

Diplomarbeit

Monteggia Frakturen im Kindes - und Jugendalter

eingereicht von

Lisa-Marie Bohnstingl

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor(in) der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie

unter der Anleitung von

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

Dr. med. univ. Margarita Kaiser

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 10.01.2016

Lisa-Marie Bohnstingl eh

Danksagungen

Zunächst möchte ich mich an dieser Stelle bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Diplomarbeit unterstützt und motiviert haben.

Ein besonderer Dank gilt dabei meinem Betreuer Assoz. Prof. Priv.-Doz. Dr. med. univ. Georg Singer, der mich jederzeit tatkräftig unterstützt hat. Vielen Dank für die Geduld, die hilfreichen Ratschläge und die stets rasche Beantwortung meiner Fragen.

Weiters möchte ich mich herzlich bei meiner Familie, insbesondere bei meinen Eltern für die Ermöglichung meines Studiums und die moralische und finanzielle Unterstützung während meiner gesamten Studienzeit bedanken.

Abschließend möchte ich meinem Freund Jürgen vor allem für seine Geduld und sein Verständnis während der Zeit der Niederschrift meiner Arbeit danken.

Zusammenfassung

Einleitung

Bei der Monteggia Fraktur handelt es sich um eine erstmals im Jahr 1813 von Giovanni Monteggia beschriebene proximale Ulnaschaftfraktur kombiniert mit einer Luxation des Radiuskopfes im Ellbogengelenk. Diese Frakturform zählt mit einem Anteil von circa 1% aller kindlichen Unterarmfrakturen zwar zu den seltenen Frakturformen. Ziel dieser Studie ist eine retrospektive Auswertung und Analyse aller PatientInnen die auf Grund von akuten Monteggia Frakturen an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie behandelt wurden.

Patienten und Methoden

Für diese Arbeit wurden die Daten von insgesamt 59 PatientInnen mit akuten Monteggia Frakturen, die im Zeitraum von 2007-2015 stationär oder ambulant an der Klinischen Abteilung für allgemeine Kinder- und Jugendchirurgie Graz versorgt wurden, erhoben und ausgewertet. Erhoben wurden patientenbezogene Parameter wie das Geschlecht, das Geburtsdatum, das Unfalldatum inklusive dem Alter zum Unfallzeitpunkt und die Frakturlokalisierung. Eine Klassifikation der Frakturen nach Bado erfolgte anhand der vorliegenden Röntgenbilder.

Resultate

Das mittlere Alter des Patientenkollektives zum Zeitpunkt der Verletzung lag bei 5,4 Jahren (1-16 Jahre). Die Hauptverletzungsursache stellten Sturzunfälle (n=58, 97%) dar, von denen sich zwei Drittel (n=39, 67%) entweder beim Sport oder Spielen ereigneten. Bado Typ I-Frakturen bildeten mit insgesamt 33 Fällen (55%) die Mehrheit, gefolgt von Bado Typ III-Frakturen mit 21 Fällen (35%). Typ IV und Typ II Verletzungen konnten nur in 4 (7%) beziehungsweise 2 (3%) Fällen festgestellt werden. Aufgrund 4 erfolgter Wiedervorstellungen wurden insgesamt 63 Behandlungen an den 59 PatientInnen vorgenommen. 62 der Behandlungen wurden stationär, eine ambulant durchgeführt. In 20 Fällen wurde eine konservative und in 43 Fällen eine operative Behandlungsmethode gewählt. 38 (89%) der operativen Eingriffe erfolgten mittels Reposition und anschließender intramedullärer Marknagelung. 3 (7%) Kinder wurden mittels Plattenosteosynthese und ein weiteres Kind (2%) mittels Bohrdrahtosteosynthese versorgt. Die

durchschnittliche Metaldauer in situ belief sich auf 6,7 Monate (200 Tage). Die mittlere Behandlungsdauer der Kinder betrug 7,1 Monate (214 Tage). Bei insgesamt 45 PatientInnen (75%) konnte eine vollständige Heilung nach Behandlungsabschluss festgestellt werden. Bei 13 Kindern (22%) bestanden noch geringgradige Bewegungseinschränkungen. 9 der betroffenen Kinder wurden konservativ behandelt, 4 operativ.

Diskussion

Insgesamt zeigte sich, dass sowohl die konservative als auch operative Behandlungstechniken bei Monteggia Frakturen überwiegend gute funktionelle Outcomes erzielen. Als Methoden der Wahl sind hier vor allem die geschlossene Reposition mit nachfolgender Gipsretention und die elastisch stabile intramedulläre Nagelung zu nennen. Da Komplikationen und schlechte Outcomes vor allem bei unbemerkten, chronischen Radiuskopfluxationen zu erwarten sind, stellt die frühe korrekte Diagnosestellung der Verletzung die wichtigste Voraussetzung für ein optimales Behandlungsergebnis dar.

Abstract

Introduction

The Monteggia fracture was first described by Giovanni Monteggia in 1813 as a proximal ulna fracture associated with a radial head dislocation. With a percentage of about 1% of all forearm fractures it represents a rare injury, and therefore it is misdiagnosed very often. The aim of this study was to retrospectively analyse all patients with acute Monteggia fractures treated at the Department of Pediatric Surgery of the Medical University of Graz.

Patients and methods

The data of 59 patients with acute Monteggia fractures treated at the Department of Pediatric Surgery in Graz between 2007 and 2015 were collected. Parameters such as gender, the date of birth, the date of accident including the age at the time of accident and the localisation of the fracture were evaluated. Bado's classification was assessed by using the available X-ray images.

Results

The mean age of the patients at the time of accident was 5.4 years ranging from 1 year to 16 years. The main cause of injury were falls (n=58, 97%). Two thirds of them (n=39, 67%) happened during sports or playing. The majority of the patients sustained Bado type I-fractures with 33 cases (55%), followed by Bado type III-fractures with 21 cases (35%). Type IV and type II injuries could be determined in 4 (7%) and 2 (3%) children. Because of 4 additional visits, 63 treatments of 59 patients were performed in total. In 62 cases patients were treated inpatient, only one child was treated as an outpatient. In 20 children a conservative and in 43 cases a surgical treatment was necessary. 38 (89%) of the surgical interventions were performed by elastic stable intramedullary nailing. 3 (7%) children were treated with plate osteosynthesis and one child (2%) with wire osteosynthesis. The implants were removed after a mean of 6.7 months. The mean total treatment time of the children was 7.1 months. 45 (75%) patients were free of symptoms at the end of treatment. Slightly limited mobility was seen in 13 cases (22%). 9 of those children were treated conservatively, 4 surgically. The limited mobility was most

frequently observed in children after cast immobilisation on the day of their last examination.

Discussion

The results show that with the current conservative and surgical methods of treatment for Monteggia fractures good outcome can be achieved. Closed reduction and cast immobilisation and elastic stable intramedullary nailing constitute the current methods of choice for treating acute Monteggia fractures. Since complications and poor outcomes can be expected in cases of overlooked chronic radial head dislocations, an early and correct diagnosis of the injury is the most important requirement in order to avoid devastating long-term sequelae.

Inhaltsverzeichnis

Danksagungen	ii
Zusammenfassung	iii
Abstract	v
Inhaltsverzeichnis	vii
Glossar und Abkürzungen	ix
Abbildungsverzeichnis	x
Tabellenverzeichnis	xiii
1 Einleitung	1
1.1 Anatomische und funktionelle Grundlagen	1
1.1.1 Anatomie des Unterarms	1
1.1.1.1 Entwicklung und Wachstum von Radius und Ulna	1
1.1.1.2 Der Radius	2
1.1.1.3 Die Ulna	2
1.1.1.4 Muskulatur des Unterarms.....	3
1.1.1.5 Arterielle Versorgung des Unterarmes	5
1.1.1.6 Innervation des Unterarmes	6
1.1.2 Funktionelle Anatomie.....	8
1.1.2.1 Das Ellbogengelenk (Articulatio cubiti)	8
1.1.2.2 Umwendbewegungen im Unterarm	9
1.2 Unterarmfrakturen im Kindesalter	10
1.2.1 Frakturformen und -klassifikation	10
1.2.1.1 AO-Klassifikation	11
1.2.1.2 Salter-Harris-Klassifikation	13
1.2.1.3 Spezielle Frakturformen im Kindesalter.....	14
1.2.2 Frakturzeichen	15
1.2.3 Häufigkeit und Verletzungsmechanismen	16
1.2.4 Diagnostik.....	17
1.2.4.1 Primäre Diagnostik	17
1.2.4.2 Sekundäre Diagnostik.....	18
1.2.5 Frakturheilung.....	19
1.2.5.1 Primäre Frakturheilung	19

1.2.5.2	Sekundäre Frakturheilung	19
1.3	Behandlungsmethoden von Unterarmfrakturen im Kindesalter	20
1.3.1	Indikationen und konservative Methoden	20
1.3.1.1	Reposition und Redression.....	20
1.3.1.2	Retention.....	21
1.3.2	Indikationen und operative Methoden	22
1.3.2.1	Elastisch stabile intramedulläre Nagelung.....	22
1.3.2.2	Kirschner-Draht-Osteosynthese	23
1.3.2.3	Plattenosteosynthese	24
1.3.2.4	Fixateur externe.....	25
1.4	Monteggia Frakturen.....	25
1.4.1	Klassifikation.....	26
1.4.2	Diagnostik.....	27
1.4.3	Behandlungsmethoden	28
1.4.3.1	Konservativ	28
1.4.3.2	Operativ	28
1.4.4	Ziel der Studie.....	29
2	Patienten und Methoden	30
2.1	Ethikkommission	30
2.2	Retrospektive Datenanalyse und Patienten	30
3	Resultate	32
3.1	Anzahl und Alter der PatientInnen	32
3.2	Unfallursache	33
3.3	Lokalisation und Klassifikation.....	34
3.4	Behandlung	35
3.4.1	Gipsversorgung und Metallimplantation	37
3.5	Behandlungsdauer.....	38
3.6	Behandlungsergebnisse.....	38
4	Diskussion	40
4.1	Anhang	44
5	Literaturverzeichnis.....	46

Glossar und Abkürzungen

Lig.	Ligamentum
N.	Nervus
M.	Musculus
A.	Arteria
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
ggf.	gegebenenfalls
%	Prozent
a.p.	anterior-posterior
z.B.	zum Beispiel
ESIN	elastisch stabile intramedulläre Nagelung
ESWT	extrakorporale Stoßwellentherapie
etc.	et cetera

Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Rechter Radius und rechte Ulna von ventral und dorsal, Abb.4.79, Abb.4.80. Waldeyer, Anton, und Friedrich Anderhuber, Hrsg. *Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band*. 19., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. De Gruyter Studium. Berlin: de Gruyter, 2012. Seite 202 [4]

Abb.2: Das normale Bewegungsausmaß für Flexion/Extension beträgt 160/0/0°, Abb.6.3. Wülker, Nikolaus, und Torsten Kluba, Hrsg. *Taschenlehrbuch Orthopädie und Unfallchirurgie*. Stuttgart: Thieme, 2005. Seite 368 [7]

Abb.3: Pronation und Supination des Unterarms, Abb.1.29. Klein-Vogelbach, Susanne, Regula Steinlin Egli, und Barbara Werbeck. *Funktionelle Bewegungslehre: Bewegung lehren und lernen*. 5., völlig Neubearb. Aufl. Rehabilitation und Prävention 1. Berlin [u.a]: Springer, 2001. Seite 26 [8]

Abb.4: Prinzip der Frakturklassifikation im Kindesalter, Abb.3.1. Marzi, Ingo. *Kindertraumatologie*. Berlin: Springer Berlin, 2. Auflage 2014. S. 20 [12]

Abb.5: Die Metaphyse wird identifiziert durch ein Quadrat, Abb.3.2. a.. Marzi, Ingo. *Kindertraumatologie*. Berlin: Springer Berlin, 2. Auflage 2014. S. 21 [12]

Abb.6: Klassifikation der Epiphysenverletzungen nach Salter-Harris I-V, Abb.2.6. Weinberg, Annelie-Martina, und Harald Tscherne, Hrsg. *Tscherne Unfallchirurgie: Unfallchirurgie im Kindesalter - Teil 1: Allgemeiner Teil, Kopf, Obere Extremität*. Tscherne Unfallchirurgie Unfallchirurgie im Kindesalter. Berlin: Springer, 2006. S.19 [13]

Abb.7: Häufigkeitsverteilung der Unfallursachen (n=651). Unter „andere“ sind Kindesmisshandlung, Fraktur ohne Unfallereignis (pathologische Fraktur), landwirtschaftlicher Unfall und unbekannte Unfallereignisse subsumiert. Grafik2. Kraus, Ralf, Schneidmüller, Dorien, und Röder, Christoph. „Häufigkeit von Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter“. Dtsch Arztebl 2005;

102: A 838–842 [Heft 12]. Zugegriffen am 18. Dezember 2015.
<http://www.aerzteblatt.de/callback/image.asp?id=11093> [17]

Abb.8: Gipskeilung, Abb.6.3. Marzi, Ingo, Dorian Schneidmüller, und Laurent Audigé, Hrsg. *Kindertraumatologie*. Darmstadt: Steinkopff, 2006. Seite 54 [23]

Abb.9 a-b: Fall 6: Radius und Ulna eines Kindes – Radius antegrad /Ulna antegrad. TEN/STEN – Elastisches Nagelsystem aus Titan/Stahl. Für die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung (ESIN), 04/2010 Synthes, Inc. Seite 7 (Zugegriffen am 21.12.2015)
http://synthes.vo.llnwd.net/o16/LLNWMB8/INT%20Mobile/Synthes%20International/Product%20Support%20Material/legacy_Synthes_PDF/016.000.207.pdf [25]

Abb.10: Achsengerechte Reposition und perkutane K-Draht-Osteosynthese des Radius, Abb.12.22 b. Weigel, Bernhard, Hrsg. *Praxisbuch Unfallchirurgie*. 2., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. Berlin: Springer Medizin, 2011. S.801 [26]

Abb.11 a-d: Klassifikation der Monteggia-Frakturen nach Bado, Abb.3.22. Baierlein, Sammy Alexander, und Gerhard Finkenzeller, Hrsg. *Frakturklassifikationen*. Stuttgart: Thieme, 2011. Seite 39 [31]

Abb. 12: Darstellung der Anzahl von Monteggia Frakturen an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz pro Jahr

Abb.13: Verteilung der Unfallursachen bei Monteggia Frakturen

Abb.14: Häufigkeitsverteilung der Frakturtypen nach Bado

Abb.15: Übersicht der konservativen Behandlungsmethoden

Abb.16: Übersicht der operativen Behandlungsmethoden

Abb. 17: Übersicht und Verteilung aller bestandenen Bewegungseinschränkungen

Abb. 18: Darstellung des linken Unterarmes eines 6 jährigen Jungen nach Sturz auf den Arm am 07.09.2013. Monteggia Fraktur Typ Bado-I.

Abb. 19: Postoperatives Kontrollröntgen am 24.09.2013, bei zuvor versorgter Monteggia Fraktur mittels ESIN am 07.09.2013

Abb. 20: Abschließendes Kontrollröntgen nach Entfernung des Marknagels nach insgesamt 7,1 Monaten (213 Tage) am 08.04.2014.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auflistung und Häufigkeitsverteilung aller Unfallursachen

1 Einleitung

1.1 Anatomische und funktionelle Grundlagen

1.1.1 Anatomie des Unterarms

Der menschliche Unterarm erstreckt sich vom Ellbogen- bis zum Handgelenk. Die knöchernen Basis wird von der in Supinationsstellung medial gelegenen Ulna und dem lateral gelegenen Radius gebildet (Abbildung 1). Zwischen den beiden Röhrenknochen sind zwei Gelenke ausgebildet (Articulationes radioulnares proximalis et distalis), die die Umwendbewegungen (Supination und Pronation) im Unterarm ermöglichen [1].

1.1.1.1 Entwicklung und Wachstum von Radius und Ulna

Die Verknöcherung der beiden Unterarmknochen Radius und Ulna beginnt bereits in der 8. Schwangerschaftswoche. Dabei wird die Bildung des Knochengewebes von sogenannten primären Ossifikationskernen eingeleitet und gesteuert. Die sekundären, sich nach der Geburt entwickelnden Ossifikationskerne treten an der distalen Epiphyse des Radius bei Mädchen (5. Lebensmonat) etwas früher als bei Jungen auf. Die Kerne der proximalen Wachstumsfuge des Radius treten vorwiegend im 5.-7. Lebensjahr auf. Die distale radiale Fuge verschließt sich bei Mädchen für gewöhnlich im 16. und bei Jungen etwas zeitverzögert zwischen dem 16. und 19. Lebensjahr. Der Verknöcherungsprozess der proximalen Ulna beginnt mit dem Auftreten des dazugehörigen Ossifikationskernes im 9. und 10. Lebensjahr. Die von zwei Orten ausgehende Verknöcherung der distalen Wachstumsfuge der Ulna beginnt bei Mädchen ebenso wie bei Jungen um das 6. Lebensjahr und ist bei Mädchen zwischen dem 16. und 17. Lebensjahr und bei Jungen ein Jahr später abgeschlossen. Die Entwicklung der proximalen Epiphysen beider Knochen ist zwischen dem 15. und 18. Lebensjahr beendet. Die beiden distalen Epiphysenanteile von Radius und Ulna bilden gemeinsam mit etwa 75-80% den Hauptanteil der Größenzunahme des gesamten Unterarms [2].

1.1.1.2 Der Radius

Der Radius liegt daumenseitig, ist proximal im Bereich des Collum radii eher schmal und nimmt nach distal verlaufend deutlich an Breite zu. Er steht mit den Handwurzelknochen in Kontakt und bildet gemeinsam mit ihnen den Hauptanteil des Handgelenks. Der Radius ist charakterisiert durch drei Ränder beziehungsweise Kanten (Margo anterior, Margo posterior und Margo interosseus), drei Oberflächen (Facies anterior, Facies posterior und Facies lateralis) und erinnert im Horizontalschnitt an ein Dreieck. Der Margo anterior erstreckt sich unterhalb der Tuberositas radii auf der Vorderseite und der schwächer ausgeprägte Margo posterior verläuft auf der Hinterseite des Radius. Der Margo interosseus zeigt zur Ulna und dient als Ansatz für die Membrana interossea, die beide Knochen miteinander verbindet. Die Facies anterior stellt eine glatte, nach vorne und die Facies posterior eine nach hinten ausgerichtete Oberfläche dar, die mehreren Unterarmmuskeln als Ursprungsflächen dient. Die Facies lateralis liegt zwischen Margo anterior und posterior und reicht als Processus styloideus radii weiter nach distal. Das schmale proximale Ende des Radius geht von einem zylindrischen Hals (Collum radii) in einen konkaven, überknorpelten Kopf (Caput radii) über, der mit einer Gelenkfläche des Oberarmknochens (Capitulum humeri) artikuliert und somit einen Teil des Ellbogengelenks (Articulatio humeroradialis) formt [1,3].

1.1.1.3 Die Ulna

Die Ausmaße der Ulna sind denen des Radius genau entgegengesetzt. Die mit Knorpel überzogene, halbmondförmige Gelenkfläche Incisura trochlearis befindet sich am deutlich stärker ausgebildeten proximalen Anteil und bildet gemeinsam mit der Trochlea humeri den Hauptanteil des Ellbogengelenks. Auf der dem Radius zugewandten Seite des Processus coronoideus befindet sich die Incisura radialis, über die die Ulna mit dem Radiuskopf in Verbindung steht. Auf der proximalen Hinterseite der Ulna ragt der gut tastbare und stark ausgeprägte Ellbogenhöcker (Olecranon) hervor. Die Ulna verfügt ebenso wie der Radius über drei Ränder (Margo anterior, Margo posterior und Margo interosseus) und über drei Oberflächen, wobei eine Fläche im Gegensatz zur Facies lateralis des Radius nach medial zeigt (Facies anterior, Facies posterior und Facies medialis). Die drei

Flächen dienen der Muskulatur ebenfalls als Ursprungs- und Ansatzstrecken. Im Querschnitt ähnelt die Ulna genauso wie der Radius einem Dreieck. Der Umfang des Knochens wird nach distal verlaufend stetig kleiner und endet mit dem Gelenkskopf, Caput ulnae. Dieser steht mit der Handwurzel über eine straffe Faserknorpelscheibe (Discus articularis) in Verbindung [1,3].

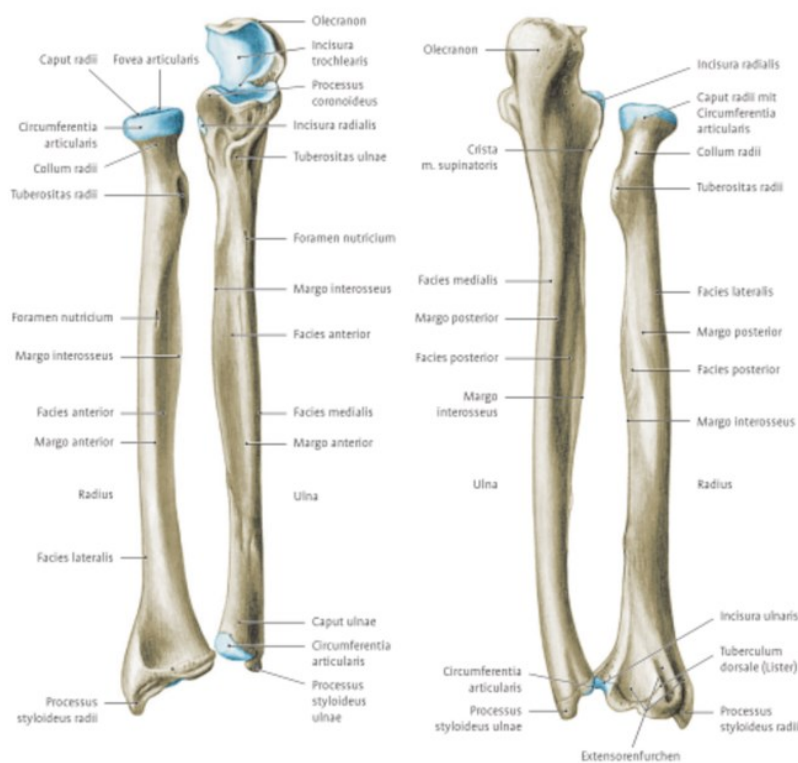


Abb.1: Rechter Radius und rechte Ulna von ventral und dorsal [4]

1.1.1.4 Muskulatur des Unterarms

Zum Unterarm zählen insgesamt 19 Skelettmuskeln, die entweder der ventral gelegenen Beuger-, der dorsal gelegenen Strecker- oder der radialen Gruppe angehören. Dabei hat die oberflächliche Muskulatur ihren Ursprung am Humerus und die tieferen Schichten an den beiden Unterarmknochen und der Membrana interossea. Die zierliche Form der Hand entsteht durch den Übergang der Muskulatur in schlanke Sehnen an unterschiedlichen Stellen des Unterarms.

Diese Anordnung ist für die Funktion der Hand als Greif- und Tastorgan besonders vorteilhaft [5].

1.1.1.4.1 Ventrale Muskelgruppe

Die ventrale Muskelgruppe des Unterarms besteht aus mehreren Schichten und ist durch die dorsale Kante der Ulna zur Gänze von der dorsalen Streckergruppe getrennt. Zu ihren Hauptaufgaben zählen die Pronation der Hand, Bewegungen im Handgelenk und die Beugung der Finger und des Daumens. Innerviert wird die Flexorengruppe vom N. medianus und N. ulnaris. Zur oberflächlichsten Schichte zählen der M. pronator teres, der M. flexor carpi radialis, der M. palmaris longus und der M. flexor carpi ulnaris. In der nächsten Schichte folgt der M. flexor digitorum superficialis. Zur 3. Schicht gehören der M. flexor digitorum profundus und der M. flexor pollicis longus. Die tiefste Schicht bildet schließlich der M. pronator quadratus [1,5].

1.1.1.4.2 Dorsale Muskelgruppe

Bei der dorsalen Muskelloge des Unterarms wird zwischen zwei Schichten unterschieden. Zur oberflächlichen Schicht zählen der M. extensor digitorum, der M. extensor digiti minimi, der M. extensor carpi ulnaris und der M. anconaeus. Die tiefe Schicht wird vom M. supinator, M. abductor pollicis longus, M. extensor pollicis brevis et longus und vom M. extensor indicis gebildet. Die Hauptfunktionen dieser Muskelgruppe sind die Streckung der Finger und des Daumens, die Supinationsbewegung und Bewegungsabläufe im Handgelenk. Die Innervation der dorsalen Streckergruppe erfolgt zur Gänze durch den N. radialis [1,5].

1.1.1.4.3 Radiale Muskelgruppe

Die radiale Muskelloge besteht aus Extensoren, die lateral am Humerus entspringen, zum Unterarm ziehen und dort ansetzen. Zu dieser Gruppe gehören der M. brachioradialis, der M. extensor carpi radialis longus und der M. extensor carpi radialis brevis. Zu ihren Aufgaben zählen vor allem die Beugung im

Ellbogengelenk und Bewegungen im Handgelenk. Die Muskulatur wird ebenfalls wie die dorsale Extensorengruppe vom N. radialis versorgt [5].

1.1.1.5 Arterielle Versorgung des Unterarmes

Die beiden hauptversorgenden Arterien des Unterarmes entspringen im Bereich der Ellenbeuge aus der am Oberarm verlaufenden A. brachialis und ziehen in der ventralen Muskelgruppe nach distal. Die A. radialis verläuft ihrem Namen entsprechend entlang der radialen Seite des Unterarmes, die A. ulnaris hingegen auf der ulnar gelegenen. Gemeinsam versorgen sie mit ihren abgehenden Ästen die Strukturen des Unterarmes mit Sauerstoff angereichertem Blut [1].

1.1.1.5.1 Arteria radialis

Die A. radialis bildet sich im Bereich des Radiuskopfes aus der A. brachialis und zieht von dort aus unterhalb des M. brachioradialis nach distal zum Handgelenk. An dieser Stelle kann der Puls der Arterie, lateral der Sehne des M. flexor carpi radialis, leicht getastet werden. Von hier aus zieht sie in der Fovea radialis zum Handrücken, tritt palmar zwischen den Basen der Ossa metacarpalia I und II aus und mündet im Arcus palmaris profundus. Die A. recurrens radialis bildet einen Ast der A. radialis und zieht neben dem N. radialis verlaufend nach proximal in Richtung des Oberarmes und mündet in das Arteriengeflecht Rete articulare cubiti ein. Der dünne Ramus carpalis palmaris der A. radialis anastomosiert im Rete carpi palmare mit dem Ramus carpalis palmaris der A. ulnaris und versorgt die Handwurzel und das Handgelenk. Ein weiterer kleiner Ast, der Ramus palmaris superficialis, bildet gemeinsam mit dem Endast der A. ulnaris den Arcus palmaris superficialis, der unter anderem die Thenarmuskulatur versorgt [1,6].

1.1.1.5.2 Arteria ulnaris

Der zweite, stärkere Ast, der die A. brachialis im Bereich der Ellenbeuge verlässt, ist die A. ulnaris. Sie zieht proximal unterhalb des M. pronator teres hindurch und verläuft ulnarwärts neben dem N. ulnaris und lateral des M. flexor carpi ulnaris, weiter zur Handwurzel. Gemeinsam mit dem N. ulnaris zieht sie lateral um das Os

pisiforme und ober dem Retinaculum musculorum flexorum zum Arcus palmaris superficialis der Hohlhand. Die A. recurrens ulnaris entspringt im Bereich der Ellenbeuge aus der A. ulnaris und zieht mit einem Ramus anterior und einem Ramus posterior ebenfalls wie die A. recurrens radialis zurück nach proximal und fließt in das Rete articulare cubiti ein. Der kräftigste Ast der A. ulnaris ist die A. interossea communis, die sich in zwei weitere Äste aufteilt, die oberbeziehungsweise unterhalb der Membrana interossea verlaufen. Die A. interossea anterior zieht oberhalb auf der Membrana interossea bis zum M. pronator quadratus, durchstößt die Membran auf dieser Höhe und mündet in das Rete carpi dorsale ein. Die A. interossea posterior durchdringt die Membrana interossea sofort und perforiert auf der Streckenseite des Unterarmes den M. supinator. Daraufhin gibt sie einen Ast (A. interossea recurrens) ab und zieht auf der Hinterseite der Membrana interossea nach distal und endet ebenfalls im Rete carpi dorsale wo sie sich erneut mit der A. interossea anterior verbindet [1,6].

1.1.1.6 Innervation des Unterarmes

Die Strukturen des Unterarmes werden hauptsächlich von den aus dem Plexus brachialis stammenden Speichen- (N. radialis), Ellen- (N. ulnaris) und dem mittleren Armnerven (N. medianus) innerviert.

1.1.1.6.1 Nervus medianus

Der N. medianus wird ursprünglich aus dem Fasciculus lateralis und medialis gebildet und enthält sowohl sensible als auch motorische Fasern. Am Unterarm verläuft er zunächst zwischen den Köpfen des M. pronator teres und zieht dann median verlaufend zwischen M. flexor digitorum superficialis und profundus weiter zum Handgelenk. Dort zieht er unter dem Retinaculum flexorum zur Hohlhand, wo er seine Endäste abgibt. Zum motorischen Versorgungsgebiet des N. medianus zählen alle Flexoren des Unterarmes mit Ausnahme des M. flexor carpi ulnaris, der vom N. ulnaris innerviert wird und des medialen Anteils des M. flexor digitorum profundus. Sensibel versorgt der N. medianus die Haut über der Handwurzel, der Hohlhand und an der Beugefläche der dreieinhalb radial gelegenen Finger [1,6].

1.1.1.6.2 Nervus radialis

Der aus dem Fasciculus posterior entspringende N. radialis teilt sich im Bereich der Cubita zwischen dem M. brachioradialis und M. brachialis in einen Ramus superficialis und einen Ramus profundus auf. Der oberflächliche Ast, Ramus superficialis, besteht hauptsächlich aus sensiblen Nervenfasern und zieht am Unterarm gemeinsam mit der A. radialis unterhalb des M. brachioradialis im Sulcus antebrachii radialis auf der Flexorenseite nach distal. Im distalen Drittel des Unterarms gelangt er schließlich unter der Sehne des M. brachioradialis nach dorsal auf die Extensorenseite des Unterarmes und versorgt die Haut der Streckenseite des Unterarmes, die radiale Fläche des Handrückens und die zweieinhalb radial gelegenen Finger mit Ausnahme der Endglieder, die der N. medianus innerviert.

Der Ramus profundus des N. radialis enthält überwiegend motorische Nervenfasern. Er zieht durch den M. supinator, dreht sich um den proximalen Radius und gelangt somit nach dorsal zur Extensorengruppe des Unterarmes, die er versorgt [1,6].

1.1.1.6.3 Nervus ulnaris

Der aus dem Fasciculus medialis gebildete N. ulnaris zieht von dorsal um den Epicondylus medialis humeri und gelangt zwischen dem Caput humerale und dem Caput ulnare des M. flexor carpi ulnaris zur ventralen Muskelgruppe des Unterarms. Danach zieht er unterhalb des M. flexor carpi ulnaris, der ihm als Leitmuskel dient, ulnarwärts weiter nach distal bis zum Handgelenk. Von der A. und V. ulnaris begleitet zieht er lateral am Os pisiforme vorbei, oberhalb des Retinaculum flexorum zur Hohlhand. In der Guyon-Loge teilt sich der Nerv in einen sensiblen Ramus superficialis und einen motorischen Ramus profundus. Motorisch innerviert er alle Muskeln der ventralen Gruppe des Unterarmes und auch der Hand, die nicht vom N. medianus versorgt werden. Zu seinem sensiblen Versorgungsgebiet zählt die Haut der ulnaren Handseite, die Streckseite der ulnaren zweieinhalb Finger und die Beugeseite von eineinhalb Fingern [1,6].

1.1.2 Funktionelle Anatomie

1.1.2.1 Das Ellbogengelenk (Articulatio cubiti)

An der Bildung des Ellbogengelenkes sind die drei Knochen Humerus, Radius und Ulna sowie die drei Teilgelenke Articulatio humeroulnaris, Articulatio humeroradialis und Articulatio radioulnaris proximalis beteiligt. Die drei getrennten Gelenkanteile werden gemeinsam von einer Gelenkkapsel umschlossen und bilden eine funktionelle Einheit. Dabei umschließt die rinnenartige Incisura trochlearis ulnae die Trochlea humeri und bildet mit dieser gemeinsam den Hauptteil des Ellbogengelenkes als Articulatio humeroulnaris. Dieses Scharniergelenk verfügt über einen Freiheitsgrad und ermöglicht die Beugung und Streckung im Ellbogengelenk. Der Gestalt nach handelt es sich bei der Articulatio humeroradialis um ein Kugelgelenk das vom Capitulum humeri und der dazugehörigen abgeflachten Gelenkspfanne des Caput radii gebildet wird. Durch die sich zwischen Radius und Ulna erstreckende Membrana interossea sind die Bewegungsachsen des Kugelgelenks auf Beuge-, Streck-, Supinations- und Pronationsbewegungen beschränkt. Beim dritten Teilgelenk der Articulatio radioulnaris proximalis handelt es sich um ein Zapfengelenk mit einem Freiheitsgrad, das die Umwendbewegungen im Unterarm ermöglicht. Dabei gleitet die mit der Ulna artikulierende Circumferentia articularis radii in Kreiselbewegungen in der Incisura radialis ulnae und dem Ligamentum anulare radii. Der Bewegungsumfang im Ellbogengelenk umfasst bei Beugung/Streckung 160/0/0° (Abbildung 2). Bei Kindern und Frauen besteht häufig eine leichte Überstreckbarkeit von 160/0/15° aufgrund einer nachgiebigeren Gelenkkapsel [3,7].

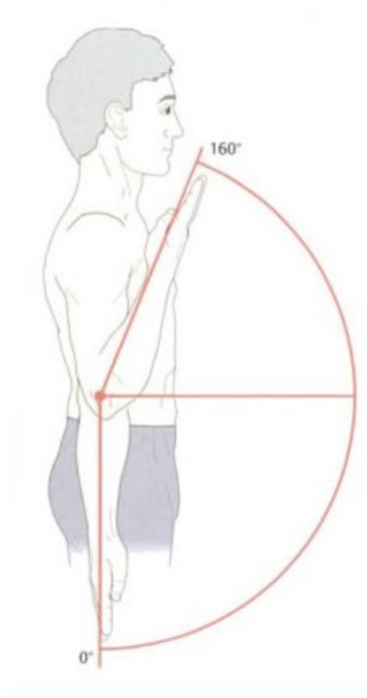


Abb.2: Normales Bewegungsausmaß im Ellbogengelenk für Beugung/Stretchung [7]

1.1.2.2 Umwendbewegungen im Unterarm

Die Bewegungsachse für die Supination und Pronation des Unterarms beziehungsweise auch der Hand zieht proximal von der Mitte des Caput radii nach distal zum Caput ulnae. Die zwei hauptbeteiligten Gelenke sind hierbei die Articulationes radioulnares proximalis et distalis. Die Rotationsbewegung des Radius bringt beide Unterarmknochen in eine Parallel- (Supination, der Daumen zeigt nach außen) oder Kreuzstellung (Pronation, der Radius überkreuzt die Ulna und der Daumen zeigt nach innen). Dabei werden die Knochen von Strukturen wie dem Ligamentum anulare radii, der Membrana interossea und dem Discus ulnocarpalis (Articulatio radioulnaris distalis) stabilisiert und festgehalten. Der normale Bewegungsumfang bei Supination und Pronation des Unterarmes beträgt 90/0/90° (Abbildung 3) [1,3,7].

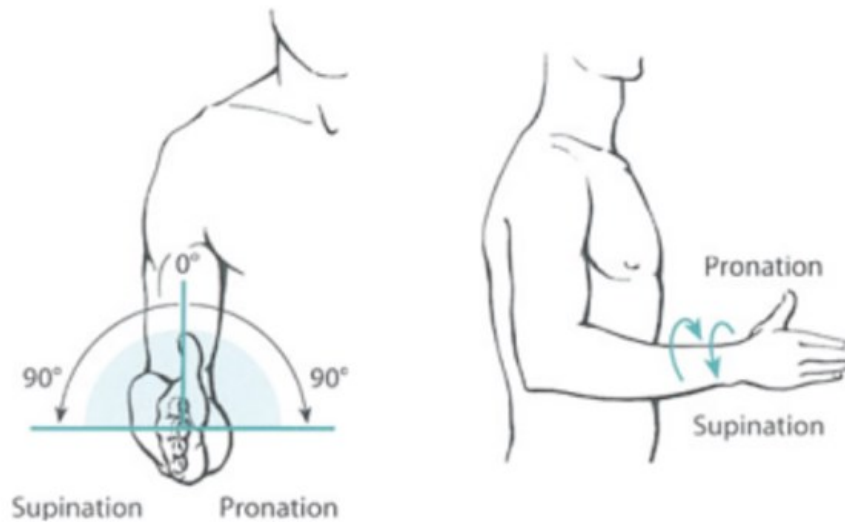


Abb.3: Pronation und Supination des Unterarms [8]

1.2 Unterarmfrakturen im Kindesalter

Obwohl das kindliche Skelett äußerst strapazierfähig in Bezug auf Krafteinwirkungen ist, sind Verletzungen wie Knochenbrüche häufige Folgen der gesteigerten Aktivität im Kindes- und Jugendalter. Auch wenn Frakturen in diesem Alter in der Regel zügig und problemlos verheilen, können vor allem Frakturen im Bereich der Wachstumszonen massive Beeinträchtigungen des Längenwachstums nach sich ziehen. Auf Grund dessen liegt der Fokus der Behandlung darin, möglichst rasch eine schmerzarme gewissenhafte und vor allem optimale Therapie einzuleiten, um der Entstehung möglicher Folgeschäden bestmöglich vorzubeugen [9].

1.2.1 Frakturformen und -klassifikation

Frakturformen im Kindesalter sind von jenen im Erwachsenenalter zu unterscheiden da diese meist stereotyp und abhängig von Alter, Maturität der Wachstumsfugen und Lokalisation sind. Grundsätzlich kann bei kindlichen

Knochenbrüchen zwischen kompletten und inkompletten, stabilen und instabilen, Schaft- und Gelenksfrakturen unterschieden werden [9].

1.2.1.1 AO-Klassifikation

Die AO-Klassifikation ist ein System zur Einteilung von Frakturen langer Röhrenknochen. Ziel dieser Klassifikation ist eine einheitliche Zuordnung von Frakturen, um dadurch rasch die für den Patienten bestmögliche Behandlungsmethode auswählen und somit die Voraussetzung für eine optimale Heilung schaffen zu können [11]. In Anlehnung an die für Erwachsene gültige AO-Klassifikation wurde eine speziell an Kinder und Jugendliche angepasste Version gestaltet und auf die Besonderheiten von Knochenverletzungen in diesem Alter eingegangen. Die Kodierung der Knochen, Segmente und des Typs beziehen sich dabei auf die Lokalisation und der Kinder-Code, der Schweregrad und die Ausnahmen auf die Morphologie der Fraktur (Abbildung 3) [10].

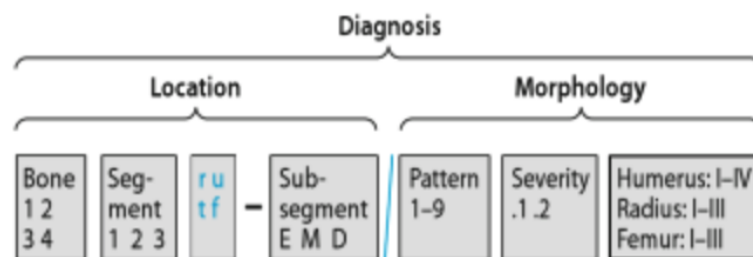


Abb.4: Prinzip der Frakturklassifikation im Kindesalter [12]

1.2.1.1.1 Knochen und Segmente

Den Knochen werden von kranial nach kaudal verlaufend Zahlen zugeordnet: 1 = Humerus, 2 = Radius/Ulna, 3 = Femur, 4 = Tibia/Fibula. Weiters werden den Segmenten ebenfalls Zahlen zugeteilt: 1 = proximal, 2 = diaphysär, 3 = distal. Im Unterschied zur Klassifikation für Erwachsene wird der Bereich der Metaphyse in

Form eines Quadrates dargestellt dessen Seitenlänge dem breitesten Teil der Wachstumsfuge entspricht (Abbildung 5). Bei den Knochenpaaren Radius/Ulna und Tibia/Fibula müssen die Epiphysenfugen beider Knochen miterfasst werden. Folgende Segmente können unterschieden werden: Segment 1 = proximale Epiphyse und Metaphyse, Segment 2 = Diaphyse und Segment 3 = distale Metaphyse und Epiphyse [10].

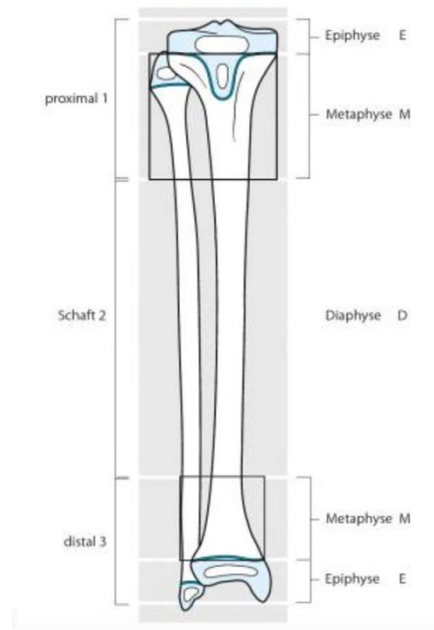


Abb.5: Einteilung der Segmente. Die Metaphyse ist als Quadrat dargestellt [12].

1.2.1.1.2 Frakturtyp

Der dem Kindesalter zugehörige Code unterscheidet sich vom bestehenden Code für Erwachsene (A, B, C) wie folgt: E steht für Epiphyse, M für Metaphyse und D für Diaphyse. Dies erlaubt die Differenzierung zwischen intra- und extraartikulären Frakturen, da Frakturen im Bereich der Wachstumsfuge zu den intra- und jene im Bereich der Diaphyse zu den extraartikulären Knochenverletzungen zählen. Zu den metaphysären Frakturen gehören jene Frakturen, die innerhalb des oben beschriebenen Quadrates liegen [10].

1.2.1.1.3 Kinder-Code

Der Kinder-Code beschreibt den spezifischen Frakturtyp mittels Ziffern von 1-9 und wird von den Lokalisationsparametern mittels Schrägstrich „/“ getrennt. Die Ziffern entsprechen den speziell im Kindesalter vorkommenden Besonderheiten [10].

1.2.1.1.4 Schweregrad der Fraktur

Der Schweregrad einer Fraktur wird mit einer fünften Zahl beschrieben um eine Differenzierung zwischen einfachen (ein Frakturspalt, zwei Knochenfragmente) und komplexen Frakturen wie einem Trümmerbruch (mehrere Knochenfragmente) vornehmen zu können.

Darüber hinaus sind weitere Zusatzcodes verfügbar um spezielle, die mit den oben dargestellten Werten nicht zuteilbaren Frakturen, definieren und beschreiben zu können [10].

1.2.1.2 Salter-Harris-Klassifikation

Die Salter-Harris-Klassifikation ist die gebräuchlichste Methode zur Einteilung von Frakturen im Bereich der Wachstumsfuge und unterscheidet fünf verschiedene Frakturtypen (Abbildung 6).

- Salter-Harris Typ I: Bei dieser Verletzung handelt es sich um eine entlang der Epiphysenfuge verlaufenden Fraktur mit kompletter Abspaltung der Epiphyse von der Metaphyse.
- Salter-Harris Typ II: Diese Form entspricht der Typ I Verletzung mit eingeschlossenem metaphysären Knochenfragment. Diese Bruchform stellt die häufigste im Epiphysenbereich des Kindesalters dar.

- Salter-Harris Typ III: Der Frakturspalt verläuft zum Teil entlang der Wachstumsfuge und zieht durch die Epiphyse bis zum Gelenk. Dabei entsteht ein epiphysäres Bruchstück.
- Salter-Harris Typ IV: Bei dieser Form sind Bereiche der Metaphyse, der Epiphysenfuge und der Epiphyse beteiligt und bilden ein Fragment.
- Salter-Harris V: Diese Form ist häufig kaum radiologisch darstellbar, da es sich um eine Stauchungsverletzung der Wachstumsfuge handelt und sich keine Fraktur abbildet.

Jene Frakturen die Anteile der Wachstumszone miteinschließen (Salter-Harris Typ III und IV) führen bei unzureichender medizinischer Behandlung oftmals zu einer Beeinträchtigung des Knochenwachstums [9].

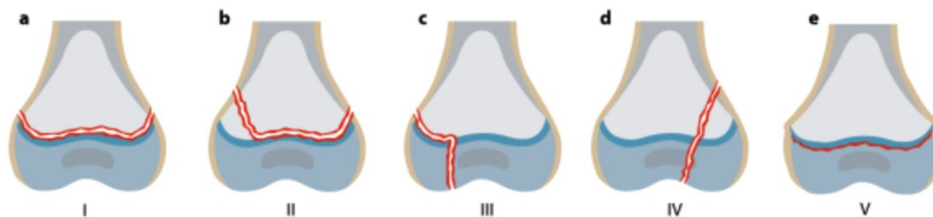


Abb.6: Klassifikation der Epiphysenfugenverletzungen nach Salter-Harris Typ I-V [13]

1.2.1.3 Spezielle Frakturformen im Kindesalter

Aufgrund der zahlreichen, noch unausgereiften Strukturen des kindlichen Körpers und der daraus resultierenden Differenz zum Körper des Erwachsenen kommen im Kindesalter noch weitere, unten angeführte Frakturformen zu den bereits bekannten (Schräg-, Torsions-, Trümmer-, Biege- oder Querfraktur) hinzu.

1.2.1.3.1 Wulstfraktur

Die Wulstfraktur entsteht infolge einer axialen Krafteinwirkung der noch weichen Metaphyse im Kindesalter. Der Knochen ist eingestaucht aber nicht in seiner Beständigkeit getrennt [14].

1.2.1.3.2 Grünholzfraktur

Der kindliche Knochen ist im Vergleich zum Erwachsenen aufgrund der noch nicht vollständig abgeschlossenen Mineralisierung nachgiebig und biegsam. Bei der Grünholzfraktur handelt es sich um einen Biegebuch bei dem es nur auf der nach außen gewölbten Seite zu einer kompletten Durchtrennung der Knochenmatrix kommt. Die Gegenseite ist dabei meist nur deformiert und die flexible Knochenhaut bleibt intakt [15].

1.2.2 Frakturzeichen

Es gibt verschiedene Hinweise, die auf Knochenverletzungen hindeuten. Dabei wird zwischen sicheren und unsicheren Frakturzeichen unterschieden.

Sichere Frakturzeichen sind:

- Achsenabweichung (ggf. mit konsekutiver Deformierung)
- Abnorme Hypermobilität
- Krepitation (entsteht beim Aufeinanderreiben von Frakturfragmenten)
- Offene Fraktur mit erkennbaren Knochenteilen

Unsichere Frakturzeichen sind:

- Schmerz
- Schwellung
- Einblutung (Hämatom)
- Bewegungseinschränkung [16]

1.2.3 Häufigkeit und Verletzungsmechanismen

In Mitteleuropa ergibt sich eine Prävalenz von 21 bis 25 Knochenbrüchen pro 1000 Kindern pro Jahr. Laut einer im Jahre 2003 durchgeführten Studie, bei der die Häufigkeitsverteilung von Frakturen langer Röhrenknochen im Kindesalter anhand 681 kindlicher Knochenverletzungen von Kindern aus Österreich, der Schweiz und Deutschland in drei Monaten erfasst wurde stellte sich heraus, dass es sich bei etwa 20-25% aller kindlichen Verletzungen um Frakturen handelt. Davon treten circa 55% an den langen Röhrenknochen auf. Insgesamt konnte ein erhöhtes Frakturgeschehen im 3., 4., 7. und 8. Lebensjahr und ein Altersgipfel im 14. Lebensjahr beobachtet werden. Bei 43 % der Betroffenen handelte es sich um Mädchen und bei 57% um Jungen, dabei stellte die obere Extremität mit 74% die häufigste Frakturlokalisation dar. Ein Großteil dieser Verletzungen konnte mit 88% dem Bereich der Metaphyse zugeordnet werden. Im Unterarm lokalisierte knöcherne Verletzungen waren mit insgesamt 54% in jeder Altersklasse und jeder Ursache an erster Stelle. Dabei wurden diaphysäre Frakturen (mit 37% vorwiegend Grünholzfrakturen) an den paarig angelegten Knochen Radius und Ulna fünfmal häufiger diagnostiziert als am Humerus. Die häufigste Frakturlokalisation des gesamten Unterarmes befindet sich mit 42% am distalen Unterarm mit einem Höhepunkt im 13. und 14. Lebensjahr. Im Gegensatz dazu werden Verletzungen im proximalen Bereich mit 2,5% seltener beobachtet. Die Verteilungsangaben unterscheiden sich aufgrund unterschiedlicher Zuordnungs- und Einteilungsmethoden je nach Literatur geringfügig. Die Verletzungen werden in der Regel durch indirekte Krafteinwirkungen, hauptsächlich durch Stürze auf den Arm im häuslichen Bereich, am Spielplatz oder beim Sport verursacht (Abbildung 7). Verkehrsunfälle spielen eher bei der Entstehung von Frakturen der unteren Extremität eine tragende Rolle [17,18].

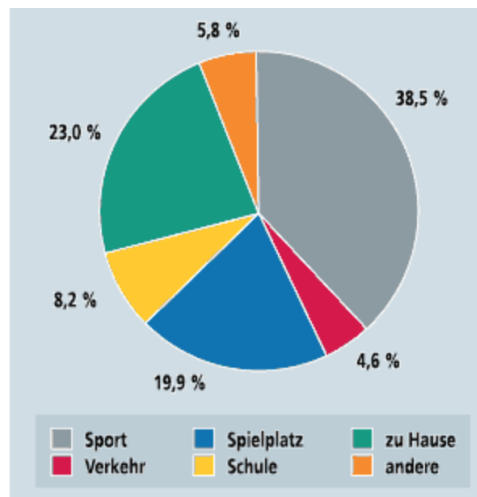


Abb.7: Häufigkeitsverteilung der Unfallursachen (n=651). Unter „andere“ wurden Kindesmisshandlungen, pathologische Frakturen, landwirtschaftliche Unfälle und unbekannte Unfallereignisse zusammengefasst [17].

1.2.4 Diagnostik

1.2.4.1 Primäre Diagnostik

Neben dem Anamnesegespräch ist die initiale Inspektion des Kindes ein wichtiger Bestandteil der Erstuntersuchung und kann zum Einen Aufschluss über die genaue Lokalisation der Verletzung anhand von Prellmarken, Abschürfungen oder Achsenabweichungen geben und hilft zum Anderen den Schweregrad der Verletzung besser einschätzen zu können. Durch die Palpation können zusätzliche, mögliche Verletzungen in zuvor unauffälligen Bereichen anhand von lokal auslösbaren Schmerzen identifiziert werden. Dabei ist es wichtig, gerade im Umgang mit Kindern auf eine möglichst schmerzarme, minimal invasive und rasche Behandlung Wert zu legen. Im weiteren Verlauf sind die Prüfung von Motorik, Sensibilität und Durchblutung und eine weiterführende und vor allem korrekte Bildgebung obligat.

1.2.4.1.1 Röntgen

Das Röntgen stellt vor allem in der Diagnostik von Frakturen das Mittel erster Wahl dar. Es ist ein vergleichsweise strahlenarmes, nicht invasives und aussagekräftiges Verfahren, mit dem Knochenverletzungen in den meisten Fällen

schnell und eindeutig diagnostiziert werden können. Wichtig bei der korrekten Darstellung einer Extremität ist die Aufnahme von zumindest zwei unterschiedlichen Ebenen. Bei Schafffrakturen sind Aufnahmen im a.p. und seitlichen Strahlengang meist völlig ausreichend. Besteht eine mögliche Gelenksbeteiligung wie bei proximalen Unterarmfrakturen sind zusätzliche Aufnahmen des angrenzenden Ellbogengelenkes in einer Beugstellung von 90° unumgänglich. Bei einer fraglichen Radiuskopfverletzung oder –luxation sind Radiuskopfzielaufnahmen aufschlussreiche Ergänzungen [19].

1.2.4.2 Sekundäre Diagnostik

Ist eine sichere Diagnosestellung anhand der vorangegangenen körperlichen Untersuchung und des Röntgenbefunds nicht möglich oder handelt es sich um komplexe Verletzungen, stehen noch weitere abklärende Mittel zur Verfügung.

1.2.4.2.1 Computer- und Magnetresonanztomografie

Die Computertomografie hat trotz der relativ hohen Strahlenbelastung einen hohen Stellenwert in der Akutdiagnostik. Vorteile der Untersuchungsmethode sind die schnelle Verfügbar- und Durchführbarkeit und die Darstellung zuvor radiologisch nicht sicher beurteilbarer knöcherner Verletzungen. Weiters wird sie zur Planung spezieller Operationsverfahren und bei komplexen Handwurzelfrakturen eingesetzt. Das MRT weist zwar im Gegensatz zur Computertomografie keine Strahlenbelastung auf, ist aber für Abklärungen im Kindesalter (aufgrund der fehlenden Compliance müssen Kleinkinder oftmals für die Dauer der Untersuchung narkotisiert werden) und der Akutdiagnostik wegen der relativ langen Untersuchungsdauer und der eingeschränkten Verfügbarkeit wenig geeignet. Bei speziellen Fragestellungen stellt die MRT-Untersuchung aber ein wertvolles Mittel dar. Nicht-knöcherner Verletzungen des Bewegungsapparates (Band-, Sehnen- und Kapselverletzungen), Knorpelschäden und daraus resultierende Ödeme können mit diesem bildgebenden Verfahren diagnostiziert werden [19].

1.2.5 Frakturheilung

Frakturen im Wachstumsalter verheilen vorwiegend sekundär über die Ausbildung von Kallusgewebe. Der dabei entstehende Kallus bildet sich schneller und ausgeprägter als bei Erwachsenen aus.

1.2.5.1 Primäre Frakturheilung

Bei der primären Frakturheilung oder Kontaktheilung handelt es sich um eine Heilungsform, die meist nach der medizinischen Versorgung einer Fraktur mittels Osteosynthese erfolgt. Dabei werden die Knochenbruchstücke so nah aneinander fixiert, dass sie miteinander in Kontakt stehen und sich der Frakturspalt durch in Längsrichtung vorwachsendes Knochenmaterial, ohne oder nur unter minimaler Kallusbildung, schließen kann. Im Gegensatz zum Erwachsenen kommt es beim Heranwachsenden auch bei dieser Form der Knochenheilung zur Ausbildung von Kallusgewebe. Je jünger der Patient ist, desto ausgeprägter bildet sich der Kallus dabei aus [20,21].

1.2.5.2 Sekundäre Frakturheilung

Wird eine Fraktur nicht chirurgisch versorgt, besteht oftmals ein Abstand zwischen den Fraktarenden der nach und nach von Kallusgewebe überbaut wird. Zunächst kommt es zur Ausbildung eines Frakturhämatoms welches schrittweise durch Bindegewebe ersetzt wird. Die anschließende Ansiedelung von Knochenzellen im entstandenen Bindegewebskallus führt zur Neuentstehung von Knochengewebe und zu einer Festigung des Bruchareals. Die achsengerechte Stellung der Fraktur spielt eine ebenso entscheidende Rolle für das Ausmaß der Kallusdicke und der Stabilität wie eine absolute Ruhigstellung. Die Dauer der Heilung hängt vor allem von den Dimensionen der Verletzung ab. Die Kalluswölbungen bilden sich dann im Laufe des Wachstums soweit zurück bis die normalen Ausmaße des Knochens wiederhergestellt sind [20,21].

1.3 Behandlungsmethoden von Unterarmfrakturen im Kindesalter

Die Wahl der korrekten Behandlungsmethode von Unterarmfrakturen im Kindesalter hängt weitgehend von der Lokalisation und der Morphologie der Fraktur ab. Während einfache, stabile distale Radiusfrakturen zumeist mit einer geschlossenen Reposition und angepasstem Gips konservativ versorgt werden können, müssen instabile, komplette Unterarmschaftfrakturen erfahrungsgemäß operativ stabilisiert werden [22].

1.3.1 Indikationen und konservative Methoden

Nicht jede Fraktur kann mit konservativen Behandlungsmethoden versorgt werden. Die Auswahl der adäquaten Therapieform hängt vor allem von der Stabilität und der Position der Knochenverletzung ab. Konservative Maßnahmen sind bei stabilen Grünholzfrakturen, metaphysären Wulst- und Stauchungsfrakturen, geringfügig verschobenen Knochenbrüchen (Salter-Harris Typ I und II) und nicht verschobenen intraartikulären Läsionen mit einem Bruchspalt $\leq 2\text{mm}$ angezeigt. Auch instabile Frakturen können bei gegebener Festigkeit nach Reposition oder Redression konservativ behandelt werden [23].

1.3.1.1 Reposition und Redression

Dislozierte, achsenabweichende Frakturen müssen vor ihrer Ruhigstellung manuell korrigiert werden. Bei Repositionen wird üblicherweise das distale Frakturende zum proximalen durch Zug und Gegenzug geführt. Parallelverschiebungen können mit Druck in eine achsengerechte Stellung gepresst werden. Vor der anschließenden Retention ist unbedingt eine Kontrolle des Korrekturergebnisses mittels Bildwandler erforderlich. Eine häufig verwendete Redressionsmethode an der oberen Extremität ist die Gipskeilung (Abbildung 8). Mit dieser Technik können Achsenfehlstellungen indirekt reponiert werden. Sie kommt vor allem bei Schaftfrakturen und distalen metaphysären Unterarmfrakturen zum Einsatz. Der Behandlungszeitpunkt erfolgt nach

Abschwellen der Weichteile nach etwa 7-10 Tagen. Die Kallusbildung hat zu diesem Zeitpunkt schon eingesetzt, der Knochen ist aber noch flexibel und biegsam. Der geschlossen angelegte Gips wird an der nach innen gebogenen Stelle der Fraktur halbkreisförmig eröffnet und anschließend mittels Gipsspreizer nach und nach gedehnt, bis der/die Patient/in ein Druckgefühl wahrnimmt und die ideale Position erreicht ist. Danach wird ein Spacer (aus Holz oder Kork) in die Öffnung eingebracht, um die zuvor eingerichtete Stellung zu wahren. Regelmäßige klinische und radiologische Kontrollen sind auch bei dieser Methode angezeigt [23].

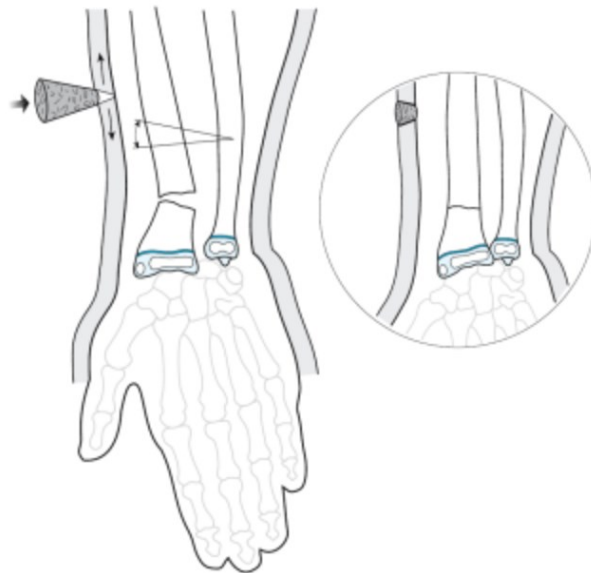


Abb.8: Das Prinzip der Gipskeilung [23]

1.3.1.2 Retention

Als Retention wird die Ruhigstellung der Verletzung unter Einbeziehung der angrenzenden Gelenke, häufig nach einer zuvor durchgeführten Reposition, per Gips oder Bandagen bezeichnet. Der Gips stellt dabei nach wie vor das Mittel erster Wahl dar. Durch seine Formbarkeit kann er innerhalb kürzester Zeit individuell angepasst werden, stabilisiert das betroffene Areal und verhindert so Refrakturen und sekundäre Dislokationen des Knochens. Da zu Beginn besonders

im Bereich der Extremitäten mit Schwellungen zu rechnen ist, erfolgt für gewöhnlich primär die Anlage eines Oberarmspaltgipses (Hand- und Ellbogengelenk eingeschlossen) in Funktionsstellung. Nach Abklingen der Weichteilschwellung kann der Wechsel auf einen zirkulären geschlossenen Gips erfolgen. Periphere Motorik, Durchblutung und Sensibilität müssen geprüft werden und dürfen zu keinem Zeitpunkt gestört sein, auch Schmerzen sind ein Hinweis auf einen schlecht sitzenden Gips. Insgesamt variiert die Gipsdauer je nach Lokalisation im Unterarmbereich zwischen 3-6 Wochen. In dieser Zeit sollten regelmäßige Kontrollen inklusive radiologischer Bildgebung erfolgen. Nach Gipsabnahme ist die Anlage einer Tubigrip-Bandage zur weiteren Schonung möglich [23].

1.3.2 Indikationen und operative Methoden

Bei vollständig dislozierten, komplizierten (z.B. Trümmerbruch) oder offenen Frakturen sind operative Maßnahmen angezeigt. Weiters stellen Frakturen des Radiuskopfes und -halses mit Achsenabweichungen $>50^\circ$ bei Kindern bis zum 10. Lebensjahr beziehungsweise $\geq 30^\circ$ bei älteren Kindern, potentiell instabile oder vollständige Schaftfrakturen und verschobene Gelenksfrakturen mit einem Bruchspalt $\geq 2\text{mm}$ Indikationen für operative Eingriffe dar [24].

1.3.2.1 Elastisch stabile intramedulläre Nagelung

Dieses Verfahren wird vorwiegend bei Frakturen des Radiuskopfes und -halses und der Diaphyse eingesetzt (Abbildung 9a). Dabei wird bei Kindern jeweils ein Nagel pro Unterarmknochen mit einem maximalen Durchmesser von 2,5 mm zum Einführen in den Markraum vorbereitet. Der Zugang erfolgt anschließend circa 2 cm proximal der distalen Wachstumsfuge des Radius. Nach Einbringen und Vorführen des Nagels bis zur proximal gelegenen Bruchstelle erfolgt der ulnare Zugang. Dieser befindet sich ungefähr 2 cm distal der Apophysenfuge. Anschließend wird der Nagel ebenfalls in der Markhöhle bis auf Frakturhöhe vorgeschoben. Die Reposition des Radius erfolgt durch vorsichtiges manuelles Vordrehen des Nagels an der Bruchstelle vorbei nach proximal. Falls dies nicht möglich ist, ist die Durchführung einer offenen Reposition unumgänglich. Nach

erfolgreicher Reposition des Radius richtet sich die Ulna für gewöhnlich selbstständig ein. Im Anschluss werden beide Nägel wenn nötig nachpositioniert, gekürzt und die Inzisionen verschlossen (Abbildung 9b). Der gesamte operative Eingriff erfolgt unter Bildwandlerkontrolle. Unter der Bedingung der vollständigen Frakturheilung kann das Metall nach 4-6 Monaten postoperativ wieder entfernt werden [25].

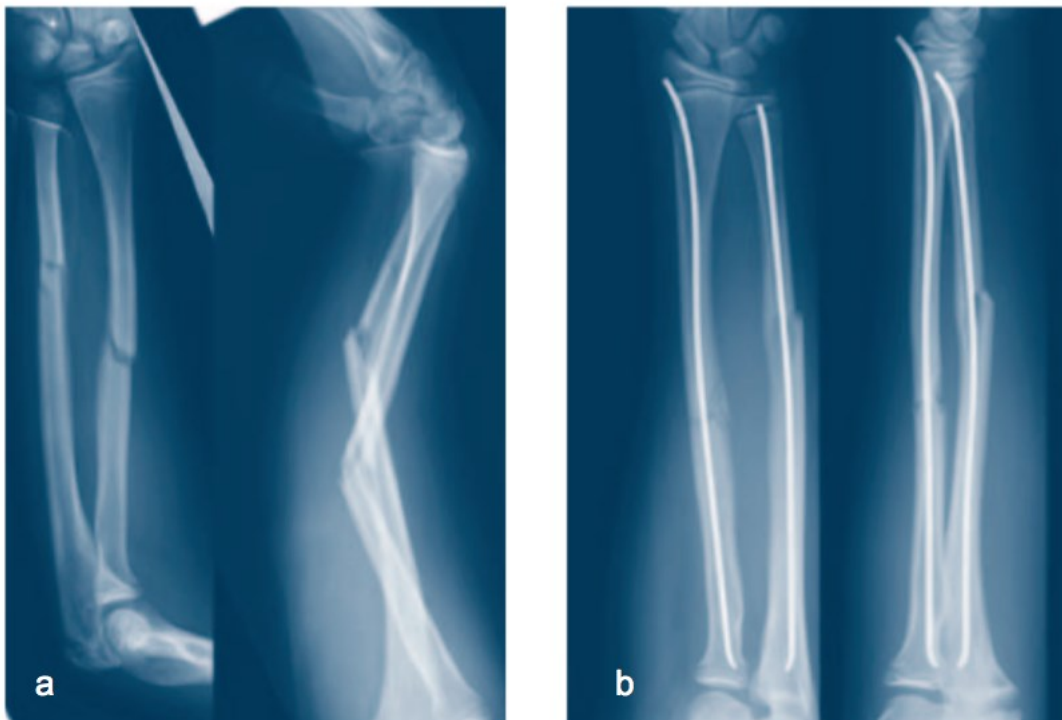


Abb.9 a-b: Intramedulläre Nagelung einer Unterarmschaftfraktur. 9a: präoperativ, 9b: postoperativ [25]

1.3.2.2 Kirschner-Draht-Osteosynthese

Die Kirschner-Draht-Osteosynthese kommt hauptsächlich bei Kindern mit dislozierten instabilen distalen Unterarmfrakturen zum Einsatz. Im Adoleszenzalter werden diese Frakturen oft mittels Plattenosteosynthese chirurgisch versorgt. Bei der Kirschner-Draht-Osteosynthese werden in der Regel zwei Metalldrähte mit einer Stärke von 1,4-1,8 mm zur Fixation von Knochenfragmenten nacheinander perkutan eingebracht. Bei Kleinkindern kann oftmals ein Draht zur Stabilisierung

der Fraktur ausreichen. Der erste Draht wird nach erfolgter Reposition der Fraktur auf Höhe des Processus styloideus radii eingeführt, dann nach medial verlaufend vorgeschoben und schließlich im metaphysären Randbereich des Radius fixiert. Der zweite Draht wird parallel zum Ersten eingebracht (Abbildung 10). Wird der zweite Draht gekreuzt eingebracht, sollte der Kreuzpunkt aber außerhalb des Bruchspaltes liegen um die Rotationsstabilität nicht einzuschränken. Nach erfolgter Bildwandler-Kontrolle können die Drähte gekürzt und das Operationsgebiet verschlossen werden. Durch die Flexibilität der Drähte ist dieses Verfahren nicht belastungsstabil und muss zusätzlich mit einem Gips zur Ruhigstellung versorgt werden. Die Metallentfernung erfolgt je nach Heilungsfortschritt üblicherweise nach 4-6 Wochen [26,27].



Abb.10: Osteosynthetisch versorgte distale Radiusfraktur mit Kirschnerdrähten. Postoperative Bildgebung a.p. und seitlich [26].

1.3.2.3 Plattenosteosynthese

Die Plattenosteosynthese findet vor allem in der Behandlung von dislozierten distalen Unterarmfrakturen bei Jugendlichen Anwendung. Bei dieser offenen Operationstechnik wird meist eine palmare Kleinfragmentplatte verwendet, um die

zuvor reponierte Fraktur zu stabilisieren. Liegt die Platte auf der gewünschten Stelle des Frakturareals wird diese mittels Schrauben fixiert. Nach komplikationslosem Verlauf erfolgt die Metallentfernung nach circa 6-9 Monaten [26].

1.3.2.4 Fixateur externe

Indikationen zur Anlage eines Fixateur externe stellen vorwiegend offene und komplizierte Trümmerbrüche dar. Da Keimansiedelungen und daraus resultierende Infektionen vor allem bei offenen Frakturen in Betracht gezogen werden müssen, sind andere Operationstechniken oft aufgrund des erhöhten Risikos einer möglichen Keimverschleppung vorerst ungeeignet (spätere Verfahrenswechsel sind durchaus möglich). Bei dieser Methode werden mindestens zwei sogenannte Steinmann-Pins oder Schanz-Schrauben über kleine Hautinzisionen in jedem Bruchstück verankert und außerhalb der Weichteile mit einem Längsträger verbunden. Insgesamt kommt pro Frakturfragment ein Längsträger zum Einsatz. Die einzelnen Träger werden dann über Tube-to-Tube-Backen und einen Stab miteinander fixiert. Postoperativ ist eine gründliche Pinpflege dringend erforderlich, da die Metallstäbe Eintrittspforten für mögliche Infektionen darstellen [28].

1.4 Monteggia Frakturen

Bei der Monteggia Fraktur handelt es sich um eine erstmals im Jahr 1813 von Giovanni Monteggia beschriebene proximale Ulnaschaftfraktur kombiniert mit einer Luxation des Radiuskopfes im Ellbogengelenk. Mit einem Anteil von circa 1% aller kindlichen Unterarmfrakturen zählt sie zu den seltenen Frakturformen, wird aber auch noch heutzutage häufig übersehen. Betroffen sind vor allem Kinder im Alter von 4-10 Jahren, die beim Sport oder Spielen auf den Arm stürzen. Wird die Fraktur früh erkannt und entsprechend versorgt sind ausgezeichnete Resultate zu erwarten und künftige funktionelle Einschränkungen der betroffenen Extremität sehr unwahrscheinlich. Herausforderungen bei der Behandlung stellen die

übersehen und deshalb in weiterer Folge chronischen Radiuskopfluxationen dar [29].

1.4.1 Klassifikation

Zur genauen Einteilung der Monteggia Frakturen wird die Klassifikation nach Bado (1967) verwendet. Dabei beziehen sich die 4 verschiedenen Frakturtypen vor allem auf die Richtung des dislozierten Radiuskopfes. Die Typ I –Fraktur stellt mit circa 60% die häufigste Form dar, gefolgt von Typ III mit 20%, Typ II mit 15% und Typ IV mit 5% [29, 30].

- Bado Typ I: Ist eine nach ventral gekrümmte proximale diaphysäre Ulnafraktur mit ventraler Radiuskopfluxation (Abbildung 11a).
- Bado Typ II: Dabei handelt es sich um eine nach dorsal abweichende Ulnaschaftfraktur mit dorsaler Radiuskopfluxation (Abbildung 11b).
- Bado Typ III: Bei dieser Form ist die Ulna im metaphysären Bereich frakturiert und der Radiuskopf nach lateral luxiert (Abbildung 11c).
- Bado Typ IV: Es handelt sich um eine kombinierte proximale Ulna- und Radiuschaftfraktur mit ventraler Luxation des radialen Bruchstückes (Abbildung 11d) [31].

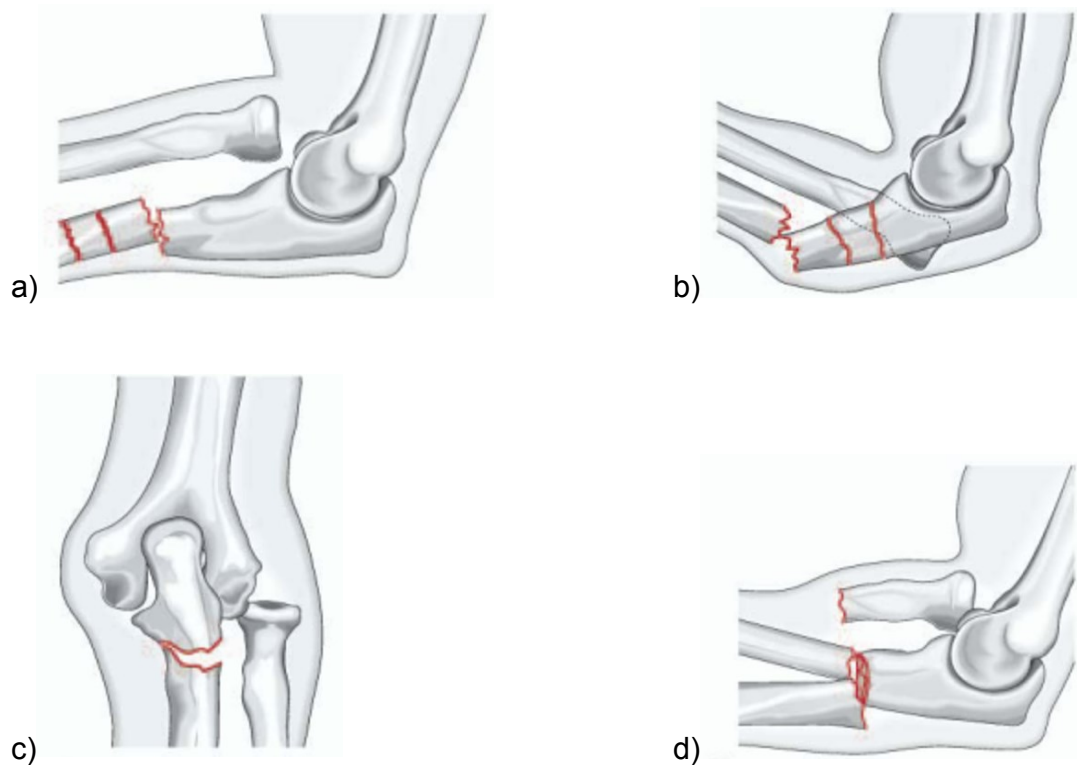


Abb.11a-d: Klassifikation nach Bado Typ I-IV [31]

1.4.2 Diagnostik

Aufgrund der häufig übersehenen Radiuskopfluxationen sind eine korrekte Bildgebung (Miterfassen der angrenzenden Gelenke) und deren genaue Interpretation unerlässlich für die richtige Diagnosestellung. Prinzipiell sollte bei Beschwerden wie Deformitäten und Schmerzen im Unterarm- und Ellbogenbereich und den damit verbundenen Bewegungseinschränkungen nach einem Sturzereignis an eine Monteggia Fraktur gedacht werden. Bei der klinischen Untersuchung liegt in der Regel eine schmerzhaft eingeschränkte Beuge- und Streckbewegung im Ellbogengelenk sowie bei den Umwendbewegungen des Unterarms vor. Ein unverzichtbarer Bestandteil der Untersuchung ist selbstverständlich die Prüfung der Motorik, Durchblutung und Sensibilität der betroffenen Extremität [29].

1.4.3 Behandlungsmethoden

Die Auswahl der richtigen Behandlungsmethode richtet sich vor allem nach dem Schweregrad und dem Alter der Fraktur. Die anzustrebenden Ziele der verschiedenen Behandlungsstrategien sind die Wiederherstellung der korrekten anatomischen Stellung von Ulna und Radiuskopf und die Vermeidung funktioneller Einschränkungen [29].

1.4.3.1 Konservativ

Die konservative Behandlung einer akuten Monteggia Fraktur besteht in der Regel aus der geschlossenen Reposition mit anschließender Röntgenkontrolle und Gipsruhigstellung. Je rascher die Behandlung erfolgt, desto wahrscheinlicher ist ein erfolgreiches Repositionsergebnis zu erwarten. Denn bereits bei Frakturen die nur eine Woche zurückliegen kann eine konservative Therapie schon nicht mehr möglich sein. Die Art der Behandlung richtet sich in erster Linie nach dem Verletzungsgrad der Ulna. Bei inkompletten und stabilen Ulnabrüchen ist die geschlossene Reposition der Fraktur und der Radiuskopfluxation mit nachfolgender Ruhigstellung im Oberarmgips erfolgsversprechend. Dabei soll das Ellbogengelenk in einer 90° Beuge- und der Unterarm in einer zuvor evaluierten und geeigneten Supinations- beziehungsweise Pronationsstellung im Gips fixiert werden. Danach wird der Verlauf wöchentlich anhand klinischer und radiologischer Kontrollen beobachtet, um Heilungsstörungen und Reluxationen des Radiuskopfes sofort erkennen und behandeln zu können. Gestaltet sich die Heilung komplikationslos und zufriedenstellend erfolgt die Gipsabnahme für gewöhnlich nach 4-6 Wochen [29].

1.4.3.2 Operativ

Ist eine geschlossene Reposition der Ulna und des Radiuskopfes nicht möglich oder sehr instabil, sind operative Maßnahmen, wie die Einrichtung der Knochen mittels offener Reposition, erforderlich. Schrägfrakturen werden häufig zuerst geschlossen reponiert und anschließend mit Kirschner Drähten oder intramedullären Nägeln fixiert. Platten- und Schraubenosteosyntheseverfahren

kommen bei postoperativer Instabilität nach Drahtung oder Nagelung und bei kompletten, instabilen Frakturen zum Einsatz. Die postoperative Behandlung gleicht bis auf die zusätzliche Metallentfernung, die je nach Verfahren entweder nach mehreren Wochen oder Monaten postoperativ erfolgt, der konservativen Nachbehandlung. Der Arm wird ebenfalls mittels Oberarmgips, 90° gebeugtem Ellbogengelenk und stabiler Supinations- beziehungsweise Pronationsstellung für 4-6 Wochen ruhig gestellt und regelmäßig kontrolliert. Bleibt der dislozierte Radiuskopf unbemerkt und wird nicht reponiert, sind mögliche Folgen wie zunehmende hypertrophe Veränderungen des Radiuskopfes mit gleichzeitigem Verlust der konkaven Gelenksfläche zu erwarten. Die Ausbildung einer Valgusfehlstellung des Radiushalses wird ebenfalls provoziert und trägt damit zur Entstehung eines Cubitus valgus bei. Diese Veränderungen führen schließlich zu einer Instabilität im Ellbogengelenk und begünstigen vor allem Neuropathien des N. ulnaris aber auch des N. interosseus posterior und N. medianus. Chronische beziehungsweise unbemerkte Monteggia Frakturen haben unbehandelt erfahrungsgemäß ein schlechtes Outcome und sollten auch Jahre später noch mittels Osteotomie korrigiert und stabilisiert werden. Zur Fixierung stehen dabei entweder Drähte, Platten oder die Anlage eines Fixateur zur Verfügung [29].

1.4.4 Ziel der Studie

Ziel der durchgeführten Studie ist eine retrospektive Auswertung und Analyse aller PatientInnen, die an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie ambulant oder stationär auf Grund von akuten Monteggia Frakturen behandelt wurden. Patientendaten wurden dabei direkt miteinander verglichen, um mögliche Zusammenhänge zu finden und die unterschiedlichen Therapieverfahren bewerten und optimieren zu können.

2 Patienten und Methoden

2.1 Ethikkommission

Die Durchführung der Studie im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz genehmigt (EK-Nummer: 28-047 ex 15/16).

2.2 Retrospektive Datenanalyse und Patienten

Für diese Arbeit wurden die Daten von PatientInnen mit akuten Monteggia Frakturen, die im Zeitraum von 2007-2015 stationär oder ambulant an der Klinischen Abteilung für allgemeine Kinder- und Jugendchirurgie Graz versorgt wurden, erhoben und ausgewertet. Ins Patientenkollektiv wurden dabei sowohl weibliche als auch männliche Kinder und Jugendliche mit einem Alter von bis zu 18 Jahren eingeschlossen. Exkludiert wurden PatientInnen, die aufgrund einer Fehldiagnose bei der Erstversorgung unter chronischen Radiuskopfluxationen und den damit einhergehenden Bewegungseinschränkungen litten und sich deshalb einer Korrekturosteotomie mit anschließender Anlage eines Fixateur externe unterziehen mussten. Die Befunde der gesammelten PatientInnen wurden aus dem Dokumentationssystem Medocs entnommen, um eine retrospektive Analyse der relevanten Parameter via Microsoft Excel durchzuführen. Folgende patientenbezogene Parameter wurden dabei erhoben und gegenübergestellt:

- Geschlecht
- Geburtsdatum
- Unfalldatum
- Alter zum Zeitpunkt des Unfalls
- Unfallursache
- Frakturlokalisierung (linker/rechter Arm)
- Bado Klassifikation
- Aufnahmedatum in der Klinik

- Behandlungsart (konservativ/operativ)
- Operationsdatum
- Behandlungsmethode
- Komplikationen
- stationärer oder ambulanter Aufenthalt
- Aufenthaltsdauer
- Gipsanlage (ja/nein)
- Datum der Gipsabnahme und Gipsdauer
- Datum der Metallentfernung
- Dauer des Metalls in situ
- Anzahl der Wiedervorstellungen
- Befund bei Entlassung
- Datum der letzten Vorstellung
- Behandlungsdauer

Da es sich um ein kleines Patientenkollektiv handelt, wurden die statistischen Auswertungen im Sinne einer deskriptiven Statistik mithilfe des Programms Excel durchgeführt. Dabei wurden alle PatientInnen mit einer fortlaufenden Nummer codiert und die oben angeführten Parameter eingetragen. Die Einteilung der Frakturen nach Bado erfolgte anhand der Röntgenbilder im Picture Archiving and Communication System (PACS).

3 Resultate

3.1 Anzahl und Alter der PatientInnen

Insgesamt waren zwischen Beginn des Jahres 2007 und Anfang 2015, 59 PatientInnen aufgrund einer akuten Monteggia Fraktur an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie vorstellig. 14 PatientInnen, also rund ein Viertel (25%) wurden allein im Jahr 2009 versorgt, jeweils 10 (17,5%) in den Jahren 2010 und 2011, 7 (12%) im Jahr 2007, 5 (9%) im Jahr 2012 und je 4 (7%) in den Jahren 2013 und 2014. Die geringste Anzahl an PatientInnen (n= 3, 5%) stellte sich im Jahr 2008 (Abbildung 12) vor.

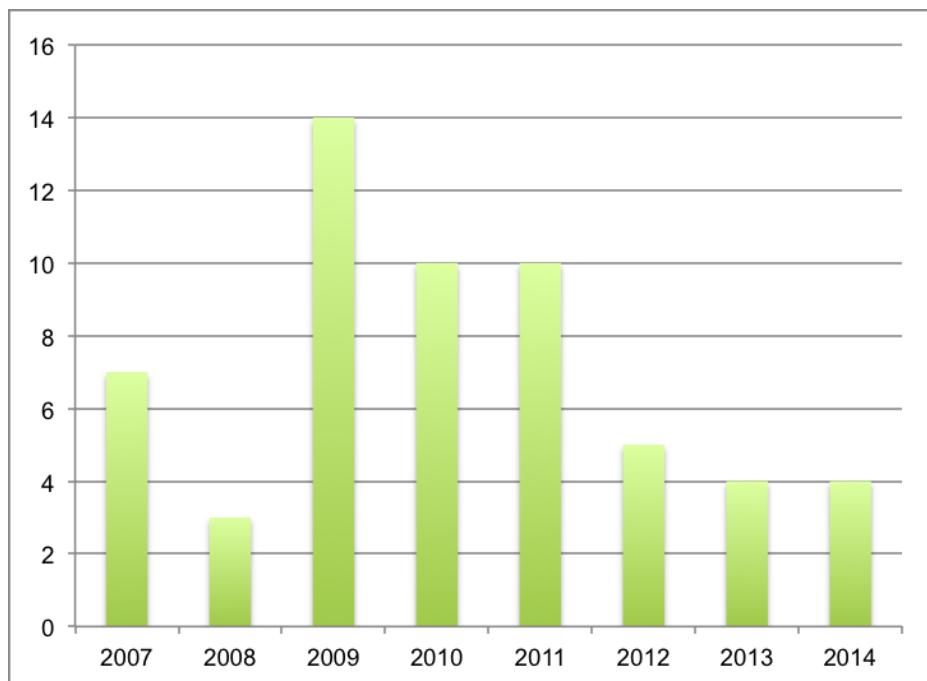


Abb.12: Darstellung der Anzahl von Monteggia Frakturen an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz pro Jahr

Eine geringe Mehrheit stellten die weiblichen Patienten mit einer Anzahl von 31 Personen (53%) dar. Insgesamt 28 Patienten (47%) waren männlich. Das mittlere Alter zum Zeitpunkt der Verletzung lag bei 5,4 Jahren. Wobei das jüngste Kind des

Kollektives zum Unfallzeitpunkt, 1 Jahr und das älteste 16 Jahre alt war. Mädchen verunfallten mit durchschnittlich 5,1 Jahren etwas früher als Jungen (5,8 Jahre).

3.2 Unfallursache

Bei einer Anzahl von 59 PatientInnen ereigneten sich insgesamt 60 Unfälle, da ein Kind nur wenige Monate später wieder verunfallte und sich erneut eine Monteggia Fraktur zuzog. Von diesen 60 stattgefundenen Unfällen war eine Vielzahl (n=58, 97%) durch Stürze und nur 2 Fälle (3%) durch Verkehrsunfälle bedingt (Abbildung 13). Zwei Drittel aller Sturzunfälle (n=39, 67%) ereigneten sich entweder beim Sport oder Spielen. In dieser Kategorie wurden alle Stürze beim Trampolinspringen, Fußballspielen, Schifahren oder Laufen, von Rutschen und Schaukeln und Fahrradstürze zusammengefasst. 10 dieser Stürze (17%) erfolgten aus der Höhe von Gegenständen wie Klettergerüsten, Reck- oder Turnstangen, Seilen oder auch von einem stehendem Auto. 4 dieser Höhenstürze erfolgten von circa einem Meter und bei 6 wurde die Sturzhöhe nicht näher angeben.

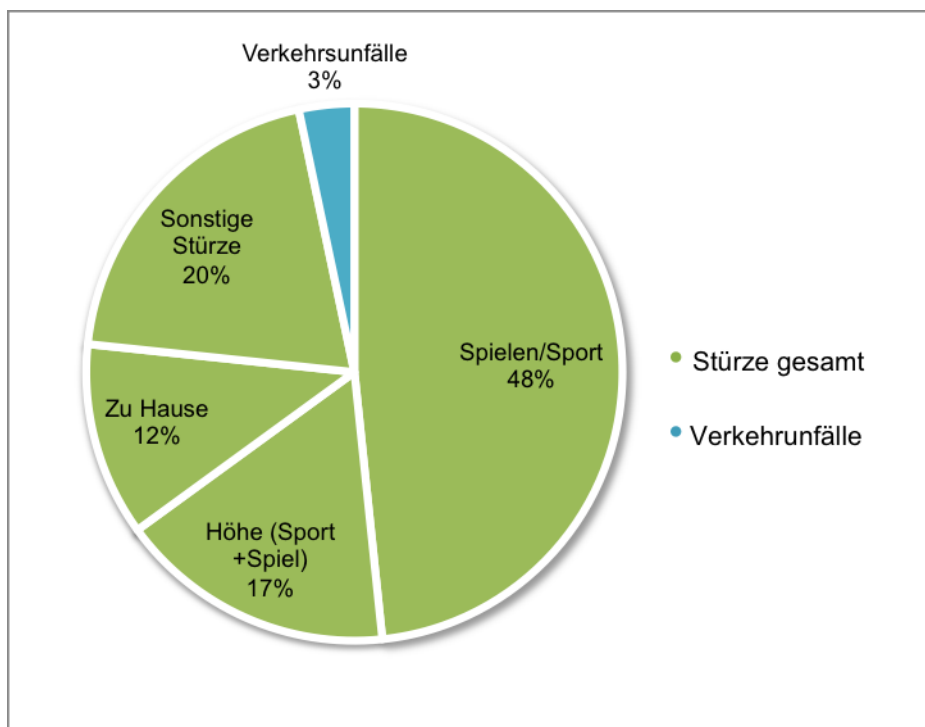


Abb.13: Verteilung der Unfallursachen

Als Sturzquellen im Wohnbereich wurden unter anderem Küchenkästen, Couchtische, Eckbänke und Sessel angegeben. Zu den sonstigen Stürzen wurden die nicht näher beschriebenen Stürze auf den Arm und ein Sturz über Stiegen gezählt. In der unten angeführten Tabelle 1 wurden alle sich ereigneten Unfallursachen im Genauen aufgelistet und deren Häufigkeitsverteilung angegeben.

Sturz auf Arm	11	18%
Fahrradsturz	8	13%
Sturz im Wohnbereich	7	12%
Sturz von Schaukel	7	11%
Sturz aus unbekannter Höhe	6	10%
Sturz von Rutsche	6	10%
Sturz beim Trampolinspringen	5	8%
Sturz aus 1m Höhe	4	7%
Mopedunfall	2	3%
Sturz beim Fußballspielen	1	2%
Sturz beim Laufen	1	2%
Sturz beim Schifahren	1	2%
Sturz über die Stiege	1	2%

Tabelle 1: Auflistung und Häufigkeitsverteilung aller Unfallursachen

3.3 Lokalisation und Klassifikation

Verletzungen des linken Unterarms überwogen mit einer Anzahl von 34 (57%). Frakturen des rechten Armes konnten in insgesamt 26 Fällen (43%) festgestellt werden. Die Klassifikation der einzelnen Frakturen nach Bado erfolgte anhand der

im System PACS befindlichen Röntgenbilder der PatientInnen. Die Auswertung der Bilder ergab folgendes Ergebnis: Bado Typ I-Frakturen bildeten mit insgesamt 33 Fällen (55%) die Mehrheit, gefolgt von Bado Typ III-Frakturen mit 21 Fällen (35%). Typ IV und Typ II-Verletzungen konnten nur in 4 (7%) beziehungsweise 2 (3%) Fällen festgestellt werden (Abbildung 14).

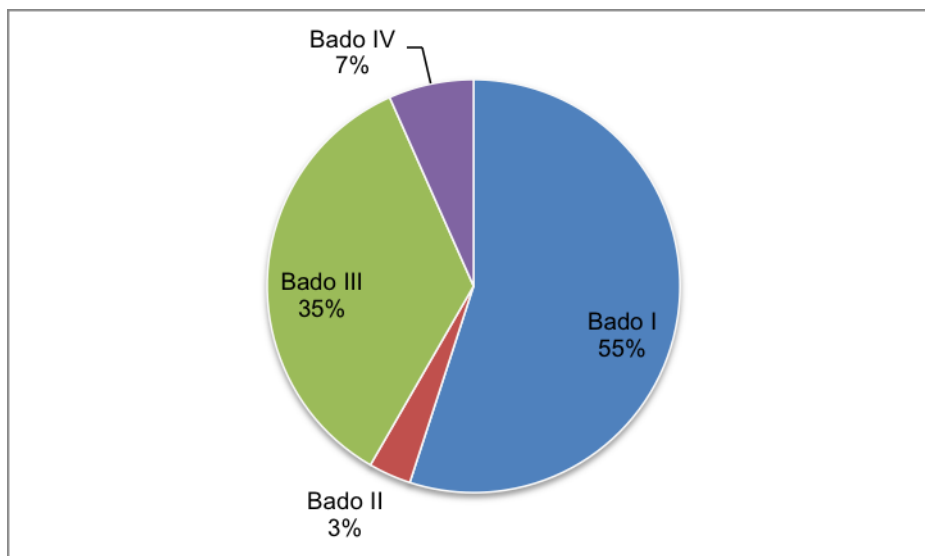


Abb.14: Häufigkeitsverteilung der Frakturtypen nach Bado

3.4 Behandlung

Aufgrund 4 erfolgter Wiedervorstellungen wurden insgesamt 63 Behandlungen an den 59 Patienten und Patientinnen vorgenommen. Die 4 Wiedervorstellungen erfolgten aufgrund 3 komplizierter Verläufe (verzögerte Knochenheilung, Dislokation eines Marknagels und sekundäre Dislokation einer Ulnafraktur) und einer Refraktur. Eine der 63 Behandlungen erfolgte ambulant und die restlichen wurden im Rahmen eines stationären Aufenthaltes mit einer durchschnittlichen Aufenthaltsdauer von drei Tagen durchgeführt. Konservativ behandelte PatientInnen blieben dabei im Durchschnitt 2,2 Tage auf der Station und die operativ versorgten PatientInnen 3,4 Tage.

Insgesamt wurde 20 Mal eine konservative und 43 Mal eine operative Behandlungsmethode gewählt. Die konservative Therapie erfolgte in 19 Fällen mittels geschlossener Reposition der Fraktur und einmal mittels extrakorporaler Stoßwellentherapie (ESWT) im Rahmen einer Wiedervorstellung wegen verzögerter Knochenheilung (Abbildung 15).

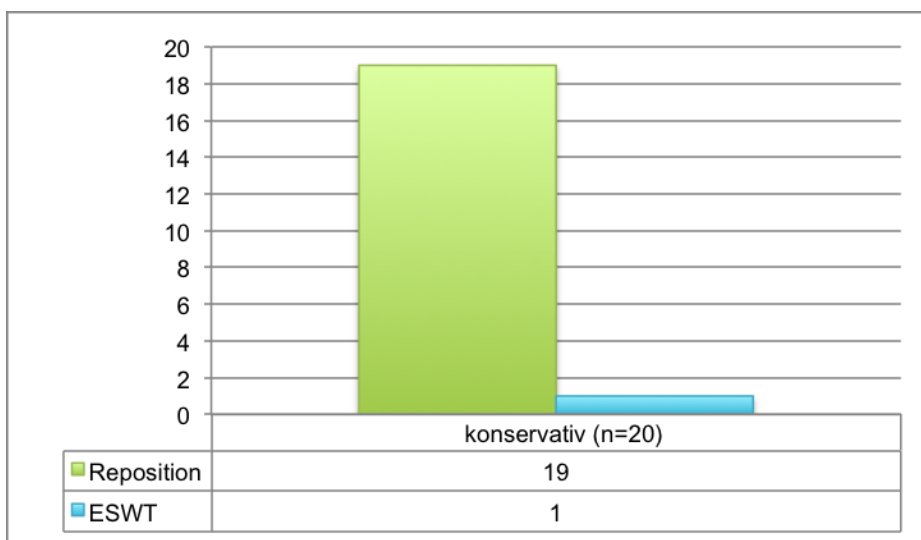


Abb.15: Übersicht der konservativen Behandlungsmethoden

38 (89%) der 43 erfolgten operativen Eingriffe wurden mittels geschlossener Reposition der Fraktur und anschließender Stabilisierung der Ulna mittels ESIN durchgeführt. 3 (7%) weitere, darunter die zwei angeführten Mopedunfälle eines 15 und einer 16 Jährigen und ein Sturz aus Höhe eines 10 jährigen Mädchens, wurden mittels offener Reposition und Plattenosteosynthese versorgt. Ein weiteres Kind (2%) wurde mittels Reposition und Bohrdrahtosteosynthese. Aufgrund eines befundeten dislozierten Marknagels eines zuvor mit ESIN versorgten Kindes musste eine weitere Operation (2%) durchgeführt werden (Abbildung 16).

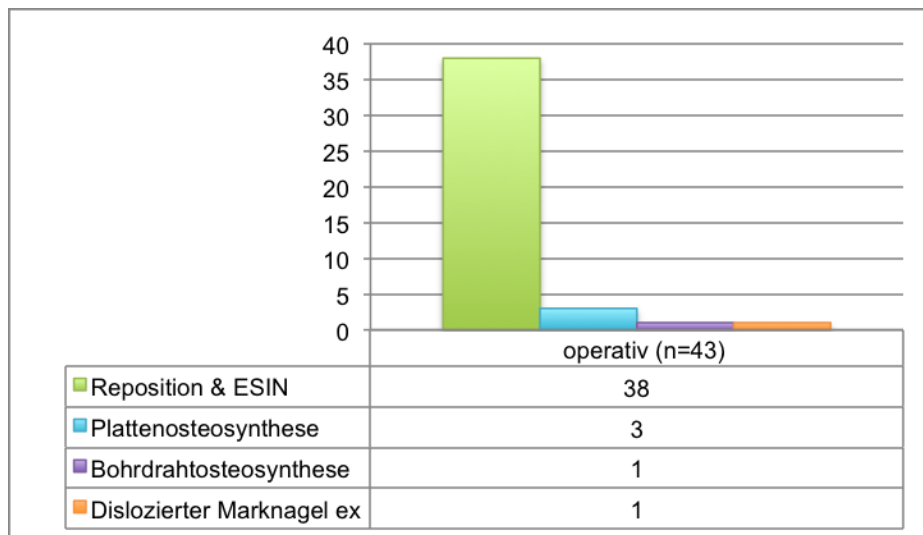


Abb.16: Übersicht der operativen Behandlungsmethoden

3.4.1 Gipsversorgung und Metallimplantation

Eine Ruhigstellung der versorgten Fraktur mithilfe einer Gipsanlage erfolgte in 36 Fällen (57%). Bei den verbleibenden 27 Fällen (43%) wurde auf eine Gipsretention verzichtet. 24 dieser 27 Frakturen wurden nur mit Metall (Marknagel, Bohrdraht oder Platten) stabilisiert. In 3 Fällen wurde weder Metall implantiert noch ein Gips angelegt. Die durchschnittliche Tragedauer des Gipses betrug 23 Tage, wobei der Gipsabschluss bei Mädchen im Durchschnitt schon einen Tag früher erfolgte.

Eine Stabilisierung der Fraktur mithilfe einer Metallimplantation erfolgte in 42 der 43 stattgefundenen Operationen. Die durchschnittliche Metalldauer in situ aller verwendeten Methoden belief sich auf 6,7 Monate (200 Tage). Auch hier konnte ein geringer Unterschied zwischen den Geschlechtern festgestellt werden. Während die Implantate bei Buben nach rund 6,5 Monaten (194 Tagen) entfernt wurden, fand die Explantation bei Mädchen im Durchschnitt erst nach 6,9 Monaten (206 Tagen) statt. Die längste durchschnittliche Implantat Verweildauer wurde bei plattenosteosynthetisch versorgten Kindern mit 16,3 Monaten (488 Tage) berechnet. Die Marknägel der mittels ESIN versorgten PatientInnen konnten im Durchschnitt nach 6,2 Monaten (185 Tagen) entfernt werden. Die Metalldauer des Bohrdrahtes in situ betrug lediglich 1 Monat (31 Tage).

3.5 Behandlungsdauer

Die gesamte Behandlungsdauer umfasst die Zeitspanne vom Tag des Unfallgeschehens bis hin zum Datum der letzten Vorstellung des Patienten oder der Patientin. In diesem Zeitraum sind alle erforderlichen Verlaufskontrollen und der endgültige Therapieabschluss inkludiert. Unter Einbeziehung aller Parameter des gesamten Patientenkollektives konnte eine mittlere Behandlungsdauer von 7,1 Monaten (214 Tage) berechnet werden. Aufgrund der mehrmonatigen Verweildauer der Metallimplantate in situ kommt es zu einer deutlichen Differenz der Behandlungsdauer zwischen konservativ und operativ versorgten Kindern. Der Durchschnitt der Dauer der konservativen Therapie lag bei 2,5 Monaten (75 Tage) und der der operativen Therapie bei etwa 9 Monaten (272 Tage). Auch hinsichtlich der Geschlechter konnten deutliche Unterschiede beobachtet werden. Die Mädchen waren durchschnittlich für insgesamt 8,9 Monate (266 Tage) in Behandlung, die Buben dagegen nur für etwa 5 Monate (150 Tage).

3.6 Behandlungsergebnisse

Die Behandlungsergebnisse wurden durch die Auswertung der einzelnen Entlassungsbefunde am letzten Vorstellungstag bestimmt. Bei 45 PatientInnen (75%) konnte eine vollständige Defektheilung ohne bleibende Einschränkungen erzielt und festgestellt werden. Bei 13 weiteren Kinder (22%) bestanden am letzten Vorstellungstag noch geringgradige Bewegungseinschränkungen. 9 der betroffenen Kinder wurden konservativ behandelt, 4 operativ. Bei 6 der 9 konservativ therapierten Kinder bestanden zum Untersuchungszeitpunkt leichte Bewegungseinschränkungen aufgrund der Gipsruhigstellung. Bei 5 weiteren Kindern konnte der Grund für die bestehenden Bewegungseinschränkungen nicht eruiert werden. Ein Kind litt unter einer schmerzbedingten Einschränkung der Pronation ab 60° und der Streckung und Beugung im Ellbogengelenk unmittelbar nach Gipsabschluss. Bei einem weiteren Kind konnten die Umwendbewegungen des Unterarmes am Tag der letzten Vorstellung aufgrund ausgeprägter Ängstlichkeit nicht überprüft werden. Folgende Bewegungen waren betroffen: Streckung und Beugung gleichermaßen bei 6 PatientInnen (46%). Nur Streckung

oder Beugung in jeweils 2 Fällen (15,3%). Pro- und Supination gleichermaßen bei 2 PatientInnen (15,3%) und ein 5 gradiges Defizit bei Pronation (8%). Unter Einschränkungen litten insgesamt 10 Jungen und 3 Mädchen.

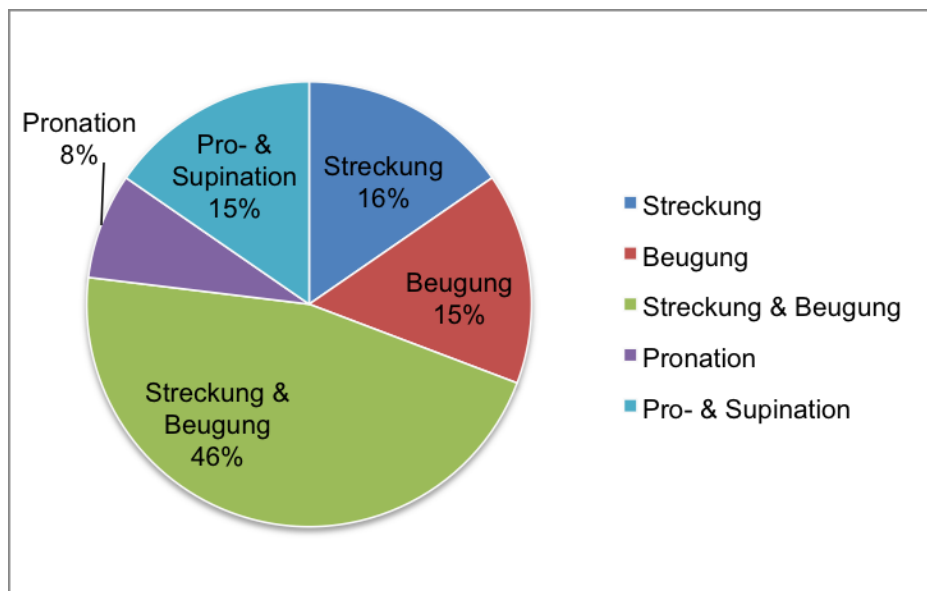


Abb. 17: Übersicht und Verteilung aller bestandenen Bewegungseinschränkungen

4 Diskussion

Frakturen sind im Kindesalter aufgrund des kindlichen Tatendranges und des noch unausgereiften Skelettes zwar häufig zu beobachten, haben aber in der Regel eine rasche Heilungstendenz und eine gute Prognose. Monteggia Frakturen zählen zwar mit einem Anteil von circa 1% aller kindlicher Unterarmfrakturen zu den seltenen Frakturformen, werden aber häufig übersehen. Wird die Fraktur sofort korrekt diagnostiziert und adäquat behandelt, ist eine vollständige Ausheilung im Sinne einer Restitutio ad integrum sehr wahrscheinlich, das konnten auch die Ergebnisse der Datenanalyse zeigen.

Der Zeitraum (2007-Anfang 2015), eine Altersgrenze von maximal 18 Jahren und das Bestehen einer akuten Monteggia Fraktur stellten Kriterien dar, die das Patientenkollektiv der Studie auf insgesamt 59 Personen eingrenzten. Kinder, die unter den Spätfolgen einer unbemerkten Monteggia Fraktur litten, also unter einer chronischen Radiuskopfluxation und sich deshalb einer Korrekturosteotomie mit anschließender Anlage eines Fixateur externe unterziehen mussten, wurden ausgefiltert und nicht in diese Studie miteinbezogen. Die bis dahin gesammelten Daten dieser Kinder zeigten aber deutlich auf, dass der chronische Verlauf insgesamt mit einer höheren Komplikationsrate und einem schlechterem Outcome nach Therapieabschluss aufgrund der jahrelang persistierenden Fehlstellung und den damit verbundenen Bewegungseinschränkungen einhergeht. Eine Feststellung, die auch andere wissenschaftliche Arbeiten [29] aufgezeigt haben und die verdeutlicht, welche bedeutende Rolle die Früherkennung hinsichtlich dieser Frakturform spielt.

Stürze stellten mit insgesamt 97% eindeutig die Hauptverletzungsursachen für die Entstehung einer Monteggia Fraktur dar. Am häufigsten konnten diese bei sportlichen oder spielerischen Aktivitäten und bei einem durchschnittlichen Alter von 5,4 Jahren beobachtet werden. Bei dem Patientenkollektiv waren verschiedenste Altersstufen (1-16 Jahre) vertreten und so konnten auch unterschiedliche Verteilungen der Unfallursachen beobachtet werden. Stürze auf Spielplätzen (von Rutschen, Schaukeln etc.), von Fahrrädern oder im Wohnbereich (von Stühlen, Bänken und Tischen) wurden bei Kleinkindern

erwartungsgemäß weitaus häufiger beobachtet als bei älteren Kindern und Jugendlichen. Die beiden Ältesten des Kollektives (15-jähriger Junge und 16-jähriges Mädchen) zogen sich die Frakturen dagegen jeweils bei einem Verkehrsunfall mit dem Moped zu.

Anhand der vorliegenden Röntgenbilder der PatientInnen konnten die Frakturen nach Bado klassifiziert werden. Am häufigsten konnten dabei Bado Typ I-Frakturen (55%), die durch eine nach ventral gekrümmte Ulnafraktur und einen nach ventral dislozierten Radiuskopf definiert sind, gefolgt von Bado Typ III-Frakturen (35%) bei denen der Radiuskopf nach lateral luxiert ist, festgestellt werden. Bado Typ IV (7%) und Bado Typ II-Frakturen (3%) wurden dagegen kaum beobachtet. Diese Häufigkeitsverteilung stimmt, trotz geringer Differenzen der Prozentangaben, in ihrer Rangfolge mit den Angaben der Fachliteratur überein [30]. Mithilfe der Datenanalyse konnte kein Zusammenhang zwischen dem Frakturtyp und einem damit verbundenen erhöhten Risiko zur Entstehung von Bewegungseinschränkungen oder Therapiekomplikationen im weiteren Verlauf festgestellt werden.

Je nachdem ob Fraktur und Radiuskopf manuell reponierbar sind, entscheidet sich ob konservative oder operative Methoden zum Einsatz kommen. Diese Studie hat gezeigt, dass sowohl konservative Vorgehen mittels Gipsruhigstellung als auch operative Eingriffe wie die ESIN optimale Langzeitergebnisse erzielen können. Die elastisch stabile intramedulläre Nagelung konnte weder mit höheren Komplikationsraten noch einer erhöhten Anzahl an Spätfolgen, im Vergleich zu konservativen Behandlungsmethoden assoziiert werden. Aufgrund der mehrheitlich guten funktionellen Endresultate sind entweder die geschlossene Reposition mit anschließender Ruhigstellung oder die ESIN als Behandlungsmethoden der Wahl bei akuten Monteggia Frakturen anzustreben. Bestehen komplizierte, instabile oder stark dislozierte Frakturen können auch andere operative Verfahren notwendig sein. Frakturfragmente können beispielsweise mit Bohrdrähten fixiert werden. Plattenosteosynthetische Verfahren werden vor allem bei komplizierten Frakturen oder bei Adoleszenten eingesetzt. Bei zwei Jugendlichen stellte sich die Indikation dieser operativen Vorgehensweise aufgrund des Alters und des Unfallherganges (Verkehrsunfälle

sind häufig mit komplizierten Frakturen assoziiert). Ein weiteres Kind im Alter von 10 Jahren musste nach einem Sturz aus unbekannter Höhe ebenfalls mit Platten versorgt werden.

In 3 Fällen erfolgte aufgrund aufgetretener Komplikationen während des Verlaufs nach durchgeführter Behandlung eine Wiedervorstellung. Dabei wurde bei einem Patienten noch 5 Monate nach plattenosteosynthetisch versorgter Fraktur nach Verkehrsunfall eine verzögerte Knochenheilung festgestellt und mittels ESWT mit zufriedenstellendem Ergebnis therapiert. Eine Patientin stellte sich 2 Wochen nach konservativ behandelte Monteggia Fraktur aufgrund einer sekundären Dislokation der Ulnafraktur erneut vor und wurde mittels ESIN therapiert. Die dritte Komplikation zeigte sich zwei Wochen nach erfolgter ESIN in der Dislokation eines Marknagels, welcher daraufhin sofort operativ entfernt wurde. Insgesamt gestalteten sich die weiteren Verläufe aller 3 Patienten komplikationslos und mit beschwerdefreiem Endbefund.

Die mittlere Behandlungsdauer wurde anhand der Daten mit 7,1 Monaten berechnet, wobei die durchschnittliche Dauer der konservativ behandelten Kinder mit 2,5 Monaten stark von der Dauer der operativ versorgten Kinder mit 9 Monaten abwich. Aufgrund einer üblichen Verweildauer der Marknägel (bei ESIN) von 6-9 Monaten in situ lässt sich dieser Unterschied erklären. Andere Materialien wie Bordinstrumente konnten bei zufriedenstellender Konsolidierung des Knochens schon nach nur einem Monat entfernt werden. Die große Differenz der Behandlungsdauer zwischen Mädchen (8,9 Monate) und Jungen (5 Monate) ist durch die scheinbar konsequentere Einhaltung der Kontrolltermine, auch bei vorliegender Beschwerdefreiheit der Mädchen, begründbar.

Anhand der Datenanalyse konnten insgesamt 13 Kinder mit geringgradig bestehenden Bewegungseinschränkungen am letzten Vorstellungstag eruiert werden. In 9 dieser Fälle erfolgte eine konservative Behandlung. Zwei Drittel (6 von 9) dieser Einschränkungen bestanden am Tag der Gipsabnahme bedingt durch die Ruhigstellung des Armes für durchschnittlich 23 Tage. Da nachfolgende Kontrolltermine der PatientInnen verabsäumt wurden, ist der weitere Verlauf ihrer Beschwerdesymptomatik unbekannt. Anzunehmen ist jedoch, dass die Kinder bei

persistierenden Einschränkungen erneut vorstellig geworden wären. Ruhigstellungen ziehen häufig vorübergehende Bewegungseinschränkungen nach sich, die sich aber in den meisten Fällen wieder vollständig zurückbilden. Bei einem konservativ und 4 operativ versorgten Kindern konnten anhand der vorliegenden Befunde keine behandlungsbedingten Ursachen für die bestehenden Einschränkungen am Tag ihrer letzten Vorstellung festgestellt werden.

Zusammenfassend zeigte sich in der Studie, dass sowohl gegenwärtige konservative als auch operative Behandlungstechniken bei Monteggia Frakturen überwiegend gute funktionelle Outcomes erzielen. Als Methoden der Wahl sind hier vor allem die geschlossene Reposition mit nachfolgender Gipsretention und die elastisch stabile intramedulläre Nagelung zu nennen. Da Komplikationen und schlechte Outcomes vor allem bei unbemerkten, chronischen Radiuskopfluxationen zu erwarten sind, stellt die frühe korrekte Diagnosestellung der Verletzung die wichtigste Voraussetzung für ein optimales Behandlungsergebnis dar.

4.1 Anhang

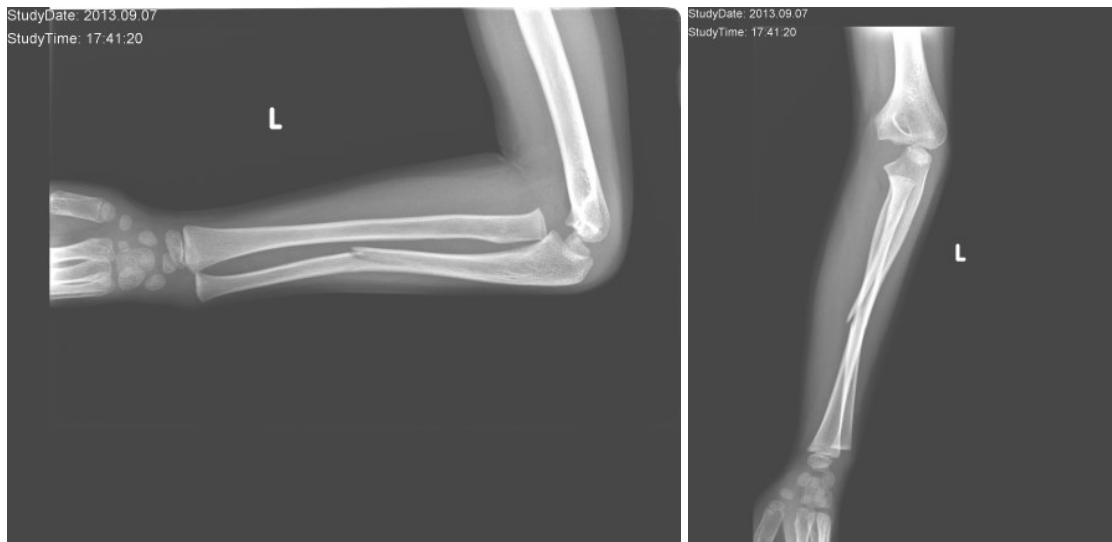


Abb. 18: Darstellung des linken Unterarmes eines 6 jährigen Jungen nach Sturz auf den Arm am 07.09.2013.
Monteggia Fraktur Typ Bado-I.

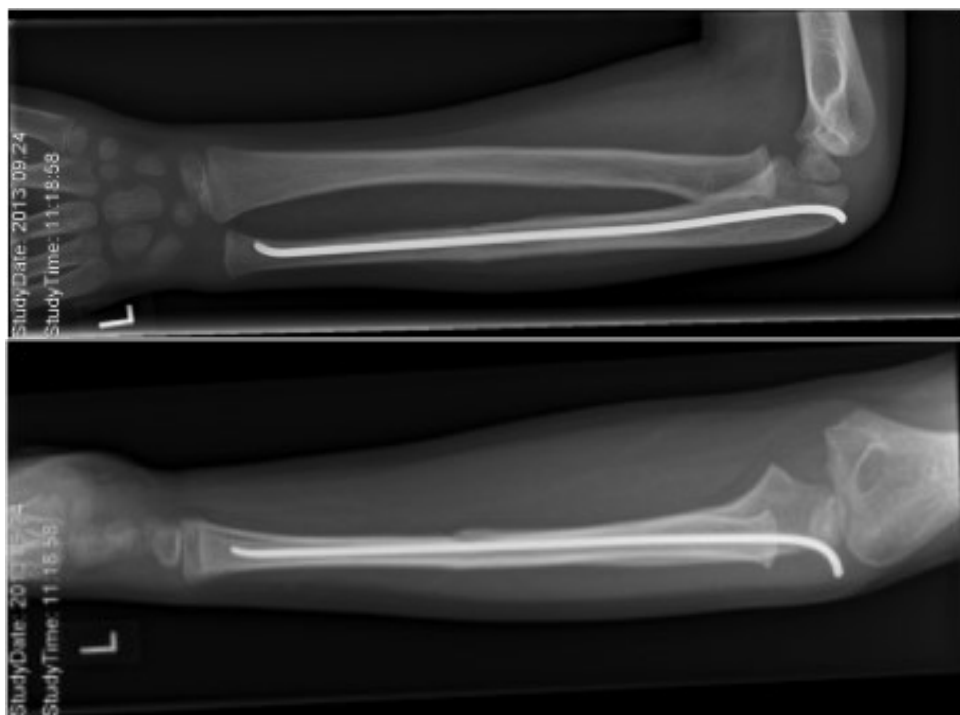


Abb. 19: Postoperatives Kontrollröntgen am 24.09.2013, bei zuvor versorgter Monteggia Fraktur mittels ESIN
am 07.09.2013



Abb. 20: Abschließendes Kontrollröntgen nach Entfernung des Marknagels nach insgesamt 7,1 Monaten (213 Tage) am 08.04.2014.

5 Literaturverzeichnis

- [1] Drake, Richard L., Wayne Vogl, Adam W. M. Mitchell, und Henry Gray. *Gray's Anatomie für Studenten*. 1. Auflage. München: Elsevier, Churchill Livingstone, 2007. Seite 711-728
- [2] Weinberg, Annelie-Martina, und Harald Tscherne, Hrsg. *Tscherne Unfallchirurgie: Unfallchirurgie im Kindesalter - Teil 1: Allgemeiner Teil, Kopf, Obere Extremität*. Tscherne Unfallchirurgie Unfallchirurgie im Kindesalter. Berlin: Springer, 2006. Seite 303
- [3] Waldeyer, Anton, und Anton Mayet. *Anatomie des Menschen für Studierende und Ärzte:: dargestellt nach systematischen, topographischen und praktischen Gesichtspunkten. 2: Kopf und Hals, Auge, Ohr, Gehirn, Arm, Brust*. 16., neubearb. Aufl. Berlin: de Gruyter, 1993. Seite 440-446
- [4] Waldeyer, Anton, und Friedrich Anderhuber, Hrsg. *Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band*. 19., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. De Gruyter Studium. Berlin: de Gruyter, 2012. Seite 202
- [5] Waldeyer, Anton, und Anton Mayet. *Anatomie des Menschen für Studierende und Ärzte:: dargestellt nach systematischen, topographischen und praktischen Gesichtspunkten. 2: Kopf und Hals, Auge, Ohr, Gehirn, Arm, Brust*. 16., neubearb. Aufl. Berlin: de Gruyter, 1993. Seite 463-470
- [6] Waldeyer, Anton, und Anton Mayet. *Anatomie des Menschen für Studierende und Ärzte:: dargestellt nach systematischen, topographischen und praktischen Gesichtspunkten. 2: Kopf und Hals, Auge, Ohr, Gehirn, Arm, Brust*. 16., neubearb. Aufl. Berlin: de Gruyter, 1993. Seite 485-494
- [7] Wülker, Nikolaus, und Torsten Kluba, Hrsg. *Taschenlehrbuch Orthopädie und Unfallchirurgie*. Stuttgart: Thieme, 2005. Seite 367-368

- [8] Klein-Vogelbach, Susanne, Regula Steinlin Egli, und Barbara Werbeck. *Funktionelle Bewegungslehre: Bewegung lehren und lernen*. 5., völlig Neubearb. Aufl. Rehabilitation und Prävention 1. Berlin [u.a]: Springer, 2001. Seite 26
- [9] Weigel, Bernhard, Hrsg. *Praxisbuch Unfallchirurgie*. 2., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. Berlin: Springer Medizin, 2011. Seite 774
- [10] Rüedi, T. P., R. E. Buckley, und Moran C. G, Hrsg. *AO-Prinzipien des Frakturmanagements: Band 1*. 2. Aufl., o. J. Seite 391-403
- [11] Rüedi, T. P., R. E. Buckley, und Moran C. G, Hrsg. *AO-Prinzipien des Frakturmanagements: Band 1*. 2. Aufl., o. J. Seite 1-6
- [12] Marzi, Ingo, Dorien Schneidmüller, und Laurent Audigé, Hrsg. *Kindertraumatologie*. 2., überarb. und aktualisierte Aufl. Berlin: Springer Medizin, 2010. S. 20-21
- [13] Weinberg, Annelie-Martina, und Harald Tscherne, Hrsg. *Tscherne Unfallchirurgie: Unfallchirurgie im Kindesalter - Teil 1: Allgemeiner Teil, Kopf, Obere Extremität*. Tscherne Unfallchirurgie Unfallchirurgie im Kindesalter. Berlin: Springer, 2006. S.19
- [14] Benz-Bohm, Gabriele, und Gerhard Alzen, Hrsg. *Kinderradiologie*. 2. Aufl. RRR - Referenz-Reihe Radiologie. Stuttgart: Thieme, 2005. S.51- 52
- [15] Laer, Lutz von von, Ralf Kraus, und Wolfgang E. Linhart. *Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter*. 6., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Thieme, 2013. Seite 19-20
- [16] Götsch, Karin, Hrsg. *Allgemeine und Spezielle Krankheitslehre*. 2. Aufl. Ergotherapie Prüfungswissen. Stuttgart: Thieme, 2011. Seite 400
- [17] Kraus, Ralf, Schneidmüller, Dorien, und Röder, Christoph. „Häufigkeit von Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter“. Dtsch Arztebl 2005;

102: A 838–842 [Heft 12]. Zugegriffen 18. Dezember 2015.
<http://mobile.aerzteblatt.de/print/46051.htm>.

- [18] Engelhardt, Gustav H., und R. Braakman, Hrsg. *Unfallheilkunde: ein Leitfaden für Klinik und Praxis*. 3., völlig überarb. Aufl. Berlin: de Gruyter, 1999. Seite 343, 347
- [19] Reiser, Maximilian, und Peter Bartenstein, Hrsg. *Duale Reihe Radiologie*. 3., vollst. überarb. und erw. Aufl. Duale Reihe. Stuttgart: Thieme, 2011. Seite 375-377
- [20] Weber, Bernhard Georg, Christian Brunner, Franz Freuler, Pierre Berruex, und Weber-Brunner-Freuler, Hrsg. *Die Frakturenbehandlung bei Kindern und Jugendlichen*. Berlin: Springer, 1978. Seite 28
- [21] Marzi, Ingo, Dorien Schneidmüller, und Laurent Audigé, Hrsg. *Kindertraumatologie*. 2., überarb. und aktualisierte Aufl. Berlin: Springer Medizin, 2010. Seite 3-4
- [22] Rüedi, T. P., R. E. Buckley, und Moran C. G, Hrsg. *AO-Prinzipien des Frakturmanagements: Band 1*. 2. Aufl., o. J. Seite 410-412
- [23] Marzi, Ingo, Dorien Schneidmüller, und Laurent Audigé, Hrsg. *Kindertraumatologie*. Darmstadt: Steinkopff, 2006. Seite 51-54
- [24] Rüedi, T. P., R. E. Buckley, und Moran C. G, Hrsg. *AO-Prinzipien des Frakturmanagements: Band 1*. 2. Aufl., o. J. Seite 404-412
- [25] Walz M, Kolbow B, Möllenhoff G (2006) Distale Ulnafraktur als Begleitverletzung des körperfernen Speichenbruchs. Mini- mal-invasive Versorgung mittels elastisch stabiler intramedullärer Nagelung (ESIN). *Unfallchirurg* 109(12):1058–1063, TEN/STEN – Elastisches Nagelsystem aus Titan/Stahl. Für die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung (ESIN), 04/2010 Synthes, Inc. Seite 34-46 (Zugegriffen am 20.12.2015)
http://synthes.vo.llnwd.net/o16/LLNWMB8/INT%20Mobile/Synthes%20International/Product%20Support%20Material/legacy_Synthes_PDF/016.000.207.pdf

- [26] Weigel, Bernhard, Hrsg. *Praxisbuch Unfallchirurgie*. 2., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. Berlin: Springer Medizin, 2011. S.800-801
- [27] Illian C, Veigel B, Chylarecki C: Osteosyntheseverfahren in der Kinder- und Jugendtraumatologie. OUP 2013; 12: 578–583. DOI 10.3238/oup.2013.0578–0583 (Zugegriffen am 21.12.2015)
https://www.online-oup.de/media/article/2013/12/F6216D06-8C58-4D59-BC29-F140031A5F34/F6216D068C584D59BC29F140031A5F34_illian_1_original.pdf
- [28] Rüedi, T. P., R. E. Buckley, und Moran C. G, Hrsg. *AO-Prinzipien des Frakturmanagements: Band 1*. 2. Aufl., o. J. Seite 314-317
- [29] Dr. Lisa L. Lattanza (Name), und Dr. Sam Chen. *Monteggia Fracture Dislocations*, Part of „The Pediatric Upper Extremity“. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014, o. J. <http://www.springerreference.com/index/chapterdbid/370471>.
- [30] Wirth, Carl Joachim, und F. Abdolvahab, Hrsg. *Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie*. 3., vollst. überarb. Aufl. Stuttgart: Thieme, 2014. Seite 1023
- [31] Baierlein, Sammy Alexander, und Gerhard Finkenzeller, Hrsg. *Frakturklassifikationen*. Stuttgart: Thieme, 2011. Seite 39