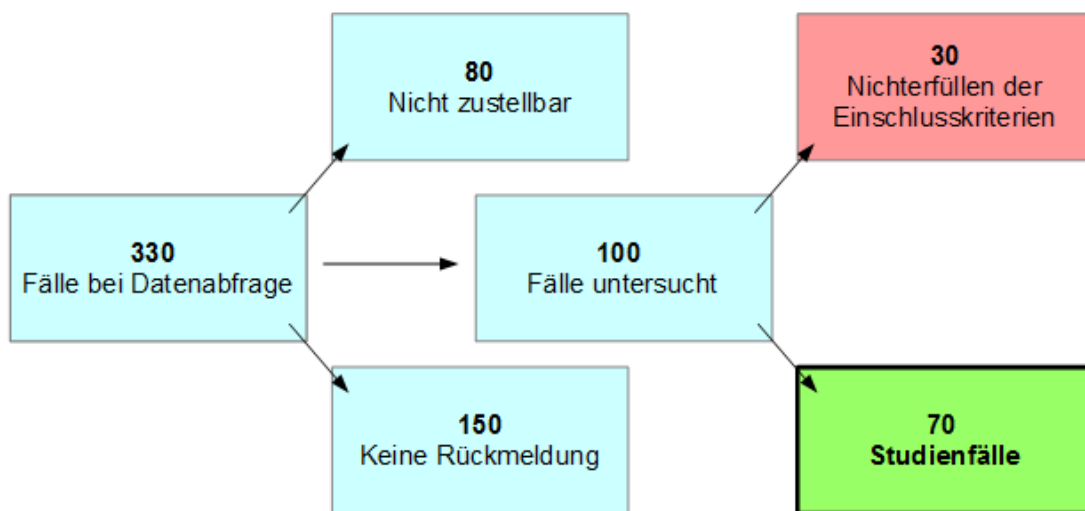


Diagramm 1: Rekrutierung des Patientenguts

Einschlusskriterien

Folgende Einschlusskriterien werden definiert:

1. Bestehen der Skaphoidfraktur seit mindestens 6 Monaten vom Zeitpunkt des Unfalls bis zum Operationszeitpunkt.
2. Operationszeitpunkt zwischen dem 01.01.2006 und dem 31.12.2009, um einen Nachbeobachtungszeitraum von mindestens 5 Jahren garantieren zu können.
3. Versorgung der Skaphoidpseudarthrose ausschließlich mit nicht-vaskularisierten Knochentransplantaten.

Ausschlusskriterien

Verzögerte Heilungsverläufe im Sinne einer "delayed union", also eine seit mindestens 3 Monaten und höchstens 6 Monaten bestehende Fraktur, werden nicht berücksichtigt. Ebenso werden Patienten, die zum Zeitpunkt der Operation noch eine offene Wachstumsfuge aufweisen, aus der Auswertung ausgeschlossen. Gründe hierfür sind zum einen die geringe Anzahl der Patienten (nur 1 Patient der 100 untersuchten) sowie zum anderen die schlechte Datenlage zu kindlichen Skaphoidpseudarthrosen [100].

Untersuchungsaufbau

Bei den 100 teilnehmenden Patienten wird zunächst anhand des Fragebogens die Unfall- und Verlaufsanamnese erhoben sowie eine klinische Untersuchung samt Messung der Kraft mittels Jamar-Dynamometer und Bewegungsumfang des Handgelenks nach der Neutral-Null-Methode mittels Winkelmesser für kleine Gelenke durchgeführt.

Die erhobenen Werte werden in den modifizierten Mayo-Wrist-Score nach Krimmer übertragen, um eine bessere Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Als Vergleichsmaß wird die gesunde Hand herangezogen. Bei Patienten, die beidseits von einer Skaphoidpseudarthrose betroffen sind oder die anderweitige Probleme mit dem gegenseitigen Handgelenk aufweisen, werden Standardmaße als Vergleich herangezogen [98].

Den Patienten wird ebenfalls nach ausführlicher Erklärung ein DASH-Fragebogen zum Selbstausfüllen mitgegeben.

Für die radiologische Diagnostik werden von jedem Patienten drei Röntgenaufnahmen des Handgelenks angefertigt, eine anterior-posteriore und seitliche Aufnahme sowie eine Stecher-Aufnahme. Ausgewertet werden die knöchernen Ausheilung, die Form des Skaphoids sowie möglicherweise bestehende arthrotische Veränderungen. Bei unklarem röntgenologischem Ergebnis wird zusätzlich ein CT in Skaphoidschichtung angefertigt.

Patienten

Bei den Patienten handelt es sich um 57 Männer (81%) und 13 Frauen (19%) zwischen 16 und 68 Jahren mit einem Durchschnittsalter von 29,8 Jahren. Der durchschnittliche Nachbeobachtungszeitraum beträgt 88 (64-110) Monate bzw. 7,3 (5,3-9,2) Jahre.

Statistik

Die statistische Auswertung wird von einer unabhängigen Statistikerin vorgenommen. Neben deskriptiven Methoden werden vor allem der Chi-Quadrat-Test sowie der Mann-Whitney-U-Test angewandt. Das Signifikanzniveau wird wie in vergleichbaren Studien üblich mit $p=0.05$ festgelegt.

Ergebnisse

Epidemiologie

Altersverteilung

Im Durchschnitt sind die Patienten zum Zeitpunkt der Operation 29,8 (16-68) Jahre alt. Den größten Anteil macht, wie in Diagramm 2 dargestellt, die Gruppe der 20-29-Jährigen mit 28 Patienten (40%) aus, gefolgt von den 30-39-Jährigen (15 Patienten; 21%). 13 Patienten (19%) gehören der Gruppe der unter 20-Jährigen an, zehn Patienten (14%) der Gruppe zwischen 40 und 49 Jahren. Vier Patienten (6%) gehören der ältesten Gruppe der über 50-Jährigen an.

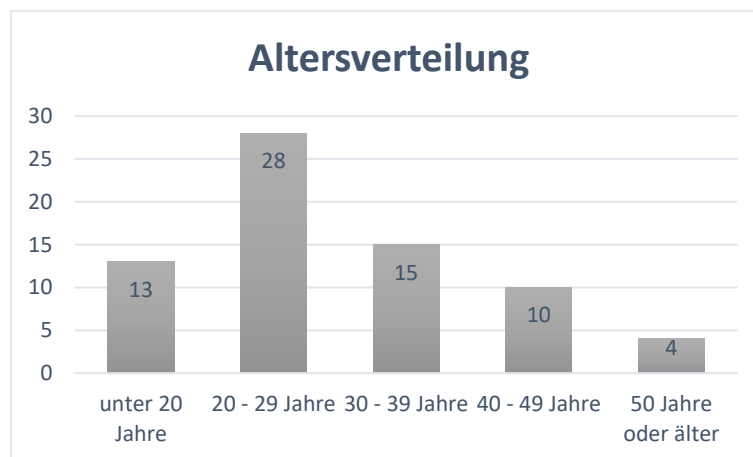


Diagramm 2: Altersverteilung

Händigkeit

62 Patienten (89%) sind Rechtshänder, acht Linkshänder (11%). In 44 Fällen (63%) ist die dominante Seite betroffen, in 26 Fällen (37%) die nicht-dominante Seite. Bei sieben Patienten (10%) liegt eine beidseitige Pseudarthrose vor. Als Studienhand wird diejenige herangezogen, die die Einschlusskriterien (operative Versorgung durch oben genannte Methoden im oben genannten Zeitraum) erfüllt.

Beruf

15 Patienten (21%) wechseln aus Gründen, die mit der Skaphoidpseudarthrose zusammenhängen, den Beruf. Hauptsächlich betroffen hiervon sind Handwerker, z.B. Maurer oder Schreiner.

Ursachen der Skaphoidfraktur

Wie in Diagramm 3 dargestellt, entstehen 20 der Frakturen (29%) bei Sportunfällen, gefolgt von 19 Frakturen (27%) durch Verkehrsunfälle. Fünf Frakturen (7%) werden durch Arbeitsunfälle verursacht. Zehn Patienten (14%) können sich an kein Trauma erinnern. Bei 15 Patienten (21%) liegt ein Sturz zugrunde. Ein Patient erleidet eine Fraktur durch einen Schlag gegen die Hand.

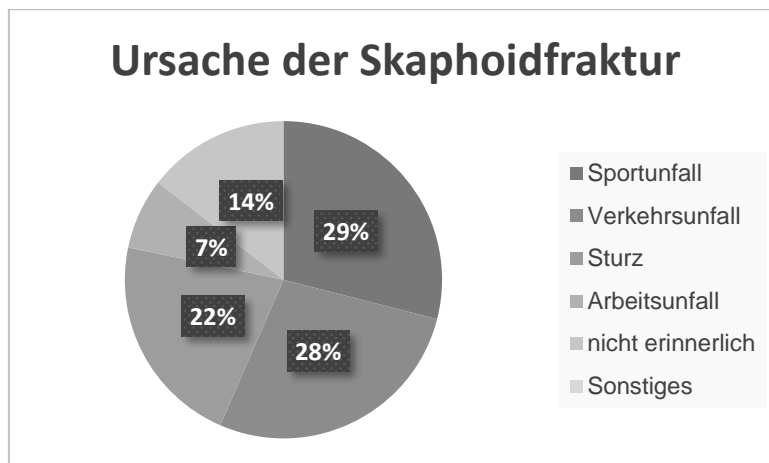


Diagramm 3: Frakturursachen

Zeitlicher Verlauf

Der Zeitraum zwischen Unfall und Erstdiagnose beträgt im Schnitt 142 (0-1895) Wochen bzw. 2,7 Jahre. Der Zeitraum zwischen Unfall und Operation beträgt im Schnitt 193 (26-1916) Wochen bzw. 3,7 Jahre. Bei 49 Patienten besteht die Skaphoidpseudarthrose seit weniger als fünf Jahren, bei 15 Patienten länger. Sechs Patienten können keine Angabe zum genauen Unfallzeitpunkt machen.

Vorbehandlung

37 Patienten (53%) werden im Vorfeld der Operation konservativ vorbehandelt. Hierbei reicht die Spanne der Versorgung von einfachen Stützverbänden über nur eine Woche bis hin zum Gips über sechs Monate. Bei 18 Patienten findet eine Ruhigstellung für sechs Wochen oder länger statt. Aufgrund des langen Zeitraums zwischen Behandlung und Nachuntersuchung können die meisten Patienten jedoch keine sicheren Angaben bezüglich der genauen Zeiträume treffen.

Bei neun Patienten (13%) ist bereits vor der für diese Studie relevanten Operation eine operative Versorgung mittels Verschraubung erfolgt, in einem Fall unter Einsatz eines Beckenkammspanns. 24 Patienten (34%) sind bis zur Operation in Bad Neustadt nicht behandelt worden.

Frakturverteilung

Am häufigsten ist das Skaphoid im mittleren Drittel frakturiert mit insgesamt 34 Frakturen (49%), gefolgt von den Frakturen am Übergang vom proximalen zum mittleren Drittel mit einer Anzahl von 16 Frakturen (23%). Das proximale Drittel ist in 13 Fällen (19%) betroffen. Selten sind die Frakturen am Übergang vom mittleren zum distalen Drittel sowie die Frakturen des distalen Drittels selbst mit einer Häufigkeit von jeweils drei Frakturen (jeweils 4%)

Operative Versorgung

In 55 Fällen (79%) erfolgt eine Versorgung mittels Beckenkammspan. Hiervon heilen 33 Fälle (60%) aus. In 15 Fällen (21%) wird nur Radiuspongiosa verwendet. Hiervon heilen sieben Skaphoide (47%) aus.

Hierbei kommen 51-mal Herbert-Schrauben (73%) zum Einsatz, 14-mal Acutrac-Schrauben (20%), viermal Kirschner-Drähte (6%) und in einem Fall Ethi-Pins (1%) (vgl. Diagramm 4).

Osteosynthesematerial

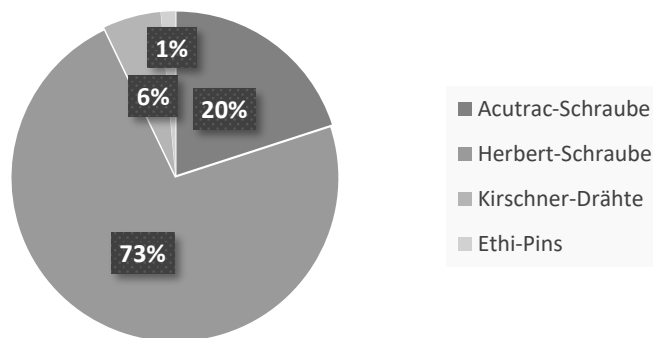


Diagramm 4: Osteosynthesematerial

Bei 35 Patienten (50%) wird ein dorsaler Zugang gewählt, bei 33 Patienten (47%) ein palmarer Zugang und bei zwei Patienten (3%) ist ein kombinierter Zugang

notwendig (vgl. Diagramm 5).

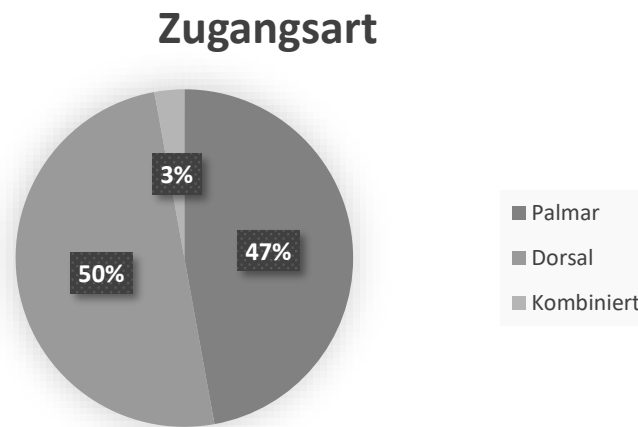


Diagramm 5: Zugangsweg

Revisionseingriffe

Bei 15 Patienten kommt es im Verlauf zu einer oder mehreren Nachoperationen. Wie in Diagramm 6 dargestellt, wird bei sechs Patienten der Versuch einer Rekonstruktion wiederholt, dreimal mit einem mikrovaskulär angeschlossenen Femurspan, zweimal mit einem Zaidenbergspan und einmal durch eine erneute Versorgung mit einem Beckenkammspan.

In vier Fällen bleibt auch der erneute Rekonstruktionsversuch ohne Erfolg. Bei der erneuten Versorgung mit Beckenkammspan kommt es einmal zu einer Ausheilung, ebenso bei einem der Zaidenbergspäne.

Bei zehn Patienten muss eine Rettungsoperation zur Bekämpfung der Schmerzen unter Akzeptanz einer Funktionsverschlechterung durchgeführt werden. Bei einem dieser zehn Patienten wird im Vorfeld nach der in die Studie eingeschlossenen Operation ein erneuter frustraner Rekonstruktionsversuch unternommen, bevor aufgrund persistierender Schmerzen letztlich eine MKTA als endgültige Lösung durchgeführt wird.

Bei sechs Patienten wird eine mediokarpale Teilarthrodese durchgeführt, bei vier Patienten wird eine partielle Denervation vorgenommen.

In drei Fällen findet eine Metallentfernung aufgrund gelockerter Schrauben statt.

Bei einem Patienten müssen aufgrund einer ausgeprägten Hämatabildung im Bereich des Beckenkamms zwei Nachoperationen zur Hämatomausräumung durchgeführt werden.

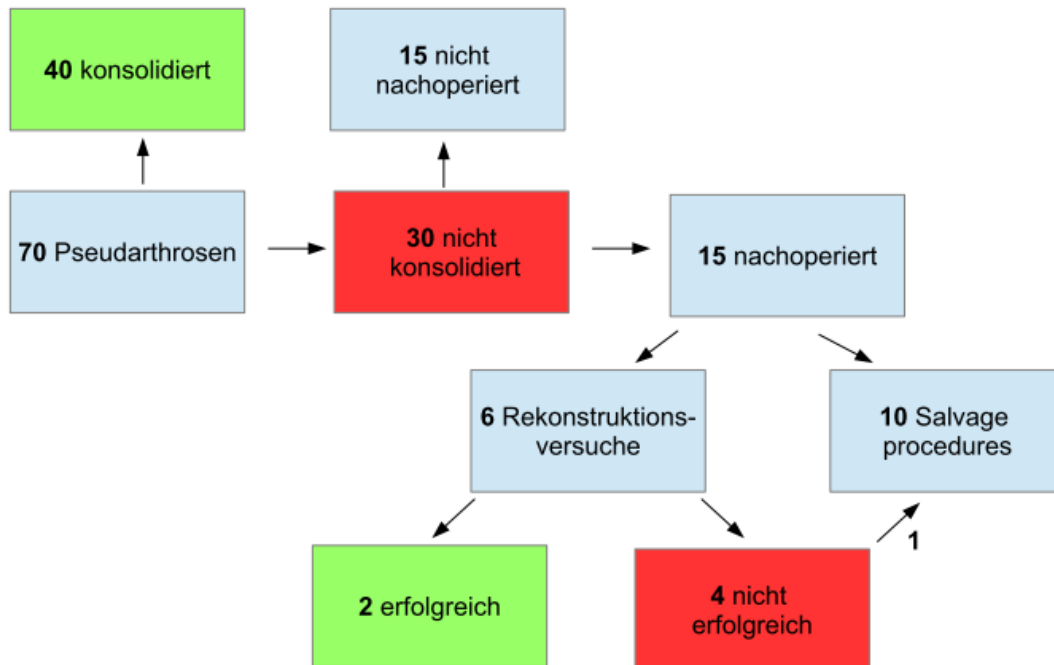


Diagramm 6: Nachoperationen

Operationsdauer und Operateure

Die durchschnittliche Operationsdauer beträgt 82 (31-150) Minuten. Insgesamt sind 26 verschiedene Operateure an der Versorgung beteiligt. Im Schnitt operiert jeder der Operateure 2,7 Studienpatienten. Acht Operateure sind mit jeweils einer Operation in der Studie vertreten. Ein Chirurg ist zwölfmal Hauptoperateur, einer siebenmal und ein weiterer sechsmal.

Krankenhausaufenthalt

Die Krankenhausaufenthaltsdauer beträgt im Schnitt vier Tage. Die meisten Patienten werden am dritten postoperativen Tag entlassen.

Eine Patientin muss 14 Tage im Krankenhaus bleiben, da aufgrund eines Hämatoms eine Revision im Beckenkammbereich sowie eine längerfristige Drainage notwendig ist.

Schmerzentwicklung

Numerisch-analoge Schmerzskala

Die numerisch-analoge Schmerzskala mit Werten von 0 (keine Schmerzen) bis 10 (stärkster vorstellbarer Schmerz) wird für die Zeit vor und nach der Operation jeweils für Ruhe- und Belastungssituationen erhoben.

In Ruhe

Vor der OP in Ruhe ergibt sich hierbei ein Durchschnittswert von 2,55 (0-10).

Wie in Diagramm 7 dargestellt geben 28 Patienten als Wert 0 an, d.h. sie haben vor der Operation in Ruhe keinerlei Schmerzen. Ein Patient gibt auch vor der Operation in Ruhe einen Schmerzwert von 10 an, d.h. stärkste vorstellbare Schmerzen.

Nach der Operation sinkt der Durchschnittswert auf der numerisch-analogen Schmerzskala auf 0,75 (0-8). 51 Patienten sind in Ruhe komplett schmerzfrei. Der höchste Wert von 8 wird nur von einem Patienten angegeben.

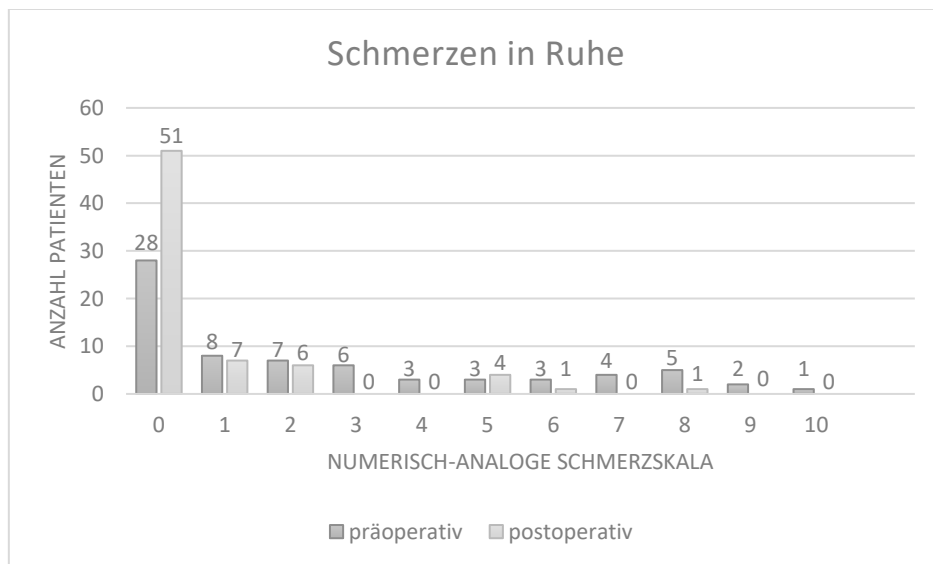


Diagramm 7: Schmerzen in Ruhe nach NAS

Bei Belastung

Bei Belastung steigt vor der Operation der Durchschnittswert auf 6,6 (0-10) an. Ein Patient verspürt auch vor der Operation bei Belastung keinerlei Schmerzen und gibt den Wert 0 an. 13 Patienten berichten wie in Diagramm 8 dargestellt hingegen über stärkste vorstellbare Schmerzen, also den Wert 10.

Auch unter Belastung verbessert sich der Wert postoperativ auf 3,72 (0-10). 9 Patienten haben nach der Operation trotz Belastung keinerlei Schmerzen. Ein Patient gibt an, nach der Operation bei Belastung Schmerzen der Stärke 10 zu verspüren.

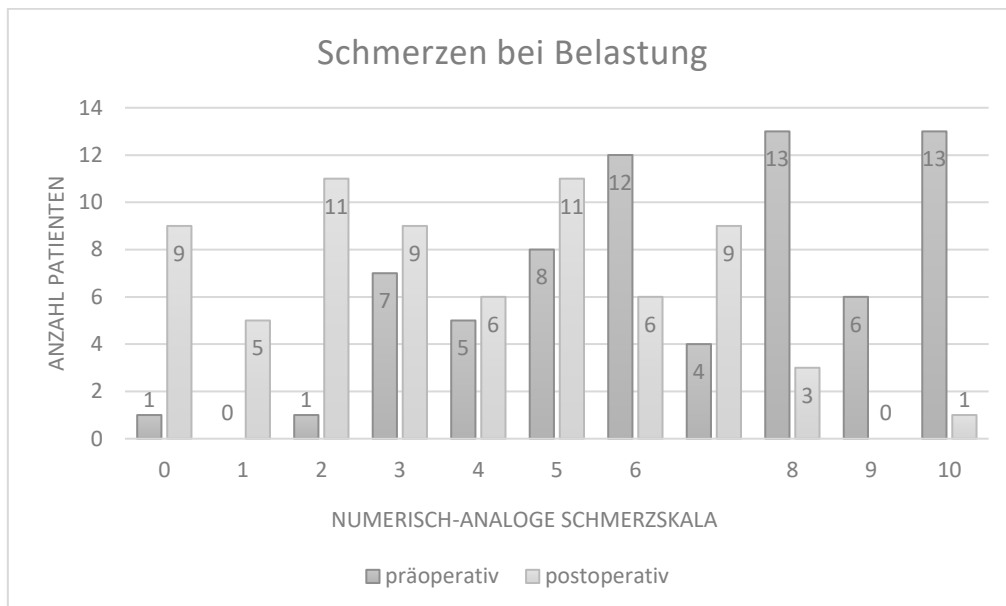


Diagramm 8: Schmerzen bei Belastung nach NAS

Verbale Schmerzskala

Auf der verbalen Schmerzskala geben vor der Operation drei Patienten an, keine Schmerzen zu verspüren. 39 Patienten verspüren nur bei Belastung Schmerzen, 26 in Ruhe und bei Belastung. Zwei Patienten geben an, vor der Operation bereits in Ruhe unerträgliche Schmerzen zu verspüren (vgl. Diagramm 9).

Nach der Operation sind 22 Patienten auf der verbalen Schmerzskala schmerzfrei. 39 Patienten klagen ausschließlich über Belastungsschmerzen. Bei acht Patienten treten postoperativ auch in Ruhe Schmerzen auf, in einem Fall sogar „unerträgliche Schmerzen bereits in Ruhe“.

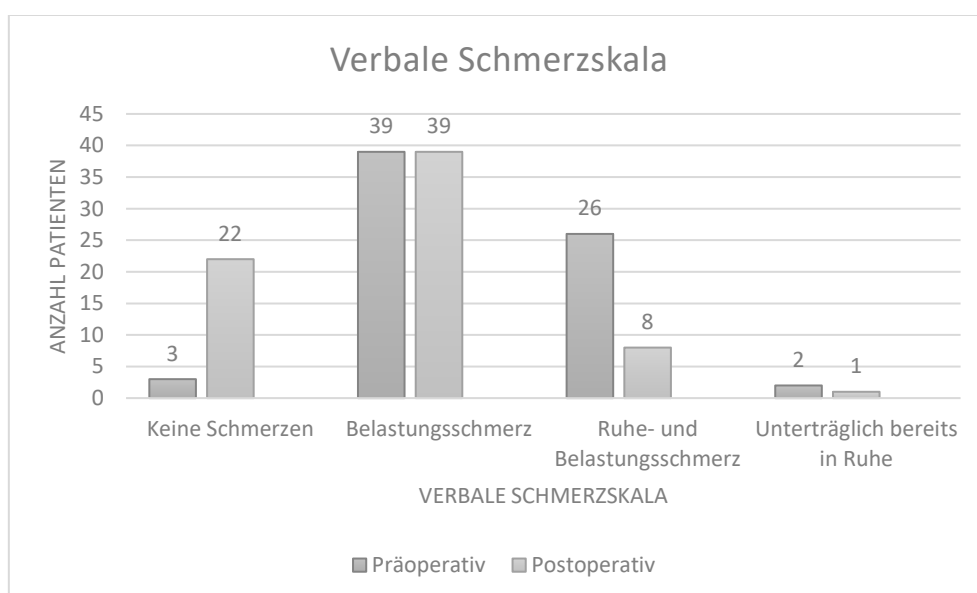


Diagramm 9: Verbale Schmerzskala

Es zeigt sich ein hoch signifikanter Zusammenhang zwischen der verbalen Schmerzskala nach der Operation und der Konsolidierung ($p < 0,0005$).

Gebrauchsfähigkeit

24 Patienten (34%) geben an, im Alltag keinerlei Einschränkungen durch die verletzte Hand zu haben. 42 Patienten (60%) berichten über Einschränkungen bei speziellen Tätigkeiten, wobei hier auffallend häufig "Liegestütze" genannt werden. Vier Patienten (6%) klagen über erhebliche Einschränkungen im Alltag (vgl. Diagramm 10).

Es zeigt sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Gebrauchsfähigkeit

und der Konsolidierung ($p=0,148$).

Gebrauchsfähigkeit der Hand



Diagramm 10: Gebrauchsfähigkeit

Bewegungsumfang

Nach der Versorgung der Skaphoidpseudarthrose zeigen sich Bewegungseinschränkungen sowohl in der Extension, in der Flexion, als auch in der Radial- und Ulnarduktion.

Am stärksten betroffen ist die Radialduktion mit einer durchschnittlichen Restbeweglichkeit von 69% im Vergleich zur gesunden Seite. Die Spannweite reicht hierbei von minimal 29% bis zu maximal 117% der Beweglichkeit der Gegenseite mit einem Median von 80%.

Die Ulnarduktion ist mit einem durchschnittlichen Bewegungsumfang von 86% im Vergleich zur gesunden Gegenseite weniger stark betroffen. Die Spanne reicht hier von 7% bis zu 140% im Seitenvergleich mit einem Median von 82%.

Die Extension und die Flexion sind ähnlich stark eingeschränkt mit einer Reduktion von 23% bzw. 24% des Bewegungsumfangs im Vergleich zur gesunden Seite.

Rechnet man die teilversteiften Handgelenke bei der Beweglichkeitsrechnung heraus, ergibt sich eine Reduktion der Radialduktion von im Schnitt 26% im

Vergleich zur gesunden Gegenseite.

Bei der Ulnarduktion ergibt sich eine Reduktion des Bewegungsumfangs um nur 6% im Vergleich zur gesunden Gegenseite.

Extension und Flexion sind auch hier etwa gleich und weniger stark als bei den Patienten mit MKTA betroffen mit einer Reduktion von 16% bzw. 17% im Vergleich zur gesunden Gegenseite.

Griffstärke

Im Schnitt beträgt die Griffstärke der operierten Hand 87,2% (41,2-113,8) der Kraft der gesunden Gegenseite. Der Kräfteverlust ist nicht abhängig davon, ob die dominante oder die nicht-dominante Seite operiert wird (12,64% vs. 12.89%).

Bei den nicht-konsolidierten Pseudarthrosen beträgt der Kraftverlust mit durchschnittlich 15,2% etwa 4% mehr als bei den konsolidierten Skaphoiden mit einem Kraftverlust von 11,0%.

Handgelenksscores

Modifizierter Mayo Wrist Score

Beim modifizierten Mayo Wrist Score (Krimmer-Score) ergibt sich ein Mittelwert von 82 Punkten, wobei hier die Ergebnisse von 32,5 Punkten im schlechtesten Fall bis zu 100 Punkten im besten Fall reichen. Die volle Punktzahl von 100 Punkten wird von 6 Patienten erreicht.

Wie in Tabelle 1 dargestellt erreichen 40 Patienten einen sehr gutes Ergebnis, 23 Patienten ein gutes, 6 Patienten ein befriedigendes und ein Patient ein schlechtes Ergebnis.

Es zeigt sich ein hoch signifikanter Zusammenhang zwischen den Ergebnissen des Krimmer-Scores und der Konsolidierung ($p=0,004$).

	Punktespanne	Anzahl Patienten
Sehr gut	80 – 100	40
Gut	65 – 79,9	23
Befriedigend	50 – 64,9	6
Schlecht	Unter 50	1

Tabelle 1: Auswertung Krimmer-Score

DASH-Score

Beim DASH-Score ergibt sich ein Durchschnittswert von 14,4, wobei die Spanne von 0 bis 35,8 Punkten reicht.

Knöchernerne Konsolidierung

Eine knöchernerne Konsolidierung findet sich bei 40 Patienten, bei 30 Patienten kommt es nicht zur Ausheilung. Insgesamt ergibt sich somit eine Konsolidierungsrate von 57%.

Wiederherstellung der anatomischen Form

Bei 22 (55%) Skaphoiden kann trotz knöchernerne Konsolidierung die anatomische Form nicht wiederhergestellt werden.

Bei zwölf weiteren konsolidierten Skaphoiden (30%) zeigen sich Störungen der Binnenstruktur des Knochens im Sinne von zystischen und sklerosierten Veränderungen.

Konsolidierung in Abhängigkeit des zeitlichen Verlaufs

Betrachtet man den zeitlichen Verlauf als Kontinuum, gibt es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Dauer bis zur OP und der Konsolidierung ($p=0,739$).

Betrachtet man den Bestehenszeitraum über und unter 5 Jahren, so ergibt sich eine Konsolidierungsrate von 57,1% für die Frakturen, die jünger als fünf Jahre sind und eine Konsolidierungsrate von 60% für Frakturen, die älter als fünf Jahre sind. Dieses Ergebnis ist jedoch ebenfalls nicht signifikant ($p=0.845$).

Konsolidierung in Abhängigkeit der Vorbehandlung

Es zeigt sich kein statistisch signifikanter Unterschied in der Konsolidierungsrate zwischen voroperierten Patienten und erstmals operativ versorgten Patienten ($p=0.483$).

Konsolidierung in Abhängigkeit des verwendeten Knochenmaterials

Es zeigt sich kein statistisch signifikanter Unterschied beim Einsatz von Beckenkammknochen im Vergleich zu Radiuspongiosa bei der Konsolidierung ($p=0,178$).

Konsolidierung in Abhängigkeit der Frakturlokalisierung

Es ergibt sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Frakturlokalisierung und der Konsolidierung ($p=0,407$).

Arthrotische Veränderungen

Bei der Hälfte der Patienten (35 Patienten) zeigen die Röntgenbilder im Verlauf

keine Anzeichen für eine Arthrose, die andere Hälfte der Patienten weist bereits arthrotische Veränderungen auf. Hierbei ist mit einer Anzahl von 18 Patienten (26%) am häufigsten das Styloid betroffen. Am zweithäufigsten ist mit elf Patienten (16%) zusätzlich die Fossa scaphoidea betroffen. Sechs Patienten (9%) weisen diffuse arthrotische Veränderungen im gesamten Handgelenk auf.

Es zeigt sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen den arthrotischen Veränderungen und den geklagten Schmerzen nach der Operation, bestimmt mit der NAS und der Arthrosebildung ($p=0,746$).

Komplikationen

Handgelenk

20 Patienten berichten nach der Operation von einer verstärkten Wetterfühligkeit im Bereich des Skaphoids und der Operationsnarbe. Als Auslöser hierfür wird vor allem Kälte und Wetterumschwung angegeben.

14 Patienten geben Dysästhesien im Bereich des Unterarms und der Hand an. Die Spanne reicht von einer Anästhesie am Handrücken und der Operationsnarbe über ein Elektrisieren der Hand hin zu Kribbel- und Pelzigkeitsmissempfindungen

Beckenkamm

Bei zwölf Patienten zeigen sich postoperativ Probleme nach der Beckenkammmentnahme. Sechs dieser Patienten klagen zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung immer noch über eine Anästhesie an der Entnahmestelle und am Oberschenkel. Bei zwei Patienten kommt es zu einer verstärkten Hämatombildung, die teilweise zu Revisionseingriffen führt. Drei Patienten klagen auch noch zwei bis drei Monate nach der Operation über Probleme beim Gehen. Ein Patient hat einen äußerst komplizierten Verlauf mit einer Superinfektion der Beckenkammmentnahmestelle, in Folge derer es zu einem septischen Verlauf mit zweimaliger Wundrevision kommt.

Diskussion

Epidemiologie

Geschlecht

Bei Skaphoidfrakturen und -pseudarthrosen überwiegt der Anteil männlicher Patienten deutlich. Im hier untersuchten Patientengut handelt es sich um 81% Männer (n=57) und 19% Frauen (n=13).

In der Literatur finden sich ähnliche Werte. Bei Herbert ist von 95% Männern die Rede [4]. Auch in vielen anderen Studien liegt der Männeranteil zwischen ca. 80% und ca. 90% (z.B. Düppe und Mitarb. 1994: 86%, Green 1985: 89%). Mehling und Sauerbier geben in ihrer Untersuchung das Verhältnis von Männern und Frauen bei Skaphoidfrakturen mit 6:1 an [27].

Die Inzidenz liegt laut Larsen und Mitarb. bei etwa 8 auf 100.000 Einwohner pro Jahr bei Frauen und etwa 38 auf 100.000 Einwohner pro Jahr bei Männern. Hierbei spielt auch das Alter eine Rolle. So ist in der Altersgruppe der 15- bis 29-Jährigen die Inzidenz bei den Männern über siebenfach so hoch wie die Inzidenz bei den Frauen [1]. Ein Grund hierfür ist sicherlich, dass gerade in dieser Gruppe im arbeitsfähigen Alter Männer in handwerklichen Berufen mit einem erhöhten Verletzungsrisiko für die Hand wesentlich häufiger vertreten sind als Frauen [119]. In unserem Patientengut zieht sich nur eine Patientin die Skaphoidfraktur bei einem Sportunfall zu. Ein Arbeitsunfall ist bei keiner der Patientinnen Ursache der Skaphoidfraktur.

Mit steigendem Alter gleicht sich die Inzidenz bei Männern und Frauen an [29]. Teilweise überwiegen sogar in der Altersgruppe der über 60-Jährigen die Frauen, was überwiegend auf den postmenopausalen osteoporotischen Umbau der Knochensubstanz zurückzuführen ist [1,101]. Frauen erleiden allerdings beim gleichen Unfallmechanismus im höheren Alter öfter eine distale Radiusfraktur [102].

Alter

Die Skaphoidfraktur kommt vor allem bei jungen Menschen vor. In unserer Studie

liegt das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Operation bei 29,8 Jahren. Bei einer Studie von Düppe und Mitarb. liegt das Durchschnittsalter bei 27 Jahren [30], bei Green und Mitarb. bei 25 Jahren [18], bei Cooney und Mitarb. sogar nur bei 23 Jahren [26].

In der Altersverteilung zeigt sich ein großer Peak im jungen Erwachsenenalter. Wie in Diagramm 11 ersichtlich, zeigt sich noch einmal ein kleinerer Peak in der Gruppe der Patienten über 50 Jahren [1,29].

Betrachtet man die Inzidenz von Männern und Frauen gesondert, so fällt auf, dass bei den Männern ein großer Peak im jungen Erwachsenenalter (20-29 Jahre) besteht. Die Inzidenz in dieser Altersgruppe beträgt etwa 153 auf 100.00 Einwohner pro Jahr [28]. Bei Frauen treten im Gegensatz hierzu häufig zwei kleinere Peaks auf, nämlich einer im Adoleszentenalter (10-19 Jahre) und ein weiterer deutlich später bei den Patientinnen über 50 Jahren. Dies kann auf ein gesteigertes Risikoverhalten z.B. bei Sport- und Wegeunfällen im jüngeren Alter sowie auf postmenopausale Umbauten im höheren Alter zurückzuführen sein [28,29].

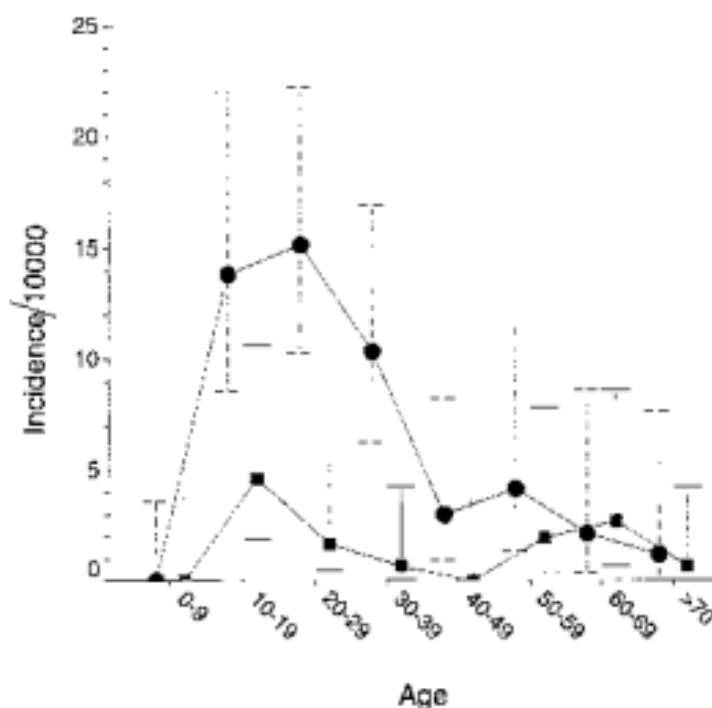


Diagramm 11: Altersabhängige geschlechtsspezifische Inzidenz in Norwegen; obere Linie: Männer, untere Linie: Frauen [29]

Dies deckt sich mit unseren Daten, wir in Diagramm 12 dargestellt, die bei Frauen ebenfalls einen Peak im Adoleszentenalter sowie einen Peak bei Patientinnen über 40 Jahren zeigen, wobei dies aufgrund der kleinen Fallzahl und des geringen Frauenanteils nur bedingt Aussagekraft hat. In der ältesten Patientengruppe der über 50-Jährigen finden sich zudem ausschließlich Frauen.

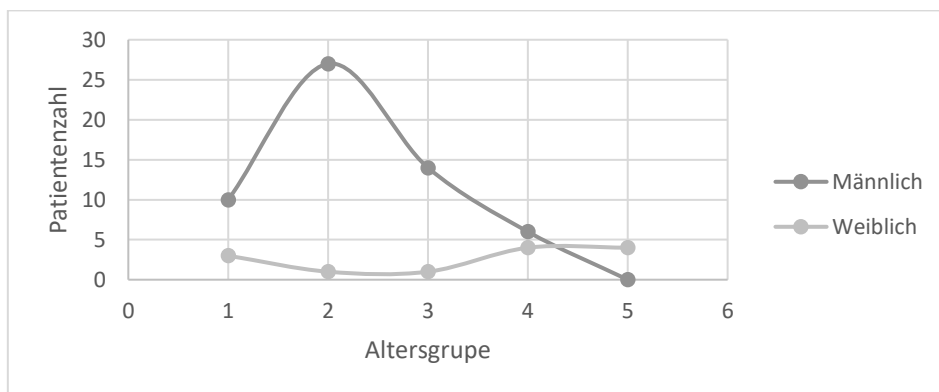


Diagramm 121: Geschlechtsspezifische Altersverteilung im eigenen Patientengut

Das Alter der Patienten hat nur einen geringen Einfluss auf die Ausheilungsrate, auch wenn tendenziell die Heilungsrate bei jüngeren Patienten höher ist. Die mittleren Konsolidierungsraten bewegen sich hier um die 90% bei den unter 20-Jährigen und 75% bei Patienten über 50 Jahren [63].

Bei Kindern vor Abschluss der Knochenentwicklung sind Skaphoidfrakturen aufgrund des großen knorpeligen Anteils des Skaphoids sehr selten [100]. Die Heilungsraten bei Kindern sind zudem außergewöhnlich gut [32].

In der Gruppe unserer Patienten bis 30 Jahre liegt die Konsolidierungsrate mit 65,9% über dem Gesamtdurchschnitt von 57%. Betrachtet man nur die kleine Gruppe der Patienten bis 20 Jahre separat, liegt die Konsolidierungsrate mit 69% sogar noch etwas höher.

Da die Gruppe der Patienten über 50 Jahren in unseren Daten sehr klein ist (4 Patientinnen), können wir keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Alter der Patienten und der Konsolidierungsrate herstellen ($p=0.214$), allerdings ist es nur bei einer der 4 Patientinnen (25%) zu einer Ausheilung gekommen.

Händigkeit

Dominante und nicht-dominante Seite sind zumeist etwa gleich häufig von Skaphoidpseudarthrosen betroffen, mit einer leichten Tendenz zur dominanten Seite. In unserer Studie liegt das Verhältnis bei 63% zu 37% zu Lasten der dominanten Hand. Bei Cooney und Mitarb. ist in 54% der Fälle die dominante Hand betroffen [26], ebenso bei Garcia-Elias und Mitarb. [67]. Bei Barton und Mitarb. liegt das Verhältnis bei 57% zu 43% zu Lasten der dominanten Hand [103]. In einer brasilianischen Studie von dos Reis und Mitarb. überwiegt mit 84% die dominante Seite sogar deutlich [47].

In einer Studie von Kremling und Mitarb. dagegen sind dominante und nicht-dominante Hand mit einem Verhältnis von 52% zu 48% in etwa gleichhäufig betroffen [78].

In einer australischen Studie zeigt sich ein Unterschied der betroffenen Seite zwischen Männern und Frauen. So ist bei den Männern etwas häufiger die rechte Hand betroffen mit einem Verhältnis von 58,5% zu 41,5%, wohingegen bei den Frauen die linke Hand mit einem Verhältnis von 73,2% zu 26,8% deutlich häufiger betroffen ist [28].

Herbert und Mitarb. berichten von einer schlechteren Prognose bei beidseitigen Skaphoidfrakturen, Sie führen dies auf eine Prädisposition zur Frakturierung aufgrund einer anatomischen Variation oder auf ein zugrundeliegendes Hochrasanztrauma, das zur einer Frakturierung von beiden Seiten führte, zurück [21].

Bei unseren sieben Patienten mit beidseitigen Skaphoidfrakturen heilen von den Studienhänden vier aus (57%), bei dreien bleibt eine Pseudarthrose bestehen.

Berufswechsel und Berentung

In unserem Patientengut wechseln rund 21% der Patienten aufgrund der Verletzung oder den damit zusammenhängenden Folgen den Beruf. Betroffen sind hiervon vor allem Handwerker.

Skaphoidpseudarthrosen stellen auch einen Grund für eine vorzeitige Berentung

dar. In einer Studie aus Ludwigshafen von Dacho und Mitarb. werden 45% der operativ versorgten Patienten mit einer beruflich bedingten Skaphoidpseudarthrose mit den damit verbundenen ökonomischen und sozialen Folgen als rentenberechtigt eingestuft [104].

Ursachen der Skaphoidfraktur

Bei den Ursachen der Skaphoidfraktur muss man zwischen der Unfallursache, also dem eigentlich Pathomechanismus, und den Begleitumständen unterscheiden. So kann z.B. ein Sportunfall als Begleitursache vorliegen und ein dabei zugezogener Sturz auf die ausgestreckte Hand den eigentlichen Pathomechanismus darstellen. In der Literatur wird diese Unterscheidung jedoch meist nicht vorgenommen, sodass wir aufgrund mangelnder Trennschärfe ebenfalls darauf verzichten.

In unserem Patientengut liegt die Hauptursache für die Entstehung der Skaphoidfraktur bei Sportunfällen (27%) und Verkehrsunfällen (26%). Auch Stürze auf die ausgestreckte Hand z.B. im häuslichen Umfeld stellen mit 21% einen großen Anteil dar. Arbeitsunfälle sind mit 7% eine eher seltene Ursache. In 14% der Fälle ist kein Trauma erinnerlich. Dies deckt sich mit Daten aus anderen Studien, in denen ebenfalls Sport- und Verkehrsunfälle zu den häufigsten Ursachen zählen.

Cooney und Mitarb. berichten von Sportunfällen als weitaus häufigste Ursache mit 37% der Patienten, gefolgt von Verkehrsunfällen mit 20%. Industrieunfälle stellen mit knapp 6% ebenfalls eine eher seltene Ursache dar. 18% der Patienten können in dieser Studie keine Unfallursache benennen [26].

In einer norwegischen Studie von Hove liegt die Hauptursache der Skaphoidfraktur bei Stürzen auf die ausgestreckte dorsalflektierte Hand in 75% der Fälle. In welchem Kontext sich die Stürze ereigneten wird nicht näher differenziert [29].

Auch in einer internationalen multizentrischen Studie von Schuind und Mitarb. wird als Hauptursache der Sturz auf die ausgestreckte Hand mit 69% genannt. Es folgen Sportunfälle (30%) und Verkehrsunfälle (20%) [67].

Auswirkungen des zeitlichen Zusammenhangs zwischen Unfall und operativer Versorgung

In der Literatur finden sich statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen der Bestehensdauer der Pseudarthrose vor der Operation und der Ausheilungsrate. Die Dauer dieses Zeitraums unterscheidet sich jedoch je nach Studie.

So heilen Pseudarthrosen, die weniger als 12 Monate bestehen, laut einer Metaanalyse von Merrell und Mitarb. in 90% der Fälle aus. Besteht die Pseudarthrose seit mehr als 12 Monaten, sinkt die Ausheilungsrate auf durchschnittlich 80% ab. Bei Pseudarthrosen, die länger als 12 Monate bestehen, lässt sich keine signifikante Korrelation zwischen dem Zeitintervall zwischen Trauma und Operation und der Ausheilungsrate mehr erkennen [63].

Radford und Mitarb. beschreiben ebenfalls einen signifikanten Unterschied zwischen der Ausheilungsquote nach Rekonstruktion bei einer verzögerten Skaphoidheilung mit einer Bestehensdauer von 6 bis 26 Wochen und Rekonstruktion einer Pseudarthrose mit einer Bestehensdauer von über 26 Wochen (88% vs. 79% Ausheilungsrate) [34].

In einer Studie von Daly und Mitarb. zeigt sich kein Zusammenhang zwischen der Ausheilung und dem Zeitraum zwischen Unfallereignis und Operation, wobei die Gruppe der ausgeheilten Patienten und die Gruppe der Patienten mit persistierenden Pseudarthrosen mit 33 bzw. 34 Monaten beide deutlich über der oben beschriebenen Grenze von einem Jahr liegen [105].

Eine Differenzierung zwischen weniger und mehr als 12 Monaten Bestehensdauer kann anhand unserer Daten nicht getroffen werden, da nur eine der Pseudarthrosen zum Operationszeitpunkt weniger als 12 Monaten bestand.

42 unserer Patienten (60%) haben eine Pseudarthrose, die seit 5 Jahren oder länger besteht. Bei diesen Patienten kommt es zu einer Konsolidierungsrate von 60%. Bei den 23 Patienten (33%), bei denen die Pseudarthrose kürzer als 5 Jahre besteht, kommt es zu einer Konsolidierungsrate von 57,1%. Bei den 5 Patienten (7%), bei denen die Dauer nicht ermittelt werden kann, verheilen zwei der Skaphoide (Konsolidierungsrate 40%).

Nakamura und Mitarb. beschreiben ein deutlich schlechteres funktionelles Ausheilungsergebnis bei Patienten, bei denen der Zeitraum zwischen Unfall und Operation bei über fünf Jahren liegt im Vergleich zu Patienten mit Pseudarthrose jünger als fünf Jahre. Jedoch liegt auch das Durchschnittsalter der Patienten in der Gruppe der länger als fünf Jahren bestehenden Pseudarthrosen signifikant höher als in den anderen Gruppen [44].

Auch eine multizentrische Studie aus Belgien, Spanien und der Schweiz von Schuind und Mitarb. zeigt ein präoperatives Pseudarthrosenalter von mehr als 5 Jahren als negativen prognostischen Faktor. Hierbei sinkt die Konsolidierungsrate von 79% bei Behandlung der Skaphoidpseudarthrose innerhalb von 3 Jahren auf 62% bei einer Skaphoidpseudarthrose älter als 5 Jahre ab [67].

Frakturverteilung

Am häufigsten ist das Skaphoid im Bereich der Taille von einer Fraktur betroffen, im proximalen und distalen Drittel sind Frakturen wesentlich seltener [30].

So finden sich in der Literatur beispielsweise Verteilungen von 10% der Frakturen im distalen Drittel, 70% im mittleren Drittel und 20% im proximalen Drittel [74] oder 6% im distalen Drittel, 65% im mittleren Drittel und 20% im proximalen Drittel [60].

Eine Metastudie von Ferguson und Mitarb. mit 4191 ausgewerteten Skaphoidfrakturen ergibt eine Verteilung von 30% im proximalen Pol, 63% in der Skaphoidtaille und 7% im distalen Pol lokalisierten Frakturen [5].

In einer Studie von Schuind und Mitarb. mit Einschluss von 1001 Skaphoiden wird das Skaphoid in sechs Abschnitte unterteilt, wobei Abschnitt I dem proximalen Pol, Abschnitt II bis IV der Taille, Abschnitt V dem distalen Pol und Abschnitt VI dem Tuberkel entspricht. Hier ist nur in 5% der proximale Pol betroffen, in 9% Tuberkel und distaler Pol gemeinsam, die anderen 86% verteilen sich auf die Bereiche der Taille [67].

In anderen Studien liegt der Anteil von proximalen Polfrakturen dagegen teilweise deutlich unter 10% (z.B. [30])

Dieser starke Unterschied bei den Verteilungen ist darauf zurückzuführen, dass es keine einheitliche Definition der Trennlinie zwischen den Polen gibt. Häufig wird die Einteilung in Drittel vorgenommen, bei der jedoch die Anzahl der proximalen Polfrakturen leicht überschätzt wird und dadurch eine bessere Ausheilungsrate erzielt wird, als wenn z.B. eine Einteilung in Fünftel vollzogen wird [5].

Der Anteil an proximalen Polfrakturen liegt in unserer Studie bei 19% (n=13).

Zusammenhang zwischen Frakturverteilung und Ausheilungsrate

In verschiedenen Studien wird beschrieben, dass die Ausheilungsrate und die Lage der Skaphoidfraktur eng miteinander verknüpft sind. Generell heilen Frakturen der Skaphoidtaille besser als proximale Polfrakturen aufgrund der dort schwierigen Durchblutungssituation [21,63,105].

Eine Studie von Daly und Mitarb., die sich nur mit Pseudarthrosen der Skaphoidtaille beschäftigt, ergibt eine sehr hohe Heilungsrate von 95% [105].

Die Heilungsrate der proximalen Polfrakturen liegt generell niedriger als die durchschnittlichen Heilungsraten aufgrund der speziellen Durchblutungssituation [18]. In einer Metastudie von Merell und Mitarb. aus dem Jahr 2002 ergibt sich eine durchschnittliche Konsolidierungsrate bei proximalen Polfrakturen von 67% im Gegensatz zu 85% bei Frakturen der Kahnbeintaille und 100% bei Frakturen des distalen Pols [63].

Filan und Herbert berichten sogar von vier Fällen, in denen es bei frischen proximalen Skaphoidfrakturen trotz sofortiger operativer Versorgung und knöcherner Konsolidierung postoperativ im Verlauf zur Ausbildung einer avaskulären Nekrose kommt [33].

In unserer Studie besteht kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Frakturlokalisation und der Heilungsrate ($p=0,074$). Bei den proximalen Pseudarthrosen ergibt sich eine Ausheilungsrate von 54%, bei den Pseudarthrosen der Kahnbeintaille eine Ausheilungsrate von 58%, bei den distalen Frakturen heilen zwei von dreien aus.

Laut Nakamura und Mitarb. ist eine proximale Polfraktur außerdem ein Prädiktor für ein schlechteres funktionelles Ergebnis im Vergleich zu einer Lokalisation am distalen Pol oder der Skaphoidtaille [44].

Dies deckt sich mit einer Metastudie von Alluri und Mitarb. aus dem Jahr 2015, in der proximale Polfrakturen trotz ähnlicher Ausheilungsrate deutlich schlechtere Ergebnisse in den funktionellen Tests (Modifizierter Mayo Wrist Score) aufweisen [79].

In vielen Studien folgt zusätzlich eine Unterteilung der proximalen Polfrakturen in solche mit intakter Perfusion und solche mit avaskulärer Nekrose (=AVN). Die Definition von AVN ist nicht einheitlich. Gebräuchlich ist eine intraoperative Erhebung der auftretenden Blutungspunkte. Aber auch eine verstärkte Densität im Röntgenbild oder in MRT-Untersuchungen wird in manchen Studien als Hinweis auf eine AVN herangezogen [5].

Das MRT weist hierbei eine hohe Sensitivität und Spezifität bei der Diagnostik von avaskulären Nekrosen auf, insbesondere bei der Verwendung von Gadolinium als Kontrastmittel [106]. Es kommt zu einem Ausfall des Fettsignals in der T1-Gewichtung [107]. Hier decken sich die Ergebnisse des MRT deutlich häufiger mit den pathologischen Befunden des Knochens als die Voraussagen, die mittels Röntgenbild oder CT getroffen wurden. Auch das intraoperative Vorfinden von Blutungspunkten entspricht nicht immer den histologischen Ergebnissen [108]. Im Skaphoid liegen vitale und avitale Anteile meist ungleichmäßig nebeneinander, sodass von einzelnen Gewebeproben oft nicht auf die Vaskularität des gesamten Pols geschlossen werden kann [109]. Hierbei ergeben sich sowohl falsch-negative als auch falsch-positive Ergebnisse [108]. Das präoperative Wissen über die Vaskularität des Pols ist wichtig, um eine Entscheidung über das geeignete operative Vorgehen treffen zu können.

Bei Polfrakturen mit AVN ist laut Literatur der Einsatz von vaskularisierten Knochentransplantaten dem Einsatz von nicht-vaskularisiertem Knochenmaterial überlegen. Die Ausheilungsrate wird hierdurch fast verdoppelt und liegt im Bereich von etwa 80% [5,63,110]. In Frage kommen unter anderem gefäßgestielte Knochenspäne aus dem Radius und freie mikrovaskulär gestielte

Beckenkammtransplantate [110].

Eine weitere Verbesserung in der Therapie der AVN stellt das freie mikrovaskuläre Femurtransplantat dar, das neben der Vaskularität zusätzlich den Vorteil einer formstabilen Stützung bietet und so hohe Heilungsraten bei einer guten Wiederherstellung der karpalen Stabilität aufweist [84]. Gerade bei ausgeprägten Sklerosezonen mit daraus resultierenden großen Defekten des Skaphoids können gefäßgestielte Radiusspäne oft nicht eingesetzt werden. Hier ist der Femurspan aufgrund seiner Spangröße und Qualität indiziert [111].

Vorbehandlung

Häufig liegt eine inadäquate Therapie der frischen Skaphoidfraktur der Ausbildung einer Pseudarthrose zugrunde. Es zeigt sich ein Zusammenhang zwischen der Zeit bis zur ersten Immobilisation und der Ausbildung einer Pseudarthrose. Ist dieser Zeitraum länger als vier Wochen, steigt die Pseudarthrosenrate signifikant an [32].

Auch die Dauer der Ruhigstellung für sich genommen ist ein Einflussfaktor auf die Entstehung von Pseudarthrosen. Strassmair und Wilhelm berichten von 12% der Patienten, bei denen es durch eine zu kurze Ruhigstellung der Fraktur von vier bis sechs Wochen im Verlauf zu einer Pseudarthrosenbildung kommt [2].

Radford und Mitarb. berichten von 54% ihrer Patienten, die nach dem Unfall nicht adäquat behandelt werden (Ruhigstellung über min. 6 Wochen oder operative Versorgung). Gründe hierfür liegen vor allem in einer mangelhaften radiologischen Diagnostik [34].

Daly und Mitarb. finden in ihrer Studie keinen Unterschied in der Konsolidierungsrate zwischen voroperierten und nicht voroperierten sowie konservativ anbehandelten Patienten. Jedoch zeigt sich ein etwas schlechteres funktionales Outcome bei den voroperierten Patienten [105].

Insgesamt sind neun (13%) unserer Patienten bereits im Vorfeld operativ durch Verschraubung, einmalig auch unter Zuhilfenahme eines Beckenkammspans, versorgt worden. Es zeigt sich jedoch auch bei unserer Studie kein statistisch signifikanter Unterschied in der Konsolidierungsrate zwischen voroperierten

Patienten und erstmals operativ versorgten Patienten ($p=0.483$).

Operateure

Ein wichtiger Einflussfaktor auf die Qualität der operativen Versorgung ist neben den Rahmenbedingungen (Frakturlage, Alter der Fraktur, Alter des Patienten etc.) und den Osteosynthesematerialien vor allem die Erfahrung des Operateurs.

Laut einer Statistik der Ärztekammer Nordrhein liegt die Quote der handchirurgischen Fehlbehandlungen aller Begutachtungsverfahren im Vergleich zum allgemeinen Durchschnittswert deutlich höher (41,7% vs. 31,1%) [112]. Es handelt sich um ein interdisziplinäres Fach, in dem Fachärzte aus der Allgemeinchirurgie, der Unfallchirurgie/Orthopädie und der ästhetischen/plastischen Chirurgie mit einer Weiterbildungszeit von mindestens 36 Monaten die Zusatzbezeichnung Handchirurgie ablegen können [112].

Es zeigt sich jedoch ein deutlicher Unterschied zwischen Fachärzten mit Zusatzbezeichnung Handchirurgie mit einer Fehlerquote von 26% und Fachärzten ohne die Zusatzweiterbildung mit 44% Fehlerquote [112].

Ein Zusammenhang zwischen einer Mindestmenge an durchgeführten Operationen und klinischem Ergebnis wird angenommen. Dies zeigt sich z.B. bei Chow, der sich mit der Komplikationsrate bei der endoskopischen Behandlung des Karpaltunnelsyndrom beschäftigt. Hier zeigt sich eine deutliche Abnahme der Komplikationsrate in Abhängigkeit der Erfahrung des Operateurs [113].

Bei der Klinik für Handchirurgie Bad Neustadt an der Saale handelt es sich um eine Ausbildungsklinik, in der vom Assistenzarzt im 1. Jahr über die Fachärzte in Weiterbildung zur Fachbezeichnung Handchirurgie bis zum seit vielen Jahren tätigen Spezialisten alle Ausbildungsstufen in der Ärzteschaft vertreten sind. Bei der Versorgung von Skaphoidpseudarthrosen ist immer mindestens ein erfahrener Kollege mit Facharztstatus und Zusatzbezeichnung Handchirurgie beteiligt, sodass die fachliche Expertise gewährleistet ist.

Wie aus Tabelle 2 ersichtlich, zeigt sich bei unseren Patienten, die von Handchirurgen mit Zusatzweiterbildung operiert werden, bei einer vergleichbaren demographischen Ausgangssituation ein etwas besseres funktionelles Ergebnis

und eine etwas höhere Konsolidierungsrate als bei den Patienten, die von einem Arzt in Weiterbildung zum Handchirurgen operiert werden.

Parameter	Handchirurg	In Ausbildung	p-Wert
<i>Anzahl Eingriffe</i>	32	38	
<i>Männer : Frauen</i>	24 : 8 (75% Männer)	33 : 5 (87% Männer)	
<i>Patientenalter bei OP</i>	31,0 Jahre (17 – 68)	28,9 Jahre (16 – 56)	
<i>Alter Pseudarthrose in Monaten</i>	187,2 (28 – 588); 2 unbek.	198,8 (26 - 1916); 4 unbek.	
<i>Beckenkamm: Radiuspongiosa</i>	25 : 7	30 : 8	
<i>Schraube: K-Drähte</i>	31 : 1	34 : 3 + 1x Ethipins	
<i>Konsolidierungsrate</i>	59,4%	55,3%	p = .729
<i>DASH</i>	13,2 (0 – 35,83)	15 (0 – 51,67)	P = .6269
<i>MMWS</i>	83,4 (52,5 – 100)	79,1 (32,5 – 100)	p = .3717
<i>Griffkraft</i>	90 (41 – 108)	85 (42 – 114)	p = .0839
<i>Schmerzen in Ruhe präoperativ</i>	1,8 (0 – 8)	3,3 (0 -10)	p = .1531
<i>Schmerzen bei Belastung präoperativ</i>	6,2 (2 – 10)	7,2 (3 – 10)	p = .0392
<i>Schmerzen in Ruhe postoperativ</i>	0,6 (0 – 8)	1,1 (0 – 6)	p= .6403
<i>Schmerzen bei Belastung postoperativ</i>	3,8 (0 – 8)	3,8 (0 – 10)	P = .8399

Tabelle 2: Vergleich Handchirurg vs. in Ausbildung

Klinische Ergebnisse

Arthrotische Veränderungen

Die meisten arthrotischen Veränderungen der Handwurzel spielen sich periskaphoidal ab. Über die Hälfte dieser Veränderungen entstehen nach dem Muster eines SNAC-wrist (scaphoid non-union advanced collapse). Am zweithäufigsten sind STT-Gelenkarthrosen (Skaphotrapeziotrapezoidalgelenk) [70].

Dacho und Mitarb. berichten von 42% der operierten Patienten, bei denen es im Verlauf der Nachbeobachtung von durchschnittlich 88 Monaten zur Ausbildung einer radiologisch nachgewiesenen radioskaphoidalen Sekundärarthrose kommt. Eine Differenzierung zwischen verheilten und nicht verheilten Pseudarthrosen erfolgt in dieser Studie nicht [104].

Die arthrotischen Veränderungen korrelieren jedoch nicht unbedingt mit den klinischen Beschwerden der Patienten. In unserer Studie ergibt sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Arthrose und den Schmerzwerten ($p=0.746$).

Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Düppe und Mitarb., die berichten, dass in 31% der symptomlosen Patienten arthrotische Veränderungen nachweisbar sind. Im Gegensatz dazu weisen 29% der symptomatischen Patienten keinerlei Veränderungen auf [30].

Schmerzen

Die knöchernen Konsolidierung hat einen starken Einfluss auf die Schmerzen im Handgelenk. In unserer Studie ergibt sich ein hochsignifikanter Zusammenhang zwischen der Konsolidierung und der verbalen Schmerzskala ($p<0,0005$).

39 (56%) unserer Patienten verspüren postoperativ bei längerer Belastung noch Schmerzen im Bereich des Handgelenks. Neun (13%) der Patienten berichten zudem über Schmerzen bereits in Ruhe. Insgesamt sind also 69% der Patienten postoperativ nicht komplett schmerzfrei, darunter auch 22 Patienten mit konsolidiertem Skaphoid.

Bei Dachö und Mitarb. berichten postoperativ über die Hälfte der Patienten (55%) über Schmerzen bei länger andauernder Belastung der operierten Seite. Die Mittelwerte auf der visuellen Analogskala mit einer Skalierung von 0 bis 100 Punkten liegen hierbei bei 4 Punkten in Ruhe und 37 Punkten unter Belastung [104].

In einer weiteren Studie verbessern sich die Schmerzwerte auf der numerischen Analogskala mit Werten von 0 bis 10 von 4,8 präoperativ auf 1,9 postoperativ [78].

Gebrauchsfähigkeit

Insgesamt berichten zwei Drittel der Patienten über fortbestehende Einschränkungen der Gebrauchsfähigkeit der Hand, etwa 10% hiervon klagen über erhebliche Einschränkungen im Alltag. Das andere Drittel gibt an, im Alltag keinerlei Einschränkungen durch die verletzte Hand zu bemerken.

Andere Studien liefern ähnliche Ergebnisse, z.B. mit 43% beschwerdefreien Patienten und etwa 10% der Patienten mit erheblichen Einschränkungen [78].

Griffstärke

Eine Pseudarthrose geht häufig mit einer Verminderung der Griffstärke einher. Laut Döppe und Mitarb. ergibt sich bei ausgeheilten Frakturen kein Unterschied zwischen gesunder und betroffener Hand [30].

Nach Ausheilung der Skaphoidpseudarthrose bleibt zumeist eine leichte Kraftminderung bestehen. Dachö und Mitarb. berichten von einer verminderten mittleren Griffstärke auf 89% der operierten Seite nach Pseudarthrosenrekonstruktion im Vergleich zur gesunden Gegenseite [104].

Ähnliche Werte finden sich auch bei Kremling und Mitarb., die eine verminderte mittlere Griffstärke auf 90% im Vergleich zur gesunden Seite beschreiben [78].

Die Kraft ist jedoch zumeist postoperativ im Vergleich zu präoperativ deutlich gebessert. So berichten bspw. Robbins und Mitarb. von einer Steigerung von durchschnittlich 44% der postoperativen Griffkraft im Vergleich zur präoperativen Ausgangslage [60].

Die Literaturdaten decken sich hier mit unseren Ergebnissen. In unserer Studie ist ein Kraftverlust sowohl bei ausgeheilten als auch bei persistierenden Pseudarthrosen von durchschnittlich 12,8% unabhängig von dominanter oder nicht-dominanter Seite zu beobachten. Auch wenn das Skaphoid ausgeheilt ist, besteht weiterhin ein Kraftverlust von etwa 11% im Vergleich zur gesunden Seite. Dieser ist jedoch geringer als bei den persistierenden Pseudarthrosen mit einem durchschnittlichen Kraftverlust von 15,2%.

Bewegungsumfang

Der Bewegungsumfang bei persistierenden Pseudarthrosen ist im Vergleich zur Gegenseite häufig eingeschränkt [30]. Auch bei ausgeheilten Pseudarthrosen bleibt postoperativ in den meisten Fällen eine Einschränkung des Bewegungsumfangs zurück [47]. Einige Studien zeigen eine deutliche Besserung im Vergleich zu der präoperativen Ausgangssituation [18,47], in anderen Studien zeigt sich hingegen keine signifikante Besserung [60].

Kremling und Mitarb. beschreiben eine durchschnittliche Reduktion der Extensionsfähigkeit von präoperativ 25% und postoperativ 23%. Das Flexionsdefizit wird mit durchschnittlich 16% präoperativ und 28% postoperativ angegeben. Es kommt also in dieser Studie durch die Operation zu keiner Besserung, sondern sogar zu einer leichten Flexionsverschlechterung [78],

In unserer Studie ist aufgrund des retrospektiven Designs und der damit verbundenen mangelnden präoperativen Datenlage kein Vergleich zwischen dem präoperativen und dem postoperativen Status des betroffenen Handgelenks möglich, sondern nur ein Vergleich zwischen dem operierten Handgelenk und der gesunden Gegenseite.

Am stärksten betroffen ist in unserem Patientengut die Radialduktion mit 31% Bewegungseinschränkung im Vergleich zur gesunden Gegenseite. Extension und Flexion sind ebenfalls im Schnitt leichtgradig eingeschränkt im Vergleich zur gesunden Gegenseite (23 bzw. 24% Bewegungsminderung).

Die Pronation und Supination wird durch Skaphoidfraktur oder -pseudarthrose nicht beeinträchtigt [18]. Wir verzichteten deshalb auf die Erhebung dieser Daten.

Komplikationen

Handgelenk

In unserem Patientengut berichten nahezu die Hälfte (48,5%) der untersuchten Patienten über subjektive Missempfindungen im Bereich des Handgelenks. Führend hierbei waren Schmerzen bei Wetterveränderungen mit 28,5%. Auch Dysästhesien im Bereich des Handrückens wie Anästhesien oder Kribbelparästhesien finden sich bei 16 Patienten (23%).

In einer Studie von Dacho und Mitarb. berichten 22,6 % der Patienten über subjektive Beschwerden wie Kribbelparästhesien, Schwellungsneigung oder Schmerzen bei Wetterumschwüngen, die im letzten halben Jahr vor der Untersuchung aufgetreten sind. Nur 25% bezeichnen sich als komplett beschwerdefrei [104].

Beckenkamm

Probleme an der Entnahmestelle am Beckenkamm sind kein seltenes Phänomen. Besonders Schmerzen im Bereich der Entnahmestelle, Dysästhesien und Infektionen kommen immer wieder vor. In einer Studie von Filan und Herbert berichten etwa 10% der untersuchten Patienten von Schmerzen im Bereich des Beckenkamms [33]. Kurz und Mitarb. berichten von bis zu 15% der Patienten, die mehr als drei Monate nach dem Eingriff noch Schmerzen an der Entnahmestelle am Beckenkamm aufwiesen [114].

Bei zwölf unserer Patienten (17% des gesamten Patientenguts bzw. 22% der mit Beckenkammspänen versorgten Patienten) finden sich Beschwerden im Bereich der Entnahmestelle am Beckenkamm, die sich im Sinne von Sensibilitätsausfällen, Schmerzen oder Gangstörungen äußern. Besonders gefährdet ist aufgrund der Operationstechnik der N. cutaneus femoris lateralis, in dessen Versorgungsbereich es bei sechs der Patienten zu Sensibilitätsausfällen gekommen ist. Viele der Patienten beschrieben die Beschwerden im Beckenkambereich als gravierender als die Probleme am Handgelenk.

Unsere Ergebnisse ähneln denen von Tambe und Mitarb., die berichten, dass 20% (9 von 44 Pat.) der von ihnen untersuchten, mit Beckenkammspänen versorgten Patienten drei Monate nach der Operation über Schmerzen im

Entnahmebereich klagen, nach fünf Monaten sind es immer noch 11% (5 von 44 Pat.). Zudem berichten sie, dass es bei 9% (4 von 44 Pat.) der Patienten zu einer Infektion im Entnahmebereich kommt [80]. In unserem Patientengut kommt es nur bei einem Patienten zu einer Infektion. Diese gestaltet sich jedoch äußerst kompliziert, sodass es zu einer notfallmäßigen Einweisung in ein auswärtiges Krankenhaus bei einer Sepsis auf dem Boden einer Wundinfektion und mehreren Revisionseingriffen im Bereich des Beckenkamms kommt.

Modifizierter Mayo Wrist Score (Krimmer-Score)

Im modifizierten Mayo Wrist Score (Krimmer-Score) werden im Schnitt in unserem Patientengut 82 von 100 möglichen Punkten erzielt mit einer Spanne von 32,5 bis 100 Punkten. Eine Punktzahl über 80 bedeutet hierbei ein sehr gutes funktionelles Ergebnis. Unter 50 Punkte stehen für ein schlechtes funktionelles Ergebnis [98]. Der Patient mit 32,5 Punkten muss sich im Verlauf einer MKTA unterziehen und weist so vor allem in der Handgelenksbeweglichkeit und der Kraft schlechte Werte auf.

Ein befriedigendes Ergebnis weisen sechs Patienten auf. Hiervon sind drei der Patienten im Verlauf mit einer MKTA versorgt worden und einer mit einem gefäßgestielten Femurspan. Bei den beiden anderen Patienten besteht eine persistierende Pseudarthrose, die nicht weiter versorgt wird.

Rechnet man die Patienten, die sich im Verlauf einer MKTA unterziehen müssen, aus dem Patientengut heraus, so ergibt sich ein Durchschnittswert von 84,6 Punkten. Bei den mit MKTA versorgten Patienten ergibt sich im Schnitt ein Wert von 57 Punkten.

Die Patienten mit persistierender Pseudarthrose weisen einen Mittelwert von 75,5 Punkten auf mit einer Range von 32,5 bis 100 Punkten. Auch bei den Patienten mit konsolidierter Pseudarthrose bleibt eine gewisse Einschränkung zurück. Es ergibt sich ein Mittelwert von 86,7 Punkten mit einer Spanne von 65 bis 100 Punkten.

In einer Studie aus Ludwigshafen von Dacho und Mitarb., in der der ursprüngliche Mayo Wrist Score angewendet wird, finden sich ähnliche Ergebnisse mit einem

Durchschnittswert von 82 Punkten und einer Range von 33 bis 100 Punkten [104].

DASH-Score

Im DASH-Score wird bei unseren Patienten ein durchschnittlicher Wert von 14,4 von 100 Punkten erzielt mit einer Spanne von 0–35 Punkten. Dies entspricht angesichts der Tatsache, dass der Wert 0 keinerlei Einschränkungen und der Wert 100 einer maximalen Behinderung entspricht, einer im Durchschnitt nur geringgradigen Einschränkung der Funktionalität im Alltag. Bei den Patienten mit knöcherner Konsolidierung liegt der Mittelwert bei 9,8 Punkten bei den Patienten mit persistierender Pseudarthrose ergibt sich ein Mittelwert von 20,1 Punkten.

Bei Patienten einer Studie von Dacho und Mitarb. finden sich ähnliche Werte mit einer durchschnittlichen Punktzahl von 15 Punkten und einer Spanne von 0–80 Punkten [104]. Eine Studie, die sich nur mit der Versorgung von proximalen Pseudarthrosen beschäftigt, liefert mit einer durchschnittlichen Punktzahl von 10 nochmals bessere Ergebnisse [78].

Operative Versorgung

Wahl des Zugangswegs

Die Wahl des Zugangswegs hängt vor allem von der Lokalisation des Frakturspalts bzw. der Pseudarthrose ab. Beide gebräuchliche Varianten haben ihre Vor- und Nachteile. Beim dorsalen Zugang kann es zu einer Schädigung von sensorischen Ästen des N. radialis kommen [47] sowie zu einer Schädigung der dorsalen Gefäßäste, die den proximalen Skaphoidpol versorgen [19]. Nach palmarem Zugang zeigt sich in einer Studie von Botte und Mitarb. zur Durchblutung des Skaphoids nach Einbringen einer Herbert-Schraube bei 5 von 15 Patienten eine Schädigung der Gefäße, die den distalen Pol und die distalen 20% bis 30% des Skaphoids versorgen, sodass Gefahr besteht, dass dieser Teil avaskulär wird. Klinisch zeigen sich jedoch kaum Auswirkungen einer Durchblutungsminde- rung des distalen Pols, da diese wesentlich besser toleriert wird als am proximalen Pol. Die Blutversorgung des proximalen Pols wird durch

den palmaren Zugang nicht gefährdet, sodass dieser trotzdem als der für die Vaskularität sicherere Zugangsweg angesehen wird [19]. In einer internationalen multizentrischen Studie von Schuind und Mitarb. zeigt sich ein Unterschied in der Beweglichkeit abhängig von den Zugangsarten. Beim dorsalen Zugang war sowohl die Flexion als auch die Extension im Verhältnis zum palmaren Zugang signifikant eingeschränkt. Hinsichtlich der anderen Ergebnisse (Ausheilungsrate, Komplikationen) sind die Zugangsformen gleichwertig [67].

Schwierigkeiten bei der operativen Versorgung

Bei der Versorgung von Skaphoidpseudarthrosen kommt es aufgrund der technischen Schwierigkeit immer wieder zu Problemen bei der Operation. Radford und Mitarb, berichten über eine Quote von 28% signifikanter technischer Schwierigkeiten. Hierunter fallen u.a. die mangelhafte Platzierung der Schraube, Materialbruch oder eine inkorrekte Schraubenlänge [34]. Im Falle von sehr kleinen proximalen Fragmenten kann es zu einer Frakturierung des proximalen Pols beim Versuch des Einbringens von Osteosynthesematerial kommen [47]. Auch der Knochenkeil aus dem Beckenkamm kann beim Einbringen frakturieren mit der Folge einer ausbleibenden Ausheilung [47].

Ein weiteres häufiges Problem stellt ein Überstehen in den Gelenkspalt bzw. nicht vollständiges Versenken der Schraube im Knochen dar. Radford und Mitarb. berichten von 14% ihrer Patienten, die aufgrund eines Schraubenüberstandes trotz knöcherner Konsolidierung über persistierende Schmerzen klagen. Nach Entfernen überstehender Schrauben klingen diese ab [34].

Auch in unserem Patientengut muss bei 3 Patienten (4%) eine Metallentfernung aufgrund einer überstehenden Schraube erfolgen.

Einflussfaktoren

Voraussetzungen für eine gute Ausheilung

Wichtig für eine gute Ausheilung der Skaphoidpseudarthrose ist eine gute Kompression der beiden Fragmente, um die Stabilität während der Ausheilung zu gewährleisten.

Früher bereitete die Platzierung des damals erforderlichen Jig und damit verbunden die korrekte Längenausmessung und Platzierung der Kompressionsschraube häufig Probleme [64]. Durch die zwischenzeitliche Verfügbarkeit kanülierter Schrauben wird ein Jig heutzutage nicht mehr benötigt. Die korrekte Platzierung des Osteosynthesematerials spielt eine wichtige Rolle für das Zustandekommen einer ausreichenden Kompression. Diese ist aber durch die variable Form des Skaphoids und die schwierige operative Erreichbarkeit oft nicht oder nur eingeschränkt möglich. Verschiedene Studien zeigen eine ungünstige oder gar fehlerhafte Schraubenlage als einen der Hauptfaktoren für eine schlechte Ausheilung. So weisen in einer Studie von Compson und Mitarb. 39 von 68 Patienten eine mangelhafte Schraubenlage auf. Am weitesten verbreitet ist hier eine mangelnde Verankerung im distalen Pol. Bei proximalen Polfrakturen besteht ein weiterer häufiger Fehler darin, dass das Führungsgewinde den Bruchspalt tangiert, was keine Kompression mehr erlaubt, sondern diese vielmehr verhindert. Durch ein Überstehen der Schraube in den Gelenkspalt kann es außerdem zu zusätzlichen Schmerzen kommen [11].

Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor ist eine korrekte Indikationsstellung. So sollten z.B. sehr kleine avaskuläre Fragmente primär mit vaskularisiertem Knochenmaterial versorgt werden, da hier die Heilungsaussichten wesentlich geringer sind als z.B. bei einer Skaphoidpseudarthrose im Tailienbereich [18,75]

Wichtig für die Ausheilung ist zudem eine ausreichende Resektion des sklerotischen Knochengewebes und des Weichteilgewebes im Pseudarthrosenspalt.

Negative Prädiktoren in Hinsicht auf das funktionelle Ergebnis

Nakamura und Mitarb. nennen vier wesentliche Prädiktoren für ein schlechtes funktionelles Ergebnis nach Skaphoidpseudarthrosenrekonstruktion:

- Zeitraum zwischen Unfallereignis und Operation von über fünf Jahren
- Lokalisation der Skaphoidpseudarthrose im proximalen Pol
- Sklerosierung des proximalen Fragments
- Unzureichende Korrektur des karpalen Humpbacks [44].

Bei sklerosiertem proximalen Pol verlängert sich die Dauer bis zur Ausheilung im Vergleich zu zystischen oder fibrösen Polen [64].

Zusammenhang zwischen knöcherner Konsolidierung und klinischem Ergebnis

Die klinische Symptomatik des Patienten deckt sich oft nicht mit der radiologisch nachgewiesenen knöchernen Konsolidierung des Handgelenks. Dieser Effekt kann in beide Richtungen auftreten. Es gibt sowohl Patienten, die trotz radiologisch nachgewiesener persistierender Pseudarthrose komplett beschwerdefrei sind als auch Patienten, die trotz guter knöcherner Konsolidierung weiterhin starke Handgelenksbeschwerden aufweisen. Für dieses Phänomen gibt es verschiedene Erklärungsversuche.

Barton berichtet in einer Studie über verschiedene Rekonstruktionsmethoden über eine Diskrepanz zwischen klinischem und radiologischem Ergebnis in allen Patientengruppen. Er beschreibt einige Patienten, die keine Änderung der klinischen Symptomatik trotz radiologischer Konsolidierung aufweisen. Bei einem der Patienten ist aufgrund der Schmerzen ein Revisionseingriff im Sinne einer Arthrodesis erfolgt, bei der sich intraoperativ ein geheiltes Skaphoid zeigt. Die Gründe für die persistierenden Schmerzen bleiben hierbei unklar [103].

Im Gegensatz hierzu berichten Warren-Smith und Mitarb. von einer deutlichen Schmerzreduktion postoperativ auch bei Patienten ohne knöchernen Ausheilung [115,116].

Als mögliche Gründe für eine Schmerzreduktion trotz persistierender Pseudarthrose führt Barton zu einer möglichen Umwandlung einer kompletten Pseudarthrose zu einer straffen Pseudarthrose an. Zum anderen könnte eine Stabilisierung der Frakturteile durch das verwendete Osteosynthesematerial zu einer Besserung der Symptomatik führen. Dies zeigt sich in der Studie vor allem in der Gruppe der Patienten mit proximalen Polfrakturen, die im Schnitt trotz schlechter Konsolidierungsrate eine deutliche Reduktion der Schmerzsymptomatik berichten [103].

Gründe für ein Persistieren der Schmerzen trotz knöcherner Konsolidierung könnten zum einen ein anderer Ursprung des Schmerzreizes und eine quasi nur zufallsbefundliche Skaphoidpseudarthrose sein, z.B. bei begleitenden ligamentären Läsionen oder einer radiologisch noch nicht nachweisbaren beginnenden Arthrose in diesem Bereich. Aber auch eine Ausheilung in Fehlstellung des Skaphoids mit den damit verbundenen negativen Auswirkungen auf die Handgelenksbiomechanik kommt als Ursache in Frage [103].

Garcia-Elias und Mitarb. finden bei Patienten mit knöcherner Durchbauung der Pseudarthrose postoperativ bei 16% eine persistierende Humpback-Deformität und bei 12% eine persistierende DISI-Deformität [67]. Nakamura und Mitarb. setzen die knöcherne Durchbauung als notwendige Grundlage voraus, welche jedoch allein genommen nicht ausreichend ist für ein gutes funktionelles Ergebnis [44].

Auch Fernandez und Mitarb. beschreiben bei einigen Patienten ein Persistieren der Schmerzen trotz knöcherner Durchbauung und Ausschluss einer Arthrose oder eines Schraubenüberstandes [64].

Spontanheilung von Skaphoidpseudarthrosen

Im Gegensatz zu der normalerweise schlechten Heilungsquote bei proximalen Polfrakturen und den Schwierigkeiten bei der operativen Versorgung stehen einige in der Literatur beschriebene Fälle, bei denen es zu einer spontanen Ausheilung ohne konservative oder operative Behandlung einer Pseudarthrose kommt.

Roolker und Mitarb. berichten von einem 19-jährigen Patienten mit einer mindestens ein Jahr lang persistierenden Pseudarthrose, bei dem es spontan ohne Behandlung zu einer vollständigen Ausheilung kam [117]. Park und Mitarb. berichten von einem 23-jährigen Patienten, bei dem 3 Monate nach dem auslösenden Unfall eine Skaphoidfraktur des proximalen Pols diagnostiziert wurde. Der Patient zeigt sich fast komplett symptomfrei mit nur minimalem Extensions- und Radialdeviationsdefizit und weist eine operative Versorgung zurück. Eine Nachuntersuchung nach 30 Monaten aufgrund eines anderen Unfalls zeigt eine komplette Ausheilung der Fraktur, was computertomographisch bestätigt werden kann [118].

Einordnung in die Literatur

In der Literatur finden sich generell stark variable Ausheilungsraten. Dies liegt in der Regel an einem Zusammenspiel aus der chirurgischen Technik, der Frakturlokalisierung und der Vorbehandlung in den verschiedenen Studien [79].

Ferguson und Mitarb. stellen in einer 2015 veröffentlichten Metastudie die Ergebnisse der Skaphoidpseudarthrosenversorgung der letzten 50 Jahre dar [5].

Insgesamt filtern die Autoren 2710 Artikel heraus, von denen 144 die in der Metastudie definierten Einschlusskriterien erfüllen. Hierzu gehört z.B. eine Mindestfallzahl von 10 Patienten und ein Durchschnittsalter von mindestens 16 Jahren. Eingeschlossen werden sowohl Fallserien, Fall-Kontroll-Studien sowie randomisierte kontrollierte Studien. Alle operativen Versorgungstechniken finden hierbei Beachtung, sowohl vaskularisierte als auch nicht-vaskularisierte Knochenspäne sowie offene, geschlossene und arthroskopische Operationstechniken. Ausgeschlossen sind pädiatrische Fälle und Studien, die sich mit Skaphoidfrakturen und nicht mit Skaphoidpseudarthrosen beschäftigen. Schließen Studien sowohl Frakturen als auch Pseudarthrosen mit ein, finden Sie nur dann Beachtung wenn der Anteil der Pseudarthrosen bei über 70% liegt.

Die aufgenommenen Studien werden teilweise noch einmal in verschiedene Datenbankeinträge unterteilt, wenn innerhalb einer Studie z.B. nicht-vaskularisierte und vaskularisierte Fälle als separate Gruppen betrachtet werden. 120 Datenbankeinträge beschäftigen sich mit der Versorgung durch nicht-vaskularisiertes Knochenmaterial und 34 mit der Versorgung durch vaskularisiertes Knochenmaterial.

Insgesamt ergibt sich bei der Metastudie eine Heilungsrate bei der Versorgung mit nicht-vaskularisiertem Knochenmaterial von 80%, wobei die Spanne von 17% bis 100% reicht. Die 25. Perzentile liegt bei 73%, die 75. Perzentile bei 94%. Insgesamt fließen 3327 untersuchte Skaphoide in diese Studie mit ein.

In einer Metastudie von Alluri und Mitarb., die vaskularisierte Knochentransplantate zum Thema hat, fließen 41 englischsprachige Studien in die Auswertung ein. Hier ergibt sich ebenfalls eine starke Varianz bei der

Ausheilungsrate von 27-100% mit einem Durchschnittswert von 84,7% [79].

Eine Reihe möglicher Ursachen für diese sehr variablen Ausheilungsraten (Ferguson: 17-100%, Alluri: 27-100%) werden u.a. bereits in den Metastudien aufgegriffen: Die Vergleichbarkeit der Studien untereinander ist oft schwierig und die Qualität der Studien schwankend. Nur in einem Bruchteil der eingeschlossenen Studien erfolgt eine genaue Definition der Einschlusskriterien [5]. Auch der Begriff Pseudarthrose wird nicht einheitlich verwendet. Nur 12% der eingeschlossenen Studien bei Ferguson und Mitarb. stellen dar, welche Definition von ihnen herangezogen werden. Während einige Studien den Begriff streng fassen und erst ab einer Bestehensdauer der Skaphoidfraktur von mindestens 26 Wochen von einer Pseudarthrose sprechen, wenden andere Studien diesen Begriff bereits nach 12 Wochen an oder definieren ihn überhaupt nicht [5].

Wie bereits erörtert besteht ein signifikanter negativer Zusammenhang zwischen der Konsolidierungsrate und der Bestehensdauer der Pseudarthrose. Schon Warren-Smith und Mitarb. beklagen 1988 die uneinheitliche Anwendung des Begriffs Pseudarthrose und die mangende Durchsichtigkeit über die Dauer der Nachuntersuchung sowie die unterschiedlichen Bewertungskriterien in den Nachuntersuchungen [116].

Viele Studien unterscheiden sich zusätzlich in den gewählten Bewertungskriterien. In einigen Studien erfolgt ausschließlich eine radiologische Bewertung der Ergebnisse, andere Studien ziehen ausschließlich klinische Ergebnisse heran [5]. Wie erörtert besteht jedoch teilweise eine deutliche Diskrepanz zwischen klinischem und radiologischem Ergebnis, so dass vom klinischen Ergebnis nicht unbedingt Rückschlüsse auf das radiologische Ergebnis gezogen werden können und umgekehrt.

Ferguson und Mitarb. postulieren den Einfluss eines so genannten „reporting bias“. Hierunter versteht man die Tendenz, dass Studien vor allem dann veröffentlicht werden, wenn deren Ergebnisse mindestens ebenso gut wie die bereits in der Literatur publizierten Ergebnisse sind. Schlechtere Heilungsraten werden eher unter Verschluss gehalten.

Auch der so genannte „observer bias“ könnte einen entscheidenden Einfluss auf

die ermittelten Heilungsraten haben. Er bezeichnet die Tendenz, dass an der Operation beteiligte Personen das Ergebnis einer Operation positiver bewerten als unabhängige Beobachter. Hierzu gehören zum einen die Operateure selbst, als auch Mitglieder aus den jeweiligen Operationsteams.

Ein weiterer Einflussfaktor auf die Pseudarthrosenrate stellt die Länge der Nachbeobachtungszeit dar. Je länger diese ist, desto mehr persistierende Pseudarthrosen werden gefunden [5].

Zudem schafft der Einsatz von CT-Scans eine erhöhte Sensitivität für Pseudarthrosen. Schmitt und Mitarb. berichten von etwa einem Drittel der Patienten, die trotz fehlendem Nachweis einer knöchernen Läsion im konventionellen Röntgen in der CT-Bildgebung Frakturen aufweisen [43].

Limitationen der Studie

Die durchgeführte Studie unterliegt gewissen Limitationen, die vor allem auf das retrospektive Studiendesign und damit verbundene Einschränkungen in der Datenerhebung zurückzuführen sind. Die Rücklaufquote liegt bei etwa 40%. Gründe für eine ausbleibende Rückmeldung der kontaktierten Patienten könnten unter anderem ein großes Einzugsgebiet mit einem damit verbundenen langen Anreiseweg zur Untersuchung sowie der lange Zeitraum zwischen Operation und Nachuntersuchung sein.

Bei der Studie handelt es sich um eine retrospektive Analyse, sodass weder eine Randomisierung der Patienten, noch eine Zuteilung in Fall- und Kontrollgruppe vorgenommen werden kann. Dies ist auch durch die Vielzahl der betrachteten Variablen bedingt, welche in dieser Studie untersucht werden, um einen umfassenden Überblick über das Thema zu liefern. Einige Variablen, wie z.B. „Raucher/Nichtraucher“ oder „Beruf mit starker körperliche Belastung“ können nicht bei allen Patienten aussagekräftig erhoben werden oder sind durch Berufswechsel aus ökonomischen Gründen o. Ä. verfälscht und werden entsprechend in der Untersuchung nicht berücksichtigt.

Nur in wenigen Fällen wurden durch die damaligen behandelnden Ärzte präoperative Daten zu Bewegungsumfang und Kraft dokumentiert, so dass kein direkter Vergleich des prä- mit dem postoperativen Zustand erfolgen kann. Zudem haben einzelne Patienten zusätzlich zur Studienhand auch an der Gegenseite Verletzungen erlitten bzw. Operationen erhalten, so dass der Bewegungsumfang der Gegenseite bereits kleiner ist als im gesunden Zustand, was einen Vergleich der Studienhand mit der jeweiligen Gegenseite erschwert.

Aufgrund des langen zeitlichen Abstands zu Unfallereignis und operativer Versorgung kam es patientenseitig in einigen Fällen zu Unsicherheiten hinsichtlich des Abrufs des genauen zeitlichen Verlaufs zwischen Unfall und Operation. Teilweise zeigt sich auch eine Diskrepanz zwischen der Schilderung der Patienten und den in alten Arztbriefen bzw. Operationsberichten erhobenen Daten. Zudem finden sich nicht in allen Operationsberichten sämtliche benötigte Details, beispielsweise das Vorhandensein bzw. Fehlen von Blutungspunkten.

Bei der Rekrutierung der Patienten fällt auf, dass viele Patienten nicht korrekt bzw. unvollständig kodiert wurden. 30 der 100 untersuchten Patienten müssen von der Auswertung ausgeschlossen werden, da entweder die zeitliche Definition der Pseudarthrose mit einer Bestehensdauer von mindestens 6 Monaten nicht erfüllt oder eine andere Behandlung als die Versorgung mit nicht-vaskularisiertem Knochenmaterial erfolgt ist, z.B. eine Denervation. Im Gegensatz hierzu ist die Möglichkeit gegeben, dass einige Patienten, die nach den Einschlusskriterien in die Studie gepasst hätten, aufgrund von Fehlkodierungen nicht die Möglichkeit hatten, an der Studie teilzunehmen.

Zusammenfassung

Die Versorgung der Skaphoidpseudarthrose stellt trotz vielfacher Untersuchungen und Ansätze in unseren Augen noch immer ein Problem im Klinikalltag dar. Die oft sehr guten Ergebnisse in der Literatur decken sich unserer Erfahrung nach häufig nicht mit der Versorgungswirklichkeit mit unselektiertem Patientengut. Auffällig ist hier vor allem, dass bei einigen Patienten weiterhin eine Skaphoidpseudarthrose besteht, obwohl in vorherigen Röntgenuntersuchungen eigentlich bereits eine knöcherne Heilung attestiert wurde.

Bei vielen Patienten bestehen noch Jahre nach der Operation subjektive Beschwerden wie Schmerzen oder Wetterfühlbarkeit und Funktionseinbußen des Handgelenks. Im Gegensatz hierzu stehen Patienten, die trotz persistierender Pseudarthrose erstaunlich beschwerdefrei sind.

Bei den meisten Patienten findet sich jedoch durch die operative Versorgung eine Besserung von Kraft und Beweglichkeit, auch wenn häufig nicht mehr die Werte eines gesunden Handgelenks erreicht werden.

Die meisten unserer Patienten würden die Operation noch einmal durchführen lassen, häufig mit der Begründung, Angst vor den möglichen negativen Auswirkungen der Skaphoidpseudarthrose zu haben. Trotzdem gab es immer wieder Patienten, die über eine Verschlechterung der Handgelenksfunktion im Vergleich zum präoperativen Zustand berichteten.

Es ist wichtig, die Indikationsstellung bzw. die Wahl der Operationsmethode sorgfältig zu prüfen, um ein gutes Ergebnis sicherzustellen. Hier stehen besonders die vaskularisierten Operationstechniken als Alternative bei bereits gescheiterten nicht-vaskularisierten Rekonstruktionsversuchen oder bei proximalen Polfrakturen im Vordergrund.

Gerade die Versorgung von proximalen Polfrakturen stellt immer noch eine Herausforderung dar, mit schlechten Ausheilungsraten und technisch anspruchsvollen Operationen. Hier konnte ein großer Fortschritt durch den Einsatz von gefäßgestielten Knochenspänen und Knorpel-Knochen-Transplantaten erzielt werden.

Die Schwierigkeiten bei der operativen Versorgung von Skaphoidpseudarthrosen mit all ihren Komplikationen zeigen, dass vor allem eine Prävention der Skaphoidfraktur z.B. durch Handgelenksschoner von immenser Bedeutung ist. Auch die Diagnostik sowie die Therapie bei Erstversorgung der Skaphoidfraktur muss optimiert werden, um einen Übergang in eine Pseudarthrose so weit wie möglich bereits im Vorfeld zu verhindern.

Anhang

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
AVN	Avaskuläre Nekrose
CT	Computertomographie
DASH	Disability of Arm, Shoulder and Hand
Dist.	Distal
DISI	Dorsiflexed intercalated segment instability
ECTR	Endoscopic Carpal Tunnel Release
Ex.	Extension
Flex.	Flexion
KG	Krankengymnastik
Lig.	Ligamentum
LT-Band	Lunatotriquetrales Band
M.	Musculus
MRT	Magnetresonanztomographie
MWS	Mayo Wrist Score
N.	Nervus
OP	Operation
Proc.	Processus
Rec. Praestyl.	Recessus praestyloideus
ROM	Range of motion
SL-Band	Skapholunäres Band
SL-Winkel	Skapholunärer Winkel
STT	Skaphotrapeziotrapezoidales Gelenk
TFCC	Triangular fibrocartilage complex
V.	Vena

Untersuchungsbogen Skaphoidpseudarthrose

Patient: _____ Geburtsdatum: _____ männlich weiblich

Untersuchungsdatum _____

Unfalldatum _____

Unfallart nicht erinnerlich _____

 -

Datum Erstdiagnose _____

Beruf Prä -OP: _____ Post- OP: _____

Händigkeit: rechts links Betroffene Seite: rechts links

Vorbehandlungen: konservativ operativ

Operation

Radiusspan Beckenkammspan

Kirschner- Drähte Herbert- Schraube _____

OP- Datum: _____ OP- Dauer: _____ Operateur: _____

Zugangsweg palmar dorsal

Dauer _____
 Krankenhausaufenthalt _____ Tage

Postoperative Nachbehandlung

Gips Art: _____ Dauer: _____

KG Ergotherapie _____

Arbeitsunfähigkeit Dauer: _____

Metallentfernung nein ja Wann? _____

Folge- Operationen

Nein

Ja Methode: _____ Datum: _____

Schmerzsymptomatik -Schwellung

Radiokarpal: Mediokarpal:
Ulnokarpal (TFCC): Rec. Praestyl:
Tabatière: STT:
Distal radioulnar
Entnahmestelle:

Tests zur Stabilität

Watson- Test:
Ballotement- Test:
Schubladentest:
Dist. Radioulnargelenk:

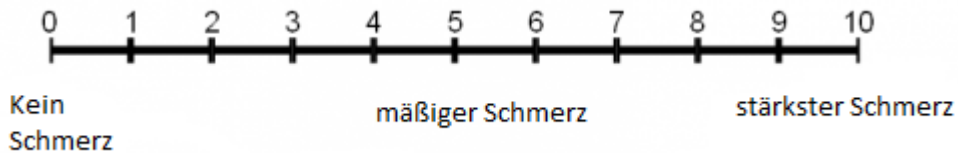
Verbale Schmerzskala

1 = schmerzfrei, 2 = ausschließlich Belastungsschmerz, 3 = noch erträglich (Ruhe- und Belastungsschmerz), 4 = stark, unerträglicher Schmerz

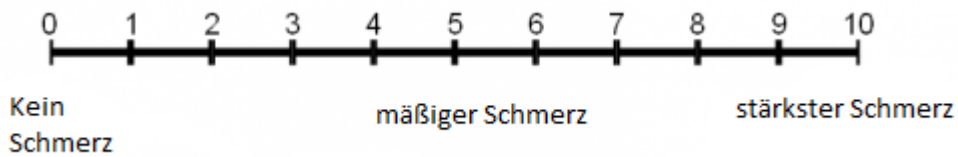
Präoperativ: _____ Postoperativ: _____

Numerische analoge Schmerzskala

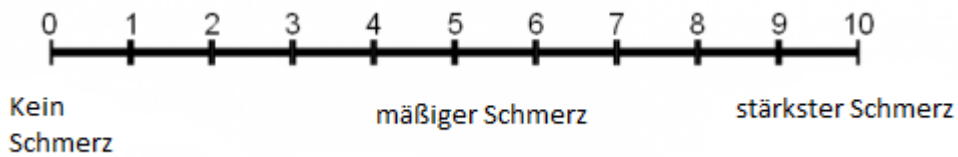
Präoperativ, in Ruhe



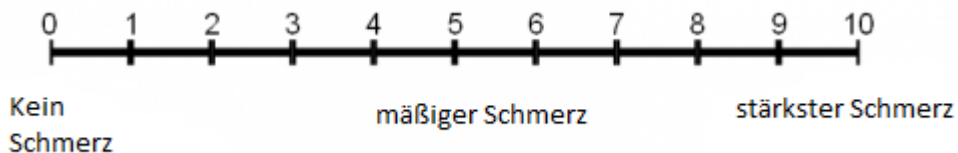
Präoperativ, bei Belastung



Postoperativ, in Ruhe



Postoperativ, bei Belastung



Gebrauchsfähigkeit

O normal, keine Einschränkungen

O eingeschränkt nur bei spezieller Tätigkeit

erhebliche Einschränkungen

starke Einschränkungen bereits im Alltag

DASH- Score: _____

Beweglichkeit nach der Neutral- Null-Methode

Rechts

Extension/ Flexion

_____ / _____ / _____

Ulnar-/ Radialabduktion

_ /

_ /

Pronation/ Supination

_____ / _____ / _____

Links

Streckung Finger

intakt
 eingeschränkt (_____ cm)

_____ / _____ / _____

Beugung Finger

intakt
 eingeschränkt (_____ cm)

_____ / _____ / _____

_____ / _____ / _____

Kraftmessung

intakt
 eingeschränkt (_____ cm)

Griffkraft- Jamar-Dynamometer (kg)/Stufe (Standard 3)

intakt
 eingeschränkt (_____ cm)

Präoperative Diagnostik

Rechts Links

CT

auswärts

MRT

auswärts

Röntgenvorbefund

Datum: _____

im Haus

Frakturlokalisierung

Proximal

im Haus

Frakturspalt

sichtbar

Arthrosezeichen

Geröllzysten

Osteophyten

Medial

Distal

Herbert-Klassifikation _____

nicht sichtbar

SL- Winkel: _____ °

subchondrale Sklerosierung

Aktueller Röntgenbefund

Datum: _____

Gelenkspaltverschmälerung

Knöcherner Durchbauung

Ja

Arthrosezeichen

- Geröllzysten
- Osteophyten

Nein

SL- Winkel: _____ °

OP- Zufriedenheit

subchondrale
Sklerosierung

Patient würde die OP
nochmal durchführen
lassen:

- Ja
- Nein

Gelenkspaltverschmälerung

Traditioneller Handgelenksscore [98]

Schmerzen			Punkte
schmerzfrei			20
ausschließlich Belastungsschmerz			15
Ruheschmerz und Belastungsschmerz			10
stark, unerträglich			0
Gebrauchsfähigkeit			
normal, keine Einschränkung			30
eingeschränkt nur bei speziellen Tätigkeiten			20
erhebliche Einschränkungen			10
starke Einschränkungen bereits im Alltag			0
Beweglichkeit (betroffene Seite)			
Extension / Flexion	Ulnar- / Radialduktion	Supination / Pronation	
über 100°	über 50°	über 140°	20
61 – 100°	36 – 50°	111 – 140°	15
31 – 60°	11 – 35°	81 – 110°	10
30° oder weniger	10° oder weniger	80° oder weniger	0
grobe Kraft (im Vergleich zur gesunden Seite)			
76 - 100%			30
51 - 75%			20
26 – 50%			10
25% oder weniger			0

Bewertung	sehr gut	81 – 100 Punkte
	gut	66 – 80 Punkte
	befriedigend	51 – 65 Punkte
	schlecht	unter 51 Punkten

Beweglichkeit (ROM) kann bei allen Eingriffen im Bereich der Handwurzel auf Extension und Flexion und Radial/ Ulnarduktion beschränkt sein, da Supination/ Pronation nicht beeinflusst werden.

Punktevergabe erfolgt durch Summation der Ergebnisse für E/F und R/U und Division des Ergebnisses durch 2

Mayo Wrist Score (Cooney und Mitarbeiter, 1987)

Schmerzen	Punkte
schmerzfrei	25
gering, gelegentlich	20
mäßig, tolerabel	15
stark bis intolerabel	0
funktionseller Status	
Rückkehr zur bisherigen Arbeit	25
eingeschränkte Arbeitsfähigkeit	20
arbeitsfähig, aber arbeitslos	15
schmerzbedingt arbeitsunfähig	0
Beweglichkeit (Extension / Flexion im Vergleich zur gesunden Seite)	
100%	25
75 - 99%	15
50 – 74%	10
25 – 49%	5
0 – 24%	0
grobe Kraft (im Vergleich zur gesunden Seite)	
100%	25
75 - 99%	15
50 – 74%	10
25 – 49%	5
0 – 24%	0

Bewertung	sehr gut	91 – 100 Punkte
	gut	81 – 90 Punkte
	befriedigend	65 – 80 Punkte
	schlecht	unter 65 Punkten

DASH-Score

DASH - Fragebogen (Disability of **A**rm / **S**houlder / **H**and)

Der nachstehende Fragebogen beschäftigt sich sowohl mit Ihren Symptomen als auch Ihren Fähigkeiten, bestimmte Tätigkeiten auszuführen.

Bitte beantworten Sie alle Fragen gemäß Ihrem Zustand in der vergangenen Woche, indem Sie einfach das entsprechende Feld ankreuzen.

Wenn Sie in den letzten Wochen für einige Tätigkeiten nicht die Gelegenheit hatten, sie auszuüben, dann schätzen Sie bitte, welche Antwort ihrem Zustand am nächsten käme.

Es ist nicht entscheidend, mit welcher Hand Sie Ihre Tätigkeiten ausüben! Antworten Sie also entsprechend Ihrer allgemeinen Fähigkeit, egal mit welcher Hand Sie die Aufgabe gewöhnlich meistern.

Teil A: Tätigkeiten des täglichen Lebens

Folgende Tätigkeit oder Aktivität bereitete mir in der letzten Woche:

	keine Schwierigkeiten	wenig Schwierigkeiten	merkliche Schwierigkeiten, aber machbar	erhebliche Schwierigkeiten	nicht möglich
1. Ein Marmeladen-, Einmach-, Honigglas öffnen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. Schreiben	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Schlüssel umdrehen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. Eine Mahlzeit zubereiten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. Eine schwere Tür aufstoßen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Etwas auf ein Regal über Kopfhöhe stellen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. Schwere Hausarbeit (Boden putzen, Wände abwaschen)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8. Garten- oder Hofarbeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. Betten machen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10. Eine Einkaufstüte oder Aktenkoffer tragen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11. Schwere Gegenstände tragen (über 10 kg)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12. Eine Glühbirne über Kopf austauschen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13. Haare waschen oder föhnen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14. Den Rücken waschen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	keine Schwierigkeiten	wenig Schwierigkeiten	merkliche Schwierigkeiten, aber machbar	erhebliche Schwierigkeiten	nicht möglich
15. Einen Pullover anziehen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
16. Ein Messer benutzen, um Lebensmittel zu schneiden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
17. Freizeitaktivitäten, die wenig körperliche Anstrengung verlangen (z.B. Karten spielen, Stricken, usw.)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
18. Freizeitaktivitäten, bei denen Sie Ihren Arm mit mehr oder weniger Anstrengung benutzen, wie z. B.: Tennis, Heimwerken, Golf, usw.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
19. Freizeitaktivitäten, bei denen Sie Ihren Arm frei bewegen (Badminton, Frisbee, Squash)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
20. Am Straßenverkehr teilnehmen oder öffentliche Verkehrsmittel benutzen, um von einem Platz zum anderen zu gelangen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
21. Sexuelle Aktivität	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
22. In welchem Ausmaß haben Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme Ihren normalen sozialen Kontakt zu Familie, Freunden, Nachbarn oder anderen Gruppen während der letzten Woche beeinflusst?	überhaupt nicht	kaum	merklich	deutlich	extrem
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
23. Waren Sie in der vergangenen Woche durch Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme in Ihrer Arbeit eingeschränkt?	überhaupt nicht	kaum	merklich	deutlich	extrem
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

TEIL B: Subjektive Beschwerden

Bitte schätzen Sie die Schwere der folgenden Symptome während der letzten Woche ein:

	Keine	Wenig	Mittel	Erheblich	Extrem
24. Schmerzen in Schulter, Arm, Hand	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
25. Schmerzen in Schulter, Arm, Hand, nachdem Sie eine bestimmte Tätigkeit ausgeführt haben	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
26. Kribbeln (Nadelstiche) in Schulter, Arm, Hand	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
27. Schwächegefühl in Schulter, Arm, Hand	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
28. Steifigkeitsgefühl in Schulter, Arm, Hand	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

29. Hatten Sie in der letzten Woche Schlafstörungen wegen der Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand?

keine Schlafstörungen	kaum Schlafstörungen	merkliche Schlafstörungen	erhebliche Schlafstörungen	Konnte Schmerzen nicht schlafen	wegen oft
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

30. "Durch meine Probleme in Schulter, Arm oder Hand fühle ich mich allgemein weniger fähig. Mein Selbstvertrauen ist eingeschränkt und ich kann mich weniger nützlich machen."

Stimme überhaupt nicht zu	Stimme nicht zu	Weder Zustimmung noch Ablehnung	Stimme zu	Stimme sehr zu
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Literatur

- 1 Larsen CF, Brøndum V, Skov O. Epidemiology of scaphoid fractures in Odense, Denmark. *Acta orthopaedica Scandinavica* 2009; 63: 216–218.
- 2 Strassmair M, Wilhelm K. Entstehung einer Skaphoidpseudarthrose, Diagnostische Unsicherheit und inkonsequente Therapie als Ursachen. *Deutsches Ärzteblatt* 2001; 98.
- 3 Fisk GR. Carpal instability and the fractured scaphoid, Hunterian lecture delivered at the Royal College of Surgeons of England 1970: 62–76.
- 4 Herbert TJ. The fractured Scaphoid, St. Louis, Missouri: Quality medical publishing Inc; 1990.
- 5 Ferguson DO, Shanbhag V, Hedley H und Mitarb. Scaphoid fracture non-union: a systematic review of surgical treatment using bone graft. *Journal of hand surgery, European volume* 2016; 41: 492–500.
- 6 Linscheid RL, Dobyns JH, Beckenbaugh RD und Mitarb. Instability patterns of the wrist. *Journal of Hand Surgery* 1983; 8: 682–686.
- 7 Schünke M, Schulte E, Schumacher U. Prometheus - LernAtlas der Anatomie, Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem ; 182 Tabellen. 2. Aufl., Stuttgart: Thieme; 2007.
- 8 Eschweiler J, Allmendinger F, Stromps JP und Mitarb. Biomechanische Modellierung der Handwurzel. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* 2014; 152: 161–169.
- 9 Green DP, ed. Fractures of the carpal bones. 3. Aufl., Churchill Livingstone New York, Edinburgh, London, Melbourne, Tokyo; 1993.
- 10 Cooney WP, Linscheid RL, Dobyns JH, eds. The wrist, Diagnosis and operative treatment, St. Louis, Baltimore, Boston: Mosby; 1998.
- 11 Compson JP, Heatley FW. Imaging the position of a screw within the scaphoid, A clinical, anatomical and radiological study. *Journal of Hand Surgery* 1993; 18 B: 716–724.
- 12 Lanz U, Schmidt H-M. Chirurgische Anatomie der Hand. 2. Aufl., s.l.: Thieme; 2003.
- 13 Taleisnik J. The ligaments of the wrist. *Journal of Hand Surgery* 1976; 1: 110–118.
- 14 Redeker J, Vogt PM. Karpale Instabilität. *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin* 2011; 82: 85-93; quiz 94.
- 15 Sennwald GR, Zdravkovic V, Kern H-P und Mitarb. Kinematics of the Wrist and Its Ligaments. *Journal of Hand Surgery* 1993; 18A: 805–814.
- 16 Prommersberger K-J, Mühldorfer-Fodor M, Kalb K und Mitarb. Die skapholunäre Bandverletzung. *Der Unfallchirurg* 2014; 117: 723-37.
- 17 Johnston RB, Seiler JG, Miller EJ und Mitarb. The intrinsic and extrinsic ligaments of the wrist, A correlation of collagen typing and histologic appearance. *Journal of Hand Surgery* 1995: 750–754.
- 18 Green DP. The effect of avascular necrosis on Russe bone grafting for scaphoid nonunion. *Journal of Hand Surgery* 1985; 10: 597–605.
- 19 Botte MJ, Mortensen WW, Gelberman RH und Mitarb. Internal vascularity of the scaphoid in cadavers after insertion of the Herbert screw. *Journal of Hand Surgery* 1988; 13: 216–220.
- 20 Gelberman RH, Menon J. The vascularity of the scaphoid bone. *Journal of Hand Surgery* 1980; 5: 508–513.
- 21 Filan SL, Herbert T. Avascular necrosis of the proximal scaphoid after fracture union. *Journal of Hand Surgery*: 1995; 20: 551–556.
- 22 Hixson ML, Stewart C. Microvascular anatomy of the radioscapulohumeral ligament of the wrist. *Journal of Hand Surgery* 1990; 15: 279–282.
- 23 Towfigh H, Hierner R, Langer M, eds. Handchirurgie, Berlin Heidelberg: Springer; 2011.
- 24 Oehmke MJ, Podranski T, Klaus R und Mitarb. The blood supply of the scaphoid bone. *Journal of hand surgery*, 2009; 34: 351–357.
- 25 Handley RC, Pooley J. The venous anatomy of the scaphoid. *Journal of trauma* 1991; 178: 115–118.
- 26 Cooney WP, Dobyns JH, Linscheid RL. Nonunion of the scaphoid: Analysis of the results from bone grafting. *Journal of Hand Surgery* 1980; 5: 343–354.
- 27 Mehling IM, Sauerbier M. Skaphoidfrakturen und Skaphoidpseudarthrosen. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* 2013; 151: 639–660.

- 28 Holloway KL, Moloney DJ, Brennan-Olsen SL und Mitarb. Carpal and scaphoid fracture incidence in south-eastern Australia: an epidemiologic study. *Archives of osteoporosis* 2015; 10: 10.
- 29 Hove LM. Epidemiology of scaphoid fractures in Bergen, Norway. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery and Hand Surgery* 2009; 33: 423–426.
- 30 Düppe H, Johnell O, Lundborg G und Mitarb. Long-Term Results of Fracture of the Scaphoid, A follow-up study of more than thirty years. *Journal of Bone and Joint Surgery* 1994; 76-A.
- 31 Trojan E, Jahna H. Die konservative Behandlung des veralteten Kahnbeinbruches der Hand. *Arch orthop Unfall-Chir* 1955; 47: 99–104.
- 32 Langhoff O, Andersen JL. Consequences of late immobilization of scaphoid fractures. *Journal of Hand Surgery* 1988; 13-B: 77–79.
- 33 Filan SL, Herbert TJ. Herbert screw fixation of scaphoid fractures. *Journal of Bone and Joint Surgery* 1996: 519–529.
- 34 Radford PJ, Matthewson MH, Meggitt BF. The Herbert screw for delayed and non-union of scaphoid fractures: a review of fifty cases. *Journal of Hand Surgery* 1990; 15 B: 455–459.
- 35 Bickert B, Kremer T, Kneser U. Operative Therapie der Skaphoidpseudarthrose. *Obere Extremität* 2014; 9: 271–275.
- 36 Bhandari M, Fong K, Sprague S und Mitarb. Variability in the definition and perceived causes of delayed unions and nonunions: a cross-sectional, multinational survey of orthopaedic surgeons. *Journal of bone and joint surgery*. 2012; 94: e1091-6.
- 37 Frykman G. Fracture of the Distal Radius Including Sequelae-Shoulder–Handfinger Syndrome, Disturbance in the Distal Radio-Ulnar Joint and Impairment of Nerve Function, A Clinical and Experimental Study. *Acta orthopaedica Scandinavica* 1967; 38: 1–61.
- 38 Weber ER, Chao EY. An experimental approach to the mechanism of scaphoid waist fractures. *Journal of Hand Surgery* 1978; 3: 142–148.
- 39 Larsen CF, Lauritsen J. Epidemiology of Acute Wrist Trauma. *International Journal of Epidemiology* 1993; 22: 911–916.
- 40 Böhler, L., Trojan, E., Jahna, H. Behandlungsergebnisse von 734 frischen einfachen Brüchen des Kahnbeinkörpers der Hand. *W. H. Ch. Traumatol. 2, Karger, Basel, New York* (1954) 1954.
- 41 Parvizi J, Wayman J, Kelly P und Mitarb. Combining the clinical signs improves diagnosis of scaphoid fractures, A prospective study with follow-up. *Journal of Hand Surgery* 1998; 23B: 324–327.
- 42 Hunter JC, Escobedo EM, Wilson AJ und Mitarb. MR imaging of clinically suspected scaphoid fractures. *AJR* 1997: 1288–1293.
- 43 Karle B, Mayer B, Kitzinger HB und Mitarb. Kahnbeinfrakturen--wann operativ, wann konservativ? CT-basierte Klassifikation. *Handchirurgie, Mikrochirurgie, plastische Chirurgie* : 2005; 37: 260–266.
- 44 Nakamura R, Horii E, Watanabe K und Mitarb. Scaphoid non-union: factors affecting the functional outcome of open reduction and wedgegrafting with Herbert screw fixation. *Journal of hand surgery* 1993; 18 B: 219–224.
- 45 Leslie IJ, Dickson RA. The fractured carpal scaphoid, Natural history and factors influencing outcome. *Journal of Bone and Joint Surgery* 1981; 63B: 225–230.
- 46 Herbert TJ, Fisher WE. Management of the fractured scaphoid using a new bone screw. *Journal of Bone and Joint Surgery* 1984; 66B: 114–123.
- 47 dos Reis FB, Koeberle G, Leite NM und Mitarb. Internal fixation of scaphoid injuries using the herbert screw through a dorsal approach. *Journal of Hand Surgery* 1993; 18: 792–797.
- 48 Unay K, Gokcen B, Ozkan K und Mitarb. Examination tests predictive of bone injury in patients with clinically suspected occult scaphoid fracture. *Injury* 2009; 40: 1265–1268.
- 49 Waizenegger M, Barton NJ, Davis T und Mitarb. Clinical signs in scaphoid fractures. *Journal of Hand Surgery* 1994; 19-B: 743–747.
- 50 Krimmer H, Schmitt R, Herbert T. Kahnbeinfrakturen - Diagnostik, Klassifikation und Therapie. *Der Unfallchirurg* 2000; 103: 812–819.

- 51 Toth F, Sebestyén A, Balint L und Mitarb. Positioning of the wrist for scaphoid radiography. *European journal of radiology* 2007; 64: 126–132.
- 52 Cheung GC, Lever CJ, Morris AD. X-ray diagnosis of acute scaphoid fractures. *Journal of Hand Surgery* 2006; 31: 104–109.
- 53 Coblenz G, Christopoulos G, Fröhner S und Mitarb. Skaphoidfraktur und -pseudarthrose, Eine aktuelle Standortbestimmung der radiologischen Diagnostik. *Der Radiologe* 2006; 46: 664–676.
- 54 Munk B, Larsen CF. Bone grafting the scaphoid nonunion: a systematic review of 147 publications including 5,246 cases of scaphoid nonunion. *Acta orthopaedica Scandinavica* 2004; 75: 618–629.
- 55 Bhat M, McCarthy M, Davis T und Mitarb. MRI and plain radiography in the assessment of displaced fractures of the waist of the carpal scaphoid. *Journal of Bone and Joint Surgery* 2004; 86: 705–713.
- 56 Stordahl A. Bone scanning of fractures of the scaphoid. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 1984; 9: 189–190.
- 57 Schadel-Hopfner M, Bickert B, Dumont C und Mitarb. Die frische Skaphoidfraktur, Management unter Berücksichtigung der neuen S3-Leitlinie. *Der Orthopäde* 2016; 45: 945–950.
- 58 Schmitt R, Christopoulos G, Wagner M und Mitarb. Avascular necrosis (AVN) of the proximal fragment in scaphoid nonunion: is intravenous contrast agent necessary in MRI? *European journal of radiology* 2011; 77: 222–227.
- 59 Betz C, Mehling IM, Sauerbier M. Knochennekrosen der Hand. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* 2015; 153: 441–54.
- 60 Robbins RR, Carter PR. Iliac Crest Bone Grafting and Herbert Screw Fixation of Nonunions of the Scaphoid With Avascular Proximal Pole. *Journal of Hand Surgery* 1995; 20A: 818–831.
- 61 Trumble TE. Avascular necrosis after scaphoid fracture: A correlation of magnetic resonance imaging and histology. *Journal of Hand Surgery* 1990; 15-A.
- 62 Malizos KN, Dailiana ZH, Kirou M und Mitarb. Longstanding nonunions of scaphoid fractures with bone loss: successful reconstruction with vascularized bone grafts. *Journal of Hand Surgery* 2001; 26: 330–334.
- 63 Merrell GA, Wolfe SW, Slade JF. Treatment of scaphoid nonunions, Quantitative meta-analysis of the literature. *Journal of Hand Surgery* 2002; 27: 685–691.
- 64 Fernandez D. Anterior bone grafting and conventional lag screw fixation to treat scaphoid nonunions. *Journal of Hand Surgery* 1990; 15 A: 140–147.
- 65 Christodoulou LS, Kitsis CK, Chamberlain ST. Internal fixation of scaphoid non-union: a comparative study of three methods. *Injury; International Journal of the Care of the Injured* 2001: 625–630.
- 66 Sanders WE. Evaluation of the humpback scaphoid by computed tomography in the longitudinal axial plane of the scaphoid. *Journal of Hand Surgery* 1988; 13: 182–187.
- 67 Schuind F, Haentjens P, van Innis F und Mitarb. Prognostic Factors in the Treatment of Carpal Scaphoid Nonunions. *Journal of Hand Surgery* 1999; 24: 761–776.
- 68 Krimmer H, Lanz U. Der posttraumatische karpale Kollaps. *Der Unfallchirurg* 2000; 103: 260–266.
- 69 Watson HK, Ballet FL. The SLAC wrist, Scapholunate advanced collapse pattern of degenerative arthritis. *Journal of Hand Surgery* 1984; 9: 358–365.
- 70 Watson HK, Ryu J. Evolution of Arthritis of the Wrist. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 1986: 57–67.
- 71 Monsivais JJ, Nitz PA, Scully TJ. The Role of Carpal Instability in Scaphoid Nonunion: Casual or Causal? *Journal of Hand Surgery* 1986; 11 B: 201–206.
- 72 Amadio PC, Berquist TH, Smith DK und Mitarb. Scaphoid malunion. *Journal of Hand Surgery* 1989; 14: 679–687.
- 73 Matti H. Über die Behandlung der Navicularefraktur und der Refractura patellae durch Plombierung mit Spongiosa 1937.
- 74 Russe O. Fracture of the Carpal Navicular, Diagnosis, non-operative treatment and operative treatment. *Journal of Bone and Joint Surgery* 1960; 43-A: 759–768.
- 75 Krimmer H. Management of acute fractures and nonunions of the proximal pole of the scaphoid. *Journal of hand surgery* 2002; 27-B: 245–248.

- 76 Shaw JA. A biomechanical comparison of scaphoid screws. *Journal of Hand Surgery* 1987; 12: 347–353.
- 77 Piñal FD. Treatment of nonunion of the scaphoid by a limited combined approach. *Journal of Bone and Joint Surgery* 2001; 83: 78–82.
- 78 Kremling E, van Schoonhoven J, Krimmer H und Mitarb. Dorsale Verschraubung und Spongiosaplastik bei Skaphoidpseudarthrosen im proximalen Drittel. *Operative Orthopädie und Traumatologie* 2001.
- 79 Alluri RK, Yin C, Iorio ML und Mitarb. A Critical Appraisal of Vascularized Bone Grafting for Scaphoid Nonunion. *Journal of wrist surgery* 2017; 6: 251–257.
- 80 Tambe AD, Cutler L, Murali SR und Mitarb. In scaphoid non-union, does the source of graft affect outcome? Iliac crest versus distal end of radius bone graft. *Journal of Hand Surgery* 2006; 31: 47–51.
- 81 Euler S, Erhart S, Deml C und Mitarb. The effect of delayed treatment on clinical and radiological effects of anterior wedge grafting for non-union of scaphoid fractures. *Archives of orthopaedic and trauma surgery* 2014; 134: 1023–1030.
- 82 Cohen MS, Jupiter JB, Fallahi K und Mitarb. Scaphoid waist nonunion with humpback deformity treated without structural bone graft. *Journal of Hand Surgery* 2013; 38: 701–705.
- 83 Zaidenberg C, Siebert JW, Angrigiani C. A new vascularized bone graft for scaphoid nonunion. *Journal of Hand Surgery* 1991; 16: 474–478.
- 84 Bürger H, Gaggl AJ, Kukutschki W und Mitarb. Das freie mikrovaskuläre Knochentransplantat vom medialen Femurkondylus zur Behandlung der Kahnbeinpseudarthrose. *Operative Orthopädie und Traumatologie* 2009; 21: 396–404.
- 85 Wilhelm A. Die Gelenkdenervation und ihre anatomischen Grundlagen: ein neues Behandlungsprinzip in der Handchirurgie; zur Behandlung der Spätstadien der Lunatummalacie und Navicularepseudarthrose. 1966.
- 86 Grechning W, Tesch NP, Mähring M. Die Denervierung des Handgelenkes, Anatomie, operative Technik, Indikation. *European Surgery* 2002; 34.
- 87 Barnard L, Stubbins SG. Styloidectomy of the radius in the surgical treatment of non-union of the carpal navicular: A Preliminary Report. *Journal of Bone and Joint Surgery* 1948: 98–102.
- 88 Cooney WP, Bussey R, Dobyns JH und Mitarb. Difficult Wrist Fractures, Perilunate Fracture-Dislocations of the Wrist. *Clinical Orthopaedics and Related Researchs* 1987: 136–147.
- 89 Palmer AK, Werner FW, Murphy D und Mitarb. Functional wrist motion, A biomechanical study. *Journal of Hand Surgery* 1985; 10: 39–46.
- 90 Brumfield RH, Champoux JA. A Biomechanical Study of Normal Functional Wrist Motion. *Clinical Orthopaedics and Related Researchs* 1984: 23–25.
- 91 Neubrech F, Mühldorfer-Fodor M, Pillukat T und Mitarb. Long-term results after mid-carpal arthrodesis. *Journal of wrist surgery* 2012; 1: 123–128.
- 92 Stamm TT. Excision of the Proximal Row of the Carpus. Proceeding of the Royal Society of Medicine 1944: 74–75.
- 93 Green DP, Perreira AC, Longhofer LK. Proximal Row Carpectomy. *Journal of Hand Surgery* 2015; 40: 1672–1676.
- 94 Spies CK, Hohendorff B, Muller LP und Mitarb. Die Entfernung der proximalen Handwurzelreihe. *Operative Orthopädie und Traumatologie* 2016; 28: 204–217.
- 95 Viegas SF, Patterson RM, Peterson PD und Mitarb. The silicone scaphoid: A biomechanical study. *Journal of Hand Surgery* 1991; 16A: 91–97.
- 96 Kirschenbaum D, Schneider LH, Kirkpatrick WH und Mitarb. Scaphoid excision and capitulunate arthrodesis for radioscapoid arthritis. *Journal of Hand Surgery* 1993; 18: 780–785.
- 97 Green DP, O'Brien ET. Open reduction of carpal dislocations, Indications and operative techniques. *Journal of Hand Surgery* 1978; 3: 250–265.
- 98 Krimmer H, Wiemer P, Kalb KH. Vergleichende Ergebnisbewertung am Handgelenkmediokarpale Teilarthrodese und Totalarthrodese. *Handchirurgie Mikrochirurgie Plastische Chirurgie* 2000; 32: 369–374.
- 99 Philips, B., Ball, C., Badenoch, D., Straus, S., Haynes, B., Dawes, M. Oxford Centre for Evidence-based Medicine Levels of Evidence 2011.

- 100 Chloros GD, Themistocleous GS, Wiesler ER und Mitarb. Pediatric scaphoid nonunion. *Journal of Hand Surgery* 2007; 32: 172–176.
- 101 Ahlborg HG, Johnell O, Turner CH und Mitarb. Bone loss and bone size after menopause. *New England journal of medicine* 2003; 349: 1671; author reply 1671.
- 102 Pechlaner S, Gabl M, Lutz M und Mitarb. Distale Radiusfrakturen--Ätiologie, Behandlungsmethoden und Ergebnisse. *Handchirurgie, Mikrochirurgie, plastische Chirurgie* 2007; 39: 19–28.
- 103 Barton NJ. Experience with scaphoid grafting. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)* 1997; 22B: 152–160.
- 104 Dacho A, Germann G, Sauerbier M. Die Rekonstruktion von Skaphoidpseudarthrosen durch die Operation nach Matti-Russe. Eine retrospektive Analyse von 84 nachuntersuchten Patienten. *Der Unfallchirurg* 2004; 107: 388–396.
- 105 Daly K, Gill P, Magnussen PA und Mitarb. Established nonunion of the scaphoid treated by volar wedge grafting and Herbert screw fixation. *J Bone Joint Surg* 1996; 78 B: 530–534.
- 106 Cerezal L, Abascal F, Canga A und Mitarb. Usefulness of gadolinium-enhanced MR imaging in the evaluation of the vascularity of scaphoid nonunions. *AJR. American journal of roentgenology* 2000; 174: 141–149.
- 107 Kahl T, Razny FK, Benter JP und Mitarb. Diagnostik des Skaphoids, Fraktur, Pseudarthrose, Durchblutung, Perfusion. *Der Orthopäde* 2016; 45: 938–944.
- 108 Perlik PC, Bonner Guilford W. Magnetic resonance imaging to assess vascularity of scaphoid nonunions. *Journal of Hand Surgery* 1991; 16: 479–484.
- 109 Urban MA, Green DP, Aufdemorte TB. The patchy configuration of scaphoid avascular necrosis. *Journal of Hand Surgery* 1993; 18: 669–674.
- 110 Gabl M, Pechlaner S, Zimmermann R. Die Rekonstruktion der Kahnbeinpseudarthrose mit avaskulärem proximalem Fragment mit freiem mikrovaskulär gestielten Beckenkammtransplantat. *Operative Orthopädie und Traumatologie* 2009; 21: 386–395.
- 111 Kremer T, Hirche C, Harhaus-Wähner L und Mitarb. Der vaskularisierte Knochentransfer zur Therapie von Skaphoidpseudarthrosen. *Obere Extremität* 2014; 9: 252–259.
- 112 Brüser R. Behandlungsfehler in der Handchirurgie, Ein Vergleich zwischen handchirurgischen Ausbildungskriterien chirurgischer Fachgebiete und der Zusatz-Weiterbildung anhand der Behandlungsfehlerstatistik der Ärztekammer Nordrhein. *Handchirurgie Mikrochirurgie Plastische Chirurgie* 2011: 9–14.
- 113 Chow J, Hantes ME. Endoscopic Carpal Tunnel Release, Thirteen Years' Experience With the Chow Technique. *Journal of Hand Surgery* 2002; 27A: 1011–1018.
- 114 Kurz, L.T., Garfin, S.R., Booth, R.E. Harvesting Autogenous Iliac Bone Grafts, A Review of Complications and Techniques. *Spine* 1989; 14.
- 115 Dellon AL. Partial dorsal wrist denervation: Resection of the distal posterior interosseous nerve. *Journal of Hand Surgery* 1985: 527–533.
- 116 Warren-Smith CD, Barton NJ. Non-union of the scaphoid Russe graft vs. Herbert screw. *Journal of Hand Surgery* 1988; 13 B.
- 117 Roolker, W., Ritt, M.J.P.F., Bos KE. Spontaneous healing of a non-union of the scaphoid. *Journal of Hand Surgery* 1998; 23B: 86–87.
- 118 Park MJ, Lee AT, Yao J. An unusual case of spontaneous healing of a proximal pole scaphoid non-union. *Hand (New York, N.Y.)* 2011; 6: 313–316.
- 119 Destatis, statistisches Bundesamt, aufgerufen am 15.05.17 <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/BildungForschungKultur/BeruflicheBildung/Tabellen/AzubiRangliste.html>.
- 120 Langer, M.F., Oeckenpöhler, S., Breiter, S. und Mitarb. Anatomie und Biomechanik des Kahnbeins, *Der Orthopäde* 2016; 45: 926-937.
- 121 Schaefer, M., Siebert, H.R. Die Kahnbeinfraktur. *Der Unfallchirurg* 2002; 105: 540-553.

Abbildungsverzeichnis

Die Erlaubnis für die Nutzung der Bildzitate wurde jeweils vom Verlag eingeholt.

- Abbildung 1 *Anatomie Handgelenk*; Schünke M, Schulte E, Schumacher U. Prometheus - LernAtlas der Anatomie, Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem ; 182 Tabellen. 2. Aufl., Stuttgart: Thieme; 2007. S.3.
- Abbildung 2 *Knöcherner Aufbau des Skaphoids*; Langer, M.F., Oeckenpöhler, S., Breiter, S. und Mitarb. Anatomie und Biomechanik des Kahnbeins, *Der Orthopäde* 2016; 45: 926-937. S.4.
- Abbildung 3 *Intrinsische Handgelenksbänder*; Johnston RB, Seiler JG, Miller EJ und Mitarb. The intrinsic and extrinsic ligaments of the wrist, A correlation of collagen typing and histologic appearance. *Journal of Hand Surgery* 1995: 750–754. S.6.
- Abbildung 4 *Palmare V-Bänder*; Redeker J, Vogt PM. Karpale Instabilität. *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin* 2011; 82: 85-93; quiz 94. S.7.
- Abbildung 5 *Dorsale V-Bänder*; Redeker J, Vogt PM. Karpale Instabilität. *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin* 2011; 82: 85-93; quiz 94. S.7.
- Abbildung 6 *Sekundäre Stabilisatoren des Skaphoids*; Redeker J, Vogt PM. Karpale Instabilität. *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin* 2011; 82: 85-93; quiz 94. S.8.
- Abbildung 7 *Schema Gefäßversorgung*; Gelberman RH, Menon J. The vascularity of the scaphoid bone. *Journal of Hand Surgery* 1980; 5: 508–513. S.8.
- Abbildung 8 *Vaskularisation*; Botte MJ, Mortensen WW, Gelberman RH und Mitarb. Internal vascularity of the scaphoid in cadavers after insertion of the Herbert screw. *Journal of Hand Surgery* 1988; 13: 216–220. S.9.
- Abbildung 9 *Herbert-Klassifikation* Schaefer, M., Siebert, H.R. Die Kahnbeinfraktur. *Der Unfallchirurg* 2002; 105: 540-553. S.19.
- Abbildung 10 *Klassifikation Pseudarthrosen* Mehling IM, Sauerbier M. Skaphoidfrakturen und Skaphoidpseudarthrosen. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* 2013; 151: 639–660. S. 19
- Abbildung 11 *SLAC-Wrist mit DISI-Deformität*; Schuind F, Haentjens P, van Innis F und Mitarb. Prognostic Factors in the Treatment of Carpal Scaphoid Nonunions. *Journal of Hand Surgery* 1999; 24: 761–776. S.26.
- Abbildung 12 *SNAC-Wrist mit DISI-Deformität*; Schuind F, Haentjens P, van Innis F und Mitarb. Prognostic Factors in the Treatment of Carpal Scaphoid Nonunions. *Journal of Hand Surgery* 1999; 24: 761–776. S.26.
- Abbildung 13 *Stadieneinteilung nach Arthroeseausmaß bei SNAC-Wrist*; Krimmer H, Lanz U. Der posttraumatische karpale Kollaps. *Der Unfallchirurg* 2000; 103: 260–266. S.27.
- Abbildung 14 *Bestimmung des lateralen intraskaphoidalen Winkels*; Amadio PC, Berquist TH, Smith DK und Mitarb. Scaphoid malunion. *Journal of Hand Surgery* 1989; 14: 679–687. S.28.
- Abbildung 15 *Matti-Russe-Plastik*; Green DP. The effect of avascular necrosis on Russe bone grafting for scaphoid nonunion. *Journal of Hand Surgery* 1985; 10: 597–605. S.29.
- Abbildung 16 *Dorsaler Zugangsweg, modifiziert nach Kremling und Mitarb.*; Kremling E, van Schoonhoven J, Krimmer H und Mitarb. Dorsale Verschraubung und Spongiosaplastik bei Skaphoidpseudarthrosen im proximalen Drittel. *Operative Orthopädie und Traumatologie* 2001. S.31.
- Abbildung 17 *Z.n. Styloidektomie*; eigenes Patientengut. S.34.
- Abbildung 18 *Handgelenk nach MKTA*; eigenes Patientengut. S.35.
- Abbildung 19 *Handgelenk nach PRC*; eigenes Patientengut. S.36.

Diagrammverzeichnis

- Diagramm 1 *Rekrutierung des Patientenguts*; eigenes Patientengut. S.40.
Diagramm 2 *Altersverteilung*; eigenes Patientengut. S.44.
Diagramm 3 *Frakturursachen*; eigenes Patientengut. S.45.
Diagramm 4 *Osteosynthesematerial*; eigenes Patientengut. S.46.
Diagramm 5 *Zugangsweg*; eigenes Patientengut. S.47.
Diagramm 6 *Nachoperationen*; eigenes Patientengut. S.48.
Diagramm 7 *Schmerzen in Ruhe nach NAS*; eigenes Patientengut. S.49.
Diagramm 8 *Schmerzen bei Belastung nach NAS*; eigenes Patientengut. S.50.
Diagramm 9 *Verbale Schmerzskala*; eigenes Patientengut. S.51.
Diagramm 10 *Gebrauchsfähigkeit*; eigenes Patientengut. S.52.
Diagramm 11 *Altersabhängige geschlechtsspezifische Inzidenz in Norwegen*; Hove LM. Epidemiology of scaphoid fractures in Bergen, Norway. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery and Hand Surgery* 2009; 33: 423–426. S. 58
Diagramm 12 *Altersabhängige geschlechtsspezifische Inzidenz*; eigenes Patientengut. S.59.

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1 Auswertung Krimmer-Score; S.54
Tabelle 2 Vergleich Handchirurg vs. in Ausbildung; S.68