

Aus der Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand-, Plastische und

Wiederherstellungschirurgie der Universität Würzburg

Direktor: Professor Dr. med. Rainer H. Meffert

Offene Unterschenkelfrakturen mit lappenpflichtigen Weichteildefekten

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Günther Biehl

aus Bopfingen

Würzburg, Oktober 2018

Referent: Prof. Dr. med. Rafael Jakubietz

Korreferent: Prof. Dr. med. Boris Holzapfel

Dekan: Prof. Dr. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 14.05.2019

Der Promovend ist Arzt

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
1. Einleitung	1
1.1 Epidemiologie.....	1
1.2 Spezialisierte Fachzentren	2
1.3 Initiales Management	3
1.4 Klassifikationen bei offenen Unterschenkelfrakturen	5
1.4.1 <i>AO-Klassifikation</i>	5
1.4.2 <i>Klassifikation des Weichteilschadens</i>	6
1.5 Antibiotikaprophylaxe	7
1.6 Wundexzision/Debridement	8
1.7 Pseudarthrose	8
1.8 Spongiosaplastik	10
1.9 Fragestellung der Arbeit	11
2. Material und Methode	12
2.1 Zielgruppe der Untersuchung.....	12
2.2 Untersuchungsdurchführung	12
3. Ergebnisse	13
3.1 Ergebnisteil 1: Häufigkeitsauszählungen und deskriptive Statistiken ..	13
3.1.1 <i>Pseudarthrose</i>	14
3.1.2 <i>Alter</i>	18
3.1.3 <i>Geschlecht</i>	21
3.1.4 <i>Body-Mass-Index</i>	22
3.1.5 <i>Rauchen</i>	24
3.1.6 <i>Polytrauma</i>	25
3.1.7 <i>Gefäßverletzung</i>	26
3.1.8 <i>Hämoglobinwert (Hb) bei Lappenplastik</i>	27
3.1.9 <i>Definitive osteosynthetische Ausversorgung der Fraktur: Zeitpunkt nach dem Unfall</i>	28
3.1.10 <i>Lappenplastik: Zeitpunkt nach dem Unfall</i>	30
3.1.11 <i>Lappenplastik: Zeitpunkt nach definitiver Osteosynthese</i>	32
3.1.12 <i>Typ Lappenplastik</i>	33
3.1.13 <i>Lappenverlust</i>	34

3.1.14	<i>Spongiosaplastik</i>	37
3.2	Ergebnisteil 2: Gruppenvergleiche nach Pseudarthrose	38
3.2.1	<i>Ergebnisse der t-Tests</i>	38
3.2.2	<i>Ergebnisse der U-Tests</i>	39
3.2.3	<i>Ergebnisse der Chi-Quadrat-Tests</i>	41
4.	Diskussion	42
4.1	Patientenbezogene Risikofaktoren.....	42
4.1.1	<i>Altersverteilung</i>	42
4.1.2	<i>Geschlechterverteilung</i>	42
4.1.3	<i>Body-Mass-Index</i>	43
4.1.4	<i>Nikotinabusus</i>	45
4.2	Unfallbezogene Risikofaktoren.....	45
4.2.1	<i>Polytrauma</i>	45
4.2.2	<i>Gefäßverletzungen</i>	47
4.3	Operationsparameter	48
4.3.1	<i>Hämoglobin-Wert (Hb) bei Lappenplastik</i>	48
4.3.2	<i>Zeitpunkt der definitiven Osteosynthese nach dem Unfall</i>	49
4.3.3	<i>Zeitpunkt der Lappenplastik</i>	51
4.3.4	<i>Zeitpunkt der Durchführung der Lappenplastik nach der definitiven Osteosynthese</i>	53
4.3.5	<i>Typ der Lappenplastik</i>	54
4.4	Komplikationen.....	55
4.4.1	<i>Lappenverlust</i>	55
4.4.2	<i>Spongiosaplastik</i>	56
4.4.3	<i>Pseudarthrose</i>	57
5.	Zusammenfassung	59
5.1	Patientenbezogene Risikofaktoren.....	59
5.2	Unfallbezogene Risikofaktoren.....	59
5.3	Operationsparameter	60
5.4	Komplikationen.....	61
6.	Literaturverzeichnis	62

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kreisdiagramm zur Verteilung nach Pseudarthrose (nein/ja).	15
Abbildung 2: Kreisdiagramme zur Verteilung nach: Fraktur-Typ nach Gustilo-Anderson-Klassifikation.....	16
Abbildung 3: Kreisdiagramme zur Verteilung nach: Fraktur-Typ nach AO-Klassifikation.	18
Abbildung 4: Histogramme zur Altersverteilung.....	19
Abbildung 5: Kreisdiagramme zur Altersverteilung nach Altersgruppen.....	20
Abbildung 6: Kreisdiagramme zur Verteilung nach Geschlecht.....	21
Abbildung 7: Histogramme zum BMI [in kg/m ²].	23
Abbildung 8: Kreisdiagramme zur Verteilung der Werte des BMI nach Klassen [in kg/m ²].....	24
Abbildung 9: Kreisdiagramme zur Verteilung nach Rauchern/Nichtrauchern. ...	25
Abbildung 10: Kreisdiagramme zur Verteilung nach Polytrauma (nein/ja).....	26
Abbildung 11: Kreisdiagramme zur Verteilung nach Gefäßverletzungen (nein/ja).	27
Abbildung 12: Kreisdiagramme zur Verteilung nach Hämoglobinwert (Hb) bei Lappenplastik (unter 10 g/dl, gleich/größer 10 g/dl).	28
Abbildung 13: Kreisdiagramme zur Verteilung nach: Definitive osteosynthetische Ausversorgung der Fraktur: Zeitpunkt nach Unfall (Tage) (weniger als 5 Tage/ 5-10 Tage/ mehr als 10 Tage).....	30
Abbildung 14: Kreisdiagramme zur Verteilung nach Lappenplastik: Zeitpunkt nach Unfall (weniger als 7 Tage/ 7-14 Tage/ mehr als 14 Tage/ nicht bekannt).	31
Abbildung 15: Kreisdiagramme Lappenplastik: Zeitpunkt nach definitiver Osteosynthese (weniger als 7 Tage/ 7-14 Tage/ mehr als 14 Tage).....	33
Abbildung 16: Kreisdiagramme zur Verteilung nach Typ Lappenplastik (freie Lappen/ lokale fasziokutane Lappen/ gestielte Muskellappen).	34
Abbildung 17: Kreisdiagramme zur Verteilung nach Lappenverlust (nein/ja). ...	36
Abbildung 18: Kreisdiagramme zur Verteilung nach Spongiosaplastik (nein/ja).	38

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Häufigkeitsauszählung: Pseudarthrose.	14
Tabelle 2: Häufigkeitsauszählung: Fraktur-Typ nach Gustilo-Anderson-Klassifikation.	15
Tabelle 3: Häufigkeitsauszählung: Fraktur-Typ nach AO-Klassifikation.	17
Tabelle 4: Deskriptive Statistik: Alter.	18
Tabelle 5: Häufigkeitsauszählung: Altersgruppen.	20
Tabelle 6: Häufigkeitsauszählung: Geschlecht.	21
Tabelle 7: Deskriptive Statistik: BMI.	22
Tabelle 8: Häufigkeitsauszählung: BMI nach Klassen.	23
Tabelle 9: Häufigkeitsauszählung: Raucher/Nichtraucher.	24
Tabelle 10: Häufigkeitsauszählung: Polytrauma.	25
Tabelle 11: Häufigkeitsauszählung: Gefäßverletzung (nein/ja).	26
Tabelle 12: Häufigkeitsauszählung: Hämoglobinwert (Hb) bei Lappenplastik. .	27
Tabelle 13: Häufigkeitsauszählung: Definitive osteosynthetische Ausversorgung der Fraktur: Zeitpunkt nach Unfall (Tage) (unter 5 Tage/ 5-10 Tage/ mehr als 10 Tage).	29
Tabelle 14: Häufigkeitsauszählung: Lappenplastik: Zeitpunkt nach Unfall (in Tagen).	31
Tabelle 15: Häufigkeitsauszählung: Lappenplastik: Zeitpunkt nach definitiver Osteosynthese (in Tagen).	32
Tabelle 16: Häufigkeitsauszählung: Typ Lappenplastik.	34
Tabelle 17: Häufigkeitsauszählung: Lappenverlust.	35
Tabelle 18: Lappenverlust in Abhängigkeit des Typs der Lappenplastik.	36
Tabelle 19: Häufigkeitsauszählung: Spongiosaplastik.	37
Tabelle 20: Deskriptive Statistik: Mittelwertvergleiche.	39
Tabelle 21: Zusammengefasste Ergebnisse der t-Tests.	39
Tabelle 22: Zusammengefasste Ergebnisse der U-Tests.	40
Tabelle 23: Zusammengefasste Ergebnisse der Chi-Quadrat-Tests.	41

1. Einleitung

1.1 Epidemiologie

Offene Brüche treten in westlichen Gesellschaften seltener auf als zu früheren Zeiten. Die Inzidenz offener Frakturen der langen Röhrenknochen beträgt 11,5/100.000 Personen. Männer sind dabei weitaus häufiger betroffen als Frauen [18].

In 57,7 % sind Verkehrsunfälle ursächlich für offene Frakturen langer Röhrenknochen. An zweiter Stelle folgen Stürze aus Stehhöhe (19,0 %), gefolgt von Stürzen aus großer Höhe (9,7 %). Des Weiteren sind Sportunfälle mit 4,5 % häufig. Andere Ursachen, wie beispielsweise Schussverletzungen, Hundebisse oder Explosionen, kommen in unserer Gesellschaft deutlich seltener vor [18].

Mit 44,7 % ist die offene Fraktur der Tibiadiaphyse die am häufigsten vorkommende Erscheinungsform dieser Verletzung. Demgegenüber sind offene Frakturen der proximalen Tibia (1,9 %), sowie der distalen Tibia (2,1 %) selten [18]. Die Inzidenz aller Tibiaschaftfrakturen liegt bei 17/100.000 Personen. Als Hauptunfallursache ist der Sturz aus Standhöhe (48,0 %) zu nennen. Ferner tragen Transportunfälle zu 21,0 % zum Verletzungsbild bei. Ein Sturz aus großer Höhe gilt in 7,0 % der Fälle als Ursache, in 9,0 % sind die Ursachen unspezifisch und bei weiteren 12,0 % sind anderweitige Mechanismen auslösend. Nur in 12,0 % der Fälle kommt es jedoch zu einer offenen Tibiaschaftfraktur. Dies entspricht einer jährlichen Inzidenz von 2,3/100.000 Personen [104].

Court-Brown et al. (2012) zeigt im Rahmen einer Übersichtsarbeit auf, dass die Gesamt-Inzidenz aller offenen Frakturen bei 30,7/100.000 Personen liegt und dass das Durchschnittsalter für alle Patienten 45,5 Jahre beträgt. Es waren 69,1 % Männer und 30,9 % Frauen betroffen. Bei den betroffenen Frauen handelte es sich zumeist um ältere Patientinnen im Alter von 80-89 Jahren. Hier beträgt die Inzidenz 53,0/100.000 Personen und ist damit vergleichbar hoch wie

bei jungen Männern zwischen 15 und 19 Jahren (54,5/100.000 Personen). Somit zeigt sich in Bezug auf die Inzidenz aller offenen Frakturen in der Gesamtpopulation eine biphasische Altersverteilung mit einer Häufung im jungen Alter bei Männern und im höheren Alter bei Frauen [19].

Auch wenn die Inzidenz im Allgemeinen gering wirkt, sind die Folgen für die Patienten und das Gesundheitssystem gravierend. Bei jungen Patienten sind wegen des langen Behandlungszeitraumes und der teilweise permanent verbleibenden Einschränkungen tiefgehende Beeinträchtigung im Arbeitsleben und persönlichen Umfeld häufig. Bei älteren Patienten ist unter Umständen die selbständige Lebensweise gefährdet. Daher gebührt dieser Verletzung ein hoher Stellenwert.

Ein generelles Problem der wissenschaftlichen Aufarbeitung von Behandlungsverläufen nach offenen Frakturen liegt in der Inhomogenität der Patientenpopulation. Nicht nur die deutlichen Altersunterschiede, sondern vor allem auch die unterschiedlichen Verletzungsmechanismen, Frakturformen und die unterschiedlichen Weichteildefekte führen zu dermaßen vielen Variablen, sodass generell gültige Aussagen nur schwerlich getroffen werden können. Daher wurde von Fachgesellschaften als Quintessenz aus fokussierten Studien ein Behandlungskonzept für die Versorgung offener Frakturen der unteren Extremität erarbeitet, welches nun kurz dargestellt werden soll.

1.2 Spezialisierte Fachzentren

Liegt eine offene Fraktur vor, ist eine möglichst frühzeitige Behandlung von oberster Priorität. Neben den herkömmlichen Kliniken, haben sich dazu vor allem Fachzentren etabliert, die eine umfassende und hochspezialisierte Behandlung des Patienten bereitstellen. Besonders in England hat sich dieses Konzept durchgesetzt und dient als gesamteuropäisches Vorbild.

Diese Fachzentren verfügen über das erforderliche Wissen, die benötigte Erfahrung sowie über ein prioritätenorientiertes Behandlungskonzept. Diese 3

Aspekte können letztlich auch als Grundpfeiler einer erfolgreichen Behandlung offener Frakturen betrachtet werden [42]. Für die Therapie offener, komplexer Frakturen bedarf es zudem eines multidisziplinären chirurgischen Behandlungsteams, bestehend aus Unfallchirurgen, Orthopäden, Gefäßchirurgen und plastischen Chirurgen [63,84]. Die Fachzentren bieten hierfür optimale Bedingungen und können entsprechend spezialisierte Teammitglieder bereitstellen. Dies unterstreicht die Relevanz dieser Einrichtungen und verdeutlicht, dass eine Erstbehandlung der offenen Fraktur der unteren Extremität nach Möglichkeit immer in einem solchen Fachzentrum erfolgen sollte [63].

1.3 Initiales Management

In den meisten Fällen sind Verkehrsunfälle und Stürze ursächlich für eine offene Fraktur der unteren Extremität. Dies wiederum hat zur Folge, dass viele der Patienten mehrfach bis polytraumatisiert sind. Daher ist es ein primäres Ziel, zunächst die Vitalfunktionen der Patienten zu sichern und so zu einer ersten Stabilisierung beizutragen. Initial kommt dazu das „Advanced Trauma Life Support (ATLS)“-Protokoll zum Einsatz [3]. Darüber hinaus ist das Erstellen einer (Fremd-) Anamnese hinsichtlich des Unfallgeschehens und des Unfallortes von Bedeutung. Aus den hieraus ermittelten Informationen lassen sich Schlüsse ziehen, zu welchen Krafteinwirkungen es beim Unfallhergang gekommen ist und es können erste Erkenntnisse dahingehend gewonnen werden, ob spitze oder stumpfe Gewalt, ein Decollement oder auch eine Kontamination stattgefunden haben [90].

Eine umfassende Beurteilung der offenen Fraktur kann nur erfolgen, wenn diese sorgfältig, systematisch und wiederholt stattfindet [67]. Eine erste ungezielte antibiotische Therapie wird bereits in der Notaufnahme oder dem Schockraum angesetzt [42]. Darüber ist eine Tetanusprophylaxe obligat. Ebenso findet bereits zu diesem frühen Zeitpunkt der Einlieferung eine einmalige Inspektion der offenen Fraktur statt. Es folgen eine vorläufige Klassifikation der Verletzung, eine Fotodokumentation sowie eine Reposition

[90]. Die Wunde wird anschließend nach einem mikrobiologischen Abstrich von grobem Schmutz gesäubert [64], steril verbunden und über die angrenzenden Gelenke hin geschient [90]. Nach Möglichkeit sollten die Verbände im weiteren Behandlungsverlauf bis zum ersten operativen Debridement so selten wie möglich geöffnet werden, um eine weitere durch den Verbandswechsel zu begründende Kontamination zu unterbinden.

Von außerordentlicher Wichtigkeit ist ebenfalls die Beurteilung der Perfusionssituation der verletzten Extremität. Pulsstatus, Hautkolorit, Hautturgor sowie die Rekapillarisation müssen untersucht und dokumentiert werden. Falls keine Pulse tastbar sind, muss eine dopplersonographische Untersuchung erfolgen [90]. Ebenfalls von Bedeutung ist die Abklärung, inwieweit ein drohendes oder manifestes Kompartmentsyndrom vorliegt. Dieses tritt bei 9,1% der Patienten mit offenen Tibiafrakturen auf, sodass eine Kombination beider Merkmale durchaus keine Seltenheit darstellt [8]. Sowohl das Vorliegen einer kritischen Minderperfusion, als auch ein Kompartmentsyndrom stellen Notfallindikationen dar. Ohne zügige Revaskularisation oder Spalten der Kompartimente ist ein Extremitätenverlust meist nicht zu vermeiden.

Sobald der Patient nach diesem Verlaufsmuster stabilisiert ist, sollte eine zeitnahe operative Versorgung der Verletzung angestrebt werden. Als Faustregel gilt, dass die Versorgung einer offenen Fraktur innerhalb von 24 Stunden nach Unfallgeschehen eingeleitet werden sollte [100]. Nach Ryan et al. (2013) müssen offene Frakturen dringlich, aber nicht notfallmäßig einer Spülung und einem Debridement zugeführt werden. Ein zeitgerechter Wundverschluss nach Entfernung des nekrotischen Gewebes senkt das Komplikationsrisiko nach einer offenen Fraktur [84]. Namdari et al. (2011) konnten zeigen, dass bei 42,0 % der Patienten das Debridement über 6 Stunden nach dem Trauma durchgeführt wird. Bei 24,0 % erfolgt das Debridement sogar erst nach über 24 Stunden [62]. Generell sollte die operative Versorgung offener Frakturen so rasch als möglich erfolgen. Die heute gängige klinische Praxis erfordert eine rasche operative Wundsäuberung innerhalb der ersten 24 Stunden.

1.4 Klassifikationen bei offenen Unterschenkelfrakturen

Für die richtige Behandlung, Auswahl der Therapieoptionen und Therapiekontrolle sind Klassifikationen der Bruchformen von immenser Bedeutung [61]. Daher werden nachfolgend die wichtigsten Klassifikations-Standards aufgezeigt. Unterschieden werden dabei die AO-Klassifikation sowie die Klassifikation des Weichteilschadens. In Bezug auf letztere wird exemplarisch die Gustilo-Anderson-Klassifikation vorgestellt, da diese am weitesten verbreitet ist.

1.4.1 AO-Klassifikation

Bei der AO-Klassifikation handelt es sich um die Einteilung von Frakturen gemäß der Klassifikation nach der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen. Die Klassifikation, und die daraus abgeleitete Lokalisation und Schwere der Fraktur, wird durch einen alphanumerischen Code beschrieben. Die erste Ziffer steht für die anatomische Lokalisation (1=Humerus, 2=Radius/Ulna, 3=Femur, 4=Unterschenkel), die zweite Ziffer für das Knochensegment (1=proximal, 2=diaphysär, 3=distal, 4=Malleolus), die Buchstaben A-C beschreiben die Fraktur nach Schweregrad (Schafffrakturen: A=einfache Fraktur, B=Keilfraktur, C=komplexe Fraktur; Gelenkfrakturen: A=extraartikulär, B=partielle Gelenkfraktur, C=vollständige Gelenkfraktur). Über die letzte Ziffer wird der Schweregrad genauer beurteilt (1=leicht, 2=mittel, 3=schwer) [61, 106].

Somit enthält der nach der AO-Klassifikation erstellte Code alle relevanten Informationen zur Lokalisation, Schwere und Art der Verletzung und ermöglicht dem medizinischen Fachpersonal einen schnellen, aber punktgenauen Überblick zu den wichtigsten Parametern. Die Klassifikation berücksichtigt rein die knöchernen Komponenten und ist daher nicht für die Klassifikation des Weichteilschadens geeignet.

1.4.2 Klassifikation des Weichteilschadens

Neben der Beurteilung der Frakturmorphologie, ist die genaue Klassifikation des begleitenden Weichteilschadens für die Prognose und Therapie von entscheidender Bedeutung. Hierzu gibt es verschiedene Einteilungen, wie beispielsweise die Klassifikation des Weichteilschadens nach Tscherne/Oestern oder die Gustilo-Anderson-Klassifikation. Letztere wird international am häufigsten im Kontext von offenen Frakturen angewendet und wird daher nachfolgend detaillierter vorgestellt.

Die Gustilo-Anderson-Klassifikation wurde 1976 entwickelt und 1984 modifiziert. Sie nimmt eine Einteilung der Frakturen nach insgesamt 6 Abstufungen vor, die folgendermaßen differenziert werden [31, 32, 84]:

- *Grad 1*: offene Fraktur mit einer sauberen Wunde, die eine Länge von weniger als 1 cm Länge aufweist.
- *Grad 2*: offene Fraktur mit einer Wunde von mehr als 1 cm Länge, jedoch ohne größeren Weichteilschaden, Gewebelappen oder Gewebeabriss.
- *Grad 3*: Mehrfragmentfraktur, massive Gewebetraumatisierung oder traumatische Amputation. Sonderkategorien: Schussverletzungen, landwirtschaftliche Verletzungen, offene Frakturen mit rekonstruktionspflichtigen Gefäßverletzungen.
- *Grad 3a*: noch adäquate Weichteildeckung des frakturierten Knochens, trotz ausgeprägter Weichteildestruktion oder Gewebelappen oder Hochrasanztrauma, unabhängig von der Wundgröße.
- *Grad 3b*: ausgedehnter Weichteildefekt mit Deperiostierung und freiliegendem Knochen, gewöhnlich assoziiert mit massiver Kontamination.
- *Grad 3c*: offene Fraktur mit behandlungspflichtiger, arterieller Verletzung.

Ryan et al. (2014) weisen darauf hin, dass eine offene Fraktur erst nach dem chirurgischen Debridement klassifiziert werden kann. So kann sich nach der

Entfernung von nekrotischem oder verschmutztem Gewebe eine präoperativ als Grad 1 eingestufte Fraktur als eine Grad 2 oder Grad 3 Fraktur entpuppen [84].

1.5 Antibiotikaprohylaxe

Schon 1983 konnten Patzakis et al. nachweisen, dass Patienten mit offenen Unterschenkelfrakturen, welche keine antibiotische Therapie erhielten, eine weitaus höhere Infektionsrate (24,0 %) hatten als Patienten, die mit Cephalosporinen oder Aminoglykosid-Antibiotika prophylaktisch behandelt wurden (4,5 %) [76].

In einer Übersichtsarbeit konnten Gosselin et al. (2004) zeigen, dass die Verwendung von Antibiotika die Häufigkeit von Frühinfektionen bei offenen Frakturen reduziert [27]. Daher stellt die Antibiotikaprohylaxe einen wichtigen Bestandteil in der Behandlung offener Frakturen, insbesondere in der Akutbehandlung, dar und ergänzt diese wirkungsvoll. Die Antibiotikaprohylaxe sollte aufgrund dessen schnellstmöglich eingeleitet werden [36]. Nanchahal et al. (2009) empfehlen in diesem Kontext, dass die antibiotische Therapie innerhalb von 3 Stunden nach der Verletzung beginnen sollte [65].

Wie genau die Antibiotikaprohylaxe letztlich angewendet wird, hängt maßgeblich von der Klassifikation der offenen Unterschenkelfraktur ab. Daher werden in der Literatur Handlungsempfehlungen gegeben, die sich an der Gustilo-Anderson-Klassifikation orientieren. Hiernach ist eine kurzzeitige, systemische antibiotische Therapie bei offenen Frakturen der Grade 1 und 2 vorgesehen, die sich gegen ein grampositives Keimspektrum richtet. Eine zusätzliche Abdeckung des gramnegativen Bereichs sollte bei offenen Frakturen Grad 3 nach Gustilo erfolgen [36,29].

1.6 Wundexzision/Debridement

Neben der Antibiotikaphylaxe sind die Wundexzision und das mechanische Debridement für den Behandlungserfolg ausschlaggebend.

Das Prinzip des Debridements orientiert sich an der Annahme, dass vitales Gewebe den besten Infektionsschutz darstellt. Beim Debridement wird daher minderdurchblutetes Gewebe im Bereich von Haut, Knochen und Muskeln entfernt. Weiterhin werden Fremdkörper bis in saubere Wundbereiche hin exziiert [42]. Das Ziel des Debridements besteht letztlich in einer maximalen mechanischen Dekontamination der Wunde. Die hierfür nötige Erweiterung der Wunde sollte Zugangswege für nachfolgende Operationen berücksichtigen [90].

Bei offenen Frakturen kommt dem Debridement eine Schlüsselposition zu. Ein insuffizientes Debridement mit Belassen von residualen Myonekrosen gefährdet aufwendige Rekonstruktionen und bildet die Grundlage für Lappenthrombosen, Osteosyntheseversagen und vermehrten Sekundärschaden [90]. Außerdem verbleiben infizierte Areale, die für den Spätinfekt ursächlich sind.

Nach Nanchahal et al. (2009) sind eine massive Wundkontamination, ein Kompartmentsyndrom, eine avaskuläre Extremität oder ein polytraumatisierter Patient die einzigen Gründe für eine sofortige chirurgische Exploration. In allen anderen Fällen besteht die Option, das Debridement innerhalb von 24 Stunden nach der Verletzung durchzuführen [66].

Erschwerend kommt jedoch hinzu, dass eine initiale Einschätzung über das komplette Ausmaß der Weichteilschädigung nicht möglich ist. In diesen Fällen werden daher sogenannte „Second-Look-Eingriffe“ erforderlich [42,44].

1.7 Pseudarthrose

Nach Abschluss der Akutphase ist für die Patienten langfristig gesehen die Ausheilung der Fraktur für die Belastbarkeit des Achsenskeletts von immenser Bedeutung. Daher kommt der Knochenheilung eine sehr große Bedeutung zu.

In Abhängigkeit verschiedener Faktoren (Begleitverletzungen, Vorerkrankung, usw.) sollte 3 bis 4 Monate nach Fraktur die vollständige knöcherne Konsolidierung erfolgt sein. Sollte diese im Zeitraum von 4 bis 6 Monaten nach dem Knochenbruch ausbleiben, spricht man von verzögerter Frakturheilung (delayed union). Bleibt sie gar 6 bis 8 Monate nach der Fraktur aus, wird von einer Pseudarthrose (Non-Union) gesprochen [28, 83].

Eine andere Definition wird von Moghaddam et al. (2016) und Schmidmaier et al. (2015) verwendet. Es handelt sich bei einer Pseudarthrose um einen Knochenbruch, welcher ohne weitere Behandlung nicht mehr zur Ausheilung kommt. Die bisherige Therapiedauer spielt hierbei keine Rolle [60, 88].

Pseudarthrosen entstehen gehäuft bei offenen Frakturen. Hier kommt es oft zu Schäden des Periosts, welches für die Frakturheilung sehr wichtig ist. Aufgrund der geringen Weichteildeckung und schlechten Durchblutung ist die Tibia hier im Besonderen gefährdet. Frakturen, welche mit Plattenosteosynthese oder Fixateur externe versorgt werden, haben ein höheres Risiko für eine Pseudarthrosenbildung als Frakturen, welche intramedullär versorgt werden [28, 83].

Die Gründe für eine verzögerte oder ausbleibende Knochenheilung sind mannigfaltig. Generell ist eine verminderte Durchblutung des Knochens zu postulieren. Oftmals sind hier dislozierte oder offene Frakturen mit begleitender Zerstörung des Periosts betroffen. Auch ein Kompartmentsyndrom kann zu einer Minderperfusion führen. Auch eine unzureichende Immobilisation der Frakturende, sowohl bei konservativer als auch operativer Versorgung, ist ursächlich für die Pseudarthrosenbildung. Die Knochenneubildung und Überbrückung des Frakturspalts kann durch mangelnden Fragmentkontakt bei einer defektstreckigen Verletzung gestört sein. Infektionen wirken sich negativ auf die Knochen- bzw. Frakturheilung aus. Ursächlich hierfür ist die beeinträchtigte Differenzierung des Granulations- und Bindegewebes zu Faserknochen. Weiterhin können allgemeine Faktoren wie Rauchen, Übergewicht, Medikamente, Lebensalter, Alkohol, die verzögerte oder ausbleibende Knochenheilung begünstigen [28, 83].

Anhand der Genese der Pseudarthrose wird zwischen vitalen (hypertrophen) und avitalen (atropen) sowie aseptischen und septischen Pseudarthrosen unterschieden. Die Therapie orientiert sich an der Ursache der ausbleibenden Knochenheilung. So ist die stabile Osteosynthese die Domäne der hypertrophen vitalen Pseudarthrosen. Avitale Pseudarthrosen bedürfen einer Anfrischung und einer autologen Knochen transplantation. Infektpseudarthrosen müssen nach einem Stufenkonzept behandelt werden [28, 83]. Dieses Stufenkonzept besteht aus Infektsanierung, knöcherner Stabilisierung, Weichteildeckung und Knochenrekonstruktion [2]. Neben der operativen Sanierung hat auch die konservative Therapie, vor allem in der Frühphase der Behandlung, einen hohen Stellenwert. Extrakorporale Stoßwellentherapie, Elektrostimulation und Ultraschall werden hierfür erfolgreich eingesetzt [28, 83, 88, 97].

Oberstes Therapieziel ist die Ausheilung der Pseudarthrose. Zusätzlich sollten Fehlstellungen und Längenunterschiede beseitigt werden [28, 83]. Als Grundlage hierfür werden eine ausreichende Weichteildeckung und Infektsanierung aufgeführt [88].

1.8 Spongiosaplastik

Die Versorgung von knöchernen Defekten kann in Form von autologen Knochenmaterial oder eines Knochenersatzmittels erfolgen. Das Ausmaß des knöchernen Defekts, die Vitalität und Qualität des umliegenden Knochens und Gewebe müssen bei der Auswahl des Verfahrens beachtet werden. Als Goldstandard gilt aktuell die autologe Spongiosaplastik [98]. Diese wird vorzugsweise aus dem Beckenkamm des Patienten gewonnen. Die autologe Spongiosaplastik verfügt über osteogene, osteoinduktive und osteokonduktive Eigenschaften. Als limitierende Faktoren sind die mit dem Hebedefekt verbundene Entnahmemorbidity, das begrenzte Vorhandensein und die zusätzliche Operationsdauer zu nennen [97, 98].

1.9 Fragestellung der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, den Heilungsverlauf von offenen Unterschenkelfrakturen mit lappenpflichtigen Weichteildefekten im Rahmen einer retrospektiven Datenanalyse aufzuarbeiten und mit der aktuellen Literatur zu vergleichen. Den Endpunkt der statistischen Auswertung bildet die Knochenheilung oder die Entwicklung einer Pseudarthrose im Bereich der betroffenen Extremität. Die Knochenheilung als Zielpunkt einer erfolgreichen Ausbehandlung einer offenen Fraktur macht auch daher Sinn, da bei einer extremitätenerhaltenden Operation langfristig für den Patienten erst eine volle Belastbarkeit und somit auch Einsatzfähigkeit des Beines resultiert, wenn der Knochen verheilt ist.

Deshalb wird im Ergebnisteil ein Gruppenvergleich für untenstehende Fragestellungen für die Gruppe der Patienten ohne Pseudarthrose und Patienten mit Pseudarthrose durchgeführt.

Nach Analyse der Patientendaten sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- Haben das Lebensalter, Geschlecht, Body-Mass-Index (BMI), Nikotinabusus, Polytrauma, Gefäßverletzungen, Hämoglobinwert bei Lappenplastik, Zeitpunkt der definitiven knöchernen Ausversorgung nach dem Trauma, Zeitpunkt der Lappenplastik nach dem Trauma, Zeitpunkt der Lappenplastik nach der definitiven Osteosynthese, Art der Lappenplastik einen Einfluss auf den Heilungsverlauf?
- Zu wie vielen Lappenverlusten kam es insgesamt?
- Wie oft musste eine Spongiosaplastik durchgeführt werden?
- In wie vielen Fällen kam es zur Ausbildung einer Pseudarthrose?

2. Material und Methode

2.1 Zielgruppe der Untersuchung

Im Rahmen der eigenen Untersuchung wurden die Daten von insgesamt 40 Patienten, welche im Zeitraum vom Januar 2008 bis zum Dezember 2013 durch die Sektion für plastische Chirurgie der Universitätsklinik Würzburg im Rahmen von offenen Unterschenkelfrakturen mit lappenpflichtigen Weichteildefekten behandelt wurden, untersucht. Patienten mit geschlossenen Unterschenkelfrakturen und sekundär lappenpflichtigen Weichteildefekten sowie Patienten mit unklarem Krankheitsverlauf wurden von der Studie ausgeschlossen.

Ein Ethikantrag (Zeichen 94/14 v. 04.06.2014) wurde erstellt und von der Ethikkommission des Klinikums positiv bewertet.

2.2 Untersuchungsdurchführung

Bei der vorliegenden Untersuchung handelt es sich um eine retrospektive Studie, bei der bereits vorhandene medizinische Daten, Informationen und Untersuchungen ausgewertet werden.

Zunächst wurde mithilfe der SAP Suchfunktion eine Selektion der infrage kommenden Patienten durchgeführt und dafür der Begriff „offene Fraktur; Lappenplastik“ als Auswahlkriterium verwendet. Danach wurde die Krankengeschichte jedes Patienten anhand der Krankenakte und des Krankenhausinformationssystems SAP ausgewertet und dokumentiert. Die Datenverarbeitung erfolgte mit Word und Excel für Windows. Die statistische Auswertung der Patientendaten wurde mit der Statistik-Software SPSS 18 durchgeführt. Die Literaturrecherche erfolgte über PubMed und Google Scholar.

3. Ergebnisse

Der Analyse liegt ein Stichprobenumfang von $n=40$ zugrunde. Die durchgeführten Tests und Analyseverfahren richten sich dabei nach dem jeweiligen Skalenniveau der Testvariablen.

3.1 Ergebnisteil 1: Häufigkeitsauszählungen und deskriptive Statistiken

Um einen Überblick zur Zusammensetzung der Stichprobe zu erhalten, werden zunächst deskriptive Untersuchungen zu den einzelnen Variablen durchgeführt. Im Falle der nominal- und ordinalskalierten Variablen eignen sich hierzu Häufigkeitsauszählungen. Zur grafischen Veranschaulichung der Ergebnisse werden jeweils ergänzende Kreisdiagramme erstellt.

Die Variablen zum Alter und dem Body-Mass-Index (BMI) der Patienten liegen als intervallskalierte Variablen vor, sodass hier eine deskriptive Beschreibung zu den Lage- und Streumaßen sinnvoll ist und jeweils ein Histogramm erstellt wird. Zusätzlich werden beide Variablen transformiert, sodass eine Aufschlüsselung der Patienten nach verschiedenen Altersgruppen und BMI-Kategorien möglich ist. Folgende Altersgruppen werden dabei unterschieden: 1=bis 20 Jahre, 2=21-59 Jahre, 3=60 Jahre oder älter. In Bezug auf den BMI erfolgte die Unterscheidung der Gruppen wie folgt: 1=BMI unter 30 kg/m^2 , 2=BMI gleich oder größer 30 kg/m^2 .

Die Darstellung der Häufigkeitsauszählungen und statistischen Kennwerte erfolgt jeweils für die gesamte Stichprobe sowie gesondert nach Patienten mit und ohne Pseudarthrose.

Nachfolgend sind die jeweiligen Ergebnisse dargestellt:

3.1.1 Pseudarthrose

Das Merkmal der Pseudarthrose nimmt für diese Arbeit einen zentralen Stellenwert ein, da sie den Endpunkt des Heilungsverlaufes nach offenen Unterschenkelfrakturen in dieser Studie bildet. Deshalb wird in den nachfolgenden Tests ein Gruppenvergleich zwischen Patienten mit und ohne Pseudarthrose durchgeführt. Eine vergleichende Betrachtung nach Gesamtstichprobe und Patienten mit und ohne Pseudarthrose kann hier logischerweise entfallen.

Zunächst aber ist auch hier von Interesse, wie die jeweiligen Häufigkeiten der einzelnen Merkmalausprägungen dieser Variable verteilt sind. Die Ergebnisse hierzu sind in Tabelle 1 dargestellt.

	Häufigkeit	Prozent
Nein	26	65,0
Ja	14	35,0
Gesamt	40	100,0

Tabelle 1: Häufigkeitsauszählung: Pseudarthrose.

Tabelle 1 gibt zu erkennen, dass eine Mehrheit der Patienten von 65,0 % (n=26) keine Pseudarthrose entwickelt hat, während dies auf 35,0 % (n=14) zutrifft. Somit ist das Verhältnis in etwa ein Drittel zu zwei Drittel einzustufen, was bei der Interpretation aller weiteren Gruppenvergleiche zu beachten ist.

Eine grafische Umsetzung der Ergebnisse erfolgt in Abbildung 1.

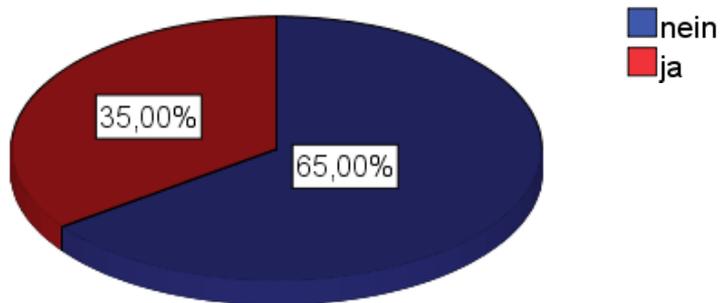


Abbildung 1: Kreisdiagramm zur Verteilung nach Pseudarthrose (nein/ja).

Ergänzend zu dieser Betrachtung erfolgten Berechnungen zur Schwere der Frakturen, zum einen nach der Gustilo-Anderson-Klassifikation und zum anderen nach der AO-Klassifikation (vgl. hierzu Kap. 1.4). Hierzu wurden wiederum Häufigkeitsauszählungen angefordert. Die Einteilung der Frakturen nach Gustilo-Anderson ist in Tabelle 2 einsehbar.

	Gesamt		Ohne Pseudarthrose		Mit Pseudarthrose	
	n	%	n	%	n	%
Typ 1	3	7,5	2	7,7	1	7,1
Typ 2	7	17,5	5	19,2	2	14,3
Typ 3a	6	15,0	5	19,2	1	7,1
Typ 3b	15	37,5	8	30,8	7	50,0
Typ 3c	4	10,0	2	7,7	2	14,3
Typ 3 (nicht näher definiert)	5	12,5	4	15,4	1	7,1
Gesamt	40	100,0	26	100,0	14	100,0

Tabelle 2: Häufigkeitsauszählung: Fraktur-Typ nach Gustilo-Anderson-Klassifikation.

Wie Tabelle 2 zu entnehmen ist, ist die Fraktur der meisten Patienten (37,5 %) in der Gesamtbetrachtung als Typ 3b der Gustilo-Anderson-Klassifikation

einzustufen (n=15). 7 Patienten hatten eine Fraktur nach Typ 2 (17,5 %). Bei 6 Patienten konnte eine Fraktur nach Typ 3a festgestellt werden (15 %), bei 5 Patienten eine nicht näher definierte Fraktur nach Typ 3 (12,5 %). Bei 4 Patienten (10,0 %) kam es zu einer Fraktur entsprechend dem Typ 3c und bei weiteren 3 Patienten (7,5 %) zu einer Fraktur nach Typ 1.

In Bezug auf die Unterscheidung der Patienten mit und ohne Pseudarthrose ist ferner Folgendes festzuhalten: Auch hier lag jeweils am häufigsten eine Fraktur nach Typ 3b vor. Dies betrifft 8 Patienten ohne (30,8 %) sowie 7 Patienten mit Pseudarthrose (50 %). Somit wies die Hälfte der Patienten mit Pseudarthrose diesen Fraktur-Typ auf, während es unter den Patienten ohne Pseudarthrose etwa ein Drittel war. Unter den Patienten ohne Pseudarthrose hatten jeweils 5 eine Fraktur nach Typ 2 bzw. 3a (19,2 %), 4 nach Typ 3 (nicht näher definiert) (15,4 %) sowie jeweils 2 nach Typ 1 und 3c (7,7 %). Bei den Patienten mit Pseudarthrose hatten je 2 Patienten eine Fraktur nach Typ 2 und 3c (14,3 %), sowie je 1 Patient nach Typ 1, 3a und 3 (nicht näher definiert) (7,1 %).

Eine grafische Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Abbildung 2.

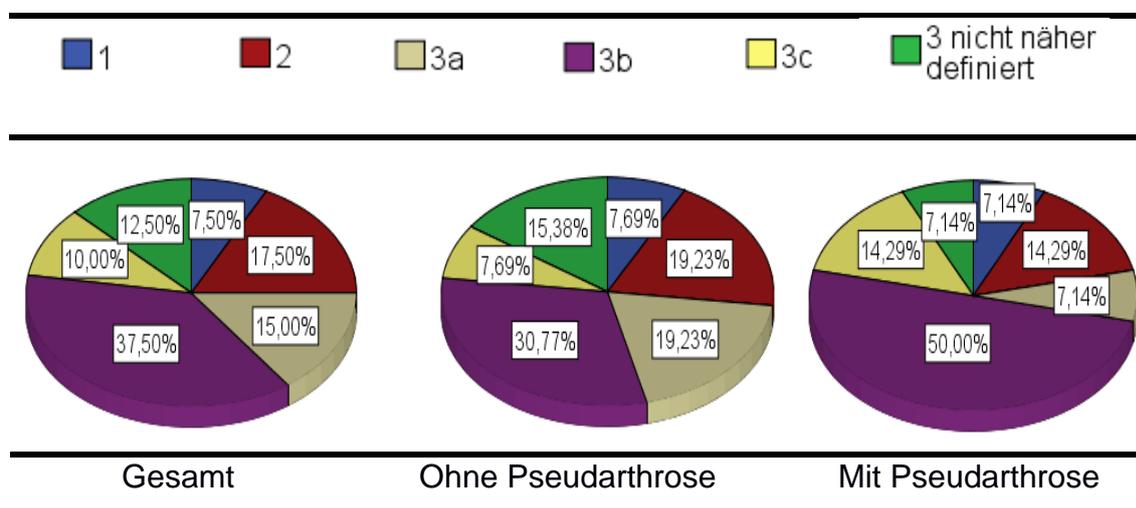


Abbildung 2: Kreisdiagramme zur Verteilung nach: Fraktur-Typ nach Gustilo-Anderson-Klassifikation.

Weitere Informationen zum Schweregrad der Frakturen liefern die nachfolgenden Darstellungen nach der AO-Klassifikation. Hier beschreibt die vierte Ziffer im Zahlencode die Schwere der Fraktur (vgl. hierzu Kap. 1.4.1).

	Gesamt		Ohne Pseudarthrose		Mit Pseudarthrose	
	n	%	n	%	n	%
leicht (1)	7	17,5	5	19,2	2	14,3
mittel (2)	11	27,5	9	34,6	2	14,3
schwer (3)	22	55,0	12	46,2	10	71,4
Gesamt	40	100,0	26	100,0	14	100,0

Tabelle 3: Häufigkeitsauszählung: Fraktur-Typ nach AO-Klassifikation.

Bei allen 3 Vergleichsgruppen (Patienten gesamt sowie getrennt nach Pseudarthrose betrachtet) lagen zumeist schwere Frakturen nach der AO-Klassifikation vor. Dies betrifft 22 Patienten insgesamt (55,0 %), 12 Patienten ohne Pseudarthrose (46,2 %) sowie 10 Patienten mit Pseudarthrose (71,4 %). Unter den Patienten insgesamt sowie mit und ohne Pseudarthrose kamen ebenfalls übereinstimmend am zweithäufigsten mittelschwere Frakturen nach der AO-Klassifikation vor. Diese hatten 11 Patienten insgesamt (27,5 %), 9 Patienten ohne Pseudarthrose (34,6 %) sowie 2 Patienten mit Pseudarthrose (14,3 %). Bei letzterer Gruppe ist anzumerken, dass ebenso viele Patienten eine leichte Fraktur aufwiesen. Dies traf zugleich auf 7 Patienten insgesamt (17,5%) und 5 Patienten ohne Pseudarthrose (19,2 %) zu.

Diese zum Teil unterschiedlichen, in vielen Aspekten aber auch übereinstimmenden Verteilungen sind noch einmal in Abbildung 3 visualisiert.

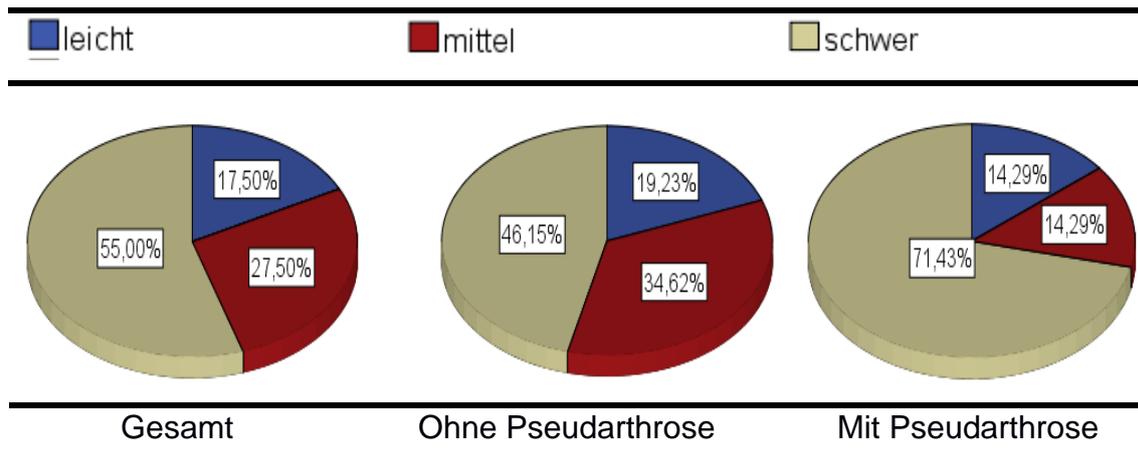


Abbildung 3: Kreisdiagramme zur Verteilung nach: Fraktur-Typ nach AO-Klassifikation.

3.1.2 Alter

Tabelle 4 ist zu entnehmen, dass die Patienten der Stichprobe insgesamt durchschnittlich 44,73 Jahre alt sind. Demgegenüber sind die Patienten mit Pseudarthrose mit 41,43 Jahren im Durchschnitt jünger. Die Patienten ohne Pseudarthrose sind hingegen im Schnitt 46,46 Jahre alt und damit durchschnittlich älter als die beiden anderen Gruppen.

	Gesamt	Ohne Pseudarthrose	Mit Pseudarthrose
Mittelwert	44,73	46,46	41,43
Standardfehler des Mittelwertes	2,848	3,790	4,119
Median	45,50	45,50	46,50
Standardabweichung	18,013	19,325	15,411
Spannweite	66	66	45
Minimum	17	17	17
Maximum	83	83	62

Tabelle 4: Deskriptive Statistik: Alter.

Der jüngste Patient der Gesamtstichprobe ist 17, der älteste 83 Jahre alt. Gleiches trifft auch auf die Patienten ohne Pseudarthrose zu. Auch bei den Patienten mit Pseudarthrose ist der jüngste 17 Jahre alt, der Älteste jedoch nur 62 Jahre. Somit ist die Spannweite bei letzterer Gruppe geringer einzustufen.

Die Altersverteilung ist in Abbildung 4 grafisch und im Vergleich zwischen Gesamtstichprobe, Patienten ohne und mit Pseudarthrose dargestellt. Zusätzlich dazu ist die Normalverteilungslinie abgebildet. Hierdurch sind jeweils die unterschiedlichen Kennwerte aus Tabelle 1 ersichtlich und zeigen, dass die Altersverteilung sich zwischen der Gesamtstichprobe und den Patienten ohne Pseudarthrose am ähnlichsten sind. Demgegenüber sind die meisten Probanden mit Pseudarthrose zwischen 50 und 52 Jahren, älter als 62 Jahre ist hingegen keiner dieser Patienten.

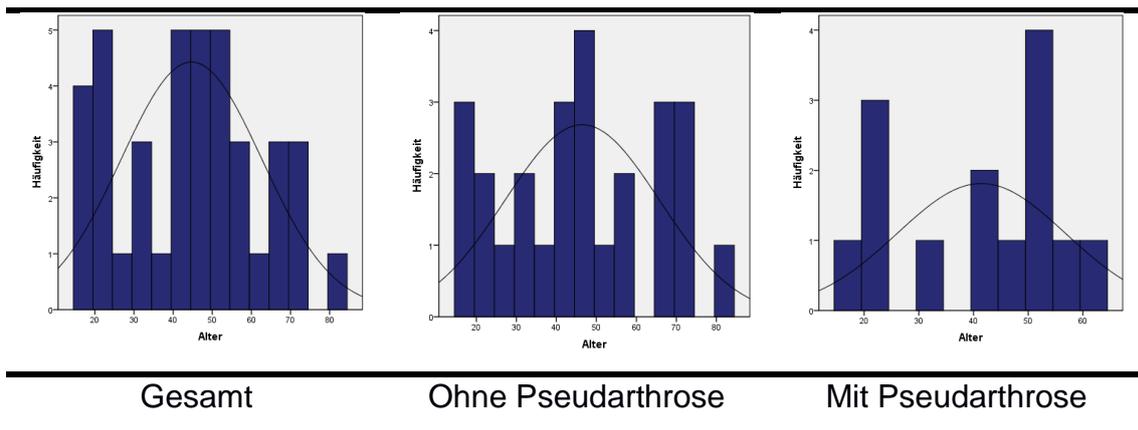


Abbildung 4: Histogramme zur Altersverteilung.

Zur besseren Übersichtlichkeit der Verteilung innerhalb einzelner Altersgruppen, wird eine ergänzende Häufigkeitsauszählung der neu berechneten Variable zu den Altersgruppen vorgenommen. Deren Ergebnisse sind in Tabelle 5 aufgezeigt.

	Gesamt		Ohne Pseudarthrose		Mit Pseudarthrose	
	n	%	n	%	n	%
Bis 20 Jahre	5	12,5	4	15,4	1	7,1
21-59 Jahre	27	67,5	15	57,7	12	85,7
60 Jahre oder älter	8	20,0	7	26,9	1	7,1
Gesamt	40	100,0	26	100,0	14	100,0

Tabelle 5: Häufigkeitsauszählung: Altersgruppen.

Hieraus geht hervor, dass die Mehrheit der Patienten aus der Gesamtstichprobe (67,5 %, n=27) im Alter zwischen 21-59 Jahren ist. Gleiches gilt auch für die Patienten ohne Pseudarthrose (57,7 %, n=15) sowie mit Pseudarthrose (85,7 %, n=12). Für letztere Gruppe trifft dies in besonderem Maße zu, da hier nur zwei Probanden überhaupt den beiden jeweils anderen Altersgruppen zugeteilt sind.

Hieraus ergeben sich folgende, in Abbildung 5 dargestellte, Kreisdiagramme:

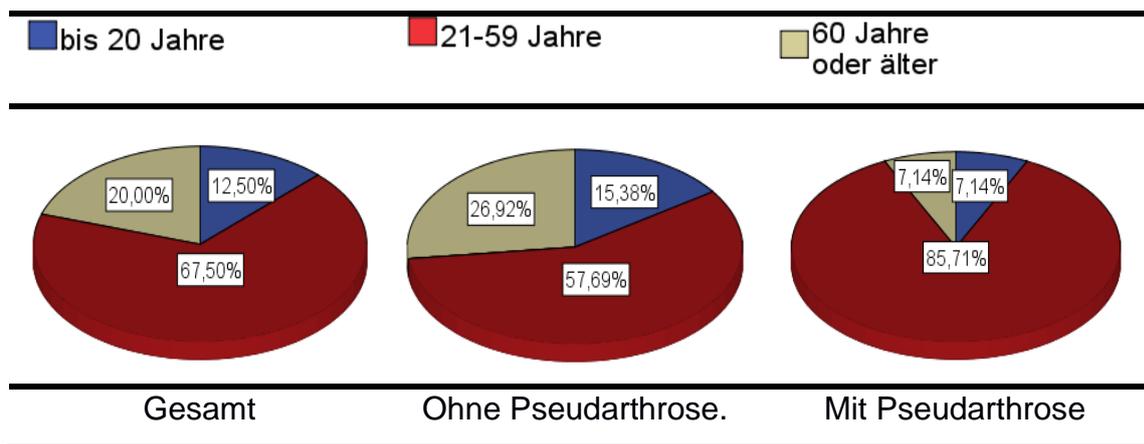


Abbildung 5: Kreisdiagramme zur Altersverteilung nach Altersgruppen

3.1.3 Geschlecht

Von den insgesamt 40 Patienten der Gesamtstichprobe sind 32 männlich (80,0 %) und 8 weiblich (20,0 %). Somit liegt ein deutliches Ungleichgewicht der Geschlechter vor. Der höchste Anteil weiblicher Patienten ist in der Gruppe der Patienten ohne Pseudarthrose vorhanden (23,1 %, n=6), der niedrigste bei den Patienten mit Pseudarthrose (14,3 %, n=2).

	Gesamt		Ohne Pseudarthrose		Mit Pseudarthrose	
	n	%	n	%	n	%
männlich	32	80,0	20	76,9	12	85,7
weiblich	8	20,0	6	23,1	2	14,3
Gesamt	40	100,0	26	100,0	14	100,0

Tabelle 6: Häufigkeitsauszählung: Geschlecht.

Eine grafische Darstellung der Ergebnisse ist in Abbildung 6 dargestellt.

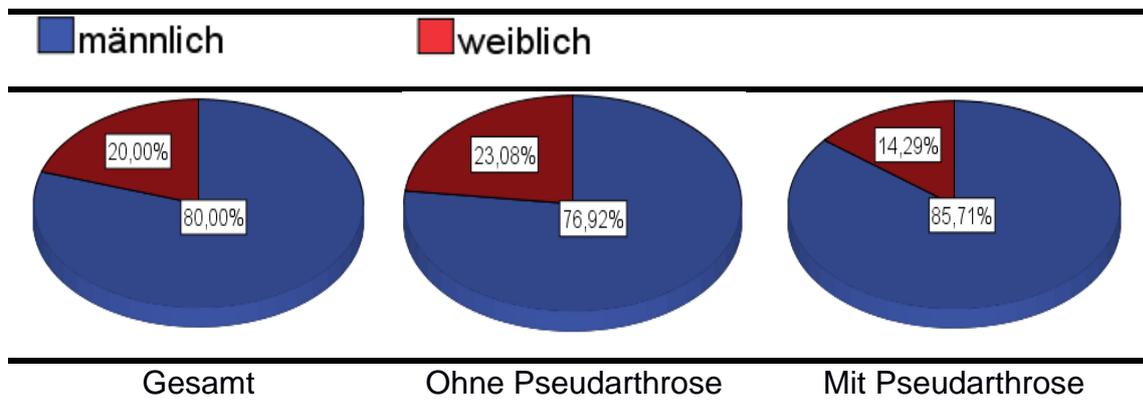


Abbildung 6: Kreisdiagramme zur Verteilung nach Geschlecht.

3.1.4 Body-Mass-Index

Ähnlich wie bei der Betrachtung des Alters, erfolgte auch für die intervallskalierte Variable des BMI zunächst eine Ausgabe zu den statistisch relevanten Kenngrößen, jeweils separat ausgegeben für die Gesamtstichprobe, die Patienten ohne Pseudarthrose sowie die Patienten mit Pseudarthrose. Diese sind in Tabelle 7 dargestellt und liefern einen ersten Überblick zur Gesamtverteilung der Werte.

	Gesamt	Ohne Pseudarthrose	Mit Pseudarthrose
Mittelwert	26,618	26,746	26,379
Standardfehler des Mittelwertes	,6059	,6983	1,1825
Median	25,550	25,550	25,700
Standardabweichung	3,8319	3,5606	4,4244
Spannweite	16,9	13,9	16,9
Minimum	19,8	19,8	19,8
Maximum	36,7	33,7	36,7

Tabelle 7: Deskriptive Statistik: BMI.

Der Patient mit dem niedrigsten BMI weist über alle Gruppen hinweg einen Wert von 19,8 kg/m² auf, der Patient mit dem höchsten Wert einen BMI von 36,7 kg/m² (Gesamtstichprobe sowie Patienten mit Pseudarthrose) bzw. 33,7 kg/m² (Patienten ohne Pseudarthrose). Die Spannweiten von 16,9 (Gesamtstichprobe sowie Patienten mit Pseudarthrose) bzw. 13,9 (Patienten ohne Pseudarthrose) zeigen an, dass die Differenz zwischen minimalem BMI und maximalen BMI relativ hoch ausfällt.

Eine grafische Veranschaulichung hierzu wird durch die Histogramme in Abbildung 7 ermöglicht.

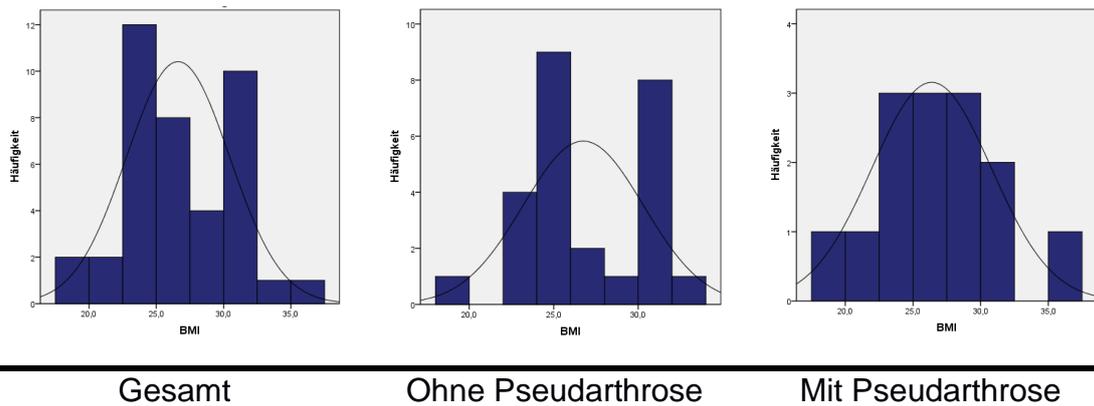


Abbildung 7: Histogramme zum BMI [in kg/m²].

Eine ergänzende Häufigkeitsauszählung unter Verwendung der gruppierten Variable „BMI“ ergibt, dass sowohl in der Gesamtstichprobe als auch unter den Patienten ohne und mit Pseudarthrose jeweils etwa zwei Drittel der Patienten einen BMI von unter 30 kg/m² aufweisen und je ein Drittel einen BMI gleich oder größer 30 kg/m² (vgl. Tab. 8).

	Gesamt		Ohne Pseudarthrose		Mit Pseudarthrose	
	n	%	n	%	n	%
BMI unter 30 kg/m ²	28	70,0	17	65,4	11	78,6
BMI gleich/ größer 30 kg/m ²	12	30,0	9	34,6	3	21,4
Gesamt	40	100,0	26	100,0	14	100,0

Tabelle 8: Häufigkeitsauszählung: BMI nach Klassen.

Die grafische Version der Ergebnisdarstellung folgt in Abbildung 8.

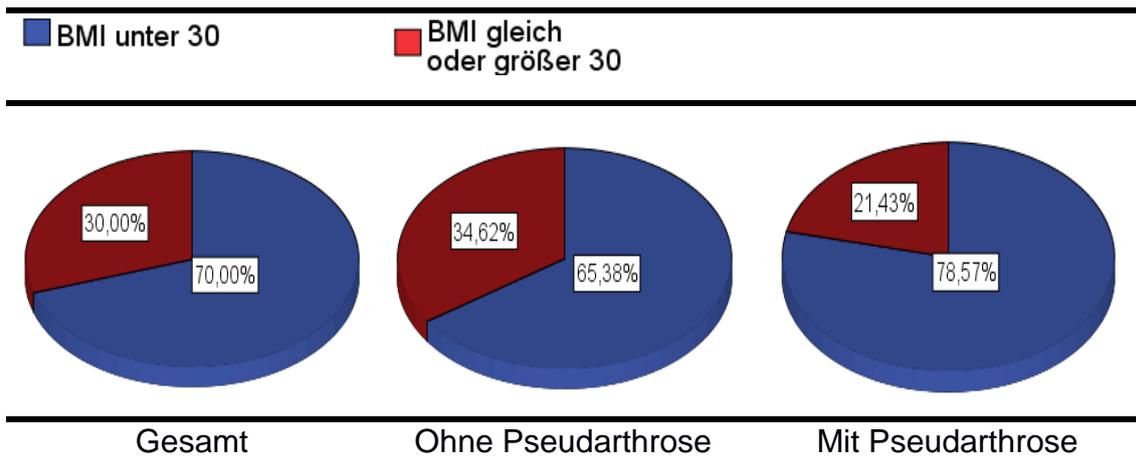


Abbildung 8: Kreisdiagramme zur Verteilung der Werte des BMI nach Klassen [in kg/m²].

3.1.5 Rauchen

Aus Tabelle 9 geht hervor, dass jeweils die Mehrheit der Patienten Nichtraucher sind.

	Gesamt		Ohne Pseudarthrose		Mit Pseudarthrose	
	n	%	n	%	n	%
Nicht bekannt	6	15,0	5	19,2	1	7,1
Nein	25	62,5	15	57,7	10	71,4
Ja	9	22,5	6	23,1	3	21,4
Gesamt	40	100,0	26	100,0	14	100,0

Tabelle 9: Häufigkeitsauszählung: Raucher/Nichtraucher.

In der Gesamtbetrachtung betrifft dies 62,5 % der Patienten (n=25), innerhalb der Patienten ohne Pseudarthrose 57,7 % (n=15) und innerhalb der Patienten mit Pseudarthrose 71,4 % (n=10). Somit ist der Anteil an Nichtrauchern in der Gruppe mit Pseudarthrose deutlich höher als in der Gruppe der Patienten ohne Pseudarthrose. Etwa jeder Fünfte aller 3 Gruppen ist Raucher.

Eine grafische Darstellung der Ergebnisse ist in Abbildung 9 aufgezeigt.

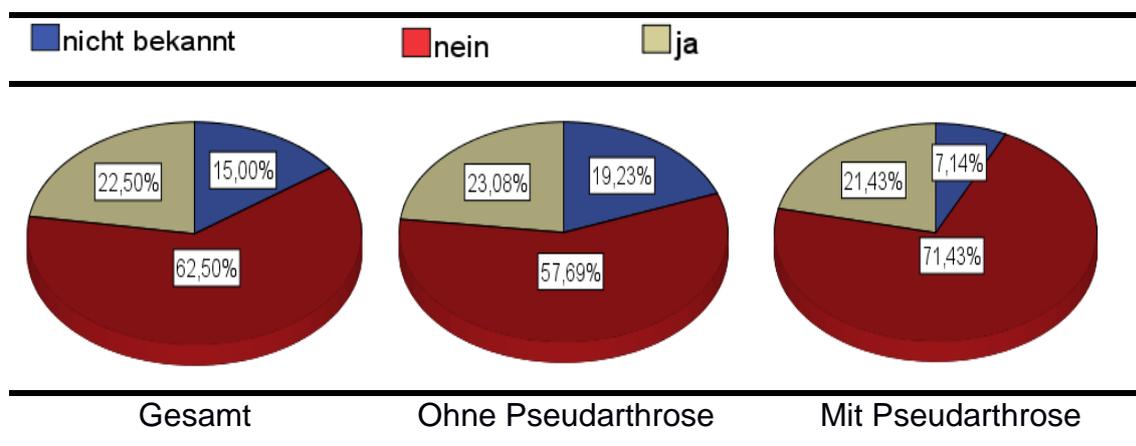


Abbildung 9: Kreisdiagramme zur Verteilung nach Rauchern/Nichtrauchern.

3.1.6 Polytrauma

Tabelle 10 zeigt auf, dass die meisten Patienten insgesamt sowie ohne Pseudarthrose nicht die Kriterien eines Polytraumas erfüllen (Gesamt: 52,5 %, n=21; ohne Pseudarthrose: 53,8 %, n=14). Innerhalb der Gruppe der Patienten mit Pseudarthrose hat genau die Hälfte der Probanden ein Polytrauma (50,0 %, n=7). Die genauen Ergebnisse hierzu sind in Tabelle 10 dargestellt.

	Gesamt		Ohne Pseudarthrose		Mit Pseudarthrose	
	n	%	n	%	n	%
Nein	21	52,5	14	53,8	7	50,0
Ja	19	47,5	12	46,2	7	50,0
Gesamt	40	100,0	26	100,0	14	100,0

Tabelle 10: Häufigkeitsauszählung: Polytrauma.

Eine grafische Darstellung der Ergebnisse liefert Abbildung 10.

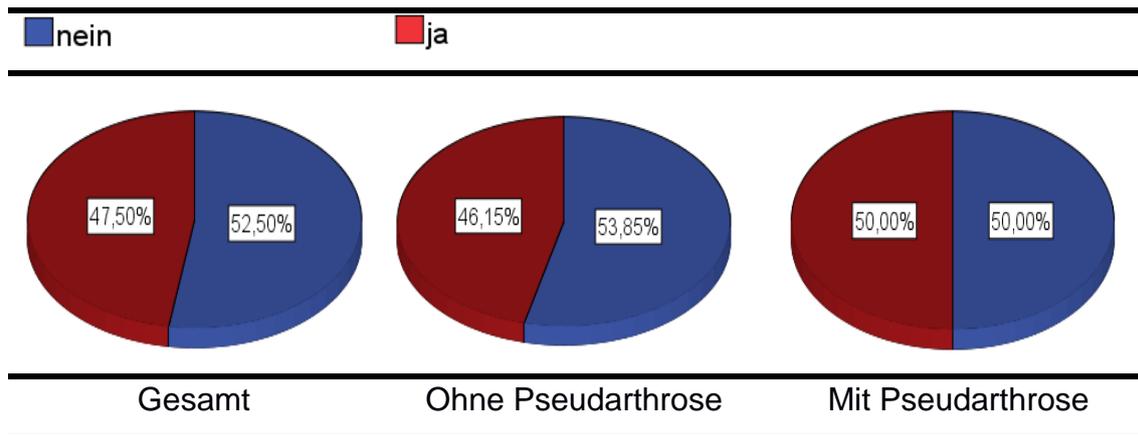


Abbildung 10: Kreisdiagramme zur Verteilung nach Polytrauma (nein/ja).

3.1.7 Gefäßverletzung

Den Werten aus Tabelle 11 ist zu entnehmen, dass innerhalb der Gesamtstichprobe 22,5 % der Patienten (n=9) eine Gefäßverletzung zeigten, bei 77,5 % der Patienten (n=31) konnte hingegen kein Anzeichen auf eine Gefäßverletzung entdeckt werden. Aufgeschlüsselt nach Probanden mit und ohne Pseudarthrose zeigt sich, dass Gefäßverletzungen häufiger bei Patienten mit Pseudarthrose (28,6 %, n=4) vorkommen als bei Patienten ohne Pseudarthrose (19,2 %, n=5).

	Gesamt		Ohne Pseudarthrose		Mit Pseudarthrose	
	n	%	n	%	n	%
Nein	31	77,5	21	80,8	10	71,4
Ja	9	22,5	5	19,2	4	28,6
Gesamt	40	100,0	26	100,0	14	100,0

Tabelle 11: Häufigkeitsauszählung: Gefäßverletzung (nein/ja).

Abbildung 11 untermauert die Ergebnisse grafisch.

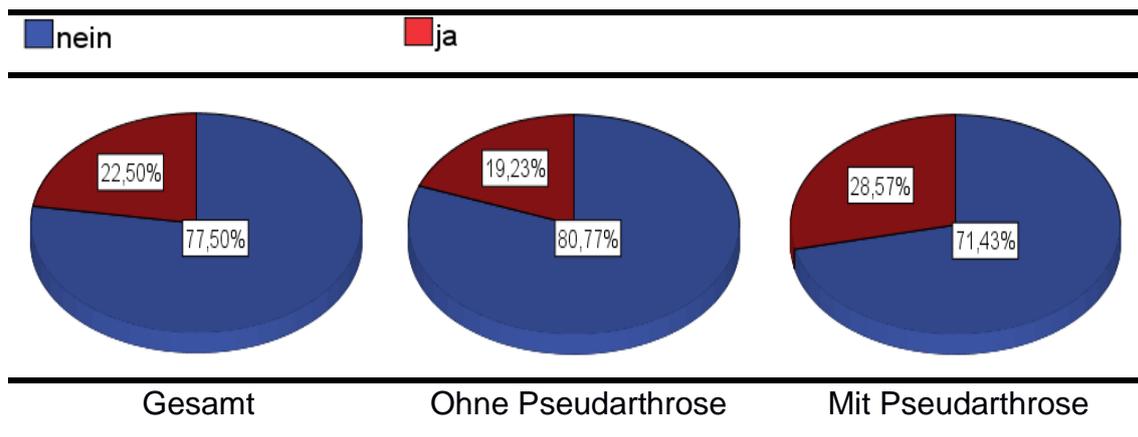


Abbildung 11: Kreisdiagramme zur Verteilung nach Gefäßverletzungen (nein/ja).

3.1.8 Hämoglobinwert (Hb) bei Lappenplastik

In Bezug auf das Merkmal „Hämoglobinwert (Hb) bei Lappenplastik“ ist es von Interesse festzustellen, bei wie vielen Patienten der Wert kleiner bzw. gleich oder größer 10 g/dl liegt. Dabei kann für die Gesamtstichprobe festgestellt werden, dass 55,0 % (n=22) einen Wert von gleich oder größer 10 g/dl aufweisen und 45,0 % (n=18) einen Wert von weniger als 10 g/dl. Aufgeschlüsselt nach Patienten mit und ohne Pseudarthrose zeigt sich, dass sich der Hb-Wert bei den Patienten ohne (53,8 %, n=14) bzw. mit Pseudarthrose (57,1 %, n=8) auf vergleichbarem Niveau befindet.

Die entsprechenden Ergebnisse sind in Tabelle 12 aufgezeigt.

	Gesamt		Ohne Pseudarthrose		Mit Pseudarthrose	
	n	%	n	%	n	%
Hb unter 10 g/dl	18	45,0	12	46,2	6	42,9
Hb gleich/größer 10 g/dl	22	55,0	14	53,8	8	57,1
Gesamt	40	100,0	26	100,0	14	100,0

Tabelle 12: Häufigkeitsauszählung: Hämoglobinwert (Hb) bei Lappenplastik.

Eine ergänzende grafische Darstellung der Ergebnisse zeigt Abbildung 12 auf.

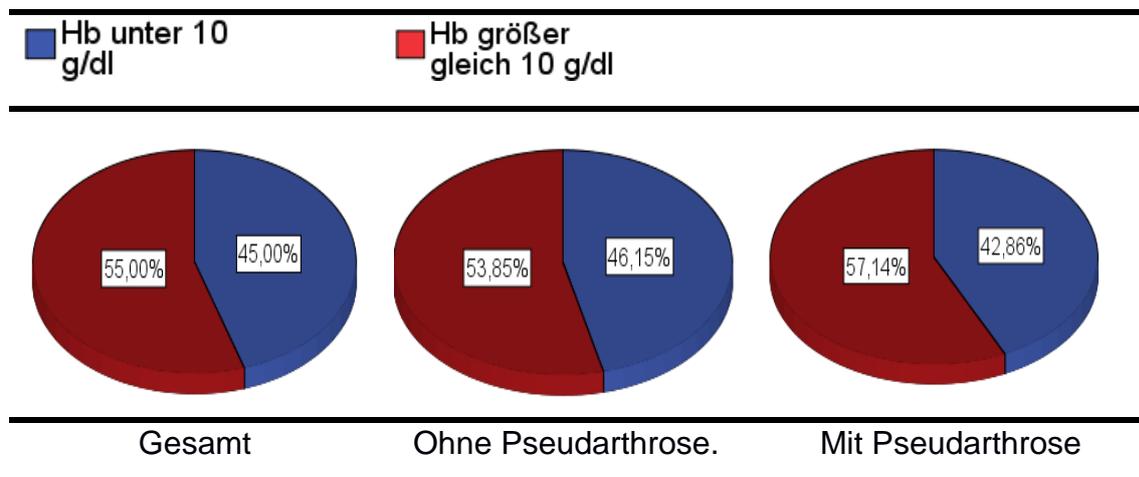


Abbildung 12: Kreisdiagramme zur Verteilung nach Hämoglobinwert (Hb) bei Lappenplastik (unter 10 g/dl, gleich/größer 10 g/dl).

3.1.9 Definitive osteosynthetische Ausversorgung der Fraktur: Zeitpunkt nach dem Unfall

Die obenstehende Variable nimmt eine Differenzierung nach verschiedenen Zeiträumen vor, die seit dem Unfall bis zur definitiven Ausversorgung der Fraktur vergangen sind. Unterschieden wird dabei zwischen weniger als 5 Tagen, 5 bis 10 Tagen und mehr als 10 Tagen.

Aus Tabelle 13 ist zu entnehmen, dass die Versorgung sowohl insgesamt bei allen Patienten der Stichprobe als auch den Patienten mit und ohne Pseudarthrose zu jeweils knapp 65,0 % der Fälle mehr als 10 Tage nach dem Unfall stattgefunden hat.

	Gesamt		Ohne Pseudarthrose		Mit Pseudarthrose	
	n	%	n	%	n	%
Weniger als 5 Tage	3	7,5	3	11,5	0	0,0
5-10 Tage	11	27,5	6	23,1	5	35,7
Mehr als 10 Tage	26	65,0	17	65,4	9	64,3
Gesamt	40	100,0	26	100,0	14	100,0

Tabelle 13: Häufigkeitsauszählung: Definitive osteosynthetische Ausversorgung der Fraktur: Zeitpunkt nach Unfall (Tage) (unter 5 Tage/ 5-10 Tage/ mehr als 10 Tage).

Unterschiede zwischen den Gruppen ergeben sich vor allem in Hinblick auf die Differenzierung nach weniger als 5 Tagen und 5-10 Tage. Während bei 7,5 % (n=3) der Patienten insgesamt bzw. 11,5 % (n=3) der Patienten ohne Pseudarthrose weniger als 5 Tage vergangen sind, trifft dies innerhalb der Patienten mit Pseudarthrose auf keinen Patienten zu. Demgegenüber wurde bei etwa einem Drittel der Patienten mit Pseudarthrose eine Ausversorgung der Knochen 5-10 Tage nach dem Unfall vorgenommen, was bei den Patienten ohne Pseudarthrose nur auf etwa jeden vierten Patienten zutrifft.

Eine grafische Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Abbildung 13.

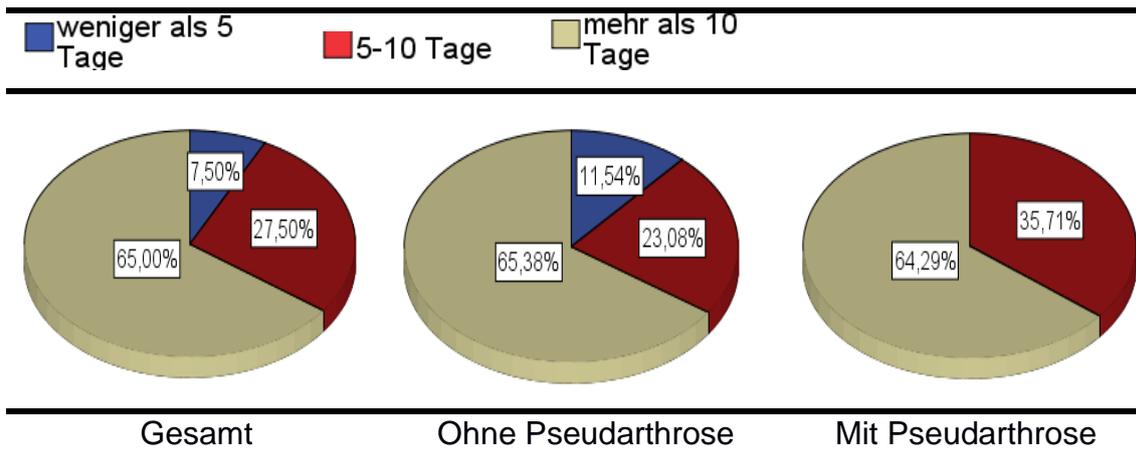


Abbildung 13: Kreisdiagramme zur Verteilung nach: Definitive osteosynthetische Ausversorgung der Fraktur: Zeitpunkt nach Unfall (Tage) (weniger als 5 Tage/ 5-10 Tage/ mehr als 10 Tage).

3.1.10 Lappenplastik: Zeitpunkt nach dem Unfall

Aus Tabelle 14 geht hervor, dass bei der Mehrheit der Patienten der Gesamtstichprobe (62,5 %, n=25) die Lappenplastik mehr als 14 Tage nach dem Unfall durchgeführt wurde. Bei 11 Patienten (27,5 %) erfolgte dies nach 7 bis 14 Tagen, bei 3 Patienten (7,5 %) nach weniger als 7 Tagen und bei einem Patienten (2,5 %) ist der genaue Zeitraum nicht bekannt.

Bei den Patienten ohne Pseudarthrose lag ebenfalls bei einer Mehrheit von 69,2 % (n=18) der Unfall mehr als 14 Tage zurück, bei 19,2 % (n=5) 7-14 Tage und bei 7,7 % (n=2) weniger als 7 Tage. Dieser geringe Zeitraum von weniger als 7 Tagen spielte auch bei der Behandlung der Patienten mit Pseudarthrose eine vergleichbar untergeordnete Rolle und traf hier nur bei einem Patienten überhaupt zu (7,1 %). Demgegenüber wurde die Lappenplastik hier bei 42,9 % der Patienten (n=6) in einem Zeitfenster zwischen 7 und 14 Tagen eingesetzt, was relativ betrachtet mehr als doppelt so häufig der Fall war als bei den Patienten ohne Pseudarthrose. Im Vergleich dazu vergingen nur bei der Hälfte der Patienten mit Pseudarthrose mehr als 14 Tage.

	Gesamt		Ohne Pseudarthrose		Mit Pseudarthrose	
	n	%	n	%	n	%
Nicht bekannt	1	2,5	1	3,8	0	0,0
Weniger als 7 Tage	3	7,5	2	7,7	1	7,1
7-14 Tage	11	27,5	5	19,2	6	42,9
Mehr als 14 Tage	25	62,5	18	69,2	7	50,0
Gesamt	40	100,0	26	100,0	14	100,0

Tabelle 14: Häufigkeitsauszählung: Lappenplastik: Zeitpunkt nach Unfall (in Tagen).

In Abbildung 14 sind die jeweiligen Verteilungen noch einmal grafisch dargestellt.

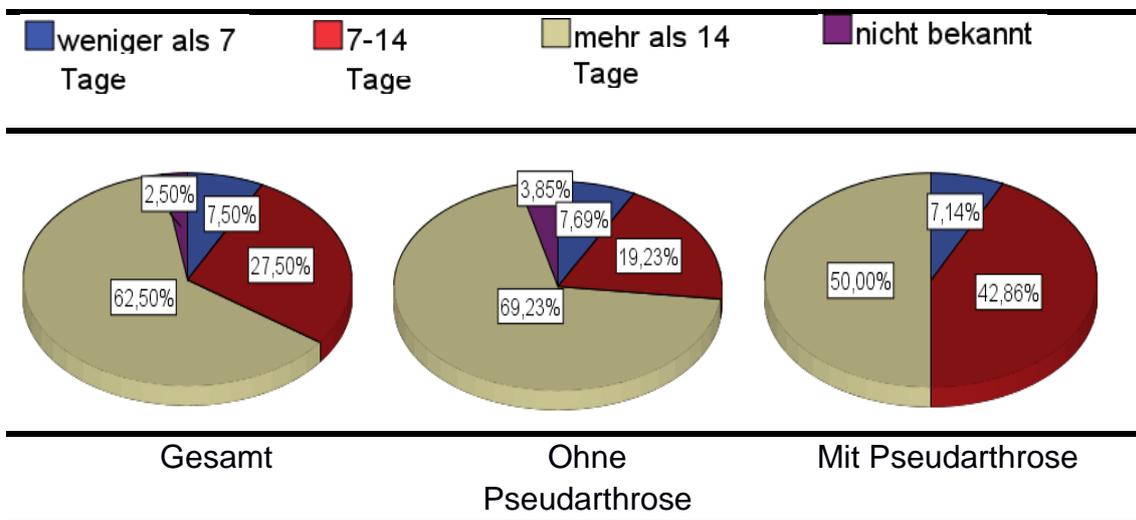


Abbildung 14: Kreisdiagramme zur Verteilung nach Lappenplastik: Zeitpunkt nach Unfall (weniger als 7 Tage/ 7-14 Tage/ mehr als 14 Tage/ nicht bekannt).

3.1.11 *Lappenplastik: Zeitpunkt nach definitiver Osteosynthese*

In Bezug auf den Zeitpunkt der Weichteilrekonstruktion war auch von Interesse, wie dieser nach der definitiven Osteosynthese einzustufen ist. Es zeigte sich, dass dies in der Gesamtbetrachtung der Stichprobe bei einer Mehrheit von 77,5 % (n=31) nach weniger als 7 Tagen geschah, bei 17,5 % der Patienten (n=7) nach mehr als 14 Tagen und bei 5,0 % der Patienten (n=2) nach 7 bis 14 Tagen.

In zumindest vergleichbarer Weise gestalten sich die Häufigkeitsverteilungen auch innerhalb der Gruppe der Patienten ohne Pseudarthrose, wobei hier seltener weniger als 7 Tage vergehen (69,2 %, n=18), dafür häufiger mehr als 14 Tage (23,1 %, n=6). Die Häufigkeitsverteilungen bei den Patienten mit Pseudarthrose weichen hiervon jedoch relativ stark ab. Während der Zeitraum 7-14 Tage auf gar keinen Patienten zutrifft, fand auch nur bei einem Patienten (7,1 %) der Einsatz der Lappenplastik nach mehr als 14 Tagen statt, stattdessen bei einer deutlichen Mehrheit von 92,9 % (n=13) nach weniger als 7 Tagen.

Die Ergebnisse der Häufigkeitsauszählung zu dieser Variablen sind in Tabelle 15 einsehbar.

	Gesamt		Ohne Pseudarthrose		Mit Pseudarthrose	
	n	%	n	%	n	%
Weniger als 7 Tage	31	77,5	18	69,2	13	92,9
7-14 Tage	2	5,0	2	7,7	0	0,0
Mehr als 14 Tage	7	17,5	6	23,1	1	7,1
Gesamt	40	100,0	26	100,0	14	100,0

Tabelle 15: Häufigkeitsauszählung: Lappenplastik: Zeitpunkt nach definitiver Osteosynthese (in Tagen).

Die grafische Version der Ergebnisdarstellung liefert Abbildung 15.

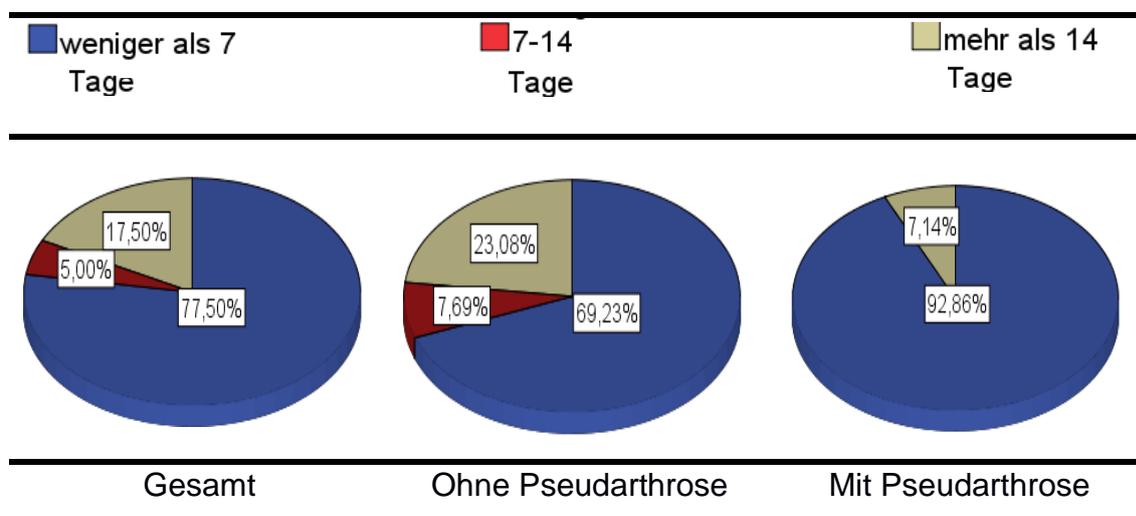


Abbildung 15: Kreisdiagramme Lappenplastik: Zeitpunkt nach definitiver Osteosynthese (weniger als 7 Tage/ 7-14 Tage/ mehr als 14 Tage).

3.1.12 Typ Lappenplastik

Aus Tabelle 16 kann entnommen werden, dass am häufigsten lokale fasziokutane Lappen zum Einsatz gekommen sind (42,5 %, n=17). Bei 14 Patienten (35,0 %) wurden freie Lappen verwendet und bei 9 Patienten wurden gestielte Muskellappen gewählt (22,5 %).

Allerdings sind auch hier wieder einige Unterschiede zwischen den Patienten mit und ohne Pseudarthrose erkennbar. Demnach wurden bei den Patienten mit Pseudarthrose am häufigsten lokale fasziokutane Lappen eingesetzt (57,1 %, n=8). Ebenso kamen freie Lappen zum Einsatz (42,9 %, n=6). Gestielte Muskellappen wurden hier jedoch bei keinem der Patienten ausgewählt. Bei den Patienten ohne Pseudarthrose wurden hingegen gleich häufig lokale fasziokutane Lappen wie gestielte Muskellappen eingesetzt (je 34,6 %, n=9), während freie Lappen bei 8 der Patienten ohne Pseudarthrose (30,8 %) verwendet wurden. Somit kommen hier alle Formen der Lappenplastiken fast gleich häufig vor, was eine Besonderheit dieser Gruppe darstellt.

	Gesamt		Ohne Pseudarthrose		Mit Pseudarthrose	
	n	%	n	%	n	%
Freie Lappen	14	35,0	8	30,8	6	42,9
lokale fasziokutane Lappen	17	42,5	9	34,6	8	57,1
Gestielte Muskellappen	9	22,5	9	34,6	0	0,00
Gesamt	40	100,0	26	100,0	14	100,0

Tabelle 16: Häufigkeitsauszählung: Typ Lappenplastik.

Abbildung 16 fasst die Ergebnisse noch einmal grafisch zusammen.

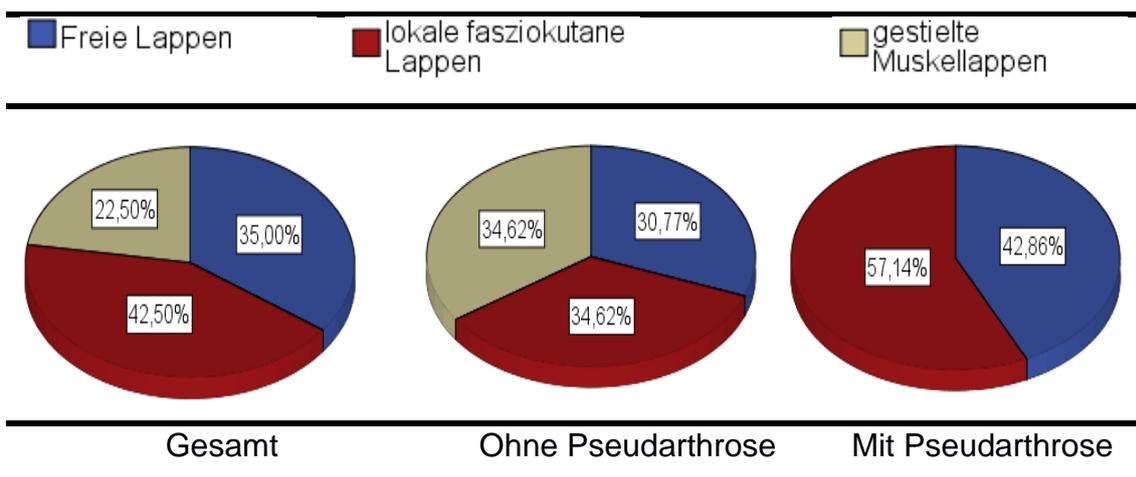


Abbildung 16: Kreisdiagramme zur Verteilung nach Typ Lappenplastik (freie Lappen/ lokale fasziokutane Lappen/ gestielte Muskellappen).

3.1.13 Lappenverlust

Aus Tabelle 17 geht hervor, dass es innerhalb der Gesamtstichprobe nur bei wenigen Patienten zu einem Lappenverlust kam: Dies betraf insgesamt 5 (12,5 %) der 40 Patienten. Unter ihnen erhielten 3 Patienten einen neuen Lappen, während bei 2 Patienten mit Lappenverlust eine Amputation nötig

wurde. Bei 87,5 % der Patienten hingegen (n=35) kam es zu keinem Lappenverlust. Unterschiede ergeben sich zwischen den Patienten mit und ohne Pseudarthrose. Bei den Patienten ohne Pseudarthrose kam es in insgesamt 7,6 % (n=2) der Fälle zu einem Lappenverlust. Unter ihnen wurde sowohl eine neue Lappenplastik, als auch eine Amputation durchgeführt. Bei den Patienten mit Pseudarthrose lag der Anteil mit Lappenverlust bei insgesamt 21,4 % (n=3) und somit prozentual gesehen deutlich höher. Zu beachten ist jedoch, dass die Zahl der Patienten mit Pseudarthrose mit 14 deutlich niedriger ausfällt als bei den Patienten ohne Pseudarthrose. Insofern kommt hier jedem einzelnen Patienten ein stärkeres Gewicht zu. In Absolutzahlen ist nur ein Patient mehr mit Pseudarthrose als ohne Pseudarthrose von einem Lappenverlust betroffen gewesen. Bei einem Patienten erfolgte eine Amputation, bei 2 Patienten konnte eine neue Lappenplastik durchgeführt werden.

	Gesamt		Ohne Pseudarthrose		Mit Pseudarthrose	
	n	%	n	%	n	%
Nein	35	87,5	24	92,3	11	78,6
Ja, danach neuer Lappen	3	7,5	1	3,8	2	14,3
Ja, danach Amputation	2	5,0	1	3,8	1	7,1
Gesamt	40	100,0	26	100,0	14	100,0

Tabelle 17: Häufigkeitsauszählung: Lappenverlust.

Eine grafische Darstellung der Ergebnisse ist in Abbildung 17 abgebildet.

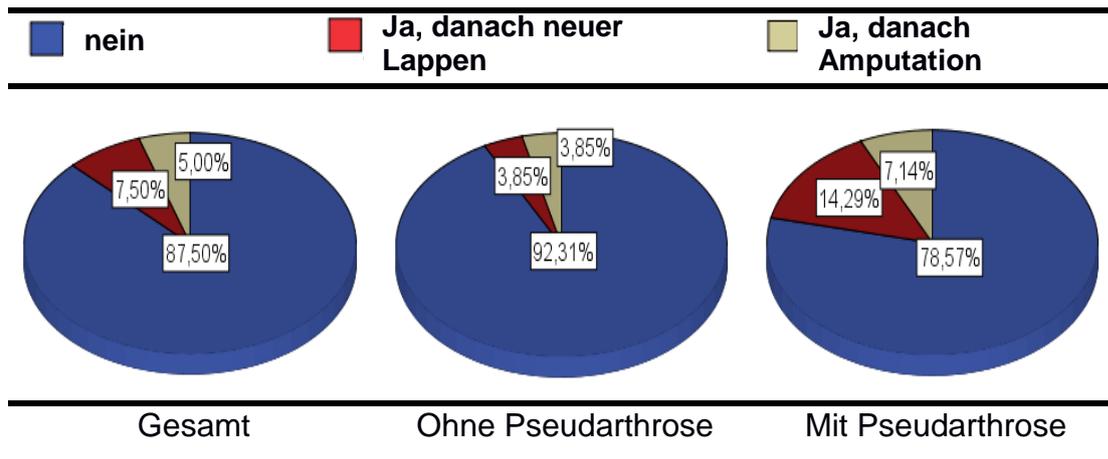


Abbildung 17: Kreisdiagramme zur Verteilung nach Lappenverlust (nein/ja).

Ergänzend zu dieser Betrachtung ist von Interesse, ob es bei einer bestimmten Art der Lappenplastik häufiger zu einem Lappenverlust gekommen ist als bei anderen. Daher wurde nachfolgend eine Kreuztabelle angefordert, die über die jeweils vorhandenen Auftretenshäufigkeiten Aufschluss gibt. Die Ergebnisse hierzu sind in Tabelle 18 einsehbar.

		Typ der Lappenplastik		
		Freie Lappen	Lokale fasziokutane Lappen	Gestielte Muskel-lappen
Lappen-verlust	Nein	13 92,9 %	14 82,4 %	8 88,9 %
	Ja, danach neuer Lappen	1 7,1 %	2 11,8 %	0 0,0 %
	Ja, danach Amputation	0 0,0 %	1 5,9 %	1 11,1 %
Gesamt		14 100,0 %	17 100,0 %	9 100,0 %

Tabelle 18: Lappenverlust in Abhängigkeit des Typs der Lappenplastik.

Aus Tabelle 18 kann entnommen werden, dass sich sowohl die freien Lappen als auch die gestielten Muskellappen als am beständigsten erwiesen haben. Hier kam es jeweils bei nur einem Patienten zu einem Lappenverlust. In Bezug

auf den Einsatz der freien Lappen betraf dies einen Patienten, bei dem anschließend ein neuer Lappen eingesetzt werden konnte. Der Patient mit Lappenverlust des gestielten Muskellappens musste amputiert werden.

Demgegenüber kam es bei den Patienten mit lokalem fasziokutanen Lappen etwas häufiger zu einem Lappenverlust. Davon waren hier insgesamt 3 Patienten betroffen. Bei 2 Patienten konnte der Lappenverlust durch den Einsatz eines neuen Lappens kompensiert werden. Einer der Patienten erhielt hingegen eine Amputation.

3.1.14 Spongiosaplastik

Tabelle 19 zufolge kam eine Spongiosaplastik in der Gesamtstichprobe bei 47,5 % der Patienten (n=19) zum Einsatz. Demgegenüber wurde diese bei 52,5 % der Patienten (n=21) nicht benötigt. Sehr differenziert gestaltet sich hingegen die vergleichende Betrachtung der beiden Patientengruppen mit und ohne Pseudarthrose. Während die Patienten ohne Pseudarthrose mehrheitlich zu 73,1 % (n=19) keine Spongiosaplastik benötigten, kehrt sich das Verhältnis bei den Patienten mit Pseudarthrose um: Hier brauchten nur 14,3 % (n=2) keine Spongiosaplastik, während diese bei 85,7 % (n=12) notwendig war.

	Gesamt		Ohne Pseudarthrose		Mit Pseudarthrose	
	n	%	n	%	n	%
Nein	21	52,5	19	73,1	2	14,3
Ja	19	47,5	7	26,9	12	85,7
Gesamt	40	100,0	26	100,0	14	100,0

Tabelle 19: Häufigkeitsauszählung: Spongiosaplastik.

Eine grafische Darstellung der Ergebnisse zeigt Abbildung 18 auf. Hier wird die Umkehrung der Häufigkeitsverhältnisse noch einmal sehr gut deutlich.

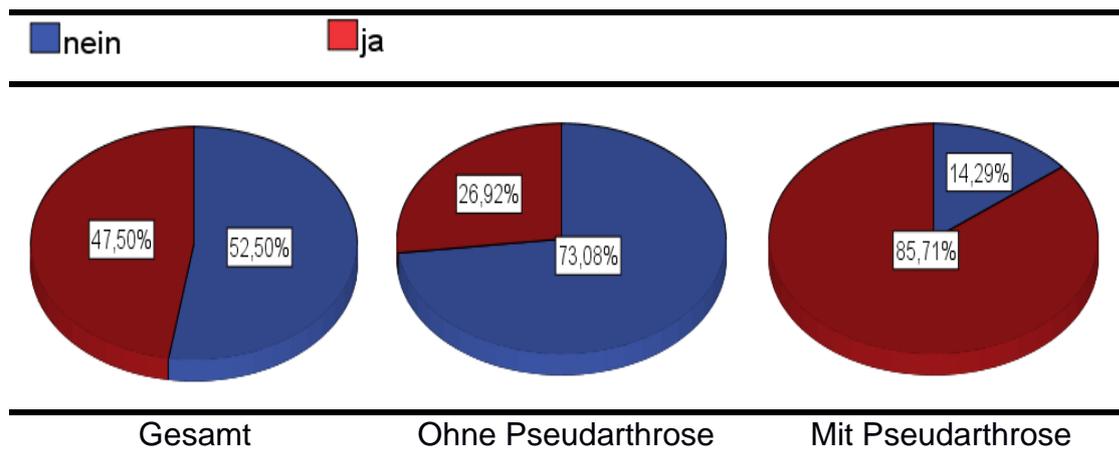


Abbildung 18: Kreisdiagramme zur Verteilung nach Spongiosaplastik (nein/ja).

3.2 Ergebnisteil 2: Gruppenvergleiche nach Pseudarthrose

Im Fokus der Gruppenvergleiche steht die Frage, ob sich Patienten mit und ohne Pseudarthrose in Bezug auf die gemessenen Merkmale signifikant unterscheiden.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Tests aufgezeigt, wobei zugunsten einer besseren Übersichtlichkeit jeweils die Ergebnisse gleicher Testverfahren zusammengefasst aufgezeigt und interpretiert werden.

3.2.1 Ergebnisse der t-Tests

Mithilfe der t-Tests für unabhängige Stichproben kann untersucht werden, ob innerhalb der Variablen Alter und BMI signifikante Gruppenunterschiede zwischen Patienten mit und ohne Pseudarthrose vorhanden sind.

Anhand der deskriptiven Statistiken, die ebenfalls im Zuge des t-Tests ermittelt werden, sind die jeweiligen Mittelwerte der Variable Pseudarthrose angegeben. Diese sind in Tabelle 20 aufgezeigt. Hieraus geht hervor, dass Patienten mit Pseudarthrose durchschnittlich jünger sind (MW=41,43) als Patienten ohne Pseudarthrose (MW=46,46) und einen etwas niedrigeren BMI aufweisen (MW=26,379 zu 26,746).

Variablen	Pseudarthrose	N	MW
Alter	Nein	26	46,46
	Ja	14	41,43
BMI	Nein	26	26,746
	Ja	14	26,379

Tabelle 20: Deskriptive Statistik: Mittelwertvergleiche.

Anhand dieser Ergebnisse geht jedoch noch nicht hervor, ob diese Mittelwertunterschiede statistisch gegenüber dem Zufall abgesichert werden können. Hierzu lassen die Ergebnisse aus Tabelle 21 einen Schluss zu.

Variablen	T	Signifikanz
Alter	0,840	0,406
BMI	0,286	0,776

Tabelle 21: Zusammengefasste Ergebnisse der t-Tests.

Aus den t-Tests geht jeweils ein T-Wert oberhalb der Signifikanzgrenze von $p \leq 0.05$ hervor. Das bedeutet, dass die hervorgehenden Mittelwertunterschiede zwischen der Gruppe der Patienten mit Pseudarthrose gegenüber jenen ohne Pseudarthrose nicht gegenüber dem Zufall abgesichert, d. h. nicht signifikant und somit zufällig zustande gekommen sind. Es gibt also keinen statistisch abgesicherten Indikator dafür, dass zwischen den beiden Gruppen Unterschiede hinsichtlich des Alters oder des BMIs bestehen.

3.2.2 Ergebnisse der U-Tests

Die Rangwerte der jeweiligen Testvariablen ergeben jeweils nur minimale Unterschiede, sodass anhand dieser deskriptiven Kennzahlen zunächst nicht zu erwarten ist, dass sich Patienten mit Pseudarthrose signifikant in Bezug auf die Merkmale definitive Ausversorgung Knochen, Lappenplastik nach Unfall, Lappenplastik nach Osteosynthese, Lappenverlust oder Altersgruppe

unterscheiden. Signifikante Gruppenunterschiede würden auch in diesem Fall vorliegen, wenn U sich im Bereich von $p \leq 0.05$ befindet.

Die genauen Ergebnisse dazu sind in Tabelle 22 aufgezeigt.

Variablen	U	Signifikanz	
Ausversorgung Knochen	176,500	0,853	n. s.
Lappenplastik nach Unfall	140,000	0,165	n. s.
Lappenplastik nach Osteosynthese	140,00	0,102	n. s.
Typ der Lappenplastik	124,000	0,078	n. s.
Lappenverlust	157,500	0,226	n. s.
Altersgruppe	162,500	0,503	n. s.

Tabelle 22: Zusammengefasste Ergebnisse der U-Tests.

Die einzelnen Testergebnisse des U-Tests nach Mann-Whitney zeigen auf, dass sich die beiden Testgruppen in allen Merkmalen nicht signifikant ($p \leq 0.05$) voneinander unterscheiden. Eine Tendenz zum statistisch signifikanten Ergebnis liefert der Wert der Variable „Lappenplastik nach Osteosynthese“ ($p \leq 0,1$). Hier kann nachgewiesen werden, dass der Einsatz der Lappenplastik nach definitiver Osteosynthese bei Patienten ohne Pseudarthrose später erfolgt als bei Patienten mit Pseudarthrose. Ein Ergebnis, welches ebenfalls eine Tendenz zum statistisch signifikanten Ergebnis liefert, stellt der Einbezug des Faktors „Typ der Lappenplastik“ dar. In Rückbezug zu Kap. 3.1.12 kommen freie Lappen und lokale fasziokutane Lappen häufiger bei Patienten mit Pseudarthrose zum Einsatz, während die gestielten Muskellappen hier keine Bedeutung haben. Anders verhält es sich bei den Patienten ohne Pseudarthrose, bei denen die gestielten Muskellappen wesentlich häufiger und zugleich vergleichbar häufig wie die anderen Typen der Lappenplastiken eingesetzt werden.

3.2.3 Ergebnisse der Chi-Quadrat-Tests

Hiermit wird getestet, ob Gruppenunterschiede bei Patienten mit und ohne Pseudarthrose in Bezug auf die Merkmale Geschlecht, BMI klassifiziert, Rauchen, Polytrauma, Gefäßverletzung, Hb bei Lappenplastik und Spongiosaplastik bestehen.

Bezugnehmend auf Tabelle 21 zeigt sich, dass unter allen Testungen ein signifikantes Ergebnis ($p \leq 0.05$) nur in Bezug auf die Spongiosaplastik vorhanden ist.

Weiterführend konnten folgende, in Tabelle 23 aufgezeigte, Ergebnisse ermittelt werden:

Variablen	Chi-Quadrat	Signifikanz	
Geschlecht	0,440	0,507	n. s.
BMI klassifiziert	0,754	0,385	n. s.
Rauchen	1,172	0,557	n. s.
Polytrauma	0,054	0,816	n. s.
Gefäßverletzung	0,455	0,500	n. s.
Hb bei Lappenplastik	0,040	0,842	n. s.
Spongiosaplastik	12,613	< 0,001	***

Tabelle 23: Zusammengefasste Ergebnisse der Chi-Quadrat-Tests.

Tabelle 23 zeigt an, dass sich die beiden Gruppen nicht signifikant in Bezug auf die Merkmale Geschlecht, BMI klassifiziert, Rauchen, Polytrauma, Gefäßverletzung und Hb bei Lappenplastik unterscheiden. Demgegenüber besteht jedoch, wie erwähnt, ein höchst signifikanter ($p \leq 0,001$) Unterschied in Bezug auf das Merkmal Spongiosaplastik. Hierdurch können die bereits durch die im Zuge von Kapitel 3.1.14 dargelegten Ergebnisse bestätigt werden. Dies lässt die Aussage zu, dass Patienten mit Pseudarthrose signifikant häufiger eine Spongiosaplastik erhielten als Patienten ohne Pseudarthrose.

4. Diskussion

4.1 Patientenbezogene Risikofaktoren

4.1.1 Altersverteilung

In unserem Patientenkollektiv betrug das mittlere Alter zum Unfallzeitpunkt 44,73 Jahre. Die Ergebnisse bezüglich der Altersverteilung dieses Kollektivs stehen mit der Literatur und der gängigen Erfahrung im Einklang. Hier liegt der Altersdurchschnitt bei 45,5 Jahren [19] bzw. 49 Jahren (hier bezogen auf die Fraktur der proximalen Tibia) [55].

Der durchgeführte t-Test für die Variable „Alter“ konnte bei der vorliegenden Studie keine signifikanten Gruppenunterschiede zwischen Patienten mit und Patienten ohne Pseudarthrose feststellen.

Dieses Ergebnis differiert teilweise mit der Literatur. Verschiedene Studien, die teils an Menschen, teils im Tierversuch durchgeführt wurden, belegen, dass es mit zunehmendem Alter zu einem gestörten oder verzögerten Aufbau des Knochendefekts bzw. der Knochenheilung kommt, was u. a. mit der altersbedingten verringerten Knochendichte und zunehmenden Porosität der Knochen begründet wird [17, 35, 38, 43, 45, 48, 72, 75].

Demgegenüber kommen Autoren anderer Studien zu dem Schluss, dass das Alter per se kein Kriterium dafür darstellt, dass die Knochenheilung nach erfolgter Weichteilrekonstruktionen signifikant langsamer oder schlechter verläuft [4, 9, 17, 49]. Somit sind die in unserer Studie erzielten Ergebnisse mit der klinischen Literatur teilweise übereinstimmend, dass bei älteren Patienten nicht mit einer erhöhten Rate an Pseudarthrosen zu rechnen ist.

4.1.2 Geschlechterverteilung

Innerhalb des Patientenkollektivs der eigenen Untersuchung liegt ein deutliches Ungleichgewicht der Geschlechter vor. Von den insgesamt 40 Patienten sind 32

männlich (80,0 %) und 8 weiblich (20,0 %). Der höchste Anteil an weiblichen Patienten ist in der Gruppe der Patienten ohne Pseudarthrose vorhanden (23,1 %, n=6).

Dieses Ungleichgewicht wird auch in der Literatur bestätigt. Hier beläuft sich das Verhältnis zwischen Männern und Frauen jeweils in etwa auf 2:1 [18, 19, 55]. Bei den über 50-jährigen Patienten kehrt sich das Verhältnis um und beträgt beispielsweise in der Studie von Meling et al. (2009) 1:3 [55].

Der durchgeführte Chi-Quadrat-Test konnte keinen statistischen Indikator liefern, dass zwischen den beiden Gruppen in Bezug auf die Geschlechterverteilung Unterschiede bestehen.

Auch wenn in unserer Studie demnach keine signifikanten Unterschiede in der Rate der Entwicklung von Pseudarthrosen zwischen Männern und Frauen ersichtlich sind, kann das Geschlecht des Patienten durchaus einen Einfluss auf die Frakturheilung haben. Einerseits sind Hochrasanztraumata bei Männern deutlich häufiger als bei Frauen, was aufgrund des Verletzungsmechanismus zu einer erhöhten Rate an Pseudarthrose führt. Gaston et al. (2007) konnten zeigen, dass die vermehrten Komplikationen der Frakturheilung bei männlichen Patienten durch den Unfallmechanismus (Hochrasanztrauma) erklärbar sind [24, 75]. Andererseits gibt es Hinweise, dass die unterschiedliche hormonelle Ausgangssituation zwischen dem männlichen und dem weiblichen Körper auch Einfluss auf die Knochenheilung haben könnte. Nach Parker et al. (2007) neigen weiblichen Patienten vermehrt zur Ausbildung einer Pseudarthrose [75].

4.1.3 Body-Mass-Index

Die Zunahme von Übergewicht und Adipositas stellen ein weltweites Problem dar. Auch in Deutschland ist die Prävalenz in der Erwachsenenbevölkerung auf einem hohen Stand. Gemäß der „Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1)“ sind 67,1 % der Männer und 53,0 % der Frauen übergewichtig (BMI gleich oder größer 25 kg/m²). Unter Adipositas (BMI gleich oder größer 30 kg/m²) leiden 23,3 % der Männer und 23,9 % der Frauen [56].

Das vorliegende Patientenkollektiv wurde anhand des BMI in 2 Kategorien eingeteilt. So hatten am Gesamtkollektiv 28 Patienten (70,0 %) einen BMI unter 30 kg/m². 12 Patienten (30,0 %) hatten einen BMI gleich oder größer 30 kg/m². In der Gruppe der Patienten mit Pseudarthrose hatten 21,4 % (n=3) einen BMI gleich oder größer 30 kg/m², in der Gruppe der Patienten ohne Pseudarthrose hatten 34,6 % (n=9) einen BMI gleich oder größer 30 kg/m². Der beim t-Test ermittelte T-Wert liegt oberhalb der Signifikanzgrenze. Es gibt daher aus statistischer Sicht keinen Hinweis, dass zwischen den beiden Gruppen bezüglich des BMI Unterschiede bestehen.

Mehrere Studien differieren diesbezüglich eindeutig von unseren Ergebnissen.

Es wird in verschiedenen Studien der Frage nachgegangen, ob Übergewicht oder Adipositas die Knochenheilung negativ beeinflusst und ob diese Patienten unter vermehrten Komplikationen nach einer Lappenplastik zu leiden haben. Diese Studien kamen übereinstimmend zu dem Ergebnis, dass übergewichtige und adipöse Patienten eine signifikant erhöhte Komplikationsrate aufweisen als normalgewichtige Patienten [10, 50, 54, 71, 91, 95].

Zu gegenteiliger Ansicht, demgegenüber aber vergleichbar mit den Ergebnissen der eigenen Studie, kamen Strauss et al. (2006). Diese untersuchten in einer retrospektiven Studie 279 Patienten mit einer operativ versorgten Sprunggelenksfraktur. Hier hatte die Adipositas keinen signifikanten Einfluss auf die Komplikationsrate, Knochenheilung oder Funktionalität. So konnte 3 Monate nach dem Unfall radiologisch die vollständige knöchernerne Durchbauung der Fraktur bei 97,0 % der adipösen Patienten und bei 96,7 % der nicht adipösen Patienten dokumentiert werden [99].

Wie oben ausgeführt, konnten auch innerhalb der eigenen Studie keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden. Allerdings umfasste die Studie nur 12 adipöse Patienten (BMI gleich oder größer 30 kg/m²), sodass dieses Ergebnis als nicht repräsentativ angesehen werden muss.

4.1.4 Nikotinabusus

Trotz der allseits bekannten gesundheitsschädlichen Wirkung von regelmäßigem Tabakkonsum, raucht ungefähr ein Viertel der erwachsenen Bevölkerung in Deutschland [96].

Dass sich ein regelmäßiger Nikotinkonsum darüber hinaus auch negativ auf Wundheilung, Knochenheilung und Lappenverlust auswirkt, ist durch verschiedene Studien belegt [1, 6, 14, 79, 93, 94].

Die Mehrheit der Patienten der vorliegenden Studie sind Nichtraucher. In der Gesamtbetrachtung betrifft dies 62,5 % (n=25). Dieser Wert entspricht ungefähr der Verteilung in Deutschland. Die Anzahl der Nichtraucher innerhalb der Patienten ohne Pseudarthrose liegt bei 57,7 % (n=15) und innerhalb der Gruppe der Patienten mit Pseudarthrose bei 71,4 % (n=10). Somit ist der Anteil an Nichtrauchern in der Gruppe mit Pseudarthrose höher als in der Gruppe der Patienten ohne Pseudarthrose. Dieses Ergebnis entspricht nicht der oben ausgeführten Studienlage. Auch konnte mit dem durchgeführten Chi-Quadrat-Test kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen gemessen werden. Ein Grund für die Abweichung gegenüber der Literatur ist darin zu sehen, dass die Quantität des Nikotinkonsums nicht in der Auswertung berücksichtigt wurde. Ebenfalls ist die insgesamt geringe Fallgröße unseres Patientenkollektives als Grund für dieses wenig plausible Ergebnis zu sehen.

4.2 Unfallbezogene Risikofaktoren

4.2.1 Polytrauma

Innerhalb der eigenen Untersuchung waren insgesamt 19 Patienten (47,5 %) zum Zeitpunkt der Datenaufnahme so schwer verletzt, dass sie als polytraumatisiert eingestuft werden mussten. In der Gruppe der Patienten mit Pseudarthrose lag in 50,0 % der Fälle eine Polytraumatisierung vor. Der

durchgeführte Chi-Quadrat-Test konnte keine statistisch signifikanten Gruppenunterschiede anzeigen.

Klinische Studien belegen, dass polytraumatisierte Patienten ein erhöhtes Risiko für Knochenheilungsstörungen und für die Entstehung einer Pseudarthrose haben [40, 80]. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Bumann et al. (2003) konnten zeigen, dass zumindest der Blutverlust von korpuskulären Bestandteilen keinen negativen Einfluss auf die Knochenheilung hat. Patienten, bei denen der Blutverlust im Rahmen eines hämorrhagischen Schocks durch kolloidale Substanzen ersetzt wurde, zeigten eine verbesserte Knochenheilung [12].

Die Studienlage bezüglich dieser Thematik ist schwierig zu interpretieren. Als polytraumatisiert eingestufte Patienten können eine große Bandbreite an Verletzungsmustern aufweisen. Bei Patienten mit schwerem Schädel-Hirn-Trauma und gleichzeitig vorliegenden Extremitätenfrakturen ist eine verstärkte und beschleunigte Knochenbildung bekannt. Dies ist bei Patienten mit Extremitätenfrakturen ohne ein schweres Schädel-Hirn-Trauma nicht beschrieben [103]. Aufgrund der klinischen Erfahrung muss bei polytraumatisierten Patienten von einem schlechteren funktionellen Outcome als bei nicht polytraumatisierten Patienten ausgegangen werden. Die Knochenheilung scheint jedoch bei polytraumatisierten Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma verstärkt nachweisbar zu sein. Diesbezüglich erlaubt unsere Studie keine Aussage, auch wegen des kleinen Patientenkollektivs. Es ist zu postulieren, dass bei polytraumatisierten Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma die Falschgelenkbildung seltener sein sollte.

In Bezug auf die Frakturform zeigt die Einteilung nach der AO-Klassifikation ein erhöhtes Risiko für die Ausbildung eines Falschgelenkes mit ansteigender Frakturschwere. Dies steht klar im Einklang mit der aktuellen Literatur. Nicht nur ist die Knochenheilung verzögert, sondern es steigt auch die Rate an tiefen Gelenkinfekten in Abhängigkeit der Klassifikation nach AO. Ebenfalls zeigte die Einteilung in Anlehnung an die Klassifikation nach Gustilo-Anderson ein

erhöhtes Risiko der Falschgelenkbildung bei 3b Verletzungen. Die per se zu postulierende höchste Rate an Falschgelenkbildung bei 3c Verletzungen zeigte sich in unserem Patientengut so nicht, was sicher der geringen Anzahl geschuldet sein kann. Prinzipiell zeigen diese Ergebnisse ein bekanntes Problem auf: Beide Klassifikationen sind für sich alleine angewendet nicht ausreichend um die Art der Verletzung vollumfänglich zu beschreiben. Die für die Einteilung offener Frakturen gedachte Klassifikation nach Gustilo-Anderson lässt ein therapeutisch und prognostisch sehr wichtiges Kriterium aus: den Frakturtyp. Es ist aus chirurgischer Intuition klar, dass bei gleichem Ausmaß der Weichteilschädigung, eine Differenzierung der Komplexität der Knochendestruktion möglich sein muss. Somit wäre eine Kombination beider Klassifikationen für die Einteilung offener Frakturen notwendig um das multifaktorielle Bild offener Frakturen möglichst genau abbilden zu können. Dieses Dilemma der an sich inadäquaten Möglichkeit zu Einteilung offener Frakturen wird in der BAPRAS Publikation benannt [67]. Dies ist sicher auch ursächlich für die nur sehr schwer vergleichbaren Resultate vieler Studien, da allein die initial zur Anwendung kommenden Klassifikationen unterschiedlich sind. Daher ist auch aus unseren Studienergebnissen abzuleiten, dass es zur Verbesserung der wissenschaftlichen Aufarbeitung einer übergreifenden Klassifikation bedarf, die sowohl das Ausmaß der Weichgewebsverletzungen, Gefäßverletzungen und Knochenverletzungen berücksichtigt.

4.2.2 Gefäßverletzungen

Beim vorliegenden Patientenkollektiv weist etwa ein Fünftel der Patienten (n=9) eine Gefäßverletzung auf. Aufgeschlüsselt nach Probanden mit und ohne Pseudarthrose zeigt sich, dass Gefäßverletzungen nach dem prozentualen Anteil häufiger bei Patienten mit Pseudarthrose (28,6 %, n=4) vorkommen als bei Patienten ohne Pseudarthrose (19,2 %, n=5).

Studien weisen darauf hin, dass arterielle Verletzungen im Bereich der Extremitäten die Amputationsrate signifikant erhöhen [16, 78]. Eine Studie von

Gäbel et al. (2009) verweist jedoch auch darauf, dass arterielle Verletzungen bei Frakturen nur vergleichsweise selten vorkommen [23].

Ob venöse oder arterielle Gefäße betroffen waren, findet in der vorliegenden Studie keine Berücksichtigung. Dementsprechend ist der statistisch erhobene Befund, dass es bezüglich Gefäßverletzungen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen gibt, nur bedingt aussagekräftig. Zudem ist auch hier die Fallzahl dieser Studie zu gering, um verlässliche Rückschlüsse über Änderungen der Knochenheilung bei Vorliegen dieser seltenen Verletzungen zu ermöglichen. Der in unserer Studie erkennbare Trend zu einer höheren Rate an Pseudarthrose bei Vorliegen von Gefäßverletzungen ist jedoch erklärbar: Durch eine Gefäßverletzung kann die Perfusion des Knochens reduziert sein, was zu einer prolongierten oder inadäquaten Heilung führen kann. Ebenfalls könnte die Gefäßverletzung Hinweis auf eine verhältnismäßig höhere Gewebeschädigung sein, was per se ebenfalls die verzögerte Knochenheilung erklären kann.

4.3 Operationsparameter

4.3.1 Hämoglobin-Wert (Hb) bei Lappenplastik

Um einen möglichen Einfluss einer Anämie auf die Erfolgsrate einer Lappenplastik zu untersuchen, wurde das Patientenkollektiv in 2 Gruppen unterteilt. Die erste Gruppe hatte präoperativ vor der Lappenplastik einen Hämoglobinwert (Hb) kleiner als 10 g/dl, die zweite Gruppe gleich oder größer als 10 g/dl. Diese Grenzwerte wurden in Anlehnung an die Richtlinien der Bundesärztekammer gewählt. Diese empfiehlt, ab einem Hämoglobinwert (Hb) von 10 g/dl keine Erythrozytentransfusion durchzuführen [13].

Es konnte festgestellt werden, dass 55,0 % (n=22) der Patienten vom Kollektiv einen Wert von gleich oder größer als 10 g/dl aufweisen. 45,0 % (n=18) der Patienten zeigen einen Wert unter 10 g/dl. Im Gruppenvergleich hatten in beiden Gruppen gleich viele Patienten einen Hämoglobinwert gleich oder größer als 10 g/dl (ohne Pseudarthrose: 53,8 %, n=14; mit Pseudarthrose

57,1 %, n=8). Ergänzend sei erwähnt, dass es bei der Gruppe mit einem Hämoglobinwert kleiner 10 g/dl zu insgesamt 3 Lappenverlusten, bei der Gruppe mit einem Hämoglobinwert gleich oder größer 10 g/dl zu insgesamt 2 Lappenverlusten kam. Im Rahmen der statistischen Prüfung konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang hergestellt werden. Dieses Ergebnis spiegelt die kontroverse Studienlage bezüglich dieser Thematik sehr gut wieder.

Verschiedene Studien, die überwiegend tierexperimentell stattfanden, belegen, dass eine Anämie zu einer verbesserten Erfolgsrate bei mikrovaskulären Lappenplastiken beiträgt [20, 59, 70]. Während das Vorhandensein einer Anämie sich also begünstigend auf das Lappenüberleben auswirkt, zeigt diese sich zugleich hinderlich in Bezug auf die Knochenheilung, wie tierexperimentellen Studien entnommen werden kann [81, 105].

4.3.2 Zeitpunkt der definitiven Osteosynthese nach dem Unfall

Die osteosynthetische Versorgung einer Tibiafraktur ist sehr anspruchsvoll und mit vielen Komplikationen verbunden. Der Zeitpunkt der Osteosynthese wird vom Frakturtyp und vom initialen Weichteilschaden bestimmt. Offene Frakturen, Frakturen mit schwerem Weichteilschaden, das Kompartmentsyndrom und begleitende Gefäßverletzungen, müssen notfallmäßig behandelt werden. Weiterhin sollten Brüche bei polytraumatisierten Patienten und komatösen Patienten immer einer operativen Versorgung zugeführt werden. Grundlegend ist die primäre Versorgung anzustreben, bevor die Schwellung und der Weichteilschaden zu groß werden. Ist dieser Zeitpunkt verpasst, wird die spätsekundäre Versorgung empfohlen bzw. kann ein Fixateur externe als intermediäres Implantat verwendet werden [101].

Nach Schwabe et al. (2010) gibt es ebenfalls mehrere Einflussfaktoren, welche das Management und den Operationszeitpunkt der Fraktur bestimmen. Neben obenstehenden Faktoren wird die Ischämiezeit, der Grad der Kontamination, die Lokalisation der Fraktur und die Begleiterkrankungen des Patienten ergänzt [90].

In diesem Zusammenhang muss die sogenannte „6-Stunden-Regel“ erwähnt werden. Gemäß dieser Regel kann die Infektionsrate offener Frakturen langer Röhrenknochen durch ein chirurgisches Debridement innerhalb von 6 Stunden nach Trauma verringert werden. Während Schenker et al. (2012) darauf verweisen, dass diese Regel mit der aktuellen Studienlage nicht zu erklären ist [87], weisen die Ergebnisse verschiedener Studien darauf hin, dass eine frühzeitige Frakturstabilisierung das Infektionsrisiko signifikant senkt [74, 107]. Allerdings ist die Datenlage auch hier nicht eindeutig. So kommen beispielsweise Harley et al. (2002) zu dem Schluss, dass der Faktor Zeit keinen signifikanten Prädiktor für die Entwicklung einer Pseudarthrose oder Infektion darstellt. Vielmehr sind der Frakturgrad und die Betroffenheit der unteren Extremität von Bedeutung [33].

In der vorliegenden Studie erfolgte die endgültige osteosynthetische Ausversorgung der Fraktur meist mehr als 10 Tage nach dem Trauma (n=26, 65,0 %). Bei 7,5 % (n=3) fand die Versorgung in weniger als 5 Tagen nach dem Unfall statt. Bei 27,5 % (n=11) erfolgte die Versorgung im Zeitraum von 5 bis 10 Tagen danach. In der Gruppe der Patienten mit und ohne Pseudarthrose fand ebenfalls in ca. 60,0 % der Fälle die osteosynthetische Ausversorgung in mehr als 10 Tagen nach dem Trauma statt. Unterschiede zwischen den Gruppen der Patienten mit und ohne Pseudarthrose ergeben sich vor allem in Hinblick auf die Differenzierung der Osteosynthese von bis 5 Tage und von 5-10 Tage nach dem Unfallzeitpunkt. Während bei 7,5 % (n=3) der Patienten insgesamt bzw. 11,5 % (n=3) der Patienten ohne Pseudarthrose weniger als 5 Tage vergangen sind, trifft dies innerhalb der Patienten mit Pseudarthrose auf keinen der Patienten zu. Demgegenüber wurde bei etwas mehr als einem Drittel der Patienten mit Pseudarthrose eine Ausversorgung der Knochen 5-10 Tage nach dem Unfall vorgenommen, was bei den Patienten ohne Pseudarthrose nur auf etwa jeden vierten Patienten zutrifft.

Wie oben ausgeführt, hängt aber der Zeitpunkt sowohl der vorläufigen als auch der endgültigen Knochenversorgung von mehreren Faktoren ab. So beeinflussen die Art der Fraktur und der initiale Weichteilschaden den

Operationszeitpunkt. Dies macht sich in der statistischen Auswertung bemerkbar. Der U-Test zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen auf. Höchstwahrscheinlich liegt es daran, dass für jeden einzelnen Patienten der bestmögliche Operationszeitpunkt individuell gewählt wurde und somit ein Gruppenvergleich nicht sinnvoll anwendbar ist.

4.3.3 Zeitpunkt der Lappenplastik

Der Zeitpunkt der Weichteilrekonstruktion wird nach Strohm et al. (2010) durch den Gesundheitszustand des Patienten und durch die Wunde selbst bestimmt. Einfluss auf den Zeitpunkt der Rekonstruktion haben ferner der Infektstatus der Wunde, der Frakturtyp, das Vorhandensein verletzten Gewebes und die Exposition von vitalem Gewebe. Gemäß den Autoren wird ein Zeitraum von 5 bis 7 Tagen nach dem Debridement und Stabilisierung als sinnvoll angesehen [100].

In der klinischen Versorgungsforschung wurden bereits frühzeitig Untersuchungen dazu durchgeführt, wann der ideale Zeitpunkt der Weichteilrekonstruktion definiert werden sollte. In diesem Zusammenhang haben bereits Brown et al. im Jahr 1965 auf die Bedeutung des richtigen Zeitpunktes des Wundverschlusses hingewiesen. Unter anderem nennen die Wissenschaftler dabei ein Konzept, welches im 2. Weltkrieg erarbeitet wurde. Im Rahmen dieses Konzepts wurden Frakturen mit begleitendem Weichteilschaden mit verzögerter Primärnaht oder Transplantat zwischen dem vierten und sechsten Tag nach der Verletzung versorgt [11].

Betrachtet man die neuere Studienlage, fällt auf, dass bezüglich des optimalen Zeitpunktes des Wundverschlusses nach der Verletzung teils sehr unterschiedliche Empfehlungen gemacht werden. Diese reichen von einer Wundversorgung von 12 bzw. 24 h bis maximal 72 h nach der Verletzung bis hin zu 14 Tagen [11,15, 26, 46, 73, 77, 84, 85, 90, 109].

Besonders häufig wird durch verschiedene Studien ein Zeitraum von 7 Tagen genannt. Zumindest hier weisen einige der Studien also ein vergleichbares Ergebnis auf [73, 77, 84, 85].

Aufgrund der aber insgesamt eher diffusen Angaben bezüglich des Zeitraumes der Weichteilrekonstruktion, bleibt abzuwarten, zu welchen Erkenntnissen nachfolgende Forschungen kommen werden. Die Tatsache, dass durch die nun weltweit sicher verfügbare Möglichkeit der Wundversorgung und Konditionierung durch die Unterdrucktherapie die Dringlichkeit der Weichteilrekonstruktion entschleunigt wurde, muss heutzutage klar bei der Interpretation von Studienergebnissen aus der Zeit vor Einführung der Vakuumtherapie berücksichtigt werden. Auch wenn eine möglichst rasche Weichteilrekonstruktion intuitiv richtig erscheint, ist heutzutage klar zu fordern, dass die Weichteilrekonstruktion erst zu dem Zeitpunkt durchgeführt wird, wenn die Gesamtsituation des Patienten die günstigsten Voraussetzungen für die Heilung bietet. Neben dem Allgemeinzustand zählt hierzu natürlich auch lokale Faktoren wie die Keimfreiheit der Wunde und Schwellungszustand der Extremität. Letztlich ist somit der optimale Zeitpunkt der Weichteilrekonstruktion im jeweiligen Einzelfall unterschiedlich zu bewerten.

In der vorliegenden Studie wurde bei der Mehrheit der Patienten (62,5 %, n=25) die Lappenplastik mehr als 14 Tage nach dem Unfall durchgeführt. Bei 11 Patienten (27,5 %) erfolgte diese nach 7 bis 14 Tagen. Bei 3 Patienten (7,5 %) wurde in weniger als 7 Tagen die Lappenplastik durchgeführt. Interessant im Gruppenvergleich ist, dass bei 69,2 % der Patienten ohne Pseudarthrose (n=18) und bei 50,0 % der Patienten mit Pseudarthrose (n=7) die Lappenplastik mehr als 14 Tage nach dem Unfall durchgeführt wurde. Jedoch konnte im durchgeführten U-Test nach Mann-Whitney kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen gefunden werden. Dieses Ergebnis entspricht der Literatur. Anders als in der Vergangenheit, in der als wichtigstes Kriterium für die Entwicklung einer Pseudarthrose die Zeitspanne zur definitiven Weichteilrekonstruktion von weniger als 5-7 Tagen postuliert wurde, zeigen die Ergebnisse keine schlechtere Knochenheilung, wenn der Zeitpunkt der Weichteilrekonstruktion deutlich später liegt. Dass hierbei keine höheren Infektionsraten zu verzeichnen sind, ist auf den Einsatz der Unterdrucktherapie zurückzuführen.

4.3.4 Zeitpunkt der Durchführung der Lappenplastik nach der definitiven Osteosynthese

Von Interesse ist auch, wann die Lappenplastik in Bezug zur definitiven Osteosynthese erfolgte. In der vorliegenden Studie erfolgte bei 77,5 % der Patienten (n=31) in weniger als 7 Tagen nach der Osteosynthese die Lappenplastik. Bei 17,5 % (n=7) nach mehr als 14 Tagen und bei 5,0 % (n=2) nach 7 bis 14 Tagen. Interessant ist, dass die Häufigkeitsverteilung bei den Patienten mit Pseudarthrose stark abweicht. Während der Zeitraum 7-14 Tage auf gar keinen Patienten zutrifft, fand auch nur bei einem Patienten (7,1 %) der Einsatz der Lappenplastik nach mehr als 14 Tagen statt, stattdessen bei einer deutlichen Mehrheit von 92,9 % (n=13) nach weniger als 7 Tagen.

Schwabe et al. (2010) weisen darauf hin, dass Komplexverletzungen der Extremität meist nicht durch einfache Osteosynthese und Weichteilverschluss behandelt werden können, sondern dass ein aufwendiges und mehrstufiges Vorgehen nötig ist [90]. Wahrscheinlich ist deshalb die aktuelle Datenlage zu dieser Problematik dürftig.

In einer älteren Studie von 1986 konnte nachgewiesen werden, dass eine simultane Spongiosaplastik mit Weichteildeckung, mittels Muskel- oder mikrovaskulären Lappen, zur Ausbildung einer belastungsfähigen Extremität führt [69].

In vorliegender Studie unterscheiden sich Patienten mit Pseudarthrose anhand des U-Tests von denen ohne Pseudarthrose im Hinblick auf das Merkmal des Zeitpunktes der Lappenplastik nach Osteosynthese zwar nicht signifikant, jedoch kann eine Tendenz zu einem statistisch signifikanten Ergebnis beobachtet werden ($p \leq 0,1$). Es konnte nachgewiesen werden, dass die Durchführung der Lappenplastik nach definitiver Osteosynthese bei Patienten ohne Pseudarthrose tendenziell später erfolgt als bei Patienten mit Pseudarthrose. Dieses Ergebnis ist schwer zu interpretieren, da es der chirurgischen Intuition widerspricht. Je länger Osteosynthesematerial vor der

definitiven Weichteilrekonstruktion in einer Wunde exponiert ist, umso höher sollte die Wahrscheinlichkeit der Ausbildung eines Biofilms sein, in dem Bakterien letztlich für Antibiotika unerreichbar sind [25]. Daher ist mit einer erhöhten Rate an tiefen Knocheninfekten, die sich meist in Form einer Pseudarthrose zeigen, zu rechnen. Dass dies in dieser Studie nicht zu zeigen ist, kann am ehesten mit der kleinen Studiengröße erklärt werden.

4.3.5 Typ der Lappenplastik

Im Rahmen des Weichteilmanagements gibt es verschiedene Therapieansätze, die auf unterschiedlichen Prinzipien beruhen [42, 90, 100]. Die Art der Weichteildeckung wird letztlich jedoch durch die Wundgrundqualität, Größe und Lokalisation des Defekts sowie regionale funktionelle Erfordernisse bestimmt [90]. Nanchahal et al. (2009) empfehlen daher, bei diaphysären deperiostisierten Tibiafrakturen Muskellappen anstelle von fasziokutanen Lappenplastiken zu verwenden. Metaphysäre Frakturen, besonders im Bereich der Knöchel, sollten im Gegenzug mit fasziokutanen Lappen, gestielt oder frei, versorgt werden [68].

In vorliegender Studie wurden am häufigsten lokale fasziokutane Lappen (42,5 %, n=17) verwendet. Am zweithäufigsten kamen freie Lappen zum Einsatz (35,0 %, n=14). Bei 22,5 % (n=9) wurden gestielte Muskellappen gewählt. Beim Gruppenvergleich sind jedoch Unterschiede zu erkennen. Die Patienten mit Pseudarthrose haben ebenfalls und dem allgemeinen Trend folgend am häufigsten lokale fasziokutane Lappen (57,1 %, n=8) erhalten, am zweithäufigsten freie Lappen (42,9 %, n=6). Die Patienten ohne Pseudarthrose haben hingegen alle Typen der Lappenplastiken etwa zu gleichen Teilen im Bereich von etwa einem Drittel erhalten. Dieses Ergebnis ist statistisch nicht signifikant, weist jedoch eine Tendenz zum statistisch signifikanten Ergebnis ($p < 0.01$) auf. Der bestehende Unterschied richtet sich insbesondere auf die Bedeutung der gestielten Muskellappen, die bei den Patienten mit Pseudarthrose gar keine Rolle spielen, jedoch bei mehr als einem Drittel der Patienten ohne Pseudarthrose zum Einsatz kommen.

Innerhalb der freien Lappenplastiken (n=14) wurden insgesamt 12 anterolaterale Oberschenkellappen (ALT) und 2 TFL-Perforator-Lappen verwendet. Demgegenüber setzen sich die gestielten Muskellappen (n=9) aus medialen Gastrocnemiuslappen (n=2), Hemisoleuslappen (n=4), M. tibialis-anterior-Lappen (n=1), lateralem Gastrocnemiuslappen (n=1) und einer unbekanntem gestielten Lappenplastik zusammen. Auch in Bezug auf die lokalen fasziokutanen Lappenplastiken (n=17) kamen verschiedene Varianten zum Einsatz, darunter 4 Schwenklappen, 7 Suralislappen, 1 Propellerlappen, 1 proximal gestielter fasziokutaner Verschiebelappen, 1 gestielte Verschiebe-Rotationsplastik, 1 lokale Rotationsplastik, 1 Visierlappen sowie 1 lokale Verschiebeplastik.

4.4 Komplikationen

4.4.1 Lappenverlust

Insgesamt kam es bei 5 Patienten (12,5 %) zu einem Lappenverlust. Davon wurde bei 3 Patienten eine weitere Lappenplastik durchgeführt, bei 2 Patienten musste eine Amputation vorgenommen werden. Differenziert betrachtet nach dem Typ der Lappenplastik, zeigten sich die freien Lappen ebenso wie die gestielten Muskellappen am verlässlichsten. Hier kam es jeweils nur bei einem Patienten zu einem Lappenverlust. Während dieser bei dem Patienten mit freiem Lappen und Lappenverlust durch den Einsatz eines neuen Lappens kompensiert werden konnte, musste bei dem Patienten mit gestieltem Muskellappen und Lappenverlust eine Amputation vorgenommen werden. Demgegenüber waren 3 Patienten von einem Lappenverlust betroffen, die zuvor einen lokalen fasziokutanen Lappen erhalten hatten. Bei 2 der 3 Patienten konnte dieser durch einen neuen Lappen ersetzt werden, bei einem Patienten erfolgte auch hier eine Amputation.

Im Gruppenvergleich erlitten insgesamt 7,6 % der Patienten ohne Pseudarthrose (n=2) einen Lappenverlust. Bei Patienten mit Pseudarthrose lag

deren prozentualer Anteil mit 21,4 % deutlich höher. Jedoch konnte das Ergebnis nicht auf statistisch signifikantem Niveau nachgewiesen werden.

Der Lappenverlust (n=5) setzt sich aus 1 ALT-Lappen (n=12), 3 Suralislappen (n=7) und 1 Hemisoleuslappen (n=4) zusammen.

Die Lappenverlustrate wird auch im Rahmen verschiedener anderer Studien aufgegriffen und fiel hier jeweils ähnlich gering oder sogar deutlich geringer aus [34, 39, 47, 51, 57, 73, 108, 110]. Generell war bei Durchführung einer freien mikrovaskulären Lappenplastik die Verlustrate am geringsten. Dies entspricht den gängigen Therapieempfehlung, besonders im Bereich des distalen Extremitätendrittels an der unteren Extremität, prinzipiell der freien mikrovaskulären Lappenplastik den Vorzug über lokale Therapiealternativen zu geben. Aus unseren Ergebnissen ist abzulesen, dass bei Versagen der Weichteilrekonstruktion eine erhöhte Rate an Pseudarthrosen resultiert, was nachvollziehbar erscheint. Dies unterstreicht die in der plastischen Chirurgie bekannte Regel, dass die Knochenheilung nur so gut sein kann wie die entsprechende Weichteilrekonstruktion. Somit kommt im Hinblick auf den langfristigen Erhalt einer belastungsstabilen unteren Extremität der verlässlichen Weichteilrekonstruktion eine besondere Bedeutung zu. Ein wichtiger Faktor, der in dieser retrospektiven Studie nicht erfasst wird, ist die Indikationsstellung für die jeweilige Art der Lappenplastik. Es ist anzunehmen, dass in Fällen mit ausgedehnter Weichteildestruktion primär die Indikationsstellung für den freien Gewebettransfer gestellt wurde. Aus unseren Ergebnissen kann aber auch nicht die Empfehlung abgeleitet werden, generell keine lokal gestielten Lappenplastiken im distalen Drittel des Unterschenkels zu wählen. Prinzipiell jedoch unterstreicht dieses Ergebnis die Notwendigkeit der sehr genauen Indikationsstellung zur lokalen Lappenplastik.

4.4.2 Spongiosaplastik

Bereits im 17. Jahrhundert versuchte der holländische Chirurg Job van Mee'kren einen Defekt der Schädelkalotte eines Soldaten mit einem

Knochen-Transplantat eines Hundes zu verschließen [102]. Durch die einfache Verfügbarkeit und die klinischen Erfolge wurde die autologe Spongiosaplastik zum Goldstandard in der Versorgung von Knochendefekten [102]. Die Angaben dazu, bis zu welcher Defektstreckenlänge eine autologe Spongiosaplastik geeignet ist, variieren in den empirischen Forschungsbefunden marginal. Hier werden Maximalstrecken von 3 cm bis zu 5-6 cm genannt [89]. Mehrere Studien belegen übereinstimmend, dass sich der Einsatz einer Spongiosaplastik sehr gut bewährt hat, um Knochendefekte zu verschließen und zu einer wirkungsvollen Knochenheilung beizutragen [21, 34, 37, 58, 82, 86], wobei das Remodelling des verletzten Knochens aber Jahre dauern kann [58].

Bei vorliegender Studie musste bei 47,5 % der Patienten (n=19) eine Spongiosaplastik durchgeführt werden. Während die Patienten ohne Pseudarthrose mehrheitlich zu 73,1 % (n=19) keine Spongiosaplastik benötigten, musste diese bei Patienten mit Pseudarthrose in 85,7 % der Fälle (n=12) durchgeführt werden. Bei den restlichen 2 Patienten mit Pseudarthrose (n=14) wurde bei einem Patienten eine Unterschenkelamputation und bei dem anderen Patienten eine Dynamisierung durchgeführt. Dieser Unterschied wird auch im durchgeführten Chi-Quadrat-Test als höchst signifikant ($p < 0,001$) eingestuft. Dieses Gesamtergebnis entspricht dem oberen Bereich der Literatur. Das Gruppenergebnis zeigt deutlich, wie wichtig das Prinzip der Spongiosaplastik für die Behandlung einer Pseudarthrose ist. Sie wird daher auch als Goldstandard für die Behandlung von Pseudarthrosen angesehen.

4.4.3 Pseudarthrose

Die Kombination aus Fraktur und Weichteildefekt begünstigt die Entwicklung schwerer Komplikationen wie ausbleibende oder verzögerte Knochenbruchheilung, sowie Knochen- und Weichteilinfektionen. Hiermit verbunden sind eine verlängerte Krankenhausverweildauer sowie Folgeeingriffe [30].

Im Rahmen weiterführender Studien an Patienten mit verschiedenen Frakturtypen kamen die Autoren zu teils stark voneinander abweichenden Werten bezüglich der Pseudarthrose rate. Die Spanne reicht hier von 1,0 % bis 41,0 % [21, 22, 28, 73, 88, 97].

Bei vorliegender Studie kam es in 14 Fällen (35,0 %) zu einer Pseudarthrose. Somit ist der Wert als relativ hoch einzustufen. Wie oben ausgeführt, ist die Ausbildung einer Pseudarthrose allerdings einer großen Varianz unterworfen. Ein Grund hierfür ist darin zu sehen, dass offene Tibiafrakturen mit ausgeprägtem Weichteilschaden komplizierte Verletzungen mit hohem Komplikationspotential darstellen.

5. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, im Rahmen einer retrospektiven Studie verschiedene Einflussgrößen auf den Heilungsverlauf offener Unterschenkelfrakturen mit lappenpflichtigen Weichteildefekten zu untersuchen. Es war notwendig die Vielzahl der untersuchten Parameter retrospektiv zu erfassen, da die Patientenpopulation sehr inhomogen ist und somit multifaktoriell analysiert werden muss. Den Endpunkt für die statistische Auswertung bildete die Entwicklung oder das Ausbleiben einer Pseudarthrose. Die Studie umfasste 40 Patienten, welche im Zeitraum vom Januar 2008 bis Dezember 2013 in der Abteilung für plastische Chirurgie der Universitätsklinik Würzburg behandelt wurden. Zusammenfassend kam ich zu folgenden Ergebnissen:

5.1 Patientenbezogene Risikofaktoren

In vorliegender Studie konnten für die Mehrzahl der Variablen wie Alter, Geschlecht, Nikotinabusus und Body-Mass-Index (BMI) keine signifikanten Gruppenunterschiede zwischen Patienten mit und ohne Pseudarthrose ermittelt werden. Besonders für die Variablen Nikotinabusus und Body-Mass-Index (BMI) muss dieses Ergebnis kritisch gesehen werden. In der ausführlichen Literaturrecherche wie auch in der klinischen Erfahrung haben diese Variablen einen stark negativen Einfluss auf den Heilungsverlauf offener Frakturen mit lappenpflichtigen Weichteildefekten. Eine Erklärung für unsere Ergebnisse liegt in der geringen Fallzahl begründet.

5.2 Unfallbezogene Risikofaktoren

Auch bezüglich der Variablen Polytrauma und Gefäßverletzung haben sich die beiden Gruppen nicht signifikant unterschieden. Bezüglich der Variable Gefäßverletzung zeigte sich nach Aufteilung der Probanden mit und ohne Pseudarthrose, dass Gefäßverletzungen häufiger bei Patienten mit Pseudarthrose (28,6 %) als bei Patienten ohne Pseudarthrose (19,2 %)

vorkommen. Klare Unterschiede zeigen sich in Bezug auf Frakturform sowie Schweregrad der Weichgewebsverletzung nach Gustilo-Anderson. Eine weitere Aufteilung der Patienten in Bezug auf die AO- und Gustilo-Anderson-Klassifikation und ein Abgleichen mit den in unserer Studie für die Fragestellung eruierten Parameter erfolgte nicht. Dies ist als Schwachpunkt zu werten. Andererseits muss allerdings auch klar auf die eingeschränkte Wertigkeit solcher Parameter verwiesen werden, da z.B. offene Frakturen nach Gustilo-Anderson 3b mit Abstand am häufigsten waren und somit keine vergleichbaren Ergebnisse z.B. mit der weitaus selteneren 3c Gruppe möglich wären. Für weitere Studien wird es schwierig eine Normalverteilung zwischen den einzelnen Gruppen zu finden, da gerade offene Frakturen der Gustilo-Anderson Klasse 3c selten sind.

5.3 Operationsparameter

Sowohl Hämoglobinwert, Zeitpunkt der definitiven Osteosynthese nach dem Unfall, Zeitpunkt der Lappenplastik nach dem Unfall als auch Typ der Lappenplastik zeigen in vorliegender Studie keine signifikanten Gruppenunterschiede auf.

Näher betrachtet haben jedoch Patienten mit Pseudarthrose ausschließlich lokale fasziokutane (57,1 %, n=8) oder freie Lappen (42,9 %, n=6) erhalten. Patienten ohne Pseudarthrose haben diesbezüglich häufiger auch gestielte Muskellappen bekommen (34,6 %, n=9), die wiederum bei den Patienten mit Pseudarthrose gar nicht verwendet wurden. Hier waren zudem alle Typen der Lappenplastiken etwa gleich stark vertreten. Zwar liegen hier keine statistisch signifikanten Effekte vor, jedoch kann zumindest eine Tendenz zum statistisch signifikanten Ergebnis beobachtet werden, wonach sich die Patienten mit und ohne Pseudarthrose bezüglich des verwendeten Typs der Lappenplastik voneinander unterscheiden. Dieser sollte daher in einer gesonderten Studie näher betrachtet werden.

Bezüglich des Zeitpunkts der definitiven Osteosynthese nach dem Unfall gibt es keine signifikanten Gruppenunterschiede. Interessant ist aber, dass die

Versorgung, sowohl insgesamt bei allen Patienten der Stichprobe, als auch bei den Patienten mit und ohne Pseudarthrose zu jeweils knapp 65 % der Fälle mehr als 10 Tage nach dem Unfall stattgefunden hat.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis dieser Studie betrifft den Zeitpunkt der Durchführung der Lappenplastik nach definitiver osteosynthetischer Frakturversorgung. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Durchführung der Lappenplastik nach definitiver Osteosynthese bei Patienten ohne Pseudarthrose mit einer Tendenz zum statistisch signifikanten Ergebnis später erfolgte als bei Patienten mit Pseudarthrose. Dieses Ergebnis sollten in einer weiteren Studie näher untersucht werden, da aufgrund des multifaktoriellen Charakters dieser Verletzungen keine abschließende Aussage auf Basis unserer Daten möglich ist. Dieses Ergebnis entspricht nicht der allgemeinen Auffassung, dass ein Knochenimplantat möglichst schnell, im idealen Fall simultan, mit einer definitiven Weichteilrekonstruktion gedeckt werden sollte, um eine Kontamination zu vermeiden, was mit der Ausbildung einer tiefen Knocheninfektion und auch septischer Pseudarthrose einhergeht.

5.4 Komplikationen

Die Testergebnisse zeigen, dass Patienten mit Pseudarthrose signifikant häufiger eine Spongiosaplastik benötigen.

Abschließend lässt sich schlussfolgern, dass nicht der Zeitpunkt der Osteosynthese nach dem Unfall, nicht der Zeitpunkt der Lappenplastik nach dem Unfall, sondern der Zeitpunkt der Lappenplastik nach der definitiven Osteosynthese sowie der Typ der Lappenplastik eine Tendenz zum statistisch signifikanten Ergebnis oder zumindest einen Trend auf den Heilungsverlauf offener Unterschenkelfrakturen mit lappenpflichtigen Weichteildefekten haben.

6. Literaturverzeichnis

- [1] Adams CI, Keating JF & Court-Brown CM (2001). „Cigarette smoking and open tibial fractures.“ In: Injury, 32(1), 61-65.
- [2] Assadian O (2006). „Wundatlas: Kompendium der komplexen Wundbehandlung“. Georg Thieme Verlag, 169.
- [3] AUC – Akademie der Unfallchirurgie GmbH (o. J.). Advanced Trauma Life Support, <http://www.atls.de> [08.03.2016].
- [4] Beausang ES, Ang EE, Lipa JE, Irish JC, Brown DH, Gullane PJ. & Neligan PC (2003). „Microvascular free tissue transfer in elderly patients: the Toronto experience.“ In: Head & neck, 25(7), 549-553.
- [5] Beil FT, Barvencik F, Gebauer M, Seitz S, Rueger JM, Ignatius A, Pogoda P, Schinke T & Amling M (2010). „Effects of estrogen on fracture healing in mice.“ In: Journal of Trauma and Acute Care Surgery, 69(5), 1259-1265.
- [6] Bekara F, Herlin C, Mojallal A, Sinna R, Ayestaray B, Letois F, Chavoïn JP, Garrido I, Grolleau JL & Chaput B (2016). „A Systematic Review and Meta-Analysis of Perforator-Pedicled Propeller Flaps in Lower Extremity Defects: Identification of Risk Factors for Complications.“ In: Plastic and reconstructive surgery, 137(1), 314-331.
- [7] Biemer E (2001). „Plastische Chirurgie.“ In: Siewert JR (Hrsg.): Chirurgie. Berlin & Heidelberg: Springer, 935-946.
- [8] Blick SS, Brumback RJ, Poka A, Burgess AR, Ebraheim NA (1986). „Compartment syndrome in open tibial fractures.“ In: J Bone Joint Surg Am 68, 1348-1353.

- [9] Bonawitz SC, Schnarrs RH, Rosenthal, AI, Rogers, GK & Newton ED (1991). „Free-tissue transfer in elderly patients.“ In: Plastic and reconstructive surgery, 87(6), 1074-1079.
- [10] Brown CV, Neville AL, Rhee P, Salim A, Velmahos GC & Demetriades D (2005). „The impact of obesity on the outcomes of 1,153 critically injured blunt trauma patients.“ In: Journal of Trauma and Acute Care Surgery, 59(5), 1048-1051.
- [11] Brown, RF (1965). „The management of traumatic tissue loss in the lower limb, especially when complicated by skeletal injury.“ In: British journal of plastic surgery 18 (1965), 26-50.
- [12] Bumann M, Henke T, Gerngross H, Claes L & Augat P (2003). „Influence of haemorrhagic shock on fracture healing.“ In: Langenbeck's Archives of Surgery, 388(5), 331-338.
- [13] Bundesärztekammer (Hrsg.) (2014). „Querschnitts-Leitlinie (BÄK) zur Therapie mit Blutkomponenten und Plasmaderivaten.“ 4. Auflage. Berlin: Bundesärztekammer; 2014, 13.
- [14] Bydon M, Macki M, De la Garza-Ramos R, Sciubba DM, Wolinsky JP, Gokaslan ZL & Bydon A (2015). „Smoking as an independent predictor of reoperation after lumbar laminectomy: a study of 500 cases.“ In: Journal of Neurosurgery: Spine, 22(3), 288-293.
- [15] Byrd H, Steve GC & Tebbetts JB (1981). „The management of open tibial fractures with associated soft-tissue loss: external pin fixation with early flap coverage.“ In: Plastic and reconstructive surgery 68.1 (1981), 73-79.
- [16] Cakir O, Subasi M, Erdem K. & Eren N (2005). „Treatment of vascular injuries associated with limb fractures.“ In: Annals of the Royal College of Surgeons of England, 87(5), 348.

- [17] Chick LR, Walton RL, Reus W, Colen L & Sasmor M. (1992). „Free flaps in the elderly.“ In: Plastic and reconstructive surgery, 90(1), 87-94.
- [18] Court-Brown CM, Rimmer S, Prakash U, McQueen MM (1998). „The epidemiology of open long bone fractures.“ In: Injury. 29 (1998), 529-534.
- [19] Court-Brown CM, Bugler KE, Clement ND, Duckworth AD, McQueen MM (2012). „The epidemiology of open fractures in adults. A 15-year review.“ In: Injury 43.6 (2012), 891-897.
- [20] Desyatnikova S, Winslow C, Cohen JI & Wax MK (2001). „Effect of anemia on the fasciocutaneous flap survival in a rat model.“ In: The Laryngoscope, 111(4), 572-575.
- [21] Eggli S, Schöll E & Hertel R (1998). „Treatment of III B open tibial fractures with early osteosynthesis and local muscle flaps.“ In: Der Unfallchirurg, 101(9), 674-683.
- [22] Fong K, Truong V, Foote CJ, Petrisor B, Williams D, Ristevski B, Sprague S & Bhandari M (2013). „Predictors of nonunion and reoperation in patients with fractures of the tibia: an observational study.“ In: BMC musculoskeletal disorders, 14(1), 1.
- [23] Gäbel G, Pyrc J, Hinterseher I, Zwipp H, Saeger HD & Bergert H (2009). „Arterielle Gefäßverletzungen im Rahmen offener Frakturen–Management und Versorgung.“ In: Zentralblatt für Chirurgie, 134(04), 292-297.
- [24] Gaston MS & Simpson AHRW (2007). „Inhibition of fracture healing.“ In: Journal of Bone & Joint Surgery, British Volume, 89(12), 1553-1560.
- [25] Gerlach, U. J., Grimme, C., & Schoop, R. (2009). „Akute posttraumatische Osteitis.“ In: Trauma und Berufskrankheit, 11, 203-206.

- [26] Godina M (1986). „Early microsurgical reconstruction of complex trauma of the extremities.“ In: Plastic and Reconstructive Surgery 78.3 (1986), 285-292.
- [27] Gosselin RA, Roberts I, William JG (2004). „Antibiotics for preventing infection in open limb fractures.“ In: Cochrane Database Syst Rev. 2004;(1):CD003764.
- [28] Grechenig S, Pfeifer C, Krutsch W, Hilber F, Nerlich M & Berner PDA. (2015). „Komplikationsmanagement bei fehlender Knochenbruchheilung: Pseudarthrosen.“ In: Der Chirurg, 86(10), 919-924.
- [29] Grote S, Polzer H, Prall WC, Gill S, Shafizadeh S, Banerjee M, Bouillon B, Balthis H (2012). „Prävention von Infektionen bei offenen Frakturen heute: Ein evidenzbasierter systematischer Review.“ In: Orthopäde 41: 32-42.
- [30] Gumbel D, Napp M, Seifert J & Ekkernkamp A. (2016). „Grundlagen der Versorgung offener Frakturen.“ In: Trauma und Berufskrankheit, 1-5.
- [31] Gustilo RB, Anderson JT (1976). „Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: retrospective and prospective analysis.“ In: J. Bone Joint Surg (AM) 58, 453-458.
- [32] Gustilo RB, Mendoza RM, Williams DN (1984). „Problems in the management of type III (severe) open fractures: A new classification of type III open fractures.“ In: J. Trauma 24, 742-746.
- [33] Harley BJ, Beaupre LA, Jones CA, Dulai SK & Weber DW (2002). „The effect of time to definitive treatment on the rate of nonunion and infection in open fractures.“ In: Journal of orthopaedic trauma, 16(7), 484-490.

- [34] Heppert V, Holz F, Malze K. & Wentzensen A. (1999). „Unterschenkelfrakturen mit Weichteilschaden.“ In: Trauma und Berufskrankheit, 1(3), 247-257.
- [35] Heppert V, Wagner C, Scherf K. & Wentzensen, A. (2005). „Infekt-/Defektpseudarthrose.“ In: Trauma und Berufskrankheit, 7(1), 110-119.
- [36] Hoff WS, Bonadies JA, Cachecho R, Dorlac WC (2011). „East Practice Management Guidelines Work Group: update to practice management guidelines for prophylactic antibiotic use in open fractures.“ In: J Trauma 70, 751-754.
- [37] Hwang KT, Kim SW, Sung IH, Ki JT & Kim, YH (2015). „Is delayed reconstruction using the latissimus dorsi free flap a worthy option in the management of open IIIB tibial fractures?“ In: Microsurgery, S. 453-459.
- [38] Jakob F, Genest F, Baron G, Stumpf U, Rudert M & Seefried L (2015). „Regulation des Knochenstoffwechsels bei Osteoporose.“ In: Der Unfallchirurg, 118(11), 925-932.
- [39] Kang MJ, Chung CH, Chang YJ & Kim KH (2013). „Reconstruction of the lower extremity using free flaps.“ In: Archives of plastic surgery, 40(5), 575-583.
- [40] Karladani AH, Granhed H, Kärrholm J & Styf J. (2001). „The influence of fracture etiology and type on fracture healing: a review of 104 consecutive tibial shaft fractures.“ In: Archives of orthopaedic and trauma surgery, 121(6), 325-328.
- [41] Kelley BP, Valero V, Yi M & Kronowitz SJ (2012). „Tamoxifen increases the risk of microvascular flap complications in patients undergoing microvascular breast reconstruction.“ In: Plastic and reconstructive surgery, 129(2), 305.

- [42] Krettek C (1998). „Fraktur und Weichteilschaden.“ In: Der Chirurg 69 (1998), 684-700.
- [43] Kwong FN & Harris MB (2008). „Recent developments in the biology of fracture repair.“ In: Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, 16(11), 619-625.
- [44] Levin LS (1995). Debridement. Techniques in orthopaedics. Philadelphia: Lippincott-Raven, 88-93.
- [45] Liang CT, Barnes J, Seedor JG, Quartuccio HA, Bolander M, Jeffrey JJ & Rodan GA (1992). „Impaired bone activity in aged rats: alterations at the cellular and molecular levels.“ In: Bone, 13(6), 435-441.
- [46] Lister G, Scheker L (1988). „Emergency free flaps to the upper extremity.“ In: The Journal of hand surgery 13.1 (1988), 22-28.
- [47] Liu DSH, Sofiadellis F, Ashton M, MacGill, K & Webb A (2012). „Early soft tissue coverage and negative pressure wound therapy optimises patient outcomes in lower limb trauma.“ In: Injury, 43(6), 772-778.
- [48] Lu C, Miclau T, Hu D, Hansen E, Tsui K, Puttlitz C Marcucio RS (2005). „Cellular basis for age-related changes in fracture repair.“ In: Journal of Orthopaedic Research, 23(6), 1300-1307.
- [49] Malata CM, Cooter RD, Batchelor AG, Simpson KH, Browning FS & Kay SP (1996). „Microvascular free-tissue transfers in elderly patients: the Leeds experience.“ In: Plastic and reconstructive surgery, 98(7), 1234-1241.
- [50] Massenburg BB, Sanati-Mehrizy P, Ingargiola MJ, Rosa JH & Taub PJ (2015). Flap failure and wound complications in autologous breast reconstruction: A national perspective. Aesthetic plastic surgery, 39(6), 902-909.

- [51] Mastroianni M, Leto Barone AA, Shanmugarajah K, Leonard DA, Rosa L, Feingold RS, Israeli R & Cetrulo CL (2014). „Lower extremity soft tissue defect reconstruction with the serratus anterior flap.“ In: *Microsurgery*, 34(3), 183-187.
- [52] Matti MH (1918). „Behandlung der komplizierten Knochenbrüche (der primären und sekundären Komplikationen).“ In: *Die Knochenbrüche und ihre Behandlung*, 343-363.
- [53] Maus U, Andereya S, Schmidt H, Zombory G, Gravius S, Ohnsorge JA & Niedhart C. (2007). „Therapy effects of testosterone on the recovery of bone defects.“ In: *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*, 146(1), 59-63.
- [54] Mehrara BJ, Santoro TD, Arcilla E, Watson JP, Shaw WW & Da Lio AL (2006). „Complications after microvascular breast reconstruction: Experience with 1195 flaps.“ In: *Plastic and reconstructive surgery*, 118(5), 1100-1109.
- [55] Meling T, Harboe K & Søreide K (2009). „Incidence of traumatic long-bone fractures requiring in-hospital management: a prospective age-and gender-specific analysis of 4890 fractures.“ In: *Injury*, 40(11), 1212-1219.
- [56] Mensink GB, Schienkiewitz A, Haftenberger M, Lampert T, Ziese T & Scheidt-Nave C (2013). „Übergewicht und Adipositas in Deutschland.“ In: *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz*, 56(5-6), 786-794.
- [57] Meyer C, Hartmann B, Kilian O, Alt V, Kraus R & Schnettler R (2005). „Neurovaskuläre Lappenplastiken zum Verschluss problematischer Weichteildefekte am Unterschenkel.“ In: *Zentralblatt für Chirurgie*, 130(01), 26-30.

- [58] Militz M, Hackl S, Hungerer S, Öhlbauer M & Bühren V (2014). „Infektpseudarthrosen.“ In: Trauma und Berufskrankheit, 16(4), 444-451.
- [59] Mlodinow AS., Ver Halen JP, Rambachan A, Gaido J & Kim J (2013). „Anemia is not a predictor of free flap failure: A review of NSQIP data.“ In: Microsurgery, 33(6), 432-438.
- [60] Moghaddam A, Ermisch C & Schmidmaier G (2016). „Non-Union Current Treatment Concept.“ In: International Journal of Medical Education, 3(1).
- [61] Müller-Mai CM, Ekkernkamp A (2010). „Klassifikationen in der Unfallchirurgie.“ In: Springer Medizin (Hrsg.): Frakturen: Klassifikation und Behandlungsoption. Berlin: Springer, 1-11.
- [62] Namdari S, Baldwin KD, Matuszewski P, Esterhai JL & Mehta S (2011). „Delay in surgical debridement of open tibia fractures: an analysis of national practice trends.“ In: J Orthop Trauma. 25(3), 140-4.
- [63] Nanchahal J, Nayagam S, Khan U, Moran C, Barrett S, Sanderson F & Pallister I (2009). „Open Fractures of the lower limb.“ In: British Association of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgeons, 1-3.
- [64] Nanchahal J, Nayagam S, Khan U, Moran C, Barrett S, Sanderson F & Pallister I (2009). „Open Fractures of the lower limb.“ In: British Association of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgeons, 5-7.
- [65] Nanchahal J, Nayagam S, Khan U, Moran C, Barrett S, Sanderson F & Pallister I (2009). „Open Fractures of the lower limb.“ In: British Association of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgeons, 8-10.
- [66] Nanchahal J, Nayagam S, Khan U, Moran C, Barrett S, Sanderson F & Pallister I (2009). „Open Fractures of the lower limb.“ In: British Association of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgeons, 11-12.

- [67] Nanchahal J, Nayagam S, Khan U, Moran C, Barrett S, Sanderson F & Pallister I (2009). „Open Fractures of the lower limb.“ In: British Association of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgeons, 23-24.
- [68] Nanchahal J, Nayagam S, Khan U, Moran C, Barrett S, Sanderson F & Pallister I (2009). „Open Fractures of the lower limb.“ In: British Association of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgeons, 39-47.
- [69] Neugebauer R, Burri C & Ulrich C (1986). „Simultane autologe Spongiosaplastik und Muskellappentransposition zur Kontinuitätswiederherstellung an der unteren Extremität bei osteitischem Defekt.“ In: Langenbecks Archiv für Chirurgie, 367(2), 99-105.
- [70] Nielsen RW & Parkin JL (1976). „Skin flap survival: influence of infection, anemia, and tubing.“ In: Archives of Otolaryngology-Head & Neck Surgery, 102(12), 727.
- [71] Nikose SS, Gudhe M & Singh PK (2015). „Outcome Analysis of Obesity in Trauma Surgery Related to Closed Injuries of Lower Limb in Orthopedic Surgery.“ In: J Obes Weight Loss Ther, 5(287), 2.
- [72] Nyssen-Behets C, Duchesne PY & Dhem A (1997). „Structural changes with aging in cortical bone of the human tibia.“ In: Gerontology, 43(6), 316-325.
- [73] Olesen UK, Juul R, Bonde CT, Moser C, McNally M, Jensen LT, Elberg JJ & Eckardt H (2015). „A review of forty five open tibial fractures covered with free flaps. Analysis of complications, microbiology and prognostic factors.“ In: International orthopaedics, 39(6), 1159-1166.
- [74] Pallister I & Empson K (2005). „The effects of surgical fracture fixation on the systemic inflammatory response to major trauma.“ In: Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, 13(2), 93-100.

- [75] Parker MJ, Raghavan R & Gurusamy K (2007). „Incidence of fracture-healing complications after femoral neck fractures.“ In: *Clinical orthopaedics and related research*, 458, 175-179.
- [76] Patzakis MJ, Wilkins J & Moore TM (1983). „Use of antibiotics in open tibial fractures.“ In: *Clinical orthopaedics and related research*, 178, 31-35.
- [77] Patzakis MJ & Wilkins J (1989). „Factors influencing infection rate in open fracture wounds.“ In: *Clinical orthopaedics and related research*, 243, 36-40.
- [78] Perkins ZB, Yet B, Glasgow S, Marsh W, Brohi K, Rasmussen TE & Tai NR (2014). PS170. „Prognostic Factors for Amputation Following Surgical Repair of Lower Extremity Vascular Trauma: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies.“ In: *Journal of Vascular Surgery*, 59(6), 75.
- [79] Raikin SM, Landsman JC, Alexander VA, Froimson MI & Plaxton NA (1998). „Effect of nicotine on the rate and strength of long bone fracture healing.“ In: *Clinical orthopaedics and related research*, 353, 231-237.
- [80] Recknagel S, Bindl R, Kurz J, Wehner T, Schoengraf P, Ehrnthaller C, Qu H, Gebhard F, Huber-Lang M, Lambriss JD, Claes L & Ignatius A (2013). „C5aR-antagonist significantly reduces the deleterious effect of a blunt chest trauma on fracture healing.“ In: *Orthop Res.* 2012 April, 30(4): 581–586.
- [81] Rothman RH, Klemek JS & Toton JJ (1971). „The effect of iron deficiency anemia on fracture healing.“ In: *Clinical orthopaedics and related research*, 77, 276-283; Siewert JR & Biemer E (2006). *Geschichte. Chirurgie: mit integriertem Fallquiz-40 Fälle nach neuer AO*, 894-895.

- [82] Runkel M, Wenda K, Degreif J & Blum J (1996). „Ergebnisse nach primärer ungebohrter Tibianagelung von Unterschenkelfrakturen mit schwerem offenem oder geschlossenem Weichteilschaden.“ In: Der Unfallchirurg, 99(10), 771-777.
- [83] Runkel M & Rommens PM (2000). „Pseudarthrosen.“ In: Der Unfallchirurg, 103(1), 51-63.
- [84] Ryan SP & Pugliano V (2013a). „Controversies in initial management of open fractures.“ In: Scandinavian Journal of Surgery, 1457496913519773.
- [85] Ryan SP, Boulton CL & O'Toole RV (2013b). „Open Diaphyseal Tibia Fractures.“ In: Orthopedic Traumatology, Springer New York., 303-319.
- [86] Schandelmaier P, Krettek C, Rudolf J, Kohl A. & Tscherne H. (1997). „Vorteile des unaufgebohrten Tibianagels im Vergleich mit Fixateur externe bei der Behandlung von Grad 3 B offenen Tibiaschaftfrakturen.“ In: Der Unfallchirurg, 100(4), 286-293.
- [87] Schenker ML, Yannascoli S, Baldwin KD, Ahn J & Mehta S (2012). „Does timing to operative debridement affect infectious complications in open long-bone fractures?“ In: J Bone Joint Surg Am, 94(12), 1057-1064.
- [88] Schmidmaier G & Moghaddam A (2015). „Pseudarthrosen langer Röhrenknochen.“ In: Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie, 153(06), 659-676.
- [89] Schmidt HGK, Hadler D, Wurm M & Jürgens, C. (2003). „Therapie der Infekt-/Defekt-Pseudarthrosen der unteren Extremitäten.“ In: Trauma und Berufskrankheit, 5(2), 318-327.

- [90] Schwabe P, Haas NP, Schaser KD (2010). „Extremitätenfrakturen mit schwerem offenem Weichteilschaden.“ In: Unfallchirurg 113 (2010), 647-672.
- [91] Selber JC, Kurichi JE, Vega SJ, Sonnad SS & Serletti JM (2006). „Risk factors and complications in free TRAM flap breast reconstruction.“ In: Annals of plastic surgery, 56(5), 492-497.
- [92] Siewert JR & Biemer E. (2006). „Geschichte. Chirurgie: mit integriertem Fallquiz-40 Fälle nach neuer AO“, 894-895.
- [93] Silcox III DH, Daftari T, Boden SD, Schimandle, JH, Hutton WC & Whitesides Jr, TE (1995). „The effect of nicotine on spinal fusion.“ In: Spine, 20(14), 1549-1553.
- [94] Spear SL, Ducic I, Cuoco F & Hannan C (2005). „The effect of smoking on flap and donor-site complications in pedicled TRAM breast reconstruction.“ In: Plastic and reconstructive surgery, 116(7), 1873-1880.
- [95] Spear SL, Ducic I, Cuoco F & Taylor N. (2007). „Effect of obesity on flap and donor-site complications in pedicled TRAM flap breast reconstruction.“ In: Plastic and reconstructive surgery, 119(3), 788-795.
- [96] Statistisches Bundesamt (2014) „Mikrozensus-Fragen zur Gesundheit – Rauchgewohnheiten der Bevölkerung 2013.“ Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
- [97] Steinhausen E, Glombitza M, Böhm HJ, Hax PM & Rixen D (2013). „Pseudarthrosen“. In: Der Unfallchirurg, 116(7), 633-649.
- [98] Stöhr A, Zellner J, Angele P & Mayr HO (2013). „Intraoperative biologische Augmentation am Knochen und der subchondralen Zone.“ In: Arthroskopie, 26(2), 123-132.

- [99] Strauss EJ, Frank JB, Walsh M, Koval KJ & Egol KA (2007). „Does obesity influence the outcome after the operative treatment of ankle fractures?“ In: Journal of Bone & Joint Surgery, British Volume, 89(6), 794-798.
- [100] Strohm PC, Bannasch H, Helwig P, Momeni A, Stark GB & Südkamp NP (2010). „Offene Fraktur und Weichteilschaden.“ In: Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie 148.01 (2010), 95-112.
- [101] Taheri AS, David S, Dudda, M & Özokyay L (2015). „Unterschenkelschaft“. In: Müller-Mai C, Ekkernkamp A (Hrsg.): Frakturen auf einen Blick: Klassifikation und Behandlungsoptionen. Berlin Heidelberg: Springer 199-222.
- [102] Tjardes T, Otchwemah R, Hausmann D, Shafizadeh S, Banerjee M, Probst C & Bouillon B. (2012). „Rekonstruktion segmentaler Knochendefekte.“ In: Trauma und Berufskrankheit, 14(2), 77-82.
- [103] Tsitsilonis, S., Seemann, R., Misch, M., Wichlas, F., Haas, N. P., Schmidt-Bleek, K., ... & Schaser, K. D. (2015). „The effect of traumatic brain injury on bone healing: an experimental study in a novel in vivo animal model.“ In: Injury, 46(4), 661-665.
- [104] Weiss RJ, Montgomery SM, Ehlin A, Al Dabbagh Z, Stark A & Jansson KA. (2008). „Decreasing incidence of tibial shaft fractures between 1998 and 2004: information based on 10,627 Swedish inpatients.“ In: Acta orthopaedica 79.4 (2008), 526-533.
- [105] Wichmann MW, Arnoczky SP, DeMaso CM, Ayala A & Chaudry IH (1996). „Depressed osteoblast activity and increased osteocyte necrosis after closed bone fracture and hemorrhagic shock.“ In: Journal of Trauma and Acute Care Surgery, 41(4), 628-633.

- [106] Wikipedia.org (03/2015). AO-Klassifikation, <http://de.wikipedia.org/wiki/AO-Klassifikation> [08.03.2016].
- [107] Worlock P, Slack R, Harvey L & Mawhinney R (1994). „The prevention of infection in open fractures: an experimental study of the effect of fracture stability.“ In: Injury, 25(1), 31-38.
- [108] Xiong L, Gazyakan E, Kremer T, Hernekamp FJ, Harhaus L, Saint-Cyr M, Kneser U & Hirche C (2016). „Free flaps for reconstruction of soft tissue defects in lower extremity: A meta-analysis on microsurgical outcome and safety.“ In: Microsurgery. 2016 Jan 5.
- [109] Yaremchuk MJ, Brumback MD, Robert JMD, Manson PN, Burgess MD, Andrew RMD, Poka AMD & Weiland AJMD (1987). „Acute and definitive management of traumatic osteocutaneous defects of the lower extremity.“ In: Plastic and reconstructive surgery 80.1 (1987), 1-12.
- [110] Zöch G, Walzer RL, Meissl G, Rath T & Piza-Katzer H (1994). „Versorgung von Weichteildefekten am Unterschenkel mit Lappenplastiken.“ In: Acta Chirurgica Austriaca, 26(4), 232-235.

Danksagung

Herrn Professor Dr. med. R. Jakubietz danke ich sehr herzlich für die Überlassung des Themas meiner Arbeit, für seine Unterstützung sowie für die Durchsicht und Korrektur dieser Arbeit.

Meiner Schwester Martina Biehl, sowie Robin Brenner, Marian Brenner und Cosima Brenner danke ich für ihre Unterstützung, den motivierenden Worten, sowie für alles was sie mir in meinem Leben ermöglicht haben.