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

DISSERTATION

Aktuelle Aspekte der Lisfranc-Verletzung
- Ergebnisse einer retrospektiven klinischen Studie -

Current aspects of the Lisfranc joint injury
- Results of a retrospective clinical study -

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin
von

Pascal René Nadler-Sahabandu

aus Berlin

Datum der Promotion: 20.Juni 2025

Inhaltsverzeichnis

1. Abstract / Zusammenfassung **6**

2. Einleitung **8**
2.1 Grundlagen 8
2.1.1 Problematik, Nomenklatur, Historie 8
2.1.2 Epidemiologie 10
2.1.3 Anatomie 11
2.1.3.1 Knochen 11
2.1.3.2 Ligamente 12
2.1.4 Biomechanik und Verletzungsmuster 15
2.1.4.1 Bio- und Pathomechanik 15
2.1.4.2 Verletzungsmuster 16
2.1.5 Klassifikation 18
2.2 Diagnostik 19
2.2.1 Bildgebende Diagnostik 20
2.3 Aktuelle Therapiestrategien, Komplikationen und Outcome 22
2.3.1 Die konservative Therapie 22
2.3.2 Geschlossene Reposition und Osteosynthese (CRIF) oder Offene Reposition und Osteosynthese (ORIF) 22
2.3.3 Offene Reposition und Osteosynthese (ORIF) oder Primäre Arthrodese (PA) 23
2.3.4 Kirschner-Drähte, Platten oder Schrauben 24
2.3.5 Endobutton-Naht und Bandplastiken 25
2.3.6 Management veralteter Verletzungen 26
2.4 Komplikationen und Prognose 26
2.4.1 Frühkomplikationen 26
2.4.2 Spätkomplikationen und Prognose 27

3. Herleitung der Aufgabenstellung **29**

4. Methodik **31**
4.1 Populationscharakteristika 31
4.1.1 Patientenkollektiv und Einschlusskriterien 31
4.1.2 Methodisches Vorgehen bei der allgemeinen und verletzungsbezogenen Datenerhebung / Ein- und Ausschlusskriterien 31
4.2 Klassifikation und Messung der radiologischen Ergebnisse 33
4.3 *Statistische Auswertung* 34

5. Ergebnisse **36**
5.1 Ergebnisse der Analyse verletzungsbezogener deskriptiver Daten 36
5.1.1 Unfallmechanismus und Verletzungsfolgen 36
5.1.2 Ermittlung der Behandlungspfade und Operationstechnik 38
5.1.2.1 Konservative oder operative Therapie 38

5.1.2.2 Operationsmethodik und Materialien 40
5.1.3 Ermittlung der Komplikationen und deren Management 42
5.1.3.1 Art der Komplikationen 42
5.1.3.2 Revisionen 42
5.1.4 Beschreibung der skelettalen Verletzungsmuster 43
5.1.4.1 Alleinige Luxation 43
5.1.4.2 Frakturen 44
5.1.4.3 Ermittlung der Distanz zwischen der Basis Os metatarsale I und II 46
5.1.4.4 Aligments 47
5.2 Re-Klassifikation 49
5.3 Ergebnisse der Regressionsanalyse 50
5.3.1 Initial übersehene Verletzung und niedrig-energetische Trauma 51
5.4 Ergebnisse der explorativen Datenanalyse 57
5.4.1 Initial übersehene Verletzung und Grad des Weichteilschadens 58

6. Diskussion 61
6.1 Die initial übersehene Verletzung 61
6.2 Behandlungsstrategien und Operationsverfahren 66

7. Literaturverzeichnis 71
8. Eidesstattliche Versicherung 85
9. Lebenslauf 86
10. Publikation 88
11. Danksagung 89
12. Bescheinigung der akkreditierten Statistikerin 90
13. Ethikvotum 91

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1 - Friedhof Montparnasse / Grab Jacques Lisfranc **9**
Abbildung 2 - Das 3 Säulenmodell des Vor-/Mittelfußes **12**
Abbildung 3 - Anatomische Studie der Bandstrukturen am Mittelfuß **14**
Abbildung 4 - Mechanismen der indirekten Verletzung **17**
Abbildung 5 - Quénu und Küss Klassifikation modifiziert nach Myerson **19**
Abbildung 6 - Der verzögerte Behandlungsbeginn **37**
Abbildung 7 - Weichteilschäden und Unfallmechanismen **38**
Abbildung 8 - Verhältnis konservativer vs. operativer Therapie **39**
Abbildung 9 - Behandlungsverfahren **41**
Abbildung 10 - Häufigkeiten der Verletzung einzelner Fußwurzelknochen **45**
Abbildung 11 - Re-Klassifikationen **50**
Abbildung 12 - Balkendiagramm: initial übersehene Verletzung und Grad des Weichteilschadens **60**

Tabelle 1 - Allgemeine Patientencharakteristika **32**
Tabelle 2 - Nativröntgenbilder und CT **33**
Tabelle 3 - Verletzungsspezifische Charakteristika **36**
Tabelle 4 - Komplikationen und Revisionen **43**
Tabelle 5 - Verletzungen des Tarsus **44**
Tabelle 6 - Mitteflußfrakturen **46**
Tabelle 7 - Abstand zwischen Basis Metatarsale I und II **47**
Tabelle 8 - Alignments: Beurteilung Nativröntgenbilder nach Verletzung **48**
Tabelle 9 - Alignments: Beurteilung der Nativröntgenbilder nach Versorgung **48**
Tabelle 10 - Alignments: Beurteilung der Nativröntgenbilder zum Abschluss **48**
Tabelle 11 - Re-Klassifikation: Quenu/Küss **49**
Tabelle 12 - Re-Klassifikation: Myerson/Hardcastle **49**
Tabelle 13 - Zusammenfassung der Fallverarbeitung **52**
Tabelle 14 - Omnibus-Test der Modellkoeffizienten **52**
Tabelle 15 - Klassifizierungstabelle **53**
Tabelle 16 - Modellzusammenfassung **54**
Tabelle 17 - Hosmer-Lemeshow-Test **54**
Tabelle 18 - Variablen in der Gleichung -Ergebnisse der Regressionsanaylse **55**
Tabelle 19 - Korrelationsmatrix **56**
Tabelle 20 - Kreuztabelle: initial übersehen und Grad des Weichteilschadens **58**
Tabelle 21 - Chi-Quadrat-Test **59**
Tabelle 22 - Symmetrische Maße / Korrelationskoeffizient **59**

Abkürzungsverzeichnis

AOFAS	American Orthopedic Foot and Ancle Society
BMI	Body Mass Index
CRIF	Closed Reduction and Internal Fixation
CRPS	Komplexes regionales Schmerzsyndrom
CT	Computertomographie
DRG	Diagnosebezogene Fallgruppen
ICD	Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme
K-Drähte	Kirschner-Drähte
MT	Os Metatarsale
ORIF	Open Reduction and Internal Fixation
PA	Primäre Arthrodese
PACS	Picture Archiving and Communication System
SAP	Systemanalyse Programmentwicklung - Software für die Steuerung von Geschäftsprozessen
SD	Standardabweichung
TMT	Tarsometatarsalgelenk
WHO	Weltgesundheitsorganisation

1. Abstract (English)

Introduction: Lisfranc injuries are still among the most frequently overlooked injuries in everyday trauma surgery. Due to the high osteoarthrosis rates and the modest outcome in the AOFAS midfoot score, diagnosis and treatment strategies are highly controversial. There is a consensus that delayed initiation of treatment has a decisive negative impact on outcome. The aim of this retrospective clinical study is to demonstrate a correlation between the severity of the trauma and the probability of overlooking the injury. For this purpose, the data of the trauma surgery team of the Center for Musculoskeletal Surgery of the Charité - Universitätsmedizin Berlin are collected and evaluated in a systematic analysis and the results are discussed with the international literature.

Methods: 61 injured patients (28 women and 33 men) with a Lisfranc injury were included over a 5-year period. The average follow-up time was 10.6 months. A total of 82 parameters were compared; in addition to demographic data, injury patterns and severity, classifications, diagnostic and surgical procedures and radiologic outcomes were examined. The number of missed injuries was compared with injury mechanisms and injury morphology data. Statistical analysis of the data is performed using logistic regression analysis and exploratory data analysis in a cross-tabulation and determination of the correlation coefficient.

Results: Lisfranc injuries most frequently resulted from twisted ankle trauma (22 cases; 36.1%). Ten injuries (16.4%) were initially overlooked. 11 (18%) injured patients were late. Five injured individuals (8.2%) presented with isolated ligamentous, subtle injuries. 19 Lisfranc injured patients presented with multiple injuries (31.9%). 57 of the 61 patients underwent surgery, of which 39 (64%) underwent open reduction and osteosynthesis (ORIF). In 30 (49.2% of all cases), only Kirschner wires were used. Sixteen (26.2%) suffered complications.

A significant correlation was found between low-energy trauma and the number of missed injuries ($p=.033$, odds ratio: 6.477 (95% CI [1.164, 30.046]). Exploratively, a correlation between minor soft tissue damage and the missed injuries could be shown ($p=.003$ / $\varphi=.439$).

Discussion: This study shows that Lisfranc injuries resulting from low-energy trauma account for the largest proportion of Lisfranc injuries but go significantly often unrecognized. The subtle, purely ligamentous injury alone cannot explain the high number of overlooked injuries. Consistent CT diagnosis significantly reduces the number of overlooked injuries. Open reduction and osteosynthesis is the method of choice at the Center for Musculoskeletal Surgery at Charité - Universitätsmedizin and achieves good results.

1. Abstract (Deutsch)

Einführung: Lisfranc-Verletzungen zählen nach wie vor zu den am häufigsten übersehenen Verletzungen im unfallchirurgischen Alltag. Aufgrund beschriebener hoher Arthroseraten und dem bescheidenen Outcome im AOFAS midfoot score sind Diagnostik und Behandlungsstrategien stark umstritten. Konsens besteht darin, dass ein verzögerter Behandlungsbeginn den Outcome entscheidend negativ beeinflusst. Ziel dieser retrospektiven, klinischen Arbeit ist es, einen Zusammenhang zwischen der Schwere des Traumas und der Wahrscheinlichkeit des Übersehens der Verletzung darzustellen. Hierfür werden in systematischer Analyse die Daten des unfallchirurgischen Teams des Centrums für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité – Universitätsmedizin Berlin erhoben, ausgewertet und die Ergebnisse mit der internationalen Literatur diskutiert.

Methodik: Über einen 5 Jahreszeitraum wurden 61 Verletzte (28 Frauen und 33 Männer) mit stattgehabter Lisfranc-Verletzung eingeschlossen. Die durchschnittliche Follow-Up-Zeit betrug 10,6 Monate. Insgesamt wurden 82 Parameter verglichen; neben demographischen Daten, wurden Verletzungsmuster und –schwere, Klassifikationen, diagnostische und operative Verfahren und die radiologischen Ergebnisse untersucht. Die Anzahl der übersehenen Verletzung wird mit Verletzungsmechanismen und verletzungsmorphologischen Daten verglichen. Die statistische Auswertung der Daten erfolgt mittels logistischer Regressionsanalyse und explorativer Datenauswertung in einer Kreuztabelle und Ermittlung des Korrelationskoeffizienten.

Ergebnisse: Am häufigsten resultierten Lisfranc-Verletzungen aus einem Umknicktrauma (22 Fälle; 36,1%). Zehn Verletzungen (16,4%) wurden initial übersehen. 11 (18%) Verletzte stellten sich verspätet vor. Fünf Verletzte (8,2%) präsentierten rein ligamentäre, subtile Verletzungen. 19 Lisfranc-Verletzte unterlagen Mehrfachverletzungen (31,9%). 57 vom 61 Patientinnen und Patienten wurden operiert, davon 39 (64%) offen reponiert und osteosynthetisch (ORIF) versorgt. Bei 30 (49,2% aller Fälle) kamen ausschließlich Kirschner-Drähte zum Einsatz. Sechzehn (26,2%) erlitten Komplikationen. Ein signifikanter Zusammenhang ließ sich zwischen einem niedrig-energetischen Trauma und der Anzahl der übersehenen Verletzung darstellen (p=,033, Odds Ratio: 6,477 (95%-KI[1,164, 30,046]). Explorativ ließ sich ein Zusammenhang zwischen einem geringen Weichteilschaden und den übersehnen Verletzungen darstellen (p=,003 / φ=,439).

Diskussion: Diese Arbeit zeigt, dass Lisfranc-Verletzungen, die aus einem niedrig-energetischen Trauma resultieren, den größten Anteil der Lisfranc-Verletzungen ausmachen, aber signifikant häufig unerkannt bleiben. Die subtile, rein Ligamentäre Verletzung kann die hohe Anzahl der übersehenen Verletzung alleinig nicht erklären. Eine konsequente CT-Diagnostik reduziert die Anzahl der übersehenen Verletzungen deutlich. Die offene Reposition und Osteosynthese ist im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité – Universitätsmedizin die Methode der Wahl und erzielt gute Ergebnisse.

2. Einleitung

2.1 Grundlagen

2.1.1 Problematik, Nomenklatur und Historie

Zu den Verletzungen im Tarsometatarsalgelenk zählen Subluxationen, Luxationen, Frakturen und Luxationsfrakturen. So unterschiedlich die Unfallmechanismen sind, ist auch das pathologische Bild der Verletzungsfolge. Die entstandene und meist folgenschwere Instabilität im Tarsometatarsalgelenk ist diesen Verletzungen gemeinsam. Trotz verbesserter Diagnostik und ständiger Erweiterung des Kenntnistandes bleibt das Übersehen, insbesondere der rein ligamentären Verletzung, mit 20-50% häufig und folgenschwer (Myerson 1986, Sherief 2007, Rammelt 2008, Sivakumar 2018, De Groot 2023, McDermott 2024).

Zur Beschreibung des gesamten Verletzungskomplexes wird im deutschsprachigen Raum von Lisfranc(-gelenk)-Luxationen, Lisfranc(-gelenk)-Frakturen oder Lisfranc(-gelenk)-Luxationsfrakturen gesprochen, im internationalen Sprachgebrauch setzt sich zunehmend *Lisfranc joint injury* oder kurz *Lisfranc injury* durch. Da die englischsprachige Formulierung, gerade weil sie allgemeiner ist, umso präziser alle Verletzungsfolgen einbezieht, wird im weiteren Text analog von Lisfranc-Verletzungen gesprochen, wenn nicht dezidiert zwischen den Verletzungstypen unterschieden werden soll. Lisfranc-Verletzungen beschreiben somit ligamentäre und knöcherne Verletzungen im Tarsometatarsalgelenk, sowie Verletzungen zwischen den Keilbeinen und beziehen Distorsionen und ligamentäre Teilrupturen ebenso ein, wie grob dislozierte Luxationsfrakturen.

Das Tarsometatarsalgelenk ist namentlich nach dem französischen Chirurgen und Gynäkologen Jacques Lisfranc de St. Martin (* 2. April 1790; † 13. Mai 1847) benannt. Lisfranc studierte Medizin zunächst in Lyon und später in Paris, wo er Schüler von Guillaume Dupuytren wurde. 1813/14 war er, als napoleonischer Feldchirurg, in der Völkerschlacht bei Leipzig, der Schlacht um Hanau und bei der Belagerung von Metz tätig, wo er mit dem Kollegen Dominique Larrey unter anderem unzählige Amputationen zwischen Fußwurzel und Mittelfuß vornahm (Fischer 2005, Desmond 2006, Mulcahy 2018). Durch die 1815 von ihm veröffentlichte Arbeit *Nouvelle méthode opératoire (dite de Lisfranc) pour l'amputation partielle du pied dans son articulation tarso-métatarsienne* gilt er als Erstbeschreiber der Amputation im Tarsometatarsalgelenk und

der plantaren ligamentären Verbindung zwischen Os cuneiforme mediale und der Basis des zweiten Mittelfußknochens (dem sogenannten Lisfranc-Ligament).

Abbildung 1: Dieses Relief auf seinem Grabstein zeigt Jacques Lisfranc bei der Arbeit als Feldchirurg der napoleonischen Armee in der Völkerschlacht 1813 bei Leipzig / Friedhof Montparnasse / Paris (Foto von Pascal Nadler-Sahabandu; 04.02.2020)

Die Beschreibung der Lisfranc-Verletzung ist nicht auf ihn selbst zurückzuführen. Erste diesbezügliche Darstellungen wurden am Anfang des 19. Jahrhunderts durch Quénu und Küss vorgestellt, die klinische Kasuistik, anatomische Untersuchungen und eine erste Klassifikation der Verletzungstypen beinhalteten (Quénu und Küss 1909). Die Einteilung der Luxationsverletzungen der französischen Chirurgen ist die älteste noch heute relevante und angewandte Frakturklassifikation (Zwipp 2014). 1910 stellte Grunert aus Königsberg 115 Fälle aus der Literatur zusammen, inklusiver 17 eigener Patient*innen. Er beschrieb das bekannte ‘Hängenblieben‘ im Steigbügel beim Sturz vom Pferd der untersuchten Soldaten als typischen Unfallhergang (Grunert 1910). In Österreich stellte Böhler 1957 erste Behandlungsstrategien vor (Böhler 1957). Seit den 1980er Jahren erhielt die Lisfranc-Verletzung, durch eine Vielzahl an neuen wissenschaftlichen Analysen und Veröffentlichungen, insbesondere von Hardcastle et

al. und Myerson et al., zunehmende Aufmerksamkeit. Folgend hielt die Thematik Einzug in die orthopädisch-traumatologischen Standardwerke und Fachkongresse (Coulibaly 2012), sowie, in Diagnostik und Behandlung, auch in das Repertoire einer jeden Unfallchirurgin bzw. eines jeden Unfallchirurgen.

2.1.2 Epidemiologie

Lisfranc-Verletzungen sind selten und machen etwa einen Anteil von 0,2% aller Frakturen aus. Sie sind häufig mit tarsalen und/oder metatarsalen Frakturen vergesellschaftet (Desmond 2006, Wright 2013). Im europäischen Raum wird von einer Inzidenz von 1:60.000 Einwohner*innen pro Jahr berichtet (Hardcastle 1982), amerikanische Autoren berichten von 1:55.000 (Aitken 1963). Aktuellere Arbeiten deuten auf eine steigende Inzidenz von 14/100.000 Fällen hin, was auch auf die zunehmende Verfügbarkeit und den vermehrten Einsatz von Computertomographien zurückzuführen sein könnte (Stødle 2020). Man geht weiterhin von einer hohen Dunkelziffer aus, da die Verletzung bis zu einem Drittel der Fälle bei der Erstuntersuchung übersehen wird (Vuori und Aro 1993, Rammelt 2008, De Groot 2023).

Männer sind etwa zweifach häufiger betroffen als Frauen. Die Altersspitze liegt im 3. Lebensjahrzehnt. Es wurde davon ausgegangen, dass junge Männer häufiger rasante und risikoreiche Aktivitäten vornehmen. Als Unfallursache galten lange alleinig Hochrasanz- (high velocity) Traumata (Desmond 2006). In einer Studie, die 76 Fälle einschloss konnten 1986 Myerson et al. zeigen, dass 58% der Lisfranc-Verletzungen mit Polytraumata assoziiert waren und zwei Drittel davon aus Verkehrsunfällen resultierten (Myerson 1986). Neuere Studien hingegen verweisen auf eine große Gruppe von einfacheren Sportunfällen (u. a. Fußball, Football, Reiten), die ebenfalls zu einer Lisfranc-Verletzung führen können (Benirschke 2012, McHale 2016, Porter 2016, Mansur 2021, Maduka 2023). Als häufigste Unfallursachen gelten weiterhin neben Verkehrsunfällen, Quetschungen, Stürze aus größerer Höhe und Sportverletzungen (Ly 2006, Myerson 2008). Isolierte Verletzungen sind mit 50% häufig, aber auch offene Frakturen wurden mit 12,5% beschrieben (Henning 2009, Stavlas 2010). Aufgrund der Häufigkeit der Hochrasanz-Traumata kombiniert mit der komplexen Fußbinnenstruktur ist bei etwa einem Drittel der Fälle mit der Ausbildung eines Kompartmentsyndroms zu rechnen (Richter et al. 2002)

2.1.3 Anatomie

2.1.3.1 Knochen

Das Lisfrancgelenk stellt die funktionelle Begrenzung des Mittelfußes zum Vorfuß dar (engl.: midfoot – forefoot). Rein anatomisch verbindet es den Tarsus mit dem Metatarsus (Fußwurzeln und Mittelfußknochen). Die Lisfrancgelenkreihe beschreibt die Artikulationen zwischen den Ossa cuneiformia und dem Os cuboideum mit den Basen der Ossa metatarsalia. Die gelenkigen Verbindungen zwischen den Basen der Mittelfußknochen, wie auch die Gelenke zwischen den einzelnen Keilbeinen untereinander und dem Würfelbein gehören ebenfalls zum Lisfrancgelenk-Komplex (Zwipp 2014).

In der Längsausrichtung artikulieren die ersten 3 Mittelfußknochen jeweils mit den korrespondierenden Keilbeinen; das Würfelbein korrespondiert mit dem 4. und dem 5. Mittelfußknochen. Die Keilbeine, erhielten ihren Namen, weil sie einen sich nach plantar verjüngendem Querschnitt aufweisen (lat.: cuneus = der Keil). Betrachtet man einen Querschnitt durch das gesamte knöcherne Fußgewölbe in Höhe der distalen Fußwurzelreihe, so erinnert die Anatomie an einen römischen Torbogen. Das Os cuneiforme II (intermedium) ist das kürzeste und kleinste der drei Keilbeine. Es bleibt gegenüber dem Os cuneiforme I (mediale) und III (laterale) um 4-8 Millimeter zurückgesetzt. Hier greift als Schlussstein in die bogenförmige Anatomie im Lisfrancgelenk die Basis des Os metatarsale II. Dadurch kommt dem 2. Strahl die statische Schlüsselrolle für die Stabilität im Lisfrancgelenk zu und bildet somit auch für die exakte Reposition den Ausgangspunkt (Zwipp 2014). Eine flachere Gabel zwischen Os cuneiforme I und III ist für Luxationsverletzung prädisponierend (Siddiqui 2014).

Geht man von dem drei Säulen Modell im Längsverlauf des Tarsometatarsalgelenkes (TMT) aus, wird die mediale Säule aus dem 1. Strahl gebildet (1.TMT-Gelenk), die intermediäre Säule aus dem 2. Und 3. Strahl (2. und 3. TMT-Gelenk) und die laterale Säule aus dem beiden verblieben Strahlen (4. und 5. TMT-Gelenk). In ihrer Beweglichkeit unterscheiden sich die Gelenke in den verschiedenen Säulen deutlich. Während die intermediäre Säule im Lisfrancgelenk einer rigiden Amphiarthrose entspricht, ist die Beweglichkeit der lateralen Säule mit 10-20° Spielraum am größten. Die mediale Säule hat zeigt eine Beweglichkeit von 5-10° (Coetzee 2008).

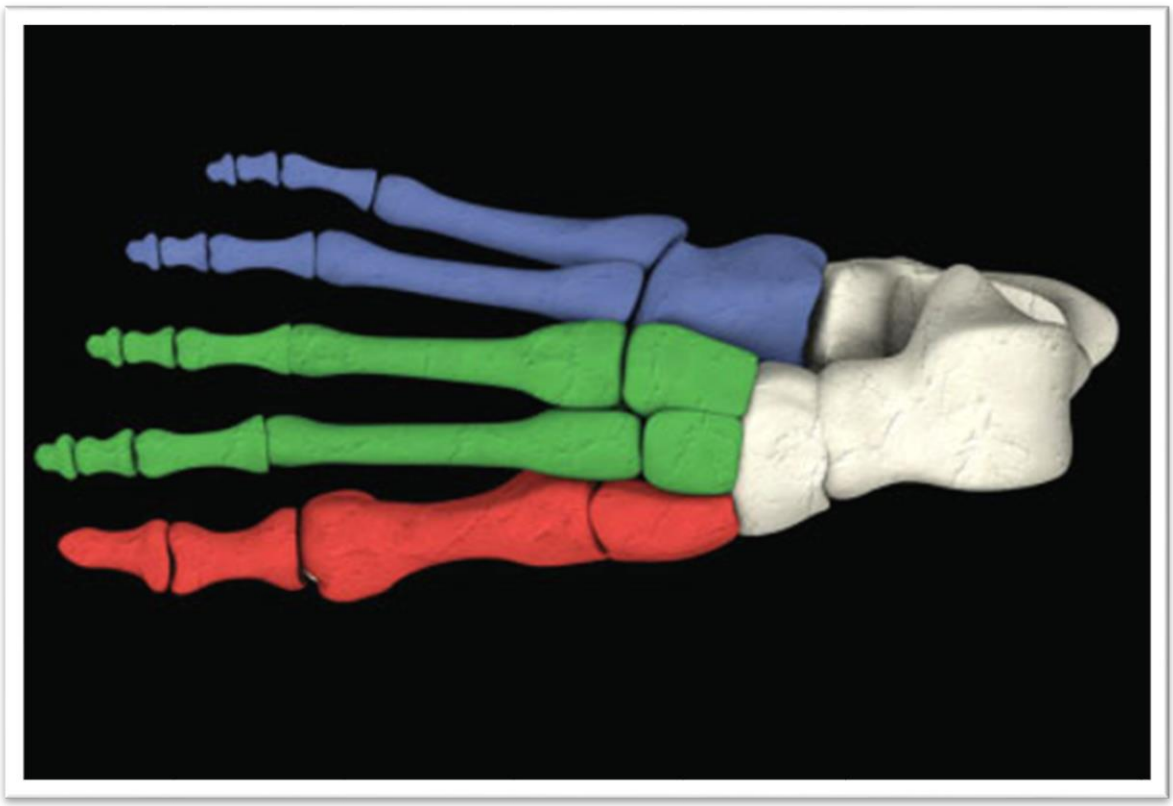

Abbildung 2: Das drei Säulenmodell unterteilt den Mittel-/Vorfuß in eine mediale Säule (rot), eine intermediäre Säule (grün) und laterale (blau) (Abbildung aus Llopis, E., Carrascoso, J., Iriarte, I., Serrano, Mde P. und Cerezal, L. (2016) Lisfranc Injury Imaging and Surgical Management. Semin Musculoskelet Radiol. Apr;20(2),139-53.) [mit freundlicher Genehmigung des Georg Thieme Verlag KG / Lizenz-Nr: 5081261505555]

2.1.3.2 Ligamente

‘It is worse to sprain an ankle than to break it’, lautet ein bekanntes Zitat von Sir Reginald Watson-Jones (Salvi 2014). Ein komplexes Band- und Kapselsystem im Lisfrancgelenk verantwortet die Stabilität im Übergang vom Mittelfuß zum Vorfuß (Llopis 2016). Dorsale, plantare und interossäre Bänder finden sich zwischen den Fußwurzelknochen und den Basen der Mittelfußkochen II–V untereinander, sowie im Übergang von den Fußwurzelknochen auf den Mittelfuß in jedem Strahl. Die interossären Bandverbindungen sind am stärksten ausgebildet, am schwächsten die dorsalen (Solan et al. 2001). Ein Zusammenhang der Bandstärke mit der häufigeren dorsalen Dislokation der Basen der Ossa metatarsalia im Falle einer Verletzung konnte bereits dargestellt werden (Makwana 2005, Siddiqui 2014).

Die fehlende ligamentäre Verbindung zwischen den Basen der Ossa metatarsalia I und II wird entwicklungsgeschichtlich mit der Greiffunktion des Fußes der Anthropoiden erklärt (Zwipp 2014). Dadurch verbleibt, die zur Ausbalancierung des Fußes bei Belastung wichtige, höhere Mobilität der mittleren Säule gegenüber der intermediären, aber auch die fehlende Stabilität zwischen den beiden Stahlen auf der Ebene der Ossa metatarsalia.

In der Verbindung zwischen dem 1. und dem 2. Strahl kommt daher dem Lisfranc-Ligament die Schlüsselrolle für die Stabilität zu. Das nach dem Erstbeschreiber benannte Band besteht nach heutigem Wissen aus 3 Anteilen (bzw. aus 3 verschieden Bändern). Im MRT kann das plantare und das dorsale Lisfranc-Ligament vom interossären abgegrenzt werden (De Palma 1997, Castro 2010, Sripanich 2021). Zwipp und Rammelt sprechen in der aktuellen Ausgabe (von 2014) Tscherne Unfallchirurgie von einem Lisfranc-Bandkomplex, der den schwachen dorsalen Anteil und den interossären einbezieht. Das plantare Band wird als eigenständige Entität behandelt. Im internationalen Sprachgebrauch wird bereits von einem dorsalen, interossären und plantarem Lisfranc-Ligament gesprochen (Johnson 2008, Marshall 2013). Das plantare Lisfranc-Ligament ist ein zwei-bündiges Ligament, das vom Os cuneiforme mediale in einem tiefen Anteil zur Basis des Os metatarsale II und in einem oberflächlichen Anteil zur Basis des Os metatarsale III zieht (Llopis 2016, Kitsukawa 2015).

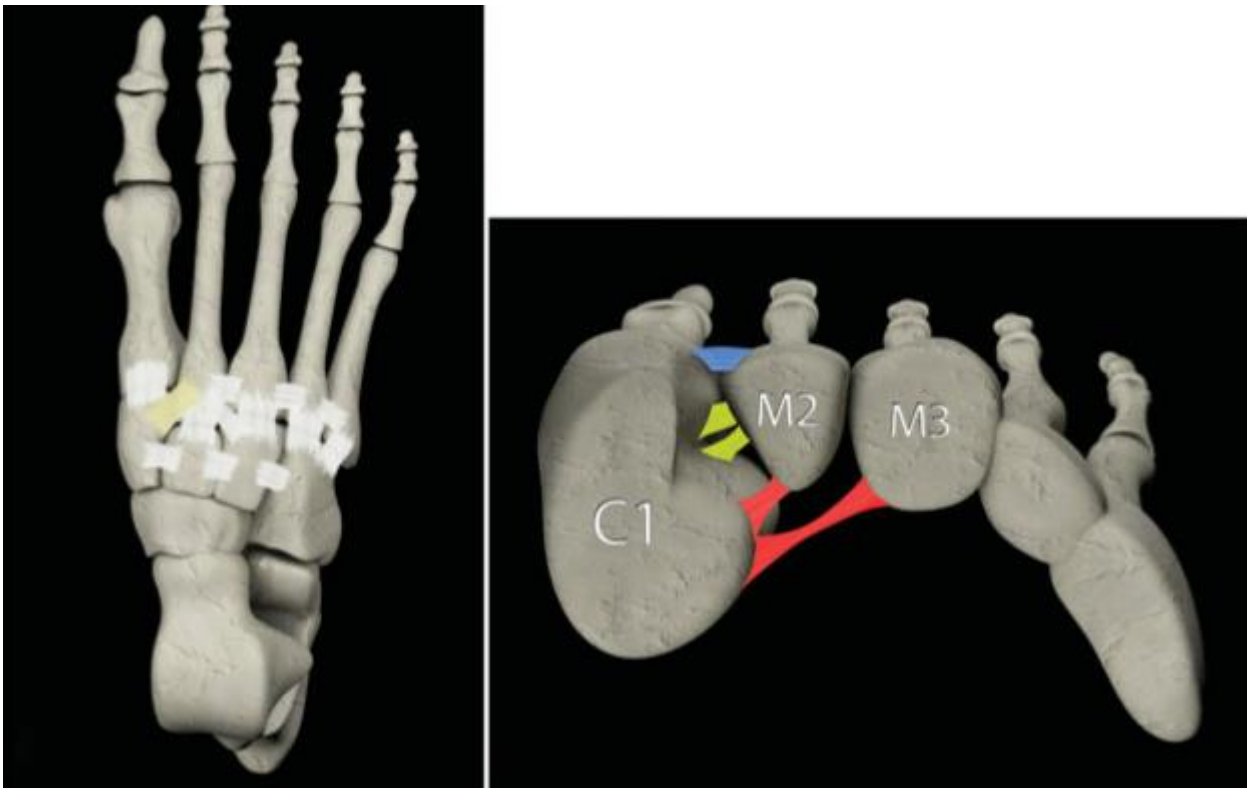

Abbildung 3: Anatomische Studie der Bandstrukturen am Mittelfuß. LINKS: Dorsoplantare Ansicht des Mittelfußes. Beachte die fehlende Bandverbindung zwischen den Basen der Ossa metatarsalia I und II. RECHTS: Koronare Ansicht des Lisfranc-Bandkomplexes zwischen Os cuneiforme mediale und den Basen der Ossa metatarsalia II und III. Dorsale Band (blau), die zwei Bündel des interossären Bandes (gelb) und der tiefe (MT II) und oberflächliche Anteil (MT III) des plantaren Lisfranc-Bandes (Abbildung aus Llopis, E., Carrascoso, J., Iriarte, I., Serrano, Mde P. und Cerezal, L. (2016) Lisfranc Injury Imaging and Surgical Management. Semin Musculoskelet Radiol. Apr;20(2), 139-53. [mit freundlicher Genehmigung des Georg Thieme Verlag KG / Lizenz-Nr: 5081261505555]

Das interossäre Lisfranc-Ligament ist das kräftigste Band in der gesamten Lisfrancgelenkreihe und verläuft zwischen Os cuneiforme mediale und der Basis des Os metatarsale II in zwei Bündeln (Makwana 2005, Panchbhavi 2013, Sripanish 2021). Ein schwacher Anteil, im Sinne einer Kapselverstärkung, verläuft vom Os cuneiforme mediale zur Basis des Os metatarsale I, daher wird es medizinhistorisch als Y-förmiges beschrieben (Fick 1904 und Quenu/Küss 1909). Das dorsale Lisfranc-Ligament ist das schwächste im Lisfranc-Bandkomplex (Johnson 2008).

In der radiologischen Auswertung des Abstandes zwischen dem Os cuneiforme mediale und der Basis des 2. Mittelfußknochens beträgt der Mittelwert der Normalpopulation 1,3 Millimeter (Faciszewski 1990).

2.1.4 Biomechanik und Verletzungsmuster

2.1.4.1 Bio- und Pathomechanik

Biomechanisch erfolgt im Lisfrancgelenk die gleichmäßige Kraftübertragung vom Mittelfuß auf die 6 lasttragenden knöchernen Strukturen im Vorfuß, die vier Metatarsalköpfchen II- V und die beiden Sesambeine unter dem Köpfchen des Os metatarsale I (Buchholz 2012). Für einen physiologischen Gangzyklus ist das Lisfrancgelenk daher in seiner Unversehrtheit essenziell. Die balancierende Funktion der Ossa metatarsalia beim Gehen mit den zwei rigiden Zentralstrahlen und den beweglicheren Randstrahlen wurde mit einem Kinderfahrrad verglichen, wobei Letztere den Stützrädern entsprächen (DeDoncker und Kowalski 1979). Andere Autoren vergleichen in der mittleren Standphase die steife mittlere Fußsäule als rigiden Hebelarm, während die beiden flexibleren Randsäulen der Ausbalancierung auf unebenen Boden dienen (Lau 2017). Neben der knöchernen und ligamentären Stabilisierung und Balancierung erfolgt zusätzlich durch die Steigbügelfunktion der Sehnen des Musculus tibialis posterior von medial und des Musculus peroneus longus von lateral eine dynamische Balancierung des Fußes beim Stehen bzw. allen Phasen des Gangzyklus.

Bei Lisfranc-Verletzungen mit und ohne Frakturen zerreißen zuerst die dorsalen Bänder (schwächste Glied der Stabilisatoren) und das interossäre Lisfranc-Ligament, bei stärkster Gewalteinwirkung (Hochrasanztrauma, Überrolltrauma, Sturz aus größer Höhe) rupturieren auch die plantaren Bänder. Beim Gehen gibt nun in der Schwungphase (push-off) das instabile Fußgewölbe nach und es wird der Stress auf die verbliebenen plantaren Bandstrukturen und die Muskulatur erhöht. In der Belastungsphase und der mittleren Standphase fehlen die rigiden Strukturen zur Kraftübertragung auf den Vorfuß (Roa 2008, MacMahon 2015). Es kommt zum Kollaps des Fußgewölbes, der unbehandelt unweigerlich in den Pes plano valgus bzw. den Pes cavus anterior führt (Zwipp 1999).

2.1.4.2 Verletzungsmuster

Wie einleitend beschrieben kann das variable Verletzungsbild der Lisfranc-Verletzung von subtilen, rein ligamentären Verletzungen, bis zur vollständigen Desintegration der gesamten Gelenkreihe reichen (Zwipp 2014, Carter 2023). 1993 konnten Vouri und Aro 66 Patient*innen mit Lisfranc-Verletzungen in 18 % mit kompletten Dislokationen, 71 % mit partiellen Dislokationen und 11% mit subtilen Verletzungen unterscheiden (Vouri und Aro 1993). In selbiger, häufig zitierter Studie unterlagen ebenso viele dieser 66 Patient*innen hoch-energetischen, wie niedrig-energetischen Traumata und dabei konnte kein Zusammenhang von der Schwere des Traumas mit der Schwere der Verletzung dargestellt werden (Vouri und Aro 1993). In der von Myerson 1986 untersuchten Gruppe von 72 Fällen mit Lisfranc-Verletzungen waren 58 (81%) polytraumatisiert (Myerson 1986). Die häufigsten Begleitverletzungen sind komplexe Fußtraumata, insbesondere Luxationsfrakturen im Chopart-Gelenk (Randt 1998, Richter 2002).

Direkte Traumata sind mit 14-21% wesentlich seltener als indirekte Traumata (Myerson 1986, Vouri und Aro 1993). Eine neuere Videoanalyse, in der 16 American Football Spieler mit Lisfranc-Verletzungen untersucht wurden, bestätigte die wesentlich häufigere indirekte Verletzung (Kent 2014). Direkte Traumata, bei denen die Kraft unmittelbar auf das Lisfrancgelenk einwirkt, resultieren häufig aus Überrolltraumata und Quetschungen. Sie sind in der Regel von schweren Weichteilverletzungen, wie Gefäß- und Nervenschäden und dem häufigen Auftreten von Kompartmentsyndrom begleitet (Wiley 1971, Myerson 1986, Early 1996, Rosenbaum 2011).

Indirekte Traumata, ob hoch- oder niedrig-energetisch, entstehen über axiale Kraftwege entlang den Fußsäulen, welche mit Rotations- und Biegekomponenten einhergehen (Myerson 2008). Dabei findet sich bei der axialen Krafteinwirkung ein fixierter und plantar-flektierter Vorfuß, gleichzeitig kommt es zu einer Rotationsbewegung, meist Supination-Pronation zwischen Vor- und Mittelfuß (Wiley 1971, Wilson 1972). Hierunter fallen typische historisch beschrieben Verletzungsmuster wie die Steigbügelverletzung beim Sturz vom Pferd (Grunert 1910), wie auch moderne Sportverletzungen, bei denen der Vorfuß festgestellt ist, wie beim Windsurfen oder Radsport (Gupta 2008). Diese Verletzungsmuster werden aber auch in Eliteathletinnen und -athleten, wie im Ballett (Llopis 2016) und im American Football (Kent 2014, MacHale 2016, Mansur 2021, Attia 2021, Maduka 2023) beobachtet. Neben den Sportverletzungen werden die indirekten

Traumata mit niedrig-energetischen Verletzungen wie Fehltritten (Treppenstufen, Bodenunebenheiten) genauso beschrieben, wie die hoch-energetische Verkehrsunfälle.

Aufgrund der anatomischen Verzahnung des zweiten Mittelfußknochens in der Fußwurzelreihe ist eine Lisfranc-Verletzung am häufigsten mit einer Basisfraktur dieses Knochens verbunden (90%, Myerson 1986). Ältere Studien beschreiben rein ligamentäre Verletzungen von etwa 10% (Vouri und Aro 1993, Peicha 2001). In der, aufgrund verbesserter Bildgebung möglichen, differenzierteren Analyse der niedrig-energetischen Traumata gehen Ponkilainen et al. 2018 in ihrer Arbeit - Incidence and Characteristics of Midfoot Injuries - von einer fünf-fach höheren Anzahl an rein ligamentären (subtilen) Lisfranc-Verletzung aus als bisher angenommen (Ponkilainen 2018).

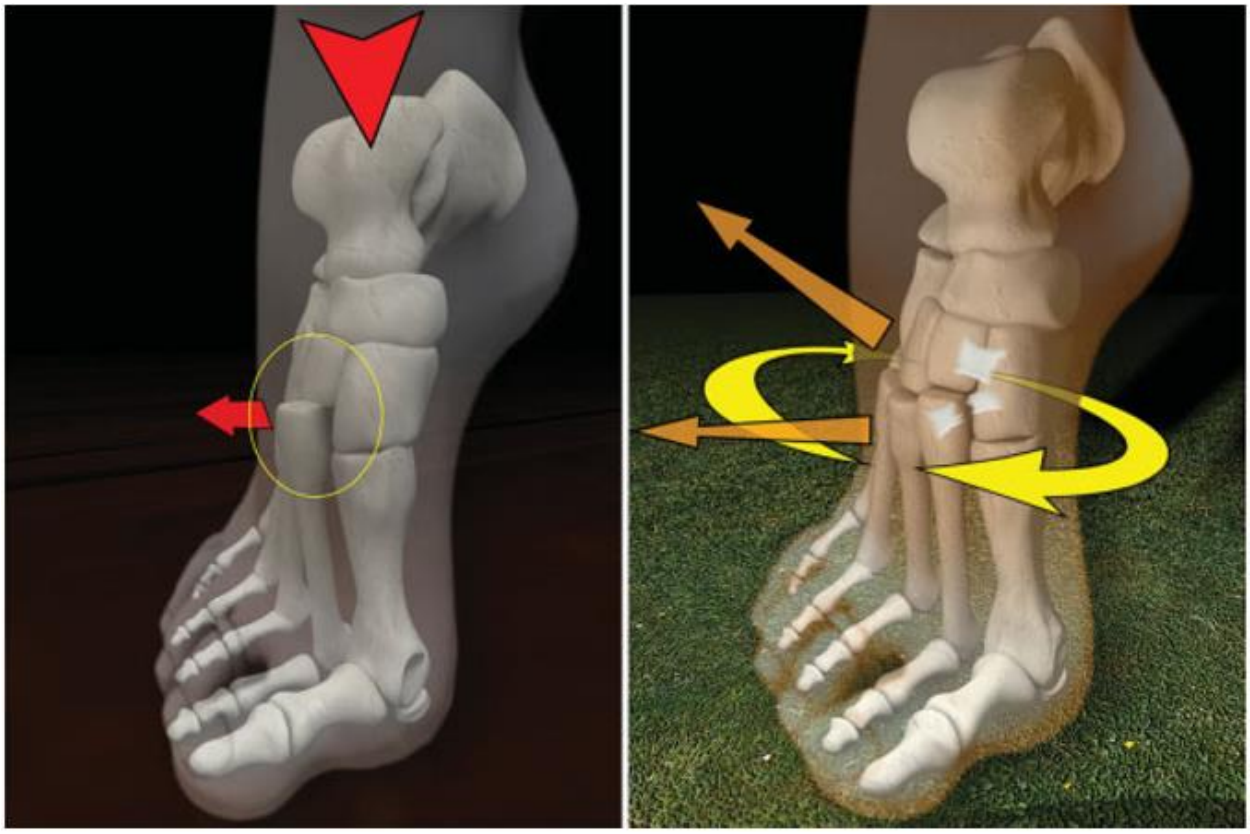

Abbildung 4: Mechanismen der indirekten Verletzung. Links: Die axiale Kraft wirkt durch den Mittelfuß auf den plantar-flektierten Vorfuß. Rechts: Bei Feststellung des flektierten Vorfußes auf dem Untergrund führen Dreh- und Rotationsbewegungen zur Luxationsverletzung im Lisfrancgelenk (Abbildung aus Llopis, E., Carrascoso, J., Iriarte, I., Serrano, Mde P. und Cerezal, L. (2016) Lisfranc Injury Imaging and Surgical Management. Semin Musculoskelet Radiol. Apr;20(2), 139-53.) [mit freundlicher Genehmigung des Georg Thieme Verlag KG / Lizenz-Nr: 5081261505555]

2.1.5 Klassifikationen

1909 legten Quénu und Küss eine Klassifikation vor, die sich an der Richtung der Luxation der Metatarsalia in der Transversalebene beschreibet. Dabei unterschieden sie drei Gruppen 1. homolateral (68%), 2. isoliert (27%) und 3. divergent (5%). Die Prozentzahlen beziehen sich auf die Häufigkeiten der Verletzungsformen (Zwipp 1994). Die homolaterale Luxation beschreibt die Luxation aller 5 Stahlen in eine Richtung, die isolierte Verletzung beschreibt die Luxation von einem oder zwei Strahlen und divergent benennt, dass Luxieren von Strahlen in entgegen gesetzten Richtungen.

Modifikationen erfuhr die Klassifikation 1982 von Hardcastle und 1986 von Myerson, der die bis heute gebräuchlichste Klassifikation hinterließ (Llopis 2016, Lau 2017). 2015 konnten Mahmoud et al. mit der Re-evaluation der Röntgenbilder von 38 Lisfranc-Verletzungen durch verschiedene Orthopäden und Radiologen die Zuverlässigkeit der Myerson Klassifikation bestätigen und als Standardterminologie für die Nutzung in der Klinik empfehlen (Mahmoud 2015). Allen Klassifikationen liegen anatomische bzw. radiologische Beschreibungen der Pathomechanismen zu Grunde; sie haben aber keine klinische Relevanz in Bezug auf Behandlung und Prognose. Daher bleibt die einfachere Erstbeschreibung von Quénu und Küss die älteste noch heute angewandte unfallchirurgische Klassifikation (Myerson 1991, Bulcholz 2012, Zwipp 2014a).

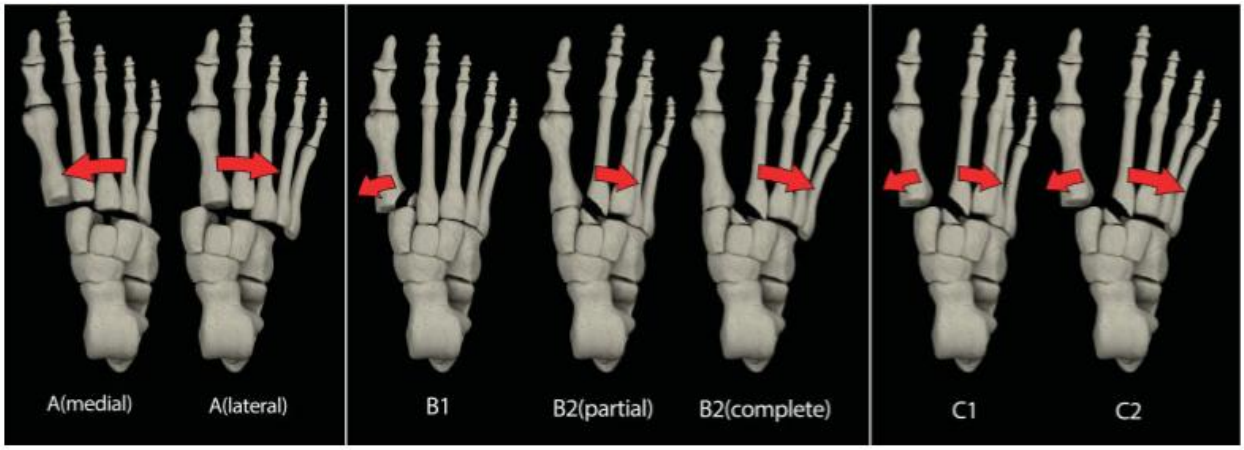

Abbildung 5: Quénu und Küss Klassifikation modifiziert nach Myerson 1986: 3 Kategorien: Typ A = vollständige Inkongruenz der Ossa metatarsalia nach medial oder lateral (homolaterale Luxation). Typ B1 = partielle Inkongruenz des 1. Strahles nach medial. Typ B2 = partielle oder komplette Inkongruenz der Ossa metatarsalia II bis V. Typ C = divergierendes Verletzungsmuster mit inkompletter (C1) oder kompletter Inkongruenz (C2) (Abbildung aus Llopis, E., Carrascoso, J., Iriarte, I., Serrano, Mde P. und Cerezal, L. (2016) Lisfranc Injury Imaging and Surgical Management. Semin Musculoskelet Radiol. Apr;20(2), 139-53.) [mit freundlicher Genehmigung des Georg Thieme Verlag KG / Lizenz-Nr: 5081261505555]

Für die Beurteilung der subtilen, rein ligamentären Verletzungen stellten Nunley und Vertullo 2002 eine Klassifikation vor, die ebenfalls 3 Stadien beschreibt und sich an der Diastase zwischen Os cuneiforme mediale und der Basis des Os metatarsale II orientiert, wie am Höhenverlust des Längsgewölbes. (Nunley 2002).

Stadium I keine Diastase, kein Höhenverlust des Längsgewölbes

Stadium II: 2-5 mm Diastase, kein Höhenverlust des Längsgewölbes

Stadium III: 2-5 mm Diastase, Höhenverlust des Längsgewölbes

2.2 Diagnostik

Da nach wie vor etwa 20 -50% der Lisfranc-Verletzungen in der initialen Untersuchung übersehen werden (Goossens 1983, Stein 1983, Sherief 2007, Kalia 2011, De Groot 2023, McDermott 2024), beschäftigt sich ein Großteil der aktuellen Literatur mit dem

Einsatz von weiterführender Bildgebung, wie Ultraschall und die Magnetresonanztomografie.

Zunächst sind Anamnese, bzw. das exakte Verständnis des Unfallherganges, und die klinische Untersuchung wegweisend. Schmerzen in der Lisfrancgelenkreihe bei Belastung oder durch den Untersucher provoziert, bei passiver Abduktion/Adduktion bzw. Pro-/Supination des Mittelfußes und fixiertem Rückfuß, lassen auf eine Verletzung schließen. In der Inspektion gilt die plantare Ekchymose als pathognomonisch (Ross 1996).

2.2.1 Bildgebende Diagnostik

Während Hardcastle seine bekannte Studie zur Klassifikation von 1982 lediglich auf Nativröntgenaufnahmen in 3 Ebenen aufbaute, konnte Goiney bereits 1985 die Wichtigkeit der CT-Diagnostik herausstellen (Hardcastle 1982, Goiney 1985). Bis heute gelten als Standard die ap (anteriore-posteriore bzw. genauer als dp (dorso-plantare)), die seitliche und die streng seitliche Nativröntgenaufnahmen des betroffenen Fußes. Aus diesen drei Aufnahmen lassen sich neben der Klassifikation, sämtliche Alignments aller Strahlen ablesen, der Abstand zwischen dem Os cuneiforme mediale und der Basis des Os metatarsale II messen, sowie das pathognomonische Fleck-Zeichen erkennen (Foster 1976, Myerson 1986 Faciszewski 1990). Das Fleck-Zeichen beschreibt eine radiologisch erkennbare Inhomogenität zwischen Basis Os metatarsale II und Os cuneiforme mediale im Sinne einer Avulsion des Lisfranc- Ligamentes (Jeffrey 1963, Myerson 1986). Eine Diastase zwischen der Basis des II. Os metatarsale und dem Os cuneiforme mediale von mehr als 2 mm (Aronow 2006) bzw. von 3 mm (Yu-Kai 2015) oder 4 mm (Myerson 1986) gelten als sicheres Zeichen für eine Lisfranc-Verletzung.

Die seitliche Aufnahme wird von Zwipp/Rammelt in einem 45°-Winkel vorzunehmen empfohlen, viele internationale Autoren sprechen von einem 30°-Winkel (Zwipp 2014, Kalia 2011, Llopis 2016).

Belastungsaufnahmen, insbesondere von beiden Füßen zum Vergleich (Davies 1999, Hatem 2008), gelten weiterhin als zielführend. 10% aller Verletzungen können ohne diese Aufnahmen nicht entdeckt werden (Arntz 1988) und 50% der subtilen

Verletzungen werden ohne Belastungs- und Vergleichsaufnahmen übersehen (Watson 2010, Siddiqui 2014, Llopis 2016, Chen 2023, Carter 2023).

Valide Stressaufnahmen in Abduktion im Lisfrancgelenk benötigen oft Anästhesie und sind bei Zugriffsmöglichkeit auf die Computertomografie obsolet (Early1996, Llopis 2016). Uneinigkeit besteht, ob die Computertomografie lediglich als Ergänzung bei diagnostischen Unklarheiten (Watson2010, Zwipp 2014) hinzugezogen wird oder als Goldstandard neben den 3 Nativaufnahmen (Lau 2017) angesehen wird. Können im Falle eines Polytraumas keine adäquaten Nativaufnahmen vorgenommen werden, bleibt die Computertomografie unerlässlich (Rosenbaum 2011, Clare 2016). Tarsale und metatarsale Frakturen können bis zu 50% häufiger erkannt werden als in den 3 Röntgennativaufnahmen; ebenfalls erlaubt die Computertomografie eine genauere Darstellung komplexer und subtilerer Frakturen und ist somit für die Operationsplanung von Vorteil (Preidler 1999, Hatem 2008, Castro 2010, Tamir 2023). Neueste Studien beurteilen Outcome und Umsetzbarkeit von Belastungsaufnahmen des verletzten Fußes im CT, hier für fehlen derzeit häufig noch die technischen Voraussetzungen (Talaski 2023, Campbell 2024)

Bei rein ligamentären Verletzungen wird die Magnetresonanztomografie, aufgrund der bestmöglichen Darstellungen der ligamentären Strukturen empfohlen (Clare 2017, Raikin 2009. Llopis 2016, Tang 2024).

Konsens besteht, dass das Hinzuziehen von Belastungsaufnahmen, der Computertomografie oder der Magnetresonaztomografie das Übersehen von Lisfranc-Verletzungen vermindert (Sherief 2007, Gupta 2008, Chen 2023). So beschreibt Hong 2016 in seinem Algorithmus zur Detektion und Behandlung von Lisfranc-Verletzungen, dass bei subtilen bzw. nicht dislozierten Verletzungen eines der 3 weiterführenden bildgebenden Verfahren hinzugezogen werden soll (Hong 2016).

Aufgrund der Verfügbarkeit und ständig technisch verbesserten Auflösung plädieren zahlreiche Autoren für die reguläre klinische Anwendung der Ultraschall-Diagnostik zur Detektion einer Verletzung des dorsalen Lisfranc-Ligamentes (Woodward 2009, Marshall 2013, Rettedal 2013, Ryba 2015, Kaicker 2016).

2.3. Aktuelle Therapiestrategien, Komplikationen und Outcome

Das unmittelbare Erkennen und Einleiten der Behandlung einer Lisfranc Verletzung ist die Grundvoraussetzung für die Vermeidung von signifikanten, langfristigen Folgeschäden (Sheibani-Rad 2012, McDermott 2024). Ist die Verletzung erkannt und die Behandlung eingeleitet, bleibt die exakte anatomische Reposition entscheidend für das Outcome der bzw. des Verletzten. Darüber herrscht Einigkeit bei vielen Autoren (Pérez-Blanco 1988, Buzzard 1998, Kuo 2000, Richter 2001, Stavlas 2010, Adib 2011, Ghate 2012, Lau 216, Campbell 2024), wie auch darüber, dass eine stabile Osteosynthese unabdingbar ist (Schepers 2013). Uneinigkeit besteht jedoch in der Diskussion, welches Behandlungsverfahren bei welcher Art der Verletzung zum Tragen kommt. Gotha et al. sprechen von einer notwendigen individualisierten Behandlung in Abhängigkeit vom Unfallmechanismus und Verletzungstyp (Gotha 2013).

2.3.1 Die konservative Therapie

Die Indikation zur konservativen Therapie besteht bei einer stabilen Lisfranc-Verletzung ohne Zeichen der (Sub-)Luxation auch unter Belastung. Zwipp und Rammelt empfehlen hierzu 3-5 Tage Entlastung in der Unterschenkel- Gips-Longuette und folgend für 6 Wochen 15 kg Teilbelastung im Lopresti-Slipper (Zwipp 2014b). Andere Autoren bevorzugen die Entlastung für 6 Wochen in der Unterschenkel-Gips-Longuette, mit einem Kontrollbelastungstest nach 10 -14 Tagen und ggf. Umstieg auf eine operative Therapie (Meyer 1994, Nunley 2002, Lau 2017, Stødle 2021). Rein ligamentäre Verletzungen bedürfen einer längeren Immobilisation von 3-4 Monaten (DeOrio 2009)

2.3.2 Geschlossene Reposition und Osteosynthese (CRIF) oder Offene Reposition und Osteosynthese (ORIF)

Ist bei einer instabilen Verletzung eine geschlossene Reposition nötig und möglich, sollte das Repositionsergebnis mit perkutan eingebrachten Kirschner-Drähten oder Schrauben fixiert werden (Kalia 2012). Da bei diesem Verfahren die exakte Reposition schwierig zu kontrollieren und es als komplikationsanfällig gilt (Faciszewski 1990), wird es lediglich bei Mehrfachverletzen, wo ein rasches Vorgehen nötig ist (Damage Control Surgery), empfohlen (Zwipp 2014). Bestehen bei einer Osteosynthese, die über eine

geschlossene Reposition vorgenommenen wird, Zweifel am Repositionsergebnis oder ist die Reposition nicht zu halten, z. B. bei Interposition von Weichteilgewebe oder instabilen Frakturen, ist auf ein offenes Verfahren umzusteigen (Jeffrey 1963, Hardcastle 1982).

In der internationalen Literatur werden die offene Reposition und Osteosynthese *open reduction and internal fixation*, kurz ORIF genannt und die geschlossene Reposition mit Osteosynthese *closed reduction and internal fixation*, kurz CRIF genannt. Die Abkürzungen finden daher auch in dieser Arbeit entsprechend Verwendung.

2.3.3 Offene Reposition und Osteosynthese (ORIF) oder Primäre Arthrodese (PA)

Die offene Reposition und interne Fixierung mittels Schraubenosteosynthese gilt vielen Autorinnen und Autoren als Goldstandard der Behandlung von Lisfranc-Verletzungen und ist bis dato die am häufigsten angewandte Methode (Sheibani-Rad 2012, Reinhardt 2012). Es sind drei Zugangswege zur Lisfranc-Gelenkreihe beschrieben: 1. der dorsomediane Längsschnitt über dem 3. Strahl unter Schonung der A. dorsalis pedis und des Nervus peroneus superficialis; 2. der dorsomediale Längsschnitt zwischen den 1. und 2. Strahl und 3. der dorsolaterale Längsschnitt zwischen 4. und 5. Strahl (Arntz 1988, DeOrio 2009). Zunächst werden die mediale und mediane Säule reponiert und fixiert. Stellt sich nach Reposition und Fixierung der medialen Strahlen nicht auch die Reposition der lateralen Säule ein (Siddiqui 2014, Mac Mahon 2015), können die beiden letzten Zugänge kombiniert werden. Zwischen ihnen sollte eine Weichteilbrücke von min. 5 cm liegen. Auch ein quer verlaufender Schnitt, der einen direkten Zugang zur gesamten Lisfrancgelenkreihe erlaubt, ist beschrieben (Mann 1996, Vertullo 2002). Dieser wird, da er die Durchblutung der Weichteile kompromittiert, kritisch betrachtet und selten vorgenommen.

Bei Vorgehen nach ORIF bleibt das Osteosynthesematerial etwa 8 Wochen in situ (Rammelt 2008). In dieser Zeit ist der bzw. die Verletzte zur Teilbelastung im Cast-Schuh angehalten. Vorsichtigere Autor*innen lassen erst nach 6 Wochen teilbelasten (Eleftheriou 2013). Es folgt der Zweiteingriff, die Materialentfernung, mit konsekutiver Steigerung der Belastung postoperativ.

Im Jahr 2000 konnten Kuo et al. 48 Patienten nach ORIF über mehrere Jahre im Follow Up beobachten. Dabei zeigte sich nach 52 Monaten bei 18 % der Versorgten eine Osteoarthrose, die eine knöcherne Lisfranc-Verletzung aufwiesen, verglichen mit 40% Osteoarthrose bei Patientinnen und Patienten, die damals eine rein ligamentäre Verletzung aufwiesen (Kuo 2000). Das Risiko der Ausbildung einer Arthrose im Verlauf nach ORIF war bereits zwischen 40% bis 94% angegeben (Sangeorzan 1990, Buzzard 1998, Kuo200). Ly und Coetzee konnten 2006 zeigen, dass 92% der Patientinnen und Patienten mit primärer Arthrodese wieder zu ihrer Belastbarkeit / sportlichen Aktivitäten von vor der Verletzung zurückfanden, im Vergleich zu 65% aus der Gruppe, die mit ORIF ohne primäre Arthrodese behandelt wurden (Ly 2006). Seitdem sind zahlreiche Studien veröffentlich worden, die Vorteile der primären, definitiven Arthrodese (ORIF with primary arthrodesis) gegenüber ORIF belegen, und zwar nicht nur bei rein ligamentären Verletzungen (Henning 2009, Reinhardt 2012, Sheibani-Rad 2012, Smith 2016, Qioa 2017, Levy 2020, Ponkilainen 2024, Mactier 2024, Vesely 2024). Smith hebt das bei der primären Arthrodese ausbleibende Risiko des Zweiteingriffes im Vergleich zu ORIF zusätzlich hervor. Qioa kommt zu dem Ergebnis, dass die Vorteile der primären definitiven Arthrodese im Vergleich zu ORIF zahlreich sind: weniger Komplikationen, kürzere Zeit der Behandlung, keinen Zweiteingriff, bessere funktionelle Genesung, höhere Patientenzufriedenheit und einen höheren AOFAS-Score (American Orthopaedic Foot and Ankle Society). Abbasian konnte hingegen darstellen, dass ORIF vergleichbare Ergebnisse aufweist, wenn das postoperative Management vorsichtiger, länger und konservativer erfolgt (Abbasian 2015)

2.3.4 Kirschner Drähte, Platten oder Schrauben

Für CRIF oder ORIF können Kirschner-Drähte zur definitiven Versorgung eingesetzt werden (Pérez Blanco 1988, Tan 1995, Rammelt 2008). Biomechanische Studien zeigen allerdings, dass durch Schrauben eine bessere Stabilität in der medialen und medianen Säule erreicht wird (Arntz 1988, Kuo 200, Lee 2004). Nach Kirschner Draht-Osteosynthese wurde von einigen Autoren eine geringgradige vermehrte Anzahl sekundärer Dislokationen gesehen (Arntz 1988; Zwipp 1994, Lin 2000; Richter 2002). Gelenkübergreifende 3,5 mm starke Schrauben können einen signifikanten Knorpelschaden im Tarsometatarsalgelenk setzen und somit die Ausbildung einer sekundären Arthrose begünstigen (Alberta 2005, Sheibani-Rad 2012). Von dorsal

eingebrachte, gelenküberspannende Platten erbringen eine vergleichbare Stabilität wie Schrauben (Alberta 2005, Sangeorzan 1989, Stern 2014, Hu 2014); von plantar eingesetzten Platten und die Wahl von winkelstabilen Implantaten zeigen sich sogar stabiler (Sangeorzan 1989, Marks 1998, Cantu 2006, Aronow 2011) und umgehen dabei eine weitere Verletzung der Gelenkfläche. Platten werden für ORIF, wie auch zur primären und sekundären definitiven Arthrodese genutzt. Die Entwicklung dünnerer und weniger auftragender Platten soll einen weichteilschonenderen Einsatz und somit ein komplikationsärmerer Outcome erbracht haben (Cosculluela 2009, Purushothaman 2010, Wilson 2010).

Um einen Zweiteingriff zur Materialentfernung zu vermeiden, können auch bio-resorbierbare Schrauben aus Polylactid eingesetzt werden (DeOrio 2009, Ahmad 2016). Kritik bleibt allerdings an der Stabilität dieses Verfahrens, wie auch weiterhin am erzeugten Knorpelschaden (Alberta 2005).

Bei schweren, offenen Verletzungen, die mit dem Verlust von deckendem Weichteilgewebe einhergehen wird neben dem Weichteilmanagement, ggf. mit Anlage einer Vacuum-Versiegelung und Folgeeingriffen mit plastischer Deckung, eine Osteosynthese mittels Kirschner-Drähten propagiert (Nithyananth 2011, Qu 2016)

2.3.5 Endobutton-Naht und Bandplastiken

Neuere Veröffentlichungen zeigen, dass bei ligamentären Lisfranc-Verletzungen ebenfalls gute Ergebnisse mit einer Endobutton Naht (z. B.: Tight Rope™, Arhrex®) zu erreichen sind (Panchbhavi 2009, Crates 2015, Jain 2017, Cottom 2020). Die Naht wird transossär im Verlauf des Lisfranc-Ligaments, also zwischen dem Os cuneiforme mediale und der Basis des Metatarsale II, ausgezogen (Cantu 2006, Cottom 2008). Zur genauen Platzierung kann das Zielgerät für die vordere Kreuzbandersatzplastik eingesetzt werden (Jain 2015). Im Verlauf wird bei diesem Verfahren eine Zunahme der Diastase kritisiert und es gilt daher der Schraubenarthrodese als unterlegen (Ahmed 2010, Aronow 2011). 2013 zeigte Wen am Kadaver, dass der Einzug einer allogenen Sehne eine vergleichbare Festigkeit mit der Schraubenfixierung bei ligamentären Lisfranc-Verletzungen aufbringen kann (Wen 2013). Hirano und Miyamoto konnten in der Lisfranc-Ligament-Rekonstruktion mittels der autogenen Gracilissehne bei

chronischen, subtilen Verletzungen gute Ergebnisse an Athleten vorweisen (Hirano 2104, Miyamoto 2015).

2.3.6 Management veralteter Verletzungen

Bestehen anhaltende Beschwerden bei einer übersehenen, oder nach unzureichend konservativ behandelter Lisfranc-Verletzung, ist die operative Therapie geboten. Hat sich bisher keine oder nur eine geringgradige Arthrose ausgebildet, werden die primäre definitive Arthrodesen, ORIF und auch die Endobutton-Naht als mögliche Therapie mit guten Ergebnissen beschrieben (Crates 2015, Miyamoto 2015, Charlton 2015, Cassinelli 2016, Clare 2017, Singh 2021). Tarcyzynska konnte 2013 darstellen, dass die Hauptursache für eine verspätete Behandlung der Lisfranc-Verletzung das primäre Übersehen der Verletzung ist. Weiterhin zeigt die Studie ein deutlich schlechterer Outcome der verspätet operierten Verletzten im Vergleich zu den unmittelbar versorgten (Tarcyzynska 2013). Ist die Verletzung bereits älter als 3 Monate sollte die primäre Arthrodese in Betracht gezogen werden (Calder 2004).

Eine reorientierende Arthrodese des Lisfranc-Gelenkes, die die Achsen- und Längenverhältnisse wiederherstellt und Instabilitäten eliminiert, sollte bei einer ausgebildeten Arthrose zur Schmerzreduktion und zur Vermeidung der Ausbildung des Vollbildes eines Pes plano valgus vorgenommen werden (Johnson 1986, Sangeorzan 1990, Horton 1993, Komenda 1996, Zwipp 2014, Kapoor 2016, Clare 2017).

2.4 Komplikationen und Prognose

2.4.1 Frühkomplikationen

Quantität und Qualität von Frühkomplikationen gehen mit der Schwere der Verletzung, insbesondere mit dem klinischen Ausmaß des Weichteilschadens einher (Zwipp 2014). Das Ausbilden eines Kompartmentsyndroms wird bei bis zu einem Drittel der Verletzten beobachtet (Myerson 1991, Richter 2002). Qu et al. zeigten 2016 an 20 Patienten und Patientinnen mit offenen Lisfranc-Verletzungen, die mit einer Kirschner-Draht Versorgung knöchern retiniert wurden und folgend die Weichteilsituation mit der Vakuumversiegelung konditioniert wurden, Infekt freie Ergebnisse (Qu 2016). Tiefe

Weichteilinfekte werden 0-4% beschrieben (Arntz et al. 1988; Kuo et al. 2000; Richter et al. 2002; Rammelt et al. 2008). 2011 sahen Nithyananth et al. bei 22 ausschließlich offenen Frakturen in 9 Fällen die Notwendigkeit zur Spalthauttransplantation, in 2 Fällen zum Suralislappen und in einem Fall zur Amputation (Nithyananth 2011).

In einer Metanalyse zur Beurteilung des Outcomes bei angewandter ORIF von Stavlas et al. konnten 8 Studien mit insgesamt 192 Fällen eingeschlossen und folgende Komplikationen beschrieben werden: Es zeigten sich in 2,6% ein Kompartmentsyndrom, Infektionen in 1,5%, Wundheilungsstörungen in 3,6%, ein Komplexes Regionales Schmerzsyndrom (CRPS) in 1% und eine tiefe Beinvenenthrombose in 0,5 % (Stavlas 2010).

2.4.2 Spätkomplikationen und Prognosen

Die Entwicklung einer posttraumatischen Arthrose im Lisfrancgelenk hängt vom Ausmaß der Verletzungsschwere, vom initialen Erkennen der Verletzung und dem Management, sowie dem Erreichen einer anatomischen Reposition und stabilen Retention ab (Mittlmeier 1997, Mulier 2002, Kapoor 2016). Nach Hardcastle und Myerson haben Typ B Verletzungen ein schlechterer Outcome als Typ A oder C (Hardcastle 1982, Myerson 1986). Typ B Verletzungen beschreiben eine partielle Inkongruenz, im Gegensatz zu den vermeintlich schwereren Typ A Verletzungen, die eine komplette einseitige Luxation der Metatarsalia (nach medial oder lateral) oder Typ C Verletzungen, die ein divergentes Luxationsmuster darstellen. Eine Erklärung hierfür ist, dass Typ B Verletzungen, insbesondere B2, häufiger übersehen werden und somit die adäquate Behandlung verzögert eingeleitet wird (Rammelt 2008, Welck 2015).

Ältere Studien belegen gänzlich unbefriedigende Ergebnisse nach geschlossener Reposition und Gipsimmobilisation einer instabilen, bzw. verschobenen Lisfranc-Verletzung (Trillat 1976, Hardcastle 1982, Myerson 1986, Mulier 1997, Zwipp 1999). Die anatomische Reposition, wenn sie denn erreicht wurde, war im Gipsverband nicht zu halten. Die Schlüsselrolle für das funktionelle Outcome, die der anatomischen Reposition zukommt (Myerson 1986, Mittelmeier 1997, Kuo 2000; Yuen 2001, Besse 2005), bedarf der stabilen Retention. Myerson et al. stellten bereits 1986 den deutlichen Vorteil der ORIF gegenüber der geschlossenen Reposition und internen Fixierung (CRIF) dar (Myerson 1986).

In der oben erwähnten Literaturübersicht von Stavlas et al. wurden nach zumeist ORIF (84%) bei 257 eingeschlossenen Patientinnen und Patienten eine Arthroserate von 49,6% ermittelt, davon bedurften nur 7,8% der sekundären Arthrodese (Stavlas 2010).

Neuere Studien an professionellen Sportler*innen, Fußballspieler*innen und American Football Spielern, zeigen gute Ergebnisse bezüglich der Wiederaufnahme der Karriere nach der operativ behandelten Lisfranc-Verletzung (Deol 2016, McHale 2016, Attia 2021, Maduka 2023). Dubois-Ferriere et al. beobachteten über einen langen postoperativen Zeitraum (im Mittel 11 Jahre) 61 Fälle, von den die Mehrheit das präoperative Aktivitätslevel wieder aufnehmen konnte. Radiologisch zeigten sich hier bei 72 % Arthrosen, davon waren 54% symptomatisch (Dubois-Ferriere 2016).

3. Herleitung der Aufgabenstellung

Anhand der in der Einleitung dargestellten Aspekte ist zu erkennen, dass die Lisfranc-Verletzung in Diagnostik und Behandlung auch für den erfahrenen Unfallchirurgen eine Herausforderung darstellt. 20 - 50% der Verletzungen werden initial übersehen, und der erkannten Lisfranc-Verletzung steht eine Vielzahl von Behandlungsstrategien gegenüber (Goossens 1983, Stein 1983, Myerson 1986, Haapamaki 2004, Kalia 2011, Carter 2023). Mit einer posttraumatischen Arthroserate von annähernd 50 % besteht die dringende Notwendigkeit der Verbesserung des funktionellen und subjektiven Outcomes der Behandlung (Stavlas 2010).

Die Veröffentlichungen der letzten Jahre diskutieren daher neben den Behandlungsstrategien, insbesondere ORIF im Vergleich zur primären Arthrodese (Qiao 2017, Weatherford 2017, Mactier 2024, Vesely 2024), ebenso die Analyse der Verletzungsmuster (Porter 2019) anatomische und biomechanischen Variationen (Ho 2019, Won 2019), diagnostische Algorithmen (Amuti 2019, Kennelly 2019) und Re-Klassifikationen. Hier scheint sich in genauerer Betrachtung der Lisfranc-Verletzungen, welche aus einem niedrig-energetischen Trauma resultieren, sogar das Verständnis, um die Entität der Lisfranc-Verletzung zu erweitern (Sivakumar 2018, Grewal 2020).

Stavlas et al. konnten 2010 in ihrer bedeutsamen Metaanalyse 11 Studien aus den Jahren 1985-2010 einschließen und somit Daten von 257 Patientinnen und Patienten auswerten; betrachtet man die einzelnen Studien so rangieren diese in einer Fallzahlgröße von 11 bis 48 (Stavlas 2010). Für die vorliegende Studie ließen sich aus dem Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité – Universitätsmedizin Berlin in einem 5-Jahreszeitraum 61 Patienten einbeziehen; eine vergleichbar große Fallzahl, die sich anbot, im Rahmen einer retrospektiven klinischen Arbeit eine Vielzahl verfügbarer Parameter bezüglich der Lisfranc-Verletzung auszuwerten. Das retrospektive Design lässt, aufgrund der fehlenden Nachuntersuchungen, nur wenig Aussagen über das Langzeit Outcome zu, betrachtet aber Parameter wie zum Beispiel den Unfallmechanismus, die angewandte Bildgebung, die Anzahl der initial übersehenen Verletzungen, oder die Wahl der Behandlungsstrategien und deren Komplikationen vollkommen unverstellt. Für viele der aktuellen, internationalen Fragen und Aspekte der Lisfranc-Verletzung lassen sich die Ergebnisse dieser Studie vergleichen und ergänzen somit die Diskussion um Daten aus einer der größten europäischen Universitätskliniken.

Die vorliegende Arbeit widmet sich, neben der Darstellung der deskriptiven Statistiken, explizit der Problematik der Vielzahl der nicht erkannten, bzw. initial übersehenen Lisfranc-Verletzungen. Es wird angenommen, dass der Mehrzahl der übersehenen Verletzung ein niedrig-energetisches Trauma, das heißt ein vermeintlich leichter Unfall zugrunde liegt. Ein Zusammenhang ist zu zeigen; das entsprechende Hypothesenpaar (Haupthypothese) lautet:

Nullhypothese: Lisfranc-Verletzungen werden bei niedrig-energetischen Traumata nicht seltener oder gleichhäufig übersehen als bei als bei hoch-energetischen Traumata.

Alternativhypothese: Lisfranc-Verletzungen werden bei niedrig-energetischen Traumata vermehrt übersehen

In einem weiteren statistischen Modell wird anschließend explorativ überprüft, ob ein Zusammenhang zwischen dem Grad des vorliegenden Weichteilschadens und der Anzahl der initial übersehenen Verletzung besteht. Die Sekundärhypothese lautet dementsprechend:

Sekundär-Nullhypothese: Lisfranc-Verletzungen werden bei einem geringfügigen Weichteilschaden nicht seltener oder gleichhäufig übersehen als bei Vorliegen eines schweren Weichteilschadens.

Sekundär-Alternativhypothese: Lisfranc-Verletzungen werden bei einem geringfügigem Weichteilschaden vermehrt übersehen.

Mit diesen Untersuchungen ergänzt diese Studie eine der jüngsten Entwicklungen in der internationalen Diskussion, die sich auf zu häufiges Übersehen der Verletzung und um die sog. subtile Lisfranc-Verletzung bezieht. Diese Arbeit leistet einen Beitrag zu einem vermehrten Erkennen der Lisfranc-Verletzung für den Erstuntersucher bzw. die Erstuntersucherin in Zukunft und hat somit klinische Relevanz.

4. Methodik

4.1 Populationscharakteristika

4.1.1 Patientenkollektiv und Einschlusskriterien

Es wurden 77 Patientinnen und Patienten in einem 5-Jahres Zeitraum, vom Januar 2011 bis zum Dezember 2015, im Campus Virchow Klinikum der Charité - Universitätsmedizin Berlin, mit Lisfranc-Luxationsverletzungen behandelt. Von 16 Fällen lag keine Dokumentation über eine Nachuntersuchung vor, es verblieben 61 Patientinnen und Patienten.

Das Patientenkollektiv wurde mittels des Klassifikationssystems der Diagnosis Related Groups (DRG) ermittelt. Sämtliche Patienten, bei denen ein ICD-Schlüssel (ICD, englisch International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems; herausgegeben von der WHO; aktuelle ICD-10 Version), der eine Luxationsverletzung des Fußes beschreibt, kodiert wurde, konnten tabellarisch aufgelistet werden. Unter den ICD-Schlüssel S93.30 bis S93.38 fanden sich in dem oben angegebenen Zeitraum 348 Fälle, von denen nach Durchsicht der digitalen Akten im Patient Management System der Charité (SAP) 77 Patientinnen und Patienten eine diagnostizierte und behandelte Lisfranc-Luxationsverletzung aufwiesen.

4.1.2 Methodisches Vorgehen bei der allgemeinen und verletzungsbezogenen Datenerhebung / Ein- und Ausschlusskriterien

Die allgemeinen demografischen Patientendaten entstammen den aus der digitalen Akte zugänglichen Informationen.

Die verletzungsbezogenen Daten werden ebenso aus den einzelnen digitalen Patientenakten und der dazugehörigen Bildgebung bezogen. Neben den allgemeinen Daten konnten so Kenntnisse über Unfallmechanismen, Begleitverletzungen, Schwere der Verletzung, sowie Behandlungsstrategien und Operationstechniken gewonnen und deskriptiv ausgewertet werden. Röntgenbilder und Computertomografien wurden ebenfalls eingesehen und verglichen. Insgesamt wurden von jedem der 77 Fällen 82 Parameter retrospektiv ermittelt, in einer Excel-Tabelle festgehalten und analysiert.

Sobald sämtliche Daten der einzelnen Patient*innen erfasst waren, konnten diese anonymisiert werden.

Aus dem ursprünglichen Patientenkollektiv wurden 61 Personen mit Follow-Up-Daten in diese Studie eingeschlossen, davon 33 Männer (54,1%) und 28 Frauen (45,9%) in einem Durchschnittsalter von 43,4 Jahren (Standardabweichung 15,6 Jahren und einer Alterspanne von 18 bis 75 Jahren). Die durchschnittliche Follow-Up-Zeit betrug 10,6 Monate (Standardabweichung 10,8 Monate, min: 2 Monate und max: 48 Monate, Medianwert: 6 Monate).

Bezüglich der Ein- und Ausschlusskriterien ist zusammenfassend zu sagen, dass sämtliche Patientinnen und Patienten des Centrums für Muskuloskeletale Chirurgie der Medizinischen Fakultät Charité mit einer diagnostizierten Lisfranc-Verletzung und Daten zum Follow-UP in einem Zeitraum zwischen 01/2011 bis einschließlich 12/2015 in diese Studie eingeschlossen wurden. Lag kein dokumentierter Follow-Up-Zeitraumvor, war dies ein Ausschlusskriterium.

Von den 61 Fällen wiesen 17 mindestens eine Begleiterkrankung auf (27,9%), davon zeigten 2 Patient*innen (3,3%) eine Polyneuropathie und ebenfalls 2 Verletzte (3,3%) einen chronischen Alkoholabusus. Von den initial 77 betrachteten Personen wurden bei 5 Verletzten psychische Nebendiagnosen kodiert; damit war diese die größte Gruppe der Begleiterkrankungen. Bei 3 von 5 Patienten fehlten allerdings Follow-Up-Untersuchungen.

Der durchschnittliche Body Mass Index betrug 25,4 mit einer Standardabweichung von 4,7.

Tabelle 1: Allgemeine Patientencharakteristika

Anzahl der Patient*innen	**61**
Durchschnittsalter in Jahren	43,4 (SD 15,6)
Alterspanne in Jahren	18 – 75
Frauen	28 (45,9%)
Männer	33 (54,1%)
Durchschnittliche Follow-Up-Zeit in Monaten	10,6 (Range 2 - 48)
Durchschnittlicher BMI	25,4 (SD 4,7)

4.2 Klassifikation und Messung der radiologischen Ergebnisse

Im digitalen Datenverarbeitungsprogramm der Charité (Patienten Management System -SAP) ist das Picture Archiving and Communication System (PACS) verlinkt. Das bedeutet, dass für jede Studienpatientin und jeden Studienpatienten sämtliche in der Charité angefertigten oder eingelesenen Nativröntgenbilder und Computertomografien einsehbar waren; ebenso die Befundungen.

Der retrospektiven Auswertung entzogen haben sich nicht eingelesene Röntgenbilder bzw. Computertomografien, die den Chirurgen zwar zum Behandlungszeitpunkt vorlagen, aber nicht Einschluss in die digitale Akte fanden. Diese Bildgebung wurde ambulant bzw. in anderen Kliniken vorgenommen und den der Charité zugewiesenen Verletzten mitgegeben. Die Kenntnis, dass eine vollständige Bildgebung während der Behandlung vorhanden war, erschloss sich in diesen Fällen lediglich aus den Arztbriefen bzw. Operationsberichten im SAP.

Tabelle 2: Nativröntgenbilder und CT

Anzahl der Verletzten	61 (100%)
Röntgenbilder	58 (95,1%)
Computertomografie	57 (93,4%)

Auch wenn nach Aktenlage die meisten Patientinnen und Patienten präoperativ (bzw. zum Behandlungsbeginn) Nativröntgenaufnahmen und eine Computertomografie des betroffenen Fußes vorwiesen, so waren in den seltensten Fällen die empfohlenen radiologischen Standards zur Detektion einer Lisfranc Verletzung erfüllt. Häufig fehlt die streng seitliche Aufnahme des Fußes, die Aufnahmen unter Belastung und die der Gegenseite (des unverletzten Fußes).

Unvollständige bzw. dem Standard unzureichende Bildgebungen fanden sich ebenso regelmäßig in den mehrfach bzw. schwer verletzten Patientinnen und Patienten, die der sogenannten Polytraumaspirale (Ganzkörper- CT oder auch Traumascan genannt) zur Bildgebung unterzogen werden. In diesen Fällen lagen keine ausreichend beurteilbaren Nativbilder vor.

Sämtliche vorliegenden Röntgenbilder und Computertomografien wurden auf das Vorliegen von Frakturen bzw. Alignmentstörungen untersucht und nachfolgend nach Quénu/Küss und nach Hardcastle/Myerson re-klassifiziert.

. 4.3 Statistische Auswertung

Aus der erfolgten Auswertung der Patientenakten und nun vorliegender deskriptiver Datenanalysen mit Häufigkeiten und Messwerten ergeben sich folgende, meist nominal skalierten Variablen, die zur Beschreibung eines hoch- bzw. niedrig-energetischen Traumas herangezogen werden können und in die anschließend schließende Statistik einfließen. Dies sind einerseits anamnestische Daten, wie der Unfallmechanismus (das Umknicktrauma) und klinische bzw. verletzungsmorphologische Daten, wie das Auftreten von Frakturen und der Grad des Weichteilschadens.

Zur Überprüfung der Haupthypothese wird eine logistische Regressionsanaylse mit den initial übersehenen Verletzungen als abhängige, kategorische Variabel (Kriterium) mit zwei Prädiktoren, dem Unfallmechanismus (Umknicktrauma) und dem Vorliegen von Frakturen (alleinige Luxation) erstellt. Die Variable Unfallmechanismus beschreibt am präzisesten, bzw. direkt die Schwere des Traumas, allerdings soll ebenso eine verletzungsmorphologische (klinische) Variabel in die Analyse einfließen, die indirekt auf ein hoch- oder niedrig-energetisches Trauma schließen lässt; hier das Vorliegen oder nicht Vorliegen von Frakturen. Ein niedrig-energetischer Verletzungsmechanismus und das Vorliegen einer alleinigen Luxation (keine Frakturen) in einer manifesten Lisfranc-Verletzung beschreiben, den sich in Klinik und Literatur immer weiter durchsetzenden Begriff der subtilen Lisfranc-Verletzung (subtle lisfranc injury) unmissverständlich (Abarquero-Diezhandino 2020, Carter 2023, Bhimani 2024, Campbell 2024, Talaski 2024).

Zwischen den weiteren Variablen, die indirekt auf die Schwere des Traumas verweisen, wie der Grad der Weichteilverletzungen oder das Vorliegen eines komplexen Fußtraumas bzw. von Mehrfachverletzungen bestehen signifikante Multikollinearitäten. Sie scheiden somit als Prädiktoren für die Regressionsanalyse aus. Der morphologische Aspekt der Verletzungsschwere zeigt sich allerdings initial in der Graduierung des Weichteilschadens und hat somit erhebliche klinische Relevanz bezüglich dem Übersehen von Lisfrac-Verletzungen.

Daher werden anschließend in einem zweiten Modell statistisch explorativ Zusammenhänge zwischen den initial übersehenen Verletzungen und den Grad der Weichteilschäden in einer Kreuztabelle dargestellt. Dies dient zur Überprüfung der Sekundärhypothese.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS Statistics 27 (Statistical Package for Social Science, IBM®, 1 New Orchard Road, Armonk, New York 10504 – 1722, USA). Die Annahme der Normalverteilung wurde durch den Kolmogorov – Smirnov Test überprüft. Die Angaben der Ergebnisse wurden als Mittelwerte mit Standardabweichung (SD) vorgenommen. Der Vergleich kategorischer Variablen wurde mittels nichtparametrischer Tests (binären logistischen Regression) durchgeführt. Die Modelgüte wurde mit dem Omnibus-Test der Modellkoeffizienten belegt, die Anpassungsgüte wurde mit dem Hosmer-Lemeshow-Test überprüft. Die Effektstärke des Tests wurde mit Nagelkerkes R^2 und Cox & Snell R^2 bestimmt. Weiterhin wurden nominal skalierte Daten mittels Chi-Quadrat-Test auf Unabhängigkeit überprüft. Multikollinearität konnte in der Korrelationsmatrix ausgeschlossen werden. Für die sich anschließenden Korrelationsanalyse wurde bei nominal skalierten Variablen der Phi-Koeffizient in der Kreuztabelle bestimmt. Ein Ergebnis wurde als signifikant betrachtet, wenn die Nullhypothese mit mindestens 95% Wahrscheinlichkeit als falsch betrachtet werden konnte ($p \leq 0{,}05$).

5. Ergebnisse

5.1 Ergebnisse der Analyse verletzungsbezogener deskriptiver Daten

5.1.1 Unfallmechanismus und Verletzungsfolgen

In 35 Fällen war der rechte Fuß betroffen (57,4%) und links in 26 Fällen (42,6%). Der häufigste Unfallmechanismus war ein Umknicktrauma (22 Fälle, 36,1%) im Sinne einer isolierten Verletzung, gefolgt von schwereren Verletzungsmustern wie dem Hochrasanztrauma (14 Fälle, 23%). Acht Patienten (13,1%) stürzten aus größerer Höhe und sechs Verletzte (9,8%) erlitten ein Überrolltrauma bzw. eine schwere Quetschungsverletzung; zwei Patient*innen zogen sich Lisfranc-Luxationsverletzungen bei einen komplexen Treppensturz zu (3,3%).

Im Rahmen eines komplexen Fußtraumas, definiert nach dem 5 Punkte System nach Zwipp, erlitten 17 Personen (27,9%) eine Verletzung des Lisfranc-Gelenkes, drei Patient*innen hatten begleitende Gefäßverletzungen (4,9%) und zwei Nervenläsionen (3,3%; Nervus peroneus profundus und superficialis). In 4 Fällen (6,6%) war eine Kompartmentspaltung nötig.

Tabelle 3: Verletzungsspezifische Charakteristika

Rechte Seite	35 (57,4%)
Linke Seite	26 (42,6%)
geschl. Weichteilschaden Grad I	18 (29,5%)
geschl. Weichteilschaden Grad II	26 (41,0%)
geschl. Weichteilschaden Grad III	17 (27,9%)
Offene Verletzungen	7 (11,5%)
Komplexes Fußtrauma	17 (27,9%)
Gefäßverletzungen	3 (4,9%)
Nervenläsionen	2 (3,3%)
Notwendige Kompartmentspaltung	4 (6,6%)
Mehrfachverletzungen	19 (31,9%)
Initial übersehene Verletzungen	10 (16,4%)
Verletzung > 4 Wochen nach Trauma	11 (18%)
Verspäteter Behandlungsbeginn	21 (34,4%)

In der Dokumentation der geschlossenen Weichteilschäden (nach Tscherne und Oestern) wurden 25 Fälle mit einem Grad II beschrieben (41,0%); Weichteilschäden Grad I (18 Fälle / 29,5%) und Grad III (17 Fälle / 27,9%) zeigten sich weniger aber in etwa zu gleichen Teilen. Offene Verletzungen fanden sich in ihrer Gesamtheit in 7 Fällen (11,5%) und waren sämtlich Grad III nach Tscherne und Oestern zu zugeordnet. Alle offenen Verletzungen standen im Zusammenhang mit einem komplexen Fußtrauma bzw. einem Polytrauma. Es sind daher unter Weichteilschaden Grad III geschlossene und offene Verletzungen im Sinne einer schweren Weichteilverletzung zusammengeführt.

Mehrfachverletzt bzw. polytraumatisiert waren 19 der Patientinnen und Patienten (31,1%). Eine beidseitige Verletzung zeigte sich in keinem der Fälle.

Initial übersehen wurden 10 Patient*innen (16,4%); weitere 11 Verletzte (18%) stellten sich langfristig verspätet in ärztlicher Behandlung vor. In dieser Gruppe war nicht eindeutig zu klären, ob ggf. doch ein ambulanter Arztkontakt bezüglich der Verletzung zuvor stattfand. Festzuhalten ist, dass 21 (34,4 %) von 61 Verletzten ein verzögerter Behandlungsbeginn zukam.

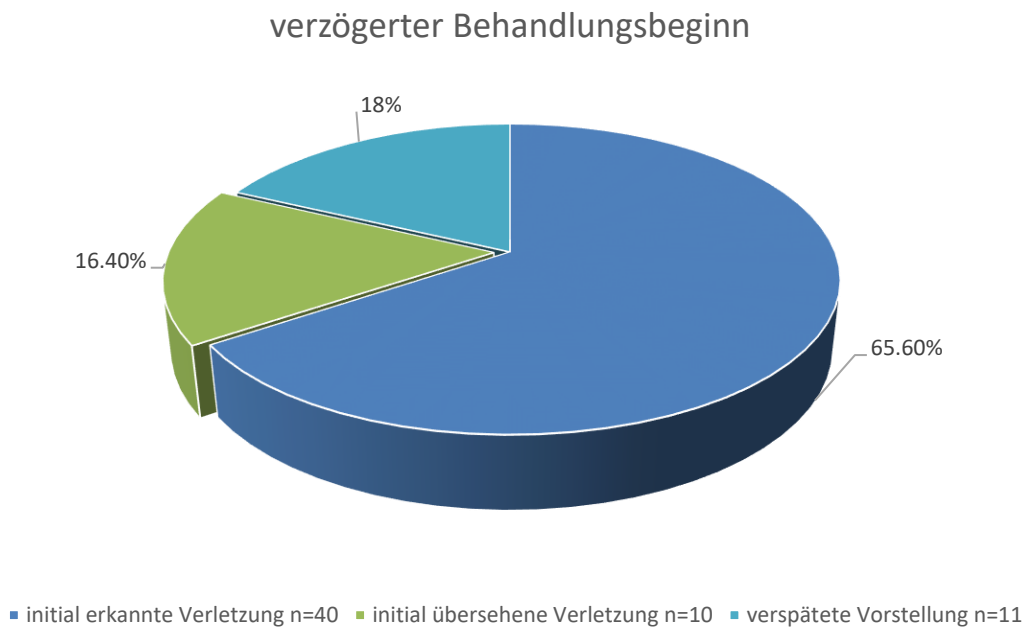

Abbildung 6: 34,4% der Verletzten (n=21) unterlagen einem verzögerten Behandlungsbeginn

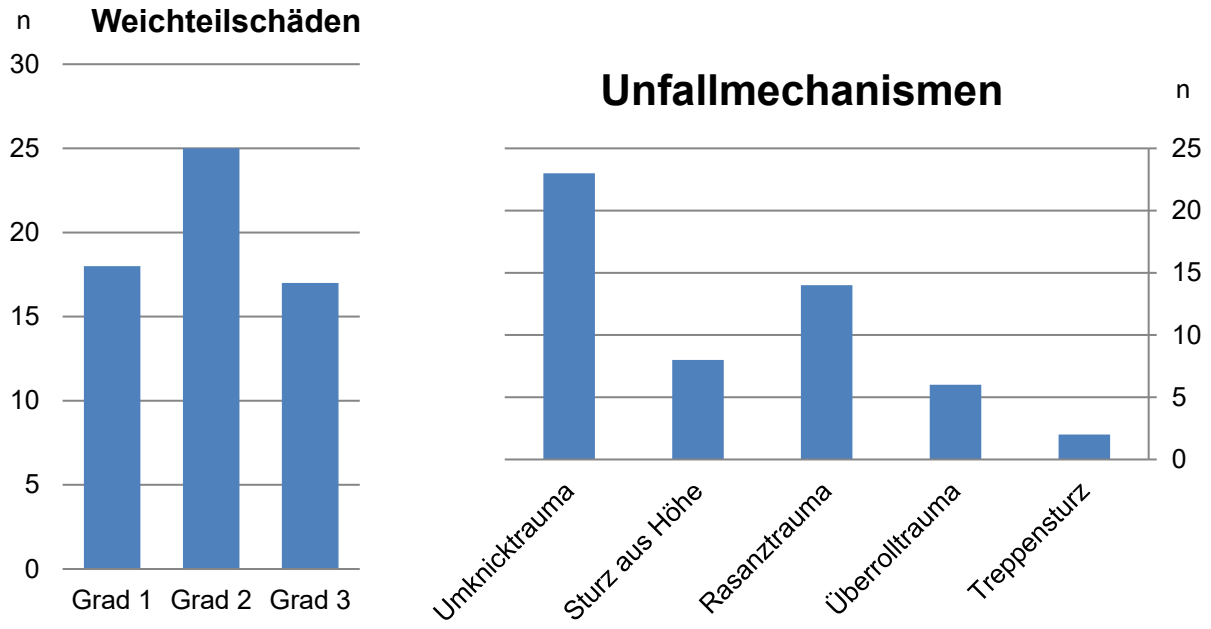

Abbildung 7: Geschlossene und offene Weichteilschäden (nach Tscherne und Oestern) und die Unfallmechanismen in ihrer absoluten Anzahl (y-Achse: n = Anzahl der Verletzten). Unter Weichteilschaden Grad 3 sind geschlossene und offene Verletzungen, im Sinne eines schweren Weichteilschadens zusammengeführt. Sämtliche offenen Verletzungen waren als drittgradig beschrieben.. Das Umknicktrauma stellt deutlich die größte Gruppe der Verletzungsmechanismen dar.

5.1.2 Ermittlung der Behandlungspfade und Operationsmethodik

5.1.2.1 Konservative oder operative Behandlung

Von den 61 eingeschlossenen Patientinnen und Patienten wurden lediglich 4 konservativ behandelt (6,6%), das heißt in 93,4% der Fälle (57 Verletzte) wurde operiert. Von den 4 konservativ behandelten Fällen, waren 3 Patient*innen auch für diese Behandlung vorgesehen; ein Patient hat sich nach 4 Tagen stationären Aufenthalt präoperativ gegen ärztlichen Rat selbst entlassen, erscheint aber zu einem späteren Zeitpunkt (nicht operiert) wieder im Follow Up. Betrachtete man die gesamte Population der ermittelten 77 Fälle mit einer Lisfranc-Luxationsverletzung, ergäbe sich ein höherer Anteil von 10,4% (8 von 77 Patienten) konservativ behandelter Fälle. Diese Patientengruppe entzog sich allerdings vermehrt der Nachuntersuchung und somit auch den Einschlusskriterien.

Die konservative Behandlung, wie auch die postoperative Nachbehandlung, erfolgte nach abschwellenden Maßnahmen im Short-Walker mit Bodenkontakt (ohne Belastung des betroffenen Fußes) für 6 bis 12 Wochen. Regelmäßige klinische und radiologische Kontrollen, sowie die Vorstellung in der Fußsprechstunde des Centrums für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité – Universitätsmedizin Berlin wurden vor und nach Aufbelastung empfohlen. Im Pool der operierten Fälle wurden die mit Kirschner-Drähten versorgten Patientinnen und Patienten zur Materialentfernung wieder einbestellt. Hier sollte die Vollbelastung erst nach der Implantatentfernung angestrebt werden. Der durchschnittliche, erste Krankenhausaufenthalt - also direkt nach Verletzung bzw. nach Zuweisung zur operativen Behandlung kurz nach der Verletzung – betrug 13,5 Tage (Standardabweichung 14,9 Tage, mit einem Minimum von 2 Tagen und Maximum 86 Tagen). Der durchschnittliche Zeitpunkt der operativen Versorgung der Patientinnen und Patienten nach dem Unfall beträgt 35,4 Tage, wobei die Zeitspanne zwischen der sofortigen Notfalloperation und, bei verzögerter Diagnostik und Therapie, 480 Tagen nach Unfall rangiert (Standardabweichung 87,2 Tage).

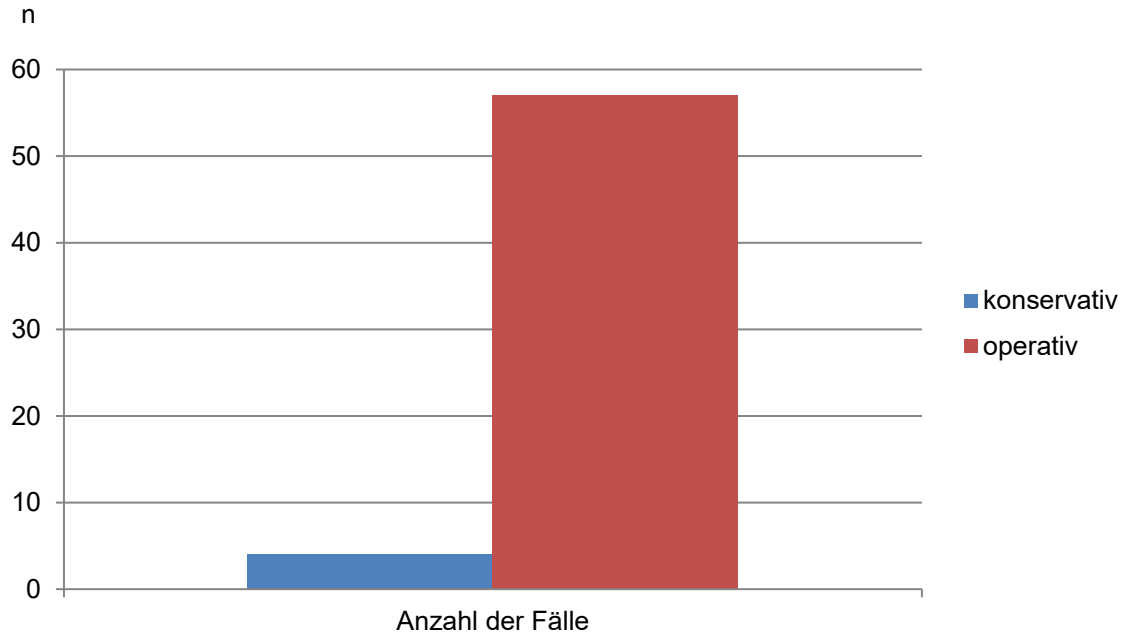

Abbildung 8: Verhältnis der Anzahl der konservativen zur operativen Behandlung. Die y-Achse n beschreibt die Anzahl der Verletzten

5.1.2.2 Operationsmethodik und Materialien

Eine initiale Kompartmentspaltung war bei 4 Patient*innen notwendig (6,6% von 61 Fällen). Insgesamt wurden 8 Verletzte unmittelbar nach Eintreffen in der Klinik im Sinne einer Notfallindikation versorgt (13,1%). All diese Verletzten wiesen entweder ein Polytrauma, ein komplexes Fußtrauma oder ein manifestes bzw. drohendes Kompartmentsyndrom auf. Bei 6 von diesen 8 Fällen mussten initial zusätzliche Osteosynthesen vorgenommen werden. Die schweren Begleitverletzungen der Mehrfachverletzten, wie z.B. Pneumothorax, Schädel-Hirn-Trauma (SHT), ausgedehnte Verbrennungen, instabile Wirbelkörperfrakturen oder offene Frakturen großer Knochen standen häufig im Vordergrund der Notfallbehandlung.

In der gesamten Population wurde mit der Versorgung der Lisfranc-Luxationsverletzung in 27 Fällen (44,3%) mindestens eine weitere Osteosynthese vorgenommen. Hierunter finden sich neben peripheren Frakturen und deren Versorgung auch Osteosynthesen am ipsilateralen Fuß, die nicht der Retention im Lisfrancgelenk dienen.

Der Großteil der Patientinnen und Patienten wurde nach abschwellenden Maßnahmen und vollständiger Bildgebung (Anfertigung einer Computertomografie) operiert. In 45 Fällen konnte einzeitig vorgegangen werden (73,8% der 61 Fälle). Alle aufgeschobenen Eingriffe wurden vom Team der Sektion Fuß- und Sprunggelenkschirurgie des Centrums für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité vorgenommen.

Die durchschnittliche Operationszeit beträgt 121 Minuten (min: 36 Minuten und max: 337 Minuten, Standardabweichung 64,6 Minuten).

Von den insgesamt 61 Fällen erhielten 46 Patientinnen und Patienten in ihrer Absolutheit eine Kirschner-Draht-Osteosynthese (75,4%), 26 Verletzte (42,6%) Schraubenosteosynthesen und 12 Verletzte (19,7%) eine Plattenosteosynthese. Dabei wurden Kombinationen der Verfahren wie folgt angewandt: 12 Verletzte (19,7%) wurden mit Kirschner-Drähten und Schrauben versorgt, 8 (13,1%) Verletzte mit Schrauben und mindestens einer Platte, 3 Verletzte (4,9%) erhielten alle 3 Osteosynthese Materialien und einer (1,6%) wurde mit einer Platte und Kirschner-Drähten versorgt. Die alleinige Kirschner-Draht Osteosynthese, als insgesamt häufigstes Versorgungsverfahren, kam bei genau 30 Patient*innen zum Tragen (49,2%).

Mit in der Regel 2 mm starken Kirschner-Drähten wird nach anatomischer Reposition im Lisfranc-Gelenk eine temporäre Arthrodese vorgenommen. Die Wiedereinbestellung der Patientinnen und Patienten zur Entfernung der Kirchnerdrähte erfolgte im Mittel nach 76 Tagen (Standardabweichung 52,3 Tage, Minimum 38 Tagen und Maximum 365 Tagen). Seltener erfolgte die Materialentfernung nach Platten bzw. Schraubenosteosynthese. Bei insgesamt 49 Verunfallten wurde eine Implantatentfernung, ob geplant oder bei manifesten Komplikationen, vorgenommen (80,3%).

In Abhängigkeit vom Verletzungsausmaß bzw. der bereits vorliegenden Arthrose im Lisfranc-Gelenk erhielten 8 Verletzten (13,1%) eine primäre Arthrodese. Eine primäre Amputation wurde bei keinem der Verunfallten vorgenommen.

Jeder der 61 Fälle war anhand der Datenlage einem Behandlungsregime zuzuordnen, als diese zunächst in operativ und konservativ (siehe Abbildung 7) unterteilt wurden. Die operative Behandlung konnte, bei Betrachtung der Methodik bzw. des Vorgehens, in ORIF, CRIF und Anlage einer primären Arthrodese differenziert werden (siehe Abbildung 9).

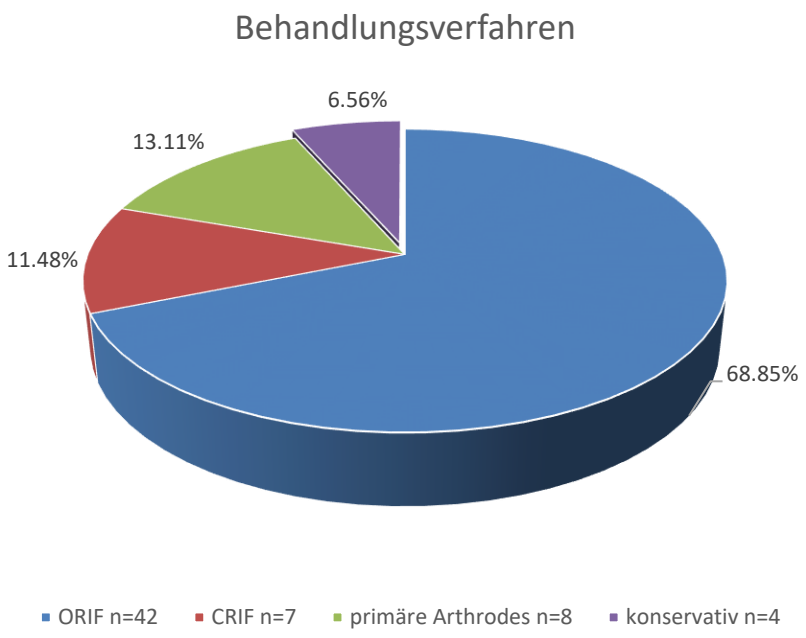

Abbildung 9: Von sämtlichen 61 Fällen wurden 4 konservativ behandelt, alle anderen einem operativen Verfahren unterzogen. Mit knapp 69 % stellte ORIF das Verfahren der Wahl dar. Die primäre Arthrodese als zweithäufigstes Verfahren erfolgte lediglich bei 13,1%.

5.1.3 Ermittlung der Komplikationen und deren Management

5.1.3.1 Art der Komplikationen

In 16 von den 61 betrachteten Fällen wurden Komplikationen im Verlauf beobachtet (26,2%). Diese Daten ergaben sich einerseits aus der Analyse des Falles zum Operationszeitpunkt bzw. im Erstaufenthalt und andererseits aus der Durchsicht der Follow-Up-Dokumentation in der gesamten Patientenakte. Hierzu wurden, wie zur Analyse sämtlicher Studiendaten, ausschließlich digitale Daten, die im SAP hinterlegt sind, verwandt. Fünfzehn Patientinnen und Patienten mit Komplikationen wurden zuvor operativ versorgt; in einem Fall zeigte sich ein komplizierter Verlauf bei konservativer Therapie.

Am häufigsten wurden mit 10 Fällen Wundheilungsstörungen (16,4%) beschrieben, hierunter finden sich auch 3 nachgewiesene Infektionen (4,9%), davon zwei bei offenen Verletzungen.

Therapieversager im Sinne einer sekundären Dislokation nach stattgehabter Osteosynthese erlitten 2 Patienten (3,3%).

In 14 Fällen (23%) konnte im Follow-Up eine Arthrose im Lisfrancgelenk dargestellt werden. Vier Verletzte (6,6%) verblieben mit chronischen Schmerzen.

5.1.3.2 Revisionen

Revisionspflichtig waren 14 Fälle (23%). Hierzu konnten die Art der Revision, die Anzahl der Revisionseingriffe und der Zeitraum ermittelt und dargestellt werden. Der Großteil der Revisionseingriffe war bei Wundheilungsstörungen (mit und ohne Infektion) notwendig. In 6 Fällen wurde eine plastische Deckung vorgenommen (9,8%). Das Maximum der Folgeeingriffe waren 8 in einem Zeitraum von 35 Tagen; hier wurde nach Débridement, Anlage und mehrfachem Wechsel der Vacuumversiegelung schließlich eine Lappenplastik vorgenommen.

Allerdings musste bei insgesamt 4 Verletzten (6,6%) eine sekundäre Arthrodese vorgenommen werden. In 2 Fällen bedurfte es der Amputation im Verlauf (3,3%).

Tabelle 4: Komplikationen und Revisionen

Anzahl der Verletzten	61
Konservativ behandelt	4
Operativ behandelt	57
Komplikationen gesamt	16 (26,2%)
Wundheilungsstörungen	10 (16,4%)
Infektionen	3 (4,9%)
Sekundäre Dislokation	2 (3,3%)
Arthrose im Verlauf	14 (23%)
Chronische Schmerzen	4 (6,6%)
Revisionen (Verletztenanzahl)	14 (23%)
Plastische Deckung	6 (9,8%)
Arthrodese im Verlauf	4 (6,6%)
Amputation im Verlauf	2 (3,3%)

5.1.4 Beschreibung der skelettalen Verletzungsmuster

5.1.4.1 Alleinige Luxationen

Nur selten kam es beim Unfall zu einer alleinigen Luxation im Lisfrancgelenk. In 5 Fällen (8,2%) konnte eine Luxation ohne radiologische Frakturzeichen am Tarsus oder Metatarsus nachgewiesen werden.

Zur Einteilung der spezifischen Verletzungsmuster wurden Röntgenbilder und Computertomografien und deren Befundung herangezogen und ausgewertet, zusätzlich wurde der Operationsbericht gegengelesen. Jede kleinste Avulsionsfraktur bzw. jeder knöcherne Flake wurde tabellarisch erfasst.

5.1.4.2 Frakturen

Den Tarsus zunächst betrachtet, ergab sich die Frage nach einer knöchernen Beteiligung überhaupt, und wenn, ist diese isoliert (nur ein Fußwurzelknochen ist betroffen) oder kombiniert.

Tabelle 5: Verletzung des Tarsus

Anzahl der Verletzten	61 (100%)
keine Fraktur	24 (39,3%)
isolierte Fraktur	8 (13,1%)
kombinierte Frakturen	27 (44,3%)
Fehlend	2 (3,3%)

Wertete man die 8 isolierten Frakturen der distalen Fußwurzelreihe aus, so zeigte sich in 4 Fällen eine Beteiligung des Os cuneiforme mediale (I), in 2 Fällen des Os cuboideums und in jeweils einem Fall die Ossa cuneiforme intermedium (II) und laterale (III).

In der absoluten Verteilung der isolierten und der wesentlich häufigeren kombinierten Verletzungen zeigten sich, dass das Os cuneiforme I und III mit 25 Frakturen jeweils (41%) am meisten betroffen sind. Das Os cuneiforme II ist in 21 Fällen frakturiert

(34,4%) und das Os cuboideum ist am seltensten betroffen mit 18 Frakturen (29,5%).

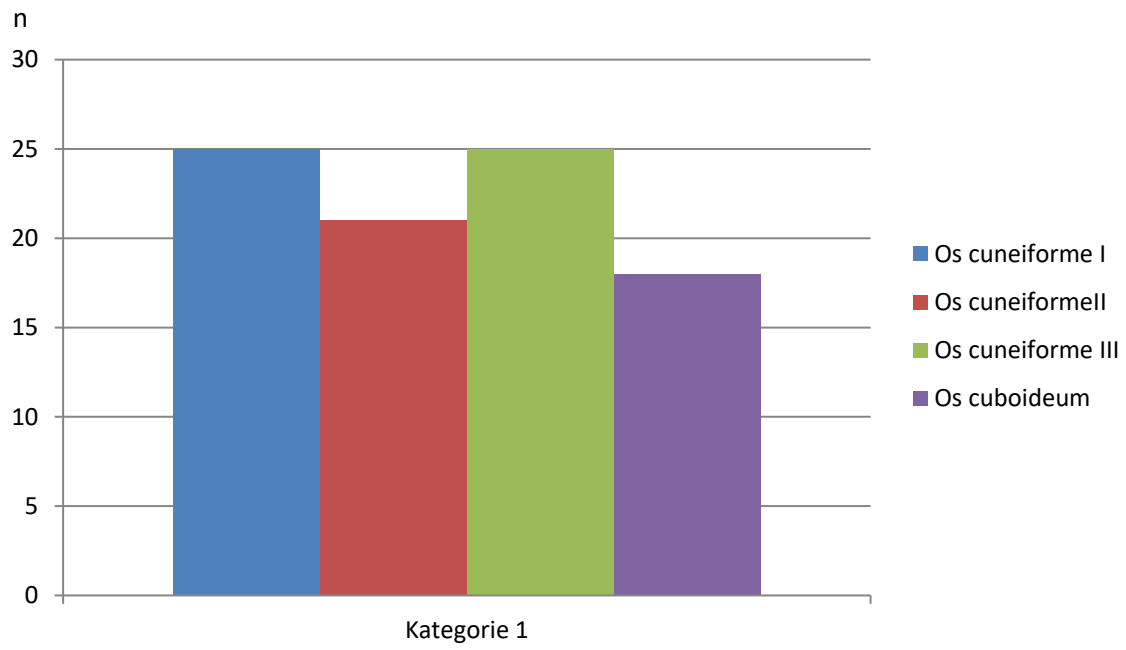

Abbildung 10: Absolute Häufigkeiten der Verletzung der einzelnen Fußwurzelknochen der Lisfranc-Gelenkreihe. Diese unterscheiden sich untereinander nur gering. Die y-Achse n beschreibt die Anzahl der Verletzungen innabsoluten Zahlen.

In ähnlicher Weise wurde der Metatarsus betrachtet und ausgewertet: Bei 11 Patient*innen konnte keine Fraktur am Metatarsus nachgewiesen werden (18%). Am häufigsten fanden sich Kombinationsverletzungen mit Frakturen mehrerer Mittelfußknochen; isolierte Frakturen eines Knochens erreichten selbst addiert keine 25%. Insgesamt überwiegten deutlich die Verletzung der medialen und intermediären Fußsäulen gegenüber der lateralen. Isoliert und kombiniert stellte sich die Fraktur des Os metatarsale II als häufigster Mittelfußknochenbruch im Rahmen einer Lisfrancluxations-Verletzung heraus.

Tabelle 6: Mittelfußfrakturen

Anzahl der Verletzten	61 (100%)
keine Fraktur	11 (18%)
isolierte Fraktur MT I	6 (9,8%)
isolierte Fraktur MT II	8 (13,1%)
isolierte Fraktur MT III	1 (1,6%)
kombinierte Frakturen mit MT II	32 (52,5%)
kombinierte Frakturen ohne MT II und mit MT V	2 (3,3%)
Fehlend	1 (1,6%)

(MT = Os metatarsale)

5.1.4.3 Ermittlungen der Distanz zwischen der Basis Os metatarsale I und II

Der in der dorsoplantaren (dp) Röntgenaufnahme zu messender Abstand zwischen der Basis des Metatarsale I und Metatarsale II (siehe Abbildung 6 Bild a) beträgt im Mittelwert der unverletzten Normalpopulation 1,3 Millimeter (Faciszewski 1990) und ist neben den oben erwähnten Frakturzeichen und der Bestimmung verschiedener Alignments ein wichtiges Maß zur Detektion von Lisfranc-Luxationsverletzungen im Nativröntgenbild.

Auch im Rahmen dieser retrospektiven Studie wurde der Abstand zwischen den Basen der Metatarsale I und II zu 3 Zeitpunkten ermittelt, zunächst unmittelbar nach dem Unfall aus der vorliegenden Erstaufnahme, folgend aus dem Bild direkt nach operativer Versorgung und schließlich nach erfolgter Materialentfernung bzw. zum Abschluss des Follow Up (in vielen Fällen beendete die Implantatentfernung und das postoperativ angefertigte Nativröntgenbild auch das Follow Up).

Bei der Messung wurden die vorhandenen dorsoplantaren Aufnahmen zu jedem der 3 Zeitpunkte eingeschlossen. Ob Belastungsaufnahmen (Standaufnahmen) vorlagen oder nicht konnte im einzelnen Fall nicht immer geklärt werden. Auswertbares Bildmaterial lag von 48 Patienten zum Unfallzeitpunkt vor, von 46 Patientinnen und Patienten nach der Versorgung und von 34 Patienten zum Abschluss.

Tabelle 7: Abstand zwischen Basis Metatarsale I und II in Millimetern

	Anzahl	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Initial	48	1,47	9,79	**3,85**	1,62
Post-OP	46	1,48	6,38	**3,10**	1,02
Abschluss	34	1,62	8,65	**3,32**	1,32

5.1.4.4 Alignments

Gleich dem Vorgehen der Messung des Abstandes zwischen den Basen der Metatarsalia I und II, wurden 3 Alignements zwischen Tarsus und Metatarsus gewählt, die ebenfalls zu den 3 verschiedenen Verletzungs- bzw. Behandlungszeitpunkten gemessen und verglichen wurden. Um die häufigsten Verletzungsmuster der Lisfrancluxations-Verletzung zu detektieren, wurden die mediale, intermediäre, wie auch die laterale Fußsäule mit einbezogen. An der medialen Säule wurde das Alignment zwischen Os cuneiforme I und dem Os metatarsale I lateralseits, an der intermediären Säule zwischen Os cuneiforme II und Os metatarsale II medialseits gewählt, um die häufigen Luxationen zwischen I. und II. Strahl zu beschreiben. Für die laterale Säule wurde das Alignment zwischen Os cuboideum und Os metatarsale IV medialseits gewählt, da dieses im unverletzten Fall deutlich und langstreckig einsehbar ist (siehe rote Linien auf Abbildung 11 / das Alignment zwischen Os cuneiforme III und Os metatarsale III medialseits wurde nicht bewertet).

Generell beschreibt das Alignment eine Fluchtlinie (Duden, online, 2017). Medizinisch, insbesondere in der Unfallchirurgie/Orthopädie und Radiologie, wird über das Alignment eine Anordnung bzw. Ausrichtung von knöchernen Strukturen in ihrer Flucht beschrieben. Abweichungen von der harmonischen, anatomischen Fluchtlinie können durch das Nachzeichen des Alignments beschrieben werden. Der englische Sprachgebrauch hat sich auch in der deutschen Fachsprache durchgesetzt.

In dieser Studie wurden die Alignments mit ‚well', im Falle einer anatomischen (harmonischen) Anordnung und mit ‚not well' bei pathologischen Abweichungen beschrieben. Lagen keine Bilder vor so wurde dieses festgehalten. Ebenso, da für die Beurteilung des Alignments die dorsoplantare und die seitliche Nativaufnahmen des

Fußes unerlässlich sind, wurde festgehalten, wenn die Bilder von unzureichender Qualität oder unvollständig waren. Zum Zeitpunkt der Verletzung konnte beispielsweise in 47 Fällen die dorsoplantare Aufnahme beurteilt werden aber nur 40 Fälle mit einer dazugehörenden seitlichen Aufnahme für die laterale Säule. Zum Abschluss lagen von 35 Verletzten beurteilbare Bilder vor. Zur besseren Übersicht werden die 3 beurteilten Alignments kurz 1. Strahl, 2. Strahl und 4. Strahl benannt.

Tabelle 8: Alignments: Beurteilung der Nativröntgenbilder **nach Verletzung**

	1.Strahl	**2.Strahl**	**4.Strahl**
Anzahl	61 (100%)	61 (100%)	61 (100%)
well	32 (52,5%)	18 (29,5%)	31 (50,8%)
not well	15 (24,6%)	29 (47,5%)	9 (14,8%)
keine Bilder	11(18,0%)	11 (18,0%)	17 (27,9%)
nicht beurteilbar	3 (4,9%)	3 (4,9%)	4 (6,6%)

Tabelle 9: Alignments: Beurteilung der Nativröntgenbilder **nach Versorgung**

	1.Strahl	**2.Strahl**	**4.Strahl**
Anzahl	61 (100%)	61 (100%)	61 (100%)
well	45 (73%)	36 (59%)	42 (68,9%)
not well	5 (8,2%)	14 (23%)	5 (8,2%)
keine Bilder	10 (16,4%)	10 (16,4%)	11 (18%)
nicht beurteilbar	1 (1,6%)	1 (1,6%)	3 (4,9%)

Tabelle 10: Alignments: Beurteilung der Nativröntgenbilder **zum Abschluss**

	1.Strahl	**2.Strahl**	**4.Strahl**
Anzahl	61 (100%)	61 (100%)	61 (100%)
well	27 (44,3%)	22 (36,1%)	30 (49,2%)
not well	4 (6,6%)	9 (14,8%)	1 (1,6%)
keine Bilder	30 (49,2%)	30 (49,2%)	30 (49,2%)
nicht beurteilbar	0	0	0

5.2 Re-Klassifikation

Den in der Einleitung beschriebenen Klassifikationen nach Quénu und Küss von 1909 und deren Modifikationen nach Hardcastle (1979/1982) und Myerson (1986) wurden sämtliche Nativröntgenbilder nochmals unterzogen und erst- bzw. re-klassifiziert. Beiden Klassifikationen wurden die Einteilungen a) *komplex* und b) *subluxiert* hinzugeführt. Unter *komplex* wurden Verletzungsmuster gefasst, die das radiologische Bild eines schweren komplexen Fußtraumas beschreiben und nicht mehr eindeutig und alleinig über die Lisfranc-Verletzung zu beschreiben waren. Lag radiologisch eine unvollständige Ausrenkung vor bzw. konnte lediglich klinisch bzw. vom Operateur eine Instabilität beschrieben werden, wurden diese Fälle unter *subluxiert* zusammengetragen. Da, wie oben beschrieben, nicht in jedem Fall auswertbare Röntgenbilder vorlagen und zum Teil vom Operateur bereits eine Klassifikation vorgenommen wurde, wurde diese in die Tabelle der Gesamtheit der Fälle übernommen.

Tabelle 11: Quénu/Küss

Anzahl der Fälle	61 (100%)
Homolateral	43 (70,5%)
Isoliert	3 (4,9%)
Divergierend	2 (3,3%)
Komplex	8 (13,1%)
Subluxiert	2 (3,3%)
Fehlend	3 (4,9%)

Tabelle 12: Hardcastle/Myerson

Anzahl der Fälle	61 (100%)
Type A	17 (27,9%)
Type B1	2 (3,3%)
Type B2	25 (41%)
Type C1	0
Type C2	1 (1,6%)
Komplex	8 (13,1%)
Subluxiert	2 (3,3%)
Fehlend	6 (9,8%)

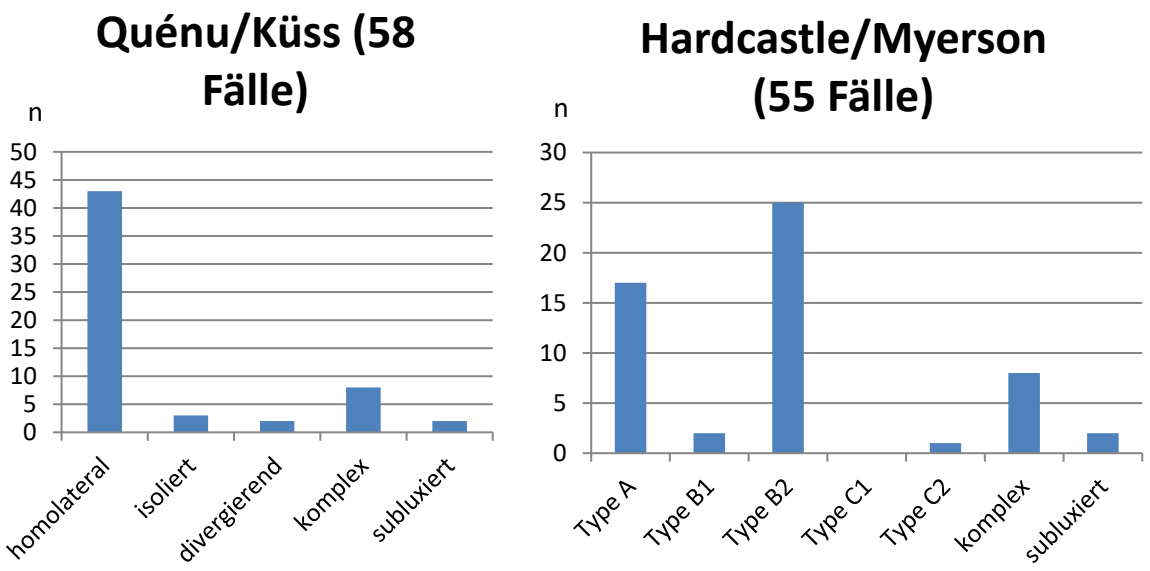

Abbildung 11: Typisierung der einzelnen Verletzungen nach Quénu und Küss, sowie nach Hardcastle und Myerson in absoluten Häufigkeiten. Homolaterale und die Type B2 Verletzungen beschreiben jeweils die Mehrzahl der Verletzungen. Die y-Achse n beschreibt jeweils die Anzahl der Fälle.

5.3 Ergebnisse der Regressionsanalyse

Eine binäre logistische Regressionsanalyse wurde vorgenommen, um den Einfluss von niedrig-energetischen Traumata und das Vorliegen von Frakturen im verletzten Fuß auf die Wahrscheinlichkeit des Erkennens der Lisfranc-Verletzung in der Erstuntersuchung zu untersuchen. Um Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten, werden Herleitung, Voraussetzungen und Gütequalitäten folgend mit angegeben. Dieses statistische Modell testet das **Haupthypothesenpaar**:

Nullhypothese: Lisfranc-Verletzungen werden bei niedrig-energetischen Traumata nicht seltener oder gleichhäufig übersehen als bei als bei hoch-energetischen Traumata.

Alternativhypothese: Lisfranc-Verletzungen werden bei niedrig-energetischen Traumata vermehrt übersehen.

5.3.1 Initial übersehene Verletzung und das niedrig-energetische Trauma

Die initial übersehen Fälle stellen im vorliegenden binären logistischen Regressionsmodel die abhängige, kategorische Variable dar. Als unabhängige Variablen werden die Fälle des Unfallmechanismus (hier die kategorische vorliegenden Werte des sog. Umknicktrauma als niedrig-energetisches Trauma) und das Vorliegen einer alleinigen Luxation (die Fälle ohne Fraktur, die subtile Lisfranc-Verletzung) zu gleichen Teilen eingeschlossen. Diese beiden Variablen sind ebenfalls nominalskaliert.

Initial übersehen = abhängige Variable

Alleinige Luxation = unabhängige Variable

Umknicktrauma = unabhängige Variable

Angewandt auf die vorliegenden Daten lautet das logistische Regressionsmodell wie folgt:

$$P(y = 1) = \frac{1}{1+e^{-z}}$$

$$P(initial\ übersehen = 1) = \frac{1}{1+e^{-(B_0+B_1*alleinige\ Luxation+B_2*Umknicktrauma)}}$$

P(y=1) = Wahrscheinlichkeit, dass y = 1

y = unabhängige Variable (initial übersehen)

z = Logit (lineares Regressionsmodell der unabhängigen Variablen)

e = Basis des natürlichen Logarithmus, Eulerschen Zahl

B = Regressionskoeffizient

Tabelle 13: Zusammenfassung der Fallverarbeitung

	N	Prozent
Einbezogene Fälle	56	91,8
Fehelende Fälle	5	8,2
Gesamt	61	100,0

Tabelle 13: Zusammenfassung der Fallverarbeitung der logistischen Regressionsanaylse. 56 Fälle (91,8%) von insgesamt 61 gehen in die Analyse ein, bei 5 Fällen (8,2%) waren auswertbare Angaben bezüglich der beiden einfließenden unabhängigen Variablen nicht zu ermitteln. (Die Daten wurden mit Hilfe der prädiktiven Software IBM SPSS Statistics [Version 27] analysiert.)

Das initiale Übersehen, die abhängige Variable wird binär codiert mit nein = 0 und ja = 1. Entsprechend werden die beiden kategorialen, unabhängigen Variablen mit nein = 0 und ja = 1 codiert.

Die Signifikanz des Regressionsmodels wird mit dem Chi²-Test (Omnibus-Test) belegt, (CH^2=8,063, p=0,018; n=56):

Tabelle 14: Omnibus-Test der Modellkoeffizienten

	Chi-Quadrat	Freiheitsgrade	Signifikanz
Modell	8,063	2	,018

Tabelle 14: Omnibus-Test der Modellkoeffizienten: Bei 2 Freiheitsgraden und einem Signifikanzniveau von 5% ist der kritische Wert bei 5,99. (ermittelt aus der Chi²-Verteilungstabelle) Dieser wird in unserem Test mit $X^2(2)$ = 8,063 übertroffen und es ist somit ein Zusammenhang zwischen den Variablen bestätigt. Das Signifikanzniveau für die Regressionsanalyse liegt bei p =,018 und attestiert, dass ein signifikanter Unterschied zwischen den Ergebnissen des Modells ohne Einschluss der unabhängigen Variablen und dem Modell mit Einschluss der Variablen besteht. (Die

Daten wurden mit Hilfe der prädiktiven Software IBM SPSS Statistics [Version 27] analysiert.)

Aus der untenstehenden Klassifizierungstabelle ist zu entnehmen, dass 85,7% der Verletzten durch das Modell entsprechend ihrer tatsächlichen Verletzungssituation klassifiziert werden. Von denjenigen Verletzten, die initial nicht übersehen wurden, wurden 46 von insgesamt 47 (46 + 1) richtig vorhergesagt. Dies entspricht 97,9% korrekten Prognosen (Spezifität). Von Verletzten, die initial übersehen wurden, wurden lediglich 2 von insgesamt 9 (7 + 2) korrekt vorhergesagt. Dies entspricht 22.2% richtigen Prognosen (Sensitivität). Der Gesamtprozentsatz der korrekten Klassifikationen beträgt 85,7%.

Tabelle 15: Klassifizierungstabelle

Initial übersehen	Nein (vorhergesagt)	Ja (vorhergesagt)	Prozent
nein	46	1	97,9
ja	7	2	22,2
gesamt			85,7

Tabelle 15: Klassifizierungstabelle: 85,7% der Verletzten werden mit diesem Modell korrekt klassifiziert. 7 von 9 initial übersehen Lisfranc-Verletzungen werden nicht korrekt vorhergesagt, dies entspricht einer Sensitivität von 22,2%. (Die Daten wurden mit Hilfe der prädiktiven Software IBM SPSS Statistics (Version 27) analysiert.).

Die Modelgüte bzw. Effektstärke wird für die logistischen Regression mit Pseudo-Bestimmtheitsmaßen angegeben; hier liegen in der Modellzusammenfassung die R^2 für Cox & Snell und Nagelkerkes zwischen 0 und 1 und bestehen somit den Vergleich der Likelihood-Funktion mit dem Nullmodel. Das binäre logistische Regressionsmodell ist statistisch signifikant, $\chi^2(2) = 134$ $p < .018$, mit einer akzeptablen Varianzaufklärung von Nagelkerkes $R^2 = ,229$, gemäß den Empfehlungen von Backhaus (Backhaus 2006). Im Hosmer-Lemeshow-Test wird die Anpassungsgüte beschrieben; p = 0,854 liegt über

dem Signifikanzniveau und bestätigt eine lediglich geringe Abweichung von der Vorhersage und somit eine hohe Anpassungsgüte ($X^2(2) = 41{,}313$, $p > 0{,}05$.

Tabelle 16: Modellzusammenfassung

-2 Log-Likelihood	Cox & Snell R^2	Nagelekerkes R^2
41,313	,134	,229

Tabelle 17: Hosmer-Lemeshow-Test

Chi-Quadrat	Freiheitsgrade	Signifikanz
,316	2	,854

Tabellen 16 und 17: Modellzusammenfassung und Hosmer-Lemeshow-Test. Im Hosmer-Lemeshow-Test betätigt p = ,854 eine hohe Anpassungsgüte des angewandten Regressionsmodells. Die Effektstärke ist mit p = ,229 in Nagelkerkes R^2 akzeptabel (Die Daten wurden mit Hilfe der prädiktiven Software IBM SPSS Statistics (Version 27) analysiert.).

Eine binominale logistische Regression wurde berechnet, um zu überprüfen, inwieweit die Faktoren Unfallmechanismus (Umknicktrauma) und die subtile, rein ligamentäre Verletzung (alleinige Luxation) dazu beitragen die Lisfranc-Verletzung in der Erstuntersuchung zu übersehen. Die Variablen in der Gleichung zeigen, dass sich nur der Regressionskoeffizienten bezogen auf das Umknicktrauma signifikant darstellt (p= 0,033). Für das Vorliegen einer alleinigen Luxation (also der Frakturausschluss) stellt sich keine Signifikanz dar (p= 0,228).

Für die einleitend dargestellte logistische Regressionsfunktion sind nun alle Faktoren bekannt:

$$P(initial\ \text{übersehen} = 1) = \frac{1}{1+e^{-(-2{,}847+1{,}398*alleinige\ Luxation+1{,}868*Umknicktrauma)}}$$

Tabelle 18: Variablen in der Gleichung

							95% Konfidenzintervall für Exp(B)	
	Regressions-koeffizient	Standardfehler	Wald	Freiheitsgrade	Signifikanz	Exp(B)	unterer Wert	oberer Wert
Alleinige Luxation	1,398	1,159	1,455	1	,228	4,046	,417	39,227
Umknicktrauma	1,868	,876	4,550	1	,033	6,477	1,164	36,046
Konstante	-2,847	,739	14,858	1	,000	.058		

Tabelle 18: Variablendarstellung der log. Regressionsanalyse. Die Regressionskoeffizienten wurden mittels des Algorithmus der Maximum-Likelihood-Schätzung ermittelt. Die Regressionskoeffizienten für beide unabhängigen Variablen sind positiv und größer eins, somit ist die Odds Ratio [Exp(B)] ebenfalls größer eins. Dies belegt eine Zunahme der relativen Wahrscheinlichkeit eine Verletzung initial zu übersehen, wenn die unabhängige Variable um den Faktor 1 steigt. Der Wald-Test überprüft die Signifikanzen der Regressionskoeffizienten, in dem der diese durch ihren Standardfehler dividiert; hier lässt sich mit p=,033 Signifikanz für die Variable Umknicktrauma darstellen. Entsprechend durchläuft das Konfidenzintervall von Exp(B) für das Umknicktrauma nicht den Wert 1, was die Signifikanz der entsprechenden Odds Ratio belegt. Für die Variable alleinige Luxation lässt sich dies nicht darstellen. (Die Daten wurden mit Hilfe der prädiktiven Software IBM SPSS Statistics (Version 27) analysiert.)

Es lässt sich für das Vorliegen eines niedrig-energetischen Trauma (dem Umknicktrauma) und auch dem Vorliegen einer alleinigen Luxation die Wahrscheinlichkeit des Übersehens einer Lisfranc-Verletzung vorhersagen:

Der Regressionskoeffizient für die Variable Umknicktrauma beträgt B=1,868 und ist positiv. Es ist daher davon auszugehen, dass vermehrte niedrig-energetische Traumata mit einer Zunahme der Wahrscheinlichkeit für die abhängige Variable, das initiale Übersehen, einhergehen. Der p-Wert von 0,033 (p=,033) belegt die statistische Signifikanz dieses Einflusses. Das Odds Ratio (Exp(B) von 6,48 besagt, dass wenn ein Umknicktrauma vorliegt, die Wahrscheinlichkeit die Lisfranc-Verletzung zu übersehen

um das 6,5-fache erhöht ist (Odds Ratio von 6,477 (95%-KI[1,164, 30,046]) . Somit kann bezüglich des Unfallmechanismus (dem Umknicktraumas) die Null-Hypothese widerlegt werden und die Alternativhypothese angenommen werden: Lisfranc-Verletzungen werden bei niedrig-energetischen Traumata vermehrt übersehen.

Für das Vorliegen einer alleinigen Luxation (nach radiologischen Frakturausschluss) beträgt der, ebenfalls positive, Koeffizient B=1,398. Es ist ebenso davon auszugehen, dass wenn eine alleinige Luxation vorliegt, sich die Wahrscheinlichkeit für das initiale Übersehen erhöht. Es lässt sich mittels der Odds Ratio von (Exp(b) von 4,04 belegen, dass bei Auftreten einer alleinigen Luxation die Wahrscheinlichkeit, die Lisfranc-Verletzung zu übersehen um das 4-fache erhöht ist, im Vergleich zu den knöchernen Verletzungen (Odds Ratio von 4,046 (95%-KI[0,417, 39,227]). Allerdings besteht bei einem p-Wert von 0,228 (p= ,228) keine statistische Signifikanz dieses Einflusses und kann somit die Nullhypothese nicht widerlegen.

Abschließend bestätigt die untenstehende Korrelationsmatrix, dass keine signifikanten Korrelationen zwischen den beiden unabhängigen Variablen bestehen.

Tabelle 19: Korrelationsmatrix

	Konstante	Alleinige Luxation	Umknicktrauma
Konstante	1,000	-,130	-,816
Alleinige Luxation	-,130	1,000	-,102
Umknicktrauma	-,816	-,102	1,000

Tabelle 19: Korrelationsmatrix. Es besteht keine Kollinearität zwischen den Variablen. (Die Daten wurden mit Hilfe der prädiktiven Software IBM SPSS Statistics (Version 27) analysiert.)

5.4 Ergebnisse der explorativen Datenanalyse

Da zwischen mehreren Variablen, die indirekt auf ein hoch- bzw. niedrig-energetisches Trauma schließen lassen, signifikante Korrelationen bestehen (Multikollinearität), können diese nicht in das logistische Regressionsmodell einfließen. Vom Ausmaß der Weichteilverletzung (Variable: Grad des Weichteilschadens), also vom klinischen Aspekt der Verletzungsschwere, der unmittelbar in der Rettungsstelle von der diensthabenden Kollegin bzw. vom Kollegen wahrgenommen wird, wird ein relevanter Zusammenhang mit den initial übersehenen Fällen angenommen. Daher kann als **Sekundärhypothesenpaar** formuliert werden:

Sekundär-Nullhypothese: Lisfranc-Verletzungen werden bei einem geringfügigen Weichteilschaden nicht seltener oder gleichhäufig übersehen als bei Vorliegen eines schweren Weichteilschadens.

Sekundär-Alternativhypothese: Lisfranc-Verletzungen werden bei einem geringfügigem Weichteilschaden vermehrt übersehen.

Anschließend erfolgt eine explorative Datenanalyse, in der in einer Kreuztabelle die Variable der initial übersehenen Verletzung mit dem Grad des Weichteilschadens gegenübergestellt wird. Der Chi²-Test wird vorgenommen und der Phi-Koeffizient ermittelt. Zur besseren Übersicht und Nachvollziehbarkeit werden auch diese Werte in ihren Tabellen präsentiert.

5.4.1 Initial Übersehene Verletzung und Grad des Weichteilschadens

Tabelle 20: Kreuztabelle

Initial übersehen	Weichteilschaden Grad 1	Weichteilschaden Grad 2	Weichteilschaden Grad 3	gesamt
nein	11	24	16	51
erwartet nein	15,3	21,3	14,5	51,0
ja	7	1	1	9
erwartet ja	2,7	3,8	2,6	9,0
gesamt	18	25	17	60

Tabelle 20: Kreuztabelle für die Variablen Initial übersehen und den jeweiligen Graden des Weichteilschadens: Insgesamt liegen von 60 Verletzten Daten zum Grad des Weichteilschadens vor. Am häufigsten lag ein Weichteilschaden zweiten Grades mit insgesamt 25 Fällen vor; in dieser Gruppe werden knapp 4 übersehene Fälle erwartet, tatsächlich findet sich nur einer. Von insgesamt 9 übersehenen Verletzungen befinden sich 7 in der Gruppe der Verletzten mit einem erstgradigen Weichteilschaden. (Die Daten wurden mit Hilfe der prädiktiven Software IBM SPSS Statistics (Version 27) analysiert.)

Tabelle 21: Chi-Quardrat-Test

	Wert	Freiheitsgrade	asymptomatische zweiseitige Signifikanz
Pearson Chi²	11,538	2	,003
Gesamte Fälle	60		

Tabelle 21: Ch²-Test für die Variablen: Initial Übersehen und Grad des Weichteilschadens. Bei 2 Freiheitsgraden und einen Signifikanzniveau von 5%, liegt der kritische Wert bei 5,99 (aus der Chi²-Verteilungstabelle). Der gemessen Wert von $X^2(2) = 11{,}538$ liegt deutlich höher und bestätigt einen Zusammenhang zwischen den beiden Variablen. (Die Daten wurden mit Hilfe der prädiktiven Software IBM SPSS Statistics (Version 27) analysiert.)

Tabelle 22: Symmetrische Maße

Nominalmaß	Wert	Näherungsweise Signifikanz
Phi	,439	,003
Cramer-V	,439	,003
Kontingenzkoeffzient	,402	,003
Gesamte Fälle	60	

Tabelle 22: Ergebnistabelle für die Kreuztabelle der nominalskalierten Variablen: Initial Übersehen und Grad des Weichteilschadens. Bei einer hohen Effektstärke (φ, V= 0,439) zeigt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen den übersehenen Verletzungen und dem Grad der Weichteilverletzung. (Die Daten wurden mit Hilfe der prädiktiven Software IBM SPSS Statistics (Version 27) analysiert.)

Der Chi-Quadrat-Test wurde zwischen den initial übersehen Verletzungen und dem Grad des Weichteilschadens durchgeführt. Drei erwartete Zellhäufigkeiten waren

kleiner als 5. $X^2(2) = 11.538$, $p = .003$, $\varphi = ,439$. Wie den Darstellungen zu entnehmen, zeigen nur die Ergebnisse des Ch^2-Tests für den Grad des Weichteilschadens verglichen mit Anzahl der initial übersehen Verletzung mit $p = ,003$ einen deutlichen zu beobachtenden Zusammenhang. Es lässt sich ein Zusammenhang zwischen der Anzahl der initial nicht erkannten Verletzungen mit einem Weichteilschaden 1. Grades darstellen. Der Kreuztabelle ist zu entnehmen, dass bei Vorliegen eines Weichteilschadens 1. Grades die erwartete Anzahl übersehener Verletzungen nur einem Drittel der realen Anzahl entspricht, umgekehrt verhält es sich bei Weichteilschäden Grad 2 und 3. Grades. Somit lässt sich in der explorativen Datenanalyse die Nullhypothese (der Sekundärhypothese) widerlegen und die Alternativhypothese bestätigen: Lisfranc-Verletzungen werden bei Verletzten mit einem geringeren Weichteilschaden vermehrt übersehen.

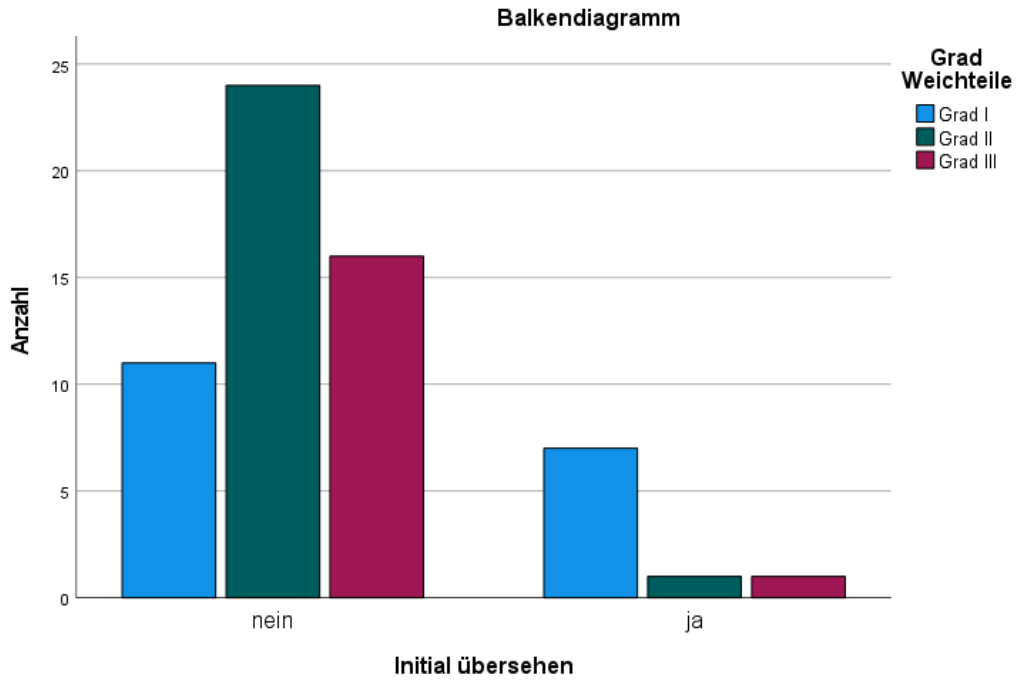

Abbildung 12: Das Balkendiagramm veranschaulicht in absoluten Zahlen den hohen Anteil der übersehenen Verletzungen mit einem erstgradigen Weichteilschaden im Vergleich mit a) den wenig übersehen Verletzungen bei einem zweit- bzw. drittgradigen Weichteilschaden und mit b) dem verhältnismäßig geringen Anteil der erkannten Verletzungen mit einem erstgradigen Weichteilschaden (Die Daten und das Balkendiagramm wurden mit Hilfe der prädiktiven Software IBM SPSS Statistics (Version 27) analysiert und erstellt.).

6. Diskussion

6.1 Die initial übersehene Verletzung

In der Anzahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen der letzten Jahre bezüglich der Lisfranc-Verletzung sind zwei Themenschwerpunkte deutlich herauszulesen. Weiterhin werden zum Großteil die verschiedenen therapeutischen Strategien und Operationsverfahren gegenübergestellt, während ein anderer Fokus die diagnostischen Voraussetzungen zur verbesserten Detektion der Lisfranc-Verletzung diskutiert. Lisfranc-Verletzungen, die aus einem niedrig-energetischen Trauma resultieren und nur geringe klinische Verletzungsfolgen präsentieren, rücken in den Vordergrund der Betrachtung. In diesem Zuge etabliert sich zunehmend der Begriff der subtilen Lisfranc-Verletzung (subtle lisfanc injury). Das Konzept der subtilen Lisfranc Verletzung beschreibt eine tarsometatarsale Gelenkinstabilität, resultierend aus einem niedrig-energetischen Trauma (Abarquero-Diezhandino 2020). Für die meisten Autoren ist dies eine rein ligamentäre Verletzung (Carter 2023, De Groot 2023, Bhimani 2024, Campbell 2024, Talaski 2024).

Die vorliegende Arbeit belegt mit ihren Kernaussagen einen Zusammenhang zwischen der Schwere des Traumas und dem vermehrten Übersehen der Lisfranc-Verletzung. Diese bleiben bei leichten Verletzungsmechanismen (niedrig-energetischen Traumata) signifikant vermehrt unerkannt. Die Wahrscheinlichkeit die Verletzung bei einem leichten Trauma zu übersehen ist 6,5-fach erhöht. Die rein ligamentäre (subtile) Lisfranc-Verletzung wird 4-mal so häufig übersehen, wie beim Vorliegen von knöchernen Verletzungen; dieser Unterschied stellt sich allerdings nicht signifikant dar. Ein Zusammenhang zwischen einem geringen Weichteilschaden und dem Häufigen Übersehen der Verletzung lässt sich ebenfalls exploratorisch deutlich darstellen.

Mit 77 Fällen (mit 61 eingeschlossenen Patientinnen und Patienten in die Studie) über 5 Jahre sehen die Unfallchirurginnen und -chirurgen des Musculoskeletalen Zentrums der Charité eine vergleichsweise hohe Anzahl von Fällen mit einer Lisfranc-Verletzung. Die Eckdaten der eingeschlossenen Patient*innen sind mit denen der internationalen Literatur vergleichbar. Es finden sich mehr Männer (54,1%) als Frauen (45,9%) mit einem Durchschnittsalter von 43 Jahren zum Zeitpunkt der Verletzung (vgl. Desmond 2006, Qiao 2017, Vosbikian 2017). In 90,2% der Verletzungen finden sich Frakturen; Sobrado et al. fanden 2017 in 78% ihrer 42 Fälle Frakturen (Sobrado 2017). Am

häufigsten fanden sich Kombinationsfraktur unter Einschluss der Basis des Os metatarsale II, wie es auch Aitken et al. und Myerson et al. beschrieben (Aitken 1963, Myerson 1986, Sobrado 2017). Offene Frakturen erlitten 11,5%, Stavlas et al. ermittelten in der Metaanalyse von 2010 eine offenen Frakturrate von 12,5 -26% (Stavlas 2010).

Die eruierten Unfallmechanismen entsprechen den Tendenzen der letzten Veröffentlichungen, in denen das niedrig-energetische Trauma (insbesondere bei Athleten) immer weiter in den Vordergrund der Betrachtung rückt. Das Umknicktrauma stellt als Unfallmechanismus mit 36,1% die größte Gruppe dar (Benirschke et al. ermittelten in ihrer Studie 30% Verletzung aus einem niedrig-energetischen Trauma; Stavlas et al. beschrieben 42%, Benirschke 2012, Stavlas 2010), gefolgt vom Hochrasanztrauma mit 23%, dem Sturz aus großer Höhe mit 13,1% und 9,8% erlitten ein Überrolltrauma. In letzter Gruppe kann eindeutig von einem direkten Trauma ausgegangen werden, welche in der Literatur mit 14 - 21% angegeben werden (Myerson 1986, Vouri und Aro 1993). Myerson beschreibt 1986 noch 58% der Verletzten resultierend aus einem hoch-energetischen Trauma (davon waren 2/3 der Verletzungen Verkehrsunfällen geschuldet); in unserer Studie weisen 27,9% der Patient*innen mit erlittenem komplexen Fußtrauma bzw. 31,1% polytraumatisierte Verletzte auf ein stattgehabtes hoch-energetische Trauma hin. Porter et al. konnten 2019 in einer retrospektiven Studie an 82 Athleten, die eine subtile, instabile, ligamentäre Lisfranc-Verletzung erlitten, dass es in 50% zu Rupturen der Bandstrukturen zwischen den Ossa cuneiformia und es weit häufiger zu Dislokationen kommt als bisher erwartet (Porter 2019). In einer 80 Fälle einschließenden Kohorte verursachten mehr niedrig-energetische Traumata (48) Lisfranc-Verletzungen als hoch-energetische Verletzungsmuster (32). Ein vermutetes vermehrtes Übersehen (primäres Nichterkennen) der Verletzung ließ sich in jener Studie für die niedrig-energetische Verletzung nicht darstellen (Renninger 2017). Die Veröffentlichungen, die das niedrig-energetischen Trauma in den Vordergrund rücken, beziehen sich meist auf Untersuchungen an Leistungssportlerinnen und -sportlern; inzwischen geht man davon aus, dass mehr als ein Drittel der Lisfranc-Verletzungen aus dem Sport resultieren (Benirschke 2012). Die sogenannte subtile Lisfranc-Verletzung, zumeist aus einer niedrig-energetischer Verletzung entstanden, wird mit 20 - 24% initial übersehenen Verletzungen in Zusammenhang gebracht (Myerson 1986, Haapamaki 2004, Hong

2016), mit dem Verweis, dass Lisfranc-Verletzungen auch häufig im mehrfachverletzten bzw. polytraumatisierten Verletzte übersehen werden.

Entsprechend fügen sich die Ergebnisse dieser Studie, in der das niedrig-energetische Umknicktrauma signifikant häufig initial übersehen wird und sich somit häufig in der Gruppe der verspätet behandelten findet, in den Tenor der internationalen Veröffentlichungen ein. Die Kreuztabelle bestätigt zusätzlich, dass die meisten übersehenen Verletzungen einen erstgradigen, geschlossenen Weichteilschaden aufweisen. Schwere Weichteilverletzungen korrelierten negativ mit dem Übersehen der Verletzung, was ebenfalls die Alternativhypothese untermauert.

Die initial übersehene bzw. verkannte Lisfranc-Verletzung führt bei resultierendem Malalignment zur posttraumatischen Arthrose und bedarf folgend eines anspruchsvollen chirurgischen, finanziellen und häufig auch juristischen Managements (Chesborough 2002, Stavlas 2010, Kalia 2012, Weatherford 2017). Van den Boom belegt in einer, 214 Fälle einschließenden, neueren Studie aus den Niederlanden, dass die gesamten Kosten in den ersten 6 Monaten nach Behandlungsbeginn bei durchschnittlich 17083 Euro liegen. Wobei er allerdings einräumt, dass zwei Drittel der Summe dem Verlust der Produktivität des Verletzten geschuldete sind (van den Boom 2023).

In der vorliegenden Studie ist bei 10 von 61 Fällen (16,4%) eine Lisfranc-Verletzung initial nicht erkannt worden und 11 Patient*innen (18%) wurden erst 4 Wochen nach der Verletzung behandelt. Damit unterzogen sich 34,4% (21 von 61) der Patienten und Patientinnen einer verzögerten Behandlung und haben somit einen schlechteren Outcome (Tamir 2023). Mit 16,4 % übersehener Verletzung liegt die Quote der erkannten Verletzungen unter dem internationalen Durchschnitt von 20 - 50% (Haapamaki 2004, De Groot 2023, McDermott 2024). Da allerdings noch 11 weitere verspätet diagnostiziert Verletzte in der Charité versorgt wurden, bleiben auch der Charité 34,4% Patient*innen mit vermehrtem Risiko für einen komplizierten Verlauf. Konsens besteht, dass bei veralteten Lisfranc-Verletzungen > 6 Wochen bzw. nach Ausbildung radiologisch darstellbarer Arthrosezeichen, die Primäre Arthrodese die Behandlung der Wahl darstellt (Michael 2006, Coetzee 2007, Cosculluela 2009, Feng 2017).

In 95,1% der Fälle lagen zu Zeitpunkt der Behandlung auswertbare Röntgenbilder vor, bei 93,4% auch eine Computertomografie des betroffenen Fußes,

Belastungsaufnahmen wurden nicht herangezogen oder zumindest nicht gekennzeichnet. In der internationalen Literatur werden neben den obligatorischen 3 Röntgennativaufnahmen, eine Computertomografie und seltener Belastungsaufnahmen oder ein MRT von beiden Füßen der/des Verletzten empfohlen (Sherief 2007, Gupta 2008, Zwipp 2014, Llopis 2016, Clare 2017, Kennelly 2019, Tamir 2023, Tang 2024). Neueste Studien favorisieren die CT-Belastungsaufnahme, insbesondere zur Detektion von subtilen Lisfranc-Verletzungen. Die Methode lässt sich allerdings derzeitig nicht flächendeckend umsetzten (Talaski 2023, Bhimani 2024, Campbell 2024). Die vorliegende Studie zeigt allerdings, dass, bei der hohen Anzahl von stattgehabten CT-Untersuchungen, das Team der Fuß- und Sprunggelenkschirurgie der Charité auf eine umfangreiche Bildgebung drängt. Besteht der Verdacht auf eine Lisfranc-Verletzung ist die nachfolgende Computertomografie bereits Teil des Diagnostik- und des Behandlungsalgorhythmus, gewiss für die anstehende Operationsplanung, aber dieses Vorgehen hält auch die Anzahl der initial übersehenen Verletzungen gering. Chen et al. zeigten 2023 hierzu, in einer retrospektiven Studie, die 307 Lisfranc-verletzte und 100 nicht verletzte Patient*innen einschloss, zur Re-Evaluation radiologischer Diagnostik, dass die Möglichkeit, die ursprüngliche Behandlungsentscheidung nach nachträglicher Auswertung der Computertomographie-Bilder zu ändern, bei 21,9 % lag (Chen 2023). Die Daten der Charité zeigen hierzu, dass ein standardisierter Rückgriff auf die CT-Diagnostik, bei 16,4% übersehener Verletzungen, eine verbesserte Detektion aufweist als in der Literatur beschrieben (20-24%). Eine Ergänzung um Belastungsaufnahmen (Röntgen Nativaufnahmen) beider Füße, in denen durch die Abstandsmessung zwischen den Metatarsalia ligamentäre Verletzungen gut erkennbar sind, könnte die Qualität der bildgebenden Diagnostik weiterhin verbessern und ist zu diskutieren (vgl. Kennelly 2019,).

Festzuhalten ist, dass die initial übersehene Lisfranc-Verletzung in Zusammenhang mit dem niedrig-energetischen Trauma und einer geringen Verletzungsmorphologie (ligamentäre Verletzung) steht. Weiterhin belegt die Studienlage (wie auch diese Arbeit), dass subtile Lisfranc-Verletzungen, resultierend aus einen niedrig-energetischen Trauma, zunehmend erkannt und der Entität der Lisfranc-Verletzung zugeordnet werden. Zu vergleichen hierzu ist die Studie von Ponkilainen et al von 2019, wo in der Tampere Universität in Finnland rückwirkend über einen 5 Jahres Zeitraum 953 Fuß- und Sprunggelenks-CTs ausgewertet wurden. Davon präsentierten 307

Mittelfußverletzung, und davon 233 (75,9%) Lisfranc-Verletzungen und 56 (18,2%) Chopart-Verletzungen und 18 (5,9%) kombinierte Verletzungen. Es zeigten sich wesentlich mehr Lisfranc-Verletzungen als bisher angenommen (1/55000 Aitken 1963 oder 1/60000 Hardcastle 1982) und davon waren zwei Drittel subtile Verletzungen, die aus niedrig-energetischen Traumata resultierten (Ponkilainen 2019). Auch Renninger et al. kamen 2017 an einer 80 Fall starken Kohorte zu gleichem Ergebnis (Renninger 2017)

Die am häufigsten angewandten Klassifikationen zur Beschreibung der Lisfranc-Verletzung, Quenu und Küss (1909), Hardcastle (1982) und Myerson (1986) werden in der Literatur regelmäßig, aufgrund der geringen klinischen bzw. therapeutischen Relevanz und der mangelnden Vorhersagekraft eines möglichen Outcomes kritisiert (Myerson 1991, Lau 2017, Weatherford 2017) Dieses liegt u. a. daran, dass sich die bisherigen Klassifikationen an dem Unfallmechanismus (direktes oder indirektes Trauma) orientieren und weniger an der Biomechanik und der Schwere der Verletzung (Schepers 2018). Entsprechend finden sich auch in der Dokumentation der Charité eine seltene und inkonsequente (meist Quenu und Küss, aber auch Myerson) Eingruppierung der Verletzungen. Daher wurde im Zuge dieser Arbeit eine Re-klassifikation sämtlicher Fälle anhand der Röntgenbilder vorgenommen. Mit 70% homolateralen Verletzungen nach Quenu und Küss und 43% B2 Verletzungen nach Myerson stellen diese, wie auch in der vergleichbaren internationalen Literatur, die häufigste Form der Verletzung dar (vergl. Qiao 2017, Sobrado 2017). Zwipp und Rammelt sprechen in der letzten Auflage des Lehrbuches (Tscherne Unfallchirurgie Fuß) von 68% homolateralen Verletzungen (Zwipp 2014). Die Zuverlässigkeit/Verbindlichkeit (reliability) der Myerson-Klassifikation konnten Mahmoud et al. 2015 darstellen, indem 39 Röntgenaufnahmen 38 erfahrenen Betrachtern vorgelegt wurden und gerade unter den Unfallchirurginnen und -chirurgen eine exzellente Verbindlichkeit in der Re-klassifizierung nach Myerson festzustellen war (Mahmoud 2015). Eine Aussage über das anzuwendende Behandlungsregime und das Outcome lässt sich allerdings nicht ableiten, was Klassifikationen idealerweise leisten sollten (Müller 1994). Des Weiteren arbeiten die Klassifikationen von Quenu/Küss und Hardcastle/Myerson mit pathologisch auffälligen Röntgenbildern und schließen somit im Ansatz die subtile, stabile Lisfranc-Verletzung, in der sich weder Fraktur noch Alignmentstörungen zeigen, aus. Auf diese beiden Schwächen der vorliegenden Klassifikationen wird die geringe klinische Anwendung der Klassifikationen unter anderem zurückzuführen sein. Wegen dieser geringen Praktikabilität und gleichzeitiger

Gewinnung neuer biomechanischer Erkenntnisse entstehen neue Ansätze zur Einteilung der Lisfranc-Verletzung. Schepers und Rammelt stellten 2018 eine an die AO-Klassifikation (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese) angelehnte Klassifikation, welche sich auf die 3 Strahlen des Fußes bezieht, und diesen in einer Steigerung von 0 - 3 zunehmend schwerere Verletzung des Lisfranc-Gelenkreihe zuordnet (0 = Lisfrancgelenk ist nicht involviert, 1 = reine ligamentäre Verletzung, 2 = einfache Fraktur, 3 = schwere Fraktur mit mehr als 50% Gelenkbeteiligung). Die Möglichkeit der Einschätzung des Outcomes scheint denkbar; dieses muss sich aber erst in zukünftiger klinischer Handhabung zeigen (Schepers 2018). Ebenso wie die Klassifikation von Nunley und Vertullo von 2002 (siehe Einleitung, Kapitel 2.1.5 Klassifikationen), die sich auf ligamentäre (subtile) Verletzungen bezieht, schließt auch Schepers und Rammelts Klassifikation die subtile Lisfranc-Verletzung ein. Sivakumar et al. haben bereits unter Einbeziehung der subtilen Verletzung die Myerson-Klassifikation modifiziert (Sivakumar 2018).

Abschließend soll noch erwähnt sein, dass diese Arbeit auch zeigt, dass nicht nur die subtilen, rein ligamentären Lisfranc-Verletzung (n = 5 / 8,2%) übersehen werden (initial übersehen: n = 10 /16,4%). Das Konzept der subtilen Lisfranc-Verletzung kann die hohe Anzahl (20 – 50%, McDermott 2024) der initial übersehen Verletzungen nicht allein erklären.

6.2 Behandlungsstrategien und Operationsverfahren

Die offene Reposition und Osteosynthese (ORIF) ist in der Charité in den Jahren 2011 bis 2015 das am häufigsten angewandte Behandlungsverfahren zur Therapie der Lisfranc Verletzung, entsprechend dem Kanon der internationalen Literatur, insbesondere der Veröffentlichungen zu Anfang des letzten Jahrzehntes, in denen ORIF als Goldstandard angesehen wird (Kuo 2000, Rammelt 2008, Sheibani-Rad 2012, Reinhardt 2012, Clare 2017, Ponkilainen 2018). Neuere Studien stellen allerdings die Primäre Arthrodese (PA) im Vergleich mit ORIF gleichwertig, wenn nicht sogar überlegen dar (Mactier 2024, Ponkilainen 2024, Vesely 2024). Allerdings bleibt, aufgrund beschriebener hoher Arthroseraten und dem bescheidenen Outcome im AOFAS midfoot score, sowie dem Ausstehen von prospektiven, randomisierten Studien, die beste Behandlung, gerade der subtilen und der komplexeren Lisfranc-Verletzung

weiterhin umstritten (Stavlas 2008, Tomlinson 2018, van der Vliet 2018). Dieses Vorgehen wird von Pigott at al. in einer 2019 veröffentlichten, retrospektiven Studie bestätigt, welche zeigt, dass die Schwere der Verletzung nach einer ORIF-Behandlung nicht mit einer vermehrten sekundären Dislokation korreliert (Pigott 2019). ORIF mit der Nutzung von Kirschner-Drähten war mit 22 Fällen die am häufigsten eingesetzte Kombination von Verfahren und Material. Im weiteren Therapieverlauf erfolgte die Materialentfernung im Mittel nach 76 Tagen (etwa 20 – 30 Tage länger als der von Stavlas et al in der Metaanalyse ermittelter Durchschnitt, Stavlas 2010). Im Vergleich dazu werden in den aktuellen Veröffentlichungen ORIF zumeist mit dem Einsatz von Schrauben (Goldstandard, Ahmed 2018 / 3,5 mm Schrauben nach Zwipp 2014) und einer Materialentfernung nach etwa 3-4 Monaten beschrieben (Ponkilainen 2018, VanPelt 2019). Die ausschließliche Nutzung von 1,8 oder 2 mm Kirschner-Drähten bei ORIF findet in der Literatur wenig Beachtung (Perez Blanco 1988, Tan 1995, Rammelt 2008), allerdings zeigten bereits die Arbeiten von Lee at al. 2004 und von Schepers et al. 2013, dass hinsichtlich der biomechanischen Stabilität die Kirschner-Draht Versorgung der Schraubenosteosynthese unterlegen ist (Lee 2004, Schepers 2013). In der von Stavlas et al. vorgenommenen Metanalyse von 2010 wird der Einsatz einer Schraubenosteosynthese bei ORIF mit 73,7% (171 Fälle) ermittelt (Stavlas 2010). Die alleinige Kirschner-Draht-Versorgung bleibt dem perkutanen CRIF-Verfahren vorbehalten (Vosbikian 2017). Herscovici et al. beschreibt 2018 die alleinige und erfolgreiche Kirschner-Draht-Versorgung im Notfall bei Patienten, die ein High-Energy-Trauma erlitten, als temporäres Verfahren bis zur zeitnahen definitiven Versorgung (Herscovici 2018). Bei subtilen Lisfranc-Verletzungen und einen ausgewählten Patientenstamm kann allerdings Tomlinson 2018 gute Ergebnisse mit CRIF und der Schraubenosteosynthese erzielen (Tomlinson 2018) und bringt somit eine weitere Kombination von Verfahren und Material in die Debatte.

Bezüglich der Wahl der Materialien belegt die vorliegende Studie, dass mit dem Einsatz von 2 mm starken Kirschner-Drähten im ORIF-Verfahren eine anatomische Reposition auch von komplexen Lisfranc-Verletzungen zu erreichen ist, und die Repositionsergebnisse bis zur Materialentfernung zu halten sind. Von insgesamt 57 operierten Fällen wurden bei 46 Kirschner-Drähte angewandt, bei 30 (49,2% aller Fälle) kamen ausschließlich Kirschner-Drähte zum Einsatz.

Es besteht Konsens, dass zur Versorgung einer instabilen Lisfranc-Verletzung die exakte anatomische Reposition und eine stabile Retention erreicht werden sollte und, dass ORIF hierfür lange Zeit das Standardverfahren darstellte (Myerson 1986, Nunley 2002). Allerdings präsentieren 40% – 94% der Patientinnen und Patienten, die sich diesem Verfahren unterzogen haben, die Ausbildung einer posttraumatischen Arthrose (Kuo 2000, Mulier 2002, Ly 2006) und viele bedürfen der Konversion auf die sekundären Arthrodese zur Linderung der Beschwerden (Johnson 1986, Mann 1996). Um die posttraumatische Arthrose, wie auch den Zweit- oder Dritteingriff zu vermeiden, werden die Ergebnisse der Versorgung der instabilen Lisfranc-Verletzung mit der Primären Arthrodese (PA) der ORIF-Versorgung in vielen, neueren Veröffentlichungen gegenübergestellt und als ebenbürtig, wenn nicht gar überlegen dargestellt (Ly 2006, Hennig 2009, Smith 2016, Cochran 2017, Qiao 2017, Wang 2017, Buda 2018, Fan 2019, Magill 2019, Mactier 2024, Vesely 2024). In der vorliegenden Studie wurden weitaus mehr Verletzte ORIF als PA unterzogen.

Mit 4,9% Infektionen verhalten sich die Daten gemäß der internationalen Literatur, wo von 4,8 – 7,3% berichtet wird (Groulier 1970, Zhu 2011). In 10 Fällen kam es zu Wundheilungsstörungen (16,4%), in 14 Fällen (23%) zu Revisionseingriffen und in 14 Fällen (23%) zur Ausbildung einer Arthrose im Verlauf. Die ermittelte Arthroserate von 23% ergibt sich aus der Beurteilung und festgehaltener Dokumentation der Röntgenbilder im Verlauf durch die Mitarbeiter der Radiologie der Charité. Diese Rate ist vergleichbar mit den Ergebnissen von Kuo et al., der von 48 mit ORIF und Schraubenosteosynthese behandelten Fällen 12 Patient*innen mit der Ausbildung einer posttraumatischen Arthrose (25%) beschreibt, von denen 6 sich einer Konversion zur sekundären Arthrodese unterzogen (Kuo 2000). In der Übersichtsarbeit von Stavlas et al. werden in Auswertung von 7 Studien bei 80 (49,6%) von 161 Fällen arthrotische Veränderungen in der Lisfranc-Gelenkreihe im postoperativen Verlauf ermittelt (Stavlas 2010). Einigkeit besteht darin, dass die initial übersehene Verletzung bzw. der verzögerte Behandlungsbeginn und eine unzureichende anatomischen Reposition maßgeblich die Ausbildung der posttraumatischen Arthrose bedingen (Aitken 1963, Hardcastle 1982, Richter 2001, Aronow 2006, De Groot 2023).

Da in dieser Arbeit sich die Daten ausschließlich aus der vorhandenen Aktenlage, entnommen aus dem Datenverarbeitungssystem SAP und PACS, retrospektiv ermitteln und keine Kontrolluntersuchungen vorgenommen werden, ist die Qualität der

Behandlungsergebnisse anhand der Auswertung der radiologischen Ergebnisse und der ermittelten Frühkomplikationen zu beurteilen. Zum Vergleich des Bildmaterials lagen zum Verletzungs- bzw. Einschlusszeitpunkt von 95,1% der Fälle Röntgennativaufnahmen und von 93,4% ein CT des betroffenen Fußes vor. Allerdings erschweren die mangelnde Festlegung von Aufnahmestandards, unvollständige Bilderreihen, fehlende oder unzureichende Kennzeichnung von Belastungsaufnahmen und nicht zuletzt das Ausdünnen der Anzahl des vorhandenen Materials im Verlauf der 3 Bilderserien, die Bearbeitung. In Betrachtung der Abstände und Alignments ist festzuhalten, dass, unabhängig von dem angewandten Operationsverfahren, nicht in jedem Falle eine anatomische Reposition erreicht werden konnte. Erwartungsgemäß liefern die Bilder unmittelbar nach der operativen Versorgung die besten Repositionsergebnisse und auch ein gewisser Repositionsverlust zum Abschluss der Untersuchung ist nachvollziehbar. Auch wenn diese Ergebnisse unabhängig der gewählten Behandlungsmethode zu lesen sind, ist unter Anbetracht, dass die Hälfte der Fälle alleinig unter Einsatz von Kirschner-Drähten retiniert wurde, die Diskussion über die mangelnde Stabilität erneut zu führen. (Kuo 2008, Lee 2004, Schepers 2013). Schepers et al zeigten, dass die rigide Versorgung mit Schrauben oder Platten bereits primär zu einem besseren anatomischen Repositionsergebnis führen und dieses auch im Verlauf besser erhalten können als der alleinige Einsatz von Kirschner-Drähten. Allerdings beobachteten Ly und Coetzee, 2006 in der zum Vergleich ORIF und PA angelegten Studie, in der ORIF-Gruppe in 15 von 20 Fällen einen Repositionsverlust und die Ausbildung einer posttraumatischen Arthrose im Verlauf. Sieben von diesen fünfzehn bedurften der Konversion auf eine sekundäre Arthrodese. Hier wurde ORIF mittels Schrauben vorgenommen (Ly 2006, Coetzee 2007).

Abschließend ist zu sagen, dass die Arbeit zwar einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Schwere des Unfalls und den initial übersehenen Lisfranc-Verletzungen belegen kann, aber damit nur einen Teil der möglichen Prädiktoren für das Nichterkenne der Verletzung betrachtet. Patientenbezogene Prädiktoren, Vorerkrankungen wie zum Beispiel eine vorbestehende Arthrose, ein diabetisches Fußsyndrom bzw. das Vorliegen eines Charcot-Fußes, oder eine Polyneuropathie, sind denkbare Faktoren, die eine adäquate Diagnostik erschweren könnten. Shereif et al. wiesen bereits 2006 darauf hin, dass Patient*innen, die am diabetischen Fußsyndrom leiden und nach einem

Bagatelltrauma der intensiven und misstrauischen Untersuchung zur Detektion der Lisfranc-Verletzung bedürfen, nachdem 8 von 9 erfahrenen Unfallchirurginnen und -chirurgen Nativröntgenbilder missinterpretierten und die Verletzung übersahen (Shereif 2006). Eine Studie, die patientenbezogene Prädiktoren für das Übersehen der Verletzung betrachtet, ist für das gesamte Verständnis um die übersehene Lisfranc-Verletzung unerlässlich.

Bezüglich der deskriptiven Daten zur Behandlung der Lisfranc-Verletzung liegt die Schwäche der vorliegenden Arbeit im explorativen Charakter der zusammenhangsanalytischen Datenauswertung. Daher sind die erhobenen Zusammenhänge nur eingeschränkt aussagekräftig und haben eher wegweisenden bzw. vergleichenden Charakter. Sie dienen nicht zuletzt dem Team des Centrums für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité zur Selbstkontrolle; und in ihrer Validität und Stimmigkeit (bezogen zum internationalen Vergleich) zur Untermauerung der Kernaussagen dieser Studie, wie der Regressionsanaylse.

Die Ergebnisse bezüglich der Behandlungsstrategie und den Operationsverfahren bedürfen einer Untermauerung durch hypothesengestütze Untersuchungen in Folge. Eine gut designte, prospektive Studie mit längerem Follow Up wäre zur besseren Beurteilung der Materialwahl zeitnah sinnvoll.

7. Literaturverzeichnis

Abarquero-Diezhandino A, Ferrero-Recasens J, Vacas-Sanchez E, Mellado-RomeroM ASanchez-Morata E J, Vila-Rico j (2020) Study of the functional results of the percutaneous surgical treatment of subtle injuries of the tarso-metatarsian complex. Rev Esp Cir Ortop Traumatol (Engl Ed) Vol. 64 Issue 6 Pages 367-374

Abbasian M R, Paradies F, Weber M, Krause F (2015) Temporary Internal Fixation for Ligamentous and Osseous Lisfranc Injuries: Outcome and Technical Tip. Foot Ankle Int; 36:976–983

Adib F, Medadi F, Guidi E (2011) Osteoarthritis following open reduction and internal fixation of the Lisfranc injury. Paper presented at: 12th EFORT Congress; June 1-4, 2011; Copenhagen, Denmark

Ahmad J, Jones, K. A (2016) Randomized, Prospective Comparison of Bioabsorbable and Steel Screw Fixation of Lisfranc Injuries J Orthop Trauma. Dec;30(12):676-681.

Ahmed A, Westrick E (2018) Management of Midfoot Fractures and Dislocations Curr Rev Musculoskelet Med. Dec;11(4):529-536.

Ahmed S, Bolt B, McBryde A (2010) Comparison of standard screw fixation versus suture button fixation in Lisfranc ligament injuries. Foot Ankle Int 31(10):892–89

Aitken A P, Poulson D (1963) Dislocations of the tarsometatarsal joint J Bone Joint Surg Am. Mar;45-A:246-60.

Alberta F G, Aronow M S, Barrero M, Diaz-Doran V, Sullivan R J, Adams D J (2005) Ligamentous Lisfranc joint injuries: a biomechanical comparison of dorsal plate and transarticular screw fixation. Foot Ankle Int 26(6):462–47

Amuti A, Ding H Y, Liu L G (2019) Correction to: Magnetic resonance imaging of the Lisfranc ligament J Orthop Surg Res. Feb 15;14(1):50

Aronow M S (2006) Treatment of the missed Lisfranc injury. Foot Ankle Clinic; 11:127142, ix.:.

Aronow M S (2011) Joint preserving techniques for Lisfranc injury. Tech Orthop; 26(1):43

Arntz C T, Veith R G, Hansen S T Jr. (1988) Fractures and fracture-dislocation of the tarsometatarsal joint. J Bone Surg Am; 70:173-81

Attia, A. K., Mahmoud, K., Alhammoud, A., d'Hooghe, P. and Farber, D. (2021) Return to Play After Low-Energy Lisfranc Injuries in High-Demand Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis of Athletes and Active Military Personnel. Orthop J Sports Med Vol. 9 Issue 3, 2325967120988158.

Backhaus K, Erichson B, Plinke W, Weiber, R. (2006). Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung (11th ed.). Berlin: Springer.

Benirschke S K, Meinberg E, Anderson S A, Jones C B, Cole P A (2012) Fractures and dislocations of the midfoot: Lisfranc and Chopart injuries. J Bone Joint Surg Am. Jul 18;94(14):1325-37

Besse J L, Kasmaoui E H, Lerat J-L, Moyen B (2005) Tarso-metatarsal fracture-dislocation: treatment by percutaneous pinning or open reduction (a report on 17 cases). Foot Ankle Surg 11:17–23

Bhimani R, Thompson J D, Suh N, Kadakia R J, Bariteau J T, Kerkhoffs G, et al. (2024) Weightbearing Computed Tomography Can Accurately Detect Subtle Lisfranc Injury. Foot Ankle Int Vol. 45 Issue 10 Pages 1145-1155

Böhler L (1957) Verrenkungen im Lisfranc'schen Gelenk. In Böhler L (Hrsg) Die Technik der Knochenbruchbehandlung. Maudrich, Wien, S 2237-2245

Buda M, Kink S, Stavenuiter R, Hagemeijer C N, Chien B, Hosseini A, Johnson A H, Guss D, DiGiovanni C W (2018) Reoperation Rate Differences Between Open Reduction Internal Fixation and Primary Arthrodesis of Lisfranc Injuries Foot Ankle Int. Sep;39(9):1089-1096

Bulcholz R W (2012) Rockwood and green's fractures in adults: two volumes plus integrated content website. Lippincott Williams & Wilkins,

Buzzard B M, Briggs P J. (1998) Surgical management of acute tarsometatarsal fracture dislocation in the adult. Clin Orthop Relat Res; 353:125-13

Calder J D, Whitehouse S L, Saxby T S (2004) Results of isolated Lisfranc injuries and the effect of compensation claims. J Bone Joint Surg Br 86(4):527–53

Campbell T, Mok A, Wolf M R, Frager L, Long R, Wentzel D (2024) Augmented Stress Weight-bearing CT for Evaluation of Subtle Lisfranc Injuries in the Elite Athlete. Foot Ankle Spec Pages 19386400241241097

Carter T H, Heinz N, Duckworth A D, White T O, Amin AK (2023) Management of Lisfranc Injuries: A Critical Analysis Review. JBJS Rev 2023 Vol. 11 Issue 4

Cantu R V, Koval K J (2006) The use of locking plates in fracture care. J Am Acad Orthop Surg 14(3):183–190

Castro M, Melão L, Canella C (2010) Lisfranc joint ligamentous complex: MRI with anatomic correlation in cadavers. AJR Am J Roentgenol;195(6): W447–W455

Chen C, Jiang J, Wang C, Zou J, Shi Z, Yang Y (2023) Is the diagnostic validity of conventional radiography for Lisfranc injury acceptable? J Foot Ankle Res 2023 Vol. 16 Issue 1 Pages 9

Chesbrough R M (2002) Strategic approach fends off charges of malpractice: program provides tips for avoiding litigation. Diagn Imaging; 24:44–51.

Cochran G, Renninger C, Tompane T, Bellamy J, Kuhn K (2017) Primary arthrodesis versus open reduction and internal fixation for low-energy Lisfranc injuries in a young athletic population. Foot Ankle Int.;38(9):957–63.

Coetzee J C, Ly T V (2007) Treatment of primarily ligamentous Lisfranc joint injuries: primary arthrodesis compared with open reduction and internal fixation. Surgical technique. J Bone Joint Surg Am, 89 (Suppl. 2): 122–127.

Coetzee J C (2008) Making sense of Lisfranc injuries. Foot Ankle Clin;13(4):695–704.

Cosculluela P E, Ebert A M, Varner K E (2009) Dorsomedial bridge plating of Lisfranc injuries. Tech Foot Ankle Surg 8(4):215

Cottom J M, Hyer C F, Berlet G C (2008)Treatment of Lisfranc fracture dislocations with an interosseous suture button technique: a review of 3 cases. J Foot Ankle Surg 47(3):250–258

Cottom, J M, Graney, C T and Sisovsky, C (2020) Treatment of Lisfranc Injuries Using Interosseous Suture Button: A Retrospective Review of 84 Cases With a Minimum 3-Year Follow-Up. J Foot Ankle Surg Vol. 59 Issue 6 Pages 1139-1143

Coulibaly M O, Jones C B, Dudda M, Ramczykowski T, Schildhauer T A, Königshausen M (2012) Lisfranc-Luxationsfraktur. Trauma und Berufskrankheit 14:137-146

Crates J M, Barber F A, Sanders E J (2015) Subtle lisfranc subluxation: results of operative and nonoperative treatment J Foot Ankle Surg. May-Jun;54(3):350-5

Davies M S, Saxby T S. (1999) Intercuneiforminstability and the “gap” sign. Foot Ankle Int; 20(9):606–609

De Groot J D, Reichmann B L, Ten Cate W A (2023) [Do not overlook Lisfranc injuries] Ned Tijdschr Geneeskd Vol. 167 Accession Number: 37823878

DeOrio M, Erickson M, Usuelli F G, Easley M (2009) Lisfranc injuries in sport. Foot Ankle Clin, 14 (2) pp. 169–186

De Palma L, Santucci A, Sabetta S P, Rapali S (1997) Anatomy of theLisfranc joint complex. Foot Ankle Int;18(6):356–364

DeDoncker E, Kowalski C (1979) Cinésiologie et rééducation du pied. Masson, Paris

Deol R S, Roche A, Calder J D (2016) Return to training and playing after acute Lisfranc injuries in elite professional soccer and rugby players. Am J Sports Med. 44:166–70.

Desmond E A Chou L B (2006) Current concepts review: Lisfranc injuries. 2006/08/22 Foot Ankle Int. Aug;27(8):653-60.

Dubois-Ferriere V, Lübbeke A, Chowdhary A, Stern R, Dominguez D, Assal M.(2016) Clinical outcomes and development of symptomatic osteoarthritis 2 to 24 years after surgical treatment of tarsometatarsal joint complex injuries. J Bone Joint Surg Am. 98:713–20.

Early J S, Bucholz R W (1996) Lisfranc injuries and their management. Curr Orthop;10(3):169–173

Eleftheriou K I, Rosenfeld P F, Calder J D (2013) Lisfranc injuries: an update Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. Jun;21(6):1434-46.

Fan M Q, Li X S, Jiang X J, Shen J, Tong P J, Huang J F (2019) The surgical outcome of Lisfranc injuries accompanied by multiple metatarsal fractures: A multicenter retrospective study Injury. Feb;50(2):571-578

Faciszewski T, Burks R T, Manaster B J (1990) Subtle injuries of the Lisfranc joint. J Bone Joint Surg Am. Dec;72(10):1519-22

Feng P, Li Y-X, Li J, Ouyang X-Y, Deng W, Chen Y, Zhang H (2017) Staged Management of Missed Lisfranc Injuries: A Report of Short-term Results Orthop Surg. Feb;9(1):54-61.

Fick R (1904) Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke unter Berücksichtigung der bewegenden Muskeln. Part I: Anatomie der Gelenke. Fischer, Jena

Fischer L P (2005) Jacques Lisfranc de Saint-Martin (1787-1847). Hist Sci Med. Jan-Mar;39(1):17-34.

Foster S C, Foster R R (1976) Lisfranc's tarsometatarsal fracturedislocation. Radiology 120:79–83

Gaweda K, Tarczynska M, Modrzewski K, Turzanska K (2008) An analysis of pathomorphic forms and diagnostic difficulties in tarso-metatarsal joint injuries Int Orthop. Oct;32(5):705-10. Epub 2007 Jun 15.

Ghate S D, Sistla V M, Nemade V, Vibhute D, Shahane S M, Samant A D (2012) Screw and wire fixation for Lisfranc fracture dislocations. J Orthop Surg (Hong Kong). Aug;20(2):170-5

Goossens M, DeStoop N (1983) Lisfranc'sfracture-dislocations: etiology, radiology, and results of treatment. Clin Orthop Relat Res; 176:154–62.

Gotha H E, Lareau C R, Fellars T A, (2013) Diagnosis and management of lisfranc injuries and metatarsal fractures. R I Med J, 96, pp. 33–36

Grewal U S, Onubogu K, Southgate C, Dhinsa B S (2020) Lisfranc injury: A review and simplified treatment algorithm Foot (Edinb) Vol. 45 Pages 101719, Accession Number: 33038662 DOI: 10.1016/j.foot.2020.101719

Groulier P, Pinaud J C. (1970) Tarso-metatarsal dislocations (10 cases). Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot; 56(4):303-24.

Grunert (1910) Luxationen im Lisfranc'schen Gelenk. Dtsch Z Chir 107: 214-240

Gupta R T, Wadhwa R P, Learch T J, Herwick S M (2008) Lisfranc injury: imaging findings for this important but often-missed diagnosis. Curr Probl Diagn Radiol. May-Jun;37(3):115-26

Hardcastle P H Reschauer R Kutscha-Lissberg E Schoffmann W (1982) Injuries to the tarsometatarsal joint. Incidence, classification and treatment. J Bone Joint Surg Br; 64(3):349-56.

Hatem S F (2008) Imaging of Lisfranc injury and midfoot sprain. Radiol Clin North Am; 46(6):1045–1060

Henning J A Jones C B Sietsema D L Bohay D R Anderson J G (2009) Open reduction internal fixation versus primary arthrodesis for lisfranc injuries: a prospective randomized study. Foot Ankle Int. Oct;30(10):913-22

Herscovici D. Jr, Scaduto J M (2018) Acute management of high-energy lisfranc injuries: A simple approach Injury. Feb;49(2):420-424.

Hirano T, Niki H, Beppu M (2014) Newly developed anatomical and functional ligament reconstruction for the Lisfranc joint fracture dislocations: a case report. Foot Ankle Surg. Sep;20(3):221-3

Ho N C, Sangiorgio S N, Cassinelli S, Shymon S, Fleming J, Agrawal V, Ebramzadeh E, Harris T G (2019) Biomechanical comparison of fixation stability using a Lisfranc plate versus transarticular screw Foot Ankle Surg. Feb;25(1):71-78.

Hong, C, Pearce C J, Ballal M S, Calder J D F (2016) Management of sports injuries of the foot and ankle: An update. Bone Joint J. Oct;98-B (10):1299-1311

Horton G A, Olney B W (1993) Deformity correction and arthrodesis of the midfoot with a medial plate. Foot Ankle 14(9):493–499

Hu S J, Chang S. M, Li X H, Yu G R (2014) Outcome comparison of Lisfranc injuries treated through dorsal plate fixation versus screw fixation Acta Ortop Bras. 22(6):315-20

Jain K, Makwana N (2015) Use of anterior cruciate ligament guide in Lisfranc injury fixation. Ann R Coll Surg Engl. Apr;97(3):243-4.

Jain K, Drampalos E, Clough T M (2017) Results of suture button fixation with targeting device aid for displaced ligamentous Lisfranc injuries in the elite athlete. Foot (Edinb). Feb 6; 30:43-46

Jeffreys T E(1963) Lisfranc's fracture-dislocation: A clinical and experimental study of tarso-metatarsal dislocations and fracture-dislocation J Bone Joint Surg Br 45:546

Jerosch J, Castro W. H M (2002) Orthopädisch-traumatologische Gelenk- und Wirbeldiagnostik DOI: 10.1055/b-0034-8323

Johnson A, Hill K, Ward J, Ficke J (2008) Anatomy of the lisfranc ligament. Foot Ankle Spec. Feb;1(1):19-23

Johnson J E, Johnson K A Dowel (1986) arthrodesis for degenerative arthritis of the tarsometatarsal (Lisfranc) joints. Foot Ankle 6(5):243–25

Kapoor C, Patel A, Jhaveri M, Golwala P (2016) Post-traumatic Arthritis of the Tarsometatarsal Joint Complex: A Case Report Cureus. Dec 9;8(12): e923.

Kaicker J, Zajac M, Shergill R, Choudur H N (2016) Ultrasound appearance of the normal Lisfranc ligament 2016/08/09 06:00 Emerg Radiol.

Kalia V, Fishman E K, Carrino J A, Favad L M (2012) Epidemiology, imaging, and treatment of Lisfranc fracture-dislocations revisited. Skeletal Radiol. Feb;41(2):129-36.

Kennelly H, Klaassen K, Heitman D, Youngberg R, Platt S R (2019) Utility of weight-bearing radiographs compared to computed tomography scan for the diagnosis of subtle Lisfranc injuries in the emergency setting Emerg Med Australas.

Kent R W, Lievers W B, Riley P O, Frimenko R E, Crandall J R (2014) Etiology and Biomechanics of Tarsometatarsal Injuries in Professional Football Players: A Video Analysis. Orthop J Sports Med. Mar 7;2(3):2325967114525347

Kitsukawa K, HiranoT, Niki H, Tachizawa N, Nakajima Y, Hirata K. (2015) MR imaging evaluation of the Lisfranc ligament in cadaveric feet and patients with acute to chronic Lisfranc injury. Foot Ankle Int 36(12):1483–1492

Komenda G A, Myerson M S, Biddinger K R (1996) Results of arthrodesis of the tarsometatarsal joints after traumatic injury. J Bone Joint Surg Am 78(11):1665–1676

Kuo R S, Tejwani N C, Digiovanni C W, Holt, S K, Bernirschke, S K, Hnsen Jr S T (2000) Outcome after open reduction and internal fixation of Lisfranc joint injuries. J. Bone Joint Surg. Am. 82-A:1609–1618,

Lau S, Howells N, Millar M, De Villiers D, Joseph S, Oppy (2016) Plates, Screws, or Combination? Radiologic Outcomes After Lisfranc Fracture Dislocation. J Foot Ankle Surg. Jul-Aug;55(4):799-802

Lau S, Bozin M, Thillainadesan T (2017) Lisfranc fracture dislocation: a review of a commonly missed injury of the midfoot. Emerg Med J. Jan;34(1):52-56

Lee C A, Birkedal J P, Dickerson E A, Vieta P A Jr, Webb L X, Teasdall R D (2004) Stabilization of Lisfranc joint injuries: a biomechanical study. Foot Ankle Int 25(5):365–370

Lin S S, Bono C M, Treuting R, Shereff M J (2000) Limited intertarsal arthrodesis using bone grafting and pin fixation. Foot Ankle Int 21:742–748

Ly T V Coetzee J C (2006) Treatment of primarily ligamentous Lisfranc joint injuries: primary arthrodesis compared with open reduction and internal fixation. A prospective, randomized study. J Bone Joint Surg Am. Mar;88(3):514-20.

Llopis E Carrascoso J Iriarte I Serrano Mde P Cerezal L (2016) Lisfranc Injury Imaging and Surgical Management. Semin Musculoskelet Radiol. Apr;20(2):139-53.

MacMahon A, Kim P, Levine D S (2015) Returntosportsandphysical activities after primary partial arthrodesis for Lisfranc injuries in young patients. Foot Ankle Int; November 23 (Epubaheadof print)

Mactier L, Cox G, Mittal, R, Suthersan M (2024) Primary Arthrodesis or Open Reduction and Internal Fixation for Lisfranc Injuries: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. Foot Ankle Orthop Vol. 9 Issue 4 Pages 24730114241286892

Mahmoud S, Hamad F, Riaz M, Ahmed G, Al Ateeq M, Ibrahim T (2015) Reliability of the Lisfranc injury radiological classification (Myerson-modified Hardcastle classification system) Int Orthop. Nov;39(11):2215-8

Magill H P, Hajibandeh S, Bennett J, Campbell N, Mehta J (2019) Open Reduction and Internal Fixation Versus Primary Arthrodesis for the Treatment of Acute Lisfranc Injuries: A Systematic Review and Meta-analysis J Foot Ankle Surg. Mar;58(2):328-332

Makwana N K (2015) Tarsometatarsal injuries—Lisfranc injuries. Curr Orthop; 19(2):108–118

Maduka G C, Maduka D C, Yusuf N (2023) Lisfranc Sports Injuries: What Do We Know So Far? Cureus 2023 Vol. 15 Issue 11 Pages e48713

Mann R A, Prieskorn D, Sobel M (1996) Mid-tarsal and tarsometatarsal arthrodesis for primary degenerative osteoarthrosis or osteoarthrosis after trauma. J Bone Joint Surg Am 78(9): 1376–1385

Mansur, N. S. B. and Schmidt, E. (2021) Sports-Related Lisfranc Injuries and Recognition of Lisfranc Variants: Surgical Strategies for Stabilization. Foot Ankle Clin Vol. 26 Issue 1, 13-33.

Marks R M, Parks B G, Schon L C (1998) Midfoot fusion technique for neuroarthropathic feet: biomechanical analysis and rationale. Foot Ankle Int 19(8):507–510

Marshall J, Graves N C, Rettedal D, Frush K, Vardaxis V (2013) Ultrasound assessment of bilateral symmetry in dorsal Lisfranc ligament. J Foot Ankle Surg. May-Jun;52(3):319-23

McDermott A, Repanshek Z, Koyfman A, Long B (2024) High risk and low incidence diseases: Lisfranc injury. Am J Emerg Med Vol. 85 Pages 172-178

McHale K J, Rozell J C, Milby A H, Carey J L, Sennett B J Outcomes of Lisfranc Injuries in the National Football League Am J Sports Med. Jul;44(7):1810-7

Meyer S A, Caghan J, Albright J P, Crowley E T, Powell J W (2016) Midfoot sprains in collegiate football players. Am J Sports Med. 1994; 22:392–401.

Michael S (2006) Treatment of the missed Lisfranc injury. Foot Ankle Clin, 11: 127–142.

Mittlmeier T, Krowiorsch R, Brosinger S, Hudde M (1997) Gait function after fracture-dislocation of the midtarsal and/or tarsometatarsal joints. Clin Biomech (Bristol, Avon) 12: S16–S17

Miyamoto W, Takao M, Innami K, Miki S, Matsushita T (2015) Ligament reconstruction with single bone tunnel technique for chronic symptomatic subtle injury of the Lisfranc joint in athletes Arch Orthop Trauma Surg. Aug;135(8):1063-70.

Montangne J, Chevrot A, Galmiche J M (1981) Atlas of foot radiology. Masson Publishers, New York

Mulcahy H. (2018) Lisfranc injury: current concepts. Radiol Clin North Am.;56(6): 859–76. https://doi.org/10.1016/j.rcl.2018.06.003.

Müller M E, Nazarian S, Koch P, Schatzker J (1994) The comprehensive classification of fractures of long bones. Berlin: Springer-Verlag;

Mulier T, Reynders P, Sioen W, Van Den Bergh J, de Reymaeker G, Reynaert P, Broos P (1997) The treatment of Lisfranc injuries. Acta Orthop Belg 63:82–90

Mulier T, Reynders P, Dereymaeker G, Broos P (2002) Severe Lisfrancs injuries: primary arthrodesis or ORIF? Foot Ankle Int. Oct;23(10):902-5.

Myerson M S, Fisher R T, Burgess A R, Kenzora J E (1986) Fracture dislocations of the tarsometatarsal joints: end results correlated with pathology and treatment. Foot Ankle. 6:225–242

Myerson M S (1991) Management of compartment syndromes of the foot. Clin Orthop Relat Res: 271:239–48.

Myerson M S (1999) The diagnosis and treatment of injury to the tarsometatarsal joint complex. J Bone Joint Surg [Br];81-B:756–763.

Myerson M S, Cerrato R A (2008) Current management of tarsommetatarsal injuries in zhe athlete. J Bone Joint Surg Am 90:2522-2533

Nithyananth M, Boopalan P R, Titus V T, Sundararaj G D, Lee V N (2011) Long-term outcome of high-energy open Lisfranc injuries: a retrospective study J Trauma. Mar;70(3):710-6.

Nunley J A, Vertullo C J (2002) Classification, investigation, and management of midfoot sprains: Lisfranc injuries in the athlete. Am J Sports Med 30:871–87

Panchbhavi V K, Vallurupalli S, Yang J, Andersen C R Screw fixation compared with suture-button fixation of isolated Lisfranc ligament injuries J Bone Joint Surg Am. May;91(5):1143-8.

Panchbhavi V K, Molina D IV, Villarreal J, Curry M C, Andersen C R (2009) Three-dimensional, digital, and gross anatomy of the Lisfranc ligament. Foot Ankle Int 2013;34(6):876–880

Peicha G, Preidler KW, Lajtai G, Seibert FJ, Grechenig W (2001) Diagnostische Wertigkeit von Nativröntgen, Computer- und Magnetresonanztomographie beim akuten Hyperflexionstrauma des Fußes. Eine prospektive klinische Studie. Unfallchirurg 104:1134–1139

Pérez Blanco R, Rodríguez Merchán C, Canosa Sevillano R, Munuera Martínez L (1988) Tarsometatarsal fractures and dislocations. J Orthop Trauma.; 2(3):188-194

Philbin T, Rosenberg G, Sferra J J (2003) Complications of missed or untreated Lisfranc injuries. Foot Ankle Clin 8:61–7

Pigott M T, Shah R, Chan J, Irwin T A, Holmes J R, Talusan P G (2019) Initial Displacement Does Not Affect Loss of Reduction After Lisfranc Fracture Dislocations Foot Ankle Spec. Jan 22:1938640018823067.

Ponkilainen V T, Mattila V M, Laine, H J, Paakkala A, Maenpaa H M, Haapasalo H (2018) Nonoperative, open reduction and internal fixation or primary arthrodesis in the treatment of Lisfranc injuries: a prospective, randomized, multicenter trial - study protocol BMC Musculoskelet Disord. Aug 21;19(1):301

Ponkilainen V, Maenpaa H, Laine H J, Partio N, Vaisto O, Jousmaki J (2024) Open Reduction Internal Fixation vs Primary Arthrodesis for Displaced Lisfranc Injuries: A Multicenter Randomized Controlled Trial Foot Ankle Int 2024 Vol. 45 Issue 6 Pages 612-620

Porter D A, Barnes A, Rund A (2016) An Epidemiological Study Of Lisfranc Injuries In Competitive Athletes: 1627 Board #280 June 2, 8: 00 AM - 9: 30 AM. Med Sci Sports Exerc. May;48(5 Suppl 1):449

Porter D A, Barnes A, Rund A, Walrod M T (2019) Injury Pattern in Ligamentous Lisfranc Injuries in Competitive Athletes Foot Ankle Int. Feb;40(2):185-194.

Preidler K W, Peicha G, Lajtai G, Seibert F J, Fock C, Szolar D M, Raith H (1999) Conventional radiography, CT, and MR imaging in patients with hyperflexion injuries of the foot: diagnostic accuracy in the detection of bony and ligamentous changes. AJR Am J Roentgenol 173(6): 1673–1677

Purushothaman B, Robinson E, Lakshmanan P, Siddique M (2010) Extra-articular fixation for treatment of Lisfranc injury. Surg Technol Int 19:19

Qiao Y S, Li J K, Shen H, Bao H Y, Jiang M, Liu Y, Kapadia W, Zhang H T, Yang H L (2017) Comparison of Arthrodesis and Non-fusion to Treat Lisfranc Injuries. Orthop Surg. Mar 9. doi: 10.1111/os.12316.

Qu W, Ni S, Wang Z, Zhao Y, Zhang S, Cheng Y, Liu T, Yu M, Wang D (2016) Severe open Lisfranc injuries: one-stage operation through internal fixation associated with vacuum sealing drainage J Orthop Surg Res. Nov 4;11(1):134.

Quenu E, Küss G (1909) Etude sur les luxations du metatarse (luxations metatarsotarsiennes) du diastasis entre le 1er et le 2e metatarsien. Rev Chir.; 39:1093–1134

Raikin S M, Elias I, Dheer S, Besser M P, Morrison W B, Zoga A C (2009) Prediction of midfoot instability in the subtle Lisfranc injury. Comparison of magnetic resonance imaging with intraoperative findings. J Bone Joint Surg Am. 91:892–9.

Rammelt S, Schneiders W, Schikore H, Holch M, Heineck J, Zwipp H (2008) Primary open reduction and fixation compared with delayed corrective arthrodesis in the treatment of tarsometatarsal (Lisfranc) fracture dislocation. J Bone Joint Surg Br. Nov; 90(11):1499-506

Randt T, Dahlen C, Schikore H, Zwipp H (1998) Luxationsfrakturen im Mittelfußbereich – Verletzungen des Chopart- und Lisfranc-Gelenkes. Zentralbl Chir 123:1257–1266

Rao S, Nawoczensko D, Baumhauer J. (2008) Midfootarthritis: nonoperative options and decision making for fusion. TechFoot Ankle Surg; 7(3):188–195

Reinhardt K R, Oh L S, Schottel P, Roberts M, Levine D (2012) Treatment of Lisfranc fracture-dislocations with primary partial arthrodesi. Foot Ankle Int. Jan;33(1):50-6.

Renninger C H, Cochran G, Tompane T, Bellamy J, Kuhn K (2017) Injury Characteristics of Low-Energy Lisfranc Injuries Compared with High-Energy Injuries Foot Ankle Int. Sep;38(9):964-969.

Rettedal D, Graves N C, Marshall J, Frush K, Vardaxis V (2013) Reliability of ultrasound imaging in the assessment of the dorsal Lisfranc ligament. J Foot Ankle Res. Mar 3;6(1):7. doi: 10.1186/1757-1146-6-7.

Richter M, Wippermann B, Krettek C, Schratt H E, Haufner T, Thermann H (2001), Fractures and fracture dislocations of the midfoot: occurrence, causes and long-term results. Foot Ankle Int, 22, pp. 392–398

Richter M, Thermann H, Hüfner T, Schmidt U, Krettek C (2002) Aetiology, treatment and outcome in Lisfranc joint dislocations and fracture dislocations. Foot Ankle Surg (2002) 8:21–32

Richter M, Gosling T, Zech S, Allami M, Geerling J, Droste P, Krettek Ch (2005) A comparison of plates with and without locking screws in a calcaneal fracture model. Foot Ankle Int 26:309–319

Rosenbaum A, Dellenbaugh S, Dipreta J, Uhl R (2011) Subtle injuries to the Lisfranc joint. Orthopedics 34(11):882–887

Ross G, Cronin R, Hauzenblas J, Juliano P (1996) Plantar ecchymosis sign: a clinical aid to diagnosis of occult Lisfranc tarsometatarsal injuries. J Orthop Trauma 10:119–122

Ryba D, Ibrahim N, Choi J, Vardaxis V (2016) Evaluation of dorsal Lisfranc ligament deformation with load using ultrasound imaging. Foot (Edinb). Mar; 26:30-5.

Salat P, Le V, Veljkovic A, Cresswell M E (2018) Imaging in Foot and Ankle Instability Foot Ankle Clin. Dec;23(4):499-522.e28.

Salvi A E (2014) Lisfranc injuries: a matter of ligament disruption. J Foot Ankle Surg. Sep-Oct;53(5):674-6

Sangeorzan B J, Hansen S T Jr (1989) Early and late posttraumatic foot reconstruction. Clin Orthop Relat Res 243:86–91

Sangeorzan B J, Veith R G, Hansen S T Jr. (1990) Salvage of Lisfranc's tarsometatarsal joint by arthrodesis. Foot Ankle: 10:193-200.

Schepers T, Oprel P, Van Lieshout E M M (2013) Influence of approach and implant on reduction accuracy and stability in lisfranc fracture-dislocation at the tarsometatarsal joint. Foot Ankle Int, 34, pp. 705–710

Schepers T, rammelt S (2018) Classifying the Lisfranc Injury: Literature overview and a new classification FussSprung 16 151 - 159

Sheibani-Rad S, Coetzee J C, Giveans M R, DiGiovanni C (2012) Arthrodesis versus ORIF for Lisfranc fractures. Orthopedics. Jun;35(6): e868-73

Sherief T I, Mucci B, Greiss M (2007) Lisfranc injury: how frequently does it get missed? And how can we improve? Injury. Jul;38(7):856-60

Siddiqui N A, Galizia M S, Almusa E, Omar I M (2014) Evaluation of the tarsometatarsaljoint using conventionalradiography, CT, and MR imaging. Radiographics;34(2):514–531

Singh A, Lokikere N, Saraogi A, Unnikrishnan P N and Davenport J (2021) Missed Lisfranc injuries-surgical vs conservative treatment. Ir J Med Sci Vol. 190 Issue 2, 653-656.

Sivakumar B S, An V G, Oitment C, Myerson, M (2018) Subtle Lisfranc Injuries: A Topical Review and Modification of the Classification System Orthopedics. Mar 1;41(2): e168-e175.

Smith N, Stone C, Furey A (2016) Does Open Reduction and Internal Fixation versus Primary Arthrodesis Improve Patient Outcomes for Lisfranc Trauma? A Systematic Review and Meta-analysis. Clin Orthop Relat Res. Jun;474(6):1445-52

Solan M C, Moorman C T 3rd, Miyamoto R G, Jasper L E, Belkoff S M (2001) Ligamentous restraints of the second tarsometatarsal joint: a biomechanical evaluation. Foot Ankle Int 22:637–641

Sripanich Y, Steadman J, Krahenbuhl N, Rungprai C, Saltzman C L, Lenz A L, Barg A (2021) Anatomy and biomechanics of the Lisfranc ligamentous complex: A systematic literature review. J Biomech Vol. 119, 110287

Stavlas P Roberts C S Xypnitos F N Giannoudis P V (2010) The role of reduction and internal fixation of Lisfranc fracture-dislocations: a systematic review of the literature. Int Orthop. Dec;34(8):1083-91

Stein R E (1983) Radiological aspects of the tarsometatarsal joints. Foot Ankle. 3:286–289.

Stern R E, Assal M (2014) Dorsal multiple plating without routine transarticular screws for fixation of Lisfranc injury Orthopedics. Dec;37(12):815-9

Stødle A H, Hvaal K H, Enger M, Brøgger H, Madsen J E, Husebye E E (2020) Lisfranc injuries: Incidence, mechanisms of injury and predictors of instability. Foot Ankle Surg.; 26: 535–540

Stødle A H, Hvaal K H, Brøgger H, Madsen J E and Husebye E E (2021) Outcome after nonoperative treatment of stable Lisfranc injuries. A prospective cohort study. Foot Ankle Surg, Accession Number: 33832813 DOI: 10.1016/j.fas.2021.03.017

Talaski G M, Baumann A N, Walley K C, Anastasio A T, de Cesar Netto C (2023) Weightbearing Computed Tomography vs Conventional Tomography for Examination of Varying Degrees of Lisfranc Injures: A Systematic Review of the Literature. Foot Ankle Orthop Vol. 8 Issue 4 Pages 24730114231209767

Tamir E, Essa A, Levi A, Beit Ner E, Kachko E, Finestone A S (2023) Lisfranc Injury Diagnosis: What Is the Diagnostic Reliability of New Radiographic Signs Using Three-dimensional CT? Clin Orthop Relat Res 2023 Vol. 481 Issue 11 Pages 2271-2278

Tan YH, Chin T W, Mitra A K, Tan S K (1995) Tarsometatarsal (Lisfranc's) injuries—results of open reduction and internal fixation. Ann Acad Med Singapore: 24(6):816–819

Tang L, Zhou W, Bai L, Wu C, Xiong C, Yan Y (2024) Comparison of diagnostic performance of X-ray, CT and MRI in patients with surgically confirmed subtle Lisfranc injuries. Exp Ther Med 2024 Vol. 27 Issue 4 Pages 174

Tarczynska M, Gaweda K, Dajewski Z, Kowalska E, Gagala J. (2013) Comparison of treatment results of acute and late injuries of the lisfranc joint Acta Ortop Bras.;21(6):344-3446.

Tomlinson M, Puna R (2018) Percutaneous reduction and fixation of subtle Lisfranc injuries FussSprungg 163 S. 160-175

Trillat A, Lerat J L, Leclerc P, Schuster P (1976) Les fractures luxations tarso-metartarsiennes. Classification. Traitement. A propos de 81 cas. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot 62:685–702

van den Boom N A C, van den Hurk A A, Evers S, Poeze M, B. F. F. s. group (2023) Societal burden and quality of life in patients with Lisfranc Injuries. Injury Vol. 54 Issue 10 Pages 110913

van der Vliet Q M J, Esselink T A, Heng M, Houwert R M, Leenen L P H, Hietbrink F (2018) Functional outcomes of traumatic midfoot injuries Injury. Nov;49(11):2087-2092

van Pelt M D, Athey A, Yao J, Ennin K, Kassem L, Mulligan E, Lalli T, Liu G T (2019) Is Routine Hardware Removal Following Open Reduction Internal Fixation of Tarsometatarsal Joint Fracture/Dislocation Necessary? J Foot Ankle Surg. Mar;58(2):226-230

Vertullo CJ , Easley M E, Nunley J A (2002) The transverse dorsal approach to the Lisfranc joint. Foot Ankle Int 23(5):420–426

Vesely B D, Michels L, King M A, Gangopadhyay P, Scott A T (2024) Primary Arthrodesis versus Open Reduction and Internal Fixation for Lisfranc Joint Fracture-Dislocations in Adults: A Systematic Review J Am Podiatr Med Assoc Vol. 114 Issue 1

Vosbikian M, O'Neil J T, Piper Ch, Huang R, Raikin S M (2017) Outcomes After Percutaneous Reduction and Fixation of Low-Energy Lisfranc Injuries Foot Ankle IntJul;38(7):710-715.

Vuori J P, Aro H T (1993) Lisfranc joint injuries: trauma mechanisms and associated injuries. J Trauma 35:40–45

Watson T S, Shurnas P S, Denker J (2010) Treatment of Lisfranc joint injury: current concepts. J Am Acad Orthop Surg; 18:718–728.

Wang L P, Yang C, Huang J F, Shen J, He C, Tong P J (2017) Open Reduction And Internal Fixation Versus Primary Partial Arthrodesis For Lisfranc Injuries Accompanied By Comminution Of The Second Metatarsal Base Acta Orthop Belg. Sep;83(3):396-404

Weatherford B M, Anderson J G, Bohay D R (2017) Management of Tarsometatarsal Joint Injuries. J Am Acad Orthop Surg.;25(7):469–79.

Welck M, Zinchenko R, Tudor F (2016) A painful foot: Lisfranc fracture-dislocations BMJ. Mar 7;352: i882.

Wen Y, Feng P, Zhang H, Tu C Q. (2013) [Comparison between allogeneic tendon fixation and screw fixation in ligamentous Lisfranc injury: a biomechanical analysis] Sichuan Da Xue Bao Yi Xue Ban. Mar;44(2):222-5, 241.

Wiley J J (1971) The mechanism of tarsometatarsal joint injuries. J Bone Joint Surg Br 53:474–482

Wilson D W (1972) Injuries of the tarsometatarsal joint. J Bone Joint Surg Br 54:67

Wilson M G, Gomez-Tristan A (2010) Medial plate fixation of Lisfranc injuries. Tech Foot Ankle Surg 9(3):107–11

Won H J, Oh C S (2019)Variations of the plantar tarsometatarsal ligaments Clin Anat. Mar 15.

Woodward S, Jacobson J A, Femino J E, Morag Y, Fessell D P, Dong Q (2009) Sonographic evaluation of Lisfranc ligament injuries J Ultrasound Med. Mar;28(3):351-7

Wright M P Michelson J D (2013) Lisfranc injuries BMJ. Jul 23;347: f4561.

Yu-Kai Y, Shiu-Bii L Anatomic Parameters of the Lisfranc Joint Complex in a Radiographic and Cadaveric Comparison J Foot Ankle Surg. 2015 Sep-Oct;54(5):883-7

Yuen J S, Yung S W, Wong M K (2001) Open reduction and temporary rigid internal fixation of Lisfranc fracture-dislocations. Singapore Med J 42:255–258

Zhu H, Zhao H M, Yuan F, Yu G R (2011) Effective analysis of open reduction and internal fixation for the treatment of acute Lisfranc joint injury. Zhongguo Gu Shang; 24(11):922-5.

Zwipp H (1994) Chirurgie des Fußes. Springer, Wien

Zwipp H, Rammelt S (2014a), Tscherne Unfallchirurgie Band 10: Fuß, Springer-Verlag Berlin Heidelberg S 525

Zwipp H, Rammelt S (2014b) Tscherne Unfallchirurgie Band 10: Fuß, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S 513-530

Zwipp H, Rammelt S, Holch M, Dahlen C (1999) Die Lisfranc Arthrodese nach Fehlheilung. Unfallchirurg 102:918–923

8. Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Pascal Nadler-Sahabandu, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Aktuelle Aspekte der Lisfranc-Verletzung – Ergebnisse einer klinischen retrospektiven Studie - / Current aspects of the Lisfranc joint injury – Results of a retrospective clinical study -“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

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

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

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

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

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

31.12.2024 _____ _____
Datum Unterschrift

9. Lebenslauf

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

10. Publikation

Graef J, Tsitsilonis S, Niemann M, Gehlen T, Nadler P, Graef F Retrospective analysis of treatment decisions and clinical outcome of Lisfranc injuries: operative vs. conservative treatment. Int Orthop .2021 Dec;45(12):3213-3219.

11. Danksagung

Mein Dank gebührt zunächst meinen Betreuern und Mentoren Herrn PD Dr. med. Serafeim Tsitsilonis, PD Dr. Frank Graef und PD Dr. med. Sebastian Manegold. Zum einen für die Möglichkeit, als teamferner Doktorand angenommen zu werden und den Zugriff auf die Daten zu erhalten. Zum anderen gilt mein besonderer Dank für die Hilfe und Mühe, wie auch für die Zusprache und Motivation, sowie den langen Atem, den es brauchte, um diese Arbeit zu erstellen.

Des Weiteren gilt mein Dank meinem lieben Kollegen Dr. med. David Machó für die Vermittlung dieses Kontaktes, sowie meiner Ausbilderin und Mentorin Sima Schahandeh-Stappenbeck, die mir neben Fachkenntnissen und Fähigkeiten auch die Begeisterung und Leidenschaft für die Chirurgie vermittelte. Und nicht zuletzt Dr. med. Lutz Drechsler, Klaus Westmeyer und dem Team der Medizinischen Fachangestellten der chirurgischen Abteilung der Gemeinschaftspraxis Kaiser-Wilhelm-Passage, die mir in zuverlässiger Vertretung und Organisation in meiner Tätigkeit als niedergelassener Chirurg, stets den Zeitaufwand für diese Dissertation ermöglichten.

Mein persönlicher Dank gilt meiner Frau Diomira Sahabandu und ihrer großartigen Familie, meinen Kindern Karla Anouk und Romy Aimée Nadler, sowie meiner Schwester Stefanie Nadler und meinem Neffen Jonas Nadler. Die befreundeten Familien Andriessens und Richardt-Stroh begleiteten mich ausgewogen zwischen Ansporn und Ablenkung durch diese Jahre; auch Ihnen sei an dieser Stelle herzlichst gedankt.

Gewidmet ist diese Arbeit meinen verstorbenen Eltern Arno und Lilo Nadler, die mir den Weg in die Medizin ermöglichten und mich zeitlebens mit aller Kraft und Liebe unterstützten und meiner kürzlich verstorbenen Tante aus Amerika, Ruth Daby, die mich mit ihrem beeindruckenden Lebensweg und Selbstvertrauen inspirierte.

CHARITÉ
UNIVERSITÄTSMEDIZIN BERLIN

Charité | Charitéplatz 1 | 10117 Berlin

Name, Vorname: Nadler-Sahabandu, Pascal
Emailadresse: pascal.nadler-sahabandu@charite.de
Matrikelnummer: 201168
Promotionsbetreuer/In: Dr. med. Serafeim Tsitsilonis
Promotionsinstitution/Klinik: BIH - Julius Wolff Institut für Biomechanik und Muskuloskeletale Regeneration

Institut für Biometrie und Klinische Epidemiologie

Institutsleiter (kommissarisch)
Prof. Dr. Frank Konietschke

Postadresse
Campus Charité Mitte
Charitéplatz 1 | 10117 Berlin

Besuchsadresse
Sauerbruchweg 3 | Ebene 2 | Raum 060

T +49 30 450 562 161
frank.konietschke@charite.de

Berlin, 12. Dezember 2024

Bearbeitet von:
Maja Krajewska
T +49 30 450 562 188
maja.krajewska@charite.de

Bescheinigung

Hiermit bescheinige ich, dass *Herr Nadler-Sahabandu* innerhalb der Service Unit Biometrie des Instituts für Biometrie und klinische Epidemiologie (iBikE) bei mir eine statistische Beratung zu einem Promotionsvorhaben wahrgenommen hat. Folgende Beratungstermine wurden wahrgenommen:

- *Termin 1: 14.04.2021*
- *Termin 2: 18.05.2021*
- *Termin 3: 22.10.2024*

Folgende wesentliche Ratschläge hinsichtlich einer sinnvollen Auswertung und Interpretation der Daten wurden während der Beratung erteilt:

- Multiples Testen
- Logistische Regression

Diese Bescheinigung garantiert nicht die richtige Umsetzung der in der Beratung gemachten Vorschläge, die korrekte Durchführung der empfohlenen statistischen Verfahren und die richtige Darstellung und Interpretation der Ergebnisse. Die Verantwortung hierfür obliegt alleindem Promovierenden. Das Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie übernimmt hierfür keine Haftung.

Datum: 12.12.2024 Name des Beraters/der Beraterin: Maja Krajewska

CHARITÉ
UNIVERSITÄTSMEDIZIN BERLIN
Institut für Biometrie und Klinische Epidemiologie
Campus Charité Mitte
Charitéplatz 1 | D-10117 Berlin
Sitz: Reinhardtstr. 58

Unterschrift Berater/In, Institutsstempel

CHARITÉ

Charité | 10117 Berlin

Herrn
Dr. med. Frank Graef
Centrum für Muskuloskletale Chirurgie
CVK

Ethikkommission
Ethikausschuss am Campus Virchow-Klinikum
Vorsitzende: Frau PD Dr. E. Kaschina

Geschäftsführung: Dr. med. Katja Orzechowski
ethikkommission@charite.de

Korrespondenzadresse: Charitéplatz 1, 10117 Berlin
Tel.: 030/450-517222
Fax: 030/450-517952

http://ethikkommission.charite.de

Datum: 30.03.2021

Retrospektive Analyse des Therapiealgorhythmus bei Verletzungen des Fußes sowie Sprunggelenks (Foot Ankle Injuries = FAI)
Antragsnummer: EA2/025/21
Vorgang vom 19.03.2021, Eingang am 22.03.2021, per E-Mail am 19.03.2021

Sehr geehrter Herr Dr. Graef,

hiermit bestätigen wir den Eingang des Schreibens vom 19.03.2021 mit folgender Anlage:

- Ethikantrag, Version vom 19.03.2021

Die Auflagen laut Votum vom 05.03.2021 sind somit erfüllt. Wir wünschen viel Erfolg bei der Durchführung der o.g. Studie.

Mit freundlichen Grüßen

PD Dr. med. E. Kaschina
Vorsitzende