

Diplomarbeit

**Auswirkung des Rotationsfehlers auf das Outcome von
operativ versorgten supracondylären Humerusfrakturen
im Kindesalter**

eingereicht von

Benedikt Karl Mauhart

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie

unter der Anleitung von

Dr. Helmut Wegmann und

Assoz.Prof.PD Dr. Georg Singer

Graz, 10.01.2019

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 10.01.2019

Benedikt Karl Mauhart eh

Zusammenfassung

Einleitung: Supracondyläre Humerusfrakturen gehören mitunter zu den häufigsten Frakturen im Kindesalter. Bei dislozierten Frakturen wird immer eine Reposition, nach Möglichkeit geschlossen, durchgeführt. Zur Stabilisierung der Reposition gibt es Schienungs- und Osteosyntheseverfahren. Die heutige Lehrmeinung besagt, dass Rotationsfehler, aufgrund ihres negativen Einfluss auf das Outcome der PatientInnen, immer zu vermeiden sind. Da dies in der Praxis jedoch nicht immer vollständig umsetzbar ist, und man nicht endlos lange bzw. viele Operationen den jungen PatientInnen zumuten kann, wollen wir in dieser Arbeit überprüfen, in wieweit sich verbliebene Rotationsfehler auf das Langzeitoutcome von supracondylären Humerusfrakturen auswirken.

Material und Methoden: Zuerst wurde eine retrospektive Datenanalyse aller PatientInnen, die in den Jahren 2005-2012 an der Grazer Kinder- und Jugendchirurgie wegen einer supracondylären Humerusfraktur operativ therapiert wurden, durchgeführt. Alle PatientInnen, die einen nicht revidierten postoperativen Rotationsfehler aufwiesen, wurden zu einer Nachuntersuchung eingeladen.

Ergebnisse: In den acht Jahren wurden 338 PatientInnen mit supracondylärer Humerusfraktur operativ behandelt. Bei 39 davon wurde ein postoperativer Rotationsfehler entdeckt, der belassen worden ist. Für eine Nachuntersuchung konnten 12 dieser PatientInnen gewonnen werden. Dabei handelte es sich um 4 Gartland II-Frakturen (33%) und 8 Gartland III-Frakturen (67%). Bei der Unterscheidung der Frakturform zeigten sich 7 Querfrakturen (58%) und 5 Schrägfrakturen (42%). Der Rotationsfehlerquotient nach von Laer betrug im Schnitt 0,15 (Range 0,11-02). Es zeigten sich ausnahmslos sehr gute subjektive Ergebnisse. Auch objektiv gesehen waren die Ergebnisse stets positiv. Entsprechend den Kriterien nach Flynn konnte der negativste Fall immer noch als befriedigend beurteilt werden.

Diskussion: Anhand der Ergebnisse war das Nichtoperieren der belassenen Rotationsfehler eine gute Entscheidung. Aufgrund der Tatsache, dass die TeilnehmerInnenzahl der Studie sehr gering war, kann diese Arbeit aber nur als Anstoß für weitere Studien gesehen werden. Welches Ausmaß des Rotationsfehlers, bei dem die Auswirkungen auf die PatientInnen noch als tolerierbar zu betrachten sind, muss in zukünftigen Studien genauer untersucht werden. Ebenso bedarf es einer genaueren Indikation, wann eine operative Osteosynthese sinnvoll ist. Vor allem der Einfluss der Frakturform in Kombination mit Rotationsfehlern muss genauer untersucht werden.

Abstract

Introduction: Supracondylar fractures of the humerus are commonly encountered fractures found in children. Displaced fractures are always treated with preferably closed reduction. To achieve stability of the reduction several surgical and splinting methods can be applied. Due to its negative impact malrotation of the fragments should be avoided. Since this is not always achievable, the aim of this study is to investigate the effects of remained malrotations of supracondylar fractures of the humerus regarding the long-term outcome.

Material and Methods: All patients with supracondylar fracture of the humerus who underwent osteosynthesis between 2005 and 2012 were analysed. Patients with remaining malrotation were invited for a follow-up examination.

Results: In the 8 analysed years 338 patients with supracondylar fracture underwent surgical treatment. 39 of those had a remaining malrotation in postsurgical x-rays. 12 patients were available for a followup examination. 4 patients had a Gartland II fracture (33%) and 8 patients a Gartland III fracture (67%). 7 fractures were straight (58%) and 5 were oblique (42%). The mean malrotation quotient according to von Laer was 0.15 (range 0.11-0.2). The subjective results were very good in all cases. The objective results were all positive aswell. The case with the worst result rated according to the Flynn criteria was still fair.

Discussion: The long-term outcome for the patients was satisfying. The fact that the number of participants in this study was low, prevents us from drawing any final conclusions though. Further investigations are needed with a higher number of participants to study the effects of malrotation in stabilized supracondylar humerus fractures. Especially what degree of malrotation could be tolerated and how fracture patterns affect these malrotations.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	ii
Abstract.....	iii
Inhaltsverzeichnis	iv
Glossar und Abkürzungen	vi
Abbildungsverzeichnis	vii
1 Einleitung	8
1.1 Anatomie.....	8
1.1.1 Articulatio cubiti.....	8
1.1.1.1 Articulatio humeroulnaris	8
1.1.1.2 Articulatio humeroradialis.....	9
1.1.1.3 Articulatio radioulnaris proximalis	9
1.1.2 Gelenkkapsel.....	9
1.1.3 Muskulatur.....	9
1.1.4 Leitungsbahnen.....	10
1.1.5 Mechanik	11
1.1.6 Entwicklung.....	11
1.1.7 Radiologische Kenngrößen.....	12
1.2 Die supracondyläre Humerusfraktur.....	15
1.2.1 Epidemiologie.....	15
1.2.2 Unfallmechanik	16
1.2.3 Klinik und Diagnose.....	16
1.2.3.1 Radiologie	17
1.2.4 Einteilung	19
1.2.5 Therapie.....	21
1.2.5.1 Konservative Therapie	21
1.2.5.2 Reposition.....	22
1.2.5.3 Kirschner-Drahtspickung	22
1.2.5.4 Deszendierende Marknagelung.....	25
1.2.5.5 Nachbehandlung.....	25
1.2.6 Komplikationen	26
1.2.6.1 Fehlstellungen in der Frontalebene	26
1.2.6.2 Fehlstellungen in der Sagittalebene.....	26
1.2.6.3 Fehlstellungen in der Transversalebene	26
1.2.6.4 Verletzung der Leitungsbahnen	27
1.2.6.5 Infektion nach Osteosynthese.....	27
1.2.6.6 Kompartmentsyndrom.....	28

1.2.7	Outcome und Scores	28
2	Material und Methoden	30
2.1	Studiendesign.....	30
2.2	Studienpopulation	30
2.2.1	Einschlusskriterien:	30
2.2.2	Ausschlusskriterien:	30
2.2.3	Datenerhebung.....	31
2.2.4	Nachuntersuchungen	32
2.2.4.1	Radiologische Untersuchung.....	32
2.2.4.2	Fragebogen zum subjektiven Empfinden.....	32
2.2.4.3	Klinische Untersuchung	32
2.2.5	Ethikkommission.....	33
3	Ergebnisse.....	34
3.1	Ergebnisse der retrospektiven Datenanalyse	34
3.2	Ergebnisse der Nachuntersuchungskohorte	35
3.2.1	Retrospektive Datenanalyse	35
3.2.2	Nachuntersuchungsergebnisse.....	36
4	Diskussion	40
5	Literaturverzeichnis	43

Glossar und Abkürzungen

A.	Arteria
Abb.	Abbildung
AHL	Anteriore Humeruslinie
ap.	anterior-posterior
CHNW	Caput humeri-Neigungswinkel
FNW	Frakturneigungswinkel
HTW	Humerus-Trochleawinkel
KW	Kubitalwinkel
LJ.	Lebensjahr
M.	Musculus
N.	Nervus
rfq	Rotationsfehlerquotient
SCHF	supracondyläre Humerusfraktur
Tab.	Tabelle

Abbildungsverzeichnis

Abb.1 Leitungsbahnen in der Ellbogenregion übernommen aus Tscherne Unfallchirurgie: Unfallchirurgie im Kindesalter - Teil 1 (4)	11
Abb.2 Knochenkerne des Ellbogens übernommen aus Pediatric supracondylar fractures of the distal humerus (7)	12
Abb.3 Humerus-Ellenwinkel und Baumannwinkel (eigenes PatientInnengut)	13
Abb.4 Humerus-Trochleawinkel (eigenes PatientInnengut).....	14
Abb.5 Capitulum humeri-Neigungswinkel bei offener und geschlossener Epiphysenfuge (eigenes PatientInnengut)	15
Abb.6 AHL bei physiologischer Stellung, Rekurvatur und Antekurvatur übernommen aus Distale Humerusfrakturen (15).....	17
Abb.7 positives vorderes und hinteres fat pad-Zeichen übernommen aus The fat pad sign (16)	18
Abb.8 Crescent-Zeichen bei variiertem Ellbogen (eigenes PatientInnengut)	19
Abb.9 Ventraler Rotationssporn bei einer SCHF (eigenes PatientInnengut).....	19
Abb.10 modifizierte Gartland-Klassifikation.....	20
Abb.11 Querfraktur und Schrägfraktur mit jeweils entsprechendem Frakturneigungswinkel (eigenes PatientInnengut)	21
Abb.12 Röntgenaufnahme der gekreuzten Spickung in ap. und lateraler Bildebene (eigenes PatientInnengut)	23
Abb.13 Röntgenaufnahmen einer divergierenden lateralen Spickung übernommen aus Concept of treatment in supracondylar humeral fractures (29).....	24
Abb.14 Röntgenaufnahmen einer deszendierenden Marknagelung übernommen aus Antegrade nailing can prevent cubitus varus and valgus after pediatric supracondylar fractures with impacted columns (31)	25
Abb.15 Fragmentauflagefläche in Abhängigkeit vom Rotationsfehler übernommen aus Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter (20).....	27
Abb.16 rfq übernommen aus Die supracondylare Humerusfraktur im Kindesalter (8) und seitliches Röntgenbild mit postoperativem Rotationssporn (eigenes PatientInnengut)	32
Abb.17 Yamamotowinkel übernommen aus Cubitus varus deformity following supracondylar fracture of the humerus. A method for measuring rotational deformity (40)	33
Abb.18 Mittlere Bewegungsumfänge der verletzten und unverletzten Seite.....	36
Abb.19 Änderungen im Bewegungsumfang in den 4 Bewegungsrichtungen	37
Abb.20 Achsenfehler bei der Nachuntersuchung	38
Abb.21 mittlere Ergebnisse der radiologischen Messungen.....	39

Tabellenverzeichnis

Tab.1 Flynn-Kriterien	29
------------------------------------	----

1 Einleitung

Supracondyläre Humerusfrakturen (SCHF) machen 6,5% aller Frakturen (1), beziehungsweise ~17% aller Extremitätenfrakturen im Kindesalter aus (2). Bei dislozierten Frakturen ist die Standardbehandlung eine Reposition und anschließende osteosynthetische Versorgung mit Kirschner-Drähten. Eine achsengerechte Reposition ist dabei allerdings nicht immer vollständig möglich. Vor allem Rotationsfehler sind bei der geschlossenen Reposition schwer zu korrigieren und die Auswirkungen auf das Langzeitoutcome sind unzureichend erfasst.

Ziel dieser Arbeit ist es, in Erfahrung zu bringen, welchen Einfluss postoperative Rotationsfehlstellungen auf das Outcome der PatientInnen haben. Dazu sollen zuerst in einem allgemeinen Teil die anatomischen Grundlagen des Ellbogens und Spezifitäten der SCHF erläutert werden. Der nachfolgende spezielle Teil beinhaltet die Ergebnisse einer retrospektiven Datenanalyse von PatientInnen mit erlittener SCHF, die an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie der Medizinischen Universität Graz in den Jahren 2005-2012 operativ versorgt wurden und bei denen sich in der postoperativen radiologischen Kontrolle ein Rotationsfehler zeigte, der nicht korrigiert wurde. Diese PatientInnen wurden zu einer Nachuntersuchung eingeladen. Die Daten der retrospektiven Datenanalyse und der Nachuntersuchung sollen dann mit Daten anderer Studien zum Thema SCHF verglichen werden.

1.1 Anatomie

1.1.1 Articulatio cubiti

Das Ellbogengelenk ist ein zusammengesetztes Scharniergelenk, gebildet vom humeroulnaren, humeroradialen und dem proximalen radioulnaren Gelenk (3).

1.1.1.1 Articulatio humeroulnaris

In diesem Scharniergelenk bewegt sich die Incisura trochlearis ulnae um die Trochlea humeri. Die Trochlea besitzt eine Führungsrinne, entsprechend der Führungsleiste der Incisura trochlearis. Dadurch hat die Bewegung in diesem Teilgelenk eine solide Knochenführung. Das Gelenk ist hauptverantwortlich für die Flexion und Extension des Ellbogens (3).

1.1.1.2 Articulatio humeroradialis

Dieses Teilgelenk ist ein Kugelgelenk, allerdings eingeschränkt auf nur zwei Freiheitsgrade. Die flache Fovea articularis radii nimmt dabei das kugelige Capitulum humeri auf. Aufgrund des Bandapparats bewegt sich dieses Gelenk bei Flexion und Extension gemeinsam mit dem humeroulnaren Gelenk mit. Der zweite Freiheitsgrad kommt bei der Pronation und Supination zu tragen, die in Zusammenarbeit mit den beiden radioulnaren Gelenken stattfindet (3).

1.1.1.3 Articulatio radioulnaris proximalis

Das proximale radioulnare Gelenk ist ein sogenanntes Zapfengelenk. Dabei bewegt sich die überknorpelte Circumferentia articularis radii in der Incisura radialis ulnae. Fixiert werden die zwei Gelenkflächen aneinander durch das Ligamentum anulare radii, das, durch eingelagerte Knorpelzellen verstärkt, einer Gleitsehne entspricht (3).

1.1.2 Gelenkkapsel

Alle drei Teilgelenke sind von der Gelenkkapsel gemeinsam eingeschlossen. Dies beinhaltet auch die Gelenkgruben des Humerus, wobei die beiden Epicondylen aber ausgespart sind. Das Ligamentum collaterale radiale umspannt vom Epicondylus lateralis humeri kommend den Radiuskopf sowohl palmar als auch dorsal und fixiert es an Humerus und Ulna. Das vom medialen Epicondyl entspringende Ligamentum collaterale ulnare fixiert die Elle um die Trochlea humeri. Das bereits genannte Ligamentum anulare radii ist an der Ulna jeweils vor und hinter der Incisura radialis ulnae befestigt (3).

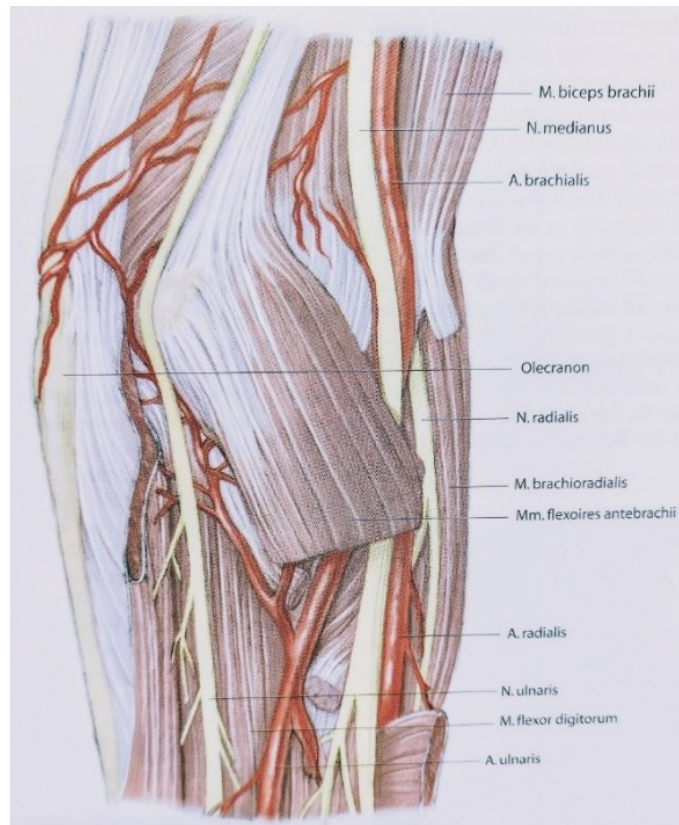
1.1.3 Muskulatur

Das Ellbogengelenk besitzt einen kräftigen Mantel aus Muskeln bzw. Sehnen. Proximal sind dies die Muskeln M. brachialis und M. biceps brachii ventral und M. triceps und M. anconeus dorsal. Distal befinden sich einerseits medial die vom Epicondylus medialis entspringenden oberflächlichen Unterarmflexoren, namentlich M. flexor digitorum superficialis, M. flexor carpi radialis, M. flexor carpi ulnaris und M. palmaris longus sowie der Pronator M. pronator teres. Andererseits lateral die vom Epicondylus lateralis entspringenden radialen Extensoren des Unterarms, namentlich M. extensor carpi radialis longus, M. extensor carpi radialis brevis, M. extensor digitorum, M. extensor carpi ulnaris und M. extensor digiti minimi und der Supinator M. supinator, sowie der Beuger M. brachioradialis (3).

1.1.4 Leitungsbahnen

Durch den Bereich des Ellbogens verlaufen wichtige Nerven und Gefäße (Abb.1). Die größte Arterie ist die A. brachialis, die im Sulcus bicipitalis medialis des M. biceps brachii von medial nach ventral am Humerus entlang über das Ellbogengelenk verläuft, wo sie sich dann in die Aa. radialis, ulnaris und interossea communis teilt. In der Ellbogenregion gibt es ein wichtiges arterielles Gefäßnetz, das Rete articulare cubiti. Es besteht aus vier Kollateralarterien und drei rücklaufenden Arterien. Auf einer Höhe knapp distal der Ansatzsehne des M. teres major zweigt von der A. brachialis die A. profunda brachii ab, die zwischen lateralem und medialem Trizepskopf und anschließend am dorsalen Humerus entlang zieht. Diese Arterie gibt zwei Kollateralarterien des Rete articulare cubiti ab, die A. collateralis media und A. collateralis radialis. Die anderen zwei Kollateralarterien, die A. collateralis ulnaris superior und A. collateralis ulnaris inferior, sind Äste der A. brachialis. Von der A. radialis zieht die A. recurrens radialis zu den lateralseitigen Kollateralarterien. Von der A. brachialis zieht, nach Abgang der A. radialis, die A. recurrens ulnaris zu den mediallyseitigen Kollateralarterien. Die dritte A. recurrens interossea entspringt der A. interossea communis (4).

Weitere wichtige Strukturen im Ellbogenbereich sind die drei Nervi medianus, radialis und ulnaris. Der N. radialis zieht zusammen mit der A. profunda brachii von dorsal nach lateral am Humerus entlang. Zwischen M. brachioradialis und M. brachialis gelangt er nach ventral wonach er sich in einen tiefen motorischen und einen oberflächlichen sensiblen Ast spaltet. Der N. medianus verläuft im Sulcus bicipitalis medialis zusammen mit der A. brachialis bis er in der Ellenbeuge durch den Medianustunnel im M. pronator teres nach distal zieht. Zunächst verläuft der N. ulnaris noch medial der A. brachialis, wovon er sich dann aber trennt und durch das Septum intermusculare brachii mediale auf die Streckseite des Oberarms gelangt. Danach zieht er dorsal des Epicondylus medialis durch den nach ihm benannten Sulcus n. ulnaris humeri, um in Anschluss durch die Köpfe des M. flexor carpi ulnaris wieder zur Beugeseite zu gelangen, um mit der A. ulnaris nach distal zu ziehen (3).



*Abb.1 Leitungsbahnen in der Ellbogenregion übernommen aus Tscherne Unfallchirurgie:
Unfallchirurgie im Kindesalter - Teil 1 (4)*

1.1.5 Mechanik

Wie schon erwähnt kann das Ellbogengelenk gebeugt und gestreckt werden. Von der Nullstellung aus kann im Schnitt 150° gebeugt, sowie bis zu 10° überstreckt werden. Physiologischer Weise sieht man bei voller Streckung einen nach radial offenen Winkel von $165-170^\circ$. Auch an der Supination und Pronation des Unterarms ist das Ellbogengelenk beteiligt. Von der Nullstellung aus kann der Unterarm jeweils $80-90^\circ$ supinieren und pronieren (3).

1.1.6 Entwicklung

Der Altersgipfel für SCHF ist im Alter von 5-7 Jahren (1). In Anbetracht dessen, ist das Wissen über die Ossifikation des Ellbogengelenks für die korrekte Auswertung von Röntgenaufnahmen des Ellbogens im Wachstumsalter von Bedeutung.

Das Alter, bei dem die verschiedenen Knochenkerne erscheinen (Abb.2) bzw. sie miteinander fusionieren, unterliegt individuellen Unterschieden. Die Reihenfolge, in der die Ossifikation abläuft, ist aber meistens konstant. Weiteres beginnt die Ossifikation bei Mädchen generell früher als bei Buben (5).

Der erste Knochenkern, der sich im Ellbogen bildet, ist der des Capitulum humeri im 1.-2. Lebensjahr (LJ). Im 3.-5. LJ erscheint dann der Knochenkern des Caput radii, gefolgt von dem des Epicondylus medialis im 4.-6. LJ. Im Anschluss erscheint im 9.-10. LJ der Knochenkern der Trochlea, gefolgt vom Knochenkern des Olecranon im 9.-11. LJ und des Epicondylus lateralis im 10.-12. LJ. Ab dem 12.-14. LJ fusionieren dann die Kerne von Epicondylus lateralis, Capitulum humeri und Trochlea miteinander, um dann anschließend bis zum 17. LJ mit dem Schaft zu fusionieren. Zuletzt bis zum 20. LJ fusioniert dann auch noch der Knochenkern des Epicondylus medialis mit dem Rest. Die zwei genannten Knochenkerne von Radius und Ulna fusionieren etwa im 14.-17. LJ mit ihrem jeweiligen Schaft (5-7).

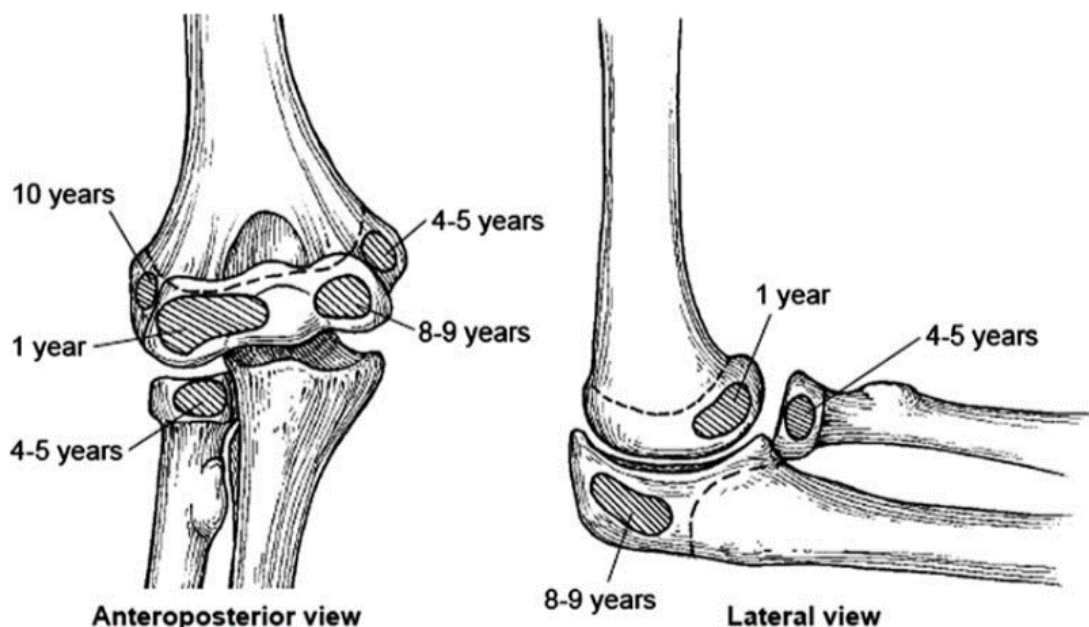


Abb.2 Knochenkerne des Ellbogens übernommen aus *Pediatric supracondylar fractures of the distal humerus* (7)

1.1.7 Radiologische Kenngrößen

Zur besseren Vergleichbarkeit von radiologischen Aufnahmen des Ellbogens, gibt es Kenngrößen, von denen in dieser Arbeit folgende verwendet wurden:

Humerus-Ellenwinkel bzw. Kubitalwinkel (KW): Dieser Winkel wird in der anterior-posterioren Aufnahme aus der Achse des distalen Humerus und der Achse der proximalen Ulna gebildet (KW in Abb.3 und Abb.4)(8).



Abb.3 Humerus-Ellenwinkel und Baumannwinkel (eigenes PatientInnenfoto)

Baumannwinkel bzw. Alphawinkel nach Baumann: Dieser Winkel ist spezifisch für Ellbogenaufnahmen in ap.-Ebene mit offenen Epiphysenfugen. In der Literatur werden mit dieser Bezeichnung allerdings zwei verschiedene Winkel beschrieben. Einerseits wird der Winkel aus der Achse des Humerus und einer Linie, die auf der Wachstumsfuge zwischen dem lateralen Condyl und dem restlichen Humerus liegt, gebildet (V1 in Abb.3) (9). Andererseits wird er aus einer Linie in 90° zur Humerusachse und der Linie auf der

Wachstumsfuge des lateralen Condyls gebildet (V2 in Abb.3) (10). 90° - Variante 1 entspricht der Variante 2, und umgekehrt. In dieser Arbeit wird die hier zweitgenannte Variante verwendet. Der Normalwert dieses Winkels liegt zwischen 9-26° (9).

Humerus-Trochleawinkel (HTW): Dieser Winkel ist als Pendant zum Baumannwinkel in Ellbogen mit geschlossenen Epiphysenfugen zu sehen. In einer ap.-Aufnahme, an der zweiten Variante des Baumannwinkels orientiert, wird er zum einen aus einer Senkrechten auf der Humerusachse gebildet. Zum anderen aus einer Linie, die auf die zwei Höcker der distalen Ausdehnung der Trochlea, gelegt wird (HTW in Abb.4) (8).

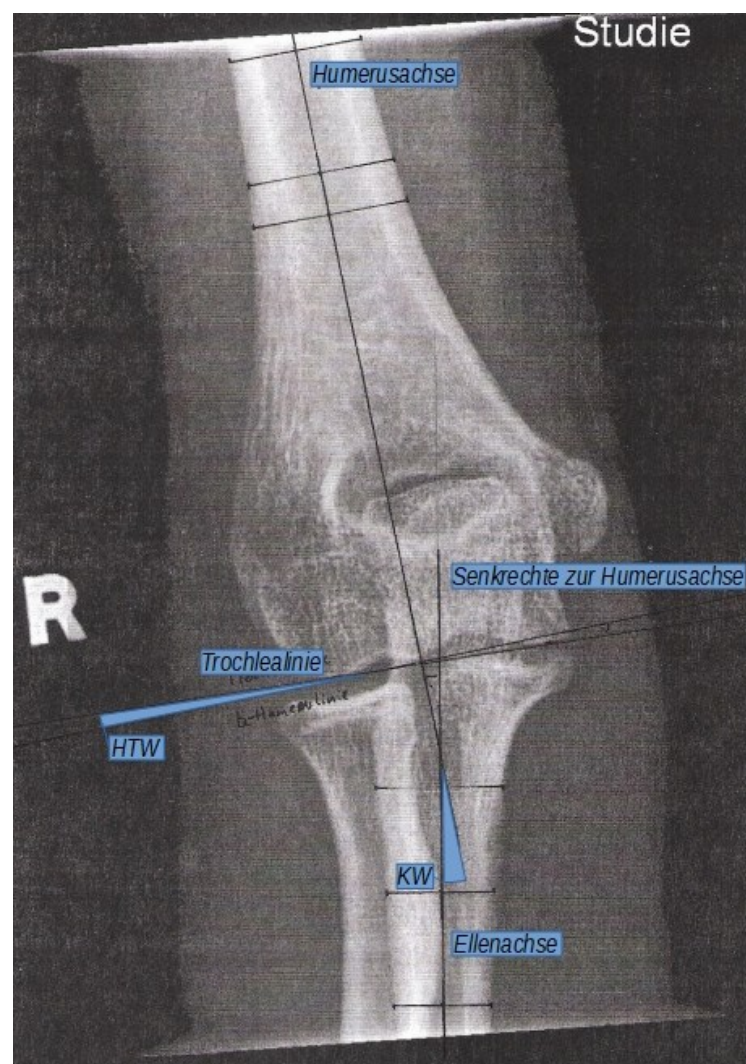


Abb.4 Humerus-Trochleawinkel (eigenes PatientInnen gut)

Neigungswinkel des Capitulum humeri (CHNW) beziehungsweise Antekurvationswinkel: Dieser Winkel wird in der lateralen Ellbogenaufnahme gemessen. Abhängig davon, ob die Epiphysenfugen noch geöffnet sind, wird er auf zwei Arten erhoben (CHNW in Abb.5). Bei offenen Epiphysenfugen legt man eine Linie senkrecht auf die Linie

der Wachstumsfuge des Capitulum humeri und misst den Winkel zur Achse des distalen Humerus. Wenn die Fugen bereits geschlossen sind, wird eine Linie auf die Begrenzung der Trochlea nach anterior-proximal gelegt und dann der Winkel zur distalen Humerusachse gemessen (8).

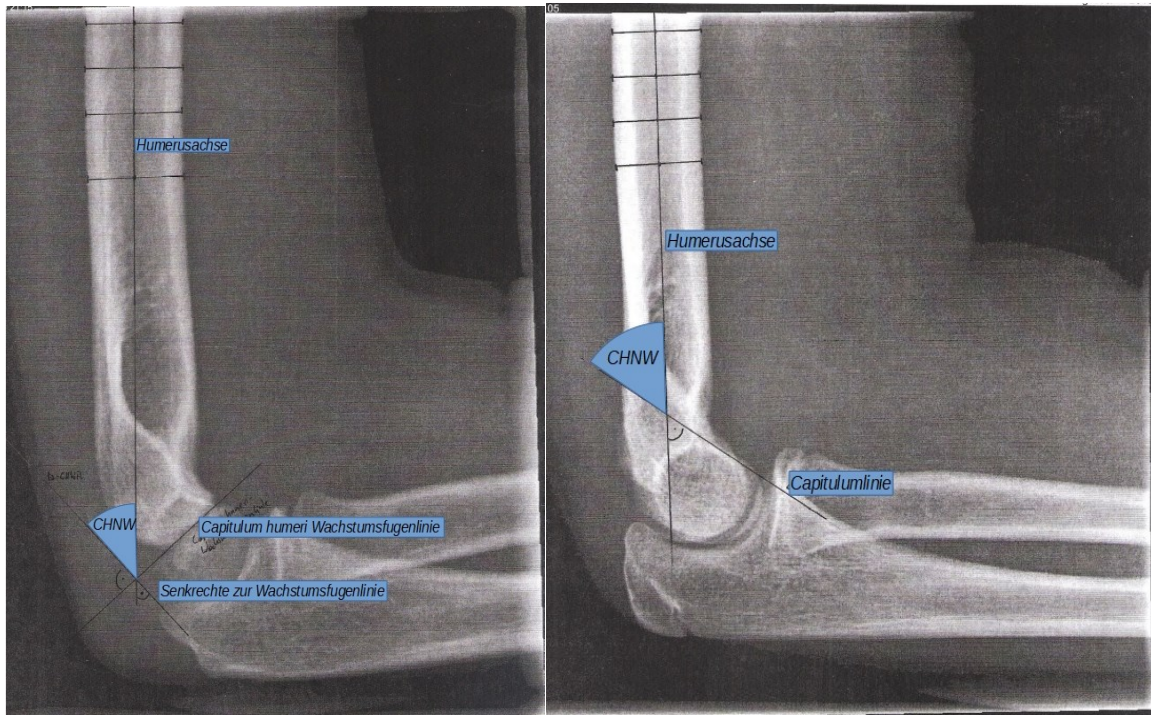


Abb.5 Capitulum humeri-Neigungswinkel bei offener und geschlossener Epiphysenfuge (eigenes PatientInnengut)

1.2 Die supracondyläre Humerusfraktur

1.2.1 Epidemiologie

SCHF stellen die häufigste Ellbogenverletzung bzw. 6,5% aller knöchernen Verletzungen im Wachstumsalter dar, wobei der Altersgipfel bei 5-7-jährigen liegt (1). In den Altersgruppen 0-3 und 4-7 Jahren sind SCHF sogar die häufigsten Extremitätenfrakturen, mit einem Anteil von 29 bzw. 31% (2). Sie machen in etwa 2/3 aller stationär aufgenommen Ellbogenverletzungen aus (11). Man kann zwischen Extensions- und Flexionsfrakturen unterscheiden, wobei erstere bis zu 99% aller SCHF ausmachen (12). Nahezu alle SCHF sind das Resultat eines Unfalls, wobei Stürze die häufigste Ursache darstellen. Der nichtdominante Arm ist häufiger betroffen als der dominante Arm (1).

1.2.2 Unfallmechanik

Der typische Mechanismus für die Entstehung des Extensionstyps ist ein Sturz, bei dem das Kind versucht den Fall mit einem Arm abzufangen bzw. abzustützen. Während des Altersgipfels für SCHF ist der sich entwickelnde Knochen im Vergleich zu den Bändern weniger stark belastbar (13). Beim Aufprall des ausgestreckten Arms auf den Boden überträgt der Unterarm wie ein Hebel Kraft auf den Ellbogen. Den Angelpunkt dieses Hebels stellt das Olecranon dar. Eine (pathologische) Hyperextension wird durch die Ligamenta collateralia verhindert, die dadurch allerdings ein Biegemoment auf die Engstelle des distalen Humerus verursachen. Die in Hyperextension gestreckten Flexoren bieten dabei kaum Gegenzug. Wenn das Biegemoment nun die Widerstandskraft des Knochens überschreitet, kommt es anterior beginnend zum Bruch der Corticalis und zum Zerreißen des Periosts. Bei vollständigen bzw. stärker dislozierten Frakturen wandert das distale Frakturfragment nach dorsal-proximal. Bei dem Extensionstyp handelt es sich also um ein indirektes Trauma.

Im Gegensatz zur SCHF vom Extensionstyp ist die wesentlich seltenere SCHF vom Flexionstyp das Ergebnis eines Sturzes direkt auf den abgewinkelten Ellenbogen. Dabei wird die Kraft über das Olecranon direkt auf den Isthmus des distalen Humerus übertragen und es kommt abhängig von der Energie posterior beginnend zum Bruch der Corticalis und zum Zerreißen des Periosts. Im Falle einer dislozierten Fraktur wandert dann das distale Fragment nach anterior-proximal.

1.2.3 Klinik und Diagnose

Klinisch präsentieren sich die jungen PatientInnen mit Schmerzen und schmerzbedingter Bewegungseinschränkung. Abhängig vom Schweregrad ist der Ellenbogen geschwollen und bei stark dislozierten Frakturen auch deformiert. Die arterielle Versorgung distal der Verletzung muss überprüft und dokumentiert werden. Dabei sollte der Puls der A. radialis und A. ulnaris, sowie die Revaskularisierungszeit erfasst werden. Abhängig vom Alter des verletzten Kindes ist auch die aktive Beweglichkeit der Finger sowie deren Sensibilität zu überprüfen. Primäre Nervenverletzungen kommen zwar nur in rund 5% und Gefäßverletzungen in 0,7% vor (1), doch sollten sie aufgrund ihrer negativen Auswirkungen auf den weiteren Verlauf nicht übersehen werden.

Die Anamnese des Unfallhergangs kann ein wichtiger Hinweis auf die Verletzung bzw. mögliche Begleitverletzungen liefern.

1.2.3.1 Radiologie

Eine Röntgenaufnahme in zwei Ebenen, ap. und seitlich, wird zur Diagnosesicherung und Therapieplanung benötigt. Es gibt einige Aspekte die man dabei beachten sollte.

- **Anteriore Humeruslinie (AHL):** In der seitlichen Aufnahme zeichnet man eine Linie entlang der vorderen Corticalis und verlängert sie nach distal. Nun legt man auf Höhe des Capitulum humeri eine Senkrechte auf die AHL (Abb.6). Sie soll vom hinteren zum vorderen Rand des Capitulum reichen und dann gedrittelt werden. Im Normalfall schneidet die AHL die Capitulum-Linie im mittleren Drittel bzw. am Übergang zum hinteren Drittel. Bei Kindern unter 2,5 Jahren kann jedoch aufgrund der geringen Ossifikation des Capitulum dieses möglicherweise nicht korrekt gedrittelt werden (14).

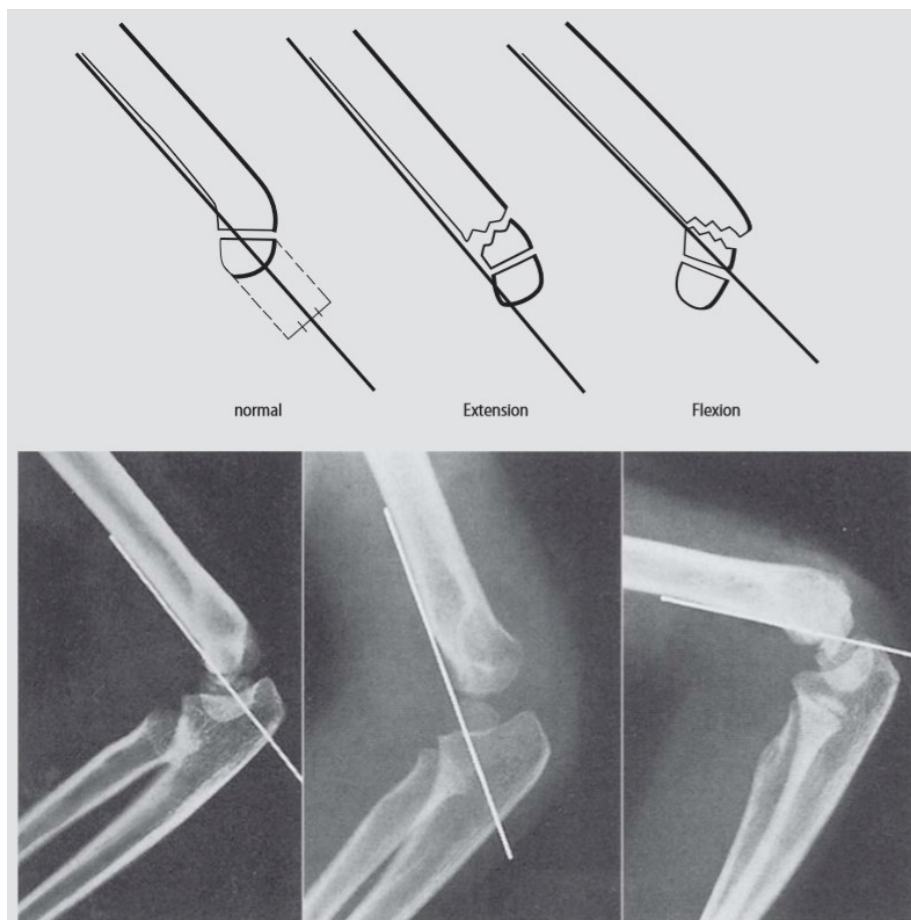


Abb.6 AHL bei physiologischer Stellung, Rekurvatur und Antekurvatur übernommen aus Distale Humerusfrakturen (15)

- **fat pad-Zeichen:** In den drei distalen Humeruseinbuchtungen Fossae radialis, coronoidea und olecrani befinden sich kleine Fettpolster, die intrakapsulär und extrasynovial gelegen sind. In der seitlichen Aufnahme bei 90° Beugung kann man die zwei anterior gelegenen Fettpolster als schwache Linie von dem restlichen Weichteilgewebe abgrenzen. Der hintere Fettpolster sollte nicht erkennbar sein, da er durch den M. anconeus und die Trizepssehne in

die Fossa olecrani gepresst wird. Im Falle eines Gelenksergusses, wie bei einer Gelenkseinblutung im Rahmen einer Fraktur, werden bei intakter Kapsel die Fettpolster vom Humerus weg nach proximal gedrückt, was in der Röntgenaufnahme sichtbar wird (Abb.7). Bei nicht dislozierten Frakturen kann dies der einzige Hinweis auf die Fraktur sein (16).



Abb.7 positives vorderes und hinteres fat pad-Zeichen übernommen aus The fat pad sign (16)

- **Crescent-Zeichen:** In der seitlichen Aufnahme eine Überlappung von Capitulum und Olecranon (Abb.8). Entweder Zeichen einer Varusfehlstellung oder einer nicht idealen Röntgenaufnahme.



Abb.8 Crescent-Zeichen bei variiertem Ellbogen (eigenes PatientInnen)

- **Rotationssporn:** Bei Drehung der Fragmente zueinander in der Transversalebene entsteht eine Inkongruenz, die in der seitlichen Röntgenaufnahme durch eine plötzliche, stufenartige Kaliberänderung des Humerus zu erkennen ist (Abb.9). Davon abzugrenzen ist aber eine seltenere Translation.



Abb.9 Ventraler Rotationssporn bei einer SCHF (eigenes PatientInnen)

1.2.4 Einteilung

Für SCHF gibt es zahlreiche Klassifikationen, wobei zwischen ihnen meist nur geringe Unterschiede vorhanden sind. In dieser Arbeit findet die, vor allem im englischsprachigen

Raum häufig zitierte, modifizierte Gartland-Klassifikation (17) für Extensionsfrakturen
Anwendung, die wie folgt aussieht (Abb.10):

I: undisloziert

II: disloziert, mit erhaltener Kontinuität der posterioren Corticalis

Subtyp A: Winkelstellung (das distale Fragment ist vom Humerus weggeklappt)

Subtyp B: Winkelstellung mit Rotation

III: disloziert, jedoch mit periostalem Kontakt (medial/lateral)

Subtyp A: mediales Periost intakt, distales Fragment disloziert nach posteromedial

Subtyp B: laterales Periost intakt, distales Fragment disloziert nach posterolateral

IV: vollständig disloziert, ohne Periostkontakt

Der vierte Grad wurde als Erweiterung der modifizierten Gartland-Klassifikation von Leitch et al (18) vorgeschlagen, um Fälle mit multidirektionaler Instabilität von Frakturen des dritten Grades abzuheben.

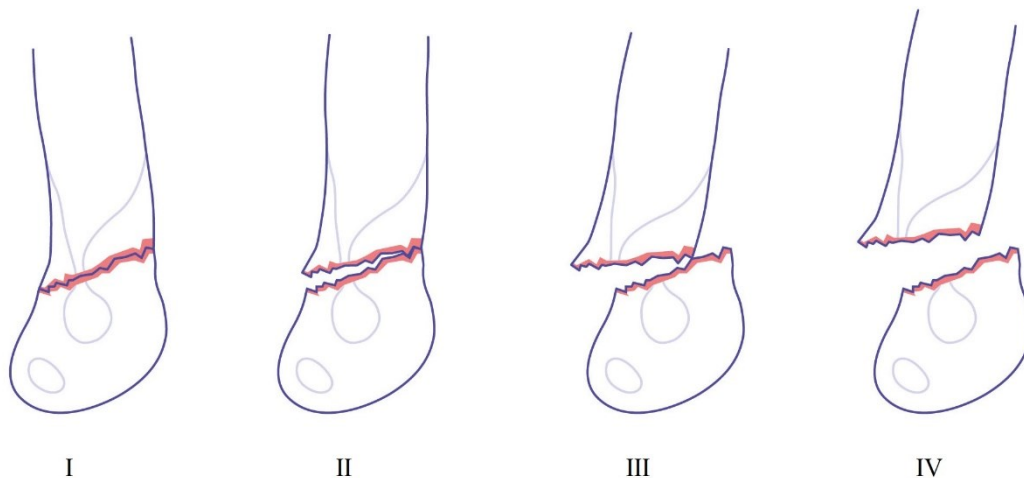
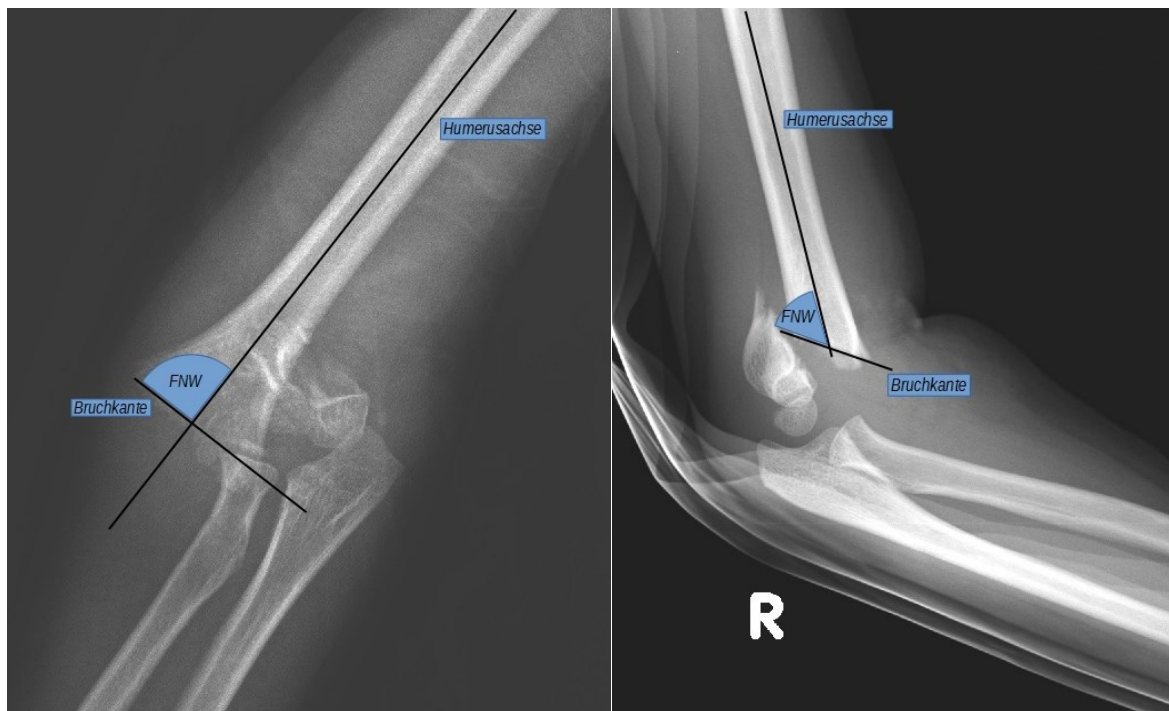


Abb.10 modifizierte Gartland-Klassifikation

Weiters kann bei der SCHF zwischen einer Quer- und einer Schrägfraktur unterschieden werden (Abb.11). Die Querfraktur zeichnet sich durch eine Frakturkante aus, die annähernd senkrecht zur Humerusachse verläuft. Im Gegensatz dazu besitzt die Schrägfraktur einen Fraktur­neigungswinkel (FNW) kleiner als 80° bzw. größer als 100°.



*Abb.11 Querfraktur und Schrägfraktur mit jeweils entsprechendem Frakturneigungswinkel
(eigenes PatientInnengut)*

1.2.5 Therapie

Die Therapie richtet sich nach dem Schweregrad und vor allem nach der Stabilität bzw. Instabilität der Fraktur.

1.2.5.1 Konservative Therapie

Typ I-Frakturen werden konservativ mit einer dorsalen Oberarmgipsschiene in 90° Beugung für 3-4 Wochen behandelt. Radiologische Kontrollen sind nicht indiziert. Stattdessen sind klinische Kontrollen im Rahmen der Gipskontrolle, der Gipsentfernung und weiter 1-2 Funktionskontrollen empfohlen (19).

Gering dislozierte Frakturen vom Typ II ohne Rotationsfehler mit Antekurvationsfehlstellung von bis zu 20° sollen mit einem Spitzwinkelgips in 120° Flexion oder in einer Blount-Schlinge für 3-4 Wochen ruhig gestellt werden. Es genügen, wie bei Typ I-Frakturen, die klinischen Kontrollen, wobei bis zum Erreichen einer seitengleichen freien Funktion 1-2 zusätzliche Funktionskontrollen empfohlen sind (19).

Bei einer Antekurvationsfehlstellung über 20° wird die SCHF ebenso in Spitzwinkelstellung ruhig gestellt, wobei bei ausgeprägter Schwellung, dies auch erst am 2.-4. Tag möglich sein kann. Bei ausgeprägten Antekurvationsfehlstellungen besteht ein erhöhtes Risiko für eine sekundäre Fragmentsdislokation, weswegen eine radiologische Kontrolle am 2.-4. Tag indiziert ist (20).

Pham et al (21) und Muccioli et al (22) konnten zeigen, dass bei dislozierte SCHF bei guter und stabiler Reposition auch nur mit Blount-Schlinge ein gutes Outcome für die PatientInnen erzielt werden kann.

1.2.5.2 Reposition

Die Reposition der Fraktur soll in Allgemeinnarkose durchgeführt werden. Das Kind liegt in Rückenlage mit frei beweglichem, abduzierten Arm. Die Reposition beginnt bei ausgestrecktem Ellbogen. Man ergreift die Hand der PatientInnen in Nullstellung, wie bei einem Handschlag, und zieht die Hand mit konstantem Zug an sich. Dann dreht man die Hand der PatientInnen unter anhaltendem Zug, abhängig von der Fraktur, in Pronations- oder Supinationsstellung. Anschließend wird der Ellbogen, während man mit einer Hand den Oberarm fixiert, in Spitzwinkelstellung gebracht. Unter Bildwandlerkontrolle wird anschließend das Ergebnis in den zwei Ebenen überprüft (20).

Kriterien für eine erfolgreiche Reposition sind ein Baumannwinkel über 10°, Wiederherstellung einer physiologischen AHL, sowie natürlich eine Kontinuität der Corticalis und der Condylenpfeiler in beiden Bildebenen (23).

1.2.5.3 Kirschner-Drahtspickung

Nach erfolgreicher Reposition werden perkutan von distal nach proximal zwei bis drei Kirschner-Drähte in Stärke 1,6mm-2,5mm zur Fixierung der Bruchstücke eingebracht. Dabei gibt es zwei Möglichkeiten, die radiale Drahtspickung und die gekreuzte Drahtspickung. Entweder können die Drähte über den Epicondylus lateralis eingebracht werden oder es wird über jeden Epicondyl jeweils zumindest ein Draht eingebracht, wobei sich die Drähte dann proximal des Frakturspaltes kreuzen müssen.

Bei der ersten Methode besteht im Vergleich mit der zweiten Methode laut einigen Studien ein geringeres Risiko einer Ulnarisläsion. Die zweite Methode weist jedoch eine höhere Stabilität der reponierten Fraktur auf, was in manchen Studien zu einer niedrigeren Fehlstellungsrate führte (24, 25).

Iatrogene Irritationen des N. ulnaris bilden sich nahezu immer vollständig wieder zurück (20).

Gekreuzte Spickung

Der erste Kirschner-Draht wird in Hyperflexion beim Epicondylus lateralis eingebracht, von wo der Draht von dorsolateral nach ventromedial verlaufen soll. Dabei soll die Gegencorticalis im Schaftbereich gerade noch durchbohrt werden. Mittels Bildwandler wird

der Sitz des Drahtes kontrolliert. Um das bereits genannte Risiko einer Ulnarisläsion zu senken, sollte in Extension nochmalig der Sulcus ulnaris mit Nerv aufgesucht werden (20). Wieder in Spitzwinkelstellung soll nun über den Epicondylus medialis der zweite Draht eingebracht werden. Die Eintrittsstelle soll vor dem N. ulnaris liegen und wie schon beim ersten Draht leicht von dorsal nach ventral verlaufen. Unter erneuter Bildwandlerkontrolle wird die Lage der Implantate überprüft (Abb.12). Die Drähte sollen durch die Knochenmasse des jeweiligen Pfeilers bis zur proximalen Corticalis auf der Gegenseite liegen. Weiters sollen sich die Drähte in der ap-Sicht nicht im Niveau des Frakturspalts, sondern proximal davon kreuzen. Sollte jetzt immer noch eine Instabilität vorliegen, können ein bis zwei Drähte zur Erhöhung der Stabilität zusätzlich eingebracht werden. Ist die Osteosynthese vollendet, werden die Drähte umgebogen und gekürzt. Dies soll mit genügend Abstand zur Haut erfolgen um der, im Verlauf noch zu erwartende Schwellung, Rechnung zu tragen (20).

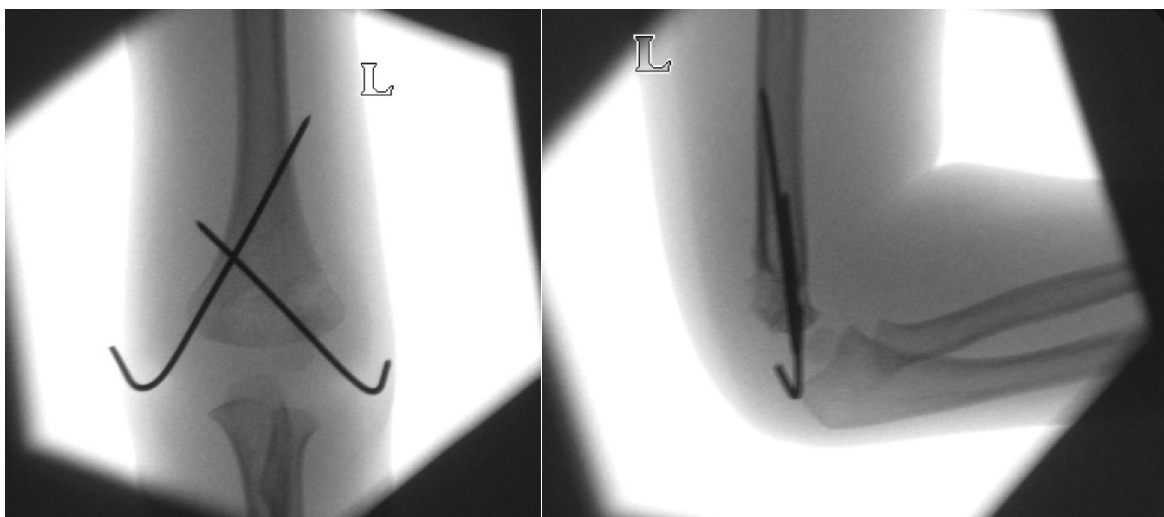


Abb.12 Röntgenaufnahme der gekreuzten Spickung in ap. und lateraler Bildebene (eigenes PatientInnen)

Als Variation dieser Variante, schlagen Woo et al eine Technik vor, bei der zuerst der mediale Pin bei einer Flexion von unter 45° eingebracht wird. Dies wird mit einem Subluxieren nach anterior des N. ulnaris bei Flexion über 90° begründet. In ihrer Studie fand sich bei 125 PatientInnen keine iatrogen erzeugte Ulnarisläsion (26).

Georgiadis et al berichten von einer weiteren Variante, bei der bei 214 PatientInnen ebenso keine Ulnarisläsionen erzeugt wurden. Dabei wird zuerst der laterale Pin in Hyperflexion gesetzt. Anschließend wird in Flexion unter 60° in Kombination mit einer Außenrotation im Schultergelenk der mediale Pin gesetzt (27).

Radiale Spickung

Bei der radialen Spickung sollten die zwei Drähte divergierend eingebracht werden, da dies die stabilste Form der radialen Spickung darstellt (28).

Generell sollen drei Dinge bedacht werden. Die Drähte sollen auf Frakturniveau möglichst viel Abstand, zumindest ein Drittel der Schaftbreite, voneinander haben. Weiters sollen sie den medialen und lateralen Pfeiler und genügend Knochensubstanz sowohl distal, als auch proximal des Frakturspalts, fassen. Unter Rücksichtnahme auf diese Aspekte sollen die Eintrittsstellen gewählt werden. Kasser et al wählen hierbei meist den Knochenkern des Capitulum humeri, von wo der Draht weiter durch die Fossa olecrani bis in die mediale Corticalis reicht. Der zweite Draht wird dann lateral davon, innerhalb der Epiphyse, gesetzt und durch den lateralen Pfeiler bis in die Gegencorticalis getrieben (Abb.13) (11).

Wie schon bei der gekreuzten Spickung können hier, bei bestehender Instabilität, noch ein bis zwei weitere Drähte platziert werden, um die Reposition zu fixieren.



*Abb.13 Röntgenaufnahmen einer divergierenden lateralen Spickung übernommen aus
Concept of treatment in supracondylar humeral fractures (29)*

Im Anschluss erfolgt eine Oberarmgipsschienung in 90°, die für 2-4 Wochen getragen wird. Nach etwa drei bis vier Wochen können die Implantate, häufig ambulant, wieder entfernt werden.

1.2.5.4 Deszendierende Marknagelung

Nach erfolgreicher Reposition erfolgt auf Höhe der Tuberositas deltoidea lateral eine Inzision der Weichteile und anschließend stumpfes Präparieren zum Knochen. Mit dem Pfriem werden dann zwei Löcher mit einem Abstand von mindestens 1,5cm zueinander in der Corticalis gestochen, über die jeweils ein vorgebogenen Kirschner-Draht eingeführt wird. Die Dicke der Kirschner-Drähte sollte so gewählt werden, dass sie ca. 30-40% des Durchmessers am Isthmus des Markkanals ausmachen. Dabei wird je ein Draht in die mediale und laterale Säule bis distal des Frakturspalts eingebracht, wonach mit dem Bildwandler die Lage der Drähte kontrolliert wird. Die Drähte sollen dann proximal so abgesetzt werden, dass sie nach dem Verankern bis knapp subfaszial reichen (Abb.14). Die Wunde wird dann noch verschlossen und verbunden. Eine anschließende Schienung ist nicht notwendig. Nach etwa drei Monaten können die Marknägel wieder in Allgemeinnarkose extrahiert werden (30).

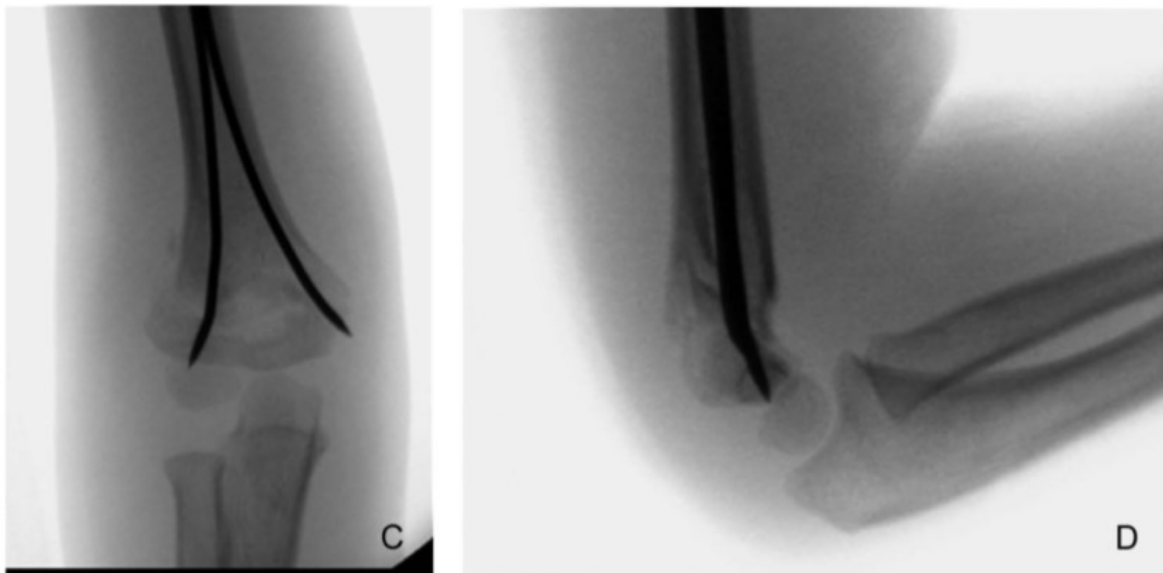


Abb.14 Röntgenaufnahmen einer deszendierenden Marknagelung übernommen aus Antegrade nailing can prevent cubitus varus and valgus after pediatric supracondylar fractures with impacted columns (31)

1.2.5.5 Nachbehandlung

Eine nachfolgende Physiotherapie ist selten indiziert, die PatientInnen sollen stattdessen nach eigenem Ermessen den Ellbogen wieder belasten. Nur bei länger verbleibenden Bewegungseinschränkungen ist eine Physiotherapie sinnvoll (32).

Für 12 Wochen ab dem Unfall, sollte jedoch ein Turn- und Sportverbot ausgesprochen werden. Radiologische Kontrollen in ap. und seitlicher Ebene sind 4-8 Tage nach der

Operation empfohlen, um eine mögliche sekundäre Dislokation zu entdecken. Ansonsten ist noch nach 4 postoperativen Wochen eine Konsolidierungskontrolle indiziert (4).

1.2.6 Komplikationen

1.2.6.1 Fehlstellungen in der Frontalebene

In der Frontalebene kann die Achse nach medial oder lateral abweichen. Ersteres wäre eine Varisierung oder im Fall einer größeren Abweichung der Cubitus varus, zweiteres wäre der seltenere Cubitus hypervalgus. Die Häufigkeit dafür wird für Varusfehlstellungen als 11,7%, die Häufigkeit von Valgusfehlstellungen als 7,2% angegeben (1). Eine spontane Korrektur im Langzeitverlauf findet kaum statt (33).

Der Cubitus varus kann in seltenen Fällen im Langzeitverlauf zu einer N. ulnaris-Lähmung führen (34).

1.2.6.2 Fehlstellungen in der Sagittalebene

Diese Fehlstellungen werden auch Antekurvations- und Rekurvationsfehlstellung genannt. Sie sind zwar häufig, haben allerdings ein hohes Remodelling-Potential, da die Fehlstellung in der Hauptbewegungsebene des Ellbogens liegt (8).

1.2.6.3 Fehlstellungen in der Transversalebene

In der Transversalebene können die Fragmente gegeneinander verschoben sein, dies wäre eine Translation. Weiters können die Fragmente auch zueinander verdreht sein, was ein Rotationsfehler wäre.

Rotationsfehler werden als ein direkter oder indirekter Grund für das Auftreten von verschiedenen Achsenfehlern erachtet. Bei Schrägfrakturen resultiert aus einem Rotationsfehler direkt ein Fehler in der Frontalebene, der auch als Einstauchung imponieren kann. Bei Querfrakturen liegt eine indirekte Kausalität vor (8).

Der Hauptgrund liegt in der aus Rotationsfehler resultierenden Instabilität der Fraktur. Bei zentraler Drehachse entspricht ein Drehfehler von 20° bereits einem Verlust von 50% der Kontaktfläche der zwei Frakturfragmente (Abb.15). Dadurch kann es zum Abkippen des distalen Fragments nach proximal kommen. Dies betrifft vor allem den ulnaren Anteil, was im Anschluss zu einer deutlichen Varisierung führt (20).

Das Feststellen eines Rotationsfehlers ist radiologisch nur in der seitlichen Aufnahme in Form eines Rotationssporns möglich. Der Rotationssporn wird zwar mit der Zeit abgebaut, damit verschwindet aber nur das radiologische Zeichen, nicht aber der Rotationsfehler selbst (20).

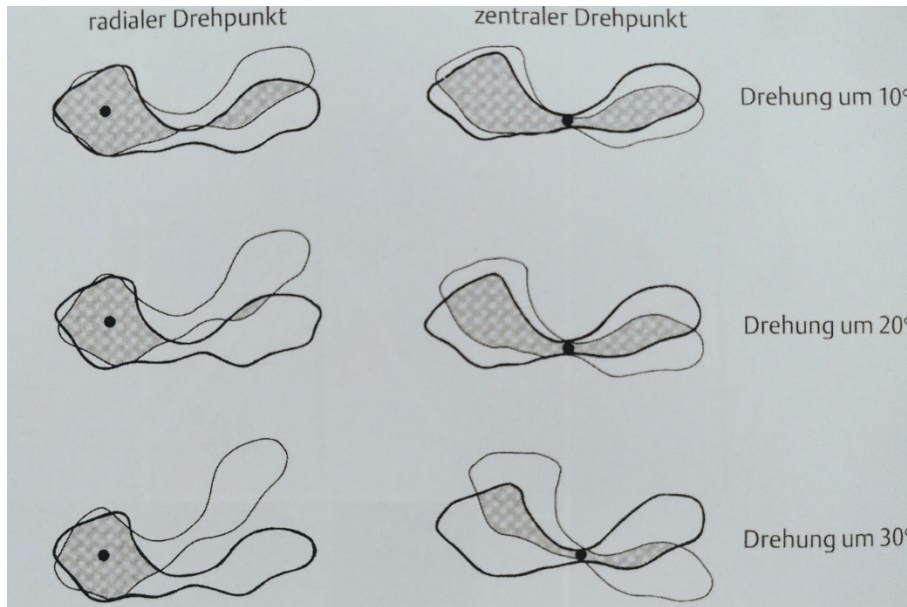


Abb.15 Fragmentauflagefläche in Abhängigkeit vom Rotationsfehler übernommen aus Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter (20)

1.2.6.4 Verletzung der Leitungsbahnen

Die in unmittelbarer Proximität des Ellbogens verlaufenden Leitungsbahnen wurden bereits erwähnt. Die Häufigkeit von Schädigungen von Nerven wird zwischen 10-20% angegeben (35).

Dabei werden N. medianus und N. radialis besonders beim Unfallgeschehen verletzt, der N. ulnaris iatrogen bei der Osteosynthese mit Kirschner-Draht-Spickung. Allerdings bilden sich nahezu alle etwaigen Läsionen binnen eines Jahres vollständig zurück (20).

Vaskuläre Defizite sind zwar initial bei 5-20% der PatientInnen präsent, nach erfolgreicher Reposition stellt sich aber in den meisten Fällen wieder eine adäquate Blutversorgung ein (36).

1.2.6.5 Infektion nach Osteosynthese

Infektionen stellen eine seltene Komplikation dar, die normalerweise mit Antibiotikagabe gut therapierbar ist. Die Hypothese, dass das Infektionsrisiko verringert werden kann, wenn die K-Drähte unter der Haut versenkt werden, konnte nicht bestätigt werden (19). Aufgrund

der Tatsache, dass die Entfernung von versenkten K-Drähten mit mehr Aufwand verbundenen ist, sollten daher die Drähte über dem Hautniveau bleiben.

1.2.6.6 Kompartmentsyndrom

Das Kompartmentsyndrom ist eine allgemeine Komplikation, die in allen Extremitäten, vor allem nach Trauma, aber auch nach sonstigen Operationen auftreten kann. Dabei kommt es, in Folge von Schwellungen und Ödembildung, innerhalb einer Muskelfaszie zum Aufbau eines erhöhten Drucks. Die Position der Ruhigstellung des Ellbogens hat ebenfalls Einfluss auf den Druck innerhalb der Kompartments, weswegen eine Flexion über 90° nach Möglichkeit vermieden werden sollte (37). Übersteigt der Kompartimentdruck den Druck der abführenden Venen und Lymphbahnen, beginnt ein Circulus vitiosus. Ohne Abflussmöglichkeit steigt der Druck innerhalb der Faszie immer weiter und beginnt nun auch die Versorgung des Gewebes einzuschränken. Klinisch zeigt sich das durch zunehmenden Schmerz, weitere Einschränkung der Beweglichkeit sowie beginnendem Kältegefühl distal des Kompartmentsyndroms. Einengende Verbände müssen vollständig entfernt, die Flexion des Ellbogens verringert werden. Führt dies nicht zur Besserung muss eine operative Sanierung erfolgen.

1.2.7 Outcome und Scores

Um das subjektive Outcome der PatientInnen zu erfassen, wählten wir die Kurzversion des „Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand Outcome Measure“ bzw. DASH, den quickDASH (38). Dieser von PatientInnen selbst auszufüllende Fragebogen versucht die Einschränkungen besonders im alltäglichen Leben eines Menschen verifizierbar zu machen. Der Fragebogen besteht insgesamt aus 11 Fragen. 6 Fragen zu diversen Alltagsaktivitäten, 2 zu allgemeinen Einschränkungen in letzter Zeit und 3 Fragen zu Schmerz- oder Dysempfinden. Jede Frage kann von 1-5, entsprechend der Stärke der jeweils erfragten, möglichen Einschränkung, beantwortet werden. Der quickDASH-Score wird dann im Anschluss mit folgender Formel errechnet: $(\text{Summe aller Antwortwerte} : \text{Anzahl der Fragen} - 1) \times 25 = \text{Quick-DASH-Wert}$. Ein Wert von 0 entspricht einem optimalen Ergebnis, wohingegen 100 einer völligen Einschränkung entspricht. Ergebnisse unter 20 können als gut bewertet werden.

Für den Vergleich von objektiven Ergebnissen werden in der englischsprachigen Literatur über SCHF häufig die sogenannten Flynn-Kriterien (39) erhoben. Dabei wird das Ergebnis anhand des Verlustes an Bewegungsumfang im Ellbogengelenk, sowie an der Veränderung der Kubitalachse bewertet (Tab.1). Das jeweils schlechtere Kriterium ist ausschlaggebend.

Ergebnis	Änderung der Kubitalachse [°]	Verlust des Ellbogenbewegungsumfanges [°]
Exzellent	0-5	0-5
Gut	6-10	6-10
Befriedigend	11-15	11-15
Schlecht	>15	>15

Tab.1 Flynn-Kriterien

2 Material und Methoden

Diese Diplomarbeit setzt sich aus zwei Teilen zusammen, einer Literaturrecherche zum Thema SCHF im Wachstumsalter, sowie einer retrospektiven Studie mit anschließender klinischer Nachuntersuchung der PatientInnen. Für den ersten Teil wurden Lehrbücher zu den Themen Anatomie, Orthopädie und Traumatologie sowie Kinder- und Jugendchirurgie gelesen. Weiters wurden via PubMed und GoogleScholar Publikationen zu SCHF im Wachstumsalter gesucht und gelesen.

2.1 Studiendesign

In der retrospektiven Studie erfolgt eine Datenanalyse aus den in MEDOCS gespeicherten Arztbriefen, Ambulanzberichten und OP-Berichten von Kindern mit SCHF in den Jahren 2005-2012. Die im PACS gespeicherten Röntgenaufnahmen wurden ebenso durchgesehen. Im Anschluss wurden die, für die Studie relevanten, PatientInnen zu einer klinischen Nachuntersuchung eingeladen.

2.2 Studienpopulation

Es wurden alle PatientInnen, die in den Jahren 2005-2012 wegen einer SCHF operativ im Universitätsklinikum für Kinder- und Jugendchirurgie Graz versorgt wurden, eingeschlossen. Die Daten dieses Kollektiv wurden im Anschluss in MEDOCS und PACS analysiert um alle PatientInnen mit postoperativen Rotationsfehler herauszufinden. PatientInnen, die sich wiederholt verletzt oder auf der Gegenseite eine Fraktur des Ellbogens zugezogen hatten, wurden aufgrund möglicher Ergebnisverfälschungen ausgeschlossen.

2.2.1 Einschlusskriterien:

- einseitige SCHF, die in den Jahren 2005-2012 am Klinikum mittels Osteosynthese behandelt wurde
- Alter bei der Verletzung <18
- nach der operativen Versorgung verbliebener Rotationssporn im seitlichen Röntgenbild

2.2.2 Ausschlusskriterien:

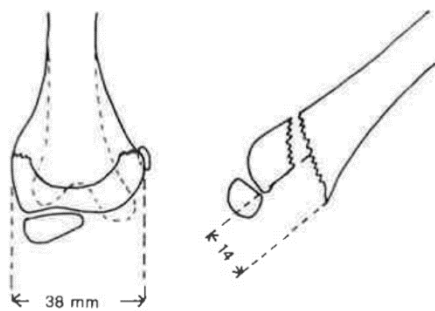
- bereits erlittene oder neue Fraktur an einem Ellbogen
- offene Versorgung

2.2.3 Datenerhebung

Mittels einer Filterfunktion des MEDOCS wurden alle PatientInnen mit den Schlagwörtern suprakondyl, supracondyl, supradiakondyl oder supradiacondyl in der OP-Diagnose aus den Jahren 2005-2012 herausgesucht. Die im MEDOCS gespeicherten Arztbriefe, Ambulanzberichte und OP-Berichte, sowie die Röntgenaufnahmen aus dem PACS wurden von zwei Personen durchgesehen. Von den verbliebenen PatientInnen wurden nun die relevanten Daten erhoben und in eine Tabelle eingetragen. Die Auswertung der Röntgenbilder wurde zusätzlich von einem erfahrenen Kinderunfallchirurgen kontrolliert. Für die statistische Auswertung wurden folgende Daten aus den Unterlagen erhoben:

- Alter bei der Verletzung
- betroffene Seite
- Gartland-Klassifikation
- Frakturmorphologie
- Osteosynthesemethode
- Anzahl der benützten Implantate und deren Dicke
- Messung des verbliebenen Rotationsfehler
- Gipsruhigstellung
- Stattgefundene Revision
- Verweildauer der Implantate
- Followup-Dauer

Zur Beurteilung des Rotationsfehlers wurde der von von Laer vorgestellte Rotationsfehlerquotient (rfq) erhoben (8). Dabei wird der im seitlichen Röntgenbild gemessene Rotationssporn in ein Verhältnis zur Breite des distalen Fragments in der ap.-Aufnahme gesetzt (Abb.16). Die Werte für den rfq wurden am PC im „PACS-Viewer“ gemessen.



rfq : 14 : 38 = 0,36



Abb.16 rfq übernommen aus *Die supracondylare Humerusfraktur im Kindesalter (8) und seitliches Röntgenbild mit postoperativem Rotationssporn (eigenes PatientInnen)*

2.2.4 Nachuntersuchungen

PatientInnen, die den Einschlusskriterien entsprachen, wurden zu einer Nachuntersuchung in die Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie eingeladen, welche sich aus drei Teilen zusammensetzte. Bis auf das Anfertigen der Röntgenaufnahmen selbst wurde alles vom selben Untersucher durchgeführt.

2.2.4.1 Radiologische Untersuchung

Es wurden Röntgenaufnahmen beider Ellbogen in je zwei Ebenen, a.p. und lateral angefertigt. Die Bilder wurden dann ausgedruckt, um am Papier die folgende radiologischen Messgrößen zu messen: Humerusellenwinkel, Antekurvationswinkel, Baumannwinkel oder Humerustrochleawinkel.

2.2.4.2 Fragebogen zum subjektiven Empfinden

Die PatientInnen wurden gebeten, den ausgehändigten Fragebogen des deutschen quickDASH auszufüllen. Die Eltern sollten sie dabei nach Bedarf unterstützen. Sollten Fragen unklar bleiben, konnte noch der Untersucher zu Rate gezogen werden.

2.2.4.3 Klinische Untersuchung

Der beidseitige Bewegungsumfang des Ellbogengelenks wurde nach Neutral-Null-Methode gemessen. Mit einem durchsichtigen Plastikgoniometer wurde die Flexion und Extension ermittelt. Dies erfolgte in aufrechter Sitzposition und in Supinationsstellung. Die Erhebung des Bewegungsumfangs von Supination und Pronation erfolgte mit einem Neigungssensor.

Dabei saßen die Studienteilnehmer mit anliegendem Oberarm, 90° gebeugten Ellbogen und nach anterior gestrecktem Unterarm. Im Anschluss wurde die Kraftmessung für Supination und Pronation durchgeführt. Für die Untersuchung nahmen die PatientInnen die gleiche Position wie bei der Supinations- und Pronationsmessung vor einem Tisch, auf dem ein hydraulischer Handkraftmesser platziert war, ein. Der Untersucher stand jeweils auf der zu testenden Seite, mit einer an den Ellbogen angelegten Hand, um eine Kraftentwicklung aus der Schulter zu unterbinden. Bevor die Ergebnisse aufgezeichnet wurden, wurde mit den PatientInnen ein Probeversuch durchgeführt. Anschließend wurden Supinations- und Pronationskraft jeder Seite dreimal gemessen und der Durchschnittswert ermittelt. Vor der dritten Versuchsreihe wurde die Messung des Yamamotowinkels (40) durchgeführt, um den PatientInnen eine kurze Pause zu ermöglichen. Zur Messung des Yamamotowinkels beugten sich die ProbandInnen nach vorne. Dann wurde der Oberarm maximal nach posterior und der Ellbogen in 90° gebeugt. Während der Untersucher den Ellbogen mit einer Hand fixierte, wurde mit der anderen Hand die Hand der Testperson gefasst und damit das Schultergelenk innenrotiert. Der Winkel des Unterarms zu einer Horizontalen wird nun mit dem Goniometer gemessen (A° in Abb.17). Ein positiver Winkel entspricht einer Zunahme der Innenrotation, ein negativer Winkel einer Abnahme der Innenrotation. Zusätzlich wurde die dominante Seite eruiert.

Alle erhobenen Daten wurden in einer Tabelle für die statistische Auswertung gespeichert.

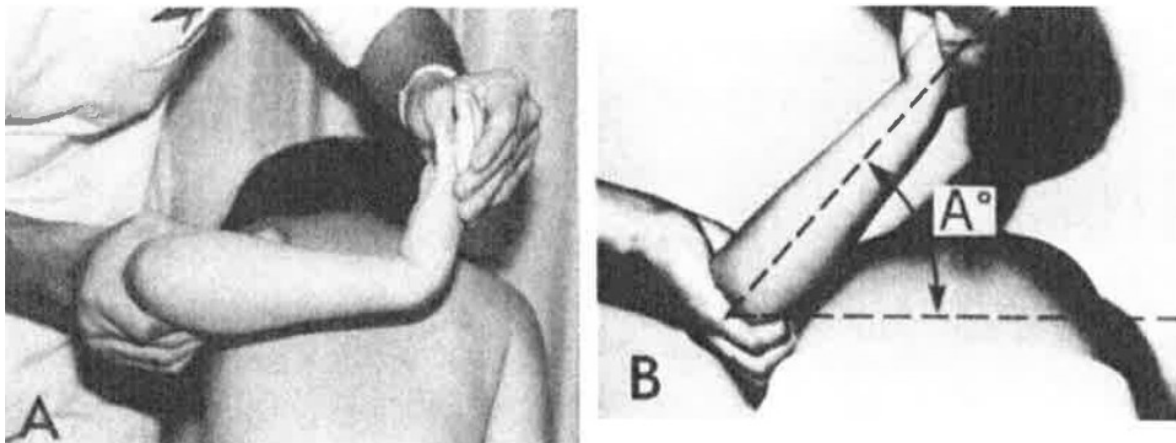


Abb.17 Yamamotowinkel übernommen aus Cubitus varus deformity following supracondylar fracture of the humerus. A method for measuring rotational deformity (40)

2.2.5 Ethikkommission

Die Studie wurde durch ein Votum der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz genehmigt (EK 29-094 ex 16/17).

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der retrospektiven Datenanalyse

Die Schlagwortsuche in MEDOCS ergab 492 PatientInnen. Eine manuelle Überprüfung dieser PatientInnen ergab am Ende 338 operierte SCHF. Von diesen PatientInnen wurden die postoperativen Röntgenbilder auf Rotationsfehler durchsucht. Es ergab sich eine Fallzahl von 39 PatientInnen, die den Einschlusskriterien entsprachen. Die Kinder waren zum Zeitpunkt des Unfalls zwischen 1,8 und 11,7 Jahre, im Schnitt 5,3 Jahre alt. 20 der Kinder waren Mädchen, 19 waren Buben. In 11 Fällen (28%) war die rechte Seite betroffen, in 28 Fällen (72%) die linke Seite.

Aufgrund fehlender präoperativer Röntgenbilder oder Dokumentation konnten nur 34 PatientInnen (87%) retrospektiv nach Gartland klassifiziert werden. Von den 34 Fällen gab es 6 (17%) Gartland II-Frakturen und 28 (83%) Gartland III-Frakturen. Die Unterscheidung zwischen Quer- und Schrägfrakturen war in 35 Fällen (90%) möglich. Dabei gab es 19 Querfrakturen (54%) und 16 Schrägfrakturen (46%).

14 der PatientInnen (36%) wurden mit einer gekreuzten Kirschner-Draht-Spickung versorgt, 25 (64%) mit einer deszendierenden Marknagelung. Bei der gekreuzten Kirschner-Draht-Spickung wurden bis auf einen Fall immer zwei Drähte verwendet. 11 Mal (79%) 1,6mm-starke Drähte, dreimal (21%) 2mm-starke Drähte. Bei der deszendierenden Marknagelung gab es in zwei Fällen widersprüchliche Angaben zur Drahtstärke, weswegen nur für 23 Operationen die Daten angegeben werden können. In fünf Fällen (20%) wurden drei deszendierende Marknägel verwendet. Fünf Mal (22%) wurden Drähte der Stärke 1,6mm, 15 Mal (65%) Drähte der Stärke 2mm und drei Mal (13%) Drähte der Stärke 2,5mm verwendet.

In vier Fällen (10%) kam es zu einer Revision, wobei auf jede Operationsmethode jeweils zwei Revisionen entfielen. Der Grund für die Revision war immer ein deutlicher Rotationsfehler, zweimal wurde auch die Lockerung eines Drahtes im distalen Fragment beschrieben. Der ursprüngliche Rotationsfehler konnte in allen Revisionen deutlich reduziert werden. Bei diesen PatientInnen wurden die Daten nach der Revisionsoperation erhoben.

Alle PatientInnen erhielten nach der gekreuzten Kirschner-Draht-Spickung eine Gipsruhigstellung. Der Gips wurde für 19-45 Tage getragen, durchschnittlich für 30 Tage. Auch 9 PatientInnen mit deszendierender Marknagelung erhielten eine Gipsruhigstellung. Hier wurde sie für 11-32 Tage und im Durchschnitt 23 Tage belassen.

Es wurden Rotationsfehlerquotienten von 0,11 bis 0,41 gemessen, wobei der Durchschnittswert 0,18 betrug.

Die Metallentfernung der gekreuzten Kirschner-Drähte erfolgte nach durchschnittlich 29,8 Tagen (Range 17-45 Tage). Die Entfernung der deszendierenden Marknägel erfolgte nach durchschnittlich 116 Tagen (Range 22-249 Tage).

Die PatientInnen wurden postoperativ für einen mittleren Zeitraum von 18 Wochen (Range 4-66 Wochen) nachkontrolliert.

3.2 Ergebnisse der Nachuntersuchungskohorte

Der Einladung zur Nachuntersuchung kamen 12 PatientInnen nach, wobei zwei davon am radiologischen Teil nicht teilnehmen wollten und so nur den Fragenbogen ausfüllten und die klinische Untersuchung absolvierten.

3.2.1 Retrospektive Datenanalyse

Das Alter der nachuntersuchten PatientInnen betrug zum Unfallzeitpunkt im Mittel 4,2 Jahre (Range 1,8-5,9 Jahre). Sieben (58%) der PatientInnen waren männlich, fünf (42%) waren weiblich. Neunmal (75%) war die linke Seite verletzt, dreimal (25%) die rechte Seite. Vier PatientInnen (33%) hatten eine Gartland-II-Fraktur und acht PatientInnen (67%) eine Gartland-III-Fraktur. Nach der Frakturneigung eingeteilt zeigten sich sieben Querfrakturen (58%) und fünf Schrägfrakturen (42%).

Bei drei der PatientInnen (25%) wurde die Osteosynthese mit gekreuzter Kirschner-Draht-Spickung durchgeführt, wobei immer zwei 1,6mm-starke Drähte verwendet wurden. Die anderen neun PatientInnen (75%) wurden mit der deszendierenden Marknagel-Methode behandelt. sieben Mal wurde eine Drahtstärke von 2mm verwendet und jeweils einmal wurde eine Dicke von 1,6mm und 2,5mm verwendet. Alle vier Fälle einer Revision nahmen an der Nachuntersuchung teil.

Nach der Kirschner-Draht-Spickung erhielten die drei PatientInnen einen Gips für 19, 24 und 45 Tage. Drei PatientInnen mit Marknagelung erhielten ebenso einen Gips, der für 23, 27 und 32 Tage belassen wurde.

Der erhobene rfg lag zwischen 0,11 und 0,2 mit einem Mittelwert von 0,15.

Bei den PatientInnen mit Kirschner-Draht-Spickung wurden die Implantate nach 24, 30 und 45 Tagen entfernt. Die Entfernung der deszendierenden Marknägel erfolgte nach durchschnittlich 142 Tagen (Range 39-240 Tage).

3.2.2 Nachuntersuchungsergebnisse

Bei der Nachuntersuchung waren die TeilnehmerInnen im Mittel 11 ¼ Jahre alt (Range 8 ¾-13 ¾ Jahre). Die Follow-up-Zeit betrug im Schnitt 7 Jahre (Range 5 ½-11 ¼ Jahre). Zehn Frakturen (83%) betrafen die dominante Seite und zwei Frakturen (17%) die nichtdominante Seite. Bei den nachfolgenden Angaben von Differenzen zwischen den Messergebnissen der zwei Seiten werden die Ergebnisse immer aus Sicht der verletzten Seite zur gesunden Seite angegeben.

Bewegungsumfang:

Die PatientInnen konnten auf der gesunden Seite durchschnittlich 145° flektieren (Range 135-150°). Auf der ehemals verletzten Seite konnten sie im Schnitt 143° beugen (Range 130-150°). Die Extension lag auf der gesunden Seite im Mittel bei 14,6° (Range 10-20°), auf der verletzten Seite im Mittel bei 17,5° (Range 10-40°). Die Pronation war auf der gesunden Seite im Durchschnitt 88,2° (Range 60-100°). Dem gegenüber standen mittlere 84,2° (Range 60-110°) auf der verletzten Seite. In Supination wurden beidseitig durchschnittlich 102,5° gemessen (Range auf der gesunden Seite 80-145°, Range auf der verletzten Seite 70-150°). Abb.18 gibt einen Überblick der Beweglichkeiten.

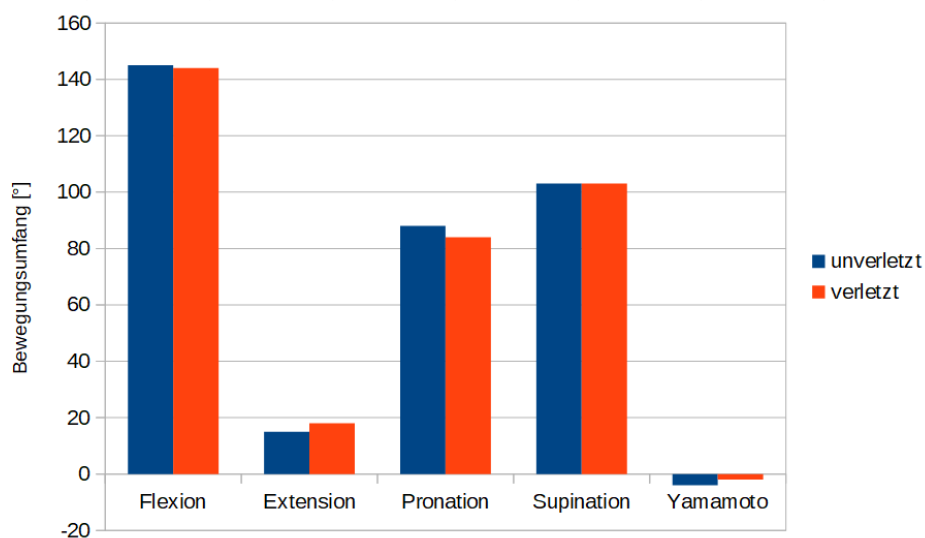


Abb.18 Mittlere Bewegungsumfänge der verletzten und unverletzten Seite

In Flexion ergab sich ein durchschnittliches Bewegungsdefizit von 1,4° (Range 12°-Defizit bis 5°-Zunahme). In Extension zeigte sich im Mittel eine Zunahme von 2,9° (Range 5°-Defizit bis 20°-Zunahme). In Pronation zeigte sich im Durchschnitt eine Einschränkung von 4° (Range 20°-Defizit bis 10°-Zunahme). In Supination betrug der Mittelwert der Differenz 0° (Range 15°-Defizit bis 20°-Zunahme). Abb.19 zeigt die Differenzen der Beweglichkeiten von verletzter zu gesunder Seite.

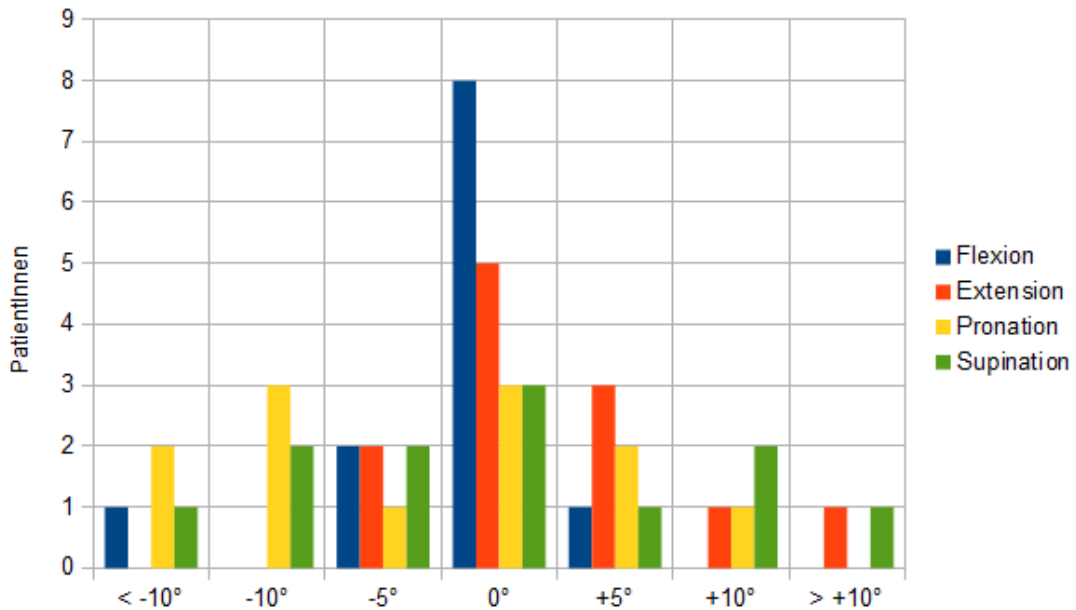


Abb.19 Änderungen im Bewegungsumfang in den 4 Bewegungsrichtungen

Der Yamamoto-Winkel hatte auf der gesunden Seite einen Mittelwert von $-4,2^\circ$ (Range -30° bis 40°). Auf der verletzten Seite lag der Yamamoto-Winkel im Schnitt bei -2° (Range -30° bis 40°). Die Differenz der beiden Seiten war im Schnitt 2° zusätzliche Innenrotation (Range 20° -Defizit bis 20° -Zunahme).

Kraftmessung:

Die Kraftmessungen ergaben große individuelle Unterschiede und reichten von 7-38kg. In Pronation war die verletzte Seite im Schnitt um 1% stärker als die unverletzte Seite (Range 41% schwächer bis 33% stärker). In Supination war die verletzte Seite im Schnitt um 5% stärker (Range 38% schwächer bis 41% stärker).

Radiologische Auswertung:

Der Kubitalwinkel betrug auf der gesunden Seite durchschnittlich $10,8^\circ$ (Range $8-18^\circ$). Auf der verletzten Seite betrug er durchschnittlichen $6,1^\circ$ (Range $2,5-11^\circ$). Daraus ergab sich im Schnitt eine Varisierung von $3,6^\circ$ (Range 1° -Valgisierung bis 9° -Varisierung) (siehe Abb.20). Die mittlere Abweichung betrug $3,9^\circ$. Eine Aufhebung des Humerusellenachsenwinkels oder gar ein Cubitus varus trat in keinem Fall auf.

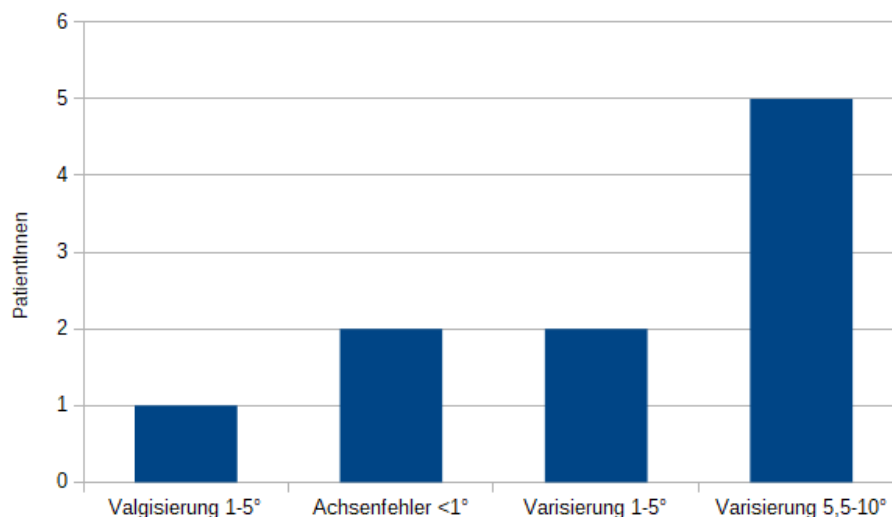


Abb.20 Achsenfehler bei der Nachuntersuchung

Der Baumannwinkel wurde bei fünf Teilnehmern gemessen. Dabei betrug der Mittelwert auf der gesunden Seite $22,6^\circ$ (Range $11-44^\circ$) und auf der verletzten Seite durchschnittlich $19,8^\circ$ (Range $7-30^\circ$). Der Baumannwinkel der verletzten Seite war durchschnittlich um $2,8^\circ$ niedriger (Range 14° -Defizit bis 9° -Zunahme). Der Durchschnittswert der Betragswerte der Abweichungen war $8,4^\circ$.

Der bei den anderen fünf Teilnehmern gemessene Humerustrochleawinkel betrug auf der gesunden Seite im Mittel $4,6^\circ$ (Range $2-10^\circ$), auf der verletzten Seite $1,5^\circ$ (-5° - 7°). Die durchschnittliche Differenz betrug $3,1^\circ$ (Range -3° - $+8^\circ$). Die durchschnittliche Betragsabweichung betrug $4,3^\circ$.

Der Neigungswinkel des Capitulum humeri lag auf der gesunden Seite bei einem Mittelwert von $48,8^\circ$ (Range $31-61^\circ$). Dem gegenüber stand ein mittlerer Neigungswinkel von $49,6^\circ$ (Range $37-76^\circ$) auf der verletzten Seite. Die Differenz zwischen den beiden Seiten ergab im Durchschnitt eine Zunahme (entspricht einer zusätzlichen Antekurvatur) von $0,8^\circ$ (Range 27° -Zunahme bis 14° -Defizit). Wenn man die Richtung der Abweichung außer Acht lässt, betrug die durchschnittliche Abweichung 9° .

Abb.21 gibt eine Übersicht über die radiologisch gemessenen Kenngrößen der verletzten und gesunden Seite.

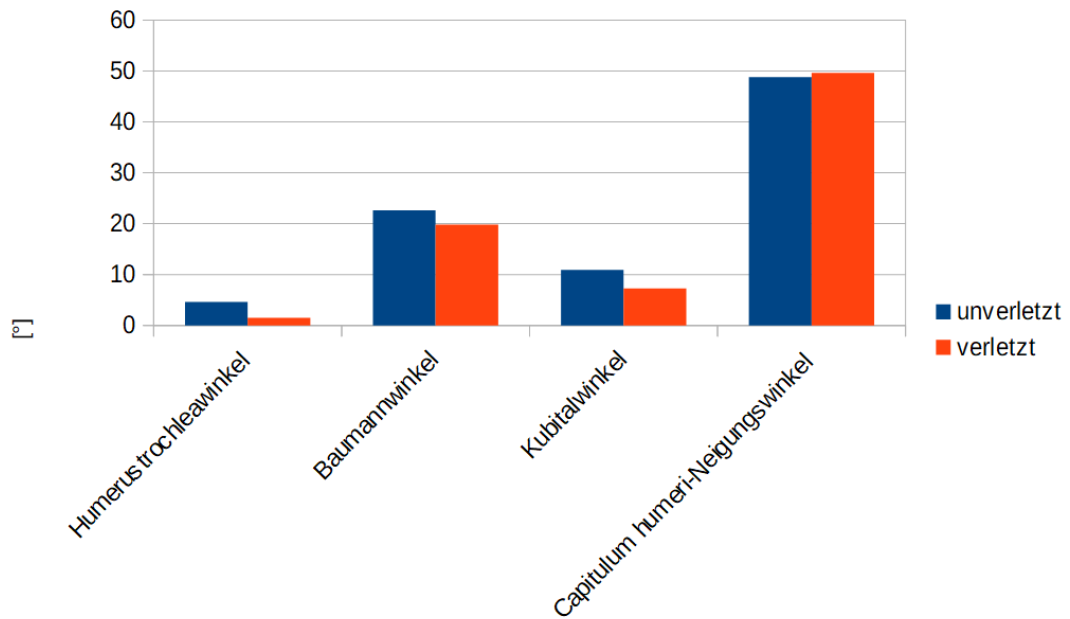


Abb.21 mittlere Ergebnisse der radiologischen Messungen

Bewertet man die Messwerte nun nach den Flynn-Kriterien ergibt das 50% exzellente, 40% gute und 10% befriedigende Ergebnisse.

quickDASH-Ergebnisse:

Die Ergebnisse des quickDASH-Fragebogens ergaben einen Mittelwert von 1,7 (Range 0-6,8) von 100. Da Ergebnisse bis zu einem Wert von 20 noch als gut angesehen werden, kann man sagen, dass das subjektive Empfinden aller TeilnehmerInnen als sehr gut bewertet werden kann.

4 Diskussion

Die SCHF stellt als häufiges Verletzungsmuster nach Stürzen aus diversen Höhen auf den zum Schutz ausgestreckten Arm im Kindesalter. Die Komplikationsrate ist äußerst gering (1). Dennoch sind Komplikationen zu beobachten. Postoperative Fehlstellungen der Fragmente zueinander in den verschiedenen Ebenen können zu funktionellen und ästhetischen Einschränkungen führen. Allen voran ist der Cubitus varus als wichtigste Komplikation zu nennen (20). Als Ursache dafür wird der Rotationsfehler in direkter und indirekter Weise verantwortlich gemacht (8). Eine nicht stabile Rotationsfehlstellung kann zum Abkippen der Fragmente führen. Die dabei entstehenden Deformitäten des Humerus wachsen im weiteren Wachstum nur in der sagittalen Ebene vor dem 8. LJ mit hoher Wahrscheinlichkeit aus (8). Fehlstellungen in den anderen Ebenen zeigen im Gegensatz dazu kaum eine spontane Korrektur im Verlauf (20, 33). Die verbleibenden Fehlstellungen können sich in einer veränderten bzw. eingeschränkten Beweglichkeit und Kraftübertragung bemerkbar machen. Auch die optische Verformung des Gelenks an sich (Cubitus varus ist auch als „gunstock deformity“ bekannt) kann im Kindesalter als belastend wahrgenommen werden.

Von Laer zeigte in seiner Arbeit den Zusammenhang von Rotationsfehler und folgender Fehlstellungen auf. So korrelierte ein höherer rfq mit einer vermehrten Varisierung. Besonders wesentlich für die folgenden Fehlstellungen war aber auch die Therapiemethode. So wiesen mit gekreuzten K-Drähten stabilisierte Fälle wesentlich geringere Fehler in der Frontalebene auf als Verfahren mit geringerer Stabilisation (Spitzwinkelgips nach Blount und radiale K-Draht-Spickung – Zuordnung nach von Laer) (26,8% zu 61%). In seiner Arbeit zeigte er, dass 98% aller PatientInnen mit frontalem Achsenfehler einen Rotationsfehler (mittlerer rfq 0,22) aufwiesen, wobei PatientInnen mit frontaler Achsengleichheit nur in 68% einen Rotationsfehler (mittlerer rfq 0,07) aufwiesen. Dies lässt zwar auf die Korrelation von Rotationsfehler und Achsenfehler schließen, dennoch ist festzuhalten, dass PatientInnen mit geringem Rotationsfehler ein als positiv zu bewertendes Ergebnis erzielten (8).

Dass nicht nur der Rotationsfehler, sondern auch das Frakturmuster an sich Einfluss auf das kurzfristige Outcome haben, konnten Flier et al zeigen. Über eine Follow-Up-Zeit von zumindest 4 Wochen wiesen nicht nur Rotationsfehler sondern auch posterolateral dislozierte Frakturen eine erhöhte Komplikationsrate auf (41).

Auch Bahk et al konnten zeigen, dass verschiedene Frakturformen (Schrägfrakturen in der Sagittal- oder Frontalebene gegenüber Querfrakturen) ebenso einen Einfluss auf das Ergebnis

haben. So wiesen Frakturen mit schrägem Frakturneigungswinkel häufiger Trümmerzonen, Rotationsfehler oder Extensionsfehler auf (42).

Das Problem des Rotationsfehlers liegt in dem höheren Risiko für eine sekundäre Dislokation. Welche Auswirkungen verbliebene Rotationsfehler nach chirurgischer Osteosynthese direkt auf das Outcome haben, wenn die Fragmente ausreichend fixiert waren, ist kaum untersucht. Auch eine Abhängigkeit von der Auswirkung von Rotationsfehlern bei verschiedenen Frakturformen oder auch wie welches Ausmaß an Rotationsfehler das Outcome beeinflusst ist unzureichend untersucht.

In der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz wurden innerhalb von acht Jahren 338 PatientInnen bei dislozierter SCHF operativ versorgt. Davon wurden insgesamt 39 Patienten trotz postoperativ entdecktem Rotationsfehlers nicht weiter operativ behandelt und die Fehlstellung belassen. Um das Outcome dieser PatientInnen, mit verheilten Rotationsfehlstellung bei SCHF, beurteilen zu können wurden, sie zu einer Nachuntersuchung eingeladen. Die 12 PatientInnen, die der Einladung nachgekommen sind, wurden klinisch und radiologisch untersucht, sowie mittels Fragebogen das subjektive Befinden befragt.

Die ProbandInnen waren im Schnitt 11 Jahre alt, bei einer Follow Up-Zeit von mittleren 7 Jahren. Der verbliebene Rotationsfehler dieser ProbandInnen hatte im Durchschnitt einen rfq von 0,15.

Der subjektive quickDASH war durchschnittlich 1,7, was ein sehr gutes subjektives Ergebnis darstellt. Der Bewegungsumfang änderte sich im Schnitt um $-1,4^\circ$ in Flexion, $+2,9^\circ$ in Extension, -4° in Pronation und 0° in Supination. Die Kubitalachse wies im Mittel eine Varisierung von $3,6^\circ$ auf. Der Baumannwinkel war durchschnittlich um $2,8^\circ$ geringer und der HTW um durchschnittlich $3,1^\circ$ geringer. Das Capitulum humeri war im Schnitt um $0,8^\circ$ weiter nach vorn geneigt. Nach den objektiven Flynn-Kriterien waren alle Ergebnisse positiv. Das negativste Ergebnis war ein „befriedigend“ im Bewegungsumfang nach den Flynn-Kriterien, bei einem Patienten mit einem von Flexion in die Extension verschobenen Bewegungsradius. Die Kraftmessungen waren zu großen individuellen Unterschieden unterworfen, als dass sie irgendeine Aussage zuließen.

Zusammenfassend wurden zwar objektiv Differenzen der Ellbogen gemessen, allerdings waren die von uns zur Beurteilung gewählten Scores stets positiv. Damit lässt sich zumindest festhalten, dass die damalige Therapieentscheidung gut war. Die verbliebenen Rotationsfehler wiesen bei unserem PatientInnengut im Schnitt einen niedrigen rfq von 0,15 (range 0,11-0,2) auf. Weiters können die zwei Osteosynthesemethoden, mit denen diese

PatientInnen behandelt wurden, als stabil bezeichnet werden. Daraus schließen wir, dass Rotationsfehler mit einem rfq von bis zu 0,15 (+/- 0,5), bei stabiler Osteosynthese, für die PatientInnen immer noch zu einem guten Langzeitoutcome führen. Das heißt, dass unter den genannten Umständen solche Rotationsfehler keine Revision erfordern. Da dies nur eine retrospektive Studie mit geringer Teilnehmerzahl war, ist die Aussagekraft der Resultate aber natürlich gering.

Weitere Schwächen dieser Arbeit finden sich auch bei der methodisch bedingten Ungenauigkeit bei den klinischen Untersuchungen mit dem Goniometer, dem Kraftmesser und dem Neigungssensor. Weiters schwierig war die Klassifizierung der Frakturen nur anhand der Röntgenbilder, da die PatientInnen häufig in ruralen Krankenhäusern vorbehandelt (Reposition und Schienung) wurden. Eine Unterscheidung in mehrere verschiedene Frakturformen war bei der kleinen Fallzahl ebenso nicht möglich.

Ob man Rotationsfehler bei ausreichend stabilisierten Repositionen ohne Revision belassen kann bzw. welches Ausmaß sie haben dürfen, um sie zu belassen, müsste in größeren Studien überprüft werden. Nach Möglichkeit wäre auch eine Unterscheidung der Frakturformen wichtig, da sie die Auswirkungen des Rotationsfehlers unterschiedlich beeinflussen können.

5 Literaturverzeichnis

1. Weinberg AM, Marzi I, Gunter SM, Wessel L, Riedel J, von Laer L. [Supracondylar humerus fracture in childhood--an efficacy study. Results of a multicenter study by the Pediatric Traumatology Section of the German Society of Trauma Surgery--I: Epidemiology, effectiveness evaluation and classification]. *Unfallchirurg.* 2002;105(3):208-16.
2. Cheng JC, Shen WY. Limb fracture pattern in different pediatric age groups: a study of 3,350 children. *J Orthop Trauma.* 1993;7(1):15-22.
3. Waldeyer A, Anderhuber F, Pera F, Streicher J. Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band: De Gruyter; 2012.
4. Weinberg AM, Henkel R, Tscherne H. Tscherne Unfallchirurgie: Unfallchirurgie im Kindesalter - Teil 1: Allgemeiner Teil, Kopf, Obere Extremität - Teil 2: Untere Extremität, Wirbelsäule, Körperhöhlen, Besonderheiten des kindlichen Skelettes: Springer Berlin Heidelberg; 2006.
5. Lins RE, Simovitch RW, Waters PM. Pediatric elbow trauma. *Orthop Clin North Am.* 1999;30(1):119-32.
6. Standring S. *Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice*: Elsevier Limited; 2016.
7. Brubacher JW, Dodds SD. Pediatric supracondylar fractures of the distal humerus. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2008;1(3-4):190-6.
8. von Laer L. [The supracondylar fracture of the humerus in children (author's transl)]. *Arch Orthop Trauma Surg.* 1979;95(1-2):123-40.
9. Keenan WN, Clegg J. Variation of Baumann's angle with age, sex, and side: implications for its use in radiological monitoring of supracondylar fracture of the humerus in children. *J Pediatr Orthop.* 1996;16(1):97-8.
10. Silva M, Pandarinath R, Farnig E, Park S, Caneda C, Fong YJ, et al. Inter- and intra-observer reliability of the Baumann angle of the humerus in children with supracondylar humeral fractures. *Int Orthop.* 2010;34(4):553-7.
11. Beaty JH, Rockwood CA, Kasser JR. *Rockwood and Wilkins' Fractures in Children*: Wolters Kluwer/Lippincott, Williams & Wilkins; 2010.
12. Cheng JC, Lam TP, Maffulli N. Epidemiological features of supracondylar fractures of the humerus in Chinese children. *J Pediatr Orthop B.* 2001;10(1):63-7.

13. Minkowitz B, Busch MT. Supracondylar humerus fractures. Current trends and controversies. *Orthop Clin North Am.* 1994;25(4):581-94.
14. Rogers LF, Malave S, Jr., White H, Tachdjian MO. Plastic bowing, torus and greenstick supracondylar fractures of the humerus: radiographic clues to obscure fractures of the elbow in children. *Radiology.* 1978;128(1):145-50.
15. Wenzl M, Raimund F, Fuchs S, Paech A, Jürgens C. Distale Humerusfrakturen 2007. S183-S91 p.
16. Goswami GK. The fat pad sign. *Radiology.* 2002;222(2):419-20.
17. Barton KL, Kaminsky CK, Green DW, Shean CJ, Kautz SM, Skaggs DL. Reliability of a modified Gartland classification of supracondylar humerus fractures. *J Pediatr Orthop.* 2001;21(1):27-30.
18. Leitch KK, Kay RM, Femino JD, Tolo VT, Storer SK, Skaggs DL. Treatment of multidirectionally unstable supracondylar humeral fractures in children. A modified Gartland type-IV fracture. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88(5):980-5.
19. von Laer L, Gunter SM, Knopf S, Weinberg AM. [Supracondylar humerus fracture in childhood--an efficacy study. Results of a multicenter study by the Pediatric Traumatology Section of the German Society of Trauma Surgery--II: Costs and effectiveness of the treatment]. *Unfallchirurg.* 2002;105(3):217-23.
20. von Laer L, Kraus R, Linhart WE. *Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter*: Thieme; 2012.
21. Pham TT, Accadbled F, Abid A, Ibnoukhatib A, Bayle-Iniguez X, Wargny M, et al. Gartland types IIB and III supracondylar fractures of the humerus in children: is Blount's method effective and safe? *J Shoulder Elbow Surg.* 2017;26(12):2226-31.
22. Muccioli C, ElBatti S, Oborocianu I, Rosello O, Solla F, Chau E, et al. Outcomes of Gartland type III supracondylar fractures treated using Blount's method. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2017;103(7):1121-5.
23. Omid R, Choi PD, Skaggs DL. Supracondylar humeral fractures in children. *J Bone Joint Surg Am.* 2008;90(5):1121-32.
24. Brauer CA, Lee BM, Bae DS, Waters PM, Kocher MS. A systematic review of medial and lateral entry pinning versus lateral entry pinning for supracondylar fractures of the humerus. *J Pediatr Orthop.* 2007;27(2):181-6.
25. Na Y, Bai R, Zhao Z, Han C, Kong L, Ren Y, et al. Comparison of lateral entry with crossed entry pinning for pediatric supracondylar humeral fractures: a meta-analysis. *J Orthop Surg Res.* 2018;13(1):68.

26. Woo CY, Ho HL, Ashik MBZ, Lim KB. Paediatric supracondylar humeral fractures: a technique for safe medial pin passage with zero incidence of iatrogenic ulnar nerve injury. *Singapore Med J*. 2018;59(2):94-7.
27. Georgiadis AG, Settecerci JJ. Safe cross-pinning of pediatric supracondylar humerus fractures with a flexion-extension-external rotation technique. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*. 2014;43(9):411-5.
28. Lee SS, Mahar AT, Miesen D, Newton PO. Displaced pediatric supracondylar humerus fractures: biomechanical analysis of percutaneous pinning techniques. *J Pediatr Orthop*. 2002;22(4):440-3.
29. Reynolds RA, Jackson H. Concept of treatment in supracondylar humeral fractures. *Injury*. 2005;36 Suppl 1:A51-6.
30. Slongo TF. [Ante- and retrograde intramedullary nailing of humerus fractures]. *Oper Orthop Traumatol*. 2008;20(4-5):373-86.
31. Singer G, Kraus T, Ruttensstock EM, Ferlic P, Eberl R. Antegrade nailing can prevent cubitus varus and valgus after pediatric supracondylar fractures with impacted columns. *J Orthop Trauma*. 2013;27(12):e285-90.
32. Schmale GA, Mazor S, Mercer LD, Bompadre V. Lack of Benefit of Physical Therapy on Function Following Supracondylar Humeral Fracture: A Randomized Controlled Trial. *J Bone Joint Surg Am*. 2014;96(11):944-50.
33. Bukvic N, Kvesic A, Brekalo Z, Bosak A, Bukvic F, Karlo R. The problem of post-traumatic varization of the distal end of the humerus remaining after the recovery of a supracondylar fracture. *J Pediatr Orthop B*. 2013;22(4):372-5.
34. Abe M, Ishizu T, Shirai H, Okamoto M, Onomura T. Tardy ulnar nerve palsy caused by cubitus varus deformity. *J Hand Surg Am*. 1995;20(1):5-9.
35. Kumar V, Singh A. Fracture Supracondylar Humerus: A Review. *J Clin Diagn Res*. 2016;10(12):RE01-RE6.
36. Shaw BA, Kasser JR, Emans JB, Rand FF. Management of vascular injuries in displaced supracondylar humerus fractures without arteriography. *J Orthop Trauma*. 1990;4(1):25-9.
37. Battaglia TC, Armstrong DG, Schwend RM. Factors affecting forearm compartment pressures in children with supracondylar fractures of the humerus. *J Pediatr Orthop*. 2002;22(4):431-9.

38. Beaton DE, Wright JG, Katz JN, Upper Extremity Collaborative G. Development of the QuickDASH: comparison of three item-reduction approaches. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87(5):1038-46.
39. Flynn JC, Matthews JG, Benoit RL. Blind pinning of displaced supracondylar fractures of the humerus in children. Sixteen years' experience with long-term follow-up. *J Bone Joint Surg Am.* 1974;56(2):263-72.
40. Yamamoto I, Ishii S, Usui M, Ogino T, Kaneda K. Cubitus varus deformity following supracondylar fracture of the humerus. A method for measuring rotational deformity. *Clin Orthop Relat Res.* 1985(201):179-85.
41. Flierl MA, Carry PM, Scott F, Georgopoulos G, Hadley-Miller N. Rotation and Displacement Predict Adverse Events in Pediatric Supracondylar Fractures. *Orthopedics.* 2015;38(8):e690-5.
42. Bahk MS, Srikumaran U, Ain MC, Erkula G, Leet AI, Sargent MC, et al. Patterns of pediatric supracondylar humerus fractures. *J Pediatr Orthop.* 2008;28(5):493-9.