

Aus der Klinik für Unfall- und Handchirurgie
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Direktor: Univ.-Prof. Dr. Joachim Windolf

Vergleichende Untersuchung von unidirektionaler gegen multidirektionaler
winkelstabiler Plattenosteosynthese am distalen Radius

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Janosch Nowak
2017

Als Inauguraldissertation gedruckt mit der Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Univ.-Prof. Dr. med. Mohssen Hakimi

Zweitgutachter: Univ.-Prof. Dr. med. Tienush Rassaf

gewidmet meinen Eltern Marlis und Hubert Nowak

Teile dieser Arbeit wurden veröffentlicht:

„Unidirektionale vs. multidirektionale palmare winkelstabile Osteosynthese bei instabilen distalen Radiusfrakturen. Vergleichende Analyse mit der 2,4-mm-LDR- vs. 2,7-mm-Matrix-Smartlock-Platte“

Unfallchirurg (2009) 15: 1-8., Mohssen Hakimi, Pascal Jungbluth, Sebastian Gehrman, Janosch Nowak, Joachim Windolf, Michael Wild

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	5
1.1	EPIDEMIOLOGIE UND PATHOGENESE DER DISTALEN RADIUSFRAKTUR	5
1.2	DIAGNOSTIK	6
1.2.1	FUNKTIONELL KLINISCHE DIAGNOSTIK	6
1.2.2	RADIOLOGISCHE DIAGNOSTIK	6
1.3	EINTEILUNG DER DISTALEN RADIUSFRAKTUR	7
1.3.1	AO-KLASSIFIKATION	7
1.3.2	KLASSIFIKATION NACH MELONE	8
1.3.3	KLASSIFIKATION NACH FRYKMAN	9
1.3.4	KLASSIFIKATION NACH FERNANDEZ	10
1.3.5	MAYO KLASSIFIKATION	12
1.4	THERAPEUTISCHES VORGEHEN	14
1.4.1	GESCHLOSSENE REPOSITION UND GIPSBEHANDLUNG	14
1.4.2	KIRSCHNER-DRAHT-OSTEOSYNTHESE	15
1.4.3	FIXATEUR EXTERNE	16
1.4.4	PLATTENOSTEOSYNTHESE	16
2	ZIELSETZUNG DER ARBEIT	20
3	MATERIAL UND METHODEN	22
3.1	EIN- UND AUSCHLUSSKRITERIEN	25
3.2	KLINISCHE UNTERSUCHUNG	25
3.3	FRAKTURKLASSIFIKATION	26
3.4	RADIOLOGISCHE DIAGNOSTIK	26
3.5	OPERATIVES VORGEHEN	26
3.6	SUBJEKTIVE ANGABEN	28
3.7	STATISTIK	30
4	ERGEBNISSE	31
4.1	ALTERS- UND GESCHLECHTSVERTEILUNG	31
4.2	VORERKRANKUNGEN	32
4.3	UNFALLMECHANISMUS	33
4.4	FRAKTURTYPEN	33
4.5	DURCHLEUCHTUNGSZEIT	35
4.6	OPERATIONSDAUER	35
4.7	VAS-SCHMERZ	36
4.8	FUNKTIONELLE ERGEBNISSE	38
4.9	DASH-SCORE	41
4.10	RADIOLOGISCHE ERGEBNISSE	42
4.11	KOMPLIKATIONEN	45
5	DISKUSSION	46
6	ZUSAMMENFASSUNG	56
7	ANHANG	58
7.1	DOKUMENTATIONSBOGEN	58
7.2	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	66
7.3	LITERATURVERZEICHNIS	67
7.4	DANKSAGUNG	73

1 Einleitung

1.1 Epidemiologie und Pathogenese der distalen Radiusfraktur

Die distale Radiusfraktur stellt die häufigste Fraktur des Menschen dar und repräsentiert 10 - 20% aller Frakturen [1]. Zuerst beschrieben wurde die Fraktur durch Colles 1814, Barton 1838 und Smith 1947 [1-3]. Am häufigsten sind Frauen zwischen dem 60. und 80. Lebensjahr und Männer zwischen dem 30. und 50. Lebensjahr betroffen. Frauen sind vier mal häufiger betroffen als Männer [4]. Ein wesentlicher Risikofaktor für das Auftreten dieser Fraktur ist bei Frauen über dem 50. Lebensjahr die Osteoporose. Durch die Zunahme des durchschnittlichen Lebensalters der Bevölkerung müssen die Therapiemaßnahmen dem Alter entsprechend angepasst werden. Mallmin et al. zeigten in einer Studie, dass die Häufigkeit der Radiusfrakturen auch von der Jahreszeit abhängen kann [5].

Der typische Pathomechanismus der zur Entstehung einer distalen Radiusfraktur führt, ist der Sturz auf die ausgestreckte im Handgelenk überstreckte (dorsalextendierte) Hand (Extensionsfraktur oder Typ Colles Fraktur (Abb. 1) [6]). Ist das Handgelenk nicht gestreckt sondern gebeugt kommt es zur sogenannten Flexions- oder Smith-Fraktur [1].

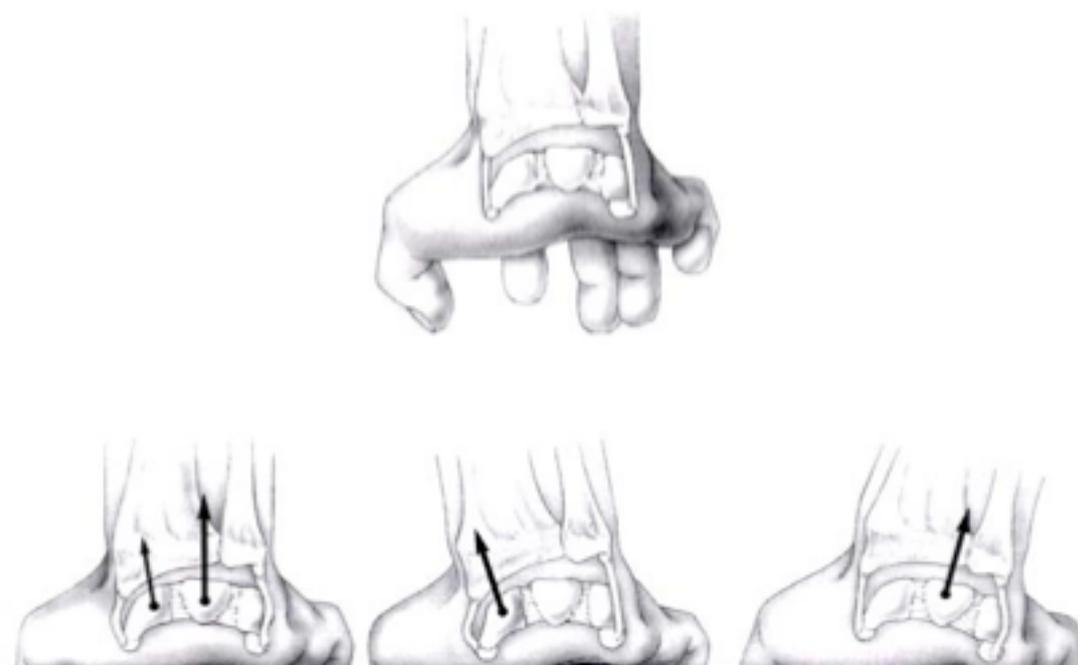


Abb. 1: Pathomechanismus der Extensionsfraktur (Colles Fraktur) [7]

Klinisch finden sich die Leitsymptome Schmerzen, Schwellung, Verformung des Handgelenks und in einigen Fällen Sensibilitätsstörungen der Hand bei Nervenkompression. Längeninkongruenzen zwischen Radius und Ulna, intraartikuläre Stufenbildung sowie Gelenkfehlstellungen können zu Funktionsstörungen und arthrotischen Veränderungen im Handgelenksbereich führen. Zur Vorbeugung einer Funktionsbeeinträchtigung bzw. Entwicklung einer Arthrose im Handgelenk als Folge dieser Verletzungen werden eine anatomische Frakturposition sowie eine Retention dieser Position im Sinne einer übungstabilen Osteosynthese empfohlen.

Zur Entscheidungsfindung für die Notwendigkeit einer operativen Therapie dienen die Frakturklassifikationen, die eine Differenzierung zwischen den stabilen und instabilen Frakturen ermöglichen [3].

1.2 Diagnostik

1.2.1 Funktionell klinische Diagnostik

In der Klinik führen Schmerzen, Schwellung, Frakturhämatom, abnorme Beweglichkeit, Krepitation sowie Functio laesa am distalen Radius zur Verdachtsdiagnose. Distale Radiusfrakturen bedingen zudem meist eine Verkürzung des Radius. Bei Dislokation des distalen Frakturfragmentes nach dorsoradial kommt es zur typischen Gabel- oder Bajonettstellung. Bei Frakturen ohne Dislokation wird die Diagnose erschwert und es kommen zahlreiche Differentialdiagnosen in Betracht, insbesondere muss an eine Kahnbeinfraktur durch zusätzliche Hyperextension des Handgelenkes gedacht werden.

1.2.2 Radiologische Diagnostik

Die bildgebende Diagnostik erfolgt durch die Anfertigung von Standardröntgenaufnahmen in zwei Ebenen (anteroposterior sowie eine seitliche Aufnahme). Sofern für die präoperative Planung einer intraartikulären Fraktur die genaue Frakturmorphologie erforderlich ist, wird eine computertomographische Untersuchung (CT-Untersuchung) des Handgelenkes benötigt. Auch zum Ausschluss von Begleitverletzungen im Handgelenk, die sich im Rahmen einer distalen Radiusfraktur ereignen können (wie z. B. Scaphoidfraktur, Verletzung des

triangulären fibrocartilaginären Complexes = TFCC) kann der Einsatz von einer CT-Untersuchung oder einer Magnetresonanztomographie (MRT) des Handgelenkes erforderlich werden [8].

1.3 Einteilung der distalen Radiusfraktur

1.3.1 AO-Klassifikation

Im klinischen Alltag wie auch in verschiedenen Studien hat sich die Klassifikation nach Müller et al. entsprechend der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen als geeignet erwiesen [9]. Durch Organisation der Brüche in aufsteigender Reihenfolge werden die morphologische Komplexität, der Schwierigkeitsgrad der Therapie und die Prognose widerspiegelt. Ziel ist eine weltweit eindeutige Zuordnung von Frakturen, was eine standardisierte Behandlung ermöglicht. Das Prinzip der AO-Klassifikation ist es, die Frakturen mit Hilfe eines Codes, welcher über die Lokalisation der Fraktur Auskunft gibt, zu beschreiben:

Körperregion, in der sich die Fraktur befindet:

- 1: Humerus
- 2: Radius und Ulna
- 3: Femur und Patella
- 4: Tibia und Fibula
- 5: Wirbelsäule
- 6: Pelvis
- 7: Hand
- 8: Fuß
- 9: Schädel und Unterkiefer

Frakturort innerhalb der Region:

- 1: proximal
- 2: diaphysär

- 3: distal

Bewertung der Fraktur:

- A: einfache oder extraartikuläre Fraktur
- B: Keilfraktur oder partielle Gelenkfraktur
- C: komplexe Fraktur oder vollständige Gelenkfraktur

(mit weiterer Differenzierung von 1-3 bei aufsteigender Komplexität der Fraktur)

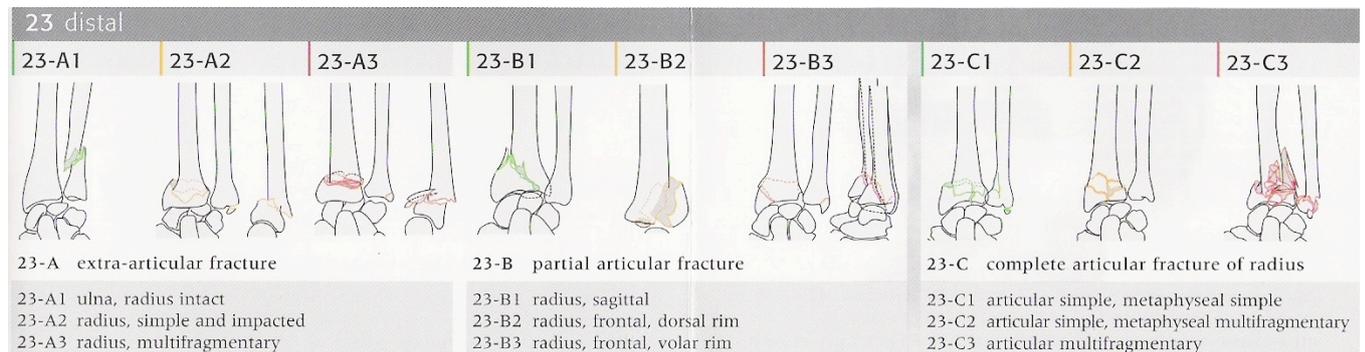


Abb. 2: Lokalisation der Fraktur [10]

Somit ist die 23-A2 Fraktur eine einfache Fraktur ohne Trümmerzone und ohne Gelenkbeteiligung mit der besten Heilungsprognose und 23-C3 die komplizierteste Fraktur mit Trümmerzonen im metaphysären Bereich sowie im artikulären Bereich mit der schlechtesten Prognose (Abb. 2). Frakturen vom Typ 23-A2 und 23-A3 sind komplett extraartikulär, vom Typ 23-B1, 23-B2 und 23-B3 teilgelenkbeteiligend und solche vom Typ 23-C1, 23-C2 und 23-C3 mit intraartikulärer Beteiligung.

1.3.2 Klassifikation nach Melone

1984 erfolgte die Einteilung intraartikulärer Frakturen durch Melone, welche auf der Lokalisation der Frakturfragmente basiert (Abb. 3 und Tabelle 1). Der distale Radius wird hierbei in vier Fragmente aufgeteilt: proximaler Radius, Processus styloideus radii, dorsomediales und ventromediales Fragment [11, 12].

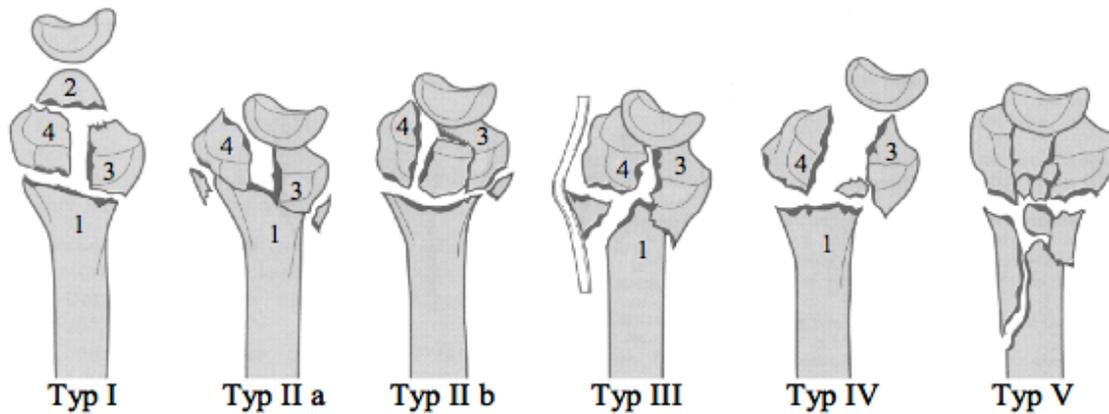


Abb. 3: Klassifikation nach Melone [13]: proximaler Radius (1), Processus styloideus radii (2), dorsomediales Fragment (3), ventromediales Fragment (4)

Frakturtyp nach Melone	Beschreibung
Typ I	stabile Fraktur
Typ II a	instabile retinierbare Fraktur
Typ II b	instabile nicht retinierbare Fraktur
Typ III	instabile Spike-Fraktur
Typ IV	instabile Mehrfragmentfraktur
Typ V	Trümmerfraktur

Tabelle 1: Frakturtyp nach Melone

1.3.3 Klassifikation nach Frykman

Die Einteilung der Frakturen nach Frykman orientiert sich an Standard-Röntgenaufnahmen und unterscheidet insgesamt acht verschiedene Frakturtypen, welche in vier Gruppen eingeteilt werden. Unterschieden wird zwischen Frakturen mit und ohne Läsion des Processus styloideus ulnae, sowie einer intra- oder extraartikulären Fraktur (Abb. 4). Eine Dislokation wird jedoch nicht berücksichtigt. Die Schwere der Fraktur und eine Verschlechterung der Prognose steigen mit der Typenzahl.



Abb. 4: Klassifikation nach Frykman: Extraartikuläre Frakturen (I und II). Frakturen mit Beteiligung des Radiokarpalgelenks (III und IV), Frakturen mit Beteiligung des distalen Radioulnargelenks (V und VI), Frakturen mit Verletzung sowohl des Radiokarpal- als auch des distalen Radioulnargelenks (VII und VIII). Bei ungeraden Ziffern liegt keine, bei geraden Ziffern dagegen eine Mitfrakturierung der Ulna vor [8].

1.3.4 Klassifikation nach Fernandez

Die Klassifikation nach Fernandez stellt den Zusammenhang zwischen Pathophysiologie und Morphologie der Verletzung dar. Ebenfalls wird eine ossäre Verletzung des distalen Radioulnargelenkes berücksichtigt. Die Einteilung unterscheidet zwischen der häufigsten Form der Verletzung (Typ I), welche durch indirekte Biegekräfte zustande kommt, von den durch axial einwirkende Kräfte entstehenden Frakturen und den seltenen Avulsionsverletzungen, bei denen es zum ossären Ausriss der radiokarpalen und ulnokarpalen Bandstrukturen im Sinne einer Handgelenksluxation kommt. Die Kombination der verschiedenen erwähnten Frakturformen wird als Typ V bezeichnet (Abb. 5).

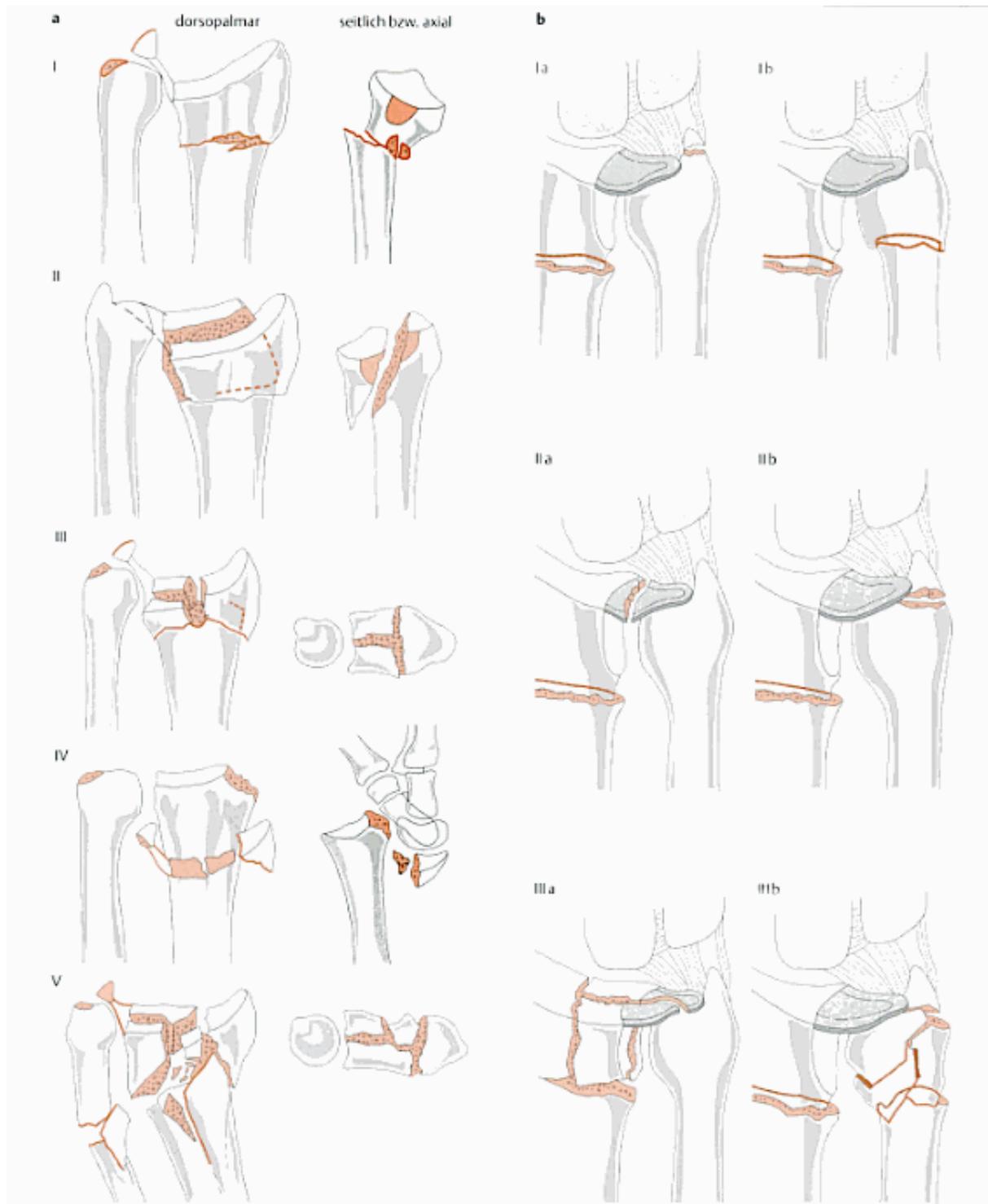


Abb. 5: Klassifikation nach Fernandez:

a: I = Metaphysärer Biegebruch; dorsale oder palmare Dislokation. II = Abscherfraktur der dorsalen oder palmaren Radiuslippe. III = Kompressionsfraktur der radiokarpalen Gelenkfläche. IV = Avulsionsfraktur inklusive radiokarpaler Luxationsfraktur. V = Kombination der Frakturtypen I - IV.

b: Klassifikation der Mitverletzung des distalen Radioulnargelenks: I = stabil, Gelenkflächen intakt (a: Spitzenabriss des Processus styloideus ulnae; b: stabile subkapitale Ulnafraktur). II = instabil, Gelenkflächen intakt (a: radialer oder ulnarer Abriss des TFCC; b: basisnaher Abriss des Processus styloideus ulnae samt TFCC). III = fraglich stabil, Gelenkflächen zerstört (a: Fraktur der Incisura ulnaris radii; b: Fraktur des Ulnakopfes mit Zerstörung der Gelenkfläche zum Radius) [8].

1.3.5 Mayo Klassifikation

Basierend auf der Klassifikation nach Frykman, entstand die Mayo Klassifikation, welche ebenfalls intraartikuläre Frakturen beschreibt. Die Art der Gelenkflächenbeteiligung wird in Bezug auf das Os lunatum beschrieben. Eine Beteiligung des Processus styloideus ulnae wird nicht berücksichtigt. Mit „die-punch-injury“ wird das ulnarseitige intraartikuläre Fragment am Radius beschrieben (Abb. 6).

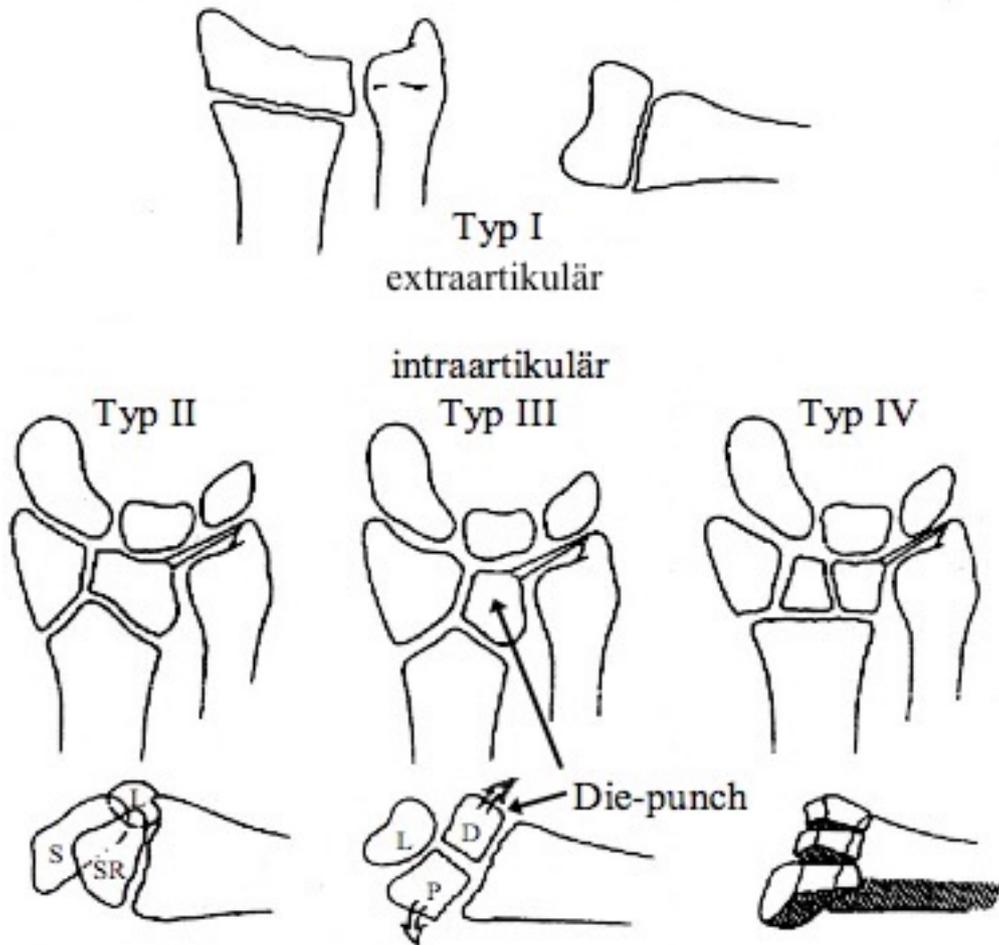


Abb. 6: Mayo Klassifikation: Typ 1: unverschobene extraartikuläre Fraktur; Typ 2: nur die scaphoidale Gelenkfläche ist betroffen; Typ 3: nur das Radioulnargelenk ist betroffen; Typ 4: betroffen ist das radioscapulolunäre- und das Radioulnargelenk [15]

All diesen Klassifikationen ist gemeinsam, dass sie eine Unterscheidung zwischen stabilen und instabilen Frakturen anstreben. Dabei wird eine Fraktur als stabil erachtet, wenn sie dauerhaft in einer akzeptablen physiologisch anatomischen Stellung durch eine äußere Ruhigstellung bis zur knöchernen Konsolidierung gehalten werden kann [16]. Sie ist demnach gekennzeichnet durch folgende Eigenschaften:

1. nicht disloziert
2. ohne Ulnabeteiligung
3. Verlust der Radiuslänge um weniger als 2mm
4. dorsale Abkipfung unter 20°
5. extraartikulärer Bruch mit einfachem metaphysärem Bruchspalt

Dieser Frakturtyp wird z. B. in der AO-Klassifikation als AO-23-A2 Fraktur beschrieben.

Eine instabile Fraktur zeichnet sich dadurch aus, dass sie nicht durch alleinige äußere Ruhigstellung in einer anatomisch physiologischen Stellung bis zur Heilung retinierbar ist. Neben einer anatomischen Reposition ist eine zusätzliche stabilisierende Maßnahme zur Retention der Fraktur erforderlich.

Instabilitätszeichen sind laut Jupiter et al. [16]:

1. radioulnare Instabilität
2. dorsale Trümmerzone
3. Mehrfragmentfraktur
4. dorsale Abkipfung um mehr als 20°
5. Verlust der Radiuslänge um mehr als 2mm

1.4 Therapeutisches Vorgehen

Es gibt verschiedene Möglichkeiten eine distale Radiusfraktur zu behandeln. Die jeweilige Therapie richtet sich nach der Frakturklassifikation in Kombination mit eventuellen Weichteilverletzungen und Dislokationen sowie den Ansprüchen und Bedürfnissen der Patienten. Dabei sollten begleitende Verletzungen, zum Beispiel des Bandapparates mitbehandelt werden. Grundsätzlich kann zwischen konservativen und operativen Therapieverfahren unterschieden werden. Stabile und gering dislozierte Frakturen können konservativ behandelt werden. Es sollten keine Gelenkstufen über 2mm, Trümmerzone im metaphysären Bereich oder der Verdacht auf Begleitverletzungen vorliegen. Operative Verfahren werden gewählt, falls mit konservativen Methoden eine anatomiegerechte Fragmentstellung und Stabilisierung nicht gewährleistet ist. Dies ist der Fall bei Gelenkstufen über 2 mm, Trümmerzone im metaphysären Bereich sowie gegebenenfalls bei Vorhandensein von Begleitverletzungen wie z. B. Begleitfrakturen der Ulna, Läsion des distalen Radioulnargelenkes (DRUG), des scapholunären Bandes (SL-Bandes) oder relevante Fragmentdislokationen. Die Therapie sollte möglichst frühzeitig erfolgen. Falls eine ausgeprägte Weichteilschwellung vorliegt, sollte die Operation in einem Zeitintervall erfolgen, in dem die Weichteile durch die Ruhigstellung abgeschwollen sind, jedoch die Fraktur in der Fehlstellung nicht bereits beginnend konsolidiert.

1.4.1 Geschlossene Reposition und Gipsbehandlung

Um Frakturen mit leichter Dislokation durch Zug und Gegenzug des distalen Gelenkfragmentes zu reponieren, kann eine Plexusanästhesie oder Bruchspaltanästhesie vorgenommen werden. Die Extension erfolgt über Fingerextensionshülsen am liegenden Patienten. Ein ungefähr fünf Kilogramm schweres Gewicht wird am Oberarm befestigt und die Gipsschiene kann am hängenden Unterarm angepasst werden (Abb. 7).

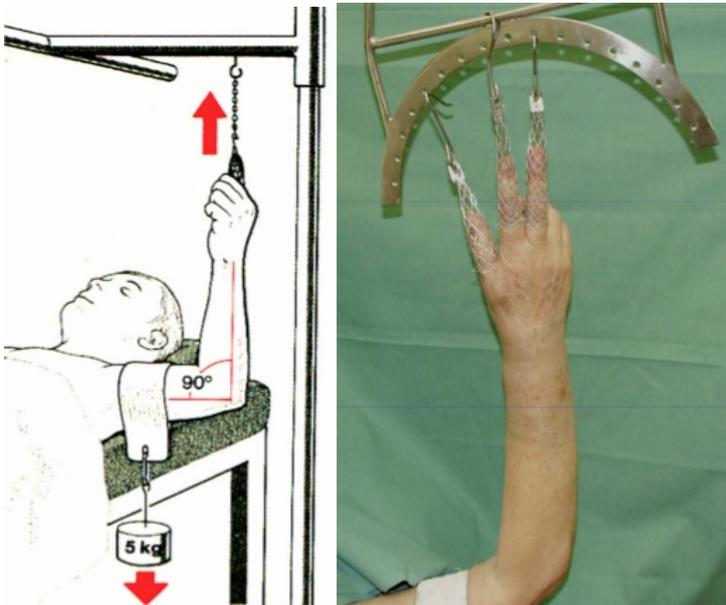


Abb. 7: Reposition der Fraktur [6]

Die Gipsschiene muss das Handgelenk ausreichend abstützen [6]. Dieses Verfahren kann bei stabilen Frakturen indiziert sein. Auch zur primären Behandlung bei instabilen Frakturen wird diese Methode häufig eingesetzt, wodurch es zur Abschwellung der Weichteile kommen kann. Anschließend kann dann eine definitive Versorgung der Fraktur durchgeführt werden.

1.4.2 Kirschner-Draht-Osteosynthese

Insbesondere bei extraartikulären Frakturen wird die Kirschner-Draht-Osteosynthese eingesetzt. Meist werden die Drähte über den Processus styloideus radii eingebracht (Methode nach Willenegger) [17].

Bei der Kapandji-Methode wird zur Wiederherstellung der Palmarkippung von dorsal ein Draht in den Frakturspalt vorgeschoben, reponiert und dann in der palmaren Kortikalis fixiert [17-19].

Diese Verfahren finden in Kombination mit der Gipsruhigstellung des Handgelenkes Anwendung. Nachteile dieser Methode sind die lange Ruhigstellungszeit, Therapieversagen bei instabilen Frakturen im Sinne einer Fraktursinterung sowie eine Dislokation der Fragmente. Weiterhin werden Begleitkomplikationen im Rahmen der Entfernung der Kirschnerdrähte beschrieben [17].

1.4.3 Fixateur externe

Die Versorgung mit dem Fixateur externe findet vor allem bei Trümmerfrakturen mit Gelenkbeteiligung (C3 Frakturen) sowie bei ausgeprägtem Weichteilschaden Verwendung. Dabei wird über die Ligamentotaxis eine Reposition der Fraktur erzielt. Zudem kann durch die Ruhigstellung eine Erholung der Weichteile erreicht werden. Nach Reposition der Fraktur können stabilitätsergänzend Kirschner-Drähte eingesetzt werden, um die Reposition unterstützend zu erhalten [20].

Die Fixateur-Pins werden meist durch eine dorsoradiale Inzision im Radius und im Bereich des zweiten Mittelhandknochens verankert. Postoperativ bleibt der Fixateur für ca. sechs Wochen bestehen, wobei nach vier Wochen der Fixateur dynamisiert wird, um die Streckbelastung der Weichteile zu reduzieren und ein CRPS (Complex Regional Pain Syndrome) zu vermeiden.

Dieses Verfahren hat den Nachteil, dass die Pin-Pflege aufwendig ist und eine ausreichende Compliance seitens der Patienten voraussetzt. Entsprechend wird die Pin-Infektrate als eine wesentliche Komplikation dieses Verfahren beschrieben [17]. Zudem ist der Halt der Fixateur-Pins im osteoporotischem Knochen häufig nicht ausreichend [17].

1.4.4 Plattenosteosynthese

Bei instabilen Frakturen dient die Plattenosteosynthese als das Verfahren der Wahl, mit dem eine möglichst stabile Versorgung der Fraktur angestrebt wird. Dadurch soll eine frühfunktionelle Therapie sowie eine möglichst rasche gipsfreie Nachbehandlung ermöglicht werden [21], [22].

Anfänglich wurde die Plattenosteosynthese im Sinne einer Frakturabstützung eingesetzt [23]. So wurden Extensionsfrakturen von dorsal adressiert und die Flexionsbrüche von palmar.

Beim dorsalen Zugang erfolgt der Hautschnitt in Pronationsstellung in Höhe des Handgelenkes. Das Retinaculum extensorum wird zwischen dem dritten und vierten Strecksehnenfach gespalten. Nach entsprechender Sehnenverlagerung nach radial und ulnar kann der distale Radius dargestellt werden. Der dorsale Zugangsweg bietet eine sehr gute Übersicht über die Gelenkfläche, gleichzeitig können Begleitverletzungen sicher ausgeschlossen oder angegangen werden. Nach erfolgter

Frakturreposition oder gegebenenfalls Gelenkrekonstruktion kann die vorgeformte dorsale Platte eingesetzt werden. Mitentscheidend für das funktionelle Outcome des verletzten Handgelenkes ist, dass der Strecksehnenboden sowie das Strecksehnendach nach der Frakturstabilisierung der Art wiederhergestellt werden, dass die Strecksehnen nach der Frakturversorgung unirritiert weiter gleiten können [24]. Im Rahmen der Frakturversorgung von dorsal kommt es jedoch häufig bedingt durch die geringe Weichteildeckung im direkten Bereich der Strecksehnen zu Irritationen dieser Strukturen [24-26]. Durch die Weiterentwicklung der Plattensysteme mit immer flacheren Plattenprofilen und besserer anatomiegerechter Form sowie weniger aufragenden Schrauben wurde versucht, die Irritationen der benachbarten Strukturen zu reduzieren. Trotz der Entwicklung dieser neuen Implantate kommt es bei dorsalem Zugang immer noch zu Rupturen der Strecksehnen und Tendinitis aufgrund der Weichteilsituation am dorsalen Handgelenk [27, 28].

Die Sehne des M. flexor carpi radialis gilt als die Leitstruktur für den palmaren Zugang. Dabei erfolgt ein Längsschnitt über diese Sehne auf Höhe des Handgelenkes, wobei radial der Sehne unter Beachtung der Arteria radialis die Faszie gespalten und der M. pronator quadratus dargestellt wird. Dieser wird am radialen Ansatz längs gespalten und nach ulnar präpariert, so dass der distale Radius sowie die Frakturzone zum Vorschein kommen. Über den palmaren Zugang können Flexionsbrüche beziehungsweise palmare Anteile einer Fraktur reponiert werden [29-33]. Anschließend können mittels konventioneller Platten Flexionsbrüche im Sinne einer Abstützosteosynthese retiniert werden [24, 26]. Durch die Anatomie am distalen Radius palmar ist eine ausreichende Weichteildeckung des eingebrachten Implantates gesichert, denn die Platte kann gut in der Fossa des Muskulus pronator quadratus positioniert und fixiert und anschließend mit Muskulatur gedeckt werden, so dass eine Beugesehnenirritation vermieden wird [34, 35].

Während die konventionelle palmare Plattenosteosynthese weiterhin als Therapie der Wahl bei Flexionsfrakturen angesehen werden kann, wird die Indikation für dorsale Plattenosteosynthese bei Extensionsfrakturen wegen der Kompromittierung der Weichteile, insbesondere der Strecksehnen kontrovers diskutiert.

Bei dorsalen Trümmerzonen sowie Extensionsfrakturen kommt die konventionelle palmare Plattenosteosynthese an ihre Grenzen, da die Standardschrauben in der distalen Trümmerzone keinen Halt finden und die Implantate bei Extensionsfrakturen

keine Abstützfunktion erfüllen können. Erst durch die Einführung der winkelstabilen palmaren Plattensysteme können auch Extensionsfrakturen von palmar versorgt werden. Denn die hohe Stabilität, die durch die Vereinigung der Schraubenköpfe mit der Platte erreicht wird in Kombination mit der subchondralen Positionierung der gelenknahen Schrauben am distalen Radius ermöglichen eine ausreichende Frakturstabilisierung auch bei Extensionsfrakturen von palmar. Sakhaii, Orbay und Fernandez beschreiben eine stabile Fixierung mittels winkelstabiler Implantate bei palmarem Zugangsweg auch bei osteoporotischem Knochen [21, 36, 37]. Arora et al. [38] konnten im Rahmen ihrer Untersuchungen zeigen, dass bei Versorgung mit winkelstabilem 2,4mm Plattensystem instabile nach dorsal dislozierte distale Radiusfrakturen vom Typ AO 23-A3, -C1 und -C2 auch ohne Spongiosaplastik mit guten radiologischen und funktionellen Ergebnissen behandelt werden können [38]. Bei höhergradigen instabilen Gelenkfrakturen vom AO Typ C3 kommen jedoch auch diese Implantatsysteme an ihre Grenzen. Bei diesen Frakturen kann die Versorgung mit dem Fixateur externe primär oder definitiv erfolgen. Im Rahmen der Primärversorgung kann über die Ligamentotaxis die Länge des Radius wiederhergestellt werden. Sofern die darauffolgende Computertomographie des Handgelenkes einen Befund ergibt, der rekonstruierbar ist, kann dieser je nach Morphologie von dorsal oder palmar sekundär angegangen werden. Wenn aber eine sekundäre Rekonstruktion nicht mehr als sinnvoll erscheint oder die Fraktur mit dem Fixateur externe ausreichend reponiert und stabilisiert ist, kann diese auch mit dem Fixateur externe ausbehandelt werden.

Die Indikation für eine Versorgung mit einer Plattenosteosynthese wird bei allen instabilen AO 23-A3, -B2, -B3 und vollständig artikulären Frakturen vom Typ C gesehen. Entsprechend gute Behandlungsergebnisse bei der Versorgung mit winkelstabiler Plattenosteosynthese von palmar sind durch zahlreiche Studien dokumentiert [20, 22, 35, 36, 38-40]. Mit diesem Verfahren lassen sich diese Frakturen anatomisch reponieren und stabil retinieren. Da die erste Generation dieser winkelstabilen Implantate nur eine monoaxiale Schraubenpositionierung im distalen gelenknahen Anteil erlaubten, stellt sich die Frage, inwieweit durch eine polyaxiale Möglichkeit der Schraubenpositionierung gelenknah eine Optimierung der Frakturversorgung erzielt werden kann. Bei diesen neuen Implantaten, welche eine multidirektionale Einbringung der Schrauben erlauben, wird eine Schraubenpositionierungsvarianz von bis zu 10° in jede Richtung ermöglicht. Unter Durchleuchtung wird die exakte subchondrale und extraartikuläre Lage überprüft.

Eine dorsale subchondrale Abstützung wird durch Neigung der Schraube nach distal in der zweiten Reihe der im Implantat vorgesehen Bohrungen erreicht.

Diese Fragestellung war Gegenstand der Untersuchungen im Rahmen meiner Dissertationsarbeit. Aufgrund der großen Anzahl an verschiedenen Frakturmustern bei distalen Radiusfrakturen ist es schwierig, verschiedene Therapiemethoden effektiv miteinander zu vergleichen. Daher entschieden wir uns in der vorliegenden Studie ausschließlich für die Untersuchung von Patienten mit Frakturen der AO-Klassifikation Typ 23-C1 und -C2.

2 Zielsetzung der Arbeit

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Evaluation und der Vergleich der mittelfristigen (ein Jahr nach der Operation) funktionellen und radiologischen Behandlungsergebnisse nach palmarer winkelstabiler Plattenosteosynthese der instabilen distalen Radiusextensionsfrakturen vom AO Typ 23-C1 und -C2 durch zwei konkurrierende moderne Plattensysteme:

1. winkelstabile Platte mit vorgegebenen Schraubenwinkel (monoaxial) (2,4mm LCP Synthes GmbH)
2. winkelstabile Platte mit polyaxialen (+/- 10°) Schraubenwinkel (2,7mm Matrix Modul Stryker GmbH & Co. KG)

Durch die Entwicklung der winkelstabilen Implantate hat sich das Therapiekonzept der distalen Radiusfraktur verändert [2, 36, 41, 42]. Wegen der häufigen postoperativen Komplikationen wie Strecksehnenrupturen durch die Platte bzw. durch die Schrauben bei Einsatz dorsaler Platten ist diese Methode bis auf bei wenigen Indikationen (z.B. isolierte dorsale Trümmerzonen mit Gelenkbeteiligung bei intakter palmarer Gelenkfläche) in Frage gestellt und kontrovers diskutiert [43, 44]. Mit der Weiterentwicklung der palmaren Plattensysteme werden diese zunehmend auch für die oben genannten Frakturen eingesetzt [36, 41, 42]. Die Einzelfragmente sollen dank der Polyaxialität der neuen, multidirektionalen, winkelstabilen Plattensysteme besser adressiert werden. Eine genauere subchondrale Platzierung der Schrauben in der distalen Schraubenreihe im gelenknahen Bereich wird hierdurch ebenfalls ermöglicht. In dieser prospektiven Kohortenstudie wurden die monoaxialen mit den polyaxial verschraubbaren winkelstabilen Systemen verglichen und die klinischen sowie radiologischen Parameter evaluiert. Hierzu wurden zwei in unserer Klinik etablierte Plattensysteme verwendet. Um die Vergleichbarkeit der beiden Systeme zu optimieren wurden lediglich instabile distale Radiusfrakturen mit einfacher Gelenkbeteiligung in die Studie eingeschlossen (AO 23-C1, -C2). Für diese Frakturtypen besteht eine sichere Indikation zur Therapie mit einem palmaren winkelstabilen Implantat [45, 46]. Die zentralen Fragen, die in dieser Studie beantwortet werden sollen sind:

Gibt es einen signifikanten Unterschied in den Gruppen ein Jahr nach der Operation:

- in der intraoperativen Durchleuchtungszeit?
- in der Operationsdauer?
- in dem vom Patienten empfundenen Schmerz?
- in den funktionellen Behandlungsergebnissen?
- in den Ergebnissen des DASH-Score?
- in den radiologischen Ergebnissen?

3 Material und Methoden

Die gesamte Studie, die im Folgenden aufgeführt wird, wurde durch eine Arbeitsgruppe bestehend aus Herrn PD Dr. med. Mohssen Hakimi, Herrn PD Dr. Pascal Jungbluth und mir in der Klinik für Unfall- und Handchirurgie der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf durchgeführt. Die operativen Eingriffe erfolgten durch die Oberärzte der Klinik für Unfall- und Handchirurgie der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf. Die weiterführenden klinischen Untersuchungen der Patienten, welche anhand der standardisierten Untersuchungsbögen in der Ambulanz der Klinik erfolgten, sowie die anschließenden Auswertungen der erhobenen klinischen und radiologischen Daten waren meine Arbeitsschwerpunkte unter der Aufsicht und Betreuung durch Herrn PD Dr. med. Mohssen Hakimi und Herrn PD Dr. med. Pascal Jungbluth.

60 Patienten wurden nach einer instabilen distalen Radiusextensionsfraktur in einer prospektiven Kohortenstudie im Zeitintervall Februar 2006 bis Dezember 2009 eingeschlossen, die mittels winkelstabilen palmaren Plattenosteosynthesen an der Klinik für Unfall- und Handchirurgie am Universitätsklinikum der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf operativ versorgt wurden.

Alle Patienten wurden nach einem Jahr postoperativ klinisch und radiologisch nachuntersucht um die mittelfristigen Behandlungsergebnisse zwischen den beiden Systemen vergleichen zu können. Intraoperativ wurden die Patienten durchleuchtet, um die korrekte Platzierung der Schrauben und eine anatomische Reposition zu gewährleisten. Die intraoperative Röntgenzeit wurde dokumentiert um einen Vergleich zu ermöglichen.

Als Implantate wurden einerseits unidirektionale palmare winkelstabile Platten (2,4mm-LCP, Fa. Synthes®) und andererseits multidirektionale palmare winkelstabile Platten (2,7mm Matrix-Smartlock, Fa. Stryker®) verwendet.

Als unidirektionales System verwendeten wir 2,4mm LCP Platten von der Firma Synthes® (Abb. 8). Bei diesem System sind die distalen Plattenlöcher so konzipiert, dass mittels Einsatz einer Bohrhülse die Schrauben in einem 5° nach proximal abgeneigtem Winkel unidirektional subchondral positioniert werden. Aus diesem Grund muss die Platte weit distal an der palmaren Lippe vom Radius positioniert werden. Um eine Beeinträchtigung der Beugesehnen in diesem Bereich zu vermeiden, verjüngt sich die distale Lippe der Platte und trägt wenig auf. Das LCP

Kombiloch in dem Implantat ermöglicht eine Distalisierung oder Proximalisierung der Platte, nachdem diese bereits auf dem Radius positioniert ist. In diesem Loch können Standardschrauben oder Verriegelungsschrauben eingesetzt werden.

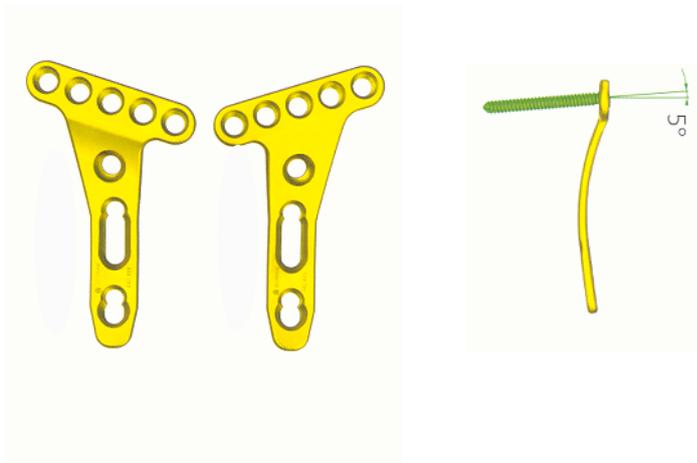


Abb. 8: 2,4mm LCP Platte [47]

Als multidirektionales System wurden 2,7mm Matrix-Smartlock Platten der Firma Stryker® verwendet (Abb. 9). Die Platten sind anatomisch vorgeformt und haben abgerundete Kanten um Sehnenrupturen zu vermeiden. Die Platten verfügen über Kirschner-Draht-Fixationslöcher zwecks passagerer Fragmentstabilisierung oder Plattenfixation. Eine winkelstabile Einbringung der Schrauben ist in allen Plattenlöchern möglich. Die Plattenimplantate ermöglichen eine multidirektionale Winkelstabilität mit einer Winkelfreiheit von +/- 10°.



Abb. 9: 2,7mm Matrix Modul Platte [48]

Die folgenden anteroposterioren Röntgenaufnahmen eines Patienten nach Sturz auf das linke Handgelenk und anschließender palmarer Plattenosteosynthese zeigen in Abb. 10 eine Fraktur vom AO Typ 23-C2.

In Abb. 11 ist der Zustand nach der Versorgung mit einer 2,7mm Matrix Modul Osteosynthese zu sehen:



Abb. 10: C2 Fraktur nach Unfall



Abb. 11: Versorgung mit 2,7mm Matrix Modul

Insgesamt wurden 60 Patienten in die Studie eingeschlossen. Hierbei konnte eine ausgeglichene Gruppenstruktur mit jeweils 30 Patienten pro Gruppe erreicht werden.

Operiert wurde durch mehrere Operateure, wobei diese in zwei Gruppen unterteilt wurden. Die Einteilung der Operateure in der jeweiligen Gruppe erfolgte in Abhängigkeit davon, mit welchem Plattensystem der Operateur ausreichende

Erfahrung verfügte, beziehungsweise welches Plattensystem er favorisierte. Dadurch sollten die beiden Gruppen vergleichbar und das Outcome möglichst von den subjektiven Einflüssen unabhängig bleiben.

3.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Es wurden ausschließlich Patienten mit einer isolierten instabilen distalen Radiusextensionsfraktur vom AO Typ 23-C1 und -C2 in die Studie eingeschlossen. Weitere Kriterien für den Einschluss in die Studie waren Monotrauma und vollendetes 18. Lebensjahr.

Nicht in die Studie aufgenommen wurden Patienten mit erheblichen Funktionseinschränkungen (wie z. B. rheumatische Arthritis, einer Arthrose oder Polyarthritits), Patienten mit Polytrauma oder kombinierten Frakturen des distalen Radius mit Frakturen der Handwurzelreihe sowie unzuverlässige Patienten (Drogenabhängigkeit, Alkoholismus, psychische Erkrankungen).

Ein positives Ethikvotum der Ethikkommission der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf für die Studie lag vor (Studiennummer 2745). Nach Aufklärung durch den Arzt, sowie nach Unterzeichnung des Einverständnisformulars wurden die Patienten in die klinisch- kontrollierte prospektive Studie aufgenommen.

3.2 Klinische Untersuchung

Die klinische Nachuntersuchung erfolgte nach einem Jahr anhand eines standardisierten Untersuchungsbogens (Anhang Punkt 7.1). Insgesamt konnten alle 60 Patienten nachuntersucht werden.

In der Klinik führten Schmerzen, Schwellung, Frakturhämatom, abnorme Beweglichkeit, Krepitation sowie Functio laesa am distalen Radius zur Verdachtsdiagnose. Bei der klinischen Nachuntersuchung der Patienten wurde nach 12 Monaten der Bewegungsumfang des betroffenen Handgelenks mit Hilfe der international festgelegten Neutral - Null - Methode gemessen. Die dabei mit einem Goniometer gemessenen Winkel beziehen sich, mit Ausnahme der Supination/Pronation, auf die anatomische Normalstellung.

Die Dokumentation der Bewegungsumfänge bezieht sich auf die drei Achsen des Raumes:

Um eine Transversalachse wurde die Palmarflexion und Dorsalextension gemessen. Um eine Vertikalachse die Radialabduktion und Ulnarabduktion. Sowie die Unterarmdrehung Supination und Pronation um eine Sagittalachse.

3.3 Frakturklassifikation

Die Frakturunterteilung erfolgte nach der AO-Klassifikation. C1 und C2 Frakturen kennzeichnen beide eine einfache Gelenkbeteiligung wobei C1 zusätzlich einen einfachen metaphysären Bruch beschreibt und C2 einen multifragmentären metaphysären Bruch.

3.4 Radiologische Diagnostik

Unmittelbar nach dem Trauma und der Vorstellung in der Klinik erfolgte die radiologische Untersuchung des Handgelenkes mittels Standardröntgenaufnahmen in zwei Ebenen (Handgelenk a.p. und Handgelenk seitlich). Mit diesen Aufnahmen konnte eine Beurteilung und Frakturklassifikation zur Festlegung der weiteren Therapie erfolgen. Eine Reevaluation der Klassifikation erfolgte intraoperativ durch den Operateur mittels Durchleuchtung und Beurteilung des OP-Situs. Des Weiteren konnte das Ausmaß der dorsalen bzw. palmaren Fragmentabkippung beurteilt werden, sowie eine Beteiligung der Gelenkfläche evaluiert werden. Zur längerfristigen Evaluation der Behandlungsergebnisse mit den beiden Plattensystemen wurden diese Röntgenaufnahmen nach einem Jahr mit der Frage nach der Notwendigkeit einer Implantatentfernung wiederholt.

3.5 Operatives Vorgehen

Die Operation wurde entweder in Regionalanästhesie (Plexusanästhesie) oder in Allgemeinanästhesie vorgenommen. Alle Patienten bekamen eine parenterale single-shot Antibiose (Cefazolin i.v. 2 g/ HEXAL®). Wir verwendeten ein Cephalosporin der zweiten Generation. Bei einer bestehenden Allergie des Patienten gegen Cephalosporine verwendeten wir ein wirkungsgleiches anderes Präparat.

Der operative Eingriff erfolgte in pneumatischer Blutsperre. Der palmare Zugang erfolgte über eine längslaufende Hautinzision auf Höhe des M. flexor carpi radialis (Abb. 12):



Abb. 12: Längslaufende Hautinzision

Nach Präparation radial der Sehne durch die Fascia antebrachii in Höhe der Sehnenscheide wurde durch Abschieben aller Fingerbeugesehnen nach ulnar der N. medianus sicher geschont. Der M. pronator quadratus wurde freigelegt und am radialen Ansatz längs durchtrennt und von radial nach ulnar verlagert. Nun hatte man freie Sicht auf die Beugeseite des distalen Radius und die Fraktur konnte dargestellt werden.

Es folgte die anatomische Frakturposition. Durch die Platzierung der Platte proximal der dorsalen Lippe des distalen Radius wurde eine Beeinträchtigung der Beugesehnen durch ein überstehendes Implantat sowie eine Schraubenfixierung in die Gelenkfläche vermieden (siehe Abb. 13). Eine Überprüfung der anatomischen Reposition und der Plattenlage erfolgte durch anteroposteriore und laterale intraoperative Aufnahmen durch den Bildverstärker. Das erste Schraubenloch wurde mit Hilfe der Bohrbuchse in das Gleitloch gebohrt. Die Anzahl der Schrauben und deren Besetzung in den Plattenlöchern waren indikationsspezifisch.



Abb. 13: Das eingebrachte Implantat

Nach Einlage einer mini-Redon-Drainage erfolgte der schichtweise Wundverschluss. Postoperativ erfolgte zunächst eine Ruhigstellung durch Anpassung einer dorsalen Gipsschiene und die möglichst frühzeitige physiotherapeutische Weiterbehandlung.

Die Dauer der Operation vom Zeitpunkt des Hautschnittes bis zum Zeitpunkt der Hautnaht wurde bei allen Patienten genauso dokumentiert wie die intraoperative Durchleuchtungsdauer.

3.6 Subjektive Angaben

Da sich die Intensität der vom Patienten empfundenen Schmerzen nicht objektiv beurteilen lässt, wurde die Schmerzstärke mittels einer visuellen Analogskala (VAS) gemessen. Dazu wurde dem Patienten ein Lineal vorgelegt, auf dem er seine aktuelle Schmerzempfindung zwischen den Werten „kein Schmerz“ und „stärkster Schmerz“ einschätzen sollte. Auf der Rückseite des Lineals konnte die vom Patienten geschätzte Schmerzstärke auf einer Zahlenskala von 0 (schmerzfrei) bis 10 (stärkste vorstellbare Schmerzen) abgelesen werden:



Abb. 14: Visuelle Analogskala [49]

Diese Angaben wurden ein Jahr postoperativ erhoben. Mit Hilfe des „Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand (DASH)“-Fragebogens konnten Rückschlüsse auf die Beschwerden und die Fähigkeit des Patienten, bestimmte Tätigkeiten auszuführen, gezogen werden. Entwickelt wurde der DASH-Score von dem „Institute for Work & Health“ und der „American Academy of Orthopaedic Surgeons (AAOS)“. Das Projekt wurde unter anderem unterstützt durch die „American Association for Hand Surgery“ und die „American Society of Plastic and Reconstructive Surgeons“ [50]. Der DASH beinhaltet 30 Fragen, welche es ermöglichen die Funktionseinschränkungen, sowie Beschwerden der oberen Extremitäten zu evaluieren oder über eine gewisse Zeit hinweg zu beobachten und miteinander zu vergleichen. Somit konnten Rückschlüsse darauf gezogen werden, inwieweit es den Patienten möglich war sich wieder in ihr altes soziales und berufliches Umfeld einzugliedern [51]. Die Antwortpunkte der Fragen 1 - 30 wurden summiert und bildeten den Rohwert. Der maximale Rohwert betrug 150 Punkte und das mögliche Minimum lag bei 30 Punkten. Die Rohwerte wurden in eine Skala von 0 - 100 Punkte konvertiert, wobei ein Wert von 0 keine Einschränkung (sehr gute Funktion) bedeutet und ein Wert von 100 für eine hohe Einschränkung steht [52]. Diese Angaben wurden ein Jahr postoperativ erhoben.

3.7 Statistik

Die Berechnung von Mittelwert, Standardabweichung, sowie minimale und maximale Werte erfolgte mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel Version 2007 von Microsoft. Für den Vergleich der Parameter zwischen den Gruppen fand der ungepaarte T-Test Anwendung. Hierfür wurde das Statistikprogramm SPSS für Windows 12.0, Chicago, Illinois verwendet. Eine Signifikanz zwischen den Parametern wurde für Werte mit $p < 0,05$ deklariert.

4 Ergebnisse

4.1 Alters- und Geschlechtsverteilung

Von den initial 60 in die Studie aufgenommenen Patienten konnten alle Patienten nachuntersucht werden. Die Nachuntersuchung aller Patienten (n = 60) erfolgte durchschnittlich 12,6 (12 - 15) Monate postoperativ. In jede Gruppe wurden 30 Patienten eingeschlossen. In beiden Gruppen überwog insgesamt das weibliche Geschlecht mit 78% (Abb. 15). In der unidirektionalen Gruppe wurden 24 Frauen und 6 Männer und in der multidirektionalen Gruppe 23 Frauen und 7 Männer in die Studie eingeschlossen. Zum Unfallzeitpunkt waren 65% der Patienten über 60 Jahre alt. Das mittlere Alter der Patienten betrug in der unidirektionalen Gruppe 62,4 (24 - 93) Jahre, in der multidirektionalen Gruppe 60,2 (25 - 85) Jahre (Abb. 16).

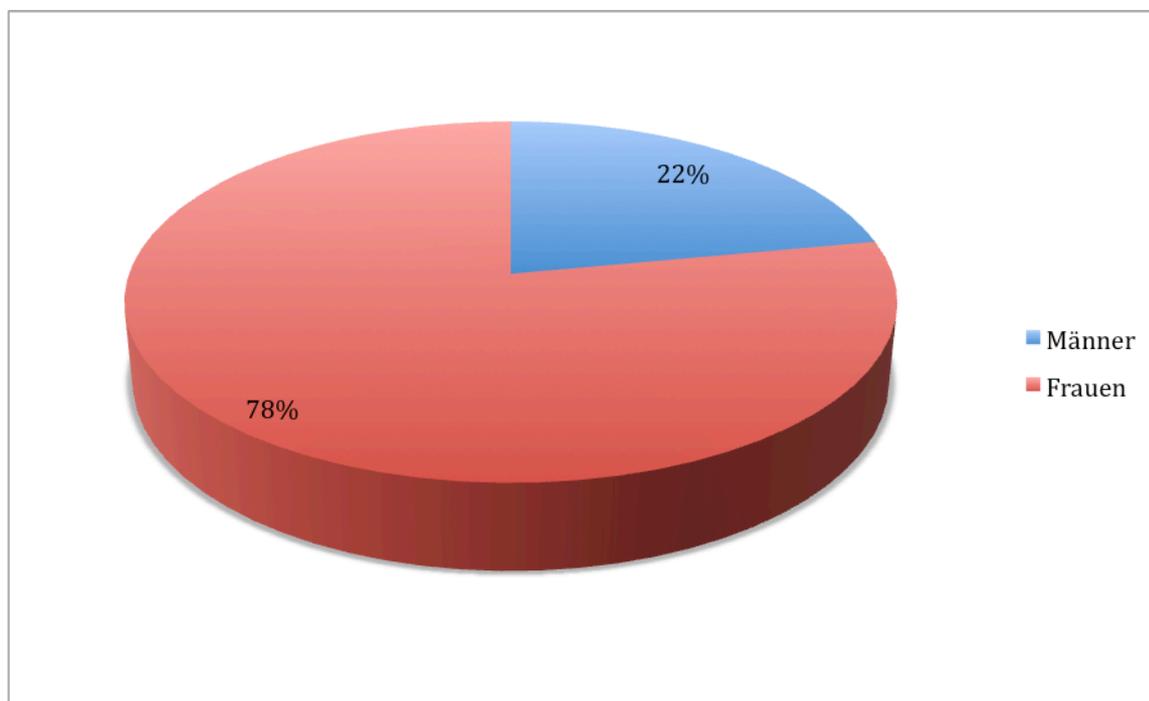


Abb. 15: Geschlechtsverteilung

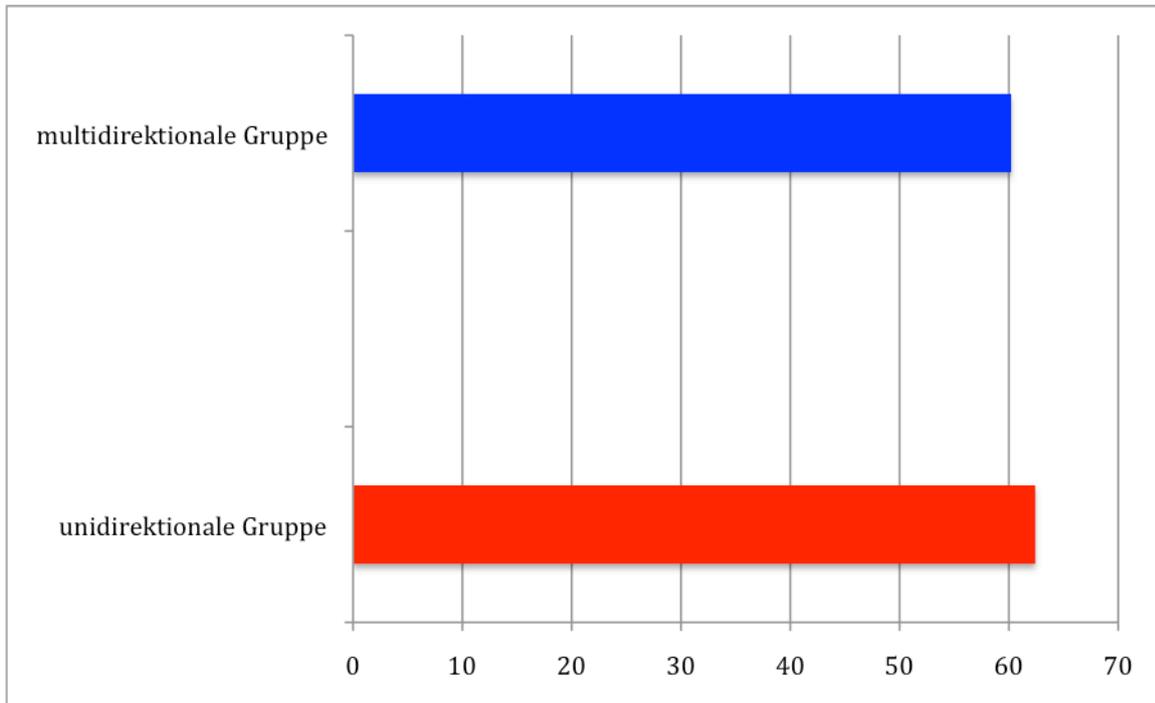


Abb. 16: Das mittlere Alter der Patienten in den Gruppen

4.2 Vorerkrankungen

Die häufigste der erfassten Vorerkrankungen war die arterielle Hypertonie. In der Gruppe der mit dem multidirektionalen System versorgten Patienten litten 15 der insgesamt 30 Patienten an arteriellem Hypertonus. In der unidirektionalen Gruppe waren es 8 von 30 Patienten (Abb. 17).

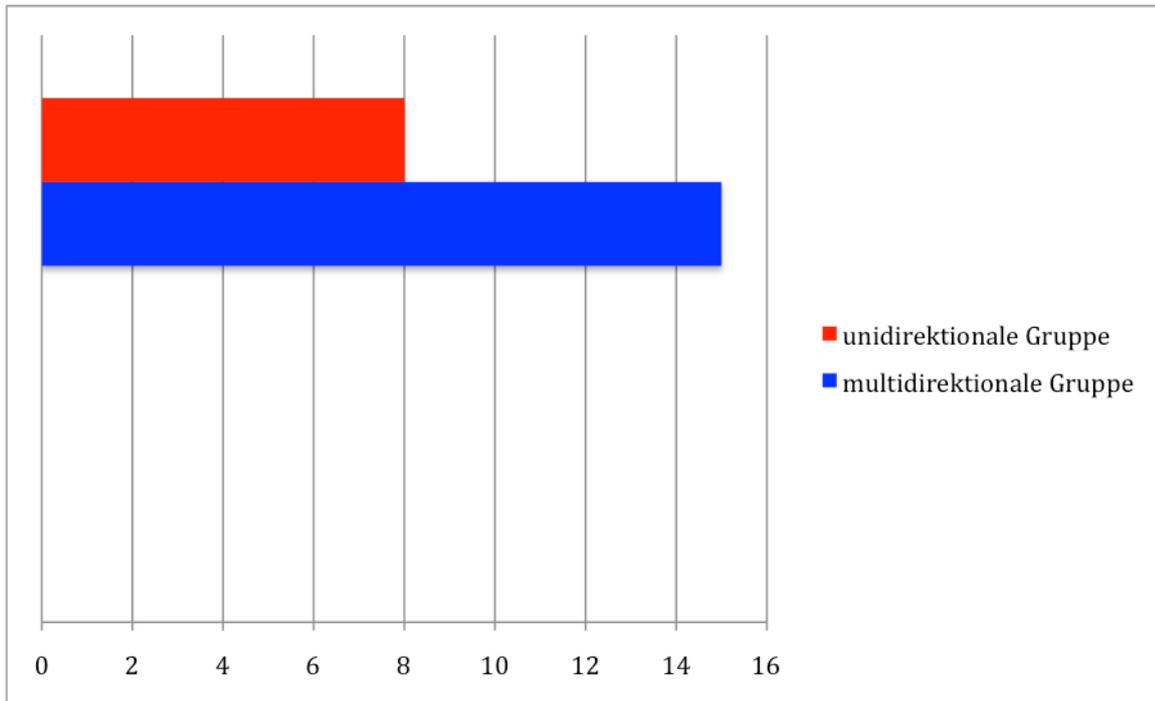


Abb. 17: Vorerkrankungen

4.3 Unfallmechanismus

Als Unfallursache gaben alle in die Studie aufgenommenen Patienten den banalen Sturz aus dem Stehen (mit 71% die häufigste Unfallursache) oder größerer Höhe (Fahrrad, Treppe, Gerüst) an. Der Sturz erfolgte auf das dorsalextensierte Handgelenk.

4.4 Frakturtypen

Insgesamt war das rechte Handgelenk 33 mal betroffen, das linke Handgelenk 27 mal. Entsprechend der AO-Klassifikation wurden in der unidirektionalen Gruppe 7 C1 und 23 C2 Frakturen diagnostiziert. In der multidirektionalen Gruppe klassifizierten wir 8 C1 und 22 C2 Frakturen (Abb. 18 a-b).

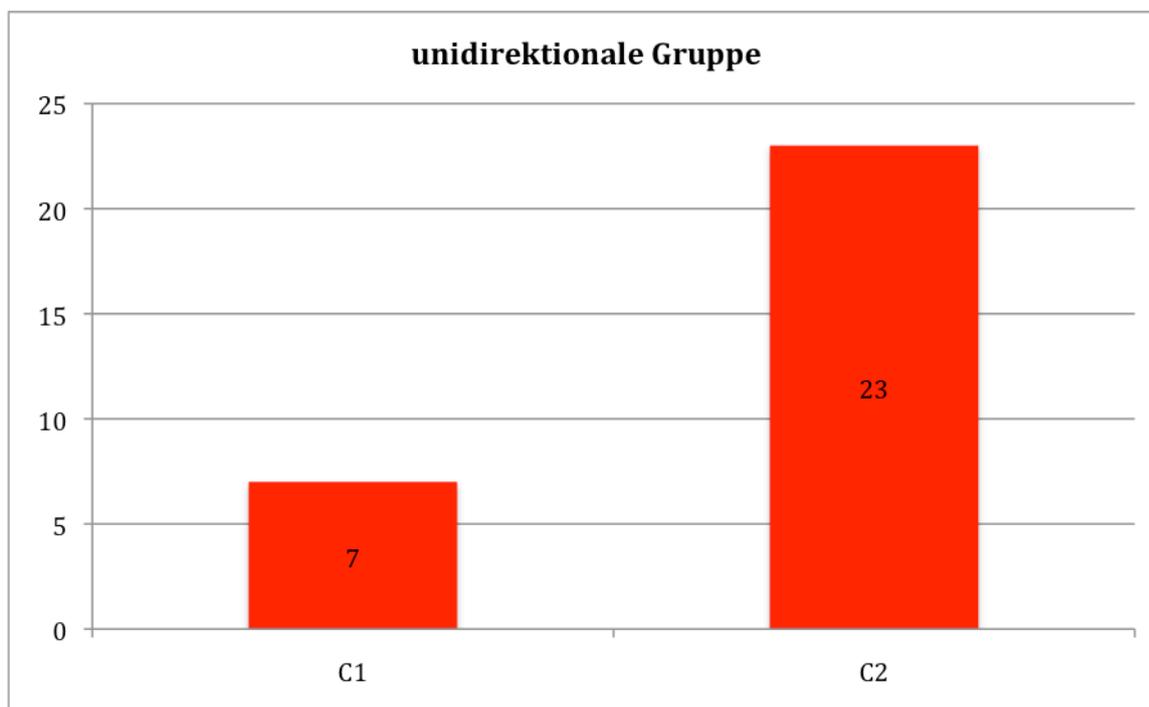


Abb. 18 a: Frakturtypen in der unidirektionale Gruppe

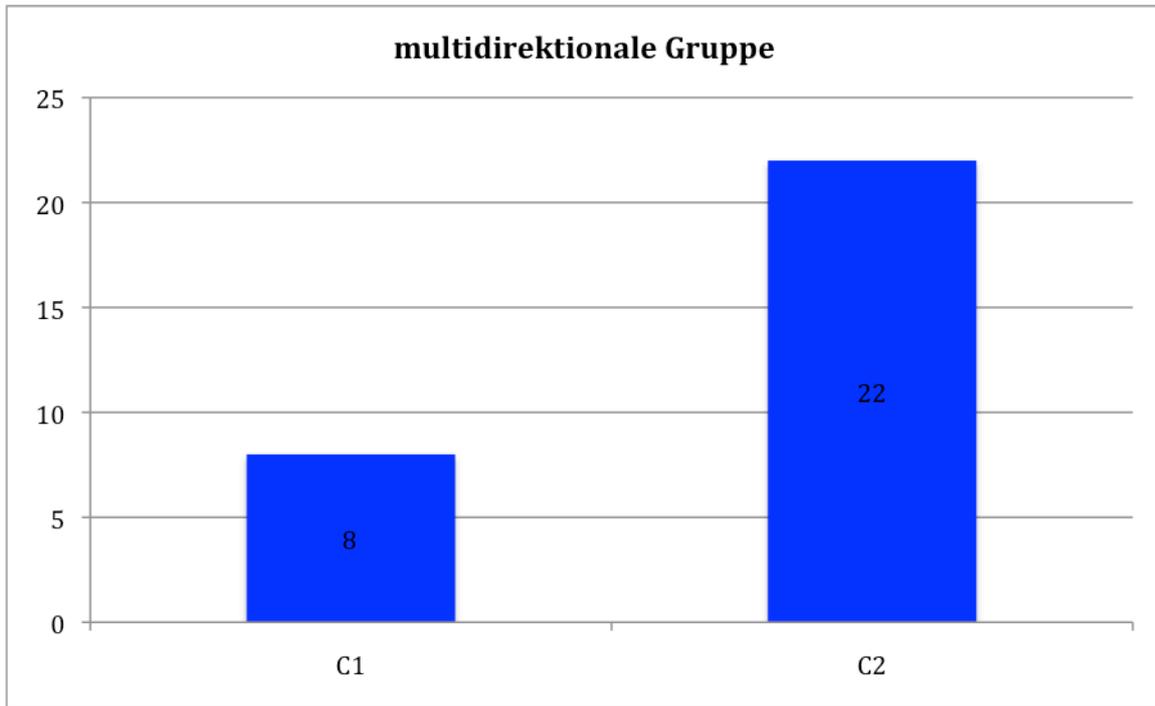


Abb. 18 b: Frakturtypen in der multidirektionalen Gruppe

4.5 Durchleuchtungszeit

Die intraoperative Durchleuchtungszeit betrug in der unidirektionalen Gruppe $0,84 \pm 0,55$ (0,13-2,30) min und war somit im Vergleich zur multidirektionalen Gruppe mit $1,78 \pm 0,47$ (1,17-2,49) min signifikant kürzer ($p=0,001$), wie in Abb. 19 dargestellt.

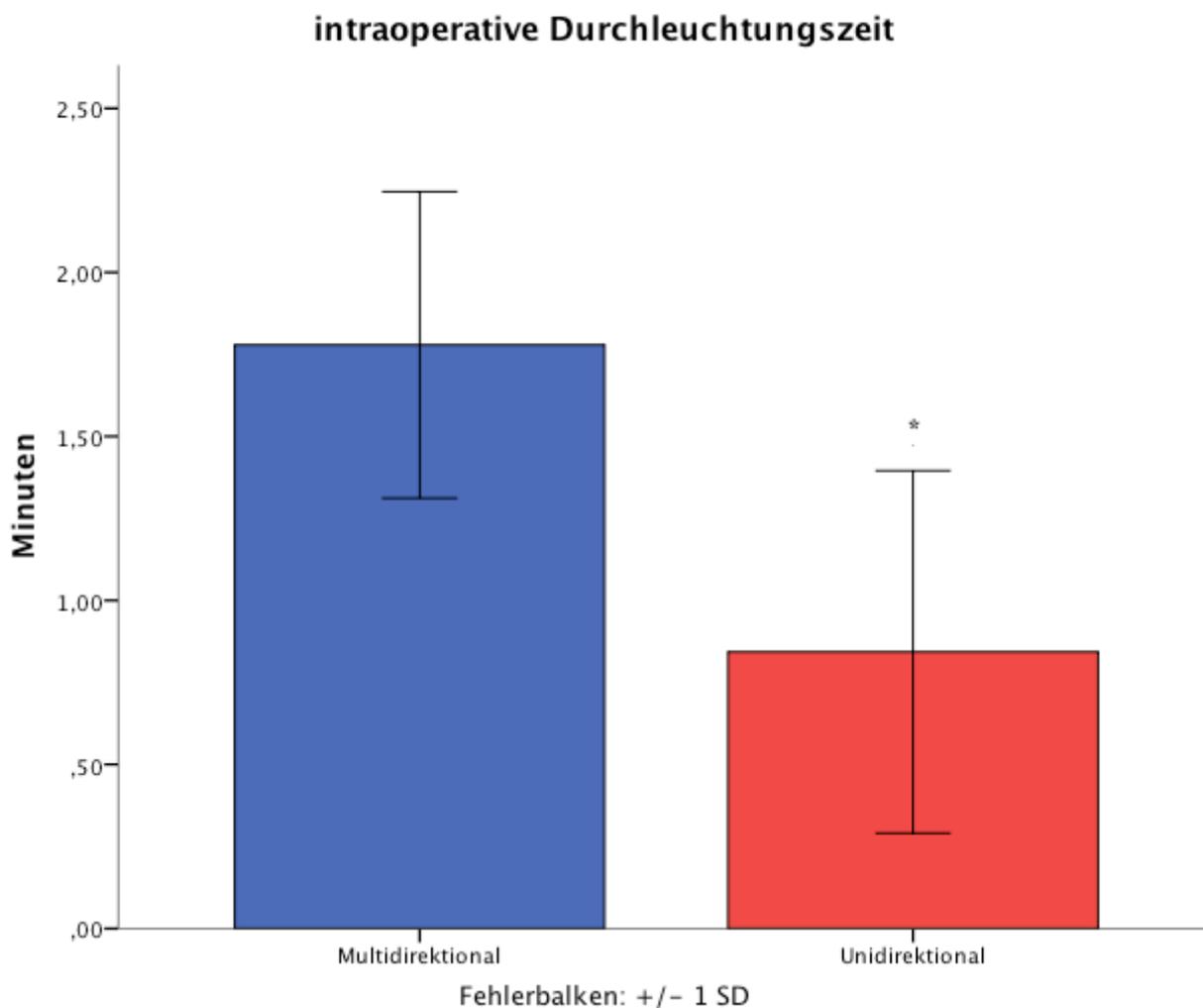


Abb. 19: intraoperative Durchleuchtungszeit

4.6 Operationsdauer

Die Operationsdauer betrug in der unidirektionalen Gruppe $79,8 \pm 17,4$ (55-135) min und war somit kürzer als in der multidirektionalen Gruppe mit $81,7 \pm 19,0$ (51-138) min, jedoch nicht signifikant ($p=0,685$) (dargestellt in Abb. 20).

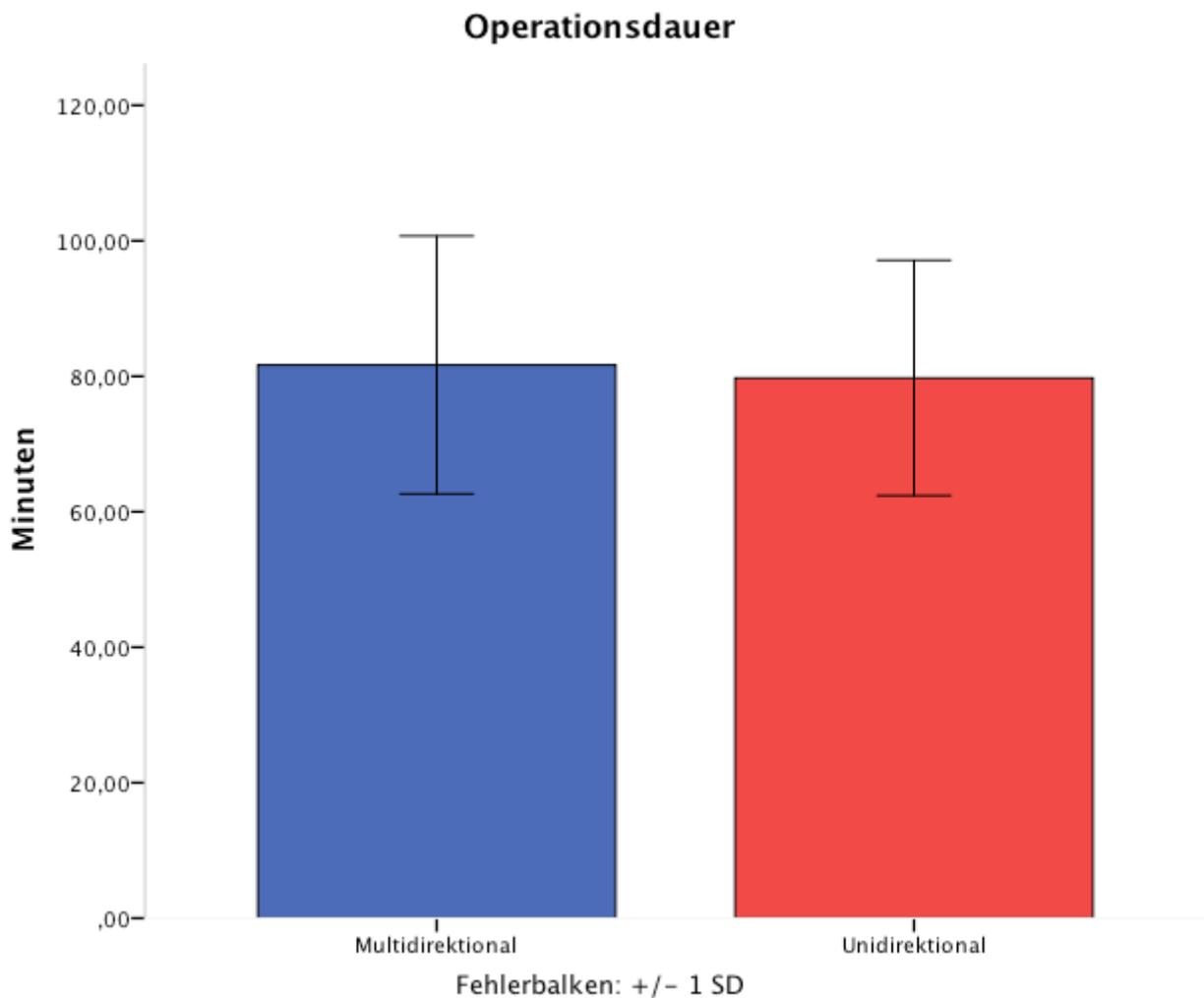


Abb. 20: mittlere Operationsdauer

4.7 VAS-Schmerz

Das subjektive Schmerzempfinden wurde mittels der visuellen Analogskala bestimmt. Die erfassten Daten über Schmerz und subjektiver Zufriedenheit ergaben keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen ein Jahr postoperativ.

Ein Jahr postoperativ waren 25 Patienten in der unidirektionalen Gruppe und 24 Patienten in der multidirektionalen Gruppe schmerzfrei. Lediglich ein Patient in der multidirektionalen Gruppe klagte über starke Schmerzen. Ein Jahr postoperativ waren 23 Patienten in der unidirektionalen Gruppe und 24 Patienten in der multidirektionalen Gruppe sehr zufrieden mit dem Behandlungsergebnis. Nur je ein Patient in beiden Gruppen war mit dem Gesamtbehandlungsergebnis nicht zufrieden (siehe dazu Abb. 21 und 22).

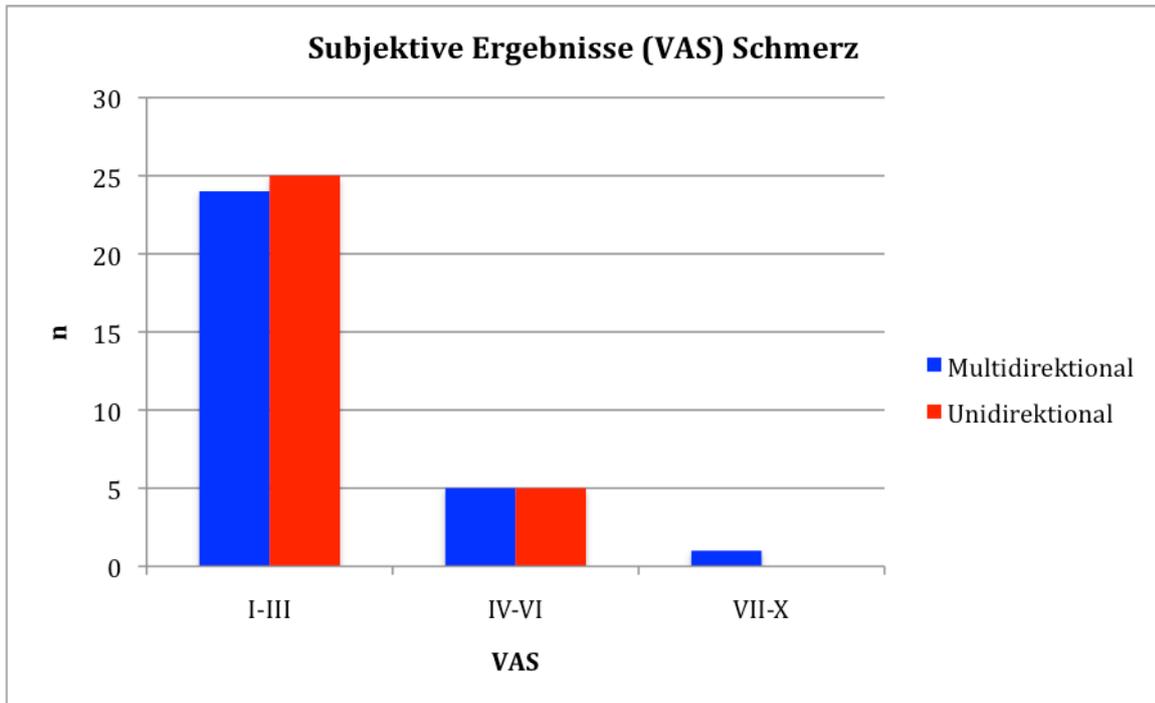


Abb. 21: Subjektive Ergebnisse (VAS) Schmerz. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied 1 Jahr postoperativ.

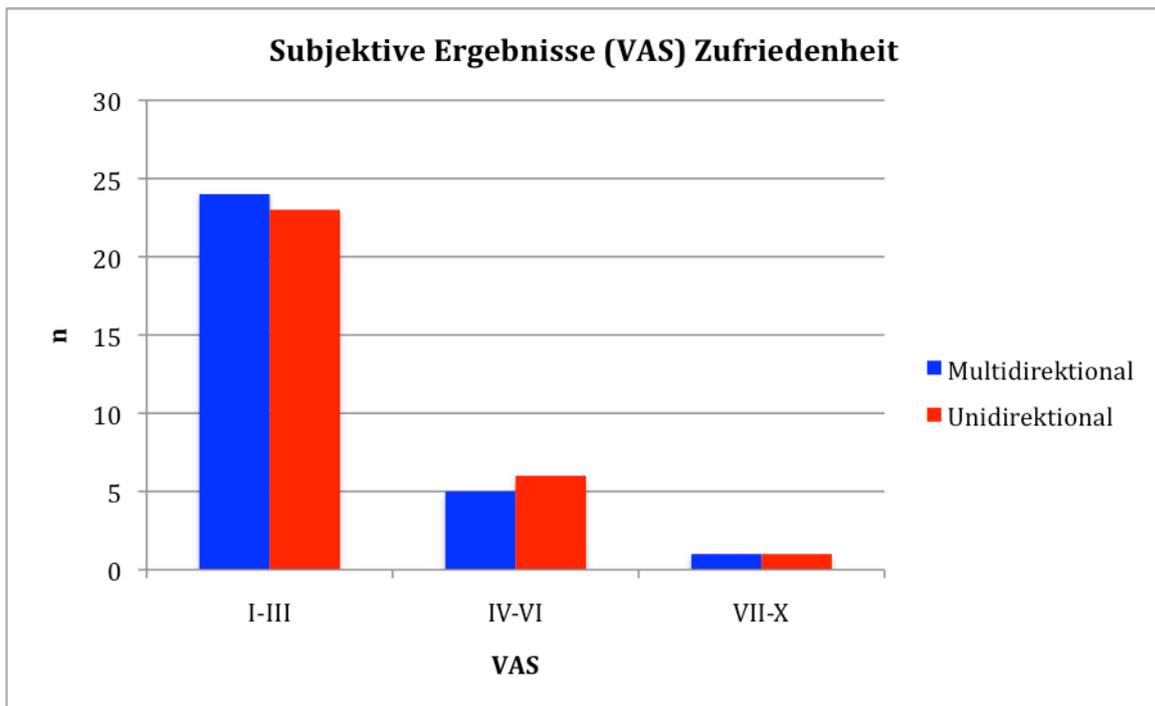


Abb. 22: In der (VAS) Zufriedenheit zeigte sich kein signifikanter Unterschied 1 Jahr postoperativ.

4.8 Funktionelle Ergebnisse

Funktionell nachuntersucht wurde nach einem Jahr postoperativ. Durchschnittlich zeigten sich für beide Gruppen gute funktionelle Ergebnisse.

Die Beweglichkeit des Handgelenkes wurde mittels der Range of Motion beschrieben. Ein Jahr postoperativ ergab sich für die multidirektional verschraubbaren Implantate durchschnittlich eine Beweglichkeit bezüglich der Extension und Flexion von $106,8 \pm 16,5^\circ$ (70 - 130°) und in der unidirektionalen Gruppe von $107,7 \pm 13,8^\circ$ (80 - 130°) ($p=0,833$) (Abb. 23). Bezüglich der Pronation und Supination wurde für die Handgelenkbeweglichkeit in der multidirektionalen Gruppe ein Mittelwert von $138,2 \pm 34,1^\circ$ (90 - 180°) und in der unidirektionalen Gruppe von $141,5 \pm 31,6^\circ$ (90 - 180°) ($p=0,696$) ermittelt (Abb. 24). Im Mittel ergab die Radial- und Ulnaabduktion in der multidirektionalen Gruppe $63,6 \pm 8,2^\circ$ (45 - 81°) und in der unidirektionalen Gruppe $62,8 \pm 6,4^\circ$ (50 - 70°) ($p=0,676$) (Abb. 25).

Somit zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen in der funktionellen Nachuntersuchung der Handbeweglichkeit ein Jahr postoperativ.

Handgelenksbeweglichkeit ("range of motion", ROM) Extension/Flexion

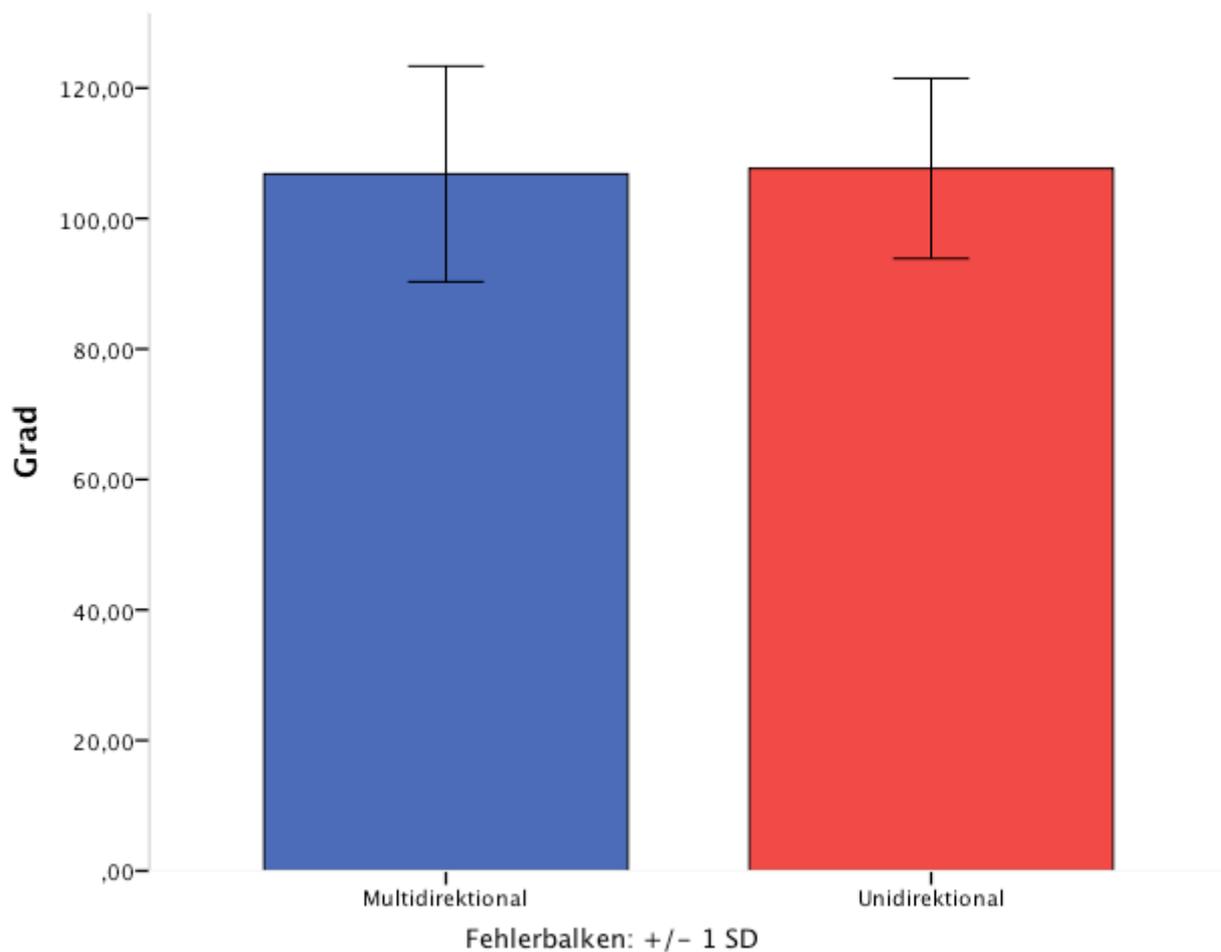


Abb. 23: Der Vergleich der Handgelenksbeweglichkeit Extension/Flexion ein Jahr postoperativ zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen.

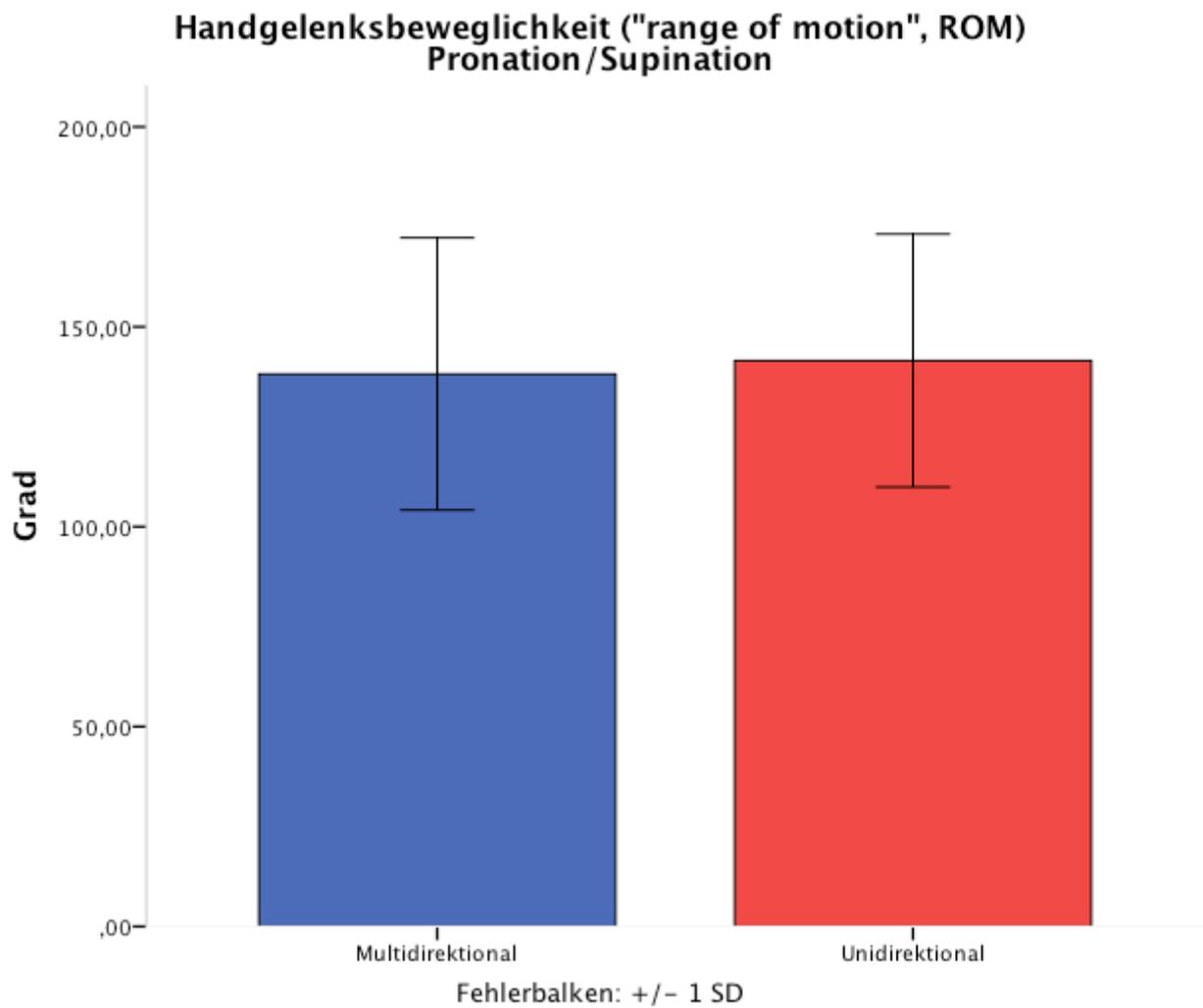


Abb. 24: Vergleich der Handgelenksbeweglichkeit Pronation/Supination ein Jahr postoperativ ebenfalls ohne signifikante Unterschiede.

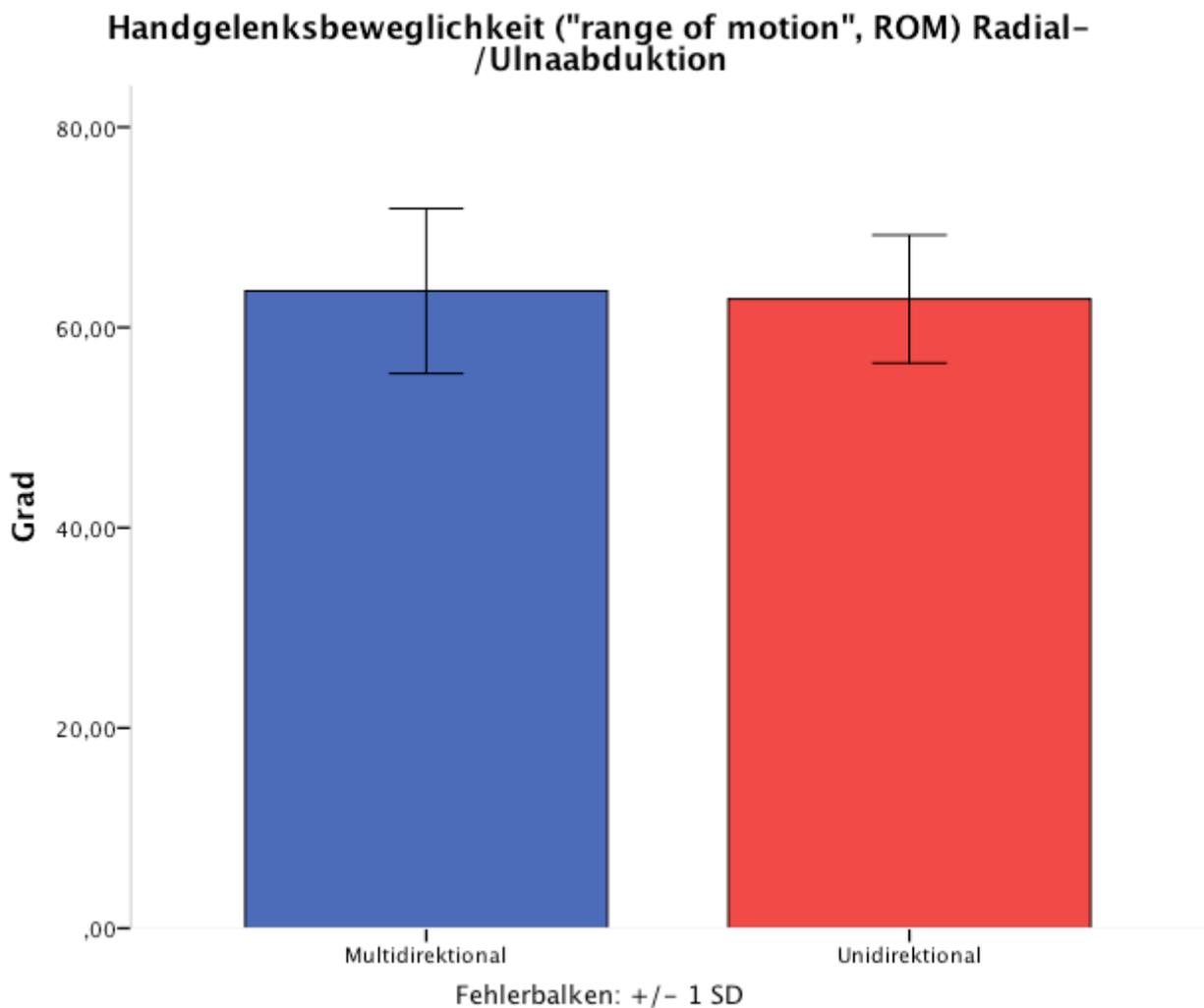


Abb. 25: Vergleich der Handgelenksbeweglichkeit Radial-/Ulnaabduktion ein Jahr postoperativ.

4.9 DASH-Score

Die Evaluierung der subjektiven Ergebnisse anhand des DASH-Scores lieferte ein Jahr postoperativ in beiden Gruppen ein gutes Resultat ohne signifikanten Unterschied. Der Mittelwert in der unidirektionalen Gruppe betrug $11,4 \pm 6,3$ (0 - 38) Punkte, in der multidirektionalen Gruppe $12,9 \pm 9,6$ (0 - 46) Punkte ($p=0,812$) (Abb26).

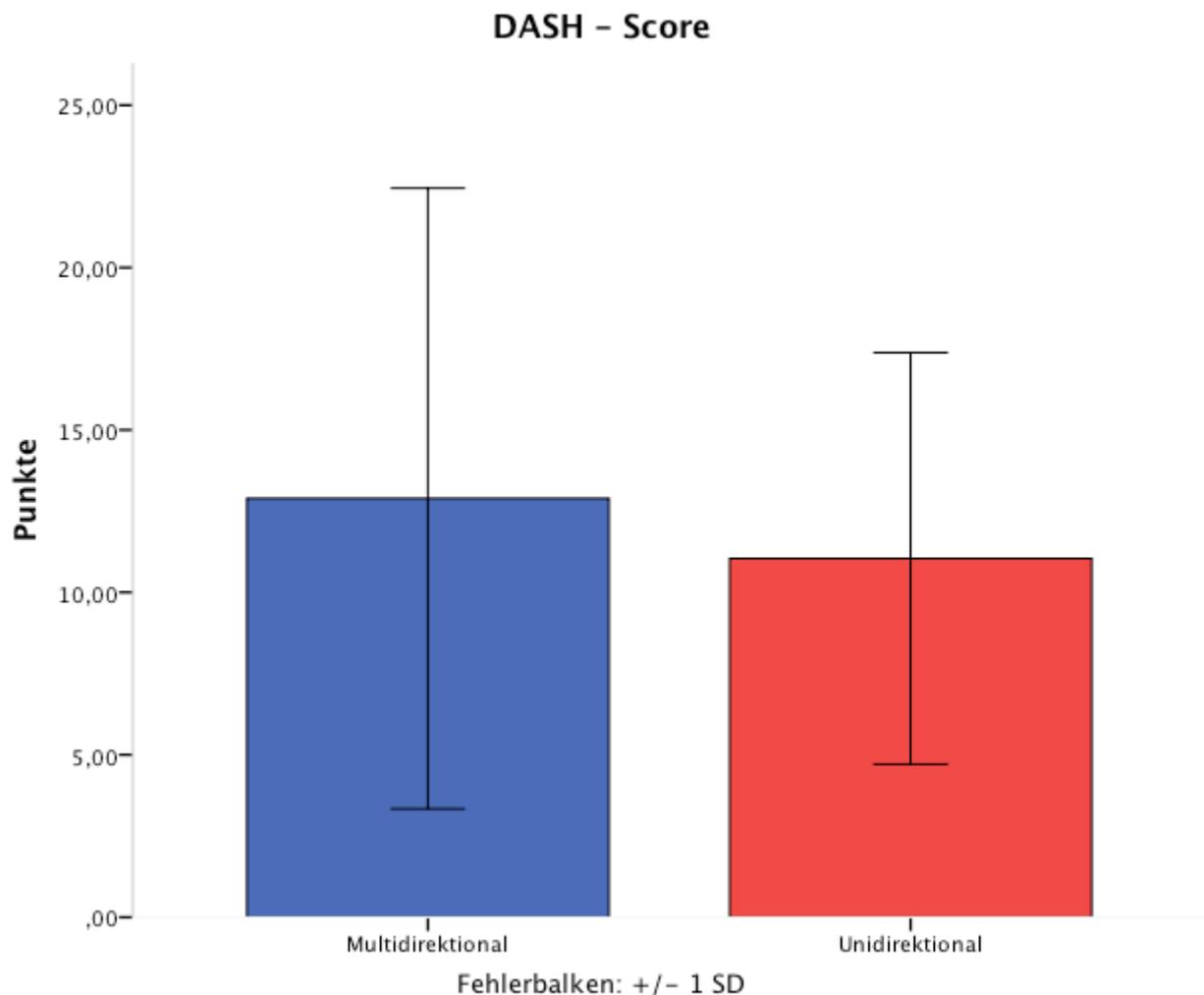


Abb. 26: Vergleich des DASH-Score ein Jahr postoperativ. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen der multidirektionalen und der unidirektionalen Gruppe.

4.10 Radiologische Ergebnisse

Im Rahmen der radiologischen Kontrolluntersuchung nach einem Jahr ergab der dorsopalmare Winkel in der unidirektionalen Gruppe im Mittel $8,1 \pm 2,0^\circ$ ($4,1 - 12,9^\circ$) und in der multidirektionalen Gruppe $8,2 \pm 2,1^\circ$ ($4,1 - 12,0^\circ$) ($p=0,776$) (Abb. 27). Die radiale Inklination in der unidirektionalen Gruppe betrug im Mittel $18,5 \pm 1,8^\circ$ ($16,1^\circ - 22,8^\circ$) und in der multidirektionalen Gruppe $19,0 \pm 3,8^\circ$ ($7,5 - 24,0^\circ$) ($p=0,514$) (Abb. 28). Die radiologischen Ergebnisse beider Gruppen zeigten keine signifikanten Unterschiede.

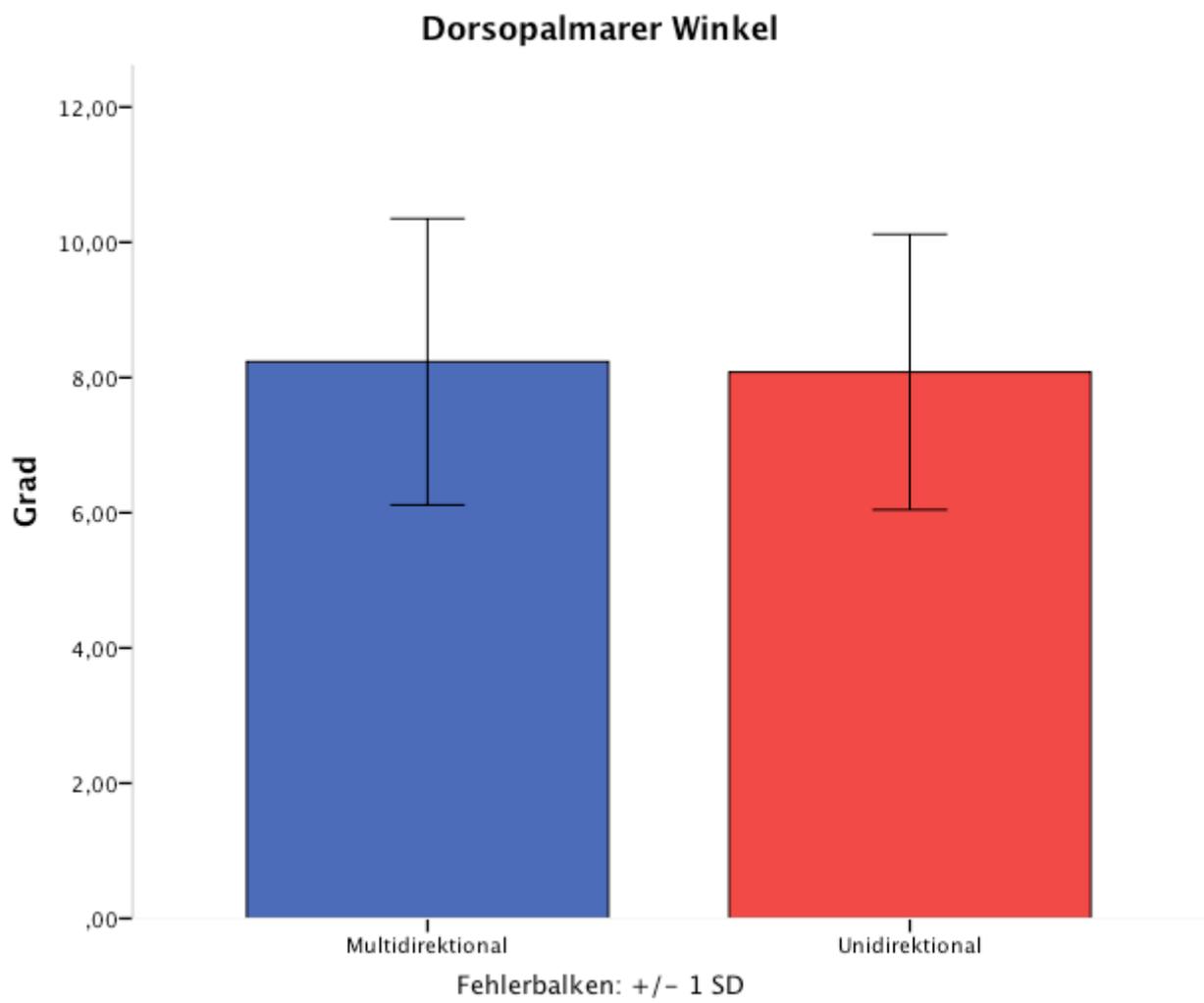


Abb. 27: Vergleich des dorsopalmaren Winkels ein Jahr postoperativ.

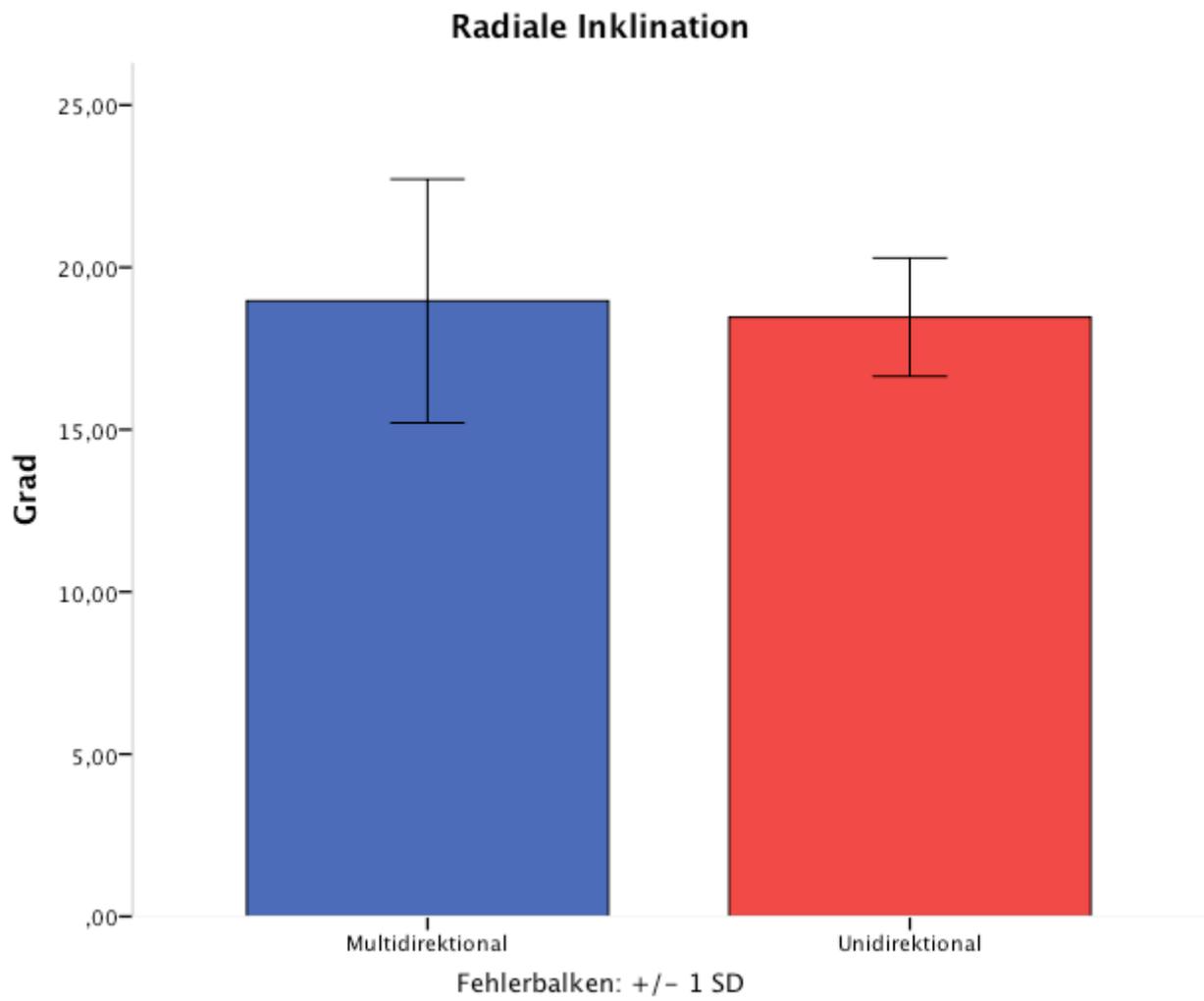


Abb. 28: Vergleich der radialen Inklination ein Jahr postoperativ, ohne signifikanten Unterschied.

4.11 Komplikationen

Insgesamt wurden 36 Operationen in Plexusanästhesie und 24 Operationen in Intubationsnarkose durchgeführt. Intraoperativ kam es bei zwei Patienten zu einer kurzzeitigen Bradykardie, welche durch Atropin Gabe behandelt wurden. In der Röntgenkontrolle nach einem Jahr fiel bei einer 83 jährigen Patientin in der multidirektionalen Gruppe ein Längenverlust auf. Die Patientin berichtete nach Abheilung der Fraktur erneut auf das rechte Handgelenk gestürzt zu sein. In beiden Gruppen kam es postoperativ bei je zwei Patienten zu einer dorsoradialen Weichteilirritation bei radial überstehenden Platten.

5 Diskussion

Die instabilen distalen Radiusfrakturen stellen trotz immer weiter entwickelten neuen Osteosyntheseverfahren noch immer eine therapeutische Herausforderung dar und bleiben Gegenstand der klinischen Forschung und Diskussion.

Bei Frakturen mit Gelenkbeteiligung ist eine korrekte anatomische Reposition, die stabile Fixation sowie eine möglichst schnelle Wiederherstellung einer guten Beweglichkeit nötig. Diese Ziele können bei instabilen Frakturen meist mit den operativen Verfahren besser als mit dem konservativen Verfahren erreicht werden [53-59]. Die Arbeitsgruppen um Azzopardi und Ehrendorfer fanden keine bedeutsamen Unterschiede im funktionellen Behandlungsergebnis zwischen konservativer Therapie in Gipsschiene und transkutaner Fixierung mit Kirschner-Drähten bei instabilen dorsal dislozierten extraartikulären Frakturen [60]. Bei Trümmerfrakturen des distalen Radius wurden mit der Kirschner-Draht-Methode bessere funktionelle Ergebnisse erzielt als bei konservativer Therapie [61]. Andere Studien beschreiben keine signifikanten Unterschiede nach Frakturversorgung ähnlicher Frakturtypen (Frykman I+II) zwischen konservativer Gippschienen-Therapie und der Versorgung mit Kirschner Drähten [8, 18, 62]. In der aktuellen Literatur wird die Kirschner-Draht-Osteosynthese nur noch bei stabilen Extensionsfrakturen oder als additives Verfahren vorgeschlagen [16, 63]. Ein zusätzlicher zirkulärer Gipsverband ist in den meisten Fällen nötig um eine stabile Retention zu erreichen. Ein weiterer Nachteil findet sich in der hohen Komplikationsrate durch sekundäre Dislokationen, Kirschner-Draht Infektionen und relativ häufig auftretenden sympathischen Reflexdystrophien [64, 65]. Die Versorgung mit dem Fixateur externe wird bei höhergradigen instabilen Gelenkfrakturen vom AO Typ C2 und C3 empfohlen [25, 38]. Eine stabile Retention und ein Ausgleich der Längenverhältnisse kann hiermit erreicht werden, jedoch bedingt der Fixateur externe lange Ruhigstellungszeiten und eine aufwendige Pin-Pflege, ohne dass dabei das radioulnare Fragment hierdurch adressiert wird. Wie bei der Kirschner-Draht-Osteosynthese besteht auch bei dieser Versorgungsvariante das Risiko einer Pin-Infektion [38]. In einer Vergleichsstudie bei 45 Patienten im Alter zwischen 50 bis 70 Jahren, welche eine C1 oder C2 Fraktur erlitten, fanden Schmelzer-Schmied et al. signifikant bessere radiologische und funktionelle Ergebnisse bei Versorgung mit winkelstabiler Plattenosteosynthese als bei Versorgung mit Fixateur externe oder konventioneller Plattenosteosynthese [39]. Trotzdem belegen mehrere Studien, dass auch die Therapie mit Fixateur externe gute Ergebnisse erzielt [62, 63, 66-68]. Im

Vergleich zu geschlossener Reposition und Schienung ergibt die Behandlung durch Fixateur externe bessere funktionelle Ergebnisse [62, 69-71].

Bei einer Mehrfragmentfraktur mit einer dorsalen Trümmerzone eignet sich die Versorgung mit einer dorsalen Plattenosteosynthese [21]. Mit dieser kann eine Abstützung der dorsalen Trümmerzone erfolgen und Gelenkstufen können ausgeglichen werden. Nachteilig ist jedoch der operative Zugang von dorsal, da hier eine erhöhte Irritations- bis Verletzungsgefahr der Strecksehnen entsteht [11].

Zahlreiche Operateure favorisieren die Behandlung von dislozierten distalen Radiusfrakturen mit winkelstabilen palmaren Plattenosteosynthesen gegenüber anderen zuvor vorgestellten Behandlungsmethoden [23, 34, 72-79]. Palmare winkelstabile Plattenosteosynthesen werden bei Frakturen vom Typ 23 A3, C1 und C2 (nach AO-Klassifikation) als ein sicher geeignetes Therapieverfahren dieser Frakturmorphologien angesehen und verwendet [45, 46]. Ein großer Vorteil dieser Implantate ist, dass die periostale Durchblutung durch das Fixateur-interne-Prinzip nicht unterbunden wird und die Platte auch bei osteoporotischen Knochen einen guten Halt findet. Durch ein als Kombinationsloch konstruiertes Gleitloch, kann nach Anlagerung der Platte mittels einer konventionellen Kortikalisschraube eine Feinjustierung des Implantates nach proximal/distal erfolgen. Einige Implantate erlauben des weiteren eine polyaxiale Einbringung der Schrauben, wie das in dieser Studie vorgestellte polyaxial verschraubbare System, welches eine einfachere Erreichbarkeit verschiedener Frakturfragmente ermöglichen soll. Somit soll mit diesem System eine optimale physiologische Reposition erreicht und entsprechend gute funktionelle Langzeitergebnisse erzielt werden. Dies wird genauso wie bei den anderen Therapieverfahren durch die Möglichkeit der frühen Mobilisation mit Physiotherapie unterstützt [21, 39, 80-84]. Trotz sämtlicher Vorteile der palmaren Plattenosteosynthesen gibt es Frakturtypen, welche nicht mit diesem Verfahren ausreichend behandelt werden können, wie zum Beispiel Frakturen im Bereich der distalen palmaren Lippe des Radius, welche keine sichere Fixation der distalen Schrauben zulassen.

In unserer Studie konnten keine signifikanten Unterschiede in den funktionellen Behandlungsergebnissen nach einem Jahr postoperativ zwischen dem unidirektionalen und dem multidirektionalen System nachgewiesen werden. Beide Gruppen zeigten gute bis sehr gute Behandlungsergebnisse nach einem Jahr. In der multidirektionalen Gruppe ergab sich in unserer Studie durchschnittlich eine

Beweglichkeit bezüglich der Extension und Flexion ein Jahr postoperativ im Mittel von $106,8 \pm 16,5^\circ$ ($70 - 130^\circ$) und in der unidirektionalen Gruppe von $107,7 \pm 13,8^\circ$ ($80 - 130^\circ$) ($p=0,833$). Bezüglich der Pronation und Supination fanden wir im Mittel eine Handgelenkbeweglichkeit in der multidirektionalen Gruppe von $138,2 \pm 34,1^\circ$ ($90 - 180^\circ$) und in der unidirektionalen Gruppe von $141,5 \pm 31,6^\circ$ ($90 - 180^\circ$) ($p=0,696$). Im Mittel ergab die Radial- und Ulnaabduktion in der multidirektionalen Gruppe $63,6 \pm 8,2^\circ$ ($45 - 81^\circ$) und in der unidirektionalen Gruppe $62,8 \pm 6,4^\circ$ ($50 - 70^\circ$) ($p=0,676$). Mehling et al. fanden bei Verwendung eines multidirektional einsetzbaren winkelstabilen Plattensystems bei 55 Patienten eine Verminderung der Extension/Flexion um durchschnittlich 12% im Vergleich zur gesunden Seite, für die Ulnar- und Radialabduktion eine Verminderung von 9% und für die Pro- und Supination lediglich eine Verringerung um 2%, bei einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von $9,6 \pm 5,2$ Monaten [22] und konnten somit ebenfalls gute Behandlungsergebnisse nachweisen. Die in unserer Studie erfassten Daten über Schmerz und subjektive Zufriedenheit ergaben keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen ein Jahr postoperativ. 25 Patienten in der unidirektionalen Gruppe und 24 Patienten in der multidirektionalen Gruppe waren schmerzfrei. Lediglich ein Patient in der multidirektionalen Gruppe klagte über starke Schmerzen. Ein Jahr postoperativ waren 23 Patienten in der unidirektionalen Gruppe und 24 Patienten in der multidirektionalen Gruppe sehr zufrieden mit dem Behandlungsergebnis. Nur je ein Patient in beiden Gruppen war mit dem Gesamtbehandlungsergebnis nicht zufrieden.

Wir konnten in unserer Studie sowohl mit dem unidirektionalen, als auch dem multidirektionalen System gute DASH-Werte ohne signifikante Unterschiede ein Jahr postoperativ erzielen. Ein großer Vorteil gegenüber Verfahren mit der Notwendigkeit einer additiven Stabilisierungsmaßnahmen liegt in der gipsfreien frühfunktionellen Nachbehandlung und frühen Rückkehr in den Alltag, besonders bei den am häufigsten betroffenen älteren Patienten [85]. Das ist ein Grund für die hohe Patientenakzeptanz dieses Verfahrens. Die Weiterentwicklung von winkelstabilen Plattensystemen, wie die Entwicklung der multidirektionalen Systeme, weiten die Indikationen der operativen Stabilisierung mit Plattenosteosynthesen aus [25, 59, 86, 87]. Bei intraartikulären Frakturen mit mehreren Fragmenten wird das bessere Erfassen verschiedener Fragmente mittels der multidirektionalen Systeme als Vorteil gegenüber den unidirektionalen Systemen angesehen [21]. Bei unidirektionalen

Systemen müssen nach Einbringen der ersten winkelstabilen Schraube alle weiteren Schrauben der vorgegeben Plattengeometrie folgen [88].

Bei der Frakturversorgung mit palmar eingebrachten Implantaten kann es jedoch ebenfalls zu Sehnenrupturen kommen. Arora et al. fanden in einer Studie mit 114 Patienten nach Versorgung mit palmarer Plattenosteosynthese eine Komplikationsrate von 27%. In 57% der Fälle (ausgehend von der Gesamtzahl der Komplikationen) kam es zur Irritationen der Flexor- und Extensorsehnen, einschließlich zwei Rupturen der Sehne des M. Flexor pollicis longus, zwei Rupturen der Sehne des M. Extensor pollicis longus, vier Fällen von Tenosynovitis der Extensorsehnen und neun Fällen von Tenosynovitis der Flexorsehnen. In drei Fällen zeigte sich ein Karpaltunnelsyndrom und in fünf Fällen ein komplexes regionales Schmerzsyndrom [45]. Gründe für solche Komplikationen sind zu lang gewählte Schrauben und ein zu distal positioniertes, über die palmare kortikale Kante reichendes distales Plattenende, welches die Sehnen der Flexoren reizen kann [89]. Insbesondere bei komplexen Verletzungen kann es zu einer Ausheilung in Fehlstellung und Arthroseentwicklung kommen. Die häufigsten Gründe für eine Fehlstellung sind eine Fehllage des Radiokarpalwinkels und eine Beeinträchtigung des distalen Radioulnargelenks. Fehlstellungen, welche Stufen in der Gelenkfläche hinterlassen, müssen frühzeitig korrigiert werden. Eine verbleibende Gelenkstufe von nur 2 mm erhöht das Risiko der Entstehung einer posttraumatischen Arthrose im Langzeitverlauf auf 91% [90]. Dorsale und palmare Abkippungen der Gelenkfläche und damit einhergehende Subluxationen des distalen Radioulnargelenks sowie sekundäre Fehlstellung der Handwurzelknochen können durch eine Osteotomie korrigiert werden. Für diese Operation eignen sich besonders aktive, relativ junge Patienten mit anhaltenden Beschwerden [90]. Im triangulären, fibrocartilaginären Komplex [91] kann es durch Verkürzung des Radius durch eine Sinterung der Frakturzone und somit relativem Ulnavorschub zu einem Impingement kommen. Die Radiusverkürzung kann durch Interposition eines kortikospongiösen Knochenspins aus dem Beckenkamm und erneute palmare Plattenosteosynthese oder durch eine Ulnaverkürzungsosteotomie therapiert werden. Mit beiden Verfahren können gute Ergebnisse erzielt werden [92].

In einer Studie von Felderhoff et al. [11] mit 213 komplexen distalen Radiusfrakturen zeigte sich eine skapholunäre Dissoziationsrate von 4,8% im präoperativen Röntgen. Bei der Inspektion des Operationssitus durch den Operateur erhöhte sich diese Rate sogar auf 13,8%. Biomechanisch bedeutend ist das skapholunäre Band besonders

bei B1 und C Frakturen im Hinblick auf die Stabilität der ersten Handwurzelreihe. Wird diese Verletzung übersehen kann es zu starken Schmerzen und funktionellen Einbüßen kommen [11, 93]. Als weitere Komplikationen, welche der Versorgung mit palmarer winkelstabiler Plattenosteosynthese folgten zeigten Drobetz et al. in einer Studie mit 50 Patienten Wundinfektionen in 8% der Fälle, Sakhaii et al. hingegen in einer Studie mit 100 Patienten lediglich in 1% der Fälle. Relativ häufig fanden Drobetz et al. Rupturen der Flexor-pollicis-longus-Sehne mit 12%. In einer Studie von Arora et al. mit 114 Patienten wurde eine Ruptur dieser Sehne lediglich in 3% der Fälle gesehen [36, 45, 80]. Die Ruptur der Sehne des Musculus extensor pollicis longus beobachteten Drobetz et al. und Sakhaii et al. in 2% der Fälle, Al Rashid et al. in 9% der Fälle [36, 80, 94]. Ein postoperatives Karpaltunnelsyndrom wurde von Drobetz et al. in 2% der Fälle und Arora et al. in seiner Studie in 3% der Fälle [45, 80] nachgewiesen.

Die neuen winkelstabilen palmaren Plattensysteme wurden mit zunehmend flacheren und anatomischen Profilen hergestellt, um somit eine Irritation der nahegelegenen Flexorensehnen zu vermeiden. Trotzdem wurden von verschiedenen Autoren unter sorgfältiger Einbringung der Implantate partielle oder komplette Sehnenrupturen des M. flexor pollicis longus und der Sehne des tiefen Index Fingerbeugers M. flexor digitorum profundus beobachtet [95, 96]. Orbay et al. haben als Grund für solche Sehnenirritationen das zu distale Platzieren des Implantates jenseits der sogenannten „Watershed“ Linie am distalen Radius diskutiert. Diese entspricht einer transversalen palmaren kortikalen Linie am distalen Radius, welche am meisten palmar liegt, wie in Abb. 29 zu erkennen ist.

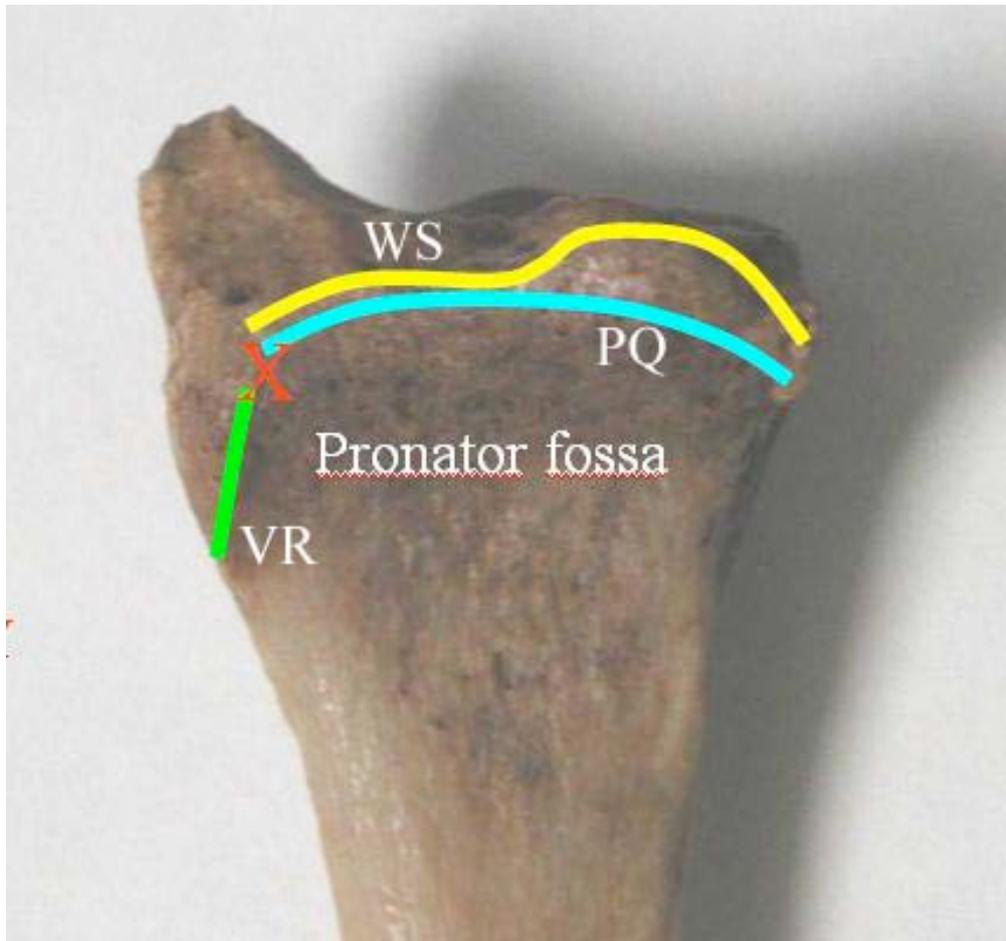


Abb. 29: Die Watershed Linie [97]

PQ = Pronator Quadratus Linie oder PQ Linie; WS = Watershed Linie; X = palmarare radiale Tuberositas; VR = palmarare radiale Kante

Implantate, welche distal dieser Kante platziert werden, können zu einem Impingement der übergleitenden Flexorensehnen führen [97].

Nach distalen Radiusfrakturen kommt es gehäuft zu erhöhten Drücken im Karpaltunnel. Durch eine akute Druckerhöhung kann der N. medianus geschädigt werden. Daher führen einige Operateure nach einer Fraktur eine prophylaktische Spaltung des Retinaculum flexorum durch [23, 27, 98].

In einer Studie von Fuller et al. wurden die Drücke im Karpalkanal alle zwei Stunden über die ersten 24 Stunden postoperativ ermittelt. Die Mehrheit der Frakturen wurden als Typ C Frakturen nach AO klassifiziert. Die Drücke sind generell nicht über die ersten 24 Stunden angestiegen. Keiner der Patienten klagte im weiteren Verlauf über 12 Wochen über Taubheit oder Parästhesien im Bereich des Versorgungsgebietes des N. medianus. Basierend auf diesen Ergebnissen wird eine routinemäßige

prophylaktische Spaltung des Retinaculum nach palmarer Plattenosteosynthese nicht empfohlen [99].

Als eine weitere potentielle Komplikation nach distaler Radiusfraktur und deren Behandlung ist auch das Komplexe Regionale Persistierende Schmerzsyndrom (CRPS) (Synonyme: Morbus Sudeck, Algodystrophie, sympathische Reflexdystrophie) zu nennen. Im Rahmen dessen es zu einer z.B. durch ein Trauma ausgelösten, entzündlich bedingten Durchblutungsstörung aller Gewebe kommen kann. Wichtig ist die möglichst frühe Diagnosestellung sowie konsequente Therapie.

Die Einteilung erfolgt in drei Stadien [100-105]:

Stadium I (akute Phase):

entzündungsähnliche Überwärmung und Schwellung der Weichteile, anhaltend brennende Schmerzen in Ruhe sowie bei Belastung, röntgenologisch nach einigen Wochen erste Zeichen einer Entkalkung.

Stadium II (subakute Phase):

überwiegend dystrophische Erscheinungen, kühle atrophische Haut mit vermehrter Behaarung, ausgeprägte Funktionseinbußen aufgrund einer Kapselschrumpfung und Muskelatrophie, röntgenologisch vermehrt Zeichen einer Osteoporose.

Stadium III (chronische Endphase):

meist Schmerzfrei, generalisierte Atrophie der betroffenen Extremität, starke Einschränkung oder Aufhebung der Beweglichkeit der betroffenen Gelenke, röntgenologisch stark verdünnte Kortikalis und verstärkte Zeichnung der in der Zahl verringerten Spongiosabälckchen.

Die Therapie erfolgt im ersten Stadium durch die Ruhigstellung des Extremitätenabschnittes, sowie der Gabe von nichtsteroidalen Antiphlogistika und Analgetika. Auch Calcitonin und Bisphosphate werden eingesetzt um die Osteoblastenaktivität zu steigern und somit einem Knochenabbau entgegenzuwirken [102, 106]. Im zweiten Stadium erfolgen aktive funktionelle Maßnahmen. Aktive und passive Bewegungstherapie unter Berücksichtigung der Schmerzgrenze, sowie Ergotherapie und Wärmeanwendungen erfolgen im Stadium drei.

Zur Vermeidung derartiger Komplikationen wird die distale Radiusfraktur für die Dauer der Wundheilung in einer angepassten dorsalen Gipsschiene ruhiggestellt. Direkt am ersten postoperativen Tag wird mit der frühfunktionellen Behandlung der

am Handgelenk angrenzenden Gelenke, sowie des Ellenbogengelenkes und des Schultergelenkes begonnen. Die Patienten sollen mehrmals täglich die Finger aktiv spreizen und wieder zusammenführen. Ebenso sollte die Hand mehrmals bis zur Schmerzgrenze geschlossen und wieder geöffnet werden [107]. Das Ellenbogengelenk sollte öfters gebeugt und wieder gestreckt werden. Im Schultergelenk empfiehlt es sich mehrmals täglich Abduktion und Adduktion, sowie Anteversion und Retroversion durchzuführen. Diese Übungen dienen der Dystrophieprophylaxe der Muskulatur der Finger, der Hand, des Oberarmes und der Schulter. Nachdem die Wunde abgeheilt ist wird das Nahtmaterial am 10. postoperativen Tag entfernt. Die Gipsschiene kann nun abgelegt werden und das Handgelenk wird zur krankengymnastischen Beübung freigegeben [108].

Das multidirektionale System bietet die Möglichkeit Schrauben in einer zweiten Reihe am distalen Ende der Platte einzubringen. Somit soll eine optimale subchondrale Positionierung ermöglicht werden. In unserer Studie fanden wir eine signifikante Verlängerung der intraoperativen Durchleuchtungszeit bei der Verwendung des polyaxialen Systems. Sie betrug in der unidirektionalen Gruppe $0,84 \pm 0,55$ (0,13 - 2,3) min und war somit im Vergleich zur multidirektionalen Gruppe mit $1,78 \pm 0,47$ (1,17 - 2,49) min signifikant kürzer ($p=0,001$). Ein Grund dafür kann auch die intraoperative Zeit sein, welche für die Besetzung der zweiten distalen Schraubenreihe benötigt wird, da die optimale subchondrale Platzierung der Schrauben in der distalen Reihe unter Durchleuchtung in seitlichem Strahlengang erfolgen sollte, sowie die größere Anzahl an Schrauben, die bei der multidirektionalen Platte positioniert werden müssen (siehe Abb. 30 und 31).



Abb. 30 links: unidirektionales System mit vier gelenknah eingebrachten Schrauben; Abb. 31 rechts: multidirektionales System mit sechs gelenknah eingebrachten Schrauben

Die Operationsdauer, sowie die Auswertung des DASH-Scores ein Jahr postoperativ zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen.

In unserer Studie betrug das mittlere Alter der Patienten in der unidirektionalen Gruppe 62,4 (24 - 93) Jahre, in der multidirektionalen Gruppe 60,2 (25 - 85) Jahre. Frauen über 60 Jahre überwogen mit 65 % und als Unfallursache waren mit 71% banale Stürze am häufigsten. Es überwogen die C2 Frakturen. In der unidirektionalen Gruppe wurden 7 C1 und 23 C2 Frakturen diagnostiziert. In der multidirektionalen Gruppe klassifizierten wir 8 C1 und 22 C2 Frakturen. Auch ohne DEXA-Messung (Dual-Röntgen-Absorptiometrie-Verfahren um osteoporotischen Knochen zu erkennen) ist daher ein großer Anteil osteoporotisch bedingter distaler Radiusfrakturen wahrscheinlich.

Die AO Klassifikation wird nicht immer als sehr präzises Klassifikationssystem angesehen, obwohl sie 2003 als zweitgenaueste Klassifikation illustriert wurde [109]. Sie konnte jedoch in dieser Studie zur adäquaten Einteilung der Frakturen genutzt

werden. Als kritisch zu bewerten sind die niedrige Fallzahl dieser Studie und die damit verbundene geringere statistische Aussagekraft. Jedoch konnte eine identische Gruppenstruktur und somit eine gute Vergleichbarkeit der beiden Systeme erreicht werden. Andere aktuelle Studien schließen multiple Frakturtypen ein, wobei dies den objektiven Vergleich der Systeme erschwert [39, 85, 110].

Fazit

Beide Implantate wiesen in den von uns selektierten Frakturgruppen (AO-Typ C1 und C2) gute mittelfristige Ergebnisse sowohl klinisch als auch radiologisch auf. Es zeigte sich kein Vorteil bei Versorgung mit dem multidirektionalen System bezüglich der funktionellen Ergebnisse. Ebenfalls gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen bei subjektiven Daten wie Zufriedenheit und Schmerzempfinden ein Jahr postoperationem. Eine signifikant kürzere intraoperative Durchleuchtungszeit fand sich jedoch bei Verwendung des unidirektional verschraubbaren Systems. Die operative Therapie distaler Radiusfrakturen mit intraartikulärer Trümmerzone (AO 23-C3) gestaltet sich mit palmaren Plattenosteosynthesen häufig schwierig. Inwiefern komplex artikuläre Frakturen mit Plattensystemen, die eine polyaxiale Verschraubung der gelenknahen Schraubenlöcher erlauben zu einer Optimierung der Versorgung dieser Frakturen beitragen, kann im Rahmen weiterer Untersuchungen evaluiert werden.

6 Zusammenfassung

Einleitung: Die distale Radiusfraktur ist die häufigste Fraktur des Menschen mit Häufigkeitsgipfeln in der Kindheit und im höheren Alter. Bei der Frakturversorgung gewinnt die palmare winkelstabile Plattenosteosynthese aufgrund des relativ einfachen operativen Zugangs und der seltenen postoperativen Komplikationen zunehmend an Bedeutung. Die stetige Weiterentwicklung der Implantate mit Entwicklung der multidirektional verschraubbaren Systeme führte zum einen zu einer Ausweitung des Einsatzspektrums, zum anderen stellte sich jedoch auch die Frage, inwieweit diese Entwicklung dem Patienten von Vorteil ist um im Sinne einer anatomiegerechten Reposition, kurzer Operationsdauer und früher Übungs- und Belastungsstabilität Einschränkungen im späteren Alltag vorzubeugen. Ziel dieser Arbeit ist der Vergleich und die Evaluation der mittelfristigen funktionellen und radiologischen Behandlungsergebnisse nach palmarer winkelstabiler Plattenosteosynthese der instabilen distalen Radiusextensionsfrakturen vom AO Typ 23-C1 und -C2 bei Versorgung zum einen durch ein unidirektional verschraubbares System, zum anderen durch ein multidirektional verschraubbares System.

Patienten und Methoden: Es wurden 60 Patienten nach distaler Radiusfraktur (AO-Typ C1 und C2) in die klinisch kontrollierte prospektive Kohortenstudie aufgenommen und jeweils mit einer unidirektional verschraubbaren oder multidirektional verschraubbaren palmaren winkelstabilen Plattenosteosynthese versorgt. Hierbei wurde auf eine ausgeglichene Gruppenstruktur geachtet. Alle Patienten konnten ein Jahr postoperativ nachuntersucht werden. Evaluiert wurden radiologische, funktionelle und subjektive Parameter, sowie intraoperative Durchleuchtungszeit, Operationsdauer und der DASH-Wert.

Ergebnisse: Beide Gruppen zeigten 1 Jahr postoperativ gute funktionelle und radiologische Ergebnisse ohne signifikanten Unterschied. Des Weiteren zeigte sich kein signifikanter Unterschied im DASH-Score. Die intraoperative Durchleuchtungszeit betrug in der unidirektionalen Gruppe $0,84 \pm 0,55$ (0,13-2,3) min und in der multidirektionalen Gruppe $1,78 \pm 0,47$ (1,17-2,49) min. Somit war sie in der unidirektionalen Gruppe signifikant kürzer ($p=0,001$).

Diskussion und Schlussfolgerung: In unserer Studie wiesen sowohl die unidirektional verschraubbaren Implantate, als auch die multidirektional verschraubbaren Systeme bei den von uns eingeschlossenen Frakturgruppen (AO-Typ C1 und C2) gute mittelfristige Ergebnisse sowohl klinisch als auch radiologisch

ein Jahr postoperativ auf. Ein Vorteil bei Versorgung mit den multidirektional verschraubbaren Implantaten zeigte sich bei den funktionellen Ergebnissen nach einem Jahr nicht. Des Weiteren zeigte sich kein signifikanter Unterschied bei der Operationsdauer, bei subjektiven Daten wie Zufriedenheit und Schmerzempfinden und dem DASH-Wert. Die intraoperative Durchleuchtungszeit war bei den unidirektional verschraubbaren Implantaten signifikant kürzer als bei den multidirektional verschraubbaren Implantaten, somit trugen diese zu keiner Optimierung der Frakturversorgung in unserer Studie bei. Ob die operative Therapie distaler Radiusfrakturen mit intraartikulärer Trümmerzone (AO 23-C3) mittels multidirektional verschraubbarer Systeme gegenüber der Verwendung konventioneller palmarer Implantate von Vorteil ist, sollte noch untersucht werden.

7 Anhang

7.1 Dokumentationsbogen

Gruppe 1 (Synthes)

Gruppe 2 (Stryker)

Doku.-Bogen zur Klinikaufnahme



AUFN.-NR.:
NAME:
VORNAME:
GEBURTSTAG:
GESCHLECHT:

UNFALLMECHANISMUS: _____

BEGLEITVERLETZUNGEN: ja nein

- _____
- _____
- _____

- _____
- _____
- _____

VORERKRANKUNGEN: ja nein

- _____
- _____
- _____

- _____
- _____
- _____

MEDIKAMENTE: ja nein

- _____

- _____
- _____

- _____
- _____

OSTEOPOROSEMEDIKAMENTE: ja nein

- _____
- _____
- _____

FRÜHERE FRAKTUREN: ja nein

- _____
- _____
- _____

HÄUSLICHE SITUATION:
(ALLEIN, PARTNER, FAMILIE, PFLEGEDIENST, HEIM, ETC.)

ASA	Punkte	Nomenklatur - Definition [111]
I	0 - 1	gesunde und fit erscheinende Patienten (Frakturen ohne systemische Belastung, lokalisierte Infektionen ohne Fieber, gut- artige Tumoren und Weichteildefekte ohne Störungen, angeborene Missbildungen und Deformierungen ohne systemische Störungen).
II	2 - 3	Patienten mit Herzerkrankungen, die nicht oder nur wenig leistungsmindernd sind, mäßigem Hypertonus, chronischer Bronchitis, Atemnot bei Belastung, leichter Azidose, mäßigem, nicht insulinpflichtigem Diabetes mellitus, hohem Alter unter Berücksichtigung der Belastung, Fettsucht über 30% vom Normalgewicht, Psychose, akuten und chronischen Infektionen im Rachen- und Nasennebenhöhlenbereich. Leichte Allgemeinerkrankung ohne Leistungseinschränkung.
III	4 - 7	Patienten mit kompensierter und dekompensierter Herzinsuffizienz, die nicht überwiegend bettlägerig sind (Herzinfarkt vor mehr als 6 Monaten, Angina pectoris, schwere Herzrhythmusstörungen, chronische respiratorische Insuffizienz, ausgeprägtes Emphysem, Lungenabszess, Lungentuberkulose, Ileus, lokale Peritonitis, Immobilisation für längere Zeit, schwerer Diabetes mellitus mit Komplikationen, Leberzirrhose, chronische Niereninsuffizienz). Schwere Allgemeinerkrankung mit Leistungseinschränkung.
IV	8 - 15	Patienten mit schwerer dekompensierter Herzinsuffizienz, Herzinfarkt vor weniger als 6 Monaten, akuter Myokarditis, schwerer maligner Hypertonie, Schock verschiedener Ursachen, länger dauerndem Ileus, schwerer respiratorischer Insuffizienz – quälend in Ruhe – selbst bei entsprechender Vorbehandlung, fortgeschrittener Leber-, Nieren- und endokriner Insuffizienz, Koma. Physischen Handlungsunfähigkeit und das der ständigen Lebensbedrohlichkeit. Schwere Allgemeinerkrankung, die mit oder ohne Operation das Leben der Patienten gefährdet.
V	> 15	Notfälle, die anderweitig in Klasse I und 2 eingruppiert würden. Morbund, Tod innerhalb von 24 h mit oder ohne Operation zu erwarten.
VI		Notfälle, die anderweitig in Klasse 3 oder 4 eingruppiert würden.

Gruppe 1 (Synthes)

Gruppe 2 (Stryker)

Perioperativer Doku.-Bogen



**Klinik für
Unfall- und Handchirurgie**

AUFN.-NR.:

NAME:

VORNAME:

GEBURTSTAG:

GESCHLECHT:

UNFALLART:

Extensionsfraktur [3]:

Flexionsfraktur (SMITH):

ZEITRAUM UNFALL BIS OP:

UNFALL (DATUM/UHRZEIT): ____/____/2006, : Uhr

OP (DATUM/UHRZEIT): ____/____/2006, : Uhr

ZEITRAUM: ____ d, ____ h

NARKOSEFORM:

ALLGEMEINANÄSTHESIE: TIVA überwiegend inhalativ

REGIONALANÄSTHESIE:

Supraklavikuläre Blockade: links rechts

Axilläre Blockade: links rechts

ANTIBIOTIKAPROPHYLAXE: ja nein

- _____
- _____
- _____

FRAKTURKLASSIFIKATION (INTRAOP) / FRAKTURLOKILISATION [10]:

23 distal								
23-A1	23-A2	23-A3	23-B1	23-B2	23-B3	23-C1	23-C2	23-C3
								
23-A extra-articular fracture			23-B partial articular fracture			23-C complete articular fracture of radius		
23-A1 ulna, radius intact			23-B1 radius, sagittal			23-C1 articular simple, metaphyseal simple		
23-A2 radius, simple and impacted			23-B2 radius, frontal, dorsal rim			23-C2 articular simple, metaphyseal multifragmentary		
23-A3 radius, multifragmentary			23-B3 radius, frontal, volar rim			23-C3 articular multifragmentary		

A1	B1	C1
A2	B2	C2
A3	B3	C3

ANÄSTHESIEZEIT:

OP-DAUER:

ANÄSTHESIEBEGINN: : Uhr

OP-BEGINN: : Uhr

ANÄSTHESIEENDE: : Uhr

OP-ENDE: : Uhr

TOTAL: h, min

TOTAL: h, min

DURCHLEUCHTUNGSZEIT BILDWANDLER:

h/ min/ sec

REDONDRAINAGEN: _____

BESONDERHEITEN (INTRAOP): _____

SCHMERZMEDIKATION:

•	•
•	•
•	•

VAS-SCHMERZ ZUM KG-BEGINN: _____

Gruppe 1 (Synthes)

Gruppe 2 (Stryker)

Doku.-Bogen zum
Nachuntersuchungstermin
(1Jahr postoperativ)



Klinik für
Unfall- und Handchirurgie

AUFN.-NR.:

NAME:

VORNAME:

GEBURTSTAG:

GESCHLECHT:

FUNKTIONELLE ERGEBNISSE:

NN-METHODE:

Handrückenwärts/hohlhandwärts

Speichenwärts/ellenwärts

Unterarmdrehung
auswärts/einwärts
(Supination/Pronation)
(80-90°/0°/80-90°)

(35-60°/0°/50-60°)

(25-30°/0°/30-40°)

°/0°/ °

°/0°/ °

°/0°/ °

„SCHULNOTE“ (DURCH PATIENTEN):

1 2 3 4 5 6

(sehr zufrieden).....(sehr unzufrieden)

ALLGEMEINBEFINDEN (VAS): _____

SCHMERZSYMPTOMATK (VAS): _____

SCHMERZMEDIKATION:

•	•
•	•
•	•

ANZAHL KG (POSTSTATIONÄR):

AUFGETRETENE KOMPLIKATIONEN/REEINGRIFFE (AUSWÄRTS):

KOMPLIKATIONEN: Allgemein a) Wundheilungsstörungen b) Infektion Speziell	REEINGRIFFE (an dem betroffenen Gelenk) Incl. notwendige / gewünschte Metallentfernungen
1.	1.
2.	2.
3.	3.
4.	4.
5.	5.

ZUSÄTZLICH:

DASH-Score (Anhang) [51]

DASH-Score:

Beurteilen Sie Ihre Fähigkeit, die folgenden Aktivitäten durchzuführen (in der letzten Woche)	Keine Schwierigkeiten	Leichte Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Starke Schwierigkeiten	Unfähig
Ein festes oder neues Schraubglas öffnen	1	2	3	4	5
Schreiben	1	2	3	4	5
Schlüssel im Schloss umdrehen	1	2	3	4	5
Mahlzeit zubereiten	1	2	3	4	5
Eine schwere Tür aufstoßen	1	2	3	4	5
Gegenstand auf ein Regal stellen (über d. Kopf)	1	2	3	4	5
Schwere Hausarbeit (Boden wischen, Wände abwaschen)	1	2	3	4	5
Garten- oder Hofarbeit	1	2	3	4	5
Betten machen	1	2	3	4	5
Einkaufstasche oder Aktentasche tragen	1	2	3	4	5
Schwere Gegenstände tragen (über 4,5 kg)	1	2	3	4	5
Glühbirne über Kopf wechseln	1	2	3	4	5
Haare waschen oder fönen	1	2	3	4	5
Rücken waschen	1	2	3	4	5
Pullover/Sweatshirt anziehen	1	2	3	4	5
Mit einem Messer Lebensmittel schneiden	1	2	3	4	5

Leichte Freizeitaktivitäten (Karten spielen, Stricken etc.)	1	2	3	4	5
Freizeitaktivitäten bei der es zu einer Schlagbelastung des Arms, Schulter oder Hand kommt (Golf, Hämmern, Tennis, etc.)	1	2	3	4	5
Freizeitaktivitäten, bei denen der arm frei bewegt wird (Badminton, Frisbee, etc.)	1	2	3	4	5
Teilnahme am Straßenverkehr, öffentliche Verkehrsmittel	1	2	3	4	5
Sexuelle Aktivitäten	1	2	3	4	5
	Überhaupt nicht	Ein wenig	Mäßig	Stark	Sehr stark
In welchem ausmaß hat sie in letzter Woche Ihr Problem mit Arm, Schulter oder Hand bezüglich sozialer Aktivitäten mit Familie, Freunden, Nachbarn oder Gruppen beeinflusst?	1	2	3	4	5
	Nicht eingeschränkt	Ein wenig eingeschränkt	Mäßig eingeschränkt	Stark eingeschränkt	Unfähig
Hat Sie in der letzten Woche Ihr Problem mit Arm, Schulter oder Hand in Ihrer Arbeit oder anderen täglichen Aktivitäten eingeschränkt?	1	2	3	4	5
Bewerten Sie die Stärke folgender Symptome innerhalb der letzten Woche	Kein	Leicht	Mäßig	Stark	Sehr Stark
Arm-, Schulter- oder Handschmerz	1	2	3	4	5
Arm-, Schulter- oder Handschmerz während bestimmter Aktivitäten	1	2	3	4	5
Kribbeln/Sensibilitätsstörungen in Arm-, Schulter oder Hand	1	2	3	4	5
Schwäche in Arm, Schulter oder Hand	1	2	3	4	5
Steifheit in Arm, Schulter, Hand	1	2	3	4	5
	Keine Schwierigkeiten	Leichte Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Starke Schwierigkeiten	Konnte überhaupt nicht schlafen
Wie viel Schwierigkeiten hatten Sie beim Schlafen in der vergangenen Woche aufgrund von Schmerzen in Arm, Schulter oder Hand?	1	2	3	4	5
	Stimme überhaupt nicht zu	Stimme nicht zu	Weiß nicht	Stimme zu	Stimme sehr zu
Ich fühle mich aufgrund des Arms-, Schulter- oder Handproblems weniger nützlich oder unsicher	1	2	3	4	5

7.2 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cm	Zentimeter
DASH	Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand
DEXA	Dual-Energy X-ray Absorptiometry
DRUG	distales Radioulnargelenk
et al.	et alteres
Fa.	Firma
HHU	Heinrich-Heine-Universität
LCP	Locking Compression Plate
min.	Minute
MIPO	minimal invasive Plattenosteosynthese
mm	Millimeter
N.	Nervus
OP	Operation
VAS	Visuelle analog Skala
z.B.	zum Beispiel

7.3 Literaturverzeichnis

1. Donaldson, L.J., A. Cook, and R.G. Thomson, *Incidence of fractures in a geographically defined population*. J Epidemiol Community Health, 1990. **44**(3): p. 241-5.
2. Owen, R.A., et al., *Incidence of Colles' fracture in a North American community*. Am J Public Health, 1982. **72**(6): p. 605-7.
3. Colles, A., *On the fracture of the carpal extremity of the radius*. Edinb Med Surg J. 1814;**10**:181. Clin Orthop Relat Res, 2006. **445**: p. 5-7.
4. Wiemer, P., et al., [*Fractures of the distal radius. Changing therapeutic strategies*]. Orthopade, 1999. **28**(10): p. 846-52.
5. Mallmin, H. and S. Ljunghall, *Incidence of Colles' fracture in Uppsala. A prospective study of a quarter-million population*. Acta Orthop Scand, 1992. **63**(2): p. 213-5.
6. A. Rüter, O.T., M. Wagner, *Unfallchirurgie*. 2008. 1310.
7. Merle M, D.G., Rehart S, *Chirurgie der Hand: Bd 2 Sekundäreingriffe, Traumatologie des Handgelenkes*. Georg Thiema Verlag, Stuttgart, New York, 1999.
8. Schmitt Rainer, L.U., *Bildgebende Diagnostik der Hand*. 1996: p. 280.
9. Nikolaou V., E.N., Papakostidis C., Kanakaris N., Kontakis G., Giannoudis P., *Minimally invasive plate osteosynthesis - an update*. Current Orthopaedics, 2008. **22**.
10. Foundation, A. AO Foundation.
11. Felderhoff, J., et al., [*The operative therapy of distal unstable radius fractures with dorsal and palmar plates. A retrospective study with respect to the DASH-score system*]. Orthopade, 1999. **28**(10): p. 853-63.
12. Glowacki, K.A., A.P. Weiss, and E. Akelman, *Distal radius fractures: concepts and complications*. Orthopedics, 1996. **19**(7): p. 601-8.
13. Melone, C.P., Jr., *Articular fractures of the distal radius*. Orthop Clin North Am, 1984. **15**(2): p. 217-36.
14. Ring, D., et al., *Prospective multicenter trial of a plate for dorsal fixation of distal radius fractures*. J Hand Surg [Am], 1997. **22**(5): p. 777-84.
15. Cooney, W.P., 3rd, J.H. Dobyns, and R.L. Linscheid, *Complications of Colles' fractures*. J Bone Joint Surg Am, 1980. **62**(4): p. 613-9.
16. Jupiter, J.B., et al., *Operative treatment of volar intra-articular fractures of the distal end of the radius*. J Bone Joint Surg Am, 1996. **78**(12): p. 1817-28.
17. Czermak, C., et al., [*Functional results after the Kapandji-Sauve operation for salvage of the distal radioulnar joint*]. Handchir Mikrochir Plast Chir, 2007. **39**(6): p. 403-8.
18. Slater, R.R., Jr., *The Sauve-Kapandji procedure*. J Hand Surg Am, 2008. **33**(9): p. 1632-8.
19. Handoll, H.H., M.V. Vaghela, and R. Madhok, *Percutaneous pinning for treating distal radial fractures in adults*. Cochrane Database Syst Rev, 2007(3): p. CD006080.
20. Rizzo, M., B.A. Katt, and J.T. Carothers, *Comparison of locked volar plating versus pinning and external fixation in the treatment of unstable intraarticular distal radius fractures*. Hand (N Y), 2008. **3**(2): p. 111-7.
21. Orbay, J.L. and D.L. Fernandez, *Volar fixed-angle plate fixation for unstable distal radius fractures in the elderly patient*. J Hand Surg [Am], 2004. **29**(1): p. 96-102.
22. Mehling, I., et al., [*Multidirectional palmar fixed-angle plate fixation for unstable distal radius fracture*]. Handchir Mikrochir Plast Chir, 2007. **39**(1): p. 29-33.
23. Orbay, J.L., *The treatment of unstable distal radius fractures with volar fixation*. Hand Surg, 2000. **5**(2): p. 103-12.

24. Siebert, H.R. and T. Grossmann, [*Guidelines: treatment of distal radius fracture*]. Langenbecks Arch Chir Suppl Kongressbd, 1997. **114**: p. 138-41.
25. Schupp, A., et al., [*Distal radius fractures. 2.4 mm locking compression plates. Are they worth the effort?*]. Chirurg, 2003. **74**(11): p. 1009-17.
26. Kapoor, H., A. Agarwal, and B.K. Dhaon, *Displaced intra-articular fractures of distal radius: a comparative evaluation of results following closed reduction, external fixation and open reduction with internal fixation*. Injury, 2000. **31**(2): p. 75-9.
27. Axelrod, T.S. and R.Y. McMurtry, *Open reduction and internal fixation of comminuted, intraarticular fractures of the distal radius*. J Hand Surg [Am], 1990. **15**(1): p. 1-11.
28. Hove, L.M., P. Helland, and A.O. Molster, *Dynamic traction for unstable fractures of the distal radius*. J Hand Surg [Br], 1999. **24**(2): p. 210-4.
29. Dumont, C., et al., [*Results of palmar T-plate osteosynthesis in unstable fractures of the distal radius*]. Chirurg, 2003. **74**(9): p. 827-33.
30. Jakob, M., D.A. Rikli, and P. Regazzoni, *Fractures of the distal radius treated by internal fixation and early function. A prospective study of 73 consecutive patients*. J Bone Joint Surg Br, 2000. **82**(3): p. 340-4.
31. Peine, R., et al., *Comparison of three different plating techniques for the dorsum of the distal radius: a biomechanical study*. J Hand Surg Am, 2000. **25**(1): p. 29-33.
32. Rikli, D.A. and P. Regazzoni, *Fractures of the distal end of the radius treated by internal fixation and early function. A preliminary report of 20 cases*. J Bone Joint Surg Br, 1996. **78**(4): p. 588-92.
33. Rikli, D.A., P. Regazzoni, and R. Babst, [*Management of complex distal radius fractures*]. Zentralbl Chir, 2003. **128**(12): p. 1008-13.
34. Orbay, J.L. and A. Touhami, *Current concepts in volar fixed-angle fixation of unstable distal radius fractures*. Clin Orthop Relat Res, 2006. **445**: p. 58-67.
35. Campbell, D.A., *Open reduction and internal fixation of intra articular and unstable fractures of the distal radius using the AO distal radius plate*. J Hand Surg Br, 2000. **25**(6): p. 528-34.
36. Sakhaii, M., et al., [*Results after palmar plate-osteosynthesis with angularly stable T-plate in 100 distal radius fractures: a prospective study*]. Unfallchirurg, 2003. **106**(4): p. 272-80.
37. Orbay, J.L. and D.L. Fernandez, *Volar fixation for dorsally displaced fractures of the distal radius: a preliminary report*. J Hand Surg [Am], 2002. **27**(2): p. 205-15.
38. Arora, R., et al., *Palmar locking plate for treatment of unstable dorsal dislocated distal radius fractures*. Arch Orthop Trauma Surg, 2005. **125**(6): p. 399-404.
39. Schmelzer-Schmied, N., et al., *Comparison of external fixation, locking and non-locking palmar plating for unstable distal radius fractures in the elderly*. Int Orthop, 2008.
40. Downing, N.D. and A. Karantana, *A revolution in the management of fractures of the distal radius?* J Bone Joint Surg Br, 2008. **90**(10): p. 1271-5.
41. Rozental, T.D. and P.E. Blazar, *Functional outcome and complications after volar plating for dorsally displaced, unstable fractures of the distal radius*. J Hand Surg [Am], 2006. **31**(3): p. 359-65.
42. Thielke, K.H., et al., [*Angularly stable radius plate: progress in treatment of problematic distal radius fracture?*]. Chirurg, 2003. **74**(11): p. 1057-63.
43. Kambouroglou, G.K. and T.S. Axelrod, *Complications of the AO/ASIF titanium distal radius plate system (pi plate) in internal fixation of the distal radius: a brief report*. J Hand Surg Am, 1998. **23**(4): p. 737-41.

44. Rozentel, T.D., P.K. Beredjiklian, and D.J. Bozentka, *Functional outcome and complications following two types of dorsal plating for unstable fractures of the distal part of the radius*. J Bone Joint Surg Am, 2003. **85-A**(10): p. 1956-60.
45. Arora, R., et al., *Complications following internal fixation of unstable distal radius fracture with a palmar locking-plate*. J Orthop Trauma, 2007. **21**(5): p. 316-22.
46. Windolf J, H.M., Schädel-Höpfner M *Ergebnisse der palmaren winkelstabilen Plattenosteosynthese am distalen Radius*. Trauma Berufskrankheit 2008(10): p. 236-240.
47. Tas, A.C., *Preparation of porous apatite granules from calcium phosphate cement*. J Mater Sci Mater Med, 2008. **19**(5): p. 2231-9.
48. *Winkelstabile Matrixplatte*. 2005, Stryker GmbH & Co. KG.
49. *Visuelle Analogskala*. 2010, Mundipharma.
50. Beaton DE, K.J., Fossel AH, Wright JG, Tarasuk V, Bombardier C, *Measuring the Whole or the Parts? Validity, Reliability & Responsiveness of the Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand Outcome Measure in Different Regions of the Upper Extremity*. Journal of Hand Therapy 2001. **14**(2): p. 128-146.
51. Solway S, B.D., McConnell S, Bombardier C, *The DASH Outcome Measure User's Manual*. 2002.
52. Beaton DE, D.A., Hudak P, McConnell S, *he DASH (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand) Outcome Measure: What Do We Know About It Now?* British Journal of Hand Therapy, 2001. **6**: p. 109-118.
53. Fernandez, D.L. and W.B. Geissler, *Treatment of displaced articular fractures of the radius*. J Hand Surg Am, 1991. **16**(3): p. 375-84.
54. Hoffmann, T.F., R. Ruppert, and D. Renneker, *[Treatment results after surgical therapy of distal radius fractures]*. Unfallchirurg, 1994. **97**(9): p. 472-7.
55. Hove, L.M., et al., *Prediction of secondary displacement in Colles' fracture*. J Hand Surg Br, 1994. **19**(6): p. 731-6.
56. Langenberg, R., *[Conservative treatment of distal radius fractures. Results of a retrospective study]*. Unfallchirurg, 1989. **92**(1): p. 1-5.
57. Lenoble, E., et al., *[Fractures of the distal radius with dorsal displacement: a comparative study of the predictive value of 6 classifications]*. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot, 1996. **82**(5): p. 396-402.
58. Missakian, M.L., et al., *Open reduction and internal fixation for distal radius fractures*. J Hand Surg Am, 1992. **17**(4): p. 745-55.
59. Strohm, P.C., et al., *[Is the locking, 3.5 mm Palmar T-Plate the implant of choice for displaced distal radius fractures?]*. Z Orthop Unfall, 2007. **145**(3): p. 331-7.
60. Azzopardi, T., et al., *Unstable extra-articular fractures of the distal radius: a prospective, randomised study of immobilisation in a cast versus supplementary percutaneous pinning*. J Bone Joint Surg Br, 2005. **87**(6): p. 837-40.
61. Rodriguez-Merchan, E.C., *Plaster cast versus percutaneous pin fixation for comminuted fractures of the distal radius in patients between 46 and 65 years of age*. J Orthop Trauma, 1997. **11**(3): p. 212-7.
62. Kongsholm, J. and C. Olerud, *Plaster cast versus external fixation for unstable intraarticular Colles' fractures*. Clin Orthop Relat Res, 1989(241): p. 57-65.
63. Cooney, W.P., 3rd, R.L. Linscheid, and J.H. Dobyns, *External pin fixation for unstable Colles' fractures*. J Bone Joint Surg Am, 1979. **61**(6A): p. 840-5.
64. Asche, G., *[Treatment of radius fractures with a newly developed dynamic external fixator]*. Zentralbl Chir, 1995. **120**(12): p. 952-8.

65. Voigt, C. and R. Rahmzadeh, [*Injuries of the wrist joint including carpal bones*]. *Unfallchirurg*, 1997. **100**(1): p. 56-68; quiz 68.
66. Edwards, G.S., Jr., *Intra-articular fractures of the distal part of the radius treated with the small AO external fixator*. *J Bone Joint Surg Am*, 1991. **73**(8): p. 1241-50.
67. Jonsson, U., *External fixation for redislocated Colles' fractures*. *Acta Orthop Scand*, 1983. **54**(6): p. 878-83.
68. Handoll, H.H., J.S. Huntley, and R. Madhok, *External fixation versus conservative treatment for distal radial fractures in adults*. *Cochrane Database Syst Rev*, 2007(3): p. CD006194.
69. Abbaszadegan, H. and U. Jonsson, *External fixation or plaster cast for severely displaced Colles' fractures? Prospective 1-year study of 46 patients*. *Acta Orthop Scand*, 1990. **61**(6): p. 528-30.
70. Christensen, O.M., et al., *Plaster cast compared with bridging external fixation for distal radius fractures of the Colles' type*. *Int Orthop*, 2001. **24**(6): p. 358-60.
71. Howard, P.W., et al., *External fixation or plaster for severely displaced comminuted Colles' fractures? A prospective study of anatomical and functional results*. *J Bone Joint Surg Br*, 1989. **71**(1): p. 68-73.
72. Koh, S., et al., *Volar fixation for dorsally angulated extra-articular fractures of the distal radius: a biomechanical study*. *J Hand Surg Am*, 2006. **31**(5): p. 771-9.
73. Drobetz, H., et al., *Volar fixed-angle plating of distal radius extension fractures: influence of plate position on secondary loss of reduction--a biomechanical study in a cadaveric model*. *J Hand Surg Am*, 2006. **31**(4): p. 615-22.
74. Liporace, F.A., et al., *A biomechanical comparison of two volar locked plates in a dorsally unstable distal radius fracture model*. *J Trauma*, 2006. **61**(3): p. 668-72.
75. Willis, A.A., et al., *Internal fixation of dorsally displaced fractures of the distal part of the radius. A biomechanical analysis of volar plate fracture stability*. *J Bone Joint Surg Am*, 2006. **88**(11): p. 2411-7.
76. Grindel, S.I., et al., *Biomechanical comparison of fixed-angle volar plate versus fixed-angle volar plate plus fragment-specific fixation in a cadaveric distal radius fracture model*. *J Hand Surg Am*, 2007. **32**(2): p. 194-9.
77. Blythe, M., et al., *Volar versus dorsal locking plates with and without radial styloid locking plates for the fixation of dorsally comminuted distal radius fractures: A biomechanical study in cadavers*. *J Hand Surg Am*, 2006. **31**(10): p. 1587-93.
78. Osada, D., et al., *Comparison of different distal radius dorsal and volar fracture fixation plates: a biomechanical study*. *J Hand Surg Am*, 2003. **28**(1): p. 94-104.
79. Freeland, A.E. and K.T. Luber, *Biomechanics and biology of plate fixation of distal radius fractures*. *Hand Clin*, 2005. **21**(3): p. 329-39.
80. Drobetz, H. and E. Kutscha-Lissberg, *Osteosynthesis of distal radial fractures with a volar locking screw plate system*. *Int Orthop*, 2003. **27**(1): p. 1-6.
81. Gartland, J.J., Jr. and C.W. Werley, *Evaluation of healed Colles' fractures*. *J Bone Joint Surg Am*, 1951. **33-A**(4): p. 895-907.
82. Handoll, H.H. and R. Madhok, *From evidence to best practice in the management of fractures of the distal radius in adults: working towards a research agenda*. *BMC Musculoskelet Disord*, 2003. **4**: p. 27.
83. Kamano, M., et al., *Palmar plating system for Colles' fractures--a preliminary report*. *J Hand Surg Am*, 2005. **30**(4): p. 750-5.

84. Lee, H.C., et al., *Fixation of distal radius fractures using AO titanium volar distal radius plate*. Hand Surg, 2003. **8**(1): p. 7-15.
85. Voigt, C. and H. Lill, *[What advantages does volar plate fixation have over K-wire fixation for distal radius extension fractures in the elderly?]*. Unfallchirurg, 2006. **109**(10): p. 845-6, 848-54.
86. Uzdil T, N.W., Bauschke A, Winker KH., *Die palmare winkelstabile Plattenostesynthese bei distalen Radiusfrakturen*. Akt. Traumatologie, 2001. **4**: p. 141 - 148.
87. Walz, M., B. Kolbow, and F. Auerbach, *[Do fixed-angle T-plates offer advantages for distal radius fractures in elderly patients?]*. Unfallchirurg, 2004. **107**(8): p. 664-6, 668-70.
88. Figl, M., et al., *Volar fixed-angle plate osteosynthesis of unstable distal radius fractures: 12 months results*. Arch Orthop Trauma Surg, 2009.
89. Jupiter, J.B., M. Marent-Huber, and L.C.P.S. Group, *Operative management of distal radial fractures with 2.4-millimeter locking plates. A multicenter prospective case series*. J Bone Joint Surg Am, 2009. **91**(1): p. 55-65.
90. Dr. Strassmair M., P.D.W.K., *Korrektur posttraumatischer Fehlstellungen am distalen Radius*. Orthopädie & Rheuma, 2001. **3/2001**.
91. Beyermann, K., H. Krimmer, and U. Lanz, *[TFCC (Triangular Fibrocartilage Complex) lesions. Diagnosis and therapy]*. Orthopade, 1999. **28**(10): p. 891-8.
92. Malone, K.J., et al., *Surgical correction of dorsally angulated distal radius malunions with fixed angle volar plating: a case series*. J Hand Surg Am, 2006. **31**(3): p. 366-72.
93. Frank, J., et al., *[Concomitant injuries of distal radius fractures]*. Unfallchirurg. **113**(10): p. 796, 797-803.
94. Al-Rashid, M., K. Theivendran, and M.A. Craigen, *Delayed ruptures of the extensor tendon secondary to the use of volar locking compression plates for distal radial fractures*. J Bone Joint Surg Br, 2006. **88**(12): p. 1610-2.
95. Klug, R.A., C.M. Press, and M.H. Gonzalez, *Rupture of the flexor pollicis longus tendon after volar fixed-angle plating of a distal radius fracture: a case report*. J Hand Surg Am, 2007. **32**(7): p. 984-8.
96. Cross, A.W. and C.C. Schmidt, *Flexor tendon injuries following locked volar plating of distal radius fractures*. J Hand Surg Am, 2008. **33**(2): p. 164-7.
97. Orbay, J., *Volar plate fixation of distal radius fractures*. Hand Clin, 2005. **21**(3): p. 347-54.
98. Hove, L.M., et al., *Open reduction and internal fixation of displaced intraarticular fractures of the distal radius. 31 patients followed for 3-7 years*. Acta Orthop Scand, 1997. **68**(1): p. 59-63.
99. Fuller, D.A., et al., *Carpal canal pressures after volar plating of distal radius fractures*. J Hand Surg Br, 2006. **31**(2): p. 236-9.
100. Atkins, R.M., T. Duckworth, and J.A. Kanis, *Algodystrophy following Colles' fracture*. J Hand Surg Br, 1989. **14**(2): p. 161-4.
101. Atkins, R.M., T. Duckworth, and J.A. Kanis, *Features of algodystrophy after Colles' fracture*. J Bone Joint Surg Br, 1990. **72**(1): p. 105-10.
102. Blumberg, H., et al., *Sympathetic nervous system and pain: a clinical reappraisal*. Behav Brain Sci, 1997. **20**(3): p. 426-34; discussion 435-513.
103. Gradl, G., et al., *[Acute CRPS I (morbus sudeck) following distal radial fractures--methods for early diagnosis]*. Zentralbl Chir, 2003. **128**(12): p. 1020-6.
104. Kissling, R. and M. Sager, *[Sudeck's disease--its clinical picture and therapy]*. Unfallchirurgie, 1990. **16**(2): p. 88-94.
105. Kissling, R.O., et al., *[Prevention of recurrence of Sudeck's disease with calcitonin]*. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot, 1991. **77**(8): p. 562-7.

106. Martinez-Salio, A., et al., [*Complex regional pain syndrome type I: a frequent neurological disease. Reports of two atypical cases*]. Rev Neurol, 2007. **44**(4): p. 212-6.
107. Green, D.P. and E.T. O'Brien, *Classification and management of carpal dislocations*. Clin Orthop Relat Res, 1980(149): p. 55-72.
108. Green, D.P., *Carpal dislocations and instabilities*. Green DP, Hotchkiss RN (eds) Operative hand surgery, 1993.
109. Eckstein, F., et al., *Bone strength at clinically relevant sites displays substantial heterogeneity and is best predicted from site-specific bone densitometry*. J Bone Miner Res, 2002. **17**(1): p. 162-71.
110. Koshimune, M., et al., *A randomized comparison of locking and non-locking palmar plating for unstable Colles' fractures in the elderly*. J Hand Surg Br, 2005. **30**(5): p. 499-503.
111. Saklad, M.M.D., *Grading of Patients for Surgical Procedures*. Anesthesiology. **2**(3): p. 281-284.

7.4 Danksagung

Im Folgenden möchte ich mich gerne bei den aufgeführten Personen für die Unterstützung und die vielen wertvollen Ratschläge bei der Anfertigung dieser Dissertation bedanken.

Bedanken möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Joachim Windolf, in dessen Klinik ich meine Dissertation durchführen durfte und welcher mir das Thema überlassen hat.

Mein Dank gilt auch meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. med. Mohssen Hakimi, welcher die Überarbeitung dieser Dissertation so zügig ermöglicht hat und mir immer mit hilfreichen Ideen zur Seite stand.

Ein ganz herzlicher Dank gilt meinem Betreuer, Herrn Prof. Dr. med. Pascal Jungbluth für die Anregung zu dieser Arbeit und seine ständige Diskussionsbereitschaft.

Ich widme diese Arbeit meinen Eltern und meinen Brüdern Nicolai und Konstantin, die immer an mich geglaubt und mich unterstützt haben. Ich danke meiner Familie für ihre Anteilnahme und vor allem dafür, dass sie mir das Studium und die Vollendung der Dissertation überhaupt ermöglicht haben.

Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere an Eides statt, dass die Dissertation selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erstellt und die hier vorgelegte Dissertation nicht von einer anderen Medizinischen Fakultät abgelehnt worden ist.

20.03.2017, Janosch Nowak

Unterschrift