

DIPLOMARBEIT

Frakturen der kindlichen Handwurzel (Carpus) und der Mittelhand (Metacarpus)

Ein systematischer Überblick

eingereicht von

Alexander Christian REISINGER

geboren am 29. März 1987

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der gesamten Heilkunde (Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Klinischen Abteilung für allgemeine Kinder- und Jugendchirurgie,
Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie, Auenbruggerplatz 34,
8036 Graz

unter der Anleitung von

Ass.Prof. Priv.-Doz. Dr.med.univ. Georg Singer

OA Dr.med.univ. Helmut Wegmann

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 02.05.2014

Alexander Christian Reisinger, e.h.

Vorwort

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde weitgehend das generische Maskulinum verwendet. Sofern nicht gesondert angegeben, beziehen sich diese Bezeichnungen auf beide Geschlechter. Es handelt sich bei diesem Schreibstil um meine persönliche Entscheidung und bildet nicht die Meinung der Medizinischen Universität Graz ab. Ich bin zwar der Meinung, dass Sprache und Wortwahl wichtige Instrumente in der Entwicklung einer Gesellschaft darstellen, allerdings sollte das Thema der Diskriminierung von Frauen in seriösen Diskussionen behandelt werden. Selbstverständlich lehne ich jegliche Form einer Diskriminierung ab. Allerdings ist eine den Lesefluss störende Verwendung des Binnen-I oder der doppelten Angaben von Bezeichnungen meiner Meinung nach in medizinischen, nicht speziell gender bezogenen, Artikeln nicht zielführend. Trotzdem wurden, soweit es möglich und sinnvoll ist, geschlechtsneutrale Begriffe verwendet.

Leider ist es nicht selbstverständlich, dass medizinisches Wissen frei zugänglich ist, zahlreiche nationale und internationale Journals sind kostenpflichtig. Da die Medizinische Universität Graz kaum Lizenzen vor 1995 besitzt und nur einige Journals nach diesem Zeitpunkt lizenziert sind, musste bei Erstellung dieser Diplomarbeit auf einige Quellen aus Kostengründen verzichtet werden.

Ich hoffe, dass in naher Zukunft medizinisches Wissen in digitaler Form frei zugänglich ist und damit eine kontinuierliche verlustfreie Weitergabe der Erkenntnisse und Ergebnisse möglich sein wird.

Danksagung

Mein Dank gilt allen Menschen, die mich während meines Studiums begleitet und unterstützt haben. Ihnen allen gilt mein Dank, auch wenn nicht alle namentlich erwähnt werden können.

Ich möchte mich zunächst vor allem bei meiner Familie, insbesondere bei meinen Eltern bedanken, welche mich bei meiner Entscheidung Medizin zu studieren sowie im weiteren Studienverlauf persönlich und finanziell unterstützt haben. Ohne sie wäre es mir nicht möglich gewesen, dieses Studium zu absolvieren. Zusätzlich möchte ich mich noch dafür bedanken, dass sie es mir ermöglichten, Medizin, Kultur und Menschen in anderen Ländern kennen zu lernen.

Einen großen Dank richte ich an Herrn Priv.-Doz. Dr. Georg Singer für die Bereitschaft mich bei dieser Arbeit zu betreuen, die herzliche Unterstützung und die hilfreiche Begleitung während der Erstellung.

Mein Dank gilt auch meinen Freunden und Studienkollegen. Besonders hervorheben möchte ich dabei Thomas Nestelberger, Thomas Gaisch, Christian Wölfler, Katharina Luxenberger und Thomas Hummel.

Auch jenen Kolleginnen und Kollegen des Mediziner corps Graz und Roten Kreuz Graz-Stadt, die mich im Rahmen meiner Ausbildung unterstützt haben, gilt mein Dank. Namentlich erwähnen möchte ich Bernhard Schwaberger.

Ein besonderer Dank gebührt meiner Freundin Tina, die mich während der Erstellung dieser Arbeit immer motiviert und meinen Blick oftmals wieder in die richtige Richtung gelenkt hat. Ohne ihre Unterstützung wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Ein Zitat von Mark Twain möchte ich noch anführen, da ich denke, dass es gerade im medizinischen Beruf wichtig ist, einen Blick über den Tellerrand geworfen zu haben.

Travel is fatal to prejudice, bigotry and narrow-mindedness, and many of our people need it sorely on these accounts. Broad, wholesome, charitable views of men and things can not be acquired by vegetating in one little corner of the earth all one's lifetime [1].

Zusammenfassung

Ziel Das Ziel dieser Arbeit ist es, einen systematischen Überblick über die kindlichen Frakturen im Handwurzel- (Carpus) und im Mittelhandbereich (Metacarpus) zu geben. Dabei wird auf die unterschiedlichen Verletzungsmuster, die Einteilungen der Frakturen, die Versorgungsmöglichkeiten und auf Komplikationen bzw. das Outcome eingegangen.

Hintergrund Im Kindesalter kommt es häufig zu Verletzungen und Frakturen. Die Hände sind dabei sehr häufig betroffen und je nach Alter unterschiedlich verletzt. Diese, vom Erwachsenenalter differierenden Verletzungsmuster sind durch den kindlichen Bewegungsdrang mit schlechter Einschätzung von Situationen und durch jugendlichen Übermut und zunehmende sportliche Aktivität bedingt. Zu berücksichtigen ist außerdem, dass nicht die gleichen Versorgungstechniken wie beim Erwachsenen eingesetzt werden können, da die Regenerationsfähigkeit, die Größe der Knochen und die noch vorhandene Wachstumsfuge bedacht werden müssen.

Methoden Es werden, sofern lizenziert, medizinische Artikel aus der Online-Datenbank „pubmed“ herangezogen. Die Recherche wird mittels Suchbegriffen für die verschiedenen Knochen und Frakturen im Kindesalter durchgeführt. Außerdem werden Bücher und Leitlinien für die Erstellung dieser Arbeit herangezogen.

Resultate Die einzelnen Knochen der Hand, aufgeteilt in Handwurzel und Mittelhand, werden dargestellt und die jeweilige Region in mehreren Kapiteln beschrieben. Diese Aufteilung wird für die meisten Handfrakturen eingehalten und gliedert sich wie folgt:

- Epidemiologie
- Anatomie und Entwicklung
- Verletzungsmuster
- Definition und Einteilung
- Diagnostik und klinische Untersuchung

- Bildgebung
- Versorgung
- Komplikationen, Outcome und Prognose
- Spezielle Verletzungen des Knochens

Diskussion Es kommt im Kindesalter häufig zu Handfrakturen, welche durch einen erfahrenen Arzt untersucht und diagnostiziert werden müssen. Häufig ist die Untersuchung schwierig, die Bedingungen sind eingeschränkt und die radiologische Bildgebung ist mäßig aussagekräftig. Daher muss die gute klinische Erfahrung eingesetzt und ein hohes Misstrauen auf okkulte Frakturen bewahrt werden. Handverletzungen bei Kindern sollten in Expertenzentren behandelt werden, um ein gutes Outcome und ein ungestörtes Wachstum zu garantieren.

Abstract

Objectives The aim of this diploma thesis is to give a systematic overview of pediatric fractures of the carpus and metacarpus. The different mechanism of injury, the fracture patterns, the methods of treatment and furthermore the outcome and prognosis are described.

Background Injuries and fractures occur commonly during childhood. The hand is involved very often and the fracture patterns or injuries depend on the age of the child. The reason for these common fractures is in younger children the lack of correct evaluation of situations and the misjudgment of distances, during adolescence the increase of athleticism and overestimation. It is noteworthy, that not the same type of techniques for the management of fractures as used in adults can be used in children. The size of the bones, the possibility of remodelling during growth and the still existing physis have to be taken in account.

Methods For this diploma thesis, medical articles, if they are licensed by the Medical University of Graz, from the online database „pubmed“ are used. The search algorithm is the use of keywords for the different bones and types of fractures during childhood. Additionally books and guidelines are used.

Results The individual bones of the hand, divided in carpus and metacarpus, are presented. Every bone is described in detail in a separate chapter. The sectioning as listed below is used for most of the fractures.

- epidemiology
- anatomy and development
- patterns of injury
- definition and classification
- diagnostics and clinical examination

- imaging
- treatment
- complications, outcome and prognosis
- special injuries of the region

Conclusion Hand fractures are common during childhood. The pediatric hand after a trauma should be seen and examined by an experienced medical specialist. It is difficult to examine a child, the cooperation is often suboptimal and the imaging procedures are limited in quality. Therefore a good clinical experience is necessary and a high level of suspicion must be kept to avoid overlooking of occult fractures. Pediatric hand fractures should be treated in expert medical centers to provide an excellent treatment and avoid problems during growth or at worst growth arrest.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Zielsetzung	2
1.2	Anatomische Grundlagen - Knochen	3
1.2.1	Handwurzel (Carpus)	3
1.2.1.1	Varianten	3
1.2.2	Mittelhand (Metacarpus)	5
1.2.3	Bewegungsumfang und Funktion	5
1.2.4	Greifarten der Hand:	6
1.3	Entwicklung	6
1.4	Diagnostik und klinische Untersuchung	7
1.5	Bildgebung	8
1.6	Salter-Harris-Klassifikation	10
2	Material und Methoden	11
3	Ergebnisse - Resultate	13
3.1	Epidemiologie	13
3.1.1	Handwurzel	14
3.1.2	Mittelhand	14
3.2	Handwurzelfrakturen	15
3.2.1	Skaphoidfrakturen	15
3.2.1.1	Einleitung und Epidemiologie	15
3.2.1.2	Anatomie und Entwicklung	15
3.2.1.3	Verletzungsmuster	17
3.2.1.4	Definition und Einteilung	18
3.2.1.5	Diagnostik und klinische Untersuchung	19
3.2.1.6	Bildgebung	22
3.2.1.7	Versorgung	23
3.2.1.8	Komplikationen, Prognose und Outcome	25
3.2.1.9	Re-Frakturen	26
3.2.2	Lunatumfrakturen	28
3.2.2.1	Einleitung und Epidemiologie	28
3.2.2.2	Anatomie und Entwicklung	28
3.2.2.3	Verletzungsmuster	29
3.2.2.4	Definition und Einteilung	29
3.2.2.5	Diagnostik und klinische Untersuchung	30
3.2.2.6	Bildgebung	31
3.2.2.7	Versorgung	31
3.2.2.8	Komplikationen	32
3.2.2.9	Prognose und Outcome	32
3.2.3	Triquetrumfrakturen	33

3.2.3.1	Einleitung und Epidemiologie	33
3.2.3.2	Anatomie und Entwicklung	33
3.2.3.3	Verletzungsmuster	33
3.2.3.4	Definition und Einteilung	33
3.2.3.5	Diagnostik und klinische Untersuchung	34
3.2.3.6	Bildgebung	34
3.2.3.7	Versorgung	34
3.2.3.8	Komplikationen	34
3.2.3.9	Prognose und Outcome	35
3.2.4	Pisiformefrakturen	36
3.2.4.1	Einleitung und Epidemiologie	36
3.2.4.2	Anatomie und Entwicklung	36
3.2.4.3	Verletzungsmuster	36
3.2.4.4	Definition und Einteilung	37
3.2.4.5	Diagnostik und klinische Untersuchung	37
3.2.4.6	Bildgebung	37
3.2.4.7	Versorgung	38
3.2.4.8	Komplikationen	38
3.2.4.9	Prognose und Outcome	38
3.2.5	Trapeziumfrakturen	39
3.2.5.1	Einleitung und Epidemiologie	39
3.2.5.2	Anatomie und Entwicklung	39
3.2.5.3	Verletzungsmuster	39
3.2.5.4	Definition und Einteilung	40
3.2.5.5	Diagnostik und klinische Untersuchung	40
3.2.5.6	Bildgebung	40
3.2.5.7	Versorgung	41
3.2.5.8	Komplikationen	41
3.2.5.9	Prognose und Outcome	41
3.2.6	Trapezoideumfrakturen	42
3.2.7	Capitatumfrakturen	44
3.2.7.1	Einleitung und Epidemiologie	44
3.2.7.2	Anatomie und Entwicklung	44
3.2.7.3	Verletzungsmuster	45
3.2.7.4	Definition und Einteilung	45
3.2.7.5	Diagnostik und klinische Untersuchung	46
3.2.7.6	Bildgebung	46
3.2.7.7	Versorgung	47
3.2.7.8	Komplikationen	47
3.2.7.9	Prognose und Outcome	47
3.2.7.10	Luxation des Capitatum	47
3.2.7.11	Skaphoid-Capitatum-Syndrom	47
3.2.8	Hamatumfrakturen	50
3.2.8.1	Einleitung und Epidemiologie	50
3.2.8.2	Anatomie und Entwicklung	50
3.2.8.3	Verletzungsmuster	50
3.2.8.4	Definition und Einteilung	51
3.2.8.5	Diagnostik und klinische Untersuchung	51

3.2.8.6	Bildgebung	52
3.2.8.7	Versorgung	52
3.2.8.8	Komplikationen	53
3.2.8.9	Prognose und Outcome	53
3.3	Metacarpalfrakturen-Mittelhandfrakturen	54
3.3.1	Einleitung und Epidemiologie	54
3.3.2	Anatomie	56
3.3.3	Verletzungsmuster	56
3.3.4	Definition und Einteilung	58
3.3.5	Diagnostik und klinische Untersuchung	59
3.3.6	Bildgebung	61
3.3.7	Komplikationen	62
3.3.8	Prognose und Outcome	63
3.3.9	Stressfrakturen	64
3.3.10	Multiple Frakturen und Trümmerfrakturen	64
3.3.11	Versorgung metacarpaler Frakturen	65
3.3.11.1	Versorgung metacarpaler Basisfrakturen	66
3.3.11.2	Versorgung metacarpaler Schaftfrakturen	68
3.3.11.3	Versorgung metacarpaler subcapitaler Frakturen	71
3.3.11.4	Versorgung metacarpaler Kopffrakturen	75
3.3.11.5	Versorgung metacarpaler Daumenfrakturen	76
4	Diskussion	78
5	Conflicts of interest	81

Glossar und Abkürzungen

Abkürzung	Langform
Anm.	Anmerkung
A-P	anterior-posterior, auch AP
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
Ass.Prof	Assistenzprofessor
bzw.	beziehungsweise
CMC	carpometacarpal
CT	Computertomographie
DIP-Gelenk	distales Interphalangealgelenk
DISI	dorsal intercalated segmental instability
dist.	distal
Dr.	Doktor
Dr. med. univ.	doctor medicinae universae
EBM	evidence-based medicine; Evidenzbasierte Medizin
ESIN	elastisch-stabile Intramedullärnagelung
et al	et alii/et aliae/et alia; und andere
k.A.	keine Angabe
LJ	Lebensjahr
LM	Lebensmonat
MCP	metacarpophalangeal
min.	minimal oder mindestens
mittl.	mittleres
MRT	Magnetresonanztomographie
NPV	negative predictive value; negativer prädiktiver Wert
OA	Oberarzt
P-A	posterior-anterior, auch PA
PIP-Gelenk	proximales Interphalangealgelenk
PPV	positive predictive value; positiver prädiktiver Wert
Priv.-Doz.	Privatdozent
prox.	proximal
RCT	randomised controlled trial; randomisierte kontrollierte Studie
SNAC	scaphoid nonunion advanced collapse
UNICEF	United Nations International Children's Emergency Fund

Tabelle 1: Glossar und Abkürzungen

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Dorsalansicht der Handwurzel	4
Abb. 2:	Palmaransicht der Handwurzel	4
Abb. 3:	Salter-Harris-Klassifikation	10
Abb. 4:	Os scaphoideum - Dorsalansicht	16
Abb. 5:	Os scaphoideum - Palmaransicht	16
Abb. 6:	Einteilung nach dem Ossifikationsgrad des Skaphoids	18
Abb. 7:	Herbert-Klassifikation	20
Abb. 8:	Os lunatum - Ansicht von distomedial	28
Abb. 9:	Os lunatum - Ansicht von proximolateral	29
Abb. 10:	Os triquetrum	33
Abb. 11:	Os pisiforme	36
Abb. 12:	Os trapezium - Palmaransicht	39
Abb. 13:	Os trapezium - proximomediale Ansicht	40
Abb. 14:	Os trapezoideum - proximomediale Ansicht	42
Abb. 15:	Os trapezoideum - distolaterale Ansicht	42
Abb. 16:	Os capitatum - Dorsalansicht	44
Abb. 17:	Os capitatum - Palmaransicht	45
Abb. 18:	Greater- and Lesser-Arc	46
Abb. 19:	Einteilung des Skaphoid-Capitatum-Syndroms	48
Abb. 20:	Os hamatum - Lateralansicht	50
Abb. 21:	Os hamatum - Medialansicht	51
Abb. 22:	Metacarpus II	57
Abb. 23:	Metacarpus I	76

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Glossar und Abkürzungen	XI
Tab. 2:	Handwurzelknochen	3
Tab. 3:	Auftreten der Knochenkerne	6
Tab. 4:	Verteilung der Skaphoidfrakturen	18
Tab. 5:	Herbert-Klassifikation	19
Tab. 6:	Trapeziumfrakturen	40
Tab. 7:	Klassifikation der hamatometacarpalen Luxationsfraktur	52
Tab. 8:	Metacarpalfrakturen - betroffener Strahl	54
Tab. 9:	Metacarpalfrakturen - betroffener Strahl	55
Tab. 10:	Akzeptable palmare Abweichungen von Schaftfrakturen	68
Tab. 11:	Akzeptable palmare Abweichungen subcapitaler Frakturen	72
Tab. 12:	Einteilung der Daumenfrakturen	76

1 Einleitung

Die Hände stellen einen der wichtigsten Bestandteile des menschlichen Lebens und der Interaktion dar. Die Entwicklung der Hände in ihrer anatomischen und funktionellen Form war ein entscheidender evolutionärer Vorteil, konnten so Gegenstände als Werkzeuge oder Jagd- und Abwehrwaffen verwendet werden. Die größte Besonderheit gegenüber Primaten ist dabei der relativ große Daumen und dessen Stärke und Beweglichkeit [2; 3].

Verletzungen und Unfälle kommen in jedem Lebensalter vor und Kinder stellen dabei einen beträchtlichen Anteil an den verletzten Personen dar. Die Ursachen für die Verletzungen und Frakturen sind vielfältig und häufig ist im Kindesalter die Hand beteiligt.

Die Diagnose einer Handverletzung, vor allem im Handwurzelbereich, stellt auch den erfahrenen Arzt vor eine große Herausforderung. Eine zusätzliche Schwierigkeit entsteht bei Kindern. Die Untersuchung ist oft schwierig, die Anamnese eingeschränkt, die Bildgebung limitiert und die Ossifikation der Knochen je nach Alter unterschiedlich. Auch muss der behandelnde Arzt beachten, dass es sich um eine mobile Gruppe mit starkem Bewegungsdrang handelt. Eine unkritische Verwendung von Immobilisierungshilfen ist daher, sofern möglich, zu vermeiden. Da bei Kindern noch seltener als bei Erwachsenen groß angelegte Studien existieren und überwiegend kleine retrospektive Studien oder Fallberichte vorliegen, muss die klinische Erfahrung des Untersuchers in die Versorgung miteinfließen. Eine Kombination aus Literatur, evidence-based medicine (EBM), klinischer Erfahrung und bei Bedarf Diskussion des Falles in klinischen Besprechungen stellt wahrscheinlich die beste Strategie zur optimalen Versorgung dar. Auch eine hohe Rate an Argwohn sollte bei kindlichen Handfrakturen bewahrt werden, da häufig Begleitverletzungen oder mehrere Frakturen der Hand vorliegen können. Trotz der großen Zahl an im Krankenhaus vorstellig werdenden Patienten müssen bei einem Frakturverdacht die entsprechenden diagnostischen Schritte eingeleitet werden und bei Bedarf auch regelmäßige Nachuntersuchungen erfolgen. Es handelt sich um ein äußerst spannendes Thema, bei dem die Studiendaten, die klinische Erfahrung und die Erwartungshaltung der Kinder und Eltern möglichst gut aufeinander abgestimmt werden müssen.

1.1 Zielsetzung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden Frakturen der kindlichen Hand im Bereich der Handwurzel und der Mittelhand in Form einer Literaturrecherche untersucht. Dabei wird sowohl auf die unterschiedlichen Ursachen, die Epidemiologie, die Symptome und die diagnostischen Besonderheiten eingegangen. Außerdem sollen die verschiedenen Therapieoptionen mit ihren Vor- und Nachteilen dargestellt und die möglichen Komplikationen und das Outcome der Patienten angeschnitten werden.

Das Ziel der Arbeit ist es, einen aktuellen Überblick über alle pädiatrischen Handwurzel- und Mittelhandfrakturen zu schaffen und damit dem in der Klinik tätigen Arzt eine rasche Hilfestellung bei der Versorgung zu geben.

Die Diplomarbeit folgt einem „roten Faden“ für jeden Knochen der Hand:

- Epidemiologie
- Anatomie und Entwicklung
- Verletzungsmuster
- Definition und Einteilung
- Diagnostik und klinische Untersuchung
- Bildgebung
- Versorgung
- Komplikationen, Outcome und Prognose
- Spezielle Verletzungen des Knochens

Auf Literatur, welche auf Erwachsene bezogen ist, wird nur insofern zurückgegriffen, wenn keinerlei oder nur sehr eingeschränkt pädiatrische Literatur zu einem Thema verfügbar ist. Diese Stellen werden im Text gesondert mit einem entsprechenden Hinweis gekennzeichnet. Einschränkend wird anatomisch nur auf die knöchernen Strukturen eingegangen und weitere Bereiche nur so weit, wie für das Verständnis notwendig ist, erwähnt. Die Details zur Anatomie der Hand finden sich in den entsprechenden Lehrbüchern.

1.2 Anatomische Grundlagen - Knochen

Das menschliche Skelett besitzt etwa 206 Knochen. Insgesamt gibt es in der Hand 27 Knochen - acht carpale Knochen, fünf metacarpale Knochen, vier mal drei Phalangen II - V und zwei Phalangen im ersten Strahl. In den Händen, als wichtigstem Greiforgan, befinden sich somit ungefähr 25% aller Knochen des menschlichen Körpers [4; 5; 6; 7; 8].

1.2.1 Handwurzel (Carpus)

Die Handwurzel besteht aus zwei Reihen mit jeweils vier Knochen. Innerhalb jeder Reihe sind die Knochen miteinander straff verbunden und stehen über Gelenke in Verbindung. Zwischen proximaler Reihe und Unterarm liegt die *Articulatio radiocarpalis*, zwischen den Handwurzelreihen die *Articulatio mediocarpalis* und zwischen distaler Reihe und Metacarpus die *Articulatio carpometocarpalis*. Die distale Handwurzelreihe ist im Bereich des Os trapezium und Os trapezoideum konkav und im Bereich der Ossa capitatum et hamatum konvex. Die proximale Reihe bildet eine dazu entgegengesetzte S-Form. Zusätzlich weist die Handwurzel eine nach dorsal gewölbte Form auf [4; 6; 7; 8].

Die Knochen der Handwurzel sind:

proximale Handwurzelreihe	distale Handwurzelreihe
Os scaphoideum	Os trapezium
Os lunatum	Os trapezoideum
Os triquetrum	Os capitatum
Os pisiforme	Os hamatum

Tabelle 2: Handwurzelknochen - jeweils von radial nach ulnar - aus [4; 5; 6; 7; 8; 9; 10]

Besonders gut erkennbar sind die *Eminentia carpi radialis*, bestehend aus *Tuberculum ossis scaphoidei et trapezii* und die *Eminentia carpi ulnaris*, bestehend aus dem *Hamulus ossis hamati* und dem *Os pisiforme*. Der dadurch gebildete *Sulcus* wird durch eine bandartige Verbindung zum *Canalis carpi* [4; 6; 8; 9].

1.2.1.1 Varianten

Die normale Anlage besteht aus acht Handwurzelknochen. Es kommt aber gelegentlich zur Ausbildung zusätzlicher Knochen:

- Os styloideum
- Os hamuli proprium - Hamulus separat vom Korpus
- Os centrale carpi - zwischen Os scaphoideum, Os capitatum und Os trapezoideum [4; 5; 10]

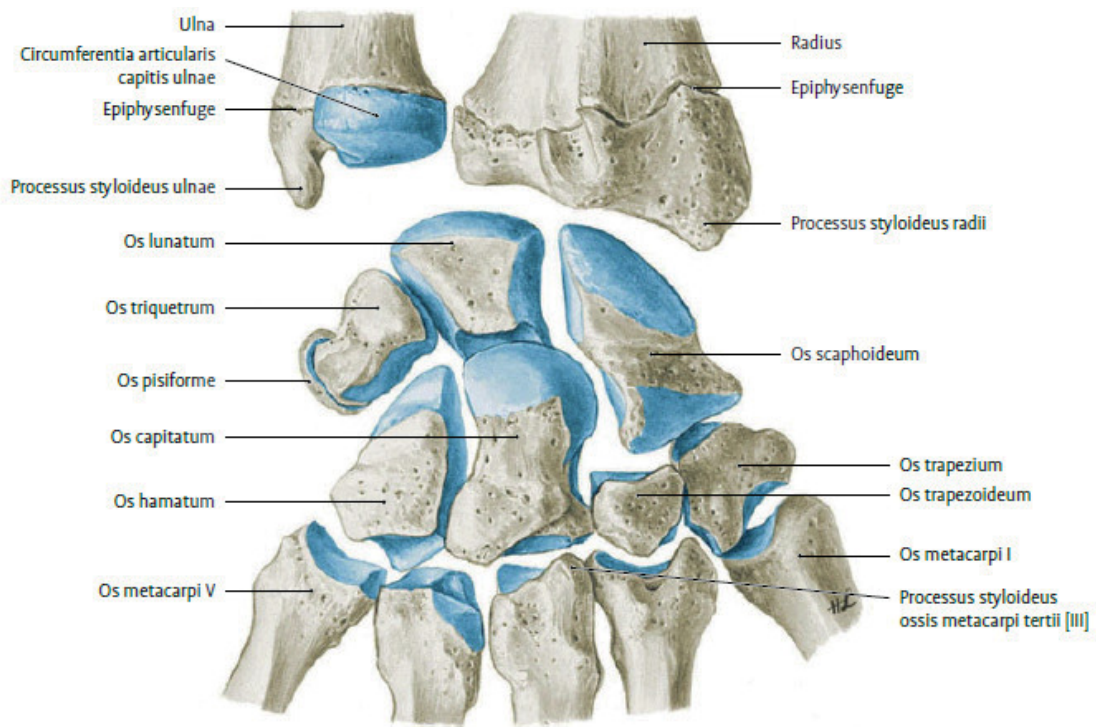


Abbildung 1: Dorsalansicht der Handwurzel aus Waldeyer Anatomie des Menschen - Lehrbuch und Atlas in einem Band - 2012 [4]

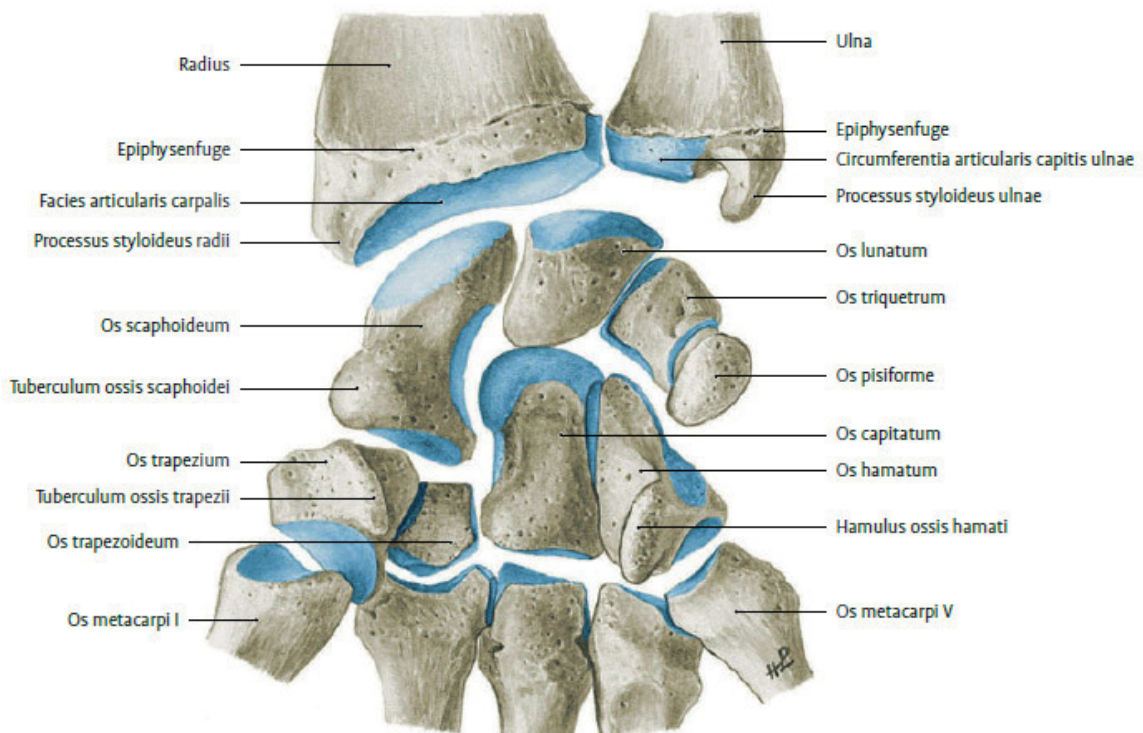


Abbildung 2: Palmaransicht der Handwurzel aus Waldeyer Anatomie des Menschen - Lehrbuch und Atlas in einem Band - 2012 [4]

1.2.2 Mittelhand (Metacarpus)

In der Mittelhand gibt es 5 Strahlen (I - V), welche nach distal hin auseinander weichen. Der längste Metacarpalknochen ist der Zeigefinger, der kürzeste der Daumen [9]. Jeder dieser Metacarpalknochen wird in drei Teile unterteilt: Basis, Korpus und Caput. Auch in diesem Bereich besteht die wie im Carpus vorherrschende Wölbung [7; 8].

Die Artikulationsflächen sind:

- Os metacarpale I mit Os trapezium über ein Sattelgelenk
- Os metacarpale II mit Os capitatum, Os trapezoideum, Os trapezium und Metacarpus III
- Os metacarpale III mit Os capitatum, Metacarpus II und IV
- Os metacarpale IV mit Os hamatum, Os capitatum, Metacarpus III und V
- Os metacarpale V mit Os hamatum und Metacarpus IV [4; 7]

1.2.3 Bewegungsumfang und Funktion

Radiocarpalgelenk plus Mediocarpalgelenk:

- Palmarflexion und Dorsalextension: 60-90/0/40-90 [6; 7; 10; 11]
- Radial- und Ulnarduktion: 20-30/0/30-40 [6; 7; 10; 11]

Metacarpophalangealgelenk:

- Palmarflexion und Dorsalextension: 90/0/30 [6; 7; 10]
- Abduktion / Adduktion: 20 (V.Strahl-50)/0/10 [6; 10]

Daumensattelgelenk:

- Flexion / Extension: 30-40/0/30 [7; 10]
- Adduktion / Abduktion: 0-10/0 (Ruhestellung: angelegter Daumen)/40-60 [6; 7; 10]

1.2.4 Greifarten der Hand:

- Kraftgriff: Umfassen eines schweren Gegenstandes
- Präzisionsgriff:
 - Pinzettengriff: Fingerbeere von Daumen und Zeigefinger
 - Zangengriff: Fingerspitze von Daumen und Zeigefinger
 - Dreipunktgriff: Fingerspitzen von Daumen, Zeigefinger und Mittelfinger, um einen Stift zu führen
 - Schlüsselgriff: Fingerbeere Daumen auf Seitenfläche des Zeigefingers, um einen Schlüssel zu fassen und zu drehen
- Hakengriff: um einen Gegenstand an einem Henkel zu tragen [10; 11]

1.3 Entwicklung

Der Beginn der Entwicklung startet mit der Ausbildung einer Extremitätenknospe, ausgehend vom Mesoderm [9]. Ab der sechsten Woche sind bereits Handplatten und ab dem 50. Tag die Fingerstrahlen erkennbar [9]. Die Knochen der Hand entwickeln sich aus den sogenannten Knochenkernen. Diese treten typischerweise in bestimmten Lebensjahren auf. Die Entwicklung entstehend aus diesen Knochenkernen wird als enchondrale Osteogenese bezeichnet. Dabei wird der Knochen sekundär aus Knorpel gebildet und dieser nach und nach ersetzt [4; 9].

Knochen	typisches Alter
Os scaphoideum	4. - 6. LJ
Os lunatum	4. - 5. LJ
Os triquetrum	1. - 3. LJ
Os pisiforme	8. - 12. LJ
Os trapezium	4. - 7. LJ
Os trapezoideum	4. - 6. LJ
Os capitatum	1. - 6. LM
Os hamatum	1. - 7. LM

Anm.: LJ Lebensjahr, LM Lebensmonat

Tabelle 3: Auftreten der Knochenkerne - nach [4; 8]

Wie in der Tabelle ersichtlich, erscheint der erste Knochenkern im Os capitatum und der letzte im Os pisiforme [4; 8].

1.4 Diagnostik und klinische Untersuchung

Zu Beginn der Untersuchung sollte ein angenehmes Umfeld für das Kind und die Begleitperson geschaffen werden. Zuerst sollte die Anamnese erhoben werden, wobei sowohl von den Eltern als auch vom Kind, sofern es das Alter bereits zulässt, die Umstände, welche zur Verletzung führten, erhoben werden. Auch der Impfstatus sollte abgefragt werden und anschließend kann die Untersuchung durchgeführt werden. Diese setzt sich aus Inspektion, Palpation und Funktionsprüfung zusammen. Es sollte auf Rötung, Schwellung oder Funktionseinschränkungen geachtet werden. Durchblutung, Motorik und Sensibilität müssen, sofern es das Alter des Kindes zulässt, gründlich untersucht werden. Da vor allem die Sensibilitätsprüfung im Kindesalter schwierig ist, kann beispielsweise der Faltestest verwendet werden, um eine etwaige Nervenverletzung aufzudecken. Dazu wird die verletzte Hand für etwa 5 Minuten in warmes Wasser getaucht, auf die Faltenbildung der Haut geachtet und durch ein Fehlen der Falten auf eine Nervenverletzung geschlossen [12; 13].

Da eine radiologische Untersuchung eine Fraktur niemals sicher ausschließen kann, müssen im Rahmen der Untersuchungen alle Hinweise auf Verletzungen wie ein Mosaik zusammengesetzt werden. Die Bildgebung stellt eben dabei nur einen kleinen Teil dar und muss in Zusammenschau mit der Anamnese, der klinischen Untersuchung und anderen diagnostischen Hilfsmitteln betrachtet werden.

Bestehen durch die klinische Untersuchung weitere Zweifel am radiologischen Befund, so sollte ein erfahrener Kollege herangezogen und weitere diagnostische Schritte müssen eingeleitet werden.

1.5 Bildgebung

In diesem Kapitel werden allgemeine Bemerkungen zu den bildgebenden Verfahren angeführt. Die Details zu den einzelnen Knochen finden sich in den jeweiligen Kapiteln weiter unten.

Prinzipiell kann die Bildgebung mittels verschiedenster Techniken durchgeführt werden, wobei bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen eine noch strengere Indikationsprüfung von bildgebenden Verfahren, welche Röntgenstrahlen verwenden, erfolgen muss.

Als erster Schritt nach der Anamnese und klinischen Untersuchung wird häufig das Röntgen verwendet. Dabei können je nach Verletzungsmuster posterior-anteriore, laterale, schräge und weitere besondere Ansichten zum Einsatz kommen. Auch die sichtbare Weichteilschwellung auf Röntgenbildern kann diagnostische Hinweise auf eine Fraktur liefern. Dabei sollten die zur Schwellung zugehörigen Kompartimente auf Frakturen oder Dislokationen hin untersucht werden. Beispielsweise ist eine thenare Schwellung hinweisend auf eine Fraktur des Metacarpus I oder der proximalen Daumenphalanx [14]. Auf diese besondere Untersuchungsmethode wird in dieser Arbeit nicht weiter eingegangen, dazu muss die entsprechende radiologische Fachliteratur konsultiert werden. Allerdings ist hervorzuheben, dass die Abwesenheit jeglicher Schwellung ein Hinweis auf das Fehlen einer schweren Verletzung (Fraktur, Dislokation) sein kann [14].

Regelmäßig kommt es zu Fehldiagnosen und dem Übersehen von Frakturen auf normalen Röntgenbildern, da die Befundung durch in Kinderradiologie unerfahrene Untersucher erfolgt, welche die kindlichen Besonderheiten der Knochenentwicklung nur unzureichend berücksichtigen oder es kommt im Rahmen des stressigen Notaufnahmealltags zu Ungenauigkeiten und Fehlern. Allerdings kann eine Fraktur im Röntgen nicht dargestellt sein und daher selbst bei sorgfältigster Arbeit nicht dokumentiert werden. Aus diesen Gründen kann die Diagnosestellung Schwierigkeiten bereiten. Fotiadou et al konnten 2011 in einer Computertomographie/Magnetresonanztomographie-Studie (CT/MRT-Studie) zeigen, dass trotz initial negativer Röntgenbilder bei weiterem Verdacht auf eine knöcherne Verletzung etwa in 50% der Fälle in den Folgeuntersuchungen (CT, MRT oder beides) eine Knochenbeteiligung nachgewiesen werden konnte [15]. Auch Welling et al zeigte 2008, dass das Röntgen eine Sensitivität von 0 bis 40% aufweist [16].

Besonders vor der Diagnosestellung einer „verstauchten Hand“ ist zu warnen, solange nicht eine Fraktur durch Folgeuntersuchungen (Wiedervorstellung, weitere Bildgebung) sicher ausgeschlossen worden ist, da eine übersehene Fraktur zu langfristigen Komplikationen und einer Verschlechterung des Outcomes führen kann. Besteht trotz initial negativem Röntgen weiterhin der klinische Verdacht auf eine Fraktur, so sollte ebenfalls eine weitere Diagnostik

nach etwaiger Ruhigstellung durchgeführt werden.

Unter den verschiedensten Autoren besteht keine generelle Einigkeit, ob eine CT- oder eine MRT-Untersuchung als erste Folgeuntersuchung durchgeführt werden sollte [15; 17]. Durch die röntgenstrahlenfreie MRT-Untersuchung ist die Darstellung ligamentärer Verletzungen möglich, wo Röntgen und CT zu 100% versagen [15; 17]. Eventuell ist auch die MRT für die Fraktursuche bei Verdacht auf eine okkulte Skaphoidfraktur hilfreicher als die CT [17; 18]. Auch sogenannte „bone bruises“ (rein trabekuläre Verletzung, Knochenkontusion) können mit der MRT dargestellt werden. Bei diesen Verletzungen ohne Beteiligung der Kortikalis kann eventuell eine kürzere Immobilisierungszeit und damit frühere Rehabilitation erwogen werden [15; 18]. Die meisten Knochenkontusionen treten im Skaphoid, gefolgt vom distalen Radius auf [19]. Allerdings ist weiterhin unklar, inwieweit die nicht im Röntgen dargestellten (also nur in der MRT diagnostizierten) Frakturen das Outcome des Patienten und die Rate an Komplikationen beeinflussen [19].

Im Gegensatz dazu können mit der CT kortikale Frakturen besser dargestellt werden als mit einer MRT-Untersuchung [16; 20]. Auch bei kleinen Avulsionsfrakturen ist die CT vermutlich überlegen, da eine feinere Auflösung möglich ist [15].

Wie aus dem obigen Text ersichtlich, herrscht kein echter Konsensus über die Wahl der Untersuchung, es sind jedoch wahrscheinlich beide Untersuchungen hilfreich für die Planung der weiteren Schritte [15]. Die Wahl der Untersuchung kann daher an die vermutete verletzte Region und an die Verfügbarkeit im jeweiligen Krankenhaus angepasst werden.

1.6 Salter-Harris-Klassifikation

Eine klassische Einteilung der Frakturen mit Epiphysenfugenbeteiligung im Kindesalter ist jene nach Salter-Harris. Insgesamt wurden neun verschiedene Typen definiert, wobei die Typen I bis V am häufigsten auftreten [21; 22].

- Salter-Harris I: nur Wachstumsfuge betroffen (Epiphysenabscherung)
- Salter-Harris II: Wachstumsfuge mit Metaphysenbeteiligung
- Salter-Harris III: Wachstumsfuge mit Epiphysenbeteiligung (intraartikulär)
- Salter-Harris IV: Fraktur durch Epiphyse, Wachstumsfuge, Metaphyse
- Salter-Harris V: Stauchungsfraktur der Wachstumsfuge [21; 22]

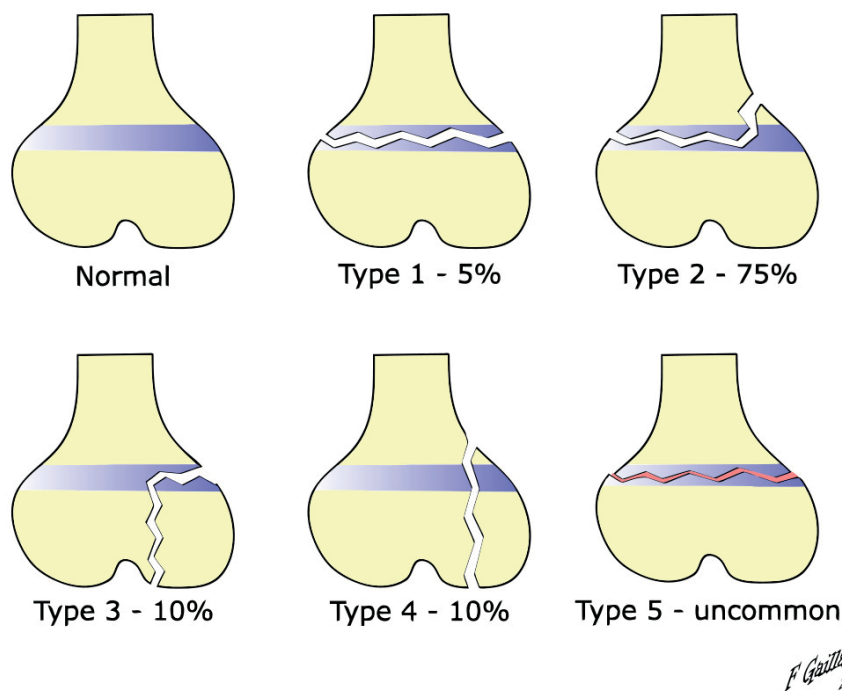


Abbildung 3: Salter-Harris-Klassifikation, verwendet nach der Creative Commons Cc-by-sa-3.0, Grafik nach Dr. Frank Gaillard (MBBS, FRANZCR) [23]

2 Material und Methoden

Diese Diplomarbeit stellt eine Literaturrecherche dar. Bei der Verfassung der Arbeit wurden verschiedenste Quellen, beginnend bei Leitlinien über Bücher bis hin zu wissenschaftlichen Publikationen, herangezogen. Da im Rahmen der Diplomarbeit das Thema „Frakturen der kindlichen Handwurzel (Carpus) und der Mittelhand (Metacarpus) - Ein systematischer Überblick“ behandelt wird, wurde die entsprechende Literatur chirurgischen, unfallchirurgischen, sportmedizinischen, orthopädischen oder radiologischen Unterlagen entnommen. Die Literatur ist teilweise direkt auf kindliche Traumata bezogen, zeitweise wurde aber auch auf Fallberichte, Untersuchungen und Studien zurückgegriffen, welche die Verletzungen der erwachsenen Hand beschreiben, da kindliche Daten oftmals nicht vorhanden sind.

Wörtliche Zitate oder besonders hervorzuhebende Studien wurden direkt an der verwendeten Stelle zitiert. Die restlichen Quellen sind am Ende des Satzes oder Absatzes mit Nummern angeführt und werden auf den letzten Seiten ausführlich angegeben.

Die Suche nach der Literatur ist über die medizinische Datenbank „pubmed“ (erreichbar über die Website¹ [24]) erfolgt. Die systematische Literaturrecherche wurde bis zum 04. November 2013 mit den unten angeführten Suchbegriffen durchgeführt:

- (scaphoid OR scaphoideum) AND (fracture) AND (treatment) AND (children OR child OR paediatric OR pediatric OR toddler) NOT (nonunion) NOT (non-union) NOT (non-unions) NOT (nonunions) NOT (nonunited) NOT (non-united) - results 84
- (lunatum OR lunate OR semilunar) AND (fracture) AND (treatment) AND (children OR child OR paediatric OR pediatric OR toddler) NOT (nonunion) NOT (non-union) NOT (non-unions) NOT (nonunions) NOT (nonunited) NOT (non-united) - results 22
- (triquetral OR triquetrum OR pyramidal OR three-cornered) AND (fracture) AND (children OR child OR paediatric OR pediatric OR toddler) - results 30
- (pisiforme OR pisiform OR lentiform OR lentiforme) AND (fracture) AND (children OR child OR paediatric OR pediatric OR toddler) - results 5

¹<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>

- ((greater AND multangular) OR trapezium) AND (fracture) AND (children OR child OR paediatric OR pediatric OR toddler) - results 10
- ((lesser AND multangular) OR trapezoid OR trapezoideum) AND (fracture) AND (children OR child OR paediatric OR pediatric OR toddler) - results 12
- (capitate OR capitatum OR trapezoideum) AND (fracture) AND (children OR child OR paediatric OR pediatric OR toddler) - results 34
- (hamate OR unciform OR hamatum) AND (fracture) AND (children OR child OR paediatric OR pediatric OR toddler) - results 14
- (middle-hand OR middlehand) AND (fracture) AND (children OR child OR paediatric OR pediatric OR toddler) - results 7
- (metacarpus OR metacarpal) AND (fracture) AND (children OR child OR paediatric OR pediatric OR toddler) NOT congenital NOT density - results 220
- (thumb) AND (metacarpus OR metacarpal) AND (fracture) AND (children OR child OR paediatric OR pediatric OR toddler) - results 30
- (first AND metacarpal) AND (fracture) AND (children OR child OR paediatric OR pediatric OR toddler) - results 27
- (bennett AND fracture) AND (pediatric OR paediatric OR toddler OR child OR children) - results 25
- (rolando AND fracture) AND (pediatric OR paediatric OR toddler OR child OR children) - results 3
- (winterstein AND fracture) AND (pediatric OR paediatric OR toddler OR child OR children) - results 0

Dabei wurden die verfügbaren Abstracts auf die Adäquatheit zum Thema hin untersucht und bei freier oder lizenzierter Verfügbarkeit durch die Medizinische Universität Graz darauf zurückgegriffen. Im Rahmen der Lizenz wurde der studentische Zugang über die Homepage der Bibliothek² [25] auf die Lizenzierungsseite für die elektronische Zeitschriftenbibliothek³ [26] verwendet. Es wurden nur Artikel verwendet, welche in deutscher oder englischer Sprache verfügbar waren.

²<http://www.medunigraz.at/bmed/>

³<http://rzblx1.uni-regensburg.de/ezeit/search.phtml?bibid=MEDUG>

3 Ergebnisse - Resultate

3.1 Epidemiologie

Die Kombination des kindlichen Bewegungsdranges mit der eingeschränkten Fähigkeit zur Abschätzung von Gefahren oder Abständen bzw. im jugendlichen Alter die Neigung zur Überschätzung führt dazu, dass Handverletzungen im Kindesalter häufig vorkommen. Die in der Literatur angegebenen Zahlen spiegeln dies wider. Ungefähr 10 - 25% aller kindlichen Verletzungen und etwa 20% der Handverletzungen sind Frakturen [27; 28; 29; 30; 31]. Das Risiko im Kindesalter eine Fraktur zu erleiden, beträgt 26 - 27% bei Mädchen und 42% bei Jungen [29; 32]. Die jährliche Inzidenz für eine kindliche Fraktur betrug 212/10000 über die Jahre 1950 bis 1979 nach einer schwedischen Studie von Landin [29] und reduzierte sich einer Studie von Tiderius et al nach auf gesamt 193/10000 (235/10000 für Jungen, 149/10000 für Mädchen) in den Jahren 1993 und 1994 [32]. Eine finnische Studie zeigte eine Gesamtinzidenz von 163/10000 für Kinder zwischen 0 und 15 Jahren [31]. Handfrakturen weisen ein in Richtung männliches Geschlecht verschobenes Ungleichgewicht auf, Jungen erleiden ungefähr doppelt so häufig wie Mädchen Frakturen der Hand [29; 31; 32; 33]. Die Hand war in einer Studie im Jahr 2010 von Mäyränpää et al nach Radius- und Ulnafrakturen am häufigsten frakturiert [31].

Die beiden Altersgipfel finden sich einerseits im Kleinkindesalter mit Einklemmungsverletzungen und andererseits im jugendlichen Alter mit Sport- (meist Fußball, Rollerskating oder Gymnastikübungen) und Kampfverletzungen [27; 29; 33; 34]. In den letzten Jahren kam es zu einer Zunahme der Sportverletzungen im jugendlichen Alter bei gleichzeitigem Rückgang der durch Verkehrsunfälle bedingten Frakturen [34]. Verletzungen in Zusammenhang mit Skateboarding und Fahren eines Scooters treten in 5,8%, bei Rollerskating in 1,5% der Fälle auf [35]. In der Untersuchung von Wood et al [36] über das Auftreten von Sportverletzungen in der jugendlichen Bevölkerung fanden sich im Jahr 2000 insgesamt 408 sportbezogene Frakturen. Handverletzungen waren dabei auf Phalangen mit 28,7%, auf 12,7% im Metacarpalbereich und auf <1% im Carpusbereich verteilt [36]. Van Onselen et al konnten 2003 zeigen, dass die Anzahl an Handfrakturen bei Erwachsenen und Kindern nicht wesentlich jahreszeitabhängig ist und nur eine geringe Reduktion über den Sommer aufweist [37]. Außerdem kam es in den letzten zwei Jahrzehnten vor allem bei Jugendlichen zu einer Anpassung des Verletzungsmusters an jenes der Erwachsenen. Dies ist auf ein zu-

nehmendes Körpergewicht bis zum Übergewicht, auf die Zunahme von Extremsportarten sowie die frühere Ausübung dieser Sportarten zurückzuführen [38; 39; 40; 41].

Handfrakturen bei jungen Kindern sind gelegentlich mit Kindesmisshandlungen assoziiert [42; 43; 44].

Zu vielen Handfrakturen gibt es Fallberichte, aber keine ausreichenden epidemiologischen Daten im Kindesalter.

3.1.1 Handwurzel

Zu Frakturen im Bereich der Handwurzelreihen kommt es im Kindesalter nur selten und multiple Frakturen der Handwurzelknochen sind noch seltener [45; 46]. Dies ist auf die knorpelige Anlage und erst im Verlauf stattfindende Ossifikation der Handwurzelknochen zurückzuführen. Der umgebende Knorpel schützt die Ossifikationskerne, sodass es nur bei sehr starken Krafteinwirkungen zu Verletzungen kommt. Aus diesem Grund muss immer auf Begleitverletzungen geachtet werden [41; 46; 47].

3.1.2 Mittelhand

Aufgrund der Lage der Metacarpalknochen in der Hand, ausgenommen des Daumens, sind Frakturen relativ selten. Die umgebenden Weichteile, die Bandstrukturen und interossäre Muskulatur verleihen eine ausgezeichnete Stabilität und schützen vor äußeren Kräften.

3.2 Handwurzelfrakturen

3.2.1 Skaphoidfrakturen

3.2.1.1 Einleitung und Epidemiologie

Der am häufigsten verletzte Knochen in der Handwurzel ist das Os scaphoideum mit einer Häufigkeit von 3% aller Handfrakturen, 0,45% aller Frakturen der oberen Extremität und 0,34% aller Frakturen [22; 33; 41; 48; 49; 50; 51; 52]. 70% aller isolierten carpalen Frakturen sind Skaphoidfrakturen [15; 53]. Meist ist die rechte (dominante) Hand betroffen.

Der Altersgipfel liegt zwischen dem 12. und 15. Lebensjahr und die Frakturen sind überwiegend nicht verschoben [22; 48; 51; 54; 55]. Praktisch nie kommt es zu Skaphoidfrakturen unter 4 Jahren; unter 8 Jahren sind sie ebenfalls selten [48].

3.2.1.2 Anatomie und Entwicklung

Das Os scaphoideum ist bei der Geburt knorpelig angelegt. Im Vorschulalter, genauer mit etwa 4 bis 6 Jahren, kommt es im Inneren des Skaphoids zum Auftreten eines Ossifikationskernes [8; 11; 48]. Dieser Ossifikationskern ist durch eine große Umhüllung aus Knorpelgewebe äußerst resistent geschützt [55]. In wenigen seltenen Fällen kann es auch zur Ausbildung von mehreren Ossifikationskernen kommen [48].

Im Wachstumsverlauf kommt es zu einer perfusionsabhängigen Verknöcherung vom Inneren heraus. Dies wird als enchondrale Ossifikation bezeichnet. Das Verknöcherungsmuster ist üblicherweise beginnend vom distalen Pol in Richtung proximalen Pol [48; 56]. Die vollständige Verknöcherung ist bei Jungen mit 15 Jahren und 3 Monaten, bei Mädchen mit 13 Jahren und 4 Monaten gegeben [56; 57].

Unterschiedliche Meinungen zeigen sich in der Literatur zum Thema eines zweiteiligen Skaphoids. Eine Gruppe um Louis et al zeigte in mehreren Untersuchungen, dass ein zweiteiliges Skaphoid am ehesten auf eine posttraumatische Pseudarthrose zurückzuführen ist [58]. Einzelne Patienten mit einem zweiteiligen Skaphoid, welche keinerlei Traumaanamnesen aufweisen, werden trotzdem, beispielsweise von Doman und Marcus 1990, beschrieben [59; 60].

Die Blutversorgung des Skaphoids erfolgt von distal über arterielle Gefäße, wobei über die arterielle Versorgung des proximalen Pols, Uneinigkeit in der Literatur besteht [61; 62]. Trumble et al 2003 geben die Versorgung des Os scaphoideum mit 70 - 80% durch dorsalen Blutfluss und 20 - 30% durch palmaren Blutfluss an [61].

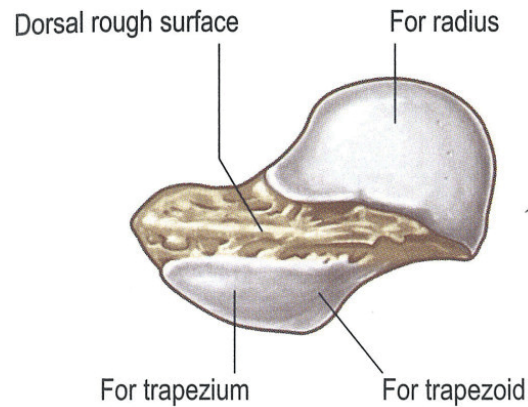


Abbildung 4: Os scaphoideum - Dorsalansicht, aus Grays Anatomy - the anatomical basis of clinical practice - 2008 [8]

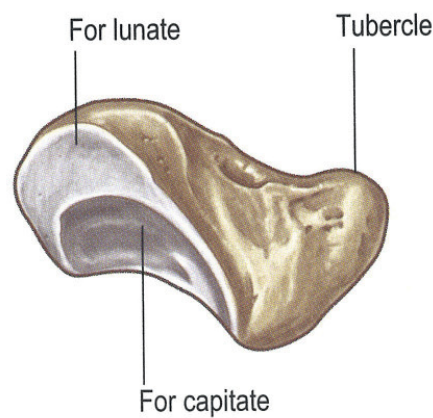


Abbildung 5: Os scaphoideum - Palmaransicht, aus Grays Anatomy - the anatomical basis of clinical practice - 2008 [8]

Die Form des Os scaphoideum ähnelt entfernt einem Boot. Der Knochen weist vier Seiten (Oberflächen) auf und ist der größte Knochen in der proximalen Handwurzelreihe [8]:

- Konvexe Fläche in Richtung Radius
- Flache Fläche in Richtung Os lunatum
- Konvexe Fläche in Richtung Os trapezium und Os trapezoideum
- Große konkave Fläche in Richtung Os capitatum

Ein besonderes Merkmal ist das durch die Haut tastbare Tuberculum ossis scaphoidei [4; 8].

3.2.1.3 Verletzungsmuster

Verschiedenste Quellen in der Literatur geben als Hauptursache für die Fraktur des Os scaphoideum den Sturz auf die ausgestreckte und pronierte Hand an [41; 48; 63]. Weitere Verletzungsursachen sind bei älteren Kindern und Jugendlichen Sport- und Verkehrsunfälle, Gewalttaten und Boxautomaten [64]. Besteht eine Schwächung des Knochens durch ein Enchondrom, kann es bereits bei einem Bagatelltrauma zu einer Fraktur kommen [65; 66; 67; 68].

Bei Kindern im Volksschulalter oder jüngeren Kindern sind massive Kräfte notwendig, um eine Fraktur des Skaphoids hervorzurufen. Begründet ist dies durch die schützende Wirkung des Knorpels auf den Ossifikationskern [48; 55].

Auch die Arten der Frakturen unterscheiden sich im Kindesalter von jenen im Erwachsenenalter. Es treten häufiger inkomplette und unverschobene Frakturen auf. Die Lokalisation der Fraktur befindet sich häufig im distalen Skaphoiddrittel [51; 69]. Das männliche Geschlecht ist generell häufiger betroffen und vor allem im mittleren Drittel des Skaphoids verletzt [40]. Jedoch finden sich bei hohen Krafteinwirkungen die Frakturen vorwiegend im mittleren oder proximalen Drittel [40]. Zahlreich werden die Patienten erst mehrere Wochen nach dem Trauma aufgrund persistierender Beschwerden bei einem Arzt vorstellig [40; 64].

Stressfrakturen Im kindlichen Alter sind Stressfrakturen des Os scaphoideum ein seltenes Ereignis und können bei wiederholten Krafteinwirkungen auftreten [70]. Durch Pidemunt et al wurde 2012 ein Fall einer bilateralen Stressfraktur an einem 13-jährigen Buben beschrieben und angegeben, dass bisher überhaupt nur 2 publizierte Fälle einer bilateralen Skaphoid-Stressfraktur bekannt sind [70]. Ursache einer Stressfraktur ist am häufigsten die übermäßige Beanspruchung bei Gymnastikern [70].

3.2.1.4 Definition und Einteilung

Die Einteilung erfolgt nach dem Ossifikationsgrad und dem radiologischen Bild (siehe Abbildung 6) [55]:

- Typ I: reine Knorpelverletzung, Kinder < 8 Jahre, selten
- Typ II: Knochen/Knorpelverletzung, Kinder zwischen 8 und 11 Jahren
- Typ III: Knochenkern gut entwickelt, Knochen fast vollständig, > 12 Jahre, vergleichbar mit Erwachsenen [55]

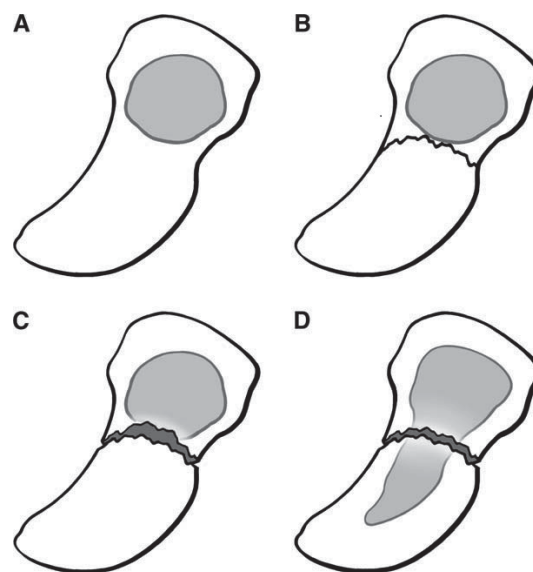


Abbildung 6: Einteilung nach Ossifikationsgrad nach Elhassan und Shin [48], Eigentum der Mayo Foundation, Rochester, MN.
(A) normales Skaphoid, (B) Typ I, (C) Typ II, (D) Typ III

prox. 1/3	mittl. 1/3	dist. 1/3	dist. Abriss	Tuberkel	Quelle
22/351	248/351	81/351	k.A.	k.A.	[40] gesamt
17/287	194/287	76/287	k.A.	k.A.	[40] mit offener Fuge
k.A.	7/14	4/14	k.A.	3/14	[50]
2/65	24/65	17/65	k.A.	21/65	[51]
1/108	13/108	53/108	41/108	k.A.	[54]
k.A.	3/39	31/39	k.A.	5/39	[55]

Anm.: k.A.= keine Angabe, prox.=proximal, mittl.=mittleres, dist.=distal

Tabelle 4: Verteilung der Skaphoidfrakturen nach Literatur (modifiziert)

Wie in Tabelle 4 gut zu erkennen ist, treten die meisten Verletzungen im Bereich des distalen Drittels oder als distale Abrissfrakturen des Skaphoids auf. Zu einer Fraktur im proximalen

Bereich kommt es hingegen nur sehr selten [50; 54; 55]. Zu Beginn der Verknöcherung treten häufiger Abrissfrakturen oder Verletzungen des distalen Poles auf; erst im jugendlichen Alter kommt es zu einer Angleichung an die Verletzungsmuster des erwachsenen Menschen, wo vor allem Frakturen im mittleren Drittel vorliegen [38; 48; 54; 71].

Die in Tabelle 4 verwendete und unterhalb angeführte Einteilung nach der Lokalisation stellt eine Alternative zur häufiger verwendeten Einteilung nach Herbert und Fischer dar [55; 56; 72]:

- Tuberkel
- Transversal distales Drittel
- Abrissfraktur distal
- Mittleres Drittel
- Proximales Drittel

Wie oben erwähnt ist die häufigste, vor allem zur (prä-operativen) Planung der Versorgung verwendete Einteilung jene nach Herbert und Fischer [72] (Tabelle 5 und Abbildung 7):

Typ A	Akute stabile Frakturen
A1	Tuberkelfrakturen
A2	Undislozierte Querfrakturen im mittleren Drittel
Typ B	Akute instabile Frakturen
B1	Schrägfrakturen im distalen Drittel
B2	Dislozierte oder klaffende Frakturen
B3	Frakturen des proximalen Pols
B4	Luxationsfrakturen
B5	Trümmerfrakturen
Typ C	Verzögerte Vereinigung
Typ D	Nonunion
D1	Fibröse (faserige) Nonunion
D2	Skleröse (verhärtete) Nonunion (Pseudarthrose)

Tabelle 5: Herbert-Klassifikation nach Herbert und Fischer 1984 und Kawamura und Chung 2008 [72; 73]

3.2.1.5 Diagnostik und klinische Untersuchung

Obwohl eine Skaphoidfraktur nur sehr selten auftritt, muss bei einem Sturz auf die ausgestreckte Hand an diese Verletzung gedacht werden [48; 54]. Wie bereits oben beschrieben,

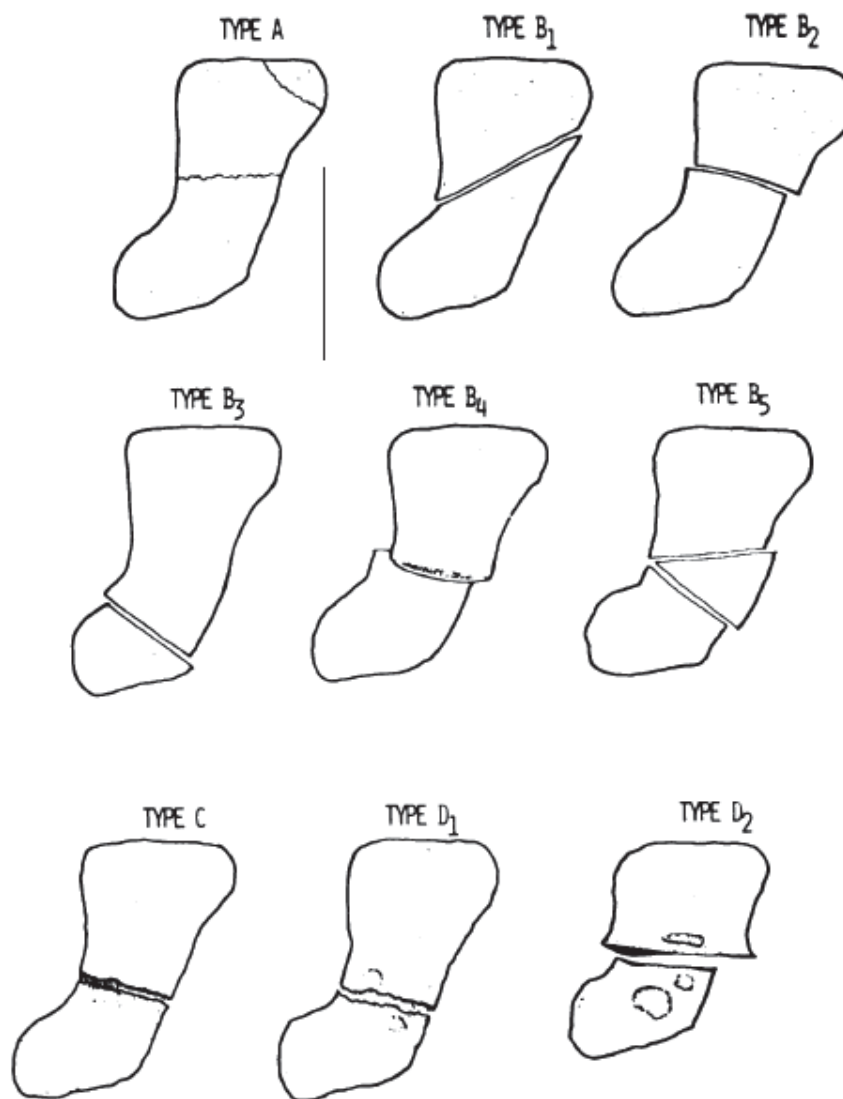


Abbildung 7: Herbert-Klassifikation, aus Herbert und Fischer 1984 [72]

schützt der Knorpel den Knochenkern und enorme Kräfte sind notwendig, um eine Fraktur hervorzurufen. Aus diesem Grund muss insbesondere bei Kindern unter 10 Jahren an eine Begleitverletzung gedacht werden und eine genaue körperliche Untersuchung erfolgen [48].

Die Diagnostik der Hand umfasst eine Inspektion und sorgfältige Palpation. Bei der Untersuchung kann eine Schwellung oder ein Druckschmerz im Bereich des Tuberkels, des distalen Poles (Druck von palmar) oder im Bereich der Tabatière, besonders bei Ulnarduktion hinweisend auf eine Skaphoidfraktur sein [74; 75; 76; 77]. Powell et al [78] konnten in einer prospektiven Untersuchung zeigen, dass bei Schmerzen in der Tabatière bei Ulnarduktion und Pronation ein positiver prädiktiver Wert (PPV) von 52% und ein negativer prädiktiver Wert (NPV) von 100% besteht [78]. Ein reiner Druckschmerz in der Tabatière ohne zusätzliche Schmerzen bei Ulnarduktion kann sowohl bei Patienten mit als auch ohne

Fraktur auftreten [63].

In einer Untersuchung von Duckworth et al [74] konnten Parameter identifiziert werden, welche Hinweise auf eine Skaphoidfraktur geben. Diese Untersuchung wurde überwiegend an Erwachsenen (mittleres Alter 33, Bereich 13 bis 95) durchgeführt, die Ergebnisse sind daher nicht 1:1 auf Kinder umzulegen [74]. Trotzdem kann bei folgenden Symptomen (innerhalb von 72 Stunden nach dem Trauma) eine Skaphoidfraktur vermutet werden:

- Schmerzen in der Tabatière bei Opposition von Daumen und Zeigefinger
- Schmerzen bei Druck auf das Tuberkel
- Schmerzen in der Tabatière bei Ulnarduktion des Handgelenks bei proniertem Unterarm
- Schmerzen in der Tabatière bei Radialduktion des Handgelenks bei proniertem Unterarm [74]

Bei einer Kombination aus den oben angeführten Untersuchungen lassen sich Wahrscheinlichkeiten für das Vorliegen einer Fraktur angeben [74]:

- Männlich, Sportverletzung, Schmerzen in der Tabatière bei Ulnarduktion des Handgelenks innerhalb von 72h, Schmerzen bei Druck auf das Tuberkel nach 2 Wochen - Wahrscheinlichkeit 91%, Sensitivität 82%, Spezifität 80%
- Männlich, Sportverletzung, Schmerzen in der Tabatière bei Opposition von Daumen und Zeigefinger - Wahrscheinlichkeit 74%, Sensitivität 77%, Spezifität 60%
- Fragestellung okkulte Fraktur: Schmerzen in der Tabatière bei Ulnarduktion des Handgelenks bei proniertem Unterarm - vorhanden 7%, nicht vorhanden 0%

Bei Schmerzen in der Tabatière bestehen 100% Sensitivität und 100% NPV, aber nur 4% Spezifität und 25% PPV für das Vorliegen einer Fraktur. Bei Schmerzen in der Tabatière bei Ulnarduktion (innerhalb von 72 Stunden nach Trauma) besteht eine 100% Sensitivität und 100% NPV bei 45% Spezifität und 36% PPV [74].

Trotzdem gibt es Untersuchungen, die andere Parameter als prädiktiver ansehen [79; 80]. Schmerzen in der Tabatière, des Tuberkels oder im Bereich des Radioskaphoid-Gelenks bei Opposition von Daumen und Zeigefinger zeigte als bester Test der Untersuchung von Unay et al eine Sensitivität von 73%, eine Spezifität von 75% und einen PPV von 96% sowie einen NPV von 23% [81]. Auch Rhemrev et al [79] konnten einen Prädiktor eruieren. Besteht eine frühere Handfraktur (egal auf welcher Seite), ist zusätzlich die Extension um 50% im Vergleich zur kontralateralen Seite reduziert und ist die Supinationskraft um mehr als

10% des erwarteten Wertes reduziert, so stellt dies mit einer Wahrscheinlichkeit von 97% (Präzision 77 - 100%) eine Fraktur dar. Liegt keine frühere Handverletzung vor, sind aber die beiden anderen Prädiktoren positiv, so beträgt die Wahrscheinlichkeit 50% für das Vorliegen einer Fraktur. Ist keiner der 3 Prädiktoren vorhanden, so liegt die Wahrscheinlichkeit einer Fraktur bei 0 - 5% [79].

Immer im Hinterkopf sollte behalten werden, dass ein Übersehen der Fraktur im Kindesalter häufiger vorkommt als bei Verletzungen im Erwachsenenalter, eine Untersuchung daher trotz oftmals mangelnder Compliance des Kindes gründlich durchgeführt werden muss.

3.2.1.6 Bildgebung

Zur röntgenologischen Darstellung kommen verschiedene Ansichten in Betracht. Diese sind posterior-anterior, lateral und die Schrägansicht. Zusätzlich hilfreich zu den Standardansichten, bei denen eine Skaphoidverletzung nur bei hohem Schweregrad der Verletzung sichtbar ist, ist die sogenannte Stecher-Projektion. Dies ist die Darstellung bei Faustschluss und Ulnarduktion. Weiters ist die Darstellung und Aufnahme bei Hyperpronation möglich [75; 77; 82].

Eine gute Aussagekraft liefern bereits Röntgenbilder in 4 Ansichten (P-A, lateral, 45° Pronation bzw. Supination), da in diesen Aufnahmen nur etwa 2% aller Frakturen nicht zu sehen sind [83]. Durch zusätzliche schräge Aufnahmen kann diese Rate an übersehenen Frakturen nochmals reduziert werden [83]. Diese niedrige Rate an Fehldiagnosen muss aber mit Vorsicht betrachtet werden, da die Untersuchung sowohl an Erwachsenen als auch an Kindern durchgeführt wurde. In der Literatur werden für jüngere Patienten Fehldiagnoseraten bei den ersten Röntgenaufnahmen kurz nach dem Unfallzeitpunkt von bis zu 37% angegeben (steigend mit fallendem Alter) [48; 55; 63]. Es kann zusätzlich auch noch eine sogenannte Ziter-Ansicht (quer, ulnarabduziert, schräge Ansicht) durchgeführt werden [74; 84; 85].

Limitationen des Röntgens bestehen insoweit, als dass die radiologische Aufnahme bei Erwachsenen nur schlecht mit der intraoperativen Situation korreliert [86]. Ob eine direkte Umlegung dieser Ergebnisse auf Kinder zulässig ist, ist derzeit noch unklar. Die Verwendung von Röntgenuntersuchungen zur Kontrolle des Heilungsverlaufes von Skaphoidfrakturen nach 12 Wochen ist nicht ausreichend valide und stark untersucherabhängig [87].

Die MRT kann eingesetzt werden, wenn sich keine Hinweise auf eine Fraktur finden, allerdings klinisch ein hochgradiger Verdacht besteht. Die MRT ist damit Mittel der Wahl bei unklaren Situationen [74; 88; 89]. Johnson et al und Brydie sehen die MRT-Untersuchung sogar als Goldstandard an [17; 90], da Patienten bei negativen Befunden ohne nachfolgende Untersuchungen entlassen werden können [17; 90]. Bei der Verwendung der MRT sollten die Spulen parallel zur Längsachse des Skaphoids gelegt und eine „short tau inversi-

on recovery-Sequenz“ eingesetzt werden [75; 91]. Einer Knochenkontusion kommt aufgrund der Ähnlichkeit der Darstellung als Differentialdiagnose und möglicher Fehlinterpretation als Fraktur besondere Beachtung zu [91].

Nachteile der Magnetresonanztomographie sind die (im Vergleich) hohen Kosten und die nicht generelle Verfügbarkeit [63; 88]. Allerdings konnten Hansen et al zeigen, dass die MRT bezogen auf das Gesundheitssystem kosteneffektiv ist [88].

Bestehen weiterhin Unsicherheiten in der Diagnose oder ist unklar, ob eine instabile Fraktur vorliegt, kann auch noch eine CT-Untersuchung durchgeführt werden, dabei sollte aber darauf geachtet werden, dass die Schichtebene parallel zur Längsachse des Skaphoids (Hand 45° zur Körperlängsachse) liegt, da sonst durch Artefakte und Rekonstruktionsbildfehler Frakturen übersehen werden können [75; 82]. Bei persistierenden Schmerzen ohne Zeichen einer Weichteilschädigung kann nach 4 bis 8 Wochen eine CT angefertigt werden [84]. Die Sensitivität der CT ist im Vergleich zur MRT allerdings niedriger [90].

Weitere Untersuchungsmethoden sind der Ultraschall, welcher eine Sensitivität von 50 - 78% und eine Spezifität von 89 - 91% aufweist [56; 92; 93] und die Skelettszintigraphie, welche aber nicht routinemäßig eingesetzt wird, aber bei Skaphoidfrakturen eine hohe Sensitivität bei schlechter Spezifität (25% falsch-positiv) besitzt [94; 95].

3.2.1.7 Versorgung

Zur Versorgung stehen konservative und operative Methoden zur Verfügung.

Konservative Versorgung Handelt es sich bei der Verletzung um eine unverschobene oder nur leicht verschobene Fraktur sowie um Fissuren, so sollte die Versorgung mit einem Gips bevorzugt werden, da Kinder eine sehr hohe Regenerationsfähigkeit bei diesen Verletzungen besitzen [48; 69; 50].

Inkomplette Frakturen, Tuberkelfrakturen (Typ A1) oder distale Abrissfrakturen heilen ebenfalls sehr gut und sollten für 4 bis 6 Wochen in einem Unterarmgips mit Daumeneinschluss versorgt werden [48; 55; 56; 69; 72; 91].

Bei unverschobenen Querfrakturen und Frakturen im mittleren Drittel (Typ A2) sollte eine Gipsruhigstellung für 6 bis 8 Wochen durchgeführt und dabei ein Unterarmgips mit Daumeneinschluss bis zum Grundgelenk gewählt werden [48; 55; 72; 75; 91]. Ein Oberarmgips mit Daumeneinschluss kann erwogen werden [56], insbesondere wenn die Gefahr des Verlustes oder Abrutschens eines Unterarmgipses gegeben ist [48; 56]. Alternativ kann auch eine operative minimalinvasive Versorgung gewählt werden [50; 91]. Es sollte bei Kindern hier eher Zurückhaltung im Vergleich zu Erwachsenen geübt werden [40; 50].

Noch längere Versorgungs- und Immobilisierungszeiten von 8 bis 16 Wochen sind bei Frakturen im proximalen Drittel, bei übersehenen Frakturen oder bei spät vorstellig werdenden Patienten notwendig [48; 54].

Besteht der Verdacht einer Fraktur ohne Nachweis im Röntgen, so kann zunächst eine zweiwöchige Gipsimmobilisierung mit Einschluss des Daumens erfolgen. Danach sollte eine erneute klinische und radiologische Kontrolle durchgeführt werden [63]. Diese zweiwöchige Immobilisierung zeigte in einer Untersuchung von Evenski et al [63] keinerlei Komplikationen und ist aus diesem Grund bei Frakturverdacht problemlos durchführbar. Danach sollten zweiwöchige Kontrollen solange angeschlossen werden, bis eine Fraktur sicher nachweisbar ist oder die Patienten beschwerdefrei sind [63]. Nachteilig an dieser pauschalen Immobilisierung ist allerdings die Bewegungseinschränkung auf die sonst unbehinderten Patienten [74; 96]. Alternativ können aber auch zusätzliche bildgebende Verfahren, wie oben angeführt, angewendet werden.

Einzelne Studien zeigen interessanterweise, dass eine Heilung bei noch offener Wachstumsfuge etwa 3 Wochen länger dauern kann [40].

Operative Versorgung Instabile (B-Frakturen) oder offene Frakturen sollten operativ versorgt werden [75; 91]. Dabei kann für Typ B1- oder Typ B2-Frakturen im mittleren oder distalen Drittel ein minimalinvasiver Zugang von palmar gewählt werden [91].

Der Zugang sollte für proximale Polfrakturen (Typ B3) bzw. bei Frakturen im proximalen Drittel von dorsal im Bereich des Radioskaphoid-Gelenks erfolgen [77; 91; 96]. Eine Untersuchung von Polsky et al im Jahr 2002 zeigte keinen Unterschied zwischen den dorsalen und palmaren Zugangswegen [96; 97]. Nach einer minimalinvasiv versorgten Fraktur ist keine Gipsimmobilisierung notwendig, jedoch sollte bei offener Versorgung der Arm für 2 Wochen im Unterarmgips ruhig gestellt werden [75; 91].

Sogenannte kanülierte Herbert-Schrauben, welche über einen Kirschner-Führungsdraht eingebracht werden können, zeigen bei der Versorgung von Skaphoidfrakturen gute Ergebnisse [72; 77]. Diese Untersuchung wurde jedoch überwiegend an Erwachsenen durchgeführt, allerdings sollten Mini-Herbert-Schrauben ebenfalls vergleichbar gute Ergebnisse liefern [75; 91]. Kommt es bei der Schraubentechnik zu mehreren Fehlversuchen, so sollte nach wenigen Versuchen auf einen Kirschner-Draht ausgewichen werden, um eine massive Traumatisierung des Knorpels zu vermeiden [75; 91]. Es sollten, wenn möglich, Kompressionschrauben eingesetzt werden [40; 96]. Welche Schraube verwendet werden sollte, ist im Kindesalter weitgehend unklar, allerdings zeigten Gholson et al, dass eine Synthes-Schraube vermutlich besser als eine Acutrak- oder Herbert-Schraube ist [40].

Wenn eine Trümmerzone vorliegt, kann gegebenenfalls eine Spongiosaplastik durchgeführt werden. Anschließend erfolgt eine Immobilisierung im Unterarmgips für 8 Wochen. Diese Immobilisierungsdauer gilt auch für Dislokationen [75].

Chronische Frakturen sollten praktisch immer operativ versorgt werden, da im Gips die Heilung nur schlecht erfolgt und oftmals eine anschließende chirurgische Intervention notwendig wird [40]. Verglichen mit einer akuten Fraktur ist die Chance auf Heilung im Gips bei einer chronischen Fraktur etwa 30-mal schlechter [40]. Aus diesem Grund sollte eine Gipsimmobilisierung nur bei unverschobenen chronischen Frakturen eingesetzt werden, wenn die Eltern trotz Erklärung des Risikos eine Operation ablehnen. Die Immobilisierung sollte dann für mehr als 24 Wochen durchgeführt werden [40]. Eine Mobilisierung erfolgt üblicherweise bei fehlenden radiologischen Frakturzeichen sowie fehlender Druckschmerzhaftigkeit in der Tabatière [87].

3.2.1.8 Komplikationen, Prognose und Outcome

Als Komplikationen bei der Versorgung und im Rahmen des Traumas sind Pseudarthrose, Osteonekrose, Wachstumsverzögerungen, dauerhaft bestehende Steifigkeit oder technische Komplikationen wie Bruch eines Drahtes anzuführen.

Die Heilungsrate der Skaphoidfraktur ist sehr hoch. Zu einer Pseudarthrose der Knochenfragmente kommt es bei korrekter Diagnose und rascher Versorgung nur sehr selten (0,8%) [55; 69]. Diese Pseudarthrosen treten vor allem bei Verletzungen im mittleren Drittel auf [48; 98; 99; 100]. Außerdem handelt es sich meist um Patienten, bei denen die Diagnose übersehen wurde oder die erst spät vorstellig werden [55]. Das Risiko einer Pseudarthrose und einer avaskulären Nekrose ist auch bei proximalen Verletzungen erhöht, da die Blutversorgung des Skaphoids von distal her erfolgt. Zusätzlich zum generell seltenen Auftreten von proximalen Verletzungen können Kinder kollaterale Blutkreisläufe zur Versorgung ausbilden [48], weshalb nur selten Pseudarthrosen auftreten. Gholson et al zeigten in einer Untersuchung, dass die häufigste Rate an Pseudarthrosen von ungefähr 98% bei verschobenen chronischen Frakturen im Bereich des mittleren und proximalen Drittels auftritt, wenn diese mit Gips versorgt werden [40]. Eine gute Heilung erfolgt hingegen bei akuter unverschobener Fraktur: distales Drittel 99% Union, mittleres Drittel 92% Union, proximales Drittel 95% Union [40]. Im Vergleich zu einer Pseudarthrose sollte auch an ein zweiteiliges Skaphoid gedacht werden [69].

Bei Kindern gelingt eine Heilung und Vereinigung meist durch konsequente Gippschienung oder chirurgische Stabilisierung [48; 69; 99; 101; 102]. Weitere Therapieoptionen sind:

- Gipsschienung ± pulsierendes elektromagnetisches Feld [48; 49; 69; 103]
- Matti-Russe-Operation [48; 98]
- Offene Reposition ± Schraubenfixation ± Kirschner-Drähte ± Knochengraft [48; 49; 52; 98; 99; 101; 102; 104]

Zur Therapie der Pseudarthrose wird oft eine operative Versorgung mit Matti-Russe-Technik [98; 105] empfohlen. Allerdings konnte durch Fabre et al [69] gezeigt werden, dass auch eine reine Gipsimmobilisierung ausreichend für die Vereinigung sein kann. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass eine Gipsimmobilisierung versucht, eine operative Versorgung aber durchgeführt werden sollte, wenn nach 3 Monaten keine klinische oder radiologische Besserung auftritt [69].

Bei der Schraubenfixation besteht das seltene Risiko einer Wachstumsstörung des Skaphoids. Das Risiko kann durch die Verwendung von kleineren Schrauben reduziert werden [48]. Eine Altersgrenze, ab der eine Schraubenfixation problemlos durchgeführt werden kann, ist derzeit nicht bekannt [48]. Bei einer Schraubenfixation mit Herbert-Schrauben sollte eine Immobilisierung für zumindest 9 Wochen erfolgen. Mintzer et al empfehlen, Herbert-Schrauben in Kombination mit einem Knochengraft für Skaphoid-Pseudarthrosen bei Kindern zu verwenden [52].

Wird ein Knochengraft benötigt, so sollte das Material aus dem ipsilateralen distalen Radius oder aus dem Beckenkamm entnommen werden [52; 102]. Eine Versorgung im Gips sollte für etwa neun Wochen angeschlossen werden [52].

Eine bleibende Gelenksteifigkeit ist bei Kindern nur selten ein Problem [69; 75]. Das Auftreten einer Osteonekrose (avaskuläre Nekrose) im Kindesalter ist noch deutlich seltener. Durch Anz et al konnte 2009 nur eine einzige Publikation mit drei Fallberichten an Jugendlichen in der Literatur gefunden werden [56; 106].

Die Maximalform der Spätfolgen ist die sogenannte SNAC (scaphoid nonunion advanced collapse), die Arthrose mit carpalem Kollaps [61; 75; 82]. Dieses Krankheitsbild tritt bei Erwachsenen und gelegentlich bei Jugendlichen auf, bei Kindern ist es bisher nicht beschrieben [41; 56]. Allerdings gibt es auch bei Kindern einzelne Fälle von DISI (dorsal intercalated segmental instability) unterschiedlicher Genese [56; 107].

3.2.1.9 Re-Frakturen

Bisher gibt es keine ausreichenden Daten zu einer abermaligen Fraktur des Skaphoids nach einer vollständigen Heilung einer alten Fraktur [108]. Es finden sich, da diese Verletzung

nur sehr selten auftritt, nur einzelne Fallberichte. Die Frakturen betreffen aber anscheinend bevorzugt athletische, sportliche, junge Menschen. Leider gibt es keinen prognostischen Hinweis, bei welchen Patienten diese Verletzung auftreten kann [108].

3.2.2 Lunatumfrakturen

3.2.2.1 Einleitung und Epidemiologie

Lunäre und perilunäre Verletzungen treten nur sehr selten auf und werden daher bei der Diagnostik leicht übersehen. Insgesamt kommt es in weniger als 1,5% aller carpalen Verletzungen zu einer Lunatumfraktur [109].

3.2.2.2 Anatomie und Entwicklung

Ein, gelegentlich auch ein zweiter Ossifikationskern des Os lunatum tritt mit etwa 4 bis 5 Jahren auf [4; 8]. Es wurde jedoch beim Alter eine große Variationsbreite zwischen 2 und 7 Jahren beschrieben [57; 60]. Die Verknöcherung ist bei Mädchen und Jungen mit etwa 13 bis 15 Jahren abgeschlossen [57].

Bisher sind nur einzelne Fälle eines zweigeteilten Os lunatum bekannt [60; 110]. Eine Differenzierung von einer alten Fraktur oder eines Morbus Kienböck gelingt durch die Anamnese, beidseitiges Vorhandensein der zwei Lunatumteile, fehlende Abnützung zwischen den Lunatumteilen, keinerlei Bruchstücke, keine Knochennekrose oder MRT-Signalveränderungen [60; 110].

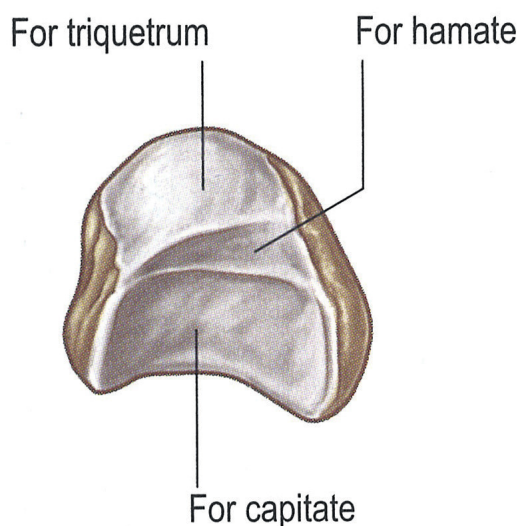


Abbildung 8: Os lunatum - Ansicht von distomedial, aus Grays Anatomy - the anatomical basis of clinical practice 2008 [8]

Von der Form her wirkt das Os lunatum halbmondförmig und es liegt zwischen dem Os scaphoideum und Os triquetrum [8]. Es weist mehrere Gelenkflächen auf, wobei eine konvexe

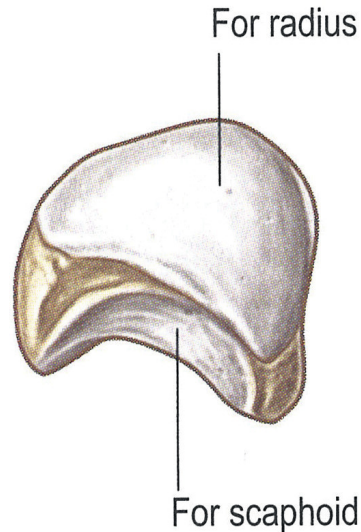


Abbildung 9: Os lunatum - Ansicht von proximalateral, aus Grays Anatomy - the anatomical basis of clinical practice 2008 [8]

Fläche zum Radius, eine Fläche zum Skaphoid, eine quadratische zum Os triquetrum, eine schmale Fläche für das Os hamatum und eine konkave Fläche zum Os capitatum zeigt [8].

3.2.2.3 Verletzungsmuster

Das typische Verletzungsmuster für eine Beteiligung des Os lunatum ist eine Hyperextension im Handgelenk, meist in Kombination mit einer Ulnardeviation [111; 112; 113]. Es sind große Kräfte notwendig, wodurch häufig Begleitverletzungen auftreten. Die Umstände der Verletzung sind, bezogen auf alle Altersgruppen, meist Motorradunfälle, Stürze aus großer Höhe oder Arbeits- und Sportunfälle [111; 112; 113; 114; 115].

Stressfraktur Insgesamt handelt es sich vor allem bei Stressfrakturen der oberen Extremitäten um seltene Verletzungen. Diese wurden am Os lunatum in Fallberichten bei wiederholter übermäßiger Belastung beschrieben [116; 117]. Frauen und junge Spitzensportler (beispielsweise im Tennissport) sind besonders gefährdet. Diese Art der Verletzung sollte differentialdiagnostisch immer in Betracht gezogen werden, wenn bei Sportlern ein dorsaler Handgelenksschmerz besteht [117].

3.2.2.4 Definition und Einteilung

Die Verletzungen sind perilunär oder lunär; das Muster abhängig von den beteiligten Ligamenten und Knochen:

- Perilunäre Luxationsfraktur

- transskaphoidale perilunäre Luxationsfraktur (De-Quervain-Fraktur (Lunatumluxation mit Skaphoidfraktur, skapholunärer Bandapparat intakt, eventuell mit Os triquetrum-Beteiligung)) [118; 119]
- perilunäre Luxation (überwiegend nach dorsal) [118]
- transskaphoido-transcapitato-perilunäre Luxation (Fenton) [119; 120]
- transtriquetrum-perilunäre Luxation [119]
- Lunäre Luxationsfraktur
 - isolierte Lunatumluxation nach palmar (häufiger) oder dorsal [118]
 - Lunatumfraktur

Akute lunäre und perilunäre Luxationen oder Frakturen treten nur sehr selten auf. Es sind zahlreiche Variationen und Kombinationen von Frakturen und Dislokationen sowie Bandverletzungen, Abrissfrakturen und Frakturen möglich [119]. Die transskaphoidale perilunäre Luxationsfraktur nach dorsal und die dorsale perilunäre Luxation stellen die häufigsten dieser seltenen Verletzungen dar [111; 113; 119; 121; 122]. Etwa 61 - 65% aller Lunatumverletzungen sind mit einer skaphoidalen Fraktur verbunden [111; 122]. Eine knöcherner Beteiligung des Os lunatum ist aber auch bei dieser Verletzung selten [113]. Perilunäre Dislokationen sind selten (etwa in 3 bis 5% aller Fälle) in palmarer Richtung [111; 123]. In der Literatur besteht Uneinigkeit über die oben angeführte Einteilung. So meinte Budoff 2008, dass die palmare lunäre Luxation die letzte Stufe einer perilunären Luxation nach dorsal ist und kein eigenes Krankheitsbild darstellt [111].

Nach Herzberg et al 1993 sind perilunäre Luxationen seltener als perilunäre Luxationsfrakturen (Verhältnis 1:2) [121]. In Einzelfällen tritt die perilunäre Luxation in Kombination mit Hamatum- oder Triquetrumfrakturen auf [119; 124].

Zu einer isolierten Lunatumfraktur gibt es überhaupt nur einzelne publizierte Fallberichte in der Literatur [109; 125].

3.2.2.5 Diagnostik und klinische Untersuchung

Die Symptome sind jene der klassischen Handfraktur mit Schmerzen, Schwellung, Bewegungseinschränkung und Druckschmerzhaftigkeit. Zusätzlich kann es noch durch eine Einklemmung des Nervus medianus zu Parästhesien in dessen Versorgungsgebiet kommen [111]. Aufgrund der Seltenheit besteht die Gefahr einer Fehldiagnose. Es werden in der Literatur Fehlerraten von bis zu 25% angegeben [115; 121; 123]. Die Untersuchung sollte immer die genaue Anamnese zur Erhebung eines möglichen Hochenergietraumas, die Inspektion und Palpation beinhalten. Bei Beteiligung des Os lunatum sollte immer nach einer Begleitverletzung gesucht werden. Differentialdiagnostisch zur Fraktur muss auch an einen Morbus

Kienböck (ab dem Stadium II) und benigne Zysten gedacht werden [126; 127]. Im Rahmen dieser Erkrankungen kann es zu einer Fraktur und einem Kollaps des Os lunatum kommen [126].

3.2.2.6 Bildgebung

Die Diagnose kann mittels Röntgen in einer posterior-anterior und vor allem in einer lateralen Ansicht gestellt werden. Es besteht Uneinigkeit in der Literatur darüber, welche Untersuchung, CT oder MRT, eine okkulte Fraktur besser darstellen kann [15; 18]. Bei Unsicherheiten in der Diagnose sollte aber eine dieser Folgeuntersuchungen (CT oder MRT) durchgeführt werden.

3.2.2.7 Versorgung

Die Versorgung perilunärer Luxationen oder (transskaphoidaler) perilunärer Luxationsfrakturen erfolgt mit offener Reposition und intraoperativer Fixierung, um eine gute Durchblutung zu garantieren und eine Rekonstruktion der Bänder zu ermöglichen [111; 112; 115; 128; 129]. Das Ligamentum skapholunatum sollte wiederhergestellt werden [112; 115; 129] und gegebenenfalls mit einer Kompressionsschraube oder Kirschner-Drähten gesichert werden [115; 130]. Einzelne Autoren wie Trumble und Verheyden empfehlen die Verwendung von Cerclagen bei Erwachsenen, da diese das skapholunäre interossäre Band stabilisieren und eine bessere Bandheilung ermöglichen [128]. Bei dieser Methode kann es im Rahmen der Rehabilitation und Rückerlangung der vollständigen Kraft häufig zu einer Ermüdung und anschließend zu einem Drahtbruch kommen, wodurch eine Entfernung des Drahtes notwendig wird. Ein resorbierbarer und trotzdem stabiler Draht ist bisher nicht verfügbar [128]. Das Ligamentum lunotriquetrum kann ebenfalls rekonstruiert werden oder mit Kirschner-Drähten fixiert werden [112; 122; 130; 131]. Als Alternative zu Kirschner-Drähten, welche mit Gips geschützt werden müssen und ein Infektionsrisiko aufweisen, können auch Herbert-Schrauben verwendet und so eine frühere Mobilisierung begonnen werden [130].

Der Großteil der Untersuchungen zur Art der Versorgung und zu den Rekonstruktionsempfehlungen wurde an Erwachsenen durchgeführt, ein Umlegen der Ergebnisse direkt auf kindliche Handfrakturen kann daher nicht zulässig sein. Welcher Zugangsweg (dorsal, palmar, kombiniert) gewählt werden sollte, ist nicht gesichert [122; 128]. Wahrscheinlich ist ein kombinierter palmar-dorsaler Zugang optimal, da über palmar das Lunatum reponiert und die Kapsel rekonstruiert, von dorsal die Gelenksflächen des Skaphoids und zum Os triquetrum angepasst werden können [112].

Eine geschlossene Reposition ist nur selten erfolgreich [132] und es gelingt nicht, die anatomische Struktur wiederherzustellen [128]. Daher sollte dies nur in der Notaufnahme versucht werden, um eine Nervus medianus-Kompression zu reduzieren [111; 122]. Bei spät vorstellig werdenden Patienten (nach einigen Tagen) oder bei eingeklemmten Weichteilen ist eine geschlossene Reposition nicht erfolgreich [111]. Auch wenn das Os lunatum mehr als 90° rotiert ist, sollte die geschlossene Reposition vermieden werden [111; 122]. Außerdem müssen eine ausreichende Analgesie und Muskelrelaxation vorliegen; ein Lokalanästhetikum ist nicht ausreichend [111]. Bei einer geschlossenen Versorgung und Gipsschienung konnten Adkison und Chapman 1982 zeigen, dass nach 6 Wochen bei 59% der Patienten die initial erfolgreiche Reposition wieder verschoben war [133]. Auch Apergis et al konnten 1997 zeigen, dass die Ergebnisse bei geschlossener Reposition bei allen Patienten angemessen bis schlecht, bei offener Reposition und Fixierung jedoch in 65% der Fälle gut bis ausgezeichnet waren [129].

3.2.2.8 Komplikationen

Im Rahmen der Verletzung kann durch die Schwellung in bis zu 25% der Fälle ein Karpaltunnelsyndrom auftreten, welches anschließend entlastet werden muss. Hinweis auf ein Karpaltunnelsyndrom ist die verzögert einsetzende und dann zunehmende Schädigung des Nervus medianus [111].

Komplikationen (vor allem bei Erwachsenen sind Daten vorhanden) sind posttraumatische Arthrose in etwa 38% der Fälle (7 - 92%) und carpaler Kollaps [111; 115; 121]. Viele erwachsene Patienten haben im Verlauf eine Bewegungseinschränkung und Kraftminderung beim Greifen [111]. Im Röntgen sind oftmals Zeichen einer Arthrose zu sehen, welche aber nicht mit der Patientenzufriedenheit oder Arbeitsfähigkeit korrelieren. Weitere Komplikationen sind persistierende Schmerzen, Sehnenverletzungen und avaskuläre Nekrose des Os lunatum mit Zersplitterung und Kollaps; letzterer sehr selten [111; 122].

3.2.2.9 Prognose und Outcome

Es besteht kein Unterschied zwischen lunären und perilunären Luxationen [111]. Insgesamt sind aber bei Kindern zu wenige Daten vorhanden, um eine klare Prognose angeben zu können.

In einer Untersuchung von Melone et al 2000 konnte gezeigt werden, dass alle Athleten nach absoluter Sportpause von 6 Monaten und Rehabilitation von 12 Monaten wieder zu ihrem vorherigen Niveau zurückkehrten [111; 132].

3.2.3 Triquetrumfrakturen

3.2.3.1 Einleitung und Epidemiologie

Eine isolierte Triquetrumfraktur tritt nur selten auf, ist aber mit einer Häufigkeit von 19% aller carpalen Frakturen betroffen [41; 47; 53]. Gelegentlich kommt es in Kombination mit einer Radius- oder Skaphoidverletzung zu einer Fraktur des Os triquetrum [134; 135; 136]; selten auch mit einer Capitatumverletzung [46; 135; 137].

3.2.3.2 Anatomie und Entwicklung

Das Os triquetrum weist eine dreieckige Form auf und bietet eine Gelenkfläche zum Os pisiforme, eine weitere quadratische Fläche zum Os lunatum und eine Gelenkfläche, welche eine geschwungene Form aufweist, zum Os hamatum [8]. Der Knochenkern tritt üblicherweise zwischen dem ersten und dem dritten Lebensjahr auf [4; 8].

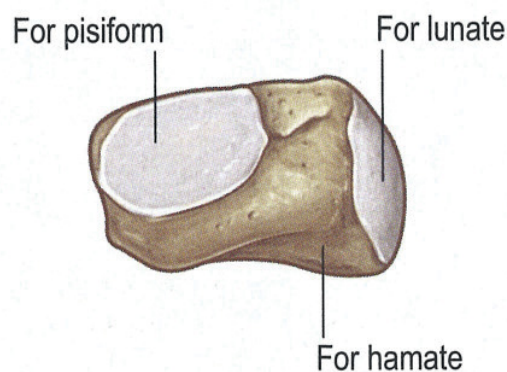


Abbildung 10: Os triquetrum, aus Grays Anatomy - the anatomical basis of clinical practice 2008 [8]

3.2.3.3 Verletzungsmuster

Der Altersgipfel liegt bei 11 bis 13 Jahren; eine Verletzung tritt üblicherweise nach Hyperextension des Handgelenks auf [53; 138].

3.2.3.4 Definition und Einteilung

Es kommt entweder zu einer Verletzung der dorsalen Kortikalis durch den Processus styloideus ulnae oder des Os hamatum bei einer Ulnarduktion und Dorsalflexion des Handgelenks oder durch direkte Kraft im Bereich des Triquetrum-Korpus [53; 77; 138; 139]. Circa 90%

sind Frakturen der dorsalen Kortikalis; Frakturen im Bereich des Triquetrum-Korpus sind bei Kindern sehr selten [53].

3.2.3.5 Diagnostik und klinische Untersuchung

Als Symptome finden sich die üblichen Zeichen einer Fraktur sowie eine Druckschmerzhaftigkeit und Schwellung distal der Ulna im Handgelenk (Triquetrum-Punkt) [41; 49; 140].

3.2.3.6 Bildgebung

Zur Diagnostik können Röntgenaufnahmen in lateraler Ansicht zur Darstellung einer dorsalen Fraktur und 45°-Schrägansichten verwendet werden [41; 53]. Eine posterior-anterior-Aufnahme ist aufgrund einer Überlagerung durch das Os pisiforme nur wenig zielführend [53]. Bei Unklarheiten können CT oder MRT zum Einsatz kommen [46; 53; 138]. Einige Autoren führen die MRT als geeigneter zur Darstellung okkulten Frakturen an [46; 53]; andere Autoren warnen vor falsch-negativen MRT-Resultaten bei Triquetrumfrakturen [141]. Eine Fehldiagnose ist häufig, da die Frakturen oft nur klein und unauffällig sind. Schmerzen im Handgelenksbereich können bei Kindern als Verstauchung oder Radiusverletzung fehlinterpretiert werden [41; 140].

3.2.3.7 Versorgung

Die Therapie ist eine Gipsimmobilisierung für 2 bis 4 Wochen bei Frakturen der dorsalen Kortikalis und etwa 3 bis 6 Wochen für Korpusfrakturen [41; 49; 53]. Bei stark verschobenen Frakturen kann eine operative Versorgung notwendig werden [46; 53]. Aufgrund der geringen Fallzahlen bei Kindern liegen keine Empfehlungen vor. Beispielsweise verwendeten Foley und Patel 2012 erfolgreich Kirschner-Drähte an einem 10-jährigen Patienten [135].

3.2.3.8 Komplikationen

Komplikationen sind Schäden am Triquetrum-Lunatum-Band oder am triangulären fibro-kartilaginären Komplex [41]. Eine Pseudarthrose oder eine pisotriquetrale Arthrose tritt nur selten auf. Bisher wurden nur einzelne Fallberichte veröffentlicht [53; 142; 143]. Es wurde bisher noch keine avaskuläre Nekrose des Os triquetrum beschrieben, da die Vaskularisation sehr gut ist [77; 139].

3.2.3.9 Prognose und Outcome

Insgesamt ist die Prognose sehr gut und eine Heilung gelingt meist [53]. Nach Gipsentfernung gelingt oft eine vollständige Erholung des Bewegungsumfanges [49].

3.2.4 Pisiformfrakturen

3.2.4.1 Einleitung und Epidemiologie

Das Os pisiforme wird auch Erbsenbein genannt und ist der kleinste Knochen der Handwurzel. Gelegentlich treten Kombinationsverletzungen aus Radiusfrakturen und Os pisiforme-Frakturen bei Erwachsenen auf [136].

3.2.4.2 Anatomie und Entwicklung

Das Os pisiforme zeigt einen, selten auch mehrere Ossifikationskerne mit etwa 8 bis 12 Jahren [4; 8]. Es handelt sich um ein sogenanntes Sesambein, welches Kontakt zur Sehne des Musculus flexor carpi ulnaris hat [8; 11; 144]. Bandverbindungen bestehen zum Os hamatum, Os triquetrum und zum Metacarpus V [144]. Eine Gelenksfläche liegt nur in Richtung des Os triquetrum vor [8]. Um eine Unterscheidung zwischen Fraktur und multiplen Ossifikationskernen zu ermöglichen, gelten die gleichen Bedingungen wie unter Kapitel Os lunatum (Kapitel 3.2.2) angeführt.

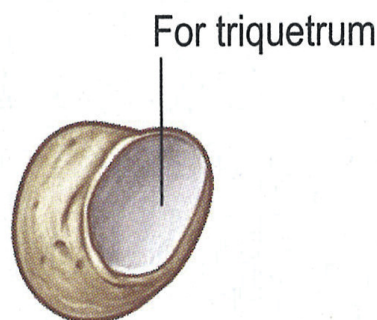


Abbildung 11: Os pisiforme, aus Grays Anatomy - the anatomical basis of clinical practice 2008 [8]

3.2.4.3 Verletzungsmuster

Das Verletzungsmuster für eine Dislokation oder Fraktur ist eine direkte ulnopalmar Kraft-einwirkung (meist nach Sturz auf die ulnare Handwurzel) oder eine Hyperdorsalextension der palmar flektierten Hand mit zusätzlicher Kontraktion des Musculus flexor carpi ulnaris [41; 77; 145; 146]. Zusätzlich kommt es durch die, oft begleitend vorliegende, distale Radiusverletzung zu einer Erschlaffung des Kapselapparates mit nachfolgender pisotriquetraler Dislokation [145; 146].

3.2.4.4 Definition und Einteilung

Frakturen des Os pisiforme wurden bei Kindern bis 2005 noch nicht beschrieben [41; 146] und sind auch bei Erwachsenen sehr selten [146]. Mancini et al [146] konnten in einer großen Studie über distale Radiusfrakturen zwei Fälle einer begleitenden Pisiforme-Luxationsfraktur finden [146].

Einzelne Fälle von Luxationen des Pisiforme, oft in Kombination mit distalen Radiusfrakturen, wurden beschrieben [145]. So wurden 1922 eine Luxation sowie weitere Literaturstellen über mehrere Pisiforme-Luxationen ohne Altersangabe von Cohen präsentiert [147]. In den folgenden Jahren wurden nur Fälle von Luxationen an Erwachsenen beschrieben. Schließlich konnten Ashkan et al 1988 [145] eine Luxation bei einem 9-jährigen Mädchen darstellen.

3.2.4.5 Diagnostik und klinische Untersuchung

Symptome der Luxationsfraktur sind Schmerzen, Druckschmerzhaftigkeit über dem Os pisiforme, Schwellung im Bereich des Hypothenar und bei Beteiligung des Nervus ulnaris in der Guyon-Loge Parästhesien in diesem Versorgungsgebiet. Außerdem kann die Palmarflexion und Ulnarduktion schmerzhaft sein [144; 145]. Differentialdiagnostisch sollte an eine Tendinitis der Sehne des Musculus flexor carpi ulnaris gedacht werden [144]. Es können, da meist eine begleitende Radiusverletzung vorliegt, die Symptome der distalen Radiusfraktur überwiegen. Daher sollte, wenn eine Pisiforme-Verletzung vorliegt, immer nach möglichen Begleitverletzungen, insbesondere des distalen Radius gefahndet werden [41].

Bei der klinischen Untersuchung können eine verschobene Position des Os pisiforme, eine vergrößerte Beweglichkeit sowie eine „Grube“ an der ursprünglichen Position auffallen [145; 146].

3.2.4.6 Bildgebung

Zur Diagnostik sollten Röntgenbilder in mehreren Ansichten, inklusive semisupiniert oder Karpaltunnelaufnahme, durchgeführt werden [77]. Eine paraulnäre Weichteilschwellung kann einen Hinweis auf eine Pisiformefraktur liefern [14]. In Einzelfällen kann auch eine CT- oder MRT-Untersuchung notwendig sein [19; 77].

Die Gefahr einer Fehldiagnose oder eines Übersehens einer Verletzung besteht vor allem, wenn Begleitverletzungen vorliegen [146]. Besonders bei Kindern unter 7,5 Jahren kann eine Verletzung des Os pisiforme im Röntgen übersehen werden, da noch kein Ossifikationskern vorliegt [146].

3.2.4.7 Versorgung

Für eine Dislokation ist meist eine geschlossene Reposition und Gipsschienung für 3 bis 4 Wochen ausreichend [41; 145].

Die Fraktur des Os pisiforme wird bei Erwachsenen konservativ über 4 Wochen behandelt; auch eine Schraubenosteosynthese kommt gelegentlich zum Einsatz [77]. Mancini et al [146] behandelten die zwei Luxationsfrakturen mit geschlossener Reposition und 30-tägiger Gipsschienung, woraufhin eine gute Heilung gelang, keine dauerhaften Schäden zurückblieben und auch im Follow-Up keine Arthrose-Zeichen auftraten [146]. Von diesen geringen Fallzahlen kann keine Empfehlung abgeleitet werden. Obwohl in den zwei beschriebenen Fällen keine Arthrose auftrat, sollten die Eltern über das Risiko dieser Komplikation informiert werden.

3.2.4.8 Komplikationen

Vor allem bei Erwachsenen kann bei einer Luxation oder Fraktur eine Arthrose oder Tendinitis der Sehne des Musculus flexor carpi ulnaris auftreten. Bewährt hat sich dabei die folgenfreie, operative Pisiforme-Exzision (Pisiformektomie) [77; 138; 145]. Ob dieser Eingriff bei Kindern sinnvoll ist, bleibt zum gegenwärtigen Zeitpunkt unklar.

3.2.4.9 Prognose und Outcome

Obwohl für die Luxationsfraktur des Os pisiforme nur Fallberichte mit gutem Ausgang vorliegen, kann aufgrund der geringen Fallzahlen keine Aussage über die Prognose, den Verlauf und das Outcome bei Kindern gemacht werden [146].

3.2.5 Trapeziumfrakturen

3.2.5.1 Einleitung und Epidemiologie

Das Os trapezium ist ein selten beteiligter Knochen bei kindlichen Handverletzungen und wird nur in etwa 3 - 5% aller carpalen Frakturen in allen Altersgruppen gebrochen [41; 148; 149]. Eine isolierte Fraktur tritt praktisch nie auf und meist liegen begleitende Verletzungen (Skaphoidfrakturen, Bennettfrakturen, Rolandofrakturen, metacarpale Frakturen oder distale Radiusfrakturen) vor, nach denen auch in der klinischen Untersuchung und radiologischen Diagnostik gesucht werden sollte [77; 136; 148; 149; 150].

3.2.5.2 Anatomie und Entwicklung

Die Knochenkerne treten mit etwa 4 bis 7 Jahren auf und ein markantes Merkmal stellt das Tuberculum ossis trapezii dar, welches durch die Haut tastbar ist [4; 8]. Es gibt eine große Gelenksfläche zum Metacarpus I, eine kleine zum Metacarpus II, eine konkave zum Os trapezoideum und eine direkt benachbarte Gelenksfläche zum Os scaphoideum [8].

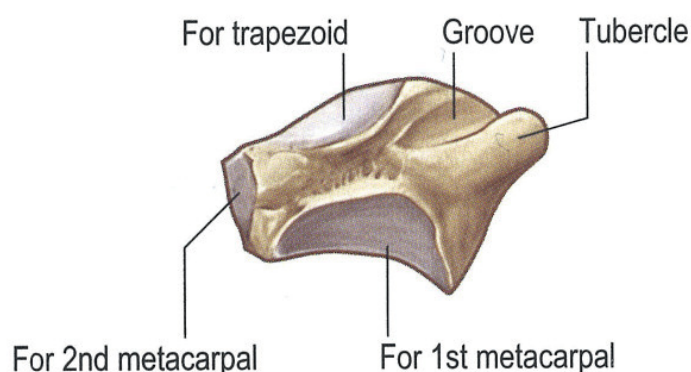


Abbildung 12: Os trapezium - Palmaransicht, aus Grays Anatomy - the anatomical basis of clinical practice 2008 [8]

3.2.5.3 Verletzungsmuster

Das Verletzungsmuster ist typischerweise eine direkte Krafteinwirkung von dorsoradialer Richtung für eine Trapeziumrandfraktur sowie ein indirektes Trauma für Korpusfrakturen oder Tuberculum ossis trapezii Abrissfrakturen [77; 149; 150]. Das Os trapezium kann dabei zwischen Processus styloideus radii und Metacarpus I eingeklemmt und verletzt werden [149].

Eine Kombination aus carpometacarpaler Gelenksluxation (CMC-Gelenksluxation) im Bereich des Daumens und einer Trapeziumfraktur ist äußerst selten, wurde aber an Kindern

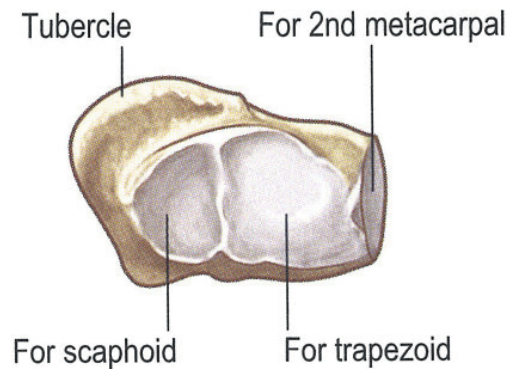


Abbildung 13: Os trapezium - proximomediale Ansicht, aus Grays Anatomy - the anatomical basis of clinical practice 2008 [8]

beispielsweise durch Parker et al 2008 an einem 12-Jährigen beschrieben [151].

3.2.5.4 Definition und Einteilung

Die Einteilung der Frakturen erfolgt in Korpus-, Rand- und Tuberkelfrakturen [77; 149; 150]. Randfrakturen können dabei in Spitzen- und Basisfrakturen, Korpusfrakturen noch weiter in vertikale, Trümmerfrakturen und Luxationsfrakturen eingeteilt werden [150].

Korpusfraktur	Vertikale Korpusfraktur Trümmerfraktur Luxationsfraktur
Randfraktur	Spitzenfraktur Basisfraktur
Tuberkelfraktur	

Tabelle 6: Einteilung der Trapeziumfrakturen [77; 149; 150]

3.2.5.5 Diagnostik und klinische Untersuchung

Als Symptom findet sich ein Druckschmerz im Bereich des Daumensattelgelenks. Es können zusätzlich eine Schwellung, Rötung oder Bewegungseinschränkung vorliegen [77].

3.2.5.6 Bildgebung

Eine Röntgenuntersuchung kann in vollständiger Pronation in A-P-Ansicht durchgeführt werden [150]. Allerdings wird zur Diagnostik meist eine CT-Untersuchung bei Erwachsenen empfohlen [77; 149; 150]. Insgesamt besteht Uneinigkeit in der Literatur darüber, welche

Untersuchung, CT oder MRT, eine okkulte Fraktur besser darstellen kann [15; 18]. Bei Unsicherheiten in der Diagnose sollte aber eine dieser Folgeuntersuchungen (CT oder MRT) durchgeführt werden.

3.2.5.7 Versorgung

Die Empfehlung bei Erwachsenen ist, unverschobene Frakturen in einer 4-wöchigen Immobilisierung zu versorgen. Bei stark verschobenen Frakturen muss eine offene Versorgung erfolgen, da die konservative Versorgung meist zu schlechten Ergebnissen führt [77; 149]. Bei Erwachsenen werden dabei Draht- oder Schraubenfixationen durchgeführt [77; 149]. Bei Kindern wurden sowohl konservative als auch operative Kirschner-Draht-Versorgungen durchgeführt [41; 49].

3.2.5.8 Komplikationen

Als mögliche Komplikationen treten Arthrose, Schmerzpersistenz und bleibende Bewegungseinschränkungen auf. Diese wurden aber bei Erwachsenen beschrieben [49; 77; 149]; bei Kindern liegen dazu keine ausreichenden Daten vor.

3.2.5.9 Prognose und Outcome

Die Fallzahlen lassen keine sichere Prognose der Frakturheilung zu. Insgesamt kann aber meiner Meinung nach eine schlechtere Prognose bei Trümmerfrakturen vermutet werden.

3.2.6 Trapezoideumfrakturen

Wie Frakturen des Os trapezium treten auch Frakturen des Os trapezoideum bei Kindern nur selten auf [41; 152]. Der Knochen ist klein und unregelmäßig geformt. Er weist Gelenkflächen zum Metacarpus II, zum Os capitatum, zum Os trapezium und zum Os scaphoideum auf [8].

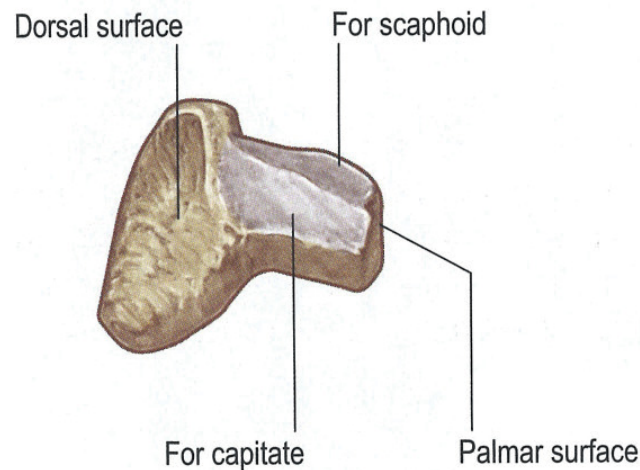


Abbildung 14: Os trapezoideum - proximomediale Ansicht, aus Grays Anatomy - the anatomical basis of clinical practice 2008 [8]

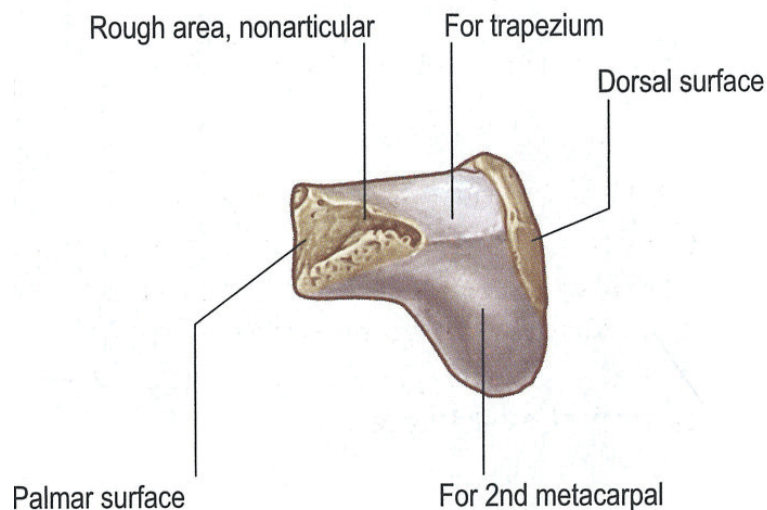


Abbildung 15: Os trapezoideum - distolaterale Ansicht, aus Grays Anatomy - the anatomical basis of clinical practice 2008 [8]

Es handelt sich dabei um die seltensten Frakturen des Carpus [47; 77]. Beim Erwachsenen treten diese Frakturen als Folge axialer Krafteinwirkungen auf, welche über den Metacarpus II weitergeleitet worden sind [77]. Ansonsten ist das Os trapezoideum durch starke Bandstrukturen gut vor äußeren Einflüssen geschützt [77].

Welling et al [16] konnten zeigen, dass das Os trapezoideum im Röntgen nicht dargestellt werden kann. Bei dringendem Verdacht auf eine Fraktur sollte daher eine CT-Untersuchung durchgeführt werden [77].

Meist werden diese Frakturen bei Erwachsenen und Kindern konservativ behandelt, bei starker Dislokation kann aber auch eine operative Versorgung notwendig sein [41; 77].

Aufgrund der Rarität der Verletzungen gibt es keine Daten über Komplikationen, Outcome und Prognose.

3.2.7 Capitulumfrakturen

3.2.7.1 Einleitung und Epidemiologie

Zu Frakturen im Bereich des Os capitatum kommt es meist bei einer Kombinationsverletzung mit dem Skaphoid (Skaphoid-Capitatum-Syndrom - siehe unter Punkt 3.2.7.11). Eine isolierte Fraktur ist aufgrund der anatomischen Lage des Os capitatum sehr selten [41; 153; 154]. In der Literatur zur kindlichen Capitulumfraktur finden sich überhaupt nur Fallberichte [41; 153; 154; 155; 156; 157]. Die Inzidenz einer Capitulumfraktur wird mit etwa 0,3 - 4,9% aller Handwurzelfrakturen angegeben, im Kindesalter sogar noch geringer [154; 156; 157; 158; 159; 160]. Der jüngste in der Literatur beschriebene Fall einer isolierten Capitulumfraktur ohne Beteiligung des Skaphoids wurde 1989 von Gibbon und Jackson an einem 9-jährigen Jungen beschrieben [156].

Die meisten Daten zur Fraktur und zum Skaphoid-Capitatum-Syndrom liegen von erwachsenen Patienten vor, bei Kindern jedoch nur sehr limitiert.

3.2.7.2 Anatomie und Entwicklung

Es handelt sich um den größten Knochen der Handwurzel, welcher mit dem Skaphoid, dem Os trapezoideum, dem Os hamatum, dem Os lunatum, dem II., dem III. und dem IV. Metacarpus Artikulationsflächen aufweist [8]. Im Alter von 2 Jahren sind nur das Os hamatum, das Os capitatum und gegebenenfalls das Os triquetrum ossifiziert [4; 8; 42]. Die Gefäßversorgung des Os capitatum erfolgt überwiegend von distal nach proximal, sodass der proximale Pol eher gefährdet ist [158; 159].

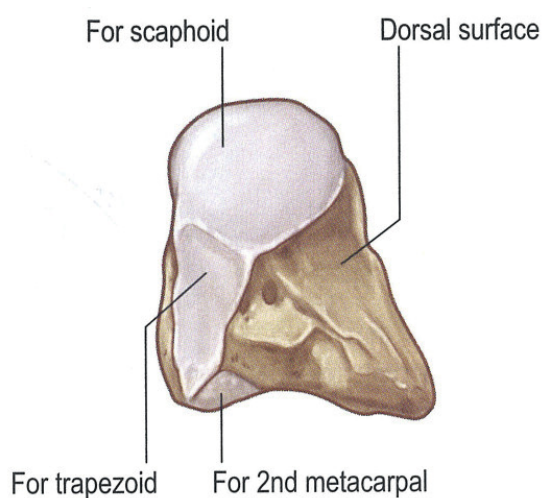


Abbildung 16: Os capitatum - Dorsalansicht, aus Grays Anatomy - the anatomical basis of clinical practice 2008 [8]

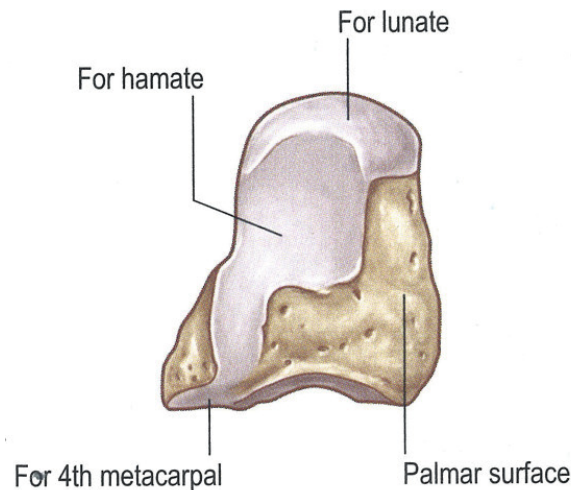


Abbildung 17: Os capitatum - Palmaransicht, aus Grays Anatomy - the anatomical basis of clinical practice 2008 [8]

3.2.7.3 Verletzungsmuster

Beim Verletzungsmuster handelt es sich meist um einen Sturz auf die nach dorsal flektierte Hand, welcher zu einer Hyperextension und zur Fraktur führt [154; 161]. Auch ein direktes Trauma kommt als Ursache in Betracht [154].

Stressfraktur Zu einer Ermüdungs- oder Stressfraktur kommt es bei Kindern insgesamt selten, an der Hand jedoch am häufigsten beim Os capitatum. Diese tritt vor allem bei Kindern auf, welche eine rezente Gipsimmobilisierung notwendig hatten und sich anschließend übermäßig beanspruchten [116].

3.2.7.4 Definition und Einteilung

Bei den meisten Frakturen des Os capitatum handelt es sich um unverschobene oder nur gering verschobene Frakturen [41; 153; 154]. Zu einer isolierten Fraktur kommt es nur äußerst selten und kindliche isolierte Frakturen sind absolute Raritäten.

Kuniyoshi et al konnten 2005 nur 29 Fallberichte zu isolierten Capitatumfrakturen finden [153]. Davon waren nur 3 verschoben und damit operationswürdig [153]. Der Anteil der kindlichen und jugendlichen Frakturen lag bei 8 von 29, der Anteil der rein kindlichen betraf überhaupt nur 4 der 29 beschriebenen Fälle mit einem Alter von 6, 9, 10 und 13 Jahren [153].

Die häufigste Lokalisation der Fraktur ist die Taille oder der Hals des Capitatum und der Frakturverlauf meistens quer, untypischer schräg [153; 154; 159].

Auch bei reinen Capitatumfrakturen kann es wie beim Fenton-Syndrom (siehe dazu auch Kapitel 3.2.7.11) zur Rotation des Köpfchens oder des proximalen Pols kommen [162; 163]. Abergis et al [162] zweifeln allerdings an, ob eine isolierte Fraktur des Os capitatum überhaupt vorliegen kann, da es im Zentrum liegt und von zahlreichen Knochen umgeben ist. Diese Begleitverletzungen können auf einem „normalen“ Röntgenbild übersehen werden [162]. Vor allem bei verschobenen oder verdrehten Frakturen muss daher nach einer Begleitverletzung im Bereich des mittleren Drittels des Skaphoids, des skaphotrapezialen Ligaments, des Os trapezium, des Os trapezoideum, des Lunotriquetrum-Bandes, des Os triquetrum oder des Os hamatum („Greater-Arc“) gesucht werden [161; 162].

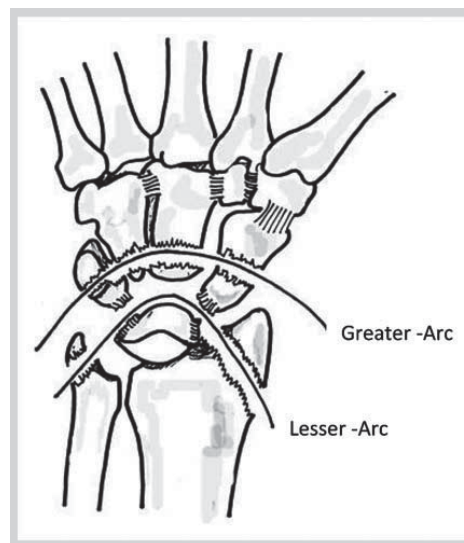


Abbildung 18: „Greater- und Lesser-Arc“ in Arbter et al [161] nach Johnson [164]

3.2.7.5 Diagnostik und klinische Untersuchung

Es können Schwellungen, Rötungen, Bewegungseinschränkungen und Schmerzen am dorsalen Handgelenk vorliegen [154]. Bei geringer Symptomatik besteht die Gefahr einer Fehldiagnose.

3.2.7.6 Bildgebung

Zu Beginn sollte ein Röntgen in dorso-palmarer und seitlicher Ansicht angefertigt werden [154; 158; 165; 166]. Es besteht allerdings das Risiko einer Fehldiagnose, insbesondere bei unverschobenen Frakturen [153; 166]. Persistieren die Schmerzen, ohne dass eine Diagnose gestellt werden konnte, so können auch weitere bildgebende Verfahren wie MRT, CT, Szintigraphie oder Durchleuchtung zum Einsatz kommen [154; 158; 159; 165; 167]. Vor allem

die MRT-Untersuchung kann gut zur Überprüfung der Vaskularisation und der Verlaufsdagnostik der Durchblutung verwendet werden [153].

3.2.7.7 Versorgung

Zur Versorgung stabiler unverschobener Frakturen sollte eine Gipsimmobilisierung im Unterarmgips mit Daumeneinschluss für 5 bis 8 Wochen gewählt werden [154; 158]. Gelegentlich kann eine offene operative Versorgung mit Kirschner-Drähten notwendig sein. Dies gilt vor allem bei stark verschobenen, nicht-reponierbaren Frakturen [41; 153; 154; 158].

3.2.7.8 Komplikationen

Als Komplikationen treten Pseudarthrosen und avaskuläre Nekrosen auf; beide bei Kindern allerdings äußerst selten [154; 158; 156]. Avaskuläre Nekrosen kommen vorwiegend am proximalen Pol vor, da das Os capitatum von distal her perfundiert wird [158; 159; 168].

Ein Fall einer Pseudarthrose bei einer Jugendlichen wurde durch Minami et al [169] beschrieben und eine Heilung gelang mittels Spongiosaplastik und 8-wöchiger Gipsversorgung [154; 158]. Eine Verschraubung mit Spongiosaplastik war bei Erwachsenen mit Pseudarthrose erfolgreich und kann eventuell auch bei Jugendlichen und Kindern angewendet werden [159].

3.2.7.9 Prognose und Outcome

Aufgrund der geringen Fallzahlen lässt sich keine Angabe zur Prognose bei Kindern machen.

3.2.7.10 Luxation des Capitatum

Eine isolierte Luxation des Os capitatum kommt äußerst selten vor [170]. Hirata et al konnten 1997 überhaupt nur einen Fall in der Literatur finden [170; 171].

3.2.7.11 Spezialfall: Skaphoid-Capitatum-Syndrom (Fenton-Syndrom)

Aufgrund der fehlenden genauen Definition des Skaphoid-Capitatum-Syndroms sollte nach manchen Autoren eher eine beschreibende Bezeichnung erfolgen oder der Begriff Capitatum-Syndrom verwendet werden [162]. Allerdings wurde auch eine Klassifikation 1980 durch Vance et al [172] erarbeitet (siehe Abbildung 19).

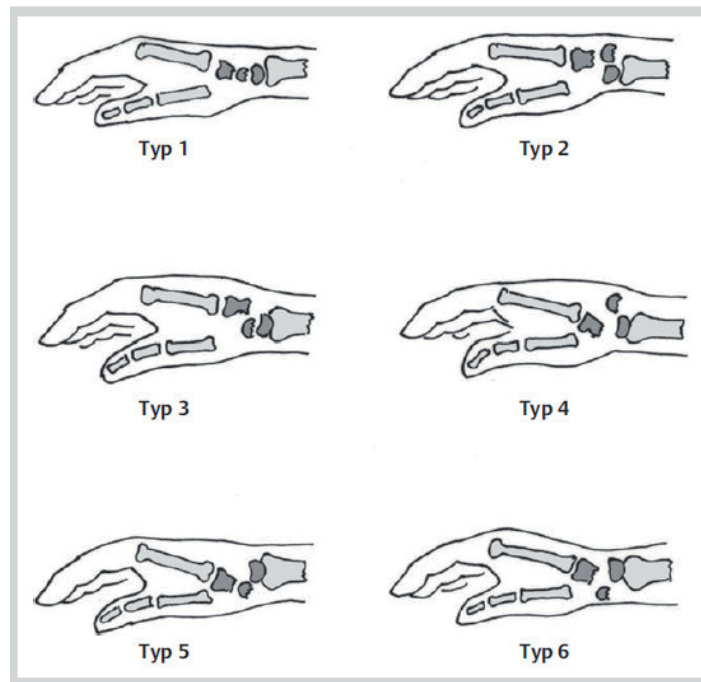


Abbildung 19: Einteilung des Skaphoid-Capitatum-Syndroms in Arbter et al [161] nach Vance et al [172]

Das typische Verletzungsmuster, welches zu einer Fraktur durch das mittlere Drittel des Skaphoids und beim Capitatum im Bereich des Überganges von mittleren zum proximalen Drittel („Hals“) führt, ist der Sturz aus großer Höhe auf das dorsalflektierte Handgelenk [41; 120; 162; 173; 174]. Ursache der Fraktur des Capitatum ist zunächst eine quere Skaphoidfraktur bei Hyperextension im Intercarpalgelenk mit anschließender Stauchungsfraktur des Os capitatum durch die dorsale Radiusgelenkklippe [161; 173; 175; 176].

Bei einer vollständigen Fraktur des Os capitatum kommt es regelmäßig zu einer Verdrehung des Köpfchens um 90° (und somit in Neutralstellung zu einer Verdrehung um 180°) und damit zu einer Abweichung von der distalen Lunatumoberfläche; eine spontane Reposition tritt gelegentlich auf [41; 161; 162; 173; 174; 175; 176].

Nach manchen Autoren ist das Skaphoid-Capitatum-Syndrom die Maximalvariante der perilunären Luxationsfraktur [161; 162; 175]. Siehe dazu auch unter dem Punkt Os lunatum in dieser Arbeit (Kapitel 3.2.2).

In der Gesamtzahl konnten von Arbter et al 2009 nur 32 Fälle in der Literatur gefunden werden [161]. Ein Vorkommen dieses Syndroms bei Kindern ist nur sehr selten beschrieben worden, allerdings sollte es differentialdiagnostisch bedacht werden, um eine Fehldiagnose zu vermeiden [135; 159; 168; 175].

Die Therapie liegt in einer offenen Reposition und Fixation [41; 173; 175; 176; 177]. Eine konservative Therapie wird nicht empfohlen [161; 173; 175]. Zur operativen Versorgung stehen prinzipiell Kirschner-Drähte oder Mini-(Herbert-)Schrauben zur Verfügung. Eine Rekonstruktion der Bandstrukturen wird von manchen Autoren durchgeführt [176], in anderen Fällen jedoch nicht [175].

Allerdings konnte aufgrund der geringen Fallzahlen bei Kindern wie auch bei Erwachsenen kein eindeutiger Vorteil eines bestimmten Systems gefunden werden.

3.2.8 Hamatumfrakturen

3.2.8.1 Einleitung und Epidemiologie

Es handelt sich dabei um seltene Verletzungen, wobei Hamulusfrakturen mit einer Häufigkeit von 1 - 2% aller carpalen Frakturen bei Erwachsenen auftreten [76; 178; 179; 180]. Gelegentlich kommt es zu Kombinationsverletzungen aus Radiusfrakturen und Os hamatum-Frakturen bei Erwachsenen [136].

Im sportlichen Sektor kommt es auffällig häufig zu Verletzungen des Hamulus des Os hamatum. Relevante Sportarten sind dabei Spiele mit Schlägern wie zum Beispiel Tennis, Golf und Baseball [178; 180; 181].

3.2.8.2 Anatomie und Entwicklung

Das Os hamatum besitzt einen kleinen Haken (Hamulus), welcher nach palmar gerichtet ist und befindet sich im Hypothenarbereich. Es bestehen Verbindungen zum Musculus flexor digiti minimi brevis, dem Ligamentum pisohamatum und Kontaktflächen zum Os metacarpale IV und Os metacarpale V sowie zum Os capitatum, Os lunatum und Os triquetrum [4; 8; 181]. Ab dem Alter von 2 Jahren ist das Os hamatum, genauso wie das Os capitatum, ossifiziert [42].

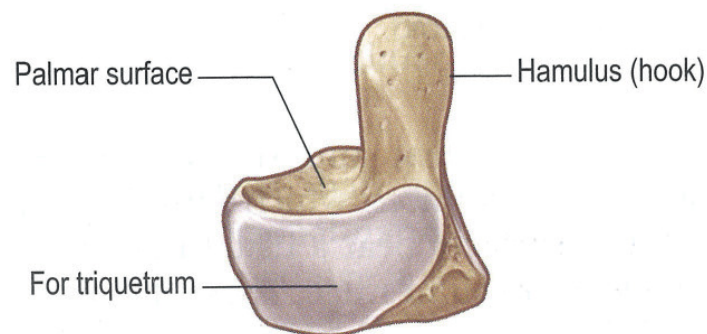


Abbildung 20: Os hamatum - Lateralansicht, aus Grays Anatomy - the anatomical basis of clinical practice 2008 [8]

3.2.8.3 Verletzungsmuster

Es werden verschiedene Verletzungsmuster beschrieben. Bei Sportverletzungen kommt es durch eine starke Kraft oder durch repetitive Stöße des Schlägergriffes auf den Hamulus zu einer Fraktur. Bei Tennis, Squash und anderen Schlägersportarten wird meist die dominante Hand, bei Golf und Baseball meist die nicht dominante Hand verletzt. Auch Stürze oder Motorradunfälle können die Fraktur verursachen [76; 180; 181; 182; 183; 184; 185]. Das

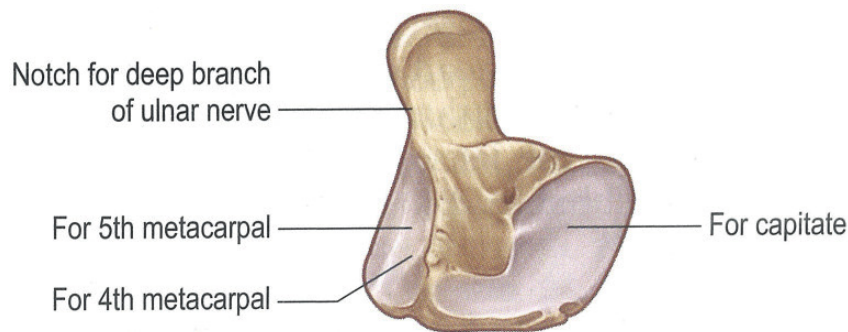


Abbildung 21: Os hamatum - Medialansicht, aus Grays Anatomy - the anatomical basis of clinical practice 2008 [8]

Verletzungsmuster bei Stürzen ist durch die direkte Kraft bei Handgelenks-Dorsalflexion und die gleichzeitige Kontraktion der Hypothenarmuskulatur bedingt [181]. Auch ein Sturz oder eine Krafteinwirkung auf die ulnare Handkante kann eine Fraktur bewirken [41]. Eine Luxationsfraktur im Hamatometacarpalgelenk tritt vor allem bei Schlägen mit der zur Faust geballten Hand auf [186].

3.2.8.4 Definition und Einteilung

Die Frakturen können wie folgt eingeteilt werden [179]:

- Hamulusfrakturen (häufiger)
- Korpusfrakturen (seltener)

Da es häufig zu einer Beteiligung des CMC-Gelenks (Hamatum und Metacarpalknochen) kommt, ist noch eine weitere Einteilung für Erwachsene nach Cain et al [187] von 1987 gebräuchlich, welche aber von Kim und Shin [186] 2012 modifiziert wurde [41; 179; 186]:

3.2.8.5 Diagnostik und klinische Untersuchung

Bei der Untersuchung können Schmerzen bzw. Druckschmerz im Bereich des Hypothenars oder der Handfläche vorkommen. Eine eingeschränkte Greifkraft sowie Verstärkung der Schmerzen durch starkes Zugreifen können auftreten. Gelegentlich werden auch Unterarmschmerzen beim Zugreifen angegeben. Außerdem können Parästhesien durch eine Nervus ulnaris-Kompression vorliegen [41; 49; 76; 178; 180].

Bezeichnung	Definition
I	CMC-Luxation Metacarpus IV und V - IV. Metacarpusbasisfraktur ± kleines Abrissegment am Os hamatum
IIA	CMC-Luxation Metacarpus IV und V + IV. Metacarpusbasisfraktur ± kleines Abrissegment am Os hamatum
IIB	CMC-Luxation Metacarpus IV und V ± IV. Metacarpusbasisfraktur + kleines dorsales Fragment am Os hamatum
III	CMC-Luxation Metacarpus IV und V ± IV. Metacarpusbasisfraktur + großes dorsales Fragment am Os hamatum

Anm.: kleines Abrissegment: dorsaler Randabriss ohne Beteiligung der Gelenksfläche

kleines dorsales Fragment: weniger als 1/3 der Gelenksfläche

großes dorsales Fragment: mehr als 1/3 der Gelenksfläche

- = ohne; + = mit; ± = mit oder ohne

Tabelle 7: Klassifikation der hamatometacarpalen Luxationsfraktur nach Röntgen und CT-Bildern [186]

3.2.8.6 Bildgebung

Es werden sowohl anterior-posterior, 20° schräge und Karpaltunnel-Ansichten verwendet [41; 181]. Die Karpaltunnel-Ansicht ist für die Diagnose der Hamulusfraktur häufig notwendig, wobei trotzdem Fehldiagnosen vorkommen können [76]. Als weitere bildgebende Verfahren kommen bei negativem Röntgen und hohem klinischen Verdacht Ultraschall, CT oder MRT zum Einsatz [41; 42].

Ein zweigeteiltes Os hamatum muss als Differentialdiagnose zur Fraktur ausgeschlossen werden [110].

3.2.8.7 Versorgung

Bei unverschobenen akuten Korpusfrakturen wird eine Immobilisierung für 4 - 6 Wochen durchgeführt [179].

Verschobene Frakturen oder Luxationsfrakturen sollten offen operativ versorgt werden [179].

Nach Goddard ist bei Hamulusfrakturen sogar eine symptomatische Therapie ausreichend [41]. Dem entgegen finden sich in der Literatur Meinungen, dass die konservative Therapie eine hohe Versagerrate bei Hamulusfrakturen hat [76; 180]. Sollte eine Hamulusfraktur nach Gipsimmobilisierung nicht oder nur eingeschränkt heilen, kann eine frühe chirurgische Versorgung mittels Kirschner-Draht oder Schrauben durchgeführt werden [178; 180]. Eine Fragmentextraktion bietet sich als Alternative an und wird meist an erwachsenen Athleten durchgeführt [76; 178; 180; 181; 184]. Dabei besteht ein gewisses Risiko einer Schädigung des Nervus ulnaris [178]. Scheufler et al konnten 2005 zeigen, dass kein Unterschied zwischen Extraktion und chirurgischer offener Fixierung in Bezug auf Kraft und Komplikationen

besteht [180]. Eine Beschwerdefreiheit und Heilung kann in 2/3 der Fälle durch eine offene Reposition und Fixierung erzielt werden [180]. Es konnte an Kadavermodellen gezeigt werden, dass bei Hamulusexzisionen verminderte Greifkräfte auftreten können [180; 185].

Welche Technik, Exzision oder interne Fixierung, überlegen ist, bleibt derzeit noch unklar. Eventuell ist eine Exzision bei verzögerter Diagnosestellung sinnvoller bzw. interne Reposition und Fixierung bei akuten verschobenen Hamulusfrakturen besser.

3.2.8.8 Komplikationen

Vor allem bei verzögerter Diagnosestellung kommt es zu Komplikationen. Dies inkludiert Nervus ulnaris-Schädigung mit Parästhesien, Pseudarthrosen durch schlechte Blutversorgung des Hamulus, Sehnenruptur oder persistierende Schmerzen [41; 178; 182; 185].

Pseudarthrosen des Hamulus fallen klinisch durch persistierende Schmerzen im Hypothemenbereich auf und die Diagnose kann meist durch eine CT-Untersuchung gestellt werden [183; 184]. Eine Exzision des Hamulus wird oft bei erwachsenen Athleten durchgeführt [184], alternativ kann der Versuch einer niedrig-energetischen pulsierenden Ultraschalltherapie durchgeführt werden [182; 183].

3.2.8.9 Prognose und Outcome

Eine Studie von Devers et al 2013 [178] zeigte an 17- bis 21-jährigen Athleten, dass eine Rückkehr zum Sport nach einer Hamulusexzision nach 6 Wochen möglich ist [178].

Insgesamt sind die Ergebnisse sehr verschieden, allerdings berichten zahlreiche Patienten über keinerlei Einschränkungen [179].

3.3 Metacarpalfrakturen-Mittelhandfrakturen

3.3.1 Einleitung und Epidemiologie

Bei Kindern machen Frakturen im Metacarpus etwa 4,5 - 8,1% der Gesamtzahl an Frakturen und etwa 10 - 40% aller Handfrakturen aus [30; 31; 188; 189; 190; 191; 192]. Phalanx- und Metacarpalfrakturen machen gemeinsam etwa 21% aller Frakturen im Kindesalter aus [190], während bei Erwachsenen Zahlen von 10% angegeben werden [193]. In einer Untersuchung von Valencia et al über die Jahre 1993 - 2002 waren von 7352 Frakturen im Phalanx- und Metacarpalbereich an Patienten unter 14 Jahren etwa 10% im Metacarpalbereich aufgetreten [33]. Eine Studie von Van Onselen et al konnten 855 Handfrakturen an sämtlichen im Krankenhaus vorstellig werdenden Patienten zeigen, wovon 283 im Metacarpus, entsprechend 33%, waren [37]. Die Untersuchung von Court-Brown et al zeigte über das Jahr 2000 insgesamt 7863 Frakturen [192]. Davon entfielen 2287 Frakturen auf Kinder, wovon 186 Frakturen im Metacarpalbereich lokalisiert waren; eine operative Versorgung erfolgte in nur 6 Fällen [192].

Die Verteilung der Metacarpalfrakturen auf die verschiedenen Strahlen weist Besonderheiten auf. So fanden Gudmundsen und Borgen in ihrer Untersuchung an Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen (Alter: 7 - 51 Jahre) ein Verteilungsmuster der Frakturen wie in Tabelle 8 angeführt [194]:

Metacarpus	Anzahl der Frakturen	% aller Metacarpalfrakturen
I	57	11,5
II	35	7,1
III	49	9,9
IV	83	16,8
V	271	54,7

Tabelle 8: Metacarpalfrakturen - Verteilung nach betroffenem Strahl nach Gudmundsen und Borgen [194]

Van Onselen et al zeigten, ebenfalls bei Patienten aus allen Altersgruppen, folgendes Verteilungsmuster (Tabelle 9) [37]:

Das mediane Alter beträgt in einer Studie von Chew und Chong 2012 [195] 15 Jahre und ist damit höher als das mediane Alter der proximalen Phalanxfrakturen mit 12 Jahren [195]. Andere Autoren geben ebenfalls an, dass der Altersbereich der 13- bis 16-Jährigen eine besonders hohe Verletzungsrate aufweist und das männliche Geschlecht überwiegt [30; 191; 195; 196; 197].

Metacarpus	Anzahl der Frakturen	% aller Metacarpalfrakturen
I	19	6,7
II	27	9,5
III	32	11,3
IV	50	17,7
V	155	54,8

Tabelle 9: Metacarpalfrakturen - Verteilung nach betroffenem Strahl nach Van Onselen et al [37]

Von allen Metacarpalfrakturen befinden sich 56 - 70% im subcapitalen Bereich [188; 196]. Die subcapitale Fraktur im fünften Strahl kommt am häufigsten vor und macht etwa 41 - 80% aller Metacarpalfrakturen aus [22; 33; 188; 198]. Diese Verletzung wird umgangssprachlich auch als Boxerfraktur bezeichnet [190; 199] und ist die häufigste Handfraktur bei 13- bis 16-Jährigen [188; 196]. Auch subcapitale Frakturen im vierten Strahl treten häufig auf [21; 190; 194]. Hunter und Cowen beschrieben 1970 in der Untersuchung 60% Kopf- und subcapitale Frakturen, 6% Schaft- und 34% Basisfrakturen bei einer Gesamtzahl von 133 Metacarpalfrakturen [200].

Kopffrakturen mit Epiphysenbeteiligung treten mit etwa 4% der Metacarpalfrakturen bei Kindern auf. 18% aller Metacarpalfrakturen und etwa 7% aller Handfrakturen zeigen eine Beteiligung der Wachstumsfuge [188; 195]. Etwa 85 - 90% der Kopffrakturen mit Epiphysenfugenbeteiligung sind Salter-Harris-II-Frakturen [188; 201] und der Kleinfinger-Metacarpalkopfbereich ist der häufigst betroffene Strahl [188; 201].

Schaftfrakturen im Metacarpalbereich sind selten; es finden sich Häufigkeiten von 10 - 14% aller Metacarpalfrakturen und 3 - 5% aller Handfrakturen. Dabei kommt es praktisch nie zu Verletzungen des Zeigefingers und selten des Daumens [188; 190].

Metacarpale Basisfrakturen sind mit 13 - 20% an den Metacarpalfrakturen bei Kindern beteiligt, davon 50 - 66% im fünften Strahl [188; 190; 201]. Am Daumen ist die Basisfraktur das häufigste Verletzungsmuster [198].

Bei Kombinationsverletzungen finden sich am häufigsten Frakturen im Metacarpus IV und V, gelegentlich auch mehr als zwei frakturierte Metacarpalknochen [202; 203; 204].

3.3.2 Anatomie

An den Metacarpus schließen proximal der Carpus und distal die Phalangen an [4; 8]. Es gibt insgesamt fünf Metacarpalknochen, wobei der Daumen eine Sonderstellung aufgrund der anatomischen Lage einnimmt. Die Wachstumsfuge der Knochen ist bei den Metacarpalia II bis V im Kopfbereich, beim Daumen allerdings an der Basis zu finden [13; 21; 22].

Besonderheiten in Bezug auf die Wachstumsfuge des Metacarpus I sind:

- die Pseudoepiphyse: distale funktionslose Wachstumsfuge, welche früher als die eigentliche Epiphysenfuge auftritt [13] und
- die doppelte Epiphysenfuge: normale Funktion, führt aber nicht zu einem übermäßigen Wachstum [13].

Die Metacarpalknochen sind von Muskulatur bedeckt und weisen eine von proximal nach distal veränderte Form, breite Basis, schmaler Schaft, breiter Hals und Kopf auf [7; 8; 10]. Dorsalseitig finden sich die Sehnen der Strecker und zwischen den Metacarpalia die Interosseus-Muskulatur [7].

Der größte Metacarpus ist der des Zeigefingers, welcher an der breiten Basis eine Gabelung aufweist [8; 205; 206]. Vom Metacarpus II bestehen Artikulationsflächen mit dem Trapezoidum, dem Trapezium, dem Capitatum und dem Metacarpus III [4; 7; 8; 205]. Der dritte Metacarpus weist an seiner Basis einen Fortsatz, den Processus styloideus auf [7; 8].

Die Metacarpophalangealgelenke sind durch Seitenbänder gut stabilisiert, diese sind bei Extension entspannt, bei Flexion angespannt [193; 207]. Eine Besonderheit ist das Sattelgelenk im Metacarpus I, welches Bewegungen in drei Ebenen, nämlich Ab- und Adduktion, Flexion und Extension und Opposition zulässt [4; 7]. Der Daumen ist außerdem relativ kurz im Vergleich zu den restlichen Fingern, da er nur zwei Phalanxglieder aufweist [6; 8].

3.3.3 Verletzungsmuster

Einer der häufigsten Unfall- oder Verletzungsmechanismen ist der Sturz auf die Hand oder der Schlag gegen einen Gegenstand [191]. Nach Gudmundsen und Borgen wird etwa die Hälfte der Metacarpalfrakturen durch Gewalthandlungen verursacht [194]. Insbesondere der fünfte Strahl (seltener auch der Metacarpus IV) wird häufig durch den Schlag mit der zur Faust geballten Hand gegen eine harte Fläche im subcapitalen Bereich frakturiert [188; 190; 208; 209; 210]. Ist der Metacarpus V betroffen, so spricht man auch von einer Boxerfraktur, allerdings tritt diese ironischerweise bei der Verwendung von Boxhandschuhen kaum auf [190; 194]. Unabhängig vom Verletzungsmechanismus findet sich als Ursache

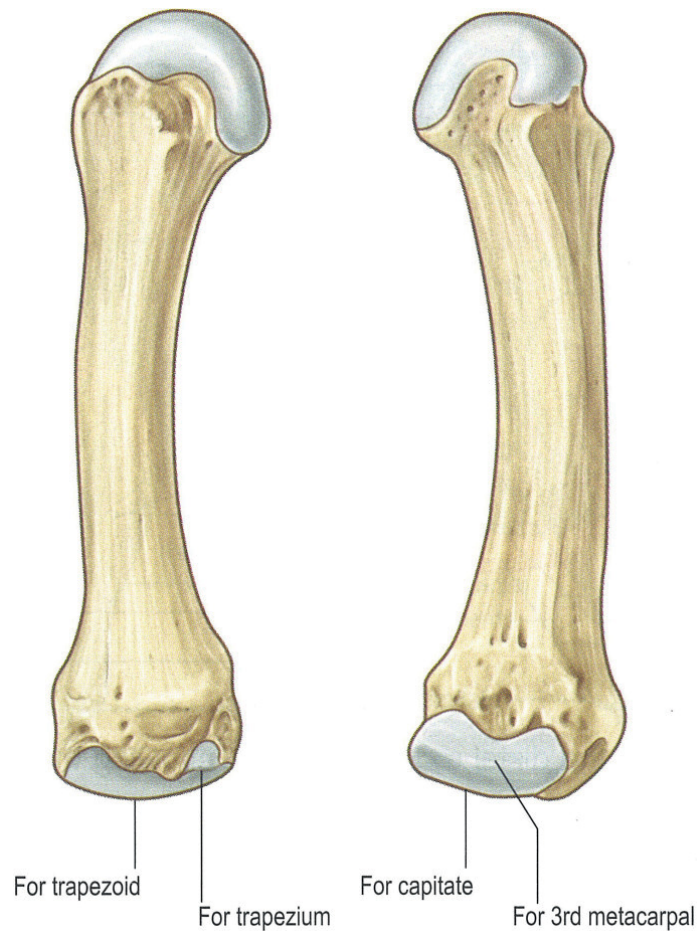


Abbildung 22: Os metacarpale II - links: Lateralansicht, rechts: Medialansicht, aus Grays Anatomy - the anatomical basis of clinical practice 2008 [8]

einer subcapitalen Fraktur die direkte Krafteinwirkung mit anschließender Transversalfraktur und häufig einer apex-dorsalen Abweichung [188; 210; 211]. Nach einer Untersuchung von Bansal und Craigen an Jugendlichen und Erwachsenen sind häufiger Männer auf der dominanten Seite bei subcapitalen Metacarpalfrakturen betroffen [212]. Andere Ursachen für Frakturen sind Sportverletzungen und im angloamerikanischen Raum auch Schussverletzungen [21; 188; 213]. Bei Kontaktsportarten können dabei vor allem subcapitale und Schaftfrakturen auftreten [76].

Durch einen Sehnenzug kann es zu Abrissfrakturen kommen, wobei für jeden der Metacarpalknochen unterschiedliche Sehnen ursächlich sind. Am Metacarpus II handelt es sich um die Sehne des Musculus extensor carpi radialis longus, am Metacarpus III um die Sehne des Musculus extensor carpi radialis brevis und am Metacarpus V um die Sehne des Musculus extensor carpi ulnaris [193].

Verkehrsunfälle (Hochenergietraumata) und Gewaltverbrechen sind die häufigsten Ursachen für multiple Metacarpalfrakturen [202; 203]. Am häufigsten treten bei Jugendlichen und Er-

wachsenen Kombinationen aus Frakturen des 4. und 5. Metacarpus auf [202].

Besondere Verletzungssituationen liegen beispielsweise vor, wenn es durch eine längere Immobilisierung zu einer generalisierten Osteoporose gekommen ist und damit eine Fraktur bereits bei geringem Trauma auftreten kann [214]. Eine Untersuchung von Lohiya et al 1999 in einer Behandlungseinrichtung für Menschen mit besonderen Bedürfnissen zeigte dies, ebenso wie eine Epilepsie in der Anamnese, als Risikofaktor für eine Fraktur [214]. Außerdem konnten Longhi et al 2013 zeigen, dass adipöse Kinder schmalere Metacarpalknochen besitzen, welche weniger frakturresistent sind und eine schlechtere Knochenqualität aufweisen [215].

Der Daumen nimmt eine besondere Stellung ein. Frakturen werden meist durch eine direkte oder axiale Krafteinwirkung verursacht und können im Rahmen von Einklemmungen, Stürzen oder bei Sportverletzungen auftreten [13; 190; 211].

3.3.4 Definition und Einteilung

Da sich die AO-Klassifikation bisher nicht durchsetzen konnte, können die Frakturen wie folgt eingeteilt werden:

- Kopffrakturen
- Subcapitale Frakturen („Neck“)
- Schaftfrakturen
- Basisfrakturen [189; 190; 211; 216]

Weiters können die Frakturen in die Richtung der Abweichung eingeteilt werden:

- Apex-palmar
- Apex-dorsal - häufiger [193; 216]

Im Kopfbereich der Metacarpalia können intra- oder extraartikuläre Frakturen auftreten, wobei letztere überwiegen und bei Kindern meist als Salter-Harris-Typ II Frakturen vorliegen und somit die Epiphysenfuge beteiligen [189; 190; 216]. Auch diese finden sich vor allem im fünften Strahl [216].

Die subcapitalen Frakturen treten vor allem im fünften Strahl auf, finden sich dort auch häufiger als Schaftfrakturen und weisen meist eine transversale Frakturlinie auf [189; 190; 209].

Häufig sind diese instabil, da die Musculi interossei eine Verschiebung begünstigen [210].

Im Schaftbereich findet sich ein Muster der Verletzung, welches transversal bei direktem Trauma und spiralförmig bei Torsionsverletzungen ist [189]. Sie sind insgesamt selten und meist verrotiert [188; 190]. Bei den in den Strahlen III-V auftretenden kindlichen metacarpalen Schaftfrakturen handelt es sich meistens um Spiralfrakturen [188].

Basisfrakturen können eine Gelenksbeteiligung aufweisen. Instabile Frakturen sind häufig mit einer carpometacarpalen (Sub-)Luxation assoziiert und der kleine Finger ist nach dem Daumen am häufigsten betroffen [188; 189; 211]. Die Basisfrakturen bei Kindern sind im Frakturmuster meist transversal [188; 189]. Eine, der Bennettfraktur am Daumen ähnliche Verletzung des Metacarpus V kann als sogenannte „reverse bennett fracture“ (auch: „mirrored bennett fracture“) vorliegen. Der Zug des Musculus extensor carpi ulnaris und des Musculus adductor digiti minimi führt zu dieser Abrissfraktur [211; 217].

Basisfrakturen finden sich in der Hand vor allem am Metacarpus I [190]. Die Daumenbasisfrakturen werden bei Erwachsenen vor allem in:

- Bennettfrakturen - intraartikulär [218]
- Rolandofrakturen - intraartikulär
- Wintersteinfrakturen - extraartikulär [190; 211; 217] eingeteilt.

Der Mechanismus einer Bennettfraktur ist die Dislokation des Schaftes nach radiodorsoproximal durch einen Zug des Musculus abductor pollicis longus und des Musculus adductor pollicis, während ein ulnopalmares Segment, durch den Bandapparat fixiert, verbleibt [21; 190; 211; 217]. Eine Rolandofraktur wurde früher in eine T- oder Y-Form eingeteilt, heute ist jedoch jede mehrteilige Fraktur inklusive Trümmerfrakturen im Gelenksbereich einer Rolandofraktur zugeordnet [21; 211; 219]. Die Wintersteinfraktur ist im Bereich der Basis lokalisiert, aber extraartikulär und der Zug des Musculus interosseus dorsalis I führt zu einer Adduktion des proximalen Fragmentes [21; 211]. Am Daumen werden die Basisfrakturen bei Kindern aber häufig nach der Salter-Harris-Einteilung klassifiziert [13].

Bei Daumenfrakturen im Schaftbereich handelt es sich bei Kindern häufig um Grünholzfrakturen [33; 220].

3.3.5 Diagnostik und klinische Untersuchung

Die Untersuchung setzt sich nach genauer Anamnese mit Fokus auf den Unfallhergang aus Inspektion, Palpation und Funktionsprüfung zusammen. Dabei sollte auf Rötungen,

Schwellungen, Deformitäten, Krepitationen oder Funktionseinschränkungen geachtet werden. Durchblutung, Motorik und Sensibilität sollten gründlich untersucht werden. Besonderes Augenmerk sollte man auf die Erkennung eines möglichen Kompartmentsyndromes legen. Je schwerer der Unfallhergang und je mehr Finger betroffen sind, desto eher ist ein Kompartmentsyndrom der Hand möglich [76; 188; 207; 211]. Bei subcapitalen Frakturen tritt es allerdings äußerst selten auf [188].

Die kindliche Hand weist eine hohe Rate an Toleranzen für Abweichungen auf, rotatorische Verdrehungen werden hingegen nur schlecht toleriert und in der weiteren Entwicklung praktisch nicht ausgeglichen. Aus diesem Grund muss auf Rotationsfehler (Torsionsfehler) besonders geachtet werden [21; 76; 188; 193; 200; 207; 217], welche bei leicht flektierten Fingern anhand einer Überlappung und in Extension durch Irregularitäten in der Nagelebene erkannt werden können [76; 188; 211], in Einzelfällen (starke Schwellung) aber auch schwierig zu diagnostizieren sind [188]. Auch Verkürzungen müssen im Rahmen der klinischen Untersuchung ausgeschlossen werden. Ein eingesunkener Metacarpalkopf oder ein Extensionsdefizit können indirekte Hinweise auf eine Fraktur sein und eine dorsale Abweichung kann durch ein abgesunkenes Fingerknöchelchen erkannt werden [76; 207; 211; 221]. Auf (Sub-)Luxationen muss geachtet werden, dies insbesondere im fünften und ersten Strahl [188].

Da viele der Verletzungen durch Gewalthandlungen verursacht sind, sollte auf eine intakte Hautbarriere geachtet werden. Im Rahmen eines Raufhandels kann es zu Bissverletzungen kommen, welche schwere Infektionen im Frakturbereich, im Metacarpophalangeal-Gelenk (MCP-Gelenk) und in der gesamten Hand verursachen können [188; 211].

In der klinisch-radiologischen Untersuchung und Diagnostik muss besonders auf die akzeptablen Winkelabweichungen geachtet werden, welche für die verschiedenen Metacarpalia und Frakturtypen unterschiedlich sind.

Im weiteren Behandlungsverlauf muss die klinische Untersuchung auch die Heilung feststellen, um möglichst früh mit einer Mobilisierung beginnen zu können. Dies kann anhand einer fehlenden Druckschmerzhaftigkeit im Frakturbereich erkannt werden. Bildgebende Methoden sind nicht hilfreich, da diese erst zeitverzögert eine Aussagekraft über die Heilung geben [193; 211].

3.3.6 Bildgebung

Die Auswahl der bildgebenden Verfahren richtet sich nach der vermuteten Lokalisation der Fraktur, den Begleitverletzungen und dem Alter des Kindes. Im Routinebetrieb werden meist Röntgenaufnahmen in zwei oder drei Ebenen (posterior-anterior, schräg-proniert/supiniert und lateral) durchgeführt [188; 207; 211; 222]. Die zwei erstgenannten Aufnahmen sind nach Braakman nach einer Untersuchung von 1998 an Erwachsenen ausreichend für die Diagnostik von 4. oder 5. subcapitalen Metacarpalfrakturen und es besteht bei diesen Frakturen kein Informationszuwachs durch zusätzliche laterale Röntgenaufnahmen, da die typischen Abweichungen am besten in der schräg-pronierten Ansicht dargestellt werden [222]. Auch im Verlauf einer konservativen Versorgung im 4. oder 5. Strahl sind wiederholte Röntgenbilder nur bei Verdacht einer Veränderung der Fraktur(lage) sinnvoll und indiziert [223]. Im Rahmen anderer Frakturen, beispielsweise Trümmerfrakturen oder Frakturen mit Abweichungen in AP-Richtung, können zusätzliche Aufnahmen in lateraler Ansicht sinnvoll sein [222]. Sivit et al sind dagegen der Meinung, dass eine subcapitale Fraktur im fünften Strahl in PA-Richtung nur schlecht erkennbar ist, weswegen schräge und laterale Ansichten gewählt werden sollten [190]. Windolf et al sind der Meinung, dass für den zweiten bis fünften Strahl dorsopalmare, schräge und seitliche Ansichten notwendig sind, da basisnahe Frakturen besser in seitlichen Ansichten erkannt werden können [211]. Frakturen der Metacarpalia II und III sollten nach Meinung verschiedenster Autoren in 45° Pronation, die Strahlen IV und V allerdings in 45° Supination dargestellt werden [207; 211]. Nach Yeh und Dodds können schräge Ansichten bei Kindern fehlleitend sein und es sollte auf laterale Ansichten zurückgegriffen werden [198]. Insgesamt werden Fehldiagnoseraten von etwa 8% beschrieben [195].

Außerdem sollte auf etwaige Luxationen und vor allem bei subcapitalen Frakturen auf alte verheilte Frakturen (frühere Gewalthandlungen) geachtet werden [188; 217]. Eine zusätzliche Einstellung nach Brewerton und bei Erwachsenen eine Durchleuchtung kann für Abrissfrakturen am Metacarpalkopf hilfreich sein [21; 193].

Frakturen des Daumenstrahls sollten in zwei Ebenen, nämlich in dorsopalmarer und lateraler Ansicht, geröntgt werden [207; 211]. Gelegentlich sind auch Schrägaufnahmen des Daumens notwendig [13].

Eine weitere Untersuchungsmethode ist die CT, welche vor allem bei Kopffrakturen zur Darstellung der Gelenksbeteiligung, bei intraartikulären Basisfrakturen und bei Gelenksbeteiligung im Metacarpus I sinnvoll ist [211]. Auch multiple oder Trümmerfrakturen können mit der CT dargestellt und der folgende operative Eingriff gut geplant werden [188; 193; 211].

Weitere Methoden sind die MRT, welche auch begleitende Weichteilschäden darstellen kann sowie die Szintigraphie oder der Ultraschall in besonderen Fällen [205; 206].

3.3.7 Komplikationen

Die Komplikationen können einerseits in frakturbedingte Komplikationen oder in Nebenwirkungen und Probleme durch die ärztliche Frakturversorgung eingeteilt werden. So haben verschiedene Frakturen unterschiedlich hohe Komplikationsraten und die einzelnen Osteosyntheseverfahren ebenfalls Risiken.

Eine metacarpale Fraktur im zweiten bis fünften Strahl kann mit einer Rotation der Frakturteile einhergehen. Dies führt zu einer nachfolgenden Überkreuzung der Finger beim Faustschluss und vermindert somit den Bewegungsumfang und die Greifkraft [224]. Eine Fehlrotation im Daumenstrahl hat allerdings selten klinische Relevanz [13; 224]. Auch Verkürzungen können auftreten und ein eingesunkenes Metacarpalköpfchen kann kosmetisch störend sein [188; 211; 219]. Bei Daumenbasisfrakturen mit Gelenksbeteiligung kann es, auch bei ausgezeichneter Versorgung, zu Arthrosen kommen [188; 211; 219]. Bei Kopffrakturen können avaskuläre Nekrosen und bei Beteiligung der Wachstumsfuge kann ein Wachstumsstillstand auftreten [13; 188; 216; 220]. Eine Gelenksbeteiligung bei Kindern kann bei Kopffrakturen Steifigkeit, persistierende Schmerzen und bleibende Funktionseinschränkungen verursachen; dies tritt bei extraartikulären Kopffrakturen aber nicht auf [21; 188]. Vor allem bei schweren Verletzungen kann es selten zur Ausbildung eines Kompartmentsyndromes kommen [188; 225]. Bei offenen Verletzungen besteht immer ein Risiko einer tiefen oder oberflächlichen Infektion, insbesondere wenn Bissverletzungen vorhanden sind [188; 211].

Technische Komplikationen sind abhängig vom verwendeten System:

- Platten: Steifigkeit, Sehnenadhäsion, tastbare störende Platte, Infektion, chronische Schmerzen, Nervenschäden, Plattenbruch [193; 204; 221; 226; 227; 228; 229]
- absorbierbare Materialien: Weichteilreaktion, Infektion, Fistelbildung [226; 230]
- Spongiosaschrauben: Sehnenadhäsion, Infektion, Steifigkeit [204]
- Transversale Kirschner-Drähte: Infektion, Weichteiladhäsion, Verletzung der Interosseusmuskulatur, MCP-Gelenksverletzung [208; 231; 232; 233]
- Intramedulläre Kirschner-Drähte: Infektion, Migration, distale Perforation, Extensorsehnenverletzung, Schädigung des Ramus dorsalis Nervus ulnaris [204; 221; 231; 233; 234]

- elastisch-stabile Intramedullärnagelung (ESIN): Dislokation, Nervenschädigung mit reversibler Hypästhesie, Hautirritation, Infektion, Extensorsehnenirritation, meist Entfernung in Allgemeinnarkose notwendig [191; 234]

Wichtige Einflussfaktoren auf das Outcome und die Komplikationsrate sind das initiale Trauma und die Begleitverletzungen. So sind beispielsweise Plattenstabilisierungen mit einer relativ hohen Komplikationsrate assoziiert, können aber trotzdem die Methode der Wahl für bestimmte Situationen, beispielsweise für multiple Frakturen oder Trümmerfrakturen, darstellen [191; 228; 229].

3.3.8 Prognose und Outcome

Das Outcome und die Prognose sind vor allem von der Frakturschwere und dem Ausmaß des Weichteilschadens sowie von der Art der Begleitverletzungen (Gefäße, Nerven, Muskulatur, Weichteile) abhängig. Multiple Metacarpalfrakturen mit ausgeprägtem Weichteilschaden weisen dabei ein schlechteres funktionelles Outcome auf und die Art der chirurgischen Versorgung hat einen weniger starken Einfluss auf das Outcome [202; 208; 228].

Die kindliche Hand hat ein großes Regenerationspotenzial, weswegen Wachstumsstörungen selten vorkommen. Fehlstellungen in der Sagittalebene können ausgeglichen werden, Abweichungen in Frontalebene oder Rotationsfehler bleiben bestehen und müssen daher chirurgisch versorgt werden [21; 220].

Prinzipiell besteht eine sehr gute Heilungsrate metacarpaler Basisfrakturen nach 4-wöchiger Immobilisierung mit anschließenden Bewegungsübungen [188].

Auch unverschobene subcapitale Frakturen haben eine sehr gute Prognose und eine Heilung ist meist im Gips für 3 - 4 Wochen möglich, gelegentlich sind physiotherapeutische Übungen notwendig [188; 235]. Nach subcapitalen Frakturen kann ein eingesunkenes Fingerknöchelchen auftreten, welches kosmetisch störend sein kann [188; 221].

Schaftfrakturen (unverschoben oder verschoben, aber leicht reponierbar) haben eine längere Heilungsdauer als Basisfrakturen oder subcapitale Frakturen und sollten daher für 4 - 6 Wochen immobilisiert werden, da eine Steifigkeit bei Kindern nur selten ein Problem darstellt [188].

Frakturen im Daumenbereich haben meist eine gute Prognose, da Kinder relativ große Abweichungen im Wachstum korrigieren können und auch das bewegliche Carpometacarpalgelenk des ersten Strahls zur Kompensation beiträgt [13].

3.3.9 Stressfrakturen

Auch am Metacarpus kann es zu Stressfrakturen kommen, diese treten vor allem bei jugendlichen Gymnastikern, Tennisspielern, Ruderern und Badmintonspielern auf [205; 206; 236; 237; 238; 239]. Balias et al untersuchten 2010 sieben Spieler im Alter von 15 - 18 Jahren, welche erfolgreich nichtinvasiv therapiert werden konnten [205]. In der Literatur fanden Balias et al in der gleichen Publikation 12 Fälle metacarpaler Stressfrakturen, wobei die meisten im zweiten Strahl und an weiblichen Jugendlichen auftraten [205]. 2004 konnten Bupalchuk et al nur neun Fallberichte mit einer Altersverteilung von 14 - 25 Jahren in der englischen Literatur finden [206].

Insgesamt sollte eine Stressfraktur in die differentialdiagnostische Überlegung bei sportlichen Jugendlichen miteinbezogen werden [236; 239].

3.3.10 Multiple Frakturen und Trümmerfrakturen

Im Rahmen schwerer Unfälle kann es auch zu multiplen Frakturen oder Trümmerfrakturen im Metacarpus-Bereich kommen. Eine operative Versorgung ist bei diesen Verletzungen notwendig, da Verkürzungen und ausgeprägte Weichteildefekte meist vorhanden sind. Kombinationsverletzungen finden sich zumeist im vierten und fünften Strahl, es können aber auch mehr als zwei Metacarpalia betroffen sein. Zur Versorgung können verschiedene Methoden eingesetzt werden, wobei die Untersuchungen von Souer und Mudgal [203] und Soni et al [202] sehr gute Ergebnisse für die offene Reposition und Plattenosteosynthese bei Jugendlichen und Erwachsenen zeigten [202; 203]. Bei Trümmerfrakturen können ebenfalls Platten in Kombination mit Cerclagen versucht werden [240]. Das Outcome wird meist durch den Weichteilschaden bestimmt und ein mehrzeitiges Vorgehen kann erforderlich sein [202]. Eine externe Fixierung kann bei großem Weichteilschaden hilfreich sein, da wenig zusätzlicher Weichteilschaden verursacht wird [241].

3.3.11 Versorgung metacarpaler Frakturen

Die meisten metacarpalen Frakturen im Kindesalter können konservativ versorgt werden [209; 241]. Dies gilt insbesondere für unverschobene oder leicht verschobene Frakturen, bei denen eine geschlossene Reposition meist gelingt, während stark verschobene Frakturen oder Frakturen mit Rotationsfehlern eher operativ versorgt werden müssen [193; 220]. Im Wachstumsverlauf können frontale Verkippungen, Rotationsfehler oder Verkürzungen nicht korrigiert und müssen daher operativ versorgt werden [21]. Sagittale Fehlstellungen werden korrigiert und nach Ebinger et al sind auch Rotationsfehler von weniger als 10° bei Metacarpalfrakturen nicht mit einem schlechten Ergebnis assoziiert [220].

Sollte eine Immobilisierung bei Kindern notwendig sein, so kann ein Gipsverband einer Schiene vorgezogen werden, da eine eigenständige Entfernung somit erschwert wird. Die Immobilisierung wird dabei meist in der sogenannten Intrinsic-plus-Stellung durchgeführt. Dazu müssen folgende Gelenksstellungen angestrebt werden:

- Handgelenk: 30° Extension
- Metacarpophalangealgelenk: 70° Flexion
- proximales Interphalangealgelenk: vollständige Extension
- distales Interphalangealgelenk: vollständige Extension [204; 211]

Die proximalen und distalen Interphalangealgelenke können bei einer Immobilisierung frei bleiben und bei Frakturen im zweiten bis fünften Strahl sollte auch der Daumen freigelassen werden [211]. Alternativen zum Gips sind metacarpale Stützorthesen bei guter Patientencompliance [76; 211].

3.3.11.1 Versorgung metacarpaler Basisfrakturen

Die Versorgung metacarpaler Basisfrakturen kann sowohl mit konservativen Methoden als auch mit operativen invasiven Techniken erfolgen. Eine wichtige Unterscheidung muss dabei in intraartikuläre Basisfrakturen und Basisfrakturen ohne Gelenksbeteiligung (extraartikulär) getroffen werden [193].

Bei unverschobenen Basisfrakturen kommt vor allem die konservative Therapie zum Einsatz; eine Mittelhandorthese mit frei beweglichen Grundgelenken ist gut für Erwachsene geeignet [211; 217]. Kinder weisen häufig unverschobene oder leicht verschobene Frakturen auf und können je nach Literaturstelle für 10 - 14 Tage bzw. 3 - 4 Wochen bei geringer Schwellung im Gips oder in einer Schiene immobilisiert werden [21; 188]. Die Schiene sollte im Verlauf an den Rückgang der Schwellung angepasst werden. Auch transversale metacarpale Basisfrakturen können für 3 - 4 Wochen immobilisiert werden [188].

Verschobene Frakturen sollten geschlossen reponiert werden, was mit einem Längszug und palmaren Druck auf das dorsal verschobene Fragment gelingt [188; 193]. Es können, sofern keine Gelenksbeteiligung vorliegt, im vierten und fünften Strahl $10^\circ - 15^\circ$ und im zweiten und dritten Strahl 5° Abweichungen toleriert werden; rotatorische Komponenten müssen fehlen [193]. Etwaige Rotationsfehler können mittels Rotation der proximalen Phalanx bei 90° flektiertem MCP-Gelenk erfolgen, da in dieser Stellung die MCP-Gelenksaußenbänder gespannt sind [188]. Die Immobilisierung sollte anschließend im Gips erfolgen [188]. Bei Versagen der geschlossenen Reposition sollten perkutane Kirschner-Drähte oder retrograde ESIN zum Einsatz kommen [191; 193]; operative Versorgungen sind nur in Ausnahmefällen nötig [193]. Instabile Frakturen können auch durch retrograde, im kollateralen Rezessus eingebrachte intramedulläre Kirschner-Drähte für 4 Wochen versorgt werden [188].

Im fünften Strahl kann es zu Luxationsfrakturen kommen, welche mit einer „reverse Bennettfraktur“ vergleichbar sind [211; 217]. Eine geschlossene Reposition und Fixierung mit perkutanen Kirschner-Drähten oder intramedullären Marknägeln sollte versucht werden; bei Versagen muss auf die offene Reposition und Fixierung umgestiegen werden [21; 217]. Nach Chin und Vedder können bei Erwachsenen diese Abrissfrakturen bei weniger als 20% Gelenksflächenbeteiligung für 2 - 3 Wochen geschient werden, darüber hinaus sollte offen reponiert und fixiert werden [193].

Problematisch sind intraartikuläre Basisfrakturen, da, um ein gutes Outcome zu erzielen, die Gelenksfläche korrekt wiederhergestellt werden muss. Dies gelingt meist nur über eine operative offene Versorgung [193]. Bei einer gleichzeitig vorliegenden CMC-Dislokation können perkutane transversale Kirschner-Drähte versucht werden. Auch retrograde, im kollateralen

Rezessus eingebrachte intramedulläre Kirschner-Drähte sind möglich, welche für 6 Wochen belassen werden [188].

3.3.11.2 Versorgung metacarpaler Schaftfrakturen

Ähnlich den Basisfrakturen kann auch bei stabilen unverschobenen oder leicht verschobenen Schaftfrakturen eine Schiene oder bei nur geringer Schwellung ein Gips zur Immobilisierung (gegebenenfalls nach geschlossener Reposition) für 14 Tage verwendet werden [21; 76; 188]. Um eine rotatorische Komponente auszuschalten, sollte der betroffene Finger an einem benachbarten, üblicherweise dem nächstgrößeren, Finger mittels eines Tapeverbandes fixiert werden [188]. Regelmäßige radiologische Kontrollen der Frakturen sollten durchgeführt werden [76; 188]. Alternativ kann der betroffene Strahl mit den beiden Nachbarmetacarpalia in einer Schiene, bei Erwachsenen meist eine Mittelhandorthese, versorgt und mit einer frühfunktionellen Weiterbehandlung unterstützt werden [211]. Sollte eine geschlossene Reposition nicht ausreichend stabil sein, so ist eine Fixierung notwendig.

Um ein gutes Outcome zu erzielen, dürfen keinerlei Rotationsfehler toleriert werden [21; 216]. Palmare Abweichungen sind wie in Tabelle 10 angeführt tolerabel. Debnath et al geben außerdem an, dass bereits zwischen 20° und 30° Deformitäten und Verkürzungen auftreten können [242]. Bei kleineren als in der Tabelle 10 angeführten Werten kann, sofern keine Begleitverletzungen vorliegen, eine konservative Therapie erfolgen [21]. Nach einer Kadaverstudie am zweiten und fünften Metacarpus von Low et al sind Abweichungen im Metacarpalschaft in palmare Richtung von mehr als 30° und Verkürzungen von mehr als 3 mm bei Erwachsenen problematisch [234; 243; 244]. Verkürzungen sind vor allem im Metacarpus II und III problematisch und haben im vierten und fünften Strahl deutlich weniger Auswirkungen auf das Outcome [21].

Betroffener Strahl	A	B	C	D	E	F	G
1. Strahl	20	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
2. Strahl	10	min.	10	20-30	k.A.	10-20	15
3. Strahl	10	min.	10	20-30	k.A.	10-20	15
4. Strahl	20	10-15	20	20-30	20-40	20-70	30
5. Strahl	30	10-15	20	20-30	20-40	20-70	k.A.

Anm.: k.A.= keine Angabe; min.=minimal; Angaben in Grad

A: Schaefer und Siebert 2000 [21]

B: Chin und Vedder 2008 [193]

C: Williams und Lochner 2013 [216]

D: Kaiser et al 2009 [234]

E: Debnath et al 2004 [242]

F: Konradsen et al 1990 [245]

G: Mockford et al 2003 [246]

Tabelle 10: Akzeptable palmare Abweichungen von Schaftfrakturen

Lange Schräg- oder Spiralfrakturen werden bei Erwachsenen mit Spongiosaschrauben versorgt [193]. Krein et al sind der Meinung, dass resorbierbare Hemicerclagen bei guter Patient compliance bei Schräg- oder Spiralfrakturen eingesetzt werden können [230]. Brüser et al sehen Hemicerclagen bei Jugendlichen und Erwachsenen als ausgezeichnete Methode bei Schräg- und Spiralfrakturen an [226].

Kurze Schräg- oder Querfrakturen hingegen können mit Kirschner-Drähten versorgt werden [21; 193]. Lieber et al versorgten Kinder unter 16 Jahren mit antegraden ESIN und erzielten sehr gute Ergebnisse [191]. Chammaa et al versorgten mit ausgezeichneten Ergebnissen und hoher Patientenzufriedenheit in einem Zeitraum von 17 Jahren 110 metacarpale Schaftfrakturen ohne Rotationsfehler (16 - 77 Jahre) [232]. Nach geschlossener Reposition war ein einzelner distal eingebrachter intramedullärer Kirschner-Draht bei Jugendlichen und Erwachsenen ausreichend für Quer- oder kurze Schrägfrakturen, jedoch nicht für lange Schräg- oder fehlrotierte Frakturen [232]. Lange Schräg- oder Spiralfrakturen, welche zur Verkürzung neigen, sollten operativ versorgt werden. Eine gute Versorgung kann mit drei perkutanen transversalen Pins (einer davon im proximalen und zwei im distalen Fragment) für 5 - 6 Wochen erreicht werden. Auch eine intramedulläre retrograde Kirschner-Draht-Versorgung mit Einbringung der Drähte durch den kollateralen Rezessus unter Schonung der Wachstumsfuge ist möglich [188]. Gegebenenfalls kann aber auch eine Schraubenosteosynthese notwendig sein [188].

Auch bei Querfrakturen ist nach Reposition meist eine Stabilisierung mit Kirschner-Drähten oder alternativ mit Platten notwendig [21; 193]. Intramedulläre antegrade Kirschner-Drähte mit vorgebogener Form nach geschlossener Reposition, gefolgt von Frühmobilisierung wurden mit sehr guten Ergebnissen in einer Studie von Mockford et al 2003 an erwachsenen Patienten mit Querfrakturen verwendet [246]. Bei Mehrfach-Transversalfrakturen können Platten eingesetzt werden, wobei im Kindesalter möglichst früh Bewegungsübungen durchgeführt werden sollten, um Sehnenadhäsionen zu vermeiden [188].

Absorbierbare Platten und Schrauben in Kombination mit 3-wöchiger Immobilisierung in einer Mittelhandorthese und früher Mobilisierung stellten in einer Untersuchung von Dumont et al 2007 eine gute Alternative zur klassischen Platte bei kurzen und langen Schräg-, bei Spiral- und bei Querfrakturen an Erwachsenen mit guter Compliance dar [227]; nicht jedoch bei Trümmerfrakturen [227]. Auch bikortikale Schrauben sind an erwachsenen Patienten erfolgreich verwendet worden [247].

Distale Schaftfrakturen können auch mit intramedullären Drähten oder mittels Abstützplatten bei Erwachsenen versorgt werden [21].

Nach Ozer et al 2008 besteht bei Schaftfrakturen erwachsener Patienten kein signifikanter Unterschied in Bezug auf Verkürzung, Abweichung, radiologische Heilungszeit, Patientenzufriedenheit oder aktiven Bewegungsumfang zwischen perkutanen intramedullären Nägeln oder Plattenfixierung [248].

Bei instabilen Frakturen, Verkürzungen oder dem Vorliegen von Rotationsfehlern muss meistens offen reponiert und fixiert werden. Die Techniken bei Erwachsenen sind dabei perkutane Fixierung mit Kirschner-Drähten, Platten, Zugschrauben und intramedullären Drähten [211; 232]. Bei schweren Weichteilschäden oder bei Trümmerfrakturen kann ein Fixateur externe eingesetzt werden, um eine Heilung der Weichteile zu ermöglichen. Alternativ werden selten auch Platten verwendet [21; 193; 213; 232].

Wie gut erkennbar ist, sind viele Untersuchungen auf Erwachsene ausgelegt. Eine entsprechende Verwendung der gleichen Methoden bei Kindern muss daher nicht die gleichen Ergebnisse liefern, sodass erst weitere Studien notwendig sind, um klare Aussagen treffen zu können.

3.3.11.3 Versorgung metacarpaler subcapitaler Frakturen („neckfracture“)

Wie bei allen kindlichen Handfrakturen sind auch die subcapitalen Frakturen glücklicherweise meist konservativ zu versorgen [212]. Rotationsfehler können aber auch bei diesen Frakturen nicht akzeptiert, müssen bei der Untersuchung erkannt und anschließend korrigiert werden [21; 76; 198; 199; 204; 208; 211; 231]. Zur Korrektur des Rotationsfehlers kann eine geschlossene Reposition und Verdrehung in die korrekte Lage mittels Kirschner-Drähten durchgeführt werden [33].

Unverschobene subcapitale Frakturen können konservativ versorgt werden [193; 231]. Auch leicht verschobene Frakturen können konservativ versorgt werden, allerdings muss, sobald die Abweichung ein bestimmtes Maß übersteigt, auf andere Versorgungsmöglichkeiten zurückgegriffen werden. Im Kindesalter kommt es meistens zu einer Abkipfung des Kopfes nach palmar, da Muskelkräfte auf die Frakturteile einwirken [21; 244]. Die akzeptablen Abweichungen variieren dabei in der Literatur und sind für jeden Strahl unterschiedlich. Eine Fehlstellung von bis zu 70° wird in manchen Studien als akzeptabel für den fünften Strahl angesehen [193; 200; 234; 249; 250] und Muller et al zeigten beispielsweise, dass von der Höhe der Abweichung bis 70° kein Unterschied in Bezug auf Bewegungsausmaß, Schmerzen und Patientenzufriedenheit bei einer subcapitalen Fraktur an Jugendlichen oder Erwachsenen im fünften Strahl besteht [249]. Es wurden allerdings keine Angaben zur Greifkraft gemacht [249], während Hofmeister et al anführen, dass es bei Abweichungen über 30° zu einer Reduktion der Greifkraft bei Erwachsenen kommen kann [210].

Grundsätzlich können aber höhere Abweichungsgrade im vierten und fünften Strahl im Vergleich zum zweiten und dritten Strahl akzeptiert werden [188]. Nach Cornwall 2006 [188] und anderen Autoren sind Winkel von 10° für den Zeigefinger, von 20° für den Mittelfinger, von 30° für den Ringfinger und Winkel von 40° für den kleinen Finger akzeptabel. Eine Reduktion der Winkelgröße sollte aber auch bei im empfohlenen Bereich liegenden Werten versucht werden [188]. In Tabelle 11 finden sich die häufigsten Winkelangaben und deren Bereich für Angaben in der Literatur. Liegt die Abweichung darunter, kann ein konservatives Verfahren, bei darüber liegenden Werten trotz versuchter Reposition sollte ein operatives Verfahren gewählt werden.

Nach einer geschlossenen Reposition kann bei Kindern eine Immobilisierung im Unterarmgips mit freiliegendem proximalen und distalen Interphalangealgelenk (PIP- und DIP-Gelenk) erfolgen oder, sofern notwendig, diese Position mittels antegrad eingebrachtem Kirschner-Draht gesichert werden [21; 33; 76; 198]. Unverschobene Frakturen bei jungen Kindern sollten, um eine eigenmächtige Entfernung zu verhindern und eine adäquate Heilung zu garantieren, im Gips versorgt werden. Das distale Frakturfragment kann im Gipsverband

Betroffener Strahl	häufigste Angabe [188]	Bereich
2. Strahl	10	10 - 15
3. Strahl	20	15 - 20
4. Strahl	30	30 - 50
5. Strahl	40	30 - 70

Anm.: Angaben in Grad

Tabelle 11: Akzeptable palmare Abweichungen von subcapitalen Frakturen nach [33; 193; 198; 200; 204; 211; 216; 231; 245; 251]

durch die vollständige Extension des MCP-Gelenks besser geschieht (3-Punkt-Fixierung) werden und Versteifungen treten bei Kindern üblicherweise nicht auf [188; 193]. Unabhängig davon, welche Methode gewählt wird, sollten nach der Immobilisierung in der Schiene oder im Gips anschließend eine Physiotherapie oder Bewegungsübungen für 1 bis 2 Wochen angeschlossen werden [188].

Während bei Erwachsenen die sofortige Mobilisierung eventuell besser als eine Gipsimmobilisierung ist, welche allerdings eine Schmerzreduktion bewirken kann, sind bei Kindern keine Daten dazu vorhanden [212]. Auch Braakman et al geben an, dass eine Immobilisierung bei Jugendlichen und Erwachsenen im fünften Strahl mit Tape anstelle eines Gipses erfolgen sollte, da eine raschere Genesung einsetzt; ein Unterschied besteht aber in beiden Gruppen nach 6 Monaten nicht mehr [252]. In einer anderen Untersuchung an Erwachsenen zeigte sich die metacarpale Orthese im Vergleich zu Gips, elastischer Bandage und buddy-taping überlegen in Bezug auf Schmerzen und Bewegungsausmaß im MCP-Gelenk [250; 253]. Eine systematische Cochrane-Analyse im Jahre 2005 konnte allerdings keine Überlegenheit einer bestimmten Immobilisierung für subcapitale Frakturen im fünften Strahl im Erwachsenenalter zeigen [234; 254].

Zur Fixierung werden bei Erwachsenen häufig Kirschner-Drähte eingesetzt, welche sowohl von distal (retrograd) als auch antegrad (Foucher-Methode, Bouquet-Osteosynthese) eingebracht werden können [198; 199; 251]. Sandner und Menke behandelten in einem 3-Jahresintervall 126 subcapitale Metacarpus V Frakturen mit einer Altersverteilung von 8 bis 75 Jahren nach der antegraden Foucher-Methode mit vorgebogenen Kirschner-Drähten und nachfolgender 2-wöchiger Gipsimmobilisierung und 2-wöchiger Metacarpalorthese und erzielten gute Ergebnisse [199]. Konnte aufgrund der Enge des Markraumes nur einer statt zwei Drähten eingebracht werden, wurde der Gips für 4 Wochen belassen; dies trat bei Sandner und Menke in 13% der Fälle auf [199]. Auch Manner und Roesler konnten im Jahr 2000 mit intramedullärer orthograder Kirschner-Draht-Versorgung an Jugendlichen und Erwachsenen, welche postoperativ mit dorsaler Unterarmgipsschiene für 3 Wochen versorgt wurden, sehr gute Ergebnisse erreichen [255]. In dieser Untersuchung gelang es ebenfalls nicht, beim jüngsten Patienten mit 13 Jahren mehr als einen Draht einzubringen [255].

Daraus kann man ableiten, dass bei kleinen Kindern aufgrund der geringen Knochengröße meist nur ein Draht eingebracht werden kann.

Distale metaphysäre Frakturen bei Kindern unter 16 Jahren wurden von Lieber et al 2012 mit antegraden ESIN versorgt und erzielten sehr gute Ergebnisse in Bezug auf Bewegungsumfang, Einfluss auf den Alltag, sportliche Aktivitäten, Faustschluss, Greifkraft und kosmetisches Ergebnis [191]. In einer Studie von Kaiser et al wurde eine ESIN im Metacarpalbereich II - V überwiegend im distalen Bereich ohne Gelenksbeteiligung bei Patienten im Alter zwischen 7 und 16 Jahren eingesetzt [234]. Die Ergebnisse nach Reposition und Fixierung mit einer einzelnen 1.5 - 2.0 mm großen ESIN waren sehr gut in Bezug auf Bewegungsausmaß und Greifkraft [234].

Ein interessantes Ergebnis lieferte die Untersuchung von Fujitani et al 2012 an Jugendlichen und Erwachsenen [244]. Zwischen intramedullären Kirschner-Drähten mit 3-wöchiger Immobilisierung und einer Plattenfixierung mit Mobilisierung nach 3 Tagen zeigte sich zwar kein Unterschied in der Zeit bis zur Heilung, aber ein nicht-signifikanter Unterschied in der Greifkraft nach 6 und 12 Monaten zu Gunsten der Plattengruppe und eine signifikant besseres MCP-Bewegungsausmaß in der Intramedullärgruppe nach 6 und 12 Monaten. Die Autoren folgerten daraus, dass bei Patienten, die aufgrund der Lebensumstände auf eine gute Fingerbeweglichkeit angewiesen sind, eher auf die intramedulläre Fixierung und bei Patienten mit relevanter Greifkraft auf die Plattenfixierung zurückgegriffen werden sollte [244]. Ob diese Daten auch auf Kinder umzulegen sind, bleibt derzeit unklar.

Auch zwischen transversalen und intramedullären Kirschner-Drähten konnten Wong et al 2006 im Metacarpus V keinen signifikanten Unterschied bei jugendlichen und erwachsenen Patienten finden [231], während die untersuchten Erwachsenen bei Winter et al 2007 einen besseren aktiven Bewegungsumfang, eine besseres Bewegungsausmaß im MCP und eine nicht-signifikante höhere Greifkraft bei der intramedullären Versorgung aufwiesen [233]. Allerdings kann nach Potenza et al 2012 die perkutane transversale Kirschner-Draht-Pinnung bei subcapitalen Metacarpus V Frakturen im jugendlichen und erwachsenen Alter mit ausgeprägter Schwellung vorteilhaft sein [208]. Auch bei instabilen Frakturen im Kindesalter kann eine transversale Pinnung versucht werden [188]. Intramedulläre Kirschner-Drähte erzielten bei Erwachsenen in der Untersuchung von Kelsch und Ulrich 2004 ebenfalls sehr gute Ergebnisse bei subcapitalen Metacarpus V Frakturen, wobei die postoperative Immobilisierungszeit an die Patientencompliance angepasst wurde [209]. Es kann mittels vorgebogenen Kirschner-Drähten eine zusätzliche Erleichterung im Handling erzielt werden [256].

Die früher häufiger verwendete Methode mit retrograden gekreuzten Kirschner-Drähten wird von mehreren Autoren aufgrund mäßigen Erfolges nicht mehr empfohlen [21; 251; 255] und

bei Erwachsenen werden alternative Methoden verwendet. In Einzelfällen werden retrograde, im kollateralen Rezessus eingebrachte Pins noch bei instabilen Metacarpus II oder III Frakturen im Kindesalter verwendet [188]. Allerdings konnten Rhee et al an 105 Patienten (121 Schaft- und subcapitale Frakturen) im Alter zwischen 11 und 78 Jahren gute Ergebnisse mit retrograden perkutanen intramedullären Kirschner-Drähten und nachfolgender Schienung in Intrinsic-plus Position erzielen [204].

Wie in dieser Arbeit angeführt, sind die Studien sehr heterogen und eine klare Aussage über die beste Methode steht aus, wobei sich ein Trend in Richtung intramedullärer Fixierung ergeben könnte.

Jahss Manöver Durch einen gleichzeitigen Druck, dorsal auf den proximalen Schaft und indirekt von palmar über die Phalanx auf den dislozierten distalen Kopf, wird die Fraktur reponiert. Dabei müssen das MCP- und das PIP-Gelenk (90°) flektiert sein [21; 22; 188; 204; 210; 216; 245]. Eine längere Immobilisierung in dieser Position kann aber zu Gelenksteifigkeit bei Erwachsenen führen [210; 242].

3.3.11.4 Versorgung metacarpaler Kopffrakturen

Es handelt sich um sehr seltene Frakturen im Kindesalter. Die metacarpalen Kopffrakturen können mit oder ohne Wachstumsfugenbeteiligung einhergehen. Die häufigsten Frakturtypen sind Typ II nach Salter-Harris, selten auch Salter-Harris-III-Frakturen [193; 216].

Unverschobene oder leicht verschobene Frakturen können bei Erwachsenen für 2 - 3 Wochen immobilisiert werden [21; 193]. Auch bei Kindern kann bei unverschobenen Frakturen, sowohl bei Salter-Harris II als auch bei Salter-Harris III, eine nicht-invasive Methode mit einem Gips zur Stabilisierung verwendet werden [189].

Die Versorgung von verschobenen Salter-Harris Typ II-Frakturen liegt in einer geschlossenen Reposition mit anschließender Immobilisierung [189; 193]. Sollte die Reposition gelingen, die Fraktur aber weiterhin instabil sein, so ist eine Versorgung mit perkutanen Pins anzustreben [189]. Bei verschobenen Salter-Harris Typ III-Frakturen ist hingegen eine offene operative Versorgung mit Kirschner-Drähten oder Schrauben notwendig, um eine korrekte Gelenksfläche wiederherzustellen [188; 189; 193]. Ein Knochengraft wird zur zusätzlichen Stabilisierung bzw. bei Stauchung bei Erwachsenen gelegentlich eingesetzt [21; 193]. Durch eine Gelenksbeteiligung kann eine Stufe entstehen, welche im weiteren Verlauf zu Komplikationen führt. Ab welchem Ausmaß eine intraartikuläre Impression oder Stufe Probleme verursacht, ist nicht bekannt [211]. Eventuell kann eine kleine Stufe, sofern eine Stabilität gegeben ist, auch konservativ versorgt werden [211].

Im Bereich des metacarpalen Kopfes kann es in seltenen Fällen zu Abrissfrakturen kommen. So wurden in einer Untersuchung von Shewring und Thomas über einen 6-Jahres-Zeitraum 19 Abrissfrakturen, am häufigsten ulnarseitig des Metacarpus II, bei Jugendlichen und Erwachsenen beschrieben [257]. Nach Sakuma et al, welche 6 erwachsene Patienten mit Abrissfrakturen beschrieben, ist bei rundgeformten, im Gegensatz zu dreieckigen oder rechteckigen Abrisssegmenten eine konservative Versorgung oder perkutane Pinnung ausreichend [258].

Bei Trümmerfrakturen oder ausgeprägtem Weichteilschaden kann bei Erwachsenen ein Fixateur externe eingesetzt werden [21; 211].

3.3.11.5 Versorgung metacarpaler Daumenfrakturen

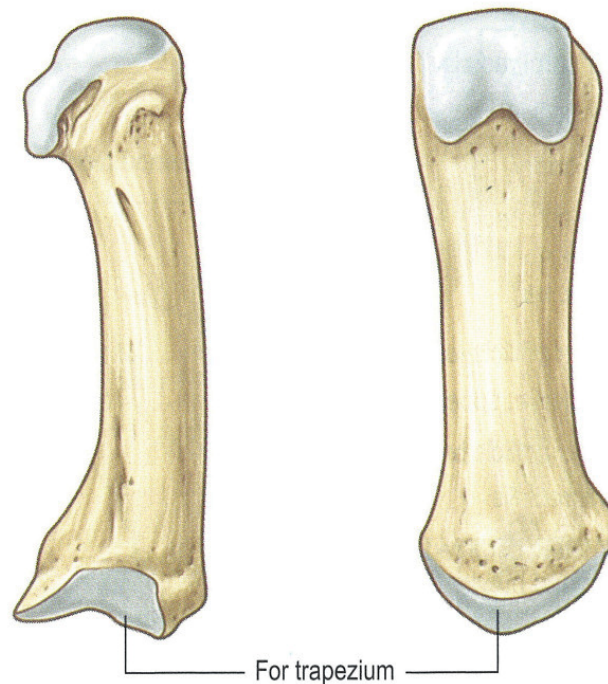


Abbildung 23: Os metacarpale I - links: Palmaransicht, rechts: Lateralansicht, aus Grays Anatomy - the anatomical basis of clinical practice 2008 [8]

In der Literatur finden sich nur wenige Daten und Studien zu kindlichen metacarpalen Daumenfrakturen. Eine mögliche Einteilung von Frakturen im Metacarpus I ist in Tabelle 12 nach Kozin angeführt [13].

Frakturort	Subtypen
Kopf	-
Schaft	-
Basis	A: Distal der Epiphysenfuge bis Beginn des mittleren Knochendrittels B: Salter-Harris Typ II - mediales metaphysäres Fragment C: Salter-Harris Typ II - laterales metaphysäres Fragment D: Salter-Harris Typ III oder IV

Tabelle 12: Einteilung der Daumenfrakturen nach Kozin [13]

Frakturen im subcapitalen und Schaftbereich werden am Metacarpus I ähnlich der anderen Metacarpalknochen versorgt. Eine konservative Versorgung ist möglich, in Einzelfällen kommen Kirschner-Drähte oder Schrauben zum Einsatz [189; 193]. Im Kindesalter handelt es sich bei Schaftfrakturen außerdem in der Regel um Grünholzfrakturen [33].

Die häufigst auftretenden Frakturen am Daumen sind im Kindesalter die Basisfrakturen [22; 189; 216]. Sind die Frakturen nach radial verschoben, besteht üblicherweise Stabilität,

bei ulnar verschobenen Frakturen liegt allerdings häufig Instabilität vor und eine chirurgische Versorgung ist notwendig [216].

Bei den Typ A-Frakturen handelt es sich meist um Querfrakturen, welche auch in apex-laterale Richtung verschoben sein können. Sie können häufig geschlossen mittels longitudinalem Zug und Druck auf den distalen Bereich reponiert und im Gips immobilisiert werden. Eine Restabweichung von 20° - 30° wird dabei als akzeptabel angesehen. Eine operative Versorgung ist nur bei instabilen oder nicht reponierbaren Frakturen notwendig [13; 189].

Beim Typ B handelt es sich um eine Salter-Harris-II-Fraktur mit einem an der medialen Seite befindlichen metaphysären Fragment. Der Schaft ist häufig nach proximal durch einen Zug des Musculus abductor pollicis longus, vergleichbar einer Bennettfraktur ohne Gelenkbeteiligung, verschoben [13; 189]. Abweichungen bis 20° können toleriert und im Gips immobilisiert werden. Schwere Abweichungen oder instabile Frakturen sollten geschlossen reponiert und mittels perkutaner Pins fixiert werden. Eine nicht reponierbare Fraktur sollte offen versorgt werden [13; 189].

Bei Typ C-Frakturen, welche seltener als Typ B-Frakturen sind, handelt es sich um Salter-Harris-II-Frakturen mit lateralem metaphysärem Fragment [13; 189]. Auch hier können Abweichungen bis 20° toleriert werden. Schwere Abweichungen oder instabile Frakturen sollten ebenfalls korrigiert werden. Eine geschlossene Reposition ist häufig nicht möglich, da es zu einer Einklemmung von Weichteilen kommen kann [13; 189].

Bei den Typ D-Frakturen handelt es sich um Salter-Harris III oder IV Frakturen, welche also eine Gelenkbeteiligung aufweisen. Vergleichbar ist diese Fraktur mit der Bennettfraktur des Erwachsenen [13; 189]. Die Gelenksfläche muss wiederhergestellt werden, um Komplikationen zu vermeiden. Dies kann mittels geschlossener Reposition und perkutaner Kirschner-Draht-Versorgung zum Metacarpus II oder in den Carpus (meist Trapezium) erfolgen. Als Nachteil erweist sich, dass das Gelenk zusätzlich geschädigt wird. Andererseits ist auch eine offene Reposition und Fixierung bei nicht reponierbaren Frakturen möglich [13; 22; 189; 198; 259]. Die Größe der tolerablen Stufe in der Gelenksfläche ist bei Erwachsenen möglicherweise mit 2 mm noch akzeptabel, bei Kindern jedoch nicht bekannt [219; 259].

In einer Untersuchung von Lieber et al wurde eine ESIN auch am Metacarpus I verwendet und diese Technik ist eventuell zur Versorgung geeignet, allerdings fehlen im Moment noch große Studien mit ausreichenden Daten [191]. Liegt ein massiver Weichteilschaden oder eine ausgeprägte Trümmerfraktur vor, so kann ein Fixateur externe eingesetzt werden [217].

4 Diskussion

Das Ziel dieser Diplomarbeit war es, einen aktuellen Überblick über die Literatur der pädiatrischen Frakturen im Carpus und Metacarpus zu geben. Kinder stellen eine besondere Gruppe von Patienten dar. Der Umgang, die Untersuchung und auch die Versorgung müssen an eine große Bandbreite, beginnend beim Neugeborenen bis zum Jugendlichen / jungen Erwachsenen angepasst werden. Der Grund für die Besonderheiten liegt im noch nicht abgeschlossenen Wachstum, den wesentlich kleineren Knochen und in der physiologischen Regenerationsfähigkeit. Neben den Kindern sind auch noch besorgte Angehörige (Eltern) mitzubetreuen, welche über sämtliche Details in Bezug auf das Kind informiert werden wollen.

Die Hand ist oftmals frakturiert, was auf die häufige Verwendung im Alltag zurückzuführen ist und Stürze werden meist über die Hand oder das Handgelenk abgefangen. Im Kleinkindesalter sind Einklemmungsverletzungen durch Schubladen oder Türen ein häufiges Verletzungsmuster. Jugendliche Patienten haben als Ursache der Fraktur häufig Kampfverletzungen oder zeigen auch unterschiedliche Verletzungen, welche durch sportliche Aktivitäten verursacht sind [27; 28; 29; 30; 31; 33; 34; 36]. Handverletzungen stellen neben Radius- und Ulnafrakturen die häufigste Frakturlokalisation bei Kindern dar [31], wobei Jungen generell häufiger als Mädchen betroffen sind [29; 31; 32; 33]. Interessant zeigt sich außerdem die Zunahme der sportassoziierten Verletzungen und das erhöhte Risiko adipöser Kinder Frakturen zu erleiden [38; 39; 40; 41].

Der pädiatrisch tätige Arzt muss immer einen kritischen Blick und ein detektivisches Gespür bewahren, um etwaige Kindesmisshandlungen (im Englischen als „non-accidental injuries“ bezeichnet) zu erkennen und gegebenenfalls weitere diagnostische und rechtliche Schritte einleiten zu können. Leider ist die Datenlage über die genaue Anzahl der Kindesmisshandlungen oder Vernachlässigungen unzureichend, sodass selbst der UNICEF-Report 2013 über das kindliche Wohlergehen in wohlhabenden Ländern diesen Faktor nicht einfließen lässt oder angibt [260]. Einzelne Untersuchungen geben Werte von 1,5 - 29% für Kindesmisshandlungen abhängig vom untersuchten Land an [261]. Eine niederländische Studie von Reijneveld et al gibt Werte von 5,6% für die Anzahl an Eltern an, welche ihr Kind aufgrund lauten Schreiens zu ersticken versuchten, geschlagen oder geschüttelt haben [262; 263]. Bei Unklarheiten über eine Kindesmisshandlung kann probiert werden, über alte Frakturen und

deren nachfolgende Kallusbildung vom Verletzungsmuster auf diese Straftat zu schließen [44; 262]. Hinweise auf eine Kindesmisshandlung können auch atypische Verletzungen sein bzw. Verletzungen, welche sich nicht durch die Anamnese erklären lassen. Handfrakturen insbesondere Frakturen der Finger, gelegentlich auch des Metacarpus, sollten vor allem bei unpassender Anamnese hinsichtlich Kindesmisshandlung abgeklärt werden.

Viele der Frakturen im Kindesalter sind selbst für pädiatrische Chirurgen selten und technisch herausfordernd. Die häufigsten Frakturen stellen im Carpusbereich die Skaphoidfraktur und im Metacarpus die subcapitale Fraktur im fünften Strahl dar [22; 33; 41; 48; 49; 50; 51; 52; 188; 198]. Glücklicherweise kann die überwiegende Anzahl der pädiatrischen Frakturen im Carpus und Metacarpus konservativ, das heißt ohne Operation, versorgt werden. Wie oben erwähnt, sollte der Kinderchirurg auch bei seltenen Frakturen eine entsprechende Erfahrung vorweisen können. Daher müssen kindliche Handfrakturen von Expertenhänden versorgt werden, was nur in entsprechenden Zentren erfolgen kann. Unfallchirurgen, Handchirurgen oder gar Allgemeinchirurgen, welche überwiegend erwachsene Patienten versorgen, sollten diese Versorgungen nicht vornehmen.

Weitere Experten sind im medizinischen Fachgebiet der Radiologie notwendig. Die Untersuchung pädiatrischer Röntgen-, CT- oder MRT-Bilder bzw. die Ultraschalluntersuchung von Frakturen ist schwierig und setzt große Erfahrung voraus. Die Schwierigkeit liegt in der nur teilweisen Verknöcherung des Skeletts, dem Vorhandensein von Wachstumsfugen, welche zusätzlich an verschiedenen Stellen im Knochen lokalisiert sind oder sogar multipel auftreten können und dem unterschiedlichen Zeitpunkt des Auftretens von Ossifikationskernen [4; 8; 9; 10; 13; 21; 22]. Die Befundung setzt also einerseits einen in pädiatrischer Bildgebung erfahrenen Radiologen und andererseits eine gezielte Fragestellung durch den Kinderchirurgen sowie die korrekte Wahl des Verfahrens voraus.

Ein besonderes Problemfeld zeigte sich bei dieser Arbeit in Bezug auf die Evidenzlevel der Studien. Trotz zahlreicher verwendeter Publikationen ist der „level of evidence“ nur in wenigen Studien hoch. Es gibt im pädiatrisch-chirurgischen Bereich zu Handfrakturen kaum randomisierte kontrollierte Studien (RCT), stattdessen finden sich überwiegend kleine Fallserien oder retrospektive Untersuchungen mit niedriger Evidenz. Es gibt bei Erwachsenen einige wenige RCT, welche aber nicht 1:1 auf Kinder umlegbar sind.

Zusätzlich zur niedrigen Evidenz weisen einige Studien methodische Fehler auf, sodass einige Parameter nicht erhoben wurden und eine Aussagekraft oder Bewertung einer Methode damit nur eingeschränkt möglich ist.

Evidence-based medicine (EBM) heißt nicht, dass nur die Studien verwendet werden sollen. Es bedeutet vielmehr die Kombination von medizinischer Evidenz aus systematischer Forschung mit klinischer Expertise [264]. Für den Allgemeinmediziner und selbst für den Fach-

arzt im Krankenhaus ist es schwierig, einen Überblick über die beste medizinische Evidenz zu behalten. Dieses Problem wird aufgrund der immer größer werdenden Publikationsmenge in Zukunft noch zunehmen. Um einen Überblick zu behalten, sind also Übersichtsarbeiten oder Leitlinien notwendig. Ein zusätzliches Problem stellt die fehlende freie Verfügbarkeit von Journals oder Publikationen dar. Eine ständige Weiterbildung, selbst um Cochrane Reviews aufzurufen, ist mit relativ hohen Abonnementkosten verbunden. Nachteile bestehen hierbei vor allem für Allgemeinmediziner, weil diese nicht nur ein Fachgebiet, sondern einen Überblick über mehrere Bereiche benötigen.

Die Limitationen dieser Diplomarbeit stellen einerseits die Einschränkungen durch kostenpflichtige Artikel und andererseits die geringen Evidenzlevel der Studien dar. Für die Zukunft sind neue bessere Studien notwendig, welche randomisiert und mit ausreichend hohen Fallzahlen an Kindern durchgeführt werden müssen. Multizentrische, in verschiedenen Expertenzentren durchgeführte Studien sind anzustreben.

In Zukunft wird es hoffentlich freien Zugang zu medizinischem Wissen geben, um dadurch entstehende Wissensverluste zu vermeiden und auch finanziell schwächeren Personen und Ländern Zugang zum aktuellen Stand der Wissenschaft geben zu können.

5 Conflicts of interest

Der Autor erklärt, dass kein Interessenskonflikt bei der Erstellung dieser Arbeit vorlag.

Literaturverzeichnis

- [1] Twain M. *The innocents abroad; or, The new pilgrim's progress: being some account of the steamship Quaker City's pleasure excursion to Europe and the Holy Land; with descriptions of countries, nations, incidents, and adventures as they appeared to the author.* New York: Signet Classics; 2007.
- [2] Young RW. Evolution of the human hand: the role of throwing and clubbing. *Journal of anatomy.* 2003 Jan;202(1):165–174. PMID: 12587931 PMCID: PMC1571064.
- [3] Allert N, Nowak DA. *Handfunktionsstörungen in der Neurologie: Klinik und Rehabilitation; mit 37 Tabellen.* Berlin: Springer Medizin; 2011.
- [4] Anderhuber F, Pera F, Streicher J, Waldeyer AJ. *Waldeyer Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band.* Berlin: De Gruyter; 2012.
- [5] Dauber W, Feneis H. *Feneis' Bild-Lexikon der Anatomie.* Stuttgart; New York, NY: Thieme; 2008.
- [6] Rohen JW, Lütjen-Drecoll E. *Funktionelle Anatomie des Menschen: Lehrbuch der makroskopischen Anatomie nach funktionellen Gesichtspunkten; mit 44 Tabellen.* Stuttgart; New York: Schattauer; 2006.
- [7] Benninghoff A, Drenckhahn D. *Anatomie: makroskopische Anatomie, Embryologie und Histologie des Menschen Band 1.* München [u.a.]: Urban & Schwarzenberg; 2008.
- [8] Standring S, Borley NR, Gray H. *Gray's anatomy: the anatomical basis of clinical practice.* Edinburgh: Churchill Livingstone/Elsevier; 2008.
- [9] Schiebler TH, Korf HW. *Anatomie Histologie, Entwicklungsgeschichte, makroskopische und mikroskopische Anatomie, Topographie; unter Berücksichtigung des Gegenstandskatalogs.* Darmstadt: Steinkopff Verlag; 2007.
- [10] Lippert H. *Lehrbuch Anatomie: 184 Tabellen.* München [u.a.]: Elsevier, Urban & Fischer; 2006.
- [11] Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K. *Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem: 182 Tabellen.* 2nd ed. No. 1 in Prometheus: LernAtlas der Anatomie. Stuttgart [u.a.]: Thieme; 2007.
- [12] Tindall A, Dawood R, Povlsen B. Case of the month: The skin wrinkle test: a simple nerve injury test for paediatric and uncooperative patients. *Emergency Medicine Journal.* 2006 Nov;23(11):883–886. PMID: 17057149.
- [13] Kozin SH. Fractures and Dislocations Along the Pediatric Thumb Ray. *Hand Clinics.* 2006 Feb;22(1):19–29. PMID: 16504775.

- [14] Curtis DJ, Downey Jr EF, Brower AC, Cruess DF, Herrington WT, Ghaed N. Importance of soft-tissue evaluation in hand and wrist trauma: statistical evaluation. *AJR American journal of roentgenology*. 1984 Apr;142(4):781–788. PMID: 6608240.
- [15] Fotiadou A, Patel A, Morgan T, Karantanas AH. Wrist injuries in young adults: the diagnostic impact of CT and MRI. *European journal of radiology*. 2011 Feb;77(2):235–239. PMID: 20554419.
- [16] Welling RD, Jacobson JA, Jamadar DA, Chong S, Caoili EM, Jebson PJJ. MDCT and radiography of wrist fractures: radiographic sensitivity and fracture patterns. *AJR American journal of roentgenology*. 2008 Jan;190(1):10–16. PMID: 18094287.
- [17] Johnson KJ, Haigh SF, Symonds KE. MRI in the management of scaphoid fractures in skeletally immature patients. *Pediatric radiology*. 2000 Oct;30(10):685–688. PMID: 11075601.
- [18] Memarsadeghi M, Breitenseher MJ, Schaefer-Prokop C, Weber M, Aldrian S, Ghäbler C, et al. Occult scaphoid fractures: comparison of multidetector CT and MR imaging—initial experience. *Radiology*. 2006 Jul;240(1):169–176. PMID: 16793977.
- [19] Pierre-Jerome C, Moncayo V, Albastaki U, Terk MR. Multiple occult wrist bone injuries and joint effusions: prevalence and distribution on MRI. *Emergency radiology*. 2010 May;17(3):179–184. PMID: 19662447.
- [20] Stevenson JD, Morley D, Srivastava S, Willard C, Bhoora IG. Early CT for suspected occult scaphoid fractures. *The Journal of hand surgery (European volume)*. 2012 Jun;37(5):447–451. PMID: 22086787.
- [21] Schaefer M, Siebert HR. Finger- und Mittelhandfrakturen Operative und nicht operative Behandlungsverfahren, Teil II. *Der Unfallchirurg*. 2000;103(7):582–592. PMID: 10969546.
- [22] Nofsinger CC, Wolfe SW. Common pediatric hand fractures. *Current opinion in pediatrics*. 2002;14(1):42–45. PMID: 11880732.
- [23] Creative Commons. Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported (CC BY-SA 3.0); 2014. Homepage on the internet. Available from: <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>.
- [24] United States National Library of Medicine. PubMed; 2013. Homepage on the internet. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>.
- [25] Medizinische Universität Graz. Bibliothek der Medizinischen Universität Graz; 2013. Homepage on the internet. Available from: <http://www.medunigraz.at/bmed/>.
- [26] Medizinische Universität Graz. Elektronische Zeitschriftenbibliothek; 2013. Homepage on the internet. Available from: <http://rzblx1.uni-regensburg.de/ezeit/search.phtml?bibid=MEDUG>.
- [27] Papadonikolakis A, Li Z, Smith BP, Koman LA. Fractures of the phalanges and interphalangeal joints in children. *Hand clinics*. 2006 Feb;22(1):11–18. PMID: 16504774.

- [28] Bhende MS, Dandrea LA, Davis HW. Hand injuries in children presenting to a pediatric emergency department. *Annals of emergency medicine*. 1993 Oct;22(10):1519–1523. PMID: 8214828.
- [29] Landin LA. Fracture patterns in children. Analysis of 8,682 fractures with special reference to incidence, etiology and secular changes in a Swedish urban population 1950-1979. *Acta orthopaedica Scandinavica Supplementum*. 1983;202:1–109. PMID: 6574687.
- [30] Rennie L, Court-Brown CM, Mok JY, Beattie TF. The epidemiology of fractures in children. *Injury*. 2007 Aug;38(8):913–922. PMID: 17628559.
- [31] Mäyränpää MK, Mäkitie O, Kallio PE. Decreasing incidence and changing pattern of childhood fractures: A population-based study. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*. 2010 Dec;25(12):2752–2759. PMID: 20564246.
- [32] Tiderius CJ, Landin L, Düppe H. Decreasing incidence of fractures in children: an epidemiological analysis of 1,673 fractures in Malmö, Sweden, 1993-1994. *Acta orthopaedica Scandinavica*. 1999 Dec;70(6):622–626. PMID: 10665730.
- [33] Valencia J, Leyva F, Gomez-Bajo GJ. Pediatric hand trauma. *Clinical orthopaedics and related research*. 2005 Mar;(432):77–86. PMID: 15738807.
- [34] De Putter CE, van Beeck EF, Looman CWN, Toet H, Hovius SER, Selles RW. Trends in Wrist Fractures in Children and Adolescents, 1997–2009. *The Journal of Hand Surgery*. 2011 Nov;36(11):1810–1815.e2. PMID: 22036281.
- [35] Zalavras C, Nikolopoulou G, Essin D, Manjra N, Zions LE. Pediatric fractures during skateboarding, roller skating, and scooter riding. *The American journal of sports medicine*. 2005 Apr;33(4):568–573. PMID: 15722288.
- [36] Wood AM, Robertson GA, Rennie L, Caesar BC, Court-Brown CM. The epidemiology of sports-related fractures in adolescents. *Injury*. 2010 Aug;41(8):834–838. PMID: 20546743.
- [37] Van Onselen E, Karim R, Jorishage J, Ritt M. Prevalence and distribution of hand fractures. *The Journal of Hand Surgery: Journal of the British Society for Surgery of the Hand*. 2003 Oct;28(5):491–495. PMID: 12954264.
- [38] Stanciu C, Dumont A. Changing patterns of scaphoid fractures in adolescents. *Canadian journal of surgery—Journal canadien de chirurgie*. 1994 Jun;37(3):214–216. PMID: 8199938.
- [39] Hayes JR, Groner JI. The increasing incidence of snowboard-related trauma. *Journal of pediatric surgery*. 2008 May;43(5):928–930. PMID: 18485968.
- [40] Gholson JJ, Bae DS, Zurakowski D, Waters PM. Scaphoid fractures in children and adolescents: contemporary injury patterns and factors influencing time to union. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2011 Jul;93(13):1210–1219. PMID: 21776574.

- [41] Goddard N. Carpal fractures in children. *Clinical orthopaedics and related research*. 2005 Mar;(432):73–76. PMID: 15738806.
- [42] Obdeijn MC, Vliet C, Rijn RR. Capitate and hamate fracture in a child: the value of MRI imaging. *Emergency Radiology*. 2009 May;17(2):157–159. PMID: 19468765.
- [43] Nimkin K, Spevak MR, Kleinman PK. Fractures of the hands and feet in child abuse: imaging and pathologic features. *Radiology*. 1997 Apr;203(1):233–236. PMID: 9122400.
- [44] Offiah A, van Rijn RR, Perez-Rossello JM, Kleinman PK. Skeletal imaging of child abuse (non-accidental injury). *Pediatric radiology*. 2009 May;39(5):461–470. PMID: 19238374.
- [45] Kamano M, Fukushima K, Honda Y. Multiple carpal bone fractures in an eleven-year-old. *Journal of orthopaedic trauma*. 1998 Aug;12(6):445–448. PMID: 9715457.
- [46] Bhatnagar G, Crone D, Ahmed H. Paediatric multiple carpal fractures: A case report. *Injury Extra*. 2008 Jul;39(7):247–249.
- [47] Hey HWD, Dennis HHW, Chong AKS, Sze ACK, Murphy D. Prevalence of carpal fracture in Singapore. *The Journal of hand surgery*. 2011 Feb;36(2):278–283. PMID: 21276891.
- [48] Elhassan BT, Shin AY. Scaphoid fracture in children. *Hand clinics*. 2006 Feb;22(1):31–41. PMID: 16504776.
- [49] Duteille F, Dautel G. Non-union fractures of the scaphoid and carpal bones in children: surgical treatment. *Journal of pediatric orthopedics Part B*. 2004 Jan;13(1):34–38. PMID: 15091257.
- [50] Tan YW, Maffulli N. Carpal scaphoid fracture in the skeletally immature: a single centre one-year prospective study. *Acta orthopaedica Belgica*. 2009 Oct;75(5):616–622. PMID: 19999873.
- [51] Christodoulou AG, Colton CL. Scaphoid fractures in children. *Journal of pediatric orthopedics*. 1986 Feb;6(1):37–39. PMID: 3941178.
- [52] Mintzer CM, Waters PM, Simmons BP. Nonunion of the scaphoid in children treated by Herbert screw fixation and bone grafting. A report of five cases. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 1995 Jan;77(1):98–100. PMID: 7822406.
- [53] Horras N, Barthlen W, Wildbrett P. A rare case of an isolated triquetrum body fracture in a 14-year-old boy. *African journal of paediatric surgery: AJPS*. 2012 Aug;9(2):157–158. PMID: 22878769.
- [54] Vahvanen V, Westerlund M. Fracture of the carpal scaphoid in children. A clinical and roentgenological study of 108 cases. *Acta orthopaedica Scandinavica*. 1980 Dec;51(6):909–913. PMID: 7211295.
- [55] D'Arienzo M. Scaphoid fractures in children. *The Journal of Hand Surgery: Journal of the British Society for Surgery of the Hand*. 2002 Oct;27(5):424–426. PMID: 12367553.

- [56] Anz AW, Bushnell BD, Bynum DK, Chloros GD, Wiesler ER. Pediatric scaphoid fractures. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2009 Feb;17(2):77–87. PMID: 19202121.
- [57] Stuart HC, Pyle SI, Cornoni J, Reed RB. Onsets, completions and spans of ossification in the 29 bonegrowth centers of the hand and wrist. *Pediatrics*. 1962 Feb;29(2):237–249. PMID: 13917935.
- [58] Louis DS, Calhoun TP, Garn SM, Carroll RE, Burdi AR. Congenital bipartite scaphoid—fact or fiction? *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1976 Dec;58(8):1108–1112. PMID: 137245.
- [59] Doman AN, Marcus NW. Congenital bipartite scaphoid. *The Journal of hand surgery*. 1990 Nov;15(6):869–873. PMID: 2269775.
- [60] Loh BW, Harvey J, Ek ET. Congenital bipartite lunate presenting as a misdiagnosed lunate fracture: a case report. *Journal of medical case reports*. 2011;5:102. PMID: 21401931.
- [61] Trumble TE, Salas P, Barthel T, Robert r Kearny Q. Management of scaphoid nonunions. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2003 Dec;11(6):380–391. PMID: 14686823.
- [62] Handley RC, Pooley J. The venous anatomy of the scaphoid. *Journal of anatomy*. 1991 Oct;178:115–118. PMID: 1810919 PMCID: PMC1260539.
- [63] Evenski AJ, Adamczyk MJ, Steiner RP, Morscher MA, Riley PM. Clinically suspected scaphoid fractures in children. *Journal of pediatric orthopedics*. 2009 Jun;29(4):352–355. PMID: 19461376.
- [64] Toh S, Miura H, Arai K, Yasumura M, Wada M, Tsubo K. Scaphoid fractures in children: problems and treatment. *Journal of pediatric orthopedics*. 2003 Apr;23(2):216–221. PMID: 12604954.
- [65] Takka S, Poyraz A. Enchondroma of the scaphoid bone. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 2002 Jul;122(6):369–370. PMID: 12136305.
- [66] Malizos KN, Gelalis ID, Ioachim EE, Soucacos PN. Pathologic fracture of the scaphoid due to enchondroma: treatment with vascularized bone grafting. report of a case. *The Journal of hand surgery*. 1998 Mar;23(2):334–337. PMID: 9556278.
- [67] Masada K, Fujiwara K, Yoshikawa H, Iwaki K. Chondroma of the scaphoid. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 1989 Aug;71(4):705. PMID: 2768330.
- [68] Redfern DR, Forester AJ, Evans MJ, Sohail M. Enchondroma of the scaphoid. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*. 1997 Apr;22(2):235–236. PMID: 9149996.
- [69] Fabre O, De Boeck H, Haentjens P. Fractures and nonunions of the carpal scaphoid in children. *Acta orthopaedica Belgica*. 2001 Apr;67(2):121–125. PMID: 11383289.
- [70] Pidemunt G, Torres-Claramunt R, Ginés A, de Zabala S, Cebamanos J. Bilateral stress fracture of the carpal scaphoid: report in a child and review of the literature. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*. 2012 Nov;22(6):511–513. PMID: 22584964.

- [71] Cockshott WP. Distal avulsion fractures of the scaphoid. *The British journal of radiology*. 1980 Nov;53(635):1037–1040. PMID: 7426928.
- [72] Herbert TJ, Fisher WE. Management of the fractured scaphoid using a new bone screw. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 1984 Jan;66(1):114–123. PMID: 6693468.
- [73] Kawamura K, Chung KC. Treatment of scaphoid fractures and nonunions. *The Journal of hand surgery*. 2008 Aug;33(6):988–997. PMID: 18656779.
- [74] Duckworth AD, Buijze GA, Moran M, Gray A, Court-Brown CM, Ring D, et al. Predictors of fracture following suspected injury to the scaphoid. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 2012 Jul;94(7):961–968. PMID: 22733954.
- [75] Krimmer H. Kahnbeinfraktur–Diagnostik und Therapie–aktueller Stand. *Obere Extremität*. 2010 May;5(2):98–105.
- [76] Morgan WJ, Slowman LS. Acute hand and wrist injuries in athletes: evaluation and management. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2001 Dec;9(6):389–400. PMID: 11730330.
- [77] Schädel-Höpfner M, Prommersberger K, Eisenschenk A, Windolf J. Behandlung von Handwurzelfrakturen: Empfehlungen der Sektion Handchirurgie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie. *Der Unfallchirurg*. 2010 Sep;113(9):741–756. PMID: 20824422.
- [78] Powell JM, Lloyd GJ, Rintoul RF. New clinical test for fracture of the scaphoid. *Canadian journal of surgery–Journal canadien de chirurgie*. 1988 Jul;31(4):237–238. PMID: 3390770.
- [79] Rhemrev SJ, Beeres FJP, van Leerdam RH, Hogervorst M, Ring D. Clinical prediction rule for suspected scaphoid fractures: A prospective cohort study. *Injury*. 2010 Oct;41(10):1026–1030. PMID: 20510414.
- [80] Parvizi J, Wayman J, Kelly P, Moran C. Combining the clinical signs improves diagnosis of scaphoid fractures–A prospective study with follow-up. *The Journal of Hand Surgery: Journal of the British Society for Surgery of the Hand*. 1998 Jun;23(3):324–327. PMID: 9665518.
- [81] Unay K, Gokcen B, Ozkan K, Poyanli O, Eceviz E. Examination tests predictive of bone injury in patients with clinically suspected occult scaphoid fracture. *Injury*. 2009 Dec;40(12):1265–1268. PMID: 19524914.
- [82] Karle B, Mayer B, Kitzinger HB, Fröhner S, Schmitt R, Krimmer H. Kahnbeinfrakturen - wann operativ, wann konservativ? CT-basierte Klassifikation. *Handchirurgie–Mikrochirurgie–Plastische Chirurgie*. 2005 Aug;37(4):260–266. PMID: 16149035.
- [83] Leslie IJ, Dickson RA. The fractured carpal scaphoid. Natural history and factors influencing outcome. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 1981 Aug;63-B(2):225–230. PMID: 7217146.
- [84] Jacobsen S, Hassani G, Hansen D, Christensen O. Suspected scaphoid fractures. Can we avoid overkill? *Acta orthopaedica Belgica*. 1995;61(2):74–78. PMID: 7597892.

- [85] Ziter Jr FM. A modified view of the carpal navicular. *Radiology*. 1973 Sep;108(3):706–707. PMID: 4723674.
- [86] Filan SL, Herbert TJ. Herbert screw fixation of scaphoid fractures. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 1996 Jul;78(4):519–529. PMID: 8682813.
- [87] Dias JJ, Taylor M, Thompson J, Brenkel IJ, Gregg PJ. Radiographic signs of union of scaphoid fractures. An analysis of inter-observer agreement and reproducibility. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 1988 Mar;70(2):299–301. PMID: 3346310.
- [88] Hansen TB, Petersen RB, Barckman J, Uhre P, Larsen K. Cost-effectiveness of MRI in managing suspected scaphoid fractures. *The Journal of hand surgery (European volume)*. 2009 Oct;34(5):627–630. PMID: 19687072.
- [89] Yin ZG, Zhang JB, Kan SL, Wang XG. Diagnosing suspected scaphoid fractures: a systematic review and meta-analysis. *Clinical orthopaedics and related research*. 2010 Mar;468(3):723–734. PMID: 19756904.
- [90] Brydie A. Early MRI in the management of clinical scaphoid fracture. *British Journal of Radiology*. 2003 May;76(905):296–300. PMID: 12763944.
- [91] Krimmer H, Schmitt R, Herbert T. Kahnbeinfrakturen–Diagnostik, Klassifikation und Therapie. *Der Unfallchirurg*. 2000;103(10):812–819. PMID: 11098739.
- [92] Senall JA, Failla JM, Bouffard JA, van Holsbeeck M. Ultrasound for the early diagnosis of clinically suspected scaphoid fracture. *The Journal of hand surgery*. 2004 May;29(3):400–405. PMID: 15140480.
- [93] Munk B, Bolvig L, Kroner K, Christiansen T, Borris L, Boe S. Ultrasound for diagnosis of scaphoid fractures. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*. 2000 Aug;25(4):369–371. PMID: 11058006.
- [94] Beeres F, Hogervorst M, Hollander Pd, Rhemrev S. Outcome of routine bone scintigraphy in suspected scaphoid fractures. *Injury*. 2005 Oct;36(10):1233–1236. PMID: 15979624.
- [95] Nguyen Q, Chaudhry S, Sloan R, Bhoora I, Willard C. The clinical scaphoid fracture: early computed tomography as a practical approach. *Annals of The Royal College of Surgeons of England*. 2008 Sep;90(6):488–491. PMID: 18598597.
- [96] Weinberg AM, Pichler W, Grechenig S, Tesch NP, Heidari N, Grechenig W. The percutaneous antegrade scaphoid fracture fixation–A safe method? *Injury*. 2009 Jun;40(6):642–644. PMID: 19380132.
- [97] Polsky MB, Kozin SH, Porter ST, Thoder JJ. Scaphoid fractures: dorsal versus volar approach. *Orthopedics*. 2002 Aug;25(8):817–819. PMID: 12195907.
- [98] Southcott R, Rosman MA. Non-union of carpal scaphoid fractures in children. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 1977 Feb;59(1):20–23. PMID: 321463.

- [99] Caputo AE, Watson HK, Nissen C. Scaphoid nonunion in a child: a case report. *The Journal of hand surgery*. 1995 Mar;20(2):243–245. PMID: 7775761.
- [100] Kay RM, Kuschner SH. Bilateral proximal radial and scaphoid fractures in a child. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*. 1999 Apr;24(2):255–257. PMID: 10372791.
- [101] Onuba O, Ireland J. Two cases of non-union of fractures of the scaphoid in children. *Injury*. 1983 Sep;15(2):109–112. PMID: 6629483.
- [102] Mintzer CM, Waters PM. Surgical treatment of pediatric scaphoid fracture nonunions. *Journal of pediatric orthopedics*. 1999 Apr;19(2):236–239. PMID: 10088696.
- [103] Godley DR. Nonunited carpal scaphoid fracture in a child: treatment with pulsed electromagnetic field stimulation. *Orthopedics*. 1997 Aug;20(8):718–719. PMID: 9263293.
- [104] Maxted MJ, Owen R. Two cases of non-union of carpal scaphoid fractures in children. *Injury*. 1982 Mar;13(5):441–443. PMID: 7085063.
- [105] Mulder JD. The results of 100 cases of pseudarthrosis in the scaphoid bone treated by the Matti-Russe operation. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 1968 Feb;50(1):110–115. PMID: 5641579.
- [106] Waters PM, Stewart SL. Surgical treatment of nonunion and avascular necrosis of the proximal part of the scaphoid in adolescents. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2002 Jun;84-A(6):915–920. PMID: 12063324.
- [107] Mawdsley MJ, Jalul M, Humphreys AR. Distal scaphoid fracture and scapholunate ligament injury in a child. *The Journal of Hand Surgery (European Volume)*. 2013 Feb;38(5):574–575. PMID: 23442340.
- [108] Barrick WT, Terrono AL, Newberg AH. Refracture of a proximal pole scaphoid fracture: a case report. *The Journal of hand surgery*. 1995 Mar;20(2):241–242. PMID: 7775760.
- [109] De Smet L, Fabry G, Stoffelen D, Broos P. Displaced fracture of the lunate in a child. *Acta orthopaedica Belgica*. 1993;59(3):303–305. PMID: 8237348.
- [110] Akahane M, Ono H, Sada M, Saitoh M. Bilateral bipartite lunate: A case report. *The Journal of Hand Surgery*. 2002 Mar;27(2):355–359. PMID: 11901399.
- [111] Budoff JE. Treatment of acute lunate and perilunate dislocations. *The Journal of hand surgery*. 2008 Oct;33(8):1424–1432. PMID: 18929215.
- [112] Sotereanos DG, Mitsionis GJ, Giannakopoulos PN, Tomaino MM, Herndon JH. Perilunate dislocation and fracture dislocation: a critical analysis of the volar-dorsal approach. *The Journal of hand surgery*. 1997 Jan;22(1):49–56. PMID: 9018612.
- [113] Ran Y, Copel L, Aghasi M, Halperin N. Translunate, transscaphoid, transcapitate, perilunate fracture dislocation. *The Journal of trauma*. 2009 Jul;67(1):E8–10. PMID: 18277296.

- [114] Hildebrand KA, Ross DC, Patterson SD, Roth JH, MacDermid JC, King GJ. Dorsal perilunate dislocations and fracture-dislocations: Questionnaire, clinical, and radiographic evaluation. *The Journal of Hand Surgery*. 2000 Nov;25(6):1069–1079. PMID: 11119665.
- [115] Forli A, Courvoisier A, Wimsey S, Corcella D, Moutet F. Perilunate dislocations and transscaphoid perilunate fracture-dislocations: a retrospective study with minimum ten-year follow-up. *The Journal of hand surgery*. 2010 Jan;35(1):62–68. PMID: 19931988.
- [116] Oestreich AE, Bhojwani N. Stress fractures of ankle and wrist in childhood: nature and frequency. *Pediatric radiology*. 2010 Aug;40(8):1387–1389. PMID: 20180100.
- [117] Maquirriain J, Ghisi JP. The incidence and distribution of stress fractures in elite tennis players. *British journal of sports medicine*. 2006 May;40(5):454–459; discussion 459. PMID: 16632579.
- [118] Hoffmann R. *Checkliste Handchirurgie*. Stuttgart; New York, NY: Thieme; 2009.
- [119] Takase K, Yamamoto K. Unusual combined scaphoid and lunate fracture of the wrist: a case report. *The Journal of hand surgery*. 2006 Mar;31(3):414–417. PMID: 16516735.
- [120] Fenton RL. The naviculo-capitate fracture syndrome. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1956 Jun;38-A(3):681–684. PMID: 13319423.
- [121] Herzberg G, Comtet JJ, Linscheid RL, Amadio PC, Cooney WP, Stalder J. Perilunate dislocations and fracture-dislocations: a multicenter study. *The Journal of hand surgery*. 1993 Sep;18(5):768–779. PMID: 8228045.
- [122] Herzberg G, Forissier D. Acute dorsal trans-scaphoid perilunate fracture-dislocations: medium-term results. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*. 2002 Dec;27(6):498–502. PMID: 12475503.
- [123] Ramesh B, Shetty S, Clay NR. Volar perilunate dislocation in an ununited scaphoid of a child: a case report. *Journal of Pediatric Orthopaedics B*. 2010 Jul;19(4):307–309. PMID: 20386327.
- [124] Masmajejan EH, Romano SJ, Saffar PH. Palmar perilunate fracture-dislocation of the carpus. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*. 1998 Apr;23(2):264–265. PMID: 9607678.
- [125] Ong JCY, Devitt BM, O’Sullivan ME. Impaction-fracture of the capitate and lunate: a case report. *Journal of orthopaedic surgery (Hong Kong)*. 2012 Aug;20(2):243–245. PMID: 22933688.
- [126] Dias JJ, Lunn P. Ten questions on Kienbock’s disease of the lunate. *The Journal of hand surgery (European volume)*. 2010 Sep;35(7):538–543. PMID: 20498152.
- [127] Allan CH, Joshi A, Lichtman DM. Kienbock’s disease: diagnosis and treatment. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2001 Apr;9(2):128–136. PMID: 11281636.

- [128] Trumble T, Verheyden J. Treatment of isolated perilunate and lunate dislocations with combined dorsal and volar approach and intraosseous cerclage wire. *The Journal of hand surgery*. 2004 May;29(3):412–417. PMID: 15140482.
- [129] Apergis E, Maris J, Theodoratos G, Pavlakis D, Antoniou N. Perilunate dislocations and fracture-dislocations. Closed and early open reduction compared in 28 cases. *Acta orthopaedica Scandinavica Supplementum*. 1997 Oct;275:55–59. PMID: 9385268.
- [130] Souer JS, Rutgers M, Andermahr J, Jupiter JB, Ring D. Perilunate fracture-dislocations of the wrist: comparison of temporary screw versus K-wire fixation. *The Journal of hand surgery*. 2007 Mar;32(3):318–325. PMID: 17336837.
- [131] Knoll VD, Allan C, Trumble TE. Trans-Scaphoid Perilunate Fracture Dislocations: Results of Screw Fixation of the Scaphoid and Lunotriquetral Repair With a Dorsal Approach. *The Journal of Hand Surgery*. 2005 Nov;30(6):1145.e1–1145.e11. PMID: 16344169.
- [132] Melone J C P, Murphy MS, Raskin KB. Perilunate injuries. Repair by dual dorsal and volar approaches. *Hand clinics*. 2000 Aug;16(3):439–448. PMID: 10955217.
- [133] Adkison JW, Chapman MW. Treatment of acute lunate and perilunate dislocations. *Clinical orthopaedics and related research*. 1982 Apr;(164):199–207. PMID: 7067286.
- [134] Compson JP. Trans-carpal injuries associated with distal radial fractures in children: a series of three cases. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*. 1992 Jun;17(3):311–314. PMID: 1624864.
- [135] Foley K, Patel S. Fractures of the scaphoid, capitate and triquetrum in a child: a case report. *Journal of orthopaedic surgery (Hong Kong)*. 2012 Apr;20(1):103–104. PMID: 22535822.
- [136] Komura S, Yokoi T, Nonomura H, Tanahashi H, Satake T, Watanabe N. Incidence and Characteristics of Carpal Fractures Occurring Concurrently With Distal Radius Fractures. *The Journal of Hand Surgery*. 2012 Mar;37(3):469–476. PMID: 22321439.
- [137] Thomsen NO. A dorsally displaced capitate neck fracture combined with a transverse shear fracture of the triquetrum. *The Journal of Hand Surgery (European Volume)*. 2013 Feb;38(2):210–211. PMID: 22640935.
- [138] Suzuki T, Nakatsuchi Y, Tateiwa Y, Tsukada A, Yotsumoto N. Osteochondral fracture of the triquetrum: A case report. *The Journal of Hand Surgery*. 2002 Jan;27(1):98–100. PMID: 11810621.
- [139] Höcker K, Menschik A. [Fracture of the triquetrum. Pathomechanics, classification, treatment and results within the scope of follow-up]. *Handchirurgie, Mikrochirurgie, plastische Chirurgie: Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Handchirurgie: Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Mikrochirurgie der Peripheren Nerven und Gefässe [sic!]: Organ der Vereinigung der Deutschen Plastischen Chirurgen*. 1994 Jul;26(4):207–212. PMID: 7926991.
- [140] Letts M, Esser D. Fractures of the triquetrum in children. *Journal of pediatric orthopedics*. 1993 Apr;13(2):228–231. PMID: 8459017.

- [141] Kiuru MJ, Haapamaki VV, Koivikko MP, Koskinen SK. Wrist injuries; diagnosis with multidetector CT. *Emergency radiology*. 2004 Feb;10(4):182–185. PMID: 15290486.
- [142] Durbin FC. Non-union of the triquetrum; report of a case. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 1950 Aug;32-B(3):388. PMID: 14778860.
- [143] Aiki H, Wada T, Yamashita T. Pisotriquetral arthrosis after triquetral malunion: a case report. *The Journal of hand surgery*. 2006 Sep;31(7):1157–1159. PMID: 16945720.
- [144] Helal B. Chronic overuse injuries of the piso-triquetral joint in racquet game players. *British journal of sports medicine*. 1978 Dec;12(4):195–198. PMID: 444806.
- [145] Ashkan K, O'Connor D, Lambert S. Dislocation of the pisiform in a 9-year-old child. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*. 1998 Apr;23(2):269–270. PMID: 9607680.
- [146] Mancini F, De Maio F, Ippolito E. Pisiform bone fracture-dislocation and distal radius physeal fracture in two children. *Journal of pediatric orthopedics Part B*. 2005 Jul;14(4):303–306. PMID: 15931038.
- [147] Cohen I. Dislocation of the pisiform. *Annals of Surgery*. 1922 Feb;75(2):238–239. PMID: 17864598.
- [148] McGuigan FX, Culp RW. Surgical treatment of intra-articular fractures of the trapezium. *The Journal of Hand Surgery*. 2002 Jul;27(4):697–703. PMID: 12132098.
- [149] Garneti N, Tuson CE. Sagittally split fracture of trapezium associated with subluxated carpo-metacarpal joint of thumb. *Injury*. 2004 Nov;35(11):1172–1175. PMID: 15488511.
- [150] Inston N, Pimpalnerkar AL, Arafa MA. Isolated fracture of the trapezium: an easily missed injury. *Injury*. 1997 Sep;28(7):485–488. PMID: 9509093.
- [151] Parker WL, Czerwinski M, Lee C. First carpal-metacarpal joint dislocation and trapezoidal fracture treated with external fixation in an adolescent. *Annals of plastic surgery*. 2008 Nov;61(5):506–510. PMID: 18948776.
- [152] Wulff RN, Schmidt TL. Carpal fractures in children. *Journal of pediatric orthopedics*. 1998 Aug;18(4):462–465. PMID: 9661853.
- [153] Kuniyoshi K, Toh S, Nishikawa S, Kudo S, Ogawa T, Pegoli L. Long-term follow-up of a malunited, isolated fracture of the capitate in a 6-year-old boy. *Journal of pediatric orthopedics Part B*. 2005 Jan;14(1):46–50. PMID: 15577307.
- [154] Klitscher D, Hückstädt T, Müller LP, Weltzien A, Schier F, Rommens PM. [Capitate fracture in an 11-year-old boy]. *Handchirurgie, Mikrochirurgie, plastische Chirurgie: Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Handchirurgie: Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Mikrochirurgie der Peripheren Nerven und Gefässe [sic!]: Organ der Vereinigung der Deutschen Plastischen Chirurgen*. 2010 Oct;42(5):314–316. PMID: 20340071.

- [155] Young TB. Isolated fracture of the capitate in a 10-year-old boy. *Injury*. 1986 Mar;17(2):133–134. PMID: 3770903.
- [156] Gibbon WW, Jackson A. An isolated capitate fracture in a 9-year-old boy. *The British journal of radiology*. 1989 May;62(737):487–488. PMID: 2653553.
- [157] Rebuzzi E. Isolated fracture of the capitate with proximal pole dorsal dislocation. A case report. *Acta orthopaedica Belgica*. 2001 Jun;67(3):283–285. PMID: 11486693.
- [158] Calandruccio JH, Duncan SF. Isolated nondisplaced capitate waist fracture diagnosed by magnetic resonance imaging. *The Journal of hand surgery*. 1999 Jul;24(4):856–859. PMID: 10447181.
- [159] Gehrmann SV, Wild M, Windolf J, Hakimi MY. [Isolated fractures of the capitate: treatment of delayed union]. *Handchirurgie, Mikrochirurgie, plastische Chirurgie: Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Handchirurgie: Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Mikrochirurgie der Peripheren Nerven und Gefäße [sic!]: Organ der Vereinigung der Deutschen Plastischen Chirurgen*. 2009 Jun;41(3):175–178. PMID: 19322749.
- [160] Schliemann B, Langer M, Kösters C, Raschke MJ, Ochman S. Successful delayed surgical treatment of a scaphocapitate fracture. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*. 2011 Mar;131(11):1555–1559. PMID: 21448737.
- [161] Arbter D, Piatek S, Wichlas F, Winckler S. [The scaphocapitate fracture syndrome (Fenton)]. *Handchirurgie, Mikrochirurgie, plastische Chirurgie: Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Handchirurgie: Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Mikrochirurgie der Peripheren Nerven und Gefäße [sic!]: Organ der Vereinigung der Deutschen Plastischen Chirurgen*. 2009 Jun;41(3):171–174. PMID: 19322751.
- [162] Apergis E, Darmanis S, Kastanis G, Papanikolaou A. Does the term scaphocapitate syndrome need to be revised? A report of 6 cases. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*. 2001 Oct;26(5):441–445. PMID: 11560426.
- [163] Volk AG, Schnall SB, Merkle P, Stevanovic M. Unusual capitate fracture: a case report. *The Journal of hand surgery*. 1995 Jul;20(4):581–582. PMID: 7594283.
- [164] Johnson RP. The acutely injured wrist and its residuals. *Clinical orthopaedics and related research*. 1980 Jun;(149):33–44. PMID: 7408318.
- [165] Dahlin LB, Besjakov J. An unusual variant of fracture through the capitate bone—a case report. *Acta orthopaedica Scandinavica*. 2002 Apr;73(2):232–233. PMID: 12079025.
- [166] Rico AA, Holguin PH, Martin JG. Pseudarthrosis of the capitate. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*. 1999 Jun;24(3):382–384. PMID: 10433464.
- [167] De Schrijver F, De Smet L. Isolated fracture of the capitate: the value of MRI in diagnosis and follow up. *Acta orthopaedica Belgica*. 2002 Jun;68(3):310–315. PMID: 12152383.

- [168] Sawant M, Miller J. Scaphocapitate syndrome in an adolescent. *The Journal of Hand Surgery*. 2000 Nov;25(6):1096–1099. PMID: 11119668.
- [169] Minami M, Yamazaki J, Chisaka N, Kato S, Ogino T, Minami A. Nonunion of the capitate. *The Journal of hand surgery*. 1987 Nov;12(6):1089–1091. PMID: 3320174.
- [170] Hirata H, Sasaki H, Ogawa A, Fujisawa K, Uchida A. Rotary dislocation of the capitate: A case report. *The Journal of Hand Surgery*. 1997 Jan;22(1):89–90. PMID: 9018619.
- [171] Lowrey DG, Moss SH, Wolff TW. Volar dislocation of the capitate. Report of a case. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1984 Apr;66(4):611–613. PMID: 6707041.
- [172] Vance RM, Gelberman RH, Evans EF. Scaphocapitate fractures. Patterns of dislocation, mechanisms of injury, and preliminary results of treatment. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1980 Mar;62(2):271–276. PMID: 6987237.
- [173] Strohm PC, Laier P, Müller CA, Gutorski S, Pfister U. [Scapho-capitate fracture syndrome of both hands—first description of a bilateral occurrence of a rare carpal injury]. *Der Unfallchirurg*. 2003 Apr;106(4):339–342. PMID: 12719855.
- [174] Kumar A, Thomas AP. Scapho-capitate fracture syndrome. A case report. *Acta orthopaedica Belgica*. 2001 Apr;67(2):185–189. PMID: 11383300.
- [175] Hakimi M, Linhart W, Windolf J. [Functional results two years after the treatment of a delayed diagnosed scapho-capitate fracture syndrome]. *Handchirurgie, Mikrochirurgie, plastische Chirurgie: Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Handchirurgie: Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Mikrochirurgie der Peripheren Nerven und Gefäße [sic]: Organ der Vereinigung der Deutschen Plastischen Chirurgen*. 2003 Oct;35(5):338–341. PMID: 14577051.
- [176] Peters A, Plesch J, Schacht U. [Scaphocapitate dislocation-fracture of the wrist joint in the setting of multiple injury]. *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin [sic]*. 1997 Nov;68(11):1187–1189. PMID: 9518213.
- [177] Milliez PY, Dallaserra M, Thomine JM. An unusual variety of scapho-capitate syndrome. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*. 1993 Feb;18(1):53–57. PMID: 8436864.
- [178] Devers BN, Douglas KC, Naik RD, Lee DH, Watson JT, Weikert DR. Outcomes of hook of hamate fracture excision in high-level amateur athletes. *The Journal of hand surgery*. 2013 Jan;38(1):72–76. PMID: 23200952.
- [179] Wharton DM, Casaletto JA, Choa R, Brown DJ. Outcome following coronal fractures of the hamate. *Journal of Hand Surgery (European Volume)*. 2009 Mar;35(2):146–149. PMID: 19282405.
- [180] Scheufler O, Andresen R, Radmer S, Erdmann D, Exner K, Germann G. Hook of Hamate Fractures: Critical Evaluation of Different Therapeutic Procedures. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2005 Feb;115(2):488–497. PMID: 15692355.

- [181] Ardevol J, Henriquez A. Hook of the hamate nonunion: suspicion of stress-induced mechanism in a hockey player. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2002 Jan;10(1):61–63. PMID: 11819024.
- [182] Fujioka H, Tsunoda M, Noda M, Matsui N, Mizuno K. Treatment of ununited fracture of the hook of hamate by low-intensity pulsed ultrasound: a case report. *The Journal of hand surgery*. 2000 Jan;25(1):77–79. PMID: 10642475.
- [183] Fujioka H, Tanaka J, Yoshiya S, Tsunoda M, Fujita K, Matsui N, et al. Ultrasound treatment of nonunion of the hook of the hamate in sports activities. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2004 Mar;12(2):162–164. PMID: 14504721.
- [184] David TS, Zemel NP, Mathews PV. Symptomatic, partial union of the hook of the hamate fracture in athletes. *The American journal of sports medicine*. 2003 Feb;31(1):106–111. PMID: 12531766.
- [185] Demirkan F, Calandruccio JH, Diangelo D. Biomechanical evaluation of flexor tendon function after hamate hook excision. *The Journal of hand surgery*. 2003 Jan;28(1):138–143. PMID: 12563651.
- [186] Kim JK, Shin SJ. A novel hamatometacarpal fracture–dislocation classification system based on CT scan. *Injury*. 2012 Jul;43(7):1112–1117. PMID: 22463840.
- [187] Cain JE Jr, Shepler TR, Wilson MR. Hamatometacarpal fracture-dislocation: classification and treatment. *The Journal of hand surgery*. 1987 Sep;12(5 Pt 1):762–767. PMID: 3655238.
- [188] Cornwall R. Finger metacarpal fractures and dislocations in children. *Hand clinics*. 2006 Feb;22(1):1–10. PMID: 16504773.
- [189] Singer G, Eberl R, Petnehazy T, Schmidt B. Pediatric hand fractures. *Minerva Ortopedica e Traumatologica*. 2009 Jan;60(5):471–80.
- [190] Sivit AP, DuPont EP, Sivit CJ. Pediatric hand injuries: essentials you need to know. *Emergency Radiology*. 2013 Oct; PMID: 24158746.
- [191] Lieber J, Härter B, Schmid E, Kirschner H, Schmittenebecher P. Elastic Stable Intra-medullary Nailing (ESIN) of Pediatric Metacarpal Fractures: Experiences with 66 Cases. *European Journal of Pediatric Surgery*. 2012 May;22(04):305–310. PMID: 22648199.
- [192] Court-Brown CM, Aitken S, Hamilton TW, Rennie L, Caesar B. Nonoperative Fracture Treatment in the Modern Era. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*. 2010 Sep;69(3):699–707. PMID: 20065878.
- [193] Chin SH, Vedder NB. MOC-PSSM CME Article: Metacarpal Fractures: Plastic and Reconstructive Surgery. 2008 Jan;121(MOC-PS CME Coll):1–13. PMID: 18182957.
- [194] Gudmundsen TE, Borgen L. Fractures of the Fifth Metacarpal. *Acta Radiologica*. 2009 Jan;50(3):296–300. PMID: 19173096.
- [195] Chew EM, Chong AK. Hand Fractures in Children: Epidemiology and Misdiagnosis in a Tertiary Referral Hospital. *The Journal of Hand Surgery*. 2012 Aug;37(8):1684–1688. PMID: 22763063.

- [196] Rajesh A, Basu AK, Vaidhyanath R, Finlay D. Hand fractures: a study of their site and type in childhood. *Clinical radiology*. 2001 Aug;56(8):667–669. PMID: 11467869.
- [197] Feehan LM, Sheps SB. Incidence and Demographics of Hand Fractures in British Columbia, Canada: A Population-Based Study. *The Journal of Hand Surgery*. 2006 Sep;31(7):1068.e1–1068.e9. PMID: 16945705.
- [198] Yeh PC, Dodds SD. Pediatric Hand Fractures:. *Techniques in Orthopaedics*. 2009 Sep;24(3):150–162.
- [199] Sandner A, Menke H. Ergebnisse der antegraden, intramedullären Kirschner–Draht–Schienung der subkapitalen MHK V Fraktur nach Foucher. *Handchirurgie–Mikrochirurgie–Plastische Chirurgie*. 2008 Jul;40(05):336–341. PMID: 18633884.
- [200] Hunter JM, Cowen NJ. Fifth metacarpal fractures in a compensation clinic population. A report on one hundred and thirty-three cases. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1970 Sep;52(6):1159–1165. PMID: 4247878.
- [201] Mahabir RC, Kazemi AR, Cannon WG, Courtemanche DJ. Pediatric hand fractures: a review. *Pediatric emergency care*. 2001 Jun;17(3):153–156. PMID: 11437136.
- [202] Soni A, Gulati A, Bassi JL, Singh D, Saini UC. Outcome of closed ipsilateral metacarpal fractures treated with mini fragment plates and screws: a prospective study. *Journal of Orthopaedics and Traumatology*. 2011 Nov;13(1):29–33. PMID: 22080220.
- [203] Souer JS, Mudgal CS. Plate Fixation in Closed Ipsilateral Multiple Metacarpal Fractures. *The Journal of Hand Surgery (European Volume)*. 2008 Oct;33(6):740–744. PMID: 18694922.
- [204] Rhee SH, Lee SK, Lee SL, Kim J, Baek GH, Lee YH. Prospective Multicenter Trial of Modified Retrograde Percutaneous Intramedullary Kirschner Wire Fixation for Displaced Metacarpal Neck and Shaft Fractures. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2012 Mar;129(3):694–703. PMID: 22373974.
- [205] Badius R, Pedret C, Estruch A, Hernandez G, Ruiz-Cotorro A, Mota J. Stress Fractures of the Metacarpal Bones in Adolescent Tennis Players: A Case Series. *The American Journal of Sports Medicine*. 2010 Mar;38(6):1215–1220. PMID: 20212101.
- [206] Bernalchuk A, Okada K, Nishida J, Takahashi S, Shimada Y, Itoi E. Stress fracture of the second metacarpal bone. *Skeletal Radiology*. 2004 Jun;33(9). PMID: 15224173.
- [207] Schaefer M, Siebert HR. Finger- und Mittelhandfrakturen Operative und nicht operative Behandlungsverfahren, Teil I. *Der Unfallchirurg*. 2000;103(6):482–494. PMID: 10925652.
- [208] Potenza V, Caterini R, De Maio F, Bisicchia S, Farsetti P. Fractures of the neck of the fifth metacarpal bone. Medium-term results in 28 cases treated by percutaneous transverse pinning. *Injury*. 2012 Feb;43(2):242–245. PMID: 22154304.
- [209] Kelsch G, Ulrich C. Intramedullary k-wire fixation of metacarpal fractures. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*. 2004 Jul;124(8):523–526. PMID: 15278369.

- [210] Hofmeister EP, Kim J, Shin AY. Comparison of 2 Methods of Immobilization of Fifth Metacarpal Neck Fractures: A Prospective Randomized Study. *The Journal of Hand Surgery*. 2008 Oct;33(8):1362–1368. PMID: 18929202.
- [211] Windolf J, Rueger J, Werber K, Eisenschenk A, Siebert H, Schädel-Höpfner M. Behandlung von Mittelhandfrakturen: Empfehlungen der Sektion Handchirurgie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie. *Der Unfallchirurg*. 2009 Jun;112(6):577–589. PMID: 19543875.
- [212] Bansal R, Craigen M. Fifth metacarpal neck fractures: is follow-up required? *The Journal of Hand Surgery: Journal of the British Society for Surgery of the Hand*. 2007 Feb;32(1):69–73. PMID: 17125893.
- [213] Bach HG, Gonzalez MH, Hall RF. Locked Intramedullary Nailing of Metacarpal Fractures Secondary to Gunshot Wounds. *The Journal of Hand Surgery*. 2006 Sep;31(7):1083–1087. PMID: 16945707.
- [214] Lohiya GS, Crinella FM, Tan-Figueroa L, Caires S, Lohiya S. Fracture epidemiology and control in a developmental center. *The Western journal of medicine*. 1999 Apr;170(4):203–209. PMID: 10344173 PMCID: PMC1305549.
- [215] Longhi S, Pasquino B, Calcagno A, Bertelli E, Olivieri I, Di Iorgi N, et al. Small metacarpal bones of low quality in obese children. *Clinical Endocrinology*. 2013 Jan;78(1):79–85. PMID: 22724541.
- [216] Williams AA, Lochner HV. Pediatric hand and wrist injuries. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*. 2013 Mar;6(1):18–25. PMID: 23264097.
- [217] Krickhahn M, Kneser U, Kopp J, Bach AD, Loos B, Polykandriotis E, et al. Luxationen und Frakturen der Mittelhand. *Chirurgische Allgemeine*. 2004;5(9):357–360.
- [218] Bennett EH. On Fracture of the Metacarpal Bone of the Thumb. *British medical journal*. 1886 Jul;2(1331):12–13. PMID: 20751614 PMCID: PMC2257374.
- [219] Demir E, Unglaub F, Wittemann M, Germann G, Sauerbier M. Osteosynthetisch versorgte intraartikuläre Frakturen der Metakarpale-I-Basis: Klinische und radiologische Ergebnisse. *Der Unfallchirurg*. 2006 Jan;109(1):13–21. PMID: 16133289.
- [220] Ebinger T, Roesch M, Wachter N, Kinzl L, Mentzel M. Functional treatment of physeal and periphyseal injuries of the metacarpal and proximal phalangeal bones. *Journal of Pediatric Surgery*. 2001 Apr;36(4):611–615. PMID: 11283888.
- [221] Facca S, Ramdhian R, Pelissier A, Diaconu M, Liverneaux P. Fifth metacarpal neck fracture fixation: Locking plate versus K-wire? *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. 2010 Sep;96(5):506–512. PMID: 20580630.
- [222] Braakman M. Are lateral X-rays useful in the treatment of fractures of the fourth and fifth metacarpals? *Injury*. 1998 Jan;29(1):1–3. PMID: 9659471.
- [223] Braakman M, Verburg AD, Oderwald EE. Are routine radiographs during conservative treatment of fractures of the fourth and fifth metacarpals useful? *Acta orthopaedica Belgica*. 1996 Sep;62(3):151–155. PMID: 8890540.

- [224] Berthold LD, Peter A, Ishaque N, Mauermann F, Böhringer G, Klose KJ. Measurement of torsion angles of long finger bones using computed tomography. *Skeletal Radiology*. 2001 Oct;30(10):579–583. PMID: 11685481.
- [225] Pai VS. Compartment syndrome of the hand—a case report. *Injury*. 1997 Jul;28(5-6):411–412. PMID: 9764247.
- [226] Brüser P, Krein R, Larkin G. Fixation of metacarpal fractures using absorbable hemi-cerclage sutures. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*. 1999 Dec;24(6):683–687. PMID: 10672804.
- [227] Dumont C, Fuchs M, Burchhardt H, Appelt D, Bohr S, Stürmer KM. Clinical Results of Absorbable Plates for Displaced Metacarpal Fractures. *The Journal of Hand Surgery*. 2007 Apr;32(4):491–496. PMID: 17398359.
- [228] Page SM, Stern PJ. Complications and range of motion following plate fixation of metacarpal and phalangeal fractures. *The Journal of hand surgery*. 1998 Sep;23(5):827–832. PMID: 9763256.
- [229] Fusetti C, Meyer H, Borisch N, Stern R, Santa DD, Papaloizos M. Complications of plate fixation in metacarpal fractures. *The Journal of trauma*. 2002 Mar;52(3):535–539. PMID: 11901331.
- [230] Krein R, Richter M, Brüser P. [Osteosynthesis with resorbable hemi-cerclage in metacarpal fractures]. *Handchirurgie, Mikrochirurgie, plastische Chirurgie: Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Handchirurgie: Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Mikrochirurgie der Peripheren Nerven und Gefäße [sic!]: Organ der Vereinigung der Deutschen Plastischen Chirurgen*. 2000 Mar;32(2):102–106. PMID: 10857063.
- [231] Wong T, Ip F, Yeung S. Comparison between percutaneous transverse fixation and intramedullary K-wires in treating closed fractures of the metacarpal neck of the little finger. *The Journal of Hand Surgery (Edinburgh, Scotland)*. 2006 Feb;31(1):61–65. PMID: 16137808.
- [232] Chammaa RH, Thomas PBM, Khalil A. Single retrograde intramedullary wire fixation of metacarpal shaft fractures. *Acta orthopaedica Belgica*. 2010 Dec;76(6):751–757. PMID: 21302572.
- [233] Winter M, Balaguer T, Bessiere C, Carles M, Lebreton E. Surgical treatment of the boxer's fracture: transverse pinning versus intramedullary pinning. *The Journal of Hand Surgery (European Volume)*. 2007 Dec;32(6):709–713. PMID: 17993437.
- [234] Kaiser MM, Tafazzoli K, Theilen TM, Schulz AP, Paech A, Wessel LM. Intramedullary nailing for metacarpal 25 fractures. *Journal of Pediatric Orthopaedics B*. 2009 Nov;18(6):296–301. PMID: 19620894.
- [235] Porter ML, Hodgkinson JP, Hirst P, Wharton MR, Cunliffe M. The boxers' fracture: a prospective study of functional recovery. *Archives of emergency medicine*. 1988 Dec;5(4):212–215. PMID: 3233134 PMCID: PMC1285536.

- [236] Fukuda K, Fujioka H, Fujita I, Uemoto H, Hiranaka T, Tsuji M, et al. Stress fracture of the second metacarpal bone in a badminton player. *The Kobe journal of medical sciences*. 2008;54(3):E159–162. PMID: 19246963.
- [237] Dwek JR, Cardoso F, Chung CB. MR imaging of overuse injuries in the skeletally immature gymnast: spectrum of soft-tissue and osseous lesions in the hand and wrist. *Pediatric Radiology*. 2009 Oct;39(12):1310–1316. PMID: 19847413.
- [238] Parsons EM. Metacarpal Stress Fracture in an Intercollegiate Rower: Case Report. *American Journal of Sports Medicine*. 2005 Feb;33(2):293–294. PMID: 15701617.
- [239] Muramatsu K, Kuriyama R. Stress fracture at the base of second metacarpal in a soft tennis player. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*. 2005 Jul;15(4):279–280. PMID: 16003045.
- [240] Teoh L, Tan P, Tan S, Cheong E. Cerclage-Wiring-Assisted Fixation of Difficult Hand Fractures. *The Journal of Hand Surgery: Journal of the British Society for Surgery of the Hand*. 2006 Dec;31(6):637–642. PMID: 17011090.
- [241] Drenth DJ, Klasen HJ. External fixation for phalangeal and metacarpal fractures. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 1998 Mar;80(2):227–230. PMID: 9546449.
- [242] Debnath U, Nassab R, Oni J, Davis T. A prospective study of the treatment of fractures of the little finger metacarpal shaft with a short hand cast. *The Journal of Hand Surgery: Journal of the British Society for Surgery of the Hand*. 2004 Jun;29(3):214–217. PMID: 15142689.
- [243] Low CK, Wong HC, Low YP, Wong HP. A cadaver study of the effects of dorsal angulation and shortening of the metacarpal shaft on the extension and flexion force ratios of the index and little fingers. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*. 1995 Oct;20(5):609–613. PMID: 8543865.
- [244] Fujitani R, Omokawa S, Shigematsu K, Tanaka Y. Comparison of the intramedullary nail and low-profile plate for unstable metacarpal neck fractures. *Journal of Orthopaedic Science*. 2012 Apr;17(4):450–456. PMID: 22476428.
- [245] Konradsen L, Nielsen PT, Albrecht-Beste E. Functional treatment of metacarpal fractures 100 randomized cases with or without fixation. *Acta orthopaedica Scandinavica*. 1990 Dec;61(6):531–534. PMID: 2281761.
- [246] Mockford BJ, Thompson NS, Nolan PC, Calderwood JW. Antegrade intramedullary fixation of displaced metacarpal fractures: a new technique. *Plastic and reconstructive surgery*. 2003 Jan;111(1):351–354. PMID: 12496602.
- [247] Roth JJ, Auerbach DM. Fixation of hand fractures with bicortical screws. *The Journal of Hand Surgery*. 2005 Jan;30(1):151–153. PMID: 15680572.
- [248] Ozer K, Gillani S, Williams A, Peterson SL, Morgan S. Comparison of Intramedullary Nailing Versus Plate-Screw Fixation of Extra-Articular Metacarpal Fractures. *The Journal of Hand Surgery*. 2008 Dec;33(10):1724–1731. PMID: 19084170.

- [249] Muller MGS, Poolman RW, van Hoogstraten MJ, Steller EP. Immediate mobilization gives good results in boxer's fractures with volar angulation up to 70 degrees: a prospective randomized trial comparing immediate mobilization with cast immobilization. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*. 2003 Dec;123(10):534–537. PMID: 14639483.
- [250] Harding I. The use of a moulded metacarpal brace versus neighbour strapping for fractures of the little finger metacarpal neck. *The Journal of Hand Surgery: Journal of the British Society for Surgery of the Hand*. 2001 Jun;26(3):261–263. PMID: 11386781.
- [251] Schädel-Höpfner M, Wild M, Windolf J, Linhart W. Antegrade intramedullary splinting or percutaneous retrograde crossed pinning for displaced neck fractures of the fifth metacarpal? *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*. 2006 Nov;127(6):435–440. PMID: 17123093.
- [252] Braakman M, Oderwald EE, Haentjens MH. Functional taping of fractures of the 5th metacarpal results in a quicker recovery. *Injury*. 1998 Jan;29(1):5–9. PMID: 9659472.
- [253] Hansen PB, Hansen TB. The treatment of fractures of the ring and little metacarpal necks. A prospective randomized study of three different types of treatment. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*. 1998 Apr;23(2):245–247. PMID: 9607671.
- [254] Poolman RW, Goslings JC, Lee JB, Stadius Muller M, Steller EP, Struijs PAA. Conservative treatment for closed fifth (small finger) metacarpal neck fractures. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2005;(3):CD003210. PMID: 16034891.
- [255] Manner M, Roesler B. Die orthograde Kirschnerdrahtosteosynthese. *Der Chirurg*. 2000 Mar;71(3):326–330. PMID: 10789051.
- [256] Calder JD, O'Leary S, Evans SC. Antegrade intramedullary fixation of displaced fifth metacarpal fractures. *Injury*. 2000 Jan;31(1):47–50. PMID: 10716050.
- [257] Shewring D, Thomas R. Collateral ligament avulsion fractures from the heads of the metacarpals of the fingers. *The Journal of Hand Surgery: Journal of the British Society for Surgery of the Hand*. 2006 Oct;31(5):537–541. PMID: 16920236.
- [258] Sakuma M, Nakamura R, Inoue G, Horii E. Avulsion fracture of the metacarpophalangeal joint of the finger. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*. 1997 Oct;22(5):667–671. PMID: 9752930.
- [259] Greeven A, Alta T, Scholtens R, de Heer P, van der Linden F. Closed reduction intermetacarpal Kirschner wire fixation in the treatment of unstable fractures of the base of the first metacarpal. *Injury*. 2012 Feb;43(2):246–251. PMID: 22169067.
- [260] Adamson P, UNICEF, Office of Research. *Child well-being in rich countries a comparative overview*. Florence, Italy: UNICEF Office of Research; 2013.
- [261] Gilbert R, Widom CS, Browne K, Fergusson D, Webb E, Janson S. Burden and consequences of child maltreatment in high-income countries. *Lancet*. 2009 Jan;373(9657):68–81.

- [262] Hobbs CJ, Bilo RAC. Nonaccidental trauma: clinical aspects and epidemiology of child abuse. *Pediatric Radiology*. 2009 Feb;39(5):457–460.
- [263] Reijneveld SA, van der Wal MF, Brugman E, Sing RAH, Verloove-Vanhorick SP. Infant crying and abuse. *Lancet*. 2004 Oct;364(9442):1340–1342. PMID: 15474137.
- [264] Sackett DL, Rosenberg WM, Gray JA, Haynes RB, Richardson WS. Evidence based medicine: what it is and what it isn't. *BMJ (Clinical research ed)*. 1996 Jan;312(7023):71–72. PMID: 8555924 PMCID: PMC2349778.