

Aus dem Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Medizinischen Fakultät Charité –
Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

**Was sagt uns der Schmerz über den postoperativen Frakturheilungsverlauf?
Deskriptive Darstellung des postoperativen Schmerzverlaufes operativ versorgter
Extremitätenfrakturen**

zur Erlangung des akademischen Grades Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Fabienne Sigler

aus

Herrenberg

Datum der Promotion: 25.06.2023

Inhaltsverzeichnis

1 INHALTSVERZEICHNIS	2
2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS	6
3 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	8
4 ABSTRAKT	10
4.1 DEUTSCHE VERSION.....	10
4.2 ENGLISCHE VERSION.....	12
5 EINLEITUNG	13
5.1 SCHMERZENTSTEHUNG UND SCHMERZARTEN.....	13
5.2 BIOCHEMISCHE GRUNDLAGEN DER FRAKTURHEILUNG.....	17
5.3 EXTREMITÄTENFRAKTUREN.....	19
5.3.1 <i>Epidemiologie</i>	19
5.3.2 <i>Distale Radiusfraktur (DRF)</i>	20
Anatomie der beteiligten Knochen des Handgelenkes.....	20
Bandstrukturen des Handgelenkes	21
Muskulatur des Handgelenkes	21
Neurovaskuläre Strukturen des Handgelenkes.....	21
Biomechanik des Handgelenkes	21
5.3.3 <i>Obere Sprunggelenks-Frakturen (OSG-Frakturen)</i>	22
Anatomie der beteiligten Knochen des oberen Sprunggelenkes	22
Bandstrukturen des oberen Sprunggelenkes	23
Muskulatur des oberen Sprunggelenkes.....	24
Neurovaskuläre Strukturen des oberen Sprunggelenkes.....	24
Biomechanik des oberen Sprunggelenkes.....	24
5.3.4 <i>Diagnostik, Frakturklassifikation und Standardtherapie der DRF und OSG-Fraktur</i>	25
Klinische Diagnostik	25
Apparative Diagnostik	25
Klassifikation der Extremitätenfrakturen.....	26
Therapie	27
Begleitverletzungen.....	29

5.3.5 <i>Frakturheilung und Schmerztherapie bei Extremitätenfrakturen</i>	29
5.3.5.1 Frakturheilung im klinischen Alltag	29
5.3.5.2 Schmerztherapie bei Extremitätenfrakturen	31
5.3.5.3 Schmerzevaluation im klinischen Alltag (Evaluationsmethoden der Schmerzen)	33
5.4 FRAGESTELLUNG	36
6 MATERIAL UND METHODEN	37
6.1 DAS STUDIENDESIGN	37
6.2 DAS PATIENTENKOLLEKTIV	37
6.3 OP-TECHNIK DER DRF UND OSG-FRAKTUREN UND DEREN BEGLEITVERLETZUNGEN	38
6.4 ANGEWANDTES SCHMERZSCHEMA IM PATIENTENKOLLEKTIV	39
6.5 VAS UND NRS	39
6.6 EVALUATION DER RUHE-, DRUCK- UND BELASTUNGSSCHMERZEN	40
Evaluation der Ruheschmerzen	40
Evaluation der Druckschmerzen nach 4, 6, 9 und 12 Wochen (s. Abb. 13)	41
Evaluation der Belastungsschmerzen nach 4, 6, 9 und 12 Wochen (s. Abb. 13)	42
6.7 RÖNTGEN-KONTROLLEN	43
6.8 ERHEBUNG DER COMPLIANCE	43
6.9 ANGEWANDTER SF-36 GESUNDHEITSFRAGEBOGEN	44
6.10 DIE DATENAUSWERTUNG	45
7 ERGEBNISSE	45
7.1 PATIENTENKOLLEKTIV	45
7.1.1 <i>Demographie</i>	45
7.1.2 <i>Komorbiditäten</i>	47
7.1.3 <i>Fraktur- und Versorgungsdaten</i>	47
7.2 KOMPLIKATIONEN	49
7.3 DARSTELLUNG DES POSTOPERATIVEN SCHMERZVERLAUFES VON DRF- UND OSG-FRAKTUREN IN RUHE, BEI BELASTUNG UND UNTER MANUELLER DRUCKAUSÜBUNG	50

Einfluss demografischer Faktoren auf den Schmerzverlauf.....	50
Postoperative Ruheschmerzen	51
Postoperative Druckschmerzen	52
Postoperative Belastungsschmerzen	53
7.4 PATIENTENCHARAKTERISTIKA.....	53
7.4.1 <i>Komorbiditäten und Vorerkrankungen.....</i>	<i>53</i>
Endokrinologische Vorerkrankungen	53
Psychische und chronische Vorerkrankungen	56
Früher stattgehabte Frakturen.....	56
7.4.2 <i>Compliance</i>	<i>58</i>
7.4.3 <i>AO-Klassifikation</i>	<i>59</i>
7.4.4 <i>OSG-Fraktur mit Syndesmosenruptur.....</i>	<i>61</i>
7.4.5 <i>Weichteilschaden</i>	<i>62</i>
7.5 THERAPIE	63
7.6 KOMPLIKATIONEN	63
7.6.1 <i>Wundheilungsstörungen.....</i>	<i>63</i>
7.6.2 <i>Frühere Aufbelastung.....</i>	<i>65</i>
7.7 SF-36 GESUNDHEITSFRAGEBOGEN	66
8 DISKUSSION.....	67
8.1 ZUSAMMENFASSUNG	67
8.2 DISKUSSION DER METHODEN	68
8.2.1 <i>Schmerzskalen.....</i>	<i>68</i>
8.2.2 <i>OP-Technik</i>	<i>69</i>
8.2.3 <i>Stichprobe und Nachuntersuchung.....</i>	<i>69</i>
8.2.4 <i>Radiologische Kontrollen.....</i>	<i>70</i>
8.2.5 <i>Anwendung des SF-36 Gesundheitsfragebogen</i>	<i>70</i>
8.3 DISKUSSION DER ERGEBNISSE	71
8.3.1 <i>Demografische Faktoren.....</i>	<i>71</i>
Geschlecht	71
8.3.2 <i>Endokrinologische Vorerkrankungen</i>	<i>71</i>
8.3.3 <i>Früher stattgehabte Frakturen.....</i>	<i>72</i>
8.3.4 <i>Compliance</i>	<i>73</i>
8.3.5 <i>Traumacharakteristika.....</i>	<i>74</i>

8.3.5.1 AO-Klassifikation	74
8.3.5.2 Weichteilschaden	76
8.3.6 <i>Auffälligkeiten/ Komplikationen</i>	76
8.3.7 <i>Frühere Aufbelastung</i>	77
8.3.8 <i>SF-36 Gesundheitsfragebogen</i>	79
8.4 ZUSAMMENFASSUNG	80
9 LITERATURVERZEICHNIS	82
Angewandte Schmerzschemas.....	90
11 EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	92
12 CURRICULUM VITAE	94
13 DANKSAGUNG	95

2 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER VERSCHIEDENEN SCHMERZARTEN.....	14
ABBILDUNG 2: DIE SCHMERZWEITERLEITUNG (6)	16
ABBILDUNG 3: KNÖCHERNE UND LIGAMENTÄRE STRUKTUREN DES DISTALEN HANDGELENKES (25)	20
ABBILDUNG 4: KNÖCHERNE UND LIGAMENTÄRE STRUKTUREN DES FUßES (1)	23
ABBILDUNG 5: RADIUSFRAKTUREN NACH AO-KLASSIFIKATION (41)	27
ABBILDUNG 6: AO-KLASSIFIKATION DER MALLEOLARFRAKTUREN (41)	27
ABBILDUNG 7: BIOLOGISCHE EINFLUSSFAKTOREN DER FRAKTURHEILUNG (56)	30
ABBILDUNG 8: DAS 3-STUFEN-KONZEPT DER FRAKTURHEILUNG (56).....	31
ABBILDUNG 9: WHO-STUFENSHEMA ZUR SCHMERZTHERAPIE (62)	32
ABBILDUNG 10: ANSATZORTE DER SCHMERZTHERAPIE (3)	32
ABBILDUNG 11: DIE VISUELLE SCHMERZSKALA (VAS) (72)	35
ABBILDUNG 12: DIE NUMMERISCHE SCHMERZSKALA (69).....	35
ABBILDUNG 13: GRAFISCHE DARSTELLUNG DER EVALUATIONSZEITPUNKTE.....	40
ABBILDUNG 14: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER DRUCKAUSÜBUNG	41
ABBILDUNG 15: SCHEMADARSTELLUNG ZUR DRUCKAUSÜBUNG AM FUß VON VENTRAL BZW. VON LATERAL UND MEDIAL.....	42
ABBILDUNG 16: ALTERSVERTEILUNG DER OSG- UND DISTALEN RADIUSFRAKTUREN.....	46
ABBILDUNG 17: VERTEILUNG DER DRF- UND OSG-FRAKTUREN BEZOGEN AUF DAS GEWICHT (UG = UNTERGEWICHT; NG = NORMALGEWICHT; PRÄ-ÜG = ADIPOSITAS GRAD I-II, ÜG = ADIPOSITAS GRAD III) (75).....	51
ABBILDUNG 18: RUHESCHMERZEN DRF UND OSG FRAKTUREN	52
ABBILDUNG 19: DRUCKSCHMERZEN VON DRF UND OSG FRAKTUREN	52
ABBILDUNG 20: BELASTUNGSSCHMERZEN VON DRF UND OSG FRAKTUREN	53
ABBILDUNG 21: RUHESCHMERZEN BEI ENDOKRINOLOGISCHEN VORERKRANKUNGEN	54
ABBILDUNG 22: DRUCKSCHMERZEN BEI ENDOKRINOLOGISCHEN PROBANDEN*INNEN	55
ABBILDUNG 23: BELASTUNGSSCHMERZEN BEI ENDOKRINOLOGISCHEN PROBANDEN*INNEN	55
ABBILDUNG 24: RUHESCHMERZ BEI BEREITS STATTEHABTEN FRAKTUREN	57
ABBILDUNG 25: DRUCKSCHMERZ BEI BEREITS STATTEHABTEN FRAKTUREN	57
ABBILDUNG 26: BELASTUNGSSCHMERZ BEI BEREITS STATTEHABTEN FRAKTUREN	58
ABBILDUNG 27: RUHESCHMERZEN NACH COMPLIANCE.....	58
ABBILDUNG 28: DRUCKSCHMERZEN NACH COMPLIANCE.....	59

ABBILDUNG 29: BELASTUNGSSCHMERZEN NACH COMPLIANCE.....	59
ABBILDUNG 30: RUHESCHMERZEN NACH AO-KLASSIFIKATION	60
ABBILDUNG 31: DRUCKSCHMERZEN NACH AO-KLASSIFIKATION	60
ABBILDUNG 32: BELASTUNGSSCHMERZEN NACH AO-KLASSIFIKATION	61
ABBILDUNG 33: RUHESCHMERZEN NACH SYNDESMOSENRUPTUR.....	61
ABBILDUNG 34: DRUCKSCHMERZEN NACH SYNDESMOSENRUPTUR.....	62
ABBILDUNG 35: BELASTUNGSSCHMERZEN NACH SYNDESMOSENRUPTUR.....	62
ABBILDUNG 36: RUHESCHMERZEN NACH WUNDSTÖRUNG	64
ABBILDUNG 37: DRUCKSCHMERZEN NACH WUNDSTÖRUNG	65
ABBILDUNG 38: BELASTUNGSSCHMERZEN NACH WUNDSTÖRUNG	65
ABBILDUNG 39: SF-36-WERTE NACH 4 UND 6 WOCHEN.....	67

TABELLE 1: TABELLARISCHE CHARAKTERISIERUNG DER STICHPROBE. ALTER UND BMI WERDEN ALS MITTELWERT ± STANDARDABWEICHUNG SOWIE MIT IHREN QUARTILSWERTEN [1. QUARTIL; MEDIAN; 3. QUARTIL] ANGEGBEN	46
TABELLE 2: TABELLARISCHE ZUSAMMENFASSUNG DER PATIENTENDATEN.....	47
TABELLE 3: FRAKTUR- UND VERSORGUNGSDATEN DER PROBANDEN*INNEN. METRISCHE VARIABLEN WERDEN ALS MITTELWERT ± STANDARDABWEICHUNG SOWIE MIT IHREN QUARTILSWERTEN [1. QUARTIL; MEDIAN; 3. QUARTIL] ANGEGBEN	49
TABELLE 4: TABELLARISCHE ZUSAMMENFASSUNG DER KOMPLIKATIONEN	49

3 Abkürzungsverzeichnis

A.	Arterie
Art.	Articulatio
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
CRPS	Complex Regional Pain Syndrom
DRF	distale Radiusfraktur
DCP	dynamic compression plate
DRUG	Distales Radioulnargelenk
Ggfs.	gegebenenfalls
Inkl.	inklusive
Lig.	Ligamentum
M	männlich
M.	Musculus
mV	Millivolt
N.	Nervus
NRS	Nummerische Ratingskala
NSAID	Non-steroidal anti-inflammatory drug
OP	Operation
OSG	oberes Sprunggelenk
OSG Fx	obere Sprunggelenksfraktur
TFCC	Triquetraler fibrocartilaginärer Komplex
UAG	Unterarmgehstützen
V.	Vena
v.a.	vor allem
VAS	Visuelle Analogskala
W	weiblich

WHO

z.B.

z.T.

World health organization

zum Beispiel

zum Teil

4 Abstrakt

4.1 Deutsche Version

Distale Radiusfrakturen (DRF) und Frakturen des oberen Sprunggelenkes (OSG-Frakturen) zählen zu den häufigsten Extremitätenfrakturen. Ziel unserer retrospektiven Studie war anhand der Datenlage eine klinische Charakterisierung und Analyse des Schmerzverlaufes bei Patienten mit operativ versorgter DRF oder OSG-Frakturen zu detektieren, um mögliche Rückschlüsse auf Einflussfaktoren, sowie den Heilungsverlauf generell ziehen zu können.

Eingeschlossen wurden Patienten mit operativ versorgter DRF oder OSG-Fraktur im Alter von 18-85 Jahren, sowie präoperativer Selbstständigkeit und Vollmobilisation. Die postoperative analgetische Therapie erfolgte nach WHO-Stufenschema. Unabhängig von der operativen Versorgung war für 6 Wochen postoperativ das Heben und Tragen auf 5kg (DRF) bzw. eine Teilbelastung von 15kg an Unterarmgehstützen (UAG) bei OSG-Frakturen limitiert. Die subjektive Schmerzevaluation erfolgte postoperativ ab Tag 0 mittels visueller Analogskala (VAS), anfangs täglich, später in größeren Abständen (Woche 2, 4, 6, 9 und 12). Ab Woche 4 erfolgte die Evaluation zusätzlich unter Druckausübung über dem Frakturspalt. Endpunkte waren Abschluss der Behandlung/Aufbelastung und Komplikationen. Die statistische Auswertung und graphische Darstellung erfolgte mittels Excel und mittels des Statistikprogrammes R.

Es konnten insgesamt 97 Patienten (DRF=48, OSG-Frakturen=49, m:w 37:60, Altersmedian 52 Jahre (Quartile: 35.8 und 63 Jahre) in die Studie aufgenommen werden. Es zeigen sich bei beiden Gruppen Schmerzverläufe mit initialen Werten um VAS 6,0 (DRF) und 6,2 (OSG-Frakturen), welche innerhalb weniger Tage abfielen auf VAS<2 ab Tag 4 und dann über einen längeren Zeitraum konstant niedrig blieben, was in unserer Studienpopulation mit einem ungestörten Heilungsverlauf einherging. Unabhängig von Lokalisation, Klassifikation und OP zeigten die postoperativen Schmerzen vergleichbare charakteristische Verläufe. Ein kurzfristiger Anstieg der Schmerzen bei zunehmender Belastung scheint in Zusammenhang mit Komorbiditäten zu stehen oder im Zuge einer physiologischen Reaktion aufzutreten und muss nicht notwendigerweise als Hinweis auf kompromittierte Heilung gewertet werden. In 4 Fällen fand ein selbstständiger früherer - komplikationsfreier - Belastungsaufbau statt. Dies legt die Erwägung nahe, den Zeitpunkt

des Belastungsaufbaus bei geeigneten Patienten vom individuellen Schmerzverhalten abhängig zu machen. Um prognostisch valide Aussagen zu treffen, sind weitere Untersuchungen erforderlich.

4.2 Englische Version

Distal radius fractures (DRF) and fractures of the ankle joint (OSG-Fracture) are among the most common extremity fractures. The aim of our retrospective study was the clinical characterization and analysis of the pain progression in patients with surgically treated DRF or OSG fractures, to identify influencing factors of the healing process.

Patients with surgically treated DRF or OSG fractures aged 18-85 years with preoperative independence and full mobilization were included. The postoperative analgesic therapy was carried out according to the WHO level scheme. Regardless of the surgical care, lifting and carrying was limited to 5 kg (DRF) and a partial load of 15 kg on crutches (OSG fracture) respectively for 6 weeks postoperatively.

The subjective pain evaluation (primary endpoint) was carried out postoperatively from day 0 onwards using a visual analogue scale (VAS), initially daily, later at longer intervals (week 2,4,6,9 and 12). After the the 4th week, the evaluation also took place under finger pressure over the fracture. Secondary endpoints were treatment completion/ increased load and complications. The statistical evaluation and graphic representation was carried out using Excel and statistical program R.

In the study a total of 97 patients (DRF=48, OSG-Fracture=49, m:f 37:60, age median 52 years (quartiles: 35.8 und 63 years), were included. Both groups showed a development in severity with initial values around VAS 6.0 (DRF) and 6.2 (OSG-Fracture), which fell within a few days to VAS<2 from day 4 on and remained low constantly over a longer period of time. This was associated with an undisturbed healing process in our study population. Regardless of location, classification and operation, the postoperative pain showed comparable characteristic courses. A short-term increase in pain when the patient begins to apply increasing load might be related to comorbidities or can also appear in the course of a physiological reaction and does not necessarily have to be taken as an indication of compromised healing. In four cases an independent earlier – complication-free- loading-up of weight took place. This suggests that individualization of the time at which the load is built up is possible in suitable patients depending in the individual pain behavior. Further examinations are required in order to make a prognostically valid statement.

5 Einleitung

5.1 Schmerzentstehung und Schmerzarten

Der Schmerz wird durch die International Association for the Study of Pain (IASP) als subjektives unangenehmes Sinnes- und Gefühlserlebnis beschrieben, welches mit aktueller oder potenzieller Gewebeschädigung verknüpft ist (1). Schmerzen werden je nach Ursprungsort, Dauer und Charakter eingeteilt.

Grundsätzlich wird zwischen somatischen, viszeralen, neuropathischen und psychogenen Schmerzen unterschieden (Abb. 1). Schmerz ist ein komplexes Phänomen unserer Wahrnehmung und besteht aus einer sensorischen, kognitiven, affektiven, motorischen und vegetativen Komponente. Die subjektive Schwere des Schmerzes korreliert nicht mit dem Ausmaß der Gewebeschädigung, sondern mit der zentralen Verarbeitung. Schmerz (Nozizeption) ist an das Wachbewusstsein gebunden. Schmerzhafte Reize werden im Menschen von freien Nervenendigungen, den sogenannten Nozizeptoren (Schmerzrezeptoren) (1) detektiert und in neuronale Erregung übersetzt und zur zentralen Verarbeitung ans Gehirn weitergeleitet. Erst wenn das Gehirn erreicht wird, wird der Schmerz gespürt. Die Reize können mechanischer, chemischer, noxischer und thermischer Natur sein. Die Nozizeptoren befinden sich in fast jedem Gewebe. Glutamat ist hierbei der primäre Neurotransmitter. Aber auch andere Komponenten wie Peptide (z. B. Substanz P, Calcitonin-Gen-verwandtes Peptid, Somatostatin) spielen sowohl für die zentrale synaptische Signalübertragung als auch für die efferente Signalübertragung in der Haut eine große Rolle (2).

Die Entstehung des Schmerzes kann in der Haut (=somatischer Oberflächenschmerz), den Muskeln, Gelenken, Knochen oder dem Bindegewebe (=somatischer Tiefenschmerz), sowie in den Eingeweiden (=viszeraler Schmerz) entstehen (Abb.1). Zusätzlich gibt es noch den sogenannten neuropathischen Schmerz, welcher durch eine direkte Schädigung des Nervs hervorgerufen wird.

Aus geschädigtem Gewebe werden Substanzen freigesetzt, die die Nozizeptoren aktivieren. Durch Schmerzerfahrung entsteht ein Schmerzgedächtnis, so dass wiederkehrende Reize sogenannte „schlafende“ Nozizeptoren aktivieren und bereits

leichte Reize einen Schmerz auslösen. Geschädigtes Gewebe ist somit empfindlicher als gesundes Gewebe.

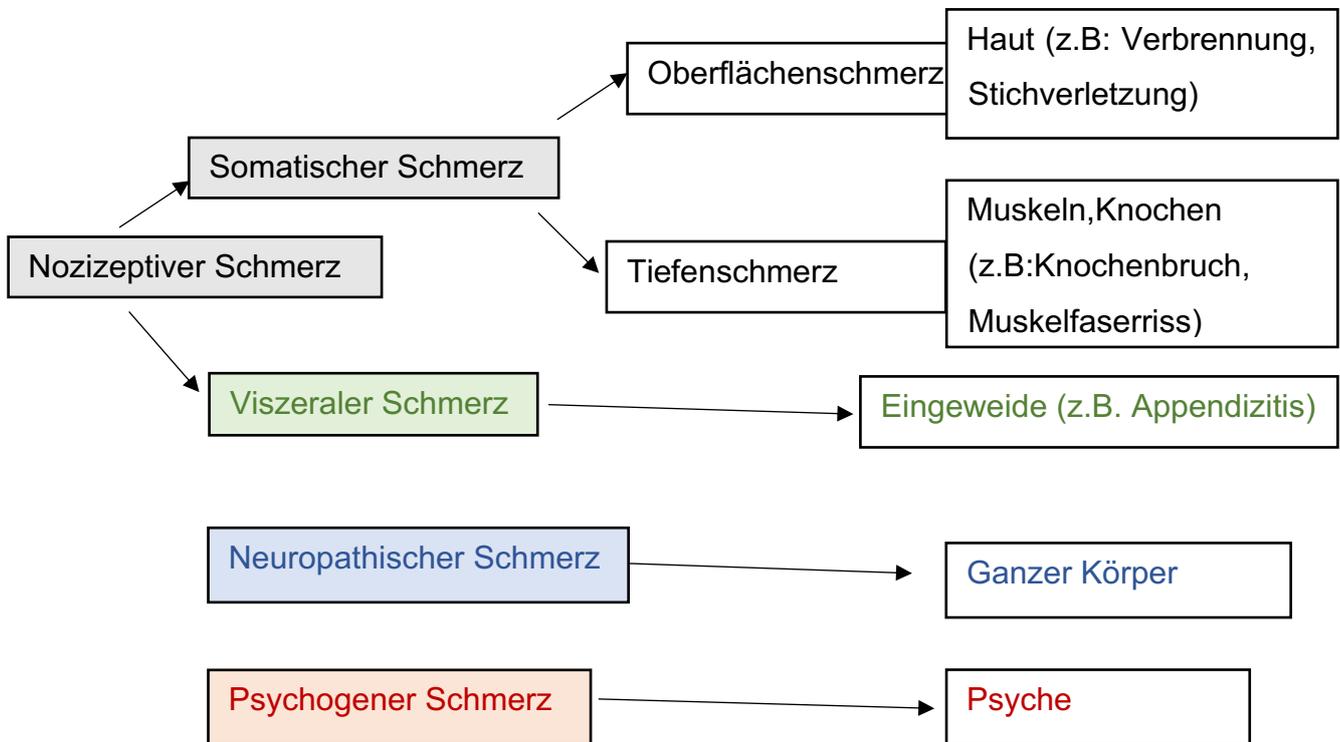


Abbildung 1: Schematische Darstellung der verschiedenen Schmerzarten

Wie kommt es nun dazu, dass wir Schmerzen fühlen? Das Ergebnis aller Schmerzarten ist das Empfinden subjektiven Schmerzes, welcher viele Einflussfaktoren haben kann, wie z.B: Stress, Antizipation,... Das Zusammenspiel verschiedener Gewebe oder Organe erfordert eine gute Abstimmung zwischen den einzelnen Zellen, so dass oft eine sehr schnelle Kommunikation über weite Strecken hinweg erfolgen muss. Die schnelle Zellkommunikation kann durch die Übertragung von elektrochemischen Signalen gewährleistet werden.

Jede Zellmembran besitzt eine Membranleitfähigkeit, die zum Transport von Informationen genutzt wird und durch Ladungsträger wie Ionen beeinflusst wird. Ein Reiz löst den Transport von Ladungsträgern durch eine Zellmembran aus und führt zu einer Veränderung des Potentials entlang der Membran. Zu Beginn eines Reizes wird zunächst das sogenannte Ruhepotential, welches als eine Art Grundzustand existiert, erhöht. Das Ruhepotential beträgt normalerweise -70mV bis -90mV. Wird, aufgrund einer Reizauslösung ein gewisser Schwellenwert überschritten, kommt es zur

sogenannten Depolarisation und die mV Werte werden weniger negativ. Hält der Reiz weiter an, kommt es folglich zu weiteren Potenzialdifferenzen. Ist die Potenzialveränderung groß genug, bildet sich ein sog. Aktionspotenzial. Dieses Aktionspotenzial wird von Zelle zu Zelle weitergeleitet und über afferente Fasern vom Ort des Reizes zunächst zum Gehirn weitergeleitet. Dort wird der Reiz „verarbeitet“ und anschließend über efferente Bahnen eine Antwort in die Peripherie gesendet. In der Folge kommt es dazu, dass wir den Schmerz fühlen. Die Übertragungsgeschwindigkeit korreliert direkt mit dem Durchmesser der Axone sensorischer Neuronen und ob sie myelinisiert sind oder nicht. Bei der Reizweiterleitung wird eine komplexe biochemische Systemkaskade ausgelöst.

Die afferenten nozizeptiven Bahnen bestehen aus langsam leitenden C-Fasern und wenigen, schnell leitenden A-Delta-Fasern. Abhängig davon, welche Fasern erregt werden, kann ein erster „schneller“ und ein verzögerter „späterer“ Schmerz gefühlt werden.

Die Weiterleitung des Reizes aus der Peripherie entsteht zunächst über die Potenzialweiterleitung in der Zelle bis zum Spinalganglion, von dort wird der Reiz über das erste Neuron im Hinterhorn des Rückenmarks auf den kontralateralen Vorderseitenstrang des Rückenmarks gekreuzt, über den Tractus spinothalamicus weitergeleitet und über den Thalamus auf den somatosensorischen Cortex der Großhirnrinde umgeschaltet und der Schmerz wird in der Folge „gespürt“ (Abb. 2).

Hier findet also das Schmerzempfinden und die Perzeption, also das Vergleichen mit früheren Schmerzerfahrungen statt und es wird eine Reaktion auf das Gefühlte einleitet (4). Absteigende Bahnen vom Gehirn zum Rückenmark wirken der aufsteigenden nozizeptiven Aktivierung entgegen. Durch Lokalanästhetika und allgemeine Anästhetika oder hochdosierte Opioide können diese Schmerzen auf mehreren Ebenen unterdrückt werden. Zusammenfassend kann man sagen, dass erregende und hemmende Schaltkreise Einfluss auf die Reizweiterleitung haben.

Bei der Aktivierung der Schmerzkaskade werden im Bereich der Reizauslösung, z.B. durch verletztes oder entzündetes Gewebe, durch Weichteilverletzungen, Frakturen oder Quetschungen, Substanzen wie Bradykinine, Zytokine, Neuropeptide, Histamine, Arachidonsäure, umgebaute Prostaglandine, Radikale und ATP freigesetzt, die das

Aktivierungspotential der Nervenfasern für Schmerz und Temperatur (vorwiegend A-Delta und C-Fasern) herabsetzen und so die Reizweiterleitung ermöglichen.

Diverse Studien konnten bereits zeigen, dass nebst den allgemeinen Faktoren wie Geschlecht, Größe, Gewicht und BMI auch das Maß der körperlichen Aktivität, die emotionale und psychische Stabilität, der Bildungsstandard und der soziale Status mit dem Schmerzempfinden vergesellschaftet sind (5).

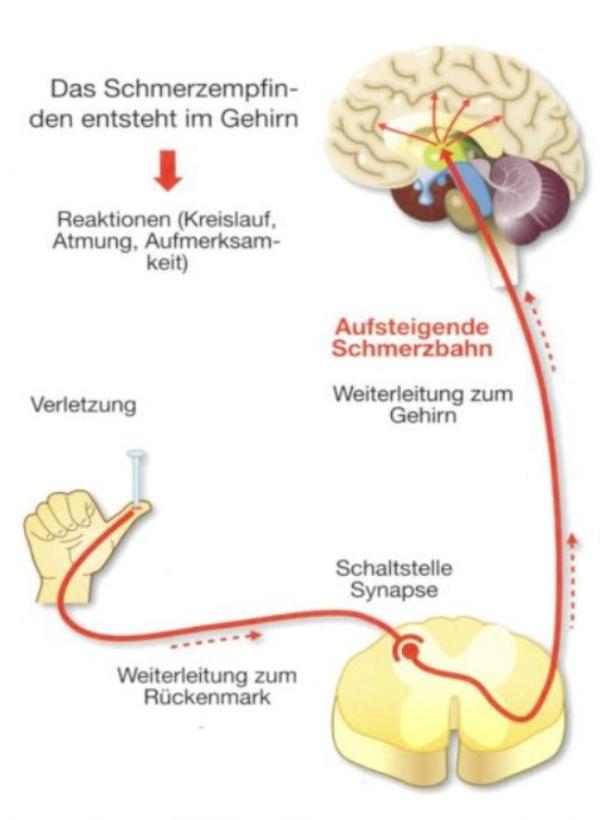


Abbildung 2: Die Schmerzweiterleitung (6)

Warum sind Frakturen schmerzhaft? Welche genauen biomechanischen Abläufe dabei in welchem Ausmaß stattfinden, ist bisher noch nicht ausreichend bekannt. Studien haben gezeigt, dass Knochen durch sensorische Nervenfasern innerviert werden. Der hinlänglich benannte „Knochenschmerz“ wird durch dünn myelinisierte A-Delta- und C-Fasern im Periost ausgelöst und über eine Reihe biomechanischer Modulatoren nach zentral weitergeleitet. Damit konnte gezeigt werden, dass die Kontinuitätsunterbrechung des Periostes als der Hauptinitiator des Frakturschmerzes gilt (3).

Die Mechanismen, wie Frakturschmerzen zustande kommen oder wie die zentrale Sensibilisierung beeinflusst wird, sind bisher noch nicht sehr gut erforscht oder bekannt. Laut Alves et al., die sich in ihrer Zusammenfassung hauptsächlich auf eine

tierexperimentelle Studie von Kingery et al. beziehen, ist bisher lediglich bekannt, dass die zentrale Sensibilisierung durch ein vorliegendes chronisches Schmerzsyndrom beeinflusst und so die allgemeine Schmerzempfindlichkeit des Patienten hochgesetzt werden kann. Dies resultiert aus der vermehrten Ausschüttung inflammatorischer Mediatorzellen, wie Interleukin-1 Beta, TNF Alpha und NGF (4)(5). Dennoch wird das Schmerzempfinden nicht generell durch immer dieselben Botenstoffe ausgelöst, da Frakturschmerzen nicht gleichzusetzen sind mit anderen Knochenschmerzen, wie z.B. Arthroseschmerzen.

Freemann et al. zeigten in ihrer Studie an Mäusen, dass Frakturschmerzen mit zunehmender Kallusformation und damit zunehmender Überbrückung der Knochenfragmente nachlassen (6). Passend zu dieser Annahme zeigten Alves et al. bereits, dass nach Abklingen der ersten inflammatorischen Phase sensible Neuronen aktiviert werden, die das Schmerzempfinden von Frakturen beeinflussen, ebenso wie ein Schmerzempfinden vom Kallus ausgehen kann (8).

Eine Studie von Crandall et al. fasst zusammen, dass, wenn es zu einem Frakturhämatom kommt, dieselben Botenstoffe initiiert werden, wie bei der Entstehung eines Weichteilhämatoms, somit zeigt sich auch hier der biochemische Zusammenhang der beiden Reaktionen (7).

Die klinische Erfahrung zeigt, dass im Verlauf der Frakturheilung, sobald die Kontinuität des Knochens und somit des Periostes wieder hergestellt wird, sich dies klinisch durch eine Schmerzregredienz und radiologisch durch einen Rückgang des sichtbaren Frakturspaltes äußert (8). Hinsichtlich der Frage wie lange Frakturen eigentlich schmerzen oder wann von einer kompletten Frakturfestigkeit gesprochen werden kann, ist sich die Literatur noch nicht einig, da dies noch unzureichend erforscht ist.

5.2 Biochemische Grundlagen der Frakturheilung

Eine Fraktur und damit eine Kontinuitätsunterbrechung des Knochens resultiert aus einer Gewalteinwirkung, die die Festigkeit des Knochens übersteigt.

Eine Veröffentlichung aus dem Jahr 2011 von Giannoudis et al. unterstreicht die wesentliche Rolle bei der Knochenheilung durch das Zusammenspiel von lokal wirksamen Wachstumsfaktoren und Angiogenese, sowie das Vorhandensein verschiedenster Zellen, wie Osteoblasten, Osteoklasten, mesenchymaler Stammzellen und inflammatorischer Zellen (2).

Die einzelnen Prozesse werden über Induktoren eingeleitet und aktivieren Faktoren, die die Frakturheilung begünstigen, aber normalerweise nicht von außen induzierbar sind, wie z.B. das sogenannte bone morphogenic protein (BMP), welches osteogene Eigenschaften hat und mesenchymale Zellen zunächst in Knorpelzellen und anschließend in Knochenzellen umwandelt. Ein weiterer Einflussfaktor der Frakturheilung sind Interleukine, die die Zellproliferation beschleunigen. Wie Glatt et al. in ihrer Arbeit zusammenfassten, fand bereits Friedrich Pauwels im 20. Jahrhundert heraus, dass, bedingt durch eine inflammatorische Gewebereaktion, es zu einer Kapillaraussprossung und Zellproliferation kommt (9). Anschließend findet die Aussprossung von mesenchymalen Zellen statt, die sich wiederum zu Knochenzellen aus- und umbilden. Durch Wachstumsfaktoren kommt es subperiostal und im Markraum des Knochens zu einer knochenähnlichen Neubildung, bekannt als die Kallusbildung. Infolgedessen nähern sich die Bruchenden wieder an und das, bis dato, unstrukturiert gebildete Knochengeflecht verdichtet und verfestigt sich durch muskuläre Anspannung und funktionellen Einsatz. Unter diesem Prozess des Remodelling flacht der Kallus ab und die Knochenkontur wird wieder einheitlich (12). Der Umbau des Geflechtknochens wird durch eine multizelluläre Einheit, der sog. Basic multicellular unit, kurz „BMU“ vollzogen. Diese führt dazu, dass der Geflechtknochen durch normalen Knochen und normale Markraumstruktur ersetzt wird (10)(11).

Die Frakturheilung wird unterteilt in eine direkte und in eine indirekte Frakturheilung. Die indirekte Frakturheilung findet hauptsächlich bei konservativ versorgten Frakturen statt. Hierbei werden verschiedene Phasen durchlaufen. Angefangen mit der Frakturphase, gefolgt von Entzündungs- und Granulationsphase, der Phase der Kallusbildung, dem Modelling/ Remodelling und der primären Frakturheilung. In all diesen Phasen findet ein komplexes Zusammenspiel von enzymgetriggelter Aktivierung der Signalkaskaden, einer Vielzahl an verschiedensten Zelltypen, Proteinen und Genexpression statt (10).

Wird nun der Frakturspalt durch eine Osteosynthese fixiert und somit die korrekte anatomische Lage wiederhergestellt, kommt es unter Umgehung einer Kallusbildung zu einer direkten Frakturheilung. Hierbei wird durch Reposition sogleich eine anatomische Stellung der Knochenbruchenden angestrebt (12).

Durch ausreichende Kompression der Fraktur nach anatomischer Reposition können Osteone von einem Frakturfragment zum anderen, den Frakturspalt überbrücken (12). Sollte diese Voraussetzung nicht gewährleistet sein, z.B. durch Lockerung oder durch zu locker angezogenes Material und somit Raum zwischen Knochen und Implantat entstehen, kann es zu einer Instabilität, bedingt durch Resorptionsvorgänge, kommen, die zunächst eine übermäßige Bindegewebsbildung und infolgedessen eine übermäßigen Kallusbildung initiieren.

Zusammengefasst entspricht die Frakturheilung einer Boosterreaktion der im Rahmen des normalen physiologischen Knochenumbaus im Laufe der Lebensjahre stattfindenden physiologischen Abläufe, getriggert durch ein sogenanntes „regionales akzeleratorisches Phänomen (RAD)“.

5.3 Extremitätenfrakturen

5.3.1 Epidemiologie

Frakturen der distalen Extremitätengelenke stellen, nach aktuellem Stand, die häufigsten Frakturen im Erwachsenenalter dar. An der oberen Extremität ist dies die distale Radiusfraktur (DRF) mit einer Inzidenz von 79 bis 368/100.000 Einwohner (13) und an der unteren Extremität sind dies Frakturen des oberen Sprunggelenkes mit einer Inzidenz von ca. 174/100.000 Einwohner (14). Bei den DRF wird ein biphasisches Auftreten der Fraktur mit einem Geschlechterverhältnis von m:w von 1:1,5 beobachtet. Während Frakturen des oberen Sprunggelenkes meist durch ein Supinationstrauma insbesondere beim Sport auftreten und damit tendenziell jüngere Menschen betreffen, tritt die DRF häufiger durch Bagateltraumata im höheren Alter auf, da hier von einer verminderten Knochendichte durch degenerativen und osteoporotischen Umbau ausgegangen wird (15). Das Geschlechterverhältnis verändert sich dadurch in der zweiten Lebensdekade auf ein Verhältnis m:w von 1:6,2 (16).

Durch den Unfallmechanismus und das steigende Populationsalter ist zukünftig ein weiterer deutlicher Anstieg der Fraktorentität zu erwarten und damit verbunden auch ein immenser Anstieg der Behandlungskosten für Extremitätenfrakturen (17), die somit auch einen großen gesundheitsökonomischen Aspekt in der Medizin haben.

Eine Kostenaufstellung aus dem Jahr 2007 aus den USA zeigte, dass die Behandlungskosten bei etwas weniger als 2000\$ pro Patient liegen, therapieunabhängig und mit steigender Tendenz (18).

Die Behandlung von Frakturen ist langwierig und bedarf einer guten und kompletten Rekonvaleszenz, um langfristige Folgen und Konsequenzen zu minimieren. Eine große Rolle spielt dabei die schnelle und vollumfängliche Wiedererlangung der Funktionalität, um so auch das psychosoziale Gleichgewicht wiederherzustellen.

5.3.2 Distale Radiusfraktur (DRF)

Anatomie der beteiligten Knochen des Handgelenkes

Das distale Handgelenk wird proximal aus den Knochen der Ulna und dem Radius und distal aus den Knochen der ersten Handwurzelreihe gebildet. Der Radius und die Ulna sind durch eine Membrana interossea miteinander verbunden, die die Beweglichkeit festlegt und gewährleistet, dass bei der Supinations- und Pronationsbewegung beide Knochen umeinander rotieren können. Der distale Part des Handgelenkes wird durch die erste Reihe der Handwurzelknochen mit dem Os scaphoideum, dem Os lunatum und dem Os triquetrum (Kahnbein, Mondbein und Dreieckbein) gebildet. Durch ein Zusammenspiel aller Strukturen der Hand können fein- und grobmotorische Aufgaben erfüllt werden.

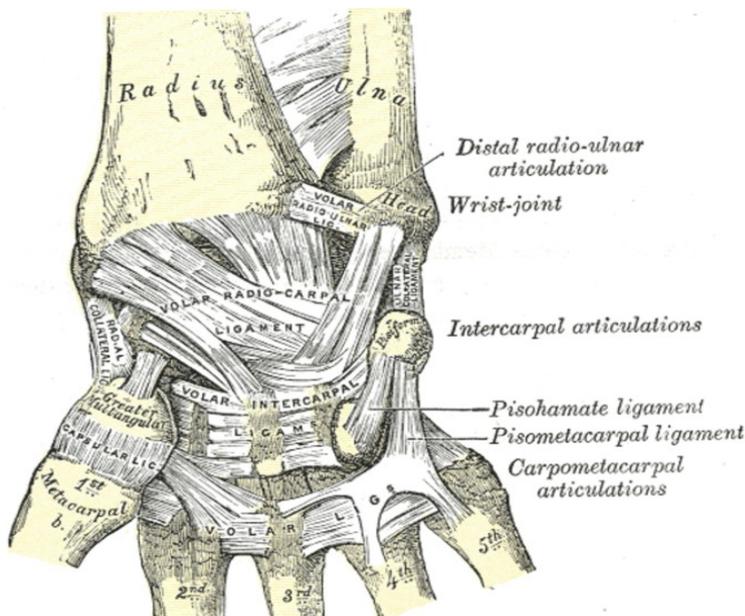


Abbildung 3: Knöcherne und ligamentäre Strukturen des distalen Handgelenkes (19)

Bandstrukturen des Handgelenkes

Die Stabilisation und Funktionen des distalen radioulnaren Gelenkes (DRUG) werden durch den triquetralen fibrokarilaginären Komplex (TFCC) gewährleistet. Dieser setzt sich aus Disci, sowie aus palmaren und radioulnaren Ligamenten zusammen, welche die Gelenkflächen miteinander verbinden und durch konzentrische und exzentrische Ansätze an den Unterarmknochen eine Rotationsbewegung ermöglichen (Abb. 3). Die palmaren Bänder sind dabei stärker und bedeutsamer, da sie aufgrund der anatomisch schräg verlaufenden Gelenkfläche des DRUG unter eine höhere Belastung geraten und somit eine größere Stabilität aufweisen müssen (20)(21). Fächerförmig stabilisierende Bandstrukturen strahlen zwischen den einzelnen Handwurzelknochen und Radius bzw. Ulna aus.

Muskulatur des Handgelenkes

In der Regio antebrachialis anterior bilden die Flexoren mit einer oberflächlichen und einer tiefen Schicht die Hauptmuskelgruppe und ermöglichen eine Vielzahl von Bewegungen. Dazu werden auch der M. pronator quadratus und der M. pronator teres gezählt, die für die Rotationsbewegung im distalen Handgelenk verantwortlich sind (22).

Neurovaskuläre Strukturen des Handgelenkes

Die nervale Versorgung der Hand erfolgt durch drei Hauptnerven, den N. medianus, den N. radialis und den N. ulnaris. Die vaskuläre Versorgung erfolgt hauptsächlich über zwei Hauptarterien, die A. ulnaris und die A. radialis.

Im Bereich des distalen Radius verläuft der N. medianus im sogenannten Karpaltunnel zusammen mit zwei der sechs palmaren Sehnenscheiden der Hand- und Fingerflexoren. Das Retinaculum musculorum flexorum dient dem Karpaltunnel als Dach. Oberflächliche und tief verlaufende Äste des Nervus radialis nehmen insbesondere entlang des Radius ihren Verlauf nach distal (23).

Biomechanik des Handgelenkes

Für das bessere Verständnis der Bedeutung der Biomechanik des Handgelenkes wird oft das „Drei-Säulen-Modell“ von Rikli et al. (2003) zitiert (24)(25). Dieses Modell teilt das distale Handgelenk in drei Säulen ein, die ulnare Säule mit TFCC und Discus

ulnocarpalis, die radiale Säule mit Processus styloideus und Fossa scaphoidea und die intermediäre Säule mit der Fossa lunata und den radialen Teil des DRUG. Für die chirurgische Herangehensweise ist die intermediäre Säule die entscheidende Säule; sie ist zusammen mit dem TFCC hauptverantwortlich für die Kraftübermittlung von Ulna und Radius auf die erste Handwurzelreihe (26). Während der laterale ulnare Teil die starre Achse darstellt, hat der Radius in dieser Konstellation eine stabilisierende Funktion (27).

Zu den Bewegungen, die mit dem Handgelenk möglich sind, zählen Dreh- und Flächenbewegungen (Palmarflexion von 70° , Dorsalflexion von $60-90^\circ$), Randbewegungen (Abduktion von 20° nach radial und von 40° nach ulnar) und kreisende Bewegungen. All diese Bewegungen erfolgen unter Miteinbeziehung des Schulter- und Ellenbogengelenkes oder aus einer Kombination von Bewegungen.

Zwischen Radius und Ulna besteht ein physiologischer Neigungswinkel des Radius nach sagittal von bis zu 20° und nach palmar von bis zu 15° . Hierdurch werden die Bewegungen der Palmarflexion und Ulnarabuktion eingeschränkt. Zwischen Radius und Ulna besteht eine Ulnarinklination mit einem radioulnaren Winkel von 25° und eine Palmarinklination mit einem Winkel von $10-15^\circ$. Das Wiedererlangen der physiologischen Stellung ist bei einer Fraktur von großer Bedeutung.

5.3.3 Obere Sprunggelenks-Frakturen (OSG-Frakturen)

Anatomie der beteiligten Knochen des oberen Sprunggelenkes

Das obere Sprunggelenk (OSG) wird aus den distalen Ausläufern der Tibia mit dem Malleolus medialis, der Fibula mit dem Malleolus lateralis, sowie dem Talus gebildet. Der Talus bildet dabei das Zwischenglied und stellt den Übertragungsknochen zwischen den stabilen Röhrenknochen des Unterschenkels und den kleineren und beweglicheren Fußwurzelknochen dar. Er besitzt keine eigene Muskelaktivierung und überträgt alle Kräfte und Beanspruchungen, die während der physiologischen Abrollbewegung auf das Talokruralgelenk ausgeübt werden. Der Talus ist ventral circa 5 mm breiter als dorsal, wodurch es unter Bewegung zu einem Auseinandergleiten der beiden Unterschenkelknochen und somit zu einer Zugbelastung der Syndesmosis tibiofibulare kommt.

Die Gelenkflächen des oberen Sprunggelenkes werden aus drei Untergelenken gebildet, der Art. tibiofibulare superior, der Art. tibiofibulare inferior, auch bekannt als die tibiofibulare Syndesmose und der Membrana interossea (Abb. 4) (28).

Die Fibula ist anatomisch länger als die Tibia und ragt somit mit ihrer Facies articularis malleoli fibulae weiter nach distal und sorgt für eine bessere Knochenführung auf der lateralen Seite des OSG und dient damit der „Schienung“ des OSG. Aufgrund dieser anatomischen Besonderheit kommt es häufiger zu Supinationstraumata (29)(30).

Die Schienbein-Wadenbein-Gabel, deren Gelenkfläche nicht komplett horizontal verläuft, ist um 10° nach lateral und nach laterodistal geneigt. Der Schienbeinpeiler ist distal ventralseitig um 10-15° abgewinkelt. Die distale Tibia besitzt dabei ventralseitig eine dreieckige Form, die sich nach dorsal zu einer viereckigen Form entwickelt. So kommt es, dass der tibiale Hinterrand distaler verläuft als der tibiale Vorderrand und sich somit der sogenannten III. Malleolus bildet und als Volkmann Dreieck (nach dem deutschen Chirurgen Richard von Volkmann 1830-1889) bezeichnet wird.

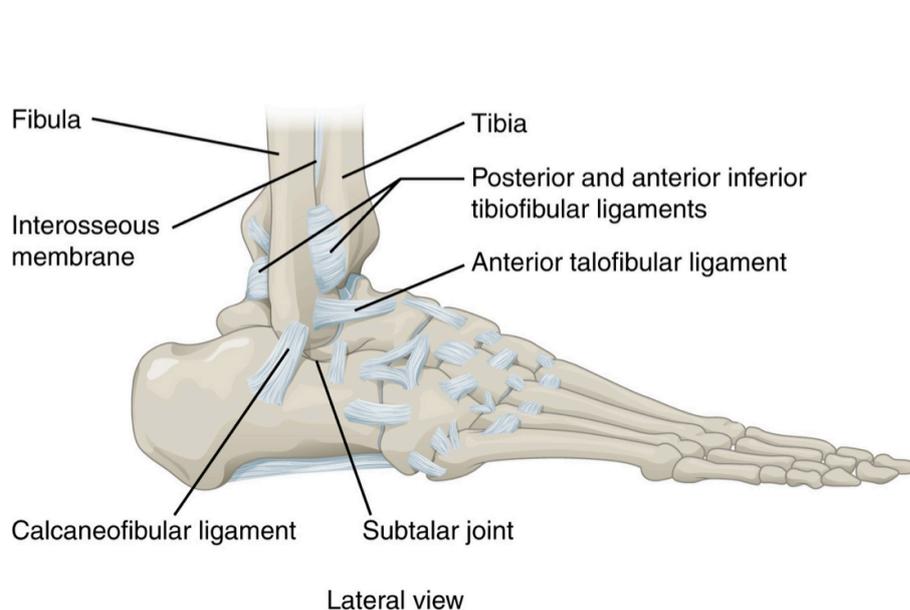


Abbildung 4: Knöcherne und ligamentäre Strukturen des Fußes (31)

Bandstrukturen des oberen Sprunggelenkes

Zwischen der Tibia und der Fibula spannt sich fächerförmig die Membrana interossea auf und verhindert bei Abrollbewegungen ein Auseinanderklaffen beider Knochen. Zusätzlich zur Syndesmose stabilisieren und stützen mediale und laterale Kollateralbänder das

OSG. Das Ligamentum deltoideum spreizt sich dabei fächerförmig vom Innenknöchel zum Talus auf und bildet eine mediale Stabilität. Die laterale Stabilität wird durch die tibiofibularen Bänder gebildet, welche die Bewegung des Außenknöchels und der Syndesmose einschränken und dadurch eine Annäherung der beiden Unterschenkelknochen verhindern (Abb. 4) (22).

Muskulatur des oberen Sprunggelenkes

Die Beweglichkeit des Sprunggelenkes ist eine komplexe Verschaltung der ischiokruralen Muskulatur und der Muskulatur des Unterschenkels. Dabei haben die Muskeln ihren Ansatz nicht direkt am oberen Sprunggelenk, sondern ziehen in den Sulci bis zu den Fußwurzelknochen bzw. Zehen und setzen dort an (28). Im Bereich des Malleolus lateralis verlaufen die Sehnen des M. peroneus brevis et longus. Im Bereich des Malleolus medialis verlaufen die Sehnen des M. tibialis posterior, des M. flexor digitorum longus und des M. flexor hallucis longus.

Neurovaskuläre Strukturen des oberen Sprunggelenkes

Die arterielle Gefäßversorgung des Sprunggelenkes erfolgt aus den Aa. tibiales anterior et posterior, sowie aus Endästen der A. fibularis. Um die beiden Malleoli verlaufen parallel zueinander die Nerven und Venen. Die nervale Versorgung stammt aus dem N. peroneus und dem N. tibialis. Die V. saphena parva und die V. saphena magna sind für den venösen Abfluss zuständig (28).

Biomechanik des oberen Sprunggelenkes

Die Fortbewegung des Körpers im Raum ist ein komplexes Zusammenspiel aller anatomischen Strukturen und findet erst in der letzten Instanz im Sprunggelenk statt. Eingeleitet wird die Bewegung durch Aktivierung der ischiokruralen Muskulatur mit letztlich abschließender Supination oder Pronation im Sprunggelenk, um das Gelenk im Raum zu stabilisieren und somit den Körper in Bewegung zu setzen (32).

Beim Gehen werden abwechselnd der dorsomediale Talusrand und der ventrolaterale Rand belastet. Insgesamt sind bei Bewegungsabläufen immer ein Teil der Bandstrukturen angespannt und ein Teil erschlafft, um so eine sichere Gelenkführung zu gewährleisten.

Das Sprunggelenk ist ein Scharniergelenk, wodurch eine Dorsalextension und eine Plantarflexion möglich sind. Das Talokruralgelenk bietet ein Gesamtbewegungsausmaß von circa 70°. Die Dorsalextension beträgt 20° bis 30°, während die Plantarflexion zwischen 40° und 50° beträgt (29).

5.3.4 Diagnostik, Frakturklassifikation und Standardtherapie der DRF und OSG-Fraktur

Klinische Diagnostik

Bei der klinischen Untersuchung sowohl des Handgelenkes als auch des Sprunggelenkes erfolgt zunächst nach Anamneseerhebung und Erfragen des Unfallmechanismus, die Inspektion einer möglichen Fehlstellung. Anschließend werden die Gelenke unter Schmerzaspekten und in passiver Beweglichkeit untersucht. Hierbei wird nach Krepitation und Stufenbildung geschaut. Ein Kompressionsdruck an der Hand in der Tabatière und von ventral über der Syndesmose am Sprunggelenk bieten weiteren Anhalt des Verletzungsausmaßes. Des Weiteren müssen schmerzunabhängig Begleitfrakturen der angrenzenden Knochen in Erwägung gezogen werden. Auch frakturbegleitende Instabilitäten durch Verletzungen des Bandapparates müssen untersucht und weiter abgeklärt werden.

Apparative Diagnostik

Zur Diagnostik einer Fraktur gelten neben den klinischen Zeichen wie Krepitation, Schmerz und Schwellung auch und vor allem zur Ausmaßbestimmung und Klassifizierung einer Fraktur und folglich zur weiteren Therapiebestimmung eine Röntgenaufnahme in zwei Ebenen des Hand- bzw. Sprunggelenkes, sowie zusätzlich je nach Unfallmechanismus und Klinik auch eine Aufnahme des kompletten Unterarmes bzw. des Unterschenkels zum Ausschluss etwaiger Mitverletzungen. Bei unzureichender Beurteilbarkeit des Röntgenbildes hinsichtlich der Fraktur, sollte außerdem eine Computertomographie der Extremität erfolgen. Dadurch kann die Indikation zur Operation und somit die einwandfreie Wiederherstellung der anatomischen Lage für ein optimales Outcome der späteren kompletten Funktionswiederherstellung gestellt werden.

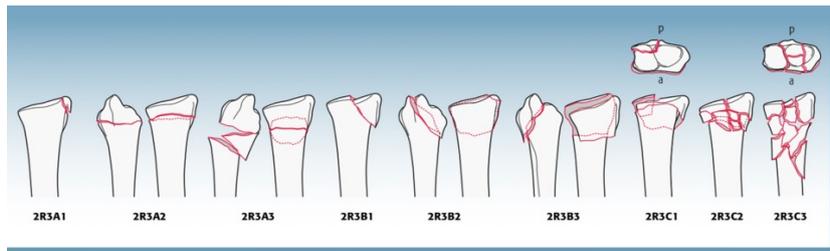
Klassifikation der Extremitätenfrakturen

Zur einheitlichen Beschreibung von Frakturen wurden im Laufe der Jahre viele unterschiedliche Frakturklassifikationen entwickelt. So existieren historische Einteilungen für die distale Radiusfraktur nach Barton, Colles, Smith und Frykman.

Auch bei den Frakturen der unteren Extremitäten existieren mehrere Klassifikationen. Hier sind insbesondere die Einteilungen nach Danis-Weber, Lauge-Hansen und nach der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) zu nennen. Die Klassifikation nach Lauge-Hansen orientiert sich dabei am Verletzungsmechanismus. Es wird hier zwischen der Supinations-Abduktionsverletzung, der Supinations-Eversionsverletzung, der Pronations-Abduktionsverletzung und der Pronations-Eversionsverletzung unterschieden (33).

Bei den Frakturen des oberen Sprunggelenkes hat sich die Einteilung nach Weber etabliert, die ursprünglich (1949) von Danis entwickelt und von Weber (1966) und der AO (Müller, Nazarian, Koch, Schatzker 1990) modifiziert worden ist. Als Lokalisationskriterium wird bei dieser Einteilung die Syndesmose verwendet. Die Kategorisierung erfolgt in Weber A, Weber B und Weber C, entsprechend der Frakturhöhe in Bezug auf die Syndesmose von distal nach proximal (Abb. 6) (34).

Insgesamt hat sich heutzutage für alle skelettalen Frakturen die Einteilung der AO (Abb. 5), die 1958 in der Schweiz gegründet und bis 1991 weiterentwickelt und verifiziert wurde (Heim 2012), durchgesetzt. Sie ist die weltweit führende Organisation auf dem Gebiet der Osteosynthesefragen und teilt die Frakturen in rein extraartikuläre, partiell artikuläre und intraartikuläre Frakturen ein. Dabei werden alle Frakturen der langen Röhrenknochen mit Ziffern und Buchstaben betitelt. Die erste Ziffer steht für den frakturierten Knochen (1= Humerus, 2R= Radius, 2U= Ulna, 3= Femur, 4= Tibia, 4F= Fibula) (35). An zweiter Stelle folgt die Frakturlokalisierung mittels Ziffer (1= proximales Segment, 2= diaphysäres Segment, 3= distales Segment). Daran schließt sich ein Buchstabencode für die Einordnung der Fraktur zum Gelenk an (A= extrartikulär, B= partiell artikulär, C= intraartikulär). An letzter Stelle erfolgt die Klassifizierung des Schweregrades der Fraktur mit einer Abstufung von leicht 1 bis schwer 3 (35).



2R3 Distal end segment

2R3A Extraarticular

- 2R3A1 Radial styloid avulsion
- 2R3A2 Simple
- 2R3A3 Wedge or multifragmentary

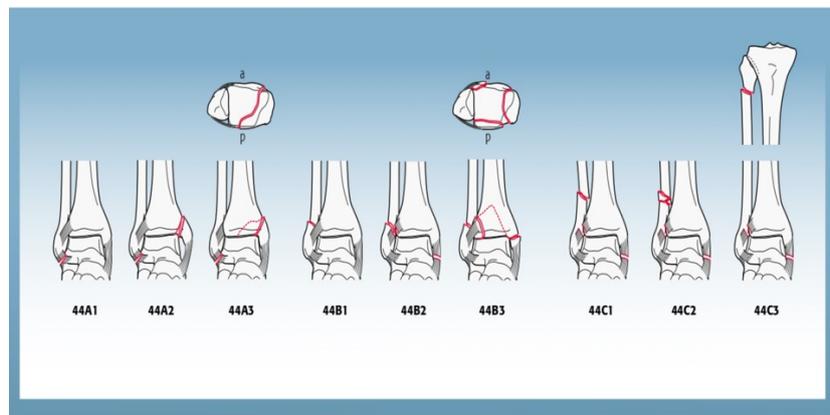
2R3B Partial articular

- 2R3B1 Sagittal
- 2R3B2 Dorsal rim (Barton's)
- 2R3B3 Volar rim (reverse Barton's, Goyrand-Smith's II)

2R3C Complete articular

- 2R3C1 Simple articular and metaphyseal
- 2R3C2 Multifragmentary metaphyseal
- 2R3C3 Multifragmentary articular, simple or multifragmentary metaphyseal

Abbildung 5: Radiusfrakturen nach AO-Klassifikation(36)



Malleolar segment

44A Infrasyndesmotic fibula injury

- 44A1 Isolated fibula injury
- 44A2 With medial malleolar fracture
- 44A3 With posteromedial fracture

44B Transsyndesmotic fibula fracture

- 44B1 Simple fibula fracture
- 44B2 With medial injury
- 44B3 With medial injury and fracture of the posterolateral rim (Volkman's fragment)

44C Suprasyndesmotic fibula fracture

- 44C1 Simple diaphyseal fibula fracture
- 44C2 Wedge or multifragmentary diaphyseal fibula fracture
- 44C3 Proximal fibula injury

Abbildung 6: AO-Klassifikation der Malleolarfrakturen (36)

Therapie

Ziel einer operativen Therapie von Frakturen, insbesondere bei Vorliegen einer Gelenkbeteiligung oder Dislokation ist die vollständige Wiederherstellung der anatomischen Stellung, um damit eine gute Ausgangslage für eine erneute möglichst freie Gelenkfunktion und damit wiederum für eine gute Funktionalität zu schaffen. Als Indikatoren für die Wahl einer operativen Therapie spielen viele Faktoren eine Rolle, insbesondere die Lokalisation und Morphologie der Fraktur und der Knochen samt der vorliegenden Weichteilsituation, aber auch patientenspezifische Faktoren wie Alter, Vorerkrankungen und Begleitverletzungen. Des Weiteren sind eine Stufenbildung der Gelenkflächen, eine Instabilität und wesentliche ligamentäre und andere Begleitverletzungen oder ein drohender vorzeitiger Verschleiß des Gelenkes mit Arthrosebildung eine Indikation für eine operative Therapie. Sollte konservativ keine ausreichende Reposition erreicht werden können, sollte auch hier eine operative Therapie in Erwägung gezogen werden (24)(37)(38).

Früh erkannte man, dass mit einer Osteosynthese der Fraktur eine frühere Mobilisation möglich ist und somit eine Gelenksteife vorgebeugt werden kann. Ist die Entscheidung zur operativen Therapie gefallen, kann der Operateur heutzutage aus einer Vielzahl von Operationstechniken und Implantaten wählen. Bis heute ist die Art der Versorgung bei Radius- und OSG- Frakturen sehr inkongruent und hat dadurch einen großen Einfluss auf das Nachbehandlungsschema. Es existieren sogar lediglich Erfahrungsberichte und Empfehlungen, aber kein starrer Vorgehens-Algorithmus. Im Laufe der Zeit wurden verschiedenste Osteosyntheseverfahren, wie der Fixateur externe oder die Cerclage bis hin zur interfragmentären Kompression mittels Schrauben und dynamischen Kontaktplatten (DCP) entwickelt (39). Zur intraoperativen Unterstützung beispielsweise einer korrekten Plattenlage oder auch alleinigen Osteosynthese können auch Kirschner Drähte eingesetzt werden.

Komplexe oder offene Frakturen mit ausgedehntem Weichteilschaden werden mittels Fixateur externe temporär bis zur Weichteilkonsolidierung extern fixiert und stabilisiert (40). Biomechanisch wird dadurch eine gleichbedeutende Stabilität, ähnlich die einer Platte erzielt (35). Eine frühfunktionelle Behandlung ist damit jedoch nicht möglich und schafft lediglich eine gute Ausgangssituation für die weitere Ausversorgung.

Isolierte Frakturen oder Frakturen niedrigerer Klassifikation ohne Dislokation können mittels Kirschner-Draht- oder Schraubenosteosynthese versorgt werden (24). Schraubenosteosynthesen können sowohl isoliert als auch ergänzend zu einer Plattenosteosynthese verwendet werden.

Bei der Wahl der operativen Therapie hat sich heutzutage die offene Reposition und interne Fixierung durch winkelstabile Schrauben- und Plattenosteosyntheseverfahren aus Titan etabliert (17)(41). In den Anfängen dieser Methode etablierten sich dynamische Kontaktplatten, die sich im Laufe der Jahre zu sogenannten „low contact dynamic compression“ Platten weiterentwickelt haben (42). Hierbei wird eine Kompression auf den Frakturspalt ausgeübt, um so eine Stabilität der Fraktur zu erzielen (43). Dieses Verfahren findet die häufigste Anwendung bei partiell artikulären und intraartikulären, oder bei instabilen und dislozierten Frakturen. Es setzt jedoch eine Exposition der Fraktur mit entsprechender Weichteilmobilisation voraus (25). Hierdurch ist eine frühe passive physiotherapeutische Beübung möglich.

Bei einer distalen Radiusfraktur erfolgt diese Methode entweder von volar oder dorsal. Es finden hierbei T-Platten oder 2-Column-Platten Anwendung (44). Bei OSG-Frakturen werden in der Regel Drittelrohrplatten verwendet (45).

Nachteile sind die mögliche intraartikuläre Schraubenlage, das Risiko eines Karpaltunnelsyndroms, Irritation des N. medianus mit Hyp- oder Dysästhesien und Irritation der Strecksehnen bis hin zu Sehnenrupturen (45)(44)(24).

Begleitverletzungen

Typische Begleitverletzungen bei Extremitätenfrakturen sind ligamentäre oder ossäre Begleitverletzungen, welche insbesondere langfristig Funktionseinschränkungen und Instabilitätsgefühle verursachen, außerdem besteht ein erhöhtes Risiko arthrotischer Veränderungen (46). Aufgrund dessen gilt es auch immer auf die Membrana interossea bzw. Syndesmose zu achten (47).

Bei handgelenksnahen Frakturen ist insbesondere auf skapholunäre Verletzungen oder Verletzung des TFCC zu achten. Eine Statistik die im Jahre 2006 veröffentlicht wurde, beschrieb in 63% der Fälle bei einer distalen Radiusfraktur auch eine Verletzung des TFCC (24). Während sich die Literatur nicht gänzlich einheitlich zeigt, sehen manche Autoren in der Fraktur des Processus styloideus ulnae eine bedeutsame Funktion als Ursprungsort vieler ligamentärer und kartilaginärer Strukturen, wie z.B. dem DRUG, während andere Autoren dieser Fraktur keine Bedeutung, hinsichtlich einer möglichen Funktionseinschränkung des Handgelenkes, beimessen (48).

An Komplikationen sind bei allen Frakturentitäten die sekundäre Dislokation von Knochenfragmenten oder Malokkondierung (49)(50), sowie allgemein das Auftreten von Wundinfekten zu nennen.

5.3.5 Frakturheilung und Schmerztherapie bei Extremitätenfrakturen

5.3.5.1 Frakturheilung im klinischen Alltag

Wie lässt sich nun die Frakturheilung im klinischen Alltag definieren und welche Bedeutung hat dies für den klinischen Alltag? Um klinisch die Frakturheilung zu quantifizieren, haben sich regelmäßige radiologische Kontrollen etabliert. Während anfangs sehr engmaschige radiologische Kontrollen nach den ersten Tagen und innerhalb der ersten beiden Wochen jeweils nach Frakturereignis durchgeführt wurden,

zeigten Weil et al. in ihrer Studie von 2015 auf, dass Röntgenkontrollen nach 2 Wochen weder kosteneffizient, noch notwendig für den Patienten sind, so dass die Frequenz der radiologischen Kontrollen auf einen längeren Zeitraum von 4 bis 6 Wochen angepasst wurden (51). Zeigt sich nach insgesamt 6 Wochen nach Frakturereignis in der konventionell radiologischen Kontrolle kein Frakturspalt mehr, spricht man von einer konsolidierten Fraktur (52).

Für eine physiologische Frakturheilung spielen lokale Faktoren wie die Morphologie der Fraktur, der Grad der Weichteilschädigung, die zu erzielende korrekte Fragmentstellung und auch der Knochentyp, sowie eine unzureichende Reposition und Ruhigstellung, eine große Rolle. Nebst diesen Einflussfaktoren konnte bereits gezeigt werden, dass auch patientenbezogene und systemische Einflussfaktoren eine große Rolle spielen (53). Dies stellen nach der aktuellen Literatur das Patientenalter, Komorbiditäten wie Vorerkrankungen und Dauermedikation, insbesondere das Vorhandensein einer Knochenpathologie im Sinne von systemischen Erkrankungen wie Osteoporose oder Morbus Paget oder eine Immunsuppression durch Infektionskrankheiten oder Medikation, dar. Auch das Auftreten einer Infektion mit und ohne Keimnachweis oder eines Komplexen regionalen Schmerzsyndroms haben mitunter einen großen Einfluss auf die Frakturheilung (54) (Abb. 7).

Wie Garcia et al. in einer tierexperimentellen Studie von 2013 zeigen konnten, kommt es durch eine Mangel durchblutung, jeglicher Genese, zu einem erhöhten Risiko einer schlechten Frakturheilung mit Ausbildung von Pseudarthrosen (58). Ebenso konnte bei Rauchern eine verminderte Knochenheilung nachgewiesen werden (55)(56). Auch dem Einsatz von knochenheilungsstimulierenden Prinzipien, wie z.B. physikalische Medizin oder Stoßwellentherapie konnte kein eindeutiger Nutzen zugeschrieben werden (8)(57).

lokal	systemisch
Frakturmorphologie	Alter
Weichteilschaden	Geschlecht
Periostschaden	Medikamente
Frakturhämatom	Lebensstil (Ernährung, Rauchen, Alkohol)
Bestrahlung	Begleiterkrankungen
Infektion	
Knochennekrose	

Abbildung 7: Biologische Einflussfaktoren der Frakturheilung (58)

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass Vitalität des Knochens, Fragmentstellung und Stabilität, die drei Grundvoraussetzungen der Knochenbruchheilung sind, diese aber wiederum stark von patientenbezogenen Faktoren abhängig sind (8) (Abb. 8).



Abbildung 8: Das 3-Stufen-Konzept der Frakturheilung (53)

5.3.5.2 Schmerztherapie bei Extremitätenfrakturen

Bei der Frakturversorgung insbesondere an den Extremitäten gilt das allgemeine Prinzip der Reposition- Retention- Rehabilitation. Die initiale Therapie besteht, wenn notwendig, darin die anatomische Stellung durch eine mechanische Korrektur wieder zu erlangen. Ist eine anatomische Stellung wieder hergestellt, sollte umgehend die Fixierung und Ruhigstellung erfolgen.

Zur Unterstützung der mechanischen Behandlung und somit des Heilungsprozesses von Frakturen, hat sich im klinischen Alltag eine unterstützende orale, subkutane oder parenterale Analgesie nach dem WHO-Stufenschema mit NSAID und Protonenpumpeninhibitoren als Basismedikation und schwach bis stark wirksamen Opioiden als Eskalationstherapie bewährt (Abb. 10). Konkret stellt dies drei unterschiedliche Schmerzschema nach dem WHO-Stufenschema dar (59) (Abb. 9).

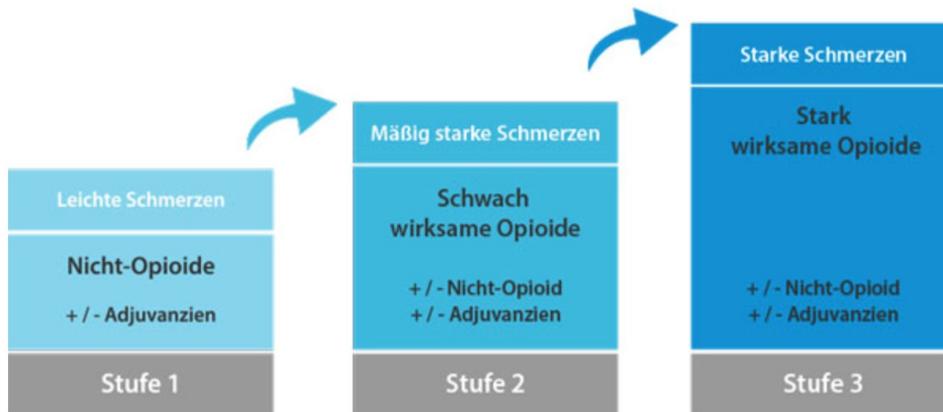


Abbildung 9: WHO-Stufenschema zur Schmerztherapie (59)



Abbildung 10: Ansatzorte der Schmerztherapie (60)

Ob zusätzlich zur mechanischen und oralen Schmerztherapie auch unterstützende Maßnahmen durch physikalische Medizin, wie z.B. Wärme- oder Kryotherapie einen Einfluss auf die Frakturheilung haben, ist bis heute noch nicht endgültig beweisbar, allerdings konnte gezeigt werden, dass Stoßwellen- und Ultraschalltherapie insbesondere bei der Behandlung von „delayed union fractures“ eine Verbesserung des Heilungsprozesses erbringen (61). Aber auch die Art der verwendeten Orthese und des anschließenden getragenen Schuhwerkes haben einen Einfluss auf das postoperative Schmerzverhalten wie Keene et al. in ihrer Studie zeigten (62). Diese Maßnahmen können jedoch frühestens nach Wundheilung begonnen werden. Inwiefern solche Maßnahmen unterstützende osteogene Eigenschaften haben oder gar als präventive

Maßnahmen hinsichtlich eines CRPS helfen können, ist bis heute noch nicht ausreichend erforscht.

5.3.5.3 Schmerzevaluation im klinischen Alltag (Evaluationsmethoden der Schmerzen)

Das Schmerzempfinden ist eine subjektive Momentaufnahme des Betroffenen, die sich durch eine individuelle Schmerztoleranz und das sich hieraus gebildete Schmerzgedächtnis formt und nicht objektiviert oder von außen nachempfunden werden kann. Zur Erfassung dieser subjektiven und individuell unterschiedlichen Wahrnehmung wurden im Laufe der Jahre viele verschiedene Messinstrumente entwickelt (63). Aus der Psychologie sind Fragebögen zur Erhebung und Dokumentation von Gesundheitszuständen bereits längstens bekannt und etabliert. Auch in der Medizin gewinnt diese Methode zur Bewertung von Interventionen immer mehr an Bedeutung. Die gesundheitsbezogene Lebensqualität von Patienten in der Nachsorge und Rehabilitation nach Krankenhausaufenthalt wird ein zunehmend an Wichtigkeit gewinnender Ergebnisparameter.

Spezifische, auf die jeweiligen Extremitätenverletzungen und der damit verbundenen Funktionseinschränkung abgestimmte Scores sind z.B. der DASH (Disabilities of Arm, Shoulder and Hand) Score für Schulter und Handverletzungen, der 1996 entwickelt wurde. Er detektiert Funktionsstörungen der oberen Extremitäten, ohne dabei auf einzelne Extremitäten oder Gelenke gezielt einzugehen. Der Patient wird hierbei zu allgemeinen Funktionen befragt (64)(65).

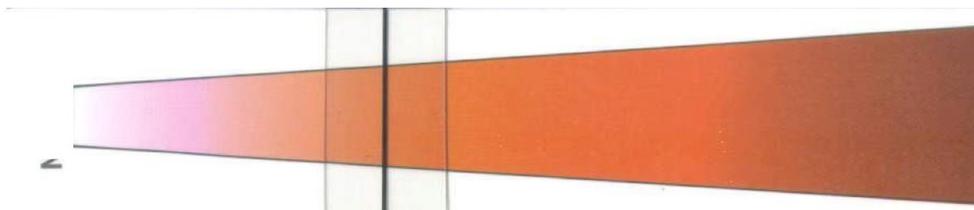
Ein lang verwendeter Score bei Frakturen des oberen Sprunggelenkes ist der Aktivitätsscore nach Olerud und Molander. Hier werden die Probanden*innen nach ihrem subjektiven Schmerzempfinden während Alltagstätigkeiten wie Rennen, Hüpfen und Treppensteigen befragt und mit einem Score von 0-5 bewertet. Die Gesamtsumme der Punkte bietet hier eine Einschätzung in der Einschränkung bei Alltagssituationen (66).

Ein anderer Score, welcher international am häufigsten Anwendung findet, ist der American Orthopaedics Foot and Ankle Score (AOFAS). Er besteht aus einem subjektiven Fragenteil, welcher durch den/die Proband*in beantwortet wird, und einen

medizinisch objektiven Teil, welcher durch den/die Arzt*in ausgefüllt wird. Er lässt damit eine objektivere Aussage über den Gesundheitszustand des/r Proband*in zu (67)(49).

Der am weitesten verbreitete und am verständlichste Score, um das subjektive Schmerzempfinden zu detektieren, stellt die sogenannte Visuelle Analogskala (VAS) dar, die leicht verständlich und reproduzierbar ist und somit in vielen verschiedenen Situationen Anwendung findet. Sie wurde bereits früh im Jahre 1984 von S.L. Wallerstein entwickelt und ermöglicht ohne Hilfsmittel das subjektive Schmerzempfinden zu detektieren (Abb. 11) (49).

Die VAS ist eine 10 cm lange Linie mit einem Anfangspunkt ganz links, der keinen vorhandenen Schmerz bedeutet und der Endpunkt ganz rechts, welcher dem schlimmsten vorstellbaren Schmerz entspricht. Dazwischen bestehen keine weiteren Markierungen oder Maßeinheiten. Mit einer Schieberregelung können die Patienten*innen die subjektiv empfundenen Schmerzen einstellen. Auf der jeweiligen Rückseite, die dem/der Patienten*in nicht zugewandt und einsehbar ist, befindet sich eine millimetergetreue Skalierung von 0 bis 10, die den eingestellten Wert auf der Vorderseite durch einen zugeordneten Wert auf der Skala ablesbar macht. Hierbei ist zu erwähnen, dass auf der Rückseite die Skalierung entsprechend in absteigender Darstellung von links nach rechts, als Pendant zur Vorderseite, dargestellt ist. In dieser Art existieren mittlerweile viele verschiedene Ausführungen. So gibt es z.B. auch Modelle, bei denen verschiedene Smileys nebeneinander aufgeführt sind, die das Schmerzempfinden in der Mimik widerspiegeln. Diese werden, aufgrund der besseren Verständigung, gerne bei Kindern eingesetzt (Abb. 12).



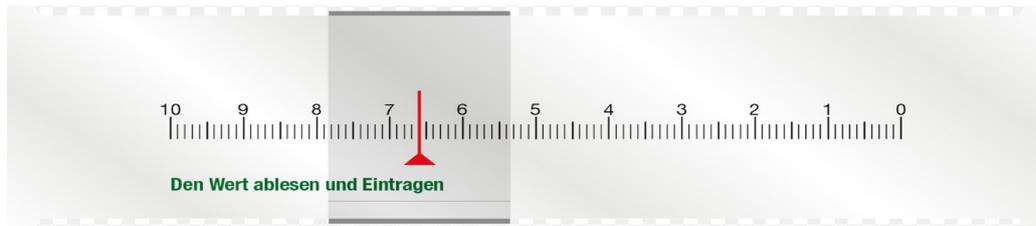


Abbildung 11: Die Visuelle Schmerzskala (VAS) (50)

Nebst der VAS ist die sogenannte Numerische Ratingskala (NRS) ebenso gebräuchlich und findet großen Einsatz. Die NRS funktioniert nach demselben Prinzip, einzige Änderung ist hier, dass die Linie, die dem/der Patienten*in zugewandt ist, von 0 bis 10 in 1cm Abständen skaliert ist und die Patienten*innen ihr Schmerzempfinden direkt mit einem Wert angeben. Auch hier entspricht 0 kein Schmerz und 10 entspricht den schlimmsten vorstellbaren Schmerzen (Abb.13).

Die „Initiative on Methods, Measurement and Pain Assessment in Clinical Trials“ (IMMPACT) empfiehlt aktuell die Verwendung der NRS (41).

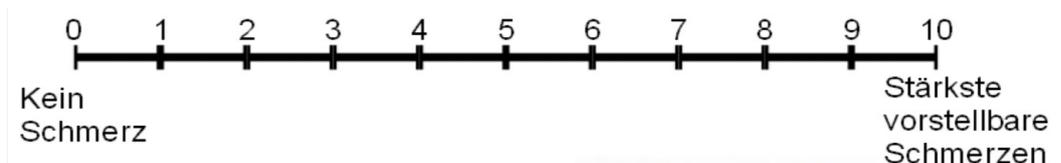


Abbildung 12: Die Numerische Schmerzskala (68)

Neben der rein subjektiven Schmerzevaluation sollte auch ein objektives Messinstrument hinzugezogen werden, um eine bessere Aussage des empfundenen Schmerzempfindens zu erhalten.

Hierfür wurde der krankheitsübergreifende generische Fragebogen SF-36 Gesundheitsfragebogen entwickelt, welcher die Erhebung des Gesundheitszustandes und des Einschränkunggrades im alltäglichen Leben des/r Proband*innen evaluiert (69)(70). Dieser Fragebogen findet allgemein und insbesondere bei klinischen Studien Anwendung und wurde in den USA für eine Versicherungsgesellschaft entwickelt, die die Gesundheit der Patienten/innen damit objektivieren und operationalisieren wollte.

Ausgangslage hierfür war die Medical Outcome Study (MOS) aus den sechziger Jahren (69). Die ursprüngliche Fragensammlung beinhaltete 149 Fragen. In diesem Zusammenhang wurde die subjektive Wahrnehmung von körperlichen, psychischen,

sozialen und funktionalen Aspekten von Befinden und Verhalten erfragt, um damit die subjektive Gesundheit zu erfassen (71). Aus vielen internationalen Überarbeitungen und Anpassungen ergab sich der, im internationalen, wie auch im nationalen Sprachraum etablierte, SF-36 Gesundheitsfragebogen (70). Der SF-36 Fragebogen bildet mit 36 Fragen 8 Dimensionen der subjektiven Gesundheit, die zu Summenskalen addiert werden und somit eine Einschätzung auf einer Skala von 0 (schlechteste Lebensqualität) bis 100 (beste Lebensqualität) ermöglicht. Die Antwortmöglichkeiten sind dichotom und, neben der Auswertung auf der Ebene der Subskalen, ist, durch Gewichtung dieser Subskalen, die Bildung zweier übergeordneter Dimensionen, der körperlichen und der psychischen Summenskala, möglich (72)(18). Die Zahl 36 steht hierbei für die Anzahl der Items, die der Fragebogen enthält.

5.4 Fragestellung

Für Patienten*innen stellt die Wiedereingliederung in den Beruf und die Wiedererlangung eines normalen Alltagsablaufes eine große Bedeutung dar. Bislang stellt die konventionelle radiologische Kontrolle die einzige Methode dar, um eine Frakturkonsolidierung zu detektieren, da ein CT eine zu große Strahlenbelastung für den Patienten bietet, wird dies in der klinischen Beurteilung nicht standardmäßig angewendet. Wie Weil et al. in ihrer Studie von 2015 ausführten, sind Röntgenkontrollen zwei Wochen postoperativ weder kosteneffizient, noch notwendig für den/die Patienten*in, so dass die Frequenz der radiologischen Kontrollen angepasst wurde (51). Durch konventionelles Röntgen lässt sich somit eine sichtbare Frakturkonsolidierung darstellen, die zu unterschiedlichen Zeiten, Faktoren und Bedingungen, bekanntlich unterschiedlich aussehen kann. Dies stellt jedoch keine einheitliche Methode dar, um die Frakturheilung als abgeschlossen zu erklären. Aus der aktuellen Literaturlage lassen sich Tendenzen erkennen, auch andere Parameter in den postoperativen Frakturverlauf miteinzubeziehen, wie z.B. den Verlauf der Schmerzen über die Zeit oder z.B. dass eine zunehmende Kallusbildung mit einer Schmerzreduktion vergesellschaftet ist (6).

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den Schmerzverlauf deskriptiv darzustellen, um hieraus mögliche Einflussfaktoren auf den postoperativen Schmerzverlauf zu identifizieren, die wiederum einen Einfluss auf die Frakturheilung darstellen können, um somit den klinischen, postoperativen Heilungsprozess im Sinne des/r Patienten*in zu optimieren.

Hierzu wurden Patienten*innen mit den häufigsten Extremitätenfrakturen (DRF und OSG-Frakturen) postoperativ hinsichtlich ihres Schmerzempfinden betrachtet. Unter Berücksichtigung der durch eine ausführliche Anamneseerhebung erhaltenen Daten, erfolgte die Auswertung der gesamten Datenmenge hinsichtlich möglicher Einflussfaktoren auf den postoperativen Frakturverlauf.

6 Material und Methoden

6.1 Das Studiendesign

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine retrospektive Studie über den postoperativen Schmerzverlauf nach operativ versorgten Extremitätenfrakturen anhand der Datenlage. Es wurden Patienten betrachtet, die sich im Zeitraum von Dezember 2015 bis Mai 2018 im Sinne eines Monotraumas eine distale Radiusfraktur oder eine Fraktur des oberen Sprunggelenkes zuzogen und operativ am Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie - Charité Universitätsmedizin Berlin versorgt worden sind.

Die Probanden*innen wurden postoperativ in regelmäßigen Abständen zu ihren Frakturschmerzen befragt.

Tag 0 entsprach dem Operationstag und damit dem ersten Evaluationstag. Der letzte Evaluationszeitpunkt fand in der 12. postoperativen Woche statt (52). Wurden nach der 12. postoperativen Woche noch Schmerzen angegeben oder fand zusätzlich eine schmerzhafteste Bewegungseinschränkung statt, wurde mit dem/r Probanden*in ein erneute Verlaufskontrolle nach weiteren 4 Wochen vereinbart.

Ein positives Ethikvotum der hiesigen Ethikkommission mit der Antragsnummer EA1/226/22 lag vor.

6.2 Das Patientenkollektiv

Als Voraussetzung für den Studieneinschluss galt die operative Versorgung der Fraktur. Weitere Einschlusskriterien waren die Volljährigkeit und ein Maximalalter von 85 Jahren des Patienten. Des weiteren waren eine kognitive Fitness und keine Einschränkung des zentralen oder peripheren Nervensystems, eine Selbstständigkeit und volle Mobilisierung ohne Gehhilfen (bei OSG-Frakturen) - zum Zeitpunkt des Traumas - Voraussetzung. Eingeschlossen wurden alle Monotraumata des distalen Radius oder des oberen Sprunggelenkes, die mit Schrauben- oder Plattenosteosynthese versorgt wurden, unabhängig einer initialen Versorgung mittels Fixateur externe oder einer präoperativen

Weichteilkonsolidierung. Ausschlusskriterien waren ein bekanntes CRPS, sowie ein Drogenabusus und eine bereits bekannte Osteoporose. Die Erhebung der Vorerkrankungen erfolgte anamnestisch mit den in der Patientenakte hinterlegten Daten zu Vorerkrankungen, inkl. regelmäßiger Hausmedikation, Allergien, bereits stattgehabter Frakturen, und deren subjektiv empfundener Ergebnisse, und nach Nikotin- oder Alkoholabusus, welcher als solches bei Erkennen einer Regelmäßigkeit von Alkohol- oder Nikotinkonsum dokumentiert wurde. Außerdem wurden allgemeine demografische Daten erhoben. Die fraktur- und therapiespezifischen Daten, wie Frakturklassifikation und initialer Weichteilschaden nach Tscherny und Oestern (37)(73), sowie die Art der operativen Therapie wurden der Patientenakte entnommen.

Die Auswahl dieses Patientenkollektives erfolgte aufgrund der Häufigkeit dieser Frakturen. Die Ausschlusskriterien wurden zur besseren Objektivierung der Ergebnisse gewählt.

6.3 OP-Technik der DRF und OSG-Frakturen und deren Begleitverletzungen

Die operative Versorgung erfolgte in Vollnarkose oder in regionaler Leitungsbahnanästhesie. Als Operationstechnik wurde in allen Verfahren zur definitiven Versorgung die offene Reposition und interne Fixierung mittels Schrauben- und Plattenosteosynthese gewählt. Den Zeitpunkt der Operation ergab sich durch den Schweregrad der Weichteilschädigung. Verwendet wurde in 90% der Fälle eine LCP-Plattenosteosynthese mit 2-Column- oder T-Platte. Die operative Versorgung einer distalen Radiusfraktur fand ausschließlich von volar statt.

Zur osteosynthetischen Versorgung der Frakturen des oberen Sprunggelenkes wurde nach dem oben genannten Prinzip Drittelrohrplatten und distale Fibulaplaten verwendet oder eine reine Schraubenosteosynthese angewandt.

In beiden Fällen wurden VA-Verriegelungs- und Verriegelungsschrauben, Kortikalis- und Spongiaschrauben verwendet und, wenn notwendig, wurden diese mit Unterlegscheiben versehen. Fälle mit einer reinen Schraubenosteosynthese am distalen Handgelenk wurden in die vorliegende Studie nicht inkludiert.

Für beide Fraktorentitäten galt als Komplikation das Auftreten von Wundinfekten. Hierbei wurde diese jeweils nach ihrem zeitlichen Auftreten dokumentiert und bei entsprechender Relevanz später entsprechend weiter unterteilt. Wundinfekte bzw.

Wundheilungsstörungen wurden entsprechend der literarischen Definition dokumentiert, wenn folgende Kriterien auftraten: Wundranddehiszenz mit Auftreten von Dolor, Rubor, Calor, Schwellung, Functio laesa und ggfs. einer septischen Komponente, wie Fieber, Tachykardien, Tachypnoe, Übelkeit, Austritt von Pus. Eingeteilt wurden sie nach dem jeweiligen zeitlichen Auftreten.

6.4 Angewandtes Schmerzschema im Patientenkollektiv

Zur Unterstützung des postoperativen Heilungsprozesses erfolgte eine unterstützende Analgesie, orientiert am WHO-Stufenschema (74).

Die Probanden*innen erhielten entsprechend bei leichteren Schmerzen eine Basisedikation mit NSAIDs, wie Ibuprofen, Metamizol und Paracetamol, verabreicht in regelmäßigen, über den Tag verteilten Dosen. Bei mittelstarken Schmerzen von 4-6/10 auf der VAS kam als zusätzliche Bedarfsmedikation in der nächsten Stufe Tilidin/Naloxon, Piritramid, Oxycodon oder titriertes Morphin zum Einsatz, entsprechend dem WHO-Stufenschema in angepasster Dosierung. War dennoch eine weitere Exploration der Schmerzmedikation notwendig, wurde seitens der Anästhesie, eine PCA-Schmerzpumpe angehängt und zur Unterstützung NSAIDs verabreicht. Dies entsprach Stufe 3 nach dem Stufenschema. In der vorliegenden Studie fand hauptsächlich WHO-Stufe 2 Anwendung.

Ein zusätzliches Schmerzschema bei handchirurgischen Probanden*innen unterschied sich lediglich in der Basisedikation. Hier wurde zusätzlich als Alternative Paracetamol mit Codein verabreicht. Die angewendeten Schmerzschemas sind im Anhang beigefügt.

6.5 VAS und NRS

Um eine möglichst neutrale Einschätzung des/r Probanden*in zu erhalten, wurde in der vorliegenden Studie die visuelle Analogskala bzw. als Alternative die Numerische Ratingskala verwendet, um den subjektiv empfundenen Schmerz zu objektivieren. Diese Methoden sind im klinischen Alltag allgegenwärtig und finden in vielen Bereichen Anwendung, da sie für die Patienten leicht verständlich und reproduzierbar sind.

6.6 Evaluation der Ruhe-, Druck- und Belastungsschmerzen

Evaluation der Ruheschmerzen

Die primäre Evaluation der Ruheschmerzen erfolgte während des stationären Aufenthaltes am Operationstag mittels Visueller Analogskala. Die Skalierung erfolgte von 0-10, wobei 0 kein Schmerz und 10 die stärksten je vorstellbaren Schmerzen bedeutete. Der angegebene Wert diente später als Ausgangswert für die Entwicklung des postoperativen Schmerzverlaufes.

Diese Form der Befragung erfolgte während des stationären Aufenthaltes im Rahmen der klinischen Routine täglich durch das betreuende Personal auf Station und wurde in der Patientenakte dokumentiert. Der stationäre Aufenthalt dauerte bei allen Frakturformen durchschnittlich 3 bis 5 Tage dar (Abb.13). Komplikationen oder Verzögerungen wurden zum Zeitpunkt des Auftretens dokumentiert. Komplikationen wurden festgesetzt als Wundheilungsstörungen, Wundinfekte, motorische oder sensible Defizite.

Die weitere Evaluation der Ruheschmerzevaluationen poststationär erfolgte zunächst am 7. und 14. postoperativen Tag mithilfe der Numerischen Ratingskala. Weitere postoperative Ruheschmerzevaluationen erfolgten dann nach 4, 6, 9 und 12 Wochen. Diese Zeitpunkte wurden so gewählt, da erwartungsgemäß das Schmerzverhalten in der ersten postoperativen Zeit eine größere Fluktuation aufweist als in den Wochen 3-12.

Ebenfalls dokumentiert wurde die jeweils aktuell verabreichte und eingenommene Schmerzmedikation. Die weitere Analgesie wurde durch den weiterbehandelnden Arzt oder den/r Probanden*in selbst, je nach Compliance, bereits auf eine Monogabe bzw. -einnahme von NSAID reduziert.

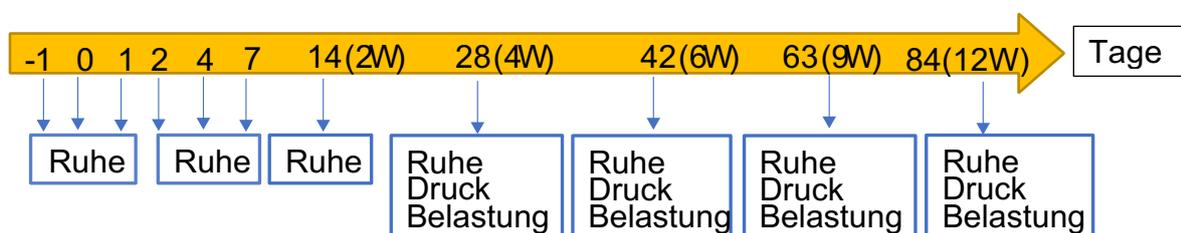


Abbildung 13: Grafische Darstellung der Evaluationszeitpunkte

Evaluation der Druckschmerzen nach 4, 6, 9 und 12 Wochen (s. Abb. 13)

Nach den hausintern üblichen Nachsorgeschemata fanden Wiedervorstellungen über die postoperative Sprechstunde statt. Der Druckschmerz wurde erst nach 4 Wochen evaluiert, da zu diesem Zeitpunkt damit zu rechnen ist, dass eine erste Frakturkonsolidierung bzw. eine grobe Durchbauung der Fraktur bereits stattgefunden hat. Zu diesem Zeitpunkt erfolgte erstmalig nebst der Erhebung der Ruheschmerzen und des klinischen Bildes des Operationsgebietes auch die Erhebung der Schmerzen unter manueller Druckausübung über der Operationsnarbe, und zwar an zwei verschiedenen Punkten.

Am Handgelenk erfolgte eine Druckausübung von dorsal und ventral auf den Radius, sowie ein Kompressionsdruck zwischen Ulna und Radius über den beiden Processi styloidei radii et ulnari (Abb. 14).



Abbildung 14: schematische Darstellung der Druckausübung

Am Sprunggelenk befanden sich die Druckpunkte am lateralen und am medialen Malleolus. Außerdem fand eine vordere Syndesmosenprovokation von ventral am oberen Sprunggelenk statt (Abb. 15).



Abbildung 15: Schemadarstellung zur Druckausübung am Fuß von ventral bzw. von lateral und medial

Die Druckpunktevaluation fand unter der Voraussetzung statt, dass die Operationswunden reizlos und geschlossen waren, sowie kein Anhalt für ein lokales Infektgeschehen vorlag. Die Druckausübung erfolgte mittels Daumendruck. Der/die Proband*in wurde unter Druckausübung erneut nach seinem subjektiven Schmerzempfinden mithilfe der VAS/NRS gefragt. Die Herangehensweise war hier ausgehend von gesunden Knochenbereichen hin zum pathologischen Bereich und immer im Vergleich zur gesunden Seite. Dabei wurden jegliche Formen von Befundeinschränkungen wie z.B. sensible Defizite und das Bewegungsausmaß - angepasst an den zeitlichen Verlauf – dokumentiert. Dokumentiert wurden auch eine vorhandene Restschwellung, sowie eine bereits stattgefundenene Physiotherapie.

Evaluation der Belastungsschmerzen nach 4, 6, 9 und 12 Wochen (s. Abb. 13)

Entsprechend den hausinternen üblichen Nachsorgeschemata, welche angegliedert an die Empfehlungen der Literaturlage sind, wurde eine Teilbelastung bis zur 6. postoperativen Woche, ungeachtet der Art der operativen Versorgung und der Frakturart festgelegt. Bei den Radiusfrakturen stellte dies das Heben bzw. Tragen von 5 kg dar. Bei den Frakturen des oberen Sprunggelenkes war eine Teilbelastung auf 15 kg an Unterarmgehstützen für die ersten 6 Wochen postoperativ empfohlen worden. Bei beiden Frakturentitäten erfolgte während des stationären Aufenthaltes eine physiotherapeutische Mitbehandlung.

Die erstmalige Erhebung der Belastungsschmerzen fand ebenfalls nach 4 Wochen unter Teilbelastung statt. Hierbei wurde, zum gleichen Zeitpunkt, wie die Erhebung der Ruhe- und Druckschmerzen stattfand, auch die Teilbelastungsschmerzen mittels NRS erhoben. Der zweite Evaluationszeitpunkt fand nach 6 Wochen statt.

Wurde zu diesem Zeitpunkt die Teilbelastung durch den Operateur oder den weiterbehandelnden Kollegen - nach radiologischer Kontrolle – aufgehoben, so begann eine Aufbelastung. Diese beinhaltete eine kontinuierliche, adaptierte Steigerung des Belastungsgewichtes bis zur endgültigen Vollbelastung. Von diesem Vorgehen ausgenommen waren Sprunggelenksfrakturen, welche mit einer Stellschraube versorgt worden waren. In diesen Fällen erfolgte die Teilbelastung bis zur Entfernung der Stellschraube (zwischen der 6.-8. postoperativen Woche) und erst danach konnte mit einer Aufbelastung begonnen werden. Im Mittel lag der Zeitraum der Aufbelastung bis zur Vollbelastung bei durchschnittlich 3 Wochen, abhängig vom Heilungsprozess der Fraktur und der Wunde.

Die weiteren Evaluationszeitpunkte waren nach 9 und 12 Wochen postoperativ. Der letzte Evaluationszeitpunkt erfolgte in 97% der Fälle dann unter möglicher Vollbelastung. In den restlichen 3% der Fälle führte eine Komplikation zum verzögerten Heilungsprozess.

6.7 Röntgen-Kontrollen

Die radiologischen Kontrollen fanden ebenfalls nach den hausintern üblichen Nachsorgeschemata statt. Eine erste radiologische Untersuchung erfolgte zur Kontrolle der Implantatlage postoperativ während des stationären Aufenthaltes. Weitere Kontrollen erfolgten nach vier bis sechs Wochen postoperativ. Nach Sichtung der Röntgenkontrollen ggfs. auch extern und individueller Freigabe durch die fachärztliche Begutachtung, begann die adaptierte Aufbelastung.

6.8 Erhebung der Compliance

Schmerzen sind eine subjektive Wahrnehmung, die nur schwer detektiert werden kann. Mithilfe der Skalen kann aus einem subjektiven Wert ein objektiver Wert annähernd festgelegt werden. Die Compliance des/r Probanden*in wurde analysiert, um eventuelle Beurteilungsfaktoren zur Auswertung evaluieren zu können. Es wurde dabei unterschieden zwischen complianten Probanden*innen und nicht complianten Probanden*innen. Mit Compliance wurde in der vorliegenden Studie bevorzugt das

Einhalten des vorgegebenen Nachsorgeschemas und hierbei im Speziellen das Einhalten der adaptierten Ruhigstellung bzw. Teilbelastung und die Einnahme der oralen Schmerzmedikation dokumentiert. Hielt sich der/die Proband*in nicht an die vorgegebenen Richtlinien, wurde er/sie als nicht compliant eingestuft.

6.9 Angewandter SF-36 Gesundheitsfragebogen

Zur Objektivierung des subjektiven Schmerzempfindens wurde zusätzlich der SF-36 Gesundheitsfragebogen analysiert. Dieser Fragebogen bietet eine gute Einschätzung des Gesundheitszustandes der Patienten und deren Einschränkung im alltäglichen Leben, ist leicht verständlich und bietet einen breiten Vergleich (70). Er wurde aufgrund seiner guten Verständlichkeit und seiner verallgemeinerten Aussage verwendet. Der Fragebogen beinhaltet Fragen sowohl zur subjektiven Gesundheit wie auch zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität. Im Einzelnen sind dies die physische Funktionalität, die Einschränkungskriterien der physischen und der emotionalen Gesundheit, der Grad der Energie/ Müdigkeit, die emotionale Ausgeglichenheit, der Schmerz, die allgemeine Gesundheit und die soziale Funktionsweise.

Von besonderer Relevanz waren in der vorliegenden Studie insbesondere die physische Funktionalität sowie Kriterien, die die physische und emotionale Gesundheit einschränken, gemeint ist hierbei der „Leidensdruck“ des/r Probanden*in unter der Fraktur. Ebenfalls relevant sind in diesem Zusammenhang der Grad des Energieverlustes bzw. der Müdigkeit und der Schmerz, welche die Fraktur mit sich bringt. Eine gute Vergleichsbasis stellt die Frage nach der emotionalen Ausgeglichenheit, der generellen Gesundheit und die soziale Funktionsweise dar.

Der Fragebogen wurde nach 4 und 7 Wochen ausgefüllt (72).

Die Auswertung erfolgte manuell mithilfe einer Auswertungshilfe, bei der jede Antwort zunächst einem Wert zugeordnet wird und anschließend umskaliert wurde. Anschließend folgten die Summierung und Mittelung der berechneten Werte. Eine vorgegebene Einteilung der Fragen legt die Gruppenzugehörigkeit fest, so dass anschließend nach der Auswertung die Säulen mit anderen Säulen bzw. deren Summenskalen z.B. anderer Probanden*innen miteinander verglichen werden konnten (71). Es galt darauf zu achten, dass alle Fragen vollständig beantwortet wurden. Die Auswertung erfolgte mithilfe von MS Excel.

6.10 Die Datenauswertung

Die Aufarbeitung und Archivierung der Daten erfolgten zunächst mittels Microsoft Excel (im folgenden MS Excel) der Firma Microsoft (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA). Um eine grafische Darstellung der Daten zu erhalten, wurden die jeweiligen VAS-Mediane und die Streumaße der unterschiedlichen Evaluationspunkte verwendet. Der Fokus der jeweiligen Schaubilder lag auf dem Schmerzverlauf der Ruhe- Druck- und Belastungsschmerzen. Für die deskriptiven Daten wurde der Median und die Streumaße verwendet. Für die anschließende statistische Auswertung wurde das Statistikprogramm R Version 4.1 (der Firma R Development Core Team. Erscheinungsjahr 1993) verwendet. Zum nichtparametrischen Vergleich der Verteilungen zweier unabhängiger Stichproben fand der Mann-Whitney-U-Test Anwendung. Dieser Test wurde als nichtparametrisches Äquivalent zum t-Test für unabhängige Stichproben gewählt, da bei den vorliegenden Daten die Voraussetzungen für die Anwendung eines t-Testes im Sinne der Normalverteilung nach Überprüfung mit dem Kolmogorov-Smirnov Test für unabhängige Stichproben nicht erfüllt wurde. Zusätzlich fand die Bonferroni Korrektur Anwendung. Als Signifikanzniveau aller durchgeführten Tests wurde eine maximale Irrtumswahrscheinlichkeit von fünf Prozent festgelegt ($p < 0,05$).

Des Weiteren wurde der Pearson Test als Korrelationskoeffizienten verwendet. Die Korrelationskoeffizienten variieren zwischen -1 und 1, was einer perfekten positiven bzw. negativen Korrelation entspricht. Korrelationskoeffizienten betragsgrößer als 0,3 werden gewöhnlich als mäßige, betragsgrößere als 0,6 als stark positive bzw. negative Korrelation bezeichnet.

Zusätzlich fand der Kruskal-Wallis-Test zum Gruppenvergleich und der Wilcoxon Rangsummentest Anwendung.

7 Ergebnisse

7.1 Patientenkollektiv

7.1.1 Demographie

Insgesamt konnten 97 Patienten in die vorliegende Studie eingeschlossen werden, davon 48 mit operativ versorgter distaler Radiusfraktur und 49 mit operativ versorgter OSG-Fraktur. Das Median-Patientenalter betrug 52 Jahre (Quartile: 35.8 und 63 Jahre), die

Geschlechterverteilung 37:60 (m:w). Tabelle 1 gibt einen Überblick über die eingeschlossenen Probanden*innen.

Insgesamt ergaben sich zum Teil sehr kleine Gruppengrößen mit $n < 10$. Dadurch bedingt wurden bereits Schmerzangaben von 0,5 Punkte Differenz betrachtet.

Parameter	Radius-Fraktur, n=48	OSG-Fraktur, n=49
Geschlecht m:w	15:33	22:27
Alter (J)	54,5 ± 14,4 [47; 55; 64]	41 ± 18,0 [32; 41; 60,5]
BMI	27,4 ± 7,4 [23; 27; 29,4]	26,7 ± 4,7 [23,5; 26,7; 29,6]

Tabelle 1: Tabellarische Charakterisierung der Stichprobe. Alter und BMI werden als Mittelwert ± Standardabweichung sowie mit ihren Quartilswerten [1. Quartil; Median; 3. Quartil] angegeben

Abbildung 16 zeigt die Altersverteilung des Patientenkollektivs. Demzufolge traten OSG-Frakturen eher bei jüngeren Leuten auf, während DRF bereits ab dem mittleren Alter häufiger auftraten.

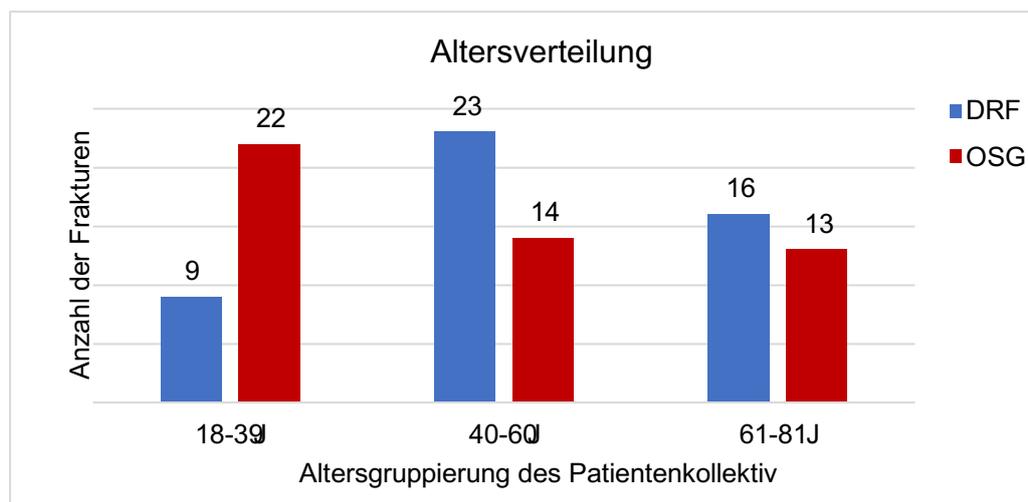


Abbildung 16: Altersverteilung der OSG- und distalen Radiusfrakturen

7.1.2 Komorbiditäten

Tabelle 2 zeigt die Vorerkrankungen und Komorbiditäten der Patienten. Als häufigste Komorbidität sahen wir Herz-Kreislauf-Erkrankungen, gefolgt von endokrinologischen Erkrankungen und psychischen Erkrankungen.

Parameter	DRF-Fraktur, n=48	OSG-Fraktur, n=49
Herz-Kreislauf Erkrankungen	15/48	10/49
Pulmologische Erkrankungen	1/48	3/49
Suchterkrankung	Nikotin:13/48 C2: 3/48	Nikotin:9/49 C2: 3/49
Endokrinologische Vorerkrankungen	7/48	6/49
Autoimmune Vorerkrankungen	3/48	2/49
Malignom in der Vorgeschichte	2/48	3/49
Psychische Vorerkrankung	0/48	4/49
Allergien	32/48	17/49
Frühere Frakturen	32/48	31/49

Tabelle 2: Tabellarische Zusammenfassung der Patientendaten [(Anzahl positiver Fälle)/(Anzahl gültiger Werte)]

7.1.3 Fraktur- und Versorgungsdaten

In Tabelle 3 sind die fraktur- und therapiespezifischen Daten der inkludierten Frakturen zusammengefasst. Bei den Frakturen des oberen Sprunggelenkes waren dies hauptsächlich Weber B Frakturen. Diese teilten sich zur Hälfte auf in isolierte Frakturen des Malleolus lateralis und in Frakturen des Außenknöchels in Kombination mit einer weiteren knöchernen Beteiligung. Hier fand eine Ausversorgung hauptsächlich mittels

Drittelrohrplatte statt. Der Unfallmechanismus war hier in 98% der Fälle ein Supinationstrauma.

Bei den distalen Radiusfrakturen traten hauptsächlich C Frakturen nach AO auf, welche in 99% der Fälle durch Stürze in Extensionsstellung aufgetreten waren. Hier erfolgte eine Versorgung hauptsächlich mittels 2-Column-Platte.

Die mediane OP-Dauer zwischen Schnitt und Naht betrug bei den DRF circa 69,75 Minuten und bei den OSG-Frakturen circa 87,61 Minuten.

Parameter	DRF-Fraktur, n=48	OSG-Fraktur, n=49
Klassifikation nach AO	A:9/49, B:10/49, C:29/49	A:3/49, B:39/49, C:7/49
Unfallmechanismus	Sturz in Extensionsstellung: 47/48 Keine Erinnerung: 1/48	Pronation:4/49 Supination: 45 /49
Isolierte Malleolus lateralis Fraktur	-	26/49
OSG-Fraktur mit multiplen Begleitfrakturen	-	23/49
Osteosynthetische Versorgung nach initialer Transfixation	1/48	7/49
OP nach Weichteilkonsolidierung ohne Fix. externe	3/48	4/49
Plattenosteosynthese	2-Column-Platte: 38 /48 T-Platte: 7 /48 Dorsale Platte: 3/48	Drittelrohrplatte: 38/49 Distale Fibulaplatte: 8/49 Schraubenostesynthese: 4/49

Schraubenanzahl	7,5 ± 2,0 [7; 7; 8]	7,4 ± 1,9 [6; 7; 9]
OSG-Osteosynthese mit Stellschraube	-----	16/49
Mittlere OP-Dauer (min)	69,75 ± 25,99 [52; 72; 80]	87,61 ± 35,58 [58; 84,5; 104]

*Tabelle 3: Fraktur- und Versorgungsdaten der Probanden*innen. Metrische Variablen werden als Mittelwert ± Standardabweichung sowie mit ihren Quartilswerten [1. Quartil; Median; 3. Quartil] angegeben. Kategoriale Variablen werden als [(Anzahl positiver Fälle) / (Anzahl gültiger Werte)] angegeben*

7.2 Komplikationen

Komplikation	DRF, n=48	OSG, n=49
Wundheilungsstörungen	2/48 (0 %)	4/49 (8,1%)
Wundinfekt	4/48 (8,3 %)	1/49 (2%)
Implantatkonflikt	1/48 (2%)	0/49 (0%)
Sensibilitätsstörungen	4/48 (8,3%)	2/49 (4%)
Komplikation durch Schmerzmedikamente	0/48 (0%)	1/49 (2%)
Lost in Follow up	2/48 (4%)	1/49 (2%)
Eigenständige Aufbelastung	2/48 (4%)	2 /49 (4%)

Tabelle 4: Tabellarische Zusammenfassung der Komplikationen [(Anzahl positiver Fälle) / (Anzahl gültiger Werte)]

In 12,5 % der Fälle kam es zu Komplikationen, dabei hielten sich beide Fraktorentitäten in der Häufigkeit der Komplikationen die Waage. Die am häufigsten eingetretene Komplikationen waren Wundheilungsstörungen (nach 3-5 Wochen postoperativ) und Wundinfekte, sowie Sensibilitätsstörungen in insgesamt sechs Fällen.

Sensibilitätsstörungen traten in zwei Fällen bei den operativ versorgten OSG-Frakturen im Bereich des sensiblen Tibiaastes auf. In einem Fall musste die orale Schmerzmedikation aufgrund einer Kreislaufdysfunktion unter Einnahme umgestellt werden.

Bei den distalen Radiusfrakturen kam es in vier Fällen nach der Operation zu einer Nervenirritation eines Radialisastes bzw. einer Medianusirritation mit Taubheitsgefühl im versorgenden Gebiet.

Insgesamt 3,92% der Probanden*innen hielten sich nicht an das empfohlene Nachuntersuchungsschema und belasteten eigenständig früher auf. Bei allen Patienten wurde ein gutes Outcome nach 12 Wochen, erzielt. Die Patienten besaßen ein volles Bewegungsausmaß der Extremität nach kompletter Frakturheilung.

7.3 Darstellung des postoperativen Schmerzverlaufes von DRF- und OSG-Frakturen in Ruhe, bei Belastung und unter manueller Druckausübung

Es konnte aufgrund einer ähnlichen Gruppengröße von 48 DRF und 49 OSG-Frakturen ein guter Vergleich zwischen beiden Gruppen gezogen werden. Im Folgenden wird der Median gebloggt dargestellt inkl. seinen Streumaßen. Insgesamt ergaben sich vergleichbare, ähnlich verlaufende Kurven für die drei erhobenen Schmerzsituationen. Zur weiteren statistischen Aufarbeitung wurden nur Werte betrachtet, die sich zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten zwischen den jeweiligen Untersuchungsgruppen mit einem Wert von $> 0,5$ auf der VAS Skala unterschieden. Es ist darauf zu verweisen, dass es sich hierbei um eine sehr geringe Unterscheidung im Schmerzverhalten handelt, welche klinisch und individuell keine Unterschiede vermuten lassen, jedoch im Zuge der Auswertung der deskriptiven Verläufe angewendet wurde. Des weiteren ist zu erwähnen, dass sich hieraus Gruppengrößen von z.T. < 10 Probanden*innen ergeben.

Einfluss demografischer Faktoren auf den Schmerzverlauf

Bei der Betrachtung der demografischen Faktoren zeigten sich vergleichbare, nahe beieinander liegende postoperative Schmerzverläufe sowohl bei den DRF als auch bei den OSG-Frakturen. Insgesamt betrachtet zeigte sich bei den demografischen Faktoren keine dezidierte Unterscheidung zwischen beiden Fraktorentitäten. Zu beobachten war, dass jüngere Probanden*innen (18-39J.) und Frauen mehr Schmerzen angaben.

Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass sich ein erwarteter Verlauf mit initial hohen Werten zeigt, die im Verlauf rasch und kontinuierlich abfallen. Dies gilt sowohl für die Ruhe-, als auch für die Druck- und die Belastungsschmerzen. Statistisch zeigten sich keine Unterschiede im Schmerzverhalten.

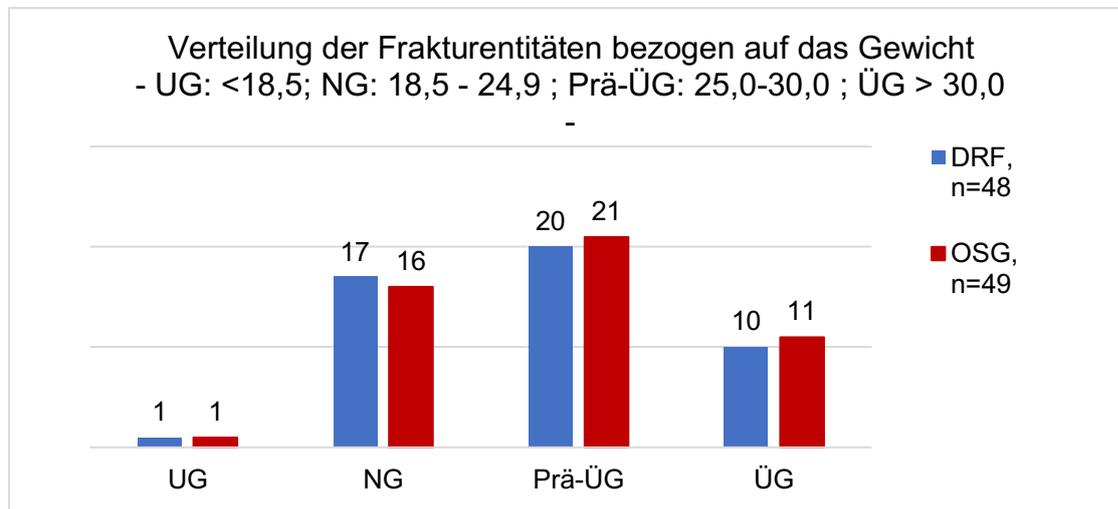


Abbildung 17: Verteilung der DRF- und OSG-Frakturen bezogen auf das Gewicht (UG = Untergewicht; NG = Normalgewicht; Prä-ÜG = Adipositas Grad I-II, ÜG = Adipositas Grad III) (75)

Postoperative Ruheschmerzen

Die postoperativen Schmerzangaben der Extremitätenfrakturen (DRF: n= 48, OSG-Frakturen: n=49) waren schnell rückläufig und fielen im Gesamtmedian bereits ab dem vierten postoperativen Tag auf Werte von unter 2 ab. Diese Tendenz blieb auch im weiteren zeitlichen Verlauf erhalten und so lag der Gesamtmedian bereits nach zwei Wochen bei 0,5 und ab dem 28. Tag bereits bei 0 (d.h. mehr als die Hälfte aller Probanden*innen berichteten einen Wert von 0). Ein signifikanter Gruppenunterschied im Mann-Whitney-U-Test ergab sich zu keinem der Zeitpunkte (alle $p > 0,06$, ohne Korrektur für multiple Vergleiche).

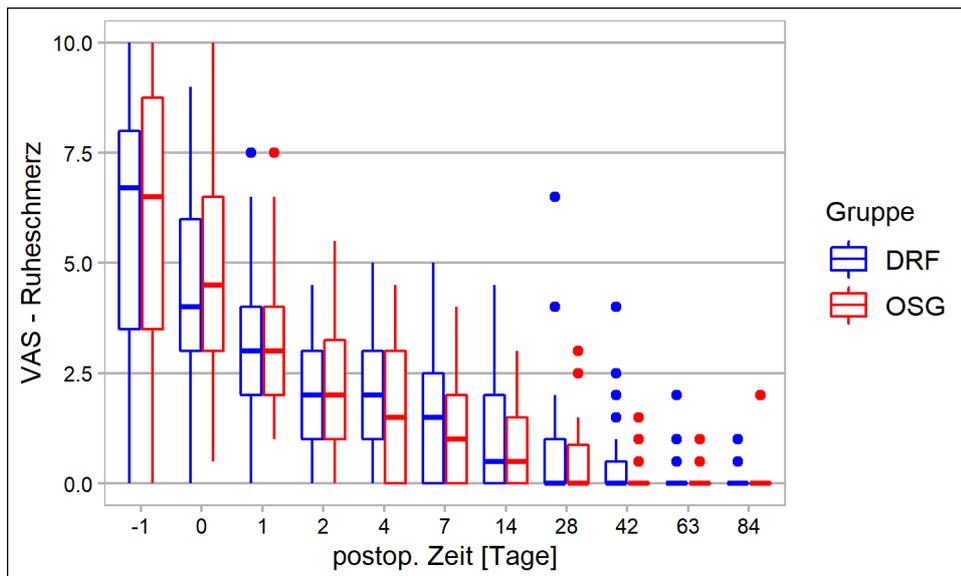


Abbildung 18: Ruheschmerzen DRF und OSG-Frakturen

Postoperative Druckschmerzen

Die grafische Darstellung der Druckschmerzen (Abb. 19) zeigt, wie sich die postoperativen Schmerzen im Gesamtmedian zwischen der 4. und 6. postoperativen Woche von 2 auf 0,5 reduzierten und kontinuierlich gegen Null abfielen. Vereinzelt Ausreißer bestanden hier mit Schmerzangaben bis in den mittelstarken Bereich. Ein signifikanter Gruppenunterschied im Mann-Whitney-U-Test ergab sich zu keinem Zeitpunkt (alle $p > 0,63$, ohne Korrektur für multiple Vergleiche).

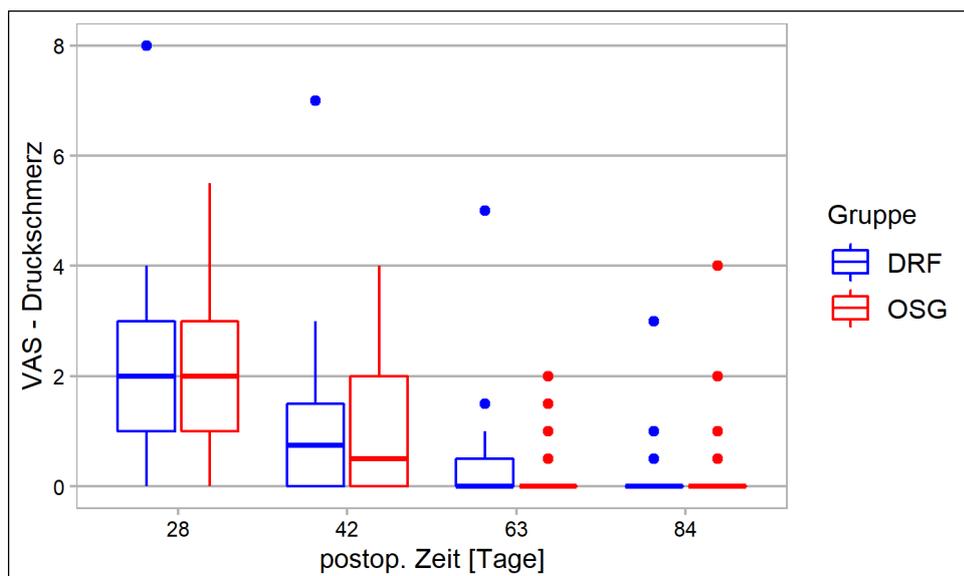


Abbildung 19: Druckschmerzen von DRF und OSG Frakturen

Postoperative Belastungsschmerzen

Bei unterschiedlich zeitlichen Nachbehandlungsschemata zeigte sich erwartungsgemäß im grafischen Verlauf der Belastungsschmerzen ein etwa linear abfallender Kurvenverlauf. So befanden sich die Ausgangswerte bei der ersten Evaluation noch im leichten Bereich, bis VAS 3 und fielen mit gleichbleibender Tendenz ab. Ab der 9. postoperativen Woche lagen die Werte unter 1. Im Gruppenvergleich mittels Mann-Whitney-U-Test ergaben sich ein signifikanter Gruppenunterschied zum Zeitpunkt 42 Tage, dieser überlebte jedoch nicht die Bonferroni-Korrektur für multiple Vergleiche (unkorrigiert: $p = 0,047$; Bonferroni-Korrektur: $p = 0,187$).

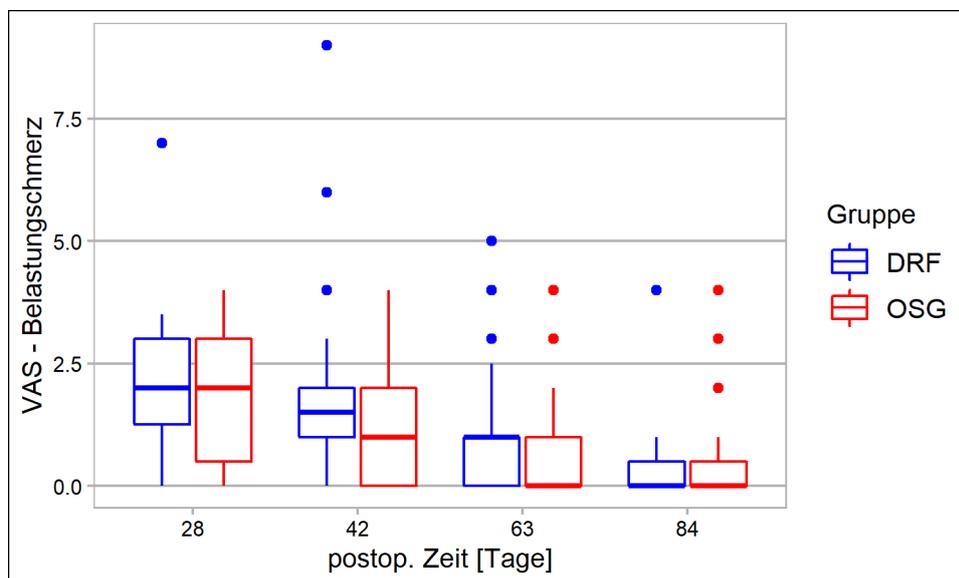


Abbildung 20: Belastungsschmerzen von DRF und OSG-Frakturen

7.4 Patientencharakteristika

7.4.1 Komorbiditäten und Vorerkrankungen

Endokrinologische Vorerkrankungen

Hypothyreose, Hyperparathyreoidismus, Hashimoto-Thyreoiditis, endokrine Orbitopathie und Diabetes mellitus Typ 2 wurden als endokrinologische Vorerkrankungen zusammengefasst. Eine Unterteilung dieser Analyse in DRF und OSG-Frakturen erfolgte aufgrund der geringen Fallanzahl nicht (DRF: 7 Probanden*innen; OSG: 5 Probanden*innen mit endokrinologischer Vorerkrankung). Abbildung 21 zeigt die Unterschiede der Probanden*innen mit und ohne endokrinologische Vorerkrankung in

Bezug auf ihr Schmerzverhalten. Insbesondere zwischen dem 7. und dem 28. postoperativen Tag gaben diese Probanden*innen in Ruhe mehr Schmerzen an als die Kontrollgruppe (Abb. 21). Zum Evaluationszeitpunkt nach 7 ($p=0,021$), 14 ($p=0,014$) und 28 Tagen ($p=0,003$) konnte ein signifikanter Unterschied im Mann-Whitney-U-Test festgestellt werden, wobei nur der Unterschied am 28. postoperativen Tag die Bonferroni-Korrektur für multiple Vergleiche überlebte (korrigiertes $p = 0,034$). Unsere Befunde sprechen somit für einen Einfluss endokrinologischer Erkrankungen auf das postoperative Schmerzverhalten.

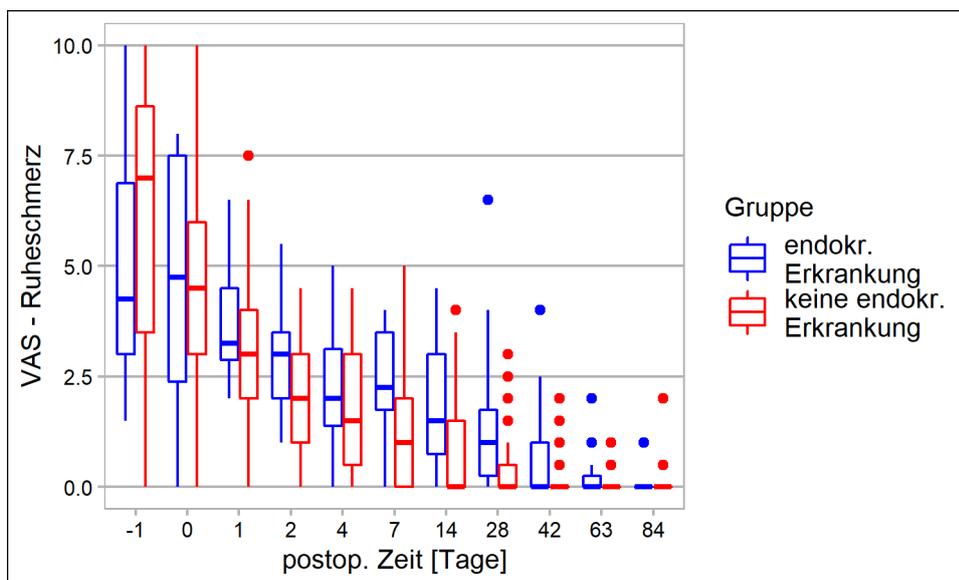


Abbildung 21: Ruheschmerzen bei endokrinologischen Vorerkrankungen

Bei den Druckschmerzen setzte sich diese Tendenz fort und es zeigten sich Gruppenunterschiede im Schmerzverhalten. Aufgrund der geringen Gruppengröße von DRF und OSG-Frakturen fand wiederum eine Zusammenfassung beider Gruppen statt. Abbildung 22 zeigt, insbesondere am 28. postoperativen Tag, einen deutlich sichtbaren Unterschied der Schmerzangaben zwischen den beiden Untersuchungsgruppen. Der Gruppenunterschied am 28. (unkorrigiert: $p = 0,007$; Bonferroni-korrigiert: $p = 0,023$) und 63. postoperativen Tag (unkorrigiert: $p < 0,001$; Bonferroni-korrigiert: $p = 0,002$) erwies sich im Mann-Whitney-U-Test als statistisch signifikant. Zwischen Woche 4 und 12 näherten sich die VAS Werte der beiden Untersuchungsgruppen an und verliefen vergleichbar und kontinuierlich gegen Null.

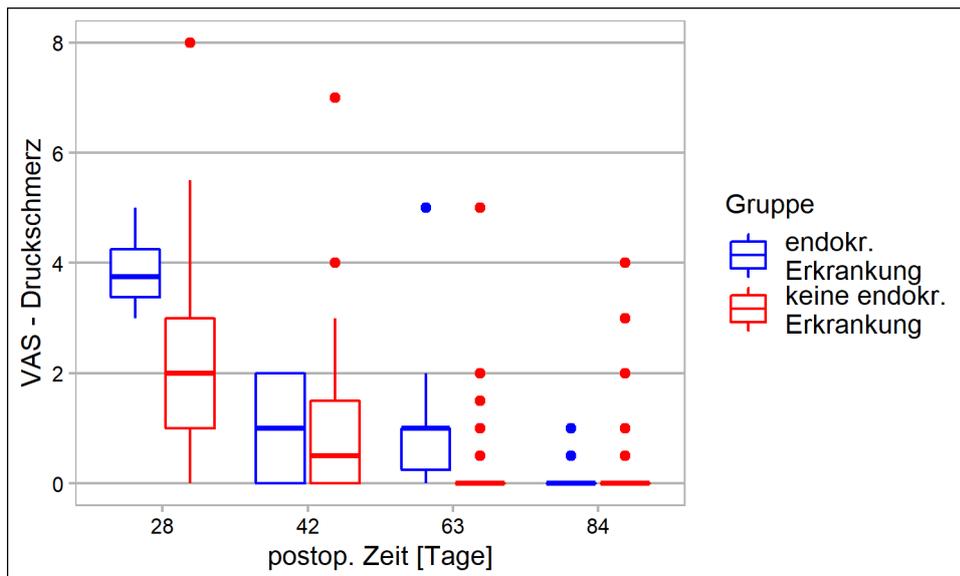


Abbildung 22: Druckschmerzen bei endokrinologischen Probanden*innen*innen

Auch bei den Belastungsschmerzen zeigten sich bereits grafisch unterschiedliche Schmerzangaben zu Beginn der Evaluation, die bis zur 6. Woche beobachtet wurden (siehe Abb. 23). Auch hier konnte diese Beobachtung am 28. (unkorrigiert: $p = 00,030$; Bonferroni-korrigiert: $p = 0,091$) und 42. postoperativen Tag (unkorrigiert: $p = 0,006$; Bonferroni-korrigiert: $p = 0,023$) mit dem Mann-Whitney-U-Test statistisch bestätigt werden.

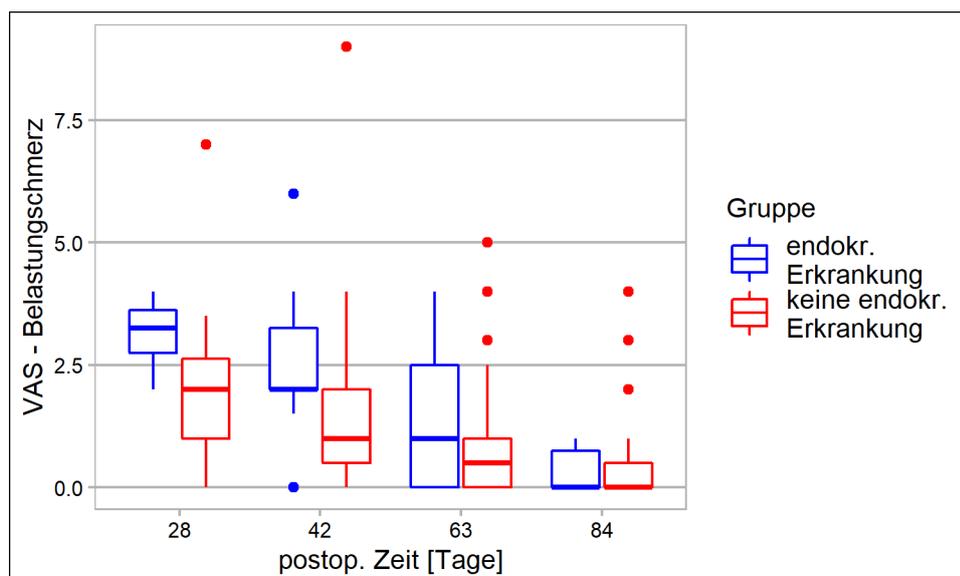


Abbildung 23: Belastungsschmerzen bei endokrinologischen Probanden*innen*innen

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass Probanden*innen mit einer endokrinologischen Vorerkrankung, sowohl in Ruhe als auch unter Druckausübung und unter Belastung in den ersten 4 bis 6 Wochen mehr Schmerzen verspürten als die Vergleichsgruppe ohne diese Vorbelastung. Somit konnte ein Einfluss dieser Grunderkrankung auf das subjektive Schmerzempfinden nachgewiesen werden.

Psychische und chronische Vorerkrankungen

Die Auswertungen zum Effekt von psychischen und chronischen Vorerkrankungen (insb. chronisches Schmerzsyndrom) und Suchterkrankungen werden hier nicht berichtet, da jeweils nur kleine Substichproben betroffen sind und keine zuverlässigen Aussagen über Unterschiede im Schmerzverlauf möglich sind.

Früher stattgehabte Frakturen

Eine weitere Aufteilung des Patientenkollektivs erfolgte in Gruppen, die bereits früher eine Fraktur erlitten hatten, unabhängig davon, wie diese zum früheren Zeitpunkt therapiert worden war und welcher Knochen betroffen war. Es wurden erneut, zur übersichtlicheren Darstellung, die Probanden*innen mit DRF und OSG-Frakturen zusammengefasst. Insgesamt hatten 63 Probanden*innen eine vorangehende Fraktur, für 34 Probanden*innen war es die erste Fraktur.

Während die Ruheschmerzen (Abb. 24) sehr ähnlich zueinander verliefen und lediglich der präoperative Schmerzwert etwas höher lag (aber kein signifikanter Gruppenunterschied nach Bonferroni-Korrektur: $p = 0,357$ vorlag), zeigten sich bei den Druckschmerzen (Abb. 25) bis zum 63. Tag höhere Schmerzwerte bei Probanden*innen, die sich zum ersten Mal eine Fraktur zugezogen hatten, als die Vergleichsgruppe mit bereits zuvor stattgehabten Frakturen. Die Mann-Whitney-U-Tests ergaben an Tag 28 unter Druckausübung einen nach Bonferroni-Korrektur signifikanten Wert von $p=0,009$. Damit besteht in der ersten postoperativen Zeit ein signifikanter Unterschied zwischen dem Schmerzverhalten von Probanden*innen, die bereits eine Fraktur erlitten hatten und deren Vergleichsgruppe.

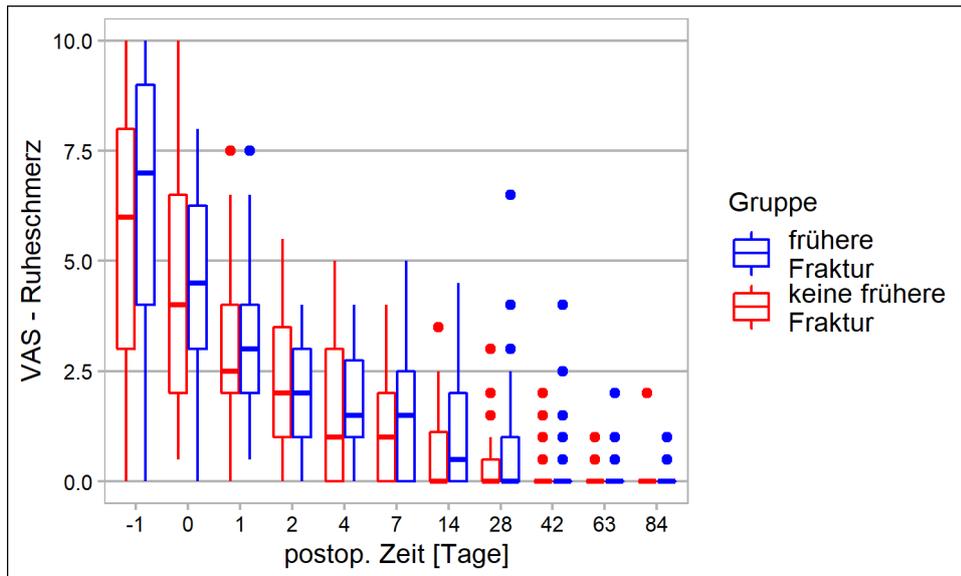


Abbildung 24: Ruheschmerz bei bereits stattgehabten Frakturen

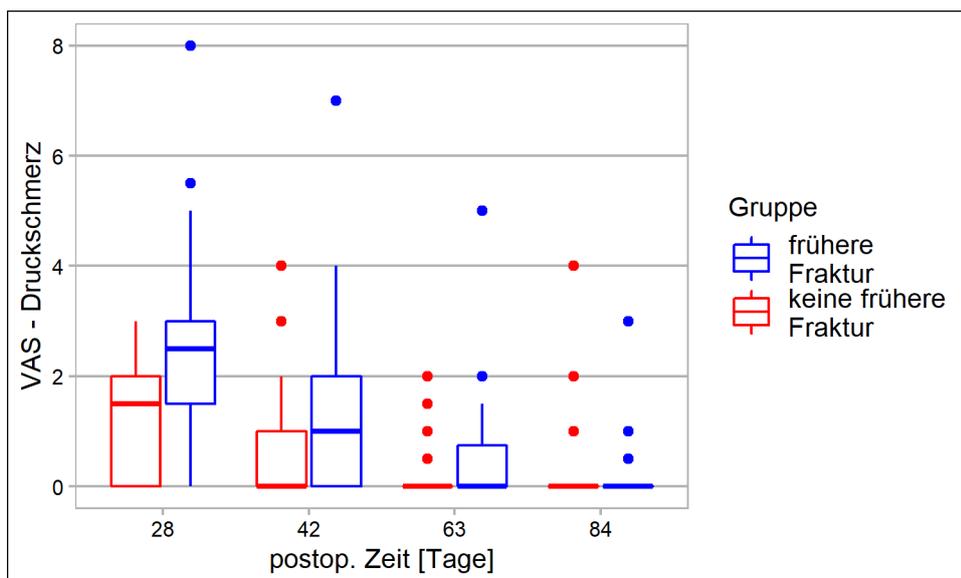


Abbildung 25: Druckschmerz bei bereits stattgehabten Frakturen

Bei den Belastungsschmerzen (Abb. 26) ließ sich Ähnliches beobachten. Erneut zeigten sich initial graphisch höhere Schmerzangaben für Probanden*innen mit vorherigen Frakturen, diese waren jedoch nicht statistisch signifikant (alle unkorrigierten $p > 0,05$).

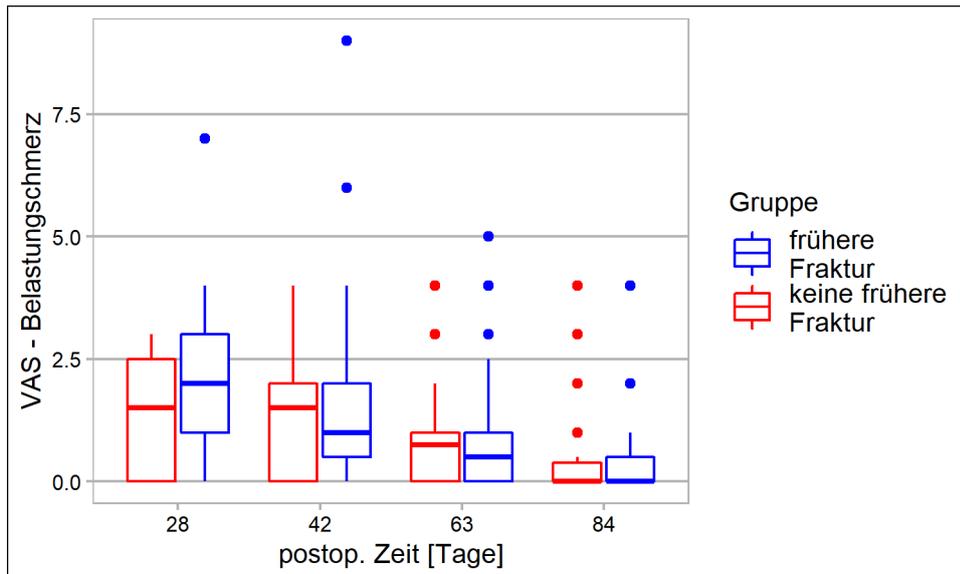


Abbildung 26: Belastungsschmerz bei bereits stattgehabten Frakturen

7.4.2 Compliance

Als nächstes wurde die Probanden*innen Stichprobe in Probanden*innen mit uneingeschränkter Compliance (n = 58) und eingeschränkter oder fehlender Compliance (n = 42) aufgeteilt.

Es zeigte sich weder bei den Ruheschmerzen (Abb. 27, alle $p > 0,21$, vor Bonferroni-Korrektur) noch bei den Druckschmerzen (Abb. 28, alle $p > 0,12$, vor Bonferroni-Korrektur) oder den Belastungsschmerzen (Abb. 29, alle $p > 0,21$, vor Bonferroni-Korrektur) ein signifikanter Gruppenunterschied.

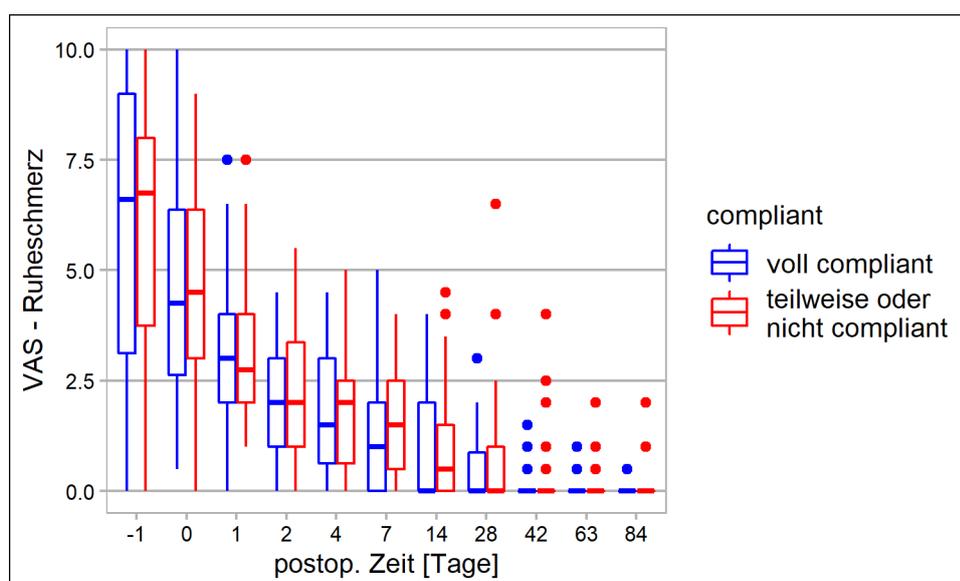


Abbildung 27: Ruheschmerzen nach Compliance

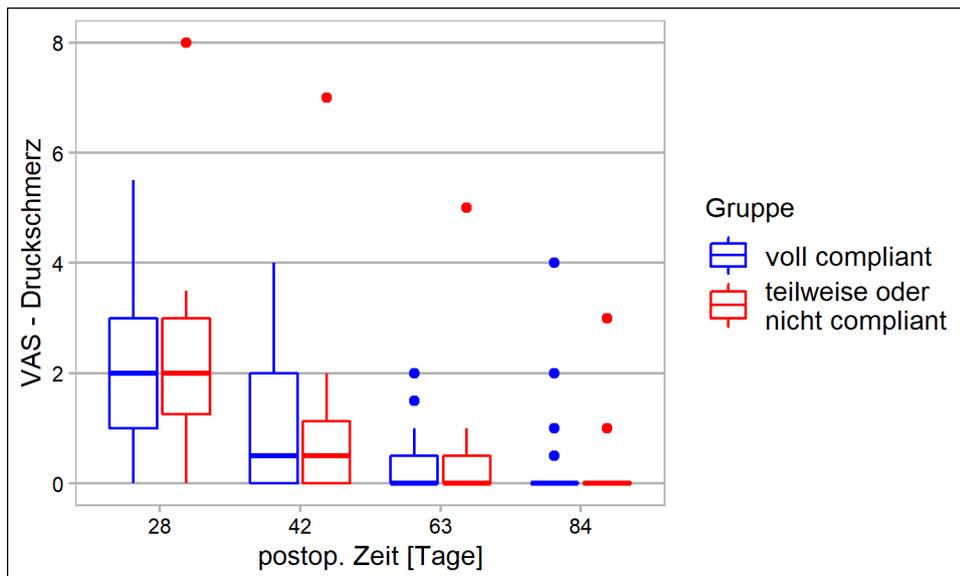


Abbildung 28: Druckschmerzen nach Compliance

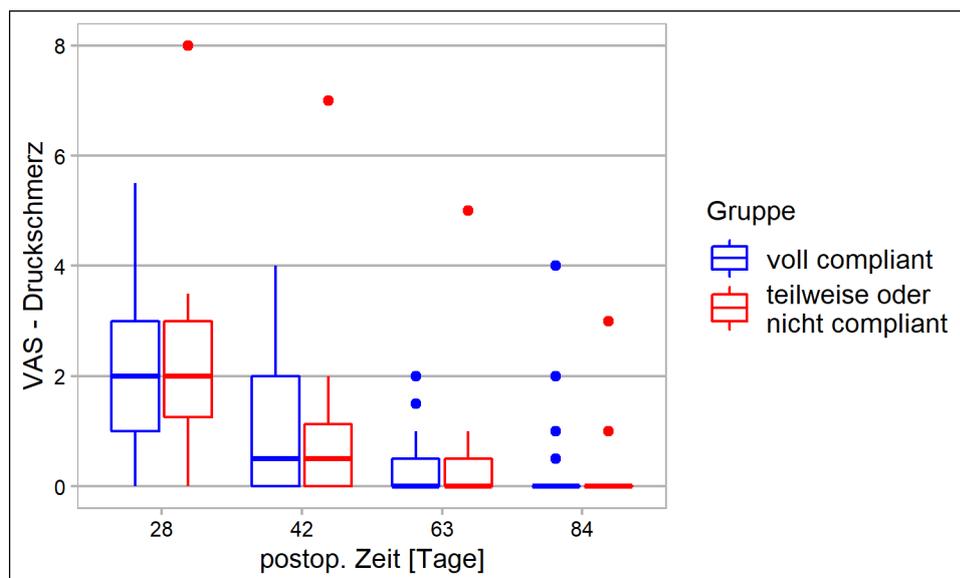


Abbildung 29: Belastungsschmerzen nach Compliance

7.4.3 AO-Klassifikation

Bei der Betrachtung des postoperativen Schmerzverlaufs ist anzunehmen, dass auch die Schwere einer Fraktur eine Rolle spielen kann, so dass die vorliegenden Daten nach der bekanntesten und gebräuchlichsten Klassifikation der AO (in Kategorien A, B und C) aufgeteilt wurden. Es zeigte sich weder bei den Ruheschmerzen (Abb. 30, alle $p > 0,16$,

vor Bonferroni-Korrektur) noch bei den Druckschmerzen (Abb. 31, alle $p > 0,28$, vor Bonferroni-Korrektur) oder Belastungsschmerzen (Abb. 32, alle $p > 0,15$, vor Bonferroni-Korrektur) ein signifikanter Gruppenunterschied im Kruskal-Wallis-Test.

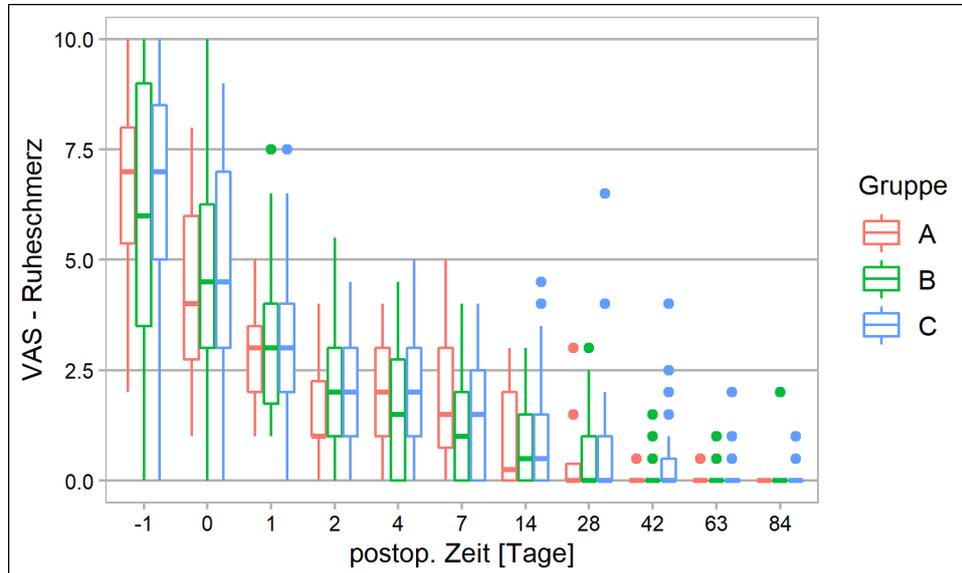


Abbildung 30: Ruheschmerzen nach AO-Klassifikation

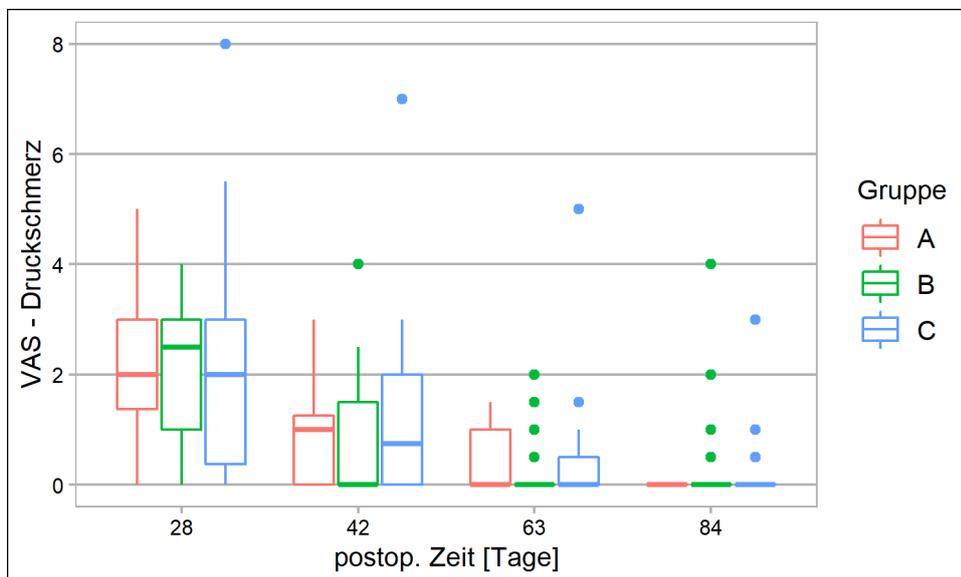


Abbildung 31: Druckschmerzen nach AO-Klassifikation

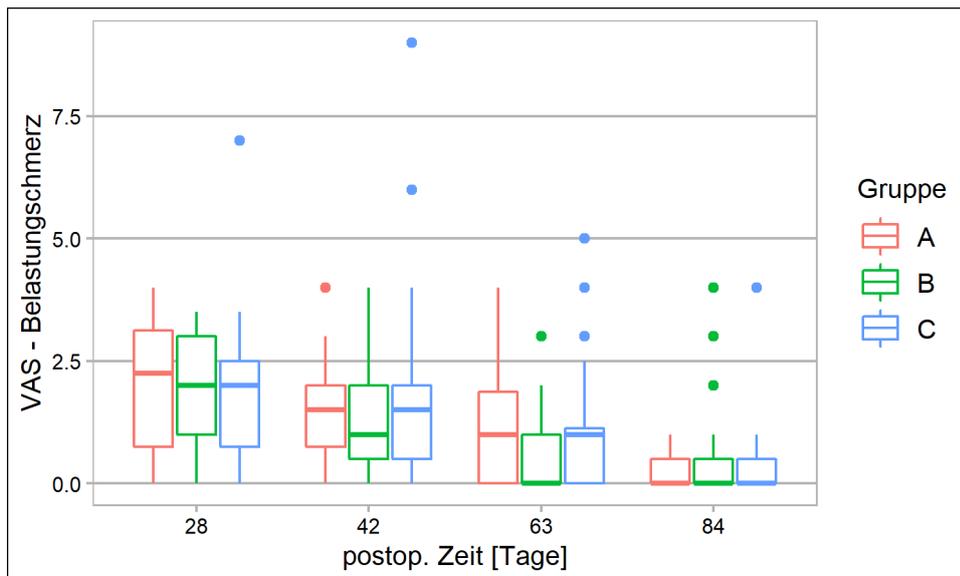


Abbildung 32: Belastungsschmerzen nach AO-Klassifikation

7.4.4 OSG-Fraktur mit Syndesmosenruptur

Eine weitere Unterteilung der OSG-Frakturen fand hinsichtlich der Versorgung mit ($n = 17$) und ohne Stellschraube ($n = 34$) infolge einer Syndesmosenmitbeteiligung statt. Abb. 33 zeigt den Schmerzverlauf in Ruhe und Abb. 34 und 35 unter Druckausübung bzw. Belastung. Es zeigte sich weder bei den Ruheschmerzen (alle $p > 0,14$, vor Bonferroni-Korrektur) noch bei den Druckschmerzen (alle $p > 0,15$, vor Bonferroni-Korrektur) oder den Belastungsschmerzen (alle $p > 0,23$, vor Bonferroni-Korrektur) ein signifikanter Gruppenunterschied im Mann-Whitney-U-Test.

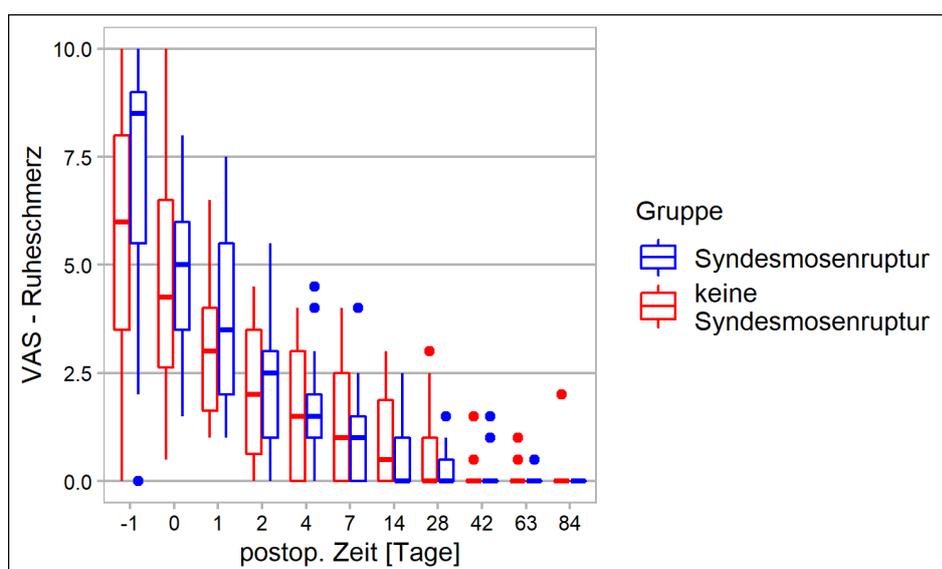


Abbildung 33: Ruheschmerzen nach Syndesmosenruptur

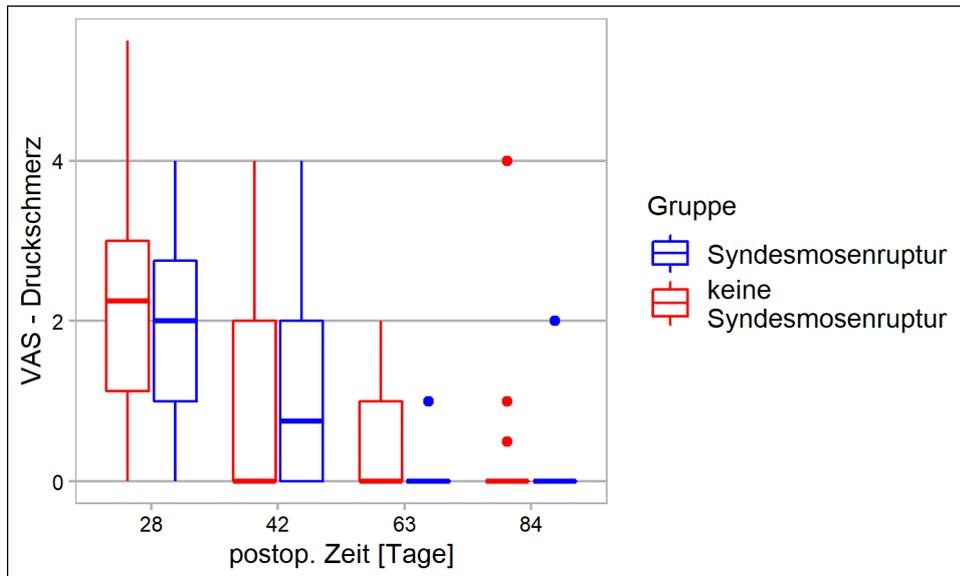


Abbildung 34: Druckschmerzen nach Syndesmosenruptur

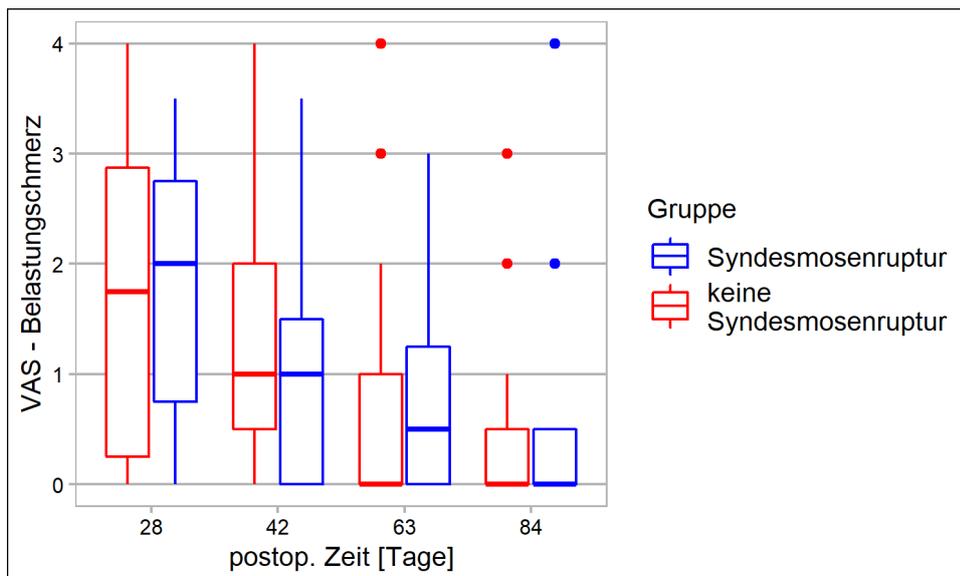


Abbildung 35: Belastungsschmerzen nach Syndesmosenruptur

7.4.5 Weichteilschaden

Bei der Betrachtung des Schmerzverlaufes hinsichtlich des vorhandenen Weichteilschadens, welcher vorab durch den jeweiligen Operateur nach Tscherné eingeteilt worden ist, zeigte sich unabhängig welcher Schweregrad vorlag, kein statistischer Zusammenhang, der Rückschlüsse auf das Schmerzempfinden hinsichtlich

des Schweregrades des Weichteilschadens erlaubte. Die Schmerzwerte lagen eng beieinander, so dass davon auszugehen war, dass die Schmerzen nicht mit einem höheren Weichteilschaden korrelieren. Die Korrelationsprüfung mittels Pearson Korrelationskoeffizient ergab Werte um ± 0 bis max. 0,15 und zeigte somit auch statistisch keine vorhandenen Korrelationen.

7.5 Therapie

In 7 der 97 Fällen wurde vor definitiver Versorgung der Fraktur ein Fixateur externe angelegt, um zunächst eine Weichteilkonsolidierung abzuwarten. Hierbei zeigt sich, dass Probanden*innen mit einem initialen Fixateur externe innerhalb der ersten 4 Wochen mehr Schmerzen angaben als die Vergleichsgruppe. Dies spiegelte sich sowohl in den Ruhe- als auch in den Druck- und Belastungsschmerzen wider. Bei den Druckschmerzen zeigte sich kein Unterschied im Schmerzverhalten nach vier Wochen. Ab der 5. postoperativen Woche verhielten sich die angegebenen Werte vergleichbar zueinander. Eine statistische Auswertung ist aufgrund der geringen Gruppengröße ($n = 7$) nicht sinnvoll durchführbar.

7.6 Komplikationen

Hier führten sowohl das Auftreten eines Infektes, unabhängig davon, zu welchem Zeitpunkt dieser auftrat, als auch eine frühere selbstständige Aufbelastung zu keinem statistisch signifikanten Unterschied im postoperativen Schmerzverhalten. Ein Implantatkonflikt hingegen ergab keinen Einfluss auf das Schmerzverhalten.

7.6.1 Wundheilungsstörungen

Von Wundheilungsstörungen bzw. Wundinfekte wurden, entsprechend von der Autorengruppe um Metsemakers et al (2018) (70) festgesetzten definierenden Faktoren, Probanden*innen mit dehiszenter Wunde oder postoperativ geröteten oder geschwollenen Wunden zusammengefasst.

In der vorliegenden Studie hatten 12 Probanden*innen im postoperativen Verlauf eine Wundheilungsstörung oder einen Wundinfekt entwickelt und es kam in den ersten 14 postoperativen Tagen bis 3 Wochen zu einer prolongierten Wundheilung.

Bei den Ruheschmerzen zeigte sich am ersten postoperativen Tag ein höheres Schmerzniveau bei Probanden*innen mit Wundstörungen, dieser Effekt überlebte aber nicht die Bonferroni-Korrektur ($p = 0,049$; nach Korrektur: $p = 0,546$; alle anderen $p > 0,14$, siehe Abb. 36).

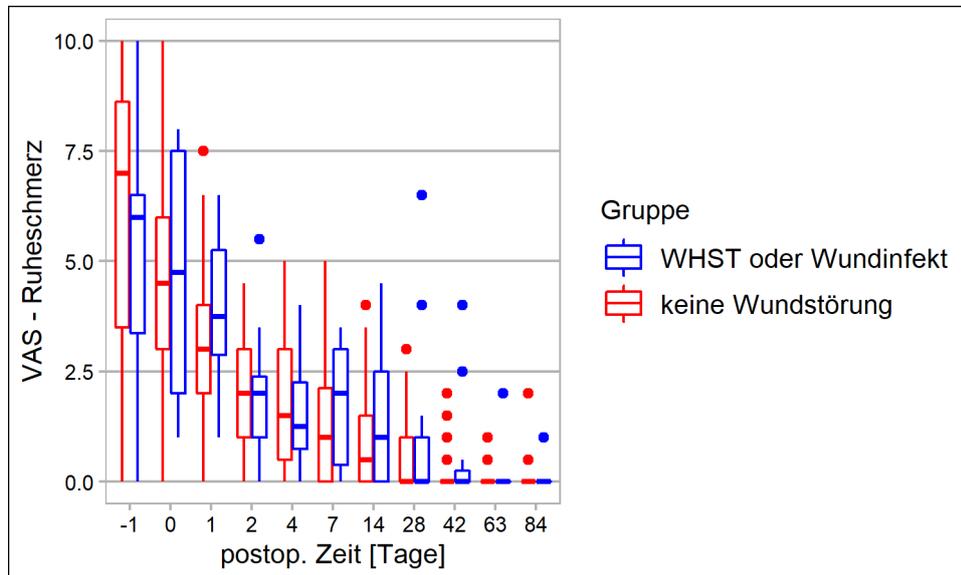


Abbildung 36: Ruheschmerzen nach Wundstörung

Bei den Druckschmerzen zeigte sich 9 Wochen postoperativ ein höheres Schmerzniveau bei Probanden*innen mit Wundheilungsstörungen, dieser Effekt überlebte aber nicht die Bonferroni-Korrektur ($p = 0,017$; nach Korrektur: $p = 0,069$; alle anderen $p > 0,15$, siehe Abb. 37).

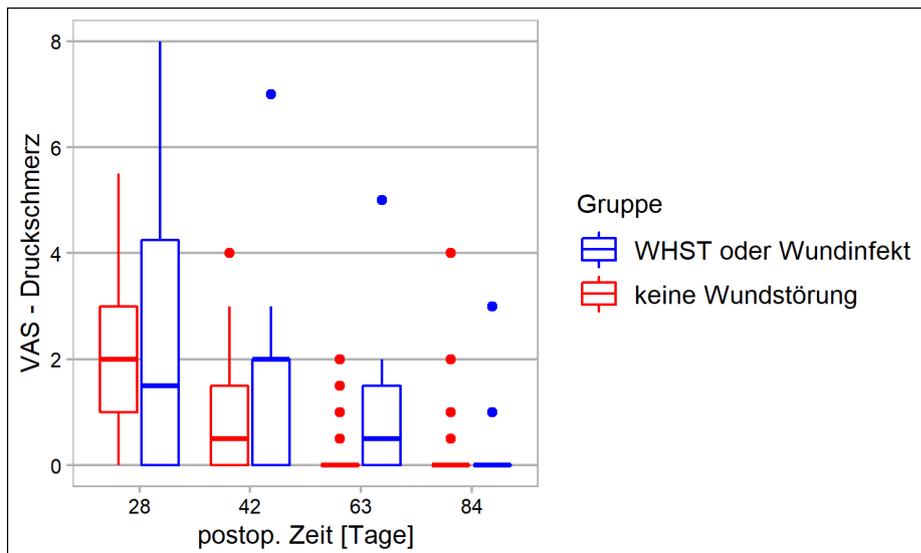


Abbildung 37: Druckschmerzen nach Wundheilungsstörung

Bei den Belastungsschmerzen zeigte sich 6 und 9 Wochen postoperativ ein höheres Schmerzniveau bei Probanden*innen mit Wundheilungsstörungen, wobei nur der Effekt nach sechs Wochen die Bonferroni-Korrektur überlebte (6 Wochen: $p = 0,007$; nach Korrektur: $p = 0,029$; 9 Wochen: $p = 0,018$; nach Korrektur: $p = 0,055$; alle anderen $p > 0,18$, siehe Abb. 38).

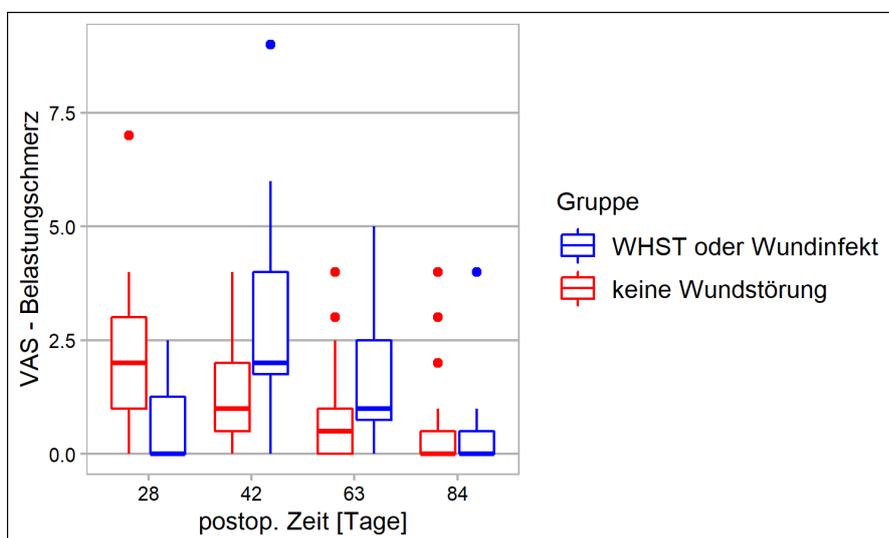


Abbildung 38: Belastungsschmerzen nach Wundstörung

7.6.2 Frühere Aufbelastung

In der vorliegenden Studie erfolgte in 4 Fällen bei Schmerzfreiheit eine selbstständige frühere Aufbelastung, bei der sich nicht an die empfohlenen Vorgaben des

Aufbelastungsschemas bzw. an die empfohlene Ruhigstellung und Schonung innerhalb der ersten 4 Wochen gehalten wurde. Klinisch und radiologisch waren die Frakturen der betroffenen Probanden*innen alle gut verheilt und erzielten ein gutes primäres Outcome. Die Schmerzverläufe von Probanden*innen, die sich an das Nachsorgeprozedere hielten, und denen, die früher selbstständig aufbelasteten, zeigten sich vergleichbar. Bei einer selbstständig früheren Aufbelastung wurde bereits früh (nach 8-14 Tagen postoperativ) eine Schmerzfreiheit berichtet, die sich sowohl in Ruhe wie auch später unter Druckausübung und Belastung fortsetzte. Eine statistische Auswertung ist aufgrund der geringen Gruppengröße ($n = 4$) nicht sinnvoll durchführbar.

7.7 SF-36 Gesundheitsfragebogen

Wie Abbildung 39 zeigt, schwanken die mittleren Zufriedenheitswerte der Probanden*innen um 50%. Einen Ausreißer nach oben stellt Säule 5 (emotionale Rollenfunktion), einen Ausreißer nach unten Säule 2 (gesundheitlich limitierende Faktoren) dar. Es zeigte sich für alle Säulen außer Säule 3 und Säule 5 eine signifikante Steigerung des Skalenwerts über die Zeit (7 Wochen postoperativ vs. 4 Wochen postoperativ.) im Wilcoxon-Rangsummentest nach Bonferroni-Korrektur (Säule 1, 2, 4, 6, 7, 8: $p < 0,003$; Säule 3: $p = 0,074$; Säule 5: $p = 0,157$).

Zusammenfassend konnten Verbesserungen der Lebensqualität über den zeitlichen Verlauf zwischen Erst- und Zweiterhebung gezeigt werden, passend zu den abfallenden Schmerzen über den zeitlichen Verlauf.

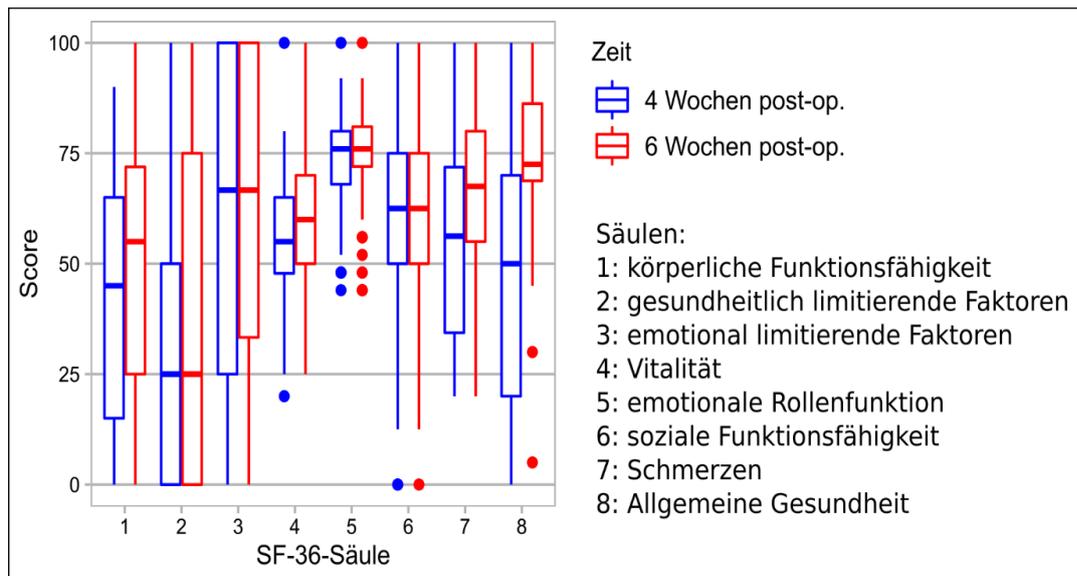


Abbildung 39: SF-36-Werte nach 4 und 6 Wochen

8 Diskussion

8.1 Zusammenfassung

Frakturen der Extremitäten, insbesondere DRF- und OSG-Frakturen, sind die häufigsten Frakturen im Erwachsenenalter, bedingt durch Niedrigrasanztraumata im Alltag und Hochrasanztraumata bei Unfällen. Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie legen bisher frakturspezifische, feste Nachsorgeschemata fest. Wenig Beachtung findet hierbei jedoch die Individualität des Patienten selbst und welche Voraussetzungen, die einen Einfluss auf die Frakturheilung und den subjektiven Schmerz haben könnten, der Patient mitbringt. Die vorliegende Studie evaluierte Probanden*innen mit einer solchen Fraktur retrospektiv hinsichtlich des subjektiv empfundenen Frakturschmerzes und der Co-Faktoren mit dem Ziel, hieraus Einflussfaktoren für die postoperative Frakturheilung zu detektieren. Da der Schmerz inter- und intrapersonellen Schwankungen unterliegt, galt es, mehrere Zeitpunkte und unterschiedliche Schmerzsituationen zu evaluieren.

Als Messinstrument wurde die Visuelle Analogskala (VAS) bzw. die Numerische Ratingskala (NRS) angewendet. Die Auswertung ergab einen kontinuierlich abfallenden Verlauf der Schmerzkurven gegen Null in allen erhobenen Schmerzsituationen. Insgesamt war eine Tendenz zu erkennen, dass Probanden*innen mit einer DRF mehr Schmerzen angaben, als Probanden*innen mit einer OSG-Fraktur. Zu den Faktoren, die

einen Einfluss auf das postoperative Schmerzverhalten hatten und bei den Probanden*innen zu vermehrten Schmerzen führten, zählten patientenspezifische Daten wie endokrinologische Erkrankungen.

Diese Art der Gegenüberstellung des postoperativen Frakturverlaufes in Bezug auf das klinische Schmerzempfinden des Probanden*innen ist bisher in der Literatur erst wenig beschrieben, so dass der Vergleich zu bereits bekannten Studien nur eingeschränkt möglich ist.

Diese Ergebnisse wurden aufgrund der kleinen Gesamtpopulation mit zum Teil sehr kleinen Subgruppengrößen erstellt und sollten in der Betrachtung hinsichtlich ihrer Aussagekräftigkeit kontrovers betrachtet werden.

8.2 Diskussion der Methoden

8.2.1 Schmerzskalen

Um den Schmerz zu quantifizieren, wurde in der vorliegenden Studie die VAS/NRS als eine unidimensionale Maßeinheit analysiert. Obwohl der Schmerz ein multidimensionaler Komplex ist, der sich bei muskuloskeletalen Schmerzen hauptsächlich diffus und nicht genau lokalisierbar äußert oder sich auf einen Punkt reduzieren lässt, finden diese beiden Skalen im allgemeinen klinischen Alltag aufgrund ihrer guten verallgemeinerten Aussage viel Verwendung. Es stellt sich allerdings die Frage, wie gut sich der Schmerz wirklich mit der VAS detektieren lässt. Kritisch zu betrachten ist außerdem, dass die Schmerzunterschiede auf den verwendeten Skalen in Realität nur einer feinen Nuance entsprechen, so dass ein Unterschied von 0,5 auf der Schmerzskala kein wesentlicher klinischer Unterschied bedeutet; dieser jedoch als Grundlage der Auswertung galt, so dass zu hinterfragen ist, welche klinische Relevanz sich hieraus überhaupt ergeben kann.

Mohan et al. zeigten in einer Vergleichsstudie zwischen der VAS und der NRS, dass ein gewisser Vorteil auf Seiten der NRS liegt, da diese praktischer angewendet werden kann. Zu diesem Schluss kam die Autorengruppe, nachdem es bei paralleler Anwendung beider Skalen zu unterschiedlichen Schmerzangaben kam und höhere Werte bei Verwendung der NRS angegeben wurden als mit der VAS. Die NRS hat als Analogskala unendlich viele Schritte und ist daher feiner als die VAS, da diese dem/r Probanden*in aufgrund der 1er Schritt-Skalierung mehr Möglichkeiten bietet, seinen Schmerz

auszudrücken und so evtl. dazu verleitet eher auf- statt abzurunden. Dadurch kann nicht sicher gesagt werden, ob der/die Proband*in tatsächlich höhere Schmerzen hatte bzw. eine Schmerzzunahme verspürte oder es lediglich an der Art der Skala lag (75), so dass die Empfehlung ausgesprochen wurde, nicht beide Skalen parallel im gleichen Zeitraum zu verwenden (76). Die Literatur ist sich jedoch insgesamt einig, dass beide Skalen vergleichbar angewendet werden können und nach wie vor die am besten verständlichen und am weitesten verbreiteten Methoden sind (77)(76).

Während andere Studien zusätzlich eine Schwierigkeit in der Anwendbarkeit bei den Probanden*innen sahen, konnte dies in der vorliegenden Studie nicht beobachtet werden und alle Probanden*innen empfanden die Skalen als gut verständlich und gut anwendbar (76).

8.2.2 OP-Technik

In der vorliegenden Studie wurden ausschließlich mittels Schrauben- und Plattenosteosynthese versorgte Frakturen inkludiert. Um einen besseren Überblick über das gesamte postoperative Schmerzverhalten zu erlangen und somit das Schmerzverhalten besser einschätzen zu können, sind weitere Studien notwendig, deren Patientenkollektiv auch Probanden*innen aller Osteosyntheseverfahren und aller Knochen inkludiert.

8.2.3 Stichprobe und Nachuntersuchung

Die Studie von Arif et al. zeigte in ihrem Studiendesign eine große Ähnlichkeit zu der vorliegenden Studie, was das Schmerzverhalten, das OP-Prozedere und den Krankenhausaufenthalt betrifft. Die Autorengruppe untersuchte, wie sich eine direkt postoperative, gewichtsadaptierte Belastung auf OSG-Frakturen auswirkte. Das Ergebnis dieser Studie ergab ein mit der vorliegenden Studie vergleichbar niedriges postoperatives Schmerzempfinden der Probanden*innen (78). Außerdem wurde in der Studie der Funktionsscore nach Olerud und Molander, einem spezifischen Score für Sprunggelenksverletzungen, verwendet, während wir den SF-36 Score für die allgemeine Einschätzung der Lebensqualität und insbesondere der Alltagseinschränkung durch Frakturen analysierten.

Hinsichtlich der Nachuntersuchungsschemata sind sich die meisten Studien einig, in regelmäßigen Abständen klinische und radiologische Kontrollen anzusetzen. In den meisten Fällen finden diese nach 2, 6 und 12 Wochen, sowie nach einem Jahr statt. Nach aktueller Literaturlage wird das primäre Outcome in der Untersuchung nach 12 Wochen gesehen (78)(79). Der letzte Evaluationszeitpunkt entsprach folglich dem primären Outcome, sofern der/die Proband*in zu diesem Zeitpunkt schmerzfrei war. War dies nicht der Fall, erfolgte eine weitere Evaluation nach weiteren 3 Wochen. Um allerdings eine bessere Aussagekraft über das Outcome der Fraktur erhalten zu können und damit, evtl. Risikofaktoren besser detektieren zu können, wäre, aus unserer Sicht, ein noch engmaschigerer Evaluationszeitraum notwendig.

Ein weiterer Aspekt der Untersuchungsschemata der vorliegenden Studie betrifft die Evaluation der Schmerzwerte unter Druckausübung. Betrachtet man retrospektiv die erhobenen Daten und deren Auswertung, zeigte sich, dass eine Druckausübung zu keiner Veränderung im Schmerzverhalten im Vergleich zu den Ruheschmerzen führte.

Des Weiteren ist die Gesamtgröße der Studienpopulation und damit bedingt, die sich hieraus ergebene jeweilige Gruppengröße, kritisch zu hinterfragen. Die Ergebnisse die sich hieraus ergaben, sind somit nicht sehr repräsentativ und es sollten Folgestudien mit einer größeren Studienpopulation geplant werden.

8.2.4 Radiologische Kontrollen

Die radiologischen Kontrollen wurden hier nach der hausintern üblichen Vorgehensweise, sowie nach den von den Leitlinien angesetzten Zeitpunkten während des stationären Aufenthaltes postoperativ sowie nach 4-6 Wochen gemacht.

8.2.5 Anwendung des SF-36 Gesundheitsfragebogen

In der vorliegenden Studie wurde zur allgemeinen und objektiven Beurteilung der Lebensqualität des/r Probanden*in bzw. zur Beurteilung der frakturspezifischen Einschränkung in der Bewältigung von Alltagsaufgaben der SF-36 Gesundheitsfragebogen analysiert. Dieser ist international verbreitet und findet in vielen verschiedenen Gebieten Anwendung. Da dieser Fragebogen nicht spezifisch für DRF- oder OSG-Frakturen ist, wie z.B. ein DASH-Score oder der AOSFAS-Score (63), stellt sich die Frage, ob damit überhaupt eine vergleichbare Aussage getroffen werden kann.

Da wir jedoch hauptsächlich das postoperative Schmerzverhalten evaluieren wollten, dient der SF-36 Fragebogen vielmehr den allgemeinen Einschätzungen des körperlichen Wohlbefindens.

8.3 Diskussion der Ergebnisse

8.3.1 Demografische Faktoren

Geschlecht

Bei den vorliegenden Daten konnte nach der Auswertung ein unterschiedliches Schmerzverhalten bezogen auf das Geschlecht nicht nachgewiesen werden. Hinsichtlich dessen ist die Literaturlage jedoch uneinig. Einige Referenzen zeigen, dass das Schmerzempfinden insbesondere durch soziale Faktoren bedingt wird, wie Herkunft, persönliche Erfahrungen und die Persönlichkeit selbst (80). Studien von Gaston et al. zeigen, dass es bei Männern häufiger zu Komplikationen während der Frakturheilung kommt, wobei dies durch die Schwere der Verletzung bei häufigeren Hochrasanztraumata bedingt sein kann (81). Eine andere Studie von Fillingim et al. aus dem Jahre 2016 betrachtete retrospektiv Veröffentlichungen zu dem Thema geschlechterspezifisches Schmerzempfinden und zeigte, dass Frauen höhere Schmerzen angaben und auch eher zu einem chronischen Schmerzsyndrom neigten. Auch in der vorliegenden Studie hatten die sozialen Faktoren einen Einfluss auf das Schmerzverhalten (82).

8.3.2 Endokrinologische Vorerkrankungen

In der vorliegenden Studie zeigte sich zu unterschiedlichen Zeitpunkten ein verstärktes Schmerzempfinden bei Probanden*innen mit endokrinologischer Grunderkrankung, z.B. Hypothyreose, im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Die Knochenmatrix besteht zu großen Anteilen aus den Komponenten Calcium und Phosphat. Diese regulieren den Knochenumbau, welcher durch Schilddrüsen und Nebenschilddrüsenhormone reguliert wird. Die Regulation dessen unterliegt einer komplexen Verschaltung auf zerebraler Ebene.

Beim Vorliegen einer Hypothyreose ist die Knochensynthese bzw. die Knochenmatrix aufgrund der reduzierten Kalziumphosphatkonzentration (Ca-Phosphat) vermindert. Ein vermindertes Schilddrüsenhormon im Serum kann zu einer Hemmung der osteogenen

Proliferation in den Progenitorzellen führen, da Osteoblasten und Chondrozyten spezifische Schilddrüsenhormon-Bindungsstellen im Nucleus aufweisen und es so zu einer gestörten sekundären Knochenheilung kommen kann, wie Urabe et al. zeigten (83). In ihrer tierexperimentellen Studie zeigte die Autorengruppe bereits 1999, dass die Substitution von L-Thyrox bei hypothyreoten Ratten zu einer verbesserten Frakturheilung führt (83). Unter Verabreichung von Methimazol und Levothyroxin konnte gezeigt werden, dass eine normale Frakturheilung wiederhergestellt wird (83). Dies ist insbesondere hinsichtlich der vielen noch nicht diagnostizierten Hypothyreosen wichtig, welche mit einer Prävalenz von 50/1000 (53) in der Gesamtpopulation auftritt, mit wachsender Tendenz (84). Ferner konnte durch unsere Studie nicht nur gezeigt werden, dass Hypothyreotiker mehr Schmerzen empfinden, sondern auch, dass diese Schmerzen gleichbedeutend mit einer schlechteren Frakturheilung sind. Weitere Studien mit höherer Evidenzbasis sind allerdings notwendig, um den Einfluss einer Hypothyreose auf eine ggfs. gestörte Frakturheilung zu bestätigen. Weiter könnte sogar betrachtet werden, inwiefern eine Schmerzfreiheit gleichbedeutend mit einer Frakturstabilität ist und somit ggfs. eine frühere Aufbelastung möglich ist.

8.3.3 Früher stattgehabte Frakturen

Das knöchernerne Skelett enthält andere Nervenfasern als zum Beispiel die Haut. Während im Knochen hauptsächlich die A-Delta und C-Fasern vorzufinden sind, wird die Haut zusätzlich durch A-Beta Fasern innerviert. Dabei besitzt das Periost, als dünne fibröse „Haut“ des Knochens die meisten Fasern. Bei einer Schmerzweiterleitung ausgehend vom Periost, werden diese Schmerzen als gut lokalisierbar und mit stechendem Charakter beschrieben. Das Periost ist fischernetzartig aufgespannt und filtert so die Reize, die z.B. durch eine Fraktur oder durch Distorsionskräfte des darunter liegenden Knochens eintreten und leitet sie weiter. Insgesamt ist das Nervenfasernetz des Periosts großmaschiger als das der Haut. Damit reagiert es im Vergleich auch feinfühlig auf kleinere Reize wie zum Beispiel Druck und Entzündung. Bei einer Reizantwort kommt es zur Ausschüttung von vielerlei Faktoren, wie z.B. Entzündungsfaktoren, TNF-Alpha und Bradykinine (85).

Alves et al. beschreiben in ihrer Übersichtsarbeit, dass es durch veränderte chemische, elektrophysikalische und pharmakologische Reize zu einer veränderten zentralen Sensibilisierung kommt. Diese führt zu einem hypersensibilisierten zentralen

Schmerzempfinden, wodurch der Schmerz als stärker wahrgenommen wird (4). In der Literatur ist man sich noch nicht einig, ob diese Sensibilisierung durch vermehrte Expression von Botenstoffen wie Interleukin-1-Beta, Substanz P oder Expression von NMDA Rezeptoren zustande kommt und ob daraus eine Hypersensibilisierung des Umgebungsgewebes erfolgt (86). In der vorliegenden Studie gaben Probanden*innen, die sich zum ersten Mal eine Fraktur zugezogen hatten, weniger Schmerzen an als die Vergleichsgruppe, insbesondere nach 28 postoperativen Tagen in der Aufbelastungsphase. Diese Ergebnisse können auf Grundlage dieser Studien so interpretiert werden, dass wiederholte Frakturen, unabhängig von ihrer Lokalisation, durch Hypersensibilisierung des umgebenden Weichteilgewebes einerseits und durch ein bereits erlerntes Schmerzgedächtnis andererseits zu vermehrten Schmerzen führen. Denn jeder Schmerzreiz wird über das entsprechende Hinterhorn im Rückenmark und die Hinterstrangbahnen bis in den für das Schmerzempfinden verantwortlichen Bereich des Cortex weitergeleitet. Im Cortex findet die Perzeption statt.

Mit diesem Grundlagenwissen wird die Aussage aus den vorliegenden Daten, dass bereits früher erlittene Frakturen zu stärkeren Schmerzangaben neigen, im Vergleich zur Kontrollgruppe, die sich zum ersten Mal eine Fraktur zugezogen hatten, bestätigt. Zu beachten gilt es hier jedoch, dass in den vorliegenden Daten, keine nähere Unterteilung oder Dokumentation der früheren Fraktur vorlag, es war lediglich die Therapie, ob konservativ oder operativ behandelt wurde, bekannt. Des Weiteren hätte evtl. zusätzlich ein Röntgenbild angefertigt werden können, um etwaige Restfolgen bzw. strukturelle Veränderungen zu dokumentieren. Somit hätte auch ein besserer Vergleich erfolgen können. Ein großer Einflussfaktor auf die Frakturheilung ist der vorhandene Weichteilschaden. Dieser wurde in der vorliegenden Studie bei der Unterscheidung der beiden Gruppen nicht betrachtet, sodass noch weitere Studien mit genauerer Spezifizierung und v.a. mit ausreichend Informationen zur Behandlung der früheren Fraktur notwendig sind.

8.3.4 Compliance

In der vorliegenden Studie zeigten sich keine Effekte der Patientencompliance auf das Schmerzverhalten. Die Frage ist, welche Rolle die Compliance auf die Therapie und auf die Studienteilnahme hat. Lassen sich beide Aspekte überhaupt trennen? Während die Compliance auf die Studienteilnahme absolut subjektiv durch den/die Probanden*in ist und von einer wahrheitsgemäßen Beantwortung der Fragen ausgegangen wird, muss

man festhalten, dass ab einer gewissen Größe der Studienpopulation, wenig inkompliance Probanden*innen auch wenig Einfluss haben, während hingegen eine Mehrheit an Incompliance einen großen Einfluss auf das Ergebnis haben kann. Genauso hat die Incompliance auch Einfluss auf die Therapie. Angenommen, ein/e Proband*in mit einer OSG-Fraktur belastet das Bein ab Tag 1 postoperativ mit seinem/ihrer kompletten Körpergewicht, so ist mit einer fehlenden Durchbauung oder zumindest einer Pseudarthrose zu rechnen. Dies hätte einen weitreichenden Effekt auf die Therapie. Dadurch dass damit gerechnet werden kann, dass eine fehlende Compliance in Bezug auf die Therapie auch zu einer fehlenden Compliance in der Verfügbarkeit und Korrektheit der Beantwortung der Fragen für die Studie führt, kann zusammenfassend konstatiert werden, dass sich beide Aspekte in der vorliegenden Situation nicht voneinander trennen lassen. Auch in der Literatur lassen sich bis dato keine Studien finden, welche dezidiert die Compliance bei Studienteilnahmen betrachten, da dies ein sehr störanfälliger Begriff ist und vermutlich deswegen bisher wenig Beachtung gefunden hat.

Maede et al. zeigen in ihrer Übersichtsarbeit zur Schmerzminderung durch Übungen bei chronischen muskuloskeletale Schmerzen, dass eine bessere Befolgung der Aufgaben und damit eine verbesserte Compliance das Schmerzlevel senkt. Dabei wurden Erkrankungen wie Osteoarthritis, Fibromyalgie und chronische Rückenschmerzen betrachtet (87). Wie bereits früher, bei der Betrachtung des postoperativen Schmerzverlaufes bei Probanden*innen mit einem Nikotin- oder Alkoholabusus, erwähnt, führte auch hier eine Nichteinhaltung des empfohlenen postoperativen Prozederes zu vermehrten Schmerzen. Da es sich aber auch hier zeigte, dass eine Non-Compliance keinen Einfluss auf das langfristige Frakturoutcome zu haben scheint, gilt es trotzdem im direkt postoperativen Zeitraum an die Compliance des/r Patienten*in zu appellieren, um somit das subjektive Patientenwohl zu erreichen.

8.3.5 Traumacharakteristika

8.3.5.1 AO-Klassifikation

Die Literatur unterscheidet hierbei nicht zwischen DRF und OSG-Frakturen. Erwartungsgemäß würde man sagen, dass eine höher klassifizierte Radiusfraktur nach der AO-Einteilung aufgrund der Komplexität der Fraktur und etwaiger größerer

Weichteilverletzungen bzw. Mitverletzungen auch stärkere Schmerzen verursachen. Dies konnte in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden, weder in Ruhe noch unter Druckausübung oder unter Belastung. Bei allen Untersuchungsgruppen zeigte sich ein zeitnaher kontinuierlicher Abfall der Schmerzen nach 4 Tagen und auch im weiteren Verlauf.

Bei den Frakturen des oberen Sprunggelenkes zeigten sich insgesamt tendenziell höhere Schmerzangaben als bei DRF. Bereits Ponsford et al. konnten in ihrer Studie zeigen, dass Frakturen an der unteren Extremität mehr Schmerzen bereiten als anderorts, ohne Nachweis einer schlechteren Frakturheilung (88).

Die Frakturen des oberen Sprunggelenkes wurden unterteilt in eine Gruppe von OSG Typ B Frakturen nach AO, die mit einer Stellschraube versorgt worden sind, in eine Gruppe von Typ C Frakturen ebenfalls mit Stellschraube versorgt und eine Gruppe von OSG-Frakturen aller Kategorien, die jedoch ohne eine Stellschraube ausversorgt worden sind. Weder bei den Ruhe- noch bei den Druck- oder Belastungsschmerzen konnten statistisch signifikante Unterschiede nachgewiesen werden.

Bei den vorliegenden Daten wurde initial nicht unterschieden, welches Narkoseverfahren angewendet wurde, denn auch eine Studie aus dem Jahr 2014 von Galos et al. besagte, dass es postoperativ in den ersten 12 Stunden keinen Unterschied machte, welches Verfahren die Probanden*innen erhielten und alle Probanden*innen im Mittel ähnliche Schmerzen angaben (89).

Die Autorengruppe um Arora et al. führte eine longterm Follow-up Studie von Radiusfrakturen durch, um deren Outcome zu detektieren. Hierbei wurde auf radiologische und funktionelle Faktoren wie auch auf Schmerzen eingegangen. Es zeigte sich, dass in 90 % der Fälle die Probanden*innen schmerzfrei waren (45). Das initiale Follow-up war hierbei nach 4, 7 und 12 Wochen postoperativ für das primäre Outcome, festgelegt worden. Dies bestätigt auch die Tendenz aus den vorliegenden Daten, dass ein früher Abfall der Schmerzen postoperativ ein gutes Outcome erbringt. Auch Bolmers et al. zeigten in ihrer prospektiven Longterm Studie, dass es keine Unterschiede im Outcome, der Schmerzangaben oder der Funktionalität bei teilartikulären Typ B Radiusfrakturen und intraartikulären Typ C Frakturen nach AO gab (90).

8.3.5.2 Weichteilschaden

Nach Auswertung der vorliegenden Daten zeigt sich kein Zusammenhang zwischen den postoperativen Schmerzen und einem jeweiligen Weichteilschaden. Zuvor konnten wir bereits zeigen, dass Schmerzen nicht mit der Schwere einer Fraktur und damit mit ihrer AO-Klassifikation korrelieren. Außerdem muss man bei diesem Einteilungskriterium kritisieren, dass, trotz eines eindeutigen Primärschadens des Weichteilgewebes, der Sekundärschaden noch nicht abzuschätzen war und somit eine klare Einteilung klinisch schwierig ist, wie Schwabe et al. in ihrer Arbeit verdeutlichen (91). Nach den bisherigen Ergebnissen, dass die postoperativen Schmerzen nicht mit einer Frakturklassifikation korrelieren, ist auch bei besserer Verifizierung des Weichteilschadens, nicht zu erwarten, dass dieser mit den postoperativen Schmerzen korreliert.

8.3.6 Auffälligkeiten/ Komplikationen

In der vorliegenden Studie zeigte sich bei den Belastungsschmerzen ein signifikanter Unterschied zwischen einer anfänglichen Wundheilungsstörung und einer komplikationsfreien Wundheilung. Dieser Wert erscheint auf dem Hintergrund, dass auch in der Literatur keine Studien veröffentlicht worden sind, die vermehrte Frakturschmerzen bei einer Wundheilungsstörung beschrieben haben, als nicht ausreichend aussagekräftig. Eine Dissertation aus dem Jahre 2015 zeigt jedoch, dass in solchen Fällen eine längere Krankenhausverweildauer initial bestand (92).

Was insgesamt aus allen Beobachtungen mitgenommen werden kann, ist, dass Wundschmerzen durch Wundheilungsstörungen nicht gleichzusetzen sind mit Knochenheilungsschmerzen. Wie bereits früher erwähnt, geht die Literatur davon aus, dass im Periost die meisten Sensoren sitzen, die den Schmerz detektieren und nach zentral weiterleiten und der Schmerz dadurch einen anderen Schmerzcharakter bekommt, als Schmerzen aufgrund einer Wundheilungsstörung (86)(93). Die genauen physiologische Vorgänge sind bisher noch nicht ausreichend erforscht. Folglich wären weitere experimentelle Studien zu dieser Art des Schmerzempfindens und des Schmerzcharakters notwendig.

8.3.7 Frühere Aufbelastung

In der vorliegenden Studie wurde in 4 Fällen eine selbstständige frühere Aufbelastung unter den Probanden*innen beobachtet. In allen 4 Fällen kam es dennoch zu einem guten primären Outcome, weder radiologisch noch klinisch konnten Anzeichen einer gestörten Frakturheilung gezeigt werden.

Die ersten bedeutsamen Studien in der medizinischen Geschichte zur weiteren Nachbehandlung operativ versorgter OSG-Frakturen wurden bereits im Jahr 1986 durch die Autorengruppe um T. Ahl et al. veröffentlicht. In dieser Studie wurden operativ versorgte Sprunggelenksfrakturen mit Nägeln und Cerclagen in zwei Gruppen aufgeteilt. Die eine Gruppe durfte bereits am 1. postoperativen Tag mit einer Vollbelastung beginnen, während die Kontrollgruppe erst nach der 4. postoperativen Woche mit einer Aufbelastung beginnen durfte. Insgesamt waren keine signifikanten Unterschiede zwischen einer sofortigen Vollbelastung und einer adaptierten Aufbelastung zu verzeichnen (94).

Auch eine retrospektive Studie von Arif Gul et al. aus dem Jahr 2007 bestätigte dies. Es konnte hier sogar beobachtet werden, dass eine höhere Komplikationsrate wie z.B. Wundheilungsstörungen bestanden hatten, wenn keine sofortige postoperative Vollbelastung, sondern eine Ruhigstellung im Cast und Teilbelastung empfohlen wurde (78). Bei dieser Studie wurden operativ versorgte Frakturen des oberen Sprunggelenkes ebenfalls in zwei Gruppen eingeteilt. Die eine Gruppe konnte direkt nach der operativen Versorgung der Fraktur unter Vollbelastung beginnen, während die andere Gruppe eine adaptierte Aufbelastung mit anliegender Cast-Schiene absolvierte, nicht wie die Studien zuvor in einer Gipsschiene. Hier zeigte sich im Outcome weder klinisch noch radiologisch ein Unterschied, jedoch war der Zeitraum, bis ein/e Proband*in wieder die normalen Tagesabläufe aufnehmen und zurück zur Arbeitsstelle kehren konnte, deutlich niedriger als in der Vergleichsgruppe mit Aufbelastung in der Cast Schiene. In dieser Studie wurde der Aktivitätsscore nach Olerud und Molander angewendet, in dem die Probanden*innen subjektiv ihre Aktivitäten wie Treppensteigen, Hüpfen und Rennen bewerteten. Auf eine radiologische Kontrolle wurde hierbei aus klinischen Aspekten verzichtet (78).

Diese Studien zeigen auf, dass unabhängig der angewandten Operationstechnik bei der offenen Reposition und internen Fixierung durchweg ein gutes Outcome erreicht wird (95).

Auch eine experimentelle Studie von Tan et al., in der die biomechanischen Aspekte einer Frakturstabilität nach Plattenosteosynthese, mithilfe extern ausgeübter Kraft auf die fixierte Fraktur, betrachtet wurden, kam zu dem Ergebnis, dass ein frühzeitiges Beüben im Sinne einer Lastaufnahme nach operativ behandelten OSG-Frakturen biomechanisch ohne Verlust der Reposition oder Versagen der Plattenosteosynthese möglich ist (96). Diese Aspekte wurden wiederum in anderen Studien mittels Erhebungsscores, wie zum Beispiel durch den Olerud and Molander Score, überprüft und ergaben keine Einschränkung in ihrer Mobilität und Funktionalität; sie führten durchweg zu einer besseren Lebensqualität, nicht zuletzt, weil eine frühere Rückkehr an den Arbeitsplatz durch eine frühere Aufbelastung möglich war (nach 24 Tagen Teilzeit und nach 78 bzw. 79 Tagen Vollzeit). Schmerzen bestanden dabei nur geringfügig bis gar nicht (79)(96).

Dies ist auch aus dem Leistungssport bekannt. Es wird eine frühe Mobilisation praktiziert, denn auch hier haben die Patienten*innen nicht die Zeit einer langen Rekonvaleszenz, bei der insbesondere die Muskulatur und damit das wichtigste Gut eines Leistungssportlers abbaut, welche dann oft einseitig wieder in einem langwierigen Prozess aufgebaut werden muss.

Auch eine Studie von Smeeing et al. aus dem Jahre 2018 zeigte, dass eine frühzeitige Aufbelastung nach operativ versorgten Sprunggelenksfrakturen zu keinen signifikanten Komplikationen führt.

Vor dem Hintergrund dieser Studien und der aktuellen Ergebnisse, auch wenn dies nur eine kleine Anzahl von Probanden*innen betrifft, kann man für die Zukunft mutmaßen, dass die Therapie sich dahingehend entwickeln könnte, dass man eine frühere Aufbelastung anstrebt. Dies kann für den/die Patienten*in eine Verkürzung der Ausfallzeit und Reduktion der Risiken einer Sekundärbeeinträchtigung wie Gelenksteifheit und Einschränkung der Lebensqualität, aber auch eine Kostenreduzierung in der Behandlung bedeuten. Dies zeigt auch die Studie um die Autorengruppe Dogra et al. (97). Auf biomechanischer Ebene ist bereits durch viele Studien gezeigt worden, dass eine frühere Aufbelastung keinen Einfluss auf die Frakturstabilität hat (96). Bevor dies in die Praxis umgesetzt werden kann, stehen noch weitere prospektive Studien mit größerem Patientengut aus.

8.3.8 SF-36 Gesundheitsfragebogen

Der SF-36 Fragebogen zur subjektiven Gesundheitsqualität zeigt nach 4 Wochen, dass die Probanden*innen unter der Fraktur und durch deren Ruhigstellung subjektiv deutlich eingeschränkt sind. Eine Zweiterhebung der Zufriedenheit durch den SF-36 Fragebogen nach 6-7 Wochen zeigt eine Steigerung der Zufriedenheit in fast allen Bereichen. Bei den Probanden*innen nachgefragt, wurde berichtet, dass hauptsächlich durch die Einschränkung der sozialen Kontakte, bedingt durch eine fehlende Mobilität aufgrund der Gehhilfen und des damit verbundenen unverhältnismäßigen z.T. auch zeitlichen Aufwandes, folglich mehr Zeit in der Wohnung verbracht worden war. Diese Aspekte wirken sich auf den Gemütszustand aus, der dann die Gesamtsituation als viel schlechter einschätzen lässt. Der deutlichste Anstieg lag bei der Einschätzung der allgemeinen Gesundheit. Für dieses Ergebnis lässt sich kein medizinisches Korrelat, sondern vielmehr ein psychologisches Korrelat finden. Es sind die Dinge, in denen die Probanden*innen subjektiv durch ihre Fraktur und der damit verbundenen Ruhigstellung eingeschränkt sind, welche sich omnipräsent auf den Gesamtzustand und damit das Gefühl der allgemeinen Gesundheit auswirken. Bereits Wilkie et al. besagen in ihrer Studie, dass muskuloskeletale Schmerzen und Depressionen oder chronische Vorbelastungen die beiden ausschlaggebendsten Faktoren in der zweiten Lebensdekade sind um weniger am Alltagsleben zu partizipieren (98). Die Kriterien bei dieser Studie waren Schmerzen, Multimorbidität, Angst, Depression, kognitive Beeinträchtigung, BMI, demografische und sozioökonomische Faktoren und physische Funktionsfähigkeit.

Im Allgemeinen belegten Bullinger et al. in verschiedenen Veröffentlichungen, welchen Einfluss der SF-36 als Messinstrument hat. So konnte anhand dessen Auswertung Vergleichswerte von Probanden*innen unterschiedlichster Erkrankungen gezeigt werden. So gaben Probanden*innen mit komplexer Fußverletzung auf der physischen Summenskala vergleichbare Werte an, wie Probanden*innen, die an pectanginösen Beschwerden leiden, deren Werte wiederum in der Nähe derjenigen Probanden*innen lagen, die an einer Herzinsuffizienz leiden (69)(70).

Für die Praxis bedeutet dies, dass den Patienten*innen an die Hand gegeben wird, dass sie sich darauf einstellen müssen, in den ersten 4 Wochen auch eine psychische Belastung im Sinne der eingeschränkten Selbstständigkeit und eine zunehmende

Hilfsbedürftigkeit zu erfahren. Sobald es dann in die Aufbelastungsphase geht, reduziere sich dieses Gefühl wieder und die Selbstständigkeit kehrt langsam zurück.

8.4 Zusammenfassung

Der Mechanismus der Frakturheilung ist sehr komplex und ist abhängig von vielen Signalkaskaden auf verschiedensten Verschaltungsebenen, welche alle das Auslösen bzw. Ausschütten und Fortleiten von Boten- und Signalstoffen regulieren. Letztlich ist der komplette Mechanismus noch nicht endgültig wissenschaftlich erforscht.

In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass bei einer Stichprobe von 97 Probanden*innen, die mit einer Vielzahl verschiedenster Risikofaktoren behaftet waren, der postoperative Schmerzverlauf insgesamt ähnliche Tendenzen zeigte. So bestand initial im Median ein Schmerz im mittelstarken Bereich, der sich innerhalb der ersten postoperativen Woche halbierte und zum Teil in Bereiche zwischen 0 und 1 auf der VAS Skala abfiel. Die weitere Evaluation unter Belastung und Druckausübung nach der 4. bis 12. postoperativen Woche zeigte einen ähnlichen Verlauf. In vielen Grafiken kann man beobachten, dass es nach 6 Wochen zu einem Schmerzpeak bei den Belastungsschmerzen kommt. So ist anzunehmen, dass nach 6 Wochen mutmaßlich die Frakturheilung abgeschlossen zu sein scheint. Zusätzlich ist nach 6 Wochen die Muskulatur so zurückgegangen, dass anzunehmen ist, dass durch das Auftrainieren dieser, es zu zusätzlichen Beschwerden kommen kann.

In der Auswertung aller Ergebnisse und mit der meisten Aussagekraft und somit zielführend für eine verbesserte klinische Therapie, ergab sich, dass eine endokrinologische Vorerkrankung und hier insbesondere das Vorliegen einer Hypothyreose vermehrte postoperative Schmerzen hervorruft. Bisher sind erst wenige Studien, hauptsächlich tierexperimentelle Studien, bekannt, die in diesem Zusammenhang eine verzögerte Frakturheilung bei einer Hypothyreose nachweisen konnten.

Ziel muss es aber sein, die bisher standardisierte Therapie noch weiter anzupassen und v.a. zu individualisieren, damit der postoperative Verlauf und somit das Outcome nach Frakturen für den Patienten optimiert wird. Es gilt also konkret herauszufinden, ob eine Fraktur bei Schmerzfreiheit stabil ist und in solch einem Fall insbesondere ein gutes

langfristiges Ergebnis erwartet werden kann, um dann in weiteren Studien zu zeigen, ob ggfs. eine frühere adaptierte Aufbelastung angestrebt werden kann.

Außerdem sollte durch die vorliegende Studie gezeigt werden, welche Risikofaktoren einen negativen Einfluss auf die Frakturheilung haben. Auf Grundlage dessen, gilt es nun weitere Studien in größerem Umfang hinsichtlich Patientenkollektiv, Evaluationszeitpunkt und Studiendesign zu führen, um eine Aussage und ggfs. Anpassung der bisherigen Nachsorgeschemata zu erzielen, damit der Heilungsverlauf für den/die Patienten*in und damit auch ökonomische Aspekte optimiert werden können.

9 Literaturverzeichnis

1. Woolf CJ. Central sensitization: Implications for the diagnosis and treatment of pain. Bd. 152, Pain. 2011.
2. Giannoudis P V., Strier KB, Chaves PB, Mendes SL, Fagundes V, Di Fiore A. Molecular paternity analyses confirm inbreeding avoidance and low reproductive skew in the northern muriqui, *Brachyteles hypoxanthus*. *Am J Phys Anthropol*. 2011;144(4):287.
3. Crandall M, Miaskowski C, Kools S, Savedra M. The pain experience of adolescents after acute blunt traumatic injury. *Pain Manag Nurs*. 1. September 2002;3(3):104–14.
4. Alves, Cecília J.;Neto, Estrela;Sousa, Daniela M.;Leitão, Luís;Vasconcelos, Daniel M.;Ribeiro-Silva, Manuel;Alencastre, Inês S.;Lamghari M. Fracture pain-Traveling unknown pathways. Bd. 85, Bone. Elsevier; 2016. S. 107–14.
5. Kingery WS. Role of Neuropeptide, Cytokine, and Growth Factor Signaling in Complex Regional Pain Syndrome [me_913 1239..1250](#).
6. Freeman, Katie T;Koewler, Nathan J;Jimenez-Andrade, Juan M;Buus RJ, Herrera, Monica B;Martin, Carl D;Ghilardi, Joseph R;Kuskowski, Michael A;Mantyh PW. A fracture pain model in the rat: adaptation of a closed femur fracture model to study skeletal pain. *Anesthesiology*. März 2008;108(3):473–83.
7. Schmidt-Bleek, Katharina;Schell, Hanna;Kolar, Paula;Pfaff, Michael;Perka, Carsten;Buttgereit, Frank;Duda, Georg;Lienau J. Cellular composition of the initial fracture hematoma compared to a muscle hematoma: A study in sheep. *J Orthop Res*. September 2009;27(9):1147–51.
8. Muhr G. Die Bedeutung von Biologie und Biomechanik in der Frakturheilung. In: *Unfallchirurgie in Deutschland*. 2011. S. 128–34.
9. Glatt V, Evans CH, Tetsworth K. A Concert between Biology and Biomechanics: The Influence of the Mechanical Environment on Bone Healing. *Front Physiol*. 2016;7:678.
10. Rüter A., Trentz O. WM. Kapitel 11 Grundlagen und Störungen der Knochenbruchheilung aus Unfallchirurgie. 2. Auflage. Urban&Fischer, Herausgeber. 2004. Kapitel 11, S.
11. Hert J, Fiala P PM. Osteon orientation of the diaphysis of the long bones in man. 1994. Kapitel 15,S. 269-277.

12. Claes L., Heigele C. Magnitudes of local stress and strain along bony surfaces predict the course and type of fracture healing. *J Biomech.* 1. März 1999;32(3):255–66.
13. Zeichen J. Distale Radiusfraktur. *Trauma und Berufskrankheit.* 12. Februar 2014;16(S1):112–20.
14. Ehrenfreund, Tin;Haluzan, Damir;Dobric, Ivan;Zigman, Tomislav;Rajacic, Daniel;Antoljak, Tonisav;Davila S. Operative management of unstable ankle fractures in the elderly: our institutional experience. *Bd. 44, Injury.* 2013.
15. Bartl C, Stengel D, Bruckner T, Gebhard F. Therapie der dislozierten intraartikulären distalen Radiusfraktur des älteren Patienten: Randomisierte Multicenterstudie (ORCHID) zur offenen Reposition und volaren Plattenosteosynthese versus geschlossener Reposition und Gipsimmobilisierung. *Dtsch Arztebl Int.* 2014;111(46):779–87.
16. Oestern H-J. Present status of treatment for radial fractures Abstract.
17. Wang J, Lu Y, Cui Y, Wei X, Sun J. Is volar locking plate superior to external fixation for distal radius fractures? A comprehensive meta-analysis. *Acta Orthop Traumatol Turc.* September 2018;52(5):334–42.
18. Shauver MJ, Yin H, Banerjee M, Chung KC. Current and Future National Costs to Medicare for the Treatment of Distal Radius Fracture in the Elderly. *J Hand Surg Am.* 1. August 2011;36(8):1282–7.
19. Henry Vandyke Carter. Ligaments of wrist. Anterior view.
20. Kirsch J. Taschenlehrbuch der Anatomie, Kapitel 11.3.4 Unterarm und Hand. 2.Auflage. 2011. S. 184-187.
21. Rainer Zumhasch, Michael Wagner, Sven Klausch BH. Anatomie und Biomechanik der Hand. 2. Auflage. Thieme Medical Publishers; 2012. 2–50 S.
22. Teréz Tömböl, Bertalan Csillik SK. Topografische Anatomie. 2000. 67–72, 30–37 S.
23. Frank J., Pralle H. MI. Funktionelle Anatomie und Biomechanik des Handgelenkes und distalen Radioulnargelenk. *OP-JOURNAL.* 2003;4–9.
24. Lippisch R, Lucas B, Schüttrumpf JP, Piatek S, Walcher F. Distale Radiusfraktur. *Trauma und Berufskrankheit.* 3. September 2016;18(S5):413–20.
25. Gradl Gierer A Ewert M Beck T Mittlmeier GP, med Georg Gradí K. Der radio-radiale Fixateur am Handgelenk ± eine Option zur frühfunktionellen Behandlung der distalen Radiusfraktur Radio-Radial External Fixation in the Treatment of Distal

- Radius Fractures Allows for Free Wrist Motion. Bd. 128, Zentralbl Chir. 2003.
26. Spies CK, Langer M, Müller LP, Oppermann J, Löw S, Unglaub F. Anatomy and biomechanics of the distal radioulnar joint. Bd. 47, Orthopade. Springer Medizin; 2018. S. 621–7.
 27. Towfigh, Hierner, Langer F. Frakturen und Luxationen der Hand. 1.Auflage. Springer, Herausgeber. 2011. 298–299 S.
 28. Dattani R, Patnaik S, Kantak A, Srikanth B, Selvan TP. Injuries to the tibiofibular syndesmosis. J Bone Jt Surg [Br]. 2008;90(4):405–15.
 29. Neumann H-W. AE-Manual der Endoprothetik. 2012;
 30. Müller-Gerbl M. Zum Thema: Osteochondrale Läsionen am Talus.
 31. Anatomy of Selected Synovial Joints · Anatomy and Physiology [Internet]. [zitiert 4. September 2022]. Verfügbar unter: <https://philschatz.com/anatomy-book/contents/m46377.html>
 32. G. Pisani. Fußchirurgie,. Thieme, Herausgeber. 1998. Kapitel 10, S.72-81.
 33. Tartaglione JP, Rosenbaum AJ, Abousayed M, DiPreta JA. Classifications in Brief: Lauge-Hansen Classification of Ankle Fractures. Clin Orthop Relat Res. Oktober 2015;473(10):3323–8.
 34. Weber BG. Die Verletzungen des oberen Sprunggelenkes. 2. Aufl. Huber S, Herausgeber. 1972.
 35. Wichelhaus A, Gradl G, Mittlmeier T. Die distale Radiusfraktur. Orthopädie und Unfallchirurgie up2date. 26. September 2012;7(04):251–71.
 36. Meinberg E, Agel J RC. Fracture and Dislocation Classification Compendium [Internet]. J Orthopaed Trauma. Compendium. S. 32(Suppl 1). Verfügbar unter: https://classification.aoeducation.org/?_ga=2.21882619.1542504465.1618414887-76440739.1584639066
 37. Oestern H-J TH. Pathophysiologie und Klassifikation des Weichteilschadens bei Frakturen. Orthopäde 1983; Orthopade. 1983;12: 2–8.
 38. Zeichen J. Distale Radiusfraktur Aktueller Stand der Versorgungsmöglichkeiten. Trauma Berufskrankh. 2014;(16):112–20.
 39. Stannard, James P.;Schmidt, Andrew H.;Kregor, Philip J.;Wentzensen, Andreas;Gebhard, Florian;Grützner, Paul Alfred;Ruchholtz, Steffen;Stöckle U, Herausgeber. Komplikationen. In: Spezielle Unfallchirurgie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2014.
 40. Schmitter M, List T, Wirz S. [The assessment of pain intensity using one-

- dimensional scales]. *Z Evid Fortbild Qual Gesundhwes.* 1. Januar 2013;107(4–5):279–84.
41. Moore CM, Leonardi-Bee J. The prevalence of pain and disability one year post fracture of the distal radius in a UK population: a cross sectional survey. *BMC Musculoskelet Disord.* 29. September 2008;9:129.
 42. Einhorn TA, Gerstenfeld LC. Fracture healing: mechanisms and interventions.
 43. Gabriele Rußow, Mark Heyland, Svean Mädrjan GND. Knochenbruchheilung und klinische Belastungsstabilität. *OP-JOURNAL.* 2019;12–9.
 44. Quadlbauer, Stefan;Pezzei, Ch.;Jurkowitsch, J.;Rosenauer, R.;Pichler, A.;Schättin, S.;Hausner, T.;Leixnering M. Early complications and radiological outcome after distal radius fractures stabilized by volar angular stable locking plate. *Arch Orthop Trauma Surg.* 19. Dezember 2018;138(12):1773–82.
 45. Arora R, Lutz M, Hennerbichler A, Krappinger D, Espen D, Gabl M. Complications Following Internal Fixation of Unstable Distal Radius Fracture With a Palmar Locking-Plate.
 46. Frank J, Kelm A, Marzi I. Begleitverletzungen bei distaler Radiusfraktur. *OP-JOURNAL.* 5. März 2013;28(03):234–9.
 47. Qamar F, Kadakia A, Venkateswaran B. An Anatomical Way of Treating Ankle Syndesmotic Injuries. *J Foot Ankle Surg.* 2011;
 48. Gaulke R, Bachmann S, Wiebking U, Krettek C. Ausrissfraktur des Processus styloideus ulnae bei der distalen Radiusfraktur. *Obere Extrem.* 16. September 2015;10(3):168–72.
 49. SL. W. Scaling clinical pain and pain relief. In: Bromm B, ed. *Pain measurement in man: neurophysiological correlates of pain.* New York: Elsevier,. 1984;
 50. Ferdin M. Ferdin Datenschieber [Internet]. 2021. Verfügbar unter: <https://www.ferdin.de/datasheet/Schmerzlineal.pdf>
 51. Weil NL, Termaat MF, Rubinstein, Sidney M;El Mounni, Mostafa;Zuidema, Wietse P;Derksen, Robert Jan;Krijnen, Pieta;van Bodegom-Vos, Leti;Wendt, Klaus W;van Kuijk, Cornelis;Rosendaal, Frits R;Breederveld, Roelf S;Goslings, J Carel;Schipper, Inger B;van Tulder MW. WARRIOR-trial - is routine radiography following the 2-week initial follow-up in trauma patients with wrist and ankle fractures necessary: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials.* 27. Februar 2015;16:66.
 52. Winkler K. H. *Facharzt Unfallchirurgie und Orthopädie.* 1.Auflage. Elsevier Verlag;

2011. Kapitel 15, S. 599-605; Kapitel 3 S. 18-25.
53. Garcia P, Langer M, Raschke M. Das biologische Skalpell I - Frakturheilung und patientenbezogene Einflussfaktoren. *Z Orthop Unfall*. 29. Juni 2015;153(4):433–40.
 54. McRae R, Esser M. *Praxis der Frakturbehandlung*. Fifth Edit. Elsevier; 2008. Kapitel 5: S. 86-107.
 55. Hernigou J, Schuind F. Smoking as a predictor of negative outcome in diaphyseal fracture healing. *Int Orthop*. Mai 2013;37(5):883–7.
 56. Lindström, David;Azodi, Omid Sadr;Wladis, Andreas;Tønnesen, Hanne;Linder, Stefan;Nåsell, Hans;Ponzer, Sari;Adami J. Effects of a perioperative smoking cessation intervention on postoperative complications: A randomized trial. *Ann Surg*. 1. November 2008;248(5):739–45.
 57. Chow JWM, Fox SW, Lean JM, Chambers TJ. Role of Nitric Oxide and Prostaglandins in Mechanically Induced Bone Formation. *J Bone Miner Res*. 1. Juni 1998;13(6):1039–44.
 58. Garcia, P;Histing, T;Holstein, J H;Klein, M;Laschke, M W;Matthys, R;Ignatius, A;Wildemann, B;Lienau, J;Peters, A;Willie, B;Duda, G;Claes, L;Pohlemann, T;Menger MD. Rodent animal models of delayed bone healing and non-union formation: a comprehensive review. *Eur Cell Mater*. 16. Juli 2013;26:1–12; discussion 12-4.
 59. Sabine Ritter MT. WHO-Stufenschema zur Schmerztherapie » Medikamentöse Schmerztherapie » Schmerzmedizin » Anästhesisten im Netz - Ihr Portal für Anästhesie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerzmedizin » [Internet]. 2016 [zitiert 24. Juli 2019]. Verfügbar unter: <https://www.anaesthesisten-im-netz.de/schmerzmedizin/medikamentoesse-schmerztherapie/who-stufenschema-zur-schmerztherapie/>
 60. Karow T. *Allgemeine und spezielle Pharmakologie und Toxikologie*. 2008.
 61. Arand M. Physikalische Verfahren mit Einfluss auf die Knochenheilung. *Unfallchirurg*. 14. Juli 2019;122(7):526–33.
 62. Keene DJ, Willett K, Lamb SE. The Immediate Effects of Different Types of Ankle Support Introduced 6 Weeks After Surgical Internal Fixation for Ankle Fracture on Gait and Pain: A Randomized Crossover Trial. *J Orthop Sport Phys Ther*. 29. März 2016;46(3):157–67.
 63. Bellach B-M, Ellert U, Radoschewski M. *Epidemiologie des Schmerzes -*

- Ergebnisse des Bundes-Gesundheitssurveys 1998. Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz. 7. Juni 2000;43(6):424–31.
64. Döhler C, Rh G. Validierung des DASH-Scores am modifizierten Neer-Score
Validation of the DASH-score using a modified Neer-score. Bd. 2.
 65. Günther Germann, Angela Harth, Gerhard Wind ED. DASH- Auswertung. 2006.
 66. Ponzer S, Nasell H, Bergman B, Tornkvist H. Functional outcome and quality of life in patients with Type B ankle fractures: a two-year follow-up study. J Orthop Trauma. 1999;13(5):363–8.
 67. Harold B. Kitaoka, Ian J. Alexander, Robert S. Adelaar, James A. Nunley, Mark S. Myerson MS. Clinical rating systems for foot and ankle-F & A Int-94.pdf. Foot Ankle Int. 1994;
 68. Kostuj T, Schaper K, Baums MH, Lieske S. Eine Validierung des AOFAS-Ankle-Hindfoot-Scale für den deutschen Sprachraum. Fuß Sprunggelenk. 1. Juni 2014;12(2):100–6.
 69. Franke GH. Deutsche Gesellschaft für Medizinische Psychologie. Bd. 7, Zeitschrift für Medizinische Psychologie. Spektrum Akademischer Verlag; 1998. 190–191 S.
 70. Stieglitz, R.-D.; Bullinger, M. & Kirchberger I (1998). SF-36. Fragebogen zum Gesundheitszustand. Göttingen: Hogrefe. Preis DM 298,-.
<http://dx.doi.org/101026//0084-5345282143>. 1. April 1999;
 71. Morfeld M, Bullinger M. Der SF-36 Health Survey zur Erhebung und Dokumentation gesundheitsbezogener Lebensqualität. Phys Medizin, Rehabil Kurortmedizin. 2. Oktober 2008;18(05):250–5.
 72. Bullinger, Monika;Morfeld, M;Kohlmann, T;Nantke, J;Van den Bussche, H.;Dodt, B;Dunkelberg, S;Kirchberger, I;Krüger-Bödecker, A;Lachmann, A;Lang, K;Mathis, C;Mittag, O;Peters, A;Raspe, H. H.;Schulz H. Der SF-36 in der rehabilitationswissenschaftlichen forschung - Ergebnisse aus dem Norddeutschen Verbund für Rehabilitationsforschung (NVERF) im förderschwerpunkt rehabilitationswissenschaften. Rehabilitation. 2003;42(4):218–25.
 73. Oestern H-J. Weichteilschaden bei offenen und geschlossenen Frakturen. OP-JOURNAL. 2009;154–9.
 74. Sabine Ritter, Moni Traute D med. J-PJ. Der WHO-Stufenplan in E. Beubler, „Kompendium der medikamentösen Schmerztherapie“, Springer-Verlag, Wien, 2012 Rote Liste. 2016.
 75. Mohan H, Ryan J, Whelan B, Wakai A. The end of the line? The Visual Analogue

- Scale and Verbal Numerical Rating Scale as pain assessment tools in the emergency department.
76. Holdgate, Anna;Asha, Stephen;Craig, Jonathan;Thompson J. Comparison of a verbal numeric rating scale with the visual analogue scale for the measurement of acute pain. *Emerg Med Australas*. 1. Oktober 2003;15(5–6):441–6.
 77. Kelly A-M. The minimum clinically significant difference in visual analogue scale pain score does not differ with severity of pain.
 78. Arif GUL, Batra S, Mehmood S, Gillham N. Immediate unprotected weight-bearing of operatively treated ankle fractures. *Acta Orthop Belg*. 2007;73(3):360–5.
 79. Van Laarhoven CJHM, Meeuwis JD, Van Der Werken C, Van Der Werken SC. POSTOPERATIVE TREATMENT OF INTERNALLY FIXED ANKLE FRACTURES A PROSPECTIVE RANDOMISED STUDY. Bd. 78, *J Bone Joint Surg [Br]*. 1996.
 80. How Pain Affects Men and Women Differently [Internet]. [zitiert 13. Juni 2019]. Verfügbar unter: <https://www.webmd.com/pain-management/chronic-pain-conditions#1>
 81. Gaston MS, Simpson AHRW. Inhibition of fracture healing. *J Bone Joint Surg Br*. 1. Dezember 2007;89-B(12):1553–60.
 82. Fillingim RB, King CD, Ribeiro-Dasilva MC, Rahim-Williams B, Riley JL, III. Sex, gender, and pain: a review of recent clinical and experimental findings. *J Pain*. Mai 2009;10(5):447–85.
 83. Urabe, Ken;Hotokebuchi, Taka;Oles, Karl J;James, T;Jingushi, Tseiya;Iwamoto, Tyukihide;Mark E. Inhibition of Endochondral Ossification during Fracture Repair in Experimental Hypothyroid Rats. 1999;920–5.
 84. Bilous RW, Tunbridge WM. The epidemiology of hypothyroidism--an update. *Baillieres Clin Endocrinol Metab*. August 1988;2(3):531–40.
 85. Nencini S, Ivanusic JJ. The physiology of bone pain. How much do we really know? Bd. 7, *Frontiers in Physiology*. 2016. S. 157.
 86. Mantyh PW. The neurobiology of skeletal pain. *Eur J Neurosci*. 2014;39(3):508–19.
 87. Meade LB, Bearne LM, Sweeney LH, Alageel SH, Godfrey EL. Behaviour change techniques associated with adherence to prescribed exercise in patients with persistent musculoskeletal pain: Systematic review. *Br J Health Psychol*. 2019;24(1):10–30.
 88. Ponsford J, Hill B, Karamitsios M, Bahar-Fuchs A. Factors influencing outcome

- after orthopedic trauma. *J Trauma*. 1. April 2008;64(4):1001–9.
89. Galos, David K;Taormina, David P;Crespo, Alexander;Ding, David Y;Sapienza, Anthony;Jain, Sudheer;Tejwani NC. Does Brachial Plexus Blockade Result in Improved Pain Scores After Distal Radius Fracture Fixation? A Randomized Trial. *Clin Orthop Relat Res*. Mai 2016;474(5):1247–54.
90. Bolmers, Annelies;Luiten, Willem E.;Doornberg, Job N.;Brouwer, Kim M.;Goslings, J. Carel;Ring, David;Kloen P. A Comparison of the Long-Term Outcome of Partial Articular (AO Type B) and Complete Articular (AO Type C) Distal Radius Fractures. *J Hand Surg Am*. 1. April 2013;38(4):753–9.
91. Schwabe P, Haas NP, Schaser KD. Extremitätenfrakturen mit schwerem offenem weichteilschaden: Initiales management und rekonstruktive versorgungsstrategien. *Unfallchirurg*. 2010;113(8):647–72.
92. Fayaz A. The association between chronic pain and cardiac disease: a cross-sectional population study. 2016;
93. Mitchell SAT, Majuta LA, Mantyh PW. New Insights in Understanding and Treating Bone Fracture Pain. *Curr Osteoporos Rep*. 2018;16(4):325.
94. Ahl T, Dalén N, Holmberg S, Selvik G. *Acta Orthopaedica Scandinavica* Early weight bearing of malleolar fractures. 2009;
95. Motwani GN, Shah HD, Chavli VH, Daveshwar RN, Parmar H, Suthar PP. Results of open reduction and internal fixation in closed bimalleolar Pott's Fracture of Ankle in Adults. *Int J Med Sci Public Heal Online*. 2015;
96. Tan EW, Sirisreetreerux N, Paez AG, Parks BG, Schon LC, Hasenboehler EA. Early Weightbearing After Operatively Treated Ankle Fractures. *Foot Ankle Int*. 2016;37(6):652–8.
97. Dogra A., Rangan A. Early mobilisation versus immobilisation of surgically treated ankle fractures. Prospective randomised control trial. *Injury*. 1. Juli 1999;30(6):417–9.
98. Wilkie R, Blagojevic-Bucknall M, Belcher J, Chew-Graham C, Lacey RJ, McBeth J. Widespread pain and depression are key modifiable risk factors associated with reduced social participation in older adults: A prospective cohort study in primary care. *Med (United States)*. 2016;95(31).

10 Anhang

Angewandte Schmerzschemas

Thema:	Campus: Cy...	
Verfahrensregel zur postoperativen Schmerztherapie	Geitungsbereich: C003 Unfall- und Wiederherstellungschirurgie Stationen WUC 16/17	

Orthopädie & Traumatologie

Einfache postoperative Schmerztherapie durch Pflege und Stationsärzte für Patienten ohne schmerzmedikamentöse Vorbehandlung

Schema 1 (SS I) gilt bei kleinen unfallchirurgischen und arthroskopischen Eingriffen (einfache Frakturen, z.B. dist. Radiusfraktur, Implantatentfernung, Arthroskopie, handchirurgischen Eingriffe, Sehnenrupturen)

Problem	aktiv	Oral/ Subkutan	Parenteral	Bemerkungen
Basistherapie I	Pflege	Metamizol: 4 x 40° (=1g) + Pantozol 40 mg 0-0-1	Kurzinfusion: Paracetamol: 4 x 1 g	Metamizol /Paracetamol max. 4g / d
NAS 4-6	Pflege	+ Valoron retard: 2 x 100 mg ²	Piritramid: 7,5 mg s.c.	Rücksprache mit Arzt ggf. Wechsel zu Schema 2
NAS 4-6 trotz Therapie nach 30min. anhaltend	Pflege	Valoron retard erhöht. auf 2 x 200 mg ²	+ Piritramid: 1 x 7,5 mg s.c.	Kontrolle des Behandlungserfolg nach max. 1h
NAS > 6	Arzt	nur i.v.-Titration	Piritramid: 1 mg – 7,5 mg	-----

Schema 2 (SS II) gilt bei mittleren orthopädischen und unfallchirurgischen Eingriffen (z. B. TEP, Tibiakopffrakturen, nach Wirbelsäuleneingriffen wenn kein WS-Schema)

Problem	aktiv	Oral/ Subkutan	Parenteral	Bemerkungen
Basistherapie II	Pflege	Allgemein: Ibuprofen: 3 x 400 mg + Valoron retard 2 x 100 mg ² +Metamizol bis 4 x 40° (=1g) n.Bed. + Pantozol 40 mg 0-0-1 "Hüfte": Indometazin 3 x 25 mg + Valoron retard 2 x 100 mg ² +Metamizol bis 4 x 40° (=1g) n.Bed. + Pantozol 40 mg 0-0-1	Kurzinfusion ¹ : Paracetamol: 4 x 1 g +Metamizol: 4 x 1 g + Piritramid 7,5 mg (siehe oben)	Metamizol/ Paracetamol max. 4g / d
NAS 4-6	Pflege	Valoron retard erhöht. auf 2 x 200 mg ²	+Piritramid: 1 x 7,5 mg s.c.	NAS 4-6 trotz Therapie nach 30min. anhaltend Arzt informieren
NAS > 6	Arzt	i.v.-Titration, ggf. MSI, ggf. Oxycodon (Targin)	Piritramid: 1 mg – 7,5 mg i.v.	-----

Schema 3 gilt bei chirurgischen Eingriffen mit PCA-Pumpe

Problem	aktiv	Parenteral	Bemerkungen
Basistherapie III	Pflege Schmerz- dienst	Kurzinfusion ¹ : Paracetamol: 4 x 1 g +Metamizol: 4 x 1 g (PCA-Pumpe mit 60mg Piritramid in 20ml NaCl 0,9%)	-----

¹ Kurzinfusion: Lösungsmittel 100 ml NaCl 0,9%

Laufzeit: Paracetamol max. 15 min.; Metamizol 20 bis 30 min. (selbes Infusionssystem möglich)

² Tablette

Bei allen Medikamenten die jeweilige Tageshöchstdosis beachten!

Seite 1 von 1	Revision 1	Überprüfung des Schmerz-managements erfolgt in 18-monatigen Intervallen durch das zentrale QM, Schmerzschemas werden bei Bedarf angepasst	Erstellt: Dr. Doyscher
	Freigabe: Dez.11		Geprüft: Fr. Dr. Tempka, Dr. Doyscher Dr. Fritsche (Schmerztherapie) Freigegeben: Frau Dr. Tempka

Thema: Verfahrensregel zur postoperativen Schmerztherapie	Campus: CVK Geltungsbereich: CC09 Unfall- und Wiederherstellungschirurgie Station WUC-S16/17	
--	--	---

Schmerzschema 3 MIC Team (Hände)

Problem	aktiv	Oral	Intravenös / s.c.	Bemerkungen
Basis-therapie	Pflege	Ibuprofen 400mg 1-1-1 + Pantozol 20 mg 0-0-1 (Ringband, CTS, Seh-nennaht) + Talvosilen forte 1-1-1 + Vit C 400mg 1-0-0 (Frakturen)		Generell wird die Therapie genau auf dem OP-Bericht vermerkt, so dass eigentlich keine Verwirrung auftreten kann!
NAS 4-6	Pflege	Basisedikation plus 1. Novalgin 1g 1-1-1-(1) 2. Talvosilen Stopp dafür Valoron retard 100 mg 1-0-1		Movicol Btl b. Bed. Antiemetika bei Bed. nach Schema
NAS 4-6 trotz Therapie anhaltend	Pflege	Valoron reatard erhöhen auf 200 mg 1-0-1	7,5 mg (½ Ampulle) Dipidolor s.c b. Bed.	Movicol Btl b. Bed. Antiemetika bei Bed. nach Schema
NAS >6	Arzt	Rücksprache mit dem Teamarzt ggf. Erwägung eines Schmerzkonsils oder invasiver Maßnahmen (Schmerzkatheter etc.)		

Geprüft: Dr. Scheller

Schema bei Übelkeit:

Problem	aktiv	Parenteral	Bemerkungen
Übelkeit	Pflege	Metoclopramid MCP (Paspertin) 20mg p.o. (bis 3x tägl.) oder Metoclopramid: 1-2 Amp. / 100ml Infusion (=10-20mg) max. 3x4 Amp / d Dimenhydrinat (Vomex A) 100mg p.o. (bis 3xtgl.) Dimenhydrinat (Vomex A) 80mg supp. oder 124 mg i.v. (bis 2x tgl.)	Das zweite Antiemetika wird zusätzlich und nicht anstelle gegeben
Anhaltende Übelkeit	Pflege	Kurzinfusion: Ondansetron: 1 x 4 mg	

Tageshöchstdosis: Paracetamol 4g; Metamizol 4 g; Ibuprofen 2,4g; Tramadol 400 mg; Tilidin 600 mg;

Talvosilen forte (Tablette oder Hartkapsel enthält 500mg Paracetamol plus 30mg Codein oder als Supp. 1g Paracetamol plus 60mg Codein)

Seite 3 von 6	Revision 1	Überprüfung des Schmerzmanagements erfolgt in 18-monatigen Intervallen durch das zentrale QM, Schmerzschemas werden bei Bedarf angepasst	Erstellt: Dr. Doyscher
Freigegeben:	Geprüft: Fr. Dr. Tempka, Dr. Doyscher Dr. Fritsche (Schmerztherapie)		Freigegeben: Frau Dr. Tempka

3

11 Eidesstattliche Erklärung

Ich, Fabienne Sigler, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: << Was sagt uns der Schmerz über den postoperativen Frakturheilungsverlauf? Deskriptive Darstellung des postoperativen Schmerzverlaufes operativ versorgter Extremitätenfrakturen. >> / << What does the pain tell us about the fracture healing? Descriptive representation of the postoperative course of pain in surgically treated extremity fractures. >> selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

12 Curriculum vitae

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

13 Danksagung

Besonders danken möchte ich meinem Doktorvater Herrn PD Dr. med. Serafeim Tsitsilonis und meiner Betreuerin Frau Dr. med. Ricarda Seemann, zum einen für die Möglichkeit, als Doktorandin an der Studie mitwirken zu dürfen, zum anderen für ihre Unterstützung, die vielen konstruktiven Treffen und ihre Meinung.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei allen an dieser Studie beteiligten Probanden*innen, sowie bei dem ärztlichen und pflegerischen Personal des Centrums für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité – Universitätsmedizin Berlin.

Einen besonderen Dank gilt meinen Eltern, Frau Marion Sigler und Herrn Dr. med Wolfgang Sigler, denen ich für Ihre Unterstützung während des gesamten Studiums danken möchte und insbesondere auch dafür, dass sie es mir ermöglicht haben, diese Arbeit nach dem Studium zu beenden.

Außerdem gilt mein herzlicher Dank meinem Bruder Herrn Dr. med Dominic Sigler und meinen guten Freunden, Frau Dr. med Katharina Bieck und Frau Dr. med Melanie Ericcs-Leclercq für das stete Korrekturlesen, die regelmäßige Motivation und die bedingungslose Bereitschaft mich mit allen Fragen an sie wenden zu können.