

Medizinische Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

**Relevanz der intraoperativen 3D-Bildgebung zur Rekonstruktion des distalen
Tibiofibulargelenks (TFG) bei oberen Sprunggelenksverletzungen –
Retrospektive Analyse von 57 postoperativ durchgeführten CT- Untersuchungen**

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktor der Medizin (Dr. med.)

vorgelegt
der Medizinischen Fakultät
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von Herrn Papuna Tsirekidze
geboren am 25.09.1979 in Tbilisi

Betreuerin/Betreuer: PD Dr. med. habil. Florian Radetzki

Gutachterin/Gutachter: 1. apl. Prof. Dr. med. habil. David Wohlrab
2. Univ.-Prof. Dr. med. Felix Walcher (Magdeburg)

08.10.2019

14.07.2020

Referat

Zur Versorgung komplexer Sprunggelenksfrakturen spielen die operative Rekonstruktion und anatomische Stellung der Malleolengabel eine entscheidende Rolle. Eine korrekte intraoperative Positionierung der Fibula in der Incisura fibularis stellt eine Herausforderung für den Operateur dar. Die komplexe und variable Anatomie des Sprunggelenkes erschwert unter zweidimensionaler Bildverstärker (BV)- Kontrolle intraoperativ die exakte Einstellung der Malleolengabel.

In vorliegender Arbeit wurden im Rahmen einer retrospektiven Untersuchung 57 Patienten nach operativer Rekonstruktion von Sprunggelenksfrakturen und Verletzung der Syndesmose CT-morphologisch analysiert. Die Einstellung der Malleolengabel wurde intraoperativ mit zweidimensionalen BV kontrolliert. Mit Hilfe postoperativer CT-Untersuchungen wurde das Repositionsergebnis nochmals evaluiert und auf potenziell intraoperative Revisionsbedürftigkeit geprüft. Darüber hinaus wurden CT-morphologische Parameter ermittelt. Diese beinhalteten den vorderen und hinteren Abstand der Fibula in der Incisura fibularis (VA und HA), die Breite des tibiofibularen Gelenkspaltes (TFGS), die fibulare anteroposteriore Translation (APT), die Länge und Rotation der Fibula sowie die Stellung der Malleolen zur talaren Gelenkfläche.

Die CT-Analyse zeigt mit 38,5% einen sehr hohen Anteil revisionsbedürftiger Fälle. Gerade die ventrale oder dorsale Fibulaverschiebung in der Incisura fibularis ist im konventionellen Röntgenbild nicht beurteilbar und kann mittels 3D-Bildgebung exakt bestimmt und korrigiert werden. Als standardisiertes intraoperatives Messverfahren kann die Ermittlung des Verhältnisses zwischen VA und HA mit hoher Sensitivität und Spezifität der Stellungskorrektur dienen. Zukünftig sollte zwingend eine 3D-Bildgebung zur sicheren Schraubenplatzierung intraoperativ regelhaft zur Anwendung kommen, um eine exakte Rekonstruktion und anatomische Stellung der Malleolengabel zu erreichen und die Rate revisionsbedürftiger Fälle zu minimieren.

Tsirekidze, Papuna: Relevanz der intraoperativen 3D-Bildgebung zur Rekonstruktion des distalen Tibiofibulargelenks (TFG) bei oberen Sprunggelenksverletzungen – Retrospektive Analyse von 57 postoperativ durchgeführten CT- Untersuchungen, Halle (Saale), Univ., Med. Fak.; Diss., 51 Seiten, 2019

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Anatomie und Biomechanik des Sprunggelenks	1
1.1.1 Knochen.....	1
1.1.2 Bandapparat	2
1.1.3 Syndesmosis tibiofibularis	4
1.1.4 Nerven und Gefäße.....	5
1.1.5 Muskulatur	5
1.1.6 Kinematik und Biomechanik	5
1.2 Verletzungen des oberen Sprunggelenkes.....	7
1.2.1 Bandverletzungen	7
1.2.2 Verletzungen der distalen tibiofibularen Syndesmose	8
1.3 Sprunggelenksfrakturen	8
1.3.1 Klassifikation der Sprunggelenksfrakturen	9
1.3.2 Die pathologisch-anatomische Einteilung nach Danis und Weber	9
1.3.3 Die genetische Klassifikation von Lauge-Hansen.....	10
1.3.4 AO Klassifikation (Kompedium 2018).....	11
1.4 Diagnostik	16
1.4.1 Klinische Untersuchung.....	16
1.4.2 Klinik bei Syndesmosenverletzung.....	16
1.4.3 Bildgebende Diagnostik.....	16
1.5 Therapie.....	18
1.5.1 Therapie der Bandverletzungen	18
1.5.2 Frakturversorgung / Osteosyntheseverfahren	18
1.5.3 Konservative Therapie	18

1.5.4	Operative Therapie	19
1.6	Komplikationen	20
2	Zielstellung der Arbeit.....	21
3	Material und Methoden.....	22
3.1	Material	22
3.1.1	Patientenkollektiv	22
3.1.2	Die Datenakquise.....	22
3.1.3	CT morphologische Parameter.....	23
3.2	Methodik	23
3.2.1	Visualisierungssoftware „IMPAX EE“.....	23
3.2.2	Generierung der Messdaten.....	25
3.2.3	Statistische Methoden.....	31
4	Ergebnisse	32
4.1	Allgemeines	32
4.2	Klassifikation der Verletzungsmuster.....	32
4.3	Beurteilung der Revision	33
4.4	Messwerte der CT morphologischen Parameter.....	34
4.4.1	Länge der Fibula	36
4.4.2	Stellung der Malleolen zur talaren Gelenkfläche	36
4.5	Statistische Analyse	36
4.5.1	CT-morphologische Parameter	37
5	Diskussion.....	39
6	Zusammenfassung.....	46
7	Literaturverzeichnis	47
8	Thesen.....	51
	Danksagung.....	IX

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ansicht des Sprunggelenkes von ventral	2
Abbildung 2: Die tibialen Seitenbänder.....	3
Abbildung 3: Die fibularen Seitenbänder	3
Abbildung 4:Alphanumerische Struktur der AO / OTA-Klassifikation [21].....	12
Abbildung 5:Gruppe: 44A1 isolierte Fibulaverletzung.	13
Abbildung 6:Gruppe: 44A2 mit Fraktur Malleolus medialis.....	13
Abbildung 7:Gruppe: 44A3 Fraktur Malleolus medialis und posteromedial.	13
Abbildung 8:Gruppe: 44B1 isolierte Fibulafraktur.	14
Abbildung 9:Gruppe: 44B2 mit Verletzung medial.	14
Abbildung 10:Gruppe: 44B3 Verletzung medial und (Volkman` Dreieck).	14
Abbildung 11:Gruppe: 44C1 einfache diaphysäre Fibulafraktur.....	15
Abbildung 12:Gruppe:44C2 Keil-oder mehrfragmentäre dyaphysäre Fibulafraktur.	15
Abbildung 13:Gruppe: 44C3 proximale Fibulaverletzung.	15
Abbildung 14:Determinanten der Syndesmosenstabilität im 20°-innenrotierten a.p.-Bild (Mortise view) [17].	17
Abbildung 15:Positionierung der Stellschraube	19
Abbildung 16:Benutzeroberfläche von „Impax EE“	24
Abbildung 17:Stellung der Fibula (1 cm oberhalb der tibialen Gelenkfläche).	25
Abbildung 18:Breite d des tibiofibularen Gelenkspaltes (TFGS)	26
Abbildung 19:Die fibulare anteroposteriore Translation (APT)	27
Abbildung 20:Landmarken „Weber-Nase“ und „Weber Kreis“.....	28
Abbildung 21: Rotationswinkel der Fibula.....	29
Abbildung 22:Die kongruente Stellung der Malleolen zur talaren Gelenkfläche.	30
Abbildung 23:Frakturverteilung der Patienten.....	33
Abbildung 24: Verhältnis VA zu HA	38

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:Übersicht über die Studienpopulation mit Mittelwert&Standardabweichung	.32
Tabelle 2: Messergebnisse der Fibulastellung (VA/HA)	34
Tabelle 3: Messwerte der Breite des TFGS	34
Tabelle 4: Ergebnisse AP-Translation der Fibula	35
Tabelle 5: Messergebnisse der Rotationswinkel der Fibula	35
Tabelle 6.CT morphologische Parameter mit p-Wert und OR	37

Abkürzungsverzeichnis

a.p.	anterior-posterior
Aa.	Arteriae
ABD	Abduktion
ADD	Adduktion
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
APT	anteroposteriore Translation
AR	Außenrotation
BMI	Body-Mass-Index
BV	Bildverstärker
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
C-Bogen	C-förmiger Teil vom Röntgengerät
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie
d.h.	das heißt
DF	Dorsalflexion
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
ESSKA-AFAS	European Society of Sports Traumatology, Knee Surgery and Arthroscopy-Angle & Foot Associates
FC	fibulocalcaneare
Fi	Fibula
FTA	fibulotarare anterior
HA	Hintere Abstand
HE	Hounsfield-Einheiten
IR	Innenrotation
kg	Kilogramm
Kp	Kilopond
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
m	Meter
M.	Musculus
mm	Millimeter
MRT	Magnetresonanztomographie

n	Anzahl
N	Newton
N.	Nervus
Nn	Nervi
OSG	Oberes Sprunggelenk
PACS	Picture Archiving and Communication System
PF	Plantarflexion
PTC	pars tibiocalcanearis
PTN	pars tibionavicularis
PTT	pars tibiotalaris
TA	Talus
TFA	tibiofibulare anterius
TFG	Tibiofibulargelenk
TFGS	tibiofibularer Gelenkspalt
Ti	Tibia
USG	Unteres Sprunggelenk
VA	Vorderer Abstand
3D	Dreidimensional

1 Einleitung

Das obere Sprunggelenk (Articulatio talocruralis) ist eine anatomische Einheit aus den gelenktragenden Anteilen der distalen Tibia und Fibula, des Corpus tali mit der Gelenkkapsel sowie den verbindenden ligamentären Strukturen [1].

1.1 Anatomie und Biomechanik des Sprunggelenks

Das Sprunggelenk stellt mit dem Fuß eine morphologische und kinetische Einheit dar [1]. Im Sprunggelenk können wir entweder Fuß gegen den Unterschenkel (Spielbein) oder den Unterschenkel gegen den Fuß (Standbein) bewegen. Diese Bewegungen erfolgen wie die Drehbewegungen eines zweiarmigen Hebels, dessen Drehpunkt im oberen Sprunggelenk liegt [2].

Das obere Sprunggelenk besteht aus 3 Komponenten: der distalen Tibia und Fibula auf der einen Seite, welche durch den Syndesmosenkomplex elastisch und stabil miteinander verbunden sind, und auf der anderen Seite der Talusrolle [3]

1.1.1 Knochen

Das Skelett des Sprunggelenkes setzt sich aus den beiden distalen Enden der Unterschenkelknochen, Tibia und Fibula, sowie einem Fußwurzelknochen, das Sprungbein, Talus, zusammen. Das distale Ende der Tibia läuft an seiner Innenseite in einen kräftigen Fortsatz, den inneren Knöchel, Malleolus medialis, aus. Am distalen Endstück der Tibia befindet sich die viereckige Gelenkfläche, Facies articularis inferior, welche sich auf die laterale Fläche des Malleolus medialis, als Facies articularis malleolaris fortsetzt. Eine leichte Aushöhlung, Incisura fibularis, für die Auslagerung der Fibula ist an der lateralen Fläche des distalen Endes der Tibia vorhanden. Das wesentlich dünnere Wadenbein, Fibula, liegt lateral der Tibia. Der Schaft der Fibula weist drei Kanten auf: Margo anterior, posterior und interosseus. Die zwischen Fibula und Tibia ausgespannte Membrana interossea cruris, befestigt sich an dem Margo interosseus. Das distale Ende der Fibula ist zum äußeren Knöchel, Malleolus lateralis, verdickt und reicht weiter distal als der Malleolus medialis. Eine Gelenkfläche, facies articularis malleoli, liegt an der tibialen Fläche des Malleolus lateralis und lagert sich an das Sprungbein an. [2]

An dem zu den Fußwurzelknochen gehörendem Sprungbein, Talus, werden Caput, Colum und Corpus unterschieden. Die Rolle, Trochlea, wird an der oberen Fläche des Corpus getragen und weist die Gelenkflächen für die beiden Unterschenkelknochen, eine obere und zwei seitlichen, auf. Die obere Gelenkfläche, Facies superior, ist vorne breiter als hinten, in querer Richtung leicht konkav und in sagittaler Richtung konvex. Sie artikuliert mit der Facies articularis inferior der Tibia. Mit den entsprechenden Gelenkflächen an den Malleolen, stehen die beiden seitlichen Gelenkflächen in Verbindung. Die

Talusrolle wird durch den Malleolen der Tibia und Fibula wie eine Zange oder Klammer umfasst (sogenannte Malleolengabel) [2].

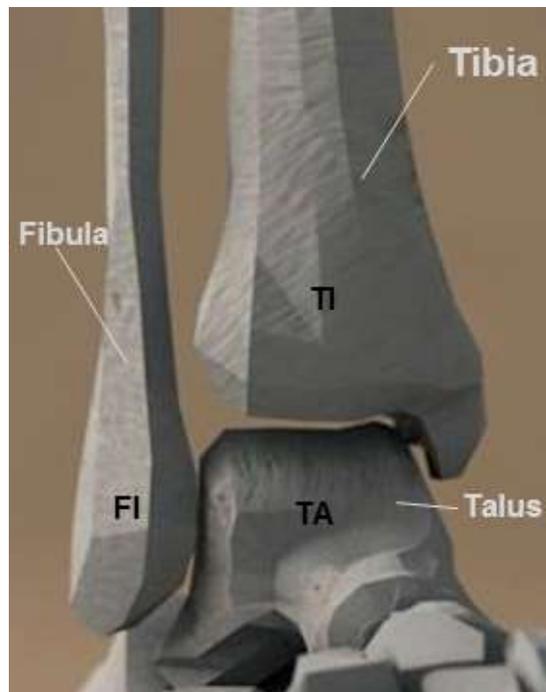


Abbildung 1: Ansicht des Sprunggelenkes von ventral

Die Talusrolle ist zwischen Innen- und Außenknöchel eingebettet. Trotzdem benötigt das obere Sprunggelenk eine bindegewebige Führung, damit der Fuß nicht nach innen (Hypersupination) oder nach außen (Hyperpronation) abknicken kann. Dies gelingt durch einen ausgeklügelten Bandapparat.

1.1.2 Bandapparat

Das Sprunggelenk wird an den Seiten durch Bänder verstärkt. Als Scharniergelenk besitzt das obere Sprunggelenk Seitenbänder, Ligg. Collateralia. Diese fächerartig in mehreren Zügen aufgespaltene Bänder befestigen sich an verschiedenen Stellen der Fußwurzel und stellen eine Besonderheit bei diesem Gelenk dar. Dadurch ist stets ein Band gespannt und sichert das Gelenk, unabhängig der Stellung von Fuß und Unterschenkel zueinander [2].

Das innere oder tibiale Seitenband ist eine dreieckig gespannte Platte, das Deltaband, Lig. deltoideum, an dem sich drei Teilzüge unterscheiden lassen: Pars tibionavicularis,

Pars tibiocalcanearis und Pars tibiotalaris anterior und posterior.

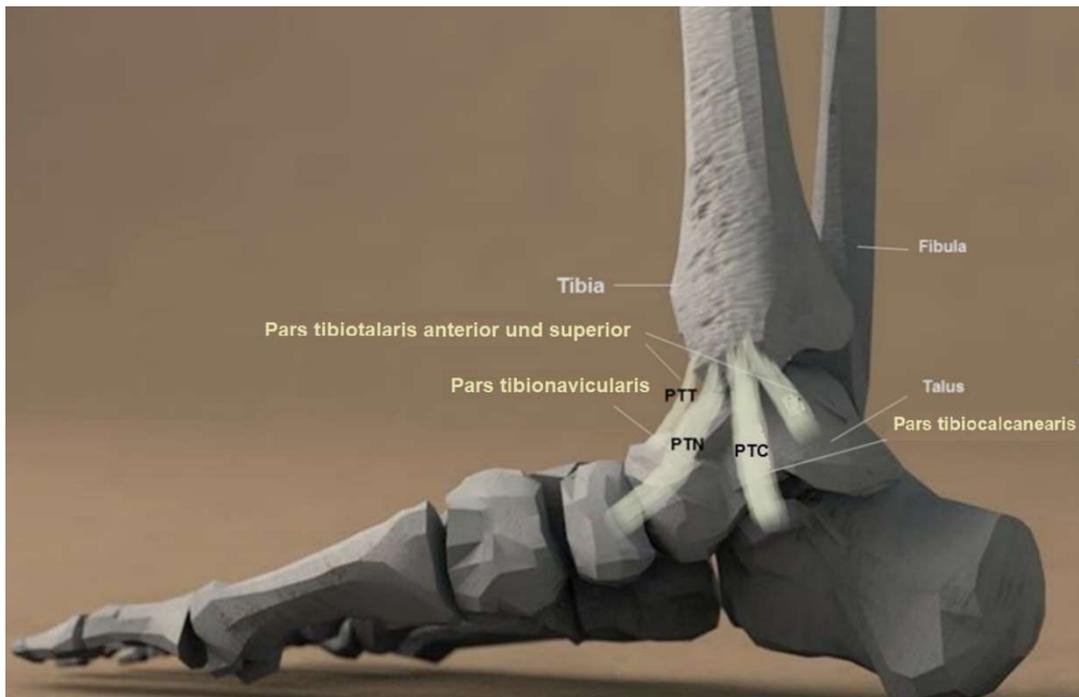


Abbildung 2: Die tibialen Seitenbänder

Das äußere oder fibulare Seitenband ist in drei Bänder unterteilt: Lig. fibulotalare anterius, Lig. fibulocalcaneare und Lig. fibulotalare posterius.

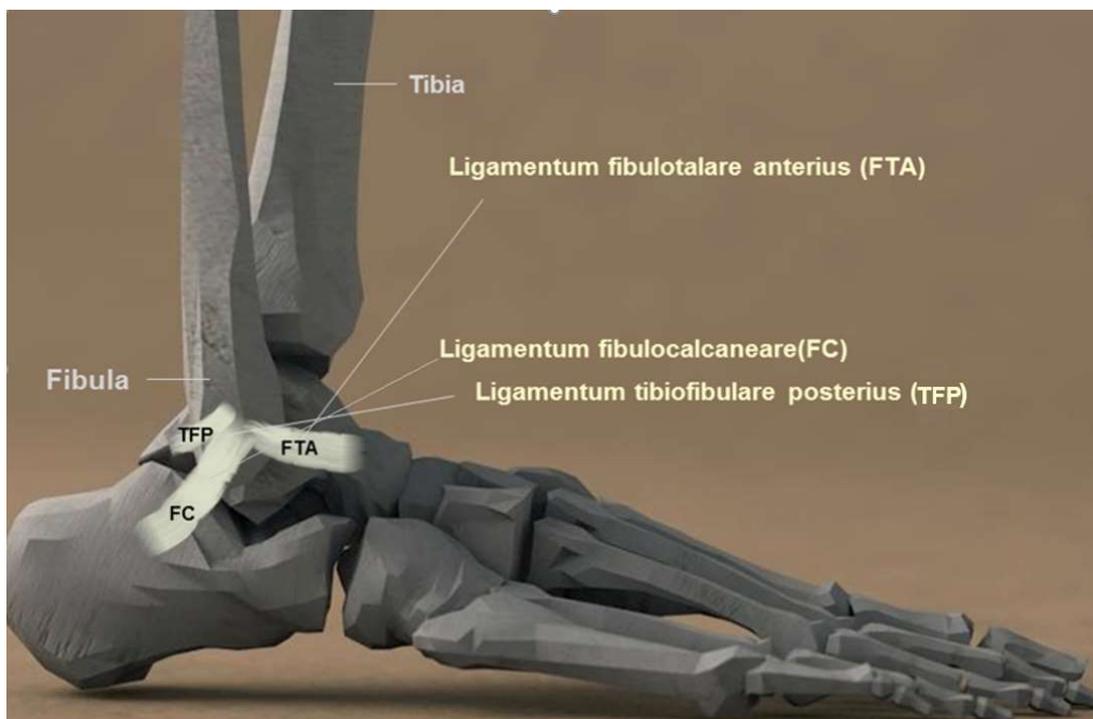


Abbildung 3: Die fibularen Seitenbänder

Tibia und Fibula gehen funktionell 3 Verbindungen miteinander ein: proximal durch die Articulatio tibiofibularis, diaphyser durch die Membrana interossea cruris und distal durch die Syndesmosis tibiofibularis [4].

1.1.3 Syndesmosis tibiofibularis

Durch die Syndesmosis tibiofibularis wird die aufgerauhte konvexe Fläche der distalen Fibula mit der ebenfalls rauhen konkaven Fläche der distalen Tibiaaußenseite verbunden. Die Membrana interossea cruris setzt sich nach distal mit kurzen und festen Faserzügen fort. Dadurch wird zwischen den beiden Unterschenkelknochen eine straffe Verbindung geschaffen [4].

Die distale tibiofibulare Syndesmosose setzt sich aus 5 Anteilen zusammen [5].

Von ventral nach dorsal lassen sich

1. das Lig.tibiofibulare anterius,
2. das Lig.tibiofibulare interosseum,
3. der distale Anteil der Membrana interossea cruris,
4. das Lig.tibiofibulare posterius und
5. das Lig.tibiofibulare transversum

unterscheiden [6].

Die Ligg. tibiofibularis anterius und posterius ziehen vom Rand der Incisura fibularis nach unten außen zur Vorder- bzw. Hinterseite des Malleolus lateralis. Das Lig. tibiofibulare transversum verläuft von seiner Ursprungszone, größtenteils vom Lig. tibiofibulare posterius verdeckt, entlang der Tibiaunterkante zum proximalen Abschnitt der Fossa malleoli lateralis [4]. Unter dem Knochenrand tritt es als kräftiges Band hervor und steuert damit zur Gelenkfläche mit dem Sprungbein bei. Ein mit Synovialmembran ausgekleideter Rezessus reicht von der Gelenkhöhle des oberen Sprunggelenkes zwischen Tibia und Fibula bis zum distalen Ende der Syndesmosose hinauf. Die distalen Enden der Tibia und Fibula werden in der Syndesmosose zur Malleolengabel vereinigt. Die Ligamenta und das Bindegewebe der Syndesmosose ermöglichen bei Bewegungen im Sprunggelenk ein geringes Auseindertreten der beiden Unterschenkelknochen, so dass der Talus sich an die Malleolengabel anpassen kann [4].

1.1.4 Nerven und Gefäße

Das Sprunggelenk wird durch Nervenäste aus dem Nervi fibularis communis, tibialis und fibularis profundus innerviert. Die Innervation der Syndesmose erfolgt von den Nervi fibularis (peroneus) profundus und tibialis [4].

Die Gefäßversorgung des Sprunggelenks wird durch Arterien bereitgestellt, welche aus den malleolären Ästen der Arteriae fibularis, tibialis anterior et posterior hervorgehen [4]. Die Versorgung der Syndesmosis tibiofibularis wird vor allem durch den Ramus perforans der Arteria fibularis (peronea) sowie von den Aa. malleolares gewährleistet [4].

1.1.5 Muskulatur

Die Bewegungsabläufe im oberen Sprunggelenk (Articulatio talocruralis) werden durch verschiedene Muskelgruppen ermöglicht [4]. Die Funktion der Muskeln werden durch ihre Lage zu den Achsen beider Sprunggelenke bestimmt [7]. Die Plantarflexoren sind die Muskeln, deren maßgebliche Endstrecke hinter der Achse des oberen Sprunggelenks verläuft [7].

Die Plantarflexion führen folgenden Muskeln aus:

- M. gastrocnemius,
- M. soleus,
- M. peroneus et. brevis
- M. flexor hallucis longus
- M. flexor digitorum longus und
- M. tibialis posterior [8]

Die Endstrecke der Dorsalflexoren liegt vor der Achse des oberen Sprunggelenkes.

Ausführende Muskeln für die Dorsalflexion sind:

- M. tibialis anterior,
- M. extensor digitorum longus und
- M. extensor hallucis longus [8]

Die Supinatoren haben ihre maßgebliche Endstrecke medial von der Achse des unteren Sprunggelenkes. Lateral von dieser Achse verläuft die Endstrecke der Pronatoren [7].

1.1.6 Kinematik und Biomechanik

Im oberen Sprunggelenk (OSG) artikuliert die Malleolengabel mit der Talusrolle. Da am Talus kein Muskel ansetzt und alle beteiligten Muskeln das obere und untere Sprunggelenk überspringen, bilden die Sprunggelenke eine funktionelle Einheit [7]. In

der Frontalebene des Körpers, bei dem plantar auf den Boden aufgesetzten Fuß, verläuft die Achse des oberen Sprunggelenkes nahezu horizontal. Demgegenüber ist die Achse vom unteren Sprunggelenk schräg von hinten plantar nach vorne dorsal gerichtet. In einem Zentrum, im Sinus tarsi, kreuzen sich die verschiedenen orientierten Drehachsen beider Gelenke. Somit entspricht das gesamte System in seiner Funktion einem Kardangelenk. Plantar- und Dorsalflexion des Fußes werden um die Querachse des oberen Sprunggelenkes ausgeführt [7].

Diese Bewegungen sind vorwiegend dem oberen Sprunggelenk zuzuordnen. Die Eversion und Inversion werden hauptsächlich im Rückfuß (Grenzlinie im Chopart- Gelenk), die Pronation und Supination vor allem im Mittel- und Vorfußbereich vollzogen. Die Gesamt-Fußbewegung beinhaltet zusätzlich eine Abduktions- und Außenrotationskomponente bzw. eine Adduktions- und Innenrotationskomponente [9].

Die Kontaktfläche des oberen Sprunggelenkes verschiebt sich während der Bewegung auf der Tallusrolle und gleichzeitig ändert sich ihre Ausdehnung [7]. Am größten ist die Ausdehnung in der Neutralstellung [7]. Der maximale Kontakt zwischen den Gelenkflächen kommt erst bei einer gewissen Belastungsgröße von ca. 1600N zu Stande [4,6]. Pro- und Supination werden im unteren Sprunggelenk ausgeführt [4]. Bei der Pronation wird der mediale Fußrand gesenkt auf Grund der distalwärts nach medial gerichteten Achse. Bei der Pronation wird der mediale Fußrand gehoben und die Fußspitze auswärts gewendet. Die gekoppelte, kombinierte Bewegung im oberen und unteren Sprunggelenk tritt jedoch am häufigsten auf [7]. Mehrere Teilbewegungen, die sich beim Gehen, Laufen, und Springen zu einer Bewegungskombination in sinnvoller Weise vereinen, sind durch das untere Sprunggelenk möglich [10].

Im oberen Sprunggelenk kann aus der Normalstellung, in der der Fuß zum Unterschenkel in einem rechten Winkel steht, eine Dorsalflexion aktiv bis 20 Grad, passiv bis 30 Grad und eine Plantarflexion aktiv bis 30 Grad, passiv bis 60 Grad durchgeführt werden [8]. Während dieser Bewegung gleitet der Talus unter der tibialen Gelenkfläche und rotiert geringgradig dabei [11]. Zeitgleich finden Bewegungen in der Koronar- und Horizontalebene statt. Bei einer Plantarflexion kommt der Talus gegenüber der Tibia in eine Innenrotation zwischen 4 und 8 Grad, bei Dorsalflexion in eine Außenrotation. Als Folge hiervon ist die Bewegungsachse des Talus nicht horizontal fixiert, wie es häufig angenommen wurde [11]. Wahrscheinlich gibt es mehrere stellungsabhängige, schräg verlaufende Bewegungsachsen. Diese biomechanischen Daten können für den klinischen Gebrauch vereinfacht und es kann davon ausgegangen werden, dass eine schrägverlaufende Achse durch die Spitze beider Knöchel verläuft. Dabei liegt die Spitze des Außenknöchels weiter distal und dorsal als die des Innenknöchels [11]. Mit dieser Annahme wird verständlich, dass jede Veränderung in Länge und Rotation der

distalen Fibula den Bewegungsablauf im Sprunggelenk erheblich beeinflussen kann. Wenn man versucht, die Verschiebung der einzelnen Fragmente auf Standard-Röntgenaufnahmen von Sprunggelenksfrakturen einzuschätzen, sollte diese dreidimensionale Bewegung des Sprunggelenks beachtet werden [11]. Die Bewegungen des Sprunggelenkes während des Gehens sind insgesamt begrenzt. Sie sind jedoch für die Druckaufnahme und die Progression von grundlegender Bedeutung [11]. In der Standphase erfolgt die wichtigste Bewegung, wenn die Dorsalflexion eine Kippung der Tibia und damit eine harmonische Vorwärtsverlagerung des Schwerpunktes erlaubt. Diese Dorsalflexion von ca. 10° hat eine essenzielle Bedeutung für das Gangbild und muss bei der Behandlung von Sprunggelenksfrakturen Beachtung finden [11].

1.2 Verletzungen des oberen Sprunggelenkes

Die Stabilität im oberen Sprunggelenk wird einerseits durch die knöcherne Zusammensetzung der Malleolengabel und des Talusdoms, sowie durch den Bandapparat gesichert. Bereits eine Insuffizienz einzelner Zügel des lateralen Kollateralbandapparates des oberen Sprunggelenkes kann zu einer deutlichen Störung des Gangbildes führen [12].

1.2.1 Bandverletzungen

Die häufigsten Bandverletzungen sind Sportverletzungen des lateralen Kollateralbandapparats [13]. Die Verletzungen der Aussenbänder am oberen Sprunggelenk betreffen in etwa einem Drittel isoliert das Lig. fibulotalare anterius [12]. In etwa 40 bis 50% der Fälle ist das Lig. fibulocalcaneare betroffen. Ganz selten ist auch das Lig. fibulotalare posterius mitbeteiligt [12]. Die Mehrzahl der Fälle werden konservativ-funktionell behandelt. Führend sind dabei konsequentes Tragen supinationshemmender Orthesen mit anschließendem Eigenreflex- und Pronatorentraining [13]. Mit diesen Maßnahmen soll die Entwicklung chronischer Instabilitäten vermieden werden. Bei rezidivierenden Umknicktraumen unterscheidet man zwischen mechanischer und funktioneller Instabilität. In über 80% der Fälle mit mechanischer Instabilität wird eine anatomische Bandrekonstruktion bzw. -Plastik durchgeführt [13]. Die extraanatomische Tenodesen finden bei kombinierten Instabilitäten von oberem und unterem Sprunggelenk Anwendung [13]. Da die medialen Kollateralbandrupturen selten isoliert auftreten, sollte nach knöchernen Begleitverletzungen bzw. zugrunde liegenden Deformitäten gesucht werden. Isolierte Deltabandverletzungen können konservativ-funktionell behandelt werden [13].

1.2.2 Verletzungen der distalen tibiofibularen Syndesmose

Rein ligamentäre Verletzungen der distalen Syndesmose werden in der Literatur variabel angegeben. Zwischen 1 und 11 Verletzungen der vorderen Syndesmose auf 100 fibulare Bandrupturen im oberen Sprunggelenk werden beschrieben [14]. Die Mehrzahl der akuten Verletzungen der distalen tibiofibularen Syndesmose sind meistens Begleitverletzungen bei Frakturen am oberen Sprunggelenk [5].

Als Verletzungsmechanismus führt eine forcierte Außenrotation des Talus in der Malleolengabel bei maximal dorsal extendiertem und proniertem Fuß, durch den breiteren hinteren Anteil der Talusrolle, zu einer Sprengung der Sprunggelenkgabel [5].

Funktionell bedeutsame knöcherne Ausrisse der Syndesmose gibt es am Tuberculum anterius tibiae oder am Tuberculum anterius fibulae. Ausrisse an der Tibia bezeichnet man als „Tubercule de Tillaux Chaut“, Ausrisse an der Fibula werden als „Wagstaffe Fragment“ genannt [5]. Die Knochenfragmente, bei einer Beteiligung der posterioren Tibiakante, werden als hinteres „Volkman-Dreieck“ bezeichnet [15].

Als Maisonneuve-Verletzung wird eine Kombinationsverletzung mit hoher Fibulafraktur begleitend von einer Sprunggelenksluxation, durch Ruptur der Membrana interossea und distalen Syndesmose, genannt [15].

Bei den rein ligamentären Syndesmosenrupturen werden laut der European Society of Sports Traumatology, Knee Surgery and Arthroscopy – the Ankle and Foot Associates (ESSKA-AFAS) zwischen stabilen Verletzungen (meist eine isolierte Ruptur des Lig. tibiofibulare anterius) und instabilen Verletzungen (mit latenter oder manifester Diastase) unterschieden [5]. Neben dieser praxisrelevanten Unterscheidung muss zwischen akuten, subakuten und chronischen Verletzungen unterschieden werden [16].

1.3 Sprunggelenksfrakturen

Frakturen und Luxationsfrakturen des oberen Sprunggelenks gehören zum Alltag des Unfallchirurgen. Sie stehen mit einer Inzidenz von 10% aller Frakturen an dritter Stelle der chirurgischen Versorgung. Parallel sind sie die häufigsten Frakturen eines lasttragenden Gelenks [17]. Malleolenfrakturen können als Hybridläsionen betrachtet werden. Bei diesen Frakturen treten neben knöcherne Schäden, die man in der Regel röntgenologisch diagnostiziert, auch Verletzungen des Bandapparates auf [11]. Bei 11 % dieser Frakturen liegt eine traumatisch bedingte Verletzung der Syndesmose mit konsekutiver Instabilität vor [18].

Eine (Sub)Luxation der Talusrolle aus der Malleolengabel kann als Grundmuster der Malleolenfrakturen angenommen werden [15]. Bei der Entstehung der Sprunggelenksfrakturen spielen direkte Anpralltraumen, häufiger aber auch indirekte

Gewalteinwirkungen eine große Rolle. Die oft zur Zertrümmerung führenden Stauungsbrüche der Gelenkfläche entstehen zum Beispiel durch die vordringende Bodenplatte eines Fahrzeugs bei Frontalkollisionen oder beim Sturz aus großer Höhe. Luxationsfrakturen werden durch Torsions- und Biegekräfte verursacht. Die unterschiedlichen Bruchformen entstehen dabei je nach Bewegungsrichtung und der vorausgehenden Fußstellung [19]. Das Ausmaß der Verletzung und die Frakturgeometrie wird bestimmt durch die Stellung des Fußes in Pro- oder Supination und der Richtung der Krafteinwirkung (Adduktion/Abduktion/Inversion) zum Unfallzeitpunkt [15].

1.3.1 Klassifikation der Sprunggelenksfrakturen

Die Klassifikationen gruppieren die Malleolenfrakturen nach speziellen Kriterien in unterschiedliche Typen. Durch die Klassifikation sollte eine einfache Zuteilung einer Fraktur ermöglicht werden und gleichzeitig genügend Informationen über ligamentäre Schäden und über den Verletzungsmechanismus liefern [11]. Die beiden am häufigsten verwendeten Klassifikationen sind die Systematiken von Lauge-Hansen und Denis -Weber [20]. Die AO-Klassifikation ergänzt die Einteilung nach Denis-Weber und gibt die Möglichkeit die B-Frakturen nach Weber in stabile und instabile Frakturtypen zu unterscheiden [15]. Des Weiteren hat sich im klinischen Sprachgebrauch die Einteilung in uni-, bi- oder trimalleoläre Sprunggelenksfrakturen etabliert [15].

1.3.2 Die pathologisch-anatomische Einteilung nach Denis und Weber

Weber modifizierte 1966 die pathologisch anatomische Einteilung der Sprunggelenksfraktur von dem belgischen Chirurgen Denis (1947). Die Einteilung nach Denis - Weber wird in 3 Gruppen klassifiziert und basiert auf der Höhe der Fibulafraktur [20].

Typ Weber A: Fraktur der Fibula distal der Syndesmose – Syndesmose intakt

Typ Weber B: Fraktur der Fibula in Höhe der Syndesmose – Syndesmose fakultativ verletzt

Typ Weber C: Fraktur der Fibula proximal der Syndesmose – Syndesmose immer verletzt.

Maisonneuve-Fraktur: Proximale Fibulafraktur mit Läsion am Innenknöchel (Abrissfraktur oder Bandläsion); diese kann leicht übersehen werden [19].

Der Vorteil dieser Einteilung ist ihre Einfachheit. Im alltäglichen Gebrauch können aber damit die Sprunggelenksfrakturen ohne Außenknöchelbeteiligung nicht eingeteilt

werden. Die Einteilung liefert zudem keine Hinweise zur Therapie der medialen Verletzungskomponente.

1.3.3 Die genetische Klassifikation von Lauge-Hansen

Die genetische Klassifikation von Lauge-Hansen (1950) wurde anhand einer Serie biomechanischer Experimente aufgestellt. Diese Einteilung ist noch heute für das Verständnis des Verletzungsmechanismus sowie die Therapieplanung von großer Bedeutung [17]. Aus der Stellung des Fußes zum Unfallzeitpunkt (Pro-/ Supination) und Richtung der einwirkenden Kraft (Abduktion/ Adduktion/Eversion) setzen sich die 4 Luxationsformen zusammen [17]. Die Gewalteinwirkung beginnt bei proniertem Fuß am Innenknöchel, bei Supination am Außenknöchel. Bei seitlicher Gewalt wirkt die Adduktion immer auf den supinierten, die Abduktion auf den pronierten Fuß. Die Klassifikation besteht aus 4 Hauptgruppen und 13 Untergruppen.

Man unterscheidet folgende 4 Hauptgruppen:

1. Supination/Adduktion
2. Supination/Eversion
3. Pronation/Abduktion
4. Pronation/Eversion

Die 4 Hauptgruppen teilen sich in 13 Untergruppen:

1. Supination/Adduktion St. I-II
2. Supination/Eversion St. I-IV
3. Pronation/Abduktion St. I-III
4. Pronation/Eversion St. I-IV

Supinations-Adduktions-Fraktur (S-AD)

Stadium I: Außenbandruptur oder distale Fibulafraktur unterhalb der Syndesmose

Stadium II: Senkrecht verlaufende Innenknöchelfraktur (seltener Deltabandruptur)

Supinations-Eversions-Fraktur (S-ER)

Stadium I: Ruptur oder knöcherner Ausriss der vorderen Syndesmose (Tubercule de Chaput, Wagstaffe-Fragment)

Stadium II: Spiralfaktur der Fibula auf Syndesmosenhöhe

Stadium III: Ruptur des hinteren Syndesmosenbandes oder knöcherner Ausriss eines hinteren „Volkman-Dreiecks“

Stadium IV: Fraktur des Innenknöchels bzw. Deltabandruptur

Pronations-Abduktions-Fraktur(P-AB)

Stadium I: Innenbandruptur oder waagerechte Fraktur am Innenknöchel

Stadium II: knöcherner oder ligamentärer Ausriss der vorderen und hinteren Syndesmose

Stadium III: indirekte irreguläre Fibulafraktur auf Syndesmosenhöhe

Pronations-Eversions-Fraktur(P-ER)

Stadium I: Fraktur des Innenknöchels bzw. Deltabandruptur

Stadium II: Ruptur oder knöcherner Ausriss der vorderen Syndesmose (Tubercule de Chaput, Wagstaffe- Fragment)

Stadium III: Quer- oder Schrägfrakturfraktur der Fibula oberhalb der Syndemose

Stadium IV: Ruptur des hinteren Syndesmosenbandes oder knöcherner Ausriß

Sonderform:

Maisonnette- Fraktur: knöcherner oder ligamentäre Verletzung des Innenknöchels, kompletter Syndesmosenruptur mit weit nach proximal reichender Ruptur der Membrana interossea und hoher Fibulafraktur

1.3.4 AO Klassifikation (Kompendium 2018)

Die AO-Klassifikation (AO = Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese) ist systematisch aufgebaut und findet primär bei den langen Röhrenknochen Verwendung. Jeder Knochen bzw. Knochenabschnitt wird durch eine Nummer gekennzeichnet. Jeder Knochen bzw. Knochenabschnitt wird wiederum in Segmente unterteilt. Jedes Segment wird ebenfalls beziffert. Des Weiteren werden zwischen einfachen und komplexen Frakturen bzw. extra- oder intraartikuläre Beteiligung unterschieden. Dies wird mit den Buchstaben A, B und C beziffert. Den Frakturen können zusätzlich Gruppen und Untergruppen zugeordnet werden. So entsteht ein fünfstelliger Code, der die Frakturmorphologie genau beschreibt [21].

3 Hauptgruppen: 44A = laterale infrasyndesmale Läsion

44B = transsyndesmale Fibulafraktur

44C = lateral suprasyndesmale Läsion

44A laterale infrasyndesmale Läsion mit 3 Untergruppen

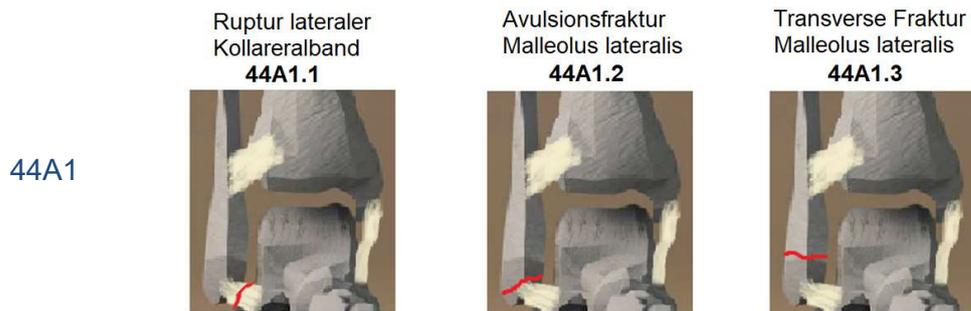


Abbildung 5: Gruppe: 44A1 isolierte Fibulaverletzung.

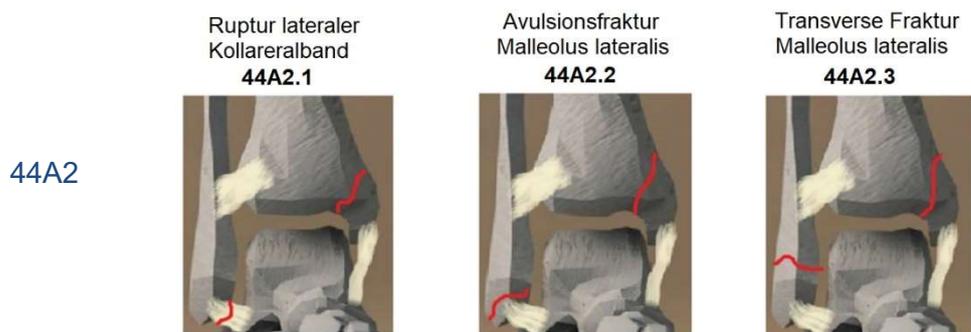


Abbildung 6: Gruppe: 44A2 mit Fraktur Malleolus medialis.

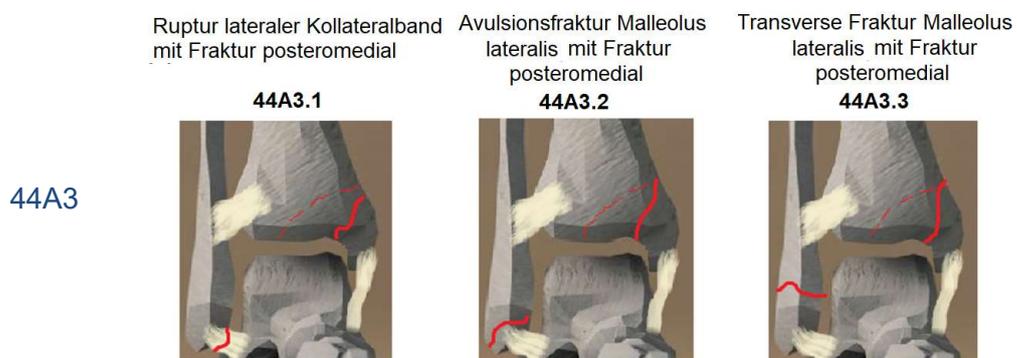


Abbildung 7: Gruppe: 44A3 Fraktur Malleolus medialis und posteromedial.

44B transsyndesmale Fibulafaktur mit jeweils 3 Untergruppen



Abbildung 8:Gruppe: 44B1 isolierte Fibulafaktur.



Abbildung 9:Gruppe: 44B2 mit Verletzung medial.

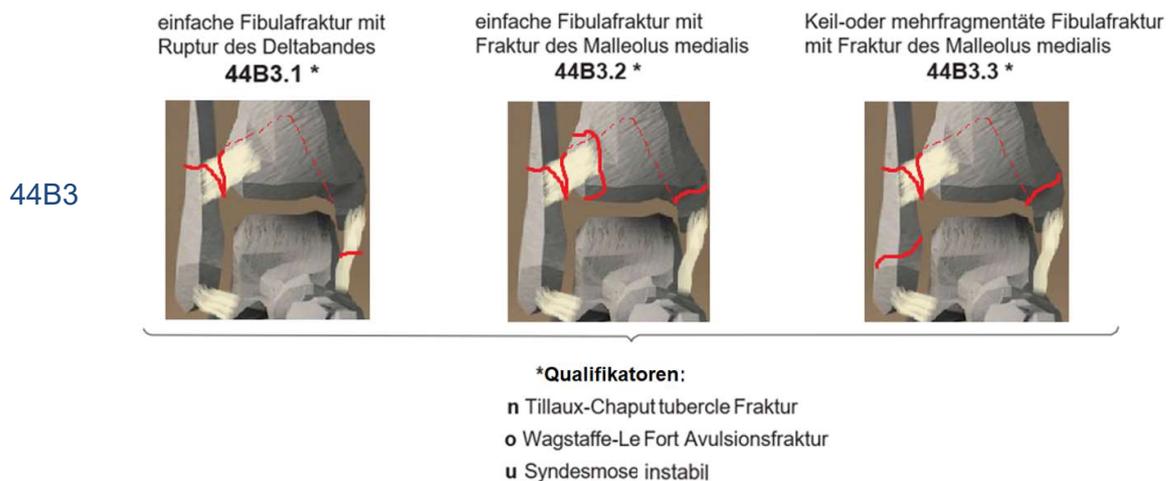


Abbildung 10:Gruppe: 44B3 Verletzung medial und (Volkman` Dreieck).

44C lateral suprasyndesmale Läsion mit jeweils 3 Untergruppen

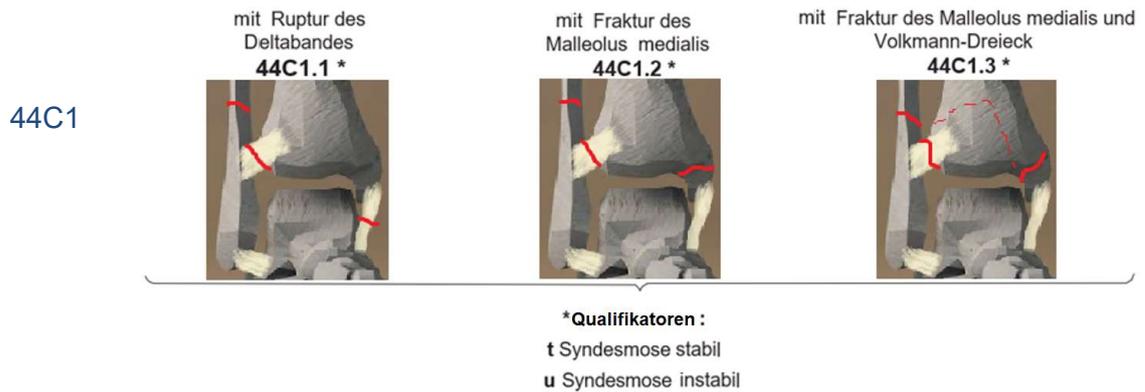


Abbildung 11: Gruppe: 44C1 einfache diaphysäre Fibulafraktur.

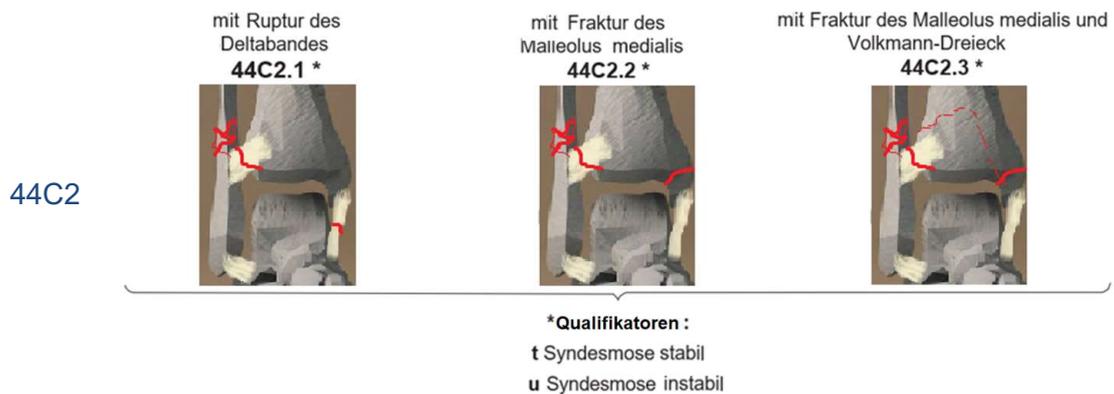


Abbildung 12: Gruppe: 44C2 Keil- oder mehrfragmentäre diaphysäre Fibulafraktur.

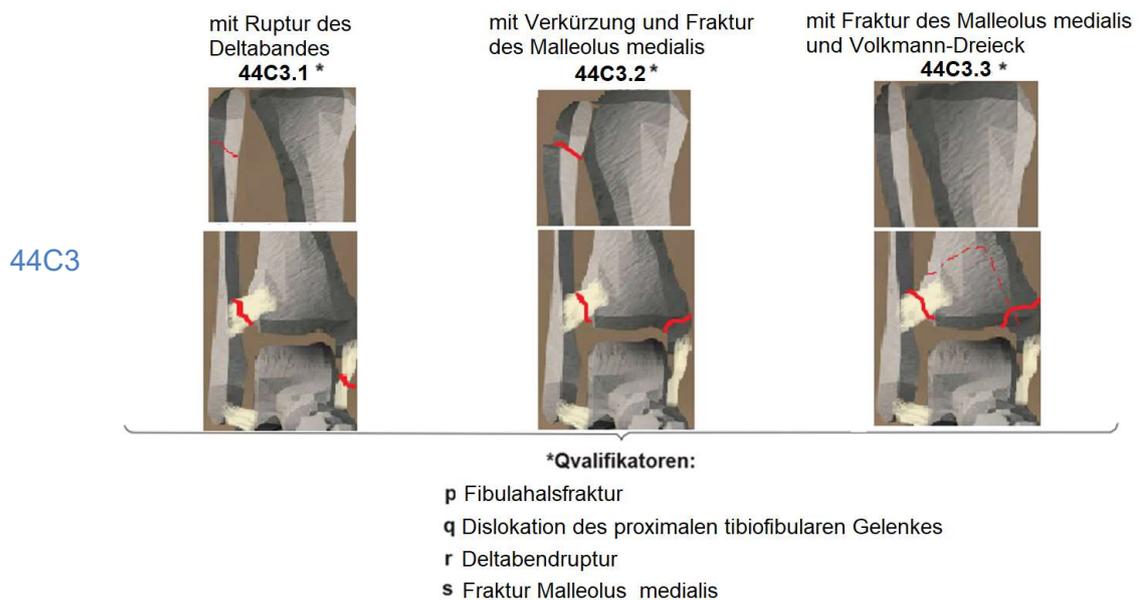


Abbildung 13: Gruppe: 44C3 proximale Fibulaverletzung.

1.4 Diagnostik

Zur Diagnosesicherung erfolgt zunächst die klinische Untersuchung.

1.4.1 Klinische Untersuchung

Die klinische Untersuchung hat eine hohe Bedeutung. Schmerzen bei Außenrotation und der Syndesmosendruckschmerz haben hohe Sensitivität für Frakturen und Syndesmosenverletzungen [22]. Das Leitsymptom der OSG-Fraktur ist der belastungsabhängige Schmerz und die Schwellung. Eine eventuell bestehende Luxationsstellung ist ein eindeutiges Frakturzeichen. Fakultativ kann bei offenen Frakturen eine Durchspießung oder insbesondere bei verbleibender Luxationsstellung ein innerer Dekubitus (Hautnekrose durch Druck des Knochens auf die Haut) entstehen. Wichtig ist die Überprüfung von Durchblutung, Motorik und Sensibilität [23]. Bei der klinischen Untersuchung des Sprunggelenkes palpiert man die Fibula über ihre gesamte Länge. Damit wird eine Verletzung der Fibula proximal, im Rahmen einer Maisonneuve-Verletzung, ausgeschlossen [22].

1.4.2 Klinik bei Syndesmosenverletzung

Klinisch sind Schwellung, Belastungsschmerz und Druckschmerz im Bereich der vorderen Syndesmose warnend [15]. Bei akuten Syndesmosenrupturen werden starke Schmerzen über dem anterolateralen Aspekt des oberen Sprunggelenks auf Druck und durch forcierte Dorsalflexion des Fußes provoziert. Höchste Spezifität und Sensitivität besitzt der Außenrotationstest nach Frick. Dieser ist positiv, wenn ein Schmerz über der Syndesmose bei fixiertem Unterschenkel und passiver Außenrotation des Fußes auslösbar ist [15]. Mit dem tibiofibularen Kompressionstest gelingt die Abgrenzung von Läsionen des lateralen Kollateralbandapparats [16]. Zudem bestehen dabei ein subjektives Instabilitätsgefühl, eine eingeschränkte Dorsalflexion sowie eine anamnestisch zurückliegende „Distorsion“ [16].

1.4.3 Bildgebende Diagnostik

Die konventionelle Röntgenaufnahme des oberen Sprunggelenks im lateralen und a.-p. Strahlengang mit oder ohne 20° Innenrotation des Fußes zählen zur Standarddiagnostik [15]. Physiologischer Weise ist der Gelenkspalt im a.-p Strahlengang mit 20° Innenrotation an allen Gelenkflächen gleich weit. Dabei ist es sehr schwierig, Hinweise auf eine Subluxation oder Verkürzung der Fibula zu interpretieren [6].



Abbildung 14: Determinanten der Syndesmosenstabilität im 20°-innenrotierten a.p.-Bild (Mortise view) [17].

Die Abbildung 14 zeigt die Determinanten der Syndesmosenstabilität. Die tibiofibuläre Überlappung ist der Abstand zwischen Vorderrand der Fibula (B) und Hinterrand der Tibia (A) und soll in dieser Einstellung mindestens 1 mm sein. Der sogenannte Ligne claire (tibiofibular clear space) ist der Abstand zwischen Vorderrand der medialen Fibulakante (B) und lateraler Tibiakante am Tubercule de Chaput (C). Dieser soll nicht mehr als 5 mm betragen. Eine Erweiterung des medialen Gelenkspaltes (DE) über 5 mm gilt als pathologisch und ist Hinweis auf einer Subluxationsstellung bei Syndesmoseninstabilität [17].

Chaput definierte den erweiterten „espace claire“ mit einer Grenzweite von 6 mm. Dieser Abstand entspricht dem Abstand zwischen der medialen Begrenzung der Fibulakortikalis 1 cm oberhalb der distalen Tibiagelenkfläche und der hinteren Begrenzung der Tibiainzisur und beträgt etwa 4 mm. Hinweise auf eine Pathologie sind eine Erweiterung der medialen Gabelstellung, eine verstärkte Überlappung der Fibula mit der vorderen Inzisurbegrenzung, oder eine verringerte Überlappung der vorderen Tibiabegrenzung und der Fibula [6].

Die dynamische Untersuchung der Syndesmosenstabilität erfolgt unter dem Bildwandler. Bei Syndesmoseninsuffizienz zeigt sich eine deutliche Erweiterung des medialen Gelenkspaltes. Eine gezielte apparative Diagnostik erfolgt zur Feststellung des Schweregrads sowie zum Ausschluss relevanter Begleitverletzungen [16]. Eine zusätzliche Aufnahme der proximalen Fibula erfolgt zum Ausschluss einer Maisonneuve Verletzung.

Eine präoperative CT-Untersuchung ist bei grenzwertigen Befunden angezeigt und verfeinert die Frakturdiagnostik [15].

Die MRT Untersuchung hat eine hohe Sensitivität auf Bandverletzungen und macht die Unterscheidung aller relevanten Bandstrukturen des distalen Syndesmosenkomplexes möglich [15].

1.5 Therapie

Bei der Therapie der Sprunggelenksverletzungen muss zunächst definiert werden, ob es sich um eine knöcherne Läsion oder um isolierte Bandverletzungen handelt.

1.5.1 Therapie der Bandverletzungen

Eine isolierte Ruptur des Lig. tibiofibulare anterius wird in aller Regel konservativ-funktionell behandelt. Dabei wird eine knöchelstabilisierende Orthese für 5-6 Wochen empfohlen [15].

Die Indikation für die operative Versorgung besteht bei Instabilität der Syndesmose oder bei Begleitverletzungen wie z.B. bei knöchernen Ausrissen [15].

Bei manifester oder latenter Diastase der distalen tibiofibularen Syndesmose nach einer akuten Verletzung muss eine geschlossene oder offene Reposition sowie Retention vorwiegend mittels doppelter Stellschraubenosteosynthese erfolgen.

1.5.2 Frakturversorgung / Osteosyntheseverfahren

In der Akutphase sollte eine umgehende Reposition bei Luxationsfrakturen durchgeführt werden [23]. Anschließend erfolgt die Retention in einer Gipsschiene. Damit wird die Druckschädigung der Weichteile minimiert. Die Durchblutung, Motorik und Sensibilität muss vor und nach Reposition überprüft und dokumentiert werden [22].

1.5.3 Konservative Therapie

Die konservative Therapie hat ihre Berechtigung bei stabilen isolierten, nicht verschobenen Knöchelfrakturen. Indikation zur konservativer Therapie besteht bei Typ A Frakturen und nicht dislozierten Typ B Frakturen ohne Rotationsfehler [23]. Ein konservatives Vorgehen ist ebenfalls berechtigt, wenn schwere Kontraindikationen (Komorbidität, ausgehnter Weichteilschaden im Zugangsbereich, Narkoseunfähigkeit oder ausdrücklicher Patientenwunsch) gegen eine Operation sprechen [23].

Die Ruhigstellung erfolgt dann im gespaltenen Unterschenkelgips / Cast / Stützverband oder Vakuumschiene bis zum Abschwellen der Weichteile, anschließend kann eine Mobilisation im Unterschenkelgips mit Teilbelastung oder schmerzadaptierter funktioneller

Belastung erfolgen. Die Ruhigstellung erfolgt für 6 Wochen mit mindestens zweimaliger Röntgen-Verlaufskontrolle [22].

1.5.4 Operative Therapie

Die Indikation für eine operative Therapie mit Rekonstruktion der Gelenkstellung besteht bei dislozierten Frakturen, bei Vorliegen offener Frakturen und Gefäß- oder Nervenbeteiligung. Des Weiteren sind die Maisonneuve-Verletzung sowie Frakturen des Volkmann-Dreieckes mit Beteiligung der Gelenkfläche von mehr als 1/4 operativ zu versorgen.

Der optimale Zeitpunkt für den operativen Eingriff liegt innerhalb der ersten 6 Stunden nach Frakturereignis. Sollte bei Luxationsfrakturen mit hochgradiger Instabilität eine Primärversorgung nicht möglich sein, kann die temporäre Retention durch einen gelenkübergreifenden Fixateur externe in Erwägung gezogen werden [22]. Nach abschwellenden Maßnahmen kann dann die definitive Versorgung 4-5 Tage später erfolgen [23].

Zur operativen Fixation werden stabile Implantate wie

- Schrauben
- Drittelrohrplatten (ggf. auch winkelstabile Implantate) und
- Zuggurtungsosteosynthesen favorisiert.

Bei ausgeprägter Instabilität der Syndesmose wird nach Reposition eine fibulo-tibiale Stellschraube implantiert.

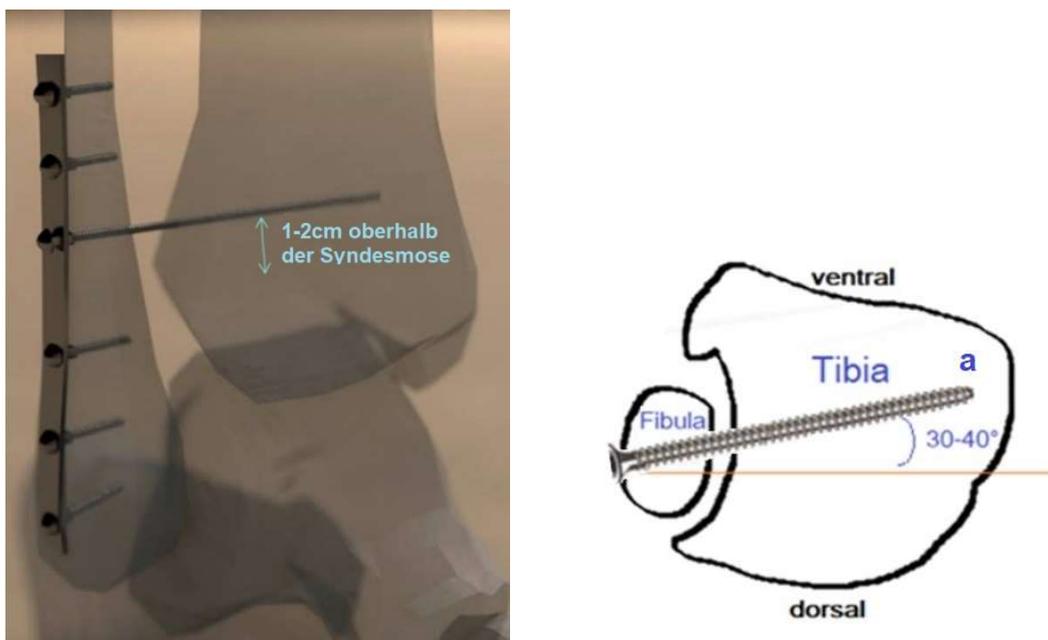


Abbildung 15: Positionierung der Stellschraube

Die Abbildung 15 zeigt a. die Richtung der Stellschraube. Zur Fixierung der distalen Fibula in der Incisura fibularis wird die Schraube parallel zur distalen Tibiagelenkfläche in einem Winkel von 30° von dorsal ca. 1-2 cm oberhalb der Syndesmose eingebracht. Um einen Schraubenbruch unter Belastung zu vermeiden, müssen Stellschrauben nach 6 Wochen postoperativ entfernt werden [15]. Als eine Alternative zur Stellschraube werden zunehmend auch flexible Implantate eingesetzt [5].

Entscheidend für die Prognose und anatomische Ausheilung ist die exakt korrekte Positionierung der Fibula in die Incisura fibularis [16].

In den postoperativen Röntgenaufnahmen können ventrale und dorsale Dislokationen der Fibula häufig übersehen werden. Es sollte beim bestehendem Zweifel an der richtigen Reposition der Fibula postoperativ ein Computertomogramm veranlasst werden, um einen notwendigen Korrekturingriff vorzunehmen [6].

Kommt es zu einer chronischen Syndesmoseninsuffizienz, wird eine anatomische Rekonstruktion mittels Bandplastik nötig. Damit kann eine drohende Inkongruenzarthrose vermieden werden [15].

1.6 Komplikationen

Die häufigsten Komplikationen nach Versorgung oberer Sprunggelenksfrakturen sind Infektion, Wundheilungsstörung und Fehlstellung bzw. unzureichende Gelenkkongruenz [24].

Da sich aus Gelenkkongruenz oder Fehlstellungen posttraumatische Arthrosen regelhaft entwickeln, werden operative Frühkorrekturen empfohlen [24]. Die Fehlreposition der distalen Fibula in die Incisura fibularis nach Versorgung von Sprunggelenksfrakturen stellt den häufigsten Grund für eine Revisionsoperation dar [25]. Bei der Korrekturoperation ist es wichtig, dass neben der Wiederherstellung der Syndesmosenstabilität auch die begleitenden Fehlstellungen der distalen Fibula mitkorrigiert und knöchernen Kongruenzen der Malleolen wiederhergestellt werden. Dabei kann zusätzlich zur Bandrekonstruktion eine Korrekturosteotomie der distalen Fibula zum Einsatz kommen [26]. Eine Korrekturoperation sollte möglichst frühzeitig vorgenommen werden, da sich sonst in der Regel eine posttraumatische Arthrose zügig entwickelt [24].

2 Zielstellung der Arbeit

Eine verbleibende Fehlstellung im distalen tibiofibularen Gelenk (TFG) nach osteosynthetischer Versorgung instabiler oberer Sprunggelenksverletzungen stellt klassisch eine präarthrotische Deformität dar und darf ebenso wenig wie verbleibende Instabilitäten, fibulare Verkürzungen oder Fehlrotationen toleriert werden.

Mit Hilfe dieser Arbeit soll gezeigt werden, dass

1. die retrospektive Analyse von postoperativ durchgeführten CT-Untersuchungen nach Rekonstruktion des TFG mittels Stellschraube eine hohe Anzahl revisionswürdiger Befunde aufdeckt.
2. die bisher angewendete intraoperative Bildgebung mittels zweidimensionalen C-Bogen zur Kontrolle der Fibulastellung Grenzen aufweist.
3. ein stringentes Heranziehen einer intraoperativen 3D-Bildgebung notwendig ist.

und

4. ob Alter, Geschlecht, Frakturtyp und Ausbildungsstand des Operateurs das Repositionsergebnis beeinflussen.
5. welche Unterschiede bildmorphologischer Messparameter im CT zwischen Revisionsgruppe und Nichtrevisionsgruppe bestehen.

3 Material und Methoden

Die Studie erfasste retrospektiv 57 Patienten der unfallchirurgisch/orthopädischen Abteilung des Städtischen Klinikums Dessau, bei denen zwischen Juni 2016 und Juli 2018 eine Verletzung des oberen Sprunggelenks mit versorgungspflichtiger Ruptur der Syndesmose operiert wurden. Die Syndesmosenverletzung wurde offen oder geschlossen reponiert. Die temporäre Fixation der Fibula in der Incisura fibularis erfolgte mittels einer oder zwei Stellschraube(n) unter konventioneller radiologischer Kontrolle mittels C-Bogen. Postoperativ wurde zur Stellungskontrolle eine CT Untersuchung durchgeführt.

3.1 Material

Für diese Arbeit wurden Sprunggelenks-CT-Datensätze verwendet, die postoperativ nach einer Rekonstruktion der Malleolargabel mittels Stellschraube durchgeführt worden.

3.1.1 Patientenkollektiv

Insgesamt wurden 57 CT-Datensätze für die Bildanalyse herangezogen. Davon stammten 30 Datensätze (52,6%) von männlichen Patienten und 27 Datensätze (47,4%) von weiblichen Patienten.

3.1.2 Die Datenakquise

Die Akquise der Schnittbild-Datensätze fanden in der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie und Neuroradiologie des Städtischen Klinikums Dessau statt.

Es handelte sich um DICOM-Daten der Computertomographie, die im Rahmen der postoperativen Kontrollen durchgeführt worden waren, um die Stellung der distalen Fibula in der Incisura fibularis postoperativ zu überprüfen.

Die CT-Scans wurden mit einem Brilliance 64 der Firma Philips angefertigt. Das Gerät ermöglicht eine isotrope Bilderfassung mit 64 Schichten/Rotation über 40mm bei einer Schichtkollimation von 0,625 mm. Die rekonstruierten Schichtdicken lagen bei Axialscan zwischen 0,5 - 12 mm und bei Spiralscan bei 0,67 - 7,5 mm. Als Matrixgrößen waren für die Rekonstruktion 512², 768² und 1024² wählbar.

Die Aufnahmen wurden mit folgenden Parametern durchgeführt:

Scan:	ANKLE KF 0,6 mm
Auflösung:	High
Thickness:	0,67 mm
Kollimation:	16x0,625 mm
FOV:	200 mm
Matrix:	768 ²

Die Darstellung des Knochens erfolgte im Knochenkern und- Fenster (1500/4000 HE; ANKLE KF 3mm), die der Weichteile im Weichteilkern und- Fenster (60/360 HE; ANKLE WT 3mm). Entsprechend wurden koronare, sagittale, axiale und 3D-Bildrekonstruktionen berechnet.

3.1.3 CT morphologische Parameter

Nach der operativen Rekonstruktion der Malleolengabel erfolgten die postoperativen CT-Untersuchungen zwischen den 2. und 4. postoperativen Tag. Hierbei wurde das Repositionsergebnis kontrolliert.

Die Daten wurden für diese Arbeit nochmals von drei Experten der Klinik retrospektiv gesichtet. CT-Scans mit auffälligen Befunden, die potentiell mit einer 3D-Bildgebung intraoperativ detektiert hätte werden können und somit zu einer Korrektur gekommen wäre, wurden als revisionsbedürftig eingestuft. Alle anderen Fälle wurden durch die Sichtung der CT Bilder als nicht revisionsbedürftig eingeordnet. Darüber hinaus wurden der vordere und hintere Abstand der Fibula in der Incisura fibularis (VA und HA), die Breite des tibiofibularen Gelenkspaltes (TFGS), die fibulare anteroposteriore Translation (APT), die Länge und Rotation der Fibula sowie die Stellung der Malleolen zur talaren Gelenkfläche ermittelt.

3.2 Methodik

Zur Visualisierung der Scans wurde die Software „IMPAX EE“ verwendet.

3.2.1 Visualisierungssoftware „IMPAX EE“

IMPAX EE ist ein Programm, das die Verwaltung, Betrachtung und Befundung von DICOM-Daten ermöglicht. Durch die Visualisierung und Bearbeitung (z.B. Vermessung, Annotation, Multiplanare Rekonstruktion) von medizinischem Bildmaterial wird die Befundung und Diagnosesicherung unterstützt. Die Befundungsworkstation kann entweder

als alleinstehende Anwendung betrieben werden, oder als Subapplikation von einem klinischen Informationssystem (Krankenhausinformationssystem, radiologisches Informationssystem, oder elektronische Patientenakte) aufgerufen werden. Weiterhin können die dargestellten Bilder mit aller Annotation, Vermessung, Bild- und Patienteninformationen so ausgedruckt werden, wie sie am Bildschirm zu sehen sind. Das Programm besteht aus zwei Teilen:

- Die List-Text-Area: beinhaltet die Verwaltung und Archivierung der Patientendaten und das Bildmaterial.
- Der Bildbereich oder Image Area dient als Kernstück der Applikation zur Betrachtung, Bearbeitung und Befundung des Bildmaterials.

Mit IMPAX EE ist die Kommunikation mit einem DICOM- oder PACS-Archiv möglich. Es erlaubt einem DICOM-Client den Zugriff auf ein AGFA Archiv und die Ausführung eines DICOM-Move Prozesses.

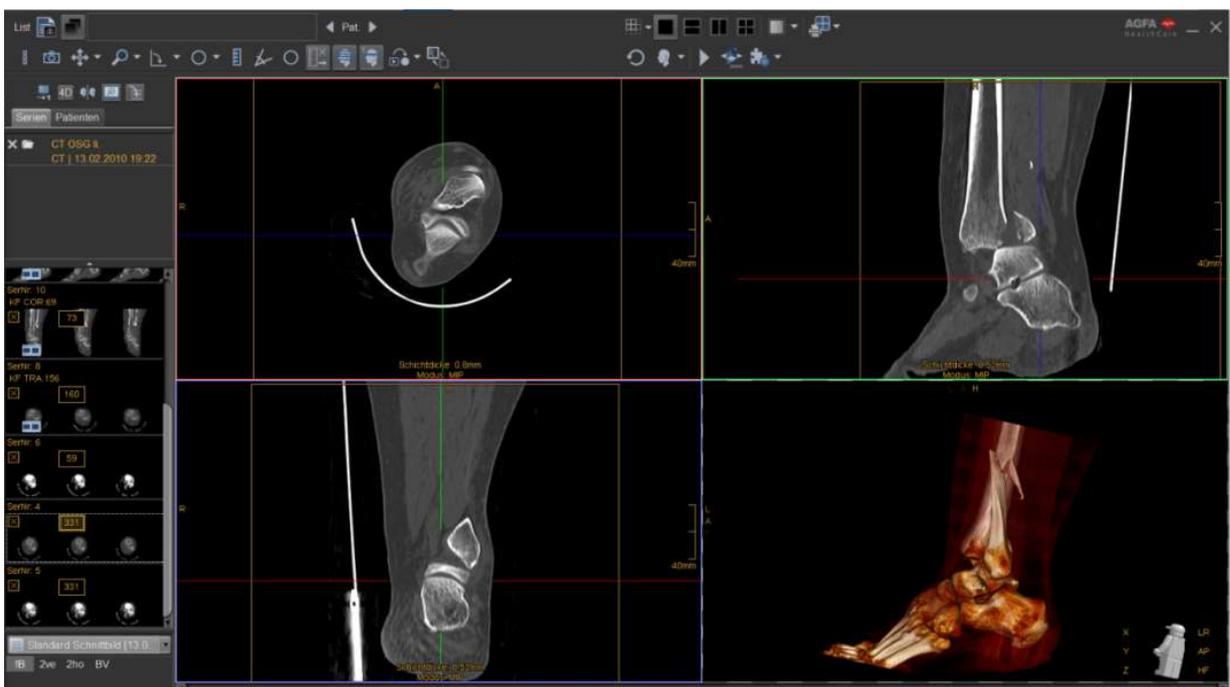


Abbildung 16:Benutzeroberfläche von „Impax EE“

Die Abbildung 16 zeigt die Arbeitsoberfläche der Visualisierungssoftware „IMPAX EE“.

3.2.2 Generierung der Messdaten

Es wurden folgende 6 Messparameter bestimmt:

1. Stellung der Fibula in der Incisura fibularis
2. Breite des tibiofibularen Gelenkspaltes (TFGS)
3. fibulare anteroposteriore Translation (APT)
4. Länge der Fibula
5. Rotation der Fibula
6. Stellung der Malleolen zur talaren Gelenkfläche

1. Stellung der Fibula - vorderer und hinterer Abstand der Fibula in der Incisura fibularis (VA und HA)

Zunächst wurde in der koronaren Schnittebene die Messhöhe 1 cm oberhalb der tibialen Gelenkfläche festgelegt. Das axiale Schnittbild wurde auf diese Höhe eingestellt und der Abstand zwischen der Vorderkante der Fibula und dem Tuberculum anterior der Incisura fibularis (VA) sowie der Abstand zwischen der Hinterkante der Fibula und dem Tuberculum posterior der Incisura fibularis (HA) in mm gemessen (Abb. 17).

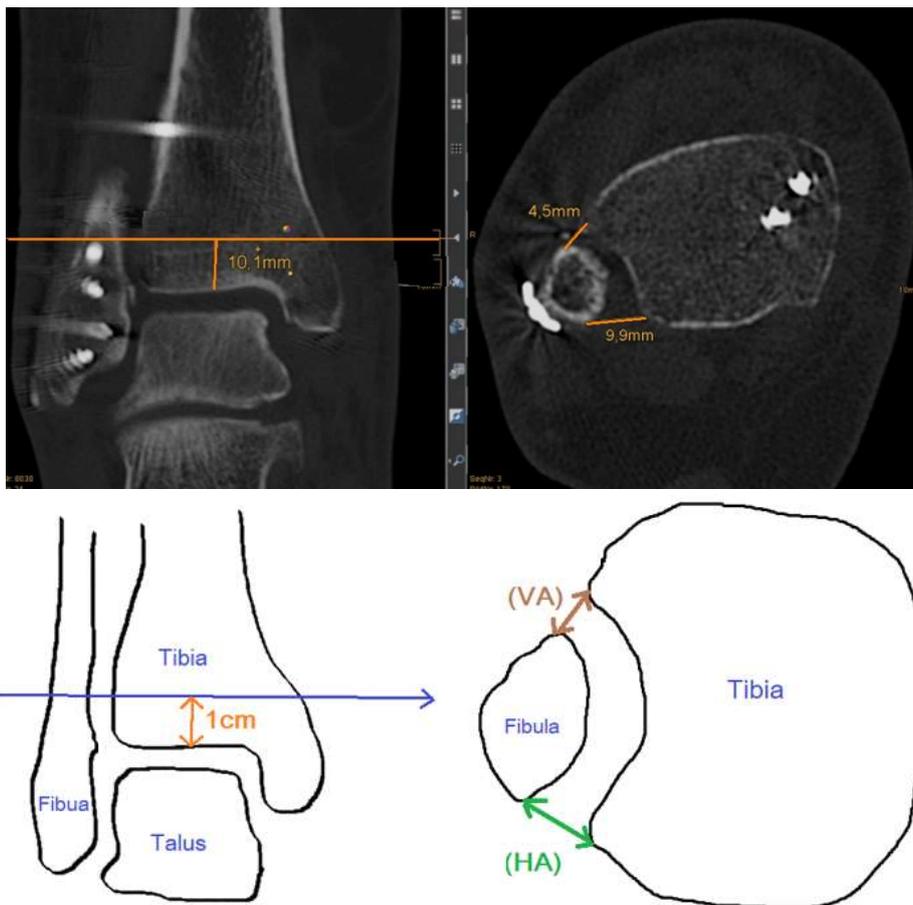


Abbildung 17: Stellung der Fibula (1 cm oberhalb der tibialen Gelenkfläche).

2. Die Breite des tibiofibularen Gelenkspaltes (TFGS)

Die Breite des tibiofibularen Gelenkspaltes wurde ebenfalls 1 cm oberhalb der tibialen Gelenkfläche gemessen. Eine Tangente (a) an der tibialen Gelenkfläche zwischen dem Tuberculum anterior und Tuberculum posterior wurde gesetzt, um parallel dazu den tiefsten Punkt der tibialen Gelenkfläche (Tangente b) und den medialen Fibularand (Tangente c) zu ermitteln. Der Abstand zwischen Tangente b und c wurde in mm gemessen (Abb. 18).

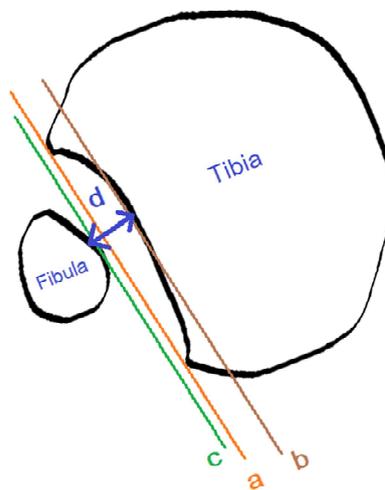
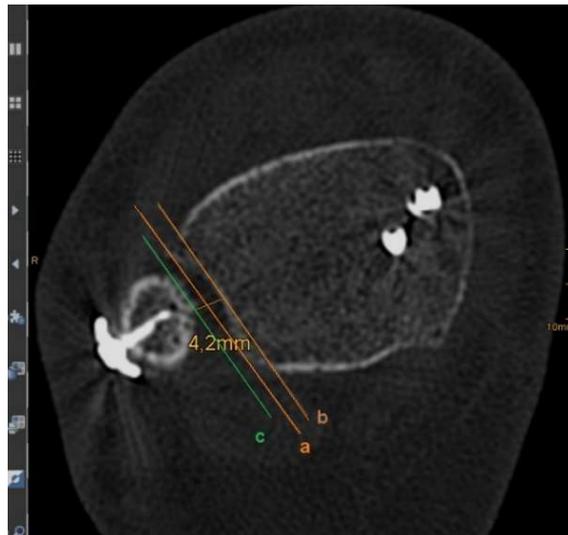


Abbildung 18: Breite d des tibiofibularen Gelenkspaltes (TFGS)

3. Die fibulare anteroposteriore Translation (APT)

Die Messung der fibularen anteroposterioren Translation wurde wie folgt durchgeführt. Im axialen CT Schnittbild 1 cm oberhalb der tibialen Gelenkfläche wurde die Tangente an der tibialen Gelenkfläche zwischen dem Tuberculum anterior und Tuberculum posterior (a) genutzt, um 90° dazu eine Tangente bündig zur vorderen Fibulakante (b) und ventralen Tibiakante (c) zu legen. Der Abstand zwischen c und b wurde in mm gemessen.

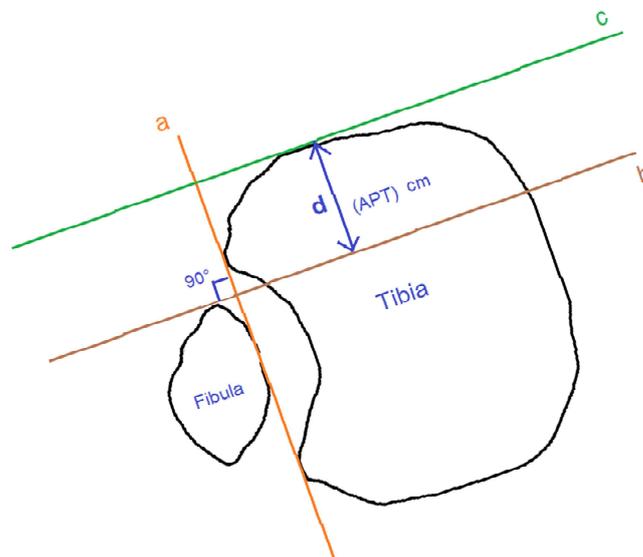
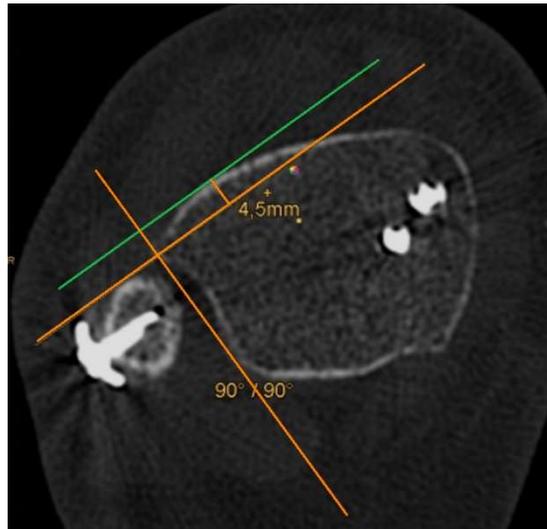


Abbildung 19: Die fibulare anteroposteriore Translation (APT)

4. Die Länge der Fibula

Die Bestimmung der Fibulalänge erfolgte in der koronaren Schnittebene, wo Außenknöchel mit korrespondierender Talusgelenkfläche hinreichend beurteilbar sind. Dazu wurde die Länge der Fibula anhand der knöchernen Landmarken „Weber-Nase“ und „Weber Kreis“ als „korrekt“, „zu kurz“ oder „zu lang“ beurteilt.

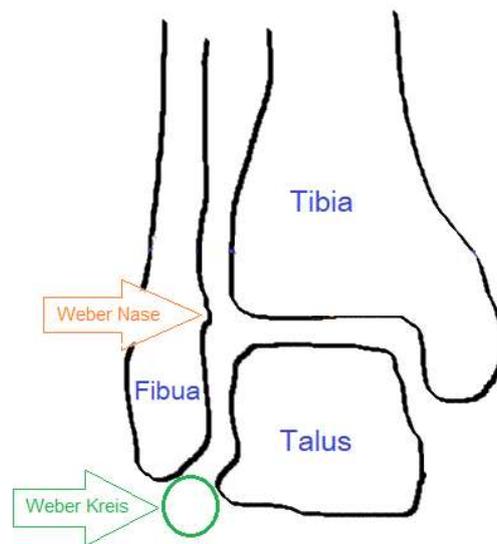


Abbildung 20: Landmarken „Weber-Nase“ und „Weber Kreis“

Die Abbildung 20 zeigt die „Weber-Nase“ a, welche bei korrekter Fibulalänge auf das Tibia-Plafond zeigt. Der „Weber Kreis“ b bildet sich bei korrekter Fibulalänge als Fortsetzung der Kontur der Fibulaspitze am Processus lateralis tali.

5. Die Rotation der Fibula

Die Rotation der distalen Fibula wurde 1 cm oberhalb der tibialen Gelenkfläche im axialen Schnittbild gemessen. Dabei wurde der Winkel der Tangente an der tibialen Gelenkfläche a (Linie zwischen Tuberculum anterior und Tuberculum posterior) und b (anterio-posterioren Mittellinie der Fibula) bestimmt (Abbildung 21).

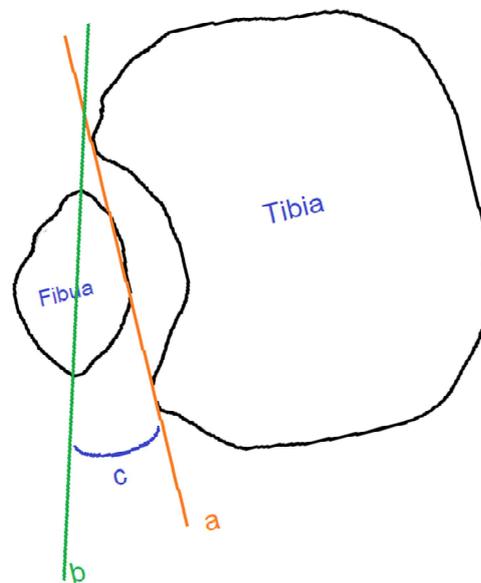
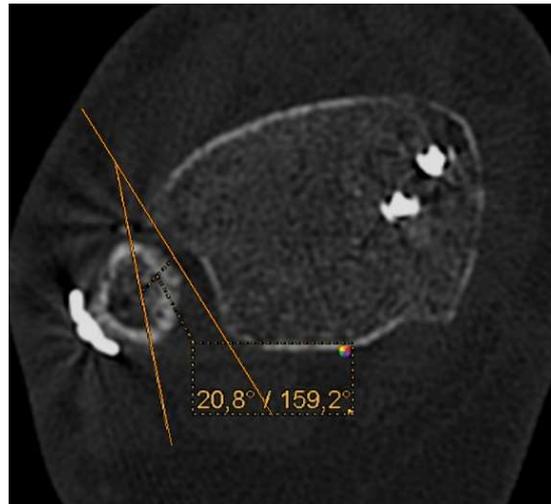


Abbildung 21: Rotationswinkel der Fibula

6. Die Stellung der Malleolen zur talaren Gelenkfläche

Zur Beurteilung der Stellung der Malleolen in Bezug auf den Talus wurde im koronaren CT Schnittbild die Ebene herangezogen, in der die korrespondierenden Gelenkflächen hinreichend dargestellt werden. Die Stellung der Malleolen zur talaren Gelenkfläche wurde als „kongruent“ oder „nicht kongruent“ definiert.

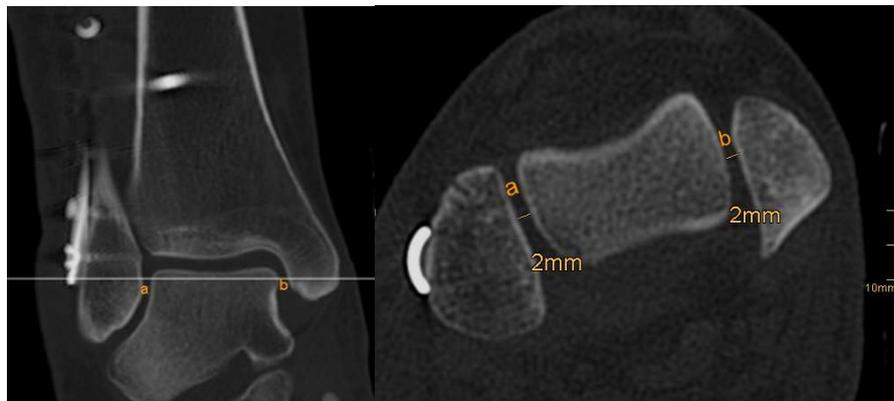
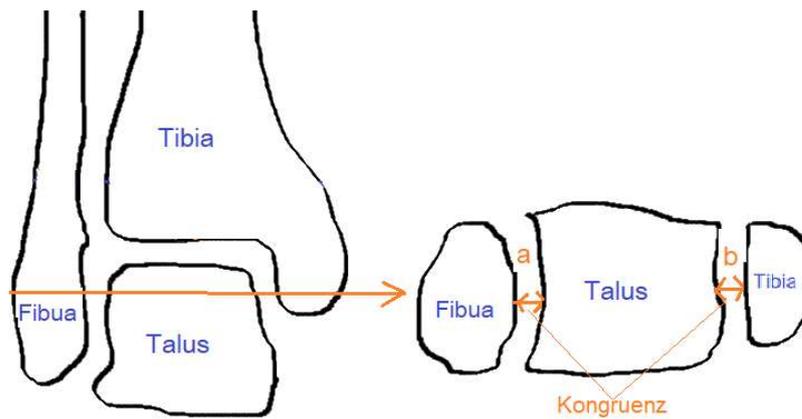


Abbildung 22: Die kongruente Stellung der Malleolen zur talaren Gelenkfläche.

Die Abbildung 22 zeigt eine „kongruente“ Stellung der fibularen a und tibialen Gelenkfläche b zur talaren Gelenkfläche.

3.2.3 Statistische Methoden

Die statistische Auswertung der erhobenen Daten erfolgte mittels der Statistiksoftware PSPP. Dabei handelte es sich um eine explorative Datenanalyse. Dies beinhaltete eine logistische Regressionsanalyse, mit der der Einfluss der untersuchten unabhängigen Variablen auf das Outcome Revision geprüft wurde. Die Outcome-Variable Revision wurde nach retrospektiver Sichtung der CT-Scans von drei Experten der Klinik gebildet. Dabei wurden die auffälligen Befunde, die potentiell mit einer 3D-Bildgebung intraoperativ detektiert hätte werden können und somit zu einer Korrektur gekommen wäre, als revisionsbedürftig eingestuft und als abhängige Variable „Revision“ mit 1 für „ja“ und mit 0 für „nein“ definiert. Die unabhängigen Variablen waren metrisch oder kategorial. Das Effektmaß wurde als Odds Ratio (OR) berechnet, welches den Einfluss der untersuchten Variablen auf die Zielgröße wiedergibt. Alle errechneten Werte außer den p-Werten wurden auf eine Dezimale gerundet.

4 Ergebnisse

Die digitalen Datensätze postoperativer CT-Scans von insgesamt 57 Patienten im Zeitraum Juni 2016 bis Juli 2018 wurden retrospektiv ausgewertet.

4.1 Allgemeines

Die Geschlechterverteilung der 57 Patienten war mit 30 Männern (52,6%) und 27 Frauen (47,4%) nahezu ausgeglichen.

Die Patienten wiesen zum Zeitpunkt der Operation eine Altersspanne zwischen 37 und 69 bei den Männern und zwischen 46 und 72 Lebensjahren bei den Frauen auf. Das durchschnittliche Alter der Gesamtpopulation betrug 56,4 Jahre mit einer Standardabweichung von 15,4 Jahren. Die Körpergröße betrug durchschnittlich 170 ± 9 cm und das Körpergewicht $83,2 \pm 16,4$ kg. Der durchschnittliche Body-Mass-Index (BMI) belief sich auf $28,7 \pm 5,1$ kg/m².

Tabelle 1: Übersicht über die Studienpopulation mit Mittelwert & Standardabweichung

	Männer	Frauen	Gesamt
Anzahl	30 (52,6%)	27 (47,4%)	57 (100%)
Alter [a]	$53,4 \pm 16,4$	$59,7 \pm 13,6$	$56,4 \pm 15,4$
Körpergröße [cm]	$176,4 \pm 6,7$	$163,4 \pm 5,9$	$170,2 \pm 9$
Körpergewicht [kg]	$88,4 \pm 14,7$	$77,4 \pm 16,4$	$83,2 \pm 16,4$
BMI [kg/m ²]	$28,3 \pm 3,9$	$29,2 \pm 6,2$	$28,7 \pm 5,1$

4.2 Klassifikation der Verletzungsmuster

Die Klassifikation der zu versorgten Verletzungen erbrachte 3 wesentliche Hauptgruppen.

1. isolierte Syndesmosenverletzung ohne knöcherne Beteiligung
2. transsyndesmale Fibulafraktur (44 B nach AO Klassifikation)
3. suprasyndesmale Fibulafraktur (44 C nach AO Klassifikation)

Frakturverteilung

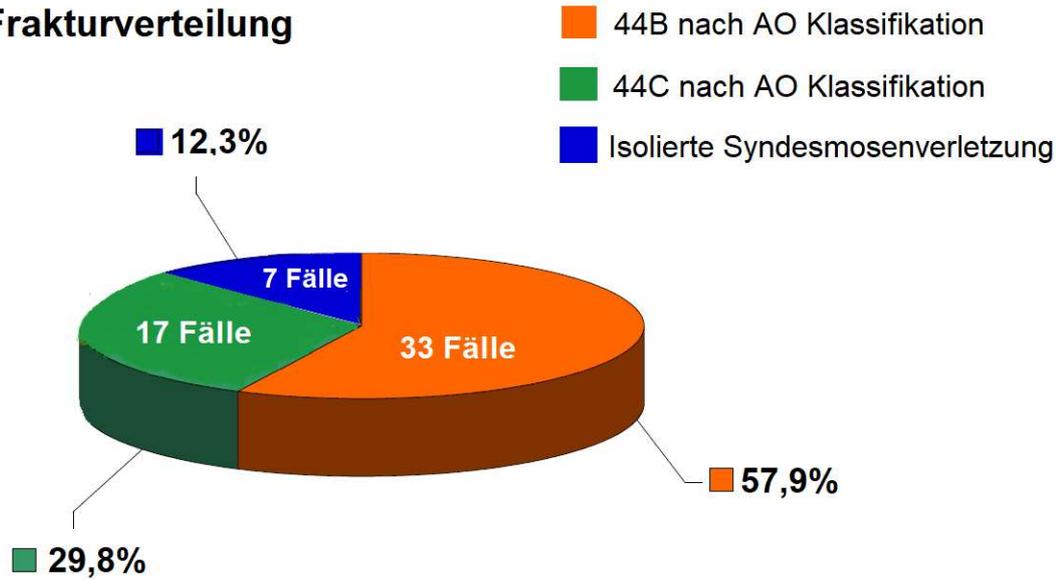


Abbildung 23:Frakturverteilung der Patienten

4.3 Beurteilung der Revision

Insgesamt wurden 22 auffällige CT-Befunde, die potentiell mit einer 3D-Bildgebung intraoperativ detektiert werden können und es somit zu einer Korrektur gekommen wäre, als revisionsbedürftig beurteilt (Revisionsgruppe). Die restlichen 35 Fälle wurden durch die Sichtung der CT Bilder als nicht revisionsbedürftig eingestuft (Nicht-Revisionsgruppe).

4.4 Messwerte der CT morphologischen Parameter

Die Messungen der Fibulastellung 1 cm oberhalb der tibialen Gelenkfläche erbrachten folgende Werte:

Tabelle 2: Messergebnisse der Fibulastellung (VA/HA)

Stellung der Fibula	VA (mm)	HA (mm)
Nicht-Revisionsgruppe	3,7 ± 1,6	4,7 ± 2,1
Revisionsgruppe	2,5 ± 2,8	5,7 ± 2,4
Gesamt	3,2 ± 2,2	5,1 ± 2,2

Die Bestimmung der Breite des TFGS zeigten folgende Werte:

Tabelle 3: Messwerte der Breite des TFGS

Breite des tibiofibularen Gelenkspaltes (TFGS) mm	
Nicht-Revisionsgruppe	3,5 ± 1,5
Revisionsgruppe	3,3 ± 1,4
Gesamt	3,4 ± 1,4

Die Messwerte der fibularen Translation fielen wie folgt aus:

Tabelle 4: Ergebnisse AP-Translation der Fibula

Fibulare anteroposteriore Translation (APT) mm	
Nicht-Revisionsgruppe	3,5 ± 1,5
Revisionsgruppe	6,9 ± 4,4
Gesamt	7,9 ± 3,5

Die Messungen der Rotation zeigten folgende Rotationswinkel:

Tabelle 5: Messergebnisse der Rotationswinkel der Fibula

Rotationswinkel der Fibula(°)	
Nicht-Revisionsgruppe	10,5 ± 6,3
Revisionsgruppe	10,9 ± 7,5
Gesamt	10,7 ± 6,8

4.4.1 Länge der Fibula

Bei der Beurteilung der Fibulalänge wurde zwischen korrekt, zu lang und zu kurz unterschieden. Insgesamt zeigten sich 12 Fälle (21%) mit inkorrekturer Länge, in 4 Fällen (7%) war die Fibula zu lang und in 8 Fällen (14%) zu kurz. Davon befanden sich 9 Fälle in der revisionsbedürftigen Gruppe und 3 Fälle in der nichtrevisionsbedürftigen Gruppe.

4.4.2 Stellung der Malleolen zur talaren Gelenkfläche



Bei der Überprüfung der Stellung der Malleolen zur talaren Gelenkfläche bestand in 5 Fällen (8,7%) eine Malleoleninkongruenz zur talaren Gelenkfläche. Davon waren 3 inkongruente Fälle in der revisionsbedürftigen Gruppe und 2 Fälle in der nichtrevisionsbedürftigen Gruppe.

4.5 Statistische Analyse

Die statistische Auswertung erfolgte als binär logistische Regressionsanalyse.

Die Überprüfung des Zusammenhangs zwischen den unabhängigen Variablen Alter, Geschlecht, Körpergewicht und Verletzungsmuster und abhängiger Variable Revision erbrachte, dass Alter ($p=0,199$; $OR=1,02$; $95\% \text{ KI}=(0,99; 1,06)$), Geschlecht ($p=0,752$; $OR=0,84$; $95\% \text{ KI}=(0,29; 2,45)$) und Körpergewicht ($p=0,722$; $OR=0,99$; $95\% \text{ KI}=(0,96; 1,03)$) auf die Revisionsbedürftigkeit keinen Einfluss nehmen.

Ebenfalls konnte kein relevanter Zusammenhang zwischen Verletzungsmuster und Revision dargestellt werden ($p=0,266$; $OR=1,54$; $95\% \text{ KI}=(0,72; 3,32)$)

Die Ermittlung der Operateure lies eine Einteilung hinsichtlich des Ausbildungsstandes in 3 Gruppen zu: Spezieller Unfallchirurg (SpU), Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie (FA) und Weiterbildungsassistent (WbA). Die Analyse des Zusammenhanges zwi-

schen Ausbildungsstand des Operateurs und Revisionsbedürftigkeit ergab ein minimal verringertes Risiko für eine Revision bei SpU (OR=0,92; 95% KI= (0,22; 3,77)) im Vergleich zu WbA. Bei FA ist das Risiko für eine Revision im Vergleich zu WbA leicht erhöht (OR=1,27; 95% KI= (0,33; 4,84)).

4.5.1 CT-morphologische Parameter

Die Untersuchung der CT-morphologischen Parameter erbrachte, dass nur die Parameter Fibulalänge und AP-Translation deutliche Hinweise für einen revisionswürdigen Befund darstellen.

Tabelle 6. CT morphologische Parameter mit p-Wert und OR

CT-morphologischen Parameter	OR [Odds Ratio]	P [P Wert]
Fibulastellung VA [mm]	0,75	0,061
Fibulastellung HA [mm]	1,24	0,103
Breite des tibiofibularen Gelenkspaltes (TFGS) [mm]	0,94	0,743
Fibulare anteroposteriore Translation (APT) [mm]	0,86	0,090
Rotation der Fibula (Rotationswinkel) [°]	1.01	0,811
Länge der Fibula		
[kurz]	7,38	0,096
[lang]	7,38	0,023
[korrekt]	0,41	0,006
Stellung der Malleolen [kongruent/nicht kongruent]	2,61	0,317

Die Analyse der Fibulalänge zeigte, dass eine zu lang eingestellte Fibula (OR=7,38 95% KI=(0,70;67,76)) und eine zu kurz eingestellte Fibula (OR=7,38 95% KI=(1,32;41,45)) im Vergleich zur korrekten Länge beide ein siebenfach höheres Risiko für eine Revision bergen.

Der Einfluss der AP-Translation zeigt die Relevanz der fibularen Fehlstellung in der Incisura fibularis für die Beurteilung der Revisionsbedürftigkeit. In 13 Fällen (59%) der 22 revisionswürdigen Befunde fiel eine Fehlstellung der Fibula in der Incisura fibularis auf. Ein direkter Zusammenhang zwischen den Variablen VA sowie HA und Revision konnte jedoch nicht dargestellt werden. Dabei ist eine zu ventrale oder zu dorsal reponierte Fibula in der Inzisur ein Entscheidungskriterium für die Korrektur. Es wurde deshalb nach einer objektiven Größe gesucht, die auch intraoperativ als Entscheidungshilfe genutzt

werden könnte. Die weitere Datenanalyse ergab, dass ein Verhältnis größer oder gleich 2,4, gebildet aus dem jeweilig größeren und kleineren Wert von HA und VA, eine Sensitivität und Spezifität von 100% für einen revisionswürdigen Befund in unserer Population aufweist.

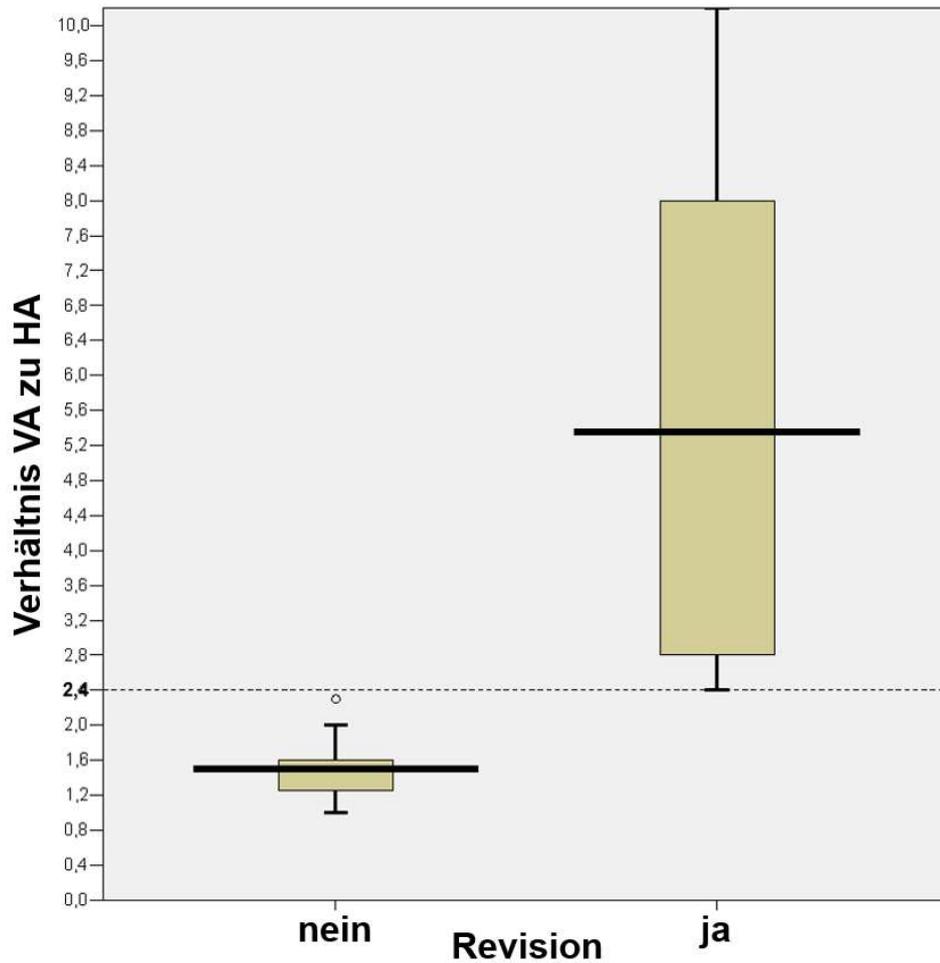


Abbildung 24: Verhältnis VA zu HA

5 Diskussion

Postoperative Stellungskontrollen nach Rekonstruktion des TFG bei oberen Sprunggelenksverletzungen zeigen einen hohen Anteil revisionsbedürftiger Fälle [27–29]. Dabei scheint eine ventrale oder dorsale Fibulaverschiebung in der Incisura fibularis einen großen Stellenwert zu haben.

In dieser Arbeit wurden postoperative CT-Datensätze von 57 Patienten, die eine Verletzung des oberen Sprunggelenkes mit Läsion des distalen knöchernen oder ligamentären Syndesmosenkomplexes aufwiesen, analysiert. Hierbei zeigten sich 22 auffällige Befunde, die potentiell mit einer 3D-Bildgebung intraoperativ hätten detektiert werden können und somit einer Korrektur bedurften. Die restlichen 35 Fälle wurden durch die Beurteilung der Schnittbilder als nicht revisionsbedürftig eingestuft.

Die Stellung der Fibula wurde intraoperativ bei den Patienten zum einem klinisch sowie mit zweidimensionalen konventionellen Bildverstärker kontrolliert. Die Projektionsradiographie gehört in unserer Klinik nach wie vor zum Standard bei der Versorgung von Verletzungen des OSG. Als radiologische Orientierung zur korrekten Einstellung der Fibula in der Inzisur fibularis dienen die Weite des lateralen und medialen Sprunggelenkspaltes, die tibiofibuläre Überlappung sowie die tibiofibuläre Distanz („ligne claire“) in der a.p.-Projektion [13,30]. Laut der Beschreibung von Beumer et al. gibt es keine hilfreichen röntgenologischen Parameter, die eine konkrete Aussage über eine korrekte Stellung der Fibula erlauben [31]. In der Studie von Gardner et al. wurden postoperative Röntgenaufnahmen des OSG mit CT Aufnahmen verglichen. Dabei konnte gezeigt werden, dass mit konventionellen Röntgen zahlreiche Gelenkinkongruenzen übersehen werden [27]. Eine exakte Stellung der Fibula und anatomische Wiederherstellung der Gelenkkongruenz ist jedoch essentiell. Eine Fehlpositionierung der Fibula im distalen fibulotalaren Gelenk mit Hilfe von Stellschrauben sowie resultierender Inkongruenz der Malleolengabel können im Laufe der Zeit zu einer schmerzhaften posttraumatischen Arthrose führen. Diese verlangt in vielen Fällen eine erneute chirurgische Intervention [32–34].

An experimentell durchgeführten Malleolarfrakturen konnte Riede et al. beweisen, dass eine Frakturdislokation von 1-2 mm ausreicht, um die Kontaktfläche zwischen Talus und Malleolengabel um 30-60% zu reduzieren. Dadurch kommt es zur Verkleinerung der tragenden Gelenkfläche mit Erhöhung des Belastungsdruckes auf der verbleibenden Gelenkkontaktfläche und zu Überlastungsschäden des Gelenkknorpels [35].

Die Ergebnisse dieser Arbeit belegen erneut, dass zur Rekonstruktion des TFG die bisher angewendete intraoperative Bildgebung mittels zweidimensionalen C-Bogen zur Kontrolle der Fibulastellung Grenzen aufweist.

Die Computertomographie nimmt deshalb nicht nur zunehmend eine bedeutende Rolle als weiterführende Diagnostik vor operativer Versorgung von Verletzungen des oberen Sprunggelenks ein. Von großer Bedeutung zeigt sich dabei die Option dreidimensionaler Rekonstruktionen. Postoperativ hat sie sich zur Stellungskontrolle der Malleolengabel aufgrund der weitgehend flächendeckenden Verfügbarkeit, insbesondere aber wegen der detaillierten Darstellung und des großen Informationsgehaltes der Bilder, als Methode der Wahl durchgesetzt [36,37]. Gardner et al. belegten den hohen Stellenwert der CT-Diagnostik in der postoperativen Kontrolle nach Frakturversorgung und Stellung der Malleolargabel im Vergleich zu den konventionellen Röntgenaufnahmen. In der untersuchten Population konnte eine Inkongruenz des DTFG bei mehr als 50% der Patienten nur durch die CT-Kontrolle entdeckt werden [27].

Was die intraoperative Anwendung angeht, wurden bereits mehrere Studien durch verschiedene Autoren durchgeführt [28,29,38,39]. Die ersten Anwendungen von intraoperativer 3D-Bildgebung wurden im Jahr 2005 von Richter et al. beschrieben. Dabei wurde intraoperativ nach Platzierung einer Stellschraube das Repositionsergebnis mit einem 3D-Bildwandler überprüft. Der Revisionsbedarf wurde mit 43% der Fälle angegeben [40]. Die Studie wurde von den gleichen Autoren im Jahr 2009 wiederholt. Die Revisionsrate bezogen auf Verletzungen Typ Weber C ergab erneut 43% [39]. Andere Autoren wie Franke et al. publizierten eine intraoperative Revisionsrate von 32,7% und damit war fast jeder dritte Patient in dieser Untersuchung korrekturbedürftig [28, 29]. Unsere Untersuchung erbrachte eine vergleichbar hohe Rate von 38,5% revisionsbedürftigen Fällen. Die Arbeitsgruppe von Ebraheim et al. postulierte bereits 1997, dass für eine geeignete Einschätzung der Fibulastellung in der Incisura fibularis die Computertomografie unabdingbar ist [41].

Allerdings existieren bisher keine Untersuchungen, die eine sichere intraoperative objektivierbare Orientierungshilfe oder einheitliche Messmethode zur Überprüfung der korrekten Fibulastellung herausarbeiten konnten. Damit bleibt die Beurteilung der intraoperativen Visualisierung des Repositionsergebnisses nach Schraubenplatzierung weiterhin subjektiv. Solche Messparameter würden sich aber insbesondere für ein besseres anatomisches Verständnis und objektive Bewertung des OP-Ergebnisses bereits intraoperativ nützlich machen und können sowohl erfahrenen chirurgischen Kollegen als auch jungen Weiterbildungsassistenten als Entscheidungshilfe dienen. Die vorliegende Arbeit hat deshalb bildmorphologische Messparameter im CT ermittelt und Unterschiede zwischen der Revisionsgruppe und Nichtrevisionsgruppe hinsichtlich Wiederherstellung der Gelenkkongruenz analysiert.

Die Kontrolle der Fibulastellung, um eine adäquate Reposition zu erlangen, untersuchten bereits verschiedene Arbeitsgruppen mit unterschiedlichen Verfahren. So definiert die Arbeitsgruppe aus Ludwigshafen von Franken et. al. das korrekte Repositionsergebnis in den axialen Rekonstruktionen bei 3D-Bildgebung anhand verschiedener bildmorphologischer Aspekte. So weist ein harmonischer Abschluss des Vorderrands der Fibula mit dem Pilon tibiale entlang eine gedachte elliptische Linie auf eine korrekte Reposition [18]. Elgafy et al. ermittelte an 100 CT-Untersuchungen unverletzter Sprunggelenke eine mittlere DTFG-Weite von 2 mm im vorderen und 4 mm im hinteren Bereich im axialen Schnitt [42]. Unsere Messungen ergaben für die DTFG-Weite ventral (VA) $3,2 \pm 2,2$ mm und dorsal (HA) $5,1 \pm 2,2$ mm. In der Revisionsgruppe war der vordere Abstand ca. 1 mm kleiner und der hintere Abstand 1 mm größer als in der Nicht-Revisionsgruppe. Dies zeigt, dass in der Revisionsgruppe vermehrt eine Ventralisation als anteriore Subluxationsstellung der Fibula abweichend vorkommt. Gleiche Untersuchungsergebnisse zeigt die Arbeit von Brunk et al., bei der die ermittelten Werte des DTFG im vorderen Anteil kleiner und dorsal größer sind [43]. Eine Erklärung dafür ist das Verfahren der Stellschraubenplatzierung. Diese wird parallel zum Tibiaplafond in einem Winkel von 30° von dorsal nach ventral eingebracht, sodass eine Fehlstellung der Fibula in der Incisura fibularis nach ventral resultieren kann. Bei fehlender axialer Schichtbildgebung mittels 3D-Bildgebung kann diese Fehlstellung übersehen werden.

In der Literatur wird die einzustellende Höhe zu der Messung des TFGS im a.p.-Röntgenbild 1 cm proximal des Tibiaplafonds angegeben. In der von Grass et al. publizierten Anleitung zur zielführenden Analyse der OSG-CT liegt die in der axialen Rekonstruktion definierte Messebene des TFGS analog zur Röntgendiagnostik ebenfalls 1 cm proximal des Tibiaplafond. Die Diastase wird hier als Distanz zwischen Fibula und der tiefsten Stelle der Tibiainzisur definiert [33]. Harper und Keller untersuchten skelettierte Kadaver-Unterschenkel projektionsradiographisch nach Simulation der Syndesmosenerweiterung mit Platzhaltern unterschiedlicher Stärke. Im unverletzten Zustand lag die Breite des TFGS durchschnittlich bei 3,6 mm [44]. Die Arbeitsgruppe Sora et al. untersuchte in einer anatomischen Platinatschnitt-Studie die axialen computertomographischen Darstellungen des TFGS nach und ermittelten in der a.-p. Projektion vergleichbare Werte für TFGS von 4 mm [45]. Eine korrekte Einstellung der distalen Fibula in der Incisura fibularis wurde durch Franke et. al. in Bezug auf Topografie und Weite des Syndesmosenpaltes ebenfalls 1 cm oberhalb der tibialen Gelenkfläche überprüft. In 32,7 % aller Fälle wurde eine Revision notwendig. Bei 25,5 % dieser Fälle war eine unzureichende Reposition der Syndesmose Grund für eine Korrektur [18]. Unsere Studie zeigte bezüglich der Breite des TFGS mit 0,2 mm Differenz keinen gravierenden Unterschied zwischen

Revisionsgruppe und Nicht-Revisionsgruppe. Für die Gesamtpopulation konnte der in der Literatur beschriebene Wert für den TFGS mit 3,4 mm bestätigt werden.

Aufgrund der fehlenden transversalen Visualisierung mit planarer Röntgendiagnostik ist eine sichere Kontrolle der korrekten Einstellung der Fibula in der Incisura fibularis bezüglich anteroposteriore Translation intraoperativ nicht möglich. Die anteroposteriore Translation und damit verbundene Abweichung von der korrekten Einstellung der Fibula in der Incisura fibularis sollte bereits intraoperativ erfasst und möglichst detailliert analysiert werden. Es wurde bereits durch mehrfache Untersuchungen belegt, dass eine röntgenologische Kontrolle mit Standardebenen intraoperativ keine vernünftigen Erkenntnisse über die Reposition bezogen auf der Malleolengabel zulässt [41, 46, 47]. Jedoch liegen einige CT-Daten zur fibularen anteroposterioren Translation vor. So definieren Grass et al. die fibulare Translation in der als tangentialer ventraler „Tibiaüberstand“ über der Fibulavorderfläche im CT-Schnittbild. Die Normwerte werden hier mit 17 ± 4 angegeben [33]. Sora et al. publizierten 2004 den Wert für einen Tibiaüberstand sogar mit 20,81 mm [45]. Die Messungen, die durch Brunk durchgeführt worden waren, ergaben im Vergleich zu den oben genannten Arbeiten geringere Werte von 9 – 13 mm [43]. Futamura et al. publizierten 2017 für die anteroposteriore Translation Werte von $14,6 \pm 1,8$ mm [48]. Dabei wurden die Messungen zwischen zwei parallelen Tangenten durchgeführt, die waagrecht sowie bündig am Fibulavorderrand und am Tibiavorderrand gelegt worden. Die Rolle der Rotation des Unterschenkels bei der Untersuchung im CT und deren fehlerhafte Auswirkungen auf die Messungen wurden in der Arbeit nicht berücksichtigt. Beumer und Swierstra untersuchten im Jahr 2003 an Kadaverpräparaten mit einer Metallnadel markierte tibiale Tubercula des skelettierten Unterschenkels und konnten damit beweisen, dass die Position derselben und die resultierend gemessenen Abstände stark von der Rotation des Unterschenkels im Strahlengang im CT abhängen [49].

Unsere Messungen ergaben deutlich kleinere Werte für die anteroposteriore Translation. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die AP-Translation im axialen CT-Schnittbild 1 cm oberhalb der tibialen Gelenkfläche zwischen zwei Tangenten, die bündig an der vorderen Fibulakante sowie ventralen Tibiakante parallel zueinander ausgerichtet waren, bestimmt wurde. Beide Tangenten standen 90° zu einer Hilfstangente, die an der tibialen Gelenkfläche zwischen dem Tuberculum anterior und Tuberculum posterior gelegt wurde. Dadurch konnten die Abstände zwischen den beiden Tangenten unabhängig von der Unterschenkelrotation standardisiert bestimmt werden.

Die zweidimensionalen Kontrollen mittels Röntgen lassen keine Beurteilung der Rotation der Fibula im distalen Gelenk zu. Harper et. al wiesen bereits im Jahr 1993 darauf hin, dass die Computertomografie insbesondere für die Detektion von Rotationsfehlstellungen der Fibula im DTFG der zweidimensionalen Röntgendiagnostik überlegen ist [50]. Verschiedene Autoren haben bereits versucht, Messparameter zur Einschätzung der fibularen Rotation zu definieren. Allerdings lassen sich bis heute in der Literatur keine sicheren Angaben finden. Es wird entweder eine qualitative Beurteilung empfohlen oder die Differenz im Seitenvergleich mit dem unverletzten Gelenk bestimmt [3,1,51-53]. Hier ist anzumerken, dass ein Großteil der publizierten Studien zu diesem Thema im Seitenvergleich durchgeführt wurde. Ein Limit dieser Arbeit ist die fehlende Datenanalyse der kontralateralen Seite. Auf Grund des retrospektiven Studiendesigns und der nicht unerheblichen Strahlenbelastung einer weiteren CT-Untersuchung außerhalb des Behandlungspfades unserer Klinik wurde auf eine Erweiterung der Datenakquise verzichtet. Ein Vergleich mit anatomischen Normwerten der gesunden Seite in unserer Population ist daher nicht möglich.

Hinsichtlich Rotationsfehlstellungen untersuchte Marmor et al. 2011 Kadaverpräparate, nachdem eine Drahtosteosynthese bei insuffizienter Syndesmose in unterschiedlichen Rotationsstellungen der Fibula durchgeführt wurde. Es konnte gezeigt werden, dass Rotationsfehlstellungen bis zu 30° mittels Röntgen nicht erkannt werden [54]. Es ist daher nicht verwunderlich, dass einige Studien, u.a. durch Gardner et. al, einen hohen Anteil postoperativer Gelenkinkongruenzen beschreiben, die vielfach auf eine Rotations-Translations-Fehlstellung der Fibula zurückzuführen sind [27]. Im Jahr 2017 wurden in der Arbeit von Brunk et. al die fibulare Rotation in Höhe des DTFG unter Berücksichtigung der jeweiligen Standardabweichungen mittlere Werte von 5 - 10° Innenrotation beschrieben [43]. In unserer Studie wurde der Rotationswinkel zwischen der Tangente an der tibialen Gelenkfläche und anterioposterioren Mittellinie der Fibula bestimmt. Die Ergebnisse lassen sich mit durchschnittlich 10,7° ähnlich zur Arbeitsgruppe von Brunk vergleichen. Unterschiede zwischen Revision- und Nicht-Revisionsgruppe waren mit 0,2° Differenz sehr minimal und für die alltägliche, intraoperative Stellungskontrolle nicht maßgebend.

Auch bezüglich der Fibulalänge wurden mehrere Untersuchungen in der Vergangenheit durchgeführt. Die CT-morphologische Bestimmung durch Rammelt et al. erfolgt in der Frontalebene durch das Tuberculum posterius fibulae. In der Sagittalebene wird die hintere Tibiakante kontrolliert. Die Autoren empfehlen auch hier das Vergleichen von Messungen mit der unverletzten Gegenseite [3,16,52]. Wir untersuchten die Länge der Fibula anhand der knöchernen Landmarken „Weber-Nase“ und „Weber Kreis“. Bei fehlenden Seitenvergleich wurde sie als „korrekt“, „zu kurz“ oder „zu lang“ beschrieben. Die

Fibulalänge zeigte sich in der Revisionsgruppe überwiegend als nicht korrekt. Eine Erklärung dafür ist, dass eine zu lange oder zu kurze Fibula die weiter proximal ermittelten Messparameter, deren Abweichung von der Norm der Grund für die Entscheidung zur Revision darstellen, direkt negativ beeinflusst. Trotz dessen ist die Längenbeurteilung ohne Seitenvergleich rein subjektiv und sollte für die Kontrolle der Reposition nicht allein entscheidend sein.

Die Untersuchung der möglichen Einflussfaktoren Geschlecht, Körpergewicht sowie Verletzungsmuster haben keinen Effekt auf das Repositionsergebnis. Selbst das Alter mit zu erwartenden osteoporotischen Knochenverhältnissen bei höheren Lebensjahren zeigt keinen Zusammenhang mit dem operativen Resultat.

Hinsichtlich des Ausbildungsstands des Operateurs konnte durch die Analyse des Zusammenhanges zwischen Ausbildungsstand des Operateurs und Revisionsbedürftigkeit gezeigt werden, dass unter Speziellen Unfallchirurg das Risiko für eine Revision das 0,92-fache im Vergleich zu Weiterbildungsassisstent beträgt. Überraschend zeigte sich beim Facharzt das Risiko das 1,27-fach erhöht im Vergleich zu Weiterbildungsassisstent. Die Erklärung dafür wäre, dass in unserem Haus die Versorgung von komplexen Spunggelenksfrakturen durch WbA durchgeführt werden, die in der Regel von einem SpU assistiert werden.

Unsere Studie konnte zeigen, dass zur korrekten Fibulaeinstellung in der Incisura fibularis das axiale Schnittbild die wichtigste Ebene darstellt. Hier muss auf die Stellung der Fibula innerhalb der Incisura fibularis mit Beurteilung von VA und HA sowie die AP-Translation Berücksichtigung finden. Statistisch gesehen besteht ein direkter Zusammenhang zwischen den Werten der AP-Translation und der Revisionsbedürftigkeit. Jedoch ist die Bewertung der AP-Translation mit Differenzen im Millimeterbereich zur Norm intraoperativ nicht praktikabel.

Es wurde deshalb nach einer geeigneten Entscheidungshilfe gesucht, mit der sich der Operateur intraoperativ orientieren kann. Die Bildung des Verhältnisses zwischen vorderen Abstand und hinteren Abstand des DTFG in der axialen Schnittebene erbrachte eine auffällig hohe Sensitivität und Spezifität von 100% für die Revisions- und Nicht-Revisionsgruppe unserer Population. Das Verhältnis von 2,4 lässt sich intraoperativ gut beurteilen: passt der kleinere gemessene Abstand zweieinhalbmal in den größeren, so muss die Rekonstruktion überdacht werden. Ob dies als exaktes „Werkzeug“ zur intraoperativen Einstellungshilfe und korrekten Rekonstruktion des distalen Tibiofibulargelenks (TFG) bei oberen Sprunggelenksverletzungen genutzt werden kann, müssen weitere Untersuchungen mit höherer Fallzahl belegen. Auch sollten klinische Studien zeigen, dass das von uns postulierte Verhältnis größer oder gleich 2,4 als Korrekturmarker das klinische Ergebnis der operativen Versorgung positiv beeinflusst.

Sollte sich dies in weiterführenden Untersuchungen bestätigen, so ist denkbar, entsprechende Navigationshilfen zu entwickeln, die mit intraoperativer 3D - Bildgebung das Verhältnis VA/HA vollautomatisch berechnen und dem Operateur Korrekturen vorschlagen. Durch die in dieser Studie gezeigten Darstellungen der Unterschiede und Zusammenhänge der einzelnen Variablen als Messparameter sowie durch den enormen Informationsgewinn durch die 3D-Bildgebung wird die Notwendigkeit einer intraoperativen Schichtbildgebung untermauert. Zukünftig muss die intraoperative 3D-Bildgebung zur Versorgung von komplexen Sprunggelenksverletzungen im chirurgischen Alltag regelhaft zur Anwendung kommen, damit unnötige Revisionseingriffe vermieden und eine verbesserte Patientenversorgung gesichert werden kann. Die Arbeit konnte jedoch auch zeigen, dass intraoperativ ermittelte Messwerte am dreidimensionalen Bild und vor allem ihre minimalen Abweichungen von der Norm, dem Operateur die Entscheidung zum Ziehen therapeutischer Konsequenzen erschweren können. Abgesehen davon bleibt die 3D-Bildgebung bei der Wiederherstellung der Gelenkkongruenz zur Versorgung komplexer Sprunggelenksverletzungen gegenüber der zweidimensionalen Röntgendurchleuchtung klar im Vorteil.

6 Zusammenfassung

Als Behandlungsverfahren zur chirurgischen Versorgung instabiler Sprunggelenksfraktur mit Verletzung der Syndesmose kommt die tibiofibuläre Verschraubung (Stellschraube) regelmäßig zur Anwendung. Trotz Zunahme des anatomischen Wissens ist es leider noch immer nicht möglich, unter zweidimensionaler intraoperativer Röntgenkontrolle eine sichere Stellung der Fibula und damit eine exakte anatomische Wiederherstellung der Malleolengabel zu gewährleisten. Dies ist zwingend notwendig, damit die biomechanischen physiologischen Abläufe im oberen Sprunggelenk gewährleistet werden, um frühzeitige Gelenkschäden zu vermeiden. Einerseits wurden in dieser Arbeit Einflussfaktoren wie Alter, Geschlecht, Körpergewicht, Verletzungsmuster und Ausbildungsstand des Operateurs auf das Repositionsergebnis untersucht. Ein relevanter Zusammenhang konnte nur für den Ausbildungsstand des Operateurs belegt werden. Ein minimal verringertes Risiko für eine Revision bestand beim Speziellen Unfallchirurg, ein leicht erhöhtes Risiko zeigte sich dagegen für eine fachärztliche Versorgung im Vergleich zum Weiterbildungsassistenten.

Die vorliegende Arbeit hat andererseits das Repositionsergebnis sowie CT-morphologische Messparameter nach Rekonstruktion des TFG bei 57 Patienten analysiert. Es zeigte sich mit 38,5% ein sehr hoher Anteil von revisionsbedürftigen Fällen. Dabei spielt die Fehlstellung der Fibula innerhalb der Incisura fibularis eine entscheidende Rolle. Die ventrale oder dorsale Fibulaverschiebung in der Incisura fibularis ist jedoch im konventionellen Röntgenbild nur schwer beurteilbar. Bereits mehrere Arbeitsgruppen haben mittels unterschiedlichen Messmethoden versucht, eine exakte anatomische Wiederherstellung der Gelenkkongruenz zu analysieren. Bisher existieren keine sicheren intraoperativen objektiven Orientierungshilfen oder Messparameter zur Überprüfung einer korrekten Fibulastellung. Eine intraoperativ zur Verfügung stehende 3D-Bildgebung ermöglicht, die Rekonstruktion des TFG im axialen Schnittbild oberhalb des Tibiaplafonds exakt zu prüfen.

Die Analyse der hier ermittelten Messparameter erbrachte eine hohe Sensitivität und Spezifität für das Verhältnis zwischen VA und HA von 2,4 hinsichtlich Revisionsbedürftigkeit. Somit stellt dieses Verfahren eine objektive Entscheidungshilfe für den Operateur dar. Voraussetzung hierfür ist eine intraoperative 3D-Bildgebung, die eine präzise Einstellung der notwendigen Schnittebene erlaubt.

7 Literaturverzeichnis

1. Weigel B, Nerlich M (2007) Praxisbuch Unfallchirurgie. Springer, Dordrecht: 266-767.
2. Voss H, Herrlinger R (1975) Taschenbuch der Anatomie Bd. 1-15 Auflage, Fischer Verlag, Jena: 239-242.
3. Rammelt S, Grass R, Zwipp H (2008) Sprunggelenkfrakturen. Unfallchirurg 111(6): 421-437.
4. Netter FH, Firbas W, Woodburne RT et al. (1992) Bewegungsapparat 1 Thieme, Stuttgart: 109-112.
5. Rammelt S, Manke E (2018) Syndesmosenverletzungen. Unfallchirurg 121(9): 693–703.
6. Bonnaire F, Lein T, Hellmund R et al. (2003) Für und Wider der Syndesmosenstellschraube. Trauma und Berufskrankheit 5(0): 277-284.
7. Kummer B (2005) Biomechanik: Form und Funktion des Bewegungsapparates, Dt. Ärzte-Verlag, Köln: 343-364.
8. Tittel K (1981) Beschreibende und funktionelle Anatomie des Menschen: 9 Auflage, Fischer Verlag, Jena: 306-315.
9. Zwipp H (1994) Chirurgie des Fußes. Springer, Wien: 36-38.
10. Neumann G, Hottenrott K (2016) Das größte Buch vom Laufen. Meyer & Meyer, Aachen: 86-87.
11. Duparc J (ed) (2008) Chirurgische Techniken in Orthopädie und Traumatologie, Bd. 3. Urban & Fischer, Berlin: 1013-1023.
12. Holz U (1989) Die chronische Außenbandinstabilität am oberen Sprunggelenk Außenbandplastik modifiziert nach Watson-Jones. Operative Orthopädie und Traumatologie 1(2): 69–74.
13. Rammelt S, Schneiders W, Grass R et al. (2011) Bandverletzungen am oberen Sprunggelenk, Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie 149(5): 45-67.
14. Frick H (1986) Diagnostik, Therapie und Ergebnisse der akuten Instabilität der Syndesmose des oberen Sprunggelenkes. Orthopäde 15: 423–426.
15. Wirth C-J, Mutschler W, Abdolvahab F (2009) Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie. Thieme, Stuttgart: 699-703.
16. Rammelt S, Grass R, Biewener A, Zwipp H (2003) Bandverletzungen am oberen Sprunggelenk. Trauma und Berufskrankheit 5. Springer: 170–178.
17. Weigel B, Nerlich ML (2011) Praxisbuch Unfallchirurgie Bd. 2, Berlin: 699-705.
18. Franke J, Swartman B, Grützner PA (2017) Intraoperative Bildgebung bei den Ver-

- sorgungen komplexer Gelenkfrakturen: 19–25. URL: https://www.online-oup.de/media/article/2017/01/31A8D5D6-7D71-4049-982E-E5C65BEDA228/31A8D5D67D714049982EE5C65BEDA228_franke_1_original.pdf, Abrufdatum: 03.06.2019
19. Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P (2009) Orthopädie und Unfallchirurgie. Duale Reihe. Thieme, Stuttgart: 598-605.
 20. Wentzensen A, Schmidt AH, Gebhard F et al. (2012) Spezielle Unfallchirurgie, 1 Auflage KG, Thieme Verlag, Stuttgart- New York: 858-872.
 21. Kellam JF, Meinberg EG, Agel J et al. (2018) Introduction: Fracture and Dislocation Classification Compendium-2018: International Comprehensive Classification of Fractures and Dislocations Committee. Journal of orthopaedic trauma 32 Suppl 1: pp1-S10. URL: https://www2.aofoundation.org/AOFileServerSurgery/MyPortalFiles?FilePath=/Surgery/en/_docs/AOOTA%20Classification%20Compendium%202018.pdf, Abrufdatum:14.05.2019
 22. Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie: überarbeitete Leitlinie S2-16-25, Letztes Bearbeitungsdatum:12.05.2015 URL: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-003l_S2e_Sprunggelenkfraktur_2016-02.pdf, Abrufdatum: 04.07.2019
 23. Ruchholtz S, Wirtz (2010) Orthopädie und Unfallchirurgie. Thieme, Stuttgart: 513-516.
 24. Pichl J, Schmidt-Horlohé K, Hoffmann R (2011) Osteosynthese von Frakturen des oberen Sprunggelenks. Trauma und Berufskrankheit 13(3): 146–153.
 25. Ovaska MT, Mäkinen TJ, Madanat R et al. (2014) A comprehensive analysis of patients with malreduced ankle fractures undergoing re-operation. Int Orthop 38(1): 83–88.
 26. Lupa M, Magne J, Guarisco JL et al. (2009) Update on the Diagnosis and Treatment of Caustic Ingestion. Ochsner J 9(2): 54–59.
 27. Gardner MJ, Demetrakopoulos D, Briggs SM et al. (2006) Malreduction of the tibiofibular syndesmosis in ankle fractures. Foot ankle int 27(10): 788–792.
 28. Franke J, Recum J von, Suda AJ et al. (2012) Intraoperative three-dimensional imaging in the treatment of acute unstable syndesmotic injuries, J Bone Joint Surg 94(15): 1386–1390.
 29. Franke J, Recum J von, Wendl K et al. (2013) Intraoperative dreidimensionale Bildgebung - nützlich oder notwendig? Unfallchirurg 116(2): 185–190.
 30. Rammelt S, Zwipp H (2007) Sprunggelenk und Fuß. Praxisbuch Unfallchirurgie. Springer, Dordrecht: 765–865.

31. Beumer A, Van Hemert WLW, Niesing R et al. (2004) Radiographic measurement of the distal tibiofibular syndesmosis has limited use. *Foot ankle int* 24 (4): 423-227.
32. Biswas D, Bible, Jesse E, Bohan M, Simpson et al. (2009) Radiation exposure from musculoskeletal Computerized tomographic scans. *J Bone Joint Surg, Am* 91 (8): 1882-1889.
33. Grass R, Herzmann K, Biewener A et al. (2000) Verletzungen der unteren tibiofibularen Syndesmose. *Unfallchirurg* 103(7): 520–532.
34. Stufkens SA, Knupp M, Horisberger M et al. (2010) Cartilage lesions and the development of osteoarthritis after internal fixation of ankle fractures: a prospective study. *J Bone Joint Surg, Am* 92(2): 279–286.
35. Riede U.N, Willenegger H, Schenk R (1969) Experimenteller Beitrag zur Erklärung der sekundären Arthrose bei Frakturen des oberen Sprunggelenks. *Helv. Chir. Acta* 36(3): 343–348.
36. Rammelt S, Zwipp H, Grass R (2008) Injuries to the distal tibiofibular syndesmosis: an evidence-based approach to acute and chronic lesions. *Foot Ankle Clin* 13(4): 611-633.
37. Ahrberg A, Hennings R, Dercks N von et al. (2017) Postoperative CT-Kontrolle nach Implantation einer Stellschraube oder eines Suture Buttons bei Malleolarfrakturen—ist das CT der Gegenseite verzichtbar? Berlin, URL: <https://www.egms.de/static/en/meetings/dkou2017/17dkou431.shtml> , Abrufdatum:12.05.2019
38. Richter M (2013) Computer aided surgery in foot and ankle: applications and perspectives, *Int Orthop* 37(9): 1737–1745.
39. Richter M, Zech S (2009) Intraoperative 3-dimensional imaging in foot and ankle trauma-experience with a second-generation device (ARCADIS-3D). *J orthop Trauma* 23(3): 213–220.
40. Richter M, Geerling J, Zech S et al. (2005) Intraoperative three-dimensional imaging with a motorized mobile C-arm (SIREMOBIL ISO-C-3D), foot and ankle trauma care: *J orthop Trauma* 19(4): 259–266.
41. Ebraheim NA, Lu J, Yang H et al. (1997) Radiographic and CT evaluation of tibiofibular syndesmotic diastasis: a cadaver study. *Foot Ankle Int* 18(11): 693–698.
42. Elgafy H, Semaan HB, Blessinger B et al. (2010) Computed tomography of normal distal tibiofibular syndesmosis. *Skeletal Radiol* 39(6): 559–564.
43. Brunk M (2017) Intraoperative Kontrolle von Sprunggelenksverletzungen mit Syndesmosenbeteiligung mittels 3D-Bildwandler, [Dissertation], Rostock: 44-46.
44. Harper MC, Keller TS (1989) A radiographic evaluation of the tibiofibular syndesmosis. *Foot Ankle* 10(3): 156–160.

45. Sora M-C, Strobl B, Staykov D et al. (2004) Evaluation of the ankle syndesmosis: a plastination slices study. *Clin Anat* 17(6): 513–517.
46. Jenkinson RJ, Sanders DW, Macleod MD et al. (2005) Intraoperative diagnosis of syndesmosis injuries in external rotation ankle fractures. *J orthop Trauma* 19(9): 604–609.
47. Oae K, Takao M, Naito K et al. (2003) Injury of the tibiofibular syndesmosis: value of MR imaging for diagnosis. *Radiology* 227(1): 155–161. URL: https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.2271011865?url_ver=Z39.88-crossref.org&rfr_dat=cr_pub%3dpubmed, Abrufdatum:18.04.2019.
48. Futamura K, Baba T, Mogami A et al. (2017) Malreduction of syndesmosis injury associated with malleolar ankle fracture can be avoided using Weber's three indexes in the mortise view. *Injury* 48(4): 954–959.
49. Beumer A, van Hemert WLW, Swierstra BA et al. (2003) A biomechanical evaluation of clinical stress tests for syndesmotic ankle instability. *Foot Ankle Int* 24(4): 358–363.
50. Harper MC (1993) An anatomic and radiographic investigation of the tibiofibular clear space. *Foot Ankle* 14(8): 455-458.
51. Vetter S, Privalov M, et al. (2015) Einfluss der Gelenkstellung auf die Rotation und Position der Fibula in der Sprunggelenksgabel am Leichenmodell, Berlin. URL: <https://www.egms.de/static/de/meetings/dkou2015/15dkou469.shtml>, Abrufdatum: 26.05.2019
52. Rammelt S, Zwipp H, Grass R (2008) Sprunggelenkfrakturen: operative Technik. *Unfallchirurg* 111(6): 439-447.
53. Vasarhelyi A, Lubitz J, Zeh A et al. (2009) Dynamische Ganganalyse bei blockiertem distalem Tibiofibulargelenk nach Syndesmosenkomplexverletzungen. *Z Orthop Unfall* 147 (4): 439-444.
54. Marmor M, Hansen E, Han HK et al. (2011) Limitations of standard fluoroscopy in detecting rotational malreduction of the syndesmosis in an ankle fracture model. *Foot Ankle Int* 32(6): 616-622.

8 Thesen

1. Zur chirurgischen Versorgung instabiler Sprunggelenksfrakturen mit Verletzung der Syndesmose stellt die tibiofibulare Verschraubung (Stellschraube) ein gängiges Verfahren dar.
2. Mit der zweidimensionalen intraoperativen Röntgen-Kontrolle ist eine sichere Stellung der Fibula und damit eine exakte anatomische Wiederherstellung der Malleolengabel nur eingeschränkt möglich.
3. Die postoperative CT-Analyse zeigt mit 38,5% einen sehr hohen Anteil revisionsbedürftiger Fälle.
4. Alter, Geschlecht, Gewicht und Verletzungsmuster haben keinen Einfluss auf das Repositionsergebnis.
5. Hinsichtlich Ausbildungsstands schneidet das operative Ergebnis geringfügig besser für den Speziellen Unfallchirurgen und etwas schlechter für den Facharzt im Vergleich zum Weiterbildungsassistenten ab.
6. Die CT-morphologischen Parameter Fibulalänge und AP-Translation korrelieren mit der Revisionsbedürftigkeit.
7. Die Stellung der Fibula innerhalb der Incisura fibularis mit Beurteilung von vorderem und hinterem Abstand des tibiofibularen Gelenks sowie AP-Translation lassen sich nur in der axialen Einstellung einer 3D-Bildgebung beurteilen.
8. Die Analyse der CT-morphologischen Messparameter zeigt eine hohe Sensitivität und Spezifität für das Verhältnis zwischen vorderen und hinteren Abstand des tibiofibularen Gelenks von 2,4 hinsichtlich Revisionsbedürftigkeit.
9. Die Bildung dieses Verhältnisses stellt eine einfache und objektive Methode zur intraoperativen Beurteilung der exakten Fibulaeinstellung dar.
10. Eine intraoperative 3D-Bildgebung ist zur Wiederherstellung der Gelenkkongruenz des distalen Tibiofibulargelenks zwingend notwendig.

Selbständigkeitserklärung

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel: „ Relevanz der intraoperativen 3D-Bildgebung zur Rekonstruktion des distalen Tibiofibulargelenks (TFG) bei oberen Sprunggelenksverletzungen – Retrospektive Analyse von 57 postoperativ durchgeführten CT- Untersuchungen“ selbstständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Die Arbeit ist bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer Prüfungskommission vorgelegt worden.

Dessau,

Erklärung über frühere Promotionsversuche

Hiermit erkläre ich, dass ich keinen vorausgegangenen Promotionsversuch unternommen habe, und dass kein Promotionsversuch an einer anderen wissenschaftlichen Einrichtung läuft.

Dessau,

Danksagung

Für die intensive wissenschaftliche Betreuung und aufwendigen Korrekturarbeiten möchte ich mich hiermit bei Herrn PD Dr. med. habil. Florian Radetzki ganz herzlich bedanken, der mir die Möglichkeit gab, die vorliegende Arbeit unter seiner Leitung durchzuführen.

Mein besonderer Dank gilt meinem Chef Herrn Dr. med. Joachim Zagrodnick für die Anregung, zu diesem interessanten Thema zu promovieren, sowie für die Unterstützung bei der Realisierung der vorliegenden Arbeit in der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie des Städtischen Klinikums Dessau.

Für seine große Hilfsbereitschaft und interessanten fachlichen Austausch und umfangreiche Unterstützung bei der Planung, Ausführung und Interpretation der statistischen Verfahren und Ergebnisse danke ich herzlich Prof. Dr. med. Andreas Wienke, Institut für Medizinische Epidemiologie, Biometrie und Informatik, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

Des Weiteren danke ich für die freundliche Unterstützung bei den technischen Fragen Herrn Voigt, Abteilung für Biomedizintechnik des städtischen Klinikums Dessau.

Großer Dank gilt meiner Nichte Mari Amirejibi, die mit ihrer malerischen Kreativität und mühsamen Erstellung der 3D Bilder, meiner Arbeit starken bildlichen Ausdruck verleiht.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie und besonders bei meinen Kindern und meiner Frau Franziska für ihre vielseitige und liebevolle Unterstützung von Herzen bedanken.