

**Aus der Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand-, Plastische und
Wiederherstellungschirurgie (Chirurgische Klinik II)
der Universität Würzburg**

Direktor: Univ.-Prof. Dr. R. Meffert

**CT-Untersuchung bei Radiusfrakturen: Die Rolle der prä- und postoperativen
CT-Diagnostik in Bezug auf Osteosyntheseverfahren und postoperative
Revisionsrate**

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Laura Mages

aus Dörentrup

Würzburg, Mai 2018

Referent/Referentin:

Univ.-Prof. Dr. R. Meffert

Koreferent/Koreferentin:

Priv.-Doz. Dr. med. Markus Kredel

Dekan:

Prof. Dr. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung:

Die Promovendin ist Ärztin

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
1.1	Definition, Grundlagen und Epidemiologie	4
1.2	Anatomie	5
1.2.1	Knochen und Gelenke	5
1.2.2	Verlauf der Nerven	6
1.2.3	Gefäßverlauf	7
1.3	Biomechanik - Das Drei-Säulen-Konzept	7
1.4	Ätiopathogenese und Einteilung der distalen Radiusfraktur	9
1.4.1	Arten der Fraktur und Unfallmechanismus	9
1.4.1.1	Colles-Fraktur	9
1.4.1.2	Smith-Fraktur [12]	9
1.4.1.3	Andere Frakturtypen	10
1.4.2	Klassifikationen	11
1.4.2.1	Melone Klassifikation [17]	12
1.4.2.2	Klassifikation nach Fernandez [20, 21]	12
1.4.2.3	Klassifikation nach Frykman [18]:	13
1.4.2.4	AO-Klassifikation [22]:	15
1.5	Komplikationen	17
1.5.1	Begleitverletzungen	17
1.5.1.1	Verletzungen der Nerven	17
1.5.1.2	Verletzungen des Bandapparates und des Knorpels	18
1.5.1.3	Sehnenverletzungen	19
1.5.1.4	Knöcherner Verletzungen, karpale Frakturen und Luxationen	20
1.6	Behandlungsmöglichkeiten	21
1.6.1	Komplikationen der Operation	23
1.6.1.1	Sehnenverletzungen	23
1.6.1.2	Verkürzung des Radius und ulnares Impingement	24
1.6.1.3	Sekundäre Dislokation	24
1.6.1.4	Vergleich der verschiedenen Behandlungsmethoden	24
1.6.1.5	Unterschiedliche Verfahren	25

1.7	Zielsetzung der Arbeit	26
2.	Material und Methoden.....	28
2.1	Diagnostische Möglichkeiten	28
2.1.1	Radiologische Kriterien des Handgelenks	28
2.1.2	Konventionelle Röntgenaufnahme	30
2.1.3	MRT	31
2.1.4	CT	31
2.1.5	Arthroskopie	32
2.2	Therapieoptionen	33
2.2.1	Ziele und Therapiefindung	33
2.2.2	Konservative Therapie	34
2.2.3	Operative Therapie	35
2.2.3.1	Kirschner-Draht-Osteosynthese	37
2.2.3.2	Schraubenosteosynthese	38
2.2.3.3	Fixateur externe	38
2.2.3.4	Plattenosteosynthese	40
2.2.3.4.1	Geschichtliches	40
2.2.3.4.2	Indikationen und Abwägung gegenüber dem Fixateur externe 42	
2.2.3.4.3	Das Prinzip der Winkelstabilität	43
2.2.3.4.4	Dorsale und palmare Plattensysteme	44
2.2.3.5	Individuelle Versorgung	46
2.2.4	Nachbehandlung.....	47
3.	Studie	49
3.1	Studienbeschreibung	49
3.1.1	Patientenkollektiv	49
3.1.1.1	Patientenkollektiv gesamt	50
3.1.1.2	Gruppe 1.....	52
3.1.1.3	Gruppe 2.....	54
3.1.2	Datenerhebung zur Auswertung der CT-Untersuchungen	58
3.2	Ergebnisse	59
3.2.1	Gruppe 1	59
3.2.2	Gruppe 2	60

3.2.3	Weitere Untersuchungen	61
4.	Diskussion	63
5.	Zusammenfassung.....	71
6.	Literaturverzeichnis:.....	73
7.	Abbildungsverzeichnis	80
8.	Tabellenverzeichnis	80

1. Einleitung

1.1 Definition, Grundlagen und Epidemiologie

Zu den distalen Radiusfrakturen zählen Brüche, die nicht weiter als 3 cm von der distalen radialen Gelenkfläche entfernt sind. Sie stellen mit 20-25% den größten Anteil aller menschlichen Frakturen dar, erst ab einem Alter über 75 Jahren überwiegen Frakturen im Hüftbereich [1]. Unterschieden werden extraartikuläre (ca. 75%) von intraartikulären Frakturen (ca. 25%) [2]. Die Inzidenz liegt derzeit bei 280-440/100.000. Im Alter von über 50 Jahren besteht bei Frauen ein 15-prozentiges, bei Männern ein 2-prozentiges Risiko, sich eine distale Radiusfraktur zuzuziehen (in Europa und den USA) [3, 4]. Durch den demographischen Wandel und die bessere medizinische Versorgung steigt die Inzidenz jedoch vor allem in den Industrieländern bei beiden Geschlechtern. Die Ursache ist eine höhere Lebenserwartung, die daraus resultierende Verbreitung der Osteoporose und die erhöhte Aktivität im Alter („lifestyle“) [5].

Bei der Inzidenz gemessen am Alter ergibt sich eine zweigipflige Verteilungskurve: Ältere Patienten zwischen dem 60. und 70. Lebensjahr sind um ein vielfaches stärker durch Stürze aus geringer Höhe gefährdet als jüngere Menschen, vor allem im häuslichen Umfeld. Das Risiko für Frauen in diesem Alter, sich eine distale Radiusfraktur zuzuziehen ist 6,2-mal höher als bei gleichaltrigen Männern [6]. Mit steigendem Alter schont man sich zunehmend, ist weniger agil und reaktionsträger, sodass es schwieriger wird, die Stürze abzufangen. Auch die Inzidenz kardialer und zerebraler Ischämien, Herzrhythmusstörungen und osteoporotischer Veränderungen der Knochenstruktur steigt bei diesen Patienten. Deshalb ist es nachvollziehbar, dass auch die Anzahl der Frakturen in dieser Altersklasse ansteigt.

Weiterhin ist auch in der Gruppe zwischen 6 und 18 Jahre ein Anstieg der Frakturen zu verzeichnen. Diese sind meist Resultat von Sportunfällen und Hochrasanztraumata bei Verkehrsunfällen. Hier ist die Geschlechterverteilung ausgeglichen [7].

Radiusfrakturen erfordern besondere Sorgfalt in der Behandlung. Während jüngere Patienten auf die Hand beruflich und sportlich angewiesen sind, steht

bei älteren Patienten die Fähigkeit, alltägliche Aufgaben zu verrichten, und damit das gewohnte Lebensumfeld zu erhalten, im Vordergrund. Neben einer möglichst raschen Funktionswiederherstellung (return to daily activity) steht die Vermeidung von mittel- und langfristigen Folgeschäden im Vordergrund.

1.2 Anatomie

1.2.1 Knochen und Gelenke

Im alltäglichen Leben spielt das Handgelenk eine wichtige Rolle. Es besteht insgesamt aus vier einzelnen Gelenken, die einen enormen Bewegungsumfang ermöglichen.

Das Radiocarpal- und das Ulnokarpalgelenk sind für Dorsalextension, Palmarflexion und Radial- bzw. Ulnarabduktion verantwortlich, während das Radioulnargelenk die Pro- und Supination ermöglicht. Das Mediocarpalgelenk unterstützt die anderen Gelenke und vergrößert deren Bewegungsumfang.

Dem proximalen Handgelenk liegen fünf einzelne Knochen zugrunde. Den körpernahen Abschnitt des funktionellen Ei- oder Ellipsengelenkes bilden Radius und Ulna. Das distale Radioulnargelenk ist ein Radgelenk mit nur einer Gelenkachse. Bei der Rotation des Unterarms wird das Ulnaköpfchen in der Incisura articularis des Radius gedreht und ermöglicht so die Supination/Pronation von ca. 90°-0°-90°.

Die beiden Unterarmknochen vervollständigen mit dem Kahnbein (Os scaphoideum) und dem Mondbein (Os lunatum) das Radiocarpalgelenk und mit dem Dreiecksbein (Os triquetrum) das Ulnocarpalgelenk.

Funktionell wichtig ist auch der trianguläre fibrocartilaginäre Komplex (TFCC), der proximal zwischen der Facies articularis carpalis des Radius, dem Processus styloideus der Ulna befestigt ist und im ulnokarpalen Teil des Gelenkes zu den Mittelhandknochen zieht. Dieses intraartikuläre Band ist eine sehr wichtige Komponente für die Stabilität.

Die acht Handwurzelknochen bilden je zu viert eine proximale und eine distale Karpalreihe. Die körpernahe Reihe wird gebildet aus dem Kahnbein (Os scaphoideum), dem Mondbein (Os lunatum), dem Dreiecksbein (Os triquetrum) und dem Erbsenbein (Os pisiforme) und ist mit den Knochen des Unterarms verbunden. Die distale Reihe besteht aus dem großen Vieleckbein (Os trapezium), dem kleinen Vieleckbein (Os trapezoideum), dem Kopfbein (Os capitatum) und dem Hakenbein (Os hamatum). Alle Elemente des Karpus sind aufgrund der straffen Bänder wenig beweglich miteinander verbunden und agieren als sogenannte Amphiarthrosen. Lediglich der S-förmige Gelenkspalt zwischen den zwei Karpalreihen kann den Bewegungsumfang des Handgelenkes vergrößern. Zusammen mit dem proximalen Handgelenk erreicht dieses Gelenk nach der Neutral-Null-Methode einen maximalen Bewegungsumfang von Dorsalextension/Palmarflexion 85° - 0° - 80° und Ulnarabduktion/Radialabduktion 40° - 0° - 30° .

1.2.2 Verlauf der Nerven

Die obere Extremität wird sensibel und motorisch durch die Nerven des Plexus brachialis versorgt, der sich vom fünften zervikalen bis zum ersten thorakalen Segment erstreckt. Die Schulter wird durch direkte Äste des Plexus versorgt, der sich dann in drei Trunci aufteilt: die Trunci superior, medius und inferior. Durch Teilung in je zwei Anteile ordnen sich die Trunci neu in drei Faszikel (Fasciculi lateralis, medialis und posterior). Diese wiederum bringen die drei großen Nerven hervor, die für die Innervation des Unterarmes von Bedeutung sind:

- der N. medianus führt Fasern der Wurzeln von C6 bis Th1 und innerviert die meisten Flexoren des Unterarmes und wenige Handmuskeln. Sensibel versorgt er die Handinnenfläche und teilweise die Finger I-IV.
- Der N. radialis entspringt aus den Wurzeln C5 bis Th1 und innerviert motorisch alle Extensoren des Unterarmes und einen Teil der Handmuskeln. Außerdem ist er für die Sensibilität der Radialseite des Unterarmes und des Handrückens zuständig.

- Der N. ulnaris führt Fasern aus C8 und Th1. Die motorischen Fasern innervieren die fehlenden zwei Flexoren des Unterarms, die kleinen Handmuskeln. Der sensible Teil versorgt die ulnaren eineinhalb Finger.

1.2.3 Gefäßverlauf

Die arterielle Versorgung des Unterarmes erfolgt durch die A. radialis und die A. ulnaris, welche sich aus der A. brachialis speisen.

1.3 Biomechanik - Das Drei-Säulen-Konzept

Biomechanisch und funktionell ist das Handgelenk in drei Säulen aufgeteilt, welche sich die Aufgaben der Kraftübertragung und Stabilisierung teilen:

- Die radiale Säule, bestehend aus der Processus styloideus radii und der Fossa scaphoidea, überträgt verhältnismäßig wenig Kraft über das Handgelenk. Durch die dort inserierenden Bänder, welche zum Karpus führen, wird der Gelenkspalt überbrückt und nach dorsal abgestützt.
- Die intermediäre Säule wird gebildet aus dem Radioulnargelenk und der Fossa lunata, über welche die eigentliche radiale Kraftübertragung stattfindet. Zwischen dem Radius und der anliegenden Ulnaseite spannen sich radioulnare Bänder und die feste Membrana interossea auf, welche für eine stabile Verbindung der Knochen vor allem während der Pro- bzw. Supination sorgen. Dadurch sind die intermediäre und die ulnare Säule miteinander verbunden.
- Die ulnare Säule ist zusammengesetzt aus der distalen Ulna, den ulnokarpalen bzw. radioulnaren Bändern und dem Discus triangularis, zusammengefasst auch als TFCC (trinikulärer fibrocartilaginärer Komplex) bezeichnet. Dieser ist besonders wichtig für die Stabilität des Gelenkes. Er ist eine zentrale Komponente der Kraftübertragung zwischen dem Karpus und den Knochen des Unterarmes, weshalb er auch sehr anfällig für degenerative Veränderungen ist. Diese sind bei 100% aller Patienten ab dem 50. Lebensjahr vorhanden. Schädigungen

des TFCC oder auch das ulnare Impingementsyndrom bereiten deshalb viele Beschwerden und sind sehr schmerzhaft [8].

Somit findet die Kraftübertragung vorwiegend auf der intermediären und ulnaren Seite statt. Dies erklärt auch, warum bei Radiusfrakturen häufiger Fragmente im Bereich der Fossa lunata entstehen, sehr selten dagegen am Radiusstyloid.

Bei Ulnar- bzw. Radialabduktion verlagert sich das Zentrum der Kraftübertragung dann etwas auf die jeweilige Seite, die Bewegung wird aber durch das Radiusstyloid bzw. durch den TFCC beschränkt und stabilisiert. Bei Flexion oder Extension des Handgelenks bleibt die Kraft jedoch immer zentriert, da die Extensoren und Flexoren das Handgelenk in der Frontalebene stabilisieren [9, 10].

Die Anatomie und das Zusammenspiel der Muskeln, Sehnen und Knochen sind überaus komplex, was durch die vielen ineinandergreifenden Elemente nahezu den Bewegungsradius eines Kugelgelenks ermöglicht. Seine korrekte Funktion stellt einen bedeutenden Baustein für die Lebensqualität dar. Deshalb ist es äußerst wichtig, die Kongruenz des Gelenkes nach Verletzungen und Frakturen wiederherzustellen und zu erhalten. Die distale Radiusfraktur, oft mit Komplikationen im Verlauf, ist die häufigste Ursache für eine Funktionsbeeinträchtigung oder Schmerzen. Das Ergebnis wird durch die richtige Kombination von Diagnostik, Operationstechnik, Nachsorge und Rehabilitationsmaßnahmen bestimmt und stellt die behandelnden Ärzte bei der Auswahl der optimalen Therapie nicht selten auf die Probe.

1.4 Ätiopathogenese und Einteilung der distalen Radiusfraktur

1.4.1 Arten der Fraktur und Unfallmechanismus

1.4.1.1 Colles-Fraktur

Ausschlaggebend für die Art der Fraktur ist die Stellung des Handgelenks zum Zeitpunkt des Traumas. In 85% der Fälle kommt es durch den Fall auf das dorsalextendierte Handgelenk zur Colles-Fraktur [11].

Dabei resultiert eine Abkipfung der Fraktur nach dorsal. Oftmals findet sich dabei eine dorsale Trümmerzone.



Abbildung 1: Colles-Fraktur a.p. und seitlich

1.4.1.2 Smith-Fraktur [12]

Im Gegensatz dazu verursacht ein Sturz auf das palmarflektierte Handgelenk eine Smith-Fraktur, bei der die radiokarpale Gelenkfläche nach palmar abkippt. Robert Smith beschrieb 1847 erstmals diese Fraktur.

Sie werden nach Thomas in drei Typen eingeteilt:

- Typ I beschreibt eine extraartikulär verlaufende Radiusquerfraktur.
- Die Typ II-Fraktur wird auch Reversed-Barton-Fraktur genannt. Der Bruch verläuft intraartikulär mit einer Abspaltung der volaren Gelenkfläche. Dadurch verschiebt sich auch der Karpus nach volar.
- Die Typ III-Fraktur verläuft schräg extraartikulär am distalen Radius.



Abbildung 2: Smith-Fraktur seitlich und a.p.

1.4.1.3 Andere Frakturtypen

Diese beiden Frakturtypen machen den Großteil aller distalen Handgelenksbrüche aus.

Daneben gibt es seltenere wie die Chauffeur-Fraktur, ein intraartikulärer Keilbruch mit Abriss des Proc. styloideus radii, oder die Barton-Fraktur, eine Unterart der Colles-Fraktur, bei der die dorsale Lippe des distalen Radius

betroffen ist, wobei begleitend zum intraartikulären Bruch auch eine Luxation des Radiokarpalgelenks möglich ist. Durch ein axiales Stauchungstrauma, beispielsweise beim Boxen oder durch Verkehrsunfälle, kann es zur „Die-punch-Fraktur“ kommen, einer Impressionsfraktur der Fossa lunata radii. Wenn der palmare Rand des distalen Radius beschädigt ist, resultiert eine Reversed-Barton-Fraktur, äquivalent zur Barton-Fraktur eine Unterform der Smith-Fraktur, deshalb auch Smith II genannt. Durch einen Bruch des distalen Radiuschaftes kombiniert mit einer Subluxation der Ulna im distalen Radioulnargelenk kommt es zu einer Galeazzi-Fraktur.

1.4.2 Klassifikationen

Um die distalen Radiusfrakturen genauer einzuteilen, sind verschiedenste Klassifikationen entstanden. Im Grunde unterscheidet man intraartikuläre von extraartikulären Frakturen. Die meisten Systeme entstanden in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts, als durch die Entwicklungen in der Radiologie auch die Frakturwinkel und eine intraartikuläre Beteiligung in die Klassifikationen einbezogen werden konnten. Jedoch sind nicht mehr alle Klassifikationen in der aktuellen Literatur vertreten.

Nissen-Lie zum Beispiel legte in seinem System 1939 Wert auf das Vorhandensein einer intraartikulären Beteiligung, einer metaphysären Trümmerzone und alleinigen Fehlstellungen [13] [14]. Lidstrom erweiterte 1959 diese Einteilung und unterteilte sie in 6 Gruppen, um die Fraktur noch weiter zu spezifizieren [15].

Seltener wird noch die Klassifikation der intraartikulären Frakturen nach Melone angewandt. Sie veranschaulicht vor allem die Pathophysiologie und den Hergang des Bruches [16, 17]. Auch Fernandez hat sich bei seiner Einteilung daran orientiert.

Bis heute durchgesetzt haben sich die am häufigsten verwendete Einteilung der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) und die Klassifikation nach Frykman.

Letzterer bezog 1967 die radioulnare und radiokarpale Komponente und das Vorhandensein einer Fraktur des Proc. styloideus ulnae mit ein, wobei die Richtung und das Ausmaß des Bruchs unbeachtet blieb. Er unterschied extra- und intraartikuläre Frakturen in Bezug auf eine radioulnare Beteiligung. Rückschlüsse auf Therapieverfahren können jedoch nicht gezogen werden, da die Stellung der Fragmente nicht berücksichtigt wird [18, 19].

1.4.2.1 Melone Klassifikation [17]

Bei der Einteilung nach Melone wird der distale Anteil des Radius in vier Anteile geteilt, bestehend aus Schaft, Processus styloideus, einem dorsomedialen Fragment und einem palmarmedialen Fragment. Melone unterteilt die Frakturen in fünf Typen mit aufsteigendem Schweregrad.

- **Typ I** beschreibt eine nicht-dislozierte, stabile Fraktur ohne Stauchung.
- Die **Typ II**-Fraktur ist instabil mit Dislokation, Impression des medialen Komplexes und Einstauchung sowohl der palmaren als auch der dorsalen Kortikalis. Hier wird eingeteilt in **Typ IIA** (reponierbar) und **Typ IIB** (nicht reponierbar).
- Bei der instabilen **Typ III**-Fraktur ist wie bei Typ II eine Dislokation des dorsomedialen und palmarmedialen Kompartiments vorhanden. Außerdem besteht hier ein zusätzlich disloziertes Radiuschaftfragment.
- **Typ IV** beschreibt eine instabile Fraktur mit Dislokation und Derotation des dorsoulnaren und des palmarulnaren medialen Fragments.

1.4.2.2 Klassifikation nach Fernandez [20, 21]

Fernandez orientierte sich bei seiner Einteilung wie Melone ebenfalls am Pathomechanismus und unterschied fünf Frakturarten.

- **Typ I** entsteht bei Einwirkung von Biegekräften. Es resultiert eine Smith- oder Colles-Fraktur, welche instabil oder stabil sein kann.

- **Typ II-** Frakturen werden durch eine Abscherung entweder der dorsalen (Barton-Fraktur) oder der volaren Gelenkfläche hervorgerufen. Auch hier gibt es stabile und instabile Varianten.
- Die **Typ III-**Frakturen fallen unter die Einteilung von Melone. Durch axiale Stauchung kommt es zur Kompressionsfraktur mit Fraktur des distalen Radius in die vier Komponenten, wie bei Melone beschrieben („Die-Punch-Fraktur“).
- Die **Typ IV-**Fraktur beschreibt eine Avulsionsfraktur bei Handgelenksluxation. Entsprechend resultiert auch ein Abriss der Bandstrukturen zwischen Radius, Ulna und Handwurzelknochen.
- **Typ V-**Frakturen entstehen bei Hochrasanztraumata. Hier liegt eine Kombination der Frakturtypen I-IV vor.

1.4.2.3 Klassifikation nach Frykman [18]:

- Typ I: extraartikuläre Fraktur
- Typ II: extraartikuläre Fraktur mit Absprengung des Proc. Styloideus ulnae
- Typ III: Fraktur der radio-karpalen Gelenkfläche
- Typ IV: Fraktur der radio-karpalen Gelenkfläche mit Absprengung des Proc. Styloideus ulnae
- Typ V: Fraktur der radio-ulnaren Gelenkfläche
- Typ VI: Fraktur der radio-ulnaren Gelenkfläche mit Absprengung des Proc. Styloideus ulnae
- Typ VII: Fraktur sowohl der radio-karpalen als auch der radio-ulnaren Gelenkfläche
- Typ VIII: Fraktur sowohl der radio-karpalen als auch der radio-ulnaren Gelenkfläche mit Absprengung des Proc. Styloideus ulnae

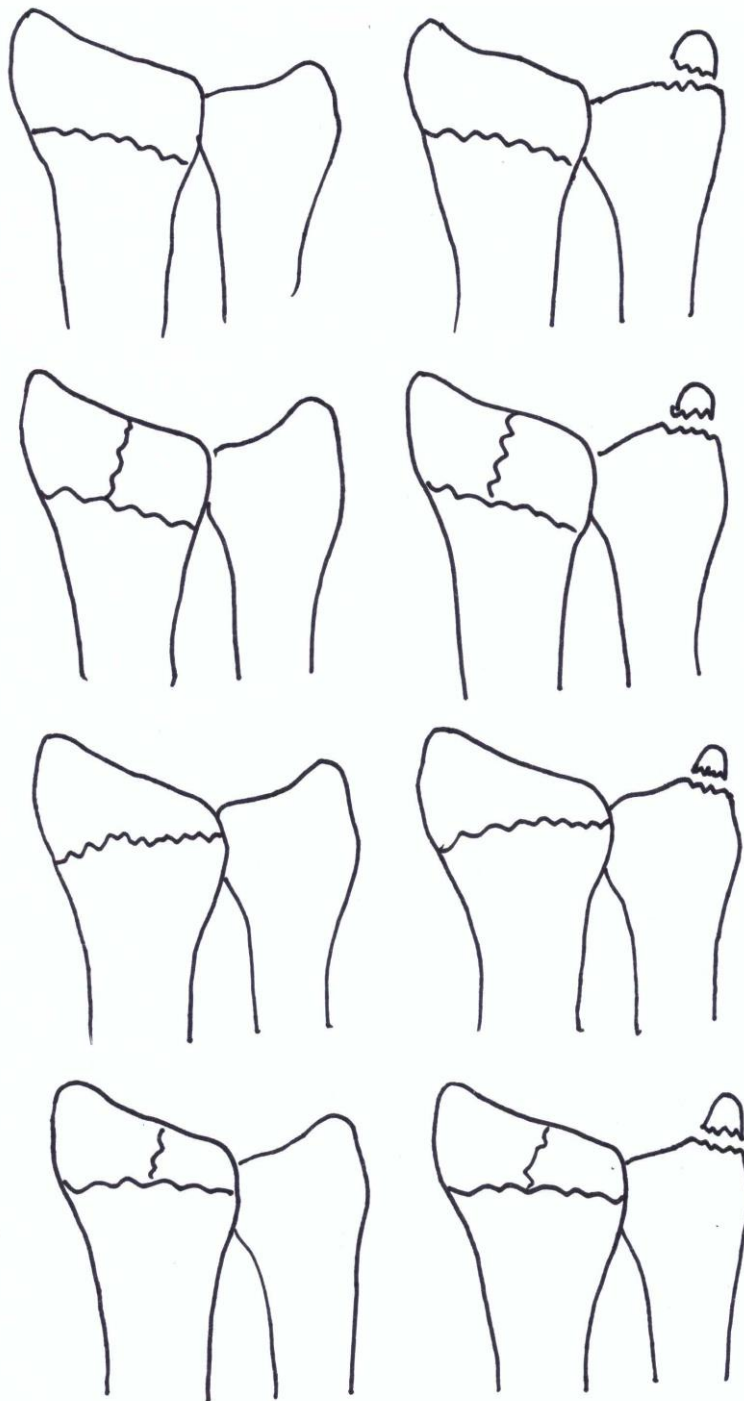


Abbildung 3: Frykman-Klassifikation: 1. Reihe: Typ I und II; 2. Reihe: Typ III und IV, 3. Reihe: Typ V und VI, 4. Reihe: Typ VII und VIII

1.4.2.4 AO-Klassifikation [22]:

Die AO-Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen hat sich zum Ziel genommen, eine Fraktуреinteilung des gesamten Körpers vorzunehmen, die weltweit eine standardisierte Zuordnung in Bezug auf die Behandlung erlaubt. Hierbei wird jede Art von Fraktur durch eine vierstellige Kennzahl beschrieben:

Bedeutung der ersten Zahl:

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

Bedeutung der zweiten Zahl:

- 1: proximal
- 2: diaphysär
- 3: distal

In der AO-Klassifikation hat ein distaler Bruch des Unterarms demnach die Nummer 23. Die letzten beiden Chiffren zeigen die Art des Bruches an:

- 23 A: Extraartikuläre Frakturen
 - 23 A1: extraartikuläre Fraktur der Ulna, intakter Radius
 - 23 A2: einfache extraartikuläre Fraktur des Radius
 - 23 A3: multifragmentierte extraartikuläre Fraktur des Radius
- 23 B: Partiell intraartikuläre Frakturen
 - 23 B1: saggitale, partiell intraartikuläre Radiusfraktur

- 23 B2: partiell intraartikuläre Radiusfraktur mit dorsaler Absprengung (Barton-Fraktur)
- 23 B3: partiell intraartikuläre Radiusfraktur mit volarer Absprengung (Reversed-Barton-Fraktur, Smith II)
- 23 C: Komplett intraartikuläre Frakturen
 - 23 C1: einfach intraartikuläre und einfach methaphysäre Fraktur
 - 23 C2: einfach intraartikulär und metaphysär multifragmentierte Fraktur
 - 23 C3: intraartikulär multifragmentierte Fraktur

Je nach Dislokation können die jeweiligen Frakturen (A1-3, B1-3, C1-3) in weitere Frakturtypen (A1.1-A1.3, A2.1-A2.3 etc.) eingeteilt werden.

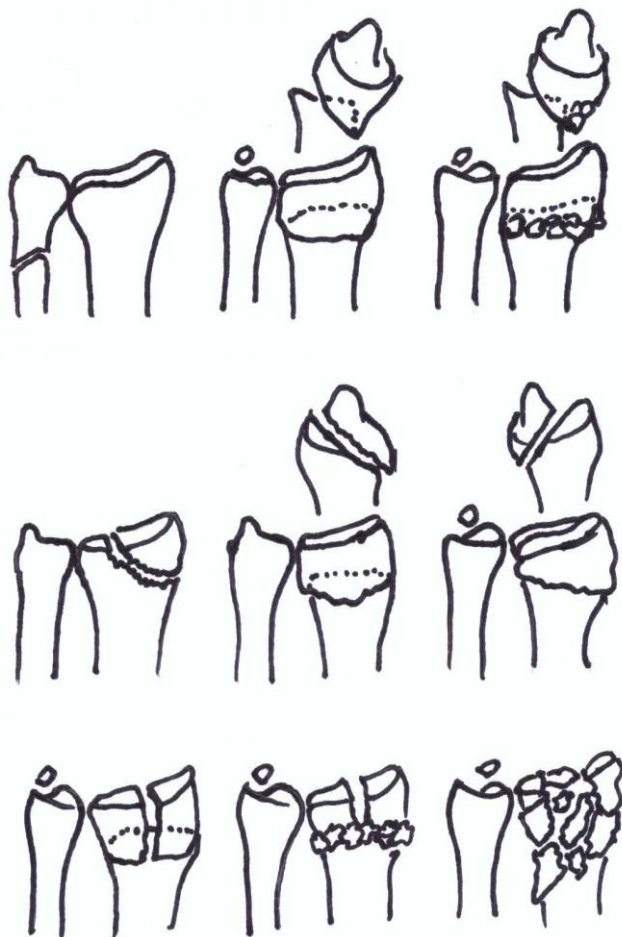


Abbildung 4: AO-Klassifikation; 1. Reihe 23 A1, A2 und A3; 2. Reihe: 23 B1, B2 und B3; 3. Reihe: 23 C1, C2 und C3

1.5 Komplikationen

Eine adäquate Versorgung der distalen Radiusfraktur ist von höchster Bedeutung. Wichtig hierfür ist nicht nur die Klassifikation, es gibt auch gewisse Umstände wie Begleitverletzungen oder Vorerkrankungen der Patienten, welche gehäuft Komplikationen hervorrufen und eine postoperative Computertomographie rechtfertigen können. In einer Studie hat Kordasiewicz gezeigt, dass bei all seinen untersuchten Patienten die Fraktur gravierender verschoben war, als bei der einfachen Röntgenuntersuchung vermutet. Außerdem wurden bei der dort durchgeführten arthroskopischen Untersuchung viele vorher nicht festgestellte zusätzliche Weichteilverletzungen entdeckt.[23]

1.5.1 Begleitverletzungen

Es ist wichtig, begleitende Verletzungen vor einem Eingriff auszuschließen. Nicht entdeckte Defekte können in der Folge chronisch verlaufen und zu Problemen führen, die bis hin zum karpalen Kollaps (SLAC wrist) reichen. Dies würde im schlimmsten Fall eine Teilversteifung des Handgelenks nach sich ziehen, welche durch eine genaue präoperative Diagnostik und eine angepasste Behandlung meist zu verhindern gewesen wäre [24, 25].

1.5.1.1 Verletzungen der Nerven

Eine distale Radiusfraktur tritt meist isoliert auf. Jedoch können bei einem Trauma des Handgelenks begleitend auch umliegende Strukturen beschädigt werden.

Cooney hat festgestellt, dass eine distale Radiusfraktur in 31% der Fälle mit einer Komplikation verknüpft ist. Dabei zeigt sich eine Korrelation zwischen dem Schweregrad der Fraktur und der Inzidenz der Komplikationen [26].

Die wohl häufigste Komplikation ist die Verletzung des Medianusnervs [26, 27]. Die Inzidenz wird in der Literatur zwischen 5 % und 12 % angegeben [28-31].

Ein Impingement kann unter der Faszie des Unterarmes lokalisiert sein, häufiger ist jedoch eine Einklemmung des Nervs im Karpaltunnel. Durch die Fraktur können eine Schwellung und durch eine Antikoagulation bei älteren Patienten auch Hämatome entstehen, die eine lokale Kompression des Nervs hervorrufen [27, 32].

Eine direkte Kontusion des Nervs im Rahmen des Traumas wäre ebenfalls möglich, jedoch ist diese sehr selten, da der Medianusnerv durch die Sehnen des M. pronator quadratus und der Flexoren geschützt ist [33]. Eine prophylaktische Entlastung der Flexorenloge intraoperativ ist dennoch nicht sinnvoll [34].

Eine Verletzung der anderen großen Nerven der Hand ist seltener. Frykman beschreibt eine Inzidenz einer Ulnarisläsion von 0,9% [18]. Der Grund dafür ist, dass dieser Nerv ebenfalls, wie der Radialisnerv auch, durch die Flexorensehnen und den M. pronator quadratus verdeckt ist. Weiterhin liegt die Guyon'sche Loge etwas weiter von der Frakturlokalisierung entfernt. Eine kombinierte Verletzung des Medianus- und Ulnarisnervs ist äußerst selten [18, 35-37].

Läsionen des N. radialis sind am seltensten und meist iatrogener Natur [26].

1.5.1.2 Verletzungen des Bandapparates und des Knorpels

68-98% der Begleitverletzungen betreffen den Bandapparat des Handgelenks, wohingegen Läsionen des Gelenkknorpels 32% ausmachen [38, 39]. Der primäre Stabilisator des distalen Radioulnargelenks ist der trianguläre fibrocartilaginäre Komplex (TFCC).

Eine Läsion des TFCC kommt am häufigsten vor (26-78%) [38-40], während die scapholunären Läsionen mit einer Inzidenz von 19-54% an zweiter Stelle liegen [39, 41-43]. Letztere treten mit hoher Signifikanz vermehrt bei saggitalem Frakturverlauf auf diese Bandstruktur zu auf [44]. Im Röntgenbild kann man bei der a.-p.-Aufnahme durch Dislokation und Überlagerung das Ringzeichen und das Terry-Thomas-Sign, (einen vergrößerten Abstand von über 2 Millimetern

zwischen den beiden Handwurzelknochen) erkennen. In der Seitenaufnahme vergrößert sich der SL-Winkel auf über 70°. Das lunotriquetrale Band ist mit ca. 9% nicht so häufig betroffen [38, 39, 42, 45, 46].

Je nach Verletzung und Lokalisation können motorische Schwäche, Sensibilitätsausfälle oder Blutungen auftreten. Eine sichere Beurteilung und Ausschluss von ligamentären und kartilaginären Begleitverletzungen gewährleistet nur eine Arthroskopie, denn sie erlaubt die direkte Einsicht auf die Bänder, die radiocarpale Gelenkfläche und den TFCC. Es besteht außerdem die Möglichkeit, ohne großes Trauma ein Debridement oder die Korrektur einer eventuellen Gelenkstufe durchzuführen. Auch eine Läsion des TFCC oder der Bänder kann in der gleichen Sitzung behandelt werden [47-56]. Das Outcome von Frakturen mit behandelter SL-Band-Läsion ist gleich den Frakturen ohne SL-Band-Läsion [57], jedoch können unbehandelte Rupturen dieser Bandhalterung gravierende Folgeschäden hervorrufen.

Um eine Verletzung der ulnocarpalen Strukturen zu diagnostizieren ist eher eine CT-Arthrografie geeignet [58].

Eine Studie hat gezeigt, dass sich eine Behandlung einer begleitenden TFCC-Läsion vorteilhaft auf das Vorhandensein postoperativer Schmerzen auswirkt [59]. In einer anderen Studie, in welcher bei allen Patienten eine begleitende TFCC-Läsion versorgt wurde, klagte in der 2-Jahres-Nachuntersuchung kein Patient über eine ulnare Schmerzsymptomatik [60].

1.5.1.3 Sehnenverletzungen

Normalerweise sind die Sehnen ein sehr stabiles Konstrukt. Selbst stärkste Kräfte ziehen meist keine Ruptur nach sich, da der Übergang zwischen Sehne und Muskel oder die Verankerung im Knochen zuerst nachgeben. Hallett und Motta [61] haben festgestellt, dass erst 50% der Sehne durchtrennt sein muss, damit diese zuerst nachgibt.

Die Extensorsehnen sind ca. dreimal häufiger betroffen als die Flexorsehnen, da diese durch den M. pronator quadratus vom Radius getrennt werden [62-64].

Eine Läsion der Sehne des Extensor pollicis longus (EPL-Sehne) ist dabei am häufigsten [37, 65]. Sie tritt meist als Spätfolge der Fraktur nach bis zu 12 Monaten auf [66]. Eine Versorgung durch eine Platte kann eine Ursache für eine solche Ruptur sein, vor allem, wenn die Schrauben von palmar eingebracht werden [67]. Der Druck eines Hämatoms im dritten dorsalen Kompartiment kann ebenso die Blutversorgung der Sehne verhindern und zu einer verzögerten Ruptur führen [68]. Auch aus einer Teilläsion durch die Fraktur selbst kann eine ausbleibende Heilung der Sehne und folglich eine Komplettruptur resultieren [69]. Letztendlich kann auch die erhöhte Reibung über ein Knochenfragment oder einen gebildeten Kallus eine Läsion der EPL-Sehne nach sich ziehen [70]. Gutes dreidimensionales Vorstellungsvermögen und Kenntnisse der Anatomie sind daher eine überaus wichtige Grundlage, um diese Komplikation so gering wie möglich zu halten.

1.5.1.4 Knöcherne Verletzungen, karpale Frakturen und Luxationen

Manchmal werden begleitend auch andere Strukturen mit verletzt, wie zum Beispiel das Kahnbein (Os scaphoideum) oder das Radius-Köpfchen (Galeazzi-Fraktur). Auch Luxationen der Karpalknochen können vorkommen.

Der angrenzende Karpus kann vor allem bei größeren Traumata mitbetroffen sein. Bei ca. jeder fünften distalen Radiusfraktur liegt ein assoziierter Bruch mindestens eines Mittelhandknochens vor. In ungefähr der Hälfte der Fälle ist das Os triquetrum betroffen. Mit knapp 30 % steht das Scaphoid an zweiter Stelle. Das Os hamatum und Os pisiforme sind weniger häufig frakturiert. In knapp 80 % aller distalen Radiusfrakturen mit karpaler Begleitverletzung ist dabei nur ein, in ca. 15 % sind zwei und in 5 % drei oder mehr Knöchelchen betroffen. Dabei sind Alter, Geschlecht, Body-Mass-Index und Unfallmechanismus nicht ausschlaggebend. Werden jedoch solche Verletzungen übersehen oder nicht adäquat behandelt, können daraus schwerwiegende Folgen entstehen, wie Pseudarthrosen, Fehlstellungen, avaskuläre Arthrosen, posttraumatische Arthritis oder eine Inkongruenz der Gelenkfläche mit der Folge von persistierenden Schmerzen oder einer

langfristigen Entstehung einer Arthrose des Handgelenks und der Mittelhand [71].

Die Knöchelchen können dabei nicht nur frakturiert sein, auch Luxationen, meist durch Verletzung des komplexen Bandapparates der Mittelhand, können vorliegen. Am häufigsten sind hier das Scaphoid und das Os lunatum betroffen. Daraus resultieren ähnliche Folgeschäden wie bei einem Bruch.

Die häufigste Begleitverletzung der distalen Radiusfraktur ist der Abriss des Proc. styloideus ulnae, gleichbedeutend mit einem knöchernen Ausriss des triangulären kartilaginären Komplexes. Aber auch eine Läsion am ulnaren Ansatz ist möglich. Radiologisch fällt diese Variante vor allem dadurch auf, dass das Zusammenspiel zwischen Radius und Ulna nicht mehr stimmt. Diese Verletzungen sollten im Rahmen der Operation stets mitversorgt werden. Bei einem ausreichend großen Fragment der Ulna kann dieses durch Kirschner-Drähte gepinnt werden, aber auch eine direkte Naht des Ligaments ist möglich. Ist dadurch das Band jedoch nicht stabil versorgt, sollte man zusätzlich für 4 Wochen eine Ruhigstellung des Radioulnargelenks durch zwei Kirschner-Drähte veranlassen [72]. Ist das Fragment des Processus klein genug, hält die entstehende Pseudarthrose das Knochenstück in Position und es kann von einer Versorgung abgesehen werden.

1.6 Behandlungsmöglichkeiten

Die Behandlungsstrategie der Radiusfrakturen hat sich in den letzten Jahrzehnten im deutschsprachigen Raum deutlich gewandelt. Während ehemals die konservative Therapie fast alternativlos war, haben sich die Paradigmen verändert. Studien konnten darlegen, dass bei der konservativen Therapie, bestehend aus Reposition z.B. durch Aushängen und folgender Gipsruhigstellung es im Verlauf regelmäßig zu einem erneuten Abkippen der Fraktur kommt und die Frakturen dadurch oft in einer Fehlstellung verheilen. Dieser Zustand bedingt mittelfristig und langfristig Probleme wie Impingements und Arthroseentwicklung, welche dann häufig chirurgisch behandelt werden müssen. Neben klassischen Osteosynthesen mit Kirschnerdrähten hat die

Frakturversorgung mit Plattensystemen neben externen Fixationsverfahren (Fixateur externe) in den letzten Jahrzehnten einen grundlegenden Wandel durchlaufen. Während die ersten AO-Plattensysteme aufgrund der Materialstärke noch zu auftragend waren und die dazugehörigen Schrauben an sich nicht gut zur Versorgung in unmittelbarer Nähe kleinerer Röhrenknochen geeignet waren, wurde durch die industrielle Weiterentwicklung die Plattenstärke sowie die Schraubendicke immer mehr verbessert. Während einfache extraartikuläre Frakturen schon vor mehreren Jahrzehnten gut durch Plattensysteme zu versorgen waren, waren insbesondere die intraartikulären Frakturtypen bis zur Entwicklung der winkelstabilen Plattensysteme im weitesten Sinne eher externen Fixationsverfahren vorbehalten. In den letzten beiden Jahrzehnten hat es einen klaren Paradigmenwechsel in der Behandlung gegeben. Seit effiziente winkelstabile Plattensysteme speziell auch für den Radius entwickelt wurden, ist die operative Behandlung der intraartikulären Radiusfrakturen durch Plattensysteme im deutschsprachigen Raum zur Regel geworden. Zunächst wurden die intraartikulären Frakturen vornehmlich von dorsal versorgt. Dies ist in der Tatsache begründet, dass der dorsale Zugang eine bessere Inspektion der Gelenkfläche und damit eine Rekonstruktion unter direkter Sicht erlaubt. Weiterhin besteht für die Schrauben im Bereich der palmaren Kortikalis ein guter Gegenhalt, so dass Plattenversorgungen auch mit Systemen, die nicht komplett winkelstabil sind, durchgeführt werden konnten. Seit viele polyaxiale winkelstabile Plattensysteme und die dazu gehörigen Schrauben angeboten werden, ist die Versorgung auch von schweren intraartikulären Frakturen durch palmare Platten wieder in den Fokus gerückt. Der palmare Zugang bietet den Vorteil gegenüber dem dorsalen Zugang, dass die Platte unter den Musculus pronatus quadratus gelegt werden kann und damit im Idealfall bei Wiederherstellung anatomischer Landmarken (Watershed Line) auch ein direkter Kontakt der Platte zu den Beugesehnen möglichst vermieden wird. Bei dorsalen Plattensystemen ist auch unter Bildung eines Retinakulumlappens zur Abpolsterung der Platte gegenüber den unmittelbar darüber verlaufenden Strecksehnen keine vollständige anatomische Trennung möglich. Daher haben dorsale Plattensysteme auch international im US-

amerikanischen Bereich keine weite Verbreitung gefunden, da bei diesen Plattensystemen letztlich den Patienten eine zweite Operation, nämlich die Metallentfernung, angeboten werden muss. Bei palmaren Plattensystemen muss aufgrund der anatomischen Gegebenheiten das Material nicht zwingend entfernt werden, was sicherlich auch zur Popularität dieses Operationsverfahrens beigetragen hat.

1.6.1 Komplikationen der Operation

Im ungünstigsten Fall muss aufgrund der Komplikationen eine Revision erfolgen. Sie ist in ca. 10 % der Fälle nötig [99]. Die wichtigsten Gründe sind im Folgenden aufgezählt.

1.6.1.1 Sehnenverletzungen

Sehnenverletzungen nach einer Operation am Radius sind bekannt [73, 74].

Läsionen können durch das Plattendesign, die falsche Lage oder durch hervorstehende Schrauben verursacht sein [75-78].

Sehr distal gelegene volare Platten können Sehnenirritation, Rupturen und Tenosynovitis hervorrufen [79-81]. Dorsal überstehende Schrauben oder eine Verletzung durch den Bohrer können ebenfalls zu Läsionen der Sehnen der Extensoren führen [80, 82-84]. Eine intraartikuläre Schraubenlage kann iatrogen oder durch eine schlechte Knochenqualität verursacht sein. Insgesamt ist diese aber, wie auch EPF/FPL-Läsionen, Rupturen anderer Flexorsehnen und eine Infektion des Gelenks seltener [84, 85]. Rupturen der EPL-Sehne werden mit einer Inzidenz zwischen 0,2% und 4,0% angegeben [68, 73, 86-90]. Roth et al. hat in seiner Studie sogar eine Inzidenz von 5% erreicht [91]. Scheinbar häuft sich dabei die Komplikationsrate bei nicht dislozierten und minimal dislozierten Frakturen. Alle Patienten mit EPL-Sehnen-Ruptur waren weiblich [92, 93]. In einigen anderen Studien wird der Anteil der Frauen bei dieser Komplikation mit rund 60% angegeben [18, 31, 94, 95].

1.6.1.2 Verkürzung des Radius und ulnares Impingement

Bei komplizierten Brüchen mit dorsaler oder palmarer Trümmerzone kommt es mitunter zu einer Verkürzung des Radius, was im ungünstigsten Fall durch die Ulna-Plus-Variante folglich zu einem ulnaren Impingement-Syndrom führen kann. Hier wird der TFCC (triangulärer fibrocartilaginärer Komplex) durch die Ulna eingestaucht und es resultieren Bewegungseinschränkungen und Schmerzen. Besserung verschafft hier nur eine Ulnareduktionsplastik, um die Kongruenz der Gelenkflächen wieder herzustellen.

1.6.1.3 Sekundäre Dislokation

Eine weitere Komplikation und häufiger Grund für eine Revision stellt die sekundäre Dislokation dar. Sie entsteht durch eine verringerte Haftreibung zwischen Platte bzw. Schraube und Knochen, vor allem bei Frakturen mit dorsaler Trümmerzone und/oder assoziierter Osteoporose mit dem Effekt, dass die Platte gegenüber dem Knochen verrutscht und seine Funktion verliert.

Es gibt Faktoren, welche das Risiko für eine sekundäre Lockerung erhöhen: Alter über 60 Jahre, dorsale Trümmerzone, radiale Verkürzung über 5mm, eine dorsale Inklinationswinkel über 20°, eine assoziierte Ulnafraktur und eine radiokarpale intraartikuläre Beteiligung. Auch Osteoporose und die daraus resultierende verminderte Knochendichte birgt ein ca. 30-50%iges Risiko für eine distale Radiusfraktur, wobei der Schweregrad der Dislokation scheinbar mit dem Alter ansteigt [96].

1.6.1.4 Vergleich der verschiedenen Behandlungsmethoden

Mehrere Studien haben die Versorgung durch perkutane Pins mit einer offenen Reposition und internen Fixation verglichen (ORIF). Dabei gab es keinen signifikanten Unterschied in Fehlfunktionen von Hand, Arm und Schulter und der Inzidenz von Komplikationen und dem komplexen regionalen Schmerzsyndrom (CRPS; M. Sudeck) [97]. Jedoch hatten Patienten, welche mit einer palmaren oder dorsalen Platte versorgt wurden, signifikant weniger

postoperative Schmerzen und Fehlfunktionen als die Gruppe mit Fixateur externe. Ursache hierfür ist sicherlich auch die Schwere der Fraktur. Auch waren der Bewegungsradius und die Kraft des Handgelenks besser. In der ORIF Gruppe gab es vergleichsweise mehr Komplikationen mit den Sehnen, wohingegen die Gruppe mit Fixateur externe mehr Infektionen zu verzeichnen hatte [98-100].

Insgesamt werden jedoch immer weniger Frakturen mit einem Fixateur versorgt, da die Komplikationsrate vergleichsweise hoch ist. Deshalb geht der Trend schon seit einigen Jahren von Kirschnerdrähten und Fixateur weg, hin zu meist palmaren Plattenosteosynthesen.

Der Gips hingegen verursacht weniger schwerwiegende Komplikationen wie Druckstellen oder Versteifung der Gelenke, welche aber durch physiotherapeutische Beübung in den Griff bekommen werden können.

1.6.1.5 Unterschiedliche Verfahren

Eine Studie hat gezeigt, dass die Rate an Revisionen im ersten Jahr nach der Operation bei einer Versorgung mit Pins, aber auch mit Fixateur externe, höher ist, als bei einer Versorgung durch eine Platte. Danach ändert sich das Verhältnis und es werden mehr Patienten mit Platten revidiert als mit Pins und externen Fixateuren. Der Grund ist auch hier vor allem eine Lockerung oder eine unzureichende Fixierung der Drähte und Platten kurz nach der Operation. Nach einem Jahr wollen dann viele Patienten die Platte wieder entfernt haben. Während Navarro in einer Studie keine Anhaltspunkte für ein erhöhtes Risiko älterer Patienten für Revisionen gefunden hat, hat Diaz-Garcia eine Untersuchung veröffentlicht, in der er beschrieb, dass bei über 60-jährigen Patienten mit einer distalen Radiusplatte ein signifikant erhöhtes Risiko für eine erneute Operation bestünde im Gegensatz zu Patienten mit einer Versorgung durch perkutane Kirschnerdrähte oder Fixateur externe [101, 102]. Arora et al. haben in einer Studie das Schmerzniveau und das funktionelle Outcome von distalen Radiusfrakturen nach palmarer winkelstabiler Versorgung im Gegensatz zur konservativen Therapie mit Gips verglichen. Dabei wurde ein

Jahr postoperativ kein signifikanter Unterschied festgestellt. Auch andere Studien erbrachten bei der Gegenüberstellung von operativen und konservativen Verfahren ähnliche Ergebnisse [102, 103]. Gerade bei älteren Patienten sollte deshalb die Indikation einer operativen Therapie umfassend geprüft werden. Da ältere Menschen oftmals darauf angewiesen sind, sich im Alltag selbst zu versorgen, kann die Operation die Ruhigstellungszeit verkürzen und damit eine schnellere Wiederherstellung der Funktion ermöglichen. Auch wenn nach einer längeren Zeit keine Vorteile der operativen Versorgung gegenüber der konservativen nachweisbar sind, ist der Gewinn der früheren Unabhängigkeit und damit die Fortführung des eigenständigen Lebens ein signifikantes Argument für die operative Versorgung.

Bei älteren Menschen ist eine geschlossene Reposition und die Ruhigstellung im Gips oftmals nicht ausreichend für eine gute Frakturheilung, da diese durch Osteoporose und die häufig fehlende dorsale Abstützung aufgrund einer Trümmerzone nicht immer in der Repositionsstellung gehalten werden kann.

1.7 Zielsetzung der Arbeit

Die Vermeidung von Folgeschäden hat bei der Behandlung der Radiusfrakturen oberste Priorität. Da bereits kleine intraartikuläre Stufen zur Arthroseentwicklung führen sowie intraartikuläre Schrauben die Arthrose begünstigen können, kommt der Kontrolle der postoperativen Ergebnisse eine besondere Bedeutung zu. Insbesondere die genaue Darstellung der Gelenkflächen kann als wichtigstes Einzelkriterium zur Nachkontrolle angesehen werden. Extraartikuläre Frakturen sind in der Regel gut durch reguläre Röntgenaufnahmen zu beurteilen. Bei dem in dieser Klinik dominanten Patientengut handelt es sich allerdings um komplexe Frakturen, die erhöhte Anforderungen an die Behandler stellen. In der Literatur ist bis dato keine einhellige Meinung oder ein Algorithmus bekannt mit welchen Modalitäten Radiusfrakturen nachuntersucht werden. Die postoperative Untersuchung mit dem CT stellt die genaueste Diagnoseform dar, ist allerdings auch mit der höchsten Strahlenbelastung für den Patienten verbunden. Während die

Wichtigkeit einer präoperativen CT-Diagnostik, insbesondere bei höhergradigen Radiusfrakturen außer Frage steht, fehlt diese Wertung für den postoperativen Verlauf in der Literatur. Diese Studie beinhaltet eine retrospektive Datenanalyse von vergleichbaren Patientenkollektiven, wobei bei einer Gruppe CT-Kontrollen postoperativ durchgeführt wurden, bei der anderen Gruppe nicht. Das Ziel dieser Studie war, die radiologischen Ergebnisse sowie Komplikationen und Revisionsraten darzustellen.

2. Material und Methoden

2.1 Diagnostische Möglichkeiten

2.1.1 Radiologische Kriterien des Handgelenks

Zur radiologischen Beurteilung sind drei Größen wichtig:

- Die dorsale Inklination liegt normalerweise bei ca. 12°. In der Seitenansicht des Röntgenbildes wird sie berechnet aus der Achse zwischen volarer und dorsaler Gelenkkante des Radius und der Längsachse des Schaftes.



Abbildung 5: dorsale Inklination

- Die radiale Inklination beschreibt in der röntgenologischen anterior-posterior- Aufnahme den Winkel zwischen der Gelenkfläche des Radius, gemessen zwischen ulnarem Rand und Spitze des Processus styloideus, und dessen Längsachse. Die Norm liegt bei einem Winkel im Bereich von ca. 23°.

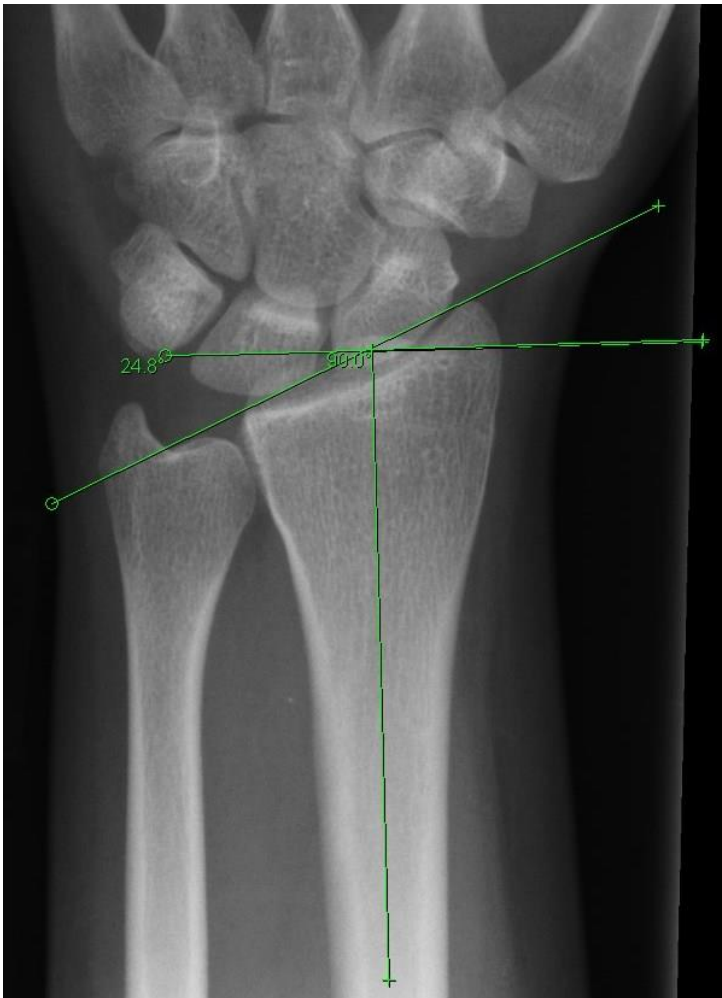


Abbildung 6: radiale Inklination

- Die Ulnavarianz wird ebenfalls in der a.-p.-Ansicht beurteilt. Die Gelenkflächen des Radius und der Ulna sollten in dieser Aufnahme auf gleicher Höhe sein. Sie beschreibt den Unterschied zwischen der Ebene der Gelenkfläche der Ulna und der Ebene der Incisura ulnaris in Millimetern. Ist die Ulna mehr als zwei Millimeter länger als der Radius,

wird dies als Ulna-Plus-Variante bezeichnet. Ist sie mehr als zwei Millimeter kürzer, als Ulna-Minus-Variante [104].



Abbildung 7: Ulnavarianz: Hier Ulna-Minusvariante mit -3,04mm

2.1.2 Konventionelle Röntgenaufnahme

Das Röntgen kommt bei Verdacht auf eine Fraktur meist als erstes bildgebendes Verfahren zur Anwendung. Dabei werden für gewöhnlich unter 90°-Abduktion des Schultergelenks und Mittelstellung des Ellenbogengelenks eine anterior-posterior-Aufnahme (a.-p.) und eine Seitenansicht erstellt. Bei sehr komplizierten Frakturen oder Unsicherheiten können auch Aufnahmen in anderen Gelenkpositionen oder der unverletzten Gegenseite zur Beurteilung hinzugezogen werden. Um Begleitverletzungen so weit wie möglich auszuschließen, wird eine Röntgenaufnahme eines Gelenks immer mit angrenzenden Gelenken aufgenommen. Sollte dies nicht ausreichen, kann man

zum Beispiel bei Verdacht auf Weichteilverletzungen oder ungenügender Röntgenaufnahmen entscheiden, ob und welche weitere Bildgebung sinnvoll ist.

2.1.3 MRT

Eine MRT sollte nur in Ausnahmefällen bei Verdacht auf ligamentäre oder kartilaginäre Läsionen erfolgen.

2.1.4 CT

Wie bereits beschrieben, kann neben dem konventionellen Röntgen ein präoperatives CT von hohem Nutzen sein [105]. Hier kann sehr genau der Zustand der Gelenkfläche, Verkürzungen des Radius, Gelenkstufen oder die genaue Lage der Fragmente oder Impressionen beurteilt werden.

Die Dauer eines Computertomographie-Scans beträgt im Mittel zwischen 5 und 10 Minuten. Dabei fährt ein Röntgengerät kreisförmig um den Patienten und erstellt Bilder einer dünnen Schicht aus vielen verschiedenen Winkeln. Die Strahlung wird durch die Organe unterschiedlich stark geschwächt. Ein gegenüberliegender Detektor misst die eintreffende Röntgenstrahlung und erstellt durch Auswertung der Absorption ein Bild aus Graustufen. Im Vergleich zur konventionellen Röntgendiagnostik können dabei statt drei Dichtegruppen (Luft/Fett, Wasser, Knochen) über 2000 verschiedene Dichtewerte errechnet werden. Daraus können dann bis zu 20 verschiedene Gewebsarten differenziert werden [106]. Es gilt: röntgendichtere Gewebe werden weiß, Gewebe mit geringer Röntgendichte schwarz dargestellt. Im Vergleich zum MRT ist der Weichteilkontrast geringer, jedoch werden Knochenstrukturen durch das CT besser dargestellt.

Die erzeugten Schnittbilder können dann der Reihe nach durchblättert werden. Dabei können verschiedene „Fenster“ gewählt werden. Dies macht es dem Betrachter leichter, gewisse Gewebe zu unterscheiden. Es ist auch möglich, gleichzeitig ein Kontrastmittel intravenös oder oral zu verabreichen, welches

dann in den Schichten dargestellt werden kann. Bei besonders schwierigen Fällen kann auch ein dreidimensionales Bild erstellt werden.

Trotz all dieser Vorteile birgt diese Bildgebung jedoch auch Nachteile. Ca. 1,5% aller Krebserkrankungen in Deutschland werden laut Lancet (2004) durch röntgentechnologische Untersuchungen verursacht. Dabei kommen ca. 60 Krebsneuerkrankungen auf 1 Million CT-Untersuchungen [107].

Besonders bei Kindern und jungen Erwachsenen ist deshalb auf eine klare Indikation zu achten.

Die Strahlenexposition ist dabei nicht von der Anzahl der Schichten abhängig, sie steigt, je länger der Körperabschnitt ist, der gescannt wird.

Bei komplizierten Frakturen können Patient und Operateur von präoperativen CT-Untersuchungen profitieren, jedoch kann nicht automatisch darauf geschlossen werden, dass einem postoperativen CT eine ähnlich wichtige Bedeutung zukommt.

2.1.5 Arthroskopie

Die Arthroskopie als minimalinvasives, aber dennoch offenes Diagnoseverfahren hat viele Vorteile. Im Gegensatz zu bildgebenden Verfahren, wie oben beschrieben, kann man durch die direkte Sicht auf die Strukturen durch rein bildgebende Verfahren bisher noch nicht entdeckte begleitende Verletzungen freilegen. Diese betreffen bei distalen Radiusfrakturen vor allem die Weichteile wie Nerven, Bänder und Sehnen. Aber auch Schäden der osteochondralen Strukturen können beurteilt werden. Oftmals sind diese Auslöser postoperativer Schmerzen und Folgeschäden. Es ist somit vor allem bei komplizierten Frakturen wichtig, abzuwägen, ob eine diagnostische Arthroskopie von Nutzen ist.

Durch mehrere kleine Schnitte von ca. 0.5 cm werden dabei die Werkzeuge in das distrahierte Handgelenk eingeführt. Man unterscheidet volare, dorsale, radiale und ulnare Zugänge. Je nach Lokalisation können dadurch verschiedene Strukturen des Gelenks und der Kapsel, aber auch Bewegungsabläufe beurteilt werden [108]. Sie ist die sensibelste aller

Untersuchungsmethoden. Im Vergleich dazu liegt die Sensibilität der Arthrographie bei der Suche nach Begleiterkrankungen bei nur 60 Prozent, die der MRT sogar nur bei 40 Prozent [60]. Somit hat sich die Arthroskopie vor allem bei Verdacht auf Läsionen des scapholunären Bandes und des TFCC (triangulärer fibrocartilaginärer Komplex) als Goldstandard etabliert.

2.2 Therapieoptionen

2.2.1 Ziele und Therapiefindung

Die Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie hat einige Therapieziele veröffentlicht. Durch die Behandlung soll unter Vermeidung von Komplikationen nicht nur die Funktionalität des Gelenkes wiederhergestellt, sondern auch Schmerzfreiheit erreicht werden. Bei einem optimalen Ergebnis sollten auch Kraft und Bewegungsumfang nicht von der gesunden Gegenseite abweichen. Wichtig ist nach der Therapie eine schnelle Wiedereingliederung in den Alltag, vor allem in Bezug auf ältere alleinstehende, sich selbst versorgende Patienten [109]. Um diese Ziele zu erreichen muss die korrekte anatomische Struktur (Kongruenz der Gelenke, Länge des Radius, regelrechte Achsenverhältnisse) wiederhergestellt werden.

Unter diesen Gesichtspunkten müssen für die Auswahl der optimalen Therapie unterschiedliche Überlegungen angestellt werden. Die Compliance des Patienten ist einer der wichtigsten Faktoren sowohl für die Auswahl, als auch das Gelingen einer Therapie. Neben dem biologischen Alter und der Agilität des Patienten sind auch die soziale Anamnese (Beruf, alleinstehend, Rauschmittel-Missbrauch) und die Händigkeit (Rechts-/Linkshänder) von großer Bedeutung. Wichtig ist gerade bei älteren Patienten auch eine mögliche Einnahme von Dauermedikamenten, welche die Akutversorgung unter Umständen einschränken kann, wie beispielsweise ASS, Marcumar oder Kortison. Zusatzverletzungen können unter Umständen eine umfangreichere Therapie erfordern.

Hat man sich auf eine Therapieoption geeinigt, muss zuerst unter angemessener anästhesiologischer Betäubung eine Reposition stattfinden.

Dies kann in Bruchspalt-, Leitungs- oder Allgemeinanästhesie geschehen. Auch eine komplikationslosere Lokalanästhesie kann zu einer ausreichenden Schmerzfreiheit führen [110]. Die Fraktur kann manuell durch Zug oder durch Aushang im Mädchenfänger und anschließender schonender Manipulation und Reposition der dislozierten Fragmente oder offen während der Operation repositioniert werden. Um das Ergebnis stabil zu halten, gibt es im Wesentlichen drei unterschiedliche Verfahren: das konservative mit Gipsverband, den Fixateur externe und die offene Reposition und interne Osteosynthese (ORIF, open reduction and internal fixation).

2.2.2 Konservative Therapie

Stabile, extraartikuläre und nicht oder nur gering dislozierte Frakturen können ohne Operation behandelt werden. Dies betrifft nach der AO-Klassifikation die A2-Frakturen und Brüche bei älteren Patienten. Selbstverständlich muss man auch auf diese Behandlungsmethode zurückgreifen, wenn Kontraindikationen für eine Operation bestehen.

Nach einer geschlossenen Reposition vorzugsweise in Bruchspaltanästhesie, manuell und/oder durch Aushang im Mädchenfänger, wird das Ergebnis radiologisch kontrolliert. Dann wird für vier bis sechs Wochen ein Gipsverband in Funktionsstellung (10° Ulnarabduktion und 5° Dorsalextension) angelegt [111]. Durch die maximale Spannung der Seitenbänder verringert sich die Gefahr der Kontraktion. Gerade bei älteren Patienten mit porösen Knochen kann es aber vorkommen, dass die Fragmente im Gips verrutschen und die Länge des Radius sich verändert. Unterstützend können dann auch Kirschnerdrähte eine geeignete Methode sein, diese zu fixieren. Sollte das Handgelenk noch sehr stark geschwollen sein, wird der Gips für die ersten Tage gespalten, um Kompressionsschmerzen vorzubeugen. Wichtig ist hier, den Fingern eine gewisse Mobilität zu lassen, der Faustschluss sollte möglich sein. Nach dem Abschwellen nach drei bis vier Tagen kann der Gips zirkularisiert werden. Zu beachten ist hier, dass keine Druckstellen oder Ulcera an der Haut entstehen, welche auch schmerzlos sein können. Eine

wöchentliche Röntgenkontrolle für die ersten 3 Wochen ist empfohlen, nach vier bis sechs Wochen kann dann nach gründlicher Beurteilung der knöchernen Konsolidierung im Abschlussröntgenbild der Gips abgenommen werden. Danach wird dem Patienten eine Physiotherapie empfohlen, um die Funktion und das Bewegungsausmaß zu optimieren.

Ein großes Risiko dieser Behandlungsmethode sind postoperative Schmerzen, welche durch einen Repositionsverlust begründet sein können. Ein radiologisches Korrelat muss hierfür nicht immer vorhanden sein.

Regelmäßige Röntgenkontrollen stellen sicher, dass die Stellung der Fraktur gehalten wird. Bei einer sekundären Dislokation sollte eine Verfahrensänderung angestrebt und eine Osteosynthese vorgenommen werden [111].

2.2.3 Operative Therapie

In den letzten Jahren hat sich die Behandlung der distalen Radiusfraktur von der konservativen Therapie zugunsten der operativen Behandlung verschoben. Es ist bekannt, dass die korrekte Stellung der Radiusepiphyse für eine weitere uneingeschränkte Funktion des Handgelenks unabdingbar ist. Beispielsweise kann die Pro- bzw. Supination schon bei einer Fehlstellung des distalen Radiusendes von 10° nach dorsal eingeschränkt sein [112].

Die Indikation zur Operation wird in erster Linie bei offenen, komplizierten und Trümmerfrakturen gestellt. Meist sind diese artikulär oder zumindest teilartikulär. Daraus resultiert eine Instabilität, welche es zu beheben gilt. Selbstverständlich soll auch der Wunsch des Patienten berücksichtigt werden.

Der Zeitpunkt der Operation sollte jedoch nicht beliebig gewählt werden. Bei einer zu frühen Operation geht durch die Schwellung eine vermehrte Blutung mit einer erhöhten Komplikationsrate während der OP einher. Studien haben gezeigt, dass eine instabile distale Radiusfraktur innerhalb von zwei bis vier Tagen versorgt werden sollte. Nach dieser Zeit ist die Operation durch den inzwischen eingetretenen Heilungsvorgang behindert [113]. Offene Frakturen, Frakturen mit geschlossenem Weichteilschaden oder Nerven- und Gefäßverletzungen müssen jedoch sofort operiert werden. Auch bei einem

Kompartmentsyndrom sollte die Unterarmfaszie umgehend entlastet werden [109].

Instabilitätskriterien

Bei instabilen, offenen, nicht geschlossen reponierbaren Brüchen oder Trümmerfrakturen ist eine operative Therapie indiziert. Um einen Bruch als instabil einzustufen, haben Lafontaine et al. fünf Instabilitätskriterien festgelegt, wobei mindestens drei Kriterien erfüllt sein müssen [114]:

- Dorsale Inklinatation > 20°
- Dorsale Zertrümmerung des Radius
- Intraartikuläre Beteiligung des Radiocarpalgelenks
- Assoziierte Ulnafraktur
- Alter > 60 Jahre

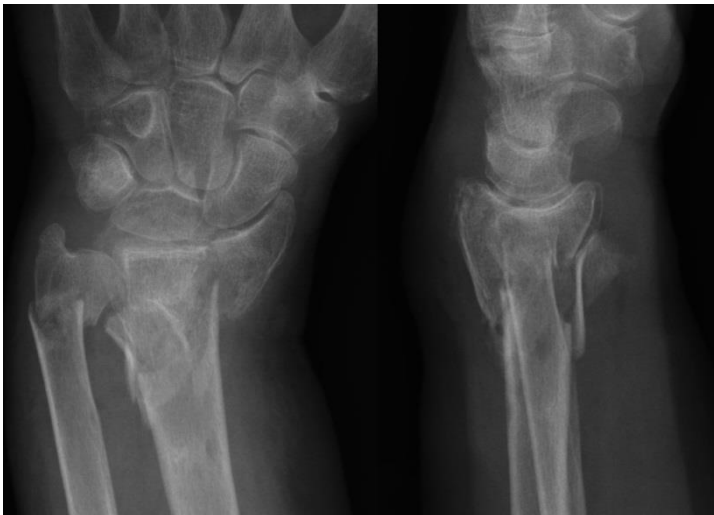


Abbildung 8: distale Radiusfraktur mit assoziierter Ulnafraktur, dorsaler Trümmerzone und intraartikulärer Beteiligung

Auch Zyluk et al. haben sich mit dem Thema beschäftigt und festgestellt, dass das Vorhandensein mehrerer Kriterien das Risiko für eine Instabilität steigert, was jedoch nicht bedeutet, dass bei einer Fraktur mit nur ein oder zwei Kriterien die Stabilität der Reposition gesichert ist [115].

Weiterhin gelten eine Tendenz zur Redislokation und eine Zertrümmerung des Radius als instabil. Auch eine radioulnare Dissoziation oder eine Stufenbildung im Gelenk weisen auf eine Instabilität hin [21, 116].

2.2.3.1 Kirschner-Draht-Osteosynthese

Diese Methode wurde erstmals in den 1950er Jahren von De Palma und Willenegger beschrieben [117, 118]. Sie ist eine geeignete Methode, um einfache, extraartikuläre, dorsal instabile Frakturen ohne Trümmerzone oder einfach frakturierte intraartikuläre Brüche zu versorgen. Falls bei Kindern eine konservative Therapie nicht ausreicht, wird diese Methode auch hier gerne angewandt, da die Epiphysenfugen im Vergleich zu anderen Verfahren geschont werden [119]. Diese Methode ist weniger invasiv und traumatisch und führt so zu einer kürzeren Hospitalisierungszeit. Der Weichteilmantel wird nicht irritiert und zudem sind die Kosten vergleichsweise niedrig [100, 120, 121]. Bei komplizierteren Frakturen oder Impressionen ist diese Technik jedoch unbrauchbar, da das Repositionsergebnis nicht gehalten werden kann.

Die Drähte sind zwischen 0,5 mm und 3 mm dick und können ohne Hautschnitt eingebracht werden. Die Reposition erfolgt manuell und wird anschließend durch die Drähte fixiert. Bei erschwerter Reposition kann auch erst der K-Draht in das Fragment eingebohrt werden, um es dann in die richtige Position zu hebeln. Meist werden zwei oder drei Drähte eingebracht, welche sich überkreuzen. So bleibt die Fraktur in allen Ebenen stabil. Die Drähte sollten nicht zu dünn sein, nicht zu flach eingebracht und bikortikal verankert werden, da sonst das Risiko einer wiederkehrenden Einsinterung oder einer Lockerung der Drähte steigt. Meist ist mit einer alleinigen K-Draht-Osteosynthese das Repositionsergebnis nicht haltbar und muss postoperativ durch einen Gipsverband oder einen Fixateur stabilisiert werden. Zur Vermeidung von Infektionen werden die Drähte normalerweise bei unauffälligem Röntgenbild nach 4 Wochen entfernt. Wichtig ist, dass zum Zeitpunkt der Gipsabnahme eine ausreichende knöcherne Konsolidierung vorhanden ist. Fehlt diese, zum

Beispiel bei osteoporotischem Knochenmaterial oder Trümmerfrakturen, birgt dies das Risiko einer erneuten Dislokation des Bruchs.

Insgesamt hat dieses einfache Verfahren viele Vorteile, erreicht jedoch verglichen mit der palmaren winkelstabilen Platte schlechtere klinische und radiologische Ergebnisse [122]. Dementsprechend wird in der aktuellen Literatur die Indikation nur noch bei extraartikulären Frakturen oder als zusätzliche Stabilisierung gestellt [123, 124].

2.2.3.2 Schraubenosteosynthese

Dieses Verfahren wird nur selten verwendet. Es kommt bei Typ-B-Frakturen zur Anwendung, bei welchen nur ein großes Fragment vorhanden ist. Auch bei einem Abriss des Processus styloideus radii wird diese Methode angewandt. Die Bänder zwischen Radiusstyloid und Karpus sind meist knöchern ausgerissen und können durch eine Zugschraube reinseriert werden. Dies stellt die Gelenkoberfläche wieder her und stabilisiert das Handgelenk.

Bei komplizierteren Frakturen kann dieses Verfahren ebenfalls additiv verwendet und mit einer Plattenosteosynthese, Fixateur externe oder der einfachen K-Draht-Osteosynthese kombiniert werden.

2.2.3.3 Fixateur externe

Eine weitere Möglichkeit der Versorgung ist ein das Handgelenk überbrückender Fixateur externe. Dabei werden die Pins (auch Steinmann-Nägel oder Schanz'sche Schrauben) im proximalen und distalen Skelett eingebracht und an einem Längsträger in Richtung der Radiusachse in Neutralstellung oder bis maximal 10° Extension fixiert, so dass die Fraktur reponiert bleibt und korrekt verheilen kann. Bei einem nicht überbrückenden Fixateur werden die Pins in den Radiuschaft und gleichzeitig in die Fragmente der Fraktur eingebracht um diese zu stabilisieren. Dafür ist ein großes distales Bruchstück erforderlich, doch im Vergleich zum überbrückenden Fixateur externe wird dadurch das Risiko einer Radiusverkürzung minimiert [125].

Bei sehr schwer zertrümmerten Frakturen, wie zum Beispiel der C3-Fraktur oder offenen Brüchen, ist es auch möglich, eine interne und externe Versorgung zu kombinieren oder Fragmente durch perkutane Pins zu fixieren. Dadurch wird die Frakturheilung unterstützt und ein gutes funktionelles Outcome möglich gemacht [126].

Auch hier werden wie bei der K-Draht-Osteosynthese die Weichteile geschont und die Fraktur kann schnell und ohne großes Trauma stabilisiert werden, weshalb sich der Fixateur hervorragend für eine schnelle Behandlung in Notfallsituationen eignet. Eine eventuelle Plattenosteosynthese kann dann nachfolgend ungestört geplant werden. Durch die Ligamentotaxis, die Fähigkeit der Gelenkkapsel und der handgelenksnahen Bänder, die Fraktur in Repositionsstellung zu halten, ist die Fraktur stabilisiert.

Weitere Vorteile sind die fehlende Devaskularisierung, die Erhaltung der Blutversorgung und somit der Vitalität der Knochenfragmente und die einfache Entfernung der Pins.

Wichtig für ein gutes Ergebnis ist das „Release“: Nach drei Wochen sollte die Extension reduziert und so die Bänder des Handgelenks entlastet werden. Nach dieser Zeit sollte eine ausreichende Konsolidierung der Fragmente einen Repositionsverlust verhindern. Oftmals kann man in der Bildgebung bei Frakturen, bei welchen eine übermäßige Extension zur Reposition nötig war, einen vergrößerten Gelenkspalt erkennen. Die Dehnung dieser Bänder führt zu einer verminderten Blutzirkulation. Durch fehlende physiologische Belastung des Knorpels und des Knochens kann es nach einem längeren Zeitraum zu Versorgungsstörungen des Knorpels und zum Knochenabbau kommen.

Eine zu beachtende Komplikation ist die sogenannte Pin-Track-Infektion. Durch eine permanent offene Verbindung des Knochens und der Weichteile zur Hautoberfläche kann sich das Gewebe um die Bohrlöcher der Pins entzünden. Im ungünstigsten Fall kann sich diese Entzündung auch auf die Knochenhaut oder den Knochen selbst ausbreiten und es kommt zur Periostitis bzw. Osteomyelitis/Ostitis. Dieses Risiko kann durch eine sorgfältige tägliche Hygiene der Eintrittslöcher und gegebenenfalls ein Umsetzen der Schanz'schen Schrauben minimiert werden. Ein weiterer Nachteil ist die

fehlende Beübbarkeit des Unterarmes, was Atrophien und eine Versteifung des Handgelenks mit sich bringen kann. Eine übermäßige Distraction kann ebenfalls zu einer Versteifung des Handgelenks und zur Algodystrophie (M. Sudeck) führen [9]. Sehr selten kommen auch Frakturen des Os Metacarpale II auf Höhe der Eintrittsstellen der Pins vor, die durch Fehlbohrungen oder tangentielle Bohrungen verursacht sein können [127].

2.2.3.4 Plattenosteosynthese

Das Ziel einer jeden Therapie ist die Wiederherstellung des distalen Radiocarpal- und Radioulnargelenks ohne Gelenkstufen oder Verkürzungen des Radius. Es ist bekannt, dass die Wiederherstellung der Gelenkfläche der wichtigste Faktor für ein gutes funktionelles Outcome einer distalen Radiusfraktur ist [52, 116, 128-130].

Viele, auch ältere Patienten, möchten ihr Handgelenk möglichst schnell und ohne Einschränkung wieder nutzen können. Durch die operative Behandlung wird versucht, den hohen Ansprüchen gerecht zu werden. Gerade wenn eine zeitnahe physiotherapeutische Nachbehandlung notwendig oder gewünscht ist, ist es sinnvoll, eine operative Versorgung mittels ORIF (Open Reduction and Internal Fixation) anzustreben.

2.2.3.4.1 Geschichtliches

Durch die revolutionäre Erfindung der Plattenosteosynthese legte der Hamburger Chirurg Carl Hansmann 1886 den Grundstein für die heutigen Systeme. Damals aufgrund der hohen Komplikationsraten vor allem der Osteomyelitis durch perkutane Schrauben und ein unphysiologisches Plattendesign selten verwendet, ist sie heute Dank der Weiterentwicklung eines der wichtigsten Behandlungsverfahren der distalen Radiusfraktur. 1893 wurden erstmals versenkte Schrauben verwendet. Im Laufe der Zeit wurde auch das Plattendesign physiologischer. Da die distale Radiusfraktur ein sehr heterogenes Erscheinungsbild hat, wurden dementsprechend verschiedene

Platten entwickelt, um die Brüche bestmöglich zu versorgen [131]. Eine große Wende brachte die Entwicklung komprimierender und winkelstabiler Plattensysteme. Dadurch wurde die Komplikationsrate auf einen Bruchteil reduziert und die Plattenosteosynthese gewann für die Versorgung der distalen Radiusfraktur massiv an Bedeutung.

Aufgrund dieser geringeren Komplikationsraten ist es heutzutage in den meisten Kliniken Standard, instabile Frakturen mit dorsaler oder palmarer Trümmerzone offen durch eine Plattenosteosynthese zu versorgen [85, 132-135].

Bei den Plattenosteosynthesen kann man im Wesentlichen zwei Systeme unterscheiden: Nicht winkelstabile Plattensysteme sind meist aus rostfreiem Stahl und werden verwendet, wenn der Bruch nicht oder nur wenig disloziert ist. Die häufiger verwendeten winkelstabilen Platten dagegen sind im Vergleich dazu steifer und umgehen bei vorhandener dorsaler Trümmerzone die unmögliche bikortikale Verankerung, welche bei einer nicht winkelstabilen Platte nötig wäre [136-139]. Durch den erhöhten Druck der Platte an den Knochen bei älteren Systemen wurde die Durchblutung des Periostes unterbrochen, was die Knochenheilung verhindern kann. Dem begegnen die neueren winkelstabilen Platten mit dem LISS-System (Less-invasive-Stabilisation-System) und der LCP (Locking-Compression-Plate). Diese Platten werden nicht mehr an den Knochen gepresst und unterbinden so nicht die Durchblutung des Periosts. Auch die Stabilität wird erhöht, da die Schrauben in den Bohrlöchern der Platte in einem Gewinde verankert sind, und sich somit der Winkel der Schrauben zur Platte nicht ändern kann. Durch ein Gleitloch in der Mitte der Platte kann eine bereits im Knochen verankerte Schraube verschoben und so eine Feinjustierung vorgenommen werden. Auch bieten die winkelstabilen T-LC-Platten Löcher für nicht winkelstabile Schrauben, was ein gewisses Maß an Flexibilität erlaubt.



Abbildung 9: operative Versorgung mittels palmarer Plattenosteosynthese

2.2.3.4.2 Indikationen und Abwägung gegenüber dem Fixateur externe

Bei komplizierteren Frakturen können einfachere Verfahren wie Kirschner-Drähte oder eine Schraubenosteosynthese das Repositionsergebnis oftmals nicht halten. Deshalb muss man hier stabilere Systeme verwenden.

Sind die Weichteile sehr beeinträchtigt oder steht, beispielsweise bei einem Polytrauma, die Versorgung akuterer Verletzungen an, kann man rasch ein gutes Ergebnis mit einem Fixateur externe erzielen. Auch ältere Patienten scheinen durch den besseren Lymphabfluss bei dieser Methode postoperativ nicht so sehr beeinträchtigt zu sein wie bei einer Plattenosteosynthese. Diese ist bei jüngeren Patienten und Frakturen ohne Weichteilbeteiligung dagegen von großem Vorteil. Der Patient hat die Möglichkeit einer schnellen Mobilisation des Handgelenks und dadurch einer besseren Versorgung des Knorpels, was gerade bei intraartikulären Frakturen einen entscheidenden Vorteil in Bezug auf die Heilung darstellt [127]. Nach Wright et al. ist auch das Bewegungsausmaß bei der Versorgung durch winkelstabile Plattensysteme besser als durch einen Fixateur externe [140].

Um einen Repositionsverlust zu vermeiden, sollte gerade bei palmar dislozierten Frakturen eine Abstützplatte eingebracht werden, da die Flexoren eine vergleichsweise höhere Kontraktionskraft haben [127]. Letsch et al. sehen die Plattenosteosynthese weiterhin indiziert bei mehrfragmentierten, irreponiblen und dislozierten Brüchen, instabilen extraartikulären Extensionsfrakturen und nach jeder sekundär dislozierten Fraktur. Auch bei Korrekturosteotomien sollte eine Plattenosteosynthese erfolgen [119].

2.2.3.4.3 Das Prinzip der Winkelstabilität

Die Knochenheilung bei nicht winkelstabilen Systemen beruht auf einer erhöhten Haftreibung und der dadurch vermehrten Kallusbildung. Dafür muss jedoch die Platte stark an den Knochen gepresst werden, was zu einer Durchblutungsstörung des Periosts und somit zu Störungen der Knochenheilung führen kann. Bei einer winkelstabilen Platte können sich die Winkel zwischen dem Träger und den Schrauben nicht verändern. Dies führt zu einer erhöhten Stabilität und einer verringerten Rate an Dislokationen. Das Gewinde der Schraube wird dabei in das entsprechende Innengewinde des Schraubenlochs eingebracht und bis auf eine geringe Bewegungsmöglichkeit in seinem Winkelgrad fixiert. Durch diese Bewegung wird die Kallusbildung im interfragmentären Spalt angeregt. Jedoch kann ein zu großer Bewegungsumfang zu einer Resorption der Frakturänder führen und eine Pseudarthrose verursachen. Je mehr Fragmente bei einer Fraktur vorhanden sind, desto mehr verteilt sich die Bewegung auf die einzelnen Spalte und führt so zu einer geringeren Bewegung im einzelnen interfragmentären Spalt.

Inzwischen wurden auch multidirektionale Platten entwickelt. Diese lassen eine Variation der Winkel zu. Die Schrauben können in verschiedene Richtungen eingebracht werden und somit die einzelnen Fragmente fassen und in Position halten. Dadurch kann die Platte individuell an die jeweilige Fraktur angepasst werden.

2.2.3.4.4 Dorsale und palmare Plattensysteme

Es gibt dorsale und palmare Plattensysteme. Die Indikation wird für beide Plattensysteme unterschiedlich gestellt.

- Dorsale Platten

Für das Einbringen der Platte müssen die Strecksehnen aus den Fächern gelöst werden, welche am Periost verankert sind. Postoperativ verlaufen diese dann über der Platte, was sie durch die erhöhte Reibung anfällig für Läsionen und Rupturen macht. Oft muss deshalb die Platte im Verlauf aufgrund der Sehnenirritationen entfernt werden. Da bei dorsalen Platten auch häufig das Gelenk freigelegt und der Knochenverlust durch einen Knochenspan aufgefüllt werden muss, ist die Komplikationsrate bei diesen Systemen relativ hoch [141-143]. Auch muss man für diese Behandlung einen größeren Zugangsweg wählen, was die Infektionsrate erhöhen kann. Weiterhin kommen Komplikationen wie volare Einbrüche und langfristige Folgeschäden gehäuft bei dorsalen Platten vor [144].

Um diese Hauptkomplikationen zu verringern wurden flachere Platten („low-profile“) entwickelt, welche einen reduzierten Traumatisierungsgrad haben [145].

Die palmaren Plattensysteme drängen sie aufgrund besserer Handhabung und geringerer Komplikationsrisiken in den Hintergrund, weshalb sie nur noch bei B1.2- und B2-Frakturen verwendet werden. Nebenbei können sie auch bei anderen Brüchen mit einer intakten volaren Gelenkkante und dorsalen Schlüsselfragmenten verwendet werden [127].

Für eine Fraktur mit metaphysärer Trümmerzone bietet die dorsale winkelstabile Platte eine gute Stütze, da diese Art der Fraktur oft nach dorsal abkippt. Ist eine Fraktur sehr zertrümmert oder infraktioniert, kann eine Spongiosaplastik mit Material von Beckenkamm oder Radius der Gegenseite notwendig werden.

- **Palmare Platten**

Sowohl die Komplikationsrisiken als auch der operative Anspruch bei palmaren Platten sind im Gegensatz zu dorsalen Systemen geringer [146]. Hier sind es vor allem die winkelstabilen Systeme, die immer häufiger verwendet werden. Sie bieten im Gegensatz zu nicht-winkelstabilen Platten eine größere Stabilität bei osteoporotischem Knochen und beeinträchtigen die Durchblutung des Periosts nur wenig, was zu einer verbesserten Knochen- und Weichteilheilung führt [147, 148].

Palmare Systeme sind indiziert bei A2.2, A2.3, A3, B1.2, B3 und einigen C-Frakturen. Durch die bessere knöchernen Verankerung wird auch ein zusätzlicher Knochenspan nicht so häufig benötigt wie bei nicht-winkelstabilen Platten. Dies ist ein Vorteil vor allem bei osteoporotischen Frakturen älterer Patienten, da so postoperativ das Risiko für eine erneute Sinterung verringert werden kann. Allerdings sind winkelstabile Platten finanziell aufwändiger.

Im Vergleich zu dorsalen Platten haben die palmaren Platten ein besseres klinisches Outcome. Hinsichtlich der Funktionalität gibt es jedoch im Vergleich mit der palmaren winkelstabilen Platte zu der dorsalen T-Platte, welche meist verwendet wird, keinen signifikanten Unterschied [149]. Dennoch scheint sich das Handgelenk bei palmaren Platten in Bezug auf Funktion, Griffstärke, Bewegungsumfang und Schmerz schneller zu erholen [146, 150, 151].

Nichtsdestotrotz können auch hier Irritationen oder Rupturen von Sehnen der Extensoren vorkommen, vor allem des M. extensor pollicis longus. Ursächlich sind dabei meist überstehende Schrauben. Eine nicht zu distale Lage der Platte vermindert das Risiko durch eine Reduzierung des Drucks auf die Sehne [152].

Verglichen mit der Therapie durch einen Fixateur externe haben Patienten mit winkelstabiler Platte weniger postoperative Schmerzen, ein geringeres Risiko für eine Radiusverkürzung, ein besseres funktionelles

Outcome, einen besseren Bewegungsumfang und eine stärkere Greifkraft [135].

Das Einbringen der palmaren Platte ist für den Chirurgen einfacher als bei einer dorsalen Platte [153]. Die dorsale Seite des Radius ist im Gegensatz zur volaren Seite konvex geformt und macht das Anbringen einer Platte anatomisch kompliziert. Die Versorgung durch das palmare winkelstabile System ermöglicht dagegen eine sehr gute Reposition der Fragmente und vermindert die Rate an sekundären Dislokationen. Durch die große Stabilität erlaubt sie dem Patienten, früh mit der Mobilisation der Hand zu beginnen. Dies ist wichtig, da es vor allem älteren Patienten erlaubt, schnell in den Alltag zurückzufinden und jüngeren Patienten ermöglicht, die Arbeit baldmöglichst wiederaufzunehmen [154].

Der palmare Zugang kann zum einen ulnarseitig des N. Medianus über eine Spaltung des Ligamentum carpi radialis transversum erfolgen, zum anderen radialeitig zwischen Arteria radialis und der Sehne des Musculus flexor carpi radialis durch Präparation auf den M. pronator quadratus. Nach dem Ablösen des Muskels kann man die Fraktur einsehen (Henry-Zugang). Die bessere Weichteilbedeckung auf der Palmarseite des Armes bietet einen Schutzvorteil im Vergleich zum dorsalen Zugangsweg. Dennoch sollte der Stress für die Weichteile, vor allem für den Medianusnerv, so gering wie möglich gehalten werden um ein nachfolgende Wundheilungsstörungen oder ein Kompressionssyndrom zu vermeiden.

2.2.3.5 Individuelle Versorgung

Wenn keine andere Therapieoption greift oder der Knochen stark zertrümmert ist, ist es auch möglich, eine individuelle Versorgung anzustreben. Dabei werden mehrere kleine Platten verwendet, um die einzelnen Fragmente stabil wieder zu fixieren. Dabei können sowohl von dorsal, als auch von radial oder volar Platten und Drähte eingebracht werden. Obwohl die Komplikationsrate bei

dieser Versorgung im Gegensatz zur palmaren winkelstabilen Platte höher war, konnte doch kein Unterschied im klinischen Outcome festgestellt werden [155]. Sollte eine Fraktur mit den bisher genannten Methoden kein zufriedenstellendes Ergebnis erzielen, kann auch eine Handgelenksarthrodese nötig sein, um etwaige Schmerzen zu beseitigen.

Insgesamt ist das Verfahren der Plattenosteosynthese eine geeignete Methode, um instabile Frakturen besonders jüngerer Patienten schnell und übungstabil zu versorgen. Durch die Entwicklung der winkelstabilen und Verriegelungsplatten jedoch wurde die Indikation auch auf ältere Patienten mit schlechtem Knochenmaterial erweitert. Selbstverständlich sind auch die Erwartungen und Wünsche des Patienten zu berücksichtigen und in die Entscheidung miteinzubeziehen. Auch der soziale Aspekt darf nicht unterschätzt werden. Durch die steigende Aktivität im Alter erhoffen sich viele dieser Patienten durch eine Plattenosteosynthese eine schnelle Wiederherstellung der Funktionstüchtigkeit, welche durch eine anderweitige Versorgung nicht gegeben wäre. Dies ist vor allem bei alleinstehenden älteren Patienten zu bedenken. Allerdings ist die Behandlungsmethode immer subjektiv auszuwählen. Dies erfordert viel Können und Erfahrung von Seiten des Operateurs.

2.2.4 Nachbehandlung

Die Nachbehandlung der distalen Radiusfraktur ist von höchster Bedeutung für die Funktionalität des Handgelenks.

Grundsätzlich sollte schon vor der Behandlung eine adäquate Schmerztherapie erfolgen. Wird der Unterarm immobilisiert, ist auch eine Thromboseprophylaxe anzuraten.

Bei Gipsanlage wird der Patient grundsätzlich am nächsten Tag wieder einbestellt, um den Gips zu kontrollieren und die Gefahr von Druckstellen zu vermeiden. Bei operativer Therapie wird postoperativ ein Kontroll-Röntgen angefertigt. Danach wird für drei Wochen jede Woche ein weiteres erstellt, um

sicher zu gehen, dass der Bruch nicht wieder disloziert ist und die Konsolidierung des Knochens voranschreitet. Wichtig ist es, bei jeder Untersuchung auch Durchblutung, Motorik und Sensibilität zu kontrollieren.

Das Abschlussröntgenbild wird 6-8 Wochen postoperativ angefertigt, um den Verlauf der Knochenheilung zu beurteilen. Nach dieser Zeit sollte die Fraktur wieder vollständig konsolidiert sein.

Damit die Schwellung zurückgeht und nicht voranschreitet, sollte der Arm postoperativ möglichst hochgelagert und gekühlt werden. Dies verringert auch die Schmerzen direkt nach einer Operation. Schon jetzt sollte der Patient je nach Schmerztoleranz mit einer selbstständigen Bewegung der Finger und des Handgelenks beginnen, um einer Versteifung entgegenzuwirken. Auch eine Lymphdrainage kann förderlich sein.

Faustschluss, Pro- und Supinations-, Ulnar- bzw. Radialabduktions- und Extensions- bzw. Flexionsbewegungen sollten zunächst passiv geübt werden.

Nach einer ca. 2-wöchigen bei extraartikulären und einer ca. 4-wöchigen Immobilisationsphase bei intraartikulären Frakturen können die freien Gelenke auch aktiv beübt werden. Natürlich ist dazu vorher eine Beurteilung der Knochenkonsolidierung im Röntgenbild nötig. Diese Ruhigstellung gibt etwaigen übersehenen ligamentären Begleitverletzungen die Möglichkeit einer Heilung. Allmählich darf dann auch mit einem Belastungsaufbau auf das Handgelenk begonnen werden.

Im Anschluss an jede Behandlung empfiehlt sich vor allem bei komplizierten Frakturen oder älteren Patienten zur Wiederherstellung des Bewegungsumfanges und der Kraft eine Rehabilitation, im Rahmen derer die Patienten auf den Alltag und das Arbeitsleben vorbereitet werden. Hierfür sollte jedoch die Knochenheilung bereits abgeschlossen sein [109, 156].

3. Studie

3.1 Studienbeschreibung

3.1.1 Patientenkollektiv

Im Zeitraum zwischen dem Mai 2006 und dem April 2011 wurden im Universitätsklinikum Würzburg 414 distale Radiusfrakturen bei 399 Patienten operativ versorgt.

Für die Studie haben davon 163 Patienten folgende Einschlusskriterien erfüllt:

- Indikation zur operativen Versorgung durch eine Plattenosteosynthese (palmar, dorsal und beides)
- Alleinige Plattenosteosynthese ohne zusätzliche Versorgung durch Kirschner-Drähte oder Fixateur externe
- Durchführung der Operation innerhalb von 3 Tagen nach Trauma
- Durchführung einer funktionellen Nachbehandlung
- Vollständige Nachuntersuchung über 3 Monate

Ausgeschlossen wurden Patienten, die sekundär zu weiteren Eingriffen zugewiesen worden waren. Auch Patienten, die weitere Verletzungen an der zu operierenden Extremität aufwiesen, wie zum Beispiel Ellenbogenfrakturen oder Schulterverletzungen, wurden von der Studie ausgenommen. Pathologische Frakturen aufgrund maligner Erkrankungen wurden ebenfalls nicht miteinbezogen. Wichtig war auch, dass der Patient keine anderweitigen Verletzungen aufwies, die eine Änderung der Therapie nach sich gezogen hätten. Somit mussten insgesamt 236 Patienten aus der Studie ausgeschlossen werden.

Alle Patienten mussten Instabilitätskriterien aufweisen, um eine operative Behandlung zu rechtfertigen. Wir bezogen uns dabei auf die Kriterien nach Lafontaine und die aktuellen Leitlinien der Leitlinienkommission der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie [109, 114]:

- Initiale dorsale Inklinationswinkel über 20°
- Dorsale oder palmare Trümmerzone
- Verkürzung des Radius
- Intraartikuläre radiocarpale Beteiligung

- Radioulnare Dissoziation
- Dislozierte Trümmerfraktur
- Assoziierte Ulnafrakturen
- Alter über 60 Jahre

Die Auswahl der Patienten war unabhängig von Alter, Geschlecht oder Unfallmechanismus.

3.1.1.1 Patientenkollektiv gesamt

Insgesamt gab es 10 Patienten mit bilateraler und 153 mit unilateraler distaler Radiusfraktur. Bilaterale Brüche wurden dabei einzeln in die Statistik mit aufgenommen, sodass sich die Statistik auf insgesamt 173 distale Radiusfrakturen bezieht.

Insgesamt waren 74 Männer und 89 Frauen betroffen.

	Unilaterale Frakturen	Bilaterale Frakturen	Gesamt	
Patienten Gruppe 1	75	3	78	24 Männer 54 Frauen
Patienten Gruppe 2	78	7	85	50 Männer 35 Frauen
Patienten insgesamt	153	10	163	74 Männer 89 Frauen
Frakturen insgesamt	153	20	173	

Tabelle 1: Frakturaufteilung und Patientenverteilung

Das Alter des gesamten Kollektivs lag zwischen 16 und 88 Jahren, das mittlere Alter war 56 Jahre. Das Durchschnittsalter bei den Frauen war mit 65 Jahren deutlich über dem der Männer (46 Jahre).

Die Frakturverteilung ist in Tabelle 1 zusammengefasst. Tabelle 2 beschreibt das Durchschnittsalter der einzelnen Gruppen in Bezug auf Männer und Frauen.

	Range	Mittleres Alter	Standardabweichung
Männer Gruppe 1	28-77	50,5	13,3
Frauen Gruppe 1	28-87	68,2	14,3
Männer Gruppe 2	16-78	44,1	15,7
Frauen Gruppe 2	21-88	61,5	16,4
Patienten Gruppe 1	28-87	62,7	16,1
Patienten Gruppe 2	16-88	51,3	18,0
Männer gesamt	16-78	46,5	15,0
Frauen gesamt	21-88	65,5	15,4

Tabelle 2: Altersverteilung/Geschlechterverteilung

In 95 Fällen (55%) war die linke Hand betroffen, in 78 Fällen (45%) die rechte. AO-Typ-C-Frakturen waren in ca. 90% zu verzeichnen, analog dazu wurden mehr als 90% als Frykman Typ 5 und höher klassifiziert, Typ 4 war nicht vertreten. Abbildung 18 und Abbildung 19 zeigen die Verteilung der Frakturen in der AO- und Frykman-Klassifikation über das gesamte Patientenkollektiv.

Nebenerkrankungen sind für die Pathologie der distalen Radiusfraktur enorm wichtig. Eine arterielle Hypertonie wurde bei beiden Gruppen bei ca. 30%, ein Diabetes Mellitus bei ca. 10% und ein Alkoholabusus bei ca. 5% aller Patienten gefunden. Zum Zeitpunkt des Traumas war eine Osteoporose in Gruppe 1 mit 13 und in Gruppe 2 mit lediglich 4 Fällen vorhanden. Das gesamte Patientenkollektiv wurde in zwei Gruppen geteilt. Ausschlaggebend für die Aufteilung war das Vorhandensein eines postoperativen CT-Scans.

3.1.1.2 Gruppe 1

Gruppe 1 bestand aus 78 Patienten (54 Frauen (69,2%), 24 Männer (30,8%)), welche postoperativ keine Computertomographie erhielten (Abbildung 10). Das Durchschnittsalter lag in dieser Gruppe bei 62,7 Jahren (Range 28-87 Jahre) (Abbildung 11). Insgesamt wurden in dieser Gruppe 81 Frakturen verzeichnet, 75 Patienten mit unilateralen, 3 mit bilateralen Frakturen. Mit 42 Fällen war die linke etwas öfter betroffen als die rechte Hand (39 Frakturen). Ein Sturz auf das Handgelenk war die häufigste Unfallursache (83,9%, 68 Fälle). Bei 10 Patienten (12,8%) war ein Polytrauma Grund für die Fraktur. Das Durchschnittsalter bei Polytrauma lag mit 51,8 Jahren deutlich unter dem mittleren Alter der Gruppe. Die Frakturen wurden in über 69% (56 Frakturen) als AO- Typ-C klassifiziert, in über 80% (65 Frakturen) als Frykman Typ 6 und höher (Abbildung 12 und Abbildung 13).

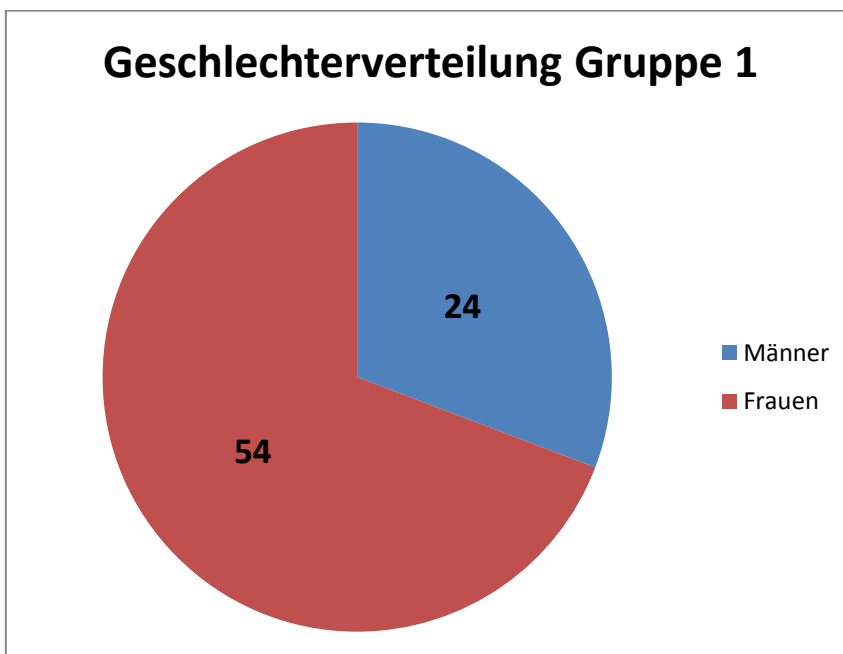


Abbildung 10: Geschlechterverteilung Gruppe 1

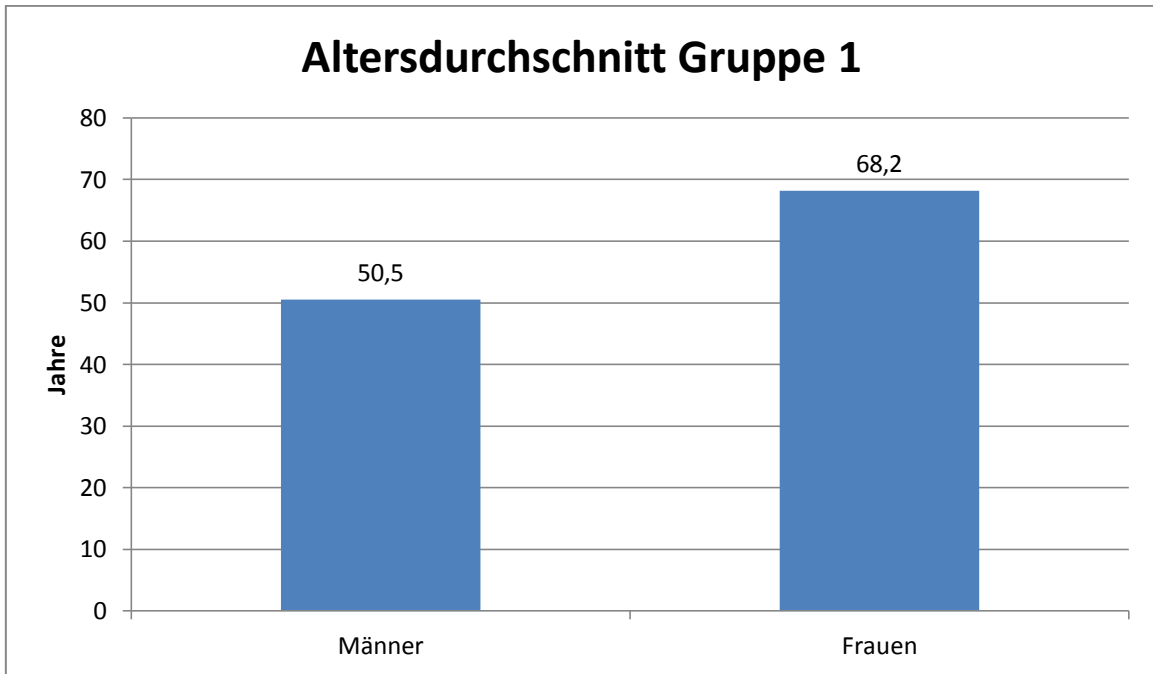


Abbildung 11: Altersverteilung Gruppe 1

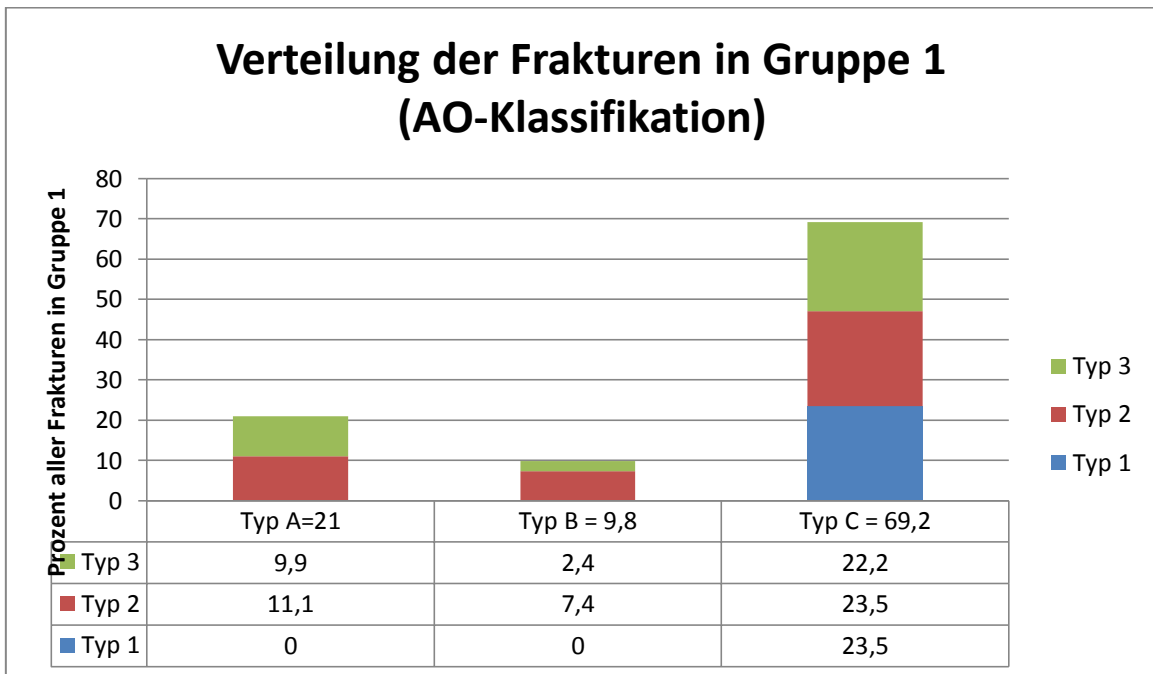


Abbildung 12: Frakturverteilung Gruppe 1 (AO)

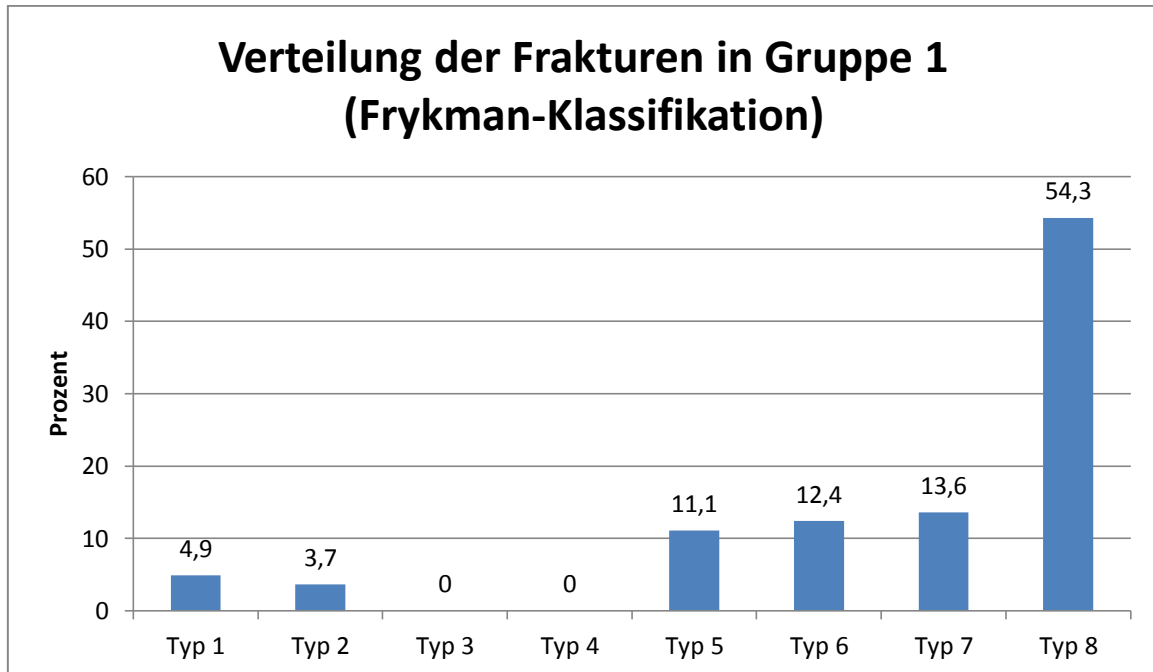


Abbildung 13: Frakturverteilung Gruppe 1 (Frykman)

3.1.1.3 Gruppe 2

In Gruppe 2 waren Patienten eingeteilt, welche ein postoperatives CT bekommen hatten. Das mittlere Alter belief sich auf 51,5 Jahre (Range 16-88 Jahre) (Abbildung 15). Hier kamen 92 Frakturen auf 85 Patienten (50 Männer (58,8%), 36 Frauen (41,2%)) (Abbildung 14). Unilaterale Frakturen waren vorhanden bei 75, bilaterale bei 7 Patienten. 53 Mal war die linke Hand gebrochen, 39 Mal die rechte. Ein Sturz war in 58 Fällen (63%) die Ursache für die Fraktur. 19 Patienten hatten sich im Rahmen eines Polytraumas den Radius gebrochen.

In dieser Gruppe wurde bei insgesamt über 90% eine AO Typ-C-Fraktur und in über 93% eine Frykman Typ 7- oder 8-Fraktur klassifiziert (Abbildung 16 und Abbildung 17).

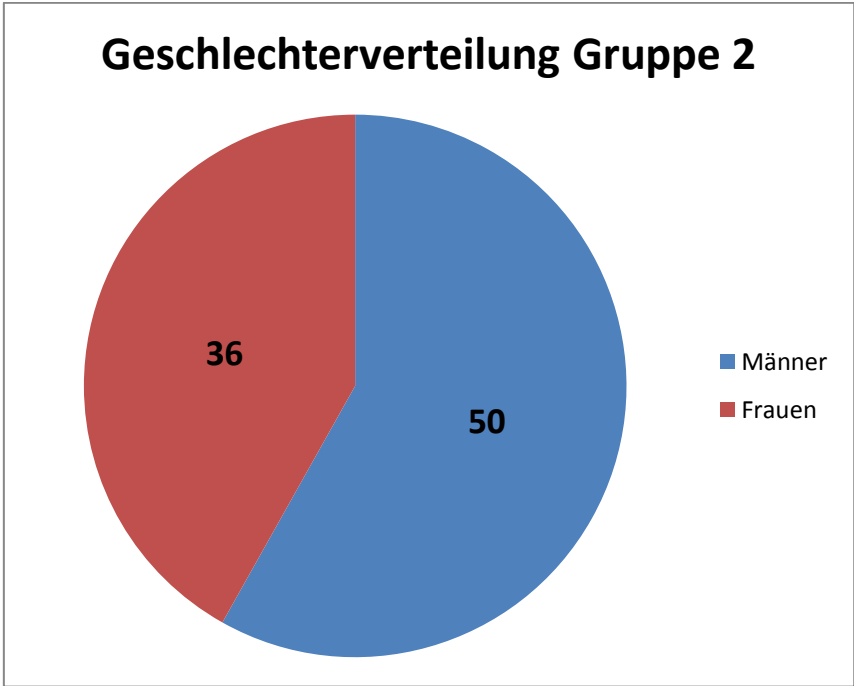


Abbildung 14: Geschlechterverteilung Gruppe 2

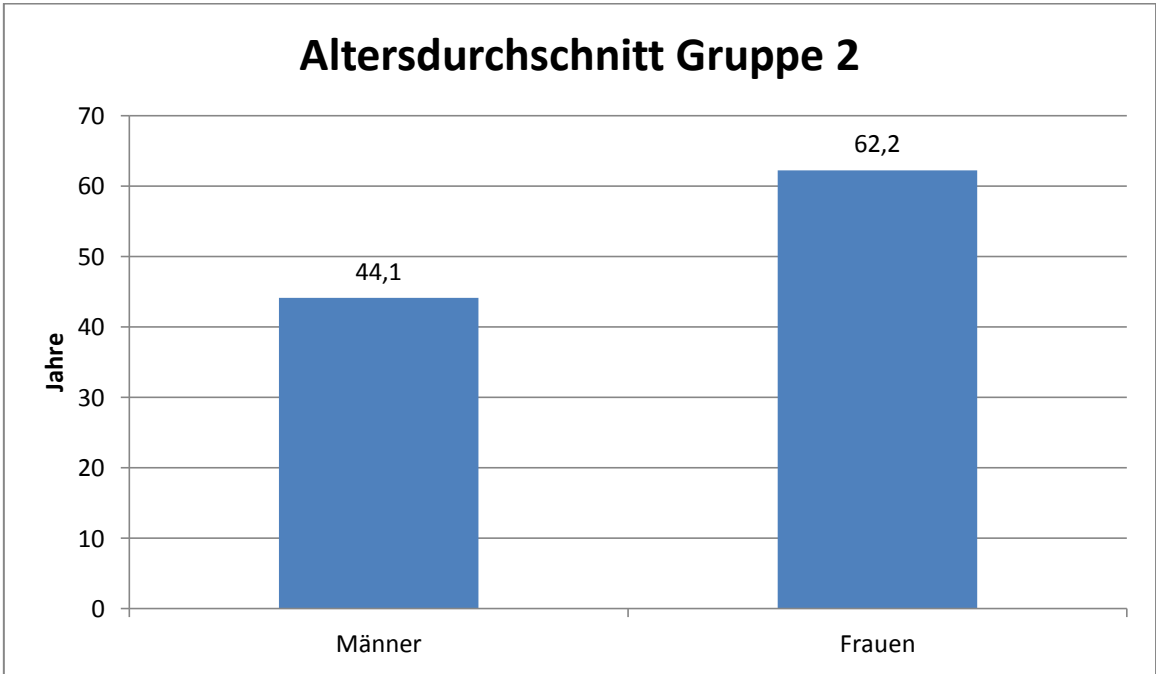


Abbildung 15: Altersverteilung Gruppe 2

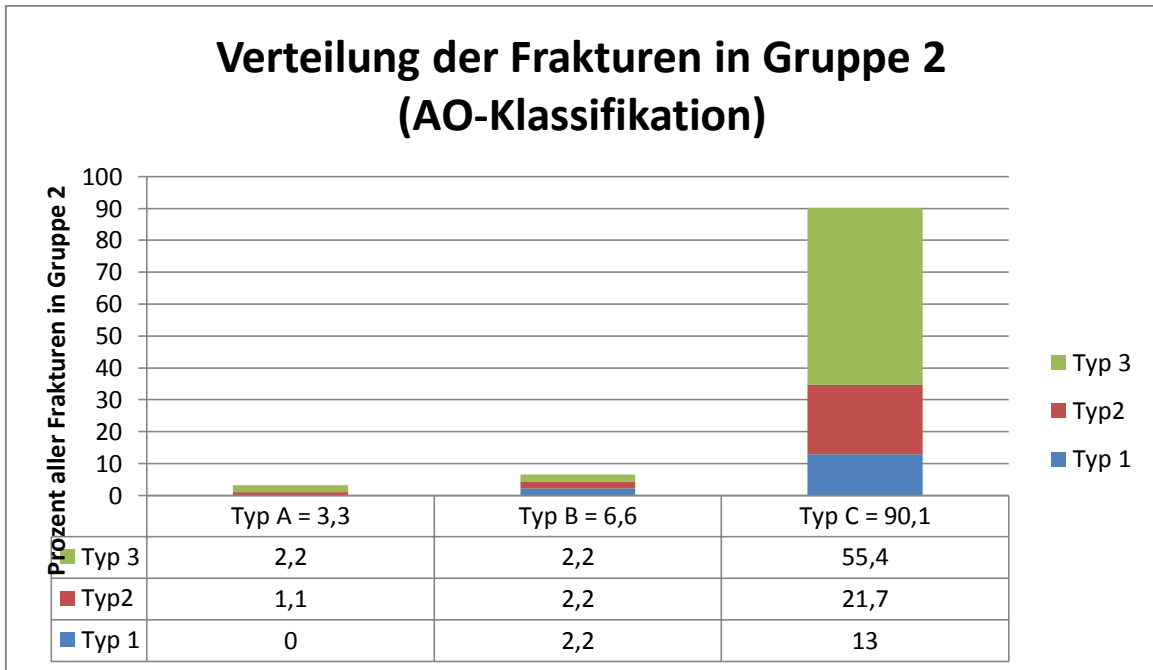


Abbildung 16: Frakturverteilung Gruppe 2 (AO)

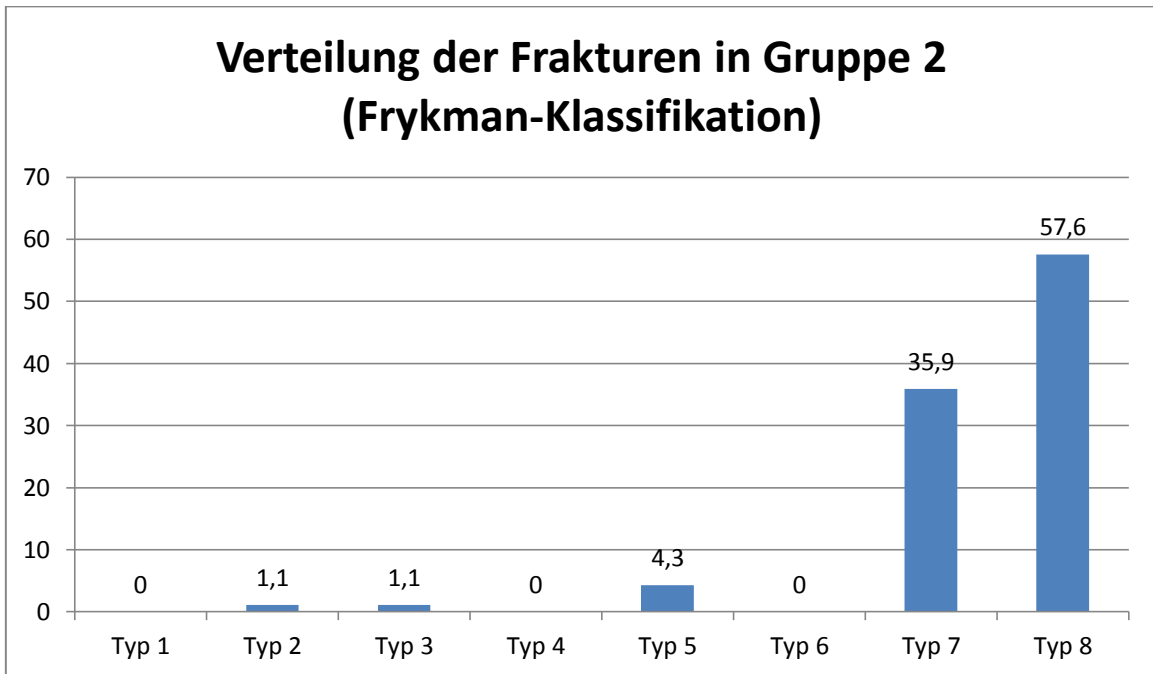


Abbildung 17: Frakturverteilung Gruppe 2 (Frykman)

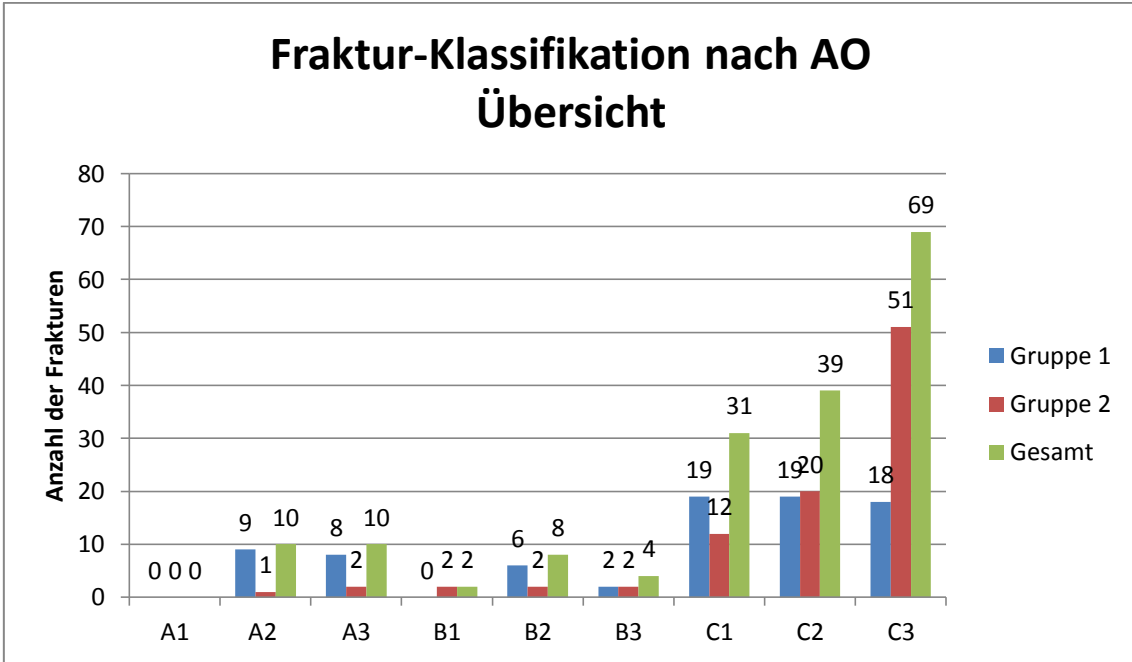


Abbildung 18: Frakturverteilung (AO) gesamt

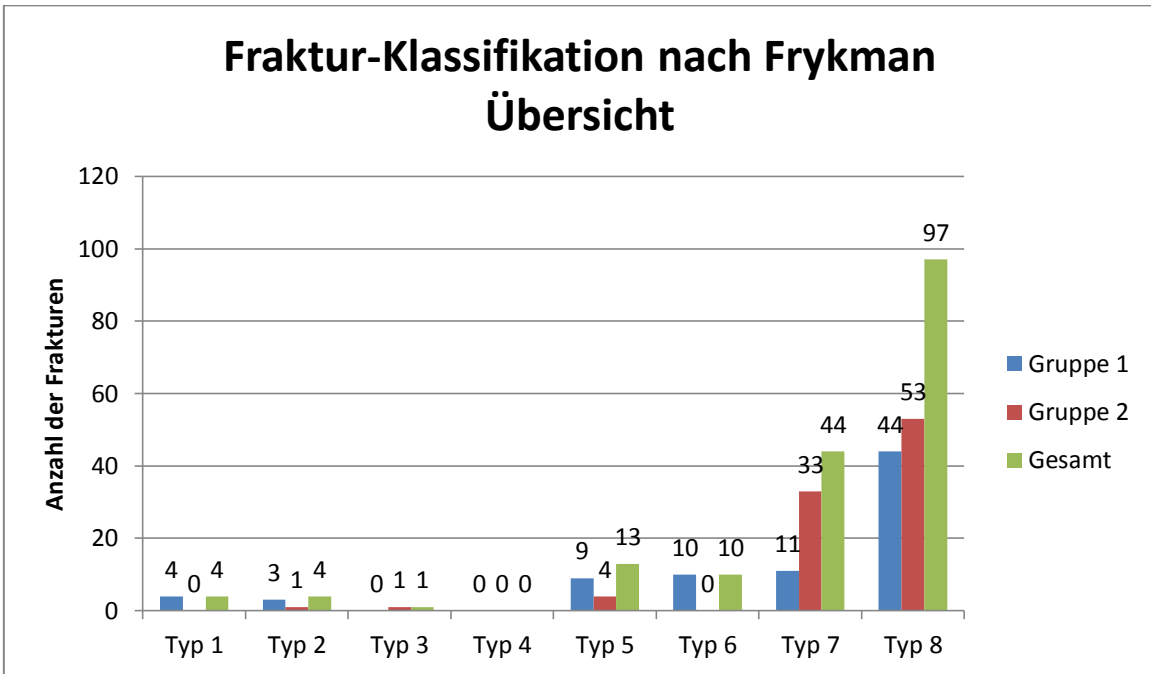


Abbildung 19: Frakturverteilung (Frykman) insgesamt

3.1.2 Datenerhebung zur Auswertung der CT-Untersuchungen

Für alle Frakturen wurde der Bezug zwischen klinischem/radiologischem Outcome und dem Vorhandensein eines CT-Scans untersucht.

Anhand der Röntgen- und der CT-Bilder wurden die Winkel des Handgelenks ausgemessen. Dabei wurden die dorsale und radiale Inklination, die Ulnavarianz und die Höhe der postoperativen intraartikulären Stufenbildung prä- und postoperativ und im Falle einer Revision erhoben. In der abschließenden Bildgebung 3 Monate postoperativ wurden dann die Winkel der endgültigen Position nochmals vermessen.

Weiterhin wurde untersucht, welche diagnostischen Verfahren (Röntgen, CT) vor und nach der primären Operation angewendet wurden. Ein unabhängiger Radiologe und ein weiterer Handchirurg beurteilten in einer 3-stufigen Klassifikation, ob die Fragestellung der CT-Diagnostik bereits im postoperativen Röntgenbild zu beantworten gewesen wäre. Dazu wurden die Röntgenbilder der Patienten wie folgt bewertet:

1. Unauffälliges Röntgenbild
2. Auffälliges Röntgenbild, nicht sicher beurteilbar
3. Revisionsindikation

Es wurden bestimmte Komplikationen und Begleiterkrankungen mit einbezogen, wie Diabetes Mellitus, Osteoporose und Alkoholabusus, postoperative Schmerzen/Dislokationen und Revisionen. Bei postoperativem CT-Scan wurde auch die Indikation (postoperative Kontrolle, Verlaufskontrolle, Frage nach intraartikulärer Schraubenlage und/oder Dislokation) erfasst.

Im Falle einer Revision wurden vorher genannte Winkel nach der Operation noch einmal gemessen und mit den primären postoperativen Winkeln verglichen. Plattenentfernungen nach über 6 Monaten wurden nicht als Revision in die Statistik mitaufgenommen.

Alle Daten wurden mit dem Statistikprogramm SPSS® (SPSS GmbH Software, Munich, Germany, Version 20) bearbeitet. Die Signifikanz wurde auf $p < 0,05$ festgelegt.

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Gruppe 1

Die Übersicht über die Frakturen der Gruppe 1 ist in Abbildung 12 und Abbildung 13 dargestellt.

18,5% der Frakturen wurden von dorsal mit Medartis- oder Synthes-Platten versorgt.

Präoperativ lag die durchschnittliche radiale Inklination bei 11,8° (Standardabweichung 12,6°), die durchschnittliche dorsale Inklination bei -6,1° (Standardabweichung 22,5°) und die durchschnittliche Ulnavarianz bei 2,5 mm (Standardabweichung 3,0 mm).

Im Mittel wurde postoperativ die radiale Inklination mit 22,9° (Standardabweichung 5,4°), die dorsale Inklination mit 5,7° (Standardabweichung 9,9°) und die Ulnavarianz mit 0,9 mm (Standardabweichung 2,1 mm) berechnet.

In dieser Gruppe wurde nur eine Revision vorgenommen. Die Werte lagen hier nach der Revision bei 4° dorsaler Inklination, bei 28° radialer Inklination und bei 4 mm Ulnavarianz.

Nach 3 Monaten wurden die Winkel der Patienten im Abschlussröntgen ein weiteres Mal ausgemessen. Die mittleren Werte ergaben bei der dorsalen Inklination 4,5° (Standardabweichung 10,4°), bei der radialen Inklination 22,1° (Standardabweichung 5,6°) und 1,0 mm Ulnavarianz (Standardabweichung 2,4 mm) (Tabelle 3).

Bei 74 der 81 Frakturen traten innerhalb dieser 3 Monate keine Beschwerden auf. Bei den restlichen 7 Frakturen klagten die Patienten zwei Mal über Bewegungseinschränkungen und Steifigkeit, vier Mal über Schmerzen und einmal über eine Dislokation. Insgesamt 5 Patienten hatten zum Zeitpunkt der abschließenden Bildgebung radiologische Korrelate einer Grad 1-Arthritis nach Knirk und Jupiter [128].

	präoperativ	postoperativ	nach Revision (1 Patient)	Endergebnis nach 3 Monaten
Dorsale Inklination	-6,1 (22,5 S.D.)	5,7 (9,9 S.D.)	4,0	4,5 (10,4 S.D.)
Radiale Inklination	11,8 (12,6 S.D.)	22,9 (5,4 S.D.)	28,0	22,1 (5,6 S.D.)
Ulnavarianz (mm)	2,5 (3,0 S.D.)	0,9 (2,1 S.D.)	4,0	1,0 (2,4 S.D.)

Tabelle 3: Durchschnittliche Winkel der Gruppe 1

3.2.2 Gruppe 2

In Abbildung 16 und Abbildung 17 werden die Frakturen der Gruppe 2 aufgelistet.

8 der 92 Brüche (8,7%) wurden von dorsal, die restlichen von palmar versorgt. Präoperativ lagen die Winkel durchschnittlich bei $-7,4^\circ$ (Standardabweichung $19,2^\circ$) dorsale Inklination und $14,4^\circ$ radiale Inklination (Standardabweichung $9,1^\circ$). Die Ulna war durchschnittlich um 2,0 mm (Standardabweichung 3,3 mm) gegenüber dem Radius verschoben. Postoperativ standen die Mittelwerte bei $3,7^\circ$ dorsaler Inklination (Standardabweichung $9,5^\circ$), bei $21,6^\circ$ radialer Inklination (Standardabweichung $4,9^\circ$) und 1,0 mm Ulnavarianz (Standardabweichung 2,9 mm). 7 Patienten wurden in dieser Gruppe revidiert, die Durchschnittswerte betragen hier $2,2^\circ$ dorsale Inklination (Standardabweichung $13,6^\circ$), 15° radiale Inklination (Standardabweichung $10,3^\circ$) und 2,3 mm Ulnavarianz (Standardabweichung 2,7 mm).

Die Indikationen für die erneuten Operationen waren eine sekundäre Dislokation (3 Patienten) und eine intraartikuläre Schraubenlage mit Bewegungseinschränkung (1 Patient). 2 der revidierten Patienten hatten Schmerzen, einem der Revisionspatienten musste aufgrund eines Medianus-Kompressionssyndroms das Karpaldach gespalten werden. Unter den 7 Revisionsfrakturen waren eine C1-, zwei C2-, drei C3- und eine B2-Fraktur. Die Durchschnittswinkel nach 3 Monaten wurden mit 1,4° dorsale Inklination (Standardabweichung 9,3°), 20,3° radiale Inklination (Standardabweichung 5,8°) und 0,5 mm Ulnavarianz (Standardabweichung 2,7mm) berechnet. Bis zu diesem Zeitpunkt wurden in Gruppe 2 zwei Karpaldachspaltungen, eine Korrekturosteotomie des Radius und eine Ulnaverkürzung aufgrund eines Impaktionssyndroms durchgeführt (Tabelle 4).

	präoperativ	postoperativ	nach Revision	Endergebnis nach 3 Monaten
Dorsale Inklination	7,4 (19,2 S.D.)	3,7 (9,5 S.D.)	2,2 (13,6 S.D.)	1,4 (9,3 S.D.)
Radiale Inklination	14,4 (9,1 S.D.)	21,6 (4,9 S.D.)	15 (10,3 S.D.)	20,3 (5,8 S.D.)
Ulnavarianz (mm)	2,0 (3,3 S.D.)	1,0 (2,9 S.D.)	2,3 (2,7 S.D.)	0,5 (2,7 S.D.)

Tabelle 4: Durchschnittliche Winkel der Gruppe 2

3.2.3 Weitere Untersuchungen

Um die postoperativen Röntgenbilder mit den CT-Scans zu vergleichen wurde eine Einteilung der Röntgenbilder in drei Gruppen erstellt:

- 1: unauffällig
- 2: auffällig, nicht ausreichend beurteilbar
- 3: Revisionsindikation besteht

Gruppe 1 wurden 22, Gruppe 2 61 und Gruppe 3 9 Patienten zugeteilt. Revisionspatienten waren vertreten in Gruppe 1 (1), Gruppe 2 (3) und Gruppe 3 (3) (Tabelle 5).

	Röntgenbilder Gruppe 2	Revisions-Operationen nach zusätzlichem CT
Kategorie 1	22	1
Kategorie 2	61	3
Kategorie 3	9	3

Tabelle 5: Aufteilung der postoperativen Röntgenbilder in Kategorien: Kategorie 1: unauffällig, Kategorie 2: auffällig/nicht ausreichend beurteilbar, Kategorie 3: Revisionsindikation gegeben

Um die Korrelation von Röntgenbildern und CT-Scans zu bestimmen wurde der Korrelationskoeffizient Cramers V benutzt. Er hat einen Wert zwischen 0 (keine Korrelation) und 1 (maximale Korrelation) und stellt eine Beziehung zwischen zwei Variablen her.

Bei der Korrelation der Röntgenaufnahmen und der CT-Scans in unserer Studie ergab sich ein Cramers V von 0,812 bei $p < 0,0001$.

Dies zeigt eine hohe Korrelation zwischen diesen beiden Untersuchungsmethoden in Bezug auf die Revisionsraten.

	Wert	Approx. Sig.
Phi	0,812	0
Cramers V	0,812	0

Tabelle 6: Korrelation von Röntgen und CT

4. Diskussion

Die Radiusfraktur stellt die häufigste aller Frakturen beim Menschen dar. Eine adäquate Versorgung ist daher extrem wichtig. Ein großer Teil dieser Brüche sind kompliziert und instabil. Eine Funktionsstörung dieses Gelenkes erschwert den Alltag sehr und führt auf lange Sicht häufig zu vorzeitiger Arthrose, persistierenden Schmerzen und Bewegungsstörungen. Gerade deshalb sind die Diagnostik und die Auswahl des richtigen Therapieverfahrens enorm wichtig.

Die konservative Therapie war lange Zeit das Verfahren der Wahl, bis vor einigen Jahren die operative Therapie mehr und mehr in den Fokus geriet. Auch das Outcome bei einer Versorgung durch einen Fixateur externe steht einer Versorgung durch einen Fixateur interne nach [127, 140]. Vor allem bei komplizierten Frakturen haben die Patienten hier einen Vorteil, da bei diesen Brüchen der Repositionsverlust bei konservativer Therapie sehr hoch ist. Durch Weiterentwicklung und Verbesserung des Plattendesigns wurden Komplikationen und Beschwerden deutlich reduziert [152]. Die Winkelstabilität der Plattensysteme hat überhaupt erst die Versorgung von komplexen Radiusfrakturen von palmar ermöglicht. Dies war zuvor die Domäne der dorsalen Plattensysteme, welche aber auch schwere Komplikationen, namentlich Strecksehnenrupturen, beinhalteten [133]. Die Komplikationsrate palmarer Systeme ist in diesem Aspekt geringer [151]. Die Vermeidung von Fremdmaterial im dorsalen Radiusbereich hat weniger Strecksehnenrupturen zur Folge. Insgesamt hat die Platzierung der palmaren Platte, idealerweise unter dem M. pronator quadratus, weniger Komplikationen durch das Implantat zur Folge. Dies wird auch durch unsere Zahlen unterstützt. Die Komplikationsrate betrug in unserem Kollektiv insgesamt 15% (Gruppe 1: 9%, Gruppe 2: 21%). Die häufigsten waren Dislokation, Schmerzen und Bewegungseinschränkungen. Nur ein Patient unseres Kollektivs erlitt eine Wundinfektion, Sehnenrupturen wurden nicht beobachtet. Ähnliche Ergebnisse

erzielten auch andere Studien, welche eine operative Plattenosteosynthese durchführten [68, 73, 86-88].

Verglichen mit anderen Studien ist der Gesamtanteil an Revisionen in unserer Studie vergleichsweise gering [157]. Von den insgesamt 8 revidierten Patienten waren 7 mittels palmarer und ein Patient mittels dorsaler Platte versorgt worden. Der Anteil an Revisionen in Bezug auf absolut durchgeführte Operationen ist dementsprechend bei beiden Systemen in etwa gleich (ca. 4%). Bei den 8 Revisionspatienten waren in 7 Fällen Stürze die Ursache der distalen Radiusfraktur. Nur ein Patient mit einem Polytrauma wurde revidiert. Dieser stellt 3,5% aller Patienten mit Polytrauma dar. Die restlichen 7 Patienten mit Revision machen insgesamt 5,7% aller Patienten mit einem Sturz als Frakturursache aus. Die häufigste Revisionsindikation stellt ein Repositionsverlust und/oder intraartikuläre Schraubenlage dar. Die intraartikuläre Schraubenlage ist eine bekannte Problematik der palmaren Plattenosteosynthese, da hierbei eine direkte Sicht in das Gelenk im Gegensatz zur dorsalen Plattenosteosynthese nicht möglich ist. Deshalb ist die besonders sorgfältige intraoperative Durchleuchtung zur Repositionskontrolle und dem Ausschluss der intraartikulären Schraubenlage essentiell [151].

Die interne Fixierung durch eine Platte hat insgesamt klare Vorteile gegenüber der Versorgung durch einen Gips oder K-Draht. Durch die interne Osteosynthese kann die Fraktur gut in Repositionsstellung gehalten und direkt postoperativ physiotherapeutisch beübt werden, die Plattenosteosynthese gilt als übungstabil. Die Dislokationsrate von K-Drähten ist um ein Vielfaches häufiger als die einer Plattenosteosynthese. Dies ist vor allem bei älteren Patienten von Bedeutung, da der Alltag schnell wieder aufgenommen werden kann. Die steigende Aktivität auch im Alter ist oftmals der Grund, dass Patienten primär eine Operation wünschen.

Die Compliance des Patienten ist ebenfalls wichtig für das funktionelle und klinische Outcome der distalen Radiusfraktur. Die Compliance hängt stark vom Alter des Patienten ab. Ältere Patienten sind häufig auf sich allein gestellt und müssen den Alltag selbstständig bewältigen. Das Handgelenk spielt hier sicherlich eine tragende Rolle. Erschwerend kommt dabei dazu, dass der

demographische Wandel und der dadurch erhöhte Altersdurchschnitt eine Zunahme der Demenz und anderer Nebenerkrankungen und damit eine Verschlechterung der Compliance mit sich bringen.

Das Einhalten der Krankengymnastik sowie das eigenständige Bewegen des Handgelenks fördern die Wiederherstellung der Funktionalität des Handgelenks. Wichtig hierfür ist ebenso die exakte Wiederherstellung der ulno- und radiokarpalen Kongruenz und der Gelenkflächen. Schon Gelenkstufen über 1 mm können zu bleibenden Schmerzen und Arthrose führen. Achsabweichungen des distalen Radius können Bewegungseinschränkungen hervorrufen und ebenfalls eine Degeneration fördern. Wichtig ist das Abwägen der Indikationen für eine Plattenosteosynthese im Gegensatz zu einer externen Fixierung mittels Fixateur. Im klinischen Alltag wird der Fixateur vor allem bei Patienten mit Polytrauma und anderen akuten Operationen verwendet, um in Ruhe später eine elektive Versorgung durchzuführen zu können, als alleinige Versorgung ist der externe Fixateur nicht weit verbreitet.

Gerade bei komplizierten und schweren distalen Radiusfrakturen ist deshalb eine aussagekräftige Diagnostik wichtig, um die Fraktur einzuschätzen und das passende Therapieverfahren auswählen zu können. Die präoperative CT-Diagnostik ist eine hervorragende Methode, um auch kleinste Fragmente zu entdecken und die genaue Stellung des Handgelenks beurteilen zu können. Dagegen ist die Rolle des postoperativen CT nicht definiert. Eine postoperative CT-Kontrolle ist nicht regelhaft indiziert und hängt von der intraoperativen Einschätzung ab. Diese Einschätzung ist stets subjektiv und hängt entscheidend von der Erfahrung des jeweiligen Radiologen und/oder Operateurs ab. Während das präoperative CT sich in den letzten Jahren etabliert hat, ist in der Literatur die Rolle der CT im postoperativen Verlauf noch nicht geklärt.

Sie kann eine weiterführende Diagnostik darstellen, wenn der Operateur einen Verdacht auf eine Komplikation wie intraartikuläre Schraubenlage oder eine Inkongruenz der Gelenkfläche vermutet. Allerdings sollte hier auch abgewogen werden, ob eine Revisionsoperation und eine Verbesserung der Situation technisch möglich sind und dem Patienten Vorteile bringen. Bei bereits

auffälligen Röntgenbildern kann eine zusätzliche CT die Gelenkfläche darstellen und dem Operateur zur Planung der Revisionsoperation nutzen.

Die Indikation sollte jedoch gründlich individuell überdacht werden. Gerade bei jüngeren Patienten ist die Strahlenbelastung durch eine CT-Untersuchung nicht zu unterschätzen. Unsere Ergebnisse zeigen, dass eine postoperative CT in vielen Fällen vermieden werden kann.

Die häufigsten Indikationen bei unserem Patientenkollektiv waren die Verlaufsbeurteilung, die Frage nach intraartikulärer Schraubenlage, Gelenkstufen, Gelenkstellung oder der Ausschluss von Begleitverletzungen.

In unserer Studie wurde die Rolle des postoperativen CT untersucht und ob bereits in der postoperativen Röntgenuntersuchung die Indikationsfragestellung zur Revision beantwortet werden konnte.

Dazu wurden die postoperativen Röntgenbilder in die Kategorien 1-3 eingeteilt (Tabelle 5).

In Fällen mit unauffälligem Röntgenbild (Kategorie 1) erfolgte die postoperative CT-Untersuchung vor allem auf Wunsch des Operateurs, um bei z.B. intraoperativ erschwerter Reposition die Gelenkfläche postoperativ eindeutig beurteilen zu können. Insgesamt war in unserer Studie nur in einem von 22 Fällen (4,5%) eine Revision aufgrund einer intraartikulären Schraubenlage nötig. Die einzige Revision in Kategorie 1 wurde aufgrund von Schmerzen durchgeführt.

In Kategorie 2 mit „verdächtigen“ Röntgenbildern, welche nur eingeschränkt beurteilbar waren, sollte eine Wiederholung des Röntgenbildes in Erwägung gezogen werden. Bei 61 postoperativen CT-Scans in dieser Kategorie war eine Revision nur in 3 Fällen notwendig (4,9%).

In Kategorie 3 bei Röntgenbildern mit eindeutiger Indikation zur Revisions-OP war die Revisionsrate mit 3 von 9 Fällen bei 100% auffälligen Röntgenbildern und CT-Befunden vergleichsweise gering (33%).

Bereits vor der Bildgebung muss abgewogen werden, ob eine Revisionsoperation einen entscheidenden Nutzen für den Patienten bringt, oder ob durch eine Operation der aktuelle Zustand z.B. der Gelenkfläche oder der Schraubenlage technisch verbessert werden kann. Bei z.B. osteoporotischem

Knochen oder Frakturen mit vielen kleineren Fragmenten ist dies oftmals nicht der Fall. Bei Radiusfrakturen mit Zertrümmerung der Gelenkfläche, v.a. AO Typ C3 ist oftmals eine Revision technisch nicht möglich, da keine rekonstruierbare Gelenkfläche mehr vorhanden ist. In solchen Fällen ist eine weitere Bildgebung unter der Fragestellung in Bezug auf Revision nicht indiziert. Auch muss der Allgemeinzustand des Patienten bedacht werden. Gerade bei älteren Patienten muss man Nebenerkrankungen und das Risiko einer erneuten Narkose beachten. Sollte eine Revision möglich sein, stellt sich die Frage nach der adäquaten Bildgebung.

Es bedarf bei bereits auffälligem Röntgenbild keiner CT, um die Indikation zu stellen. Die CT dient nur bei Frakturen, bei welchen eine Verbesserung möglich ist, der genaueren Beurteilung der Gelenkfläche und als Hilfestellung intraoperativ für den Operateur. Wenn das postoperative Röntgenbild bereits die Indikation zu einer Revision stellt, sollte vor Durchführung einer CT erst überdacht werden, ob dadurch Informationen gewonnen werden können, die im Röntgenbild nicht zu sehen sind.

In dieser Studie wurde gezeigt, dass zwischen dem postoperativen Röntgenbild und der postoperativen CT eine hohe Korrelation besteht. Dies bedeutet, dass bei exakt eingestelltem postoperativem Röntgenbild bereits mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Revisionsindikation erkannt werden kann. Von den Patienten mit Röntgenbildern aus Kategorie 1 wurde nur ein Patient revidiert. Bei Kategorie 2 und 3 waren es jeweils drei Patienten.

Hier offenbart sich eine Schwachstelle dieser Arbeit. Die Revision aus Kategorie 1 wurde aufgrund von Schmerzen durchgeführt. Auch in Kategorie 2 und 3 waren Patienten mit Schmerzen und postoperativem Karpaltunnelsyndrom miteinbegriffen. Da Schmerzen und Weichteilbeschwerden auf Röntgenbildern nicht erkannt werden können, verfälschen Revisionen mit dieser Indikation die Ergebnisse. Wenn man radiologisch nicht fassbare Revisionsindikationen wie Schmerzen oder ein Medianus-Kompressionssyndrom außer Acht ließe, würden noch deutlichere Ergebnisse resultieren, welche die Korrelation zwischen den sichtbaren

Indikationen im postoperativen Röntgenbild und postoperativer CT beschreiben. Möglicherweise sollten in weiteren Studien nur Patienten mit postoperativer CT in Bezug auf sichtbare Revisionsindikationen untersucht werden.

In weiteren Studien könnten die Indikationen zur Revision in die Einschlusskriterien miteinbezogen werden und nur Patienten mit im Röntgenbild und CT sichtbaren Indikationen zur Revision eingeschlossen werden.

Der Vorteil dieser Studie verglichen mit anderen Untersuchungen ist definitiv die hohe Anzahl an untersuchten Patienten. Mit 163 Patienten sind in dieser Arbeit mehr Patienten untersucht worden, als in anderen vergleichbaren Studien [158]. Die Ergebnisse sind daher repräsentativ für das gesamte Patientengut mit distalen Radiusfrakturen ohne weitere Begleitverletzungen.

Laut Cooney ist eine distale Radiusfraktur in 31% der Fälle mit Komplikationen und Begleitverletzungen verbunden [26]. Hier zeigt sich ein weiteres Problem der Arbeit. Da wir in unserer Untersuchung Patienten mit Begleitverletzungen ausgeschlossen haben, können die Ergebnisse nur auf knapp 60% Patientengut mit distalen Radiusfrakturen übertragen werden.

Untersuchungen, die alle Patienten mit einbeziehen sind jedoch schwer durchzuführen, weil präoperative Begleitverletzungen auch die Revisionsraten erhöhen und das eigentliche Ziel der Arbeit verfälschen können. Es könnten jedoch Untersuchungen, welche die Revisionsraten nach den wichtigsten Begleitverletzungen aufteilen, miteinander verglichen werden.

Möglicherweise wäre eine Studie, welche Begleitverletzungen mit einschließt, aber die Revisionsindikation strikt nach präoperativen (Revision der Begleitverletzungen) und postoperativen (intraartikuläre Schraubenlage, postoperatives Carpaltunnelsyndrom) Gründen unterscheidet, eher repräsentativ für das gesamte Patientenkollektiv mit distaler Radiusfraktur. Die Indikationen und Revisionsraten könnten verglichen und unterschieden werden.

Schlussfolgerung:

Wenn man diese Ergebnisse zusammenfasst und überdenkt, kann man zu folgenden Schlüssen kommen:

Wenn bei Patienten in Kategorie 1 und 2 der Verdacht auf eine artikuläre Komplikation besteht, sollte die Revidierbarkeit des Patienten abgewogen werden und danach gegebenenfalls das Röntgenbild wiederholt und möglicherweise spezielle Aufnahmen angefordert werden.

In Kategorie 3 sollte vorerst ebenfalls überdacht werden, ob eine Verbesserung durch eine Revisionsoperation überhaupt möglich ist. Erst danach sollte erwogen werden, ob eine Wiederholung der Röntgenaufnahme oder eine CT-Untersuchung notwendig ist.

Sollte im wiederholten Röntgenbild der Verdacht auf eine Revisionsindikation bestehen, könnte auch eine Durchleuchtung des Gelenkes erfolgen. Dies hätte für den Patienten den Vorteil, dass die Strahlenbelastung geringer ist als bei einer CT-Untersuchung und das Gelenk dynamisch beurteilt werden kann.

Kann dann eine klare Revisionsindikation erkannt werden, muss keine erneute Schichtbilddiagnostik erfolgen. Ist die Indikation weiterhin unklar, kann auch nach Durchleuchtung eine CT-Untersuchung erfolgen.

Zur Verdeutlichung und Vereinfachung wurde folgender Algorithmus erstellt (Abbildung 20):

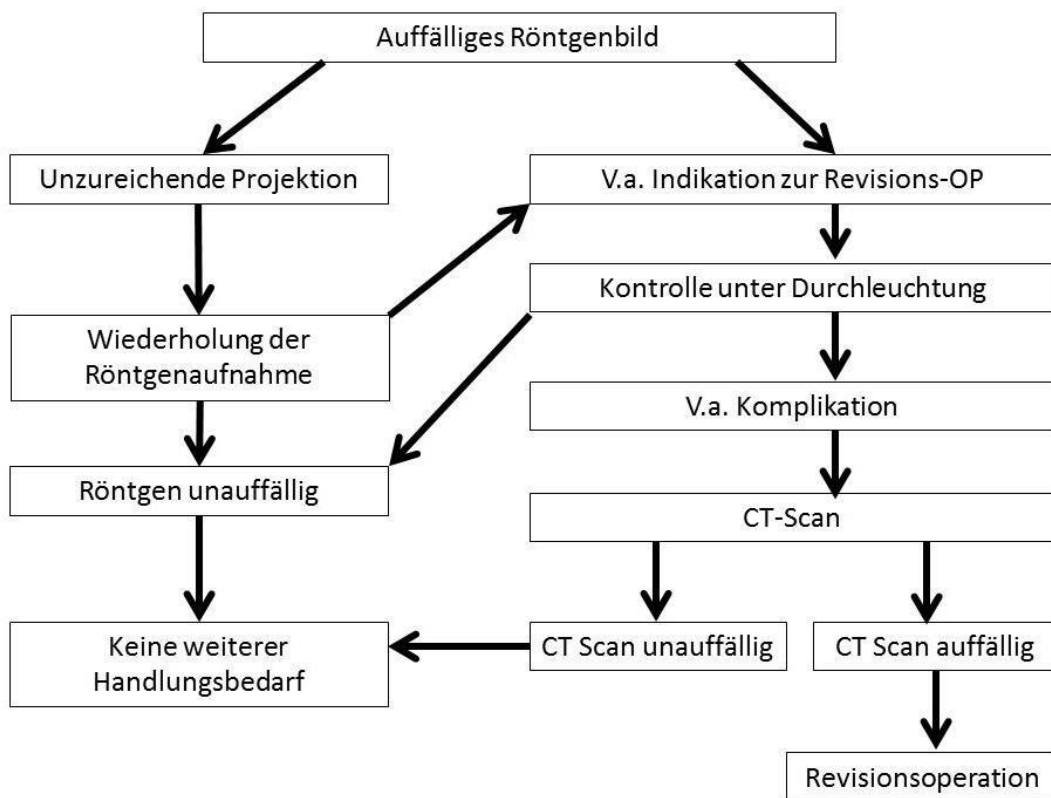


Abbildung 20: Algorithmus zur Vermeidung von überflüssigen CT-Scans

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Indikation für eine postoperative CT individuell abgewogen werden muss.

Um überflüssige postoperative CT-Untersuchungen zu vermeiden, sollte man bereits intraoperativ das Operationsergebnis durch eine akribische Durchleuchtung des Gelenkes mit exakter Einstellung des Gelenkspaltes kontrollieren und auch für Kollegen dokumentieren. So kann noch während der Operation eine intraartikuläre Schraubenlage oder eine intraartikuläre Stufenbildung in den meisten Fällen ausgeschlossen oder behoben werden. Im postoperativen Röntgenbild ist dann auf eine exakte Projektion der Gelenkkomponenten und des Gelenkspaltes zu achten.

So kann eine überflüssige postoperative CT-Untersuchung und die damit verbundene unnötige Strahlenbelastung in vielen Fällen vermieden werden.

5. Zusammenfassung

In dieser Studie wurde die Rolle des postoperativen Röntgenbildes im Vergleich zu der CT Untersuchung in Bezug auf die Revisionsrate untersucht.

In der Literatur ist bis dato keine einhellige Meinung oder ein Algorithmus bekannt, mit welchen Modalitäten Radiusfrakturen nachuntersucht werden sollten. Die postoperative Untersuchung mit dem CT stellt die genaueste Diagnoseform dar, ist allerdings auch mit der höchsten Strahlenbelastung für den Patienten verbunden. Diese Studie beinhaltet eine retrospektive Datenanalyse von vergleichbaren Patientenkollektiven, wobei bei einer Gruppe CT-Kontrollen postoperativ durchgeführt wurden, bei der anderen Gruppe nicht. Das Ziel dieser Studie war, die radiologischen Ergebnisse sowie Komplikationen und Revisionsraten darzustellen.

Die insgesamt 163 Patienten wurden je nach vorhandenem postoperativen CT in zwei Gruppen geteilt. Die präoperativen, postoperativen relevanten Winkelmassen und die Winkel nach Revision wurden miteinander verglichen. Die Patienten aus Gruppe 2 mit postoperativem CT wurden unter Berücksichtigung der Röntgenbilder in drei Kategorien aufgeteilt (unauffälliges Röntgenbild, auffälliges Röntgenbild und Röntgenbild mit Revisionsindikation). Bei der Korrelation der Röntgenaufnahmen und der CT-Scans in unserer Studie ergab sich ein Cramers V von 0,812 bei $p < 0,0001$. Dies zeigt eine hohe Korrelation zwischen diesen beiden Untersuchungsmethoden in Bezug auf die Revisionsraten. Dies bedeutet, dass auch mit dem postoperativen Röntgenbild mit hoher Wahrscheinlichkeit die Indikation zur Revisionsoperation gestellt werden kann. In Kategorie 1 (unauffälliges Röntgenbild) wurde die Fraktur aufgrund von Schmerzen revidiert. In Kategorie 2 und 3 wurden je 3 Frakturen revidiert, v.a. aufgrund von intraartikulärer Schraubenlage und Dislokation.

Durch diese Studie lässt sich schlussfolgern, dass vor Durchführung einer postoperativen CT Untersuchung eine Wiederholung der Röntgenaufnahme mit genauer Darstellung der Gelenkfläche bzw. eine erneute akribische Durchleuchtung des Gelenkes erfolgen sollte. Es zeigte sich eine hohe Korrelation zwischen Röntgenuntersuchung und CT. Die korrekte Röntgenaufnahme und oder Durchleuchtung können den auffälligen Befund

zeigen. Erst nach anschließender Klärung der Revisionsindikation und des Benefits für den Patienten kann zur weiteren Planung der Operation eine CT-Untersuchung erfolgen, welche daher nicht zur postoperativen Kontrolle der Reposition und Schraubenlage benötigt wird.

6. Literaturverzeichnis:

1. 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.
2. Trumble TE, W.W., Hanel DP, Vedder NB, Gilbert M, *Intrafocal (Kapandji) pinning of distal radius fractures with and without external fixation*. *J Hand Surg [Am]*, 1998(23): p. 381-394.
3. Cooney WP, B.R., Dobyns JH, Linscheid RL, *Difficult wrist fractures. Perilunate fracture-dislocations of the wrist*. *Clin Orthop Relat Res.*, 1987: p. 136-147.
4. Azzopardi T, E.S., Coulton T, Abela M, *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): p. 837-840.
5. Burge RT, W.D., Johnsen A., Bhattachartta S., Bose U., *The cost of Osteoporotic fractures in the UK: Projections for 2000-2020*. *J.Med. Econ.*, 2001(4): p. 51-62.
6. Prof. Dr. K. Dresing, G., Prof. Dr. K. M. Stürmer, Göttingen, Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften, *Distale Radiusfraktur*. AWMF Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie, 2008.
7. Saffar PH, C.W., eds, *Fractures of the distal radius*. 1995: p. 12-18.
8. Mikic, Z.D., *Age changes in the triangular fibrocartilage of the wrist joint*. *J Anat*, 1978. **126**(Pt 2): p. 367-84.
9. Rikli, D.A., R. Babst, and J.B. Jupiter, [*Distal radius fractures: new concepts as basis for surgical treatment*]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*, 2007. **39**(1): p. 2-8.
10. Rikli, D.A., et al., *Intra-articular pressure measurement in the radioulnocarpal joint using a novel sensor: in vitro and in vivo results*. *J Hand Surg Am*, 2007. **32**(1): p. 67-75.
11. Pechlaner, S., et al., [*Distal radius fractures--aetiology, treatment and outcome*]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*, 2007. **39**(1): p. 19-28.
12. D. L. Fernandez, G.M., *Die Behandlung der Smith-Frakturen*. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 1977. **88**(2): p. 153-161.
13. HS, N.-L., *Fracture radii "typica"*. *Nord Med*, 1939. **1**: p. 293-303.
14. Fernandez D, J.J., *Fractures of the distal radius*. Springer Verlag, 1996: p. 26-52.
15. A., L., *Fractures of the distal end of the radius: a clinical and statistical study of end results*. *Acta Orthop Scand*, 1959. **30**(41): p. 1-118.
16. Melone, C.P., Jr., *Articular fractures of the distal radius*. *Orthop Clin North Am*, 1984. **15**(2): p. 217-36.
17. Isani, A. and C.P. Melone, Jr., *Classification and management of intra-articular fractures of the distal radius*. *Hand Clin*, 1988. **4**(3): p. 349-60.
18. G., F., *Fractures of the distal radius, Including sequelae-shoulder-and finger-syndrome, disturbance in the distal radioulnar joint and impairment of nerve function: a clinical and experimental study*. *Acta Orthop. Scand.*, 1967. **108**: p. 1-153.
19. Havemann, D. and F.W. Busse, [*Accident mechanisms and classification in distal radius fracture*]. *Langenbecks Arch Chir Suppl II Verh Dtsch Ges Chir*, 1990: p. 639-42.
20. Jupiter, J.B. and D.L. Fernandez, *Comparative classification for fractures of the distal end of the radius*. *J Hand Surg Am*, 1997. **22**(4): p. 563-71.
21. Rikli, D. and P. Regazzoni, [*Distal radius fractures*]. *Schweiz Med Wochenschr*, 1999. **129**(20): p. 776-85.
22. Müller ME, N.S., Koch P et al., *The Comprehensive Classification of Fractures of Long Bones*. Springer Verlag, 1990.
23. Kordasiewicz, B., et al., [*Intraarticular distal radius fractures--arthroscopic assessment of injuries*]. *Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol*, 2006. **71**(2): p. 113-6.

24. van Schoonhoven, J., et al., *Läsionen der skapholunären Bandverbindung*. Trauma und Berufskrankheit, 1999. **1**(2): p. 173-181.
25. Watson, H.K., J. Weinzweig, and J. Zeppieri, *The natural progression of scaphoid instability*. Hand Clin, 1997. **13**(1): p. 39-49.
26. Cooney, W.P.D., J.H. and Linscheid, R.L., *Complications of Colles' Fractures*. J. Bone and Joint Surg, 1980. **62**: p. 613-619.
27. Gelberman, R.H., *Acute Carpal Tunnel Syndrome*. In: *Operative Nerve Repair and Reconstruction*. J.B. Lippincott Co., 1991: p. 939-948.
28. Wainapel, S.F.D., L. and Rogoff, J.B., *Electrodiagnostic Study of Carpal Tunnel Syndrome after Colles Fracture*. Am. J. Phys. Med., 1981. **60**: p. 126-131.
29. Aro, H.K., T.; Katevuo, K.; Nieminen, S. and Aho, A.J., *Late Compression Neuropathies After Colles' Fracture*. Clin. Ortho., 1988. **233**: p. 217-225.
30. Cooney, W.P.D., J.H. and Linscheid, R.L., *Complications of Colles' Fractures*. J. Bone and Joint Surg, 1980. **62**: p. 613-619.
31. Stark, W.A., *Neural Involvement in Fractures of the Distal Radius*. Orthopaedics, 1987. **10**: p. 333-335.
32. Lewis, M.H., *Median Nerve Decompression after Colles' Fracture*. J. Bone and Joint Surg., 1978. **60B**: p. 195-196.
33. McCarroll, H.R., Jr., *Nerve Injuries Associated with Wrist Trauma*. Ortho. Chin. North Am., 1984(15): p. 279-287.
34. Krishnan, K.M., *Prophylactic carpal tunnel decompression during buttress plating of the distal radius--is it justified?* Injury, 2003. **34**(7): p. 552; reply 553.
35. Rychak, J.S.a.K., A., *Injury to the Median and Ulnar Nerves Secondary to Fracture of the Radius*. J. Bone and Joint Surg., 1977. **59A**: p. 414-415.
36. Siegel, R.S.a.W., I., *Combined Median and Ulnar Nerve Lesions Complicating Fractures of the Distal Radius and Ulna*. J. Trauma., 1968. **8**: p. 1114-1118.
37. Zemel, N.P., *The prevention and treatment of complications from fractures of the distal radius and ulna*. Hand Clin, 1987. **3**(1): p. 1-11.
38. Geissler, W.B., et al., *Intracarpal soft-tissue lesions associated with an intra-articular fracture of the distal end of the radius*. J Bone Joint Surg Am, 1996. **78**(3): p. 357-65.
39. Forward, D.P., T.R. Lindau, and D.S. Melsom, *Intercarpal ligament injuries associated with fractures of the distal part of the radius*. J Bone Joint Surg Am, 2007. **89**(11): p. 2334-40.
40. WB., G., *Arthroscopically assisted reduction of intraarticular fractures of the distal radius*. Hand Clin., 1995. **11**: p. 19-29.
41. Fischer M, D.C., Sennwald G., *Begleitende karpale Bandläsionen bei frischen distalen Radiusfrakturen: Arthroskopische Studie über 54 Fälle*. Swiss Surg, 1996. **2**: p. 269-272.
42. Mudgal, C. and H. Hastings, *Scapho-lunate diastasis in fractures of the distal radius. Pathomechanics and treatment options*. J Hand Surg Br, 1993. **18**(6): p. 725-9.
43. Rappold G, L.M., Pezzeri C., *Diagnostik und Therapie karpaler Begleitverletzungen bei distalen Radiusfrakturen*. Handchir Mikrochir Plast Chir 2001. **33**: p. 221-228.
44. Schädel-Höpfner M, B.G., Junge A et al., *Arthroskopisch gesicherte Begleitverletzungen des skapholunären Bandapparates bei distalen Radiusfrakturen*. Handchir Mikrochir Plast Chir, 2001. **33**: p. 229-233.
45. Ogawa, T., et al., *Analysis of soft tissue injuries associated with distal radius fractures*. BMC Sports Sci Med Rehabil, 2013. **5**(1): p. 19.
46. Weiss, C.B., *Intercarpal ligament injuries associated with fractures of the distal part of the radius*. J Bone Joint Surg Am, 2008. **90**(5): p. 1169-70; author reply 1170.
47. Kuzma GR, K.K., *Distal radius fractures arthroscopic assisted fixation*. Oper Tech Sports Med, 2010. **18**: p. 189-96.

48. Dantuliri PK, G.T., *Current treatment of distal radius fractures: Arthroscopic assisted fracture reduction of distal radius fractures*. Oper Tech Orthop, 2009. **19**: p. 88-95.
49. Slutsky DJ, O.A., editors, *Distal radial fractures and carpal injuries: The cutting edge*. Philadelphia: Saunders Elsevier. Vol. 1. 2008. 149-56.
50. Lutsky, K., et al., *Arthroscopic assessment of intra-articular distal radius fractures after open reduction and internal fixation from a volar approach*. J Hand Surg Am, 2008. **33**(4): p. 476-84.
51. Slutsky, D.J., *Current innovations in wrist arthroscopy*. J Hand Surg Am, 2012. **37**(9): p. 1932-41.
52. Varitimidis, S.E., et al., *Treatment of intra-articular fractures of the distal radius: fluoroscopic or arthroscopic reduction?* J Bone Joint Surg Br, 2008. **90**(6): p. 778-85.
53. Peicha, G. and F.J. Seibert, *[Intra-articular fractures of the distal aspect of the radius: arthroscopically assisted reduction compared with open reduction and internal fixation]*. Unfallchirurg, 2000. **103**(1): p. 89-92.
54. Kordasiewicz, B., et al., *Arthroscopic assessment of intraarticular distal radius fractures--results of minimally invasive fixation*. Ortop Traumatol Rehabil, 2011. **13**(4): p. 369-86.
55. Whipple, T.L., *The role of arthroscopy in the treatment of intra-articular wrist fractures*. Hand Clin, 1995. **11**(1): p. 13-8.
56. Del Pinal F, M.C., Luchetti C, editors, *Arthroscopic management of distal radius fractures*. Treatment of explosion-type distal radius fractures, ed. D.P. F. 2010, Berlin: Springer Verlag. 41-65.
57. Gradl G, P.T., Fuchsberger T, Knobe M, Ring D, Prommersberger KJ., *The functional outcome of acute scapholunate ligament repair in patients with intraarticular distal radius fractures treated by internal fixation*. Arch Orthop Trauma Surg., 2013. **133**(9): p. 1281-7.
58. Hohendorff, B., et al., *[Palmar wrist arthroscopy for evaluation of concomitant carpal lesions in operative treatment of distal intraarticular radius fractures]*. Handchir Mikrochir Plast Chir, 2009. **41**(5): p. 295-9.
59. Lindau, T., C. Adlercreutz, and P. Aspenberg, *Peripheral tears of the triangular fibrocartilage complex cause distal radioulnar joint instability after distal radial fractures*. J Hand Surg Am, 2000. **25**(3): p. 464-8.
60. Wiesler, E.R., et al., *Arthroscopic management of distal radius fractures*. J Hand Surg Am, 2006. **31**(9): p. 1516-26.
61. Hallett, J.P. and G.R. Motta, *Tendon ruptures in the hand with particular reference to attrition ruptures in the carpal tunnel*. Hand, 1982. **14**(3): p. 283-90.
62. Boyes, J.H., J.N. Wilson, and J.W. Smith, *Flexor-tendon ruptures in the forearm and hand*. J Bone Joint Surg Am, 1960. **42-a**: p. 637-46.
63. Southmayd, W.W., L.H. Millender, and E.A. Nalebuff, *Rupture of the flexor tendons of the index finger after Colles' fracture. Case report*. J Bone Joint Surg Am, 1975. **57**(4): p. 562-3.
64. Younger, C.P. and J.C. DeFiore, *Rupture of flexor tendons to the fingers after a colles fracture: a case report*. J Bone Joint Surg Am, 1977. **59**(6): p. 828-9.
65. Cassebaum, W.H., *Colles' fracture; a study of end results*. J Am Med Assoc, 1950. **143**(11): p. 963-5.
66. Mannerfelt, L., et al., *Rupture of the extensor pollicis longus tendon after Colles fracture and by rheumatoid arthritis*. J Hand Surg Br, 1990. **15**(1): p. 49-50.
67. Canova M, T.I., Sommer C, Schibli S, *Der lahme Daumen. Strecksehnenkomplikationen nach Osteosynthese bei distaler Radiusfraktur*. Schweiz Med Forum, 2008. **8**(34): p. 617-618.

68. Engkvist, O. and G. Lundborg, *Rupture of the extensor pollicis longus tendon after fracture of the lower end of the radius--a clinical and microangiographic study*. *Hand*, 1979. **11**(1): p. 76-86.
69. McMaster, P.E., *Late Ruptures of Extensor and Flexor Pollicis Longus Tendons Following Colles Fracture*. *J. Bone and Joint Surg.*, 1932. **14**: p. 93-101.
70. Sadr, B., *Sequential rupture of extensor tendons after a Colles fracture*. *J Hand Surg Am*, 1984. **9a**(1): p. 144-5.
71. Heo, Y.M., et al., *Evaluation of associated carpal bone fractures in distal radial fractures*. *Clin Orthop Surg*, 2013. **5**(2): p. 98-104.
72. Dean W Smith, M., Mark H Henry, MD, *Comprehensive management of soft-tissue injuries associated with distal radius fractures*. *Journal of the American Society for Surgery of the Hand*, 2002. **2**(3): p. 153-164.
73. Bonatz, E., T.D. Kramer, and V.R. Masear, *Rupture of the extensor pollicis longus tendon*. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*, 1996. **25**(2): p. 118-22.
74. Turner, R.G., K.J. Faber, and G.S. Athwal, *Complications of distal radius fractures*. *Orthop Clin North Am*, 2007. **38**(2): p. 217-28, vi.
75. Benson, E.C., et al., *Two potential causes of EPL rupture after distal radius volar plate fixation*. *Clin Orthop Relat Res*, 2006. **451**: p. 218-22.
76. Casaletto, J.A., et al., *Flexor pollicis longus tendon ruptures after palmar plate fixation of fractures of the distal radius*. *J Hand Surg Eur Vol*, 2009. **34**(4): p. 471-4.
77. Adham, M.N., M. Porembski, and C. Adham, *Flexor tendon problems after volar plate fixation of distal radius fractures*. *Hand (N Y)*, 2009. **4**(4): p. 406-9.
78. Soong, M., et al., *Volar locking plate implant prominence and flexor tendon rupture*. *J Bone Joint Surg Am*, 2011. **93**(4): p. 328-35.
79. Bell, J.S., R. Wollstein, and N.D. Citron, *Rupture of flexor pollicis longus tendon: a complication of volar plating of the distal radius*. *J Bone Joint Surg Br*, 1998. **80**(2): p. 225-6.
80. Failla, J.M., M.P. Koniuch, and B.R. Moed, *Extensor pollicis longus rupture at the tip of a prominent fixation screw: report of three cases*. *J Hand Surg Am*, 1993. **18**(4): p. 648-51.
81. F.A. Liporace, S.G., G.K. Jeong, M. Stracher, F. Kummer, K.A. Egal et al., *A biomechanical comparison of a dorsal 3.5mm t-plate and a volar fixed angle plate in a model of dorsally unstable distal radius fractures*. *J Orthop Trauma*, 2005. **19**: p. 187-191.
82. E.C. Benson, A.D., E.A. Mikola, J.M. Veitch, M.S. Moneim, *Two potential causes of EPL rupture after distal radius volar plate fixation*. *Clin Orthop Relat Res*, 2006. **451**: p. 218-222.
83. 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.
84. 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.
85. Esenwein, P., et al., *Complications following palmar plate fixation of distal radius fractures: a review of 665 cases*. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2013. **133**(8): p. 1155-62.
86. Smith, F.M., *Late rupture of extensor pollicis longus tendon following Colles's fracture*. *J Bone Joint Surg Am*, 1946. **28**: p. 49-59.
87. Skoff, H.D., *Postfracture extensor pollicis longus tenosynovitis and tendon rupture: a scientific study and personal series*. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*, 2003. **32**(5): p. 245-7.
88. McKay, S.D., et al., *Assessment of complications of distal radius fractures and development of a complication checklist*. *J Hand Surg Am*, 2001. **26**(5): p. 916-22.

89. Helal, B., S.C. Chen, and G. Iwegbu, *Rupture of the extensor pollicis longus tendon in undisplaced Colles' type of fracture*. *Hand*, 1982. **14**(1): p. 41-7.
90. Hirasawa, Y., et al., *Clinical and microangiographic studies on rupture of the E.P.L. tendon after distal radial fractures*. *J Hand Surg Br*, 1990. **15**(1): p. 51-7.
91. Roth, K.M., et al., *Incidence of extensor pollicis longus tendon rupture after nondisplaced distal radius fractures*. *J Hand Surg Am*, 2012. **37**(5): p. 942-7.
92. Gelberman, R.H., *Operative Nerve Repair and Reconstruction. Acute Carpal Tunnel Syndrome*. 1991, Philadelphia: J.B. Lippincott Co.
93. McCarroll, H.R., Jr., *Nerve Injuries Associated with Wrist Trauma*. 1984. **15**: p. 279-287.
94. Kwedar AT, M.C., *Late rupture of extensor pollicis longus tendon following Colles' fracture*. *J Bone Joint Surg Am.*, 1940. **22A**: p. 429-435.
95. D., T., *Rupture of the extensor pollicis longus tendon after Colles' fracture*. *J Bone Joint Surg Am.* **32A**: p. 370-375.
96. Gehrman, S.V., J. Windolf, and R.A. Kaufmann, *Distal radius fracture management in elderly patients: a literature review*. *J Hand Surg Am*, 2008. **33**(3): p. 421-9.
97. Zollinger, P.E., et al., *No Higher Risk of CRPS After External Fixation of Distal Radial Fractures - Subgroup Analysis Under Randomised Vitamin C Prophylaxis*. *Open Orthop J*, 2010. **4**: p. 71-5.
98. Grewal, R., et al., *Open reduction internal fixation versus percutaneous pinning with external fixation of distal radius fractures: a prospective, randomized clinical trial*. *J Hand Surg Am*, 2011. **36**(12): p. 1899-906.
99. Kumbaraci, M., et al., *Retrospective comparison of external fixation versus volar locking plate in the treatment of unstable intra-articular distal radius fractures*. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2013.
100. Williksen, J.H., et al., *Volar locking plates versus external fixation and adjuvant pin fixation in unstable distal radius fractures: a randomized, controlled study*. *J Hand Surg Am*, 2013. **38**(8): p. 1469-76.
101. Navarro, C.M., H. Pettersson, and A. Enocson, *Complications After Distal Radius Fracture Surgery: Results From A Swedish Nationwide Registry Study*. *J Orthop Trauma*, 2014.
102. Diaz-Garcia, R.J., et al., *A systematic review of outcomes and complications of treating unstable distal radius fractures in the elderly*. *J Hand Surg Am*, 2011. **36**(5): p. 824-35.e2.
103. Arora, R., et al., *A prospective randomized trial comparing nonoperative treatment with volar locking plate fixation for displaced and unstable distal radial fractures in patients sixty-five years of age and older*. *J Bone Joint Surg Am*, 2011. **93**(23): p. 2146-53.
104. Daniel A. Rikli, D.A.C., *Distaler Radius und Handgelenk*. *AO-Prinzipien des Frakturmanagements*, 2008: p. 657-667.
105. Arora, S., et al., *Comparative evaluation of postreduction intra-articular distal radial fractures by radiographs and multidetector computed tomography*. *J Bone Joint Surg Am*, 2010. **92**(15): p. 2523-32.
106. G. Kauffmann, E.M., R. Sauer, *Radiologie. Röntgendiagnostik*, ed. C.W. G. Kauffmann, B. Schneider. 1996, Baltimore: Urban und Schwarzenberg. 89-94.
107. Berrington de Gonzalez, A. and S. Darby, *Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries*. *Lancet*, 2004. **363**(9406): p. 345-51.
108. Wagner, J., et al., *Current indications for and the technique of wrist arthroscopy*. *Orthopedics*, 2014. **37**(4): p. 251-6.
109. (DGU), L.d.D.G.f.U.e.V., *Leitlinien Unfallchirurgie: Distale Radiusfraktur*. AWMF Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie, 2011: p. 1-26.

110. L, B., *Die Technik der Knochenbruchbehandlung*. Maudrich-Verlag, 1953.
111. N, S., *Die distale Radiusfraktur – Konservative Behandlung*. OP-JOURNAL, 2003(19): p. 16-20.
112. Kihara, H., et al., *The stabilizing mechanism of the distal radioulnar joint during pronation and supination*. J Hand Surg Am, 1995. **20**(6): p. 930-6.
113. Wolfe, S.W., K.J. Easterling, and H.H. Yoo, *Arthroscopic-assisted reduction of distal radius fractures*. Arthroscopy, 1995. **11**(6): p. 706-14.
114. Lafontaine, M., D. Hardy, and P. Delince, *Stability assessment of distal radius fractures*. Injury, 1989. **20**(4): p. 208-10.
115. Zyluk, A., P. Janowski, and P. Puchalski, *[An instability of the fractures of the distal radius--a review]*. Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol, 2006. **71**(6): p. 467-72.
116. Trumble, T.E., S.R. Schmitt, and N.B. Vedder, *Factors affecting functional outcome of displaced intra-articular distal radius fractures*. J Hand Surg Am, 1994. **19**(2): p. 325-40.
117. Willenegger, H. and A. Guggenbuhl, *[Operative treatment of certain cases of distal radius fracture]*. Helv Chir Acta, 1959. **26**(2): p. 81-94.
118. De, P.A., *Comminuted fractures of the distal end of the radius treated by ulnar pinning*. J Bone Joint Surg Am, 1952. **24-a-3**: p. 651-62.
119. Letsch, R., K.P. Schmit-Neuerburg, and M. Schax, *[Choice of surgical procedure of the distal radius. Bore wire versus plate]*. Aktuelle Traumatol, 1987. **17**(3): p. 113-9.
120. Egol, K., et al., *Bridging external fixation and supplementary Kirschner-wire fixation versus volar locked plating for unstable fractures of the distal radius: a randomised, prospective trial*. J Bone Joint Surg Br, 2008. **90**(9): p. 1214-21.
121. Shyamalan, G., et al., *Volar locking plates versus Kirschner wires for distal radial fractures--a cost analysis study*. Injury, 2009. **40**(12): p. 1279-81.
122. McFadyen, I., et al., *Should unstable extra-articular distal radial fractures be treated with fixed-angle volar-locked plates or percutaneous Kirschner wires? A prospective randomised controlled trial*. Injury, 2011. **42**(2): p. 162-6.
123. K.-H. Thielke, T.W., R. GiersV. Echtermeyer, *Ambulante KD-Stiftung distaler Radiusfrakturen: Outcome-Beurteilung im Vergleich verschiedener Scoring-Systeme*. Akt Traumatol, 2001. **31**(6): p. 256-260.
124. Oestern, H.J., *[Distal radius fractures. II. Surgical therapy]*. Chirurg, 1999. **70**(11): p. 1381-94.
125. Hayes, A.J., P.J. Duffy, and M.M. McQueen, *Bridging and non-bridging external fixation in the treatment of unstable fractures of the distal radius: a retrospective study of 588 patients*. Acta Orthop, 2008. **79**(4): p. 540-7.
126. Rogachefsky, R.A., et al., *Treatment of severely comminuted intra-articular fractures of the distal end of the radius by open reduction and combined internal and external fixation*. J Bone Joint Surg Am, 2001. **83-a**(4): p. 509-19.
127. K, W., *Distale Radiusfraktur loco typico*. Bericht über die Unfallmedizinische Tagung in Mainz, 2002(11): p. 163-167.
128. Knirk, J.L. and J.B. Jupiter, *Intra-articular fractures of the distal end of the radius in young adults*. J Bone Joint Surg Am, 1986. **68**(5): p. 647-59.
129. Ono, H., et al., *Distal radial fracture arthroscopic intraarticular gap and step-off measurement after open reduction and internal fixation with a volar locked plate*. J Orthop Sci, 2012. **17**(4): p. 443-9.
130. Chen, A.C., et al., *Arthroscopically assisted osteosynthesis of complex intra-articular fractures of the distal radius*. J Trauma, 2002. **53**(2): p. 354-9.
131. Luhr, H.-G., *Entwicklung der modernen Osteosynthese*. Mund Kiefer GesichtsChir, 2000(4): p. 84-90.

132. Siebert, H.R. and T. Grossmann, [*Guidelines: treatment of distal radius fracture*]. Langenbecks Arch Chir Suppl Kongressbd, 1997. **114**: p. 138-41.
133. Sanchez, T., et al., *Complications after Pi Plate osteosynthesis*. Plast Reconstr Surg, 2005. **116**(1): p. 153-8.
134. Zettl, R.P., et al., [*Volar locking compression plating versus dorsal plating for fractures of the distal radius: a prospective, randomized study*]. Unfallchirurg, 2009. **112**(8): p. 712-8.
135. Richard, M.J., et al., *Analysis of the complications of palmar plating versus external fixation for fractures of the distal radius*. J Hand Surg Am, 2011. **36**(10): p. 1614-20.
136. Chen, N.C. and J.B. Jupiter, *Management of distal radial fractures*. J Bone Joint Surg Am, 2007. **89**(9): p. 2051-62.
137. Trease, C., T. McIlff, and E.B. Toby, *Locking versus nonlocking T-plates for dorsal and volar fixation of dorsally comminuted distal radius fractures: a biomechanical study*. J Hand Surg Am, 2005. **30**(4): p. 756-63.
138. 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.
139. Rudig, L., et al., [*Biomechanical study of four palmar locking plates and one non-locking palmar plate for distal radius fractures: stiffness and load to failure tests in a cadaver model*]. Biomed Tech (Berl), 2009. **54**(3): p. 150-8.
140. Wright, T.W., M. Horodyski, and D.W. Smith, *Functional outcome of unstable distal radius fractures: ORIF with a volar fixed-angle tine plate versus external fixation*. J Hand Surg Am, 2005. **30**(2): p. 289-99.
141. Dumont, C., et al., [*Results of palmar T-plate osteosynthesis in unstable fractures of the distal radius*]. Chirurg, 2003. **74**(9): p. 827-33.
142. 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.
143. Herron, M., A. Faraj, and M.A. Craigen, *Dorsal plating for displaced intra-articular fractures of the distal radius*. Injury, 2003. **34**(7): p. 497-502.
144. Ruch, D.S. and A. Papadonikolakis, *Volar versus dorsal plating in the management of intra-articular distal radius fractures*. J Hand Surg Am, 2006. **31**(1): p. 9-16.
145. Schneppendahl, J., J. Windolf, and R.A. Kaufmann, *Distal radius fractures: current concepts*. J Hand Surg Am, 2012. **37**(8): p. 1718-25.
146. Jakubietz, M.G., J.G. Gruenert, and R.G. Jakubietz, *Palmar and dorsal fixed-angle plates in AO C-type fractures of the distal radius: is there an advantage of palmar plates in the long term?* J Orthop Surg Res, 2012. **7**(1): p. 8.
147. Schutz, M., et al., [*Palmar plating with the locking compression plate for dorsally displaced fractures of the distal radius--first clinical experiences*]. Zentralbl Chir, 2003. **128**(12): p. 997-1002.
148. Rikli, D.A. and R. Babst, [*New principles in the surgical treatment of distal radius fractures -- locking implants*]. Ther Umsch, 2003. **60**(12): p. 745-50.
149. Nalbantoglu, U., et al., [*Comparison between fixation with dorsal T plate and palmar locking plate in the treatment of unstable displaced distal radius fractures*]. Acta Orthop Traumatol Turc, 2008. **42**(5): p. 365-72.
150. Yu, Y.R., et al., *Complications of low-profile dorsal versus volar locking plates in the distal radius: a comparative study*. J Hand Surg Am, 2011. **36**(7): p. 1135-41.
151. Jakubietz, R.G., et al., *A randomised clinical study comparing palmar and dorsal fixed-angle plates for the internal fixation of AO C-type fractures of the distal radius in the elderly*. J Hand Surg Eur Vol, 2008. **33**(5): p. 600-4.

152. Tanaka, Y., et al., *Effect of distal radius volar plate position on contact pressure between the flexor pollicis longus tendon and the distal plate edge*. J Hand Surg Am, 2011. **36**(11): p. 1790-7.
153. Osti, M., et al., *Locking versus nonlocking palmar plate fixation of distal radius fractures*. Orthopedics, 2012. **35**(11): p. e1613-7.
154. Figl, M., et al., *Unstable distal radius fractures in the elderly patient--volar fixed-angle plate osteosynthesis prevents secondary loss of reduction*. J Trauma, 2010. **68**(4): p. 992-8.
155. Sammer, D.M., et al., *A comparative study of fragment-specific versus volar plate fixation of distal radius fractures*. Plast Reconstr Surg, 2008. **122**(5): p. 1441-50.
156. Birgitta Waldner-Nilsson, A.R.E., Adele Diday-Nolle, Doris Slatosch, Susanne Breier, Hans Troeger, *Ergotherapie in der Handrehabilitation: Ein Praxisleitfaden Band 1: Grundlagen, Erkrankungen, Schienen (Rehabilitation und Prävention)*. Springer Verlag, 2013. **3**: p. 85-137.
157. Kumbaraci, M., et al., *Retrospective comparison of external fixation versus volar locking plate in the treatment of unstable intra-articular distal radius fractures*. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2014. **24**(2): p. 173-8.
158. Yin, S.Q., et al., *[Relationship between radiographic parameters and clinical outcomes of elderly patients with distal radius fractures]*. Zhongguo Gu Shang, 2018. **31**(2): p. 141-144.

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Colles-Fraktur a.p. und seitlich	9
Abbildung 2: Smith-Fraktur seitlich und a.p.	10
Abbildung 3: Frykman-Klassifikation: 1. Reihe: Typ I und II; 2. Reihe: Typ III und IV, 3. Reihe: Typ V und VI, 4. Reihe: Typ VII und VIII	14
Abbildung 4: AO-Klassifikation; 1. Reihe 23 A1, A2 und A3; 2. Reihe: 23 B1, B2 und B3; 3. Reihe: 23 C1, C2 und C3.....	16
Abbildung 5: dorsale Inklination.....	28
Abbildung 6: radiale Inklination.....	29
Abbildung 7: Ulnavarianz: Hier Ulna-Minusvariante mit -3,04mm	30
Abbildung 8: distale Radiusfraktur mit assoziierter Ulnafraktur, dorsaler Trümmerzone und intraartikulärer Beteiligung.....	36
Abbildung 9: operative Versorgung mittels palmarer Plattenosteosynthese	42
Abbildung 10: Geschlechterverteilung Gruppe 1	52
Abbildung 11: Altersverteilung Gruppe 1.....	53
Abbildung 12: Frakturverteilung Gruppe 1 (AO).....	53
Abbildung 13: Frakturverteilung Gruppe 1 (Frykman)	54
Abbildung 14: Geschlechterverteilung Gruppe 2	55
Abbildung 15: Altersverteilung Gruppe 2.....	55
Abbildung 16: Frakturverteilung Gruppe 2 (AO).....	56
Abbildung 17: Frakturverteilung Gruppe 2 (Frykman)	56
Abbildung 18: Frakturverteilung (AO) gesamt	57
Abbildung 19: Frakturverteilung (Frykman) insgesamt.....	57
Abbildung 20: Algorithmus zur Vermeidung von überflüssigen CT-Scans	70

8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Frakturaufteilung und Patientenverteilung	50
--	----

Tabelle 2: Altersverteilung/Geschlechterverteilung	51
Tabelle 3: Durchschnittliche Winkel der Gruppe 1	60
Tabelle 4: Durchschnittliche Winkel der Gruppe 2	61
Tabelle 5: Aufteilung der postoperativen Röntgenbilder in Kategorien: Kategorie 1: unauffällig, Kategorie 2: auffällig/nicht ausreichend beurteilbar, Kategorie 3: Revisionsindikation gegeben	62
Tabelle 6: Korrelation von Röntgen und CT	62

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich während der Doktorarbeit unterstützt haben.

Vor allem gebührt mein Dank Priv.-Doz. Dr. med. M. Jakubietz, der mir zu jeder Zeit jede erdenkliche Hilfe zukommen ließ und mich mit seiner fachlichen und menschlichen Kompetenz immer unterstützt hat.

Weiterhin möchte ich meinen Freunden danken, die mir immer zur Seite standen. Ganz besonders möchte ich hier Peter Blome erwähnen, ohne den das alles hier nicht möglich gewesen wäre, und Jan Schultz, der mir in jeder Situation mit Rat und Tat zur Seite stand.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mir mein Studium ermöglicht haben und immer ein offenes Ohr und am Ende auch eine Lösung für meine Sorgen hatten.

Eure Laura