

Aus der Chirurgischen Klinik und Poliklinik
Abteilung für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie
der Universitätsmedizin Rostock
Geschäftsf. Direktor: Prof. Dr. med. Thomas Mittlmeier

**Intramedulläre Nagelosteosynthese versus palmare Plattenosteosynthese bei
extraartikulären distalen Radiusfrakturen**

2 Jahresergebnisse einer prospektiv-randomisierten Studie

Inauguraldissertation
zur
Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Medizin
der Medizinischen Fakultät
der Universitätsmedizin Rostock

Vorgelegt von: Nadja Mielsch
geb. 1984 in Berlin

Rostock, den 07.04.2021

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00003430

1. Gutachter:

Prof. Dr. med. Thomas Mittlmeier, Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Universität Rostock

2. Gutachter:

PD Dr. med Marion Mühldorfer-Fodor, Klinik für Handchirurgie, Rhön Klinikum Bad Neustadt

3. Gutachter:

Prof. Dr. med. Peter Hinz, Klinik und Poliklinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie und Rehabilitative Medizin, Universitätsklinik Griefswald

Verteidigt am:

23.11.2021

GEWIDMET MEINER FAMILIE

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	6
1.1	Grundlagen	7
1.1.1	Anatomische Grundlagen	7
1.1.2	Epidemiologische Grundlagen	8
1.2	Ätiologie und Pathogenese	9
1.3	Klassifikation der distalen Radiusfraktur	10
1.4	Therapieoptionen	12
1.4.1	Konservative Therapie	13
1.4.2	Operative Therapie	14
1.5	Komplikationen	15
1.5.1	Nervenläsionen	16
1.5.2	Komplexes regionales Schmerzsyndrom CRPS	16
1.5.3	Sehnenläsionen	16
1.5.4	Infektionen	17
1.5.5	Frakturheilung in Fehlstellung	18
1.5.6	Pseudarthrosen	18
2	FRAGESTELLUNG	19
3	MATERIAL UND METHODEN	20
3.1	Patientenkollektiv	20
3.1.1	Einschlusskriterien	20
3.1.2	Ausschlusskriterien	20
3.2	Operationstechnik	21
3.2.1	palmare winkelstabile Plattenosteosynthese	21
3.2.2	Targon DR	22
3.3	Funktionelle Nachuntersuchung	23
3.4	Radiologische Nachuntersuchung	23
3.5	Scores	25
3.6	Statistik	25
4	ERGEBNISSE	26
4.1	Patientenkollektiv	26
4.1.1	Geschlechts-, Alters- und Seitenverteilung	26
4.1.2	Nachuntersuchungszeitraum	27
4.1.3	Zeit bis zur OP und OP-Dauer	27
4.2	Radiologische Ergebnisse	28
4.2.1	Ulnavarianz	28
4.2.2	Palmarinklination	28
4.3	Funktionelle Ergebnisse	29
4.3.1	Beweglichkeit und Kraft	29
4.3.2	Schmerz	30
4.4	Scores	31
4.5	Komplikationen	32

5	DISKUSSION	34
5.1	Methodik	35
5.2	Patientenkollektiv	37
5.3	Radiologische Ergebnisse	37
5.4	Funktionelle Ergebnisse	38
5.5	Scores	39
5.6	Komplikationen	40
5.7	Limitationen und Ausblick	41
6	ZUSAMMENFASSUNG	42
7	THESEN	44
8	LITERATURVERZEICHNIS	45
9	ANHANG	50
9.1	Tabellenverzeichnis	50
9.2	Abbildungsverzeichnis	50
9.3	Score nach Castaing	51
9.4	Score nach Gartland & Werley	52
10	EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	53
11	CURRICULUM VITAE	54
12	DANKSAGUNG	56

1. EINLEITUNG

Von Hippocrates bis in das frühe 19. Jahrhundert hinein wurde die distale Radiusfraktur irrtümlich als eine Dislokation des Handgelenkes angesehen. Erst nach der Entdeckung der Röntgenstrahlung konnten die Variation und Komplexität dieser häufigen Verletzung erfasst werden [52]. Doch auch darüber hinaus galt die distale Radiusfraktur als Domäne der konservativen Therapie mit generell guten Ausheilungsergebnissen [14, 61].

Erst mit klinischen und biomechanischen Studien sowie Weiterentwicklung und Verfeinerung der verfügbaren Operationsmethoden wurde das Interesse an dieser Frakturform neu entdeckt [9]. Die distale Radiusfraktur stellt nach wie vor den häufigsten Knochenbruch des Menschen dar [1, 43, 49, 71, 75, 77]. Jüngere Patienten sind durch Rasantraumen in Sport und Verkehr von diesem betroffen [53]. Als typische osteoporotische Fraktur tritt die distale Radiusfraktur am häufigsten bei einem älteren, vorwiegend weiblichen Patientenkollektiv auf. Ihre klinische und sozioökonomische Bedeutung wird sich mit fortschreitender Überalterung der Gesellschaft weiter verstärken [3, 62, 77].

Frakturform, Knochenfestigkeit, funktionelle Ansprüche an die verletzte Hand und persönliche Erfordernisse haben zu differenzierteren Behandlungskonzepten geführt. Dabei nimmt die operative Versorgung zur Wiederherstellung der anatomischen Verhältnisse mittlerweile eine führende Stellung ein. Die Verwendung offener Zugangswege mit innerer Stabilisierung über winkelstabile Plattensysteme ist in den vergangenen 20 Jahren zum Standardverfahren geworden [9, 15, 26, 35, 44, 52, 66].

Überraschenderweise fehlt es in der derzeitigen Literatur an Beweisen für eine Überlegenheit dieses Verfahrens gegenüber anderen [2-4, 9, 19, 20, 29, 34, 36, 39, 60]. Überdies kommt es mit zunehmender Anwendung vermehrt zu Berichten über Komplikationen, die in der Literatur mit bis zu 34 % angegeben werden [4, 18, 79]. Überwiegend handelt es sich dabei um Sehnenirritationen und –rupturen. Diese entstehen beugeseitig meist infolge mangelhafter Plattenlage mit Verletzung der Sehne des M. flexor pollicis longus und streckseitig unter anderem infolge zu lang gewählter Schrauben mit Beeinträchtigung der Strecksehnen, insbesondere des M. extensor pollicis longus [3, 4, 18, 21, 79]. Zusätzlich wird von postoperativen Karpaltunnelsyndromen, Reflexdystrophien, Pseudarthrosen, Korrekturverlusten und Implantatlockerungen berichtet [3,4, 60, 79].

Aufgrund der Annahme, die Therapie der distalen Radiusfraktur sei ein „gelöstes Problem“ [9], verblieben die Versorgungsstrategien zunächst mit entsprechend beträchtlichem Rückstand hinsichtlich der operativen Techniken im Vergleich zu anderen langen Röhrenknochen [15].

In den letzten Jahren jedoch wurden intramedulläre Verfahren zur Versorgung der distalen Radiusfraktur entwickelt, die bei gleichwertiger Stabilität einen geringeren Weichteilschaden und daraus resultierend eine verminderte Komplikationsrate gewährleisten sollen [8, 24].

In der aktuellen Literatur existieren neben ersten vorläufigen Behandlungsberichten [6, 30] lediglich eine geringe Anzahl klinischer Studien mit geringem Patientenkollektiv und begrenztem Beobachtungszeitraum [48, 75].

Die vorliegende Studie soll die Langzeitergebnisse beider Operationsverfahren nach zwei Jahren hinsichtlich ihres funktionellen und radiologischen Outcomes im Vergleich darlegen. Bis dato wurde keine vergleichende Abhandlung an einer ähnlichen Anzahl an Patienten veröffentlicht.

1.1 GRUNDLAGEN

1.1.1 Anatomische Grundlagen

Anatomisch betrachtet ist das proximale Handgelenk ein Ellipsoidgelenk mit zwei möglichen Freiheitsgraden: einer Dorsalextension und Palmarflexion sowie einer Radial- und Ulnarabduktion.

Gebildet wird dieses Eigelenk durch die Facies articularis carpalis radii und dem Discus articularis, der dem Caput ulnae aufliegt und dieses somit von der proximalen Handwurzelreihe trennt. Beide Anteile bilden die konkave Gelenkpfanne, der sich nach distal die proximale Handwurzelreihe einfügt (Os scaphoideum, Os lunatum und Os triquetrum). Das Os pisiforme ist nicht am Gelenk beteiligt; es fungiert vielmehr als Sesambein für die Sehne des Musculus flexor carpi ulnaris. Untereinander sind die Handwurzelknochen über multiple Bänder miteinander verbunden, die eine gewisse Beweglichkeit der Knochen gegeneinander ermöglichen.

Eine funktionelle Betrachtung des proximalen ohne das distale Handgelenk ist nicht möglich. Dieses wird durch die proximale und distale Reihe der Handwurzelknochen mit S-förmigem Verlauf gebildet (verzahntes Scharniergelenk). Die kurzen, kräftigen intrinsischen Bänder der distalen Handwurzelreihe lassen in diesem Fall keine Verschiebungen gegeneinander zu (Amphiarthrosis) [40, 65, 74].

Die funktionelle Einheit aus beiden Gelenken ermöglicht ein Bewegungsausmaß der Hand in Palmarflexion und Dorsalextension von 170° , in Ulnar- und Radialabduktion von 70° (Abb. 1).

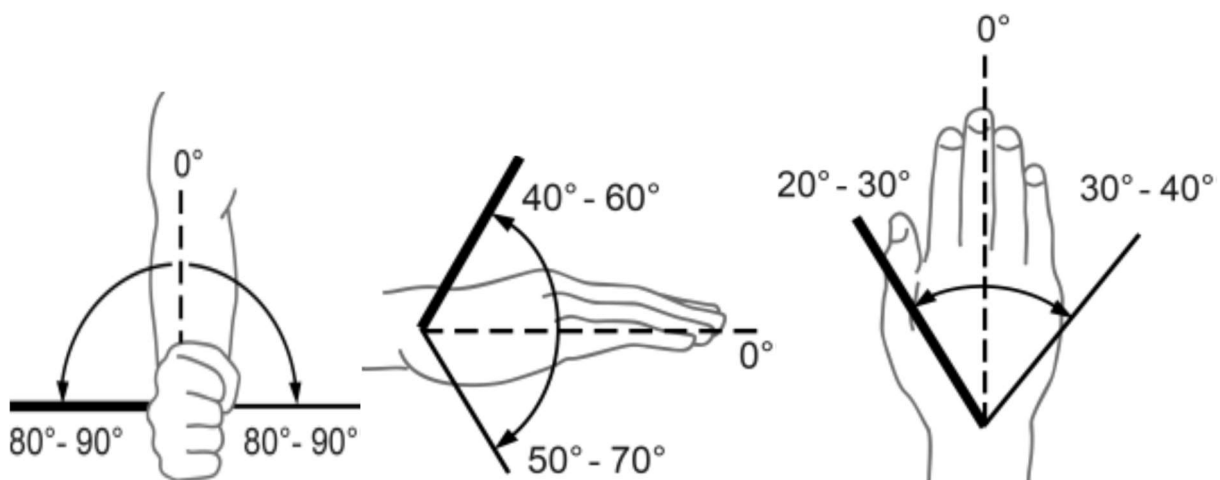


Abbildung 1: Bewegungsausmaß des Handgelenks [14]

Unter biomechanischen Gesichtspunkten stellt der distale Radius mit der Aufnahme von 80 % der axialen Belastung den wichtigsten Pfeiler der karpalen Kraftübertragung dar [64, 73]. Die dabei am Gelenkaufbau beteiligte Facies articularis carpalis lässt sich in zwei von einer dorsopalmar verlaufenden Crista getrennte Flächen untergliedern: die Fossa scaphoidea und die Fossa lunata.

Zudem lässt sich in der Frontalebene eine Neigung der Gelenkfläche von 25° (Ulnarinklination) und in der sagittalen Ebene von 10° (Palmarinklination) ermitteln, die für eine korrekte Kraftübertragung zwischen dem distalen Radius und den Handwurzelknochen von erheblicher Bedeutung sind [71].

Darüber hinaus schließt sich nach ulnar die sogenannte „Sigmoid Notch“ (Fossa articularis radioulnaris dorsalis) an, die mit der Circumferentia articularis des Caput ulnae artikuliert, wodurch zusätzlich eine Rotation bis 150° ermöglicht wird.

„Um einerseits eine uneingeschränkte Unterarmrotation im distalen Radioulnargelenk (DRUG) zu ermöglichen und andererseits die Ulnarabduktion sowie eine freie Bewegung im Handgelenk zu gewährleisten, ist eine korrekte Länge und Stellung der distalen Ulna und des distalen Radius von erheblicher Bedeutung“ [71]. Dabei ist jedoch auf interindividuelle Unterschiede mit Ulna-minus und Ulna-plus-Varianten zu achten, die bis zu vier Millimeter ohne pathologische Korrelation betragen können.

Über einen komplexen Bandapparat wird die Stabilität des Handgelenks gewährleistet. Dabei lassen sich anhand der Lage und Anordnung zwei Gruppen unterscheiden:

- Bänder zwischen Unterarm und Handwurzelknochen (extrinsische Bänder; Ligg. radiocarpalia und ulnocarpalia, Ligg. collateralia)
- Bänder zwischen den Handwurzelknochen (intrinsische Bänder; Ligg. intercarpalia)

Besondere Bedeutung kommt hierbei den ulnaren extrinsischen Bändern zu. Diese werden zusammen mit dem Discus articularis, den sie befestigen, als TFCC (triangular fibrocartilage complex) bezeichnet. Dieser ist für die Stabilisierung des DRUG sowie des ulnaren Handgelenks unabdingbar.

1.1.2 Epidemiologische Grundlagen

Mit bis zu 25 % aller Brüche macht die distale Radiusfraktur eines der häufigsten unfallchirurgischen Krankheitsbilder aus. Da jeder sechste behandlungswürdige Knochenbruch dieser Region zuzuordnen ist, wird der klinisch tätige Arzt fast täglich mit der Akutversorgung dieser Fraktur konfrontiert [1, 44, 50].

Im Zuge dessen lassen sich zwei Altersgipfel unterscheiden: zum einen Kinder und Jugendliche im Alter zwischen sechs und zehn Jahren, wobei insbesondere männliche Patienten betroffen sind.

Zum anderen kommt es zu einem erneuten Inzidenzanstieg mit steigendem Alter (Abb. 2). Wie in Abbildung 2 ersichtlich lässt sich im Gegensatz zu männlichen Patienten mit einem allmählichen Anstieg der Frakturzahlen unter den Frauen eine rapide, nahezu lineare Steigerung der Häufigkeit erkennen. Beinahe 80 % aller auftretenden Radiusfrakturen betreffen Frauen über dem 50. Lebensjahr [14, 28, 41, 44, 49, 56, 73, 78, 81].

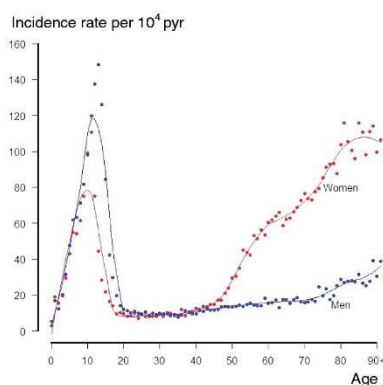


Abbildung 2: Inzidenz distaler Radiusfrakturen in Stockholm, Schweden, 2004-2010 [78]

Im Gegensatz zu anderen Frakturen steht bei der distalen Radiusfraktur das Niedrig-Energie-Trauma im Vordergrund. Anamnestisch berichtet der überwiegende Anteil der Patienten über einen Sturz zu ebener Erde (40 %) [81].

Aufgrund des hohen Anteils an postmenopausaler Osteoporose haben Frauen gegenüber Männern ein siebenfach höheres Risiko eine distale Radiusfraktur zu erleben [64]. Darüber hinaus weisen 83 % der Patienten zum Zeitpunkt der Fraktur bereits eine Kalksalzminderung auf, so dass die „distale Radiusfraktur (...) als Indikatorfraktur für eine osteoporotische Stoffwechsellage angesehen“ wird, „in deren Folge das Risiko, im nächsten Jahrzehnt weitere osteoporotische Frakturen wie eine pertrochantäre Femurfraktur oder Wirbelkörperfrakturen zu erleiden, deutlich steigt“ [12, 76].

In Zeiten des demografischen Wandels wurde mehrfach eine weitere Inzidenzzunahme prophezeit. Neuere Studien berichten jedoch von einem Abbruch des erwarteten Trends und sogar von einer Inzidenzabnahme in einigen Altersgruppen. Ob dies auf eine immer stärker ins Bewusstsein der Kliniker vorgedrungene und durchgeführte Osteoporoseprophylaxe und -therapie zurückzuführen ist, bleibt allerdings spekulativ [14, 41, 56, 78].

1.2 Ätiologie und Pathogenese (Unfallmechanismus)

Wie bereits eingangs im Kapitel „anatomische Grundlagen“ verdeutlicht, bildet der distale Radius den Hauptpfeiler der karpalen Kraftübertragung [64, 73]. Veranschaulicht wird dies durch das Drei-Säulen-Modell nach Rikli und Reggazoni. Hierbei wird die mediale Säule durch die distale Ulna mit dem TFCC und dem DRUG gebildet und dient der Kraftüberübertragung sowie Stabilität (Abb.3).

Der laterale Radius mit der Fossa scaphoidea und dem Proc. styloideus radii bildet den radialen Pfeiler, an dem stabilisierende extrinsische Bänder inserieren und eine ossäre Abstützung gewährleistet wird. Dazwischen lässt sich eine intermediäre Säule identifizieren, geformt aus Fossa lunata und der Sigmoid Notch, über die der Hauptteil der Kraftübertragung erfolgt [57, 58, 64, 76].

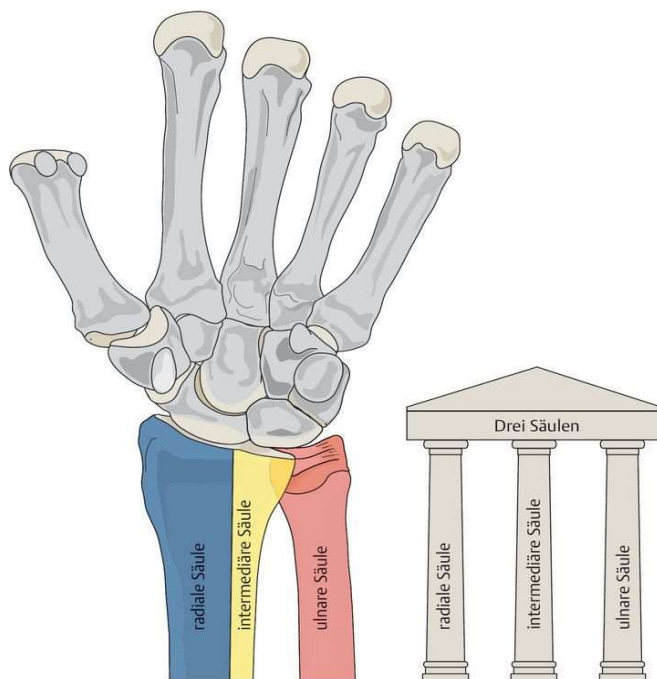


Abbildung 3: Drei-Säulen-Modell nach Rikli und Reggazoni (1996) [57]

Der überwiegende Anteil der Radiusfrakturen entsteht durch Sturz auf die extendierte Hand (90 %; Collesfraktur). Infolge dessen kann es zu einer Dislokation der distalen Frakturfragmente nach dorsoradial kommen, woraus sich die typische Fourchette- und Bajonettstellung ergibt, die eine Blickdiagnose ermöglicht (Abb. 4).



Abbildung 4: Bajonettstellung bei distaler Radiusfraktur [57]

Im Gegensatz dazu machen Flexionsfrakturen (Smith-Fraktur) lediglich 10 % am Gesamtanteil der distalen Radiusfrakturen aus.

In beiden Fällen kommt es klinisch zu einer zunehmenden Schwellung und Druckdolenz im distalen Unterarmbereich, woraufhin sich eine schmerzhafte Bewegungseinschränkung einstellt.

1.3 Klassifikation der distalen Radiusfraktur

Schubert et al. forderten für eine Einteilung in ihrer Arbeit: „Idealerweise ist eine Frakturklassifikation umfassend, eindeutig, anwendbar (...). Zudem sollten sich prognostische Aussagen über den Heilverlauf und damit eine Therapieentscheidung ableiten lassen.“ [64]

Eine erste Kategorisierung erfolgte bereits 1814 durch Colles, der die Extensionsfrakturen in vier Klassen unterschied. In den seither vergangenen 200 Jahren gab es eine Vielzahl an weiteren Einteilungssystemen, von denen die umfangreiche AO-Klassifikation nach Müller die breiteste Anwendung gefunden hat (Abbildung 5). Neben einer nachgewiesenen Interbeobachterreliabilität und Reproduzierbarkeit lassen sich bereits erste therapeutische Konsequenzen ableiten [27, 64, 76].

Grundsätzlich bezieht sich die AO-Klassifikation nicht allein auf distale Radiusfrakturen, sondern bietet eine Einteilung sämtlicher Brüche der langen Röhrenknochen, die je mit einer eigenen Zahl beschrieben werden. Weiterführend wird der Knochen in drei Abschnitte untergliedert, die ebenfalls mit einer Zahl belegt werden.

Die Charakterisierung der Frakturmorphologie ergibt sich aus der Festlegung des Frakturtyps, der weiter in drei Gruppen zu je drei Untergruppen differenziert werden kann. Dargestellt wird der Frakturtyp durch die Buchstaben A, B und C. Die weiterführende Untergliederung wird daraufhin erneut mittels Nummerierung von eins bis drei entsprechend dem Schwierigkeitsgrad angegeben [47].

Konkret für die distale Radiusfraktur ergibt sich daraus der Zahlencode 23. Der Frakturtyp wird anhand der Gelenkbeteiligung untergliedert in extraartikuläre (A), partiell intraartikuläre (B) und komplett intraartikuläre Bruchformen (Abb. 5).

Diese Einteilung wird unter Zuhilfenahme der in der Primärdiagnostik erstellten Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen durchgeführt.










Radius/Ulna distal extra-artikuläre Fraktur			artikuläre Teilfraktur			vollständige artikuläre Radiusfraktur		
  			  			  		
23-A1	Ulnarfraktur, Radius unversehrt		23-B1	sagittale Radiusfraktur		23-C1	einfache artikuläre und einfach metaphysäre Fraktur	
23-A2	Radiusfraktur, einfache und gestauchte		23-B2	Radiusfraktur, frontal, dorsaler Rand		23-C2	einfache artikuläre und einfach metaphysäre multifragmentäre Fraktur	
23-A3	Radiusfraktur, multifragmentäre		23-B3	Radiusfraktur, frontal, volarer Rand		23-C3	artikuläre multifragmentäre Fraktur	

Abbildung 5: AO-Klassifikation nach Müller zur Beurteilung von Art und Umfang der Gelenkbeteiligung am distalen Unterarm [73]

Zusätzlich ergibt sich die Festlegung der Behandlungsstrategie aus den von Jupiter et al. 1997 veröffentlichten und mittlerweile etablierten Instabilitätskriterien (Tab.1) [31]. Hierbei resultiert eine Instabilität des Bruches, wenn zwei von sechs Kriterien erfüllt sind, woraus sich eine direkte Empfehlung zur operativen Intervention ergibt.

Instabilitätskriterien der distalen Radiusextensionsfraktur nach Jupiter et al	
Verkipfung der radialen Gelenkfläche über 20°	
Metaphysäre Trümmerzone	
Axiale Eintauchung über 2mm	
Dislozierte intrartikuläre Frakturen	
Radioulnare Instabilität	
Assoziierte distale Ulnafraktur	

Tabelle 1: Instabilitätskriterien nach Jupiter [31, 72]

Einfluss auf die medizinische Versorgung hat zudem der begleitende Weichteilschaden, der nach Oestern und Tscherne eingeteilt wird (Tab.2).

Grad	Geschlossene Fraktur	Offene Fraktur
0	fehlende oder unbedeutende Weichteilverletzung, indirekter Verletzungsmechanismus, einfache Frakturformen	
1	oberflächliche Schürfung oder Kontusion durch Fragmentdruck von innen, einfache bis mittelschwere Frakturform	Durchspießung der Haut, unbedeutende Kontamination, einfache Frakturformen
2	tiefe kontaminierte Schürfung sowie Haut- oder Muskelkontusion durch direkte Krafteinwirkung, drohendes Kompartmentsyndrom mit mittelschweren bis schwere Frakturformen	Durchtrennung der Haut, umschriebene Haut- und Weichteilkontamination, mittelschwere Kontamination, alle Frakturformen
3	ausgedehnte Hautkontusion, -quetschung oder Zerstörung der Muskulatur, subkutanes Décollement, manifestes Kompartmentsyndrom, Verletzung eines Hauptgefäßes, schwere Frakturformen	ausgedehnte Weichteildestruktion, häufig Gefäß- und Nervenverletzungen, starke Wundkontamination, ausgedehnte Knochenzertrümmerung
4		totale und subtotale Amputation, Durchtrennung der wichtigsten anatomischen Strukturen, vollständige Ischämie

Tabelle 2: Klassifikation des Weichteilschadens nach Tscherne und Oestern [43]

Erst in Zusammenschau der vorliegenden klinischen und radiologischen Befunde ist die Entscheidung hinsichtlich eines Behandlungskonzepts möglich.

1.4 THERAPIEOPTIONEN

Im Verlauf der vergangenen 30 Jahre hat das Therapieregime der distalen Radiusfrakturen einen radikalen Wandel erfahren. Wurden noch bis Anfang der 1990er Jahre 88 % der Frakturen konservativ behandelt, so ist dieser Anteil auf nun mehr 15 % gesunken. Im Vergleich dazu ist die operative Versorgung von ehemals 2 % auf 80 % gestiegen [73]. Dies hat nicht allein seine Ursache in bis zu 30 % unzureichenden Ausheilungsergebnissen [54], sondern ist ebenfalls wesentlich geprägt durch eine differenzierte Anwendung der zur Verfügung stehenden Klassifikationssysteme, Erkennung und Mitbehandlung eventueller Begleiterkrankungen sowie dem stetig steigenden Patientenanspruch [63, 66, 73]. Insgesamt wird die distale Radiusfraktur nicht mehr als einfacher, konservativ zu behandelnder Bruch, sondern als komplexe, heterogene Verletzung angesehen, deren Prognose von zahlreichen Faktoren abhängt [62].

Allen Behandlungskonzepten gemein ist „die anatomische und funktionelle Wiederherstellung der Hand unter Berücksichtigung des Frakturtyps und (...) Begleitverletzungen“ [80].

1.4.1 Konservative Therapie

Trotz der zunehmenden Bedeutung operativer Techniken hat die konservative Therapie nach wie vor ihren Stellenwert in der Behandlung der distalen Radiusfraktur. So gelten als etablierte Indikationen stabile extraartikuläre Frakturen, nicht oder gering dislozierte intraartikuläre Frakturen sowie lokale oder allgemeine Kontraindikationen gegen die Operation. Ferner kann bei primär reponierbaren und retinierbaren Frakturformen trotz vorhandener Instabilitätskriterien ein konservativer Therapieversuch unternommen werden. Hierzu erfolgt die Ruhigstellung im Gips über vier bis sechs Wochen in Abhängigkeit von der Knochenqualität sowie zunehmenden Konsolidierung. Diese wird durch engmaschige Röntgenkontrollen, innerhalb der ersten 28 Tage, dokumentiert. Bei sekundärem Korrekturverlust im Laufe dieses Zeitraums ist frühzeitig ein Verfahrenswechsel zu diskutieren [44, 5, 63, 66, 76].

Erstversorgung in der Notfallbehandlung

Nach erfolgter Diagnostik einer distalen Radiusfraktur im Röntgenbild wird häufig die primäre Reposition notwendig. Um eine schonende und möglichst schmerzfreie Reposition zu erzielen, kommen neben einer Bruchspaltanästhesie in seltenen Fällen auch regionale Leitungsanästhesien zur Anwendung. Anschließend erfolgt der Aushang im sogenannten Mädchenfänger in Rückenlage bei 90° abduziertem Oberarm, wobei mit Hilfe von drei Schlaufen der Daumen sowie Zeige- und Mittelfinger fixiert werden. Zum Erhalt einer adäquaten Extension wird über den Zeitraum von zehn Minuten ein Zuggewicht von drei bis fünf Kilogramm angelegt (Abb. 6). Im Anschluss wird durch Druck auf das dislozierte Fragment nebst Ulnarabduktion und Flexion im Handgelenk die Reposition herbeigeführt. Dabei ist ein grobes oder wiederholtes Manöver aufgrund der Begünstigung eines CRPS (complex regional pain syndrome) unbedingt zu unterlassen. Hiernach erfolgt die Ruhigstellung in Unterarmgipsschiene in Funktionsstellung mit nachfolgender Röntgenkontrolle. Sowohl vor als auch nach der Reposition ist unbedingt die Durchblutung, Motorik und Sensibilität zu überprüfen [63, 73, 76].



Abbildung 6: Gipsanlage im Mädchenfänger [73]

1.4.2 Operative Therapie

Während lange Zeit die distale Radiusfraktur eine Domäne der konservativen Therapie war, sind nun zunehmend operative Verfahren in den Vordergrund gerückt [77]. Ein allgemein gültiger Therapiealgorithmus existiert allerdings nicht. Auch nach systematischer Literaturanalyse kann keine Therapieempfehlung mit ausreichender Evidenz hinsichtlich eines bestimmten Behandlungskonzepts gegeben werden [29, 62].

Trotz dessen ist ein Trendwechsel innerhalb der operativen Therapie ab dem Ende der 1990er Jahre mit Zuwendung zur offenen Reposition und palmaren Plattenosteosynthese eingetreten [9, 32, 35, 39, 60, 78, 79]. Neben dieser finden jedoch auch weiterhin der Fixateur externe, die Kirschner-Draht- (K-Draht) und die dorsale Plattenosteosynthese ihre Anwendung.

Ausgehend von der engen Indikationsstellung zur konservativen Therapie lassen sich entsprechend Empfehlungen zur operativen Versorgung ableiten, wobei eine OP-Indikation in der Regel gestellt wird bei instabilen Frakturen, offenen Brüchen sowie schwerwiegenden Begleitverletzungen.

Kirschnerdraht-Osteosynthese

Die Anwendung der K-Draht-Osteosynthese erfordert eine gute Knochenqualität [53, 73, 80]. Demzufolge wird dieses Verfahren hauptsächlich im Kindes- und Jugendalter bei noch offenen Wachstumsfugen eingesetzt [37, 44]. Doch auch in der Erwachsenen Chirurgie können bei genauer Indikationsstellung A2- und 3- sowie B1- und C1-Frakturen mit dieser minimalinvasiven Technik versorgt werden, wobei allerdings die Möglichkeit zur Reposition einzelner Fragmente deutlich limitiert ist [44, 70, 80].

Ein weiterer Nachteil besteht in der geringen Primärsteifigkeit ohne Belastungs- oder Übungsstabilität, die eine additive Ruhigstellung im Gipsverband für vier bis sechs Wochen und engmaschige Röntgenkontrolle zur frühzeitigen Erkennung von Sekundärdислоkationen erforderlich macht. Darüber hinaus besteht die Notwendigkeit der Drahtentfernung nach Konsolidierung nebst dem Risiko einer Implantatlockerung, Infektion sowie Verletzungen der anatomischen Strukturen [5, 70, 73, 76, 77, 80].

Ferner wird die K-Draht-Osteosynthese in Kombination mit anderen Verfahren verwendet [5, 66].

Fixateur externe

Mit dem Fixateur externe steht dem Chirurgen ein weiteres minimal invasives Verfahren zur Verfügung, das auch bei komplexen Frakturen durch Ausnutzung der Ligamentotaxis zu einer adäquaten Reposition führen kann. Allerdings bestehen wie bei der K-Draht-Osteosynthese Grenzen hinsichtlich der Möglichkeit zur Einpassung einzelner Fragmente und ausgeprägter Trümmerzonen [66, 76], so dass der Fixateur als Monotherapie zunehmend an Bedeutung verloren hat [37].

Hauptindikationen stellen komplexe Frakturen mit ausgedehntem Weichteilschaden, offene Brüchen sowie Infektionen dar [44, 77]. Zum einen ermöglicht der Fixateur externe in der Notfallsituation eine angemessene Reposition und Stabilisierung, zum anderen ist durch adaptive Diagnostik eine genaue Analyse der Frakturmorphologie und somit nach Weichteilkonsolidierung eine differenzierte definitive Ausversorgung möglich (3-Stufen-Konzept nach Rikli) [5, 37, 59, 70, 76, 80].

In seltenen Fällen kann die Ausbehandlung auch im Fixateur externe erfolgen, allerdings sollte dieser nicht länger als vier bis maximal sechs Wochen angelegt bleiben [73, 76, 80].

Ähnlich der K-Draht-Osteosynthese finden sich ebenso Pinlockierungen und –infektionen sowie eine obligate Materialentfernung [5, 59, 80].

Plattenosteosynthese

Mittlerweile werden schätzungsweise 90 % der distalen Radiusfrakturen mit winkelstabiler, palmarer Plattenosteosynthese versorgt [44].

Während es insbesondere bei schlechter Knochenqualität zu Auslockerung von Implantaten kam, wirkt die Verankerung der Schrauben in der Platte wie eine Art innere Stütze („internal buttress“) und überträgt die artikuläre Last über die Frakturzone hinweg auf die intakte Diaphyse [5]. Hieraus ergeben sich ein breites Indikationsspektrum sowie die Möglichkeit einer frühfunktionellen Nachbehandlung bereits in den ersten postoperativen Wochen. Eine Materialentfernung ist nur in Ausnahmefällen notwendig. Ein weiterer Vorteil liegt in der Darstellung intraartikulärer Fragmente, die anatomiegerecht unter Sicht eingepasst werden können [66].

Als häufige Komplikationen werden in der Literatur Irritationen bis hin zu Rupturen der Sehnen beschrieben [70, 76, 80].

Doch auch mit diesem Verfahren lassen sich längst nicht alle Frakturen adäquat versorgen. Gerade bei dorsal betonter Pathologie kann ein dorsaler Zugangsweg Gewinn bringend eingesetzt werden [70, 76]. Zusätzlich lassen sich in Kombination mit der palmaren Plattenosteosynthese komplexe Frakturformen in „Sandwich-Technik“ stabilisieren [37, 66, 70, 80].

Zugangsbedingt ergeben sich nicht selten Verklebungen und Rupturen der Strecksehnen, so dass trotz verbesserter Implantate anhaltend nach dorsaler Osteosynthese die Entfernung des eingebrachten Materials empfohlen wird.

Marknagel

Ein Großteil der distalen Radiusfrakturen lässt sich einer geschlossenen Reposition zuführen, so dass eine weiterführende Weichteiltraumatisierung durch offene Zugangswege mit Sehnenkomplikationen und Narbenbildung problematisch erscheint. Insofern wurde das Prinzip eines minimalinvasiven Verfahrens mit ausreichender Stabilisierung auch des osteoporotischen Knochens durch Einbringung eines intramedullären Kraftträgers als relativ neue Entwicklung in die Behandlung distaler Radiusfrakturen eingeführt [7, 26, 80]. Nach aktueller Studienlage lassen sich vergleichbare Ergebnisse zur palmaren Plattenosteosynthese erreichen, bei anscheinend geringerer Komplikationsrate [24].

1.5 Komplikationen

Colles unterlag dem Trugschluss, dass es sich bei der distalen Radiusfraktur um eine einfache Bruchform mit generell guten Ausheilungsergebnissen handele [11].

Mittlerweile wurde diese Auffassung verlassen und es besteht weitgehende Einigkeit hinsichtlich einer Wiederherstellung der Anatomie zum Erhalt eines zufriedenstellenden Behandlungsergebnisses. Doch sowohl durch die Fraktur selbst als auch infolge ihrer Versorgung können Komplikationen entstehen, die sich nachteilig für den Patienten auswirken können [42, 51].

Unterschieden wird hierbei zwischen Minor- und Majorkomplikationen, in Abhängigkeit von einer notwendigen operativen Therapie. Insgesamt variiert die Komplikationsrate nach distaler Radiusfraktur zwischen 6 bis hin zu 80 % [51].

1.5.1 Nervenläsionen

Mit einer berichteten Inzidenz von bis zu 17 % stellen Nervenverletzungen eine häufige Komplikation nach distaler Radiusfraktur dar [51]. Dabei treten iatrogene Nervenverletzungen vergleichsweise selten auf [42]. Vielmehr kommt es infolge der einsetzenden Weichteilschwellung mit Frakturhämatom und Fragmentdislokation zu erhöhten Drücken im Karpalkanal mit entsprechenden Kompressionssymptomen [17, 22]. Deren Prävalenz wird in der Literatur mit 2 bis 14 % angegeben [4, 46, 79].

Spätmanifestationen nach Konsolidierung der Fraktur werden bei 0,5 bis 22 % der Fälle nach palmarer Plattenosteosynthese berichtet. Da die Ursachen hierfür vor allem technischer Art sowie im Ausheilungsergebnis (Fehlverheilung, ausgeprägte Kallusbildung) zu sehen sind, ist eine kausale Therapie mittels Materialentfernung und Karpalkanalspaltung indiziert [42, 51].

1.5.2 Komplexes regionales Schmerzsyndrom CRPS

Unter dem komplex regionalen Schmerzsyndrom (CRPS) wird ein posttraumatisches Schmerzsyndrom einer Extremität verstanden, bei dem die Schmerzen im Vergleich zum erwarteten Heilungsverlauf unangemessen stark ausgeprägt sind. Unterschieden wird zwischen dem CRPS Typ I ohne Nervenläsion und dem Typ II mit Nervenläsion. Basis der Diagnose stellt die klinische Untersuchung unter Anwendung der revidierten klinischen Budapest-Kriterien dar [67].

Die Inzidenz nach distaler Radiusfraktur wird mit 8 bis 35 % angegeben [46, 51] und ist mit einem schlechten Behandlungsergebnis vergesellschaftet. Neben der Art des Traumas und dessen Therapie stellen ein höheres Lebensalter und psychologische Faktoren Risiken für die Entwicklung eines CRPS dar.

Mit vermehrter Anwendung der frühfunktionellen Nachbehandlung nach palmarer Plattenosteosynthese konnte mittlerweile die Inzidenz auf unter 3 % gesenkt werden [42].

1.5.3 Sehnenläsionen

Sehnenverletzungen sind Komplikationen sowohl der konservativen als auch operativen Therapie, wobei das klinische Spektrum von einer Tendinitis bis hin zur vollständigen Ruptur reicht [51].

Nach konservativer Therapie häufig betroffen sind vor allem die Strecksehnen, insbesondere die Sehne des M. extensor pollicis longus (EPL), die in bis zu 3 % der Fälle rupturieren kann [46]. Als Ursache hierfür wird neben einer unflexiblen Lage und geringen Blutversorgung eine bei intaktem Retinaculum extensorum nach Trauma entstehende Druckerhöhung mit resultierender Minderperfusion gesehen [42].

Doch auch durch eingebrachte Implantate kann es zur Beeinträchtigung der Sehnen kommen. Als maßgebliche Komplikation nach dorsaler Plattenosteosynthese gilt die Strecksehnenruptur, so dass deren Vermeidung als erheblicher Vorteil der palmaren Versorgung angeführt wurde. Mit vermehrter Anwendung der Plattenosteosynthese von palmar zeigten sich allerdings die dorsale Kortikalis überragender Schrauben weiterhin Strecksehnenrupturen in 4,4 bis 8,6 % [42].

Obendrein werden bis zu 12 % Verletzungen der Beugesehnen, vornehmlich der Sehne des M flexor pollicis longus, beobachtet [18]. Neben dem Implantatdesign und prominenter Schraubenköpfe wird als Erklärung eine zu distale Positionierung der palmaren Platte angegeben. Dabei dient die sogenannte *Watershed-Line* als Orientierung (Abb. 7). Eine Positionierung des Implantats distal dieser resultiert in einem engen Kontakt mit den Beugesehnen mit entsprechendem Impingement [32, 42, 46, 51, 68].

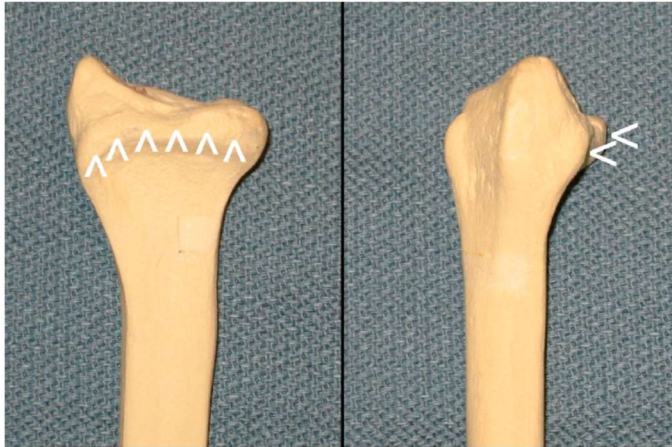


Abbildung 7: Darstellung der Watershed-Linie am Kunstknochen und im Röntgenbild in 2 Ebenen [67]

1.5.4 Infektionen

Insgesamt sind Infektionen eine seltene Komplikation nach distaler Radiusfraktur und hängen in ihrer Inzidenz stark vom jeweilig angewendeten Operationsverfahren ab. Während vor allem oberflächliche Infektionen an den Pineintrittsstellen nach K-Draht-Osteosynthese oder externer Stabilisierung im Fixateur zwischen 12 und 40 % auftreten, wird nach Plattenosteosynthese von einer Infektionsrate von 0,3 bis 2 % berichtet [42, 46].

1.5.5 Frakturheilung in Fehlstellung

Eine in Fehlstellung ausgeheilte distale Radiusfraktur stellt eine der überwiegenden Komplikationen dar und wird in der Literatur mit bis zu 17 % angegeben [42, 45, 51]. Sie hat ihren Ursprung in einer von Beginn an inadäquaten Versorgung oder einem Verlust der erzielten Reposition im Verlauf der Heilung. Verfahrensbedingt entwickelt sich dies überwiegend nach konservativer Therapie [46]. Zumeist treten dabei ein Verlust der Palmarinklination und radiale Verkürzungen auf, die direkten Einfluss auf die Gelenkgeometrie und somit auf das funktionelle Gesamtergebnis nehmen [42, 51]. Infolge der gestörten Biomechanik im Handgelenk kommt es zu Bewegungseinschränkungen im selbigen, Einschränkung der Unterarmdrehbewegung, Minderung der groben Griffkraft sowie Schmerzen bis hin zur Entwicklung einer Handgelenksarthrose [46, 55]

Klinische und biomechanische Studien konnten die Veränderungen im Handgelenk entsprechend der resultierenden Fehlstellung nachweisen. So hat eine Verkürzung der radialen Länge eine Verlagerung der Kraftübertragung nach ulnar mit ulnokarpalen Druckanstieg zur Folge. Weiterhin kommt es zu einer vermehrten Belastung des TFCC, was zu einer Instabilität im DRUG führen kann.

Eine Verkipfung des distalen Radius führt neben der Verlagerung der radiokarpalen Gelenkfläche ebenso zu einer Verkipfung der Incisura ulnaris bei gleichzeitig unverändertem Ulnakopf, wodurch gleichfalls eine Instabilität im DRUG resultiert.

Im Zusammenspiel all dieser Komponenten kommt es darüber hinaus zu einer kompensatorischen karpalen Instabilität [51, 55].

Umso bemerkenswerter erscheint die Tatsache, dass nicht zwangsläufig bei nachgewiesener Fehlstellung auch Beschwerden seitens der Patienten beklagt werden. In Anlehnung daran sollte die Entscheidung über eine weiterführende Intervention im Sinne einer Korrekturosteotomie stets nach Leidensdruck des Betroffenen und dessen Funktionsbeeinträchtigung getroffen werden [45, 51, 55].

1.5.6 Pseudarthrosen

Die Entwicklung einer Pseudarthrose stellt eine Rarität in der Behandlung distaler Radiusfrakturen dar (unter 1 %).

Risikofaktoren stellen offene Trümmerbrüche, Infektionen, inadäquate operative Fixierung und begleitende Frakturen der Ulna dar. Unabhängig von der Ursache ist die operative Versorgung unerlässlich, wenngleich kein genereller Konsens über einen Therapiealgorithmus besteht [51]

2. FRAGESTELLUNG

Im Verlauf der letzten Dekaden ist es zu einer zunehmenden Verlagerung der Therapie von distalen Radiusfrakturen zur offenen Reposition und internen Fixation mittels palmarer Plattenosteosynthese gekommen [4, 9, 32, 35, 37, 60, 78]. Diese ermöglicht durch Aufrechterhaltung der Reposition selbst im osteoporotischen Knochen ein breites Anwendungsspektrum mit frühfunktioneller Nachbehandlung [4, 32, 33] und hat sich somit als Therapiestandard etabliert.

Allerdings sind Komplikationen nach palmarer Plattenosteosynthese häufig technischer Art und können mit schwerwiegenden Folgen für den Patienten einhergehen [4, 42]. Weiterhin konnten biomechanische Messungen zeigen, dass es schon bei unbelasteten Flexions-Extensionsbewegungen zu Fragmentbewegungen mit Korrekturverlust kommen kann [26].

Unlängst wurden nun auch intramedulläre Systeme zur Stabilisierung distaler Radiusfrakturen entwickelt. Burkhardt et al. konnten in einer Kadaverstudie im Vergleich zwischen dem auch in dieser Studie verwendeten Targon DR® und einer 2,4 mm LCP-Platte eine signifikant höhere Fixationsstabilität mit verringerter Verschiebung im Frakturspalt für den Nagel nachweisen [7].

Darüber hinaus verspricht man sich infolge der frakturfernen Implantation über den Proc. styloideus radii mit komplett intramedullärer Implantatlage eine geringere Weichteiltraumatisierung mit geringerem Komplikationsrisiko insbesondere hinsichtlich der Sehnenverletzungen und Kompression des Karpalkanals [26].

Die Rolle der intramedullären Stabilisierung in der Versorgung der distalen Radiusfraktur ist bei relativ neuem Verfahren und entsprechend vorläufig verfügbarer, limitierter Datenlage noch ungewiss.

In diesem Zusammenhang war es Ziel der vorliegenden Arbeit beide Operationstechniken, die palmare winkelstabile Plattenosteosynthese und die intramedulläre Marknagelosteosynthese, klinisch und radiologisch im erreichten Langzeitergebnis einander gegenüber zu stellen.

Hieraus ergeben sich folgende Fragen:

1. Ist die anatomische Reposition der Gelenkstellung durch den Targon® DR möglich?
2. Wie ist das radiologische Ergebnis 2 Jahre nach Implantation des Marknagels?
3. Gibt es Unterschiede im radiologischen Ergebnis verglichen mit der palmaren Plattenosteosynthese?
4. Treten Unterschiede im funktionellen Ergebnis über den Zeitraum von zwei Jahren zwischen den untersuchten Osteosyntheseverfahren auf?
5. Gibt es Differenzen in den für die distale Radiofraktur spezifischen Outcome-Scores?
6. Zeigen sich Unterschiede in der Häufigkeit von Komplikationen zwischen den beiden Osteosyntheseverfahren?
7. Treten verfahrensabhängig unterschiedliche Komplikationen auf?
8. Welche Vorteile bietet das intramedulläre Verfahren?

3 MATERIAL UND METHODEN

Zum Erhalt der Langzeitergebnisse für die Marknagelfixation wurde auf den Probandenstamm einer bereits vorbestehenden Studie zum Vergleich beider Operationsmethoden zurückgegriffen [25, 26].

In dieser wurde im Zeitraum vom September 2005 bis Juni 2008 konsekutiv in der Notaufnahme des Universitätsklinikums Rostock vorstellige Patienten mit der Diagnose einer distalen Radiusextensionsfraktur akquiriert und nach entsprechender Aufklärung und Einholung des schriftlichen Einverständnisses die randomisierte Zuteilung der Patienten auf die jeweiligen Studiengruppen durchgeführt.

Die Nachuntersuchung der vorliegenden Arbeit fand zwei Jahre nach Primärversorgung statt. Dazu wurden sämtliche Patienten der Studiengruppen telefonisch einbestellt. Es erfolgte neben einer körperlichen Untersuchung, eine erneute Röntgenuntersuchung, Erhebung zweier Outcome-Scores bezogen auf das DRUG (Castaing-, Gartland and Werley-Score) sowie die Einschätzung des aktuellen Schmerzniveaus anhand der visuellen Analogskala.

Sämtliche Untersuchungen wurden durch einen Doktoranden, der nicht primär in die Behandlung der Patienten involviert war, durchgeführt. Eine Verblindung des Untersuchers war bei offensichtlich unterschiedlichen Narbenverhältnissen nicht möglich.

Die Studie erfolgte nach positivem Entscheid der Ethikkommission der Ärztekammer Mecklenburg-Vorpommern. Alle Patienten hatten bereits vorab bei Einwilligung in die Studienteilnahme eine entsprechende schriftliche Erklärung unterschrieben.

3.1 Patientenkollektiv

3.1.1 Einschlusskriterien

Im Zeitraum von September 2005 bis Juni 2008 wurden insgesamt 201 Patienten mit der Diagnose einer distalen Radiusfraktur in der Notaufnahme des Universitätskrankenhauses Rostock vorstellig und auf Studientauglichkeit geprüft.

Eingeschlossen in die vorliegende Arbeit wurden ausschließlich extraartikuläre Extensionsfrakturen (AO Typ A3) mit gegebener Indikation zur operativen Versorgung, die im Folgenden detailliert angegeben sind:

- > 20° dorsale Abkippung der Gelenkfläche im lateralen Röntgenbild
- > 2 mm axiale Eintauchung erkennbar im anterior-posterioren Röntgenbild
- > 100 % Verlust der Anlagerung der Knochenfragmente
- metaphysäre Trümmerzone
- radioulnare Instabilität

3.1.2 Ausschlusskriterien

Ausgeschlossen wurden neben Frakturen mit palmarer Dislokation (Flexionsfrakturen) sämtliche intraartikulär gelegenen Brüche (AO Typ B und C). Des Weiteren Verletzungen mit assoziierten Begleiterkrankungen des muskuloskeletalen und neurovaskulären Apparates (ausgedehnter Weichteilschaden Grad II und III), entzündliche Gelenkerkrankungen und bekannte Vorerkrankungen des betroffenen und kontralateralen Handgelenkes.

3.2. Operationstechnik

Nachfolgend wird das operative Vorgehen beider Techniken an der Universitätsmedizin Rostock dargelegt.

Beide Eingriffe werden während eines kurzstationären Aufenthaltes in Regional- oder Allgemeinanästhesie durchgeführt. Dazu erfolgt die Rückenlagerung des Patienten und anschließende Auslagerung der betroffenen Extremität auf einem röntgendurchlässigen, mobilen Armtisch. Ferner erfolgt die Anlage einer Blutleere am ipsilateralen Oberarm.

3.2.1 palmare winkelstabile Plattenosteosynthese (2,5mm; Fa. MORE®)

Nach Lagerung wird eine sechs Zentimeter lange Hautinzision beugeseitig über dem radialen Drittelübergang, beginnend in der proximalen Handgelenksbeugefalte, getätigt. Anschließend erfolgt die Präparation bis auf die Sehne des M. flexor carpi radialis, der nach ulnar gehalten wird. Nachfolgend wird hiervon radialseitig in die Tiefe durch den M. pronator teres bis auf den Knochen präpariert und die Knochenfragmente stumpf dargestellt.

Als Nächstes erfolgt die Reposition der Fraktur und temporäre Fixation mittels Einbringung von K-Drähten über das Styloid unter Röntgenkontrolle.

Anschließend wird die winkelstabile Platte am Knochen angelegt, an diesem ausgerichtet und im Langloch über eine nicht-winkelstabile Schraube fixiert. Bei adäquater Reposition und korrekter Plattenlage werden sodann die distal gelegenen Löcher mittels winkelstabiler Schrauben besetzt. Analog wird hinsichtlich der proximalen, winkelstabilen Schraubenreihe vorgegangen. Daraufhin wird eine erneute Röntgenkontrolle zur Darstellung des Operationsergebnisses durchgeführt und gegebenenfalls Korrekturen der Schraubenlängen erkannt und behoben (Abb. 8).

Abschließend erfolgt eine Spülung des Operationsgebietes, die Eröffnung der Blutsperre und Überprüfung auf Blutrockenheit mit entsprechender Blutstillung. Anschließend wird eine Redondrainage eingelegt mit gesondertem Ausstich. Es folgt der schichtweise, spannungsfreie Hautverschluss mit Subkutan- und Hautnähten.

Als Letztes erfolgt eine Säuberung und nochmalige Desinfektion des OP-Gebietes und Anlage eines sterilen Verbandes sowie Anbringung einer dorsalen Gipsschiene.



Abbildung 8a und b: präoperative Röntgenaufnahmen (a) und Röntgenaufnahmen 2 Jahre postoperativ (b) nach palmarer winkelstabiler Plattenosteosynthese

Die Nachbehandlung wird standardisiert durchgeführt. Hierzu wird je nach Fördermenge die einliegende Redondrainage nach 24 bis 48 Stunden postoperativ entfernt und eine Röntgenkontrolle in zwei Ebenen durchgeführt.

Die Physiotherapie beginnt noch während des stationären Aufenthaltes mit Bewegungsübungen aus der bis zur Wundkonsolidierung zu belassenen Gipsschiene heraus. Eine Begrenzung des Bewegungsausmaßes besteht nicht, allerdings wird eine Belastungslimitierung von 2,5 kg für insgesamt sechs Wochen empfohlen.

3.2.2 Targon DR® (Fa. Aesculap)

Nach entsprechender Lagerung erfolgt eine vier Zentimeter lange Hautinzision radialseitig mit Zentrum über der Spitze des Proc. styloideus radii, dabei sollte der hier entlangziehende R. superficialis nervi radiales dargestellt und geschont werden. Anschließend wird zwischen dem ersten und zweiten Strecksehnenfach auf den Proc. styloideus radii präpariert.

Hiernach erfolgt die geschlossene oder offene Reposition und Einbringung eines Kirschner-Drahts, der unterhalb der Styloidspitze dorsopalmar mittig in das distale Fragment eingebracht wird. Unter radiologischer Kontrolle erfolgen ein Vorschub des K-Drahts in einem Winkel von 30 bis 40° zur Längsachse des Radius und die bikortikale Verankerung.

Im Anschluss erfolgt eine Überbohrung des K-Drahts mit dem kanülierten Bohrer, ein schrittweises Aufräffeln des Markraums und Einbringen des Nagels. Über die Gewebeschutzhülsen des Zielbügels werden distal weitere K-Drähte unter Röntgenkontrolle eingebracht, nach Möglichkeit sollte der distalste Draht subchondral zu liegen kommen. Zur Herstellung einer korrekten radialen Länge ist eine Nachreposition durch Zug am Zielinstrumentarium möglich, anschließend erfolgt die proximale Verriegelung durch Einbringen weiterer K-Drähte über den Zielbügel. Darauffolgend werden distal beginnend die Drähte durch Schrauben ersetzt (Abb. 9).

Abschließend wird das Zielinstrumentarium entfernt und es erfolgt neben erneuten Röntgenkontrollen der spannungsfreie Wundverschluss, eine Redondrainage ist in der Regel nicht erforderlich.



Abbildung 7a und b: dislozierte extra-artikuläre distale Radiusfraktur, (a) präoperative Röntgenaufnahme, (b) zwei Jahre postoperativ nach intramedullärer Marknagelosteosynthese [24]

Die Nachbehandlung erfolgt analog der palmaren Plattenosteosynthese mit schmerzadaptierter, aktiv-assistierter Physiotherapie ab dem ersten Tag postoperativ ohne Bewegungslimitierung. Ein Belastungsaufbau ist frühestens nach sechs Wochen bei vorher nachgewiesener knöcherner Konsolidierung vorgesehen.

3.3 Funktionelle Nachuntersuchung

Die klinische Nachuntersuchung wurde im Durchschnitt 27 Monate nach Primärversorgung durchgeführt.

Zunächst wurde im Gespräch eine Einschätzung des Therapieergebnisses erfragt und mittels der verwendeten Scores (Castaing, Gartland and Werley) eingeordnet. Des Weiteren wurden die Probanden gebeten, verbliebene Schmerzen in Ruhe und unter mittlerer Belastung anhand einer numerischen Analogskala zu bewerten.

Ebenfalls wurden im zunächst durchgeführten Anamnesegespräch Komplikationen im Behandlungsverlauf erfragt und dokumentiert. Eine Differenzierung erfolgte in bedeutende, sprich mit Einfluss auf das Therapieergebnis, und geringfügige Komplikationen, definiert als eine vorübergehende Symptomatik.

Darüber hinaus wurden mit Hilfe eines handelsüblichen Goniometers die einzelnen Freiheitsgrade im Handgelenk vermessen und dokumentiert. Analog wurde zur Beurteilung der Handkraft mit einem Dynamometer vorgegangen. Sämtliche Untersuchungen erfolgten stets im Seitenvergleich.

Bei der Nachuntersuchung wurde das Schmerzniveau untersucht. Zur Einschätzung der verbliebenen Schmerzen im Handgelenk wurden die Probanden gebeten diese anhand der Visuellen Analogskala (VAS) mittels Zahlenwert einzuordnen, wobei 0 Punkte keine Schmerzen und 10 Punkte die größtmöglich vorstellbaren Schmerzen charakterisierten. Differenziert wurde des Weiteren zwischen Schmerzen in Ruhe und unter Belastung.

3.4 Radiologische Nachuntersuchung

Zum Untersuchungszeitpunkt wurden standardisierte Röntgenaufnahmen des betroffenen Gelenkes im anterior-posterioren und lateralen Strahlengang durchgeführt. Diese wurden mit Hilfe des auf den Computern der Klinik installierten Impax-Loader-Programms ausgewertet und vermessen.

Hierbei wurde auf Zeichen einer unvollständigen Konsolidierung, Implantatlockerung, verbliebene Gelenkstufen sowie bereits zu erkennende arthrotische Veränderungen geachtet.

Zur Überprüfung einer korrekten Wiederherstellung der anatomischen Verhältnisse erfolgte eine Bestimmung der radialen Länge und Ulnavarianz, um eventuell verbliebene Verkürzungen oder Überkorrekturen zu erfassen.

Abbildung 8a zeigt die Bestimmung der radialen Länge im anterior-posterioren Strahlengang. Sie ist der Abstand zwischen der Senkrechten zur Achse des Radius durch die Spitze des Processus styloideus radii (Abb. 10a) und der Senkrechten in Höhe der distalen Gelenkfläche des Ulnakopfes (b). Im Normalfall beträgt die Länge 12 mm (8 - 18 mm).

Die Ulnavarianz (Abb. 10b) wird ermittelt aus dem Abstand zwischen der Parallelen zur Fossa lunata (a) und der zur distalen Gelenkfläche des Ulnakopfes (b). Bei 60 % befinden sich die distale Gelenkfläche des Ulnakopfes und der ulnare Rand des Radius auf der gleichen Höhe. Hierbei findet sich eine physiologische, interindividuelle Variationsbreite von 4 mm [69].

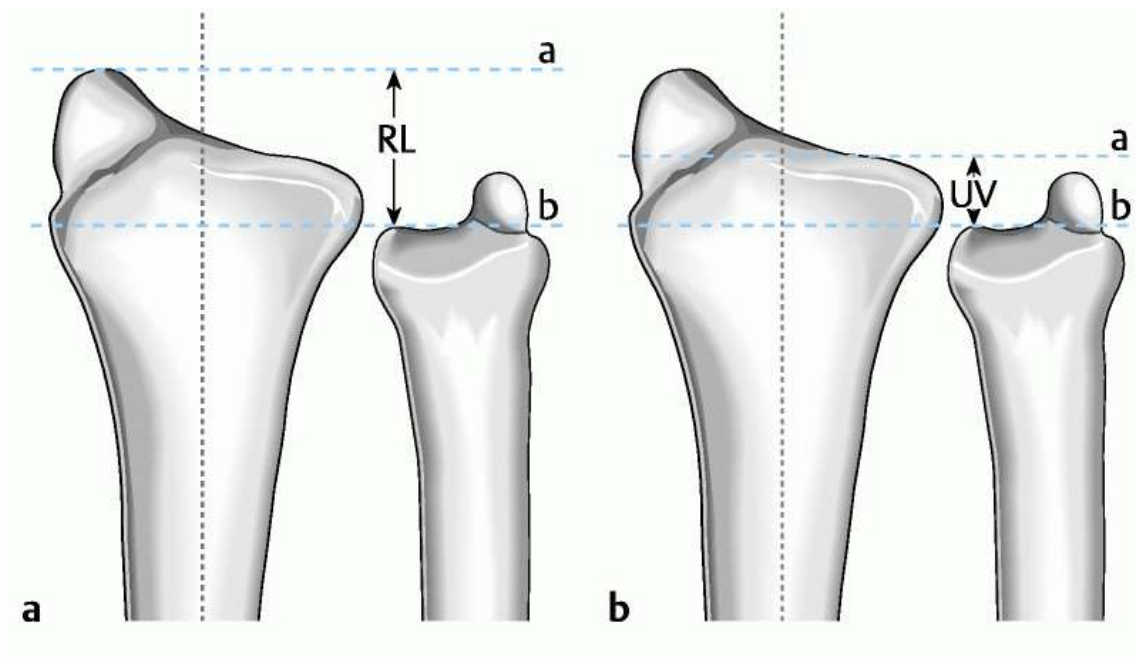


Abbildung 8a und b: Schematische Darstellung zur Bestimmung der radialen Länge am distalen Radius und der Ulnavarianz. [71]

Ein weiterer zur Beurteilung der anatomischen Verhältnisse wesentlicher Parameter stellt die Palmarinklination der Radiusgelenkfläche dar. Wie in Abbildung 9 dargestellt beschreibt diese den Winkel (PI) zwischen der Parallelen zur Gelenkfläche (A) und der Senkrechten zur Längsachse des Radius (B). Im Normalfall beträgt diese 12° ($0-28^\circ$) [69].

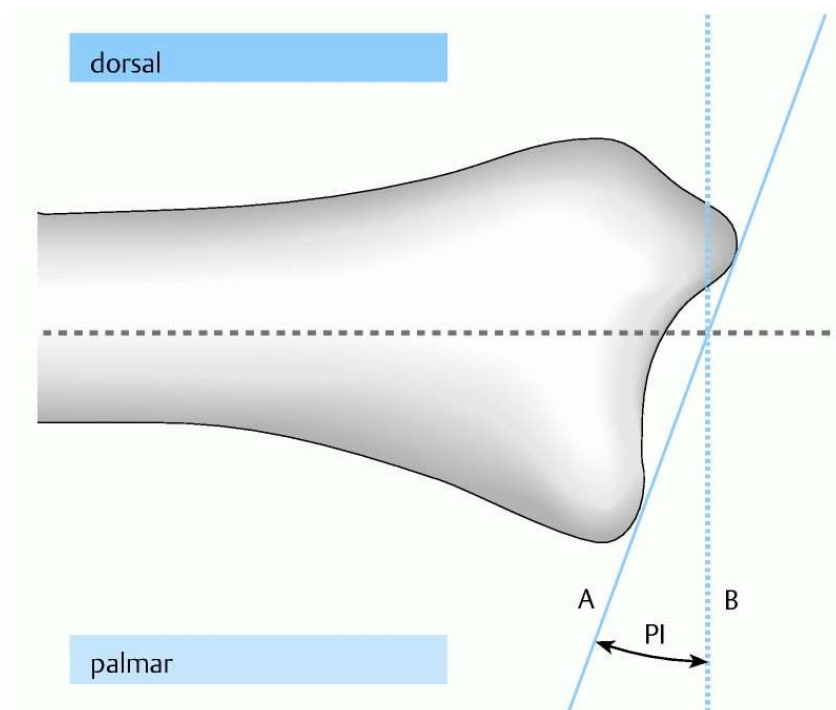


Abbildung 9: Bestimmung der Palmarinklination am distalen Radius [71]

Zusammenfassend ist davon auszugehen, dass verbliebene Gelenkstufen über 2 mm, radiale Verkürzungen über 2 mm und dorsopalmarer Verkippen von über 10° bereits Kriterien für eine Präarthrose und somit wichtige Faktoren für ein ungünstiges Behandlungsergebnis darstellen [45, 73].

3.5 Scores

Die erhobenen subjektiven und objektiven Daten wurden zur Auswertung der genutzten Scores einbezogen.

In beiden Fällen handelt es sich um klinisch-basierte Scores zur Einschätzung des Behandlungserfolgs nach distaler Radiusfraktur.

Castaing Score

Der Score nach Castaing umfasst drei Aspekte: die subjektiven Beschwerden des Patienten, die Funktionalität sowie den radiologischen Befund. Hieraus lässt sich eine Gesamtbewertung ermitteln, die sechs Stufen umfasst (perfekt, gut, genügend, mäßig, schlecht, sehr schlecht) [10].

Gartland and Werley demerit scoring system

Der Gartland and Werley Score setzt sich aus vier Anteilen zusammen. Es werden subjektive und objektive Untersuchungsbefunde zusammen mit radiologischen Befunden unter Ergänzung von Komplikationen und verbliebenen Deformitäten bewertet. Ein hoher Zahlenwert geht mit einem schlechten Therapieergebnis einher [23].

3.6 Statistik

Die Dokumentation und Speicherung der erhobenen Daten erfolgte über Excel-Dateien, die zur statistischen Auswertung mit Hilfe des Programms SPSS (Version 15.0; SPSS, Chicago, Illinois, USA) in dieses eingefügt werden konnten.

Zur Überprüfung der Normalverteilung wurde der Kolmogoroff-Smirnoff-Anpassungstest durchgeführt. In Abhängigkeit von dessen Ergebnis wurde bei Vorliegen einer Normalverteilung der t-Test für unabhängige Stichproben, bei negativem Resultat der parameterfreie Mann-Whitney-U-Test angewendet. Das Signifikanzniveau wurde auf $p \leq 0,05$ festgelegt.

4. ERGEBNISSE

4.1 Patientenkollektiv

Zwischen September 2005 und Juni 2008 wurden insgesamt 201 Patienten mit der Diagnose einer distalen Radiusfraktur in der chirurgischen Klinik des Universitätsklinikums Rostock und Indikation zur operativen Versorgung vorstellig. Von diesen entsprachen 42 Patienten nicht den oben genannten Anforderungen, weitere sieben Patienten lehnten eine Studienteilnahme ab. Demnach willigten primär 152 Patienten in eine Teilnahme ein.

Nach zwei Jahren konnten für die vorliegende Arbeit 121 Probanden (55 mit palmarer Plattenosteosynthese und 66 nach intramedullärer Marknagelosteosynthese) klinisch nachuntersucht werden. Von den fehlenden 31 Patienten waren in der Zwischenzeit sieben verstorben und sechs in andere Bundesländer verzogen. Weitere fünf Patienten lehnten aus persönlichen oder gesundheitlichen Gründen eine nochmalige Nachuntersuchung nach zwei Jahren ab. Ein weiterer Patient zog sich durch einen erneuten Unfall eine komplexe Unterarmfraktur zu und wurde somit rückwirkend ausgeschlossen.

Zwölf Patienten hatten in der vorbestehenden Studie an keinem Nachuntersuchungstermin innerhalb von zwölf Monaten teilgenommen und wurden somit auch zum 2-Jahres-Follow-up ausgeschlossen.

In sechzehn Fällen wurde bei langem Anfahrtsweg oder körperlicher Beeinträchtigung die Befragung und Untersuchung in der jeweiligen Häuslichkeit durchgeführt, entsprechend entfiel bei dieser Konstellation eine radiologische Nachuntersuchung.

4.1.1 Geschlechts-, Alters- und Seitenverteilung

Insgesamt umfasste das Patientenkollektiv 18 Männer und 103 Frauen mit einem Durchschnittsalter von $62,3 \pm 14,3$ Jahren (Spanne 17 bis 91) mit einer Geschlechtsverteilung von 6 : 1 (Frauen : Männer).

Aufgeschlüsselt auf die bestehenden Vergleichsgruppen ergab sich ein Durchschnittsalter von $61,4 \pm 13,9$ Jahren in der Gruppe mit plattenosteosynthetischer Versorgung bei 5 nachuntersuchten Männern und 50 Frauen. Im Vergleich dazu ließ sich in der Vergleichsgruppe bei 13 Männern und 53 Frauen ein Durchschnittsalter von $63,1 \pm 14,6$ Jahren berechnen.

In 56 Fällen wurde die dominante Seite operativ versorgt, dies entsprach 40 % der nach palmarer Plattenosteosynthese und 51,5 % nach intramedullärer Marknagelosteosynthese (Tab. 3).

		palmare Plattenosteosynthese	intramedulläre Marknagelosteosynthese
Anzahl Patienten		55	66
Alter*		61,4 ± 13,9	63,1 ± 14,6
Geschlecht	Männlich	5	13
	Weiblich	50	53
Dominante Seite betroffen**	Ja	22 (40 %)	34 (51,5 %)
	Nein	33 (60 %)	32 (48,5 %)
* Werte dargestellt als Mittelwert ± Standardabweichung			
**Werte dargestellt als Anzahl der Patienten mit prozentualem Anteil der Studiengruppe in Klammern			

Tabelle 3: Überblick demografischer Daten

4.1.2 Nachuntersuchungszeitraum

Die Nachuntersuchung erfolgte im Schnitt 27 Monate nach operativer Versorgung. Nach palmarer Plattenosteosynthese konnte dies nach $26,1 \pm 6,4$ Monaten und nach Marknagelosteosynthese im Mittel nach $28,2 \pm 5,8$ Monaten realisiert werden.

4.1.3 Zeit bis zur OP und OP-Dauer

Die operative Versorgung erfolgte durchschnittlich acht Tage nach Unfallereignis mit einer Spanne von einem bis hin zu 18 Tagen.

Signifikante Unterschiede ergaben sich in der statistischen Auswertung zwischen den Vergleichsgruppen bei Betrachtung der OP-Dauer und Durchleuchtungszeit.

Während die Implantation einer winkelstabilen volaren Plattenosteosynthese im Mittel 49 Minuten (Spannweite von 34 bis 126 min) betrug, konnte die Einbringung des Targon DR® fast vier Minuten schneller erzielt werden und war somit statistisch signifikant ($p = 0,04$) kürzer (Tab. 4).

Umgekehrt verhielt es sich mit der Durchleuchtungszeit, diese ist statistisch signifikant höher bei Versorgung mit dem intramedullären Implantat ($p < 0,001$).

	palmare Plattenosteosynthese	intramedulläre Marknagelosteosynthese	Signifikanz
OP-Dauer (min)	49 (34-126)	45 (30 -195)	0,04
Durchleuchtungszeit (min)	1,1 (0,1 -3)	2 (0,5-9)	0,001
Werte sind dargestellt als Median und Range			

Tabelle 4: OP-Dauer und Durchleuchtungszeit

4.2 Radiologische Ergebnisse

4.2.1 Ulnavarianz

Hinsichtlich der Ulnavarianz konnte zwischen den Vergleichsgruppen kein signifikanter Unterschied gemessen werden ($p = 0,85$). In der Gruppe mit palmarer Plattenosteosynthese betrug der Mittelwert in Millimeter $0,1 \pm 1,2$ gegenüber $0,1 \pm 1,5$ in der Gruppe mit intramedullärer Marknagelosteosynthese (Abb. 12).

Eine positive Ulnavarianz über 3 mm blieb bei insgesamt 3 Patienten bestehen, von denen zwei mittels intramedullärer Nagelosteosynthese versorgt worden waren. Einmalig kam es nach Anwendung des Targon DR® zu einer Überkorrektur (Ulnavarianz -5 mm).

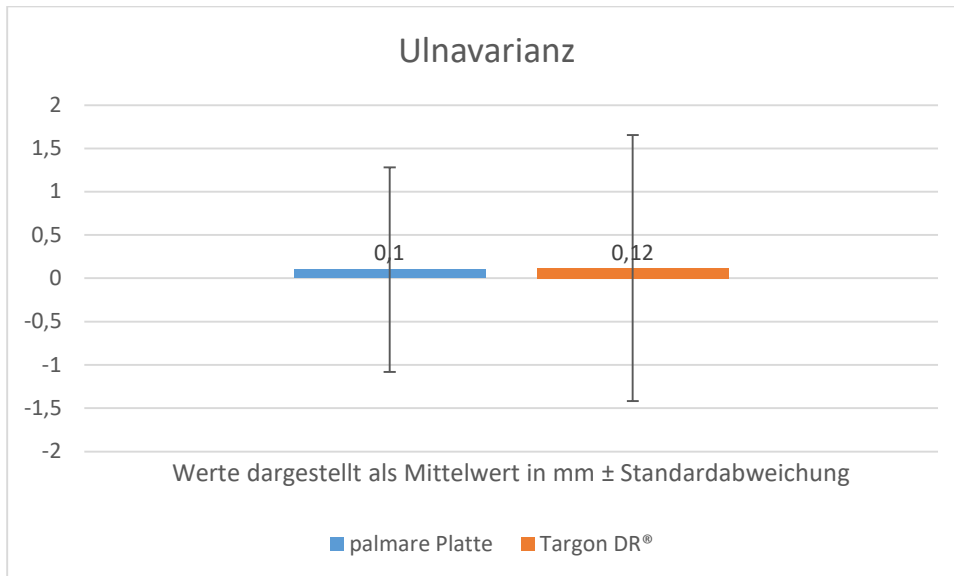


Abbildung 10: Ulnavarianz

4.2.2 Palmarinklination

Ähnliche Ergebnisse ließen sich hinsichtlich der Palmarinklination nachweisen. Je zwei Patienten in beiden Gruppen ließen eine residuelle dorsopalmare Verkippung der Gelenkfläche über 10° erkennen. Die mittlere Palmarinklination in Grad \pm Standardabweichung betrug in der nach Plattenosteosynthese $1,8 \pm 4,9$ im Vergleich zur Marknagelosteosynthese mit $2,9 \pm 6,7$. Eine Signifikanz bestand nicht ($p = 0,26$).

Hieraus lässt sich bereits eine adäquate Aufrichtung der Gelenkfläche bei dislozierten Radiusfrakturen in den physiologischen Bereich mit Hilfe des Targon DR® erkennen (Abb. 13).

In jeweils 2 Fällen aus beiden Gruppen konnte die dorsale Verkippung nicht aufgehoben werden und verblieb mit ca. 10° .

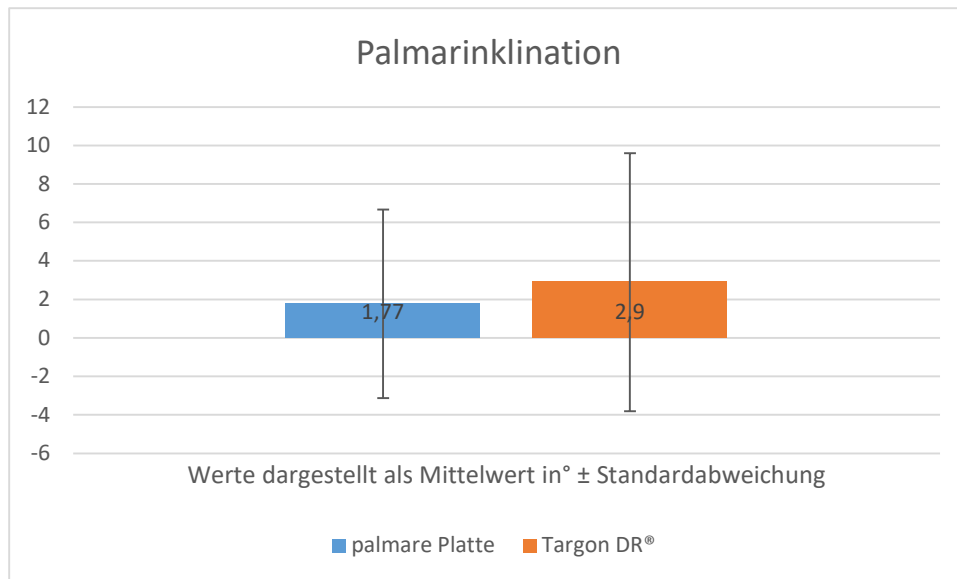


Abbildung 11: Palmarinklination

4.3 Funktionelle Ergebnisse

4.3.1 Beweglichkeit und Kraft

Die Beweglichkeit der betroffenen Seite wurde stets in Relation zur gesunden Vergleichshand gesetzt, deren Bewegungsausmaß als 100 % angesehen wurde. In Bezug hierauf ergaben sich in beiden Gruppen gute bis sehr gute funktionelle Werte, signifikante Unterschiede konnten nicht nachgewiesen werden.

Einzeln aufgelistet ließen sich in der Ebene der Extension $92 \pm 11,4 \%$ und Flexion $94 \pm 8,3 \%$ in der Gruppe mit Plattenosteosynthese und $92,1 \pm 13,3 \%$ und $88,8 \pm 19,4 \%$ nach Targon DR® erreichen ($p = 0,94 / 0,39$). Bei Betrachtung der Radial- und Ulnarabduktion nach Plattenosteosynthese ergaben sich $95,3 \pm 7,8 \%$ und $93,9 \pm 9 \%$ gegenüber $88,7 \pm 20 \%$ und $88,7 \pm 16,7 \%$ in der Gruppe der intramedullären Nagelosteosynthese. Eine zu vermutende leichtgradig bessere Funktion nach plattenosteosynthetischer Versorgung ließ sich statistisch jedoch bei berechneter Signifikanz mit $p = 0,09$ und $0,38$ nicht bestätigen.

Anders verhält sich die Gegenüberstellung der Pro- und Supination in den einzelnen Gruppen mit nahezu gleichen Resultaten. Während im Durchschnitt in der Pronation nach Plattenosteosynthese $99,8 \pm 2,8 \%$ der ursprünglichen Beweglichkeit erreicht werden konnte, gelang dies nach Targon DR® zu $99,1 \pm 3,6 \%$ ($p = 0,22$). Hinsichtlich der erzielten Supination konnten in der P-Gruppe $98,6 \pm 6,3 \%$ mit $96,7 \pm 8 \%$ verglichen werden, die Signifikanz betrug $p = 0,16$.

Analog wurde in der Auswertung der Handkraft vorgegangen, allerdings ließ sich hier im Vergleich ein geringfügig besseres Ergebnis nach Marknagelosteosynthese mit $92,7 \pm 31,1 \%$ gegenüber $88,6 \pm 21,97 \%$ verzeichnen. Doch auch in diesem Fall war der Unterschied statistisch nicht signifikant ($p = 0,48$) (Tab. 5, Abb.14).

	palmare Plattenosteosynthese		intramedulläre Osteosynthese		
	ROM* in °	% der Gegenseite*	ROM* in °	% der Gegenseite*	Signifikanz
Extension	53,8 ± 11,7	92 ± 11,4	53,4 ± 10,1	92,1 ± 13,3	0,94
Flexion	64,1 ± 9,4	94 ± 8,3	60,4 ± 15,4	88,8 ± 19,4	0,39
Supination	87,7 ± 5,7	98,6 ± 6,3	84,8 ± 7,5	96,7 ± 8	0,16
Pronation	89,1 ± 4	99,8 ± 2,8	88,7 ± 4,5	99,1 ± 3,6	0,22
Ulnarabduktion	31,4 ± 6,8	93,9 ± 9	30,3 ± 9	88,7 ± 16,7	0,38
Radialabduktion	24,1 ± 5,9	95,3 ± 7,8	22,8 ± 7,8	88,7 ± 20	0,09
Handkraft		88,6 ± 21,5		92,7 ± 31,1	0,48
* Werte sind dargestellt als Mittelwert ± Standardabweichung					

Tabelle 5: postoperatives Bewegungsausmaß und Handkraft

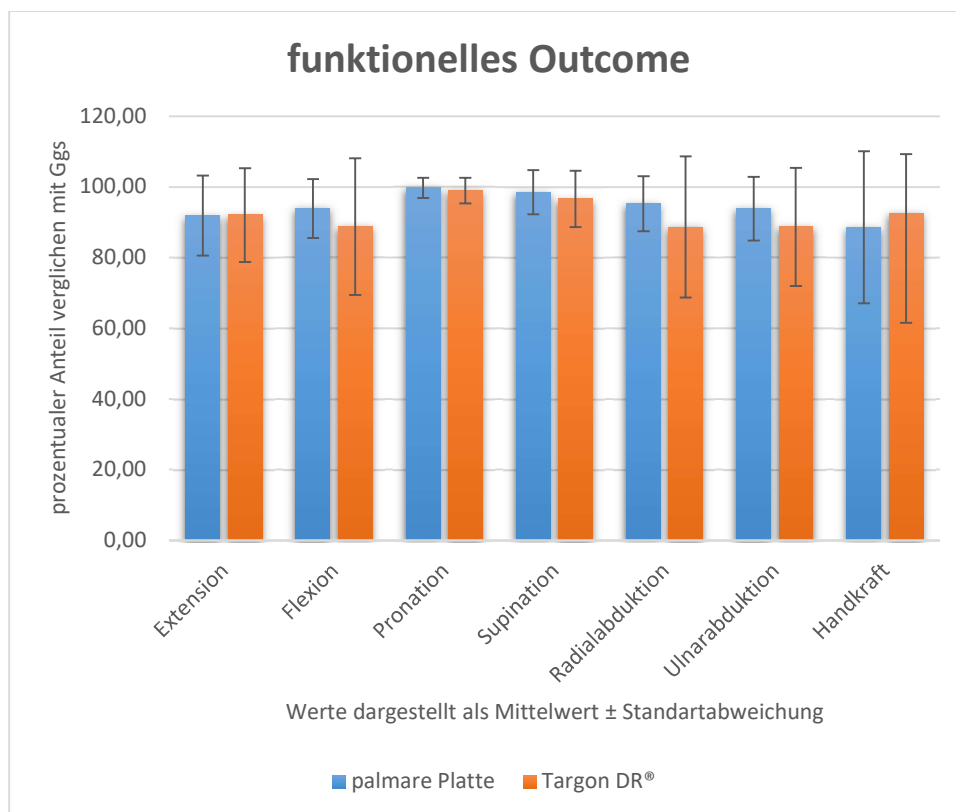


Abbildung 12: funktionelles Bewegungsausmaß

4.3.2 Schmerz

Nach plattenosteosynthetischer Versorgung wurde im Mittel unter Ruhebedingungen eine Einordnung bei $0,1 \pm 0,6$ Punkten vorgenommen. Dies entsprach nahezu dem Ergebnis nach Marknagelosteosynthese mit durchschnittlich $0,2 \pm 0,6$ Punkten.

Unter dem Gesichtspunkt der Belastung konnte ebenfalls ein ähnliches Resultat beobachtet werden, während nach palmarer Plattenosteosynthese der Schmerz im Schnitt mit $0,7 \pm 1,5$ Punkten angegeben wurde, erfolgte eine Zuweisung des Zahlenwerts in der Vergleichsgruppe mit $1 \pm 1,8$ Punkten. Ein signifikanter Unterschied war entsprechend nicht gegeben (Tab 6).

	palmare Plattenosteosynthese	intramedulläre Marknagelosteosynthese	Signifikanz
VAS in Ruhe	$0,1 \pm 0,6$	$0,2 \pm 0,6$	0,92
VAS in Bewegung	$0,7 \pm 1,5$	$1 \pm 1,8$	0,28
Castaing Score	$1,6 \pm 1,1$	$2,4 \pm 2,6$	0,34
Gartland & Werley Score	$2,3 \pm 2,4$	$2,7 \pm 3,3$	0,93
<i>Werte dargestellt als Mittelwert der erreichten Punkte \pm Standardabweichung</i>			

Tabelle 6: Schmerz und Scores

4.4 Scores

In über 90 % der nachuntersuchten Fälle in beiden Gruppen konnten perfekte bis gute Ergebnis nach Castaing und exzellente bis gute Resultate nach dem Gartland and Werley Score erzielt werden. Wie bereits geschildert konnte in 16 Fällen bei fehlender radiologischer Untersuchung auch eine Bestimmung der Scores nicht erfolgen (Tab. 7).

		palmare Plattenosteosynthese	intramedulläre Marknagelosteosynthese
Castaing Score	Perfekt	8 (15,3 %)	9 (17 %)
	Gut	44 (84,6 %)	41 (77,4 %)
	Genügend	0	2 (3,8 %)
	Mäßig	0	1 (1,9 %)
	Schlecht	0	0
	Sehr schlecht	0	0
Gartland & Werley Score	Exzellent	33 (63,5 %)	36 (67,9 %)
	Gut	19 (36,5 %)	14 (26,4 %)
	Mäßig	0	3 (5,7 %)
	schlecht	0	0
<i>Werte dargestellt als absolute Häufigkeit mit relativer Häufigkeit in Klammern</i>			

Tabelle 7: Darstellung der Score-Ergebnisse

Nach Castaing wurde nach palmarer Plattenosteosynthese durchschnittlich ein Ergebnis von $1,6 \pm 1,1$ Punkten gegenüber $2,4 \pm 2,6$ Punkten nach Targon DR[®] erzielt ($p=0,34$).

Ebenfalls keine Signifikanz ($p=0,93$) ergab sich im Vergleich der Gruppen im Gartland and Werley Score. In diesem wurde in der Gruppe mit Plattenosteosynthese durchschnittlich ein Punktwert von $2,3 \pm 2,4$ im Vergleich zu $2,7 \pm 3,3$ Punkten nach Marknagelosteosynthese erreicht.

In Tabelle 6 sind bereits die Zusammenführungen von visueller Analogskala und Score-Gruppierung dargestellt.

4.5 Komplikationen

Insgesamt kam es bei 28 Patienten (23 %) zum Auftreten von Komplikationen. Eine detaillierte Auflistung ist in Tabelle 8 gegeben.

	palmare Plattenosteosynthese	intramedulläre Nagelosteosynthese
Neuropathie R. superficialis n. radiales	7	8
Karpaltunnelsyndrom	4	1
CRPS	2	1
Implantat-assoziiert	2	1
Sehnenruptur	1	0
Infekt	0	1

Tabelle 7: Komplikationen insgesamt

Aufgeschlüsselt in die Vergleichsgruppen ergab sich nach Plattenosteosynthese eine Komplikationsrate von 29 % gegenüber 18 % nach Versorgung mit dem Targon DR[®], wovon allein 21 % Weichteil-assoziiert waren.

Der überwiegende Anteil heilte spontan ohne weitere Therapie im ersten Behandlungsjahr und konnte somit als geringfügig eingestuft werden.

Als schwerwiegend wurde in einem Fall eine aufgetretene Ruptur der Sehne des M. extensor pollicis longus mit nachfolgender Extensor indicis-Plastik klassifiziert. Zweimalig wurde ebenfalls die Implantatentfernung als Folgeeingriff bei Schraubenlockerung notwendig (Abb. 15).

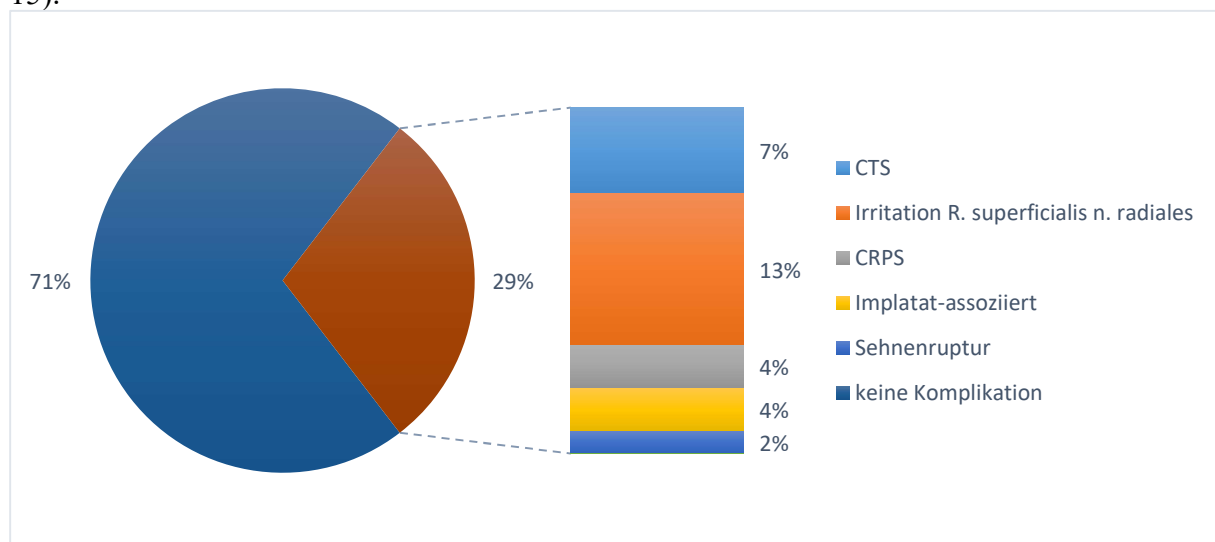


Abbildung 13: Komplikationen nach palmarer Plattenosteosynthese

Im Gegensatz hierzu finden sich nach Versorgung mit dem Targon DR[®] in lediglich 18 % dokumentierte Komplikationen, wovon ebenfalls die Mehrzahl Weichteil-assoziiert waren (14 %). Allein 12 % wurden durch Irritationen des R. superficialis n. radialis verursacht. Die

hierdurch verursachten Beschwerden zeigten sich jedoch über den Beobachtungszeitraum komplett regredient.

Lediglich bei einem Patienten zeigte sich die Indikation zur erneuten Operation aufgrund einer Penetration der Verriegelungsschrauben in das DRUG mit resultierender Destruktion und entsprechender schmerzbedingter Bewegungseinschränkung.

Eine detaillierte Darstellung der einzelnen Komplikationen in den Vergleichsgruppen zeigen Abbildung 13 und 14.

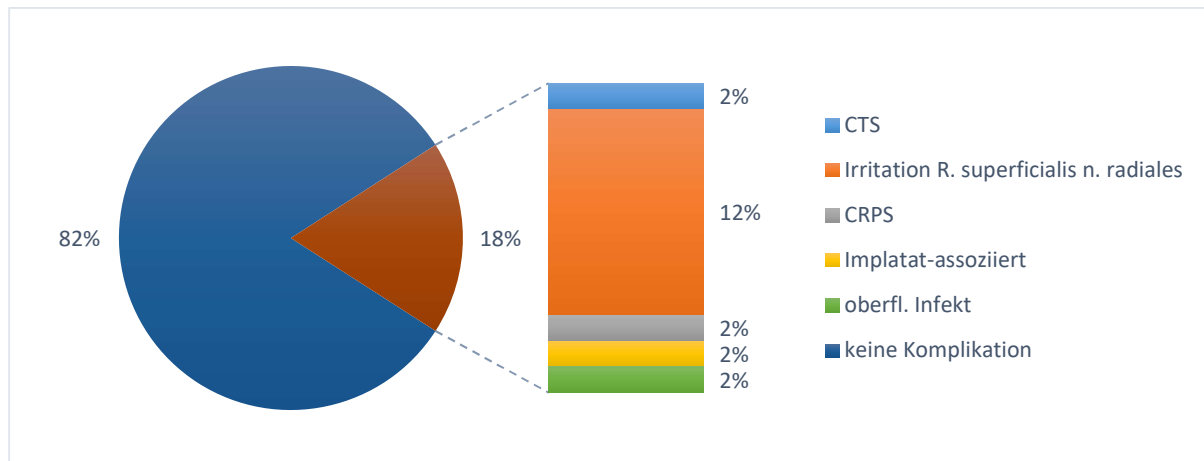


Abbildung 14: Komplikationen nach Targon DR®

5. DISKUSSION

Die Behandlung des häufigsten Knochenbruchs des Menschen hat in den vergangenen Jahrzehnten einen „Paradigmenwechsel“ vollzogen [79].

Ein verbessertes Verständnis des Zusammenhangs zwischen Anatomie und Biomechanik für ein stimmiges funktionelles und schmerzfreies Behandlungsergebnis hat zur Weiterentwicklung operativer Techniken geführt, allerdings konnte in einer durchgeführten Literaturrecherche keine Überlegenheit einer Behandlungsmethode dargelegt werden [29].

Interessanterweise zeigt sich trotz nachgewiesener Überlegenheit der operativen Therapie für eine erfolgreiche Retention und signifikant besserem radiologischen Ausheilungsergebnis kein Unterschied hinsichtlich Bewegungsfreiheit oder subjektiver Beeinträchtigung im Langzeitvergleich [2, 3, 19, 20, 36, 41, 60]. Lediglich in der frühen postoperativen Phase bis zu drei Monaten kommt es zu einer signifikant verbesserten Handgelenksfunktion [19, 34, 60]. Einen funktionellen langfristigen Gewinn gab es jedoch nicht. Allein die Kraft ist dauerhaft verbessert, was sich allerdings in der subjektiven Einschätzung des Behandlungsergebnisses nicht bemerkbar machte. Trotz frühfunktioneller Vorteile kam es nicht zu einem vorzeitigen Wiedereinstieg in den Berufsalltag [34].

Umso eindrucklicher ist die Etablierung der winkelstabilen Plattenosteosynthese als Standardverfahren [9, 15, 26, 35, 44, 52, 66]. Wurden 1999 noch mehrheitlich perkutane Verfahren (58 %) verwendet, erfolgte 2007 in 81 % der Fälle eine offene Stabilisierung [35].

Mögliche Gründe hierfür sind vielfältig. Beim Auftreten einer distalen Radiusfraktur lässt sich ein zweigipfliges Eintreffen erkennen. Neben einer jungen Patientengruppe mit überwiegend hochenergetischen Trauma besteht der überwiegende Anteil aus älteren Patienten, die sowohl größtenteils Osteoporose-bedingte Frakturen als auch Verletzungen durch hohe Energieeinwirkung erleiden [1, 44, 50, 73, 76, 78].

Dabei spielt die Selbstwahrnehmung älterer Menschen eine entscheidende Bedeutung [9]. Viele Patienten sehen sich bei guter Gesundheit und bewahren sich hierdurch ein hohes Aktivitätslevel, welches sich in einem hohen Anspruch an das Therapieergebnis bemerkbar macht.

Des Weiteren gewährleistet die Winkelstabilität eine sichere Retention der Frakturfragmente selbst im osteoporotischen Knochen, wodurch neben dem breitesten Indikationsspektrum eine frühfunktionelle Nachbehandlung ermöglicht wird. Zwar geben oben aufgeführte Studien keinen Beweis für einen langfristigen Vorteil, doch unter dem Wissen, dass nahezu die Hälfte der über 75 Jährigen allein lebt [9], ergibt sich hier die Möglichkeit des frühen Erhalts der Selbstständigkeit.

Bei der Entscheidung über die Versorgung eines bestimmten Frakturtyps ist dementsprechend eine Abwägung des individuellen Nutzens und Risikos für den Patienten sowie mögliche Alternativen durch den Chirurgen vorzunehmen.

Nicht zu vernachlässigen sind Komplikationen, die nach winkelstabiler, palmarer Plattenosteosynthese auftreten können. Die Gesamtkomplikationsrate wird in der Literatur zwischen 8 und 39 % angegeben [21].

Betrachtet man tabellarische Aufzählungen möglicher Komplikationen nach operativer Versorgung durch palmare Plattenosteosynthese ist ein Überwiegen weichteil-assoziiierter Schwierigkeiten deutlich zu erkennen [4, 18, 21, 57].

Dabei wird am häufigsten über Verletzungen der Sehnen, die sowohl beuge- als auch streckseitig auftreten können, berichtet. Drobetz/Kutscha-Lissberg et al. beobachteten in ihrer Arbeit Sehnenrupturen in 14 % der Fälle [18], Arora et al. unter Einschluss von

Tendosynovitiden als erstes Symptom dokumentierten sogar in 16 % Irritationen der Sehnen [4]. Weitere Untersuchungen bestätigten diese ersten Ergebnisse [32, 57].

Verantwortlich gemacht werden technische Fehler in der Einbringung des Implantats, wie zum Beispiel ein distales Herausragen der Platte über die Watershed-Line oder zu lang gewählte und somit die dorsale Kortikalis überragende Schrauben [32, 42, 68].

Eine weitere häufige Komplikation sind Kompressionssyndrome des N. medianus. In einem groß angelegten Review mit 665 eingeschlossenen Patienten stellte dies sogar die häufigste Komplikation dar [21].

Ein Zusammenhang zwischen dorsaler Abkipfung und Druck auf den N. medianus wurde bereits frühzeitig nachgewiesen [17, 69]. An einem kleinen Patientenkollektiv konnten Fuller et al darlegen, dass nach korrekter Positionierung des Implantats über 24 Stunden kein Anstieg des intrakarpalen Druckes ausgelöst wird [22]. Entsprechend beeinflusst neben dem Ausheilungsergebnis gleichermaßen die technische Ausführung und Implantatlage die Entwicklung eines Karpaltunnelsyndroms [42, 51].

Die winkelstabile, palmare Plattenosteosynthese stellt ein sicheres therapeutisches Mittel dar. Allerdings existieren Schwierigkeiten, die sowohl vom Zugang als auch dem Verständnis und Kenntnis des Chirurgen abhängig sind. Es ist zu vermuten, dass notwendige Sekundäreingriffe in bis zu einem Drittel der Fälle [3, 21] sich infolge einer korrekten Positionierung des Implantats vermeiden ließen. Der Vorbeugung von Komplikationen kommt somit erhebliche Bedeutung zu.

Aus diesem Grund wurden neben der Weiterentwicklung des Plattendesigns intramedulläre Verfahren zur Versorgung des distalen Radius entwickelt. Diese in der Frakturversorgung langer Röhrenknochen etablierten Implantate bieten bei minimal-invasiven Zugangsweg einen geringen Weichteilschaden. Infolge der intramedullären Lage sollen Irritationen des umgebenden Weichteilmantels bei gleichwertiger Stabilität vermieden und somit geringere Komplikationsraten erreicht werden.

In der aktuellen Literatur existieren neben ersten vorläufigen Behandlungsberichten [6, 30] lediglich eine geringe Anzahl klinischer Studien mit geringem Patientenkollektiv und begrenztem Beobachtungszeitraum [48, 75].

Die vorliegende Studie sollte die Langzeitergebnisse beider Operationsverfahren nach zwei Jahren im Vergleich darlegen. Bis dato wurde keine vergleichende Abhandlung an einer ähnlichen Anzahl an Patienten veröffentlicht.

5.1. Methodik

Bei der vorliegenden Untersuchung handelt es sich um die Weiterführung einer bereits am Universitätsklinikum Rostock durchgeführten prospektiv-randomisierten Studie [25, 26]. In dieser wurden zwischen September 2005 bis Juni 2008 insgesamt 152 Patienten mit distaler Radiusfraktur für die vorliegende Studie akquiriert.

Nach durchschnittlich 27 Monaten konnten aus dieser Gruppe erneut 121 Probanden einer weiteren Nachuntersuchung zugeführt werden. Dies ergab ein *Follow-up* von 80%.

In der internationalen Literatur sind nur wenige Arbeiten mit vergleichenden Untersuchungen der intramedullären Marknagelosteosynthese am distalen Radius zu finden.

Überwiegend lassen sich neben ersten veröffentlichten Ergebnissen [6, 30] prospektive Kohortenstudien [16, 50] nachlesen. Diese beinhalten jedoch einen relativ kleinen Probandenstamm sowie kurze *Follow-up*-Zeiten.

Ähnlich verhält es sich mit bisher veröffentlichten Vergleichsuntersuchungen.

Lerch et al. [38] verglichen retrospektiv dreizehn Marknagel- mit zwölf durchgeführten palmaren Plattenosteosynthesen. Der Nachuntersuchungszeitpunkt lag zwischen fünf und acht Monaten.

Ebenfalls retrospektiv setzte Tan et al. 2012 [72] die intramedullären Marknagelosteosynthese (Micronail) der konservativen Gipsbehandlung entgegen.

Einzig zwei Studien mit ähnlicher Methodik konnten in der durchgeführten Literaturrecherche gefunden werden.

Safi et al. [61] veröffentlichten 2013 eine prospektiv randomisierte, verblindete Untersuchung, in der 31 Patienten mit Marknagelosteosynthese (Micronail) 31 Probanden mit palmarer Plattenosteosynthese gegenübergestellt wurden. Der Nachuntersuchungszeitraum belief sich auf ein Jahr.

Bereits 2010 wurde ebenfalls ein prospektiv randomisierter Vergleich beider Operationsmethoden durchgeführt [8]. Hierin wurden insgesamt 31 Patienten über einen Zeitraum von sechs Monaten begleitet.

All diesen Studien gemein ist die Forderung nach weitergehenden, über einen längeren Zeitraum und mit größerem Patientenkollektiv durchgeführten Studien.

Insofern stellt die vorliegende Arbeit mit einem relativ großen Patientenstamm und einem Beobachtungszeitraum von zwei Jahren eine Rarität unter den derzeit veröffentlichten klinischen Studien dar.

In der vorliegenden Arbeit wurde der bestehende Patientenstamm einer bereits vorhandenen Studie erneut aufgegriffen und weitergeführt [25, 26]. Hierbei handelte es sich um ein prospektiv randomisiertes Studiendesign, wodurch neben einer Strukturgleichheit eine hohe Aussagekraft hinsichtlich der Wirksamkeitsbewertung erreicht wurde.

Um eine Aussage hinsichtlich der Wiedererlangung der Funktion zu ermöglichen wurde ein quantitativer Vergleich mit der unverletzten Gegenseite durchgeführt. Demzufolge wurden Verletzungen der Gegenseite sowie schwere Begleitverletzungen der oberen Extremität als Ausschlusskriterium definiert.

Weiterhin erfolgte zur Auswertung der Ergebnisse die Bewertung durch den Castaing- und Gartland-and-Werley-Score. Im Gegensatz zu vergleichbaren Studien, in denen vor allem der DASH-Score neben weiteren zur Anwendung kam, wurde sich in der vorliegenden Studie zur Verwendung zweier rein auf das Handgelenk bezogener Bewertungssysteme entschlossen. In beiden Fällen handelt es sich um gemischte Scores mit objektiven und subjektiven Aspekten, die eine einheitliche Betrachtung der erzielten Ergebnisse gestatteten. Aufgrund der breiten Varianz verschiedener Scores in weiteren Arbeiten sind einem Vergleich in diesem Kriterium Grenzen gesetzt. Nachteilig zu erwähnen ist weiterhin eine bestehende Untersucherabhängigkeit sowie die Darstellung einer Momentaufnahme in der Erfassung des postoperativen Resultats.

Die vorliegende Studie zeigt verschiedene Grenzen. Es wurden komplexe intraartikuläre Frakturen ausgeschlossen, so dass eine Verallgemeinerung der Ergebnisse auf diese nicht vorgenommen werden kann.

Darüber hinaus wurden sämtliche Nachuntersuchungen vom gleichen Untersucher durchgeführt, während die Operationen durch verschiedene Chirurgen mit unterschiedlicher Erfahrung und Ausbildungsstand erfolgten.

5.2 Patientenkollektiv

Insgesamt konnten im angegebenen Zeitraum 152 Patienten in die Studie eingeschlossen werden, wovon 121 (79,6 %) nach zwei Jahren einer Nachuntersuchung zugeführt werden konnten. Dies entspricht einer *drop-out*-Rate von 20,4% und liegt damit im Rahmen vergleichbarer Arbeiten [3, 4, 17, 31].

Eine mögliche Erklärung bietet der Umstand, dass es sich überwiegend um eine Fraktur des älteren Menschen mit Indikatorfunktion für eine osteoporotische Stoffwechsellage handelt [12, 14, 41, 44, 49, 56, 73, 76, 78, 81], so dass aufgrund weiterer zum Teil fortschreitender Erkrankung und vorstellbarer Immobilität infolge erneuter Knochenbrüche eine weitere Teilnahme nicht möglich oder abgelehnt wurde. Eine geringere *drop-out*-Rate konnte lediglich in Studien mit kleinerem Patientenkollektiv oder kürzerem Nachuntersuchungsintervall erzielt werden.

Trotz dessen liegt bis dato keine prospektive Arbeit zur Untersuchung der intramedullären Nagelosteosynthese am distalen Radius mit ähnlich hoher Patientenanzahl vor [8, 16, 48, 61, 75].

Beinahe 80 % aller auftretenden Radiusfrakturen betreffen Frauen über dem 50. Lebensjahr [14, 28, 41, 44, 49, 56, 73, 78, 81]. Dies zeigte sich ebenfalls in unserem Patientenkollektiv, das zu 77 % diesen Kriterien entsprach. Das Durchschnittsalter betrug 62 Jahre. Hinsichtlich Alters- und Geschlechtsverteilung stellten sich die Vergleichsgruppen homogen dar.

Einschränkend muss erwähnt werden, dass eine Altersbeschränkung als Einschlusskriterium unterblieb. Ebenso wurde in der Auswertung der Ergebnisse keine Differenzierung nach Altersgruppen vorgenommen.

5.3 Radiologische Ergebnisse

Unabhängig vom Operationsverfahren kam es zu einer vollständigen Ausheilung sämtlicher Frakturen.

Zur Auswertung des radiologischen Ergebnisses wurde zum einen die radiale Länge bestimmt.

Hierbei konnte eine adäquate Wiederherstellung dieser gezeigt werden. In der Gruppe mit plattenosteosynthetischer Versorgung betrug der Mittelwert der Ulnavarianz $0,1 \pm 1,2$ mm gegenüber $0,1 \pm 1,5$ mm nach Targon DR® ($p = 0,85$).

Eine positive Ulnavarianz über 3 mm blieb bei insgesamt drei Patienten bestehen, wovon zwei mittels intramedullärer Nagelosteosynthese versorgt wurden. Einmalig kam es in dieser Gruppe zu einer Überkorrektur (Ulnavarianz -5 mm).

Ebenfalls keine statische Signifikanz ($p = 0,26$) zwischen den angewendeten Verfahren kann hinsichtlich einer Regeneration der Palmarinklination festgestellt werden. In diesem Fall ergaben sich in der nach Plattenosteosynthese $1,8 \pm 4,9^\circ$ im Vergleich zur intramedullären Marknagelosteosynthese mit $2,9 \pm 6,7^\circ$ (mittlere Palmarinklination in Grad \pm Standardabweichung).

In jeweils zwei Fällen aus beiden Gruppen zeigte sich eine Ausheilung der Fraktur mit dorsaler Verkipfung der Gelenkfläche von 10° . Einmalig in der Gruppe der Marknagelosteosynthese erfolgte eine Überkorrektur (Palmarinklination 35°).

Aus diesen Ergebnissen lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:

1. Eine adäquate Wiederherstellung der Anatomie mit gutem radiologischem Ausheilungsergebnis durch den Targon DR® ist möglich.

2. Das Ergebnis ist mit der bewährten Plattenosteosynthese vergleichbar.

Dies wird durch die bisherigen veröffentlichten Untersuchungen zur intramedullären Nagelosteosynthese am distalen Radius weiter bekräftigt.

So zeigten Nishiwaki et al. in ihren vorgelegten Ergebnissen nach einem Jahr postoperativ eine mittlere Palmarinklination von 11° sowie eine Ulnavarianz von 1 mm [48].

Dremstrup et al. erreichten ebenso über den gleichen Beobachtungszeitraum eine Palmarinklination von $1,9^\circ$, die radiale Länge konnte operativ wiederhergestellt werden (11,1mm) [16]. Ähnliches berichtet Safi et al., in deren Arbeit die gewonnenen Resultate mit der winkelstabilen, palmaren Plattenosteosynthese verglichen wurden. Gleichmaßen wie in der vorliegenden Studie konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Operationsmethoden nachgewiesen werden [61].

Ein interessanter Aspekt ergibt sich aus den Studien von Ilyas et al., Chappuis et al. und Lerch et al., in denen im Mittel eine dorsale Abkipfung stattfand [8, 30, 38]. Vergleichend zur Plattenosteosynthese zeigte sich durch diese eine verbesserte Rekonstruktion der Palmarinklination. Im Falle von Chappuis war diese sogar signifikant besser.

Eine mögliche Erklärung bietet, wie bereits durch Lerch et al. vermutet, die unterschiedliche Operationstechnik. Während zur Einbringung der palmaren Plattenosteosynthese ein offenes Verfahren genutzt wird und somit eine direkte Reposition über das Implantat gestattet ist, kommt es im Falle der intramedullären Nagelosteosynthese zur geschlossenen Reposition über die Ligamentotaxis. Ein direktes Eingreifen ist nicht möglich.

Unterschiedlich zeigen sich die Ergebnisse hinsichtlich der Wiederherstellung der radialen Länge. Während Chappuis et al. wiederum Vorteile in der Plattenosteosynthese sieht, kommt es bei Lerch et al. zu einer verbesserten Korrektur der radialen Länge infolge der Marknagelosteosynthese. Eine statistische Signifikanz besteht nicht.

Beide Beobachtungen können anhand der vorliegenden Untersuchung nicht nachvollzogen werden. Untermauert werden die erzielten Ergebnisse durch eine 2016 veröffentlichte Metaanalyse, in die fünf prospektiv, randomisierte Vergleichsstudien eingeschlossen werden konnten. In keiner zeigte sich ein statistischer Unterschied im erzielten radiologischen Ergebnis [75].

Im Gegensatz zu einzelnen Erfahrungsberichten konnte trotz erfolgter frühfunktioneller Nachbehandlung kein sekundärer Repositionsverlust beobachtet werden [30, 72].

Wie bereits bei der Plattenosteosynthese nachgewiesen, kommt es auch nach intramedullärer Nagelosteosynthese über den Zeitraum der Nachuntersuchung zu keinem Korrekturverlust [16, 18, 38, 48].

Bereits 2008 wurden erste Ergebnisse des Targon DR[®] veröffentlicht, in denen eine Erhebung der radiologischen und funktionellen Ergebnisse direkt postoperativ sowie nach einem Intervall von sechs Wochen, acht Monaten und einem Jahr durchgeführt wurde [25]. Ein Vergleich mit diesen Ergebnissen war jedoch nicht Gegenstand der Betrachtung, so dass eine Verifizierung des Korrekturverlustes anhand dieser Arbeit nicht vorgenommen werden kann.

5.4 Funktionelle Ergebnisse

In beiden Gruppen zeigten sich zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung eine Wiedererlangung des Bewegungsumfanges sowie der Handkraft verglichen mit der Gegenseite von mehr als 90 % . Schmerz als subjektives Kriterium zur Beurteilung des Behandlungsergebnisses wurde negiert oder als minimal angegeben.

Anhand der aktuellen Datenlage zeigen sich vorwiegend gute bis exzellente Ausheilungsergebnisse mit hoher Patientenzufriedenheit [16, 25, 26, 30, 38, 61, 75].

Bemerkenswert hierbei ist eine signifikant schnellere Rekonvaleszenz in der frühen postoperativen Phase bis acht Wochen nach intramedullärer Marknagelosteosynthese [25, 61]. Im Gegensatz zur palmaren Plattenosteosynthese kann die intramedulläre Marknagelosteosynthese über einen minimal invasiven Zugang eingebracht werden, wodurch große Weichteiltraumata vermieden werden können. Hieraus resultiert ein geringeres postoperatives Schmerzniveau, was wiederum die frühfunktionelle Nachbehandlung befördert.

Dieser Effekt begünstigt jedoch nur die frühe postoperative Phase. Im weiteren Verlauf kommt es zu einer zunehmenden Konvergenz der Ergebnisse. Nach Ablauf eines Jahres besteht ein annähernd gleiches funktionelles Outcome.

Im Gegensatz hierzu blieb bei Nishiwaki et al. nach intramedullärem Verfahren eine signifikant eingeschränkte Beweglichkeit des Handgelenks im Vergleich zur Gegenseite nach Ablauf eines Jahres bestehen, die grobe Kraft war nicht betroffen [48]. Ähnliches wurde durch Chappuis beobachtet [8].

Diesbezüglich bleibt anzumerken, dass es sich in beiden Fällen um Studien mit kleinem Patientenkollektiv handelt, so dass schneller Abweichungen ins Gewicht fallen. In der vorliegenden Studie wird nahezu das Dreifache an Patienten betrachtet, wodurch die erhaltenen Daten auf ein sichereres statistisches Fundament gestellt werden können.

5.5 Scores

Auf Grundlage des guten Ausheilungsergebnisses, sowohl radiologisch als auch funktionell, kam es zu einer hohen Patientenzufriedenheit. Übereinstimmend hiermit zeigte sich bezogen auf den genutzten Castaing- sowie Gartland and Werley-Score in über 90 % exzellente bis gute Resultate in beiden Gruppen.

Bei Betrachtung der absoluten Werte zeigt sich bei Targon DR® in drei Fällen ein mäßiges bis ausreichendes Ergebnis. Dies betrifft sowohl den Castaing- als auch den Gartland and Werley-Score.

In detaillierter Aufgliederung zeigt sich in einem Fall radiologisch eine Überkorrektur sowohl der radialen Länge mit deutlicher Ulnavarianz (-5 mm) als auch der Palmarinklination (35°) einhergehend mit daraus resultierenden Bewegungseinschränkungen sowie Schmerzen. Entsprechend wurde im subjektiven Anteil beider Scores ein besonders hoher Punktwert erzielt.

Ähnlich verhielt es sich in zwei weiteren Fällen, in denen aufgrund bestehender Belastungsschmerzen das Ergebnis subjektiv schlecht bei insgesamt gutem radiologischem und klinischem Ergebnis eingeschätzt wurde. Eine statistische Signifikanz ließ sich daraus jedoch nicht ermitteln.

Ferner wird in beide Scores im funktionellen Anteil nicht mit der Gegenseite verglichen, so dass zum Teil Punktwerte bei vermeintlich schlechter Beweglichkeit vergeben werden mussten, obwohl im Vergleich ein annähernd gleiches Bewegungsausmaß bestand.

In der durchgeführten Literaturrecherche zeigt sich zur Beurteilung des Outcomes hinsichtlich der genutzten Scores ein buntes Mischbild, was eine Überprüfung unserer Ergebnisse anhand dieser erschwert. Allein drei Studien mit Gartland and Werley-Score konnten ausfindig gemacht werden.

Darin wird ebenfalls über ein gutes bis exzellentes Resultat berichtet, statistische Signifikanzen verglichen mit der volaren Plattenosteosynthese fanden sich nicht [16, 38, 81].

Breite Anwendung fand dagegen der DASH-Score, der eine rein subjektive Einschätzung darstellt. In diesen konnten ebenfalls nach Marknagelosteosynthese sehr gute Ergebnisse erzielt werden [8, 30, 38, 61, 75]. Statistische Unterschiede zugunsten des intramedullären Verfahrens fanden sich lediglich in der frühen postoperativen Phase bis sechs Wochen, hiernach konnte keine Signifikanz mehr nachgewiesen werden [61].

Zwar wird der DASH-Score allgemein nach distaler Radiusfraktur zum Outcome empfohlen, stellt jedoch eher das Mittel der Wahl zur Evaluation bei Patienten mit multiplen Funktionsstörungen der oberen Extremität dar, so dass sich in dieser Studie bewusst für zwei rein auf das distale Radioulnargelenk konzentrierende Scores entschieden wurde.

5.6 Komplikationen

Eines der Hauptargumente zur Einführung und Untersuchung der intramedullären Nagelosteosynthese am distalen Radius ist eine Verringerung der Komplikationsrate, die nach Plattenosteosynthese mit 8 - 39 % beschrieben wird [21]. Beachtlich ist der hohe Anteil Weichteil-assoziiierter Widrigkeiten, Arora et al. bezifferten diese sogar auf 57 % sämtlicher aufgetretener Komplikationen [4, 18, 21, 32, 57].

Dies korreliert mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit. Insgesamt ließ sich nach Plattenosteosynthese eine Komplikationsrate von 29 % berechnen, wovon allein 21 % Weichteil-assoziiert waren.

Dem gegenüber stehen 18 % Komplikationen nach intramedullärem Verfahren, was zunächst die aufgestellte These einer vermeintlichen Reduktion unterstützt. Allerdings entfällt auch hier der überwiegende Anteil auf Verletzungen der Weichteile, allein 12 % wurden durch Irritationen des R. superficialis n. radialis verursacht. Erklärbar wird dies unter Beachtung des Zugangswegs über das radiale Styloid, wodurch der superfizielle Nervenast einer besonderen Gefahr ausgesetzt wird [24].

Allen bisher zu diesem Thema veröffentlichten Studien ist diese Schwierigkeit unabhängig vom verwendeten Implantat gemein. Wie auch in unserem Fall handelt es sich fast ausschließlich um temporäre Neuropathien, die sich in der Regel innerhalb des Beobachtungszeitraums spontan zurückbildeten [26, 30, 38, 49, 72]. Lediglich Dremstrup et al. fanden nach 5 Jahren durch telefonische Befragung eine Persistenz der Ausfallserscheinungen in vier Fällen [16].

Schwerwiegende Weichteilverletzungen mit Operationspflicht ließen sich in der überwiegenden Mehrheit der dargelegten Studien nicht nachweisen. Einzig Chappuis et al. berichten über Verletzung des langen Daumenstreckers mit anschließendem Sehnentransfer [8].

Interessanterweise kam es in der vorliegenden Arbeit ebenfalls nach Plattenosteosynthese zu einer hohen Inzidenz von Reizungen des R. superficialis n. radialis, die anhand der vergleichend genutzten Literatur nicht nachvollzogen werden kann. Denkbar ist eine mögliche Irritation dessen infolge der temporären Fixation mittels K-Drähten, die zur temporären Repositionssicherung über den Processus styloideus radii eingebracht wurden.

Nicht zuletzt zu beachten ist eine mögliche Verletzung von Gelenkflächen, insbesondere des DRUG, aufgrund von Schraubendislokation oder –überlänge, wie einmalig in der vorliegenden Serie dokumentiert. Auch in der gängigen Literatur sind solche Fälle beschrieben, die zu einer Destruktion des Gelenks mit Osteolyse des Ulnakopfes führen und eine Implantatentfernung erforderlich machten [26, 30].

Zusammenfassend zeigte sich anhand der vorliegenden Untersuchung eine geringe Komplikationsrate mit vornehmlich geringfügigen, passageren Komplikationen. Infolge der komplett intramedullären Implantatlage scheint eine geringere Weichteiltraumatisierung

erreichbar. Schwerwiegende und damit einen sekundären Eingriff nach sich ziehende Komplikationen, wie Sehnenruptur und Karpaltunnelsyndrom, erscheinen vermeidbar und stellen einen wesentlichen Vorteil gegenüber der Plattenosteosynthese dar.

5.7 Limitationen und Ausblick

Ziel der vorliegenden Studie war es, das neue Verfahren der intramedullären Nagelosteosynthese diesem gegenüber zu stellen.

Die vorliegende Studie konnte aufzeigen, dass im Falle der extraartikulären distalen Radiusfraktur die intramedulläre Nagelosteosynthese gleichermaßen gute Therapieergebnisse liefert. Sowohl mit der winkelstabilen Plattenosteosynthese als auch mit dem intramedullären Marknagel ließen sich die Frakturen regelrecht reponieren.

Mit der intramedullären Nagelosteosynthese kann eine stabile Retention der Frakturfragmente erzielt werden und somit eine frühfunktionelle Nachbehandlung erfolgen, wodurch eine hohe Patientenzufriedenheit erreicht werden kann. Ein sekundärer Repositionsverlust tritt nicht auf.

Radiologisch kann anhand der Literatur eine leichtgradig verbesserte Wiederherstellung der Palmarinklination durch die Anwendung der palmaren Plattenosteosynthese dargestellt werden, die sich jedoch funktionell nicht auswirkt. Die Behandlungsergebnisse nach zwei Jahren sind annähernd gleich.

Darüber hinaus erscheint nach intramedullärer Marknagelosteosynthese eine frühere Wiederherstellung der Funktionalität bei weniger Schmerzen postoperativ zu resultieren, was sich in einer schnelleren Rekonvaleszenz in der frühen postoperativen Phase bemerkbar macht.

Infolge des minimalinvasiven Zugangs und kompletter intramedullärer Implantatlage wird eine geringere Weichteiltraumatisierung erreicht, wodurch schwerwiegende, zu Sekundäreingriffen führende Komplikationen vermieden werden können.

Anhand der dargelegten Ergebnisse ist die intramedulläre Marknagelosteosynthese am distalen Radius zu empfehlen und als echte Alternative zur Plattenosteosynthese zu bewerten.

Nachteilig anzusehen ist eine potentielle Gefährdung des R. superficialis n. radialis aufgrund des operativen Zugangsweges sowie eine mögliche Verletzung des DRUG infolge Schraubenpenetration.

Des Weiteren wurden in dieser Studie lediglich A-Frakturen betrachtet, womit eine Verallgemeinerung auf ein ausgedehnteres Indikationsspektrum nicht vorgenommen werden kann.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Seit den 1990er Jahren ist es zu einem Wandel im Therapiekonzept der distalen Radiusfraktur gekommen. Der häufigste Knochenbruch des Menschen wird nicht mehr als einfacher, konservativ zu behandelnder Bruch, sondern als komplexe, heterogene Verletzung verstanden [62].

In Zeiten des demografischen Wandels nimmt ihre Bedeutung als Osteoporose anzeigende Fraktur sowohl klinisch als auch sozioökonomisch stetig zu [3, 62, 77], wobei ein hoher Anspruch an das funktionelle Therapieergebnis bis ins hohe Alter gestellt wird [9].

Vergleichende Studien zwischen konservativer und operativer Therapie konnten hinsichtlich Funktionalität und subjektiver Einschätzung nach einem Jahr postoperativ keine signifikanten Unterschiede darlegen. Allerdings kam es zu einer schnelleren Rekonvaleszenz nach operativer Versorgung [2, 3, 4, 20], was als ausreichende Begründung für die Favorisierung der operativen gegenüber einer konservativen Therapie gelten mag. Zusätzlich werden bei konservativer Therapie in bis zu 30 % unzureichender Ausheilungsergebnisse berichtet [54]. Wesentlich geprägt wurde die generelle Änderung des Therapieregimes jedoch durch eine differenzierte Anwendung der zur Verfügung stehenden Klassifikationssysteme, Erkennung und Mitbehandlung von Begleiterkrankungen sowie dem stetig steigenden Patientenanspruch [9, 63, 66, 73].

Mittlerweile werden schätzungsweise 90 % der distalen Radiusfrakturen mit winkelstabiler, palmarer Plattenosteosynthese versorgt [44]. Neben einem breiten Indikationsspektrum ist dafür vor allem die Möglichkeit einer frühfunktionellen Nachbehandlung verantwortlich.

Infolge des breiten Indikationsspektrums und guten Ausheilungsergebnissen hat die winkelstabile, palmare Plattenosteosynthese eine Vormachtstellung eingenommen hat [4, 6, 9, 15, 26, 32, 33, 35, 37, 43, 52, 60, 66, 78]. Im Gegensatz zur konservativen Therapie zeigte sich nach operativer Therapie ein beachtlicher Anteil an Komplikationen, die vorwiegend Implantat-assoziiert waren und zu einer Weichteiltraumatisierung führten [4, 18, 21, 32, 57]. Darüber hinaus berichten Patel et al. in ihrer Übersichtsarbeit, dass seit der Popularität der volaren Plattenosteosynthese Komplikationen an nahezu allen das DRUG überziehenden Sehnen aufgetreten seien [51].

Um dem entgegen zu wirken, wurden intramedulläre Verfahren entwickelt, die bei gleicher Stabilität eine Minimierung der Weichteiltraumatisierung und somit zu insgesamt weniger Komplikationen führen sollen [6, 26, 61].

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde anhand eines prospektiv, randomisierten Patientenkollektivs die winkelstabile, volare Plattenosteosynthese einem intramedullären Marknagel (Targon DR®) gegenüber gestellt.

Dabei konnten zum Ende der Follow-up-Periode von zwei Jahren 121 Patienten evaluiert werden, wovon 55 mittels palmarer Plattenosteosynthese und 66 mittels Targon DR® versorgt worden waren. Es erfolgten neben einer funktionellen Untersuchung erneute Röntgenaufnahmen, um sowohl die Wiedererlangung der Anatomie als auch der damit eng verknüpfte Funktionalität zu überprüfen. Darüber hinaus wurde eine subjektive Einschätzung mittels der Scores nach Castaing sowie Gartland und Werley durchgeführt. Ebenfalls erfolgte eine Bewertung verbliebener Schmerzen anhand einer numerischen Analogskala.

Die vorliegende Arbeit konnte zeigen, dass eine Versorgung extra-artikulärer Frakturen mittels intramedullärer Marknagelosteosynthese vergleichbare, gute Langzeitergebnisse erzielt wie nach palmarer Plattenosteosynthese und somit eine ernsthafte Alternative in der Wahl des Implantats darstellt.

Statistisch signifikante Unterschiede fanden sich weder radiologisch noch funktionell.

Bei bestehender stabiler Osteosynthese war in beiden Gruppen eine frühfunktionelle Nachbehandlung ohne sekundären Repositionsverlust möglich.

Die Komplikationsrate nach Targon DR® war insgesamt niedrig und beinhaltete überwiegend leichte temporäre Symptome. Schwerwiegende Folgen wie Sehnenirritationen bis hin zu deren Ruptur scheinen durch das Implantat vermieden werden zu können. Allerdings zeigte sich eine hohe Gefährdung des R. superficialis n. radialis infolge des Zugangsweges sowie die Verletzung des DRUG infolge penetrierender Schrauben.

Limitierend wirkt sich die Begrenzung der Untersuchung auf extraartikuläre Frakturen aus, so dass eine Verallgemeinerung auf weitere Indikationen bei anspruchsvolleren Frakturen anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht erfolgen kann. Des Weiteren handelt es sich um eine Momentaufnahme der Resultate nach 2 Jahren.

Ferner wurde auch keine Auswertung anhand einzelner Altersgruppen durchgeführt, wodurch Aussagen zu möglichen altersbedingten Unterschieden nicht getroffen werden können.

7. THESEN

1. Im Rahmen des Paradigmenwechsel hin zur operativen Versorgung distaler Radiusfrakturen stellt die intramedulläre Marknagelosteosynthese (Targon DR[®]) eine Erweiterung im operativen Spektrum dar.
2. Eine Beobachtung intramedullärer Verfahren am distalen Radius im Vergleich zur palmaren Plattenosteosynthese über den Zeitraum von zwei Jahren ist bislang nicht erfolgt.
3. Die radiologischen und funktionellen Ergebnisse nach zwei Jahren zwischen der winkelstabilen palmaren Plattenosteosynthese und Targon DR[®] können einander gegenüber gestellt werden.
4. Die vorliegende Studie untersuchte ein großes Patientenkollektiv über zwei Jahre mit geringen Drop out.
5. Das Studiendesign sah die prospektive Erfassung der Therapieergebnisse zwei Jahre postoperativ an einem randomisierten Patientenkollektiv vor.
6. Der Targon DR[®] ermöglicht eine anatomiegerechte Frakturpositionierung mit sicherer Retention der Fragmente.
7. Nach operativer Versorgung der Radiusfraktur mit Hilfe des Targon DR[®] ist die sofortige frühfunktionelle Mobilisation unter Erhalt der erreichten Reposition möglich.
8. Radiologisch wird durch den Targon DR[®] die palmare Inklination und radiale Länge in anatomischen Verhältnissen wieder hergestellt.
9. Das funktionelle Ergebnis hinsichtlich Bewegungsausmaß und Handkraft wird durch Verwendung des Targon DR[®] in gleichem Umfang wieder erlangt wie nach palmarer Plattenosteosynthese.
10. Die guten funktionellen und radiologischen Ergebnisse gehen mit einer hohen Patientenzufriedenheit einher, die sich in den verwendeten Castaing- sowie Gartland und Werley-Score widerspiegeln.
11. Die Komplikationen nach palmarer Plattenosteosynthese unterscheiden sich signifikant von denen des Targon DR[®].
12. Weichteilige Komplikationen des intramedullären Nagels zeigen sich nach zwei Jahren regredient.
13. Komplikationsbedingte Folgeoperationen nach Targon DR[®] sind seltener notwendig.
14. Der Targon DR[®] stellt eine Alternative in der Versorgung instabiler distaler Radiusfrakturen zum Standardverfahren der winkelstabilen, palmaren Plattenosteosynthese dar.
15. Nach zwei Jahren ist im funktionellen sowie radiologischen Vergleich der Targon DR[®] der palmaren Plattenosteosynthese ebenbürtig.

8. LITERATURVERZEICHNIS

1. Alfram PA, Bauer GC (1962) Epidemiology of fractures of the forearm. A biomechanical investigation of bone strength. *J Bone Joint Surg Am* 44-A:105–114
2. Arora R, Gabl M, Gschwentner M, Deml C, Krappinger D, Lutz M (2009) A comparative study of clinical and radiologic outcomes of unstable colles type distal radius fractures in patients older than 70 years: nonoperative treatment versus volar locking plating. *J Orthop Trauma* 23(4):237–242
3. Arora R, Lutz M, Deml C, Krappinger D, Haug L, Gabl M (2011) 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* 93(23)
4. Arora R, Lutz M, Hennerbichler A, Krappinger D, Espen D, Gabl M (2007) Complications following internal fixation of unstable distal radius fracture with a palmar locking-plate. *J Orthop Trauma* 21(5):316–322
5. Blakeney W (2010) Stabilization and treatment of Colles' fractures in elderly patients. *CIA*:337. doi:10.2147/CIA.S10042
6. Brooks K, Capo JT, Warburton M, Tan V Internal fixation of distal radius fractures with novel intramedullary implants
7. Burkhart KJ, Nowak TE, Gradl G, Klitscher D, Mehling I, Mehler D, Mueller LP, Rommens PM (2010) Intramedullary nailing vs. palmar locked plating for unstable dorsally comminuted distal radius fractures: A biomechanical study. *Clinical Biomechanics* 25(8):771–775
8. Chappuis J, Bouté P, Putz P (2011) Dorsally displaced extra-articular distal radius fractures fixation: Dorsal IM nailing versus volar plating. A randomized controlled trial. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 97(5):471–478
9. Chen NC (2007) Management of Distal Radial Fractures. *J Bone Joint Surg Am* 89(9):2051
10. Castaing J (1964) Les fractures recentes de l'extremite inferieure du radius chez l'adulte. *Rev Cir Orthop* 50:581-696
11. Colles A (1970 (1814)) On the fracture of the carpal extremity of the radius (1814). Historical Paper. *Injury* 2(1):48–50
12. Cuddihy MT, Gabriel SE, Crowson CS, O'Fallon WM, Melton, L J 3rd (1999) Forearm fractures as predictors of subsequent osteoporotic fractures. *Osteoporos Int* 9(6):469–475
13. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung: Messblatt obere Extremität. http://www.dguv.de/medien/formtexte/aerzte/f_4222/f4222.doc
14. Diamantopoulos AP, Rohde G, Johnsrud I, Skoie IM, Hochberg M, Haugeberg G, Harvey N (2012) The Epidemiology of Low- and High-Energy Distal Radius Fracture in Middle-Aged and Elderly Men and Women in Southern Norway. *PLoS ONE* 7(8):e43367
15. Diaz-Garcia RJ, Chung KC (2012) The Evolution of Distal Radius Fracture Management - A Historical Treatise. *Hand Clin* 28(2):105–111
16. Dremstrup L, Skjærbæk MS, Olesen S, Høgh A, Hansen TB (2013) Good radiological and functional results after intramedullary nailing of distal radius fractures. *Journal of Plastic Surgery and Hand Surgery* 47(4):286–288

17. Dresing K, Peterson T, Schmit-Neuerburg KP (1994) Compartment pressure in the carpal tunnel in distal fractures of the radius. A prospective study. *Arch Orthop Trauma Surg* 113(5):285–289
18. Drobetz H, Kutscha-Lissberg E (2003) Osteosynthesis of distal radial fractures with a volar locking screw plate system. *Int Orthop* 27(1):1–6
19. Egol K, Walsh M, Tejwani N, McLaurin T, Wynn C, Paksima N (2008) Bridging external fixation and supplementary Kirschner-wire fixation versus volar locked plating for unstable fractures of the distal radius: A RANDOMISED, PROSPECTIVE TRIAL. *Journal of Bone and Joint Surgery - British Volume* 90-B(9):1214–1221.
20. Egol KA, Walsh M, Romo-Cardoso S, Dorsky S, Paksima N (2010) Distal radial fractures in the elderly: operative compared with nonoperative treatment. *J Bone Joint Surg Am* 92(9):1851–1857. doi:10.2106/JBJS.I.00968
21. Esenwein P, Sonderegger J, Gruenert J, Ellenrieder B, Tawfik J, Jakubietz M (2013) Complications following palmar plate fixation of distal radius fractures: a review of 665 cases. *Arch Orthop Trauma Surg* 133(8):1155–1162
22. Fuller D, Barrett M, Marburger R, Hirsch R (2006) Carpal canal pressures after volar plating of distal radius fractures. *The Journal of Hand Surgery: Journal of the British Society for Surgery of the Hand* 31(2):236–239
23. Gartland JJ, Werley CW (1951) Evaluation of healed Colles' fractures. *J Bone Joint Surg Am* 33-A(4):895–907
24. Gradl G, Mielsch N, Wendt M, Falk S, Mittlmeier T, Gierer P, Gradl G (2014) Intramedullary nail versus volar plate fixation of extra-articular distal radius fractures. Two year results of a prospective randomized trial. *Injury* 45:S3
25. Gradl G, Wendt M, Gierer P, Beck M, Mittlmeier T (2008) Intramedulläre Versorgung der distalen Radiusfraktur. *Trauma Berufskrankh* 10(S2):241–244
26. Gradl G, Wendt M, Gierer P, Beck M, Mittlmeier T (2009) Die Versorgung distaler Radiusfrakturen mit dem Targon DR®-Nagel. *Orthop Traumatol* 21(4-5):472–483. doi:10.1007/s00064-009-1911-4
27. Graff S, Jupiter J (1994) Fracture of the distal radius: classification of treatment and indications for external fixation. *Injury* 25 Suppl 4:S-D14-25
28. Graff S, Jupiter J (1994) Fracture of the distal radius: Classification of treatment and indications for external fixation. *Injury* 25:SD14–SD25. doi:10.1016/0020-1383(95)90125-6
29. Handoll, H H G, Madhok R (2003) Surgical interventions for treating distal radial fractures in adults. *Cochrane Database Syst Rev* (3):CD003209. doi:10.1002/14651858.CD003209
30. Ilyas AM, Thoder JJ (2008) Intramedullary Fixation of Displaced Distal Radius Fractures: A Preliminary Report. *The Journal of Hand Surgery* 33(10):1706–1715. doi:10.1016/j.jhsa.2008.07.004
31. Jupiter (1997) Complex Articular Fractures of the Distal Radius: Classification and Management. *J Am Acad Orthop Surg* 5(3):119–129
32. Jupiter JB (2009) Operative Management of Distal Radial Fractures with 2.4-Millimeter Locking PlatesA Multicenter Prospective Case Series. *J Bone Joint Surg Am* 91(1):55. doi:10.2106/JBJS.G.01498

33. Jupiter JB, Marent-Huber M (2010) operative Management of distal radial fractures with 2.4-Millimeter locking plates: A multicenter prospective case series. surgical Technique. J Bone Joint Surg Am 92(Supplement_1_Part_1). doi:10.2106/JBJS.I.01340
34. Karantana A, Downing ND, Forward DP, Hatton M, Taylor AM, Scammell BE, Moran CG, Davis TR (2013) Surgical Treatment of Distal Radial Fractures with a Volar Locking Plate Versus Conventional Percutaneous Methods. J Bone Joint Surg Am 95(19):1737. doi:10.2106/JBJS.L.00232
35. Koval KJ, Harrast JJ, Anglen JO, Weinstein JN (2008) Fractures of the distal part of the radius. The evolution of practice over time. Where's the evidence? J Bone Joint Surg Am 90(9):1855–1861. doi:10.2106/JBJS.G.01569
36. Kreder HJ (2005) Indirect reduction and percutaneous fixation versus open reduction and internal fixation for displaced intra-articular fractures of the distal radius: A RANDOMISED, CONTROLLED TRIAL. Journal of Bone and Joint Surgery - British Volume 87-B(6):829–836
37. Krimmer H (2013) Distale Radiusfraktur - Implantatauswahl. OP-JOURNAL 28(03):244–245
38. Lerch S, Sextro H, Wilken F, Wittenberg C (2009) Klinisch-radiologische Ergebnisse nach distaler Radiusfraktur: neues intramedulläres Osteosynthesystem versus volare winkelstabile Plattenosteosynthese. Z Orthop Unfall 147(05):547–552
39. Leung F (2008) Comparison of External and Percutaneous Pin Fixation with Plate Fixation for Intra-articular Distal Radial Fractures A Randomized Study. J Bone Joint Surg Am 90(1):16
40. Leutert G (1995) Systematische Anatomie des Menschen. Mit 45 Tabellen, 5. Aufl. Ullstein Mosby, Berlin [u.a.]
41. Lofthus CM, Frihagen F, Meyer HE, Nordsletten L, Melhuus K, Falch JA (2008) Epidemiology of distal forearm fractures in Oslo, Norway. Osteoporos Int 19(6):781–786
42. Lögters T, Windolf J (2013) Komplikationen nach distaler Radiusfraktur. OP-JOURNAL 28(03):262–267
43. Meiners J, Jürgens C, Mägerlein S, Wallstabe S, Kienast B, Faschingbauer M (2012) Osteoporotische Frakturen des distalen Radius. Chirurg 83(10):892–896
44. Mentzel M, Hoss H, Ebinger T, Kinzl L, Wachter NJ (2001) Problematik der in Fehlstellung ausgeheilten distalen Radiusfraktur. Der Unfallchirurg 104(3):210–214
45. Meyer C, Chang J, Stern P, Osterman AL, Abzug JM (2013) Complications of distal radial and scaphoid fracture treatment. J Bone Joint Surg Am 95(16):1517–1526
46. Müller M, Dragowsky K. Traumascores. www.traumascores.com
47. Müller ME, Koch P, Nazarian S, Schatzker J (Hrsg) (1990) The Comprehensive Classification of Fractures of Long Bones. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg
48. Nishiwaki M, Tazaki K, Shimizu H, Ilyas AM (2011) Prospective Study of Distal Radial Fractures Treated with an Intramedullary Nail. J Bone Joint Surg Am 93(15)
49. O'Neill TW, Cooper C, Finn JD, Lunt M, Purdie D, Reid DM, Rowe R, Woolf AD, Wallace WA (2001) Incidence of distal forearm fracture in British Men and Women. Osteoporos Int 12(7):555–558

50. Owen RA, Melton LJ, Johnson KA, Ilstrup DM, Riggs BL (1982) Incidence of Colles' fracture in a North American Community. *Am J Public Health* 72(6):605–607
51. Patel VP, Paksima N (2010) Complications of distal radius fracture fixation. *Bull NYU Hosp Jt Dis* 68(2):112–118
52. Pechlaner S (2003) Distal Radius Fractures: Choice of Treatment Procedures. *Eur Surg* 35(4):174–179. doi:10.1007/s10353-003-0002-2
53. Peltier LF (1984) Fractures of the distal end of the radius. An historical account. *Clin Orthop Relat Res* (187):18–22
54. Petračić B (1998) Indikation zur Behandlung der distalen Radiusfrakturen bei Erwachsenen und Beurteilung des primären Behandlungsergebnisses. *Trauma Berufskrankh* 1998(1):33–39
55. Prommersberger K, Schoonhoven J (2007) Korrekturingriffe nach distaler Radiusfraktur. *Unfallchirurg* 110(7):617–630. doi:10.1007/s00113-007-1293-8
56. Putter CE de, Selles RW, Polinder S, Hartholt KA, Looman CW, Panneman M, Verhaar J, Hovius S, van Beeck EF (2013) Epidemiology and health-care utilisation of wrist fractures in older adults in The Netherlands, 1997–2009. *Injury* 44(4):421–426
57. Rampoldi M, Marsico S (2007) Complications of volar plating of distal radius fractures. *Acta Orthop Belg* 73(6):714–719
58. Rikli DA, Regazzoni P (1996) Fractures of the distal end of the radius treated by internal fixation and early function. A preliminary report of 20 cases. *J Bone Joint Surg Br* 78(4):588–592
59. Rikli DA, Regazzoni P, Babst R (2003) Management of complex distal radius fractures. *Zentralbl Chir* 128(12):1008–1013. doi:10.1055/s-2003-44838
60. Rozental TD (2009) Functional Outcomes for Unstable Distal Radial Fractures Treated with Open Reduction and Internal Fixation or Closed Reduction and Percutaneous Fixation A Prospective Randomized Trial. *J Bone Joint Surg Am* 91(8):1837
61. Safi A, Hart R, Teknedzjan B, Kozak T (2013) Treatment of extra-articular and simple articular distal radial fractures with intramedullary nail versus volar locking plate. *Journal of Hand Surgery (European Volume)* 38(7):774–779
62. Schädel-Höpfner M, Diener M, Windolf J (2008) Gesicherte Literaturergebnisse zur Therapie distaler Radiusfrakturen. *Trauma Berufskrankh* 10(S2):230–235.
63. Schneiders W, Rammelt S, Zwipp H (2013) Die distale Radiusfraktur Konservative Behandlung: Indikation und Durchführung. *OP-JOURNAL* 28(03):240–242
64. Schubert M, Dávid A (2013) Diagnostik und Klassifikation der distalen Radiusfraktur - Die Grundlage der Behandlungsstrategie. *OP-JOURNAL* 28(03):228–233
65. Schünke M, Schulte E, Schumacher U (2005) Prometheus Lernatlas der Anatomie. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
66. Simic PM, Weiland AJ (2003) Fractures of the distal aspect of the radius: changes in treatment over the past two decades. *Instr Course Lect* 52:185–195
67. Sommer C, Birklein F (2014) Das komplexe regionale Schmerzsyndrom. *Fortschr Neurol Psychiatr* 82(02):104–115
68. Soong M (2011) Volar Locking Plate Implant Prominence and Flexor Tendon Rupture. *J Bone Joint Surg Am* 93(4):328

69. Stewart HD, Innes AR, Burke FD (1985) The hand complications of Colles' fractures. *J Hand Surg Br* 10(1):103–106
70. Surke C, Raschke M, Langer M (2013) Distale Radiusfraktur: Versorgungsstrategien beim älteren Menschen. *OP-JOURNAL* 28(03):256–260
71. Szermutzky M, Frank J, Marzi I (2013) Anatomie des distalen Radius. *OP-JOURNAL* 28(03):224–227
72. Tan V, Capo J, Warburton M (2005) Distal radius fracture fixation with an intramedullary nail. *Tech Hand Up Extrem Surg* 9(4):195–201
73. Uzdil T, Winker K (2007) Distale Radiusfrakturen. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date* 2(1):1–20
74. Waldeyer A, Keyserlingk Dv (1993) *Anatomie des Menschen*, 16. Aufl. de Gruyter, Berlin
75. Wang J, Zhang L, Ma J, Yang Y, Jia H, Ma X (2016) Is intramedullary nailing better than the use of volar locking plates for fractures of the distal radius? A meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Hand Surgery (European)* 41(5):543–552
76. Wichelhaus A, Gradl G, Mittlmeier T (2012) Die distale Radiusfraktur. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date* 7(04):251–271
77. Wiemer P, Köster G, Felderhoff J, Weber U (1999) Fractures of the distal radius. Changing therapeutic strategies. *Orthopäde* 28(10):846–852
78. Wilcke, Maria K T, Hammarberg H, Adolphson PY (2013) Epidemiology and changed surgical treatment methods for fractures of the distal radius. *Acta Orthop* 84(3):292–296
79. Windolf J, Hakimi M, Schädel-Höpfner M (2008) Ergebnisse der palmaren winkelstabilen Plattenosteosynthese am distalen Radius. *Trauma Berufskrankh* 10(S2):236–240
80. Winker K, Rikli D (2013) Die distale Radiusfraktur: Behandlungsstrategie beim Erwachsenen. *OP-JOURNAL* 28(03):252–255
81. Witzel K, Raschka C, Schiffhauer S, Koch HJ (2001) Epidemiology and chronoepidemiology of distal radius fractures. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 139(3):252–255
82. Zehir S, Calbiyik M, Zehir R, Ipek D (2014) Intramedullary repair device against volar plating in the reconstruction of extra-articular and simple articular distal radius fractures; a randomized pilot study. *Int Orthop*. 38(8):1655-60

9. ANHANG

9.1 Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Instabilitätskriterien nach Jupiter

Tab. 2 Klassifikation des Weichteilschadens nach Tscherne und Oestern

Tab. 3 Überblick demografischer Daten

Tab. 4 OP-Dauer, Durchleuchtungs- und Hospitalisierungszeiten

Tab. 5 postoperatives Bewegungsausmaß und Handkraft

Tab. 6 Schmerz und Scores

Tab. 7 Darstellung der Score-Ergebnisse

Tab. 8 Komplikationen insgesamt

9.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Bewegungsausmaß des Handgelenks

Abb.2: Inzidenz distaler Radiusfrakturen in Stockholm, Schweden, 2004-2010

Abb. 3: Drei-Säulen-Modell nach Rikli und Regazzoni (1996)

Abb. 4: Bajonettstellung bei distaler Radiusfraktur

Abb. 5: AO-Klassifikation nach Müller zur Beurteilung von Art und Umfang der Gelenkbeteiligung am distalen Unterarm

Abb. 6: Gipsanlage im Mädchenfänger

Abb. 7: Watershed Line

Abb. 8a und b: dislozierte extra-artikuläre distale Radiusfraktur, (a) präoperative Röntgenaufnahme, (b) zwei Jahre postoperativ nach palmarer, winkelstabiler Plattenosteosynthese

Abb. 9a und b: dislozierte extra-artikuläre distale Radiusfraktur, (a) präoperative Röntgenaufnahme, (b) zwei Jahre postoperativ nach intramedullärer Marknagelosteosynthese

Abb. 10a und b: Schematische Darstellung zur Bestimmung der radialen Länge am distalen Radius und der Ulnavarianz

Abb. 11: Bestimmung der Palmarinklination am distalen Radius

Abb. 12: Ulnavarianz

Abb. 13: Palmarinklination

Abb.14: funktionelles Bewegungsausmaß

Abb. 15: Komplikationen nach palmarer Plattenosteosynthese

Abb. 16: Komplikationen nach Targon DR®

9.3 Score nach Castaing

Castaing Score		
Subjektive Angaben		
Subjektive Angaben <input type="checkbox"/> Perfekt: keine Beschwerden (0)	<input type="checkbox"/> Befriedigend: alle Kraftgriffe möglich, selten Beschwerden (1) <input checked="" type="checkbox"/> Genügend: alle Kraftgriffe möglich, oft Beschwerden bei Belastung (2)	<input type="checkbox"/> Ordentlich: gewisse Kraftgriffe unmöglich (4) 3 weitere Items in der Detailansicht.
Funktion		
Dorsalflexion <input type="checkbox"/> von 45-25° (1) <input type="checkbox"/> von 25-15° (2) <input type="checkbox"/> von 15-10° (3) <input type="checkbox"/> normal (0)	Palmarflexion <input type="checkbox"/> normal (0) <input type="checkbox"/> weniger als 45° (1) Ulnarabduktion <input type="checkbox"/> normal (0) <input type="checkbox"/> von 30 -15° (1) <input type="checkbox"/> von 15-0° (2)	Radialabduktion <input type="checkbox"/> normal (0) <input type="checkbox"/> eingeschränkt (1) Pronation-Supination <input type="checkbox"/> normal (0) <input type="checkbox"/> zwischen 130-90° (1) <input type="checkbox"/> unter 90° (2)
Röntgenbild		
Dorsalkippung <input type="checkbox"/> normal (0) <input type="checkbox"/> von 5 -10° (1) <input type="checkbox"/> von 10-20° (2) <input type="checkbox"/> über 20° (3)	Radialkippung <input type="checkbox"/> normal (0) <input type="checkbox"/> von 10-20° (1) <input type="checkbox"/> über 20° (2) Arthrosezeichen <input type="checkbox"/> normal (0) <input type="checkbox"/> + (1) <input type="checkbox"/> ++ (2)	Ulnarvorschub <input type="checkbox"/> normal (0) <input type="checkbox"/> von 2-4 mm (1) <input type="checkbox"/> über 4 mm (2)
Resultat		
Gesamtpunkte <hr/>	Resultat <input type="checkbox"/> perfekt (perfekt) <input type="checkbox"/> gut (gut) <input type="checkbox"/> schlecht (schlecht)	<input type="checkbox"/> sehr schlecht (sehr schlecht) <input type="checkbox"/> genügend (genügend) <input type="checkbox"/> mäßig (mäßig)

9.4 Gartland & Werley-Score

Results	Point
Residual deformity (range, 0 to 3 points)	
Prominent ulnar styloid	1
Residual dorsal tilt	2
Radial deviation of hand	2 or 3
Subjective evaluation (range, 0 to 6 points)	
Excellent: no pain, disability, or limitation of motion	0
Good: occasional pain, slight limitation of motion, and no disability	2
Fair: occasional pain, some limitation of motion, feeling of weakness in wrist, no particular disability if careful, and activities slightly restricted	4
Poor: pain, limitation of motion, disability, and activities more or less markedly restricted	6
Objective evaluation* (range, 0 to 5 points)	
Loss of extension	5
Loss of ulnar deviation	3
Loss of supination	2
Loss of flexion	1
Loss of radial deviation	1
Loss of circumduction	1
Pain in distal radio-ulnar joint	1
Grip strength: 60% or less than on the opposite side ^f	1
Loss of pronation ^g	2
Complications (range, 0 to 5 points)	
Arthritic change	
Minimum	1
Minimum with pain	3
Moderate	2
Moderate with pain	4
Severe	3
Severe with pain	5
Nerve complications (median)	1–3
Poor finger function due to cast	1 or 2
Final results (ranges of points)	
Excellent	0–2
Good	3–8
Fair	9–20
Poor	≥ 21

10. EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit von mir selbstständig und nur unter der Benutzung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel erstellt wurde. Die den benutzten Werken entnommenen Stellen sind als solche kenntlich gemacht worden.

Ich versichere, dass diese Arbeit weder vorher noch gleichzeitig, weder im Inland noch im Ausland, in gleicher oder ähnlicher Form an einer anderen als der Medizinischen Fakultät der Universität Rostock zur Eröffnung eines Promotionsverfahrens eingereicht wurde.

Rostock, 07.04.2021

11. CURRICULUM VITAE

Name: Nadja Mielsch

Geburtsjahr/-ort: 1984 in Berlin

Ausbildung:

07/2001 – 07/2004 Immanuel-Kant-Oberschule Berlin

10/2005 – 11/2011 Studium der Humanmedizin an der Universität Rostock

Berufliche Tätigkeit:

01/2012 – 12/2015 Arzt in Weiterbildung

Abteilung für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie
Universitätsklinikum Rostock

Seit 01/2016

Arzt in Weiterbildung
Abteilung für Anästhesie und Intensivmedizin
Südstadtlinikum Rostock

Zusatzqualifikation:

07/2017 Zusatzbezeichnung Notfallmedizin

Veröffentlichungen:

Mielsch N. (2013) Does timing to operative debridement influence the infection rate? Orthop Unfall. Dec;151(6):563.

Mielsch N. (2015) Ein Wert für alle? Z Orthop Unfall. Dec;153(6):582.

Wichelhaus A, Wendt M, Mielsch N, Gradl G, Mittlmeier T. (2015) Manifestation of Dupuytren nodules following fracture of the distal radius. Handchir Mikrochir Plast Chir. Feb;47(1):38-43

Gradl G, Falk S, Mittlmeier T, Wendt M, Mielsch N, Gradl G., (2016) Fixation of intra-articular fractures of the distal radius using intramedullary nailing: a randomized trial versus palmar locking plates. Injury. 2016 Dec;47 Suppl 7:S25-S30

Gradl G, Mielsch N, Wendt M, Falk S, Mittlmeier T, Gierer P, Gradl G. (2014) Intramedullary nail versus volar plate fixation of extra-articular distal radius fractures. Two year results of a prospective randomized trial. *Injury* Jan;45 Suppl 1:S3-8

Mielsch N. (2012) Osteoporotic distal radius fractures - do bisphosphonates help? *Z Orthop Unfall*. Dec;150(6):566.

12. DANKSAGUNG

Ich möchte mich bei Herrn Prof. Dr. med. G. Gradl bedanken, für die Überlassung des Themas sowie die Unterstützung im Entstehungsprozess. Ebenso danke ich Herrn Prof. Dr. med. Th. Mittlmeier für seinen Rückhalt um diese Arbeit zu beenden.

Darüber hinaus gilt mein Dank Enni und Lumi, durch die ich erst die Zeit zum Schreiben fand. Gleichmaßen wie Carsten Bade, der mich in die Geheimnisse der Statistik einwies.

Ganz besonders bedanken möchte ich mich bei Frau Dr. med. A. Wichelhaus für ihr besonderes Interesse am Abschluss dieser Arbeit und kilometerlange Geduld.