

**Die Relevanz der Volkmann-Dreieck  
Frakturen bei Tibiaschaftfrakturen und der  
Stellenwert einer ergänzenden  
Computertomographie**

**Dissertation**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Dr. med.

eingereicht an der  
Medizinischen Fakultät der Universität Augsburg

von

**Sönke Hanno Helling**

Augsburg, 31.01.2024



## **Eidesstattliche Versicherung und Erklärung**

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass die vorliegende Dissertation von mir selbständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt wurde. Zudem wurden keine anderen als die angegebenen Quellen verwendet. Außerdem versichere ich, dass die Dissertation keiner anderen Prüfungskommission vorgelegt wurde und ich mich nicht anderweitig einer Doktorprüfung ohne Erfolg unterzogen habe.

## **Statutory declaration and statement**

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources. As well I declare that I have not submitted a dissertation without success and not passed the oral exam. The present dissertation (neither the entire dissertation nor parts) has not been presented to another examination board.

Augsburg, 31.01.2024

Dissertation eingereicht am: 31.01.2024

Erstgutachter: Prof. Dr. med. Dr. h.c. Edgar Mayr

Zweitgutachter: Prof. Dr. med. Alexander Hyhlik-Dürr

Tag der mündlichen Prüfung: 26.09.2024

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
1.1	Hintergrund.....	4
1.2	Anatomie .....	5
1.3	Ätiologie der Tibiafrakturen .....	6
1.4	Diagnostik und Versorgung.....	7
1.5	Das Volkmann-Dreieck .....	8
1.6	Frakturbehandlung.....	9
1.7	Zielsetzung .....	10
2	Material und Methoden .....	11
2.1	Material.....	11
2.2	Einschlusskriterien.....	11
2.3	Studiendesign und Durchführung.....	13
2.4	Verwendete Materialien .....	18
2.5	Statistik.....	19
2.6	Ethikvotum.....	20
3	Ergebnisse.....	21
3.1	Allgemeine Ergebnisse .....	21
3.2	Ergebnisse des ersten Studienteils.....	22
3.3	Ergebnisse des zweiten Studienteils.....	27
4	Diskussion .....	33
4.1	Limitationen und Stärken der durchgeführten Studie .....	39
5	Zusammenfassung .....	40
5	Summary .....	41
6	Literaturverzeichnis.....	42
7	Appendix.....	45
7.1	Abkürzungsverzeichnis .....	45
7.2	Abbildungsverzeichnis .....	46
7.3	Tabellenverzeichnis .....	47
7.4	Danksagung .....	48

# 1 Einleitung

## 1.1 Hintergrund

Tibiafrakturen sind einer der häufigsten Knochenbrüche bei Menschen unter 65 Jahren mit einer Inzidenz von 18/100.000 im Jahr 2012<sup>1</sup>.

Am Unterschenkel trägt die Tibia, als der größere Knochen im Vergleich zur Fibula, die Hauptlast des Körpergewichtes im Stand und beim Laufen, sodass eine zeitnahe Wiederherstellung der Belastbarkeit dieses Knochens nach einem Bruch zur Wiedererlangung der Selbstständigkeit unerlässlich ist<sup>2</sup>.

Eine Einschränkung der Unterschenkelbelastung und damit einhergehend die verminderte Beanspruchung der Muskulatur führt zu einer herabgesetzten Muskelpumpfunktion, sodass das Blut in den Venen nicht mehr effektiv in Richtung Herz transportiert werden kann. Somit steigt das Risiko für eine tiefe Beinvenenthrombose<sup>3</sup>. Dahingehend sind die zeitnahe Versorgung der Frakturen und eine Mobilisationsfreigabe mit Vollbelastung sobald wie möglich anzustreben.

Das flüssige Gangbild eines Menschen ist abhängig von der guten Funktion der Hüft-, Knie- und Sprunggelenke beider unterer Extremitäten. Treten Verletzungen an den Gelenken auf, so kann dies sowohl zu erheblichen Einschränkungen in der Mobilität, als auch zu einem Ungleichgewicht der Muskulatur und zu chronischen Schmerzen führen. Betrachtet man beispielsweise Tibiaschaftspiralfrakturen, so wird in der Literatur eine Beteiligung des hinteren Volkmann-Dreiecks im Bereich des oberen Sprunggelenkes in 25-50% beschrieben, welche nicht immer präoperativ erkannt werden<sup>4</sup>. Andere Quellen nennen sogar noch höhere Begleitverletzungen bei distalen Tibiaschaftspiralfrakturen<sup>5</sup>.

---

<sup>1</sup> Stürmer u. a., „Österreichischen Gesellschaft für Unfallchirurgie (ÖGU)“, 6.

<sup>2</sup> „Frakturen des Unterschenkels - Wissen @ AMBOSS“.

<sup>3</sup> Ärzteblatt, „Prophylaxe der tiefen Venenthrombose“.

<sup>4</sup> Kukkonen u. a., „Posterior Malleolar Fracture Is Often Associated with Spiral Tibial Diaphyseal Fracture“; Mitchell u. a., „Morphology of the Posterior Malleolar Fracture Associated With a Spiral Distal Tibia Fracture“.

<sup>5</sup> Warner u. a., „Ankle Injuries in Distal Tibial Spiral Shaft Fractures“.

Es besteht also eine große Spanne an möglichen Begleitverletzungen des hinteren Volkmann-Dreiecks am Sprunggelenk bezüglich Tibiaschaftspiralfrakturen. In den genannten Literaturen wurden jedoch meist nur konventionelle Röntgenbilder erstellt zur Darstellung des Sprunggelenks bei vorliegenden Tibiaschaftspiralfrakturen. Ergänzende Computertomographien wurden meist erst im weiteren Behandlungsverlauf erstellt.

## 1.2 Anatomie

Der Unterschenkel besteht aus zwei Röhrenknochen, der Tibia und der Fibula, welche zu beiden Enden jeweils an ein Gelenk angrenzen und dieses bilden. Die Tibia ist der größere der beiden Knochen und besitzt proximal den Gelenk bildenden Anteil des Kniegelenkes. Die Tibia besitzt zwei Plateaus oder auch Gelenkknorren, die als Gegenstück zu den Gelenkrollen des Femurs fungieren. Eine knöcherne Erhebung in der Mitte ist Ansatzpunkt für das vordere und hintere Kreuzband. Zum Schaft hin verschmälert sich die Tibia und wird nach distal zum Sprunggelenk erneut breiter und bildet hier das obere Sprunggelenk mit dem Innenknöchel, der Tibia Gelenkfläche und der Talusrolle.

Die Fibula ist zur Tibia deutlich schlanker. Der proximale Anteil wird Caput genannt und bildet eine Gelenkfläche zur Tibia, jedoch nicht zum Kniegelenk. Distal bildet die Fibula den lateralen Malleolus und liegt dem Talus seitlich an.

Die beiden Unterschenkelknochen sind über eine straffe Bindegewebsbrücke miteinander verbunden, der Membrana interossea cruris. Distal im Bereich des Sprunggelenkes besteht eine weitere Bindegewebsbrücke zwischen der Tibia und der Fibula, die sogenannte Syndesmose<sup>6</sup>. Sie verbindet die beiden Knochen sowohl ventral, als auch dorsal miteinander und trägt wesentlich zur Stabilität des Sprunggelenkes bei.

Umgeben werden die Knochen von den Beugemuskeln des Fußes dorsal als auch von den Streckmuskeln des Fußes ventrolateral. Die A. poplitea teilt sich unterhalb des Kniegelenkes als arterieller Gefäßstrom in drei kleinere Gefäße auf, die A. tibialis anterior et posterior und die A. fibularis, welche den Unterschenkel und den Fuß versorgen. Über die V. tibialis anterior et posterior, die V. saphena parva und die V. saphena magna sowie

---

<sup>6</sup> Schünke u. a., *Prometheus LernAtlas der Anatomie*, 418.

kleinere Venengeflechte wird das Blut wieder zum Herzen transportiert<sup>7</sup>.

Die Innervation des Unterschenkels erfolgt motorisch über den N. ischiadicus und teilt sich oberhalb des Kniegelenkes dorsal in den N. tibialis als auch einen Ast nach vorne abgebend, den N. fibularis communis, welcher sich weiter distal in den N. fibularis profundus et superficialis aufteilt<sup>8</sup>.

### 1.3 Ätiologie der Tibiafrakturen

Die Tibiafrakturen werden in Abhängigkeit der Höhe eingeteilt und geben oft Aufschlüsse auf die Ursache der Krafteinwirkung. Die Tibia wird in drei Segmente unterteilt: Den Tibiakopf, den Tibiaschaft und das distale Tibiadrittel mit dem Gelenk bildenden Pilon Tibiale<sup>9</sup>.

Handelt es sich bei Tibiakopf- und Pilon Tibiale Frakturen meist um Hochrasanztraumata (Verkehrsunfälle oder Sprung aus großer Höhe), so werden die Schafffrakturen meist durch einen direkten Anprall, Biege- und/oder Rotationsbewegungen bei fixiertem Fuß hervorgerufen<sup>10</sup>.

Bei den Hochrasanztraumata sind es vorwiegend direkte Anpralltraumata, welche wegen der geringen Weichteildicke über der anteromedial unmittelbar unter der Haut liegenden Tibia, gehäuft zu vermehrten Weichteilverletzungen und in 39% der Fälle offenen Knochenbrüchen führen<sup>11</sup>.

Bei den Niedrigrasanztraumata, ausgelöst durch Biege- und Rotationskräften, handelt es sich in der Mehrheit um geschlossene Frakturen<sup>12</sup>.

Diese Verletzungen ereignen sich meistens durch die Drehung des Körpers bei auf dem Boden fixiertem Fuß, beispielsweise im Rahmen von Sportaktivitäten (Skifahren, Fußball etc.).

---

<sup>7</sup> Schünke u. a., 518–20.

<sup>8</sup> Schünke u. a., 556–60.

<sup>9</sup> Fuchs u. a., „Trauma des Unterschenkels und des oberen Sprunggelenks“.

<sup>10</sup> Stürmer u. a., „Österreichischen Gesellschaft für Unfallchirurgie (ÖGU)“; „Frakturen des Unterschenkels - Wissen @ AMBOSS“.

<sup>11</sup> Rittstieg u. a., „[Current treatment strategies for lower leg fractures in adults]“.

<sup>12</sup> Stürmer u. a., „Österreichischen Gesellschaft für Unfallchirurgie (ÖGU)“.

## 1.4 Diagnostik und Versorgung

Bei Tibiafrakturen mit einem direkten Anpralltrauma kommt es vorwiegend zu Querfrakturen. Diese lassen sich in der Notaufnahme über eine Röntgendiagnostik in 2 Ebenen primär sehr gut diagnostizieren. Handelt es sich jedoch um Mehrfragmentfrakturen, so sollte zusätzlich eine Computertomographie durchgeführt werden um die operative Versorgung korrekt planen zu können.

Auf Grund der erhöhten Gefahr von Weichteilverletzungen muss - insbesondere innerhalb der ersten 24 Stunden - auf ein möglicherweise drohendes Kompartmentsyndrom geachtet werden<sup>13</sup>.

Die Versorgung der Frakturen ist von der Weichteilsituation abhängig und kann im weiteren Verlauf bei erhöhtem Gewebeschaden mit einer plastisch-rekonstruktiven Versorgung einhergehen. So ist der Zeitpunkt zur operativen Versorgung entweder notfallmäßig bei z.B. offenen Frakturen, innerhalb von 6 Stunden bei guter Gewebesituation oder zeitversetzt nach Abschwellung der Weichteile. Ebenfalls sollte der Patient bei einer offenen Fraktur eine leitliniengerechte prophylaktische Antibiotikatherapie über einen intravenösen Zugang erhalten<sup>14</sup>.

Die Niedrigrasanztraumata gehen vermehrt mit geschlossenen Frakturen einher<sup>15</sup>.

Besteht bei einem\*r Verletzten der Verdacht auf eine Unterschenkelfraktur, werden in der Notaufnahme standardmäßig konventionelle Röntgenaufnahmen des Unterschenkels in 2 Ebenen inklusive der angrenzenden Gelenke durchgeführt. Bei Frakturen im Bereich des Tibiaschaftes und speziell des distalen Tibia Drittels können Frakturlinien in das obere Sprunggelenk einstrahlen. Sollte der Verdacht auf eine mögliche Beteiligung des Sprunggelenkes bestehen, so ist daher eine CT Diagnostik unerlässlich<sup>16</sup>.

---

<sup>13</sup> Stürmer u. a. „Österreichischen Gesellschaft für Unfallchirurgie (ÖGU)“

<sup>14</sup> Stürmer u. a. „Österreichischen Gesellschaft für Unfallchirurgie (ÖGU)“

<sup>15</sup> Stürmer u. a. „Österreichischen Gesellschaft für Unfallchirurgie (ÖGU)“

<sup>16</sup> *SOPs in der Orthopädie und Unfallchirurgie.*

## 1.5 Das Volkmann-Dreieck

Im Rahmen von Tibiafrakturen im mittleren und distalen Drittel kommt es, in Abhängigkeit der Frakturätiologie, auch zu Knochenbrüchen im distalen, dorsalen Tibia Bereich, welcher das obere Sprunggelenk bildet. Dieser knöcherne Anteil wird als dritter Knöchel, Malleolus dorsalis oder auch als hinteres Volkmann-Dreieck bezeichnet und beschreibt bei einer Fraktur einen knöchernen, keilförmigen Abbruch der dorsalen Sprunggelenksfläche und entspricht einem knöchernen Bandausriss der hinteren Syndesmose zwischen Tibia und Fibula<sup>17</sup>. Durch das Brechen dieser Hinterkante entsteht eine erweiterte Beweglichkeit des Gelenkes, welche zu einer dorsalen (Sub-) Luxation des oberen Sprunggelenks führen kann. Eine Verletzung des Volkmann-Dreiecks hat daher, je nach Größe des frakturierten knöchernen Anteils, einen erheblichen Einfluss auf die Heilungsprognose. Langfristig kann ein Knorpelschaden, eine Arthrose, chronische Schmerzen und eine Instabilität im Sprunggelenk entstehen<sup>18</sup>. In der aktuellen Literatur findet sich bisher keine eindeutige wissenschaftliche Publikation, aus der hervorgeht, durch welchen Mechanismus es genau bei Tibiaschaftfrakturen zu einer Volkmann-Dreieck Fraktur kommt. Anzunehmen ist allerdings, dass eine relative Außenrotation des Unterschenkels zum Sprunggelenk dazu führt, dass der Talus die Fibula nach ventral drückt und somit ein Zug auf die hintere Syndesmose bewirkt, die dann die hintere Tibiakante knöchern ausreißen lässt. Ebenso ist bisher die Frakturmorphologie der Tibiaschaftspiralfaktur in Bezug auf eine Volkmann-Dreieck Fraktur als Begleitverletzung noch nicht ausführlich untersucht worden.

---

<sup>17</sup> Tenenbaum u. a., „Posterior Malleolus Fractures“.

<sup>18</sup> Beck und Mittlmeier, „Spezielle Probleme und Spätfolgen nach OSG-Fraktur“.

## 1.6 Frakturbehandlung

Tibiafrakturen werden im Bereich des Schaftes, entweder mittels Marknagelung oder Plattenosteosynthese oder vorübergehend erst mittels Fixateur externe versorgt. Eine zweizeitige Ausversorgung der Frakturen ist dann mittels einer der beiden erstgenannten Verfahren zu empfehlen. So kann eine vollständige knöcherner Ausheilung bei primär ausversorgten Frakturen nach durchschnittlich 12 und bei zweizeitig ausversorgten Frakturen nach durchschnittlich 16 Wochen erreicht werden<sup>19</sup>.

Bei Frakturen des Volkmann-Dreiecks ist grundsätzlich eine konservative gegen eine operative Versorgung abzuwägen. Für eine detaillierte Darstellung der Fraktur ist eine erweiterte Bildgebung im Sinne einer Computertomographie unerlässlich<sup>20</sup>. In den sagittalen Schichtbildern kann die Größe der Fraktur und speziell der Gelenkflächenbeteiligung ermittelt werden. Das ist wichtig, da bereits mehrere Studien zu der Erkenntnis gekommen sind, dass allein eine Röntgenbildgebung in zwei Ebenen, zumindest bei Sprunggelenksfrakturen, für die Planung der operativen Behandlung nicht ausreichend ist<sup>21,22</sup>.

Die operative Versorgung wird in der Regel bei einer Gelenkflächenbeteiligung ab 25-33%, einer dynamischen dorsalen Instabilität oder einer Gelenkstufe von mehr als 2 mm mittels interner Fixierung über eine Zugschraubenosteosynthese durchgeführt<sup>23</sup>.

Wird die Volkmann-Dreieck Fraktur übersehen oder erst verspätet erkannt, so kann dies zu einem verzögerten Heilungsprozess, einer Arthrose und einer Sprunggelenksinstabilität mit dorsaler Subluxation durch die axiale Stauchung bei Belastung und damit einhergehenden Schmerzen führen. Bei gleichzeitiger Tibiaschaftspiralfaktur sollte die Stabilisierung der Volkmann-Dreieck Fraktur vor der Fixierung der Tibiaschaftspiralfaktur erfolgen um eine intraoperative Dislokation zu vermeiden<sup>24</sup>.

---

<sup>19</sup> Hochstein u. a., „Die operative Behandlung diaphysärer Tibiafrakturen“.

<sup>20</sup> Büchler u. a., „Reliability of Radiologic Assessment of the Fracture Anatomy at the Posterior Tibial Plafond in Malleolar Fractures“.

<sup>21</sup> Ferries u. a., „Plain Radiographic Interpretation in Trimalleolar Ankle Fractures Poorly Assesses Posterior Fragment Size“.

<sup>22</sup> Büchler u. a., „Reliability of Radiologic Assessment of the Fracture Anatomy at the Posterior Tibial Plafond in Malleolar Fractures“.

<sup>23</sup> Communications, „Spezielle Unfallchirurgie“.

<sup>24</sup> Böstman, „Displaced Malleolar Fractures Associated with Spiral Fractures of the Tibial Shaft“.

## 1.7 Zielsetzung

Unsere Studie gliedert sich in zwei Teilabschnitte. Der erste Teil zielt auf die Analyse, durch welchen Mechanismus und besonders bei welcher Frakturmorphologie der Tibiaschaftfrakturen eine Begleitverletzung des Volkmann-Dreiecks entsteht ab und ob signifikante Unterschiede bezüglich der Frakturmorphologie von Tibiaschaftspiralfrakturen bestehen, welche zu einer Volkmann-Dreieck Fraktur als Begleitverletzung führen.

Im zweiten Teil der Studie möchten wir herausstellen, ob begleitende Frakturen im Bereich des Volkmann-Dreiecks bei röntgenologisch nachgewiesenen Tibiaschaftspiralfrakturen im mittleren und distalen Drittel durch Niedrigrasanztraumata mit ausreichender Sensitivität über eine konventionelle Röntgendiagnostik erfasst werden können oder ob eine Computertomographie zum sicheren Nachweis einer Begleitverletzung des Volkmann-Dreiecks unerlässlich ist.

Die zu überprüfenden Annahmen sind, dass es bei einer bestimmten Frakturmorphologie von Tibiaschaftspiralfrakturen gehäuft zu einer hinteren Volkmann-Dreieck Fraktur kommt und dass selbst erfahrene Assistenzärzt\*innen, Fachärzt\*innen und Oberärzt\*innen der Radiologie und Unfallchirurgie eines überregionalen Level I Traumazentrums nicht in der Lage sind eine begleitende Fraktur des hinteren Volkmann-Dreiecks bei Tibiaschaftspiralfrakturen im mittleren und distalen Drittel der Tibia im konventionellen Röntgen in allen Fällen sicher zu erkennen.

Daher gelten als Fragen zu formulieren, ob es bei vorliegenden Tibiaschaftspiralfrakturen durch Niedrigrasanztraumata Frakturmorphologien gibt, die eine Begleitverletzung des hinteren Volkmann-Dreiecks begünstigen und ob eine konventionelle Röntgendiagnostik ausreicht um bei Tibiaschaftspiralfrakturen eine Begleitverletzung des Volkmann-Dreiecks sicher zu erkennen?

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Material

Unsere Studie gliedert sich in zwei Teile. In dem ersten Teil der Studie handelt es sich um einen retrospektiven Studientyp. Hier werden aus dem Zeitraum zwischen 01. Januar 2018 und dem 01. Mai 2021 Röntgen- und CT-Bildgebungen ausgewertet, die bei Tibiaschaftfrakturen in einer Notaufnahme eines überregionalen Level I Traumazentrums angefertigt wurden.

Der zweite Studienteil wird als ein prospektiver Studientyp durchgeführt, wo Untersucher\*innen aus zwei unterschiedlichen, überregionalen Traumazentren, unterschiedlicher Erfahrungsstufe jeweils konventionelle Röntgen-Bildgebungen von 50 Patient\*innen hinsichtlich einer Begleitverletzung des Volkmann-Dreiecks untersuchen sollten. Von den 50 Patienten, lag bei 25 davon eine hintere Volkmann-Dreieck Fraktur als Begleitverletzung vor.

### 2.2 Einschlusskriterien

Für die retrospektive Studie im ersten Teil wurden die Patient\*innen aus einem Zeitraum zwischen dem 01. Januar 2018 und dem 01. Mai 2021 ausgewählt, wenn sie auf Grund einer Tibiaschaftfraktur primär durch die Notaufnahme des Universitätsklinikums Augsburg behandelt wurden.

Alle pathologischen Tibiaschaftfrakturen, also Frakturen, die in direktem Zusammenhang mit einem Tumorleiden oder genetischen Erkrankungen stehen, wurden ausgeschlossen.

Es durften lediglich Patient\*innen mit einer Monoverletzung im Bereich des Tibiaschaftes in die Studie aufgenommen werden um auszuschließen, dass die hintere Begleitfraktur möglicherweise aus anderen Frakturen resultierte. Offensichtliche Brüche in den angrenzenden Gelenken zur Tibia, also dem Knie- oder Sprunggelenk im Bereich des medialen oder lateralen Malleolus mussten ebenfalls ausgeschlossen werden.

Da für eine Begleitverletzung des hinteren Volkmann-Dreiecks die Frakturätiologie, also die Ursache des Tibia Bruches relevant ist, sind lediglich Niedrigrasanztraumata in die Studie aufgenommen worden, da diese durch Rotations- und Biegekräften zu Spiralfrakturen führen.

Eine präoperative Röntgenbildgebung, als auch eine computertomographische Darstellung des Sprunggelenkes mussten für jede Patient\*in vorliegen um eine sichere Aussage treffen zu können, ob eine Volkmann-Dreieck Fraktur vorgelegen hat oder nicht. Patient\*innen mit lediglich einer der beiden Bildgebungen wurden nicht in der Studie zugelassen.

Alle Frakturen waren mittels der allgemeingültigen AO-Klassifikation als Tibiaschaftfrakturen Typ AO:42A/B/C und AO:43A eingeteilt und diagnostiziert worden. Tibiafrakturen anderer AO-Klassifikationen sind in unserer Studie nicht integriert worden.

Auch für den zweiten Teil der Studie galten die bereits oben genannten Kriterien.

Um die Frage zu klären, ob mittels einer konventionellen Röntgen Bildgebung in 2 Ebenen eine sichere Aussage über eine Begleitverletzung des Volkmann-Dreiecks bei vorliegenden Tibiaschaftspiralfrakturen getroffen werden kann, vereinbarten wir zusätzlich noch weitere Einschlusskriterien.

Alle Untersucher\*innen, die im zweiten Teil der Studie teilnahmen, waren approbierte Ärzt\*innen aus dem Fachbereich der Radiologie oder der Unfallchirurgie eines überregionalen Level I Traumazentrums, damit sichergestellt werden konnte, dass die Befundung und Beurteilung von Röntgenbildern bei Frakturen und speziell Tibiaschaftfrakturen routinemäßig erfolgte.

Assistenzärzt\*innen, die weniger als 3 Jahre Weiterbildungszeit aufwiesen, wurden aus der Studie ausgeschlossen, sodass Fehldiagnosen auf Grund mangelnder Erfahrung und Unsicherheit minimiert werden konnten.

Die durch die oben genannten Kriterien ausgewählten Patienten wurden anschließend – wie im Ethikantrag (Ethikkommission der Ludwig-Maximilians-Universität München Projekt Nr. 21-0301) angegeben – ohne Aufklärung

anonymisiert in die Studie integriert. Die Patientendaten (Name, Geburtsdatum) wurden unwiderruflich anonymisiert und durch einen numerischen Code ersetzt.

### 2.3 Studiendesign und Durchführung

Um eine Neutralität und Unbefangenheit der Untersuchenden zu gewährleisten, wurden alle Daten vor – auch interne - der Veröffentlichung von Ergebnissen erhoben.

Der erste Teil unserer Studie stellte eine retrospektive Analyse von insgesamt 103 Patient\*innen sowie deren Röntgen- und CT-Bildgebungen dar, bei denen nach oben genannten Einschlusskriterien eine Tibiaschaftspiralfaktur nach der AO-Klassifikation Typ AO:42A/B/C und AO:43A diagnostiziert wurde. Hierbei wurden zu den jeweiligen Patient\*innen alle Bildgebungen, die sowohl primär in der Notaufnahme, als auch sekundär nach operativer Versorgung durchgeführt wurden, berücksichtigt.

Jegliche Sprunggelenks- und Kniegelenksfrakturen als auch pathologische und Mehrfachfrakturen wurden explizit ausgeschlossen um keine fehlerhaften Erhebungen in Bezug auf eine Begleitverletzung des Volkmann-Dreiecks zu machen.

Eine Aufteilung bezogen auf das Geschlecht ergab eine Verteilung von 42 Frauen und 61 Männer, die in unsere Studie mit integriert wurden mit einem Alter zwischen 18 und 88 Jahren (durchschnittliches Alter 47,  $9\pm 20$ ).

Anhand der vorliegenden Bildgebungen konnten wir zunächst deren Frakturhöhe, sowie deren Frakturmorphologie beurteilen. Zudem wurden die Bilder hinsichtlich der Häufigkeit von Begleitverletzungen des Volkmann-Dreiecks ausgewertet.

Bei allen vorliegenden Begleitfrakturen des hinteren Volkmann-Dreiecks konnten wir Gemeinsamkeiten in der Verlaufsrichtung der Frakturlinien der Tibiaschaftfrakturen in der a.p.-Röntgenaufnahme erkennen. Es handelte sich zumeist um zwei wesentliche Frakturverläufe, welche wir in Typ-A und Typ-B einteilten. Bei einer Typ-A Tibiaschaftfraktur begann die Bruchlinie proximal lateral an der Tibia und endete distal medial. Die Typ-B Tibiaschaftfraktur hingegen begann proximal medial und endete distal lateral. (Abbildung 1 zeigt sowohl den Typ-A rechts, als auch den Typ-B links).

Unsere Auswertungen sollten hier zeigen, ob und wenn ja bei welchem Typ von Frakturverlauf eine Begleitverletzung des Volkmann-Dreiecks signifikant häufiger auftrat.



Abbildung 1: Rechtes Bild mit einer Typ-A Fraktur, bei der die Frakturlinie lateral proximal beginnt und nach medial distal verläuft. Linkes Bild mit einer Typ-B Fraktur, bei der umgekehrt die Frakturlinie medial proximal beginnt und nach lateral distal verläuft. Grafik durch Dr. L. Lisitano freigegeben  
 Quelle: Lisitano et.al. , „Accompanying Injuries in Tibial Shaft Fractures“, 25. Januar 2022

Für den zweiten Teil der Studie baten wir sowohl Oberärzt\*ärztinnen, Fachärzt\*ärztinnen, als auch Assistenzärzt\*innen ab dem vierten Weiterbildungsjahr eines überregionalen Level I Traumazentrums insgesamt 50 konventionelle Röntgenaufnahmen, die primär in der Notaufnahme bei Tibiaschaftfrakturen angefertigt wurden, prospektiv auszuwerten.

Es wurden zwei Gruppen von Untersucher\*innen gebildet, die jeweils aus zwei überregionalen Traumazentren einer Universitätsklinik stammen. Somit konnte davon ausgegangen werden, dass annähernd gleiche Voraussetzungen geschaffen wurden, was die Häufigkeit der Befundung dieser Frakturen angeht. Eine Gruppe bestand aus ärztlichen Untersucher\*innen des Universitätsklinikums Großhadern (LMU-Klinikum), die zweite Gruppe kam aus dem Universitätsklinikum Augsburg (UKA).

Um einen Selektionsbias zu vermeiden, wurden von den insgesamt 103 Patienten, auf die die Einschlusskriterien zutrafen, die letzten 50 Patient\*innen, die in einer Notaufnahme eines Level I Traumazentrums behandelt wurden (hiervon 25

Patient\*innen mit und 25 Patient\*innen ohne zusätzliche Fraktur des hinteren Volkmann-Dreiecks), als Studienbeispiel eingeschlossen. (Datum der Datensammlung: 01. April 2021). Das mittlere Alter betrug  $47.1 \pm 20.0$  Jahren (min. 18, max. 92).

Alle Untersucher\*innen bearbeiteten die Studienfragen in ihrem täglichen Arbeitsumfeld.

Beide Gruppen sollten die vorausgewählten 50 Röntgenbilder in 2 Schritten befunden. Die Untersucher\*innen des LMU-Klinikums (Gruppe 1) wurden gebeten, diese Röntgenbilder unvoreingenommen zu befunden, eine Diagnose zu stellen und ggfs. eine weitere Bildgebung zu empfehlen. Zusätzlich dazu sollten sich die Kolleg\*innen der unfallchirurgischen Abteilung des LMU-Klinikums festlegen, ob eine operative Behandlung der erkannten Frakturen empfohlen wird oder nicht. Die Untersucher\*innen des LMU-Klinikums wurden im Vorfeld nicht über das Studienziel informiert.

Im Unterschied dazu erhielten die Untersucher\*innen des UKA (Gruppe 2) die Information, dass sie an einer Studie teilnehmen, in der hinsichtlich Begleitverletzungen des hinteren Volkmann-Dreiecks bei vorliegenden Tibiaschaftfrakturen ausgewertet wird und dass bei Typ-A Tibiaschaftspiralfrakturen diese Begleitverletzungen häufiger auftreten. Dahingehend sollten dann diese 50 Röntgenbilder befundet und ggfs. eine erweiterte Diagnostik empfohlen werden. Gleich wie in der Gruppe 1 sollten sich die unfallchirurgischen Kolleg\*innen für eine operative oder konservative Behandlung festlegen bei Anhalt auf eine hintere Volkmann-Dreieck Fraktur.

Durch die Differenzierung über den Wissensstand der Untersucher\*innen konnten wir vergleichen, in wie weit die Kenntnis über mögliche Begleitverletzungen die Häufigkeit der Diagnosestellung einer Volkmann-Dreieck Fraktur beeinflusst.

Durch die Teilnahme von Oberärzt\*innen (OA) und Fach- bzw. Assistenzärzt\*innen (AA) konnten wir ebenfalls eine Aussage darüber treffen, ob eine längere Erfahrung in Hinblick auf gesehene und ausgewertete Röntgenbilder der einzelnen Untersucher\*innen zu einer signifikant besseren Erkennung von Begleitverletzungen führte.

Einen weiteren Vergleich konnten wir zwischen Radiolog\*innen und Unfallchirurg\*innen machen und eine Aussage treffen, ob signifikante Unterschiede in der Erkennung dieser Frakturen zu erkennen waren unabhängig von dem klinischen Befund des Patienten.

Zur Bestimmung einer guten Aussagefähigkeit baten wir die Untersucher\*innen nach 4-6 Wochen erneut, diese 50 Patient\*innen in gleicher Reihenfolge erneut zu befunden. Somit konnten wir eine Aussage hinsichtlich der inner-observer-reliability treffen. Wir konnten also darstellen, ob die Untersucher\*innen in beiden Durchgängen für den jeweiligen Patienten / die jeweilige Patientin die gleiche Diagnose, bzw. die gleiche Befundung machten.

UNIVERSITÄTSKLINIKUM AUGSBURG

Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie, Plastische und Handchirurgie

UNIA Universität Augsburg University

Diagnose, ggf. Versorgung?	Bildgebung?
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	
10.	
11.	
12.	
13.	
14.	
15.	

Abbildung 2: Auswertungsbogen Gruppe 1 (Untersucher\*innen ohne Vorwissen über Studienziel)

Die in Abbildung 2 und 3 gezeigten Auswertungsbögen wurden für die jeweiligen Untersucherguppen durch uns erstellt und den Untersucher\*innen zur Verfügung

gestellt. Den Auswertungsbogen aus Abbildung 2 erhielt die Gruppe 1, den Auswertungsbogen aus Abbildung 3 dementsprechend die Gruppe 2.

Volkmanntyp	Volkmanntyp	Bildgebung?
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
11.		
12.		
13.		
14.		
15.		

Abbildung 3: Auswertungsbogen Gruppe 2 (Untersucher\*innen mit Vorwissen über Studienziel)

## 2.4 Verwendete Materialien

Für den ersten Teil der Studie bezüglich eines Zusammenhanges zwischen Tibiaschaftfrakturen und Volkmann-Dreieck Frakturen wurden alle verfügbaren Bildgebungen, einschließlich der Verlaufskontrollbilder der zuvor ausgewählten 103 Patient\*innen über das Bildbearbeitungs- und Kommunikationssystem IMPAX™ ausgewertet.

Zusätzlich wurden alle Daten der operativen Versorgungen in unsere Analyse einbezogen. Die Frakturen konnten dann anhand der Frakturmorphologie bzw. deren Bruchlinien im a.p. Röntgenstrahl entsprechend nach Typ-A und Typ-B Frakturen eingeteilt werden.

Im zweiten Teil der Studie wurden durch uns 50 Patient\*innen mit Tibiaschaftspiralfrakturen, von denen 25 eine Volkmann-Dreieck Fraktur als Begleitverletzung hatten, numerisch sortiert und jede\*r Untersucher\*in über das Bildarchivierungs- und Kommunikationssystem IMPAX™ zur Verfügung gestellt. Dies erlaubte uns eine gezielte Zugehörigkeit der jeweiligen Befundung zu dem / der gleichen Patient\*in.

Wir gestalteten insgesamt zwei unterschiedliche Dokumentationsbögen.

Beide Dokumentationsbögen enthielten, entsprechend der Patientenanzahl, 50 Zeilen (1 – 50), wobei jede Zahl für den alphabetisch zugeordneten Patient\*in stand.

Für die Untersucher\*innen des externen Krankenhauses, welche keine Vorkenntnisse über die Studie und die möglichen Begleitverletzungen hatten, als auch für die Radiologen im Universitätsklinikum Augsburg, wurde in der ersten Spalte nach der „Diagnose, ggfs. Versorgung?“ und in der zweiten Spalte nach der „Bildgebung“ gefragt. Die Untersucher\*innen wurden ausführlich instruiert eine Aussage zu treffen, ob eine weiterführende Diagnostik, wie beispielsweise eine CT oder MRT Untersuchung empfohlen wird.

Bei der internen Gruppe an Untersucher\*innen der Unfallchirurgie gestalteten wir drei Spalten.

In der ersten Spalte wollten wir wissen, ob für die Untersucher\*innen eine Volkmann-Dreieck Fraktur sichtbar ist oder nicht. Hier durften die Untersucher\*innen lediglich mit

„ja“ oder „nein“ antworten.

In der zweiten Spalte sollte zudem eine Aussage getroffen werden, ob eine diagnostizierte Volkmann-Dreiecks Fraktur auch operativ versorgt werden sollte oder nicht.

Die dritte Spalte enthielt erneut die Frage nach einer weiterführenden Bildgebung im Hinblick auf eine CT oder eine MRT Untersuchung.

## 2.5 Statistik

Es wurde eine explorative Datenanalyse durchgeführt.

Die Mittelwerte wurden berechnet mit einer Standardabweichung und einem Konfidenzintervall.

Für den ersten Abschnitt unserer Studie erfolgte im Hinblick auf die Frakturmorphologie und einer korrespondierenden Begleitverletzung am Volkmann-Dreieck, ein „Chi-Quadrat-Test“ für unabhängige Werte, wie auch der „Exakte Fischer-Test“ und die „Odds Ratio“ für bestimmte Faktoren um die Zusammenhänge nachvollziehen zu können.

Bei der anschließenden Auswertung zu den Befundungen und Empfehlungen durch die Untersucher\*innen im Hinblick auf die 50 Patient\*innen wurde der T-Test für gepaarte Werte und der Wilcoxon Rank Test verwendet.

Zusätzlich nutzten wir den „Fleiss-Kappa-Test“ für nominale Werte um die Inter-Rater-Reliabilität auszuwerten. Es wurde also die Aussage der einzelnen Untersucher\*innen zu den jeweiligen Patient\*innen statistisch miteinander verglichen.

Für alle Tests wurde eine Wahrscheinlichkeit von  $p \leq 0,05$  als Signifikanzniveau festgelegt.

Alle statistischen Tests wurden mit den Software Programmen Jamovi 2.2.5 (jamovi.org) und SPSS 26 durchgeführt. (IBM Deutschland GmbH, Ehningen, Deutschland)

## 2.6 Ethikvotum

Unser Ethikvotum wurde unter dem Studientitel „Retrospektive Auswertung von Tibiafrakturen zur Evaluation und Verbesserung von Diagnostik und Therapie“ durch meinen Betreuer Dr. Leonard Lisitano eingereicht und bewilligt.

Die Ethikkommission der Ludwig-Maximilians-Universität München vergab dem Votum die Projekt Nr. 21-0301.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Allgemeine Ergebnisse

Wir konnten insgesamt 103 Patient\*innen für den ersten Teil der Studie integrieren, aus denen dann 50 Patient\*innen für den zweiten Teil der Studie rekrutiert wurden. Das durchschnittliche Alter der Patient\*innen betrug 47,1 Jahre. Der jüngste Patient\*in war 18 Jahre alt, der älteste Patient\*in 92 Jahre. Zur Veranschaulichung ist dies in Abbildung 4 nochmals dargestellt und zeigt auf, dass der Hauptanteil an Patient\*innen zwischen dem 18-65 Lebensjahr zu finden ist.

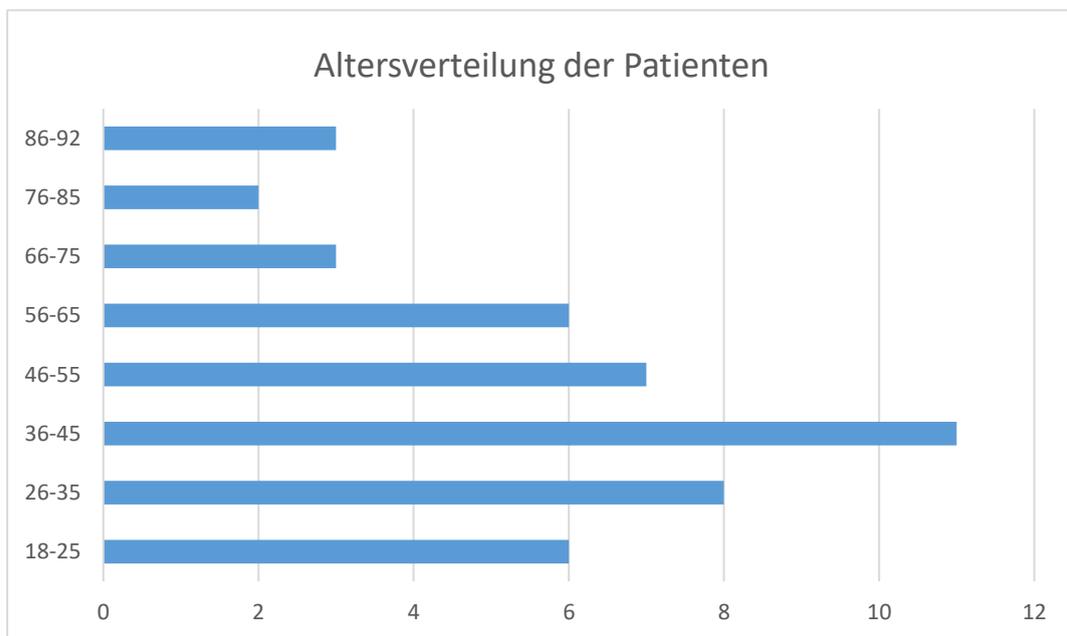


Abbildung 4: Altersverteilung unserer insgesamt 103 Patient\*innen.

Unter den in unserem Zeitraum ausgewerteten Daten gab es auch Patient\*innen mit vorangegangenen Gelenksfrakturen, bestehenden Osteosynthesen, als auch Polytrauma-Patient\*innen oder Patient\*innen mit vorbekannter Gehbehinderung. Diese Patient\*innen wurden jedoch aus unserer Studie ausgeschlossen um Fehlerquellen zu vermeiden. Ebenfalls nicht in die Studie eingeflossen sind Patient\*innen mit einem Hochrasanztraumata.

Es wurde hinsichtlich des Geschlechtes, sowie des Alters kein Unterschied gemacht. Ein besonders hohes oder niedriges Alter führte nicht zu einem Ausschluss aus der Studie.

### 3.2 Ergebnisse des ersten Studienteils

Von den 103 Patient\*innen, die wir im ersten Teil der Studie eingeschlossen haben, lokalisierten sich die Frakturen im mittleren oder distalen Drittel der Tibia. Bei diesen Frakturen der 103 Patient\*innen handelte es sich um Monoverletzungen.

Als Primärdiagnostik in der Notaufnahme erfolgte bei allen 103 Patient\*innen eine Röntgenbildgebung in 2 Ebenen sowohl der Tibia als auch der angrenzenden Gelenke. Lediglich in 54 von 103 (52,42%) Fällen wurde nach Diagnosestellung direkt eine erweiterte Bildgebung im Sinne einer CT Diagnostik durchgeführt. In den übrigen Fällen erfolgte präoperativ ausschließlich eine Röntgen-Bildgebung.

Es stellte sich heraus, dass 39 von 103 (37,87%) Frakturen im mittleren und 64 (62,13%) Frakturen im distalen Drittel der Tibia auftraten. Damit wird deutlich, dass Niedrigrasanztraumata an der Tibia häufiger zu Frakturen des Distalen Drittels führen.

Die überwiegende Anzahl der Frakturen (77/103) war ohne Eröffnung des Weichteilmantels. Lediglich in 26 von 103 Fällen (25,2%) kam es zu einer offenen Fraktur.

Tibiaschaftspiralfrakturen traten in 65 von 103 Frakturen auf (AO:42A1b/c; AO:43A1.1). In dem ersten Studienteil mit der Fragestellung bezüglich Begleitverletzungen, ergaben sich in 31 von 103 Fällen (30,1%) zusätzlich zu der Tibiaschaftfraktur diagnostizierte Frakturen des hinteren Volkmann-Dreiecks. Die Ausnahme bildete ein nicht spiralförmiger Bruch der Tibia mit Beteiligung des Volkmann-Dreiecks.

Von den hinteren Volkmann-Dreieck Frakturen wurden allerdings nur 26 präoperativ erkannt. Die in „Tabelle 1“ eingefügten Werte veranschaulichen die Anzahl der Begleitverletzung aufgeschlüsselt auf die jeweilige Frakturlokalisierung, die Unterteilung nach Typ-A und Typ-B Fraktur als auch wie viele Spiralfrakturen vorkamen.

Tabelle 1: Anzahl der hinteren Volkmann-Dreieck Frakturen pro Typ und auch die Anzahl der präoperativ, sowie auch postoperativ entdeckten Volkmann-Dreieck Frakturen. Grafik durch Dr. L. Lisitano freigegeben.

Quelle: Lisitano et.al. , „Accompanying Injuries in Tibial Shaft Fractures“, 25. Januar 2022

	Total	Spiral fracture	Type A	Type B	Middle third	Distal third
<i>n</i>	103	65	51	14	39	64
Posterior malleolus fracture	31	30	29	1	5	26
Preoperative unrecognized	5	5	5	0	1	4
Second operation	3	3	3	0	0	3

Bei den 26 präoperativ erkannten Volkmann-Dreieck Frakturen wurde nur bei 21 Frakturen eine primäre CT-Bildgebung des Sprunggelenkes durchgeführt. Die übrigen 5 Patienten wurden ausschließlich auf Grund einer Röntgen Bildgebung operativ versorgt.

In 2 der 5 präoperativ nicht erkannten Fälle konnte die Diagnose der Volkmann-Dreieck Fraktur allerdings intraoperativ durch eine dynamische Röntgenbildgebung gesichert werden. Die Operateur\*innen haben also unter Durchleuchtung die Stabilität des Sprunggelenkes geprüft und eine Fraktur des hinteren Volkmann-Dreiecks nachgewiesen. Die Frakturen konnten damit noch im gleichen Eingriff mittels Schraubenosteosynthese versorgt werden ohne eine sekundäre Dislokation zu generieren.

Die übrigen 3 Volkmann-Dreieck Frakturen wurden erst postoperativ mittels einer CT-Bildgebung diagnostiziert, sodass eine zweite Operation mittels Schraubenosteosynthese notwendig war.

Das bedeutet, dass in 16,12% (5/30) der Fälle die Diagnose einer hinteren Volkmann-Dreieck Fraktur auf Grund eines fehlenden CTs zu spät gestellt werden konnte und damit in 10% (3/30) dies sogar zu einer erneuten operativen Versorgung mit entsprechenden Narkose- und Infektionsrisiken führte.

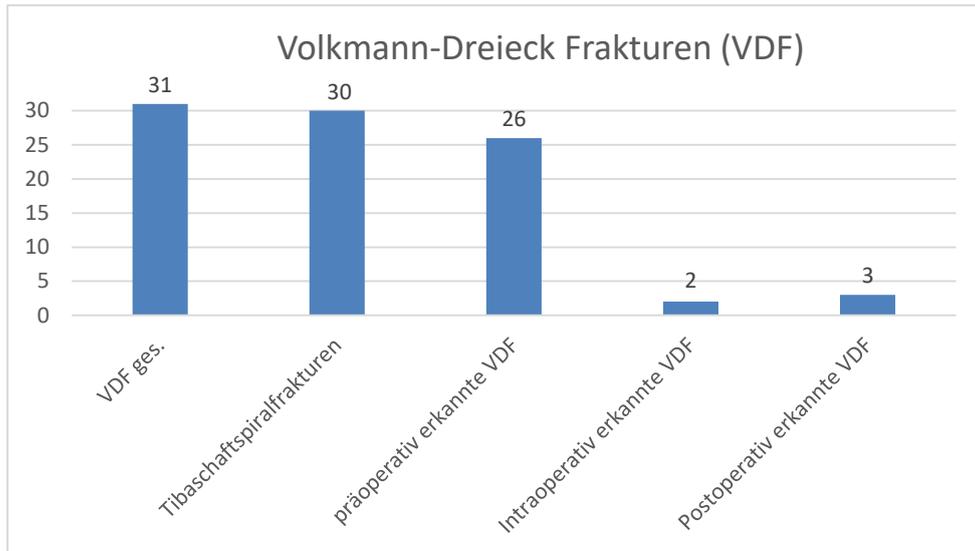


Abbildung 5: Anzahl der Begleitverletzungen an dem hinteren Volkmann-Dreieck bei Tibiaschaftfrakturen und wann sie erkannt wurden.

Das Risiko hierbei besteht darin, dass es zum Beispiel bei einer Marknagelosteosynthese der Tibia durch das Einbringen des Osteosynthesematerials zu einer sekundären Dislokation des hinteren Volkmann-Dreiecks kommen kann.

In der „Abbildung 5“ wird nochmal grafisch dargestellt, zu welchem Zeitpunkt die Begleitverletzungen am hinteren Volkmann-Dreieck (VDF) erkannt wurden.

Von den insgesamt 31 diagnostizierten Volkmann-Dreieck Frakturen mussten 18 (58,1%) operativ mittels Schraubenosteosynthese versorgt werden (Tabelle 2). Eine AO-Klassifikation der jeweiligen Frakturen und deren insgesamt Anzahl wurden ebenfalls in Zusammenhang mit der entsprechenden operativen Behandlung in „Tabelle 2“ dargestellt.

So wurden zum Beispiel die Mehrheit der AO:42A1b Frakturen, als auch die AO:42B/C Frakturen mit einer intramedullären Nagelung versorgt, lediglich die Frakturen der AO:42A1c und AO43:A Variante wurden vorwiegend mit einer Plattenosteosynthese stabilisiert.

Tabelle 2: Operative Versorgungsart der Tibiafrakturen und der Volkmann-Dreieck Frakturen eingeteilt nach der AO-Klassifikation. Grafik durch Dr. L. Lisitano freigegeben.

Quelle: Lisitano et.al. , „Accompanying Injuries in Tibial Shaft Fractures“, 25. Januar 2022

	Total	AO:42A1b	AO:42A1c	AO:42B/C	AO:43A
<i>n</i>	103	16	49	23	15
Compression plating	54	5	30	4	15
Intramedullary nailing	49	11	19	19	0
Posterior malleolus fracture (fixation)	31 (18)	5 (3)	25 (14)	0 (0)	1 (1)

Bereits zuvor wurde beschrieben, dass von 103 Patient\*innen mit einer Tibiaschaftfraktur, 31 davon eine begleitende hintere Volkmann-Dreieck Fraktur erlitten. Allerdings handelte es sich in 30 von 31 Fällen um eine Tibiaschaftspiralfaktur als Hauptfraktur. Zur Bestimmung eines statistischen Zusammenhanges wurden ein Chi-Quadrat und ein exakter Test nach Fischer durchgeführt. Hier zeigte sich ein hoch signifikanter Zusammenhang der Frakturmorphologie mit einer begleitenden Fraktur des hinteren Volkmann-Dreiecks ( $p \leq 0,001$ ).

Die Frakturmorphologie der Tibiaschaftspiralfrakturen konnte man weiter Unterteilen hinsichtlich der Frakturlinie in zwei verschiedene Typen im a.p. Röntgenbild.

Begann die Fraktur lateral proximal und zog nach medial distal, bezeichneten wir sie als „Typ-A“ Fraktur.

Eine Fraktur von medial proximal, die lateral distal endete, wurde fortan als „Typ-B“ Fraktur bezeichnet. Die Bezeichnungen trafen jedoch lediglich auf die Frakturen nach AO: 42A1b/c und 43A1.1 zu.

Die Einteilung in zwei unterschiedliche Bezeichnungen wurde durch uns gewählt für ein besseres Verständnis und um eine bessere Lesbarkeit im weiteren Text zu generieren.

In der Abbildung 1 (Seite 14) sind die beiden Frakturtypen in einer Röntgenaufnahme dargestellt. Das rechte Bild zeigt eine Typ-A Fraktur, das linke Bild eine Typ-B Fraktur. Die Frakturverläufe beziehen sich ausschließlich auf die a.p.-Röntgenstrahlrichtung. Von den 65 Tibiaschaftspiralfrakturen erlitten 51 Patient\*innen eine Typ-A und 14 Patient\*innen eine Typ-B Fraktur.

Von diesen insgesamt 65 Patient\*innen erlitten wiederum 29 Patient\*innen mit einer Typ-A Fraktur auch eine begleitende Volkmann-Dreieck Fraktur. Von den Patient\*innen mit der Typ-B Fraktur stellten wir lediglich bei einem Patient\*in eine Volkmann-Dreieck Fraktur als Begleitverletzung fest.

Daher ergab sich in 29 von 51 der Typ-A Frakturen verglichen zu 1 von 14 Typ-B Frakturen eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit, dass eine Typ-A Fraktur mit einer Begleitverletzung des Volkmann-Dreiecks einhergeht ( $p \leq 0.001$ ).

Diese statistisch signifikante Beziehung traf auf alle Tibiaschaftspiralfrakturen unabhängig ihrer Lokalisation (mittleres oder distales Drittel: Chi-Quadrat Test  $p = 0.168$ , Fisher-Exakt-Test  $p = 0.249$ ) zu. (siehe Tabelle 3)

Zusätzlich konnten wir einen Zusammenhang zwischen der Fraktur Lokalisation betreffend aller Tibiaschaftfrakturen und einer Begleitverletzung des Volkmann-Dreiecks feststellen ( $p = 0.003$ ).

Das bedeutet, dass eine Begleitverletzung des Volkmann-Dreiecks bei Frakturen im Bereich des distalen Drittels der Tibia deutlich häufiger auftreten, als bei Frakturen im mittleren Drittel (distales Drittel: 26 von 64 Frakturen, mittleres Drittel: 5 von 39 Frakturen).

Tabelle 3: Darstellung der Wahrscheinlichkeit für eine Volkmann-Dreieck Fraktur insgesamt bei Tibiaschaftspiralfrakturen, bei Frakturen des distalen Drittels und speziell für Typ-A Tibiaschaftspiralfrakturen Grafik durch Dr. L. Lisitano freigegeben  
Quelle: Lisitano et.al. , „Accompanying Injuries in Tibial Shaft Fractures“, 25. Januar 2022

Risk factor	Odds ratio	$p$ in Chi-square test	$p$ in Fisher's exact test
Spiral fracture	17,813	<0.001	<0.001
Fracture in distal third	3,169	0.003	0.004
Type A in spiral fractures	7,961	0.001	0.001

### 3.3 Ergebnisse des zweiten Studienteils

Im zweiten Teil unserer Studie konzentrierten wir uns auf die Qualität der Auswertungen der Röntgenbilder von 50 Patient\*innen, die eine Tibiaschaftspiralfaktur bei einem Niedrigrasanztraumata erlitten haben.

Hinsichtlich einer Begleitverletzung des Volkmann-Dreiecks durch die Hauptverletzung des Tibiaschaftes ergaben sich relevante Ergebnisse.

Insgesamt gab es bei 25 von 50 konventionellen Röntgen Bildgebungen in 2 Ebenen des Sprunggelenkes/Unterschenkels eine begleitende Fraktur des hinteren Volkmann-Dreiecks zu erkennen.

Von diesen 25 Volkmann-Dreieck Frakturen konnten aus beiden Untersucherguppen – LMU und UKA - zusammen durchschnittlich  $9,13 \pm 5,77$  korrekt diagnostiziert werden. Vergleicht man die beiden Untersucherguppen, so wurden von 25 Volkmann-Dreieck Frakturen im Durchschnitt  $4,25 \pm 3,77$  aus der ersten Gruppe (LMU-Klinikum) anhand der vorliegenden Röntgenbilder erkannt.

Bei der zweiten Gruppe (UKA) hingegen wurden durchschnittlich  $14 \pm 0$  Volkmann-Dreieck Frakturen korrekt erkannt. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant ( $p = 0,014$ ) bei einem Signifikanzlevel von  $p = 0,05$ .

Die Untersucher\*innen des UKA haben jedoch auch, im Gegensatz zu den Untersucher\*innen des LMU-Klinikums häufiger falsch positive Diagnosen gestellt. Auch dieser Unterschied ist statistisch signifikant mit  $p = 0,016$ . Die Untersucher\*innen des UKA diagnostizierten im Durchschnitt  $2,5 \pm 1,29$  der 25 Patient\*innen ohne Begleitfraktur fälschlicherweise mit einer Fraktur des hinteren Volkmann-Dreiecks. Den Untersucher\*innen des LMU-Klinikums hingegen unterlief dieser Fehler im Durchschnitt nur bei  $0,5 \pm 0,5$  von 25 Patienten.



Abbildung 6: Die Abbildungen 1-4 zeigen ein Beispiel für Röntgen- und CT-Bildgebungen bei Patient\*innen mit einer Tibiaschaftfraktur Typ-A, als auch einer begleitenden hinteren Volkmann-Dreieck Fraktur. Bei diesem Patienten wurde eine operative Schraubenosteosynthese durchgeführt. Grafik durch Dr. L. Lisitano freigegeben.

Quelle: Lisitano et.al., „Plane Xray is insufficient for correct diagnosis of tibial shaft spiral fractures. A prospective trial“

Eine präoperative Diagnose einer Volkmann-Dreieck Fraktur ist für die operative Behandlung, die Nachbehandlung als auch die Heilung ungemein relevant.

Um für unsere Studie diese Fraktur als „erkannt“ zu erfassen, mussten die Untersucher\*innen bei einem Patient\*in die Diagnose allein durch die vorliegenden Röntgenbilder des Sprunggelenkes in 2 Ebenen gestellt und/oder daraufhin eine erweiterte Bildgebung mittels Computertomographie empfohlen haben.

Auf Grund der hohen Sensitivität einer Computertomographie, auch kleinste und schwierige Frakturen darzustellen, gingen wir davon aus, dass bei einer durchgeführten CT-Bildgebung auch die hintere Volkmann-Dreieck Fraktur sicher erkannt würde.

Hierfür soll die Abbildung 6 als Beispiel dienen. Das erste Bild links zeigt eine Röntgen Bildgebung in 2 Ebenen, auf der eine Tibiaschaftspiralfaktur dokumentiert werden kann. Eine Fraktur des hinteren Volkmann-Dreiecks ist bei dieser Röntgenbildgebung jedoch nur sehr schwierig zu erkennen. Bei dem gleichen Patienten ist zusätzlich eine CT-Bildgebung des Sprunggelenkes durchgeführt worden, da dort der Verdacht auf eine Begleitverletzung bestand. In der CT-Bildgebung kann man nun eindeutig eine Frakturlinie am hinteren Volkmann-Dreieck feststellen. Anhand der Größe des Fragmentes ist eine operative Stabilisierung mittels Schraubenosteosynthese indiziert worden.

Nachdem durchschnittlich bei einer rein konventionellen Röntgen-Bildgebung in 2 Ebenen des Sprunggelenkes lediglich  $9.13 \pm 5.77$  der insgesamt 25 vorliegenden hinteren Volkmann-Dreieck Frakturen erkannt werden konnten, steigerte sich dieser Wert auf  $14.8 \pm 5.95$  von 25, indem die Untersucher\*innen eine CT-Bildgebung veranlassten.

Im direkten Vergleich wurde im Durchschnitt in  $10.5 \pm 5.80$  aus 25 Fällen durch die LMU-Klinikums Untersucher\*innen Gruppe und in  $19.0 \pm 0.82$  aus 25 Fällen durch die UKA Untersucher\*innen Gruppe die richtige Diagnose der hinteren Volkmann-Dreieck Fraktur gestellt.

Dieser Unterschied erwies sich als statistisch signifikant mit einem  $p < 0.001$ .

Ein Maximum von 20 aus 25 und ein Minimum von 4 aus 25 Begleitfrakturen wurden durch einen Untersucher\*in erkannt.

Vergleicht man die Erfahrungswerte der einzelnen Untersucher\*innen, so konnte ein signifikanter Unterschied zwischen einem/r Oberarzt\*ärztin, einem Fach- / Assistenzarzt\*ärztin errechnet werden. (Fach- / Assistenzarzt\*ärztin  $13.0 \pm 7.79$  aus 25; Oberarzt\*ärztin  $16.5 \pm 3.70$  aus 25;  $p = 0.040$ )

Zwischen Unfallchirurg\*innen und Radiologen\*innen konnten hingegen keine signifikanten Unterschiede in der Anzahl der richtigen Diagnosen erkannt werden. (Unfallchirurg\*in  $14.8 \pm 7.18$  aus 25; Radiolog\*in  $14.8 \pm 5.56$  aus 25;  $p = 0.644$ ).

Die Tabelle 4 erläutert noch einmal grafisch die Aufstellung der einzelnen Untersucher\*innen zu den jeweiligen Patient\*innen mit einer hinteren Volkmann-Dreieck Fraktur. Die in der oberen Zeile erkennbaren Buchstaben und Zahlencodes stehen für die Erfahrungsgrade (1. Stelle) der Untersucher\*innen, die Fachrichtung (2. Stelle) und für die jeweilige Gruppe (3. Stelle). Die roten Kästchen mit einem „N“ stehen für eine nicht erkannte, jedoch vorliegende, hintere Volkmann-Dreieck Fraktur. Die grünen Kästchen mit einem „Y“ stehen demgegenüber für eine richtig erkannte hintere Volkmann-Dreieck Fraktur. Die letzte Spalte beschreibt mit einem „Y“ ob eine Operation empfohlen wird oder mit „N“ ob eben keine Operation empfohlen wird.

Tabelle 4: Übersicht von Patienten (#1-25; erste Spalte) mit begleitender Volkmann.-Dreieck Fraktur.. Die letzte Spalte zeigt an, ob die Fraktur des hinteren Volkmann-Dreiecks operativ versorgt wurde (Schraubenosteosynthese Y = Ja; N = Nein). Die übrigen Spalten zeigen die individuellen Resultate der Untersucher\*innen im ersten Testdurchgang. Y = hintere Volkmann-Dreieck Fraktur erkannt, z.B. wurde die Fraktur direkt erkannt oder eine CT-Bildgebung des Sprunggelenkes angefordert. N = die Fraktur wurde nicht erkannt und es wurde ebenfalls keine CT-Bildgebung angefordert. „X“ gilt als Variable. R-X-X = Assistenzarzt; S-X-X = Oberarzt; X-S-X = Unfallchirurgie; X-R-X = Radiologie; X-X-1 = Gruppe 1; X-X-2 = Gruppe 2. Grafik durch Dr. L. Lisitano freigegeben

Quelle: Lisitano et.al. , „Accompanying Injuries in Tibial Shaft Fractures“, 25. Januar 2022

Pat.	R-S-1	S-S-1	R-R-1	S-R-1	R-S-2	S-S-2	R-R-2	S-R-2	OP
1	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	Y
2	N	N	N	N	N	Y	N	N	Y
3	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
4	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N
5	N	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y
6	N	Y	N	N	N	N	N	N	N
7	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y
8	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y
9	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N
10	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
11	N	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y
12	N	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y
13	N	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	N
14	N	N	N	N	N	N	Y	Y	Y
15	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y
16	N	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y
17	N	Y	N	N	Y	N	Y	Y	Y
18	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
19	N	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y
20	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	N
21	N	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	N
22	N	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	N
23	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
24	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
25	N	Y	Y	N	Y	N	Y	N	N

Es wurde eine zweite Testrunde mit den gleichen Untersucher\*innen und den gleichen Patient\*innen Daten durchgeführt um die Innerrater-Verlässlichkeit zu bestimmen.

Die Auswertung wurde dafür in einem zeitlichen Abstand von ca. 4-6 Wochen in gleichem Aufbau, wie bei der ersten Testrunde, jedoch mit veränderter Nummerierung wiederholt.

Wir konnten feststellen, dass die Untersucher\*innen des UKA vom ersten zum zweiten Testrundendurchgang im Durchschnitt eine hohe absolute Übereinstimmung von 91.2%

erzielten (höchste Übereinstimmung mit max. 100% und die niedrigste Übereinstimmung mit 76%).

Cohens Kappa wurde für die Untersucher\*innen am UKA berechnet und ergab „moderate“ bis „nahezu perfekte“ Übereinstimmung (0.534 – 0.907;  $p < 0,002$ ).<sup>25</sup>

Bei den Untersucher\*innen der LMU konnten wir leider keine Übereinstimmung berechnen, da eine zweite Auswertungsrunde durch die Untersucher\*innen der ersten Gruppe (LMU) nicht durchgeführt wurde.

Zusätzlich verglichen wir noch die Diagnosen der Untersucher\*innen bezogen auf jeden einzelnen Patient\*in. Somit konnten wir die Interrater-Verlässlichkeit berechnen.

Für alle Untersucher\*innen (insgesamt 8) wurde für die erste Testrunde eine „faire“ Übereinstimmung für „diagnostiziert“ (Fleiss´ Kappa = 0.292,  $p < 0.001$ ) und „erkannt“ (Fleiss´ Kappa = 0.274,  $p < 0.001$ ) bei allen Begleitverletzungen des hinteren Volkmann-Dreiecks errechnet.

Betrachtet man nun die jeweiligen Gruppen, erste Gruppe aus dem LMU-Klinikum (ohne Vorwissen zu der Studie) und die zweite Gruppe aus dem UKA (Studienziel ist bekannt), dann ergibt sich bei der ersten Gruppe eine „faire“ Übereinstimmung (Fleiss´ Kappa = 0.234,  $p = 0.004$ ) und für die zweite Gruppe eine „moderate“ Übereinstimmung (Fleiss´ Kappa = 0.561,  $p < 0.001$ ) der jeweiligen Untersucher\*innen. Die Abbildung 7 erläutert bildlich anhand der nominalen Werteverteilung wie groß die Übereinstimmung der Untersucher\*innen zueinander ist. Je näher die Werte an 1.00 herankommen, desto größer ist die Übereinstimmung<sup>26</sup>.

---

<sup>25</sup> Ferries u. a., „Plain Radiographic Interpretation in Trimalleolar Ankle Fractures Poorly Assesses Posterior Fragment Size“.

<sup>26</sup> T. Johnson und Cohen, *Psychological Bulletin*.

Kappa	Level der Übereinstimmung
< 0.20	Nicht ausreichend / Poor
0.21 – 0.40	Hinreichend / Fair
0.41 – 0.60	Moderat / Moderat
0.61 – 0,80	Gut / Good
0.81 – 1.00	Sehr Gut / Very Good

Abbildung 7: Cohens Kappa zur Erklärung welche Werteskala angewandt wird um eine Übereinstimmung zu berechnen. Je näher der Wert an 1.00 heranreicht, umso größer ist die Übereinstimmung der Untersucher\*innen untereinander.

Das Wissen über eine möglicherweise vorliegende Begleitverletzung des hinteren Volkmann-Dreiecks ist nach unseren Ergebnissen ein Kriterium zur höheren Diagnostizierung einer solchen Fraktur. Die Untersucher\*innen wiesen eine hohe Innerrater-Verlässlichkeit in den beiden Testrunden der zweiten Gruppe auf, wohingegen die Interrater-Verlässlichkeit lediglich bei der zweiten Gruppe aus dem UKA zu einer höheren Übereinstimmung kam.

## 4 Diskussion

In unserer zweiteiligen Studie konnten wir zum einen zeigen, dass eine hintere Volkmann-Dreieck Fraktur eine häufige Begleitverletzung einer Tibiaschaftfraktur ist, die überwiegend bei den Typ-A Tibiaschaftspiralfrakturen auftritt und zum anderen, dass eine Röntgen Bildgebung in 2 Ebenen keine ausreichende Diagnostik darstellt um eine sichere Aussage bezüglich einer Volkmann-Dreieck Fraktur als Begleitverletzung bei Tibiaschaftspiralfrakturen zu machen.

Die Ergebnisse unserer ersten Teilstudie legen die Vermutung nahe, dass eine Begleitverletzung des hinteren Volkmann-Dreiecks als indirekte Fraktur durch Niedrigrasanztraumata erfolgt, bei denen es auf Grund einer Rotationsbewegung zu einer Tibiaschaftspiralfaktur kommt und damit einhergehend das hintere Volkmann-Dreieck in Abhängigkeit der Torsionskräfte zusätzlich frakturiert. Somit kann die initiale Fragestellung nach einer bestimmten Frakturmorphologie und eines bestimmten Kraftvektors als sehr wahrscheinlich angesehen werden.

Die Annahme, dass es sich um Rotationskräfte handeln muss, wird bereits durch die Klassifikation von Lauge und Hansen und anderen biomechanischen Analysen beschrieben. Es ist anzunehmen, dass eine Außenrotation des Unterschenkels relativ zum Sprunggelenk bei festem Stand am Boden zu einer Typ-A Fraktur der Tibia führt und dabei einen zusätzlichen Druck auf den hinteren Anteil der Tibia ausübt, die das obere Sprunggelenk bildet (Niedrigrasanztrauma). Überschreitet die Rotationskraft eine gewisse Schwelle, so wird durch den Druck des Talus gegen die Fibula nach vorne die hintere Syndesmose gespannt und reißt damit dann das hintere Volkmann-Dreieck am oberen Sprunggelenk weg. (siehe Abbildung 8). Beispielsweise erfolgt dieser Mechanismus bei geerdetem Fuß und einer Auswärtsdrehung des Körpers, wie es z.B. beim Ski- oder Snowboardfahren passieren kann.

Nichtsdestotrotz sind weitere biomechanische Tests notwendig um diesen Mechanismus exakt zu reproduzieren.

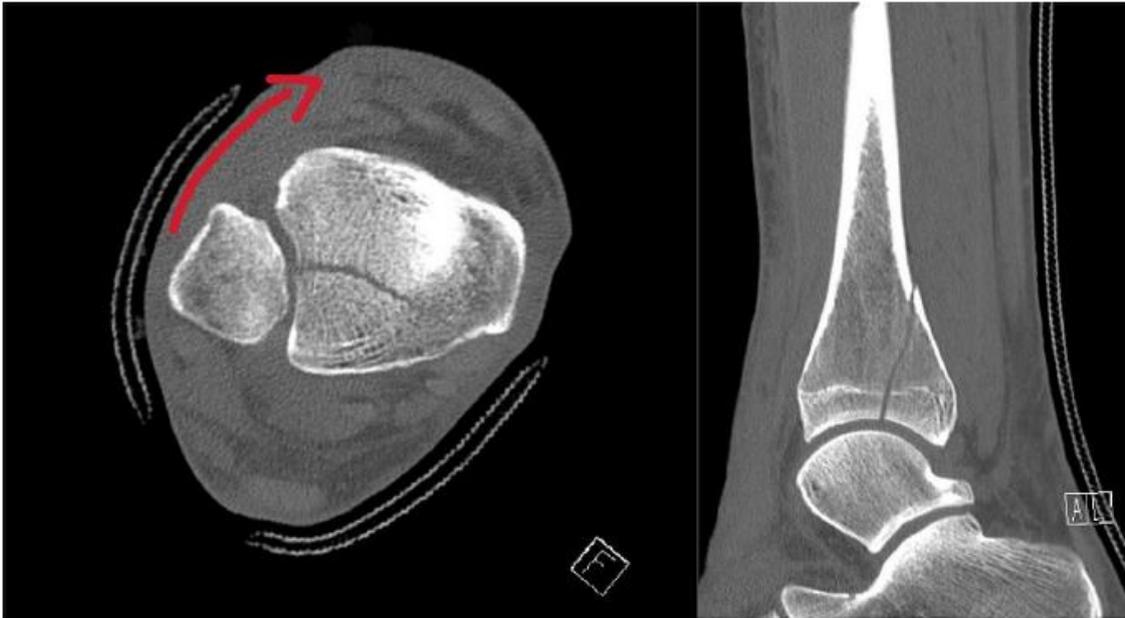


Abbildung 8 : Darstellung einer Innenrotation eines Sprunggelenkes zum Kniegelenk mit Erzeugung von Zugkräften auf das hintere Volkmann-Dreieck über die hintere Syndesmose und damit einhergehend einer Fraktur. Grafik durch Dr. L. Lisitano freigegeben

Quelle: Lisitano et.al. , „Accompanying Injuries in Tibial Shaft Fractures“, 25. Januar 2022

Die möglichen Folgen einer Volkmann-Dreieck Fraktur bestehen zum einen in einer Instabilität des tibio-fibularen Gelenkes und können deshalb zu einer tibio-talaren Luxation führen, wie auch in einer Arthrose des Sprunggelenkes. Daher sollte bei einer Dislokation der Fragmente, wie auch ab einer Gelenkflächenbeteiligung von mindestens 25% präventiv die Volkmann-Dreieck Fraktur operativ stabilisiert werden<sup>27</sup>.

Eine Dislokation sollte dringend vermieden und eine Stabilitätsprüfung zusätzlich nach durchgeführter Schraubenosteosynthese durchgeführt werden.

Eine Entscheidung über eine operative Fixierung der Volkmann-Dreieck Fraktur kann auch intraoperativ unter Röntgendurchleuchtung erfolgen. Neigt die Fraktur in der Stabilitätsprüfung zu einer Dislokation, so ist eine Schraubenosteosynthese zu empfehlen.

Unsere Vermutung besteht darin, dass bisher die Literatur keine wesentlichen Zusammenhänge zwischen einer Tibiaschaftspiralfaktur und einer Begleitfraktur des hinteren Volkmann-Dreiecks sieht und dass die Zahl der Begleitverletzungen am

<sup>27</sup> Blom u. a., „Posterior Malleolar Fracture Morphology Determines Outcome in Rotational Type Ankle Fractures“; Jaskulka, Ittner, und Schedl, „Fractures of the Posterior Tibial Margin“; Veltman, Halma, und de Gast, „Longterm Outcome of 886 Posterior Malleolar Fractures“.

hinteren Volkmann-Dreieck unterschätzt wird<sup>28</sup>.

Dies wird auch durch eine Studie von Warner et. al. belegt<sup>29</sup>. In der Studie wurden Röntgen- und CT Bildgebungen als primäre Diagnostik durchgeführt. Von 25 Patienten zeigte sich in 14 Fällen eine Beteiligung des Sprunggelenkes. Zusätzlich erfolgte eine MRT-Bildgebung bei den übrigen Patienten, bei denen durch die primären Diagnostiken keine weiteren Frakturen nachgewiesen werden konnten. Weitere 7 Frakturen des Sprunggelenkes konnten hierdurch nachträglich diagnostiziert werden. Es kam also in 21 von 25 Fällen (84%) zu einer Begleitverletzung im Sprunggelenk<sup>30</sup>.

Die angeführten Studien und auch unsere Untersuchung legen nahe, dass eine Begleitverletzung des hinteren Volkmann-Dreiecks deutlich häufiger auftreten als bisher angenommen und dass eine konventionelle Röntgenbildgebung in 2 Ebenen des Sprunggelenkes nicht ausreichend ist.

Dies wird nochmals deutlich, wenn man die Studien von Kukkonen et. al.<sup>31</sup> als auch von Werken und Zeegers<sup>32</sup> betrachtet – in der einen Studie werden 8/18 Begleitfrakturen des hinteren Volkmann-Dreiecks und in der zweiten Studie 8/17 Volkmann-Dreieck Frakturen als Begleitverletzung bei Tibiaschaftspiralfrakturen präoperativ nicht diagnostiziert.

Eine weitere, ähnliche Studie wurde von Purnell et. al. durchgeführt. Die Resultate zeigen, dass Unfallchirurgen / Orthopäden eines Level I Traumazentrums in einer konventionellen Röntgenbildgebung gerade einmal 13 von 29 (45%) hinterer Volkmann-Dreieck Frakturen bei insgesamt 67 Patienten erkannten und auch die Radiologen an ihren hochauflösenden Monitoren maximal 20 von 29 (69%) hintere Volkmann-Dreieck Frakturen diagnostizieren konnten.<sup>33</sup> Zudem wird durch die gleiche Studie auch herausgestellt, dass die Größe der Fraktur am hinteren Volkmann-Dreieck in der Röntgen-Bildgebung im Vergleich zur CT-Bildgebung unterschätzt wird.

---

<sup>28</sup> Böstman, „Displaced Malleolar Fractures Associated with Spiral Fractures of the Tibial Shaft“; Kukkonen u. a., „Posterior Malleolar Fracture Is Often Associated with Spiral Tibial Diaphyseal Fracture“; van der Werken und Zeegers, „Fracture of the Lower Leg with Involvement of the Posterior Malleolus; a Neglected Combination?“

<sup>29</sup> Warner u. a., „Ankle Injuries in Distal Tibial Spiral Shaft Fractures“.

<sup>30</sup> Warner u. a.

<sup>31</sup> Kukkonen u. a., „Posterior Malleolar Fracture Is Often Associated with Spiral Tibial Diaphyseal Fracture“.

<sup>32</sup> van der Werken und Zeegers, „Fracture of the Lower Leg with Involvement of the Posterior Malleolus; a Neglected Combination?“

<sup>33</sup> Purnell u. a., „Results of a Computed Tomography Protocol Evaluating Distal Third Tibial Shaft Fractures to Assess Noncontiguous Malleolar Fractures“.

Ähnliche Resultate konnten auch von Chen et. al. und Mitchell et. al. nachgewiesen werden<sup>34</sup>, auch wenn hier kein direkter Bezug auf Tibiaschaftspiralfrakturen des mittleren oder distalen Drittels genommen wird.

In unserer ersten Teilstudie konnten wir allerdings zeigen, dass nicht nur Tibiaschaftspiralfrakturen im distalen Drittel, sondern auch im mittleren Drittel eine Begleitverletzung am hinteren Volkmann-Dreieck verursachen können.

In zwei Studien von Ferries et. al.<sup>35</sup> und von Böhler et. al.<sup>36</sup> wurde herausgestellt, dass alleine durch Röntgen-Bildgebungen eine exakte Darstellung der Sprunggelenksfrakturen nicht ausreichend war und eine CT-Bildgebung präoperativ durchgeführt werden sollte. Die Erkenntnisse können auch auf das hintere Volkmann-Dreieck übertragen werden, wie in unserer Studie dargestellt wurde.

Schlussfolgernd lässt sich postulieren, dass sowohl in unserer ersten Teilstudie, als auch in der bestehenden Literatur eine Tibiaschaftspiralfaktur, in Abhängigkeit der Höhe als auch der Frakturverlaufsrichtung voneinander unabhängige, prädiktive Faktoren für das Auftreten von Begleitverletzungen im Bereich des hinteren Volkmann-Dreiecks darstellen.

Bisher liegt noch keine weitere wissenschaftliche Literatur vor, die den genauen Frakturverlauf mit dem Auftreten von Volkmann-Dreiecken untersucht hat, sodass ein Vergleich zu anderen Resultaten nicht möglich ist.

Unsere Ergebnisse der ersten Teilstudie legen allerdings den Schluss nahe, dass es sich um uniforme Niedrigrasanztraumata handeln muss, die einen Frakturverlauf der Tibia von lateral proximal nach medial distal (in der a.p. Röntgen-Bildgebung) verursachen und somit die Wahrscheinlichkeit auf eine Begleitverletzung am hinteren Volkmann-Dreieck begünstigen.

Eine Fraktur des hinteren Volkmann-Dreiecks hat eine hohe klinische Relevanz, da es durch seine anatomische Beschaffenheit die Hinterkante des Sprunggelenkes bildet und die Stabilität im hinteren Anteil sicherstellt. Durch einen Wegfall dieser Stabilität bei einer

---

<sup>34</sup> Mitchell u. a., „Morphology of the Posterior Malleolar Fracture Associated With a Spiral Distal Tibia Fracture“; Chen u. a., „Effectiveness of Diagnosis and Treatment of Spiral Fracture of the Distal Third of the Tibia Combined with Posterior Malleolus Fracture“.

<sup>35</sup> Ferries u. a., „Plain Radiographic Interpretation in Trimalleolar Ankle Fractures Poorly Assesses Posterior Fragment Size“.

<sup>36</sup> Böhler u. a., „Reliability of Radiologic Assessment of the Fracture Anatomy at the Posterior Tibial Plafond in Malleolar Fractures“.

Fraktur ergibt sich eine hohe Wahrscheinlichkeit einer dorsalen tibio-talaren Luxation und geht selbst bei kleineren Frakturen des hinteren Volkmann-Dreiecks mit einem erhöhten Risiko einer posttraumatisch, degenerativen Arthritis einher<sup>37</sup>. Das Outcome durch das bloße Vorliegen einer hinteren Volkmann-Dreieck Fraktur ist oftmals mit einer posttraumatischen Arthrose einhergehend, selbst bei kleineren Fragmenten, wie die Kollegen Jaskulka et al. nachweisen konnten<sup>38</sup>.

Um eine Volkmann-Dreieck Fraktur gut beurteilen und operativ stabilisieren zu können erfordert es eine detaillierte Bildgebung mittels Computertomographie. Wir empfehlen daher bei allen Tibiaschaftspiralfrakturen vom Typ-A präoperativ eine CT-Bildgebung des Sprunggelenkes durchzuführen um mögliche Begleitverletzungen im Bereich des hinteren Volkmann-Dreiecks präoperativ korrekt zu erfassen und zu beurteilen.

Es gibt bisher keine standardisierten Leitlinien zur Versorgung von Frakturen am hinteren Volkmann-Dreieck. Eine häufig angewandte Vorgehensweise ist allerdings die interne Schraubenosteosynthese in Abhängigkeit der Fragmentgröße des hinteren Volkmann Dreiecks. Diese Indikationsstellung nach Fragmentgröße wird allerdings in aktuellen Studien in Frage gestellt<sup>39</sup>. Es konnten beispielsweise Odak et. al in einer Metaanalyse darstellen, dass nicht die Größe des Knochenfragmentes, sondern die Frakturverschiebung, die Kongruenz der Gelenkfläche, als auch die restlich verbliebene tibiotalare Subluxation eine höhere Relevanz für das Langzeitergebnis haben<sup>40</sup>.

Um diese Kriterien genau zu bestimmen, sollte präoperativ bindend eine Schichtbildgebung im Sinne einer Computertomographie durchgeführt werden.

Dafür spricht ebenfalls, dass selbst die Größe des Fragmentes einer hinteren Volkmann Dreieck Fraktur mit einem konventionellen Röntgen nur unzureichend bestimmt werden kann und ebenso, dass es eine ungenügende interrater-Zuverlässigkeit bei den Röntgenaufnahmen gibt<sup>41</sup>. Noch direkter schreiben Solan und Sakellariou, dass eine CT-

---

<sup>37</sup> Macko u. a., „The Joint-Contact Area of the Ankle. The Contribution of the Posterior Malleolus“; van den Bekerom, Haverkamp, und Kloen, „Biomechanical and Clinical Evaluation of Posterior Malleolar Fractures. A Systematic Review of the Literature“.

<sup>38</sup> Jaskulka, Ittner, und Schedl, „Fractures of the Posterior Tibial Margin“; Blom u. a., „Posterior Malleolar Fracture Morphology Determines Outcome in Rotational Type Ankle Fractures“.

<sup>39</sup> Bartoníček, Rammelt, und Tuček, „Posterior Malleolar Fractures“; Tenenbaum u. a., „Posterior Malleolus Fractures“; Odak u. a., „Management of Posterior Malleolar Fractures“.

<sup>40</sup> Odak u. a., „Management of Posterior Malleolar Fractures“.

<sup>41</sup> Ferries u. a., „Plain Radiographic Interpretation in Trimalleolar Ankle Fractures Poorly Assesses Posterior Fragment Size“.

Bildgebung „nicht optional“ ist, wenn auch nur der geringste Verdacht besteht, dass es eine hintere Volkmann-Dreieck Fraktur geben könnte, sondern eine Pflicht<sup>42</sup>.

Zum zweiten Teil unserer Studie gibt es zudem eine vergleichbare retrospektive Studie von Bouche et. al., die die Erkennungsrate von hinteren Volkmann-Dreieck Frakturen bei Bimalleolar-Frakturen, sowohl in konventionellen Röntgen-Bildgebungen, als auch in einer CT-Bildgebung untersucht. In der Studie werteten zwei Unfallchirurgen insgesamt 60 Frakturen aus, ebenfalls in zwei Durchgängen im Abstand von 6 Wochen. Ähnlich, wie in unserer Studie wurden die hinteren Volkmann-Dreieck Frakturen in den nativen Röntgen-Bildgebungen deutlich seltener erkannt als in der vergleichenden CT-Diagnostik (35 / 60 im Röntgen, 53 / 60 im CT). In den Röntgen-Bildgebungen war die „Interrater-Verlässlichkeit“ vergleichbar mit einem Kappa von 0.39 zu unserer Studie mit einem Kappa von 0.292.

Dies lässt also den Schluss zu, dass unsere Hypothese, dass hintere Volkmann-Dreieck Frakturen im konventionellen Röntgen nicht sicher erkannt werden können, stimmt.

Allerdings muss man natürlich eingestehen, dass sich die Studie auf Bimalleolar-Frakturen bezieht und es lediglich zwei, statt bei uns acht Untersucher\*innen gab<sup>43</sup>.

Da selbst in unserer Studie mindestens 5 von 25 Frakturen des hinteren Volkmann-Dreiecks übersehen wurden, vor allem bei Typ-A Frakturen der Tibia, halten wir eine erweiterte Bildgebung mittels Computertomographie für notwendig, wie auch andere Studien bereits zeigten, die eine hintere Volkmann-Dreieck Fraktur als Begleitverletzung nachgewiesen haben<sup>44</sup>.

Ungeachtet der Häufigkeit von hinteren Volkmann-Dreieck Frakturen in Kombination mit Tibiaschaftspiralfrakturen vom Typ-A und distalen Tibiafrakturen, wird in den allermeisten Fällen zur operativen Planung und Durchführung lediglich eine konventionelle Röntgenbildgebung verwendet. Es wird daher sicherlich eine höhere Dunkelziffer an nicht erkannten Verletzungen des hinteren Volkmann-Dreiecks bestehen.

---

<sup>42</sup> Solan und Sakellariou, „Posterior Malleolus Fractures“.

<sup>43</sup> Bouche u. a., „Ankle CT Scan Allows Better Management of Posterior Malleolus Fractures than X-Rays“.

<sup>44</sup> Mitchell u. a., „Morphology of the Posterior Malleolar Fracture Associated With a Spiral Distal Tibia Fracture“; Chen u. a., „Effectiveness of Diagnosis and Treatment of Spiral Fracture of the Distal Third of the Tibia Combined with Posterior Malleolus Fracture“; van der Werken und Zeegers, „Fracture of the Lower Leg with Involvement of the Posterior Malleolus; a Neglected Combination?“; Kukkonen u. a., „Posterior Malleolar Fracture Is Often Associated with Spiral Tibial Diaphyseal Fracture“.

Bei Sprunggelenksverletzungen ist die Häufigkeit an übersehenen Volkmann-Dreiecks Frakturen sicherlich geringer, da hier deutlich öfter CT-Bildgebungen präoperativ durchgeführt werden.

Bei unserer Studie, in der eine CT-Bildgebung für alle Patienten verfügbar war, wurden alle größeren hinteren Volkmann-Dreieck Frakturen mittels interner Schraubenosteosynthese operativ versorgt. Lediglich in 2 / 25 Fällen haben nicht alle 8 Untersucher\*innen die Fraktur in ihrer alltäglichen Routine erkannt.

Nichtsdestotrotz ist eine Fraktur des hinteren Volkmann-Dreiecks essentiell für die operative Planung. Dies wird deutlich, wenn z.B. eine Tibiaschaftfraktur mittels intramedullärem Nagel versorgt werden soll. Das kann dann eventuell zu einer sekundären Dislokation des Volkmann-Dreieck Fragmentes führen. Um dies zu verhindern, muss das Fragment vorher mittels Schraubenosteosynthese, oder die Tibia mittels Plattenosteosynthese versorgt werden, anstatt eines intramedullären Nagels.

#### 4.1 Limitationen und Stärken der durchgeführten Studie

Natürlich hatte unsere Studie auch Einschränkungen, denn unsere Studie ist nicht die erste ihrer Art, die einen Zusammenhang zwischen einer Tibiaschaftspiralfaktur und einer Begleitverletzung des hinteren Volkmann-Dreiecks untersucht. Es wäre also denkbar, dass selbst die Gruppe, die keine Vorinformationen bezüglich unserer Hypothese hatte, auf Grund ihres Vorwissens und der klinischen individuellen Erfahrung vermehrt auf das hintere Volkmann-Dreieck geachtet haben könnte.

Ebenfalls wurde die Indikation zur operativen Versorgung durch verschiedene Chirurgen unterschiedlich gestellt, da es bisher keine konkrete Leitlinie bezüglich der Behandlung dieser Volkmann-Dreieck Frakturen gibt.

Es bleibt jedoch unsere Aussage bestehen, dass wir eine konventionelle Röntgen-Bildgebung nicht als geeignetes Mittel der Wahl ansehen um einen sicheren Ausschluss einer Begleitverletzung des hinteren Volkmann-Dreiecks zu machen bei Tibiaschaftspiralfrakturen vom Typ-A.

## 5 Zusammenfassung

Unsere Studie gliederte sich in zwei Teile, im ersten Teil ging es um die Fragestellung ob und bei welcher Frakturmorphologie von Tibiaschaftfrakturen eine begleitende Volkmann-Dreieck Fraktur begünstigt wird. Im zweiten Teil untersuchten wir die Fragestellung, ob erfahrene unfallchirurgische und radiologische Untersucher\*innen eine Volkmann-Dreieck Fraktur mittels einer konventionellen Röntgenaufnahme in 2 Ebenen des Sprunggelenkes sicher erkennen können.

Es erfolgte im ersten Teil der Studie die Auswertung von 103 Patienten bezüglich der Frakturmorphologie bei vorliegenden Volkmann-Dreieck Frakturen in Kombination mit Tibiaschaftspiralfrakturen bei Niedrigrasanztraumata. Hierbei stellte sich heraus, dass die hintere Volkmann-Dreieck Fraktur an der distalen Tibia als begleitende Verletzung besonders mit Tibiaschaftspiralfrakturen in Verbindung zu bringen ist, bei denen die Frakturlinie von lateral proximal nach medial distal verläuft und durch uns als Typ-A bezeichnet wurden.

Im zweiten Teil unserer Studie, konnten wir nachweisen, dass eine sichere Aussage bezüglich der Begleitverletzungen des hinteren Volkmann-Dreiecks nicht allein mittels Röntgen-Bildgebung in 2 Ebenen gemacht werden kann, als auch dass die Größe des Fragmentes einer Volkmann-Dreieck Fraktur häufig unterschätzt wird. Unabhängig vom Erfahrungsgrad des Untersuchers / der Untersucherin werden Frakturen der hinteren Tibiakante in einer konventionellen Röntgen-Bildgebung häufig nicht erkannt.

Das Wissen jedoch über ein eventuelles Vorliegen einer Begleitverletzung des hinteren Volkmann-Dreiecks wiederum bei Tibiaschaftspiralfrakturen vom Typ-A begünstigt die Erkennungsquote signifikant, allerdings steigt dadurch auch die Rate an falsch positiven Diagnosen. Dies unterstreicht nochmals die Aussage, dass eine konventionelle Röntgen-Bildgebung kein ausreichendes Diagnostikverfahren ist um eine sichere Diagnose hinsichtlich einer Fraktur des hinteren Volkmann-Dreiecks zu machen.

Wird eine Begleitverletzung des hinteren Volkmann-Dreiecks nachgewiesen, so ist eine operative Fixierung mittels Schraubenosteosynthese unabdingbar für das Langzeitresultat im Hinblick auf Funktion, Stabilität und Schmerzsymptomatik des Sprunggelenkes.

Wir empfehlen daher eine erweiterte Bildgebung mittels Computertomographie bei Niedrigrasanztraumata mit vorliegender Tibiaschaftspiralfaktur im mittleren und distalen Drittel der Tibia präoperativ durchzuführen um eine Begleitverletzung sicher auszuschließen, bzw. diese nicht zu übersehen.

## 5 Summary

Our study was divided into two parts. The first part dealt with the question of whether there is a typical fracture morphology of tibial shaft fractures and with which one an accompanying Volkmann-triangle fracture is favored. In the second part, we examined the question of whether experienced trauma surgeons and radiological examiners can reliably detect a Volkmann's-triangle fracture using a conventional X-ray in 2 planes of the ankle joint. In the first part of the study, 103 patients were evaluated with regard to fracture morphology with existing Volkmann triangle fractures in combination with tibia shaft spiral fractures in low-speed traumata. It turned out, that the posterior Volkmann-triangle fracture of the distal tibia as an accompanying injury is particularly associated with spiral tibial shaft fractures, in which the fracture line runs from lateral proximal to medial distal and which we have designated as type-A. In the second part of our study, we were able to prove, that a reliable statement regarding the concomitant injuries of the posterior Volkmann's triangle cannot be made solely by means of X-ray imaging in 2 planes, and that the size of the fragment of a Volkmann's-triangle fracture is often underestimated. Regardless of the examiner's level of experience, fractures of the posterior edge of the tibia are often not detected in conventional X-ray imaging. However, the knowledge that a concomitant injury to the posterior Volkmann's triangle may be present in type-A tibial shaft spiral fractures significantly improves the detection rate, although this also increases the rate of false positive diagnoses. This again underlines the statement that conventional X-ray imaging is not a sufficient diagnostic method to make a reliable diagnosis with regard to a fracture of the posterior Volkmann's-triangle. If an accompanying injury to the posterior Volkmann's-triangle is detected, surgical fixation using screw osteosynthesis is essential for the long-term result with regard to the function, stability and pain symptoms of the ankle joint. We therefore recommend preoperative extended imaging by means of computer tomography in the case of low-speed traumata with an existing spiral fracture of the tibia shaft in the middle and distal third of the tibia in order to rule out an accompanying injury with certainty or not to overlook it.

## 6 Literaturverzeichnis

- Ärzteblatt, Deutscher Ärzteverlag GmbH, Redaktion Deutsches. „Prophylaxe der tiefen Venenthrombose: Studie deckt Mängel im ambulanten Bereich auf“. Deutsches Ärzteblatt, 15. August 1997. <https://www.aerzteblatt.de/archiv/7357/Prophylaxe-der-tiefen-Venenthrombose-Studie-deckt-Maengel-im-ambulanten-Bereich-auf>.
- Bartoniček, Jan, Stefan Rammelt, und Michal Tuček. „Posterior Malleolar Fractures: Changing Concepts and Recent Developments“. *Foot and Ankle Clinics* 22, Nr. 1 (März 2017). <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2016.09.009>.
- Beck, M., und T. Mittlmeier. „Spezielle Probleme und Spätfolgen nach OSG-Fraktur“. *Trauma und Berufskrankheit* 6, Nr. 4 (1. Oktober 2004). <https://doi.org/10.1007/s10039-003-0805-1>.
- Bekerom, Michel P. J. van den, Daniel Haverkamp, und Peter Kloen. „Biomechanical and Clinical Evaluation of Posterior Malleolar Fractures. A Systematic Review of the Literature“. *The Journal of Trauma* 66, Nr. 1 (Januar 2009): 279–84. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e318187eb16>.
- Blom, R. P., D. T. Meijer, R.-J. O. de Muinck Keizer, S. a. S. Stufkens, I. N. Sierevelt, T. Schepers, G. M. M. J. Kerkhoffs, J. C. Goslings, und J. N. Doornberg. „Posterior Malleolar Fracture Morphology Determines Outcome in Rotational Type Ankle Fractures“. *Injury* 50, Nr. 7 (Juli 2019). <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.06.003>.
- Böstman, O. M. „Displaced Malleolar Fractures Associated with Spiral Fractures of the Tibial Shaft“. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, Nr. 228 (März 1988): 202–7.
- Bouche, Pierre-Alban, Nicolas Gaujac, Simon Corsia, Philippe Leclerc, Philippe Anract, und Guillaume Auberger. „Ankle CT Scan Allows Better Management of Posterior Malleolus Fractures than X-Rays“. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology: Orthopedie Traumatologie* 32, Nr. 7 (Oktober 2022): 1301–9. <https://doi.org/10.1007/s00590-021-03104-y>.
- Büchler, Lorenz, Moritz Tannast, Harald M. Bonel, und Martin Weber. „Reliability of Radiologic Assessment of the Fracture Anatomy at the Posterior Tibial Plafond in Malleolar Fractures“. *Journal of Orthopaedic Trauma* 23, Nr. 3 (März 2009): 208–12. <https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e31819b0b23>.
- Chen, Qun, Lijun Song, Jiahu Fang, Xiaodong Qin, Tianrun Lv, und Xiang Li. „Effectiveness of Diagnosis and Treatment of Spiral Fracture of the Distal Third of the Tibia Combined with Posterior Malleolus Fracture: A Series of Ten Cases“. *Journal of the American Podiatric Medical Association* 108, Nr. 2 (1. März 2018): 106–14. <https://doi.org/10.7547/15-181>.
- Communications, EBCONT. „Spezielle Unfallchirurgie“. Zugegriffen 19. Juni 2022. [https://eref.thieme.de/ebooks/698636#/ebook\\_698636\\_SL21021605](https://eref.thieme.de/ebooks/698636#/ebook_698636_SL21021605).
- Ferries, J. S., T. A. DeCoster, K. K. Firoozbakhsh, J. F. Garcia, und R. A. Miller. „Plain Radiographic Interpretation in Trimalleolar Ankle Fractures Poorly Assesses Posterior Fragment Size“. *Journal of Orthopaedic Trauma* 8, Nr. 4 (August 1994): 328–31. <https://doi.org/10.1097/00005131-199408000-00009>.
- Amboss. „Frakturen des Unterschenkels - Wissen @ AMBOSS“. Zugegriffen 19. Juni 2022. <https://www.amboss.com/de/wissen/frakturen-des-unterschenkels>.
- Fuchs, S., S. Wallstabe, U. Gerlach, und C. Jürgens. „Trauma des Unterschenkels und des oberen Sprunggelenks“. *Trauma und Berufskrankheit* 11, Nr. 1 (1. Februar 2009): 116–21. <https://doi.org/10.1007/s10039-008-1447-0>.
- Hochstein, P., M. Aymar, H. Winkler, und A. Wentzensen. „Die operative Behandlung diaphysärer Tibiafrakturen“. *Unfallchirurgie* 20, Nr. 5 (1. September 1994): 259–75. <https://doi.org/10.1007/BF02588704>.
- „<http://www.uni-duesseldorf.de/AWMF/II-na/012-018.htm>“, o. J., 51.

- Jaskulka, R. A., G. Ittner, und R. Schedl. „Fractures of the Posterior Tibial Margin: Their Role in the Prognosis of Malleolar Fractures“. *The Journal of Trauma* 29, Nr. 11 (November 1989): 1565–70. <https://doi.org/10.1097/00005373-198911000-00018>.
- Javdan, Mohammad, Mohammad Ali Tahririan, und Morteza Nouri. „The Role of Fibular Fixation in the Treatment of Combined Distal Tibia and Fibula Fracture: A Randomized, Control Trial“. *Advanced Biomedical Research* 6 (2017): 48. <https://doi.org/10.4103/2277-9175.205190>.
- Kukkonen, Juha, Jouni T. Heikkilä, Timo Kyyrönen, Kimmo Mattila, und Eero Gullichsen. „Posterior Malleolar Fracture Is Often Associated with Spiral Tibial Diaphyseal Fracture: A Retrospective Study“. *The Journal of Trauma* 60, Nr. 5 (Mai 2006): 1058–60. <https://doi.org/10.1097/01.ta.0000196700.74272.10>.
- Lisitano, Leonard, Edgar Mayr, Kim Rau, Andreas Wiedl, Jan Reuter, und Stefan Foerch. „Accompanying Injuries in Tibial Shaft Fractures: How Often Is There an Additional Violation of the Posterior Malleolus and Which Factors Are Predictive? A Retrospective Cohort Study“. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 25. Januar 2022. <https://doi.org/10.1007/s00068-021-01866-y>.
- Macko, V. W., L. S. Matthews, P. Zwirkoski, und S. A. Goldstein. „The Joint-Contact Area of the Ankle. The Contribution of the Posterior Malleolus“. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume* 73, Nr. 3 (März 1991): 347–51.
- Mitchell, Phillip M., Kelly A. Harms, Adam K. Lee, und Cory A. Collinge. „Morphology of the Posterior Malleolar Fracture Associated With a Spiral Distal Tibia Fracture“. *Journal of Orthopaedic Trauma* 33, Nr. 4 (April 2019): 185–88. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000001398>.
- Odak, Saurabh, Raju Ahluwalia, Puthanveetil Unnikrishnan, Michael Hennessy, und Simon Platt. „Management of Posterior Malleolar Fractures: A Systematic Review“. *The Journal of Foot and Ankle Surgery* 55, Nr. 1 (1. Januar 2016): 140–45. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2015.04.001>.
- „Pathophysiology and Classification of Soft Tissue Injuries Associated with Fractures | SpringerLink“. Zugegriffen 2. September 2022. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-69499-8\\_1](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-69499-8_1).
- Purnell, Gregory J., Ericka R. Glass, Daniel T. Altman, Robert L. Sciulli, Matthew T. Muffly, und Gregory T. Altman. „Results of a Computed Tomography Protocol Evaluating Distal Third Tibial Shaft Fractures to Assess Noncontiguous Malleolar Fractures“. *The Journal of Trauma* 71, Nr. 1 (Juli 2011): 163–68. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e3181edb88f>.
- Raasch, W. G., J. J. Larkin, und L. F. Draganich. „Assessment of the Posterior Malleolus as a Restraint to Posterior Subluxation of the Ankle“. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume* 74, Nr. 8 (September 1992): 1201–6.
- Rittstieg, P., M. Wurm, M. Müller, und P. Biberthaler. „[Current treatment strategies for lower leg fractures in adults]“. *Der Unfallchirurg* 123, Nr. 6 (Juni 2020): 479–90. <https://doi.org/10.1007/s00113-020-00805-7>.
- Schünke, Michael, Erik Schulte, Udo Schumacher, Markus Voll, und Karl Wesker. *Prometheus LernAtlas der Anatomie*. 2. Aufl. Stuttgart: Thieme Verlag, 2007.
- Solan, M. C., und A. Sakellariou. „Posterior Malleolus Fractures: Worth Fixing“. *The Bone & Joint Journal* 99-B, Nr. 11 (November 2017): 1413–19. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.99B11.BJJ-2017-1072>.
- SOPs in der Orthopädie und Unfallchirurgie. SOPs in der Orthopädie und Unfallchirurgie*. 2018. Aufl. Thieme Verlag, 2018. <https://doi.org/10.1055/b-0037-147853>.
- Stürmer, Dr Klaus Michael, Dr Felix Bonnaire, Stellv Leiter, Dr Klaus Dresing, Dr Karl-

- Heinz Frosch, Dr Maximilian Heitmann, Dr Rainer K bke, u. a.  
„ sterreichischen Gesellschaft für Unfallchirurgie ( GU)“, 1. August 2017, 32.
- T. Johnson, Blair, und J. Cohen. *Psychological Bulletin*. 3. Aufl., 1968.
- Tenenbaum, Shay, Nachshon Shazar, Nathan Bruck, und Jason Bariteau. „Posterior Malleolus Fractures“. *The Orthopedic Clinics of North America* 48, Nr. 1 (Januar 2017): 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.ocl.2016.08.004>.
- Veltman, Ewout S., Jelle J. Halma, und Arthur de Gast. „Longterm Outcome of 886 Posterior Malleolar Fractures: A Systematic Review of the Literature“. *Foot and Ankle Surgery* 22, Nr. 2 (1. Juni 2016): 73–77. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2015.05.003>.
- Waheed, Sheikh M., Pujitha Kudaravalli, und David T. Hotwagner. „Deep Vein Thrombosis“. In *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2022. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK507708/>.
- Warner, Stephen J., Patrick C. Schottel, Matthew R. Garner, David L. Helfet, und Dean G. Lorch. „Ankle Injuries in Distal Tibial Spiral Shaft Fractures: Results from an Institutional Change in Imaging Protocol“. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery* 134, Nr. 12 (Dezember 2014): 1661–66. <https://doi.org/10.1007/s00402-014-2095-4>.
- Werken, Christian van der, und Elgun V. C. M. Zeegers. „Fracture of the Lower Leg with Involvement of the Posterior Malleolus; a Neglected Combination?“ *Injury* 19, Nr. 4 (1. Juli 1988): 241–43. [https://doi.org/10.1016/0020-1383\(88\)90035-6](https://doi.org/10.1016/0020-1383(88)90035-6).

## 7 Appendix

### 7.1 Abkürzungsverzeichnis

A.	-	Arteria
AA	-	Assistenzarzt / Assistenzärztin
Abb.	-	Abbildung
AO	-	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
a.p.	-	anterior posterior
CT	-	Computertomographie
et. al.	-	und andere
etc.	-	et cetera (und so weiter)
FA	-	Facharzt / Fachärztin
LMU	-	Ludwig-Maximilian-Universität
mm	-	Millimeter
MRT	-	Magnetresonanztomographie
N.	-	Nervus
OA	-	Oberarzt / Oberärztin
Typ-A	-	Frakturlinie von proximal lateral nach distal medial
Typ-B	-	Frakturlinie von proximal medial nach distal lateral
UKA	-	Universitätsklinikum Augsburg
V.	-	Vena
VDF	-	Volkman-Dreieck Fraktur
z.B.	-	zum Beispiel

## 7.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Rechtes Bild mit einer Typ-A Fraktur, bei der die Frakturlinie lateral proximal beginnt und nach medial distal verläuft. Linkes Bild mit einer Typ-B Fraktur, bei der umgekehrt die Frakturlinie medial proximal beginnt und nach lateral distal verläuft. Grafik durch Dr. L. Lisitano freigegeben	14
Abbildung 2: Auswertungsbogen Gruppe 1 (Untersucher*innen ohne Vorwissen über Studienziel)	16
Abbildung 3: Auswertungsbogen Gruppe 2 (Untersucher*innen mit Vorwissen über Studienziel)	17
Abbildung 4: Altersverteilung unserer insgesamt 103 Patient*innen.	21
Abbildung 5: Anzahl der Begleitverletzungen an dem hinteren Volkmann-Dreieck bei Tibiaschaftfrakturen und wann sie erkannt wurden.	24
Abbildung 6: Die Abbildungen 1-4 zeigen ein Beispiel für Röntgen- und CT-Bildgebungen bei Patient*innen mit einer Tibiaschaftfraktur Typ-A, als auch einer begleitenden hinteren Volkmann-Dreieck Fraktur. Bei diesem Patienten wurde eine operative Schraubenosteosynthese durchgeführt. Grafik durch Dr. L. Lisitano freigegeben.	28
Abbildung 7: Cohens Kappa zur Erklärung welche Werteskala angewandt wird um eine Übereinstimmung zu berechnen. Je näher der Wert an 1.00 heranreicht, umso größer ist die Übereinstimmung der Untersucher*innen untereinander.	32
Abbildung 8 : Darstellung einer Innenrotation eines Sprunggelenkes zum Kniegelenk mit Erzeugung von Zugkräften auf das hintere Volkmann-Dreieck über die hintere Syndesmose und damit einhergehend einer Fraktur. Grafik durch Dr. L. Lisitano freigegeben	34

### 7.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anzahl der hinteren Volkmann-Dreieck Frakturen pro Typ und auch die Anzahl der prä-operativ, sowie auch postoperativ entdeckten Volkmann-Dreieck Frakturen. <i>Grafik durch Dr. L. Lisitano freigegeben.</i>	23
Tabelle 2: Operative Versorgungsart der Tibiafrakturen und der Volkmann-Dreieck Frakturen eingeteilt nach der AO-Klassifikation. Grafik durch Dr. L. Lisitano freigegeben.	25
Tabelle 3: Darstellung der Wahrscheinlichkeit für eine Volkmann-Dreieck Fraktur insgesamt bei Tibiaschaftspiralfrakturen, bei Frakturen des distalen Drittels und speziell für Typ-A Tibiaschaftspiralfrakturen Grafik durch Dr. L. Lisitano freigegeben	26
Tabelle 4: Übersicht von Patienten (#1-25; erste Spalte) mit begleitender Volkmann-Dreieck Fraktur.. Die letzte Spalte zeigt an, ob die Fraktur des hinteren Volkmann-Dreiecks operativ versorgt wurde (Schraubenosteosynthese Y = Ja; N = Nein). Die übrigen Spalten zeigen die individuellen Resultate der Untersucher*innen im ersten Testdurchgang. Y = hintere Volkmann-Dreieck Fraktur erkannt, z.B. wurde die Fraktur direkt erkannt oder eine CT-Bildgebung des Sprunggelenkes angefordert. N = die Fraktur wurde nicht erkannt und es wurde ebenfalls keine CT-Bildgebung angefordert. „X“ gilt als Variable. R-X-X = Assistenzarzt; S-X-X = Oberarzt; X-S-X = Unfallchirurgie; X-R-X = Radiologie; X-X-1 = Gruppe 1; X-X-2 = Gruppe 2. Grafik durch Dr. L. Lisitano freigegeben	30

## 7.4 Danksagung

Hiermit möchte ich an alle Menschen meinen Dank aussprechen, die mich während der Doktorarbeit unterstützt und motiviert haben.

An vorrangiger Stelle ist mein Doktorvater Herr Prof. Dr. med. Dr. h. c. E. Mayr zu nennen, der mir die Möglichkeit gab unter seiner Leitung diese Dissertation zu verfassen.

Zudem möchte ich meinem Betreuer, Herrn Dr. med. L. Lisitano ausdrücklichen Dank aussprechen, der mir während der ganzen Dissertation stets mit Rat und Tat zur Seite stand und mit mir die Thematik durchgearbeitet hat.

Dann möchte ich einen großen Dank an alle Untersucher\*innen der LMU und des UKA aussprechen, die unsere Studie durch ihre Arbeit unterstützt und überhaupt möglich gemacht haben. Vielen Dank.

Natürlich möchte ich auch meinen Eltern, Marianne und Dr. med. Egon-D. Helling danken, die mich unaufhörlich motiviert und angespornt haben diese Dissertation voran zu bringen. Danke für eure Hilfe, eure Liebe und Geduld. Großen Dank auch an meinen Vater für die Zeit und Mühe des Korrekturlesens und die guten Anmerkungen.

Auch meinem Bruder Herrn Dr. med. Hauke Helling bin ich zu großem Dank verpflichtet, der mir über mein ganzes Leben hinweg immer zur Seite stand mit Ruhe, Geduld, Interesse und brüderlicher Liebe. Ich bin froh, dass ich immer auf Dich zählen kann.

Und nicht zu vergessen ist meine bezaubernde Ehefrau Dr. med. Marissa Helling, die mich unermüdlich unterstützt hat wo sie nur konnte. Ob bei Formulierungen oder der Gestaltung warst Du mir immer eine große Hilfe. Vielen Dank für Deine anhaltende Unterstützung und Aufmunterungen.