

Justus-Liebig-Universität Gießen

Fachbereich Medizin

Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie

des Universitätsklinikums Gießen GmbH

Alterskorrelierte Gelenkerkrankungen -

Funktionelles Outcome und Zufriedenheit nach operativer Versorgung

und Rehabilitation bei handchirurgischen Eingriffen

Habilitationsschrift

zur Erlangung der Lehrbefähigung für das Fach Orthopädie und Unfallchirurgie im

Fachbereich Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von

Dr. med. Christoph Biehl

Gießen 2022

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	<i>Entzündliche Veränderungen am Gelenk am Beispiel der rheumatoiden Arthritis</i>	<i>2</i>
1.2	<i>Osteoimmunologie und Inflammation</i>	<i>5</i>
1.2.1	<i>Folgen der Gelenkerkrankungen auf die Funktionalität und Gebrauchsfähigkeit der Hand</i>	<i>10</i>
1.2.2	<i>Therapieprinzipien für den Erhalt der Funktionsfähigkeit an Gelenken der Hand.....</i>	<i>12</i>
1.2.3	<i>Medikamentöse Prinzipien der Therapie</i>	<i>15</i>
1.2.4	<i>Konservative, nicht medikamentöse und interventionelle Prinzipien</i>	<i>17</i>
1.2.5	<i>Operative Prinzipien bei Gelenkbeteiligungen an der Hand</i>	<i>18</i>
1.2.6	<i>Rehabilitation und Tertiärprophylaxe bei Gelenkpathologien an der Hand</i>	<i>19</i>
1.3	<i>Beurteilung des Therapieerfolges</i>	<i>20</i>
1.3.1	<i>Internationale Scoring Systeme</i>	<i>21</i>
1.3.2	<i>Patientenzufriedenheit und Versorgungsforschung</i>	<i>22</i>
2	Frage und Zielsetzung der Arbeit	24
2.1	<i>Zielfragen der Teilprojekte</i>	<i>25</i>
2.2	<i>Zielaussagen der Teilprojekte.....</i>	<i>25</i>
3	Originalarbeiten zum Thema	27
3.1	<i>Radiokarpale Fusion und Resektions-Interpositions-Arthroplastik der Mittelhand: Langzeitergebnisse bei stark zerstörten rheumatischen Handgelenken</i>	<i>27</i>
3.2	<i>Langzeitergebnisse der modularen physiologischen Handgelenksprothese (MPW®) bei Patienten mit entzündlichen Erkrankungen.....</i>	<i>37</i>
3.3	<i>Periprothetische Gelenkinfektion nach Fingergelenks-Arthroplastik</i>	<i>50</i>

3.4	<i>Strecksehnenrupturen bei rheumatischen Handgelenken</i>	57
3.5	<i>Versorgung von Hand- und Fingerfrakturen mit dem Stryker Handplattensystem</i>	64
4	<i>Ergebnisse und Diskussion</i>	74
4.1	<i>Limitationen der Arbeit</i>	81
4.2	<i>Entwicklung und Ausblick</i>	81
5	<i>Zusammenfassung</i>	84
6	<i>Summary</i>	85
7	<i>Verzeichnis der zur kumulativen Habilitation zusammengefassten Publikationen</i> ...	86
8	<i>Literaturverzeichnis</i>	88
9	<i>Publikationsverzeichnis</i>	101
10	<i>Abbildungsverzeichnis</i>	106
11	<i>Abkürzungsverzeichnis</i>	108
12	<i>Danksagung</i>	111

1 Einleitung

Der Begriff Erkrankung impliziert einen zumeist länger andauernden Prozess eines lebenden Körpers, der diesen wahrnehmbar negativ beeinflusst. Die Wahrscheinlichkeit von Erkrankungen und Schädigungen der Gelenke an der Hand und den Fingern steigt auch ohne direktes Trauma mit zunehmendem Lebensalter an. Sie korreliert, ist aber nicht kausal altersabhängig und von verschiedenen Faktoren beeinflussbar. Insbesondere inflammatorische Erkrankungen, allen voran die Rheumatoide Arthritis (RA), führen im artikulären und periartikulären Gewebe zu Veränderungen, die eine progrediente und persistierende Gewebeschädigung bewirken. Als Folge resultieren Einschränkungen der Gebrauchsfähigkeit der oberen Extremität, sowie Schmerzen. Die orthopädisch-rheumatologische Therapie richtete sich jahrzehntelang primär an der Situation der destruierten Gelenke und Sehnen aus. Die Mechanismen der Zell-Zell-Interaktion und intrazellulären Signaltransduktion, die in der modernen internistisch-experimentellen Rheumatologie vorherrschen, spielten keine oder nur eine untergeordnete Rolle. Folglich lag der Schwerpunkt bei Diagnostik und Therapie in der Beseitigung und Eindämmung struktureller Schäden und fragte nur ansatzweise nach der Möglichkeit der *restitutio ad integrum*. Mit Einführung der Biologika in die Therapie der entzündlichen Erkrankungen, der Überarbeitung der American College of Rheumatology (ACR)-Kriterien durch die European League Against Rheumatism (EULAR) mit dem Ziel einer frühen Diagnosesicherung und dem Therapiebeginn wurden auch die bis dato etablierten operativen Verfahren teilweise an die sich ändernden Situationen angepasst [1, 2]. Meist gilt bis heute hierbei die Sicht der Therapeutin / des Therapeuten. Die patientinnen/-enzentrierte Sicht findet häufig erst nach der Operation und auch erst ansatzweise eine Stimme. Andererseits stellt die Zufriedenheit von Patient*innen ein Ersatzindikator für die Qualität der Gesundheitsversorgung dar [3].

Die vorliegende kumulative Habilitationsschrift stellt in den folgenden Kapiteln den aktuellen Wissensstand entzündlich bedingter Veränderungen an den Gelenken am Beispiel der rheumatoiden Arthritis vor und beleuchtet die sich ergebenden Folgen für die Funktionalität der Hand und die

generellen patientinnen/-enbezogenen Auswirkungen. Die Alterung der Gesellschaft und der damit verbundene stetige Anstieg altersbedingter Krankheiten zeigt in Europa und besonders in Deutschland deutliche sozioökonomische Auswirkungen, die sich insbesondere auf das Gesundheitssystem niederschlagen. Obwohl die Rolle der Patientinnen/Patienten in diesem Zusammenhang zunimmt und ein unbestreitbarer Einflussfaktor ist, wurde ihr bei der Bewertung der Behandlung bisher nur wenig Beachtung geschenkt [4].

Aus dem Spannungsfeld zwischen dem funktionellen Outcome sowie der Erwartungshaltung und Zufriedenheit der Patient*innen wird die Fragestellung der Habilitationsschrift entwickelt.

1.1 Entzündliche Veränderungen am Gelenk am Beispiel der rheumatoiden

Arthritis

Erkrankungen aus dem rheumatischen Formenkreis zeichnen sich durch eine chronisch-entzündliche Störung des Immunsystems aus [5]. Hauptvertreter ist die Rheumatoide Arthritis mit ihrem polyartikulären Befall, der symmetrischen Verteilung und Chronizität. Meist manifestiert sie sich mit einem schleichenden Beginn in über 30 % als erstes mit einer synovialen Schwellung an den kleinen Finger-, Hand- und/oder Zehengelenken [6]. Das periartikuläre Gewebe ist regelmäßig in die inflammatorischen Prozesse einbezogen, insbesondere Sehnen und Sehnenscheiden in ca. 50–65 % der Fälle [7, 8]. Mit Fortschreiten der Erkrankung sind die Gelenke der Hand in bis zu 90 % betroffen. Einschränkungen bei Kraft und Beweglichkeit bis hin zum Verlust der Gelenkfunktion werden im Alltag häufig als belastender erlebt, als auftretende Einschränkungen der unteren Extremitäten.

Lange Zeit wurden die biomechanischen Merkmale der RA mit einer Synovialitis, Schwellung und chronischer Überlastung der artikulären Kapsel-Band-Strukturen verknüpft. Bereits 2012 und 2018 konnten verschiedene Arbeitsgruppen in ihren Forschungsergebnissen zeigen, dass auch

periartikuläre Zellen und Strukturen an der Erkrankung beteiligt sind [9, 10], die bisher nicht primär im Fokus der Chirurgen standen. Versierte Handchirurginnen/Handchirurgen und orthopädische Rheumatologinnen/Rheumatologen schonten diese Strukturen bei einer erforderlichen Operation *per se* und minimierten so das Gewebetrauma [11-13].

Eine Schlüsselrolle für die entzündlich-destruktiven Prozesse an den Gelenken kommt den Fibroblasten und Fibroblasten-ähnlichen Synovialzellen (FLS) und ihrer Interaktion mit Zellen des Immunsystems, wie den neutrophilen Granulozyten und T-Zellen zu [14]. In der Frühphase der inflammatorischen Erkrankung ist die Zahl von Neutrophilen nachweislich erhöht. Neben den synovialen Fibroblasten halten generalisiert vorhandene Autoantikörper, wie z.B. Anti-Citrullinierte-Protein-Antikörper (ACPA) und Zytokine die Produktion von Entzündungsmediatoren aufrecht und führen zu oxidativem Stress [15]. ACPAs haben sich in kontrollierten Studien als gute Prädiktoren für eine schnell fortschreitende Gelenkzerstörung bei erosiver Arthritis erwiesen [16-18]. Diese können mit einer Spezifität von 97% für RA im Blut bis zu 10 Jahre vor Manifestation der RA nachgewiesen werden [16]. Die Heterogenität der Genexpression bei inflammatorischen Erkrankungen führt auch zu veränderten Zelllinien, wie der FLS oder Mastzellen, die die entzündlich-destruktiven Prozesse der Gelenkschädigung aufrechterhalten [19, 20]. Bei Kontakt mit als fremd angesehenen Zellen können diese unter anderem reaktive Sauerstoff-enthaltende Moleküle (reactive oxygen species; ROS) mittels eines Membran-gebundenen NADPH-Oxidase-Enzym-Komplexes produzieren [21]. Die ROS wiederum setzen einen intrazellulären Umbauprozess bei den neutrophilen Granulozyten in Gang, an dessen Ende die Ausschüttung von netzartigen Membranstrukturen, sog. Neutrophil Extracellular Traps (NETs) steht [14]. Gleichzeitig wird über eine intrazelluläre Aktivierung von Peptidyl Arginin Deiminase-4 (PAD4) die Citrullinierung von Arginin gefördert und die ACPAs in den NETs gespeichert [22-24]. Im Vergleich zu Patienten mit Osteoarthritis ist der oxidative Stress im Gewebe von Rheumatikern signifikant höher [25, 26].

Bei makroskopischen Hinweisen auf eine mögliche entzündliche Grunderkrankung sollte neben einer serologischen Antikörperbestimmung eine histopathologische Aufarbeitung des

Synovialgewebes erfolgen, um eine sich entwickelnde RA frühzeitig zu erkennen [27-29]. Krenn et al. konnten bei rund 5 % der als makroskopisch arthrotisch angesehenen Geweben histopathologisch eine rheumatische Erkrankung nachweisen [30]. ACPAs aktivieren FLS, die wiederum T-Zellen für NET-citrullinierte Peptide präsentieren und zu Autoimmunität führen [31]. Im Gelenk führt die exzessive Proliferation der FLS zu hyperplastischem Pannus und erhöhter Sekretion von chondrotoxischen Mediatoren wie Matrixmetalloproteinasen (MMP) (Abbildung 1).

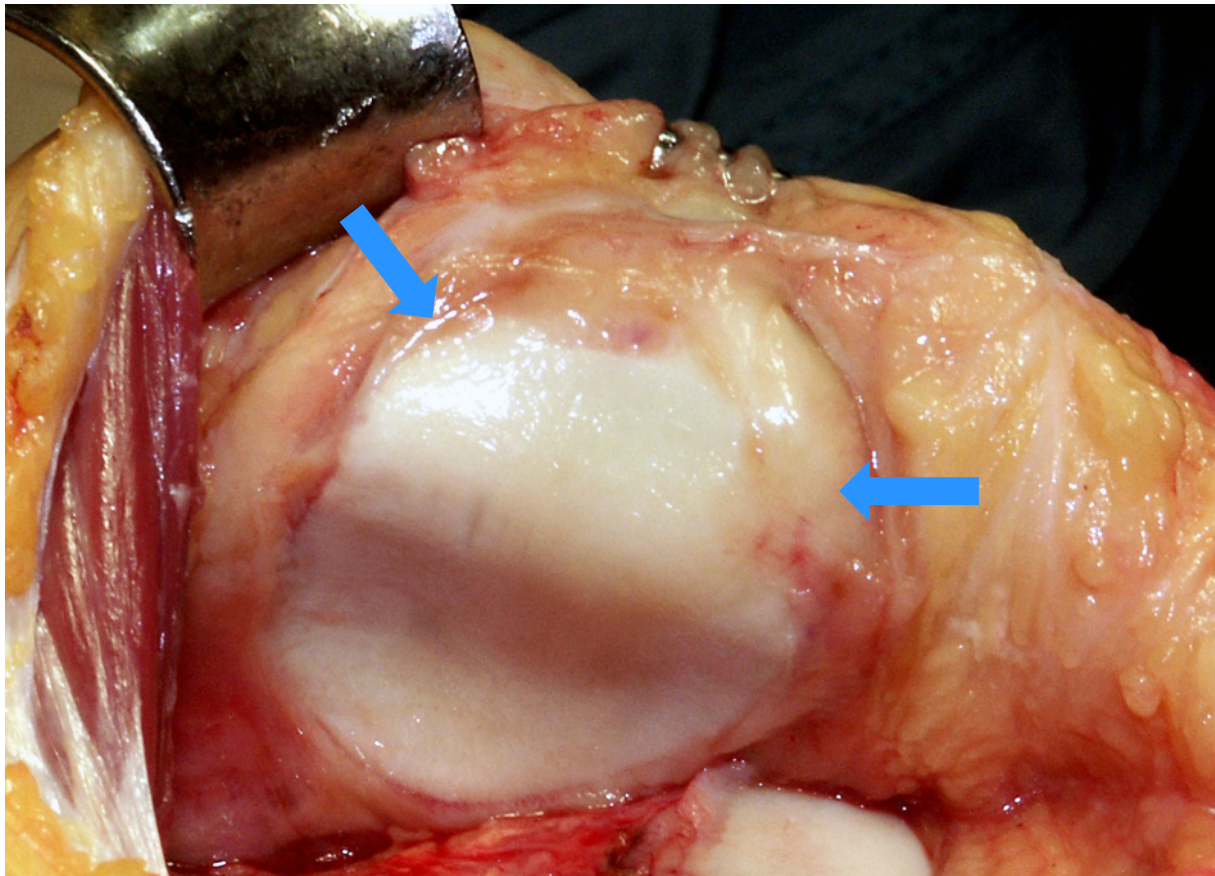


Abbildung 1: Rheumatisch destruiertes Knie mit hyperplastisch, hypertrophierter Synovialis, die pannös über die Patella-Knorpelfläche wächst. © C. Biehl, Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, UKGM Gießen

Ist das Gelenk in das Krankheitsgeschehen einbezogen, kommt es in der Folge zu direkten und indirekten irreversiblen Schäden an den Gelenkoberflächen, die auch bei suffizienter Basistherapie nachweisbar sind [32]. FLS sezernieren auch vasoaktive und immunmodulierende Moleküle, die zum einen eine periartikuläre Vaskulitis induzieren und zum anderen die Differenzierung von Osteoklasten durch Aktivierung des Rezeptor Aktivator des NF- κ B Liganden (RANK-L) fördern können [33-36]. Die

Regulation und Modulation dieser Moleküle erfolgt durch CD4+ T-Helferzellen. Die T-Helferzellen selbst sind direkt betroffen, da sie eine fehlerhafte Rezeptorpräsentation aufweisen, die nicht sauber zwischen Aktivierung und Inhibierung trennen kann [37]. Die gestörte Funktion der Zellen führt zu einer vermehrten Ausschüttung von TNF-alpha und einem Anstieg der Interleukine im Gewebe, der deutlich höher ist als bei der Arthrose [38].

Auch auf der RNA-Ebene sind Veränderungen zu finden. Genpolymorphismen und ein verändertes Mikrobiom führen als Anpassung epigenetischer Mechanismen zu veränderter freier microRNA (miRNA), die in die RNA-Transkription eingreift [39, 40]. Aktuelle Forschungen im Zusammenhang mit SARS-CoV2 machen sich diese Polymorphismen für einen therapeutischen Ansatz zu Nutze [41-43].

1.2 Osteoimmunologie und Inflammation

Zwischen den Zellen der Körperabwehr und denen des Knochenstoffwechsels bestehen enge Wechselwirkungen, die jeweils exprimierten Moleküle beeinflussen auch die Zellen des anderen Regelsystems, was von Ralston et al. als "Osteoimmunologie" bezeichnet wird [44]. In der Forschungsgruppe des SFB/TRR 79 Teilprojekt T1 wurden hier Tiermodelle zur Alterung, Östrogenmangel und systemische Glucocorticoid-Exposition etabliert und einige der T-Zell-Aktivatoren, wie RANK und RANK-L, auch für den Knochenstoffwechsel charakterisiert (u.a. Dissertationen F. Merboth, M. Mülke, S. Rosch) [10, 45, 46]. Bei einer Verschiebung des Gleichgewichts zugunsten von RANKL kommt es zu einer Abnahme der BMD mit der klinischen Form der Osteoporose [47, 48]. Erkrankungen aus dem rheumatischen Formenkreis weisen bereits frühzeitig eine lokale und systemische Verminderung der Knochendichte auf, was das Risiko für inadäquate osteoporotische Frakturen deutlich erhöht [9, 49]. Bei Traumata werden neben den mesenchymalen Zellreihen die Kaskaden der Zytokinfreisetzung (IL-1) verstärkt aktiviert, die sich selbst unterhalten können und

neben einer höheren Serumkonzentration eine Aktivierung von RANKL, den Fibroblasten und FLS bewirken, was laut Kong et al. den Knochenkatabolismus fördert [50].

Am Gelenk führen die entzündlichen Veränderungen bei RA mit Proliferation von Synovialzellen (FLS), Pannusbildung und der Sekretion von Knorpelzerstörenden MMP zu einer Kapselschwellung mit chronischer Überlastung und langfristigen Destruktion der Kapsel-Band-Strukturen. Gleichzeitig werden dendritische Zellen, einschließlich Osteoblasten und Osteozyten, durch MMP und ACPA bei der Zelladhäsion und -integration geschädigt. Die Neogenese der Osteoklasten wird durch die Aktivierung von RANK-L verstärkt [33, 51]. Die Folge ist eine frühzeitige subchondrale Osteoporose mit Randerosionen und Usuren, die eine Schwächung der periartikulären Kapsel-Band-Ansätze bewirken [52, 53]. Diese Veränderungen können mit Hilfe von Mikro-CT und Arthro-MRT bereits in sehr frühen Stadien (LDE 1) nachgewiesen werden, während sie radiologisch häufig erst in fortgeschritteneren Stadien detektierbar sind [16, 54]. Die daraus resultierenden Fehlstellungen führen zu einer veränderten Statik und Kinematik der periartikulären Muskeln und Sehnen [55]. Isokinetische Untersuchungen konnten eine muskuläre Verschlechterung mit Kraftverlust im Sinne einer Sarkopenie insbesondere der Extensoren nachweisen, die die Dysbalance fördert [56]. Das koordinierte Zusammenspiel und die Integration der verschiedenen Elemente eines Gelenkes sind für eine reibungslose Funktion unerlässlich. Gelenknahe Knorpel- und Knochenveränderungen führen frühzeitig zu Veränderungen in der Kinematik [57].

An der Hand manifestieren sich die biomechanischen Veränderungen bei RA primär an der radiocarpalen Gelenkfläche des Handgelenkes mit Dissoziation des Scapho-lunären (SL)-Bandes und Ausbildung der Mannerfeldschen Krypte am radiopalmarseitigen Bandansatz und der Desintegration des Lunatum. Diese migriert nach palmar sowie nach ulnar und führt durch Druck und Rotation zu einer Schädigung des Diskus und des triangulären fibrokartilaginären Komplexes (TFCC) mit Ausbildung der typischen Bajonett-Fehlstellung und eines Caput-ulnae-Syndroms (Abbildung 2). An den langen Sehnen kommt es zu einer Tonusminderung mit der Folge der relativen Tonuserhöhung der Interosseusmuskulatur [58].

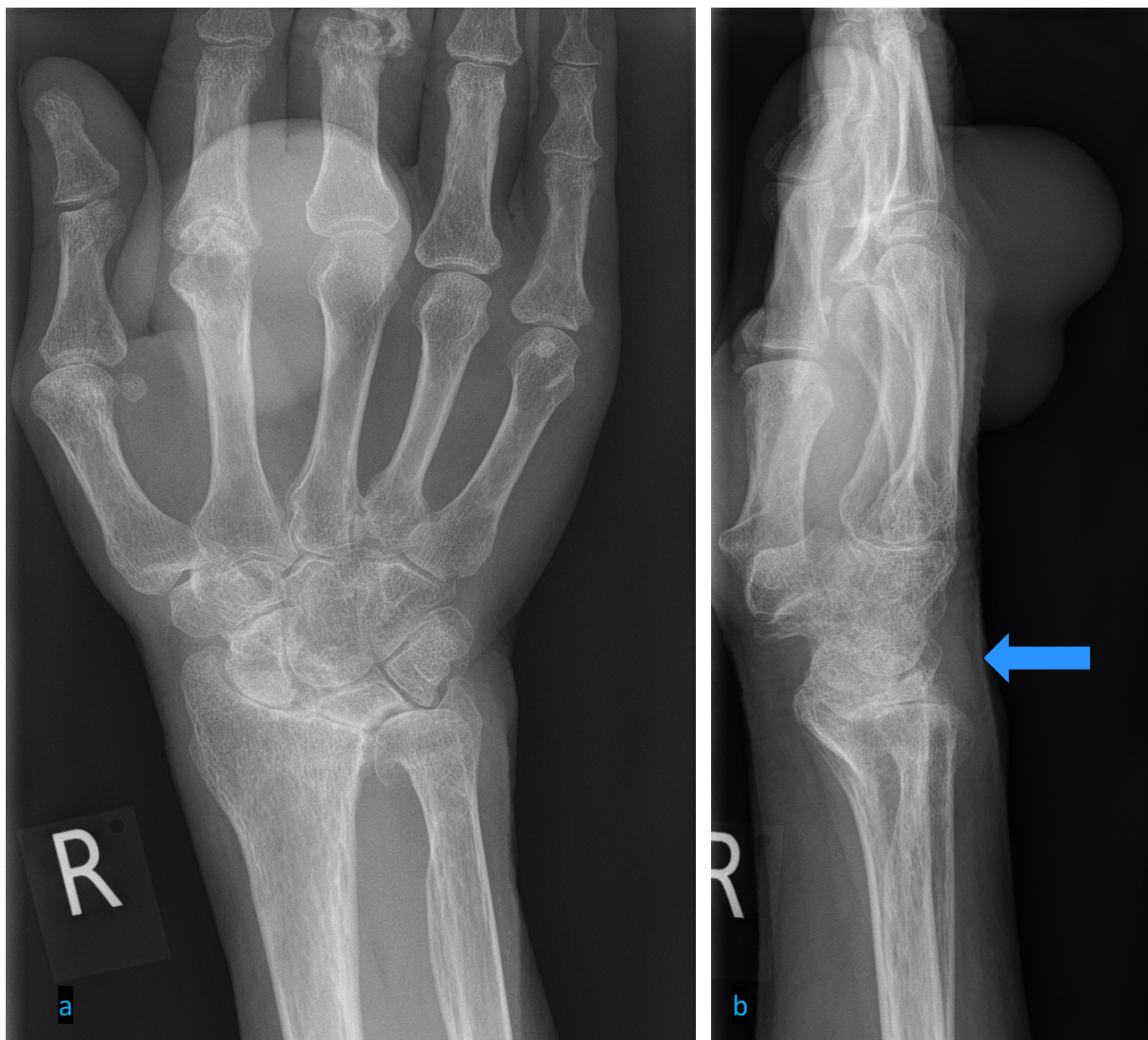


Abbildung 2: Rheumatisch destruiertes Handgelenk (Stadium 4) mit SL-Dissoziation, Abkippen des Lunatum nach ulnar, Caput-ulnae-Syndrom mit dorsaler Subluxationsstellung des Ulnaköpfchens und Bajonettstellung des Carpus gegenüber dem Radius. A) Handgelenk von dorsal, b) Handgelenk seitlicher Strahlengang. © C. Biehl, Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, UKGM Gießen

An den Fingergelenken kommt es über die geschädigte Führung durch Bänder und Sehnen zu einer dezentralen Belastung der Gelenkflächen mit typischen Deviationen (Abbildung 3).



Abbildung 3: Rheumatisch bedingte Veränderungen an Gelenken der Hand: Abgeflachtes Quergewölbe (Metacarpale (MC)3 ist gegenüber MC2 abgesunken), beginnende Subluxationsstellung MCP 2 nach palmar, Schwanenhalsdeformität D2 (D3) und D5 und sog. 90-90-Deformität des Daumens. © C. Biehl, Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, UKGM Gießen

Die rheumatischen Veränderungen an Hand- und Fingergelenken können nach Simmen und Huber in verschiedene Verlaufstypen unterteilt werden (Abbildung 4a-c).

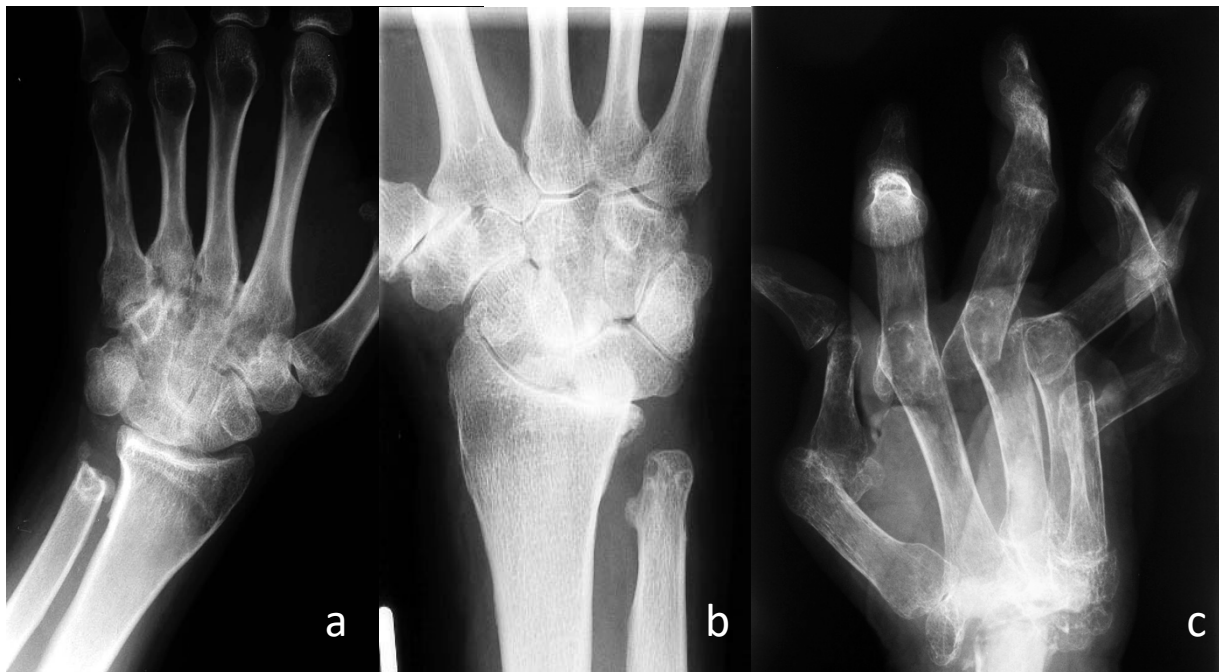


Abbildung 4: Rheumatisch destruierte Handgelenke. Einteilung nach Simmen/Huber: a = ankylosierende Form, b = Osteoarthritis, operative Versorgung mit Ulnaköpfchen-Resektion erfolgt, c = mutillierende, desintegrierende Form [49]. ©C. Biehl, Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, UKGM Gießen

Neben dem auch bei Arthrotikerinnen/Arthrotikern vorherrschenden Typus der Osteoarthrose (Abbildung 4b) unterscheiden die Autoren zusätzlich die ankylotische (Abbildung 4a) und die desintegrierende, mutilierende Verlaufsform (Abbildung 4c) [59]. Die Klassifikation lässt sich auch auf alterskorrelierte Gelenkveränderungen anwenden, wobei bei nicht inflammatorischen Gelenken die mutilierende Verlaufsform eine Rarität ist. Die Aktivierung inflammatorischer Regelkreisläufe tritt auch im physiologischen Alterungsprozess auf, wenn gleich nicht in der Ausprägung wie bei den entzündlichen Erkrankungen. Ältere Menschen mit chronischen Erkrankungen haben eine höhere Prävalenz für eine Osteoporose. In der konservativen Therapie der altersbedingten Arthrose finden sich daher vielversprechende Ansätze mit immunmodulierenden Medikamenten.

Bereits in frühen Stadien der RA in der Einteilung nach Larsen, Dale und Eek (LDE 0-1) lassen sich periartikulär verdünnte Knochenstrukturen an der Grenzlamelle mittels hochauflösender MRT (oder durch die Pathologin/den Pathologen) nachweisen [60, 61]. Räumlich eng beieinander liegende osteonekrotische und osteoklastische Bereiche im gelenknahen Knochen finden sich vor allem bei Psoriasis-Patientinnen und -Patienten. Bei Vitamin-D-Mangel finden sich gelenknahe Remodeling-Zonen [62]. Die konservative Therapie umfasst neben der Entlastung und dem Kapsel-Band-Schutz durch eine Orthese auch die Vitamin-D-Substitution.

Im Gegensatz zu Patientinnen/Patienten mit Arthrose sind bei Rheumatikerinnen/Rheumatikern nicht nur mehrere Gelenke der oberen und unteren Extremitäten in den Krankheitsprozess einbezogen, meist besteht eine Begleitsymptomatik im Sinne eines Fatigue-Syndroms oder einer ausgeprägten Sarkopenie [63, 64]. Eine Kompensation durch Nachbargelenke ist nicht oder nur eingeschränkt gegeben. Zusätzlich sind, wie oben dargestellt, auch die periartikulären Strukturen, allen voran die Sehnen und Sehnenscheiden in das Krankheitsgeschehen involviert. Bei den peripheren Enthesiopathien kommt es zu vaskulären Umbauprozessen der knochennahen Sehnenansätze, deren Pathophysiologie Gegenstand einer der aktuellen Forschungsschwerpunkte der eigenen Forschungsgruppe im Verbund mit der Kerckhoff-klinik Bad Nauheim darstellt.

Die gestörte Kinematik führt zu Verstärkung der destruktiven Prozesse mit Band- und Knorpelzerstörung. Wie bereits beschrieben, darf ein Gelenk nicht isoliert betrachtet werden. Die Auswirkungen, die mit entzündlichen, degenerativen oder traumatischen Veränderungen oder auch deren therapeutischer Beeinflussung verbunden sind, müssen in der funktionellen Kette gedacht und bedacht werden. Dieser Ansatz mag dem Zeitgeist der Gelenkspezialisierung widersprechen, ist aber unabdingbare Voraussetzung für den erfolgreichen Gebrauch des Gelenkes und der Extremität. Dies wird folgerichtig in verschiedenen Scores berücksichtigt. Über das distale radio-ulnar Gelenk (DRUG), welches die Hand mit Unterarm und Ellenbogen verbindet, werden Auswirkungen auf die artikulären Strukturen des Ellenbogens und indirekt auf die gesamte Extremität weitergeleitet. Anhaltende Dysfunktionen und Dysbalancen führen auch zu Langzeitschäden an der kontralateralen Extremität [65, 66]. Sehnenrupturen können bei vorgeschädigten Sehnen nach vermeintlich einfachen operativen Eingriffen, aber auch spontan nach Bagatellverletzungen auftreten. Die Reparaturmechanismen der Sehnenheilung werden durch immunsuppressive Medikamente irritiert oder sogar unterdrückt [67]. Erschwerend kommt an den Akren noch die geringe und häufig prekäre Weichteilsituation hinzu. Die Kollagenstrukturen der Hautschichten werden durch katabole Effekte an Fibrozyten durch häufig vorausgehende langjährige Kortisoneinnahme verändert [68]. Die daraus resultierende Dickenabnahme und der Elastizitätsverlust haben eine höhere Verletzlichkeit zur Folge. Gleiches gilt für Veränderungen der Gefäßwände mit gesteigerter Vulnerabilität.

1.2.1 Folgen der Gelenkerkrankungen auf die Funktionalität und Gebrauchsfähigkeit der Hand

Die Auswirkungen entzündlicher und degenerativer Veränderungen an den Gelenken treten für die Betroffenen meistens schubweise in Erscheinung und machen sich eher durch eine nachlassende Beweglichkeit als primär durch Schmerzen bemerkbar. Meist treten Schmerzen in der

proliferativen Phase des entzündlichen oder des degenerativen Prozesses auf, können aber auch in jeder anderen Phase vorkommen und je nach Intensität den Therapeutinnen/Therapeuten an eine mögliche inflammatorische Genese denken lassen.

Bei der Polyarthrose tritt eine Beschwerdelinderung meist nach wenigen Minuten aktiver Bewegung ein. Im Unterschied hierzu halten die Einschränkungen bei Rheuma mitunter bis zu Stunden an und lassen sich durch bewusste Beübung nicht oder nur kaum verbessern. Eine Unterscheidung der Erkrankungen ist wegen der unterschiedlichen Therapie erforderlich, wobei es erste Therapieansätze mit Interleukin-Inhibitoren auch bei der Polyarthrose gibt [69-71]. Erschwerend kommt hinzu, dass beide Erkrankungen bei einer Patientin / einem Patienten gleichzeitig vorliegen können.

Da sich die Veränderungen meist schleichend und über einen längeren Zeitraum von Monaten bis Jahren entwickeln, können die Patientinnen/Patienten durch Anpassungsvorgänge viele der Einschränkungen kompensieren. Kompensationsmechanismen führen aber gleichzeitig zu einer Überlastung bzw. unphysiologischen Belastung von Nachbargelenken und Muskelketten. Einschränkungen der Pro- und Supination im DRUG können aus der veränderten Stellung der Ulna zum Radius im Ellenbogengelenk resultieren. Die verbreiteten Scores in den Befunderhebungen und Verlaufsdokumentationen berücksichtigen diese Pathologien der gesamten Extremität (Disability of Arm, Shoulder, Hand: DASH, Funktionsfragebogen Hannover: FFbH, Health Assessment Questionnaire: HAQ) [72-75]. Die Fragebögen erfassen die durch die Gelenkerkrankung verursachten Einschränkungen und Behinderungen. Zumeist füllt die behandlungsbedürftige Person den Fragebogen selbst aus und bewertet dabei die eigenen Fähigkeiten selbstständig. Allerdings wird die Patientinnen-/Patientenzufriedenheit in den Scores nicht ausreichend erfasst, da bereits die Definition und die Kriterien für eine Messung schwierig sind [76]. Die regelmäßige Dokumentation von Schwellung, Schmerzen, Beweglichkeit und Muskelfunktionen, bzw. Einschränkungen durch Atrophien, Kontrakturen und Instabilitäten dient auch als Verlaufskontrolle und erleichtert die gezielte Therapieplanung [77].

Die Destruktion der artikulären Flächen führt zur Verringerung der Gelenkhöhe und zu einem Höhenverlust des Carpus, der sich in einem Verlust an koordinativen Fähigkeiten in Verbindung mit einem Kraftverlust der Hand und Finger darstellt [78]. In der Folge verlieren Muskulatur und Sehnen an Spannung. Mehr Vorspannung muss geleistet werden, um eine aktive Bewegung zu ermöglichen. Die arthrotische und posttraumatische Degeneration basiert zumeist auf einer Scaphoidfraktur (scaphoid nonunion advanced collapse, SNAC-wrist) oder einer Verletzung des SL-Bandes (scapholunate advanced collapse, SLAC-wrist) und betrifft primär die radioscaphoidale Gelenkfläche. Die rheumatische Veränderung beginnt zumeist ebenfalls am SL-Band und führt zur Destruktion der radiolunatalen (RL) Gelenkfläche, da die stabilisierenden Kapsel-Bandverbindungen in das generalisierte Geschehen mit einbezogen sind und die Dysbalance der Handgelenksstrecker das Abgleiten des Carpus nach ulnar und palmar mit gleichzeitiger Rotationskomponente verstärken. Die resultierende Pathologie für die Hand und Langfinger ist fundamental unterschiedlich, entsprechend muss die Therapie diesem Rechnung tragen.

1.2.2 Therapieprinzipien für den Erhalt der Funktionsfähigkeit an Gelenken der Hand

Therapeutisch stehen der Erhalt bzw. die Verbesserung der Funktion der Hand als Ganzes im Vordergrund. Doch dies darf nicht isoliert betrachtet werden, sondern die alterskorrelierten Veränderungen müssen im Kontext der Erkrankung und der Gesamtsituation der Patientin/des Patienten gesehen und adressiert werden. Die Anforderungen an eine orthopädisch-rheumatologische Handchirurgie sind auch für degenerative Gelenkveränderungen gültig. Zwingend ist eine suffiziente Basistherapie als Grundvoraussetzung jedweder orthopädischen Therapie zu fordern [79].

Aus der Fülle an operativen Möglichkeiten müssen dringliche OP-Indikationen erkannt werden, wobei der vorhandene Schädigungsgrad des Gelenkes und der Nachbargelenke genauso zu

berücksichtigen ist, wie die sozialen Faktoren und die individuelle Prognose. Folgerichtig stehen Funktion und Schmerz im Vordergrund der Indikationsstellung, kosmetische Indikationen sind die absolute Ausnahme. Die operative Versorgung ist dann an die verschiedenen Stadien der Erkrankung und Destruktion ausgerichtet! Letztlich ist die Indikation oft anders als bei der Menschen, die nicht an einer inflammatorischen Erkrankung leiden, zu stellen. Die suffiziente Basistherapie stellt diesbezüglich bereits die Sekundärprophylaxe dar. Als Primärprophylaxe können die frühzeitige Diagnose und Therapiebeginn bei dringendem Verdacht auf das Entwickeln einer rheumatoiden Arthritis gelten [29]. Das hauptsächliche Problem bestand und besteht teilweise bis heute darin, dass die Erkrankung häufig zu spät diagnostiziert wird und bereits irreversible strukturelle Schäden eingetreten sind. O'Dell postuliert ein „window of opportunity“, welches er vor die eigentliche Differenzierungsphase der frühen Erkrankung verortet (Abbildung 5) [80]. Verschiedene Programme, wie die RhefO-Kurse (Rheumatologisch fortgebildeter Orthopäde) und Netzwerke, wie ADAPTHERA haben dieses Postulat aufgegriffen, um Anreize für eine frühe Abklärung und eine Verbesserung durch frühe Therapieeinleitung und Versorgung zu schaffen. In den letzten Jahren wurden die ambulante Spezialärztliche Versorgung (ASV) zur Verbesserung der Versorgung Rheumakrankter flächendeckend etabliert und aktuell wird das Disease Management Programm (DMP) Rheuma durch den gemeinsamen Bundesausschuss (G-BA) als weiterer Baustein in der Versorgungslandschaft Deutschlands etabliert, um erwachsene Patientinnen/Patienten mit einer gesicherten RA leitliniengerecht zu betreuen und im Umgang mit ihrer Erkrankung zu schulen.

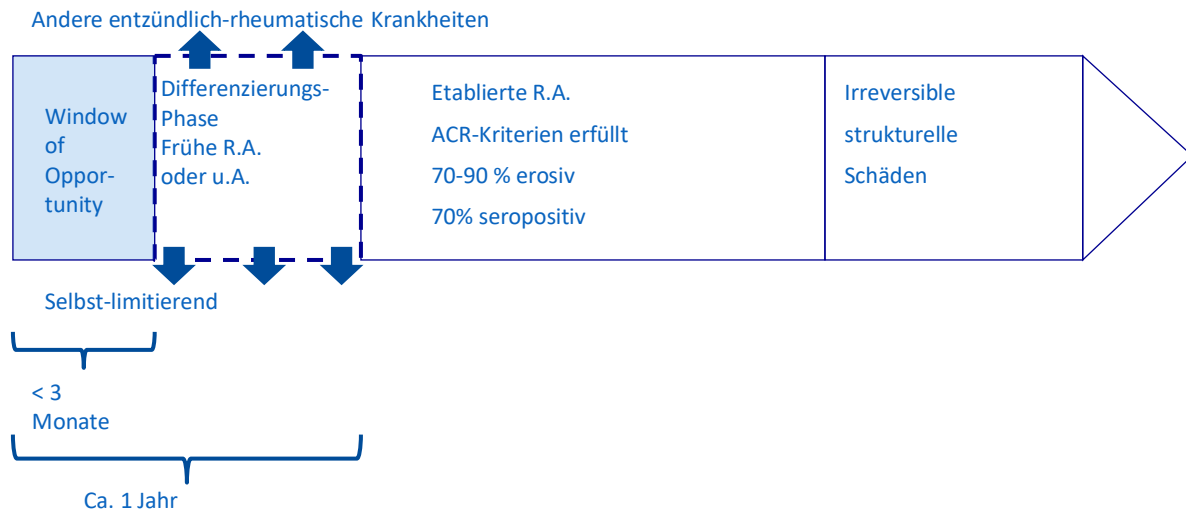


Abbildung 5: Strukturelle zeitliche Entwicklung inflammatorischer Erkrankungen am Beispiel der rheumatoiden Arthritis. Die frühere Diagnostik einer RA durch eine Überarbeitung der Kriterien für eine RA durch die EULAR/ARC in der Differenzierungsphase ermöglicht die zeitnahe Einleitung einer Basistherapie. Nach O'Dell, J. R. [Treating rheumatoid arthritis early: a window of opportunity?] [80]

Paul Emery leistete mit seinem Konzept des „hit hard and early“ Mitte der 1990er entscheidende Impulse zur Überarbeitung der bis dahin geltenden ACR-Kriterien. Gleichzeitig leitete die Zulassung der ersten Biologika einen Paradigmenwechsel und eine Änderung der medikamentösen Versorgung in der Therapie der RA ein. Heute gelten die Diagnosekriterien der EULAR/ACR, die eine RA ab einem Punktwert von 5 wahrscheinlich und eine entsprechende Therapie geboten erscheinen lassen (Tabelle 1) (EULAR).

Tabelle 1: ACR/EULAR-Kriterien zur Diagnostik einer rheumatoiden Arthritis (RA). RF = Rheumafaktor, CRP = C-reaktives Protein, BSG = Blutsenkungsgeschwindigkeit, anti-CCP = Anti-citrullinierte C-Peptide [1]

Geschwollene/schmerzhaftes Gelenke	Serologie	Akute Phase	Symptombdauer	Punkte
≤ 1(mittel)großes	RF & anti-CCP negativ	CRP & BSG normal	< 6 Wochen	0
2-10(mittel)große		CRP & BSG erhöht	≥ 6 Wochen	1
1-3 kleine	RF o. anti-CCP niedrig positiv			2
4-10 kleine	RF o. anti-CCP hoch positiv			3
> 10 Gelenke				5

Die Therapieprinzipien bei degenerativen und entzündlichen Veränderungen an den Gelenken der Hand beinhalten alle Maßnahmen, die dazu dienen, eine Beeinträchtigung zu verhindern. Diese

können durch Risikofaktoren, Unfälle oder die Erkrankungen oder deren Fortschritt selbst verursacht sein. Nach der zeitlichen Korrelation von Intervention und Pathologie können Primär- von Sekundär- und Tertiärprophylaxe unterschieden werden. Diese umfassen auch im Hinblick auf die Wiedererlangung der Funktion

- Konservative medikamentöse und nicht-medikamentöse (z.B. Basistherapeutika, Ergotherapie, etc.)
- interventionelle (z.B. die Applikation von Radionukliden, Kortison, etc.)
- operative Maßnahmen (z.B. Synovialektomien, Arthrodesen, Endoprothesen, etc.).

Je nach Ausmaß und Progredienz der Beeinträchtigung und Schädigung der Gelenke und gelenknahen Strukturen, sind verschiedene Möglichkeiten indiziert.

1.2.3 Medikamentöse Prinzipien der Therapie

Bei der Behandlung alterskorrelierter Veränderungen an der Hand sind Schmerzmedikamente zwar häufig die erste, aber nicht die beste Wahl, auch wenn ihre Verfügbarkeit einfach und fast allgegenwärtig ist.

Die medikamentöse Therapie ist die wichtigste Säule in der Therapie der RA und der seronegativen Spondyloarthropathien mit dem Ziel der Remission bzw. der Verhinderung von Organ- und Gelenkschäden. Sie gilt als Primärprophylaxe. Entsprechend den Empfehlungen der EULAR wird die Basistherapie mit einem DMARD, meistens MTX, eingeleitet (Abbildung 6)[81]. Der früher übliche Therapiebeginn mit Kortison und die perioperative Kortison-Booster-Gabe zur Verhinderung einer Schubsituation wurde wegen des erhöhten Risikos einer Kortison-induzierten Osteoporose verlassen. Kortison wird möglichst spät und niedrig dosiert eingesetzt und möglichst als erstes Basismedikament wieder abgesetzt, bzw. ausgeschlichen. Die in der Anfangszeit verbreitete Neigung, Biologika perioperativ und auf Dauer abzusetzen, konnte durch unabhängige Registerdaten für die meisten Medikamente relativiert werden [82]. Für einzelne Biologika (z.B. Tocilizumab) ist ein protektiver Effekt bei Sepsis nachgewiesen, beim Absetzen der Medikamente kann es zu einem IL-6-Zytokinsturm

kommen [83]. Gleichzeitig müssen zusätzliche Medikamente und eventuelle Nahrungsergänzungsmittel wegen möglicher Interaktionen berücksichtigt werden. Im Rahmen operativer Versorgung galt die Empfehlung der DGRh, dass Biologika 2 Halbwertszeiten präoperativ pausiert werden sollen [79]. Die DGRh empfiehlt nach der letzten Überarbeitung 2021 nur noch eine Halbwertszeit zu pausieren [84]. Bei verunfallten und operationspflichtig verletzten Rheumatikerinnen/Rheumatikern ist auch diese neue Empfehlung im Hinblick auf eine zeitnahe operative Versorgung nicht einzuhalten. Daher sind Industrie-unabhängige Register, wie das der DGORh, für die differenzierte Beurteilung der Fortführung der medikamentösen Therapie und entsprechender möglicher Komplikationen bei verschiedenen Operationen und Gelenkregionen unabdingbar [82].

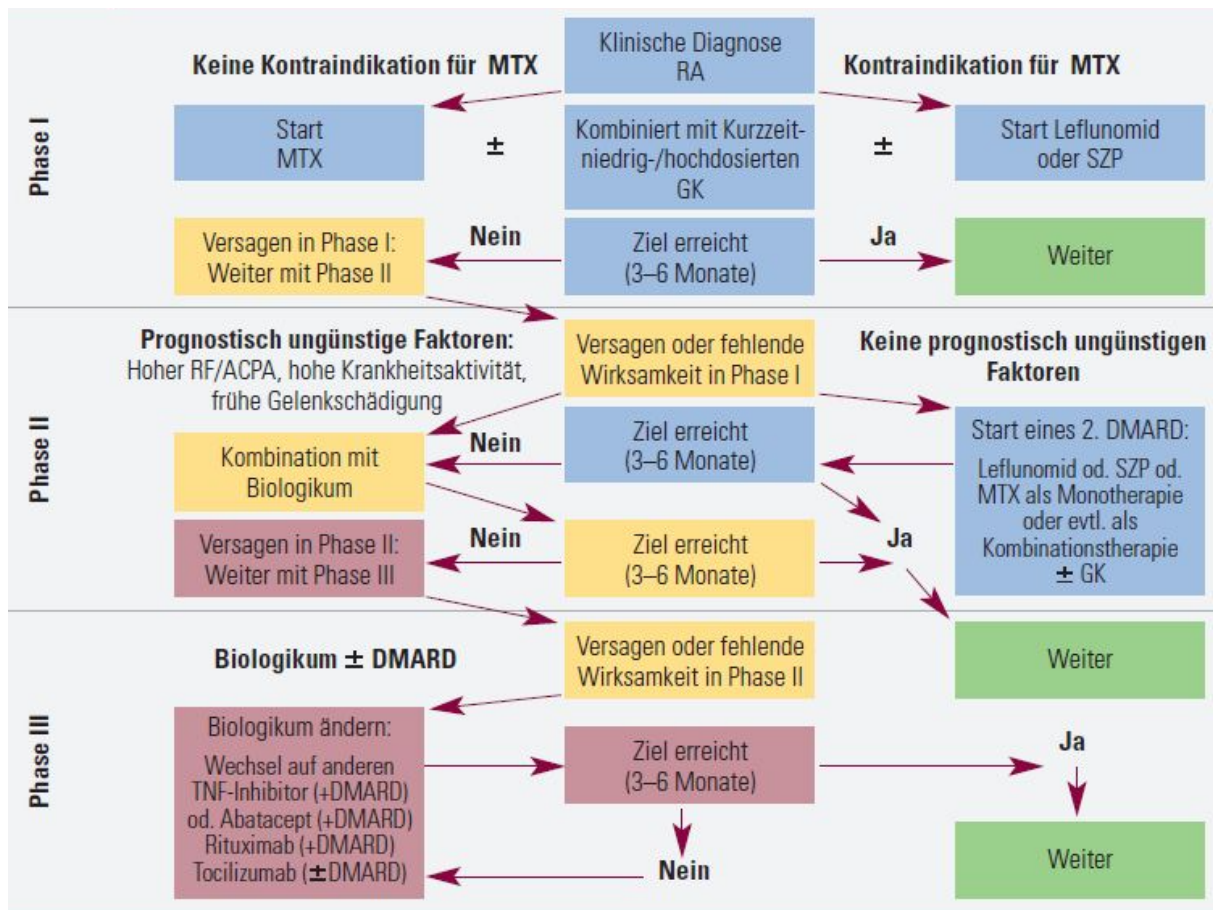


Abbildung 6: Algorithmus zur Behandlung der RA nach den EULAR-Kriterien, mod. nach Smolen et al. 2020 [81]. ACPA= anti-citrullinierte Protein-Antikörper, DMARD= Disease-modifying anti-rheumatic drugs, GK= Glukokortikoid, MTX= Methotrexat, RF= Rheumafaktor, SZP= Salazopyrin = Sulfasalazin.

1.2.4 Konservative, nicht medikamentöse und interventionelle Prinzipien

Neben der medikamentösen Therapie gilt die Ergotherapie als zentraler Baustein der konservativen therapeutischen Möglichkeiten an der Hand. Diese kann mit weiteren Maßnahmen, wie Kälte- oder Wärmeanwendungen, flankiert werden. Der Erhalt der Beweglichkeit und der funktionellen Kapazität der Gelenke sowie der periartikulären Strukturen wird durch physiologische Bewegungsabläufe und Ruhehaltungen erreicht und erfordert eine individualisierte Anpassung der Behandlung [85, 86].

Die konservativen Prinzipien der Ergotherapie lassen sich in drei große Teilbereiche untergliedern. Das motorisch-funktionelle Training mit dem Schwerpunkt des Erlernens und Einschleifen gelenkschonender Verhaltensweisen und die Stärkung der Selbstwahrnehmung und Selbstkorrektur. Zum zweiten Gelenkschutz und Selbsthilfetraining, sowie eine mögliche Anpassung von Hilfsmitteln. Als dritte Säule dient die Schienenversorgung dem Sichern bzw. der gezielten Unterstützung der individualisierten Therapie.

Zusätzlich kommen bewährte additive Therapieverfahren aus dem Bereich der physikalischen Therapie zum Einsatz. Hierzu gehören hydroelektrische Bäder, sowie die Applikation von Wärme, oder Kälte über Peloide, oder Paraffine.

Vor einer Operation sollten darüber hinaus interventionelle Therapieoptionen diskutiert und differentialtherapeutisch abgewogen werden. Die intraartikuläre Applikation von Kortison führt zu einer Reduktion der inflammatorischen Komponente. Der Effekt der Wirkung des Kortison auf die Synovialzellen ist aber zeitlich begrenzt. Die Radiosynoviorthese (RSO) mit Erbium führt zu einer Sklerosierung der synovialen Zellen, die ebenfalls zu einer Kapselschrumpfung mit ggf. sekundären Bewegungseinschränkungen führen können (Abbildung 4). Die Indikation zur RSO basiert auf der gesicherten intraartikulären Arthritis, die entsprechend den Indikationen gemäß der aktuellen deutschen Zulassung durch das BfArM in enger Absprache mit den behandelnden

Kolleginnen/Kollegen der Fachdisziplinen erfolgt [87]. Eine bereits vorliegende ossäre oder kapsuläre Schädigung schließt eine RSO aus.

Grundsätzlich sollte die Expertise einer erfahrenen handchirurgischen Einrichtung oder eines Zentrums für eine spezielle, auf die individuellen Bedürfnisse abgestimmte Therapieplanung genutzt werden.

1.2.5 Operative Prinzipien bei Gelenkbeteiligungen an der Hand

Gilt bei den meist degenerativen Veränderungen *in puncto* Operation das Prinzip des „wait and see“ und das vorrangige Ausschöpfen aller konservativen Maßnahmen, so gilt bei entzündlich veränderten Gelenken und Begleitstrukturen die Prämisse nicht uneingeschränkt. Zeigen sich trotz suffizienter Basistherapie persistierende Schwellungen oder bereits Instabilitäten an einem Gelenk oder peritendinösem Gewebe über die Dauer des erwarteten Wirkungseintritts der Basistherapie (in der Vor-Biologika-Ära 6 Wochen), sollte dieses operativ adressiert werden. Auch in Bezug auf die operative Versorgung rheumatischer Gelenke besteht der therapeutische Konsens des „hit hard and early“, um langfristige Schäden zu verhindern. Da bei einem funktionellen Verlust die berufliche und private Gebrauchsfähigkeit der Hand gefährdet ist, wird die Therapieplanung primär nach der vorgefundenen Destruktion der Gelenke und der Funktion der Hand ausgerichtet [88, 89]. Die verschiedenen operativen Verfahren orientieren sich an den radiologischen Destruktionsstadien in der Einteilung nach Larsen, Dale und Eek [60] (Abbildung 7). Diese Therapiekonzepte lassen sich prinzipiell auf jedes Gelenk übertragen und anpassen (z.B. für Fingergelenke) [90].

Die verschiedenen Optionen unter Berücksichtigung der Wünsche und der Compliance der Patientin / des Patienten werden präoperativ besprochen, letztlich wird die Versorgung durch die intraoperativ vorgefundene Situation festgelegt. Somit kommt der Patientenführung und -aufklärung

ein besonderes Gewicht zu. Nach langjährigem Verlauf und fortgeschrittener Destruktion ist wegen Operationsindikationen an verschiedenen Gelenken eine Priorisierung erforderlich. Die Entwicklung eines Behandlungsplans für Patientinnen/Patienten findet sich daher in den Weiterbildungsordnungen der Landeärztekammern für die Zusatzbezeichnung orthopädische Rheumatologie verankert.

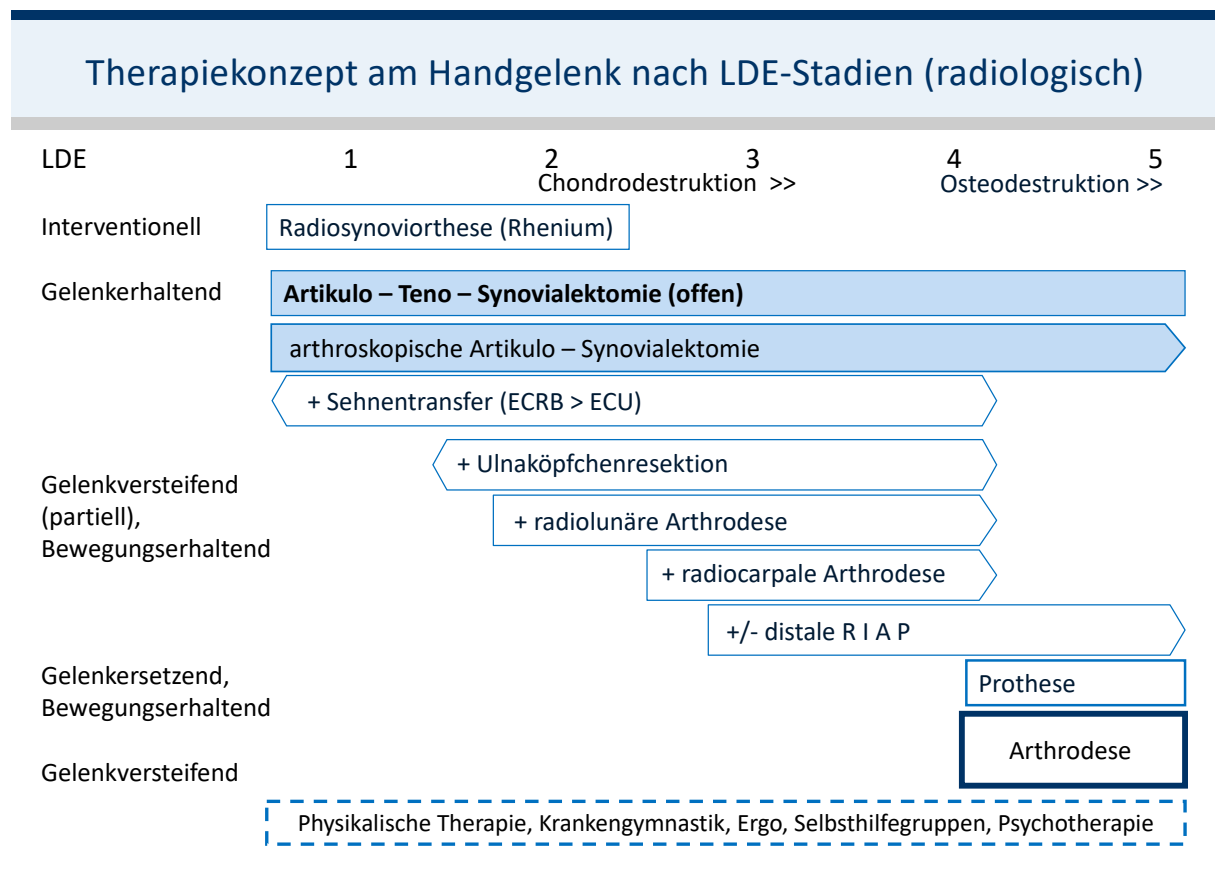


Abbildung 7: Therapiekonzept am Handgelenk nach LDE-Stadien. Tabellarische Übersicht über die verschiedenen operativen Versorgungsmöglichkeiten am inflammatorisch destruierten Gelenk. ECRB = Extensor carpi radialis brevis, ECU = Extensor carpi ulnaris, RIAP = Resektions-Interpositions-Arthroplastik.

1.2.6 Rehabilitation und Tertiärprophylaxe bei Gelenkpathologien an der Hand

Für ein langfristig gutes Ergebnis nach operativer Versorgung von Hand und Fingern muss besonderes Augenmerk auf die Fein- und Grobmotorik, Griffkraft und die minimal erforderliche Beweglichkeit gelegt werden. Schwerpunkte der Rehabilitation sind die Wiedererlangung der Handfunktion bei vorhandenen Einschränkungen, was zentraler Anspruch der Physiotherapie ist. Das

Erlernen und Einüben von Kompensationsmechanismen ist Schwerpunkt der Ergotherapie. Meistens kommen beide Schwerpunkte im postoperativen Verlauf gleichzeitig zur Anwendung, da eine klare Trennung häufig nicht möglich ist. Die physikalische Therapie ist im postoperativen Verlauf bei den alterskorrelierten Gelenkerkrankungen eine *condicio sine qua non*, da ohne diese die Eigenversorgung gefährdet wäre.

Für Berufstätige bieten die Berufsgenossenschaften und die Rentenversicherer eine berufliche Rehabilitation an. Das Reha-Management koordiniert hierbei die notwendigen Maßnahmen. Das Ziel ist eine Besserung des Gesundheitszustandes bzw. die Unfallfolgen zu mindern, besser ganz zu beseitigen. Die Eingliederung in ein BG-liches Reha-Management hängt von verschiedenen Faktoren ab [91].

Bei den Rentenversicherern werden jedoch die Analyse des Arbeitsplatzes und die sich hieraus ergebenden Erfordernisse häufig nur unzureichend oder im Heilungsverlauf erst bei Problemen berücksichtigt [92]. Die Aussicht auf den Erhalt der Arbeitsfähigkeit lässt sich meist durch die bewusste (Um-) Gestaltung des Arbeitsplatzes zusätzlich verbessern. Neben der Anpassung technischer Art an Schaltern, Griffen, Stühlen und Schreibtischen kann dies auch z.B. eine Anpassung der Bekleidung ohne schwierige Verschlüsse beinhalten [93].

1.3 Beurteilung des Therapieerfolges

Ebenso wie die Therapie, ist auch die Beurteilung der Resultate subjektiv geprägt und von verschiedenen Faktoren und Untersuchern abhängig. Angestrebt wird eine objektive, vom Untersucher unabhängige und reproduzierbare Messung, die zuvor festgelegte Zielgrößen und Parameter erfasst. Je nach Ausrichtung und Ansicht der Beteiligten und Untersucher können bei einem Patienten sehr unterschiedliche und verzerrte Ergebnisse dokumentiert werden [94]. Um den entsprechenden Bias und Noise möglichst gering zu halten, werden heute zumeist

Patienteneinschätzungen mit messbaren Parametern zusammen erfasst und in einem Score Punktwerten zugeordnet [95]. Die Ergebnisse der Scoring-Systeme werden über ein Berechnungsverfahren skaliert abbildbar und ermöglichen somit eine statistische Aufarbeitung der Daten. Ein einzelnes Verfahren kann die verschiedenen Aspekte einer Fragestellung nicht vollständig abbilden, daher sind zur Erfassung und Einschätzung von Therapieergebnissen verschiedene Parameter zu evaluieren. Hauptkritikpunkt für die Ableitung einer individualisierten Therapie ist die Zusammensetzung und Ausrichtung der Scores. Diese sind primär für Fragen im Wissenschaftsbetrieb entwickelt. Die allermeisten Scores sollen primär gute Werte generieren, indem subjektive Fragen zu Schmerzen hoch gewichtet und mit ein paar Angaben zu Funktion und Bewegungsausmaßen ergänzt werden. Die Datenerhebung wird meist so einfach gehalten, damit Patientinnen/Patienten und ärztliche Assistenzberufe die Scores erheben können. Arbeiten ohne eine Datenerhebung und Score-basierten Auswertung sind fast nicht publizierbar.

Bei den in dieser Arbeit dargestellten Untersuchungen wurden jeweils bei der Datenerhebung mehrere Scores verwendet, um eine möglichst geringe Verzerrung und eine bessere Vergleichbarkeit verschiedener Versorgung an der Hand zu erreichen. Trotz aller Anstrengungen den Therapieerfolg messbar und objektivierbar zu machen, bleibt die subjektive Beurteilung und Zufriedenheit der Patientin/des Patienten das Hauptkriterium ob eine Maßnahme positiv oder negativ bewertet wird.

1.3.1 Internationale Scoring Systeme

Spezifische Scores für das Handgelenk oder einzelne Fingergelenke sind sehr selten und umfassen zumeist radiologische oder sonographische Parameter des Gelenks, bzw. des Gelenkknorpels [61, 96]. Die meisten der im Zusammenhang mit dieser Arbeit eingesetzten Scores erfassen subjektive Aussagen zu verschiedenen Items im Zusammenhang mit der erfolgten Operation. Am häufigsten wird bei Patientinnen/Patienten einzig die Schmerzsituation als Korrelat der

Zufriedenheit mit der Versorgung gleichgesetzt. Je nach Gewichtung dieses Parameters lassen sich eine große Zahl an sehr guten und guten Ergebnissen erzielen. Die Visuelle Analog Scala (VAS) verzichtet auf weitere Items und erfasst nur den Schmerz im betroffenen Gelenk [97, 98]. Als ubiquitäre Aussage ist der Wert gut in andere Scores übernehmbar.

Die Spannweite der Scores repräsentiert die verschiedenen Ansichten zur Beeinträchtigung der Funktion der betroffenen Struktur (hier Handgelenk) hin zu der gesamten Extremität (Quick DASH) und der Gesamtsituation der Patientin/des Patienten (SF-36; FFbH) [73, 99, 100]. Der Clayton-Score erlaubt über die Betrachtung der Situation am Handgelenk durch die Berücksichtigung der Extensoren auch die Beurteilung der Strecksehnen. Somit ist der Score auch bis zu einem gewissen Ausmaß auf die Fingerfunktion anwendbar. Die verschiedenen Griffpositionen und die Beurteilung der Griffkraft wird über die Scores zur ADL und des FFbH erfasst, wenngleich diese Scores über die reine Erfassung der Handfunktion hinausgehen und den Schwerpunkt auf Eigenversorgung und Mobilität legen. Der Schwerpunkt des verbreiteten DASH-Scores liegt ebenfalls bei der Erfassung funktioneller Einschränkungen, differenziert zusätzlich neben den motorischen Entitäten die sensiblen Einschränkungen (Schmerz, Dysästhesien, Psychosoziale Fragen). Der Score beschränkt sich dabei primär auf die betroffene Extremität. Als amerikanischer Score erfragt er, wie der SF-36, mögliche Handicaps auch in Verbindung mit dem sexuellen Erleben der Betroffenen. Hier zeigen Publikationen von 2013 und neuer einen eindeutigen Zusammenhang zwischen Sexualität und Gesundheit der Patientinnen/Patienten [101, 102]. Darüber hinaus erlauben Ergebnisse im SF-36 den Vergleich mit Gesundheitssurveys [103, 104].

1.3.2 Patientenzufriedenheit und Versorgungsforschung

Eine adäquate Therapie mit sehr guten Ergebnissen in den zugehörigen Scores generiert nicht automatisch eine hohe Patientenzufriedenheit. Diese ist von vielen Faktoren abhängig und beinhaltet auch und vor allem soft skills, die durch die Patientinnen/Patienten primär emotional beurteilt werden.

So gelten Freundlichkeit und erlebbare Qualifikation der Ärztin/des Arztes und des Teams als eine der Hauptkriterien für die Zufriedenheit der Patientin/des Patienten. Fast ebenso wichtig ist Patientinnen/Patienten ein zeitnaher Termin und die Länge der Wartezeit. Erst danach kommen verständliche Informationen über die Notwendigkeit und die einzelnen Behandlungsschritte. Somit kann die Zufriedenheit der Patientin/des Patienten in verschiedene Teile aufgegliedert werden, die mit dem eigentlichen Grund der Vorstellung und der Versorgung indirekt und direkt zu tun haben. Retrospektiv können diese Punkte durch die Patientinnen/Patienten revidiert und alternativ bewertet werden.

Die Sozialforschung versteht unter Patientenzufriedenheit das Delta zwischen erwarteter und wahrgenommener Qualität im Rahmen der Versorgung durch den Patienten [105]. Es stellt sich somit die Frage, welche spezifische Qualität bei alterskorrelierten Gelenkerkrankungen an der Hand (und nicht nur hier) seitens des Patienten erwartet werden kann und erwartet wird. Das Institut für Qualitätssicherung und Transparenz im Gesundheitswesen (IQTIG) evaluiert derzeit aus Sicht der Patientinnen und Patienten Faktoren, die zu einer qualitativ hochwertigen Versorgung gehören. Erstaunlicherweise steht der Faktor „Zufriedenheit“ dabei nicht im Vordergrund [106]. Zu vielfältig scheinen hier die Möglichkeiten und Erwartungen auf beiden Seiten zu sein. Um Patientinnen/Patienten gleichwohl Hilfestellung zu geben, werden in vielen Bereichen Patientinnen-/Patientenvertreter in Entwicklungsprozesse eingebunden. So waren bei der Einführung des Disease-Management-Programms (DMP) Rheumatoide Arthritis des Gemeinsamen Bundesausschlusses (G-BA) von Beginn an Patientinnen-/Patientenvertreter der verschiedenen Selbsthilfeorganisationen, z. B. der Deutschen Rheumaliga, beteiligt [107]. Der allseits geforderte „mündige Patient“ kann jedoch schnell mit der Entscheidungsfindung überfordert sein, ein Zurück zum „Halbgott in Weiß“ ist dennoch ebenso allseits nicht mehr wünschenswert.

2 Frage und Zielsetzung der Arbeit

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Initiierung eines Therapiealgorithmus, der gleichermaßen den Aspekt des funktionellen Outcome der betroffenen Hand und die langfristige Patientinnen-/Patientenzufriedenheit berücksichtigt. Bis heute werden die klinischen und radiologischen Befunde und die zeitliche Entwicklung einer alterskorrelierten „natürlichen“ Veränderung meistens nachrangig berücksichtigt. Die Ausrichtung der Therapie an den Bedürfnissen und der Zufriedenheit der Patientin/des Patienten beinhaltet zum einen eine standardisierte Erfassung der Befunde und des Befindens der behandlungsbedürftigen Person präoperativ und verpflichtende postoperative Kontrollen. Dies ermöglicht gleichzeitig eine Weiterentwicklung der derzeitigen Versorgungsmöglichkeiten für das betroffene Gelenk. Die operativen Therapien im Bereich der orthopädisch-rheumatologischen Handchirurgie basieren zumeist auf Konzepten und Erfahrungen der Vor-Biologika-Ära. Die operativen Therapiestrategien wurden teilweise nur zögerlich an die sich verändernden Gegebenheiten und Bedürfnisse von Patientin/Patient und Gesellschaft angepasst. Nicht zuletzt, weil die Übertragung operativer Lösungen von arthrotischen Gelenken auf inflammatorisch veränderte Gewebe nicht eins zu eins möglich und sinnvoll war und ist.

Diese Arbeit stellt die Frage, was Ärztin/Arzt und Patientin/Patient als Ergebnis erwarten und was sie erwarten können. Welche Voraussetzungen müssen in puncto Ausgangsbefund, intraoperativer Situation, operatives Verfahren, Motivation und Anspruch hierfür vorliegen? In welchem Zeitraum kann das Ergebnis erwartet werden? Wie definiert sich die Güte des Ergebnisses? Kann ein Score-System die Patientinnen-/Patientenzufriedenheit erfassen und mit den allgemeinen und gelenkspezifischen Scores korreliert werden? Welche Konsequenzen in Bezug auf die Versorgung ergeben sich hieraus?

2.1 Zielfragen der Teilprojekte

- I. Welche Alternative bietet die Radiokarpale Fusion und Resektions-Interpositions-Arthroplastik der Mittelhand bei stark zerstörten rheumatischen Handgelenken gegenüber der Radio-lunären Fusion, der Arthrodeese oder der endoprothetischen Versorgung?
- II. Wann sind Implantat-assoziierte Probleme im Langzeitverlauf der modularen physiologischen Handgelenksprothese (MPW®) bei Patientinnen/Patienten mit entzündlichen Erkrankungen zu erwarten?
- III. Welche Verfahren zeigen bei periprothetischer Gelenkinfektion nach Fingergelenks-Arthroplastik gute Ergebnisse für Patientinnen/Patienten in Bezug auf die Greiffunktion der Hand und die Beeinträchtigung im Alltag?
- IV. Wann und an welchen Sehnen sind Strecksehnenrupturen bei rheumatischen Handgelenken zu erwarten und wie können diese therapiert werden?
- V. Wird die Funktion der Finger, insbesondere der Sehnen, durch Versorgung von Hand- und Fingerfrakturen mit dem Handplattensystem der Firma Stryker irritiert?

2.2 Zielaussagen der Teilprojekte

- I. Das Einordnen der Handgelenks-RIAP als Alternative zur mobilen und versteifenden Versorgung des Handgelenkes im Langzeitverlauf zu bewerten und zu analysieren.
- II. Die zeitliche Einordnung von (erforderlichen) Revisionsoperationen am Handgelenk bei endoprothetischer Versorgung zu bewerten.
- III. Die Einordnung der verschiedenen Operationen bei periprothetischen Infekten der Fingergelenke anhand der Patientenzufriedenheit und des funktionellen Outcomes vorzunehmen.

- IV. Aussagen zu möglichen Strecksehnenrupturen als Begleitpathologie bei inflammatorischen Handgelenkseingriffen zu tätigen. Was muss auch ohne eindeutigen klinischen Befund präoperativ geklärt werden?
- V. Aussagen zur Beeinträchtigung des Weichteilgewebes durch die operative Maßnahme der Plattenversorgung, zusätzlich zum Ausmaß der Weichteilverletzung in Bezug auf die funktionelle, sichere Mobilisierung zu generieren.

3 Originalarbeiten zum Thema

3.1 Radiokarpale Fusion und Resektions-Interpositions-Arthroplastik der Mittelhand: Langzeitergebnisse bei stark zerstörten rheumatischen Handgelenken

Ziel dieser retrospektiven Studie war es, die distale Resektions-Interpositions-Arthroplastik des Handgelenks als Mittel zur Wiederherstellung der Mobilität sowie zur Wiederherstellung der Stabilität bei stark zerstörten Handgelenken zu evaluieren.

Vierunddreißig Handgelenke von 28 Patientinnen/Patienten mit rheumatoider Arthritis wurden eingeschlossen. Die mittlere Nachbeobachtungszeit betrug 9 Jahre nach operativer Behandlung mit klinischer und radiologischer Untersuchung. Die Ergebnisse wurden anhand einer Modifikation von Claytons Scoring-System sowie eines funktionellen Fragebogens erfasst.

71% der Patientinnen/Patienten waren mit Schmerzen, Funktion und Aktivitäten des täglichen Lebens zufrieden. Bessere Ergebnisse wurden von Patientinnen/Patienten mit einem jungen Alter, einem frühen chirurgischen Eingriff, einer kürzeren Dauer der Erkrankung und einer geringeren Beteiligung anderer Gelenke berichtet.

Die Ergebnisse der radiokarpalen Arthrodesen waren vergleichbar mit denen der Synovialektomie oder Arthrodesen des Handgelenks. Die Ergebnisse nach einer totalen Handgelenksarthroplastik variierten wahrscheinlich aufgrund unterschiedlicher Patientengruppen, Implantattypen und der Entwicklung von Prothesendesigns und waren mit der vorliegenden Studie nicht vergleichbar. Die höchsten Scores wurden bei Patienten mit früher Synovialektomie und Versteifung (TWA) gesehen.

RESEARCH ARTICLE

Open Access



Radiocarpal fusion and midcarpal resection interposition arthroplasty: long-term results in severely destroyed rheumatoid wrists

Christoph Biehl^{1*} , Thomas Braun¹, Ulrich Thormann¹, Amir Oda², Gabor Szalay¹ and Stefan Rehart³

Abstract

Background: The aim of this retrospective study is to evaluate distal resection interposition arthroplasty of the wrist as a tool to restore mobility as well as to restore stability in severely destroyed wrist joints.

Methods: Thirty-four wrists in 28 rheumatoid arthritis patients were included. The mean follow-up time was 9 years after surgical treatment with clinical and radiological examination. The results were accessed based on a modification of Clayton's scoring system as well as a functional questionnaire.

Results: 71% patients were satisfied with pain, function and activities of daily life. Better results were reported by patients with a young age, early surgical intervention, a shorter duration of the disease, and lesser involvement of other joints.

Conclusions: The results for radiocarpal arthrodesis were comparable to those of synovectomy or arthrodesis of the wrist. The results after total wrist joint arthroplasty varies probably as the result of different patient groups, implant types and evolution of prosthetic designs, and are not comparable with the present study.

Keywords: Rheumatoid arthritis, Partial wrist arthrodesis, Wrist fusion, Rheumatoid wrist, Functional outcome

Background

Patients with progressive rheumatoid arthritis are severely handicapped in many ways. In more than 90% of patients, the wrist is affected. Any wrist involvement can lead to excessive pain, malfunction and conceivably to a progression of deformation of the fingers, which are usually already compromised in patients with rheumatoid arthritis [1–3]. The wrist is the key joint for an overall treatment strategy for hand and finger deformities and for loss of function [4, 5].

The role of surgical treatment remains a subject of controversy in the clinical management of rheumatoid patients associated with advanced hand dysfunction and destruction (Larsen stage 3–5). In the literature, especially in Anglo-American papers, total wrist arthroplasty (TWA) and total wrist fusion (TWF) appear to be the only solution for rheumatoid wrists, ignoring detailed

stage-adapted therapies such as those of the Scandinavian, German and Japanese tradition of rheumatoid surgeons [6–8]. If surgery is indicated in Larsen-stage III–IV, a proximal wrist fusion will ensure stability. In addition, mobilization of the distal row protects limited mobility of the wrist [9].

Correct indication and good clinical results will lead to an alternative to complete arthrodesis or wrist prosthesis. In cases of severely destroyed proximal and distal rows of the carpus, resection interposition arthroplasty (RIAP) provides stability based on radiocarpal fusion, preserving an acceptable range of motion provided by the resection interposition arthroplasty of the midcarpal joint; this, in summary, is advantageous for daily activities [10–12].

In 1981, Tillmann and Thabe modified the proximal resection arthroplasty because of persistent instability to arthrodesis of the proximal row with interposition of the dorsal capsule into the distal joint line for severely destroyed wrists (Larsen IV and V) [13, 14]. The purpose of this retrospective study was to evaluate the clinical and radiological outcomes of 34 distal resection interposition arthroplasty.

* Correspondence: christoph.biehl@chiru.med.uni-giessen.de

¹Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie - Operative Notaufnahme, UKGM Gießen, Rudolf-Buchheim-Str. 7, 35392 Gießen, Germany

Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s). 2018 **Open Access** This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated.

Methods

Indication

In cases of midcarpal joint involvement, according to the progressive stages of Larsen, Dale and Eek (LDE)-classification, total wrist fusion (TWF) was the most common treatment in severely destroyed wrists for more than 70% (Figs. 1 and 2).

At times the decision as to the best surgical treatment was difficult, as in cases of severely destroyed wrist joints in rheumatoid arthritis patients. On the one hand, wrist arthrodesis causes a total loss of flexion and extension, causing difficulties for personal hygiene, the most frequent complaint following arthrodesis. On the other hand, endoprosthetic reconstruction carries the risk of loosening and infection [15]. Neither arthrodesis nor endoprosthetic treatment are completely satisfactory and safe solutions. In an effort to combine the best features of both techniques, radiocarpal fusion can be performed in combination with resection interposition arthroplasty between the lunate and capitate with unacceptable destruction of the capitate head [3, 16].

There are a number of prerequisites for distal resection-interposition arthroplasty (RIAP) of the wrist joint. The opportunity for this operation depends on destruction-type II or III according to Simmen/Huber, the

possibility for soft tissue balancing (tendon transfer), a nearly intact carpal bone height (> 80% of normal high) and an adequate outpatient supply [12, 17]. Four-corner-fusion was the former treatment option, as it was preferred in osteoarthritis patients, but with poor results in rheumatoid arthritic wrists. These were caused by fundamentally different pathologies and primary false transfers from these cases with severe problems of wrist balancing in rheumatoid arthritis patients.

Surgical procedure [3, 5, 18]

The operation use a dorsal approach. After synovectomy of the extensor tendons denervation of the posterior interosseous nerve is performed, and in cases of ulnar instability, an excision of the distal 2 cm of the ulna is performed.

The arthrodesis of the proximal row (radiolunate and radioscapoid) is achieved using staples (Fig. 3) [5, 14], cannulated screws or angular stable plates. Subsequently, approximately 5 mm of the destroyed articular surface of capitate and hamate is resected to rebuild the articular line. A flap of the dorsal capsule or extensor retinaculum is prepared and fixed by interpositioning in the proximal row [5, 18].

Ligament balancing is easier this way for destructive rheumatoid wrists than for carpal arthrodesis, as in four-corner-fusion.

The extensor carpi ulnaris tendon is captured by Swan-son's slope (special prepared retinacula flap) on top of the dorsal ulna [2] or by distal ulna stabilization. Postoperative a special Vainio finger bandage and a volar plaster slab for the wrist should be worn for 6 nights [19]. For more detailed information and figures see the supplementary file "operation technique" (Additional file 1).

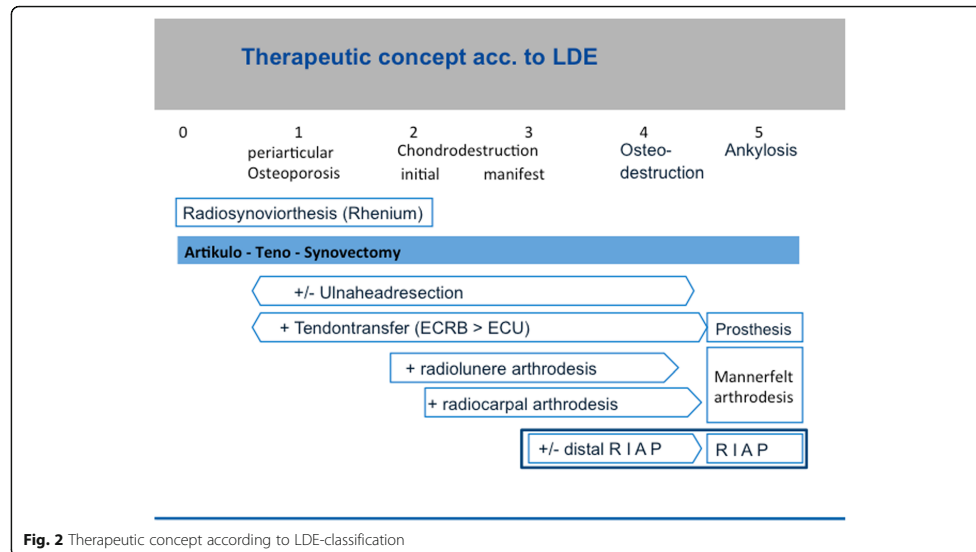
Assessment of the method

Between 1989 and 2002, 28 patients with 34 wrists were treated with distal resection interposition arthroplasty of the wrist at the department of rheumaorthopedic surgery. The average age was 60.6 years. Of these, 78.6% were female, and the dominant hand was affected in 50%. The duration of rheumatoid arthritis ranged from 9 to 54 years with a mean of 18.2 years. The time of follow-up after surgery ranged from 2 to 25 years with an average follow-up of 9.3 years. The interval between the onset of the disease and the operation was an average of approximately 9.1 years.

All patients were examined according to a special protocol. Basic information was recorded, including age, gender, affected side, duration of the disease and date of operation. They were further asked about pain, swelling and certain daily activities. The daily activities were evaluated according to a specially designed questionnaire (modified PROMs) that identified difficulties with common daily activities that could be affected by rheumatoid arthritis (functional questionnaire score, Additional file 2). The score is equal to the



Fig. 1 Destructive proximal and distal carpal row in rheumatoid wrist



Quick-DASH-Score, using the same questions about daily life (Using a knife and fork for eating, hygiene, hair styling, using scissors, elevation of a hat, picking up coins, writing, lying down over the hand, using the keys and opening a bottle). A careful clinical and radiological examination was done to evaluate the degree of joint destruction according to the Larsen-Dale-Eek [20] and Simmen and Huber [17] classifications. The carpal height index and ulnar translation index [21] were also measured.

The results were assessed clinically and radiologically. Radiological examination was routinely performed 6 weeks postoperative. In cases of prolonged bone healing, there was another examination 4 weeks later. In addition, there was another radiological examination if patients reported new or prolonged problems at the time of clinical examination. The clinical assessment was based on a modified Clayton score system [22], as well as a functional questionnaire score, FFbH (4-point Likert-Scale with 30 points for 10 questions) [23]. A score of 30 was the best, and zero was the worst in terms of assessment of patient satisfaction. The clinical score according to the modified 100-point Clayton score was either excellent (90–100 points), good (70–89 points), fair (60–69 points) or poor (< 60 points). At the time of examination of rheumatoid patients in the mid-80s, the DASH-score and other comparable scores had not yet been established. In other studies from this department, we showed that the results of DASH-score and functional questionnaires for activities of daily living were statistically comparable [24].

The statistical analysis of the final results in terms of scores and age, as well as duration from the beginning of the disease to operation were assessed with a two-way ANOVA test and a Mann-Whitney-U-test for non-parametric samples. *P*-values of post hoc tests were adjusted for multiple comparisons. The level of significance was set at < 0.05 for all analyses.

Results

According to the Clayton score, 10 wrists (29.4%) showed excellent results, 14 wrists (41.2%) were good, 4 wrists (11.8%) were fair, and 6 wrists (17.6%) were poor (Table 1a). The Clayton score includes the parameters balance, mobility, pain reduction and extensor-strength. The fair results were compared to the preoperative data but were devaluated due to handicaps of the other joints. If we combined the categories excellent and good as satisfactory results and the fair plus poor categories as unsatisfactory results, then satisfactory results were found in 24 wrists (70.6%; $p = 0.00$), and unsatisfactory results were found in 10 wrists (29.4%, Additional file 3, Table 1a). The relationship between patient satisfaction and results at follow-up according to Clayton score were statistically significant (Additional file 3, Table 1b). Comparing the Clayton score with the functional questionnaire score, the correlation was also significant.

The pain details decreases from preoperative 6.3 pts. at the visual analog scale (V A S) to 2.6 pts. at time of follow-up. Most patients changed at time of follow-up from severe pain to mild or no pain. There were differences seen in pain intensity between satisfied patient

and these who were not satisfied with the results of the operation. These differences were statistically significant ($p = 0.058$).

Young patients as well as females showed better results, but with no statistical significance. The final results were inversely proportional to the age of the patients. Satisfactory results in young patients (mean age 58 years) were seen in 19 wrists against 15 wrists in older patients (mean age 63.7 years) ($p = 0.227$). From these 24 satisfactory wrists 19 were female wrists (79.2%) and 5 male wrists (20.8%). Unsatisfactory results were measured 6 times in female (60%) and 4 times in male wrists (40%) ($p = 0.248$).

The results were clearer with shorter duration of the disease and with shorter duration between the beginning of the disease and the operation (Additional file 4). This correlation was significant ($p = 0.049$) (Additional file 4). Furthermore, a statistically significant correlation was seen between the time of operation and the final result ($p = 0.026$). In all tests, the correlation was negative and wide-spread with a Spearman-correlation coefficient of -0.5 .

The operated wrists showed good range of motion especially among patients with satisfactory results (Additional file 3, Table 1c). A slight loss of motion was seen at time of follow-up, even more in patient with unsatisfactory results.

Regarding grip power after operation, we observed better results in 22 wrists, 5 wrists showed no power difference, and 7 wrists had diminished power after the operation. The correlation between wrist power and the final results was statistically significant at follow-up ($p = 0.028$) (Additional file 4). Concurrent problems in shoulder, elbow and fingers negatively affected the power of the wrist joint in these patients. In addition the grip strength was dissected in pinch, weight, extension strength and grip average tests. Except the key pinch all other results showed a positive correlation to the satisfactory subgroup (Additional file 4: Table S7ff).

As part of the score evaluation, patients were examined for shoulder, elbow and finger function. They were asked about pain and problems in daily life and were clinically examined. Patients with mild or no concurrent shoulder, elbow or finger problems showed better final wrist scores than patients with moderate or severe problems. Additionally the subjective results of the upper extremity joints were correlated to different results of the wrists. Next to Clayton-score the relation to grip power were pointed out (Additional file 4: Table S13ff.). Most problems were reported in finger joints in dissatisfied operations (70% severe or poor results with unsatisfactory wrists; $p = 0.084$), followed by shoulder problems (30%; $p = 0.961$) and at last elbow involvement (24%; $p = 0.566$). However, this difference was not statistically significant.

Table 1 a) overall results operated wrists; b) relation between patient satisfaction and functional questionnaire score [27]; c) range of motion and final results at follow-up

	Satisfactory	Unsatisfactory
a) Wrist (Grade)	24 (70.59%)	10 (29.41%)
Excellent	10 (29.4%)	
Good	14 (41.18%)	
Fair		4 (11.76%)
Poor		6 (17.65%)
b) Daily Score		
Minimum – Mean – Maximum	2.00–18.25 – 29.00	0.00–8.30–15.00
Std. Deviation	8.79353	4.73873
t	5.291	
p	.002	
c) Range of motion		
Flexion/Extension	15.97–0 – 22.5	11–0 – 1.6
Ab-/Adduction	7.2–0 – 13	4.5–0 – 8.7
Pro-/Supination	73.75–0 – 47.9	63–0 – 43.5

Radiographic analysis

Hand function, including gripping force, depends primarily on the reconstruction of the carpal height. Only extensive reconstruction permits the physiological bias of the subsequent joints and tendons of the long finger, preventing further destruction or deformity of the carpus. The CHI (carpal height index, standard value: 0.54 ± 0.03) was used here as a measuring method. In our cohort, this index was 0.4 after reconstruction and bone healing and statistically not significant ($p = 0.689$). This is slightly lower than in that of comparable studies [15: CHI: 0.48]. However, patients were treated surgically with a more advanced LDE stage in our study compared with other studies (LDE IV-V vs. III-IV). This difference was due to the preparation by fusion of the proximal row, and the destruction of the midcarpal row.

The radiological results showed a fusion rate of 94% (32/34 wrists), equal to that of other studies [9, 25].

Two wrists required revision with secondary total arthrodesis after 2 years.

Discussion

For the operative management of advanced rheumatoid hand destruction, total wrist arthrodesis is the most popular operation for most hand surgeons. Knowledge regarding the rheumatoid wrist, the long-term complex changes in these chronic diseases and the various therapies for these wrists is not widespread [1, 10]. For destroyed wrists of Larsen-stage III to IV, there are some alternative options, including proximal fusion with distal resection interposition arthroplasty. The advantage for total wrist fusion (TWF) is its simplicity, its general predictability and its predictable outcome. Moreover, arthroplasty has a high rate of aseptic loosening and other major complications such as dislocation or progressive instability [15, 26, 27]. For mobility and pain-free activities of daily living, arthroplasty is a highly rewarding procedure in certain conditions. However, operation numbers have decreased in recent years [14].

Most daily activities require combined movement of the wrist at the radiodorsal level, as well as in the ulnopalmar direction [28, 29]. Many kinematic studies have shown that the midcarpal joint is essential for common daily activities [28, 30]. Personal hygiene requires an active extension-flexion arc of 25 degrees, but other activities including eating, drinking, using the telephone or even reading a book require an active range of motion of approximately 40 degrees [16, 28]. Therefore, surgeons need to try to preserve midcarpal function as much as possible [31]. An almost adequate range of motion can be achieved after an appropriately aligned radiolunate or radioscapolunate fusion. Many patients, especially women, prefer the opportunity to have stable joints and acceptable motion, even if it is less [32]. This is because many patients have less pain and become accustomed to

the restriction [33]. Tillmann and Thabe also found that natural fusion of carpal joints to an os carpal preserved moderate mobility in combination with less pain [13].

Long-term results of more than 10 years after radiolunate arthrodesis showed sufficient residual mobility [34]. In mutilated wrists, midcarpal instability will persist with collapse of the carpus and lower CHI [30]. These joints could be transferred from an unstable to a stable secondary osteoarthritis form by this procedure [25, 35, 36]. Taleisnik reported that partial arthrodesis/fusion in patients with rheumatoid arthritis was an excellent procedure (up to Larsen III and mild IV) whether performed alone or in association with distal arthroplasty [3]. In our series, the combination of fusion of the proximal row with distal resection interposition arthroplasty offered required stability combined with a sufficient range of motion for coping with most daily activities.

Previous studies by various authors showed that radiocarpal arthrodesis within the first 5 years allowed patients painless movement with a stable proximal joint [3]. In these situations, similar results to those with the isolated proximal arthrodesis could be achieved [3, 37].

In addition to maintaining mobility in the wrist, the achievement of everyday pain relief is of crucial importance. Overall, most studies showed high numbers of pain free wrists (> 85%) with restrictions in joint-projected pain originating mostly from additional affected joints such as elbows or shoulders [34, 36].

Most follow-up studies of TWA report an average mobility of 40° to 50°, comparable with our results [25, 38]. Study results in posttraumatic arthritis were similar to results in rheumatoid patients [39, 40].

Persistent swelling is the main indicator of the activity of rheumatoid arthritis. Synovectomy has a direct impact on the postoperative result, as data have shown [34]. Patients with persistent swelling showed power loss and poor results that were associated with the progression of the rheumatoid disease and not with the operation itself.

Radiocarpal rather than midcarpal fusion is therefore recommended to preserve midcarpal function if the cartilage in the midcarpal joint is intact.

Murphy et al. reported a flexion-extension arc of approximately 76 degrees, a radio-ulnar deviation of 28 degrees and pronation-supination of 168 degrees after wrist arthroplasty, more than we reported in our series after RIAP [27]. Nevertheless, we believe that the stability from radiocarpal arthrodesis combined with a sufficient range of motion from distal RIAP in rheumatoid wrists offers the requirements necessary for the demands of daily activity.

Functional analysis of wrists with arthrodesis of the proximal row showed an oblique plane motion [29]. In addition, the wrist moved almost completely along either the sagittal or coronal plane, as long as forearm function

was intact [21]. In affected rheumatoid wrists, the range of motion remained in the same plane but was smaller than in normal wrists.

Grip power

Stable and pain-free function of the wrist is a prerequisite for postoperatively increasing grip power. In the literature, better grip power, or at least 75% of the normal power in comparison with the opposite side, has been reported [36, 37].

In our series, the postoperative grip power in comparison with the preoperative status increased subjectively: 64% of the wrists had better power postoperatively, and only 20.5% had worse power ($p = 0.016$).

These results were influenced by the progressive destructive nature of rheumatoid arthritis, especially in the fingers and extensor tendons after long-standing rheumatoid disease. In our series, the duration prior to operation ranged from 9 to 54 years. Patients with no or mild finger problems showed significantly better grip power than patients with moderate or severe hand and finger problems.

In our study, we showed satisfactory results in more than 70% of patients after radiocarpal arthrodesis and distal RIAP of the midcarpal joint. In our cases with additional involvement of the midcarpal joint, distal RIAP restored the function of the joint and showed results close to those of an intact midcarpal joint. The mean value of the carpal height index was 0.4, with no significant correlation to the final results according to Clayton score. The same applied for the ulnar translation index that had a mean of 0.28 and no significant correlation to the final Clayton score.

In comparison with other studies (also from our department), patient satisfaction showed comparable results to those of patients undergoing synovectomy or total wrist fusion (TWF) [36, 39]. Patient satisfaction with the operation and the outcome depended on finger and grip function [34]. The highest scores were seen in patients with early synovectomy and TWF.

Conclusion

The distal RIAP [5, 18] is a good alternative treatment for rheumatoid wrists with radiocarpal as well as midcarpal involvement [19, 37], as it provides the stability and satisfactory range of motion that is necessary for daily activities [22]. Revision and conversion to total arthrodesis in cases of unsatisfactory results is a salvage procedure without crucial loss of carpal height. The results of surgical intervention were better in early radiocarpal destructions and we suggest a more active approach than “wait and see” in rheumatic radiocarpal and midcarpal involvement.

Additional files

- Additional file 1:** Surgical procedure; operation technique with pictures of intraoperative steps and postoperative treatment (4 pictures). (ZIP 694 kb)
- Additional file 2:** ADL; Activity of Daily Life-score as a functional questionnaire score. (DOCX 62 kb)
- Additional file 3:** Clayton; Clayton-100point-score for wrist function. (DOC 56 kb)
- Additional file 4:** Additional statistic results; relation between different issues and results with statistical analysis. (DOC 289 kb)

Abbreviations

APW: Anatomical physiological wrist-prosthesis; ATS: Articulo-teno-synovectomy; CHI: Carpal-High-index; ECU: Extensor carpi ulnaris tendon; FFBH: Funktions-Fragebogen Hannover; LDE - Classification: Larsen, Dale and Eek - classification; MPW: Modular physiological wrist-prosthesis; PROMs: Patient reported outcome measures; RIAP: Resection-interposition-arthroplasty

Acknowledgements

We thank Christian Heiss, Prof., Chairman of the Clinic for trauma-, hand- and reconstructive surgery, Justus-Liebig-University Giessen for comments that greatly improved the manuscript.

We would like to thank Prof. Thabe for the opportunity to give his experience in the medical care of rheumatoid patients to us. He is and remains a great teacher for us.

Availability of data and materials

The datasets used and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Authors' contributions

CB and AO designed the retrospective cohort study and were responsible for data collection. CB, AO and SR were responsible for the patient reported outcomes component of the study. CB, AO and SR performed the statistical analysis and drafted the manuscript. UT and TB corrected the manuscript to improve the quality of the written English. GS made substantial contributions to analysis and interpretation of data. All authors read and approved the final manuscript.

Ethics approval and consent to participate

All patients received information about the study and gave written consent. The retrospective study design and all investigation protocols were approved by the hospital data protection officer according to National Institutes of Health guidelines. Consent from the participants was not applicable. According to the legal bases of the Ethics Committee, State Chamber of Medicine in Mainz, Rhineland-Palatinate (chairman Prof. Dr. med. Dipl. Ing. Stephan Letzel; §5a, professional code), no approval was necessary.

Consent for publication

Not applicable.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Author details

¹Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie - Operative Notaufnahme, UKGM Giessen, Rudolf-Buchheim-Str. 7, 35392 Giessen, Germany. ²Klinik für orthopädische Chirurgie der unteren Extremitäten und Endoprothetik, Krankenhaus Rummelsberg GmbH, Rummelsberg 71, 90592, Schwarzenbruck, Germany. ³Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, AGAPLESION MARKUS KRANKENHAUS, Chefarzt Prof. Dr. med. Stefan Rehart, Wilhelm-Epstein-Straße 4, D-60431 Frankfurt am Main, Germany.

Received: 9 June 2017 Accepted: 5 July 2018

Published online: 14 August 2018

References

- Dinges H, Furst M, Ruther H, Schill S. Operative differential therapy of rheumatic wrists. *Z Rheumatol*. 2007;66:388–94.
- Swanson AB, de Groot Swanson G, Maupin BK. Flexible implant arthroplasty of the radiocarpal joint. Surgical technique and long-term study. *Clin Orthop Relat Res*. 1984;(187):94–106.
- Taleisnik J. Combined radiocarpal arthrodesis and midcarpal (lunocapitate) arthroplasty for treatment of rheumatoid arthritis of the wrist. *J Hand Surg*. 1987;12:1–8.
- Malahias M, Gardner H, Hindocha S, Juma A, Khan W. The future of rheumatoid arthritis and hand surgery - combining evolutionary pharmacology and surgical technique. *Open Orthopaedics J*. 2012;6(1):88–94.
- Thabe H. Das Handgelenk. In: Thabe H and Brackertz D. (eds.) *Praktische Rheumaorthopädie*, Chapman and Hall, 1997.
- Bhamra J, Bhamra K, Hindocha S, Khan W. The role of wrist fusion and wrist arthroplasty in rheumatoid arthritis. *Curr Rheumatol Rev*. 2017;13(1):23–8.
- Kane PM, Stull JD, Culp RW. Concomitant Total wrist and Total elbow arthroplasty in a rheumatoid patient. *J Wrist Surg*. 2016;5(2):137–42.
- Wei DH, Feldon P. Total wrist arthrodesis: indications and clinical outcomes. *J Am Acad Orthop Surg*. 2017;25(1):3–11.
- Meier R, Lanz U, Krimmer H. Partial fusion of the wrist - an alternative procedure to the total wrist arthrodesis. *Unfallchirurg*. 2002;105:762–74.
- Clayton ML, Ferlic DA et al. Arthroplasty of the wrist. In: Simmen BR, Hagena, F-W (eds). *The wrist in rheumatoid arthritis*. 1st edition, Basel, Karger 1992, 17: 186–197.
- Ghattas L, Mascella F, Pomponio G. Hand surgery in rheumatoid arthritis: state of the art and suggestions for research. *Rheumatology (Oxford)*. 2005;44:834–45.
- Raven EE, van den Bekerom MPJ, Beumer A, van Dijk CN. Radiocarpal and Midcarpal instability in rheumatoid patients: a systematic review. *Open Orthopaedics J*. 2015;9:246–54.
- Tillmann K, Thabe H. Technique and results of resection and interposition arthroplasty of the wrist in rheumatoid arthritis. *Reconstr Surg Traumatol*. 1981;18:84–91.
- Gordon LH, King D. Partial wrist arthrodesis for old un-united fractures of the carpal navicular. *Am J Surg*. 1961;102:460–4.
- Harlingen D, Heesterbeek PJ, JdV M. High rate of complications and radiographic loosening of the biaxial total wrist arthroplasty in rheumatoid arthritis: 32 wrists followed for 6 (5–8) years. *Acta Orthop*. 2011;82(6):721–6.
- Brumfield RH, Champoux JA. A biomechanical study of normal functional wrist motion. *Clin Orthop Relat Res*. 1984;(187):23–5.
- Simmen BR, Huber H. The wrist joint in chronic polyarthritis—a new classification based on the type of destruction in relation to the natural course and the consequences for surgical therapy. *Handchir Mikrochir Plast Chir*. 1994;26:182–9.
- Thabe H. Endoprosthetic replacement of the rheumatoid wrist. *Z Rheumatol*. 2011;70:395–9.
- Carlsen BT, Shin AY. Wrist instability. *Scand J Surg*. 2008;97:324–32.
- Larsen A, Dale K, Eek M. Radiographic evaluation of rheumatoid arthritis and related conditions by standard reference films. *Acta Radiol Diagn*. 1977;18:481–91.
- Youme Y, McMurthy RY, Flatt AE, Gillespie TE. Kinematics of the wrist. I. An experimental study of radial-ulnar deviation and flexion-extension. *J Bone Joint Surg Am Vol*. 1978;60:423–31.
- Clayton ML. Surgery of the rheumatoid hand. *Clin Orthop*. 1964;36:47–59.
- Raspe H, Hagedorn U, Kohlmann T, Matussek S. Funktionsfragebogen ffh. Ein Instrument zur Funktionsdiagnostik bei polyartikulären Erkrankungen. In: Sigrist J (Hrsg) *wohnortnahe Betreuung Rheumakranker*. In: *Rheumatologie DG (eds.) Qualitätssicherung in der Rheumatologie*. Stuttgart, New York, Steinkopff, 1990 / 2008.
- Biehl C, Stoll M, Jung J. The MPH-wrist prosthesis in rheumatoid patients, long-term results. London: EFORT; 2014.
- Kilgus M, Weishaupt D, Kunzi W, Meyer VE. Radioscapholunate fusion: long-term results. *Handchir Mikrochir Plast Chir*. 2003;35:317–22.
- Cavaliere CM, Chung KC. Total wrist arthroplasty and total wrist arthrodesis in rheumatoid arthritis: a decision analysis from the hand surgeons' perspective. *J Hand Surg*. 2008;33(10):1744–55.
- Murphy DM, Khoury JG, Imbriglia JE, Adams BD. Comparison of arthroplasty and arthrodesis for the rheumatoid wrist. *J Hand Surg Am*. 2003;28:570–6.
- Saffar P, Seumaan I. The study of the biomechanics of wrist movements in an oblique plane. In: Schwind FA, An KN, Cooney WP, Garcia-Elias M, editors. *Advances in the biomechanics of the hand and wrist*. New York: Plenum Press; 1994. p. 305–11.
- Werner FW, Green JK, Short WH, Masaoka S. Scaphoid and lunate motion during a wrist dart throw motion. *J Hand Surg Am*. 2004;29:418–22.
- Goto A, Moritomo H, Murase T, et al. In vivo three-dimensional wrist motion analysis using magnetic resonance imaging and volume-based registration. *J Orthop Res*. 2005;23:750–6.
- Moritomo H, Murase T, Goto A, Oka K, Sugamoto K, Yoshikawa H. Capitate-based kinematics of the midcarpal joint during wrist radioulnar deviation: an in vivo three-dimensional motion analysis. *J Hand Surg*. 2004;29:668–75.
- Melamed E, Marascalchi B, Hinds RM, Rizzo M, Capo JT. Trends in the utilization of Total wrist arthroplasty versus wrist fusion for treatment of advanced wrist arthritis. *J Wrist Surg*. 2016;5(3):211–6.
- Chung KC, Kotsis SV. Outcomes of hand surgery in the patient with rheumatoid arthritis. *Curr Opin Rheumatol*. 2010;22(3):336–41.
- Schill S, Lühr T, Thabe H. Radiolunate arthrodesis of the rheumatoid wrist - mid- and long-term results. *Z Rheumatol*. 2002;61:551–9.
- Borisch N, Haussmann P. The rheumatoid wrist. *Pathobiomechanics and therapy*. *Der Orthopäde*. 2002;31:1159–67.
- Ishikawa H, Murasawa A, Nakazono K. Long-term follow-up study of radiocarpal arthrodesis for the rheumatoid wrist. *J Hand Surg*. 2005;30:658–66.
- Honkanen PB, Makela S, Kontinen YT, Lehto MU. Radiocarpal arthrodesis in the treatment of the rheumatoid wrist. A prospective midterm follow-up. *J Hand Surg Eur Vol*. 2007;32:368–76.
- Kuhlmann JN, Fahrer M, Kapandji IA, Tubiana R. Stability of the normal wrist In: Tubiana R. *The hand*, Saunders, 1998.
- Boeckstyns ME, Herzberg G, Merser S. Favorable results after total wrist arthroplasty: 65 wrists in 60 patients followed for 5–9 years. *Acta Orthop*. 2013;84(4):415–9.
- Lautenbach M, Millrose M, Langner I, Eisenschenk A. Results of Mannerfelt wrist arthrodesis for rheumatoid arthritis in relation to the position of the fused wrist. *Int Orthop*. 2013;37(12):2409–13.

Ready to submit your research? Choose BMC and benefit from:

- fast, convenient online submission
- thorough peer review by experienced researchers in your field
- rapid publication on acceptance
- support for research data, including large and complex data types
- gold Open Access which fosters wider collaboration and increased citations
- maximum visibility for your research: over 100M website views per year

At BMC, research is always in progress.

Learn more biomedcentral.com/submissions

Radiocarpal Fusion and Midcarpal Resection Interposition Arthroplasty: long-term results in severely destroyed rheumatoid wrists

Surgical procedure :

The operation is performed under general anesthesia or regional block using a tourniquet. Place the patients arm in supine position. You can incise the skin S-shaped transversely or longitudinally on the dorsal side of the wrist. When exposing the wrist, you incise the dorsocarpal retinaculum from the ulnar side, prepare a flap for fixing of the extensor carpi ulnaris (ECU) tendon. Beginning over the distal ulna, enter the extensor compartment laterally along the underside of the retinaculum into each compartment. Place the retinaculum like an open book on the radial insertion. Free the extensor pollicis longus (EPL) tendon from the underside of the dorsocarpal ligament. Move it into a bed of healthy fat along the lateral side of the radius to prevent chafing at Lister's tubercle. Denervate the posterior interosseous nerve by resection of about 1 cm of the nerve. Synovectomy the extensor tendons and in cases of ulnar instability, resect 2 cm of the distal ulna. To avoid pain on pronation and supination, fixate the ulnar stump at the palmar capsule. Achieve the arthrodesis of the proximal row (radiolunate and radioscapoid) using staples [5, 14], cannulated screws or angular stable plates. Afterwards you have to resect about 5 mm of the destroyed articular surface of capitate and hamate to rebuild the articular line (fig. 1). Also prepare a flap of the dorsal capsule or extensor retinaculum and fix it by positioning in the proximal row (fig. 2) [5, 18].

Ligament balancing is easier this way for destructive rheumatoid wrists than for carpal arthrodesis, as in four-corner-fusion.

Capture the extensor carpi ulnaris tendon by fixating with "Swanson's slope" (special prepared retinacula flap) on top of the dorsal ulna [2] or by distal ulna stabilization. Postoperative a special Vainio finger bandage (fig. 3) and a volar plaster slab for the wrist should be worn for 6 nights [19].

Active isometric finger mobilization and passive careful movements in 30° of flexion and extension, as well as ergotherapy, support the operative result from the first day onward (fig. 4).

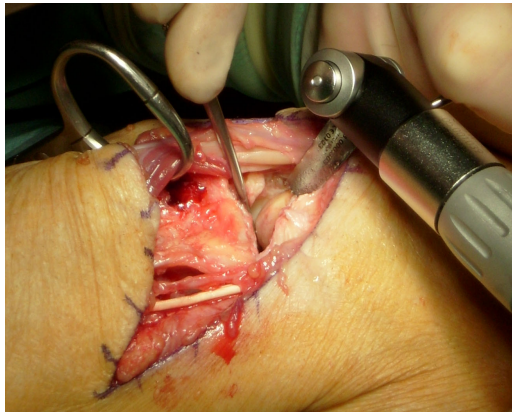


Fig. (1): Resecting the destroyed articular capitate and hamate of about 5 mm and rebuilding the articular line.

Radiocarpal Fusion and Midcarpal Resection Interposition Arthroplasty: long-term results in severely destroyed rheumatoid wrists

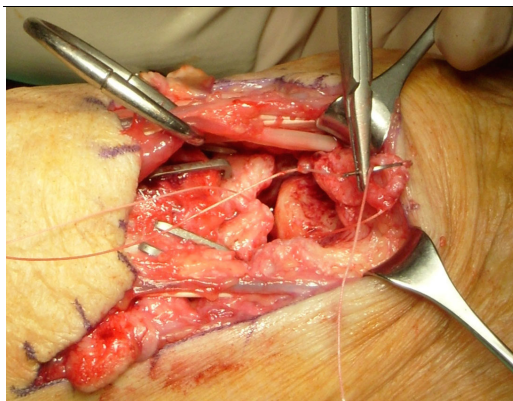


Fig. (2): Fixation of the dorsal capsule as an interposition graft in the proximal row.

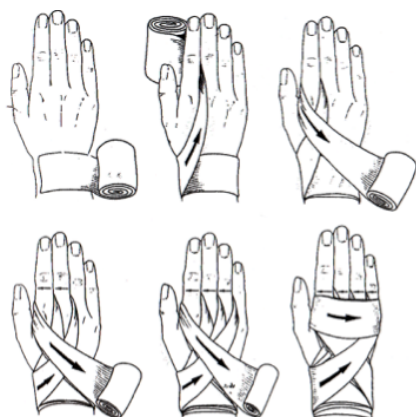


Fig. (3): Vainio bandage



Fig. (4): Postoperative X-ray of the wrist after proximal fusion and distal RIAP.

3.2 Langzeitergebnisse der modularen physiologischen Handgelenksprothese (MPW®) bei Patienten mit entzündlichen Erkrankungen

In fortgeschrittenen Stadien des Befalls der Handgelenke ist die totale Handgelenksarthroplastik (TWA) eine Alternative zur Arthrodesse. Die endoprothetische Versorgung hat in den letzten Jahren zugenommen, zum einen wegen verbesserter Prothesen und einer verbesserten Implantationstechnik, zum anderen wegen des Wunsches nach einer „beweglichen“ Lösung bei gestiegenen Ansprüchen seitens der Patientinnen/Patienten. In einer retrospektiven Studie wurden Patientinnen/Patienten mit der zweiten Generation der MPW®-Endoprothese hinsichtlich des klinischen und radiologischen Ergebnisses ausgewertet, Komplikationen wurden überprüft (Häufigkeit und Art) und die Konversion zur Handgelenksversteifung beurteilt. Die Funktionsmessungen der Patientinnen/Patienten umfassten den Mayo-Handgelenksscore, den patientenspezifischen Handgelenktest und damit den DASH-Score (Arm, Schulter und Hand). Vierunddreißig MPW®-Handgelenksprothesen wurden bei 32 Patientinnen/Patienten implantiert, darunter dreißig Erstimplantationen und vier Wechsel der Endoprothese in das Nachfolgemodel. Sechzehn Patientinnen/Patienten (18 Prothesen) unterzogen sich einer klinischen und radiologischen Nachuntersuchung. Die durchschnittliche Nachbeobachtungszeit betrug 8,5 Jahre (1 bis 16). Schlechte Ergebnisse der MPW-Prothese werden durch die Problematik des Ausgleichs mit Luxation und erhöhtem PE-Verschleiß verursacht. Zu den Rettungsmaßnahmen gehörten die Revision mit Teilkomponentenwechsel der Prothese oder die Fusion des Handgelenks. In den erfolgreichen Fällen betrug die Flexions- und Extensionsbewegung im Durchschnitt 40 Grad. Die Griffkraft lag bei 2,5 kg. Der gemeinsame DASH-Score betrug 79 Punkte, mit gleichzeitig eingeschränkten und problematischen Gelenken der oberen Extremität. Die MPW-Handgelenksprothese bot in über 80 % der Fälle eine gute Schmerzlinderung und funktionelle Bewegung. Die Problematik der Luxation und des erhöhten PE-Verschleißes verhindern bessere Langzeitergebnisse, ebenso wie die betroffenen Nachbargelenke. Eine Nachfolgestudie mit Versorgungen unter einer zeitgemäßen antirheumatischen Therapie mit Biologika lässt auf ansteigende Score-Ergebnisse schließen.



Article

Long-Term Results of the Modular Physiological Wrist Prosthesis (MPW[®]) in Patients with Inflammatory Diseases

Christoph Biehl ^{1,*} , Martin Stoll ², Martin Heinrich ¹ , Lotta Biehl ³, Jochen Jung ², Christian Heiss ¹ and Gabor Szalay ¹

- ¹ Department of Trauma, Hand and Reconstructive Surgery, University Hospital Giessen, 35392 Giessen, Germany; martin.heinrich@chiru.med.uni-giessen.de (M.H.); christian.heiss@chiru.med.uni-giessen.de (C.H.); szalay@praxis-sportklinik.de (G.S.)
² Orthopedic Department, Diakonie Hospital, 55543 Bad Kreuznach, Germany; pfalzklips@web.de (M.S.); Dr.med.jung@gmx.de (J.J.)
³ Medical Faculty Heidelberg, Heidelberg University, 69117 Heidelberg, Germany; lotta.biehl@gmx.de
 * Correspondence: Christoph.biehl@chiru.med.uni-giessen.de



Citation: Biehl, C.; Stoll, M.; Heinrich, M.; Biehl, L.; Jung, J.; Heiss, C.; Szalay, G. Long-Term Results of the Modular Physiological Wrist Prosthesis (MPW[®]) in Patients with Inflammatory Diseases. *Life* **2021**, *11*, 355. <https://doi.org/10.3390/life11040355>

Academic Editors: Nicola Smania and Nicola Valè

Received: 10 March 2021

Accepted: 14 April 2021

Published: 18 April 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: The wrist is among the predilection sites of over 90% of cases of rheumatoid arthritis (RA). In advanced cases, total wrist arthroplasty (TWA) is an alternative to arthrodesis. The aim of this study is to present the long-term results of the modular physiological wrist prosthesis (MPW[®]) and to match them in context with the results of a standard population survey. In a retrospective study with follow-up, patients with an MPW[®] endoprosthesis were evaluated concerning the clinical and radiological outcome, complications were reviewed (incidence and type), and conversion to wrist fusion was assessed. Patient function measurements included the Mayo wrist score, the patient-specific wrist test, and therefore the DASH score (arm, shoulder, and hand). Thirty-four MPW[®] wrist prostheses were implanted in 32 patients, including thirty primary implantations and four changes of the type of the endoprosthesis. Sixteen patients (18 prostheses) underwent clinical and radiological follow-up. The average follow-up time was 8.5 years (1 to 16). Poor results of the MPW prosthesis are caused by the issues of balancing with luxation and increased PE wear. Salvage procedures included revision of the TWA or fusion. In successful cases, the flexion and extension movement averaged 40 degrees. The grip force was around 2.5 kg. The common DASH score was 79 points, with limited and problematic joints of the upper extremity. The MPW wrist prosthesis offered good pain relief and functional movement in over 80% of cases. The issues of dislocation and increased PE wear prevent better long-term results, as do the joints affected. A follow-up study with fittings under a contemporary anti-rheumatic therapy with biologicals suggests increasing score results. Type of study/level of evidence: Case series, IV.

Keywords: wrist prosthesis; MPW[®]-prosthesis; rheumatoid arthritis; wrist function; DASH; SF-36; national public health survey

1. Introduction

More than 100 different diseases are counted among the diseases of the immune system, which are accompanied by inflammations of different body tissues and are mainly manifested in the articular and periarticular systems. In western nations, around 2–3% of the population suffers from these diseases. Rheumatoid arthritis (RA) is the largest group, accounting for about 0.8% of the population. If left untreated, RA not only threatens to increase mortality within the first few years compared to most types of cancer but the chronic, inflammatory, and destructive course of the disease, combined with pain, also severely restricts patients in their daily lives. RA often manifests itself primarily on the hands and wrists. Destruction of the wrists has been described in the progress of the disease in over 90% of patients. If surgical treatment is necessary, the preservation of residual mobility must be included in the planning, since arthrodesis of the wrist

significantly limits its function [1]. Preoperatively, the situation of the bone and the reconstructability of the carpal height, soft-tissue balance, kinematics, and joint pivot point must be carefully examined in advance [2,3]. Recent developments in wrist endoprosthesis offer movement-preserving treatment and at the same time improve the rate of complications [4]. For rheumatics, the precarious bone situation with early onset of osteoporosis and the associated loss of bone mass has to be taken into account.

Developed as an alternative to arthrodesis, total wrist arthroplasty (TWA) not only provides pain relief but also preserves wrist movement and function. The carpal anchorage and the correct balancing of the tendons continue to be problematic. These have been the subject of continuous improvement of implants to date. The Modular Physiological Wrist prosthesis (MPW®) is a modularly designed, cementless, implantable Titanobium endoprosthesis (Figure 1). The special feature is the encapsulated sliding pairing of the distal olive, which is intended to imitate the mobility of the intercarpal joint line [5]. For bad bone quality, various components are available, including a coupled implant. Thus, in the case of revision surgery, it is not necessary to change all components.

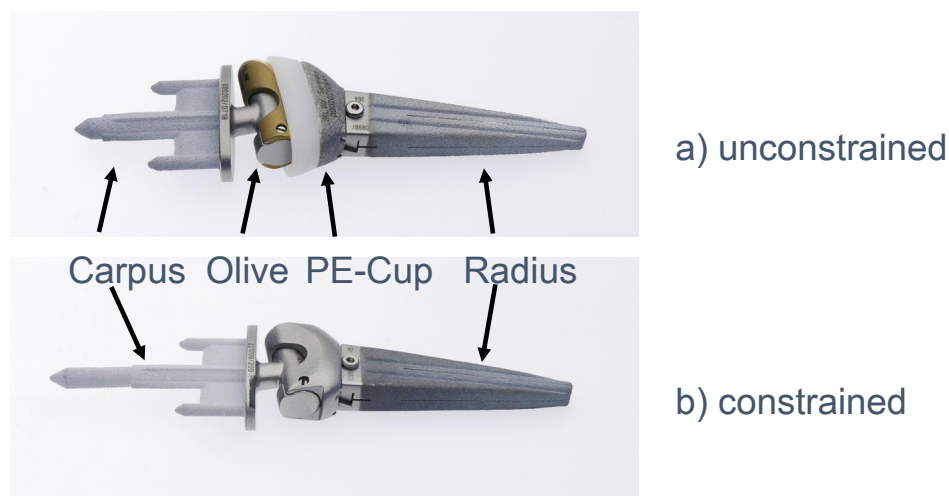


Figure 1. MPW® Wrist Prosthesis (Link Company™, Hamburg, Germany), (a) unconstrained and (b) constrained model.

The study aimed to evaluate the long-term results after endoprosthetic treatment of the wrist in rheumatics and when revision interventions became necessary. The patients were examined clinically and radiologically regarding subjective satisfaction, pain, mobility, strength in hand and wrist, and participation in activities of daily life.

2. Materials and Methods

Patients gave their consent in writing before inclusion in the study. A positive ethics opinion has been given (Regional Ethical Review Board for Rhineland-Palatinate; Mainz, Germany; No. 837.157.14 (9396-F)).

The retrospective study presents the long-term results of the MPW® prosthesis according to Thabe (Link Company™, Hamburg, Germany). All patients who received the MPW® wrist prosthesis between 1998 and 2005 were included. Two experienced orthopedic surgeons performed all operations. Exclusion criteria were prosthesis implantation with a wrist prosthesis other than the MPW®, prosthesis operation outside the time period, and post-traumatic changes (SLAC-/SNAC-wrist).

The authors included 32 patients with 34 endoprosthesis-supplied wrists in the study. Twenty-eight patients were female (29 prostheses/28 patients) and four patients were male

(5 prostheses/4 patients). Patients were 39 years old on average (16 to 62 years) at the time of diagnosis of RA. The mean age at the time of surgery was 56 years (34–81 years, median 57.9 years). The mean duration of the disease was 18 years. The period between diagnosis and primary implantation was 16.4 years (2–40 years). Two patients opted for primary surgery and implantation of the MPW[®] wrist prosthesis several years after involvement.

Twenty-six patients suffered from seropositive rheumatoid arthritis, one patient had psoriatic arthritis, and one patient had familial polyarticular chondrocalcinosis with early manifestation. Five patients were seronegative in the case of clinically clear rheumatic diathesis. One patient showed pseudarthrosis after scaphoid fracture (post-traumatic).

Thirty MPW[®] prostheses were implanted primarily, and 4 were revision surgeries. In all operations, a previously implanted endoprosthesis (APW[®] (anatomically physiological wrist prosthesis)) was explanted. The surgeons implanted a prosthesis 18 times on the right side and 16 times on the left side.

Twenty-five procedures were initial fittings on the wrist, eight wrists had been operated on beforehand, and one wrist had been pre-operated on several times (Table 1).

Table 1. Wrist procedures before prosthesis implantation.

	Frequency	Relative (%)
Non-Operation	25	73.5
Wrist prosthesis implantation	3	8.8
ATS / Synovectomy	1	2.9
CTS	1	2.9
Tendon transfer/reconstruction	1	2.9
Partial arthrodesis after previous operation before (ATS/Syn.)	1	2.9
Radiosynoviorthosis	1	2.9
Various previous operations: Prosthesis + ATS/Syn.	1	2.9
Total	34	100.0

2.1. Basic Medication

At the time of surgery, 3 patients received cortisone alone, 7 patients regularly took Methotrexate (MTX) as monotherapy and 6 patients took MTX in combination with cortisone. Eight patients underwent a Disease-Modifying Anti-Rheumatic Drug (DMARD) therapy with other drugs (Gold, Azathioprine, Leflunomide, Chloroquine). Ten patients did not receive basic therapy at the time of implantation. None of the patients had basic therapy with Biologica at the time of surgery. Biologica were not approved for RA therapy until 2000.

Clinical and radiological follow-up examinations were performed regularly at six weeks, six months and then annually. For this study, patients underwent an additional clinical and radiological examination at the time of follow-up. Data collection was performed using different scores (Visual Analog Scale (VAS), Disabilities Of The Arm, Shoulder And Hand—Score (DASH-Score) [6] and Short-Form Health 36 (SF-36). The VAS (values 0–10) was used to measure the patient's subjective perception of pain and to objectify it. The DASH-Score (100-point score) is primarily used to measure the function of the upper extremity. In this study, the German version 2.0 was used, without the additional modules [7]. The question about sexual activity was not asked. The SF-36 (150-point score) is a measuring instrument of health-related quality of life. The score primarily reflects the health-related quality of life (HRQoL) of the individual.

The radiological controls considered the rheumatological status classification according to Larsen, Dale and Eek [8]. In addition, the carpal height index acc. to Youm was determined, and integration of the prosthesis or loosening seams was documented [9].

2.2. Statistics

The study design was a case series with a level of evidence of grade IV. The primary endpoint was the survival rate of the wrist prosthesis. Secondary endpoint was the required first revision due to complications. The statistical evaluation was based on the small group, the lack of norm distribution and the non-parametric procedures with logistic regression models and the Kaplan–Meyer estimator. ANOVA and Bonferroni correction were used as control tests. Data were analyzed using SPSS v. 16.0 (IBM, Armonk, NY, USA) and with R v. 3.4.2. Collected datasets from clinical findings were explored for normality with descriptive statistics. The critical value for significance was set at $p < 0.05$. Data were exhibited in graphs as means—standard error of the mean (SEM).

3. Results

The main outcome parameters were the survival rate of the MPW[®] prosthesis in situ; the number, temporal occurrence, and type of complications (infection, prosthesis loosening, dislocation, etc.); the type of surgical revision; and the subjective patient satisfaction regarding the function of the prosthesis (pain, mobility, strength), as well as the suitability for daily use. Furthermore, baseline rheumatologic therapy before surgery, a potential limitation of the other joint of the affected limb and the overall situation of the patients were evaluated.

Of the 32 patients (34 prostheses), all but one other patient could be followed up at least once. Sixteen patients (18 prostheses) underwent direct clinical and radiological follow-up during the study in the department. Eight patients had died at the time of the study, two of them within the first year. None of the deceased had complications related to the arthroplasty or as a direct result of the underlying rheumatic disease up to the time of death. Only the available data (inpatient and outpatient records as well as archived radiographs) were included in the study. In the absence of feedback, the available data were cross-checked with patients' relatives and primary care physicians. Eight patients were unknown deceased or refused to consent to the study. The last data of these patients collected in the clinic were included in the study. This corresponds to a face-to-face responder rate of 50% and a documentation rate of 97% of surgically treated wrists (33/34). Follow-up was an average of 8.5 years (1 to 15.7 years) postoperatively.

3.1. Survival Rate

The survival rates of the prostheses in situ were evaluated using the Kaplan–Meier estimator and presented graphically. The time between primary implantation and first revision surgery (Polyethylene exchange, explantation, arthrodesis) was determined as the functional period of the prostheses. The median was 171 months (Figure 2). The lower limit of the confidence interval was 110 months—the upper limit could not be calculated because the number of cases was too small. At the time of follow-up, 11 of the 34 prostheses had been explanted as far as was known (33%; 11/34). The average life of the prostheses was 6.9 (1–13) years. The 'worst-case' survival, including the wrists lost to follow-up as a failure, was 56%.

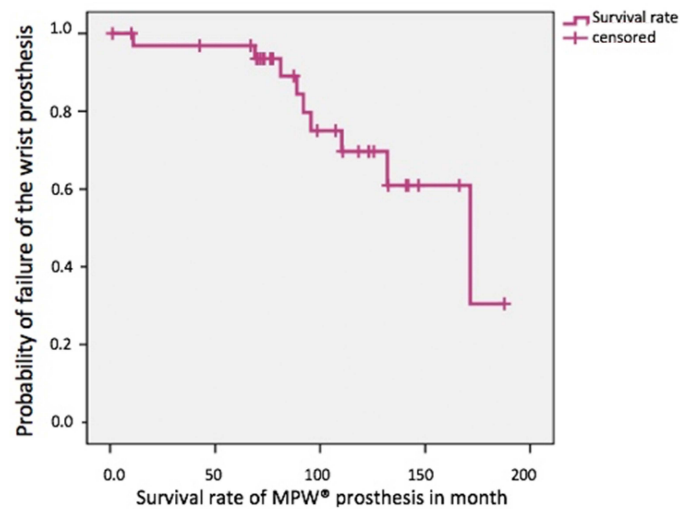


Figure 2. Survival rate of MPW® wrist prosthesis in situ. X-axis: functional time, Y-axis: probability of failure in month ($n = 34$, events: 9, median: 171-month, 0.95 Lower CI: 110-month, 0.95 Upper CI: not applicable).

3.2. Complications

During the follow-up period, 23 complications were documented (Table 2). Indirect complications must be distinguished from direct complications. Indirect complications included, for example, carpal tunnel syndrome or tendon rupture, since they were not directly attributable to the endoprosthesis. Direct complications were related to the prosthesis itself or the damage caused by it (loosening, metallosis). Early associated symptoms were mainly related to nervous problems, such as carpal tunnel syndrome. The most frequent complication (66%; 15/23) represented the failure of the polyethylene inlay, with two peaks of frequency. A first peak was seen 1.5 to 3 years after implantation, and a second peak with concomitant metal wear was seen after an average of 5.1 years. The modular design of the prosthesis allowed only the damaged PE to be replaced. Explantation was not necessary, with a stable and functioning prosthesis. One superficial and two deep infections with joint involvement occurred during the course (3/6%; 1+2/34). The superficial infection occurred together with metallosis four years after implantation. All infections were healed by two-stage revision surgery and fusion. Not a single periprosthetic fracture occurred.

Table 2. Complications/Reasons for revision in years (acc./non acc. to the MPW®-Prosthesis).

	N (x/34)	Relativ (%)	Mean (years)
Periprosthetic Fracture	0		
Thumb instability	1	2.9	0.87
CTS	1	2.9	0.97
(Luxation/CTS/Inlay defect)	1	2.9	1.35
Loosening carpal component	2	5.9	1.65
Deep Infection	2	5.9	1.69
Inlay defect	2	5.9	2.47

Table 2. Cont.

	N (x/34)	Relativ (%)	Mean (years)
Luxation	5	14.7	2.98
(Metallosis and superficial infection)	1	2.9	4.10
Tendon rupture	1	2.9	4.17
PE-Synovitis/Metallosis	7	20.6	5.11

3.3. Type of Revision

Early nerve compression syndrome (CTS, div.) was treated by neurolysis of the affected nerves. Tendon rupture could be treated by secondary suture and coupling to another extensor tendon. In cases of pure inlay damage, the PE inlays were changed, and the fixed prosthesis was left in place. In the case of inlay damage with concomitant metal wear, the vast majority of fittings required removal of the prosthesis and arthrodesis of the wrist with an angle-stable plate and grafting of a cortico-spongiosis span from the iliac crest. Infected prostheses had to be removed, and a two-stage procedure with arthrodesis was performed after sanitation of the infection.

3.4. Patient Satisfaction

Patient satisfaction depended on several factors, which can be represented in the analysis of the collected data. Overall, about 63% of patients rated the endoprosthesis treatment of the wrist as positive at the time as the last follow-up and would have a prosthesis implanted again.

The subjectively perceived pain and swelling decreased significantly postoperatively compared with the preoperative data. A decisive point here is the denervation of the dorsal interosseous nerve at the wrist. Definite swelling was neither reported by the patients nor seen by the investigators postoperatively.

3.5. Strength

In the subjective assessment of strength, 9/16 patients described a significant improvement compared to the preoperative strength (Figure 3). In the clinical assessment, extension force (in kg) and force at fist closure (in kp) were measured at the follow-up. This allowed the subjective assessment of the patients of current strength to be verified and objectified. The mean dorsiflexion force in the wrist was 2.55 kg with a median of 1.25 (standard deviation 3.86). The gross force during fist closure was measured with a balloon vigor meter and averaged 0.135 kp (standard deviation 3.47).

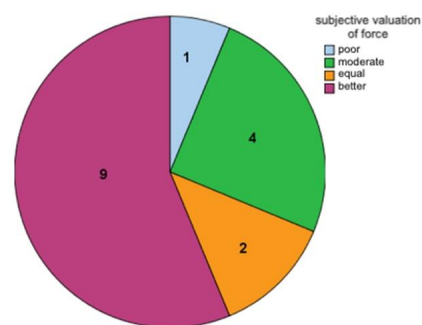


Figure 3. Subjective valuation of strength and force by patients ($n = 16$).

3.6. Mobility

In the clinical examination at follow-up, moderate residual wrist mobility was obtained (Table 3). Patients were grateful for the preserved movement of the wrist. Moreover, functional impairments of the neighboring joints were examined and evaluated descriptively. The most severe functional impairments were reported in the proximal joints of the fingers.

Table 3. Range of motion in degree, pre- and postoperative mean.

R O M (in °)	Flexion	Extension	Radial dev.	Ulnar dev.	Pronation	Supination
preoperative	26.8	20.8	12	16.9	60	65
postoperative	26.5	12.3	25.3	9.2	58.4	79

3.7. Scores

The data collected at follow-up were evaluated in the different score systems (DASH, SF36, VAS).

The VAS is used to measure the subjective pain sensation of the patient and its objectification. It was possible to evaluate 19 datasets pre- and postoperatively. The VAS improved from 7.0 points preoperatively to 1.8 points postoperatively.

The average DASH score was 47.1 points postoperatively, which corresponds to a poor result. At the same time, there is a pronounced spread of the measured values from 1.72 to 88.8 points.

The SF-36 does not only consider the pure prosthesis quality and function but primarily reflects the health-related quality of life (HRQoL) of the individual. A total of 16 questionnaires could be evaluated (16/34; 47%). The test takes into account concomitant diseases and additional possible limitations, not only the pure prosthesis quality and function.

3.8. Radiology

Radiographs of 22 wrists preoperatively and at follow-up could be compared (22/34; 64.7%) (Figure 4). Preoperative X-rays of 12 wrists were not available at follow-up. The average time between the preoperative X-ray and the last X-ray was nearly 8.5 years. Eight prostheses (23.5%) showed no evidence of loosening or other radiolucency, osteoporosis, or cyst formation with proper implant position and anatomically correct joint position. In the remaining endoprostheses, various radiological findings were found in one prosthesis. In 6 prostheses, radiological dislocation or subluxation was found in the follow-up controls (17.4%). In each case, the position of the prosthesis corresponded to that of the preoperative rheumatoid wrist. In 2 prostheses, radiolucency >1 mm was found, which corresponded to a loosened prosthesis (5.8%). In a further 9 prostheses, periprosthetic radiolucency without clinical symptoms was detected (26.5%). Natively radiologically visible osteoporosis was detected in four prostheses (11.8%). Periprosthetic cysts were detectable in 6 prostheses (17.6%).



Figure 4. MPW[®]-prosthesis. X-ray at time of follow-up, 10 years after primary operation. The carpal component was changed after loosening (see complications).

The calculation of the carpal height index according to Youm was only calculated for the wrists with an inserted prosthesis without luxation malposition (88.9% with the inserted prosthesis or 47.1% related to the total collective) [9]. With a target value of 0.54 ± 0.03 according to Youm, the average carpal height index was 0.50 (0.27–0.61).

4. Discussion

The aim of this study was to evaluate and characterize the long-term outcome of the MPW[®] prosthesis and required revision procedures. Primarily, patients were included who had an MPW[®] prosthesis implanted at least 10 years before the start of the study in 2015. Studies on long-term results are less frequent, although the publications have increased [10–12]. For rheumatics, the precarious bone situation with early onset of osteoporosis and the associated loss of bone mass and accompanying pathologies of the periarthritic tissues limits the conditions for the long-term success of a wrist prosthesis [13–15]. Considering the worst-case scenario, the survival rate of the prosthesis after 6.9 years was 44%. Compared to results of in situ wrist prostheses of other authors, namely 71–74%, this is a poor result [16,17]. Adverse events, like nerve irritation, tendonitis and tendon rupture in rheumatic patients do not necessarily have to be associated with surgery [18]. Dislocations and PE damage to the prosthesis are a major risk, associated with extensive synovitis with metallosis, leading to explantation of the prosthesis and fusion of the wrist joint [19,20].

Badge et al. and Gil et al. estimated the probability of not experiencing a revision for 8 and 15 years to be about 91% and 78%, respectively, but it was only about 30% in our cohort [21,22]. In their analysis of the Norwegian Endoprosthesis Register, Krughaug et al. were able to show a 5-year survival probability of 57% for the Elon prosthesis, while the 10-year survival for the BLAX[™] was 71% [17].

In their meta-analysis, Berber et al. evaluated 24 studies with a total of 1371 endoprosthetic wrists [23]. More than 72% of the included patients had an inflammatory underlying disease, which is comparable to our population with 73.5% of rheumatic patients.

Upon comparing the different types of 4th generation prosthesis, the unique feature of the PE in the MPW[®] prosthesis stands out. This design improves the guidance of the prosthesis, but at the same time leads to early decentralized contact of the components with increased abrasion and the risk of pathological contact and the resulting dislocation (Figure 1).

Deep infections were described in only 0.1–1.4% of cases according to meta-analysis. In our study, the proportion of deep infections was 6%. All patients had an established RA and therapy with DMARDs.

Overall, the rate of complications in the presented study was 67%, which is a poor outcome.

Concerning the results of Berber et al., the rate seems comparable. Radmer et al. reported in their study an exorbitant revision rate after an average of 4.5 years of 97.5% due to implant failure in the previous model (39/40) [24].

A decisive role for the acceptance of a surgical procedure, such as TWA, is the subjective satisfaction of the patients. It has to compete with established procedures, such as arthrodesis [1]. In addition to the pain situation, the preservation of mobility, particularly of the fingers, and improvement of strength, as well as participation in daily life, are of central importance, especially since the demands of rheumatic patients are increasing due to an improvement of new medical therapies [2]. The results of our cohort reflect a high level of patient satisfaction.

The wrist pain improved on the VAS from 7.0 preoperatively to 1.8 points postoperatively. Cooney et al. reported comparable scores from preoperative 7 to post-operative 2.3, as did Nydick et al. from 8.0 to 2.2; slightly worse scores were reported by Badge et al., with a reduction from 8.1 to 5.4 [21,25–27].

In terms of the range of motion, the results of our study were also comparable to those of other studies, although the range of motion in extension-flexion was limited due to the constrained guidance of the PE. Thus, prostheses with a flatter radial glide surface exhibit a greater amplitude of motion [26].

The hand strength measured during follow-up for dorsiflexion (in kg) and fist closure (in kp) correlated with the subjective assessment and satisfaction of the patients. Compared with data published in the literature, these appear poor but are of limited comparability due to differences in measurement methods [16,28].

Most wrist arthroplasty studies use the DASH score. However, this is not specific to the assessment of wrist function. Compared with other publications, the average of 79 points obtained in our patient cohort appears poor [21,25,26]. In addition, there was a widespread of scores from 1.7 to 89 points. One explanation for the significantly worse scores in the DASH score could be the advanced impairment of the wrist joint itself and the adjacent joints. In the study clinic, patients underwent endoprosthetic treatment only at an advanced Larsen stage; earlier stages were reserved for joint-preserving surgery [29]. Pfanner et al. describe an average LDE stage of 2–3 for arthroplasty [16]. The Larsen stage in our collective was 4.5. The evaluation of the radiological findings documents the described problem of (sub)dislocation and decentring of the endoprosthesis. In comparison with the overall results of Berber et al., the values are higher (osteolysis vs. prosthesis = 32.3% vs. 20.8%) and are attributed by the authors to the PE problem [23]. The vulnerability of the integration of the prosthesis is primarily due to the loosening of the carpal component, as also reported by Herzberg and Boeckstyns, among others [30].

The SF-36 is also not specific for wrist function but can be used to classify the surgery and its benefit in the overall situation of the patient. Therefore, it was collected and evaluated in addition to the VAS and DASH score. The postoperative score of the study patients is below that of the norm samples of the German general population from 1999 and 2013 (Figure 5) [31,32]. Only the scores for psychological well-being are almost identical. We attribute this to the significant pain reduction in the wrist and the improved use of the extremity in everyday life, as documented in the VAS-score.

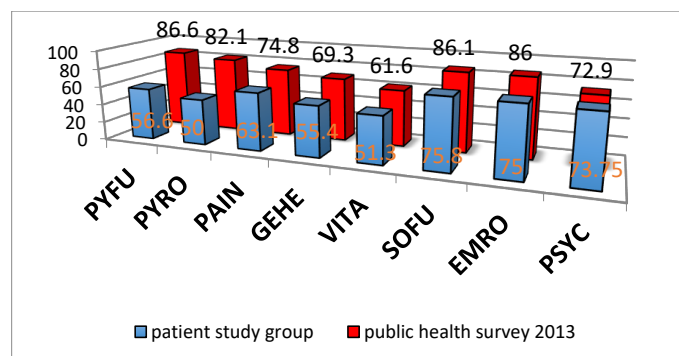


Figure 5. Results of the SF-36 Questionnaire. Patient study group (blue columns) vs. National public health survey (red columns) (Ellert and Kurth 2013). PYFU: physical functioning; PYRO: Role behavior due to physical dysfunction; PAIN: pain; GEHE: general health, VITA: Vitality and physical energy, SOFU: social functioning; EMRO: Emotional role function, PSYC: psychological (mental) wellbeing.

Limitations

The authors are aware that the study has some limitations. The number of wrists included is too small to generate robust statistical data. Preoperative score data are often incomplete. The small number of patients is also due to the fact that approximately 1/4 of the patients died before the target follow-up of at least 10 years. This leads to a worst-case scenario of 56% of lost wrist prostheses at follow-up. Statements about grip strength are also of limited value because preoperative comparisons are lacking, as are comparisons with the opposite side. The time interval between the inclusion of the hand in the disease and endoprosthetic treatment is very long in terms of international comparison, based on the restrained indication of the head of the department. However, only a relatively rough estimate of the standing time can be given.

5. Conclusions

The MPW[®] prosthesis as a modularly designed fourth-generation wrist prosthesis with its encapsulated bearing couple has implant-technical peculiarities compared to other wrist prostheses. The study aimed to evaluate and present the results in the long-term course. In comparison with other publications, the results show a partially heterogeneous picture. While the subjective satisfaction of the patients and the measurable strength are comparable with the results of other studies and prostheses, the prosthesis shows clear weaknesses concerning luxation and inlay damage compared to other prosthesis models. This leads to an increased number of revisions and an increased number of secondary arthrodesis in the long-term course. Especially with respect to the better results of other wrist prostheses (e.g., Re-Motion[®], BIAxTM), the prosthesis shows deficits that stand in the way of increased use.

Author Contributions: C.B. designed the retrospective cohort study and was responsible for data collection. C.B. and M.S. were responsible for the patient-reported outcomes component of the study. C.B., M.S. and L.B. performed the statistical analysis and drafted the manuscript. M.H., M.S., L.B., J.J., C.H. and G.S. corrected the manuscript to improve the quality of written English. G.S., C.H. and J.J. made substantial contributions to analysis and interpretation of data. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: There is no source of funding. This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial or not-for-profit sectors.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki and approved by the Institutional Review Board (or Ethics Committee) of the Regional Ethical Review Board for Rhineland-Palatinate; Mainz, Germany; No. 837.157.14 (9396-F). All patients received information about the study and gave written consent.

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: The datasets used and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Acknowledgments: The authors thank Heiner Thabe, the developer of the MPW[®]-wrist endoprosthesis, for the opportunity to give his experience in the medical care of rheumatoid patients in general and in this study. We are also immensely grateful to Michael Simang, Munich, for his support in statistics on an earlier version of the manuscript, although any errors are our own and should not tarnish the reputations of this esteemed person.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest. They declare that they have no affiliations with or involvement in any organization or entity with any financial interest or nonfinancial interest in the subject matter or materials discussed in this manuscript.

Abbreviations

ANOVA	Analysis of Variance
APW [®]	Anatomically Physiological Wrist prosthesis
CTS	Carpal Tunnel Syndrome
DASH	Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand—Score
DMARDs	Disease-Modifying Anti-Rheumatic Drugs
HRQoL	Health-related quality of life
MPW [®]	Modular Physiological Wrist prosthesis
MTX	Methotrexate
PE	Polyethylene
RA	Rheumatoid arthritis
SEM	Standard error of the mean
SF-36	Short Form Health 36
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
TWA	Total Wrist Arthroplasty
VAS	Visual Analog Scale

References

1. Adey, L.; Ring, D.; Jupiter, J.B. Health status after total wrist arthrodesis for posttraumatic arthritis. *J. Hand Surg. Am. Vol.* **2005**, *30*, 932–936. [\[CrossRef\]](#)
2. Ogunro, S.; Ahmed, I.; Tan, V. Current indications and outcomes of total wrist arthroplasty. *Orthop. Clin. N. Am.* **2013**, *44*, 371–379. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
3. Kozlow, J.H.; Chung, K.C. Current concepts in the surgical management of rheumatoid and osteoarthritic hands and wrists. *Hand Clin.* **2011**, *27*, 31–41. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
4. Kennedy, C.D.; Huang, J.I. Prosthetic design in total wrist arthroplasty. *Orthop. Clin. N. Am.* **2016**, *47*, 207–218. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
5. Schill, S.; Thabe, H. Modular-Physiological wrist arthroplasty in rheumatoid arthritis. *Orthopade* **2003**, *32*, 803–808. [\[CrossRef\]](#)
6. Hudak, P.L.; Amadio, P.C.; Bombardier, C. Development of an upper extremity outcome measure: The DASH (disabilities of the arm, shoulder and hand) (corrected). The upper extremity collaborative group (UECG). *Am. J. Ind. Med.* **1996**, *29*, 602–608. [\[CrossRef\]](#)
7. Germann, G.; Harth, A.; Wind, G.; Demir, E. Standardisation and validation of the German version 2.0 of the disability of arm, shoulder, hand (DASH) questionnaire. *Unfallchirurg* **2003**, *106*, 13–19. [\[CrossRef\]](#)
8. Larsen, A.; Dale, K.; Eek, M. Radiographic evaluation of rheumatoid arthritis and related conditions by standard reference films. *Acta Radiol. Diagn.* **1977**, *18*, 481–491. [\[CrossRef\]](#)
9. Youm, Y.; McMurthy, R.Y.; Flatt, A.E.; Gillespie, T.E. Kinematics of the wrist. I. An experimental study of radial-ulnar deviation and flexion-extension. *J. Bone Jt. Surg. Am. Vol.* **1978**, *60*, 423–431. [\[CrossRef\]](#)
10. Matsui, Y.; Minami, A.; Kondo, M.; Ishikawa, J.; Motomiya, M.; Iwasaki, N. A minimum 5-year longitudinal study of a new total wrist arthroplasty in patients with rheumatoid arthritis. *J. Hand Surg.* **2020**, *45*, 255.e1–255.e7. [\[CrossRef\]](#)

11. Ward, C.M.; Kuhl, T.; Adams, B.D. Five to ten-year outcomes of the Universal total wrist arthroplasty in patients with rheumatoid arthritis. *J. Bone Jt. Surg. Am.* **2011**, *93*, 914–919. [\[CrossRef\]](#)
12. Fischer, P.; Sagerfors, M.; Jakobsson, H.; Pettersson, K. Total wrist arthroplasty: A 10-year follow-up. *J. Hand Surg.* **2020**, *45*, 780.e1–780.e10. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
13. Murphy, D.M.; Khoury, J.G.; Imbriglia, J.E.; Adams, B.D. Comparison of arthroplasty and arthrodesis for the rheumatoid wrist. *J. Hand Surg.* **2003**, *28*, 570–576. [\[CrossRef\]](#)
14. Reigstad, O.; Røkkum, M. Wrist arthroplasty using prosthesis as an alternative to arthrodesis: Design, outcomes and future. *J. Hand Surg. Eur. Vol.* **2018**, *43*, 689–699. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
15. Zijlker, H.J.A.; Berkhout, M.J.; Ritt, M.; Van Leeuwen, N.; IJsselstein, C.B. Universal 2 total wrist arthroplasty for the salvage of failed biaxial total wrist arthroplasty. *J. Hand Surg. Eur. Vol.* **2019**, *44*, 614–619. [\[CrossRef\]](#)
16. Pfanner, S.; Munz, G.; Guidi, G.; Ceruso, M. Universal 2 wrist arthroplasty in rheumatoid arthritis. *J. Wrist Surg.* **2017**, *6*, 206–215. [\[CrossRef\]](#)
17. Krukhaug, Y.; Lie, S.A.; Havelin, L.I.; Furnes, O.; Hove, L.M. Results of 189 wrist replacements. A report from the Norwegian Arthroplasty Register. *Acta Orthop.* **2011**, *82*, 405–409. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
18. Chung, K.C. (Ed.) *Clinical Management of the Rheumatoid Hand, Wrist and Elbow*; Springer: Cham, Switzerland, 2016. [\[CrossRef\]](#)
19. Nunez, F.A.; Wright, L.; Kilpatrick, S.E.; Seitz, W.H. Revision total wrist arthroplasty due to polyethylene wear, metallosis-induced carpal tunnel syndrome, distal ulnar impingement and fourth carpometacarpal joint pain: Case report and pitfalls to avoid. *Hand* **2018**, *15*, NP1–NP6. [\[CrossRef\]](#)
20. Gaspar, M.P.; Kane, P.M.; Shin, E.K. Management of complications of wrist arthroplasty and wrist fusion. *Hand Clin.* **2015**, *31*, 277–292. [\[CrossRef\]](#)
21. Badge, R.; Kailash, K.; Dickson, D.R.; Mahalingam, S.; Raza, A.; Birch, A.; Nuttall, D.; Murali, S.R.; Hayton, M.J.; Talwalkar, S.; et al. Medium-Term outcomes of the Universal-2 total wrist arthroplasty in patients with rheumatoid arthritis. *Bone Jt. J.* **2016**, *98-B*, 1642–1647. [\[CrossRef\]](#)
22. Gil, J.A.; Kamal, R.N.; Cone, E.; Weiss, A.C. High survivorship and few complications with cementless total wrist arthroplasty at a mean followup of 9 years. *Clin. Orthop. Relat. Res.* **2017**, *475*, 3082–3087. [\[CrossRef\]](#)
23. Berber, O.; Garagnani, L.; Gidwani, S. Systematic review of total wrist arthroplasty and arthrodesis in wrist arthritis. *J. Wrist Surg.* **2018**, *7*, 424–440. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
24. Radmer, S.; Andresen, R.; Sparmann, M. Total wrist arthroplasty in patients with rheumatoid arthritis. *J. Hand Surg.* **2003**, *28*, 789–794. [\[CrossRef\]](#)
25. Cooney, W.; Manuel, J.; Froelich, J.; Rizzo, M. Total wrist replacement: A retrospective comparative study. *J. Wrist Surg.* **2012**, *1*, 165–172. [\[CrossRef\]](#)
26. Boeckstyns, M.E.; Herzberg, G.; Merser, S. Favorable results after total wrist arthroplasty: 65 wrists in 60 patients followed for 5–9 years. *Acta Orthop.* **2013**, *84*, 415–419. [\[CrossRef\]](#)
27. Nydick, J.A.; Greenberg, S.M.; Stone, J.D.; Williams, B.; Polikandriotis, J.A.; Hess, A.V. Clinical outcomes of total wrist arthroplasty. *J. Hand Surg.* **2012**, *37*, 1580–1584. [\[CrossRef\]](#)
28. Fischer, P.; Sagerfors, M.; Brus, O.; Pettersson, K. Revision arthroplasty of the wrist in patients with rheumatoid arthritis, mean follow-up 6.6 years. *J. Hand Surg.* **2018**, *43*, 489.e1–489.e7. [\[CrossRef\]](#)
29. Biehl, C.; Braun, T.; Thormann, U.; Oda, A.; Szalay, G.; Rehart, S. Radiocarpal fusion and midcarpal resection interposition arthroplasty: Long-Term results in severely destroyed rheumatoid wrists. *BMC Musculoskelet. Disord.* **2018**, *19*, 1–7. [\[CrossRef\]](#)
30. Herzberg, G.; Boeckstyns, M. Periprosthetic osteolysis after total wrist arthroplasty. *J. Wrist Surg.* **2014**, *3*, 101–106. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
31. Ellert, U.; Bellach, B.-M. *Der SF-36 im Bundes-Gesundheitssurvey—Beschreibung Einer Aktuellen Normstichprobe*; Robert Koch-Institut: Berlin, Germany, 1999; pp. 184–190.
32. Ellert, U.; Kurth, B.M. Health related quality of life in adults in Germany: Results of the German Health Interview and Examination Survey for Adults (DEGS1). *Bundesgesundheitsblatt Gesundh. Gesundh.* **2013**, *56*, 643–649. [\[CrossRef\]](#)

3.3 *Periprothetische Gelenkinfektion nach Fingergelenks-Arthroplastik*

Obwohl die endoprothetische Versorgung von Fingergelenken ein etabliertes Verfahren ist, sind veröffentlichte Daten zu periprothetischen Fingergelenkinfektionen (PJI) selten. In der retrospektiven Studie werden die Infektionsraten und Behandlungsergebnisse nach PJI der Fingergelenke in einer Klinik dargestellt.

Zwischen 1984 und 2014 wurden 1.195 Fingergelenke (978 Metakarpal- [MCP] und 217 proximale Interphalangealgelenke [PIP]) bei 518 Patientinnen/Patienten behandelt. Neben demographischen Daten wurden Infektionsraten, Arten von Revisionsoperationen und Behandlungsergebnisse ausgewertet. Da sich die Behandlungsstrategien während des Behandlungszeitraums änderte, wurden die Gelenkinfekte nach den verschiedenen Versorgungsmöglichkeiten gruppiert. Die routinemäßig erhobenen patientenbezogenen Ergebnisse wurden statistisch ausgewertet und verglichen.

Bei 30 Patientinnen/Patienten kam es im Durchschnitt 3,8 Jahre nach Implantation der Fingergelenkendoprothese bei insgesamt 36 Fingergelenken zu einer postoperativen periprothetischen Infektion (3%). Für die MCP-Gelenke konnten die besten klinischen Ergebnisse nach einem zweizeitigen Revisionsverfahren beobachtet werden (Quick DASH-Score 86). Bei den PIP-Gelenken zeigten, die mit einem einzeitigen Verfahren durchgeführten Arthrodesen ein günstiges Ergebnis (Quick DASH-Score 89). Eine erneute Infektion, die eine Revisionsoperation erforderlich machte, trat bei sieben Gelenken von fünf Patientinnen/Patienten auf (7/36; 19,4 %). Bei 25 Patientinnen/Patienten und 29 Fingergelenken gab es keine Re-Infektion und keine Notwendigkeit für eine Revision.

Periprothetische Infektionen von Fingergelenksprothesen treten in ca. 3 % aller Versorgungsmöglichkeiten auf. Die Rate an dieser Komplikation ist höher als bei den häufigeren Hüft- und Knieeingriffen. Für die MCP-Gelenke scheint ein zweizeitiges Verfahren die beste Behandlungsoption zu sein. Bei den PIP-Gelenken wird mit einer einzeitigen Revision mit Arthrodesen in Funktionsstellung ein gutes Ergebnis erzielt.

SURGICAL INFECTIONS
Volume ____, Number ____, 2019
© Mary Ann Liebert, Inc.
DOI: 10.1089/sur.2019.145

Original Paper

Peri-Prosthetic Joint Infection After Finger Joint Arthroplasty

Christoph Biehl,^{1,2} Markus Rupp,^{1,2} Volker Alt,^{1,2} Christian Heiss,^{1,2}
Thaqif El Khasswana,² and Gabor Szalay^{1,2}

Abstract

Background: Endoprosthetic treatment of finger joints is an established procedure. However, data on peri-prosthetic finger joint infections (PJI) are rare. The goal of this retrospective study was to assess infection rates and treatment outcomes after PJI of the finger joints.

Methods: Between 1984 and 2014, 1,195 finger joints (978 metacarpal and 217 proximal interphalangeal [PIP] joints) in 518 patients were treated. A retrospective record analysis was conducted. Besides demographic data, infection rates, types of revision surgery, and treatment outcomes were evaluated. Treatment strategies changed during the treatment period. Routinely assessed patient-reported outcome measures, namely the QuickDASH score, visual analogue scale (VAS), an everyday function score (activities of daily living; ADL), and an adapted Clayton score, were compared.

Results: In 36 finger joints of 30 patients, a post-operative peri-prosthetic infection could be identified (3%). Infections occurred on average 3.8 years after arthroplasty. For meta-carpal phalangeal (MCP) joints, the best clinical outcomes could be observed after a two-stage revision procedure (QuickDASH score 86). Arthrodesis performed in a one-stage procedure achieved favorable outcomes in PIP joints (QuickDASH score 89). Re-infection mandating revision surgery occurred in seven joints in five patients (7/36; 19.4%). In 25 patients with 29 finger joints, there was no re-infection and no need for revision.

Conclusion: Peri-prosthetic infection of finger joint prostheses occurs in approximately 3% of all cases, which is a higher rate than in the more common hip and knee procedures. For MCP joint revision surgery, a two-stage procedure seems to be the best treatment choice. For PIP joint revision, a single-stage revision with arthrodesis in a functional position achieves a good outcome.

LONG-TERM RHEUMATOID ARTHRITIS or osteoarthritis of the finger joints usually results in destruction of the joint articular surfaces. Both diseases also affect collateral ligaments, tendons, and peri-articular tissues. Finger deformations that often are painful as well as causing a limited range of motion (ROM) are the consequence. Joint ankyloses are likely. Isolated impaired joint function affects other fingers and finally limits the use of the entire hand.

Nowadays, endoprosthetic replacement of the metacarpal phalangeal (MCP) and proximal interphalangeal (PIP) joints is an established treatment to maintain range of motion (ROM) and good grip strength of the hand [1,2]. Different finger prosthesis designs are available for application. At present, the Swanson[®] prosthesis (Wright Medical[™], Memphis, TN,

USA) is the gold standard for this purpose [2,3]. Many studies have focused on long-term results for the Swanson[®] prosthesis. After 10 years, radiologically obvious osteolysis is evident in 90% [4]. Implant fracture rates have been reported to be 30% after 10 years regardless of the location of the endoprosthetic joint replacement [5–7]. Unfortunately, until now, the rates of peri-prosthetic finger joint infections (PJI) after arthroplasty have been published for only small groups or as case reports.

For hip and knee replacement surgery, PJI rates are less than 2% within 10 years after surgery [8,9]. Guidelines have been developed to improve treatment outcome. A two-stage procedure still is the gold standard for surgical therapy of hip and knee PJI [9,10]. Nonetheless, recurrence rates are high.

¹UKGM Universitätsklinikum Gießen und Marburg, Standort Gießen Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Operative Notaufnahme, Gießen, Germany.

²Experimentelle Unfallchirurgie, Justus-Liebig-Universität Gießen, Gießen.

Recently, for total knee arthroplasty, the recurrence rate of infection has been reported to be 19% after one year and 29% after six years [11]. Furthermore, it has been demonstrated that recurrence rates of infection depend on host characteristics as well as infection-causing pathogens [12,13]. For PJI after finger joint replacement, infection rates, rates of recurrence of infection, or functional outcome depending on treatment strategy have to be clarified. The aim of this study was to analyze the rates of PJI, re-infection rates after revision, and patient-reported outcomes depending on different treatment strategies.

Patients and Methods

The study was approved by the regional ethical review board of Rhineland-Palatinate, Mainz, Germany. All patients were fully informed about the study. They all gave written informed consent prior to study inclusion.

This retrospective analysis included all patients who underwent endoprosthetic replacement of the MCP and PIP joints between 1984 and 2014. All patients suffered from either rheumatoid/psoriatic arthritis (RA/PsA) or osteoarthritis (OA) of the finger joints. Risk factors for the periprosthetic infection are previous intra-articular injections of cortisol, skin defects close to the joint, and a difficult baseline baseline therapy for RA with multiple medications. Patient age, underlying disease per se, or medication therapy after healing showed no effect on the incidence of infection.

A patient record analysis was performed. Patients who underwent finger joint replacement surgery were followed up in a standardized manner six weeks and annually after surgery.

In a case of PJI, intra-operatively harvested swabs or tissue samples were used for microbiologic analysis. Samples were cultured on blood agar plates. Incubation time at 37°C was seven days for aerobic and 14 days for anaerobic cultures. After pathogen identification, antimicrobial susceptibility testing was performed using standard techniques.

After collection of the tissue samples, antibiotic therapy was started empirically. Cefazolin has been used as the standard broad-spectrum antibiotic. In cases of a two-stage procedure, a gentamicin-loaded Septopal® chain (Biomet, Freiburg, Germany) was inserted as a spacer. As soon as pathogens could be identified, antibiotic treatment was adapted to the antibiogram. In case of implant removal and debridement, antibiotic treatment was administered until clinical and laboratory signs of infection had disappeared. If arthrodesis and revision arthroplasty were both performed as a one-stage procedure, antibiotic coverage was carried out for six weeks. In two-stage revision procedures, antibiotic treatment was administered during the implant-free interval

with an additional six weeks of antibiotic therapy after implantation of the new prosthesis. Beginning in 2006, rifampicin use was implemented to prevent biofilm formation after endoprosthetic joint replacement [12,14].

For follow-up, patients were questioned about pain using the visual analogue score (VAS) and their activities of daily living (ADL) limitations. Therefore, patient-reported outcome measures (PROM) were used pre- and post-operatively such as the disability measured by the arm, shoulder, and hand (QuickDASH) score, an ADL score according to the Hannover questionnaire of everyday function for rheumatic patients (Hannover Functional Questionnaire Backache [FFbH-R]; FFbH), and an adapted Clayton score (mobility, stability, ligament tension, and pain) [15]. The QuickDASH score, as an evaluation of the function of the upper extremity, was not available until 2002. Because most of the endoprosthetic finger joint replacement operations were performed before QuickDASH implementation, this score could be employed only partially. The QuickDASH and ADL scores do not distinguish between joints.

Data were analyzed using SPSS V. 25.0 (IBM, Armonk, NY). Collected datasets from clinical findings were explored for normality with descriptive statistics. The nonparametric Mann-Whitney U and Kolmogorov-Smirnov tests were used. Analysis of variance (ANOVA) with Bonferroni correction served as a control assessment as did the Games-Howell post hoc test. The critical value for significance was set at $p < 0.05$. Data were exhibited in graphs as means $\pm$ standard error of the mean (SEM).

Results

Five hundred eighteen patients could be included in the study. In total, 1,195 finger joint arthroplasties (978 MCP and 217 PIP) have been performed in those patients. The average age of the patients at the time of primary surgery was 59.3 (range 36.5–71.5) years. The period between the onset of complaints and revision surgery was a mean of 2.4 (range 0.17–5.0) years. The authors implanted Swanson endoprostheses almost exclusively; in only five cases were different prosthesis models implanted. The site of endoprosthetic joint replacement depended on the underlying disease. Rheumatoid arthritis (RA) was the predominant diagnosis for metacarpal involvement. In about 98% of cases, MCP replacement was related to RA. A PIP joint arthroplasty was performed in more than 50% of joints affected by osteoarthritis. The index finger was the site of the most often treated MCP, whereas endoprosthetic joint replacement of PIPs was most often performed on the middle finger.

Revision arthroplasty was necessary in 121 of 518 patients (23.4%). The main reason was recurrent malposition of the

TABLE 1. INFECTED FINGER PROSTHESIS ON MCP JOINTS BY TREATMENT REGIMEN

	Group 1 (1984–1996)	Group 2 (1996–1999)	Group 3 (2000–2014)	Total
No.	7/12	6/8	8/10	30
Clayton Score	39	61.2	80.5	
ADL Score	18.5	26.9	29.5	
DASH Score	112	95	86.5	
Follow-up (y)	2.2 (0.5–5.9)	5.9 (0.6–6.9)	2.4 (0.3–3.5)	2.5 (0.1–5)

Group 1 = sine-sine explantation; Group 2 = one-stage exchange; Group 3 = two-stage exchange.

PERIPROSTHETIC FINGER INFECTION

3

Swanson prosthesis with grip pathologies such as renewed ulna deviation and palmar subluxation and loss of ROM and grip power. The main reasons for mechanical malfunction were prosthesis failure and peri-prosthetic osteolysis. This osteolysis is caused by the pistoning effect of the silicone prosthesis with silicone synovitis on the bone interface. No skin perforation could be detected, as was previously described by Chopra et al. as a rare complication [16].

Peri-prosthetic infection occurred in 36 finger joints (3.0%; 30 MCP, 6 PIP). Revision surgery for infection was necessary after 3.8 (range 0.25–9) years after initial joint replacement. Of those patients, 21 with 26 affected joints could be recruited for follow-up. Six patients (seven joints) had already died. Three patients (three joints) were no longer identifiable or refused further contact with the department.

Two-thirds of the infections were caused by gram-positive cocci, in particular, *Staphylococcus aureus*. Other bacteria detected were *Streptococci* spp., *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, and *Pseudomonas aeruginosa*.

An evolution of treatment could be seen when treatment strategies were evaluated. Between 1984 and 1996, a first group of 12 MCP joints were treated only with removal of the prosthesis and debridement. Seven patients could be followed up (mean 2.2 [range 0.5–5.9] years). The clinical results were poor in grip function, grip strength, and ROM. Earlier surveyed outcome values were adapted retrospectively to the QuickDASH score. It was found to be 112 points, which reflects a poor result. The Clayton score of 39 points (maximum possible 100 points) and in the ADL score with 19 points (maximum possible 40 points) could be found for this group (Table 1).

In the second group of PJI after MCP joint replacement, a one-stage procedure with removal of the prosthesis, debridement, and immediate reimplantation was performed. In total, eight joints were treated in this manner between 1996 and 1999. Six could be followed up after 5.9 (range 0.6–6.9) years. A Clayton score of 61 points, an ADL score of 27 points, and a QuickDASH score of 95 points were determined during follow-up. Compared with the first group, in whom only removal and debridement was performed, all outcome scores were significantly better. However, poor results were

found for patient-centered outcomes such as using a knife and fork, opening a bottle, or propping the head up on the hand (ADL 2.25/2.31 [range 2.25–2.83] points).

Since the Millennium, a two-staged treatment for PJI of MCP joints has been performed. In total, 10 MCP joint prosthesis were

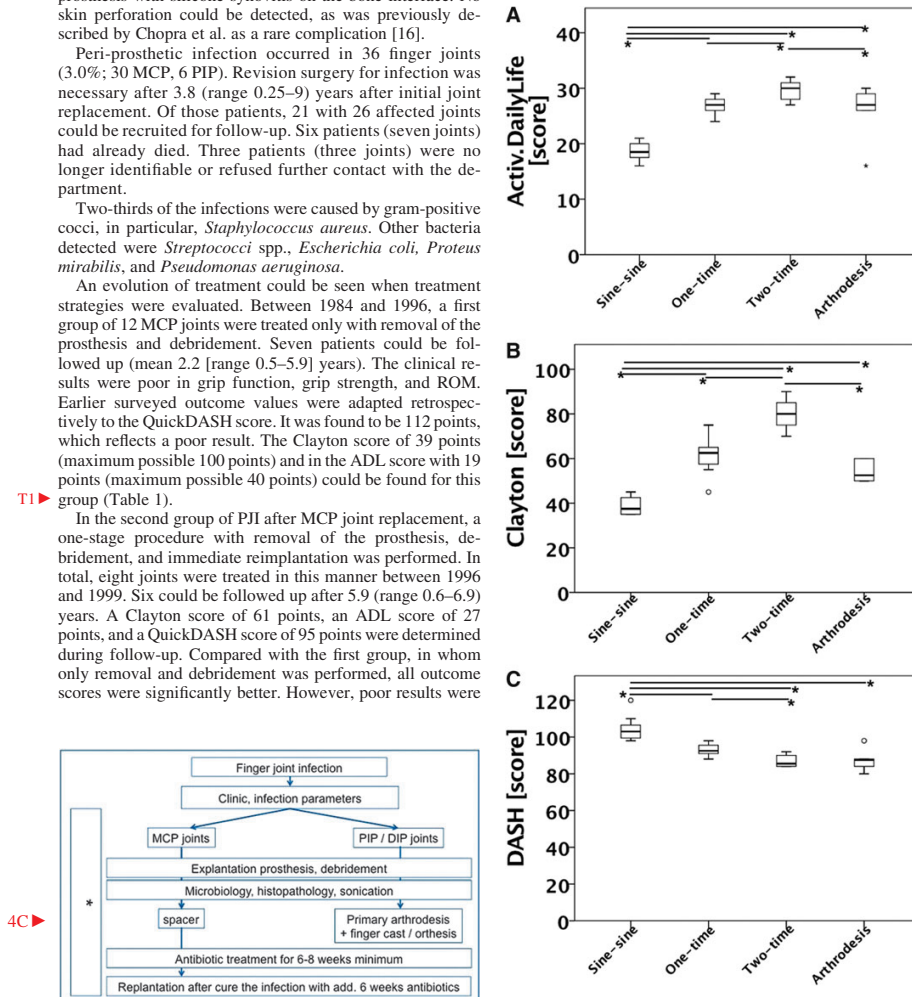


FIG. 1. Therapy algorithm for finger joint infection. *Additional physiotherapy, ergotherapy, dynamic orthosis for tendon mobility; sonication (for detecting bacteria in biofilms on the prosthesis surface by ultrasonic preparation.)

FIG. 2. Statistical analysis of ADL (A), Clayton (B), and DASH (C) score of post-operative results. MCP groups: Sine-sine situation (flail joint), one-time revision, and two-time revision. PIP group: Arthrodesis. Lines show statistically significant differences ($p < 0.05$).

TABLE 2. MANN-WHITNEY U TEST AND KOLMOGOROV-SMIRNOV TEST COMPARING RESULTS BY GROUP

	Mann-Whitney U			Kolmogorov		
	ADL	QuickDASH	Clayton	ADL	QuickDASH	Clayton
Group 1 vs. 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
Group 1 vs. 3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Group 1 vs. PIP	0.018	0.001	0.001	0.008	0.002	0.001
Group 3 vs. 2	0.015	0.002	0.001	0.082	0.035	0.002
Group 2 vs. PIP	<i>0.789</i>	<i>0.044</i>	<i>0.075</i>	<i>0.998</i>	<i>0.064</i>	<i>0.358</i>
Group 3 vs. PIP	<i>0.049</i>	<i>0.958</i>	<i>0.000</i>	<i>0.336</i>	<i>0.952</i>	<i>0.001</i>

Nonsignificant results are marked in small italic type.

Group 1 = explant situation; Group 2 = one-stage exchange; Group 3 = two-stage exchange.
PIP = proximal inter-phalangeal.

removed, and a gentamicin-loaded polymethylmethacrylate (PMMA) chain (Palacos® Heraeus, Germany) was implanted. In addition to this application of local antibiotics, systemic antibiotic therapy was administered during the implant-free interval and additionally for six weeks (Fig. 1). Aspiration of the joint prior to reimplantation was carried out. Probably because of the small joints, no fluids could be obtained, and no microbiologic diagnostics could be performed prior to revision surgery. At 2.4 (range 0.3–3.5) years after reimplantation of an endoprosthesis, a Clayton score of 81 points, an ADL score of 30 points, and a QuickDASH score of almost 86 points could be determined (Table 1).

In PJI of PIP joint prosthesis, removal and debridement were performed only between 1984 and 1986. The functional outcome was unsatisfactory. Hence, surgeons changed the treatment. A one-stage revision was performed with removal of the prosthesis, debridement, and consecutive arthrodesis in a functional position using k-wires. During follow-up of 2.5 (range 0.1–5) years, a Clayton score of 54 points, an ADL score of 26 points, and a QuickDASH score of 89 points was recorded in this group.

The results of the Mann-Whitney U test of all scores of the first group treated for MCP joint PJI were significantly worse than those of both other MCP groups, who underwent either one-stage or two-stage revision arthroplasty ($p < 0.01$). Comparing PIP arthrodesis for PJI treatment with the first group in which removal of the prosthesis and debridement was performed, better results could be documented for the arthrodesis group, as judged by ADL ($p \leq 0.018$) and the other scores ($p \leq 0.001$) (Fig. 2). All outcome scores of the second group (one-stage procedure) were significantly worse than those of the third group ($p \leq 0.015$ – 0.001) but not significant compared with the PIP group for Clayton- and ADL scores ($p \leq 0.075/0.789$). For the QuickDASH score, significance was seen ($p \leq 0.044$). The third group (two-stage procedure) showed significantly better results than the PIP group in ADL and Clayton score ($p \leq 0.049/0.01$) but not in the QuickDASH score ($p = 0.958$) (see Table 2). However, the groups were small (MCP $n = 30$; PIP $n = 6$), so the sample was of limited significance.

The authors detected recurrence of PJI in four MCP joints in two patients of the first or second group. No case of re-occurring PJI was detected in the two-stage revision group. Both patients with recurrence had an early renewed infection of their one-stage revision of a directly implanted new Swanson® prosthesis within six weeks.

Three revision operations were necessary in PIP joints after k-wire arthrodesis because of recurrence of infection (one to four months). One patient refused a stiffening or a flail joint. Thus, a two-stage exchange was performed. In one finger, re-arthrodesis was performed in a one-stage procedure. In one finger, progressive osteomyelitis occurred, necessitating finger amputation. Grip function of the single finger stump and the hand was worse but compensated for by the patient. In total, the rate of recurrent infection was 19% (7/36).

Discussion

The goal of this retrospective study was to assess the PJI and recurrence rates of PJI in finger joint prostheses. In addition, patient-reported treatment outcomes should be elucidated depending on different treatment strategies for finger joint replacement. The rates of PJI were higher than the rates after total hip and knee arthroplasty (3% after 3.8 years for finger joint prostheses versus <1.09% and 1.38% after five years for hip and knee arthroplasty, respectively) [8]. Achermann and coworkers demonstrated a PJI rate of 7.5% at an average of 45 months after elbow arthroplasty [1]. An association between basic medical treatment for inflammatory diseases and late infection could not be found. Poor soft-tissue coverage of the finger joints may be a reason for the higher infection rates compared with knee and hip PJI.

The infection-causing microorganisms play an essential role in PJI development. Evaluation of the microbial pattern of PJI in finger joint prosthesis revealed results similar to those of hip and knee PJI. In the present study, *S. aureus* was the most common PJI-causing pathogen, followed by *Streptococcus* spp. and less common (less than one third) gram-negative bacteria. Recently reported data from both osteosynthesis- and arthroplasty-related infections in hand surgery demonstrated *S. aureus* to be the most common microorganism (48% of 25 patients) [17]. For PJI after hip and knee arthroplasty, *Staphylococcus* spp. such as *S. aureus* and *S. epidermidis* were the pathogens mainly responsible, followed by *Streptococcus* and *Enterococcus* [18]. Rosteijs et al. showed an increase in multi-resistant pathogens, but the data from our study did not demonstrate such a trend. This might be attributable to the long study period and the relatively low volume of finger PJI.

Recurrence of PJI was evident in 19.4% (7 of 36) cases. For recurrence of PJI in hip arthroplasties, Lange et al. evaluated 36 studies with a total of 1,304 patients in their meta-analysis.

PERIPROSTHETIC FINGER INFECTION

5

The average re-infection rate was 13.1% (95% confidence interval [CI] 10.0%–17.1%) for one-stage revision and 10.4% (95% CI 8.5%–12.7%) in the two-stage cohort [19]. After revision of elbow PJI, re-infection rates were as high as 30% [20]. Thus, also for recurrence, data for finger PJI were between the rates of hip and elbow PJI re-infections [21].

Different therapy regimens for PJI in finger joints and the clinical outcomes were assessed in the present study. The evolution of therapy was based on our experience with treatment strategies in hip and knee PJI treatment. To the best of our knowledge, the retrospective analysis of patient-reported outcomes depending on different treatment strategies for finger PJI is the first study taking PROMs into account. In the study of Meier et al., which analyzed implant-related infections of the hand, objective features such as infection-causing pathogens, treatment strategy, infection eradication, and duration of antibiotic therapy were assessed. Functional outcome was not determined, probably because of the inhomogeneous patient group [17]. Because no specific functional scoring system for fingers and finger joint replacement exists, it seemed reasonable to choose established evaluation methods such as the Quick-DASH. Although infected finger joints might impair the function of the entire extremity, a bias could arise from patients being rheumatics. They often suffer from limitations of other upper-extremity joints, which has to be considered when interpreting the present results.

For MCP joints treated only by removal of the prosthesis with additional debridement, patient-reported outcomes were significantly worse than in both other groups (Fig. 2). In PIP joint prosthesis infections, better patient-reported outcomes were shown for implant removal, debridement, and one-stage PIP arthrodesis. According to PJI in hip and knee arthroplasty, the present data support considering a two-stage procedure in PJI of MCP joint infections to be the gold standard. For PJI in PIP joints, only removal and debridement and one-stage arthrodesis could be compared. Nevertheless, the present data are not able to answer the question of whether one-stage or two-stage re-arthroplasty of PIP joints leads to a better result.

The shortcomings of the present study are obvious. Being the first study focusing solely on PJI in finger joints, the volume of cases is low. To achieve a higher volume, multi-center studies would be necessary. Nevertheless, this retrospective study serves as a first step to focus on finger PJI and optimize patient-reported outcomes. National registry data, as performed for joints being more often replaced such as hip and knee, would be desirable for finger joint prosthesis as well [22].

Conclusion

After finger joint replacement, an infection rate of 3% was evident after 3.8 years (range 0.3–9 years) of follow-up. Recurrence of PJI appeared in 19%. Assessment of patient-reported outcomes after revision surgery of PJI in MCP joints revealed a two-stage approach to achieve favorable treatment outcomes. For PIP joints, primary arthrodesis is a valuable treatment option.

Acknowledgments

We thank Professor Heiner Thabe for the opportunity to give us his experience in the medical care of rheumatoid patients in general and in this study. He is and remains a great teacher for us.

We also are immensely grateful to Doctor Jochen Jung (Diakonie Krankenhaus Bad Kreuznach, kreuznacher diakonie) for his comments on an earlier version of the manuscript and lecture. Any remaining errors are our own and should not tarnish the reputations of this esteemed person.

CB designed the retrospective cohort study and was responsible for data collection. CB, MR, and GS were responsible for the patient-reported outcomes component of the study. CB and TE performed the statistical analysis and drafted the manuscript. CH, MR, VA, and GS corrected the manuscript to improve the quality of the written English. GS and TE made substantial contributions to analysis and interpretation of data. All authors read and approved the final manuscript.

The level of the evidence in this study is III.

References

1. Achermann Y, Vogt M, Spormann C, et al. Characteristics and outcome of 27 elbow periprosthetic joint infections: Results from a 14-year cohort study of 358 elbow prostheses. *Clin Microbiol Infect* 2011;17:432–438.
2. Amornvit P, Rokaya D, Keawcharoen K, Thongpulsawadi N. Stress distribution in implant retained finger prosthesis: A finite element study. *J Clin Diagn Res* 2013;7:2851–2854.
3. Bales JG, Wall LB, Stern PJ. Long-term results of Swanson silicone arthroplasty for proximal interphalangeal joint osteoarthritis. *J Hand Surg* 2014;39:455–461.
4. Chopra R, Jain DK, Murali R, Chelliah EG. A rare complication of a metacarpophalangeal joint replacement in a rheumatoid hand: A case report. *Cases J* 2009;2:7864.
5. Chung KC, Kotsis SV, Kim HM. A prospective outcomes study of Swanson metacarpophalangeal joint arthroplasty for the rheumatoid hand. *J Hand Surg* 2004;29:646–653.
6. Clayton ML. Surgical treatment at the wrist in rheumatoid arthritis: A review of thirty-seven patients. *J Bone Joint Surg Am* 1965;47:741–750.
7. Cochran AR, Ong KL, Lau E, et al. Risk of reinfection after treatment of infected total knee arthroplasty. *J Arthroplast* 2016;31:156–161.
8. Goldfarb CA, Dovan TT. Rheumatoid arthritis: Silicone metacarpophalangeal joint arthroplasty indications, technique, and outcomes. *Hand Clin* 2006;22:177–182.
9. Kurtz SM, Ong KL, Lau E, et al. Prosthetic joint infection risk after TKA in the Medicare population. *Clin Orthop Rel Res* 2010;468:52–56.
10. Lange J, Troelsen A, Thomsen RW, Soballe K. Chronic infections in hip arthroplasties: Comparing risk of reinfection following one-stage and two-stage revision: A systematic review and meta-analysis. *Clin Epidemiol* 2012;4:57–73.
11. Malchau H, Garellick G, Berry D, et al. Arthroplasty implant registries over the past five decades: Development, current, and future impact. *J Orthop Res* 2018;36:2319–2330.
12. Meier R, Wirth T, Vogelien E, Sendi P. Characteristics and outcome of twenty-nine implant-related infections of the hand and fingers: Results from a twelve-year observational study. *Surg Infect* 2018;19:729–734.
13. Renz N, Perka C, Trampuz A. [Management of periprosthetic infections of the knee] (Ger). *Der Orthop* 2016;45:65–71.
14. Rosteius T, Jansen O, Fehmer T, et al. Evaluating the microbial pattern of periprosthetic joint infections of the hip and knee. *J Med Microbiol* 2018;67:1608–1613.

15. Schmidt K, Miehke R, Witt K. [Status of the endoprosthesis in rheumatic metacarpophalangeal joints: Long-term results of metacarpophalangeal prostheses using Swanson's Silastic spacers] (Ger). *Handchir Mikrochir Plast Chir* 1996; 28:254–264.
16. Swanson AB, de Groot Swanson G, Maupin BK. Flexible implant arthroplasty of the radiocarpal joint: Surgical technique and long-term study. *Clin Orthop Rel Res* 1984; 94–106.
17. Trampuz A, Piper KE, Hanssen AD, et al. Sonication of explanted prosthetic components in bags for diagnosis of prosthetic joint infection is associated with risk of contamination. *J Clin Microbiol* 2006;44:628–631.
18. Trampuz A, Zimmerli W. Diagnosis and treatment of implant-associated septic arthritis and osteomyelitis. *Curr Infect Dis Rep* 2008;10:394–403.
19. Triantafyllopoulos GK, Memtsoudis SG, Zhang W, et al. Periprosthetic infection recurrence after 2-stage exchange arthroplasty: Failure or fate? *J Arthroplast* 2017;32:526–531.
20. Wagner ER, Luo TD, Houdek MT, et al. Revision proximal interphalangeal arthroplasty: An outcome analysis of 75 consecutive cases. *J Hand Surg* 2015;40:1949–1955.e1941.
21. Yamamoto M, Malay S, Fujihara Y, et al. A systematic review of different implants and approaches for proximal interphalangeal joint arthroplasty. *Plast Reconstr Surg* 2017;139:1139e–1151e.
22. Zimmerli W, Trampuz A, Ochsner PE. Prosthetic-joint infections. *N Engl J Med* 2004;351:1645–1654.

Address correspondence to:

Dr. Christoph Biehl
UKGM Universitätsklinikum Gießen und Marburg
Standort Gießen
Rudolf-Buchheim-Str. 7
35392 Giessen, Germany

E-mail: christoph.biehl@chiru.med.uni-giessen.de

3.4 Strecksehnenrupturen bei rheumatischen Handgelenken

Chung et al. [108] und Barbati [109] et al. beschrieben spontane Rupturen von geschädigten Strecksehnen als Folge der entzündlichen oder reaktiven Beteiligung der Sehnen bei der Erkrankung am Handgelenk. Aufgrund der geringen Dicke der periartikulären Strukturen greift die rheumatoide Arthritis frühzeitig auf die Sehnen über und führt zu nachweisbaren Veränderungen [110, 111]. Die so geschädigten Sehnen besitzen über narbige Veränderungen und ein intaktes Peritendineum noch eine gewisse Restfunktion. Daher können Patientinnen/Patienten Sehnenpathologien scheinbar lange Zeit tolerieren, wenn sie langsam und mit peritendinösen Verwachsungen auftreten [108, 112]. Neben symptomatischen Sehnenrupturen werden auch zufällige Rupturen der Strecksehnen bei operativen Versorgungsfällen gefunden, ohne dass die Patientinnen/Patienten dies bemerken. Das Ziel dieser retrospektiven Studie war die Prävalenz der Strecksehnenruptur beim Rheumatiker zu überprüfen. Bei 1572 Operationen an rheumatischen Handgelenken wurden 61 Strecksehnenrupturen bei 41 Patientinnen/Patienten identifiziert. Das durchschnittliche Zeitintervall zwischen den ersten rheumatischen Symptomen an der Hand und der Operation betrug 6,4 Jahre. Die durchschnittliche Nachuntersuchungszeit betrug 4,6 Jahre (3 bis 14,2 Jahre). Die Rupturen der Strecksehnen auf Höhe des Handgelenkes fanden sich typischerweise an mechanisch belasteten Stellen. Die häufigste Ruptur fand sich an der Extensor pollicis longus-Sehne (21 Sehnen), gefolgt von der Kleinfingerstrecksehne (14 Sehnen). Ein Transfer wurde bei 7 Sehnen durchgeführt. Fünfundfünfzig Sehnenläsionen wurden an andere intakten Sehnen genäht. Freie Transplantate wurden nicht verwendet. Die funktionelle Verbesserung stimmte mit den Ergebnissen von Sehnenrekonstruktionen in Kontrollgruppen überein. Bei Rheumapatienten muss in 4 % der Beteiligung der Hand mit einer Ruptur einer Strecksehne gerechnet werden. Das Risiko eines begleitenden, zusätzlichen Sehnenschadens bei einer Sehnenruptur liegt bei 51%. Die Patientinnen/Patienten tolerieren und kompensieren diese Schädigungen über einen langen Zeitraum. Die subjektive Patientinnen-/Patientenakzeptanz ist abhängig vom Verlauf der Grunderkrankung, der postoperativen Versorgung (Ergotherapie, Physiotherapie, Orthese) und den Ansprüchen der Patienten.



Extensor tendon ruptures in rheumatoid wrists

C. Biehl^{1,2} · M. Rupp^{1,2} · S. Kern² · C. Heiss^{1,2} · T. ElKhassawna² · G. Szalay^{1,2}

Received: 4 May 2020 / Accepted: 25 June 2020
 © The Author(s) 2020

Abstract

Background and aims Rheumatoid arthritis is a chronic inflammatory disease. The associated involvement of hands and tendons is over 90% and impairs overall function. In the course of the disease, the joints are often operated on. During this operation, ruptures of the extensor tendons are found by chance without the patients noticing them. The aim of this retrospective study is the prevalence of extensor tendon rupture. Which tendon is destroyed most frequently? How can the functional outcome be measured after reconstruction?

Materials and methods From 1572 operations on rheumatoid wrists, 61 extensor tendon ruptures were identified in 41 patients. The average time between the first rheumatic symptoms of the hand and surgery was 6.4 years. The average duration of RA was 7.8 years. 26 patients with 27 tendon reconstructions were included in the follow-up with an average postoperative duration of 4.6 years (3 to 14.2 years).

Results Extensor tendons ruptures typically occurred at mechanically stressed sites. The most frequent rupture was found in the extensor pollicis longus tendon (21 tendons), followed by the small finger extensor tendon (14 tendons). A transfer was performed on 7 tendons. Fifty-five tendon lesions were sutured at other intact tendons. Free grafts were not used. The results in Clayton and QuickDASH scores were significantly different. Functional improvement was consistent with the results of tendon reconstructions in healthy control groups.

Conclusion In rheumatoid patients, a rupture of an extensor tendon must be expected at 4%. Patients tolerate and compensate this damage for a long time. The function of the hand including the tendon function is the most important factor in assessing the success of the operation. The subjective patient acceptance depends on the progress of the underlying disease, postoperative care (ergotherapy, physiotherapy, orthosis) and the patients' demands.

Keywords Extensor tendon · Tendon ruptures · Rheumatoid arthritis · Wrist function · Tendon reconstruction · Tendon suture

Introduction

Rheumatoid arthritis (RA) can lead to extensor tendon ruptures. They are not always clinically apparent, especially when peritendinous synovia lead to adhesion of the

Electronic supplementary material The online version of this article (<https://doi.org/10.1007/s00590-020-02731-1>) contains supplementary material, which is available to authorized users.

✉ C. Biehl
 Christoph.Biehl@chiru.med.uni-giessen.de
 M. Rupp
 Markus.Rupp@ukr.de
 S. Kern
 Stefanie.Kern@chiru.med.uni-giessen.de
 C. Heiss
 Christian.Heiss@chiru.med.uni-giessen.de
 T. ElKhassawna
 Thaqif.ElKhassawna@chiru.med.uni-giessen.de

G. Szalay
 Gabor.Szalay@chiru.med.uni-giessen.de

- ¹ Klinik Und Poliklinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie-Operative Notaufnahme, UKGM Universitätsklinikum Gießen Und Marburg, Rudolf-Buchheim-Str. 7, 35392 Giessen, Germany
- ² Experimentelle Unfallchirurgie, Justus-Liebig-Universität Giessen, Aulweg 128, ForMED (Forschungsgebäude Medizin), 35392 Gießen, Germany

Published online: 03 July 2020

Springer

tendon ends. Malpositioning of the fingers and often painful restrictions of movement are long-term effects. These can lead to ankylosis and affect other fingers and the use of the entire hand [16]. At the same time, many rheumatoid patients become accustomed to the slowly developing limitations (Fig. 1). Statements about the frequency of extensor tendon ruptures at the wrist level (zone VII) are rare. Ehrlich et al. [7] already described individual cases in 1959. Surgeons knew the predilection sites for a tendon rupture at the wrist, the Lister tubercle for the extensor pollicis longus tendon. The destroyed ulna head and the triangular fibrocartilage complex leads to the destruction of the tendon of extensor digiti minimi and extensor carpi ulnae (Fig. 1). Williamson et al. [21] found a prevalence of 1.6% of ruptured EDM tendon in rheumatoid wrists. Moore et al. [11], Nakamura et al. [12], and Sakuma et al. [18] report larger case numbers and most publications show significantly fewer case numbers.

Surgical treatment aims to improve the function of the wrist. The overall function of the hand and fingers depends on the good function of the tendons. A specific score for finger tendons or finger function does not exist. The known scores (Clayton, Funktionsfragebogen Hannover—functional questionnaire Hannover (FFbH), Activity of Daily Life (ADL), QuickDASH) record the overall situation of hand and arm, but do not differentiate further. In the cohort, patients achieve only below-average scores. The reason for this was seen in the accompanying tendon pathology.

Therefore, the specific benefit for tendon reconstruction or individual finger function is difficult to distinguish based on the mentioned scores.

This study aimed to determine the prevalence of extensor tendon ruptures in rheumatoid wrists and to make statements about the outcome after reconstruction.



Fig. 1 Clinical aspect of the involvement of extensor tendon in rheumatoid wrist with swelling on the dorsal side and lack of extension in the MCP—joint line

Patients and methods

This retrospective study includes the treatment of extensor tendon ruptures of the wrist. All patients gave written consent to participate, and ethical approval was not required (Regional Ethics Committee for Rhineland-Palatinate; Mainz, Germany).

Between 1984 and 2015, 1572 rheumatoid wrists were surgically treated. An extensor tendon reconstruction was necessary for both acute symptomatic and hidden extensor tendon ruptures during wrist surgery. Postoperatively, the early exercise of the tendons was performed by an ergotherapist. Also, a dynamic therapy with an inverted "Kleinert" extension splint was performed. This causes relief of the tendon suture and at the same time enables a protected movement and had to walk for at least 6 weeks. Afterward, a free extension of the fingers was made possible.

Patients were questioned about their limits in everyday life directly preoperatively and at time of follow-up (12 weeks after the operation) and clinically examined as well. This was monitored using an adjusted score for everyday functions (FFbH), the QuickDASH score, and a 100-point Clayton score (mobility, stability, ligament tension, and pain) [5, 8–10, 15, 19]. Only the Clayton Score provides a measuring instrument for the physician. The other scores (FFbH, QuickDASH) are based exclusively on the patient's information. During the follow-up, the authors examined the parameters of pain, strength, range of motion, and everyday functions.

However, due to the small group size and the lack of standard distribution, the statistical evaluation of the nonparametric procedures was performed with the Mann–Whitney *U* test and Kolmogorov–Smirnov test. The significance level was set at $p \leq 0.05$ for all analyses. ANOVA and Bonferroni correction were used as controls.

Results

In 41 patients, 62 extensor tendon ruptures at wrist level were detected after synovectomy of the tendon, with necessary tendon suture. The incidence of a tendon rupture in our cohort is 3.9% (62/1572).

The average age of patients at surgery was 62.2 (range, 32–92) years, the average duration of wrist pathology was 6.4 (range, 2–5) years. The average duration of RA was 7.8 years.

Of these extensor tendon reconstructions, 26 patients with 27 tendon surgeries were examined at follow-up. Five patients had already died at the follow-up. Nine patients

were no longer identifiable or refused further contact with the department. This corresponds to a responder rate of 66% of surgically treated wrists (27/41). The average follow-up was 4.6 (range, 33–14.2) years postoperatively.

The extensor tendons were pathologically altered with varying frequency. The question is how high the prevalence of tendon comorbidity of ruptured tendons is. A rupture of the extensor pollicis longus tendon (extensor pollicis longus: EPL) (21 tendons) was diagnosed most, followed by the small finger extensor tendon (extensor digiti minimi: EDM) (14), the ring finger (11), the index finger (6) and the middle finger (5). The extensor indicis (EI) was affected 4 times, a rupture of the extensor carpi ulnaris tendon (ECU) only once (Fig. 2).

Of 62 extensor tendons, we required 7 primary reconstructions and 55 couplings with other tendons (e.g., EI > EPL). If the 4th and 5th tendons were ruptured, they were sutured with other tendons. However, the tendon of the middle finger was used. No free tendon grafts had to be used. No revisions were necessary. Several tendons had to be reconstructed. The risk of concomitant, additional tendon damage with a tendon rupture was 51%.

The Patient-Reported Outcome Measures (PROMs) on the general everyday function postoperative hardly differed from the preoperative values. The authors asked specific hand and finger function according to the scores of ADL/FFbH and QuickDASH. Similar to in assessing subjective power. However, the patients rated the tendon function significantly better than the total function of the hand.

The Clayton Score increased from 49.6 points preoperatively to 60.1 points postoperatively (max. 100 points; $p=0.072$), which is still a poor result. The Clayton Score differed significantly from QuickDASH in the postoperative values ($p=0.038$). In the Functional Questionnaire Score, the patients achieved an average of 20 points postoperatively (FFbH, max. 40 points; $p=0.102$). In terms of content, QuickDASH and ADL / FFbH ask for parameters regarding the usability of the hand. The questions in both evaluations are 70% identical. The results of the Functional Questionnaire Score (ADL / FFbH) were

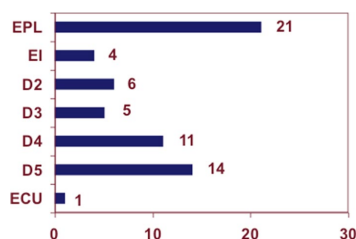


Fig. 2 Extensor tendon ruptures, broken down to finger tendon

inversely proportional to the results of the Clayton Scores (no significance, $p=0.72$) and QuickDASH ($p\leq 0.01$).

In nine patients, the scores worsened in the evaluation, in one patient they remained unchanged. Seventeen patients showed better results at follow-up (63%).

The pain improved from 7.5 points preoperatively on the visual analog scale to 2.9 points postoperatively ($p<0.05$). The significant decrease in pain is mainly caused by the denervation of the interosseus dorsal nerve. The patients still had limitations and projected the postoperative pain onto the hand as a whole. The authors also asked for impairment of the entire arm. The values show these results (Fig. 3).

The patients did not need revision surgery due to renewed ruptures, adhesions, or infections.

Discussion

Statements on the incidence of rheumatoid extensor rupture in the literature are rare. Depending on the local situation of the thin periarticular structures, rheumatoid arthritis spreads to the tendons at an early stage and leads to detectable changes [6, 13]. Patients tolerate tendon pathologies apparently for a long time if they occur slowly and with peritendinous adhesions [4, 20]. Ruptured tendon sometimes has an artificial function left caused by intact peritendineum. Chung et al. [4] and Barbati et al. [1] describe spontaneous ruptures of damaged extensor tendons as a result of the inflammatory or reactive involvement of the tendons in the disease on the wrist. This matches the experience of the authors.

The primary reconstruction is usually not possible in the ruptured tendon. Publications, therefore, recommend mainly the transfer or coupling of the tendons with an intact extensor tendon [3, 12]. As a second line of defense, many authors favor free transplantation [14, 22]. All tendon operations included in our study were secondary reconstructions with transfer or coupling. A primary suture was never possible, a free graft was not required.

The statistical evaluation in the individual scores revealed poor results. A differentiated evaluation of tendon function was not possible with the scores used. The scores used primarily consider the overall situation of the extremity. Thus, the overall consideration compensated deficits of special care and question. These scores are qualified for patient-related outcome estimation, objective measurements for the affected joint are not possible. There are no finger specific or other scores in the evaluated publications as well.

For this reason, some authors combine different nonspecific scores to make statements on tendon function. Rydholm et al. [17] report in their current publication on testing grip strength in rheumatoid patients. They compared patients' grip strength under basic therapy with

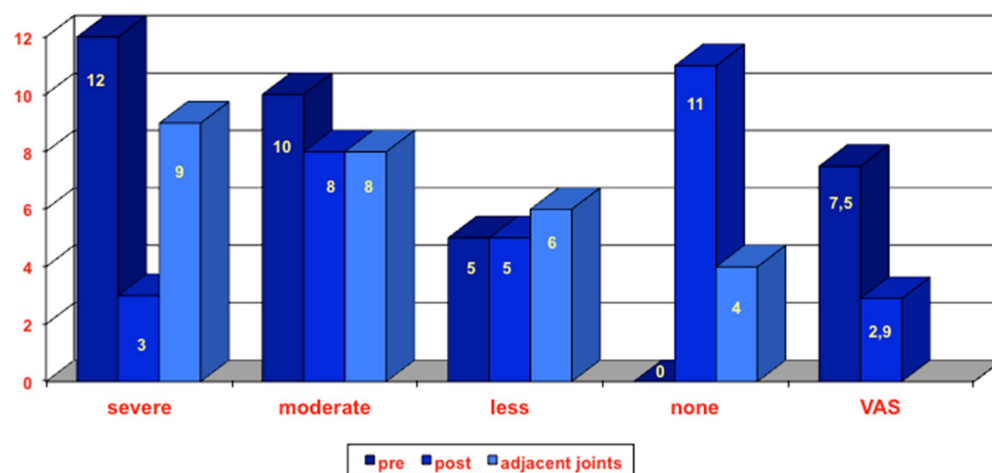


Fig. 3 Patient-reported limits for the wrist pre- and postoperative, adjacent joints of the extremity were evaluated separately (third column). Score results at the visual analog scale

developing the disease activity score (DAS28) of pain on the visual analog scale (VAS) and the Health Assessment Questionnaire (HAQ) [21]. Patients with an inflammatory affection of the wrist or tendons to affect the grip forces were excluded in this study.

In rheumatoid patients, tendon ruptures do not occur in isolation. Depending on the duration of the disease, joints, and tendons of the affected extremity are usually already involved. This leads to poor results. Here the authors have to set the bad initial value in relation.

The patients assessed the overall situation of their hand as sufficient (2.7) and at the same time reported a significant improvement in pain (VAS -4.6 points), when the function of the finger extensors was given. Improvement in the Clayton score (+ 10.5 points) was observed, with wrist-dependent improvement in the everyday workload. Patient satisfaction depends on finger and extensor tendon function. In most cases, the postoperative stress on the tendons is reduced with less pain.

Rheumatoid patients functionally tolerate and seemingly compensate partial and complete extensor tendon ruptures for a long time. Therefore, contact with the orthopedic surgeon and operative treatment often takes place late. Rydholm et al. [17] report similar results. There is also a demonstrable difference between observed force and subjective patient assessment of the hand function in its publication. In our cohort, the wrists were involved in averaged 6.4 years, before surgical treatment. Other authors report similar results. When assessing the success of surgery, the global function of the wrist is in the

foreground. Subjective patient acceptance is consistently good in assessing the tendon. In our cohort, the EPL tendon was most often affected by 21/62 tendon ruptures (34%). In contrast to this Williamson et al. [21] report, the EDM tendon will rupture first. In our study, only 14/62 tendon ruptures belonged to the EDM tendon (23%).

Previous studies about the postoperative result showed a strong correlation between good tendon function and patient satisfaction in upper limb surgery [2].

Patients do not see the function of the sewn extensor tendon only on its own but evaluate the suitability for daily use of the entire extremity.

Nevertheless, there are differences between the involved tendons in daily life. Patients with a reconstruction of the

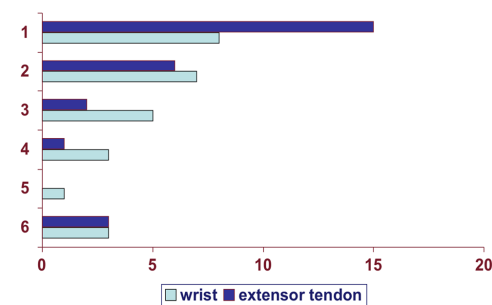


Fig. 4 Subjective patient satisfaction according to school notes (1 = best, 6 = worse)

EPL tendon still have limitations when using the hand (Fig. 4).

Conclusion

Rheumatoid patients tolerate and compensate for long term extensor tendon ruptures leading to late clinical presentation. The incidence of an extensor tendon rupture at the wrist is almost 4% and the prevalence of an additional rupture of another tendon is over 50%. Advanced tendon rupture allows only the coupling or transfer of non-affected tendons. The functional scores evaluate the overall situation. A specific score for finger function does not exist. However, the global wrist function is crucial for the daily life of patients, which must be taken into account when planning and assessing therapeutic options.

Acknowledgement Open Access funding provided by Projekt DEAL. The authors thank Heiner Thabe, Prof. for the opportunity to give his experience in the medical care of rheumatoid patients in general and in this study. He is and remains a great teacher for us. We are also immensely grateful to Jochen Jung, MD (Diakonie Krankenhaus Bad Kreuznach, kreuznacher diakonie) for his comments on an earlier version of the manuscript or lecture, although any errors are our own and should not tarnish the reputations of this esteemed person.

Author contributions CB designed the retrospective cohort study and was responsible for data collection. CB, MR, and GS were responsible for the patient-reported outcomes component of the study. CB, SK, and TE performed the statistical analysis and drafted the manuscript. MR, TE, CH, and GS corrected the manuscript to improve the quality of written English. GS and TE made substantial contributions to analysis and interpretation of data. All authors read and approved the final manuscript.

Funding There is no source of funding. This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Compliance with ethical standards

Conflicts of interest The authors declare that they have no competing interests. They declare that they have no affiliations with or involvement in any organization or entity with any financial interest or non-financial interest in the subject matter or materials discussed in this manuscript.

Data availability and materials The datasets used and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Consent for publication Not applicable.

Consent to participate All authors read and approved the final manuscript.

Ethical approval All procedures performed in studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of the insti-

tutional and/or national research committee and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards. All patients received information about the study and gave written consent. The hospital data protection officer according to the National Institutes of Health guidelines approved the retrospective study design and all investigation protocols. According to the legal bases of the Ethics Committee, State Chamber of Medicine in Mainz, Rhineland-Palatinate (chairman Prof. Dr. med. Dipl. Ing. Stephan Letzel; §5a, professional code), no approval was necessary.

Informed consent Due to retrospective nature of the research, no informed consent was requested by the ethical committee. Individual patients cannot be identified.

Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

References

1. Barbati A, Geraci A, Borri M et al (2017) Spontaneous rupture of the digital extensor tendons of the hand in unrecognized carpal lunate fracture. *Acta Orthop Mex* 31:91–94
2. Biehl C, Braun T, Thormann U et al (2018) Radiocarpal fusion and midcarpal resection interposition arthroplasty: long-term results in severely destroyed rheumatoid wrists. *BMC musculoskeletal disorders* 19:1–7
3. Chu P-J, Lee H-M, Hou Y-T et al (2008) Extensor-tendons reconstruction using autogenous palmaris longus tendon grafting for rheumatoid arthritis patients. *J Orthop Surg Res* 3:16
4. Chung KC, Kotsis SV (2010) Outcomes of hand surgery in the patient with rheumatoid arthritis. *Curr Opin Rheumatol* 22:336–341
5. Clayton ML (1965) Surgical treatment at the wrist in rheumatoid arthritis: a review of thirty-seven patients. *J Bone Joint Surg Am* 47:741–750
6. Doita M, Saura R, Mizuno K (1998) Tendon rupture of the extensor pollicis longus tendon in rheumatoid arthritis. *Ryumachi* 38:491–495
7. Ehrlich GE, Peterson LT, Sokoloff L et al (1959) Pathogenesis of rupture of extensor tendons at the wrist in rheumatoid arthritis. *Arthr Rheumatol* 2:332–346
8. Gummesson C, Ward MM, Atroshi I (2006) The shortened disabilities of the arm, shoulder and hand questionnaire (Quick-DASH): validity and reliability based on responses within the full-length DASH. *BMC Musculoskelet Disord* 7:44
9. Lawton MP, Brody EM (1969) Assessment of older people: self-maintaining and instrumental activities of daily living. *Gerontologist* 9:179–186
10. Mlinac ME, Feng MC (2016) Assessment of activities of daily living, self-care, and independence. *Arch Clin Neuropsychol* 31:506–516

11. Moore JR, Weiland AJ, Valdata L (1987) Tendon ruptures in the rheumatoid hand: analysis of treatment and functional results in 60 patients. *J Hand Surg Am* 12:9–14
12. Nakamura S, Katsuki M (2002) Tendon grafting for multiple extensor tendon ruptures of fingers in rheumatoid hands. *J Hand Surg Br* 27:326–328
13. Neurath MF, Stofft E (1993) Ultrastructural causes of rupture of hand tendons in patients with rheumatoid arthritis. a transmission and scanning electron microscopic study. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg* 27:59–65
14. O'sullivan MB, Singh H, Wolf JM (2016) Tendon transfers in the rheumatoid hand for reconstruction. *Hand Clin* 32:407–416
15. Raspe H, Hagedorn U, Kohlmann T et al (1990/2008) Questionnaire for the diagnosis of functional disability caused by backache. German: Funktionsfragebogen FFbH. Ein Instrument zur Funktionsdiagnostik bei polyartikulären Erkrankungen. In: Sigrist J (Hrsg) *Wohnortnahe Betreuung Rheumakranker*. In: *Rheumatologie DG (ed) Qualitätssicherung in der Rheumatologie*. Steinkopff, Stuttgart, New York
16. Rehart S, Sell S, Arbogast M, Aringer M, Arnold I (2015) *Expertise Orthopädische Rheumatologie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
17. Rydholm M, Book C, Wikstrom I et al (2018) Course of grip force impairment in patients with early rheumatoid arthritis over the first five years after diagnosis. *Arthr Care Res* 70:491–498
18. Sakuma Y, Ochi K, Iwamoto T et al (2014) Number of ruptured tendons and surgical delay as prognostic factors for the surgical repair of extensor tendon ruptures in the rheumatoid wrist. *J Rheumatol* 41:265–269
19. Shauver MJ, Chung KC (2013) The Michigan hand outcomes questionnaire after 15 years of field trial. *Plast Reconstr Surg* 131:779e–787e
20. Val L, Vainio KJ (2009) Spontaneous ruptures of tendons in rheumatoid arthritis. *Acta Orthop Scand* 24:250–257
21. Williamson L, Mowat A, Burge P (2001) Screening for extensor tendon rupture in rheumatoid arthritis. *Rheumatology* 40:420–423
22. Wilson RL, Devito MC (1996) Extensor tendon problems in rheumatoid arthritis. *Hand Clin* 12:551–559

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

3.5 Versorgung von Hand- und Fingerfrakturen mit dem Stryker

Handplattensystem

10 % aller Frakturen treten im Bereich der Finger und Mittelhand auf. Eine frühe Mobilisierung mit Erhalt der Greiffunktion ist das Ziel jeder Therapie dieser Verletzungen. Osteosynthesen mit Platten werden bei komplexen Frakturen eingesetzt, die eine andere Behandlung nicht zulassen. Das Ziel dieser retrospektiven Studie war es, die Leistungsfähigkeit und Sicherheit des Handplattensystems der Firma Stryker zu evaluieren.

Zwischen 2010 und 2019 wurden 190 Patienten bei Frakturen im Bereich der Finger und Mittelhandknochen mit winkelstabilen und nicht-winkelstabilen Leibinger-Platten operativ versorgt. Davon konnten 140 Operationen nach den Einschlusskriterien anhand von klinischen und radiologischen Parametern analysiert werden.

Drei Viertel der Patienten waren männlich. Das mittlere Alter zum Zeitpunkt der Operation betrug $39,3 \pm 15,97$ Jahre. Stürze waren die häufigste Ursache für Hand- und Fingerfrakturen, am häufigsten waren Schaftfrakturen (>52%). Mehr als 15% waren komplexe Handverletzungen mit mehr als einem gebrochenen Finger. Die Mehrzahl der Patienten waren gesunde Nichtraucher ohne systemische Erkrankungen und relevante Anamnese.

Die Stryker Fingerplatten sind sichere Implantate mit guten Ergebnissen, die mit den in der Literatur berichteten Ergebnissen übereinstimmen. In der Studie wurden nahezu ausschließlich nicht-winkelstabile Platten verwendet wurden. Der Trend geht auch bei der Frakturversorgung komplexer Fingerfrakturen zu winkelstabilen Implantaten, um eine frühestmögliche funktionelle, sichere Mobilisierung zu ermöglichen. Es gilt weiterhin die Maxime, dass das Ausmaß der Weichteilverletzung für das Ergebnis verantwortlich ist.

Treatment of hand and finger fractures with the Stryker Hand Plating System

Versorgung von Hand- und Fingerfrakturen mit dem Stryker-Handplattensystem

Abstract

Objectives: 10% of all fractures occur in the fingers and metacarpal region. Early mobilization with preservation of grip function is the goal of any therapy for these injuries. Osteosyntheses with plates are used in complex fractures that do not allow any other treatment. The aim of this retrospective study was to evaluate the performance and safety of the Stryker Hand System.

Patients and methods: Between 2010 and 2019, 190 patients underwent surgical treatment with plates for fractures of the fingers and metacarpal region. Of these, 140 operations could be analyzed according to the inclusion criteria based on clinical and radiological parameters.

Results: Three-quarters of the patients were male. The mean age at the time of surgery was 39.3 ± 16 years. Falling was the leading cause for hand fractures, and the most common were fractures of the shaft (>52%). More than 15% were complex hand injuries with more than one fractured finger. The majority of patients were healthy non-smokers without systemic diseases and relevant medical history.

Conclusion: The Stryker Finger Plates are safe implants with good results that are consistent with those reported in the literature. The trend is also toward stable-angle implants for fracture treatment of the finger, in order to enable the earliest possible functional, safe mobilization.

Level of Evidence: Level: IV; outcome-study, retrospective

Keywords: finger fracture, Stryker Plating System, osteosynthesis, metacarpal and phalanx fractures

Christoph Biehl^{1,2}

Sabine Stötzel²

Lydia Schock^{1,2}

Gabor Szalay^{1,2}

Christian Heiss^{1,2}

1 Department of Trauma, Hand and Reconstructive Surgery, University Hospital Gießen, Germany

2 Experimental Trauma Surgery, Justus Liebig University of Gießen, Germany

Zusammenfassung

Zielsetzung: 10% aller Frakturen treten an Fingern und Mittelhand auf. Eine frühe Mobilisierung mit Erhalt der Greiffunktion ist das Ziel jeder Therapie dieser Verletzungen. Osteosynthesen mit Platten werden bei komplexen Frakturen eingesetzt, die eine andere Behandlung nicht zulassen. Das Ziel dieser retrospektiven Studie war es, die Leistungsfähigkeit und Sicherheit des Stryker-Hand-Systems zu evaluieren.

Patienten und Methoden: Zwischen 2010 und 2019 wurden 190 Patienten bei Frakturen im Bereich der Finger und Mittelhandknochen mit Platten operativ versorgt. Davon konnten 140 Operationen nach den Einschlusskriterien anhand von klinischen und radiologischen Parametern analysiert werden.

Ergebnisse: Drei Viertel der Patienten waren männlich. Das mittlere Alter zum Zeitpunkt der Operation betrug $39,3 \pm 15,97$ Jahre. Stürze waren die häufigste Ursache für Handfrakturen, am häufigsten waren Schaftfrakturen (>52%). Mehr als 15% waren komplexe Handverletzungen mit mehr als einem gebrochenen Finger. Die Mehrzahl der Patienten waren gesunde Nichtraucher ohne systemische Erkrankungen und relevante Anamnese.

Schlussfolgerung: Die Stryker-Fingerplatten sind sichere Implantate mit guten Ergebnissen, die mit den in der Literatur berichteten Ergebnissen

übereinstimmen. Der Trend geht auch bei der Frakturversorgung des Fingers zu winkelstabilen Implantaten, um eine frühestmögliche funktionelle, sichere Mobilisierung zu ermöglichen.

Evidenzgrad: IV; retrospektive Ergebnis-Studie

Schlüsselwörter: Fingerfraktur, Stryker-Plattensystem, Osteosynthese, Frakturen der Mittelhandknochen und der Finger

Objectives

Hands and fingers, as exposed gripping organs of humans, are exposed to injuries. The metacarpals and fingers account for about 10% of all fractures. The vast majority of injuries to the fingers can be treated conservatively [1]. The indication for surgical treatment is always given when open or unstable fractures or intra-articular fractures or rotation defects are present [2]. Imaging is indispensable for confirming the diagnosis [3]. The aim of the operation is an early mobilization of the finger and the soft tissue close to the bone to preserve the gripping function [4]. In addition to the anatomical reconstruction of the bone, the therapy takes into account the protection of tendons and tendon gliding tissue to avoid unnecessary restrictions [5], [6], [7]. If using minimally invasive procedures like Kirschner wires (K-wires) or screws is not possible due to the fracture morphology, osteosyntheses with plate implants are used. In recent years, angle-stable implants have also been increasingly used in hand surgery to further improve early functional exercise. All procedures and therapists must be measured against the 'restitutio ad integrum'.

The Stryker Hand Plating System is a comprehensive mini fragment fixation system of plates in varying lengths, shapes and widths (designs) consisting of two modules: the VariAx Hand Locking Plate, offering the benefit of variable angled locking, and the Profyle Hand Standard Plating, utilizing non-locking plates. The plating system offers locking and non-locking options necessary to treat a full range of hand (metacarpal) and wrist fractures. The system is intended for use in internal fixation of small bones of the hand (finger) and wrist.

The objective of this retrospective study is to demonstrate the performance and safety of the Stryker Hand Plating System.

Patients and methods

This retrospective study has been designed to collect safety and performance standard of care data on patients who have been previously operated (2010–2019) with the Stryker Hand Plating System for the treatment of hand and wrist fractures in adults (18 years and older) per indications for use. The study was approved by the institutional review board of the University Hospital Gießen and Marburg, Campus Gießen in Germany and was filed under the number AZ 45/19 in March 2019. First, bone consolidation in correct alignment, measured by radiographic and clinical assessments, documented the performance

of the procedure. Second, the safety of the Stryker Hand Plating System was demonstrated through reporting of implant-related intraoperative and postoperative adverse events via a previously collected data set on the same sample population. Furthermore, pain or painlessness, as well as the ability to bear weight after consolidation were evaluated.

The authors included all patients who were operated on from 2010 to 2019 and met the protocol requirements. Data were collected as a consecutive case series from the investigator standard patient population. Patients with insufficient follow-up were documented but not included in analyses. Patients that met the following inclusion criteria were eligible for participation:

1. patients 18 years or older at the time of index procedure,
2. patients who previously received the Stryker Hand Plating System (VariAx and Profyle) by the indications for use: internal fixation of small bones including the hand and wrist.

Between 2010–2019, 190 patients were operated at the Department of Trauma, Hand and Reconstructive Surgery, using VariAx Hand Locking Plate Module or Profyle Hand Standard Plating Module systems. Eight adolescent patients were excluded from the study, because only adult patients were enrolled (see point 1. of the inclusion criteria). Furthermore, 42 patients without completely documented follow-up were excluded. In total, 140 patients participated in the study.

Data collection (methods/sources)

The operation was performed on an outpatient basis, except for complex hand injuries. Data were collected at preoperative, operative/discharge, on the first postoperative day, after 3 and 6 weeks. At these points, an X-ray and a clinical examination were regularly performed. If the fracture did not consolidate, the period was extended by three weeks each time. From 3 months on, delayed fracture healing is defined, and from the 6th month a pseudarthrosis. Metal removal was optional and was only done at device-related events or at the request of the patient.

Follow-up visits were performed until either bone consolidation had occurred, or the implant was removed (hardware removal) or otherwise determined to be a failure. Subjects for whom follow-up was insufficient to make this determination were documented, but not included in analyses.

Methods of assessment/measurement

Only finger and metacarpal fractures were included in the study, and the fractures were classified into head, shaft, and base according to their location. Complex hand injuries were included in the same way. These are defined as multi-structural injuries of vessels, nerves, tendons, bones, and soft tissue that led to a restriction or loss of function.

Follow-up treatment was based on a checklist that included clinical evaluation for pain, exercise capacity, overall hand range of motion, and radiological control. Only data on demographics, medical/surgical history, bone consolidation, and adverse events were included.

Revisions/adverse events

Complications were classified as delayed bone healing, functional limitations, and severe complications such as deep infections.

Statistics

All documented eligible patients operated between 2010 and 2019 were included. The table was screened for double-listed cases, and cases with missing follow-up consultations were excluded before statistical evaluation. This table is not provided in this report due to its scope and data protection.

A descriptive statistical evaluation was performed as mean $\pm$ standard deviation as well as the minimal and maximal values for age, body mass index, and consolidation time. Frequency analysis was performed for all other values (e.g. gender, race, medical history, injury and fracture classification) using Statistical Package PASW 26.0 (IBM, SPSS Inc., Armonk, NY, USA). Results were documented as absolute numbers and percentages (rounded to one decimal place)* of valid cases.

*Visualization was performed as pie charts. Because of the rounding to one decimal place, discrepancies from 100% at the first decimal place could occur.

Results

Study population

The patients of the study group were between 18 and 86 years of age (mean $\pm$ SD: 39.3 $\pm$ 16). The Body Mass Index (BMI) ranged between 19.2 and 40.6 (25.1 $\pm$ 3.3). Almost three quarters of the patients were male (103 patients), with a minority of 37 female patients.

Medical history

Standard medical history regarding smoking habits and other diseases revealed that 84 patients were non-smokers, nine were previous smokers, 41 were smokers, while six patients refrained from answering. Furthermore,

only 7 patients had diabetes mellitus, 6 gave no information, and 127 were not diabetic. Only 5 patients had osteoporosis, another 5 gave no information and the remaining 130 patients were not osteoporotic. 33 of the patients included in this study had an additional medical history of interest, in one case this information was not available, and 106 patients had no additional relevant medical background.

The evaluated additional relevant medical history of the patients was manifold, including e.g. cardiac and lung diseases, psychological as well as cancer diseases, and drug abuse. 9 of the total number of 33 patients had more than one relevant additional medical condition. A complete list of the additional medical history documented during this study is listed in Table 1.

Table 1: Additional relevant medical history of the study participants listed by diseases/medical condition and number of cases (N=33)

Medical condition	Number of cases
Hypertonia	16
Hyperthyroidism	4
COPD	4
Asthma	3
Depression	3
Alcohol abuse	2
Drug abuse	1
Leukemia	1
Dialysis	1
Cold	1
Pulmonary embolism	1
Varicosis	1
Mental illness	1
Schizophrenia	1
Dementia	1
Lumbalgia	1
State after prostate cancer	1

Injury cause and type

The initial accident that made the surgery necessary varied from road accident (10 cases of motor vehicle accidents, 8 cases of motorcycle collisions, and 1 pedestrian struck), falls (45 from standing and six from a height), 29 crushes, and 41 "other", which were not defined in more detail (Figure 1A). In 86 cases the right hand was affected by the accident, and in 54 cases the left hand (Figure 1B). Fractures (metacarpal and finger fractures) were classified into "fracture of the base" (51 cases), "fracture of the shaft" (73 cases), "fracture of the head" (11 cases), and in 5 cases the classification was missing (Figure 1C). Fractures of the hand differ in severity and complexity. Therefore, the hand fractures in this study were classified as "complex hand injuries" in 22 of the evaluated 140 cases (Figure 1D).

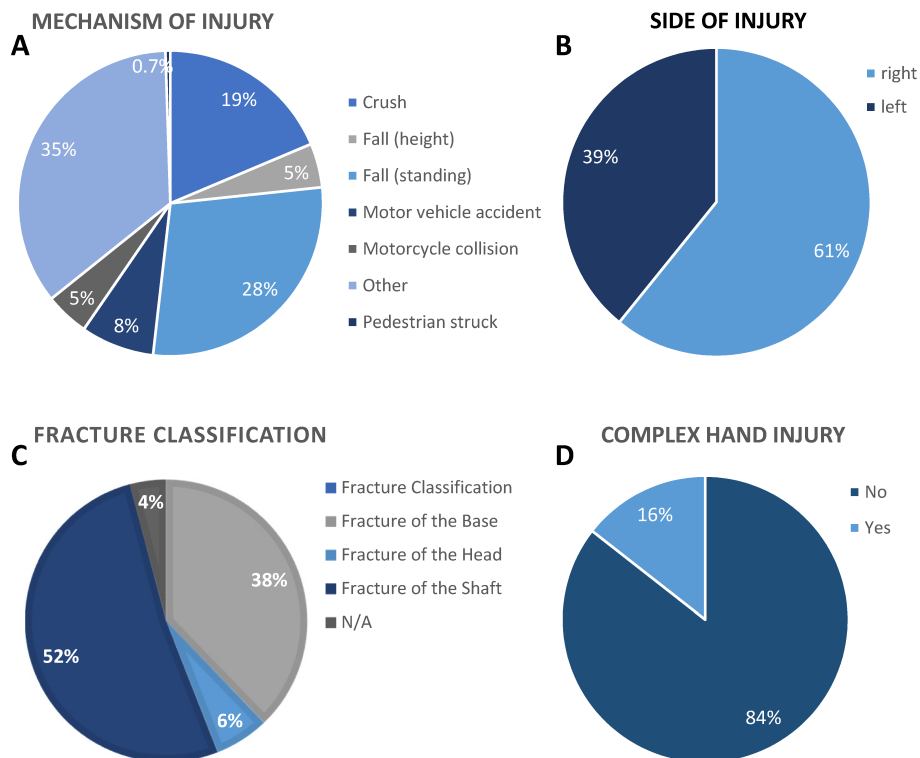


Figure 1: Falling was the leading cause for hand fractures and commonest were fractures of the shaft (metacarpal and finger). 13.5% of the hand fractures were caused by road accidents, 36.4% were the results of falls, 20.7% were caused by crushes and 29.3% of the hand fractures had other reasons (A). The right hand was the major (61.4%) side of injury (B). More than half of the fractures (52.1%) were classified as fractures of the shaft and fractures of the base (36.4%) were more common than fractures of the head (7.9%) and 3.6% of the fractures were not applicable (C). Complex hand injuries were identified in only 15.7% of the cases (D). All values are shown as percentage of 140 evaluated cases.

Primary indications and device use details

There were different indications that resulted in hand surgery (Figure 2A). In this study, the most common reasons were surgical treatment of metacarpal fractures (82 cases) and phalangeal fractures (52 cases). Joint fusion was the primary indication of surgery in 4 cases, one patient underwent hand surgery for internal fixation of small bones in the hand, one for corrective osteotomy, and another one for replantation. The Profyle Hand Standard Plating is a non-locking plate and was used in the majority (136) of the study cases, whereas the VariAx Hand Locking Plate was used in only 4 cases (Figure 2).

Bone consolidation (performance)

The major objective of surgical fracture treatment is regaining function. Therefore, bone consolidation was clinically and radiographically monitored, and the ability to bear weight as well as being pain-free were evaluated for all 140 evaluated cases (Figure 3). X-rays were evaluated independently by radiologists and trauma surgeons using INFINITT PACS viewer, with joint discussion and evaluation of X-rays in difficult cases. No scoring system was used. Bone consolidation was observed radiographically in 121 cases after 93.2 days ((mean±SD)±55.7; min: 36; max: 212) (Table 2).

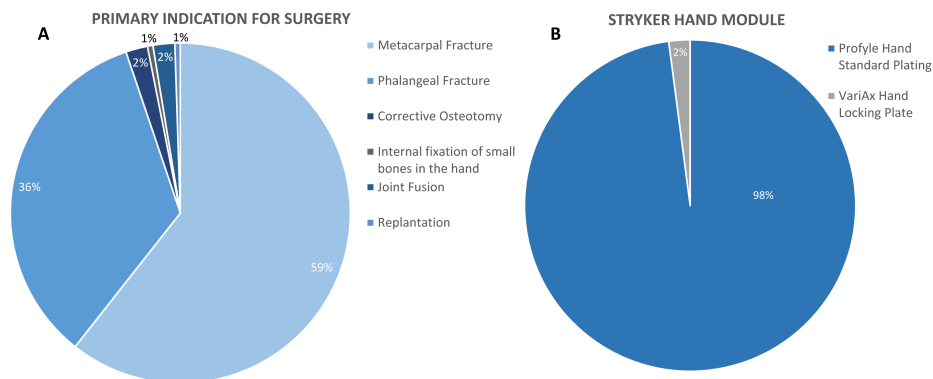


Figure 2: Non-locking plates were primarily used for surgical treatment of metacarpal and phalangeal fractures. Metacarpal (58.6%) and phalangeal (36.4%) were the most frequent fractures of the hand (A). Joint fusion was only represented with 2.9% and internal fixation of small bones in the hand, as well as replantation and corrective osteotomy each, were performed in only 0.7% of the cases. VariAx Hand Locking Plates were used in only 2.9% of the evaluated cases (B). All values are shown as percentage of 140 valid cases.

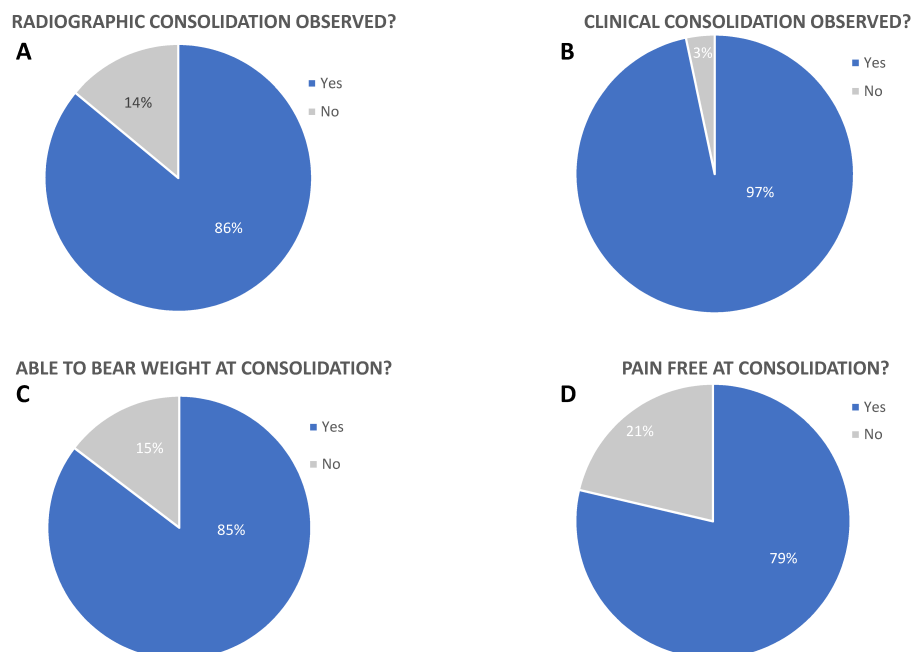


Figure 3: Primary endpoint of this study was defined as healing/performance of the implants. Consolidation was radiographically (A) and clinically (B) confirmed in 86.4% and 96.4% of all cases. 84.3% of patients were able to bear weight at consolidation (C) and 77.9% of all patients were pain free (D). All values are shown as percentage of 140 evaluated cases.

Table 2: Bone consolidation in days

	Determination		
	Clinically	Radiologically	Clinically and radiologically
Mean	108.7	110.7	109.9
SD	122.3	125.3	126.2
Min	36	41	36
Max	469	469	469

In 19 fractures, no consolidation could be documented. The consolidation of the bone was also clinically evaluated. Hereby, 135 patients were positively rated, 5 cases showed no clinical consolidation, and only 2 of these 5 patients showed no clinical consolidation despite radiographically confirmed consolidation after 118 and 183 days, respectively.

The longest documented period was 1200 days for one patient who needed two revision surgeries to reach consolidation. Because of the revision surgeries, this case was excluded from the study.

3 patients showed neither radiographically nor clinically confirmed consolidation after 35 and 43 days, respectively. One patient developed a wound infection.

Grip strength, movement and pain

118 of the patients in this study were able to grasp normally (radiologically and/or clinically determined) with the hand and fingers at consolidation, and 109 patients were pain-free at consolidation. Range of motion of the fractured finger was not differentially recorded. Only finger extension and fist closure were assessed, since the focus was on the use of the hand as a whole after surgical treatment. Only 22 patients were unable to use their hand at consolidation, and in 31 cases the goal of freedom from pain was not achieved (Figure 3C-D).

Device-related adverse events (implant safety)

Currently available implants for trauma and orthopedic surgery show a high biocompatibility. A removal of the implants after healing is mostly not planned and indicated. Therefore, a performed hardware removal as well as a delayed healing could be a sign of healing dysfunction or adverse events.

Device-related adverse events were seen in only 16 cases. 123 patients showed no signs of adverse events. For one patient, the information about adverse events was missing. The different types of adverse events and the number of cases in this study are listed in Table 3.

From the 140 patients included in the study, for 32 patients a delayed healing was documented, but 108 of the patients (77.1%) showed no signs of a delayed healing. Independent of the reason, a hardware removal was performed for 47 patients (33.6%), whereas the implants remained with the patients in 91 cases. The information about implant removal was not available in 2 cases.

A medical indication for the hardware removal was documented in 12 of the 47 cases of performed hardware removal. The device-related adverse events for the Profyle Hand Standard Plating were evaluated (Table 3).

Table 3: Observed adverse events are listed and the number of cases for each adverse event (total number of cases with adverse events = 16)

Adverse event	Number of cases
Nail growth error	3
Plate dislocation	3
Wound infection	2
Non-union	2
Broken plate	1
Itching	1
Bad joint mobility	1
Not specified	3

Discussion

The aim of this retrospective study was to demonstrate the performance and safety of the Stryker Hand Plating System. This study differs from many publications that either compare different osteosynthesis procedures or focus on finger function [8], [9]. All patients of our hospital which underwent reconstruction of finger fractures with plate and with complete documentation were included. The mean age of the patient population was 39 years. Compared with the collectives in the literature, the patients in our study are older, which may be country-specific. In comparison, the patients in the study by Egloff et al. were around 35 years old [10]. Pandey et al. report an average of 29 years in their Italian study [11], and Ahmed et al. have an average age in Pakistan of around 25 years [12]. An exception is the epidemiological study by Voth et al. on hand injuries in children [13].

75% of the patients requiring surgery in our collective were men. This is consistent with the patient collectives of Fusetti et al. [14].

In terms of medical history, age-adjusted data on tobacco use and concomitant diseases such as diabetes mellitus and osteoporosis correlate with the overall population of the country. In terms of surgical procedures and also potential complications, concomitant diseases seem to play only a minor role in the literature. The study group is too small for statistical conclusions about which comorbidities foster complications.

In this study, falls were the most common mechanism of injury leading to finger fractures. The dominant hand was involved in two thirds of the cases. As a national trauma center for occupational injuries, the proportion of occupational fractures and crush injuries at the hand was increased compared with the literature. Chung et al. identified falls as the main reason of a finger fracture in over 47% [15], and Voth et al. identified sports accidents in nearly 25% of under-18-year-olds [13]. No major differences were seen in the location of the fracture according

to the literature. More than half of the surgically treated fractures are located in the shaft region, followed by fractures of the base. Fractures of the heads account for less than 10% of fractures at metacarpals and phalanges. The use of plate systems for joint fusion or corrective osteotomies is reserved for individual cases after particularly strict indication. This is also consistent with reports in the literature [16]. The low proportion of angle-stable restorations in the collective is due to a late introduction of these systems in the hand. In the literature, improved early functional exercise is cited as an advantage of angle-stable plates [17], [18].

The primary indication for surgical treatment of metacarpal and phalanx fractures with a plate are dislocated, unstable fractures with rotational deformity and axial deviation [2]. Contrary to other authors, we do not consider the treatment of an open injury with plate osteosynthesis to be mandatory. In contrast, Haughton et al. say that "a fracture is best described as a soft tissue injury with an associated bony injury" [6]. Patient satisfaction with surgical treatment depends on good tendon function [19], [20]. Osteosynthesis should take this into account instead of additionally compromising the soft tissues by inserting (avoidable) plates [6], [21].

The consolidation time averaged 108.7 days, with the fastest consolidation after only 35 days, and the longest time period of 1200 days. In 85% of the fractures, consolidation was confirmed radiologically as well as clinically (119/140). In the literature, consolidation has been reported from 87% to 97% [12], [11], [22].

3 patients showed neither radiologically nor clinically confirmed consolidation at 35 and 43 days, respectively. One patient developed a wound infection.

Revisions/adverse events

Complications must be distinguished between delayed bone healing, functional impairment, and severe complications such as deep infections. If the literature data on pseudarthrosis vary from 30–36%, the limitations of finger function are only about 10%. Limits of function are most severe for patients [23]. Deep infections are rare at around 1% despite the often difficult soft-tissue situation on the fingers [24], [25], [26]. A similar distribution is also reflected in our patient collective with 11.4%. 84.3% of this study's patients were able to bear weight at consolidation (radiologically and/or clinically determined) and 77.9% of the patients were pain free at consolidation. Only 22 patients were not able to bear weight at consolidation, and in 31 cases the aim of being pain-free was not reached (Figure 3C–D). A delayed healing was documented in 22.9% of the cases. Chen et al. reported similarly poor results [27]. This highlights a problem with the general treatment of complex finger fractures. Plates have the highest stability, compared with wires, but imply greater soft tissue irritation from surgery [28], [29], [30]. More stable injuries often heal with minimal functional deficit. Since to date the undoubted su-

periority of a fitting has not been proven, it remains the individualized treatment decision of the surgeon [31].

Limitations

The retrospective study has some limitations. A prospective study design would be more valid for the conclusions. Preoperative history and functional tests (e.g. DASH score) could be assessed. Furthermore, a control group (different plate systems, different surgical treatment) is missing. However, this is due to the structure of the hospital on the one hand, and fracture morphology and indication on the other.

Conclusion

The Stryker Finger Plates are safe implants with good results that are consistent with those reported in the literature. The trend is also toward stable-angle implants for fracture treatment of the finger, in order to enable the earliest possible functional, safe mobilization.

Abbreviations, Software and Implants

- BMI: Body Mass Index
- K-wires: Kirschner wires
- INFINITT PACS (INFINITT Europe GmbH, Frankfurt, Germany)
- Profyle Hand Standard Plating (Stryker-Leibinger, Kalamazoo, MI, USA)
- Statistical Package PASW 26.0 (IBM, SPSS Inc., Armonk, NY, USA)
- VariAx Hand Locking Plate (Stryker-Leibinger, Kalamazoo, MI, USA)

Notes

Ethical approval

Ethical approval was obtained by the Ethics Committee of the Justus Liebig University Gießen prior to the beginning of the study (AZ 45/19).

The raw data are available from the already completed routine diagnostics. There were no expected burdens on the patients. The data was evaluated anonymously and descriptively (inventory).

Funding

The current research is an investigator-initiated Post-Market Clinical Follow-up (PMCF) funded by Stryker European Operations LTD Anngrove, IDA Business & Technology Park, Carrigtwohill, Co Cork, T45HX08, Ireland. Stryker financially supported the study with a total of 31,480 EUR. 25,400 EUR for a scientific researcher,

4,780 EUR overhead for the university, 1,300 EUR for the reports. The funding plays no role in the surgical treatment, collection, management, analysis, as well as data interpretation. Final reports and publications will be independent of the financial supporter.

Authors' contributions

- Study conception and design: GS, Stryker
- Acquisition of data: CB, CH, LS, GS
- Data monitoring and statistical analysis: CB, SS, CH, GS
- Analysis and interpretation of data: CB, SS, CH
- Drafting of the manuscript: CB, SS
- Critical revision: CH, GS, LS, CB, SS

Acknowledgments

We acknowledge financial support by Stryker European Operations LTD. In addition, we are thankful for the support of Open Access Publishing of Justus Liebig University Gießen. We are also immensely grateful to Susann Hoefer and colleagues from Stryker Company for their comments on an earlier version of the manuscript, although any errors are our own and should not tarnish the reputation of these esteemed persons. We would like to thank Dr. Martin Heinrich, Matthias Lany, Dr. Matthias Mülke, Dr. Claudiu Oltenau, Melanie Schlägner, and Dr. Susanne Tilp for their support in collecting the data and performing analysis.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

References

- Yaffe MA, Saucedo JM, Kalainov DM. Non-locked and locked plating technology for hand fractures. *J Hand Surg Am.* 2011 Dec;36(12):2052-5. DOI: 10.1016/j.jhssa.2011.09.023
- Dumont C, Burchhardt H, Tezval M. Weichteilschonende minimal-invasive osteosynthesen bei mittelhandfrakturen II-V [Soft tissue protective and minimally invasive osteosynthesis for metacarpal fractures II-V]. *Oper Orthop Traumatol.* 2012 Sep;24(4-5):312-23. DOI: 10.1007/s00064-012-0167-6
- Krastman P, Mathijssen NM, Bierma-Zeinstra SMA, Kraan G, Runhaar J. Diagnostic accuracy of history taking, physical examination and imaging for phalangeal, metacarpal and carpal fractures: a systematic review update. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020 Jan;21(1):12. DOI: 10.1186/s12891-019-2988-z
- Windolf J, Rueger JM, Werber KD, Eisenschenk A, Siebert H, Schädel-Höpfner M. Behandlung von Mittelhandfrakturen. Empfehlungen der Sektion Handchirurgie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie [Treatment of metacarpal fractures. Recommendations of the Hand Surgery Group of the German Trauma Society]. *Unfallchirurg.* 2009 Jun;112(6):577-88; quiz 589. DOI: 10.1007/s00113-009-1630-1
- Ben-Amotz O, Sammer DM. Practical Management of Metacarpal Fractures. *Plast Reconstr Surg.* 2015 Sep;136(3):370e-379e. DOI: 10.1097/PRS.0000000000001527
- Haughton D, Jordan D, Malahias M, Hindocha S, Khan W. Principles of hand fracture management. *Open Orthop J.* 2012;6:43-53. DOI: 10.2174/1874325001206010043
- Kozin SH, Thoder JJ, Lieberman G. Operative treatment of metacarpal and phalangeal shaft fractures. *J Am Acad Orthop Surg.* 2000 Mar-Apr;8(2):111-21. DOI: 10.5435/00124635-200003000-00005
- Vasilakis V, Sinnott CJ, Hamade M, Hamade H, Pinsky BA. Extra-articular Metacarpal Fractures: Closed Reduction and Percutaneous Pinning Versus Open Reduction and Internal Fixation. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2019 May 21;7(5):e2261. DOI: 10.1097/GOX.00000000000002261
- Zhu X, Zhang H, Wu J, Wang S, Miao L. Pin vs plate fixation for metacarpal fractures: a meta-analysis. *J Orthop Surg Res.* 2020 Nov;15(1):542. DOI: 10.1186/s13018-020-02057-y
- Egloff C, Sproedt J, Jandali AR. Ergebnisse osteosynthetisch versorgter Grundphalanxfrakturen der Finger [Results after osteosynthesis of extraarticular proximal phalangeal fractures]. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2012 Jan;44(1):5-10. DOI: 10.1055/s-0032-1304276
- Pandey R, Soni N, Bhayana H, Malhotra R, Pankaj A, Arora SS. Hand function outcome in closed small bone fractures treated by open reduction and internal fixation by mini plate or closed crossed pinning: a randomized controlled trail. *Musculoskelet Surg.* 2019 Apr;103(1):99-105. DOI: 10.1007/s12306-018-0542-z
- Ahmed Z, Haider MI, Buzdar MI, Bakht Chugtai B, Rashid M, Hussain N, Ali F. Comparison of Miniplate and K-wire in the Treatment of Metacarpal and Phalangeal Fractures. *Cureus.* 2020 Feb 19;12(2):e7039. DOI: 10.7759/cureus.7039
- Voth M, Lustenberger T, Frank J, Marzi I. Finger- und Handverletzungen bei Kindern: Eine epidemiologische Studie [Pediatric finger and hand injuries: An epidemiological study]. *Chirurg.* 2017 Oct;88(10):871-8. DOI: 10.1007/s00104-017-0499-8
- Fusetti C, Meyer H, Borisch N, Stern R, Santa DD, Papaloizos M. Complications of plate fixation in metacarpal fractures. *J Trauma.* 2002 Mar;52(3):535-9. DOI: 10.1097/00005373-200203000-00019
- Chung KC, Spilson SV. The frequency and epidemiology of hand and forearm fractures in the United States. *J Hand Surg Am.* 2001 Sep;26(5):908-15. DOI: 10.1053/jhsu.2001.26322
- Silverian S, Jones CM. Case Report: Bridge Plating for Unstable PIP Fracture Dislocation. *Arch Bone Jt Surg.* 2020 Nov;8(6):739-43. DOI: 10.22038/abjs.2020.42706.2159
- Ochman S, Doht S, Paletta J, Langer M, Raschke MJ, Meffert RH. Comparison between locking and non-locking plates for fixation of metacarpal fractures in an animal model. *J Hand Surg Am.* 2010 Apr;35(4):597-603. DOI: 10.1016/j.jhssa.2010.01.002
- Barr C, Behn AW, Yao J. Plating of metacarpal fractures with locked or nonlocked screws, a biomechanical study: how many cortices are really necessary? *Hand (N Y).* 2013 Dec;8(4):454-9. DOI: 10.1007/s11552-013-9544-3
- Biehl C, Rupp M, Kern S, Heiss C, Elkhassawna T, Szalay G. Extensor tendon ruptures in rheumatoid wrists. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2020 Dec;30(8):1499-504. DOI: 10.1007/s00590-020-02731-1
- Prucy RB, Friedrich JB. Finger joint injuries. *Clin Sports Med.* 2015 Jan;34(1):99-116. DOI: 10.1016/j.csm.2014.09.002



21. Dreyfuss D, Allon R, Izacson N, Hutt D. A Comparison of Locking Plates and Intramedullary Pinning for Fixation of Metacarpal Shaft Fractures. *Hand (N Y)*. 2019 Jan;14(1):27-33. DOI: 10.1177/1558944718798854
22. Al-Madawy AM, Elatta MM, Hasanin MM, Al-Nahal AA. The Use of Minilocked Plate for Management of Unstable Metacarpal Fractures. *J Hand Microsurg*. 2016 Dec;8(3):159-64. DOI: 10.1055/s-0036-1593730
23. Kurzen P, Fusetti C, Bonaccio M, Nagy L. Complications after plate fixation of phalangeal fractures. *J Trauma*. 2006 Apr;60(4):841-3. DOI: 10.1097/01.ta.0000214887.31745.c4
24. Kollitz KM, Hammert WC, Vedder NB, Huang JI. Metacarpal fractures: treatment and complications. *Hand (N Y)*. 2014 Mar;9(1):16-23. DOI: 10.1007/s11552-013-9562-1
25. Federer AE, Guerrero EM, Dekker TJ, Mithani SK, Aldridge JM 3rd, Ruch DS, Richard MJ. Open Reduction Internal Fixation With Transverse Volar Plating for Unstable Proximal Interphalangeal Fracture-Dislocation: The Seatbelt Procedure. *Hand (N Y)*. 2020 Mar;15(2):201-7. DOI: 10.1177/1558944718790063
26. Gianakos A, Yingling J, Athens CM, Barra AE, Capo JT. Treatment for Acute Proximal Interphalangeal Joint Fractures and Fracture-Dislocations: A Systematic Review of the Literature. *J Hand Microsurg*. 2020 Oct;12(Suppl 1):S9-S15. DOI: 10.1055/s-0040-1713323
27. Chen SH, Wei FC, Chen HC, Chuang CC, Noordhoff S. Miniature plates and screws in acute complex hand injury. *J Trauma*. 1994 Aug;37(2):237-42. DOI: 10.1097/00005373-199408000-00015
28. Rosso C, Zenhäusern R, Valderrabano V. Verletzungen bei Karate-ähnlichen Kampfsportarten. *Schweiz Z Sportmed Sporttraumatol*. 2010;58(2):56-7.
29. Huffaker WH, Wray RC Jr, Weeks PM. Factors influencing final range of motion in the fingers after fractures of the hand. *Plast Reconstr Surg*. 1979 Jan;63(1):82-7. DOI: 10.1097/00006534-197901000-00013
30. Kamath JB, Harshvardhan, Naik DM, Bansal A. Current concepts in managing fractures of metacarpal and phalanges. *Indian J Plast Surg*. 2011 May;44(2):203-11. DOI: 10.4103/0970-0358.85341
31. Carreño A, Ansari MT, Malhotra R. Management of metacarpal fractures. *J Clin Orthop Trauma*. 2020 Jul-Aug;11(4):554-61. DOI: 10.1016/j.jcot.2020.05.043

Corresponding author:

Dr. med. Christoph Biehl
 Department of Trauma, Hand and Reconstructive Surgery,
 University Hospital Gießen, Rudolf-Buchheim-Str. 7,
 35392 Gießen, Germany
 Christoph.Biehl@chiru.med.uni-giessen.de

Please cite as

Biehl C, Stötzel S, Schock L, Szalay G, Heiss C. Treatment of hand and finger fractures with the Stryker Hand Plating System. *GMS Ger Med Sci*. 2022;20:Doc03.
 DOI: 10.3205/000305, URN: urn:nbn:de:0183-0003051

This article is freely available from

<https://doi.org/10.3205/000305>

Received: 2021-06-26

Revised: 2021-11-01

Published: 2022-03-28

Copyright

©2022 Biehl et al. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 License. See license information at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

4 Ergebnisse und Diskussion

Therapiealgorithmen, die sich an den LDE-Stadien und der intraoperativen Situation von Hand- und Fingergelenken und den periartikulären Weichteilen ausrichten, sind in vielen operativen orthopädisch rheumatologischen Einheiten eingeführt (Abbildung 8). Allerdings stößt in vielen Fällen der Algorithmus bei der Frage nach den Bedürfnissen und Wünschen der behandlungsbedürftigen Person bei der Versorgung entzündlicher Gelenke an seine Grenzen. Inwieweit diese berücksichtigt werden, hängt häufig genug von der individuellen ärztlichen Profession ab und kann dadurch den Anschein der Beliebigkeit erwecken.

Deshalb diskutiert die vorliegende Arbeit die Initiierung eines Therapiealgorithmus, der sowohl den objektivierbaren Aspekten der Veränderungen der Strukturen der betroffenen Hand Rechnung trägt, als auch die allgemeinen und psychosozialen Faktoren der behandlungsbedürftigen Person und deren Erwartungshaltung berücksichtigt. Diese Erwartungshaltung ist zumeist unabhängig vom direkten Grund der Vorstellung und Versorgung. Je nach Ergebnis der Versorgung kann die Zufriedenheit durch die Patienten retrospektiv verändert und neu gewichtet werden.

Diese Arbeit befasst sich zum einen mit dem funktionellen Outcome nach Eingriffen an Gelenken und Sehnen von Hand und Fingern vornehmlich bei Patientinnen/Patienten mit Erkrankungen aus den rheumatischen Formenkreis. Neben den objektivierbaren Ergebnissen der Hand- und Fingerfunktion, die über Scores erfasst wurden, erfolgte zum anderen die anamnestische Evaluation der Schmerzen, die subjektiven Einschätzung des operativen Ergebnisses und der sich anschließenden Ergotherapie durch die Patientinnen/Patienten und, wo erforderlich, radiologische Kontrollen. Für die Patientinnen-/Patientenzufriedenheit zeigen sich einerseits innerhalb der Kollektive Unterschiede und andererseits Unterschiede der Zufriedenheit im Vergleich mit den Ergebnissen in den Scores und den radiologischen Befunden.

Bei der Versorgung der Handgelenke mit der RIAP zeigt die differenzierte Betrachtung, dass Frauen, junge Patienten und Patienten mit einer kurzen Krankheitsdauer die besten Resultate aufweisen (Originalarbeit: 3.1 Radiokarpale Fusion und Resektions-Interpositions-Arthroplastik der Mittelhand: Langzeitergebnisse bei stark zerstörten rheumatischen Handgelenken). Gerade bei einem kurzen Krankheitsverlauf mit rascher Destruktion des Gelenkes erscheint eine solche Aussage beachtenswert, da eine rasche Destruktion meist mit einer hohen Entzündungsaktivität und einer erschwerten Einstellung der medikamentösen Therapie einhergeht. Ähnliche Resultate werden bei der Versorgung von Frakturen der Finger und Metacarpalia beobachtet (Originalartikel: 3.5 Versorgung von Hand- und Fingerfrakturen mit dem Stryker Handplattensystem). Patientinnen/Patienten mit einer kurzen Dauer der Beeinträchtigung, ob unfall- oder krankheitsbedingt, haben sich noch nicht an die Einschränkungen adaptiert und einen größeren Anspruch die ungestörte Funktion der Finger und Hand wie vor dem Ereignis wieder zu erlangen. Bei den Strecksehnenrupturen zeigt sich in Bezug auf bereits präoperativ diagnostizierte Schäden ein vergleichbares Bild. Unterschiede bestehen *in puncto* Patientenzufriedenheit nach dem Diagnosezeitpunkt der Schädigung. Patientinnen/Patienten mit einer erst intraoperativ festgestellten Sehnenruptur zeigten gegenüber den Patientinnen/Patienten, die wegen der Sehnenpathologie zur Versorgung erschienen, einen prolongierten Heilungsverlauf und eine geringere Zufriedenheit (Originalarbeit: 3.4 Strecksehnenrupturen bei rheumatischen Handgelenken). Dies könnte auch an der postoperativ erfolgten (Neu-)bewertung der lokalen und der Gesamt-Situation durch die Patientinnen/Patienten gelegen haben [113]. Die Langzeitergebnisse der endoprothetischen Versorgung des Handgelenkes mit der MPW®-Prothese (Fa. Link, Hamburg, Deutschland) weisen ebenfalls vergleichbare Ergebnisse auf. Auch in dieser Kohorte zeigten Patientinnen/Patienten mit einer kurzen Krankheitsdauer bessere langfristige Ergebnisse, wenngleich diese im Vergleich mit Nicht-Rheumatikerinnen/-Rheumatikern schlecht ausfielen (Originalarbeit: 3.2 Langzeitergebnisse der modularen physiologischen Handgelenksprothese (MPW®) bei Patientinnen/Patienten mit entzündlichen Erkrankungen). Schlechte Ergebnisse in den Scores bei Implantation der Endoprothese korrelierten mit funktionellen Beeinträchtigungen durch die Nachbargelenke (Abbildung 8). Es zeigt sich, dass die fehlende Kompensationsmöglichkeit und das

Versagen der endoprothetischen Versorgung gegenüber der Handgelenks-RIAP gravierender ist. Als Rückzugsmöglichkeit verbleibt in diesen Fällen zumeist nur die Arthrodeese des Gelenks mit zusätzlicher Knochentransplantation in die ossäre Defektzone.

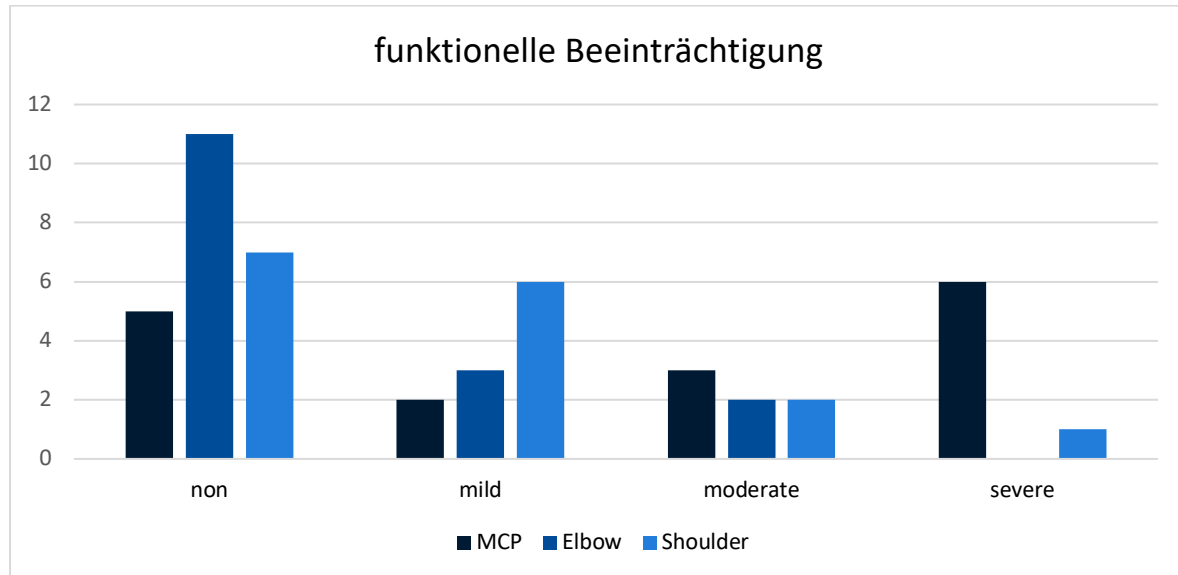


Abbildung 8: funktionelle Beeinträchtigung der anderen (nicht operativ adressierten) benachbarten Gelenke der betroffenen oberen Extremität bei Implantation einer Handgelenksprothese. Erhebung im Rahmen der Studie zu Langzeitergebnissen der modularen physiologischen Handgelenksprothese (MPW®) bei Patienten mit entzündlichen Erkrankungen. Subjektive Differenzierung durch die Patienten (n=16).

Die Ergebnisse der Operation infizierter Fingergelenksendoprothesen scheinen diesen Beobachtungen vordergründig zu widersprechen. Weisen doch Patienten mit einem zweizeitigen Vorgehen die besten Werte in den Scores auf. Die guten Ergebnisse basieren allerdings auf der sicheren Sanierung der Infektion (Originalarbeit: 3.3 Periprothetische Gelenkinfektion nach Fingergelenks-Arthroplastik).

Unabhängig von dem untersuchten Gelenk und der gewählten Versorgung weisen Patienten mit einer RA sowohl bei elektiven Eingriffen, als auch bei Revisionsoperationen deutlich schlechtere Ergebnisse in den verwendeten Scores auf, als Kollektive mit degenerativen und frakturbedingten Veränderungen [114]. Berücksichtigt man die präoperativ schlechte Ausgangslage dieser Patientinnen/Patienten, so werden meist die gleichen absoluten und relativen Zugewinne in den Scores erzielt. Zwischen den Ergebnissen der Scores der operativen Versorgung mit Funktion und Schmerzen und der durch die Patientinnen/Patienten angegebenen Zufriedenheit besteht in den

meisten Fällen eine statistisch signifikante Korrelation. Ein längerdauernder Verlauf mit Einbeziehung der Nachbargelenke und der Limitierung durch die periartikulären Weichteilgewebe, wie sie bei einer chronischen Erkrankung wie der RA auftritt, verschlechtert nicht nur die Ergebnisse in den Scores, sondern führt auch zur Abnahme der Zufriedenheit mit der operativen Maßnahme [115](Abbildung 8, 9). Erkrankte und limitierte Gelenke, Sehnen und kompromittierte Sehnengleitgewebe erlauben keine oder nur eine eingeschränkte Kompensation der Hand- und Fingerfunktion, was wiederum den Betroffenen die Defizite bewusst und täglich erfahrbar macht.

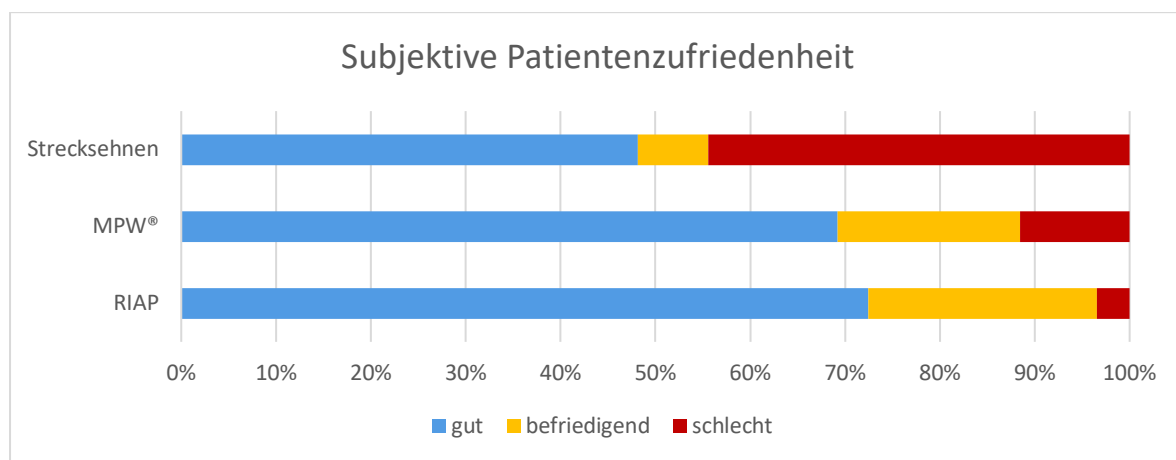


Abbildung 9: Subjektives Patientenurteil (in Prozent) zu den in den Publikationen untersuchten operativen Verfahren am Handgelenk, bzw. der Strecksehnenverletzung auf Höhe des Handgelenkes. MPW® = Modular-Physiologische-Handgelenksprothese, RIAP = Resektions-Interpositions-Arthroplastik.

Die häufig verwendeten Funktionsscores (Quick DASH, FFbH, Clayton, u.a.) sind für das näher zu charakterisierende Gelenk nicht spezifisch. Zumeist erheben sie nur teilweise gelenkspezifische Daten und berücksichtigen viel mehr die gesamte Extremität, bzw. bilden deren funktionelle Kette ab. Die Weichteilsituation, insbesondere Sehnen, Faszien und Haut (z.B. Narbenkontrakturen) werden nur rudimentär erfasst und unter der Gelenksituation subsummiert. Diese Scores sind zur Beurteilung der generellen potentiellen Leistungsfähigkeit der Extremität geeignet und ermöglichen auch eine Einschätzung der erforderlichen technischen Hilfen zur Selbstversorgung [93]. Allerdings lassen schlechte Werte in diesen Scores keine direkten Rückschlüsse auf die Ursache des schlechten Ergebnisses zu, da die Gesamtbetrachtung der Extremität die lokale Pathologie maskieren kann. Spezifische Scores für Gelenke der Hand (und der Finger) sind rar. Selbst der selten verwendete

Clayton-Score mit den Anteilen Beweglichkeit, Balance, Kraft der Extensoren und Schmerzen am Handgelenk erlaubt dem Patienten bei der Testung eine Kompensation durch die Nachbargelenke und -sehnen [116]. Letztlich erfasst keines der Scoring-Systeme die ärztliche und Patientinnen/Patienten-Perspektive und die Funktion des Gelenks, der Sehnen und Weichteile und der Gesamtsituation. Daher erscheint es sinnvoll mehrere Scores zu verwenden. In Bezug auf Schulter und Ellenbogen ist dies leichter möglich, da hier mit dem Constant-Murley-Score oder dem Oxford Shoulder Score und am Ellenbogen der Oxford Elbow Score und der Mayo Elbow Performance Score geeignete Scores vorhanden sind.

Der Erfolg einer Operation an Extremitäten bemisst sich primär an der ossären Heilung, dem Wiedererlangen der Funktion und der Schmerzfreiheit. Häufig verbleiben bei einzelnen dieser Forderungen ein Defizit, so dass der Erfolg einer Operation im strengen Sinne der Erreichbarkeit der vollen Punktzahl des Scores meist nur unzureichend erfüllt wird. Gleichzeitig kann von hohen Score-Werten nicht zwangsläufig auf einen Erfolg und nicht automatisch auf eine große Patientenzufriedenheit geschlossen werden. Erst in der differenzierten Betrachtung der Einzelergebnisse können Verschlechterungen bei einzelnen Patienten analysiert und mit dem betroffenen Patienten aufgearbeitet werden (Abbildung 10: Ergebnisse im Clayton-Score nach Patienten).

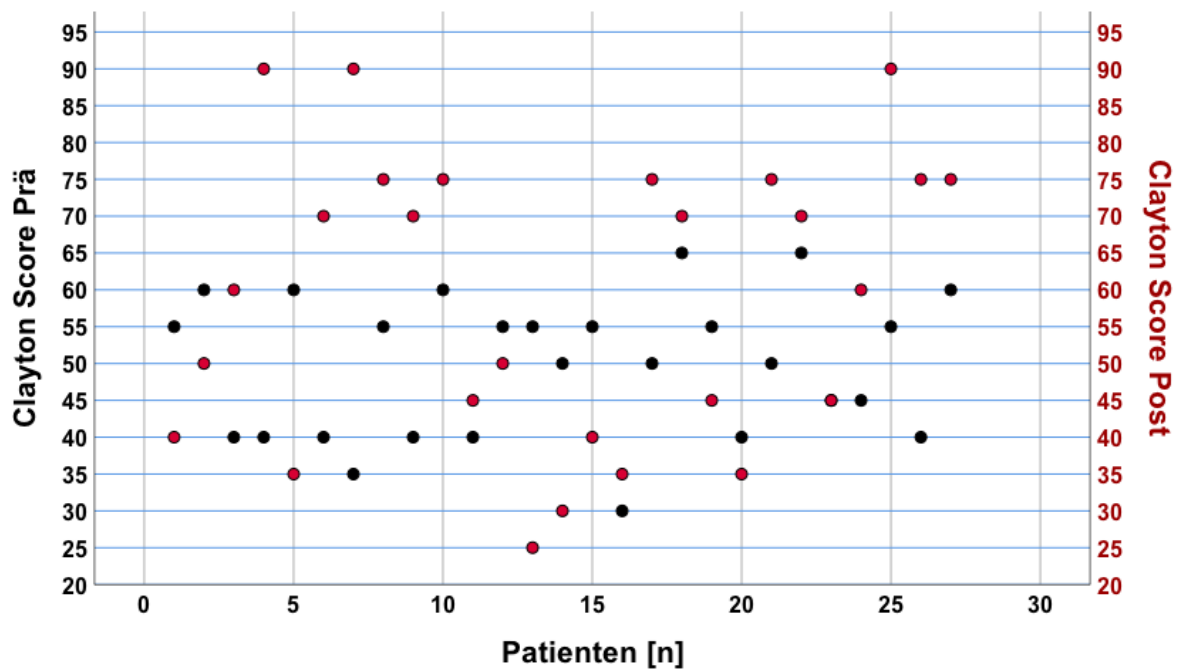


Abbildung 10: Aufschlüsselung der präoperativen zu postoperativen Ergebnissen am Beispiel des Clayton-Scores: es zeigen sich teils deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Patienten. So verschlechtern sich bei 9 Patienten im Verlauf die Werte im Score, bei einem Patienten (Pat. 23) bleiben die Werte identisch. 17 Patienten zeigen bessere Ergebnisse (63%) zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung. Originalarbeit: 3.4 Strecksehnenrupturen bei rheumatischen Handgelenken.

Das zu erwartende funktionelle Outcome einer Operation ist jedoch trotz dieser Einschränkungen in der Planung und differenzierten Beratung ein wertvolles Assessment.

Neben dem funktionellen Outcome spielt die langfristige Patientenzufriedenheit eine wichtige Rolle. Häufig werden Aspekte, die für den Erfolg einer Maßnahme aus Sicht der Patienten entscheidend sind, präoperativ nicht oder nur unzureichend erfasst [117]. Allzu oft sind diese auch den Untersuchern nicht bekannt. So postulierten Estermann et al., dass bei einer guten medikamentösen Einstellung der RA mittels Biologika, auch gute Ergebnisse im Score zu erwarten seien [118]. Für die Patientinnen/Patienten der Studie hingegen waren Aussehen der Langfinger und die Abweichung nach ulnar die signifikanten Determinanten für die Zufriedenheit mit der Operation, die medikamentöse Therapie war hierbei unerheblich [118]. In den meisten der aufgeführten Arbeiten zeigt sich, dass Schmerz in den eingesetzten Scores direkt (VAS) oder indirekt (FFBH, ADL, Quick DASH) erfasst und in der diskutierten Literatur häufig als einziges Maß für die Patientinnen-/Patientenzufriedenheit

aufgeführt wird. Konkrete Fragen zur Zufriedenheit fehlen in den meisten Scores und müssen unabhängig hiervon erhoben werden. Der etablierte und validierte SF-36 erfasst zwar zuverlässig die Patient Reported Outcomes (PROs), allerdings werden die erkrankungsunabhängigen Variablen der Patientenzufriedenheit (siehe Abschnitt 1.3.2 Patientenzufriedenheit und Versorgungsforschung) nicht erfasst. Chung et al. konnten mit Hilfe eines Fragebogens zur präoperativen Erwartung und der tatsächlichen Situation im follow-up zeigen, dass bei Patientinnen/Patienten mit betroffenen Gelenken der MCP-Reihe die schlechten Bewertungen im Verlauf mit einer zu großen präoperativen Erwartungshaltung verbunden war [119].

Wie auf anderen Feldern der Medizin ist Erfolg nicht zwangsläufig durch die alleinige Erhebung von Scores bzw. den guten Ergebnissen in den Scores objektivierbar und definierbar. Besonders deutlich zeigt sich dies im Vergleich zwischen den Arbeiten zu Langzeitergebnissen der MPW®-Handgelenksprothese und der Versorgung von Hand- und Fingerfrakturen mit den Plattensystemen. Ist bei der letztgenannten Studie der Erfolg in Form von Aussagen zur knöchernen Konsolidierung und zur Implantatsicherheit genau definiert, so ist der Erfolg bei einem longitudinalen Verlauf einer endoprothetischen Versorgung mit Revisionsoperationen so nicht eindeutig bestimmbar. Im Langzeitverlauf mit Revisionsoperationen kommt es zu Phasen mit schlechten Werten in den Scores und einer schlechten Beurteilung der Versorgung durch die behandlungsbedürftige Person, aber auch zu einem Wandel der Sichtweise nach erfolgreicher Re-Operation und Erhalt der Beweglichkeit. Insofern ist ein Wert zu einem einzelnen Zeitpunkt nur für diesen aussagekräftig, spiegelt aber nicht den zeitlichen Verlauf wider. Hierfür eignen sich regelmäßige Erfassungen der Patientensituation in Follow-up-Untersuchungen, wie den SF-36, den DAS-28 oder der Orthopädischen Jahres-Untersuchung [2, 120].

Im Hinblick auf die in dieser Arbeit aufgestellte Fragestellung zur Alterskorrelation lassen sich die oben beschriebenen Aspekte in allen Studien darstellen und sind mit den Ergebnissen der bekannten Publikationen vergleichbar.

4.1 Limitationen der Arbeit

Die in dieser Arbeit vorgestellten Studien befassen sich mit komplexen Eingriffen an Handgelenken und Fingern, sowie den gelenknahen Weichteilstrukturen. Die Datenerhebung über Scores mit Schwerpunkt auf das funktionelle Outcome berücksichtigt die Patientensichtweise dabei nur unzureichend. Die Patientinnen-/Patientenzufriedenheit wird durch diese Scores nicht abgebildet. Auch wenn die objektiv erfassbaren Ergebnisse der Scores mit der Zustimmung der Patientinnen/Patienten in Bezug auf die Therapie korrelieren, kann dies nicht über die Defizite bei Einzelnen hinwegtäuschen. In der Planung von individuellen Therapien und Studien sollte neben den bekannten und etablierten Scores ebenfalls eine Erfassung der Patientinnen-/Patienteneinschätzung und -erwartung präoperativ und eine Evaluation im Follow-up erfolgen. Da es sich bei den beschriebenen Studien um deskriptive, retrospektive Studien handelt, sollten weitere Multicenter-Studien mit detaillierter Befragung zur Bestimmung der Erwartungshaltung und der Zufriedenheit der Patientinnen/Patienten definiert werden und erfolgen. Neben den objektivierbaren Scores müssen subjektive Angaben erfragt und in eine auswertbare Form übersetzt werden. Insbesondere durch Drittmittel finanzierte Studien, als Multicenterstudien aufgelegte Nachuntersuchungen, sollten um die entsprechenden Scores für das einzelne Gelenk und für die funktionelle Kette (gesamte Extremität) und die Patienteneinschätzungen ergänzt und zusätzlich individuell ausgewertet werden, um Einschränkungen zu erkennen und Ansätze für die Entwicklung der Versorgung zu ermöglichen.

4.2 Entwicklung und Ausblick

Ein objektiver, alle Aspekte berücksichtigender, Bias und Noise ausschließender Score erscheint derzeit nicht realisierbar. Gleichwohl sollte als Ergänzung zu den Scores auch eine patientinnen-/patientenzentrierte Sichtweise etabliert und erhoben werden. Wünsche, Hoffnungen und Ängste seitens der behandlungsbedürftigen Person, ggf. sogar unter Hinzuziehung von Angehörigen und Vertrauten sollten im Vorfeld erhoben und dokumentiert und den Scores hinzugefügt werden. Die

Erhebung sollte standardisiert und möglichst durch Dritte erfolgen, um die direkte und indirekte Einflussnahme ärztlichen Personals so gering wie möglich zu halten. Was war der Patientin/dem Patienten vor der Erkrankung möglich? Was zum Zeitpunkt des Therapiebeginns? Was wird angestrebt? Was kann die Patientin/der Patient und was kann die Therapeutin/der Therapeut dazu beitragen. Basierend auf den bekannten Therapieschemata und unter Berücksichtigung dieser patientinnen-/patientenzentrierten Sichtweise sollte ein Algorithmus entwickelt werden, der der/dem geeigneten Patientinnen/Patienten die geeignete Versorgung zum geeigneten Zeitpunkt zukommen lässt.

Als Basis diene der im Folgenden vorgestellte Algorithmus. Dieser bezieht neben den Beschwerden, der klinischen Untersuchung und Bildgebung auch die Funktionseinschränkungen und die Erwartungshaltung der Patient*Innen mit ein und mündet in einem Therapievorschlagn, nebst Alternativen.

Eine solches Tool fördert im positiven Fall die Auseinandersetzung mit der Erkrankung und der Therapie und kann die Arzt-Patienten-Bindung stärken. Für Ärztinnen/Ärzte kann ein solcher Algorithmus dazu führen die Erwartungen realistischer einzuschätzen und ein Verständnis für die Limitationen der Maßnahmen zu erwerben. Aber auch die Ablehnung eines Therapievorschlagn durch die Patientin/den Patienten aushalten zu müssen. Dies bedeutet langfristig mehr Sicherheit bei Beratung, Aufklärung und potentiellen juristischen Streitigkeiten.

Algorithmus für ein Patient*innenzentriertes Therapiekonzept

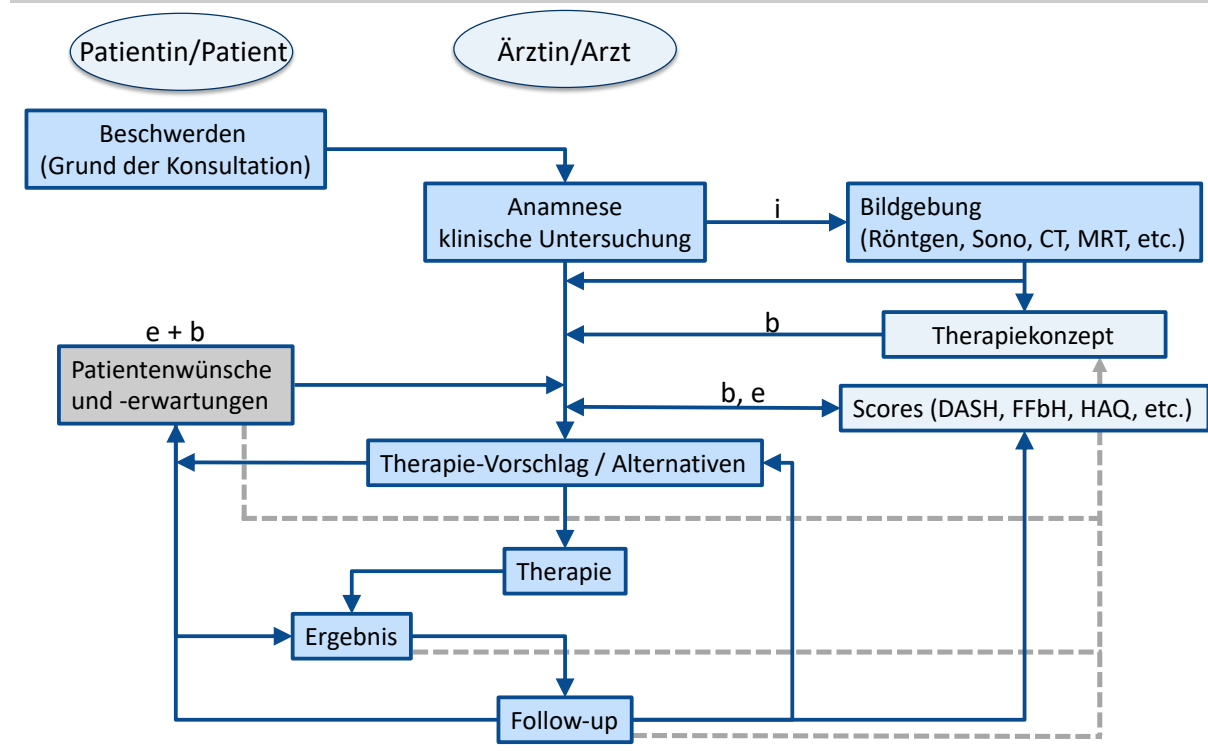


Abbildung 11: Eigener Vorschlag für einen Algorithmus für ein Patientinnen-/Patientenzentriertes Therapiekonzept. Gegenüber den allgemein gebräuchlichen Konzepten werden Patientinnen-/Patientenwünsche und -erwartungen aktiv nachgefragt und in die Planung mit einbezogen. Neben den spezifischen Erwartungen im Sinne verständlicher Informationen über die Notwendigkeit und die einzelnen Behandlungsschritte, werden **auch indirekte Erwartungen**, wie Freundlichkeit und erlebbare Qualifikation der Ärztin/des Arztes und des Teams, die zeitnahe Terminvergabe und die Länge der Wartezeit aktiv erhoben (b = berücksichtigt; e = erhebt; i = initiiert).

Im negativen Fall kann es allerdings dazu führen, dass manche Patientin/mancher Patienten mit der Eigenverantwortung für ihr Leben und Handeln auch in der Situation Krankheit konfrontiert und überfordert werden, was unter Umständen zu erschwerten Bedingungen in der Arzt-Patienten-Beziehung führen und gegebenenfalls die Compliance mindern könnte.

Die zu erwartende gesteigerte Zufriedenheit der Patientinnen/Patienten und Therapeutinnen/Therapeuten jedoch wirkt sich positiv auf das Gesundheitssystem und die wichtigsten sozioökonomischen und gesundheitlichen Indikatoren aus und ermöglicht eine bessere und wirksamere Behandlung sowie soziale Angleichung im Rahmen eines Public-Health-Ansatzes.

5 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Initiierung eines Therapiealgorithmus unter Berücksichtigung der Erwartungshaltung, Wünsche und Zufriedenheit der Patientinnen/Patienten für Eingriffe an der Hand bei alterskorrelierten Erkrankungen am Beispiel der RA. Die Daten im Rahmen von postoperativen Verläufen der verschiedenen Verfahren an der Hand wurden mit Hilfe bekannter Scores erhoben, statistisch ausgewertet und diskutiert. Die Therapieempfehlungen basieren bislang vornehmlich auf den sich in Scores abbildbaren radiologischen und intraoperativen Befunden. Die Erfassung von Einschränkungen und Behinderungen durch Funktionsscores erleichtert differenzierte Empfehlungen. Allerdings wird die patientinnen-/patientenbezogene Sicht dagegen häufig nur unzureichend einbezogen. Die Aufschlüsselung der Scores zeigten bei einzelnen Patientinnen-/Patientendaten die individuelle Problematik, die bei einer Auswertung in Summe unberücksichtigt bleibt, wenn ausschließlich auf das funktionelle Outcome einer Prozedur fokussiert wird. Für einen Fortschritt in Bezug auf die Versorgung und die langfristige Zufriedenheit ist die Analyse der Verläufe solcher „Therapieversager“ essentiell. Dies kann durch eine Einbeziehung von patientinnen-/patientenbezogenen Fragen und Einschätzungen zum Erwartungshorizont und der möglichen Umsetzung minimiert werden.

6 Summary

The present work aims to implement a new therapy algorithm for interventions on the hand in age-correlated diseases using the example of rheumatoid arthritis. Therefore, the study collected postoperative outcome data of the various surgical procedures on the hand with the help of internationally known scores. The data was then statistically evaluated and discussed. Until now, the choice of therapy is based mainly on radiological and intraoperative findings. The recording of limitations and disabilities by functional scores facilitates differentiated decisions. Which insufficiently account for patient's expectations and perspective. Individual patient data revealed individual problems that remain unconsidered in an evaluation that focuses purely on the functional outcome of a procedure. For progress in terms of care, analysis of the trajectories of such "treatment failures" is essential. This can be minimized by including patient-related questions and assessments of the horizon of expectations and possible implementation.

7 Verzeichnis der zur kumulativen Habilitation zusammengefassten Publikationen

Aus insgesamt 23 Originalia, 28 Übersichtsarbeiten, Case-reports und Buchbeiträgen stellen folgende Publikationen die Grundlage der Habilitationsschrift dar:

Originalia zum Thema

1. **Christoph Biehl**, Thomas Braun, Ulrich Thormann, Amir Oda, Gabor Szalay and Stefan Rehart: Radiocarpal fusion and midcarpal resection interposition arthroplasty: long-term results in severely destroyed rheumatoid wrists. BMC Musculoskeletal Disorders. 2018 Aug 14;19(1):286. doi: 10.1186/s12891-018-2172-x.
2. **Christoph Biehl**, Markus Rupp, Volker Alt, Christian Heiß, Thaqif ElKhassawna, Gabor Szalay: Peri-Prosthetic Joint Infection after Finger Joint Arthroplasty. Surg Infect (Larchmt). 2020 Jun;21(5):445-450. doi: 10.1089/sur.2019.145.
3. **C. Biehl**, M. Rupp, S. Kern, C. Heiss, T. ElKhassawna, G. Szalay: Extensor tendon ruptures in rheumatoid wrists. European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology. 2020 July; 30(8): 1499–1504. doi: 10.1007/s00590-020-02731-1.
4. **Christoph Biehl**, Martin Stoll, Martin Heinrich, Lotta Biehl, Jochen Jung, Christian Heiß, Gabor Szalay: Long-term results of the modular physiological wrist prosthesis (MPW®) in patients with inflammatory diseases. Life. Special Issue "Metabolic Bone Diseases: From Classroom to Clinic". 2021 April; 11(4):355. doi: 10.3390/life11040355.
5. **Biehl, Christoph**; Stötzel, Sabine; Schock, Lydia; Szalay, Gabor; Heiss, Christian: Treatment of Hand and Finger Fractures with the Stryker Hand Plating System [Versorgung von Hand- und Fingerfrakturen mit dem Stryker Handplattensystem]. GMS Ger Med Sci. 2022;20: Doc03. DOI: 10.3205/000305, URN: urn: nbn:de:0183-0003051.

Übersichtsarbeiten zum Thema

1. Schill S, **Biehl C**, Thabe H: Die Synovektomie des rheumatischen Ellenbogengelenkes. Orthopäde (2003) 32: 723-729.
2. Schill S, **Biehl C**, Thabe H: Die rekonstruktive Versorgung des rheumatischen Handgelenks mit einer neuen Handgelenksprothesengeneration - mittelfristige Ergebnisse. Aktuelle Rheumatologie 29(06):315-323
3. Tanja Kostuj, Stefan Rehart, Ronald Matta-Hurtado, **Christoph Biehl**, Roland E Willburger, Klaus Schmidt, On behalf of the study group "complication-register of the DGORh": Pilot study for the registry of complications in rheumatic diseases from the German Society of Surgery (DGORh): evaluation of methods and data from the first 1000 patients. BMJ Open 2017 Oct 10;7(10):e015987.
4. **Biehl C**, Kappl S, Rehart S: Operative Therapie an den peripheren Gelenken bei der Spondyloarthritis. Aktuelle Rheumatologie, 2013; 38 (3) 104-108
5. **Biehl C**, Jung J: Perioperative Komplikationen bei Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises. Perioperative Complications in Rheumatoid Diseases. Aktuelle Rheumatologie, 2014; 39: 1–6
6. **Christoph Biehl**, Hagen Maxeiner, Markus Rupp, Christian Heiß: Perioperatives Management des traumatisierten „Rheumatikers“ – Medikation. Perioperative Management of traumatised rheumatoid patients – Medication. Aktuelle Rheumatologie, 2019; 44(01): 39-44
7. **Biehl C**, Hesse M: Reaktivierung einer Staphylokokkus aureus-Infektion des linken Handgelenkes unter Therapie mit dem TNF α -Blocker Etanercept. Arthritis + rheuma, 2002; 22(6): 306-308.

8 Literaturverzeichnis (Reihenfolge nach Zitat im Text, nicht alphabetisch)

- [1] M. Schneider, K. Kruger, Rheumatoid arthritis--early diagnosis and disease management, *Deutsches Arzteblatt international* 110(27-28) (2013) 477-84.
- [2] M. Schneider, G. Baseler, O. Funken, S. Heberger, U. Kiltz, P. Klose, K. Krüger, J. Langhorst, W. Mau, R. Oltman, B. Richter, S. Seitz, P. Sewerin, R. Tholen, C. Weseloh, M. Witthöft, C. Specker, S3-Leitlinie: Management der frühen rheumatoiden Arthritis, *Zeitschrift für Rheumatologie* (2020) 79 (Suppl 1):S1–S38.
- [3] B. Prakash, Patient satisfaction, *J Cutan Aesthet Surg* 3(3) (2010) 151-5.
- [4] S. Xesfingi, A. Vozikis, Patient satisfaction with the healthcare system: Assessing the impact of socio-economic and healthcare provision factors, *BMC Health Serv Res* 16 (2016) 94.
- [5] J.R.-V. Amaya-Amaya, Adriana, R.n.D. Mantilla, J.-M. Anaya, 24. Rheumatoid arthritis, in: J.-M. Anaya, Y. Shoenfeld, A. Rojas-Villarraga, R.A. Levy, R. Cervera (Eds.), *AUTOIMMUNITY From Bench to Bedside*, El Rosario University Press, Bogota, 2013.
- [6] H. Thabe, D. Brackertz, *Praktische Rheumaorthopädie*, Chapman and Hall 1997.
- [7] R. Tubiana, *The Hand*, Saunders 1998.
- [8] K.C. Chung, *Clinical Management of the rheumatoid hand, wrist, and elbow*, Springer 2016.
- [9] A.M. Dubrovsky, M.J. Lim, N.E. Lane, Osteoporosis in Rheumatic Diseases: Anti-rheumatic Drugs and the Skeleton, *Calcif Tissue Int* 102(5) (2018) 607-618.
- [10] P. Geusens, The role of RANK ligand/osteoprotegerin in rheumatoid arthritis, *Ther Adv Musculoskelet Dis* 4(4) (2012) 225-33.
- [11] W.H. Huffaker, R.C.J. Wray, P.M. Weeks, Factors influencing final range of motion in the fingers after fractures of the hand. *Plastic and Reconstructive Surgery* 63(1) (1979) 82-87.

-
- [12] C. Dumont, H. Burchhardt, M. Tezval, [Soft tissue protective and minimally invasive osteosynthesis for metacarpal fractures II-V], *Operative Orthopädie und Traumatologie* 24(4-5) (2012) 312-23.
- [13] K.M. Kollitz, W.C. Hammert, N.B. Vedder, J.I. Huang, Metacarpal fractures: treatment and complications, *Hand* 9(1) (2014) 16-23.
- [14] I. Cecchi, I. Arias de la Rosa, E. Menegatti, D. Roccatello, E. Collantes-Estevez, C. Lopez-Pedraza, N. Barbarroja, Neutrophils: Novel key players in Rheumatoid Arthritis. Current and future therapeutic targets, *Autoimmun Rev* 17(11) (2018) 1138-1149.
- [15] M.J. Smallwood, A. Nissim, A.R. Knight, M. Whiteman, R. Haigh, P.G. Winyard, Oxidative stress in autoimmune rheumatic diseases, *Free Radic Biol Med* 125 (2018) 3-14.
- [16] U. Harre, G. Schett, [Association between bone catabolism and anti-citrullinated protein antibodies in rheumatoid arthritis], *Zeitschrift für Rheumatologie* 75(8) (2016) 809-811.
- [17] W.L. Gross, F. Moosig, P. Lamprecht, Anticitrullinated protein/peptide antibodies in rheumatoid arthritis, *Deutsches Arzteblatt international* 106(10) (2009) 157-8.
- [18] S.W. Syversen, P.I. Gaarder, G.L. Goll, S. Ødegård, E.A. Haavardsholm, P. Mowinckel, D. van der Heijde, R. Landewé, T.K. Kvien, High anti-cyclic citrullinated peptide levels and an algorithm of four variables predict radiographic progression in patients with rheumatoid arthritis: results from a 10-year longitudinal study, *Annals of the rheumatic diseases* 67(2) (2008) 212-7.
- [19] B.J. de Lange-Brokaar, M. Kloppenburg, S.N. Andersen, A.L. Dorjée, E. Yusuf, L. Herb-van Toorn, H.M. Kroon, A.M. Zuurmond, V. Stojanovic-Susulic, J.L. Bloem, R.G. Nelissen, R.E. Toes, A. Ioan-Facsinay, Characterization of synovial mast cells in knee osteoarthritis: association with clinical parameters, *Osteoarthritis Cartilage* 24(4) (2016) 664-71.
- [20] L. Ouboussad, A.N. Burska, A. Melville, M.H. Buch, Synovial Tissue Heterogeneity in Rheumatoid Arthritis and Changes With Biologic and Targeted Synthetic Therapies to Inform Stratified Therapy, *Front Med (Lausanne)* 6 (2019) 45.
- [21] B. Rada, T.L. Leto, Oxidative innate immune defenses by Nox/Duox family NADPH oxidases, *Contrib Microbiol* 15 (2008) 164-187.

- [22] S. Chandraratne, Rolle der Neutrophil Extracellular Traps (NETs) bei der Entstehung der venösen Thrombose, Ludwig-Maximilians-Universität München, 2012.
- [23] J. Jones, C. Causey, B. Knuckley, J.L. Slack-Noyes, P.R. Thompson, Protein arginine deiminase 4 (PAD4): current understanding and future therapeutic potential, *Curr Opin Drug Discov Devel* 12(5) (2009) 616–627.
- [24] F. Apel, L. Andreeva, L.S. Knackstedt, R. Streeck, C.K. Frese, C. Goosmann, K.P. Hopfner, A. Zychlinsky, The cytosolic DNA sensor cGAS recognizes neutrophil extracellular traps, *Sci Signal* 14(673) (2021).
- [25] W.H. Robinson, C.M. Lepus, Q. Wang, H. Raghu, R. Mao, T.M. Lindstrom, J. Sokolove, Low-grade inflammation as a key mediator of the pathogenesis of osteoarthritis, *Nature reviews. Rheumatology* 12(10) (2016) 580-92.
- [26] M. Veselinovic, N. Barudzic, M. Vuletic, V. Zivkovic, A. Tomic-Lucic, D. Djuric, V. Jakovljevic, Oxidative stress in rheumatoid arthritis patients: relationship to diseases activity, *Mol Cell Biochem* 391(1-2) (2014) 225-32.
- [27] A. Najm, B. Le Goff, C. Orr, R. Thurlings, J.D. Canete, F. Humby, S. Alivernini, A. Manzo, S.A. Just, V.C. Romao, V. Krenn, U. Muller-Ladner, O. Addimanda, S.W. Tas, M. Stoenoiu, L. Meric de Bellefon, P. Durez, V. Strand, M.D. Wechalekar, J.E. Fonseca, B. Lauwerys, U. Fearon, D.J. Veale, E.S.S. Group, O.S.T.S.I. Group, Standardisation of synovial biopsy analyses in rheumatic diseases: a consensus of the EULAR Synovitis and OMERACT Synovial Tissue Biopsy Groups, *Arthritis research & therapy* 20(1) (2018) 265.
- [28] A. Najm, B. le Goff, G. Venet, T. Garraud, J. Amiaud, N. Biha, C. Charrier, S. Touchais, V. Crenn, F. Blanchard, V. Krenn, IMSYC Immunologic Synovitis score: A new score for synovial membrane characterization in inflammatory and non-inflammatory arthritis, *Joint Bone Spine* 86(1) (2019) 77-81.
- [29] K. Egerer, E. Feist, G.R. Burmester, The serological diagnosis of rheumatoid arthritis: antibodies to citrullinated antigens, *Deutsches Arzteblatt international* 106(10) (2009) 159-63.

-
- [30] L. Bause, A. Niemeier, V. Krenn, [Arthur Vick Prize 2017 of the German Society of Orthopaedic Rheumatology], *Zeitschrift für Rheumatologie* 77(2) (2018) 168-174.
- [31] C. Carmona-Rivera, P.M. Carlucci, E. Moore, N. Lingampalli, H. Uchtenhagen, E. James, Y. Liu, K.L. Bicker, H. Wahamaa, V. Hoffmann, A.I. Catrina, P. Thompson, J.H. Buckner, W.H. Robinson, D.A. Fox, M.J. Kaplan, Synovial fibroblast-neutrophil interactions promote pathogenic adaptive immunity in rheumatoid arthritis, *Sci Immunol* 2(10) (2017).
- [32] J. Hirose, H. Nishioka, M. Tsukano, S. Matsubara, K. Usuku, H. Mizuta, Matrix changes in articular cartilage in the knee of patients with rheumatoid arthritis after biological therapy: 1-year follow-up evaluation by T2 and T1ρ MRI quantification, *Clin Radiol* 73(11) (2018) 984.e11-984.e18.
- [33] S. Tanaka, Regulation of bone destruction in rheumatoid arthritis through RANKL-RANK pathways, *World journal of orthopedics* 4(1) (2013) 1-6.
- [34] N. Bottini, G.S. Firestein, Duality of fibroblast-like synoviocytes in RA: passive responders and imprinted aggressors, *Nature reviews. Rheumatology* 9(1) (2013) 24-33.
- [35] R. Hasseli, K.W. Frommer, M. Schwarz, M.L. Hulser, C. Schreyack, M. Arnold, M. Diller, I.H. Tarner, U. Lange, J. Pons-Kuhnemann, M. Schonburg, S. Rehart, U. Muller-Ladner, E. Neumann, Adipokines and inflammation alter the interaction between rheumatoid arthritis synovial fibroblasts and endothelial cells, *Front Immunol* 11 (2020) 925.
- [36] G. Muscogiuri, C. Annweiler, G. Duval, S. Karras, G. Tirabassi, G. Salvio, G. Balercia, S. Kimball, K. Kotsa, L. Mascitelli, H.P. Bhattoa, A. Colao, Vitamin D and cardiovascular disease: From atherosclerosis to myocardial infarction and stroke, *Int J Cardiol* 230 (2017) 577-584.
- [37] T. Frenz, E. Grabski, D. Buschjäger, L.A. Vaas, N. Burgdorf, R.E. Schmidt, T. Witte, U. Kalinke, CD4(+) T cells in patients with chronic inflammatory rheumatic disorders show distinct levels of exhaustion, *J Allergy Clin Immunol* 138(2) (2016) 586-589 e10.
- [38] L.S. Davis, J.J. Cush, H. Schulze-Koops, P.E. Lipsky, Rheumatoid synovial CD4+ T cells exhibit a reduced capacity to differentiate into IL-4-producing T-helper-2 effector cells, *Arthritis Res* 3 (2001) 54-64.

- [39] P. Conigliaro, P. Triggianese, E. De Martino, G.L. Fonti, M.S. Chimenti, F. Sunzini, A. Viola, C. Canofari, R. Perricone, Challenges in the treatment of Rheumatoid Arthritis, *Autoimmun Rev* 18(7) (2019) 706-713.
- [40] G. Evangelatos, G.E. Fragoulis, V. Koulouri, G.I. Lambrou, MicroRNAs in rheumatoid arthritis: From pathogenesis to clinical impact, *Autoimmun Rev* 18(11) (2019) 102391.
- [41] G. Salvio, C. Gianfelice, F. Firmani, S. Lunetti, G. Balercia, G. Giacchetti, Bone Metabolism in SARS-CoV-2 Disease: Possible Osteoimmunology and Gender Implications, *Clin Rev Bone Miner Metab* (2020) 1-7.
- [42] G. Chen, D. Wu, W. Guo, Y. Cao, D. Huang, H. Wang, T. Wang, X. Zhang, H. Chen, H. Yu, X. Zhang, M. Zhang, S. Wu, J. Song, T. Chen, M. Han, S. Li, X. Luo, J. Zhao, Q. Ning, Clinical and immunologic features in severe and moderate forms of Coronavirus Disease 2019, *J Clin Invest* 130(5) (2020) 2620–9.
- [43] T. Georgiev, Coronavirus disease 2019 (COVID-19) and anti-rheumatic drugs, *Rheumatology international* 40(5) (2020) 825-826.
- [44] S.H. Ralston, G. Schett, Osteoimmunology, *Calcif Tissue Int* 102(5) (2018) 501-502.
- [45] T. El Khassawna, F. Merboth, D. Malhan, W. Bocker, D.E.S. Daghma, S. Stoetzel, S. Kern, F. Hassan, D. Rosenbaum, J. Langenstein, N. Bauer, A. Schlagenhauf, A. Rosen-Wolff, F. Schulze, M. Rupp, D. Hose, A. Secklinger, A. Ignatius, H.J. Wilke, K.S. Lips, C. Heiss, Osteocyte regulation of receptor activator of NF-kappaB Ligand/Osteoprotegerin in a sheep model of osteoporosis, *Am J Pathol* 187(8) (2017) 1686-1699.
- [46] T. El Khassawna, A. Serra, C.H. Bucher, A. Petersen, C. Schlundt, I. Könnecke, D. Malhan, S. Wendler, H. Schell, H.-D. Volk, K. Schmidt-Bleek, G.N. Duda, T-Lymphocytes influence the mineralization process, *Frontiers in Immunology* 8 (2017) 562.
- [47] K. Sinning, E. Tsourdi, M. Rauner, T.D. Rachner, C. Hamann, L.C. Hofbauer, Skeletal and extraskeletal actions of denosumab, *Endocrine* 42(1) (2012) 52-62.
- [48] C. Biehl, J. Schmitt, S. Stoetzel, D. Malhan, F. Hassan, G. Knapp, C. Heiss, T. El Khassawna, DXA reference values of the humanoid sheep model in preclinical studies, *PeerJ* 9(e11183) (2021).

- [49] G. Haugeberg, T. Uhlig, J.A. Falch, J.I. Halse, T.K. Kvien, Bone mineral density and frequency of osteoporosis in female patients with rheumatoid arthritis, *Arthritis & Rheumatism* 43(3) (2000) 522–530.
- [50] Y.-Y. Kong, U. Feige, I. Sarosi, B. Bolon, A. Tafuri, S. Morony, C. Capparelli, J. Li, R. Elliott, S. McCabe, T. Wong, G. Campagnuolo, E. Moran, E.R. Bogoch, G. Van, L.T. Nguyen, P.S. Ohashi, D.L. Lacey, E. Fish, W.J. Boylek, J.M. Penninger, Activated T cells regulate bone loss and joint destruction in adjuvant arthritis through osteoprotegerin ligand, *Nature Medicine* 6(1) (1999) 43-47.
- [51] U. Harre, D. Georgess, H. Bang, A. Bozec, R. Axmann, E. Ossipova, P.J. Jakobsson, W. Baum, F. Nimmerjahn, E. Szarka, G. Sarmay, G. Krumbholz, E. Neumann, R. Toes, H.U. Scherer, A.I. Catrina, L. Klareskog, P. Jurdic, G. Schett, Induction of osteoclastogenesis and bone loss by human autoantibodies against citrullinated vimentin, *J Clin Invest* 122(5) (2012) 1791-802.
- [52] Y.J. Lin, M. Anzaghe, S. Schulke, Update on the pathomechanism, diagnosis, and treatment options for rheumatoid arthritis, *Cells* 9(4) (2020) 880.
- [53] M. Diller, R. Hasseli, M.L. Hulser, I. Aykara, K. Frommer, S. Rehart, U. Muller-Ladner, E. Neumann, Targeting activated synovial fibroblasts in rheumatoid arthritis by peficitinib, *Front Immunol* 10 (2019) 541.
- [54] M.C. van der Goes, J.W. Jacobs, M.S. Jurgens, M.F. Bakker, M.J. van der Veen, J.H. van der Werf, P.M. Welsing, J.W. Bijlsma, Are changes in bone mineral density different between groups of early rheumatoid arthritis patients treated according to a tight control strategy with or without prednisone if osteoporosis prophylaxis is applied?, *Osteoporos Int* 24(4) (2013) 1429-36.
- [55] I.A. Kapandji, J.U. Koebeke, Funktionelle Anatomie der Gelenke: schematisierte und kommentierte Zeichnungen zur menschlichen Biomechanik; einbändige Ausgabe - obere Extremität, untere Extremität, Rumpf und Wirbelsäule, Thieme 2009.
- [56] S.M. Meireles, L.M. Oliveira, M.S. Andrade, A.C. Silva, J. Natour, Isokinetic evaluation of the knee in patients with rheumatoid arthritis, *Joint Bone Spine* 69(6) (2002) 566-73.

- [57] C. Biehl, S. Kappl, S. Rehart, Operative Therapie an den Gelenken bei der Spondyloarthritis, *Aktuelle Rheumatologie* 38(02) (2013) 104-108.
- [58] B. Krieg, Z. Mascharka, G. Maderbacher, C. Baier, J. Grifka, F. Greimel, [Hand surgery in the rheumatic hand--novel and established aspects], *Zeitschrift für Rheumatologie* 77(10) (2018) 864-873.
- [59] B.R. Simmen, H. Huber, [The wrist joint in chronic polyarthritis--a new classification based on the type of destruction in relation to the natural course and the consequences for surgical therapy], *Handchir Mikrochir Plast Chir* 26(4) (1994) 182-9.
- [60] A. Larsen, K. Dale, M. Eek, Radiographic evaluation of rheumatoid arthritis and related conditions by standard reference films, *Acta radiologica: diagnosis* 18(4) (1977) 481-91.
- [61] K. Izumi, K. Suzuki, M. Hashimoto, T. Endoh, K. Doi, Y. Iwai, Y. Kaneko, M. Jinzaki, S. Ko, T. Takeuchi, Automatic finger joint bone erosion score prediction considering 2-time-point X-rays of patients with rheumatoid arthritis by deep learning, *Annals of the rheumatic diseases* 79(Suppl 1) (2020) 1840.1-1841.
- [62] M. De Martinis, L. Ginaldi, M.M. Sirufo, E.M. Bassino, F. De Pietro, G. Pioggia, S. Gangemi, IL-33/Vitamin D crosstalk in Psoriasis-associated osteoporosis, *Front Immunol* 11 (2020) 604055.
- [63] S.C. Sandikci, Z. Ozbalkan, Fatigue in rheumatic diseases, *Eur J Rheumatol* 2(3) (2015) 109-113.
- [64] S. Ali, F. Matcham, K. Irving, T. Chalder, Fatigue and psychosocial variables in autoimmune rheumatic disease and chronic fatigue syndrome: A cross-sectional comparison, *J Psychosom Res* 92 (2017) 1-8.
- [65] T. Tittinger, R. Słoniak, D. Szczepański, T.S. Gaździk, M. Kulesa-Mrowiecka, Ł. Kikowski, Lateral instability of the knee joint and disorder of the ankle joint extension disorder in men, *Wiad Lek* 72(2) (2019) 250-254.
- [66] S.L. Kolasinski, T. Neogi, M.C. Hochberg, C. Oatis, G. Guyatt, J. Block, L. Callahan, C. Copenhaver, C. Dodge, D. Felson, K. Gellar, W.F. Harvey, G. Hawker, E. Herzig, C.K. Kwok, A.E. Nelson, J. Samuels, C. Scanzello, D. White, B. Wise, R.D. Altman, D. DiRenzo, J. Fontanarosa, G. Girardi, M. Ishimori, D. Misra, A.A. Shah, A.K. Shmagel, L.M. Thoma, M. Turgunbaev, A.S. Turner, J. Reston,

- 2019 American College of Rheumatology/Arthritis Foundation Guideline for the management of osteoarthritis of the hand, hip, and knee, *Arthritis Rheumatol* 72(2) (2020) 220-233.
- [67] J. Nowotny, P. Kasten, *Physiologie der Sehnenheilung*, *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date* 10(01) (2015) 75-87.
- [68] R. Dziurla, F. Buttgereit, [Glucocorticoids in rheumatology], *Zeitschrift für Rheumatologie* 67(7) (2008) 583-91; quiz 592.
- [69] E.M. Sanchez-Robles, R. Giron, N. Paniagua, C. Rodriguez-Rivera, D. Pascual, C. Goicoechea, Monoclonal antibodies for chronic pain treatment: present and future, *Int J Mol Sci* 22(19) (2021).
- [70] P. Wojdasiewicz, L.A. Poniatowski, D. Szukiewicz, The role of inflammatory and anti-inflammatory cytokines in the pathogenesis of osteoarthritis, *Mediators Inflamm* 2014 (2014) 561459.
- [71] R. Wiegertjes, F.A.J. van de Loo, E.N. Blaney Davidson, A roadmap to target interleukin-6 in osteoarthritis, *Rheumatology (Oxford)* 59(10) (2020) 2681-2694.
- [72] P.L. Hudak, P.C. Amadio, C. Bombardier, D. Beaton, D. Cole, A. Davis, G. Hawker, J.N. Katz, M. Makela, R.G. Marx, P. L., Development of an upper extremity outcome measure: the DASH (disabilities of the arm, shoulder, and hand). *American Journal Of Industrial Medicine* 29 (1996) 602-8.
- [73] H. Raspe, U. Hagedorn, T. Kohlmann, S. Matussek, Questionnaire for the diagnosis of functional disability caused by backache. German: Funktionsfragebogen FFbH. Ein Instrument zur Funktionsdiagnostik bei polyartikulären Erkrankungen. In: Sigrist J (Hrsg) *Wohnortnahe Betreuung Rheumakranker.*, in: *Deutsche Gesellschaft für Rheumatologie (Ed.), Qualitätssicherung in der Rheumatologie*, Steinkopff, Stuttgart, New York, 1990 / 2008.
- [74] J. Lautenschläger, W. Mau, T. Kohlmann, H.H. Raspe, F. Struve, W. Brückle, H. Zeidler, Vergleichende Evaluation einer deutschen Version des Health Assessment Questionnaires (HAQ) und des Funktionsfragebogens Hannover (FFbH), *Zeitschrift für Rheumatologie* 56(3) (1997) 144-155.

-
- [75] J.F. Fries, P. Spitz, R.G. Kraines, H.R. Holman, Measurement of patient outcome in arthritis, *Arthritis Rheum* 23(2) (1980) 137-45.
- [76] A. Fischer, Servicequalität und Patientenzufriedenheit im Krankenhaus: Konzepte, Methoden, Implementierung, Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Berlin, 2015.
- [77] J. Wagner, V. Lubert, J.F. Lock, U.A. Dietz, S. Lichthardt, N. Matthes, K. Krajcinovic, C.T. Germer, S. Knop, A. Wiegering, [Perioperative handling of immunosuppressive therapy], *Chirurg* 89(2) (2018) 116-121.
- [78] Y. Youm, R.Y. McMurthy, A.E. Flatt, T.E. Gillespie, Kinematics of the wrist. I. An experimental study of radial-ulnar deviation and flexion-extension, *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 60(4) (1978) 423-31.
- [79] K. Krueger, K. Albrecht, S. Rehart, R. Scholz, D. Kommission Pharmakotherapie der, Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Rheumatologie zur perioperativen Vorgehensweise unter Therapie mit DMARD und Biologicals bei entzündlich-rheumatischen Erkrankungen, *Zeitschrift für Rheumatologie* 73(1) (2014) 77-84.
- [80] J.R. O'Dell, Treating rheumatoid arthritis early: a window of opportunity?, *Arthritis Rheum* 46(2) (2002) 283-5.
- [81] J.S. Smolen, R.B.M. Landewe, J.W.J. Bijlsma, G.R. Burmester, M. Dougados, A. Kerschbaumer, I.B. McInnes, A. Sepriano, R.F. van Vollenhoven, M. de Wit, D. Aletaha, M. Aringer, J. Askling, A. Balsa, M. Boers, A.A. den Broeder, M.H. Buch, F. Buttgerit, R. Caporali, M.H. Cardiel, D. De Cock, C. Codreanu, M. Cutolo, C.J. Edwards, Y. van Eijk-Hustings, P. Emery, A. Finckh, L. Gossec, J.E. Gottenberg, M.L. Hetland, T.W.J. Huizinga, M. Koloumas, Z. Li, X. Mariette, U. Muller-Ladner, E.F. Mysler, J.A.P. da Silva, G. Poor, J.E. Pope, A. Rubbert-Roth, A. Ruysen-Witrand, K.G. Saag, A. Strangfeld, T. Takeuchi, M. Voshaar, R. Westhovens, D. van der Heijde, EULAR recommendations for the management of rheumatoid arthritis with synthetic and biological disease-modifying antirheumatic drugs: 2019 update, *Annals of the rheumatic diseases* 79(6) (2020) 685-699.

-
- [82] T. Kostuj, S. Rehart, R. Matta-Hurtado, C. Biehl, R.E. Willburger, K. Schmidt, Study group "complication-register of the DGORh", Pilot study for the registry of complications in rheumatic diseases from the German Society of Surgery (DGORh): evaluation of methods and data from the first 1000 patients, *BMJ Open* 7(10) (2017) e015987.
- [83] T. Tanaka, M. Narazaki, T. Kishimoto, Immunotherapeutic implications of IL-6 blockade for cytokine storm, *Immunotherapy* 8(8) (2016) 959-70.
- [84] K. Albrecht, D. Poddubnyy, J. Leipe, P. Sewerin, C. Iking-Konert, R. Scholz, K. Kruger, [Perioperative management of treatment of patients with inflammatory rheumatic diseases : Updated recommendations of the German Society of Rheumatology], *Zeitschrift für Rheumatologie* 81(3) (2021) 212-224.
- [85] K. Holzer, Ergotherapeutische Maßnahmen nach operativen Eingriffen an der rheumatischen Hand, *Handchir Mikrochir plast Chir* 37(01) (2005) 60-66.
- [86] R.J. Anderson, Controversy in the surgical treatment of the rheumatoid hand, *Hand clinics* 27(1) (2011) 21-5.
- [87] W. Seidel, Kommission Pharmakotherapie DGRh, [Radiosynoviorthese], *Zeitschrift für Rheumatologie* 65(3) (2006) 239-44.
- [88] R. Gaulke, C. Krettek, Radiolunäre, radioskapholunäre und totale Handgelenkarthrodese bei rheumatischer Handgelenkinstabilität, *Obere Extremität* 3(2) (2008) 92-100.
- [89] J. Pech, M. Vlček, I. Landor, [Current options of rheumatology of the hand and wrist], *Acta Chir Orthop Traumatol Cech* 86(5) (2019) 313-319.
- [90] J.H. Kozlow, K.C. Chung, Current concepts in the surgical management of rheumatoid and osteoarthritic hands and wrists, *Hand clinics* 27(1) (2011) 31-41.
- [91] A. Lueder, A. Berkenbrink, J. Zeichen, [Rehabilitation management system of the German Social Accident Insurance. Initial medical experiences], *Der Unfallchirurg* 116(3) (2013) 271-6.
- [92] M. Clasen, A. Schwarting, Leben mit Rheuma: Rehabilitation und adjuvante Therapien, *Akt Rheumatol* 43(04) (2018) 289-296.

-
- [93] S.E. Meyer, J.R. Hoepfer, J. Buchholz, D. Meyer-Olson, Technische Alltagshilfen in der Rheumatologie – Was ist sinnvoll, was ist bewiesen, welche Perspektiven gibt es?, Aktuelle Rheumatologie 47(01) (2022) 33-42.
- [94] F. Meyer, D. Schulte, Zur Validität der Beurteilung des Therapieerfolgs durch Therapeuten, Zeitschrift für Klinische Psychologie und Psychotherapie 31(1) (2002) 53-61.
- [95] D. Kahneman, O. Sibony, C.R. Sunstein, T. Schmidt, Noise: Was unsere Entscheidungen verzerrt – und wie wir sie verbessern können, Siedler Verlag 2021.
- [96] T. Ogura, A. Hirata, N. Hayashi, C. Imaizumi, H. Ito, S. Takenaka, Y. Inoue, Y. Takakura, K. Mizushima, T. Katagiri, H. Kameda, Finger Joint Cartilage Evaluated by semiquantitative ultrasound score in patients with rheumatoid arthritis, Arthritis care & research 73(2) (2021) 173-179.
- [97] A.G. Gift, Visual analogue scales: measurement of subjective phenomena, Nurs Res 38(5) (1989) 286-8.
- [98] M.E. Cline, J. Herman, E.R. Shaw, R.D. Morton, Standardization of the Visual Analogue Scale, Nursing Research 41(6) (1992) 378-379.
- [99] P.L. Hudak, P.C. Amadio, C. Bombardier, D. Beaton, D. Cole, A. Davis, G. Hawker, J.N. Katz, M. Makela, R.G. Marx, P. L., Development of an upper extremity outcome measure: the DASH (disabilities of the arm, shoulder, and hand). American Journal Of Industrial Medicine 29 (1996) 602-8.
- [100] G. Germann, A. Harth, G. Wind, E. Demir, [Standardisation and validation of the German version 2.0 of the Disability of Arm, Shoulder, Hand (DASH) questionnaire], Der Unfallchirurg 106(1) (2003) 13-9.
- [101] N. Field, C.H. Mercer, P. Sonnenberg, C. Tanton, S. Clifton, K.R. Mitchell, B. Erens, W. Macdowall, F. Wu, J. Datta, K.G. Jones, A. Stevens, P. Prah, A.J. Copas, A. Phelps, K. Wellings, A.M. Johnson, Associations between health and sexual lifestyles in Britain: findings from the third National Survey of Sexual Attitudes and Lifestyles (Natsal-3), The Lancet 382(9907) (2013) 1830-1844.

- [102] A. Dekker, S. Matthiesen, S. Cerwenka, M. Otten, P. Briken, Health, sexual activity, and sexual satisfaction, *Deutsches Aerzteblatt Online* 117(39) (2020) 645-652.
- [103] U. Ellert, B.M. Kurth, [Health related quality of life in adults in Germany: results of the German Health Interview and Examination Survey for Adults (DEGS1)], *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 56(5-6) (2013) 643-9.
- [104] A.R. Tarlov, J.E. Ware, Jr., S. Greenfield, E.C. Nelson, E. Perrin, M. Zubkoff, The Medical Outcomes Study. An application of methods for monitoring the results of medical care, *Jama* 262(7) (1989) 925-30.
- [105] M. Bullinger, J. Siegrist, U. Ravens-Sieberger, *Lebensqualitätsforschung aus medizinspsychologischer und sozialpsychologischer Perspektive. Jahrbuch der Medizinischen Psychologie* (Bd. 18), Hogrefe, Göttingen, 2000.
- [106] Stiftung für Qualitätssicherung und Transparenz im Gesundheitswesen, *Taetigkeitsbericht-2020_IQTIG*, in: I.f.r.Q.t.u.T.i.G. (IQTIG) (Ed.) Berlin, 2020.
- [107] G-BA, *Patienteninformation zur Datenerhebung bei gesetzlich versicherten Patienten Hüftgelenkversorgung, Datengestützte einrichtungsübergreifende Qualitätssicherung*, 2020.
- [108] K.C. Chung, S.V. Kotsis, Outcomes of hand surgery in the patient with rheumatoid arthritis, *Curr Opin Rheumatol.* 22(3) (2010) 336–341.
- [109] A. Barbati, A. Geraci, M. Borri, F. Polidoro, S. Di Carlo, V. Salini, Spontaneous rupture of the digital extensor tendons of the hand in unrecognized carpal lunate fracture, *Acta Ortop Mex.* 31(2) (2017) 91-94.
- [110] M. Doita, R. Saura, K. Mizuno, Tendon rupture of the extensor pollicis longus tendon in rheumatoid arthritis, *Ryumachi* 38(3) (1998) 491-5.
- [111] M.F. Neurath, E. Stofft, Ultrastructural causes of rupture of hand tendons in patients with rheumatoid arthritis. A transmission and scanning electron microscopic study, *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg* 27(1) (1993) 59-65.
- [112] V.A.I. Laine, K.J. Vainio, Spontaneous ruptures of tendons in rheumatoid arthritis, *Acta Orthopaedica Scandinavica* 24(1-4) (2009) 250-257.

-
- [113] K.C. Chung, S.V. Kotsis, H.M. Kim, A prospective outcomes study of Swanson metacarpophalangeal joint arthroplasty for the rheumatoid hand, *The Journal of hand surgery* 29(4) (2004) 646-53.
- [114] C. Biehl, Die operative Therapie der rheumatischen Schulter, *Akt Rheumatol* 36(2) (2011) 118-122.
- [115] C. Biehl, M. Rupp, S. Kern, C. Heiss, T. ElKhassawna, G. Szalay, Extensor tendon ruptures in rheumatoid wrists, *Eur J Orthop Surg Traumatol* 30(8) (2020) 1499-1504.
- [116] S. Schill, H. Thabe, [10 to 15 year results after articulo tenosynovectomy of the rheumatoid wrist], *Jahrestagung der Vereinigung Süddeutscher Orthopäden eV, Baden-Baden*, (2000) 233.
- [117] J.F. Waljee, K.C. Chung, Objective functional outcomes and patient satisfaction after silicone metacarpophalangeal arthroplasty for rheumatoid arthritis, *The Journal of hand surgery* 37(1) (2012) 47-54.
- [118] L. Estermann, M. Marks, D.B. Herren, S. Schindele, Determinants of long-term satisfaction after silicone MCP arthroplasty in patients with inflammatory diseases, *Hand Surg Rehabil* 39(6) (2020) 545-549.
- [119] K.C. Chung, K.W. Nellans, P.B. Burns, E.F. Wilgis, F.D. Burke, D.A. Fox, H.M. Kim, Patient expectations and long-term outcomes in rheumatoid arthritis patients: results from the SARA (Silicone Arthroplasty in Rheumatoid Arthritis) study, *Clinical rheumatology* 34(4) (2015) 641-51.
- [120] R. Gaulke, Orthopädisch-Rheumatologische Jahresuntersuchung (ORJ), *Z Orthop Unfall* 156(5) (2018) 505-8.

9 Publikationsverzeichnis

1. **Christoph Biehl**, Thomas Braun, Ulrich Thormann, Amir Oda, Gabor Szalay and Stefan Rehart: Radiocarpal fusion and midcarpal resection interposition arthroplasty: long-term results in severely destroyed rheumatoid wrists. BMC Musculoskeletal Disorders (2018) 19:286: 1-7. doi.org/10.1186/s12891-018-2172-x
2. Markus Rupp, Stefanie Kern, Abdullah Ismat, Thaqif El Khassawna, Gero Knapp, Gabor Szalay, Christian Heiss, **Christoph Biehl**: Computed tomography for managing periprosthetic femoral fractures. A retrospective analysis. BMC Musculoskeletal Disorders 2019 May 29;20(1):258. doi.org/10.1186/s12891-019-2632-y.
3. **Christoph Biehl**, Markus Rupp, Volker Alt, Christian Heiß, Thaqif ElKhassawna, Gabor Szalay: Peri-Prosthetic Joint Infection after Finger Joint Arthroplasty. Surg Infect (Larchmt). 2020 Jun;21(5):445-450. doi: 10.1089/sur.2019.145.
4. Abdullah Ismat, Markus Rupp, Gero Knapp, Christian Heiss, Gabor Szalay, **Christoph Biehl**: Treatment of proximal fifth metatarsal fractures with an ulna hook plate, The Foot, 2019: doi.org/10.1016/j.foot.2019.101653.
5. **C. Biehl**, M. Rupp, S. Kern, C. Heiss, T. ElKhassawna, G. Szalay: Extensor tendon ruptures in rheumatoid wrists. European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology. 2020 July; doi.org/10.1007/s00590-020-02731-1
6. **Christoph Biehl**, Jakob Schmitt, Sabine Stötzel, Deeksha Malhan, Fathi Hassan, Gero Knapp, Christian Heiss, Thaqif ElKhassawna: DXA reference values of the pre-clinical sheep model in preclinical studies. 2021, PeerJ 9:e11183 doi.org/10.7717/peerj.11183
7. **Christoph Biehl**, Martin Stoll, Martin Heinrich, Lotta Biehl, Jochen Jung, Christian Heiß, Gabor Szalay: Long-term results of the modular physiological wrist prosthesis (MPW®) in patients with inflammatory diseases. Life. Special Issue "Metabolic Bone Diseases: From Classroom to Clinic".
8. **Biehl, C.**; Biehl, L.; Tarner, I.H.; Müller-Ladner, U.; Heiss, C.; Heinrich, M. Microangiopathy in Inflammatory Diseases—Strategies in Surgery of the Lower Extremity. Life 2022, 12, 200. https://doi.org/ 10.3390/life12020200
9. Schill S, **Biehl C**, Thabe H: Die Synovektomie des rheumatischen Ellenbogen-gelenkes. Orthopäde (2003) 32: 723-729
10. Schill S, Biehl C, Thabe H: Prothetische Versorgung des Sprunggelenks: Mittelfristige Ergebnisse nach Thompson-Richards- und STAR-Prothesen. Orthopäde 27(3), 1998.
11. Schill S, **Biehl C**, Thabe H: Die rekonstruktive Versorgung des rheumatischen Handgelenks mit einer neuen Handgelenksprothesengeneration - mittelfristige Ergebnisse. Aktuelle Rheumatologie 29(06):315-323

12. Kriegsmann M, Seeley EH, Schwarting A, Kriegsmann J, Otto M, Thabe H, Dierkes B, **Biehl C**, Sack U, Wellmann A, Kahaly GJ, Schwamborn K, Caprioli RM: MALDI MS imaging as a powerful tool for investigating synovial tissue. *Scandinavian journal of rheumatology*. 05/2012; 41(4):305-9
13. Kriegsmann J, Hopf T, Jacobs D, Arens N, Krenn V, Schmitt-Wiedhoff R, Kriegsmann M, Heisel C, **Biehl C**, Thabe H, Schmitz RPH, Lehmann M, Otto M: Molekularpathologische Diagnostik von Gelenkinfektionen. *Der Orthopäde* 04/2012; 38(6):531-538. DOI:10.1007/s00132-008-1394-2
14. Tanja Kostuj, Stefan Rehart, Ronald Matta-Hurtado, **Christoph Biehl**, Roland E Willburger, Klaus Schmidt, On behalf of the study group "complication- register of the DGORh": Pilot study for the registry of complications in rheumatic diseases from the German Society of Surgery (DGORh): evaluation of methods and data from the first 1000 patients. *BMJ Open* 2017;7:e015987.
15. Seemun Ray, Ulrich Thormann, Marlen Eichelroth, Matthäus Budak, **Christoph Biehl**, Markus Rupp, Ursula Sommer, Thaqif El Khassawna, Francisca I. Alagboso, Marian Kampschulte, Marcus Rohnke, Anja Henß, Klaus Peppler, Vanessa Linke, Peter Quadbeck, Axel Voigt, Florian Stenger, Daniel Karl, Reinhard Schnettler, Christian Heiss, Katrin S. Lips, Volker Alt: Strontium and bisphosphonate coated iron foam scaffolds for osteoporotic fracture defect healing. *Biomaterials* 157 (2018) 1-16
16. Markus Rupp, **Christoph Biehl**, Matthäus Budak, Ulrich Thormann, Christian Heiss, Volker Alt: Diaphyseal long bone nonunions – types, aetiology, economics, and treatment recommendations. *Int Orthop*. 2018 Feb;42(2):247-258. doi: 10.1007/s00264-017-3734-5
17. Rupp M, Merboth F, Daghma DE, **Biehl C**, El Khassawna T, Heiß C: Osteocytes. *Z Orthop Unfall*. 2019 Apr;157(2):154-163. doi: 10.1055/a-0658-5922
18. Alagboso FI, Budak M, Sommer U, Ray S, Kaiser A, Kampschulte A, Henss A, Dürselen L, **Biehl C**, Lips KS, Heiss C, Thormann U, Alt V: Establishment of a clinically relevant large animal model to assess the healing of metaphyseal bone. *European Cells and Materials* 2019; 37: 444-466.
19. Ivo M, Rupp M, **Biehl C**, Oberück S, Heiss C. Pilon-tibiale-Frakturen – Wann welche Platte? *OUP-Orthopädische und unfallchirurgische Praxis* 2019;8(4):199-205
20. Heinrich M, Lany M, Anastasopoulou L, **Biehl C**, Szalay G, Brenck F, Heiss C. Evidence of Prolonged Monitoring of Trauma Patients Admitted via Trauma Resuscitation Unit without Primary Proof of Severe Injuries. *Journal of Clinical Medicine*. 2020; 9(8):2516
21. David Valentin, Alexandre Presas, Charline Roehr, Elisa Mele, **Christoph Biehl**, Christian Heiss, Wolfram A. Bosbach: On the quantification of local power densities in a new vibration bioreactor. *PLoS ONE* 16(1): e0245768. doi.org/10.1371/journal.pone.0245768

22. El Khassawna,T.; Knapp, G.; Scheibler, N.; Malhan, D.; Walter, N.; **Biehl, C.**; Alt, V.; Heiss, C.; Rupp, M.: Mortality, Risk Factors and Risk Assessment after Periprosthetic Femoral Fractures—A Retrospective Cohort Study. *J. Clin. Med.* 2021, 10, 4324. doi.org/10.3390/ jcm10194324
23. Miriam Spreda, Nicole Hauptmann, Veronika Lehner, **Christoph Biehl**, Klaus Liefeth, Katrin Susanne Lips: Porous 3D Scaffolds Enhance MSC Vitality and Reduce Osteoclast Activity. *Molecules* 2021, 26, 6258. doi.org/10.3390/ molecules26206258
24. **Biehl C**, Schill S, Thabe H: Mittel- und langfristige Ergebnisse nach Synovektomie des rheumatischen Sprunggelenkes. *Orthopädische Praxis*, 2001(12): 814-818.
25. **Biehl C**, Thabe H: Die Offene Synovektomie des rheumatischen Sprunggelenks. *arthritis + rheuma* 2002; 3: 123–133
26. **Biehl C**: Die operative Therapie der rheumatischen Schulter. *Akt. Rheumatologie*, Thieme, 2011; 36(2): 118-12. DOI: 10.1055/s-0031-1275328
27. **Biehl C**, Kappl S: Update Sprunggelenks- und Fußoperationen bei Rheumatiker, arthritis & rheuma, 2012: 32 (5) 315-319
28. **Biehl C**, Kappl S, Rehart S: Operative Therapie an den peripheren Gelenken bei der Spondyloarthritis. *Aktuelle Rheumatologie*,2013;38 (3) 104-108
29. **Biehl C**: Patienten mit rheumatoider Arthritis. Ist die Handgelenksarthrodese heute noch der Goldstandard? *ORTHOPÄDIE & RHEUMA*, Springer, 2014; 17 (4)
30. **Biehl C**, Jung J: Perioperative Komplikationen bei Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises. *Perioperative Complications in Rheumatoid Diseases. Aktuelle Rheumatologie* 2014; 39: 1–6 DOI 10.1055/s-0034-1384513
31. **Biehl C**, Thormann U, Heiß C: Komplikationen in der Kniechirurgie des Rheumatikers *Akt Rheumatol.* 2018; 43(01): 73-81
32. **Biehl C**, M. Eckhard, G. Szalay, C. Heiss: Minor-Amputationen beim diabetischen Fußsyndrom. *Oper Orthop Traumatol* 2016 (5) DOI 10.1007/s00064-016-0445-9
33. **C. Biehl**, F. Merboth, T. ElKassawna, M. Rupp, C. Heiß: Physiologie des Knochenmetabolismus und Knochenzell-Interaktionen. *arthritis + rheuma* 2017 37 4: 239-246
34. **Christoph Biehl**, Hagen Maxeiner, Markus Rupp, Christian Heiß: Perioperatives Management des traumatisierten „Rheumatikers“ – Medikation. *Perioperative Management of Traumatized Rheumatoid Patients – Medication. Akt Rheumatol* 2019; 44(01): 39-44. DOI: 10.1055/s-0043-119414
35. **Christoph Biehl**, Abdullah Ismat, Tanja Kostuj, Markus Rupp, Christian Heiß: Rheuma der unteren Extremität: Wann gelenkerhaltend operieren? *Orthopädie & Rheuma* 2018; 4 DOI 10.1007/s15002-018-1403-8
36. **Biehl C**, Hiob A, Thormann U, Heiß C: Konservative und operative Behandlung der rheumatischen Gonarthrit. *OUP* 2019; 8: 139–143

37. **Christoph Biehl**, Markus Rupp, Urs Schiefer, Thaqif El Khassawna, Christian Heiß: Rheumatoid arthritis and trauma assessment. *Arthritis und Rheuma* 2019; 39(05): 327-33. DOI: 10.1055/a-0994-8896
38. **Biehl C**, Heinrich M, Heiß C, Szalay G: Fingerpolyarthrose: Bewegung gegen den Schmerz. *Heilberufe*; 2020; 72(6): 24-26. doi.org/10.1007/s00058-020-1478-x
39. **Biehl C**, Heinrich M, Biehl L, Heiß C, Szalay G: Polyarthrose der Hand - konservative und operative Therapie. *Arthritis und Rheuma* 2020; 40(05): 320-325. DOI: 10.1055/a-1202-9252
40. **Christoph Biehl**, Martin Heinrich, Lotta Biehl, Gero Knapp, Christian Heiss, Ulrich Thormann: Biomechanical particularities in the therapy of the rheumatic knee. *Applied Sciences*; 2020, 10, 8600; doi:10.3390/app10238600
41. **Christoph Biehl**, Lotta Biehl, Christian Heiss, Ulrich Thormann: Therapy of the Rheumatic Knee. <https://encyclopedia.pub/9378>
42. **Christoph Biehl**, Gero Knapp, Lotta Biehl, Florian Möller, Christian Heiß: Rückfußchirurgie am arthritischen und arthrotischen Fuß. *Hindfoot Surgery on the Rheumatic and Osteoarthritic Foot. Aktuelle Rheumatologie* 2022; 47: 1–10. DOI 10.1055/a-1806-0998
43. Schmidt K, **Biehl C**: Ellenbogen. In: Sell S, Rehart S (Hrsg): *Expertise Orthopädische Rheumatologie*, S. 243-254, Thieme, 2015, ISBN 978-3131714114
44. **Biehl C**, Ilgner U: Der rheumatische Fuß. In: JÖRG DISTLER (Hrsg.): *Therapie-Handbuch – Rheumatologie und Immunologie*. Elsevier, 2022 in Druck
45. Schill S, **Biehl C**, Thabe H: Langzeitergebnisse nach Sprunggelenksprothesen. In: Neumann W (Hrsg.): *AE-Manual der Endoprothetik: Sprunggelenk und Fuß*, S. 229-236, Springer 2012, ISBN 978-3642148859
46. **Biehl C**, Hesse M: Reaktivierung einer Staphylokokkus aureus-Infektion des linken Handgelenkes unter Therapie mit dem TNF α -Blocker Etanercept. *Arthritis + rheuma*, 2002; 22(6): 306-308
47. Kappl S, **Biehl C**: Ossäre Manifestation einer Thalassämie bei einem schwarzafrikanischen Jungen. 39. Kongress der DGRh/DGORh, München, 2011
48. **C. Biehl**, C. Schäfer, C. Heiß, A. Brobeil, T. Dreyer, S. Gattenlöhner, G. Szalay: Neurofibroma in Children hand – Case Report and Literature Review. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 2020; 52: 29–32. doi.org/10.1055/a-1075-2489
49. Kappl S, Borg v. Zeppelin I, **Biehl C**, Moor J: Pathologische Femurfraktur mit Hüftkopfnekrose links bei dem Vollbild einer Sichelzellanämie in Kombination mit einer alpha-Thalassämie beim Kind. 26. ARRP-Arbeitstagung, Bad Kreuznach 2011
50. Rupp M, Mika J, **Biehl C**, Heiss C, Alt V.: Successful Total Elbow Replacement after Septic Arthritis with Staphylococcus aureus- a Case Report and Review of the Literature. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2018;85(1):70-74.

51. Götz Schmidt, Fabian Edinger, Christian Koch, Matthias Wolff, **Christoph Biehl**, Rüdiger Hörbelt, Michael Sander: Ultrasound-Accelerated Thrombolysis in High-Risk Perioperative Pulmonary Embolism: Two Case Reports and Review of Literature, Perioper Med (Lond). 2021 Oct 18;10(1):35. doi: 10.1186/s13741-021-00205-4

10 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

- Abb. 1: Rheumatisch destruiertes Knie mit hyperplastisch, hypertrophierter Synovialis, die pannös über die Patella-Knorpelfläche wächst). © C. Biehl, Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, UKGM Gießen 4
- Abb. 2: Abbildung 2: Rheumatisch destruiertes Handgelenk (Stadium 4) mit SL-Dissoziation, Abkippen des Lunatum nach ulnar, Caput-ulnae-Syndrom mit dorsaler Subluxationsstellung des Ulnaköpfchens und Bajonettstellung des Carpus gegenüber dem Radius. © C. Biehl, Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, UKGM Gießen 7
- Abb. 3: Rheumatisch bedingte Veränderungen an Gelenken der Hand: Abgeflachtes Quergewölbe (Metacarpale (MC)3 ist gegenüber MC2 abgesunken), beginnende Subluxationsstellung MCP 2 nach palmar, Schwanenhalsdeformität D2 (D3) und D5 und sog. 90-90-Deformität des Daumens. © C. Biehl, Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, UKGM Gießen 8
- Abb. 4: Rheumatisch destruierte Handgelenke. Einteilung nach Simmen/Huber: a = ankylosierende Form, b = Osteoarthritis, operative Versorgung mit Ulnaköpfchen-Resektion erfolgt, c = mutilierende, desintegrierende Form [49]. © C. Biehl, Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, UKGM Gießen 8
- Abb. 5: Strukturelle zeitliche Entwicklung inflammatorischer Erkrankungen am Beispiel der rheumatoiden Arthritis. Die frühere Diagnostik einer RA durch eine Überarbeitung der Kriterien für eine RA durch die EULAR/ARC in der Differenzierungsphase ermöglicht die zeitnahe Einleitung einer Basistherapie. Nach O'Dell, J. R. [Treating rheumatoid arthritis early: a window of opportunity?] [79] 14
- Abb. 6: Algorithmus zur Behandlung der RA nach den EULAR-Kriterien, mod. nach Smolen et al. 2020 [74]. ACPA= anti-citrullinierte Protein-Antikörper, DMARD= Disease-modifying anti-rheumatic drugs, GK= Glukokortikoid, MTX= Methotrexat, RF= Rheumafaktor, SZP= Salazopyrin = Sulfasalazin. 16
- Abb. 7: Therapiekonzept am Handgelenk nach LDE-Stadien. Tabellarische Übersicht über die verschiedenen operativen Versorgungsmöglichkeiten am inflammatorisch destruierten Gelenk. ECRB = Extensor carpi radialis brevis, ECU = Extensor carpi ulnaris, RIAP = Resektions-Interpositions-Arthroplastik. 19

<i>Abb. 8: Funktionelle Beeinträchtigung der anderen (nicht operativ adressierten) Gelenke der betroffenen oberen Extremität. Subjektive Differenzierung durch die Patienten. N=16</i>	<i>76</i>
<i>Abb. 9: Subjektives Patientenurteil (in Prozent) zu den in den Publikationen untersuchten operativen Verfahren am Handgelenk, bzw. der Strecksehnenverletzung auf Höhe des Handgelenkes. MPW® = Modular-Physiologische-Handgelenksprothese, RIAP = Resektions-Interpositions-Arthroplastik.</i>	<i>77</i>
<i>Abb. 10: Aufschlüsselung der präoperativen zu postoperativen Ergebnissen am Beispiel des Clayton-Scores: es zeigen sich teils deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Patienten. So verschlechtern sich bei 9 Patienten im Verlauf die Werte im Score, bei einem Patienten bleiben die Werte identisch. 17 Patienten zeigen bessere Ergebnisse (63%) zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung.</i>	<i>79</i>
<i>Abb. 11: Algorithmus für ein Patient*Innenzentriertes Therapiekonzept. Gegenüber den allgemein gebräuchlichen Konzepten werden Patient*Innenwünsche und -erwartungen aktiv nachgefragt und in die Planung mit einbezogen. Neben den spezifischen Erwartungen im Sinne verständlicher Informationen über die Notwendigkeit und die einzelnen Behandlungsschritte, werden auch indirekte Erwartungen, wie Freundlichkeit und erlebbare Qualifikation des Arztes und des Teams, die zeitnahe Terminvergabe und die Länge der Wartezeit aktiv erhoben (b = berücksichtigt; e = erhebt; i = initiiert).</i>	<i>83</i>
<i>Tabelle1: ACR/EULAR-Kriterien zur Diagnostik einer rheumatoiden Arthritis (RA). RF = Rheumafaktor, CRP = C-reaktives Protein, BSG = Blutsenkungsgeschwindigkeit, anti-CCP = Anti-citrullinierte C-Peptide [1].</i>	<i>14</i>

11 Abkürzungsverzeichnis

ACPA	Anti-Citrullinierte-Protein-Antikörper
ACR	American College of Rheumatology
ADL	Activity of daily life
ALP	Alkalische Phosphatase
Anti-CCP	Antikörper gegen zyklisch citrullinierte Peptide/Proteine
ASV	ambulante Spezialfachärztliche Versorgung
BfArM	Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte
BMD	bone mineral density
BMP	Bone-morphogenetic-protein
BSG	Blutsenkungsgeschwindigkeit
CRP	C-reaktive Protein
CT	Computertomograph(ie)
DASH	Disability of Arm, Shoulder, Hand
DEXA	dual-energy X-ray absorptiometry
DGRh	Deutsche Gesellschaft für Rheumatologie e.V.
DGORh	Deutsche Gesellschaft für Orthopädische Rheumatologie e.V.
DIP	distales Interphalangealgelenk
DMARD	disease-modifying anti-rheumatic drug
DMP	Disease Management Programm
DRFZ	Deutsches Rheuma Forschungszentrum
DRUG	Distales Radio-Ulnar-Gelenk
ECRB	Extensor carpi radialis brevis
ECU	Extensor carpi ulnaris
EULAR	European League against Rheumatism
FFbH	Funktionsfragebogen Hannover
FLS	Fibroblasten-ähnlichen Synovialzellen
G-BA	Gemeinsamer Bundesausschuss
GK	Glukokortikoid
HAQ	Health assessment Questionnaire

IL-1 /-6	Interleukin-1 /-6
IQTIG	Institut für Qualitätssicherung und Transparenz im Gesundheitswesen
JLU	Justus-Liebig-Universität
LDE	Larsen, Dale, Eek
MCP	Metacarpophalangealgelenk
MHQ	Michigan Hand Outcomes questionnaire
MIP	macrophage inflammatory protein
miRNA	Mikro-Ribo Nucleic Acid (Säure)
mm	Millimeter
MPW®	modular physiologische wristprosthesis (Handgelenksprothese)
MRT	Magnetresonanztomograph(ie)
MTX	Methotrexat
NADPH	Nicotinamidadenindinukleotidphosphat
NET	Neutrophil Extracellular Traps
NF-κB	nuclear factor 'kappa-light-chain-enhancer' of activated B-cells
PAD4	Peptidyl Arginin Deiminase-4
PIP	Proximales Interphalangealgelenk
OCN	Osteocalcin
OPG	Osteoprotegerin
PJI	Periprosthetic Joint Infection (Periprothetische Gelenkinfektion)
PROMs	Patient Reported Outcomes Measures
RA	Rheumatoide Arthritis
RANK	Receptor Activator of NF-κB
RANK-L	Receptor Activator of NF-κB Ligand
RF	Rheumafaktor
RhefO	Rheumatologisch fortgebildete Orthopäden
RIAP	Resektions-Interpositions-Arthroplastik
RL	radiolunatal
ROS	reactive oxygen species
RSO	Radiosynoviorthese
SARS-CoV2	severe acute respiratory syndrome coronavirus type 2
SF-36	Short Form-36 (36-Item Short Form Survey)
SFB	Sonderforschungsbereich

SLAC-WRIST	scapholunate advanced collapse
SL-Band	Scapholunäres Band
SNAC-wrist	scaphoid nonunion advanced collapse
SZP	Salazopyrin = Sulfasalazin.
TFCC	Triangular fibrocartilage complex (Triangulärer fibrocartilaginärer Komplex)
TRR	Transregio
TWA	Total wrist arthroplasty
VAS	Visuelle Analog Scala

12 Danksagung

Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Dr. h.c. Christian Heiß, meinem Chefarzt und Lehrer, danke ich besonders für meine unfallchirurgische Ausbildung, seine fachliche Betreuung und Unterstützung bei all meinen wissenschaftlichen Arbeiten und bei der Erstellung dieser Arbeit.

Besonderer Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. rer. nat. Thaqif El Khassawna, welcher mir den Weg der weiterführenden wissenschaftlichen Arbeit gezeigt und mir durch die Mitarbeit im SFB/TRR 79 die Möglichkeit zur intensiven wissenschaftlichen Arbeit gegeben hat.

Weiterhin möchte ich mich sehr herzlich bei Frau Prof. Dr. rer. nat. K. Lips und dem Team des Labors für Experimentelle Unfallchirurgie an der Justus-Liebig-Universität für Ihre stetige Unterstützung und vertrauensvolle Zusammenarbeit bei so vielen Forschungsvorhaben.

Ich danke Prof. Dr. med. Dr. hum. biol. V. Alt und Prof. Dr. med. G. Szalay, die mich in allen Belangen der Unfallchirurgie und Handchirurgie, sei es operativ oder wissenschaftlich zu jeder Zeit beraten und unterstützt haben.

Mein Dank gilt insbesondere PD Dr. med. M. Rupp, PD Dr. med. U. Thormann und Dr. med. G. Knapp, auch stellvertretend für die Unterstützung durch die Kolleg*Innen in der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie bei meinen Projekten und Artikeln, vielen Dank euch allen.

Der Von Behring Röntgen – Stiftung danke ich für die finanzielle Unterstützung der Projekte im Rahmen unseres Antrags zur Knorpelsituation an lasttragenden Gelenken. An dieser Stelle möchte ich mich auch herzlich bei allen Mitgliedern des Projekts bedanken, namentlich Dr. Fathi und Deeksha Malhan, PhD, mit denen ich in vielen weiteren Teilprojektkooperationen zusammengearbeitet habe.

Mein spezieller Dank gilt meinem orthopädischen und rheumaorthopädischen Lehrer Herrn Prof. ^(VRC) Dr. med. Heiner Thabe für die operative und konservative Ausbildung im orthopädischen und rheumaorthopädischen Fach und die Heranführung an das wissenschaftliche Arbeiten und in die ARO. Des Weiteren danke ich Herrn Prof. Dr. Stefan Rehart für seine jahrelange mentorale Unterstützung.

Ich danke meiner Frau und meinen Kindern in all der Zeit für den Beistand während der letzten Jahre. Vielen Dank für Euer Verständnis, Rücksicht und Geduld und Euer in mich gesetztes Vertrauen.