Aus der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie

Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. med. Steffen Ruchholtz

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

Penetrierende arterielle Gefäßverletzungen der Extremitäten im Hinblick auf Diagnostik, Therapie und Amputationsrate

Inaugural- Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Humanmedizin

dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Carla Florido

aus Köln

Marburg, 2016

Angenommen vom Fachbereich Medizin

der Philipps-Universität Marburg

am: 21.01.2016

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Herr Prof. Dr. Helmut Schäfer

Referent: Herr PD Dr. Antonio Krüger

1. Korreferent: Herr PD Dr. Kill

2. Korreferent: Herr PD Dr. Kirschbaum

Meiner Familie

in Liebe und Dankbarkeit

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 3

1.1 Vorbemerkung ... 3

1.2 Epidemiologie ... 3

1.3 Südafrika ... 5

1.3.1 Gesundheitssystem ... 5

1.3.2 Chris Hani Baragwanath Academic Hospital ... 6

1.4 Morphologie von Stich- und Schussverletzungen ... 7

1.4.1 Stichverletzungen ... 7

1.4.2 Schussverletzungen ... 7

1.5 Klassifikation der Gefäßverletzungen ... 8

1.6 Klinische Zeichen einer Gefäßverletzung ... 10

1.6.1 Das Kompartmentsyndrom ... 11

1.7 Diagnostik ... 12

1.7.1 Doppler- und Duplexsonographie ... 12

1.7.2 CT/ CT- Angiographie ... 12

1.7.3 Konventionelle Angiographie ... 13

1.7.4 Digitale Subtraktionsangiographie ... 13

1.7.5 Lodox- Low Dosage X-ray ... 14

1.7.6 Scoresysteme ... 14

1.7.6.1 GCS ... 15

1.7.6.2 ISS ... 16

1.7.6.3 MESS ... 16

1.7.6.4 NISSA ... 16

1.7.6.5 HFS-98 ... 17

1.8 Therapieprinzipien ... 17

1.8.1 Erstversorgung ... 17

1.8.2 Behandlungsalgorithmus ... 18

1.8.3 Operative Therapie ... 19

1.8.4 Endovaskuläre Therapie ... 20

2 Ziel der Arbeit ... 21

3 Material und Methoden ... 22

3.1 Studiendesign 22
3.2 Behandlungsalgorithmus am CHBAH 22
3.3 Patientenkollektiv 25
3.4 Datenerhebung 26
3.5 Auswertung 28
3.5.1 Scoresysteme 30
3.6 Statistische Methoden 30
4 Ergebnisse 31
4.1 Demographische Daten 31
4.1.1 Patientenkollektiv 31
4.1.2 Geschlechterverteilung 31
4.1.3 Altersstrukturen 32
4.2 Verletzungslokalisation und deren Motive 32
4.2.1 Lokalisation der Gefäßverletzungen 32
4.2.2 Verletzungsmotive 33
4.2.3 Gefäßverletzung im Zusammenhang zum Verletzungsmechanismus (Abb. 7) 34
4.3 Begleitverletzungen (Tabelle 2) 35
4.4 Diagnostik 37
4.4.1 Klinische Untersuchung 37
4.4.1.1 „Hard signs“ 37
4.4.1.2 „Soft signs“ 39
4.4.2 GCS und Blutdruck 41
4.4.2.1 GCS 41
4.4.2.2 Blutdruck 41
4.4.3 Apparative Diagnostik 44
4.5 Therapie 46
4.5.1 Faszienspaltung 46
4.5.2 Frühe Amputation 47
4.5.3 Operativer Gefäßbefund 48
4.5.4 Operative Gefäßversorgung und deren Ergebnisse 49
4.5.4.1 Primäre Gefäßversorgung 50
4.5.4.2 Ergebnisse der primären Gefäßversorgung 52
4.5.4.3 Sekundäre Gefäßversorgung 54
4.5.4.4 Ergebnisse der sekundären Gefäßversorgung 55
4.5.4.5 Späte Amputationen 56
4.6 Gefäßversorgung mittels autologer und heterologer Gefäßprothesen 58

4.6.1 Komplikationen und Zweiteingriffe nach Gefäßersatz ... 58
4.6.2 Amputationen nach Gefäßersatz ... 59
4.7 Gefäßversorgung mittels chirurgischer Gefäßnaht ... 59
4.7.1 Komplikationen und Zweiteingriffe nach Gefäßnaht ... 60
4.7.2 Amputationen nach Gefäßnaht ... 60
4.8 Short- term follow- up ... 60
4.8.1 Perioperative Komplikationen ... 60
4.8.2 Letalität ... 63
5 Diskussion ... 64
5.1 Methodenkritik ... 64
5.2 Diskussion der Ergebnisse ... 65
5.2.1 Patientenkollektiv ... 66
5.2.2 Begleitverletzungen ... 67
5.2.3 Klinische Untersuchung ... 68
5.2.4 Apparative Diagnostik ... 69
5.2.5 Therapie ... 72
5.2.5.1 Faszienspaltung ... 72
5.2.5.2 Operative Gefäßversorgung ... 73
5.2.5.3 Outcome und Amputationen ... 74
6 Zusammenfassung ... 77
7 Englische Zusammenfassung ... 79
8 Literaturliste ... 80
9 Anhang ... 88
9.1 Abkürzungsverzeichnis ... 88
9.2 Verzeichnis der akademischen Lehrer ... 89
9.3 Danksagung ... 90

1 Einleitung

1.1 Vorbemerkung

Die Verletzung eines Gefäßes ist in Relation zur Gesamtzahl aller Unfälle ein seltenes Ereignis und betrifft zu ca. 70-90% periphere Gefäße der Extremitäten (9;54;94;97). Als Ursache penetrierender Gefäßverletzungen treten Schuss-, Stich- und Schnittwunden auf, überwiegend mit kriminellem Hintergrund oder durch private oder berufliche Unfälle bedingt. Ein hoher Anteil entfällt zudem auf Verkehrsunfälle und mit steigender Inzidenz auf iatrogene Verletzungen (42;73;96).

Das Leitsymptom der arteriellen Gefäßverletzung stellt die Blutung dar, welche sich überwiegend als äußere Blutung manifestiert oder sich als innere Blutung innerhalb des Gewebes ausbreitet (51). Vielfach handelt es sich um eine Kombinationsverletzung mit Schädigung von Venen, Nerven, Weichteil oder Knochen.

Eine Schwierigkeit stellen Gefäßverletzungen im Bereich des Ellenbogen- oder Kniegelenkes dar, da diese häufig und vermehrt bei polytraumatisierten Patienten verzögert erkannt werden. Folglich kann insbesondere an der unteren Extremität ein Ischämie-Reperfusionssyndrom entstehen mit der schwerwiegenden Folge eines Kompartmentsyndroms und einer Amputation. Durch eine arterielle Blutung oder eine Ischämie gilt die Gefäßverletzung stets als eine akute Lebens- oder Extremitätengefahr und stellt extreme Herausforderungen hinsichtlich Diagnose und Therapie (94).

1.2 Epidemiologie

Die epidemiologischen Daten zu penetrierenden Gefäßverletzungen variieren weltweit und sind abhängig von der Geographie des Landes, des sozioökonomischen Status und der Verletzungsart (militär versus zivil). Penetrierende Gefäßtraumata betreffen zu 80-90% arterielle Gefäße und treten in allererster Linie mit Begleitverletzungen der Venen auf. Die Inzidenz liegt zwischen 3% und 10% beim Vorliegen eines Polytraumas und steigt um 6,5% im Falle einer Fraktur (54).

Die häufigsten Gefäßverletzungen treten an den Extremitäten auf, wobei die untere Extremität zur Hälfte und die obere Extremität zu einem Drittel betroffen ist (61). Die A. femoralis stellt hierbei das am häufigsten verletzte Gefäß dar (4). Im aktuellen Zusammenhang kann der höhere Anteil an Gefäßverletzungen der unteren Extremität mir der Modifizierung der Schutzausrüstung von Soldaten begründet werden, welche eine Verbesserung des Rumpfschutzes bewirkt hat, infolgedessen jedoch die Anzahl an peripheren Gefäßverletzungen angestiegen ist (4).

In Europa sind mehr als 70% der Gefäßverletzungen sowie laut Traumregister der DGU in den Jahren 2004-2013 55% allgemeiner Verletzungen auf Verkehrsunfälle zurückzuführen. Zudem deklarierte das National Center for Health Statistics in den Jahren 2009/2010 Unfallereignisse als fünfthäufigste Todesursache (9;101;105). Penetrierende Verletzungen wurden zwischen 2004-2013 zu 4,8% verzeichnet (105).

Gefäßtraumata haben in Mitteleuropa einen etwa gleichen Anteil von scharfen und stumpfen Gefäßverletzungen und sind insgesamt zu 60% traumatischer Genese (80). Im Gegensatz hierzu zeigen die USA, Südafrika oder bereits Südeuropa einen höheren Anteil an scharfen Verletzungen, welche durch Stich- oder Schusswaffen verursacht werden. In den USA überwiegen insbesondere Gefäßverletzungen durch Schusswaffen, vermutlich bedingt durch den verfassungsrechtlich geschützten Waffenbesitz und soziokulturelle Unterschiede (68). Dementsprechend lag die Rate an schussbedingten Gefäßverletzungen in einer Studie aus Houston Texas bei 50% (75), penetrierende Verletzungen im Rahmen von Körperverletzungen kamen zu 70-90% in den USA vor . Im Vergleich wurden in Südafrika Johannesburg im Jahr 2008 47% penetrierende Gefäßverletzungen verzeichnet (64), in Durban lag der Anteil von Stich- und Schussverletzungen im Jahr 2002 sogar bei 84% (94).

In Deutschland ist der Gebrauch von Schusswaffen insgesamt geringer und seit 2003 rückläufig. Die Kriminalstatistik der Polizei für das Jahr 2012 bestätigte dies mit einem Rückgang in der Verwendung von Schusswaffen von -6,8% und mit einer geringfügig veränderten Anzahl an polizeilich registrierten Straftaten von +0,1% zum Vorjahr. Die Rate an vorsätzlichen Tötungsdelikten zeigt im Verlauf von den Jahren 2000-2011 eine fallende Tendenz, von 1,2/100.000 Einwohner im Jahr 2000 zu 0,8/100.000 Einwohner im Jahr 2012 (12).

In Südafrika ist seit 1994 und der Etablierung einer Demokratie eine rückläufige Tendenz der Kriminalität zu beobachten, dennoch persistieren soziökonomische Konflikte, Drogenhandel, Bandenwesen und Prostitution. Infolgedessen weist Südafrika im internationalen Vergleich weiterhin eine hohe Kriminalitätsrate und eine hohe Inzidenz an penetrierenden Verletzungen auf (27;64). Insbesondere bei den vorsätzlichen Tötungsdelikten kann ein direkter Vergleich gezogen werden, da im Jahr 2000 die Rate an Tötungsdelikten bei 48,5/100.000 Einwohner lag und im Jahr 2012 bei 31,0/100.000 (106).

Eine weitere Ursache von penetrierenden Gefäßläsionen stellen die iatrogenen Verletzungen durch vermehrten Einsatz von endovaskulären Verfahren dar, beispielsweise durch Punktionstraumata, Tumorresektionen oder durch unfallchirurgische/orthopädische Eingriffe. Sie haben einen Anteil von ca. 30-40% mit zunehmender Inzidenz (42;97).

1.3 Südafrika

1.3.1 Gesundheitssystem

Südafrika verfügt seit der Apartheid über ein aus Steuern finanziertes staatliches Gesundheitswesen, sowie über ein ausdifferenziertes Netz privater Praxen und Kliniken auf höchstem Niveau. Das grundlegende Problem dieser staatlichen und privaten Gesundheitssysteme ist der extreme Unterschied in der Gesundheitsversorgung. Die Regierung von Nelson Mandela führte im Jahr 1996 eine kostenlose medizinische Basisversorgung für alle Südafrikaner, sowie eine kostenlose Gesundheitsversorgung für Schwangere und Kinder ein, jedoch liegen die medizinischen Leistungen in vielen Bereichen noch heute auf dem Niveau eines Entwicklungslandes. Es herrschen Personal-Mangel, unzureichende Standards und fehlende Mittel. Die wohlhabendere Bevölkerung kann wiederum aufgrund der finanziellen Möglichkeiten eine private Krankenversicherung, private Ärzte und Krankenhäuser in Anspruch nehmen, welche dem europäischen Standard nahe sind. Infolgedessen arbeiten 80% der Mediziner im lukrativen privaten medizinischen Sektor und versorgen lediglich 15% der Bevölkerung. Eine Gesundheitsreform mit Einrichtung einer nationalen Krankenversicherung (National Health Insurance) ist derzeit das Konzept der

südafrikanischen Regierung, um ein einheitliches Gesundheitswesen zu etablieren (10;84;95;98;104).

1.3.2 Chris Hani Baragwanath Academic Hospital

Das Chris Hani Baragwanath Academic Hospital (CHBAH) ist mit seinen rund 3000 Betten eines der größten Krankenhäuser der Welt und als Level-I-Traumazentrum zertifiziert. Es gehört zu den Lehrkrankenhäusern der Universität Witwatersrand in Johannesburg und hat neben dem Johannesburg General Hospital und der Universitätsklinik Kapstadt das größte „militärchirurgische Erfahrungsgut“ an einem zivilen Krankenhaus außerhalb von Kriegsszenarien (27). Es liegt im Südwesten von Johannesburg im Stadtteil Soweto (South Western Township) mit schätzungsweise 3,5 Mio. Einwohnern und ist das einzige öffentliche Krankenhaus für die Bevölkerung Sowetos und dessen Umgebung. Soweto ist derzeit das größte Township Südafrikas und als ehemaliges Elendsviertel überwiegend Wohngebiet für die arme schwarze Bevölkerung. Das CHBAH beschäftigt etwa 6760 Mitarbeiter, davon ca. 1000 Ärzte und versorgt jährlich mehr als 100.000 Patienten stationär und 400.000 Patienten ambulant. Traumatologische Notfallpatienten werden im CHBAH in der „Trauma Unit“ versorgt, dessen Hauptaufgabe die Behandlung Schwerstverletzter darstellt. Zuständig hierfür sind „Trauma Surgeons“, welche die Erstversorgung im Schockraum durchführen, sowie alle Verletzungen im Bereich des Halses, des Brustkorbes, des Bauches, der Weichteile und der Gefäße operativ versorgen. Zudem sind sie für die Betreuung auf Station respektive Intensivstation zuständig. Der südafrikanische „Trauma Surgeon“ ist ein Facharzt für Chirurgie mit einer Schwerpunktausbildung in der Versorgung von allen durch äußere Gewalt entstandenen Verletzungen (48;65;82).

1.4 Morphologie von Stich- und Schussverletzungen

1.4.1 Stichverletzungen

Stichverletzungen werden am häufigsten durch Messer verursacht oder durch spitz zulaufende Gegenstände mit senkrechter Kraftübertragung auf die Körperoberfläche. Die Einstichwunde hat eine mandelförmige Konfiguration mit glattrandigen Wundrändern. Die Wundwinkel können unterschiedliche Gestalt annehmen und abhängig von der Klingenbeschaffenheit (einschneidig versus zweischneidig) stumpf und spitzwinkelig imponieren. Ebenso kann am Wundwinkel der Stichwunde ein sogenannter Schwalbenschwanz entstehen, wenn das Messer von Ein- zu Ausstich gedreht wird. Des Weiteren muss beachtet werden, dass die Einstichwunde breiter oder auch schmaler als die Klingenbreite sein kann, ersteres wenn beim Zustechen eine Schnittbewegung hinzukommt und letzteres wenn sich die Wunde aufgrund der Hautelastizität zusammen zieht. Wichtig für das Verletzungsausmaß ist zudem die Inspektion des Stichkanals, denn der Stichkanal lässt nicht sicher auf die Klingenlänge schließen, zum einen bei kürzerem Einstich, zum anderen wenn der Einstich bis zum Heft zu einer Gewebskompression führt. Ferner muss das Kulissenphänomen beachtet werden, welches einen Verschluss des Stichkanals durch Verschieben von Gewebeschichten bezeichnet. Stichverletzungen können zusammen mit Schnittverletzungen auftreten, deren Wundlänge jedoch größer ist, als die Wundtiefe. Beiden gemeinsam ist die potentiell lebensgefährliche Verletzung, besonders von größeren Gefäßen (21;62;70).

1.4.2 Schussverletzungen

Im Vergleich zu Stichverletzungen haben Schussverletzungen ein komplizierteres Verletzungsmuster und eine schlechtere Prognose. Der Verletzungsmechanismus beruht hierbei auf der direkten Zerstörung von anatomischen Strukturen und der entstehenden Druckwelle im Schusskanal durch das Geschoss. Zusätzlich können Sekundärgeschosse, wie mitgerissene Körper (Granatsplitter, Projektilfragmente) oder Knochenfragmente entweder innerhalb des Schusskanals oder auch senkrecht dazu beschleunigt werden. Das penetrierte Gewebe erfährt eine senkrecht vom Schusskanal

entstehende Druckwelle, wird verdrängt mit Bildung einer temporären Kavitation und lagert sich anschließend wieder zum Schusskanal hin zurück. Diese Reaktion wird als Gewebspulsation bezeichnet und verursacht auch distal des Schusskanals Schädigungen an Gewebe und Gefäßen. Gewebe mit hoher Dichte (z.B. Knochen) können hierbei mehr Energie absorbieren als Gewebe mit geringer Dichte (z.B. Lunge), weshalb es zu größeren Gewebsverletzungen kommt. Hochgeschwindigkeitsgeschosse von >900m/s (AK-47, Kriegswaffen) haben zudem eine höhere Zerstörungsgewalt als Niedriggeschwindigkeitsgeschosse von <300m/s (Revolver, Pistolen), da eine stärkere Radialbeschleunigung entsteht, welche durch die Entstehung der temporären Kavitation zu einer regelrechten Zerfetzung von Organen führt (17). Des Weiteren haben auch andere Faktoren wie die Art des Geschosses (Durchschuss/Winkelschuss), Kaliber/Munitionsart (Platzpatrone) und Schussentfernung (Nahschuss/Fernschuss) Einfluss auf das Verletzungsmuster (21;62;63;70).

1.5 Klassifikation der Gefäßverletzungen

Gefäßverletzungen werden grundsätzlich in scharfe und stumpfe Verletzungen eingeteilt, welche durch direkte oder indirekte Gewalteinwirkung entstehen. In dieser Untersuchung wird nur auf die direkten scharfen arteriellen Gefäßverletzungen eingegangen, welche eine äußerlich sichtbare Hautwunde zeigen und die Durchtrennung der Gefäßwandschichten von außen nach innen erfolgt.

Die Einteilung der scharfen Gefäßverletzungen erfolgt nach *Linder und Vollmar* in drei Schweregrade (siehe Abb. 1):

Grad I beschreibt die partielle Durchtrennung der Gefäßwand mit Verletzung der Adventitia ohne Lumeneröffnung und ist klinisch weitgehend stumm. Je nach begleitender Nervenläsion können sensible oder motorische Ausfälle bestehen und es kann im Verlauf zu der Ausbildung eines Aneurysma spurium kommen. Ein Aneurysma spurium ist nicht als Aneurysma verum definiert, da es durch den Blutaustritt aus der Gefäßverletzung in die perivaskuläre Umgebung mit Bildung eines Hämatoms entsteht. Im Gegensatz zum Aneurysma verum wird das Aneurysma spurium folglich nicht von Gefäßwandschichten umgeben (41).

Bei Grad II besteht eine Durchtrennung aller drei Gefäßschichten mit Lumeneröffnung, aber erhaltener Kontinuität. Es manifestieren sich eine Blutung nach außen oder in das Gewebe selbst sowie neuronale Schädigungen bei Vorhandensein von Nervenverletzungen. Ferner kann eine periphere Ischämie bei Grad II Verletzungen auftreten.

Grad III ist definiert als vollständige Durchtrennung des Gefäßes mit klinischen Symptomen einer Grad II Verletzung. Bei diesem Verletzungsgrad ist ein Einrollen der Intima mit maximaler Aktivierung der Thrombogenese durch Freisetzung von Gerinnungsfaktoren aus der verletzten Arterienwand möglich, weshalb eine spontane Blutstillung eintreten kann (54).

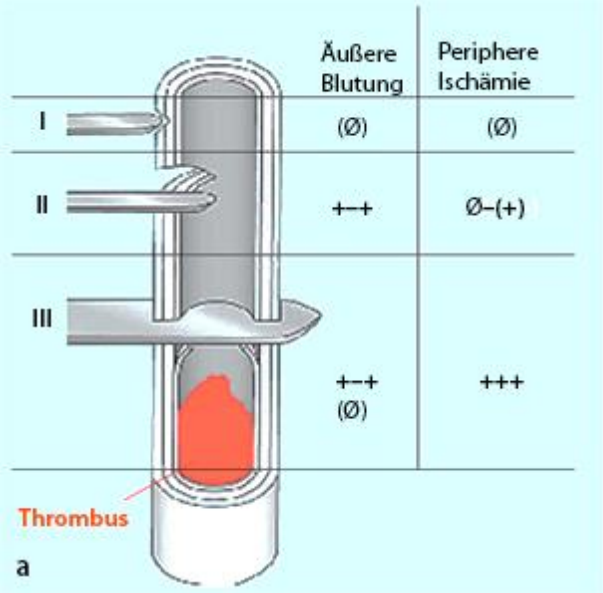

Abbildung 1: Einteilung scharfe Gefäßverletzung nach *Linder und Vollmar (61)*

Als weitere Form von pathologischen Gefäßzuständen sind die Folgezustände der arteriellen Gefäßverletzung aufzuführen. Von klinischer Bedeutung sind hier die arterielle Thrombose, das pulsierende Hämatom, das arterielle Aneurysma sowie arteriovenöse Fisteln (49).

1.6 Klinische Zeichen einer Gefäßverletzung

Das klinische Bild der penetrierenden Gefäßverletzung wird abhängig vom Schweregrad des Gefäßtraumas entweder durch eine leichte Sickerblutung, eine massiv spritzende Blutung, direkt nach außen oder indirekt in das Gewebe, oder durch Anzeichen einer Extremitätenischämie geprägt. Im Falle einer Hypovolämie aufgrund hohen Blutverlustes können zudem Schockzeichen mit Blutdruckabfall, Herzfrequenzanstieg und Hb-Abfall entstehen (51).

Die Grundpfeiler der Diagnostik einer Gefäßverletzung sind die ausführliche Anamnese und die umfangreiche körperliche Untersuchung (71). Die Unfallursache (direktes vs. indirektes Trauma), der Unfallmechanismus (Schuss, Stich etc.) sowie die Ischämiezeit sind zu eruieren. Bei der körperlichen Untersuchung kann eine spritzende unaufhaltsame Blutung, wie bei Längsverletzung der Arterienwand, relativ einfach als arterielle Gefäßverletzung erkannt werden. Im Falle einer kompletten Gefäßdurchtrennung kann die Diagnose jedoch erschwert sein, wenn das Einrollen der Intima ein spontanes Sistieren der Blutung bewirkt oder ein Volumenmangelschock vorliegt. Infolgedessen sollten Patienten mit Verdacht auf ein Gefäßtrauma nach folgenden Kriterien untersucht werden: Der Pulsstatus der Extremitäten, sowie Motorik und Sensibilität sollten erfasst und das Hautkolorit, die Rekapillarisationszeit und die Temperatur dokumentiert werden.

Als weitere klinische Merkmale arterieller Gefäßverletzungen sind die „hard signs“ und „soft signs“ aufzuführen, da abhängig von ihrer Präsenz unterschiedliche Behandlungsprozedere eingeleitet werden. Zu den „hard signs“ der Gefäßverletzungen gehören die Pulslosigkeit, die kalte Extremität, das Gefäßschwirren, die pulsatile Blutung und das pulsierende oder expandierende Hämatom (71). Das Vorliegen von „hard signs“ zeigt eine Sensitivität von 92-95% für das Erfassen von arteriellen Gefäßverletzungen, welche eine Intervention benötigen (92).

Zu den “soft signs” der Gefäßverletzung gehören die Pulsabschwächung, das nicht expandierende Hämatom und die Parästhesie oder Parese (71).

Die klinischen Symptome einer Extremitätenischämie werden zudem nach Pratt als „6-P“-Zeichen zusammengefasst und beinhalten (68):

- Pain = Schmerz
- Pulslessness = Pulsverlust
- Paleness = Blässe
- Paresthesia = Gefühlsstörung
- Paralysis = Bewegungsunfähigkeit
- Prostration = Schock

1.6.1 Das Kompartmentsyndrom

Ein klinisches Krankheitsbild, welches mit einer arteriellen Gefäßverletzung assoziiert werden kann, ist das Kompartmentsyndrom. Aufgrund der arteriellen Gefäßläsion entwickelt sich eine kapilläre Dysfunktion mit progredienter Ischämie der Extremität (>6h), die insbesondere an der unteren Extremität vorzufinden ist. Diese kapilläre Dysfunktion verursacht die Entwicklung eines Ödems, das den Gewebedruck innerhalb der Muskellogen eines Kompartimentes, der in der Regel bei < 10mmHg liegt, erhöht. Folglich kommt es zu einer verminderten venösen Drainage, verminderten myoneuronalen Perfusion, verminderten arteriellen Durchblutung durch den erhöhten Gefäßwiderstand und schließlich zum irreversiblen Gewebeuntergang.

Die Symptomatik des Kompartmentsyndroms ist gekennzeichnet durch eine schmerzhafte Schwellung und Induration der betroffenen Muskelloge mit Schmerzintensivierung bei passiver Bewegung. Des Weiteren manifestieren sich Sensibilitätsstörungen, muskuläre Funktionsstörungen und in der Spätphase der fehlende Nachweis der peripheren Pulse. Die Diagnose eines Kompartmentsyndroms wird primär klinisch gestellt, kann jedoch auch durch die Messung des Kompartmentdrucks festgestellt werden, wenn diese eine dringliche Therapie nicht verzögert. Hierfür wird eine sterile Sonde in das entsprechende Kompartment eingebracht, welche den Perfusionsdruck registriert. Ein Kompartmentdruck von >30 mmHg gilt als sicheres Zeichen für ein vorliegendes Kompartmentsyndrom. Ebenso

besteht bei einer Druckdifferenz von <30 mmHg zwischen Kompartmentdruck und gemessenem diastolischen Blutdruck, die Notwendigkeit einer Intervention (9;33;108).

1.7 Diagnostik

1.7.1 Doppler- und Duplexsonographie

Nach der klinischen Untersuchung ist bei Verdacht auf eine Gefäßläsion die Durchführung einer Dopplersonographie möglich, durch die der Blutfluss im Gefäß einerseits akustisch andererseits mittels farbkodierter Duplex Sonographie visuell dargestellt wird. Auf diese Weise können strukturelle Gefäßwandveränderungen und der akute Gefäßverschluss mit hoher Sensitivität und Spezifität diagnostiziert werden (54).

Zusätzlich sollte der Doppler-Druckquotient (ankle brachial index) bestimmt werden, der bei einem Index <0,9 oder einem Pulsdefizit eine arterielle Gefäßverletzung vermuten lässt (9;34). Hierfür wird eine Blutdruckmanschette am distalen Unterschenkel angebracht, die A. dorsalis pedis am Fußrücken mittels Dopplerstiftsonde aufgesucht und der Verschlussdruck gemessen. Auf identische Weise wird der Verschlussdruck an der A. tibialis posterior hinter dem Innenknöchel gemessen. Für die Bestimmung des Dopplerindexes ist die Relation zum systemischen Blutdruck wichtig, weshalb an beiden Armen der Blutdruck gemessen wird. Schließlich ergibt der Quotient aus dem höchstgemessenem Blutdruck des Unterschenkels und der systemische systolische Blutdruck des Oberarmes den Doppler-Druckquotienten.

1.7.2 CT/ CT- Angiographie

Zur weiteren diagnostischen Abklärung kann eine radiologische Bildgebung mittels Computertomographie durchgeführt werden, da die modernen Mehrzeilengeräte insbesondere bei polytraumatisierten Patienten eine umfassende traumatologische Diagnostik bieten und zeitlich hoch effizient sind. Insbesondere bei Patienten mit Gefäßverletzungen, welche häufig in Kombination mit anderen Verletzungen vorliegen, ist die CT-Untersuchung (Traumaspirale mit Kontrastmittel) das geeignete

diagnostische Verfahren. Bei Verdacht auf eine arterielle Gefäßverletzung kann zudem eine CT- Angiographie durchgeführt werden, welche zusätzliche Informationen liefert.

Im Falle einer kritischen Extremitätenischämie sollte jedoch, ohne zeitliche Verzögerung durch ein bildgebendes Verfahren, eine operative Versorgung erfolgen (9;34).

1.7.3 Konventionelle Angiographie

Eine konventionelle Angiographie, bei der Blutgefäße beispielsweise mittels Kontrastmittel und Röntgen dargestellt werden, ist ebenfalls ein präzises Bildgebungsverfahren bei Verdacht auf Gefäßverletzungen. Hier zeigt sich jedoch besonders bei präoperativer Durchführung eine relevante Zeitverzögerung, weshalb die Indikation streng zu stellen ist. Die konventionelle Angiographie wird heutzutage und speziell am CHBAH größtenteils durch die CT-Angiographie abgelöst.

1.7.4 Digitale Subtraktionsangiographie

Die digitale Subtraktionsangiographie ist eine invasive Untersuchungsmethode, die durch Gefäßkatheterisierung und Konstrastmittelapplikation Blutgefäße darstellt. Dieses Verfahren erlaubt eine bessere Auswertung, da störende Bildelemente, wie beispielsweise Knochen, digital ausgeblendet werden können. Folglich bietet sie ein hohes Maß an Detailinformationen und hat zusätzlich den Vorteil der simultanen interventionellen endovaskulären Therapie (Embolisation, Coiling, Stents, Stentgrafts). Dennoch benötigt auch dieses bildgebende Verfahren einen hohen Zeitaufwand. Bei akut zu versorgenden Patienten sollte, insofern erforderlich, die digitale Subtraktionsangiographie intraoperativ durchgeführt werden, um eine unmittelbare endovaskuläre Therapie anschließen zu können (9;34).

1.7.5 Lodox- Low Dosage X-ray

Das Lodox ist ein digitales Bildgebungsverfahren, bei dem mit etwa 1/3 der bei konventionellem Röntgen benötigten Strahlendosis innerhalb von 13 sec ein Ganzkörperbild anterior- posterior erstellt wird (26). Ein rotierender C-Bogen ermöglicht unter maximaler Reduktion der Streustrahlung eine räumliche Auflösung von 5 Linienpaaren pro Millimeter. Mit Hilfe dieser Technik können Knochen und Weichteile, aber auch Gefäße dargestellt werden, wenn simultan zur Lodox-Röntgenaufnahme Kontrastmittel in das zu untersuchende Gefäß appliziert wird (Abb. 2). Das Lodox gehört insbesondere im CHBAH zum festen Bestandteil der Notfallraumdiagnostik von Polytrauma Patienten (67).

Abbildung 2. Digitale Lodox- Aufnahme (6)

1.7.6 Scoresysteme

Scoresysteme dienen im medizinischen Bereich der Einschätzung des klinischen Zustandes eines Patienten, ausgedrückt durch einen Punktwert. Dieser Punktwert entsteht im Rahmen einer klinischen Beurteilung anhand verschieden gewichteter diagnostischer Parameter. Hiermit kann beispielsweise der Schweregrad einer Verletzung klassifiziert und die Prognose eines Patienten abgeschätzt werden. Seit den ersten Veröffentlichungen von Scoresystemen in den Jahren 1971 und 1974, wurden weitere Scores entwickelt, die ihre Geltung in verschiedenen Fachbereichen haben. In dieser Arbeit soll auf die Scoresysteme eingegangen werden, die im Zusammenhang zu penetrierenden Gefäßverletzungen stehen. Zum einen handelt es sich um Scoresysteme für polytraumatisierte Patienten, zum anderen für die Einschätzung verletzter Extremitäten.

1.7.6.1 GCS

Die Glascow Coma Scale (Tab. 1) ist ein von *Teasdale und Jennet 1974* entwickelter Score, der von den erstversorgenden Notärzten noch am Unfallort erhoben wird und zur Abschätzung einer Bewusstseinsstörung sowie zur Prognoseeinschätzung von polytraumatisierten Patienten dient. Bewertet werden drei einfach zu erhebende Variablen: das Augenöffnen, die beste verbale Antwort und die beste motorische Antwort. Die Punktzahl korreliert mit der Bewusstseinslage und der Überlebenswahrscheinlichkeit und erreicht minimal einen Punktwert von 3 und maximal einen Punktwert von 15. Eine Punktzahl von 3 definiert eine kritische Bewusstseinslage mit komatösem Zustand, bei 8 Punkten besteht eine schwere Funktionsstörung des Gehirns und eine Atemsicherung durch Intubation muss erwogen werden. Mit einer Punktzahl von 15 ist der Patient bei vollem Bewusstsein (103).

	Parameter	**Bewertung**	**Punkte**
A	Augenöffnen	spontan	4
		auf Aufforderung	3
		auf Schmerzreiz	2
		keine Reaktion	1
B	Verbale Antwort	orientiert	5
		desorientiert	4
		unzusammenhängende Worte	3
		unverständliche Laute	2
		keine verbale Reaktion	1
C	Motorik	auf Aufforderung	6
		gezielt auf Schmerzreiz	5
		ungezielt auf Schmerzreiz	4
		Beugesynergismen auf Schmerzreiz	3
		Strecksynergismen auf Schmerzreiz	2
		keine motorische Reaktion	1

Tabelle 1: Glascow Coma Scale

1.7.6.2 ISS

Der Injury Severity Score von *Baker et al. 1974* wird ebenfalls zur Einschätzung der Verletzungsschwere verwendet und korreliert mit der Behandlungsdauer, der Dauer der intensivmedizinischen Betreuung und der Überlebenszeit von polytraumatisierten Patienten (5;44). Er wird nach stattgehabter Diagnostik und Kenntnis über alle Einzeldiagnosen bestimmt. Abgeleitet vom Abbreviated Injury Scale wird der Körper in sechs Regionen eingeteilt: Kopf/Hals, Gesicht, Thorax, Abdomen/Becken, Extremitäten/Beckengürtel und äußere Verletzungen (3). Jeder Region werden Punkte zwischen 1 und 6 abhängig vom Verletzungsgrad zugeordnet; 1 stellt eine leichte Verletzung dar, 6 eine nicht überlebensfähige Verletzung. Die AIS-Werte der drei Körperregionen mit den schwersten Verletzungen und somit der höchsten Punktzahl werden jeweils quadriert und addiert, so dass eine maximale Punktzahl von 75 entstehen kann (25+25+25=75). Werden einer Körperregion 6 Punkte zugeordnet, liegt eine nicht therapierbare Verletzung vor und der ISS ist automatisch 75 (3). Bei einem ISS $\geq$ 16 werden Patienten als schwerverletzt eingestuft und die prognostizierte Mortalität liegt bei mehr als 10% (61).

1.7.6.3 MESS

Der Mangled Extremity Severity Score wurde ursprünglich entwickelt, um Verletzungen der unteren Extremität einzuschätzen und zwischen Erhalt oder Amputation einer Extremität zu entscheiden. Die Punktezuteilung erfolgt nach der Schwere der Knochen/ Weichteilverletzung, nach dem Puls- respektive Ischämiestatus der Extremität, nach Schockanzeichen und dem Alter des Patienten (74). Mit diesem Scoresystem wäre bei einem Punktwert >7 eine Amputation mit 100%-iger Wahrscheinlichkeit indiziert (50).

1.7.6.4 NISSA

Der NISSA- Score (Nerve Injury, Ischaemia, Soft- Tissue Injury, Skeletal Injury, Shock, Age of Patient) ist eine von *McNamara* erweiterte Version des MESS Scores

und wird gleicherweise zur Entscheidungshilfe zwischen Erhalt oder Amputation einer Extremität eingesetzt. Hierbei wird eine umfangreiche Variablenliste verwendet, welche zusätzlich zum MESS Score Nervenverletzungen und eine detaillierte Auswertung von Knochen- und Weichteilverletzungen dokumentiert. Infolgedessen weist der NISSA Score eine größere Sensitivität (81.8% versus 63.6%) und Spezifität (92.3% versus 69.2%) im Vergleich zum MESS Score auf (77). Zudem liegt bei einem Punktwert von >11 im NISSA Score die Spezifität für die Amputation bei nahezu 100%.

1.7.6.5 HFS-98

Ein Scoresystem, das sowohl für die untere als auch für die obere Extremität angewandt werden kann, wurde im Jahr 1983 entwickelt und im Jahre 1998 modifiziert (46). Die Bezeichnung des Scores lautet HFS-98 (Hannover Fracture Scale-98) und beinhaltet 8 Parameter, welche mit Punkten beurteilt werden: Knochenverlust, Hautverletzung, Muskelverletzung, Wundkontamination, Neurologie, Deperiostierung, lokale und systemische Durchblutung. Die Bewertung des Scores erfolgt mit Hilfe einer Punkteskalierung von 0-22 Punkten, welche ab einer Punktezahl von $\geq$ 11 eine Amputation empfiehlt. *Seekamp et al*. zeigte, dass dieser Score eine Sensitivität von 82% und eine Spezifität von 99% bezüglich der Vorhersage einer primären Amputation hat (99).

1.8 Therapieprinzipien

1.8.1 Erstversorgung

Zu den Erstmaßnahmen bei stark blutenden Gefäßverletzungen zählen die lokale Blutstillung noch am Unfallort zur Vermeidung eines Volumenmangelschocks und die ausreichende Volumensubstitution. Eine Blutungskontrolle kann durch das Anlegen eines Kompressionsverbandes oder durch manuelle digitale Kompression erzielt werden (34). Das Setzen von Gefäßklemmen oder das Abbinden einer Extremität sollte hingegen vermieden werden, um den Primärschaden nicht zu vergrößern oder eine iatrogene Begleitverletzung zuzufügen. Eine Ausnahme besteht in einer „life before

limb“ Situation, in der ein Patient einen lebensbedrohlichen Blutverlust aufweist und das Abbinden der Extremität die einzige effektive Blutungskontrolle darstellt. Diese Maßnahme könnte jedoch den Verlust der Extremität zur Folge haben.

Als weitere Erstmaßnahmen sollten verletzte Extremitäten in anatomische Position gebracht und stabilisiert sowie Luxationen reponiert werden (54;61).

1.8.2 Behandlungsalgorithmus

Behandlungsalgorithmen zur Versorgung von vaskulären Verletzungen wurden in zahlreichen Studien beschrieben und zeigen Überschneidungen bezüglich ihres Inhalts (9;34;38;102). Abhängig vom klinischen Untersuchungsbefund wird zwischen instabilen Patienten, die eine sofortige therapeutische Versorgung benötigen, noch bevor diagnostische Maßnahmen vollzogen werden und stabilen Patienten unterschieden. Hämodynamisch stabile Patienten, die bei der klinischen Untersuchung „hard signs“, hier harte Kriterien, aufweisen, werden notfallmäßig von einem Gefäßchirurgen konsultiert, der eine intraoperative Bildgebung sowie notwendige Interventionen veranlasst. Patienten mit „soft signs“, hier weiche Kriterien, unterlaufen einem anderen Algorithmus, da es sich um keine akut lebensgefährliche Gefäßverletzung handelt. Hier wird keine sofortige Intervention durchgeführt, sondern ein kontrolliert abwartendes Verhalten vorgenommen. Andernfalls kann eine Doppler-Druckmessung durchgeführt werden, welche bei einem „ ankle brachial index“ > 0,9 eine weitere Beobachtungsphase anschließen lässt mit möglicher Kontrolluntersuchung durch die Duplexsonographie. Bei einem „ankle brachial index“ < 0,9 wird wiederum ein Gefäßchirurg konsultiert und ein bildgebendes Verfahren mittels Angiographie oder Duplexsonographie durchgeführt. Bei kleineren Gefäßläsionen wird weiterhin konservativ therapiert und gegebenenfalls interveniert, bei größeren Gefäßverletzungen wird operativ behandelt (9;34).

1.8.3 Operative Therapie

Die operative Intervention hat zum einen das Ziel der schnellen Revaskularisation und vaskulären Rekonstruktion innerhalb der „golden period“ von 6h (71), zum anderen das Ziel der primären hämodynamischen Stabilisation des Patienten.

Nach operativer Exploration der verletzten Arterie erfolgt das Debridement des Verletzungsareals mit anschließender Thrombendarteriektomie der Arterie mittels Fogarty Katheter. Vorab sollte eine systemische Heparinisierung (5000IE bzw. 100IE pro kg Körpergewicht), falls keine Kontraindikationen vorliegen, oder eine lokale Heparinisierung des Ein- und Ausstroms erfolgen (9;33). Anschließend wird die Gefäßverletzung versorgt und durch diverse Nahttechniken oder durch Verwendung von autologer oder heterologer Gefäßprothesen wiederhergestellt. Gefäßläsionen mit einem Defekt von bis zu 2 cm werden mittels Direktnaht versorgt, wobei darauf geachtet werden muss, dass die Naht keine Stenose innerhalb des Gefäßes verursacht. Als Nahtmaterial wird langfristig resorbierbares Nahtmaterial verwendet (9). Im Falle von kurzstreckigen Arterienwanddefekten bei Kindern oder Jugendlichen wird die Einzelknopfnaht als Methode der Wahl beschrieben (49). Der Indikationsbereich für End-zu-End-Anastomosen sind komplette Gefäßdurchtrennungen, welche nach Anschrägen der Gefäßenden adaptiert werden. Im Falle von punktförmigen Arterienwandverletzungen oder zur Vermeidung von Stenosierungen kann auch ein Venenpatch oder ein Kunststoffpatch verwendet werden; aufgrund der höheren Infektionsgefahr werden jedoch autologe Patches bevorzugt (54). Die Größe und Länge des Patches sollte so gewählt werden, dass die Arterie lumengerecht verschlossen wird und kein Kalibersprung innerhalb des Gefäßes entsteht (49).

Langstreckige Defektstrecken von > 2cm werden durch den Einsatz von Gefäßprothesen behandelt (9;66). Hier werden autologe Veneninterponate bevorzugt und sollten von der kontralateralen unverletzten Extremität entnommen werden, da ein erhöhtes posttraumatisches Thromboserisiko insbesondere bei Verletzungen der unteren Extremität besteht. Das geeignete Venenmaterial für autologe Transplantate bietet die V. saphena magna, V. saphena parva oder V. femoralis superficialis. Zudem findenn die V. cephalica und die V. basilica bei Verletzungen der A. brachialis Verwendung (33). Bei ungenügender Venenqualität oder zu kurzem Durchmesser, wird anstatt der Vene eine heterologe Gefäßprothese verwendet. Zur Auswahl stehen die PTFE

(Polytetrafluoroethylen)- Prothese, die Dacronprothese oder Silberprothese im Falle einer lokalen Kontamination (9).

Patienten mit traumatischen Mehrfachverletzungen werden nach dem „Damage Control“-Prinzip in einer festgelegten Reihenfolge operativ behandelt, welche besagt, dass Gefäßverletzungen zügig nach Stabilisation von Frakturen im Regelfall mittels Fixateur externe versorgt werden (22). Zur Verkürzung der Ischämiezeit kann zudem intraoperativ ein Arterienshunt gelegt werden (33;109). Im Falle einer Überschreitung der Ischämiezeit von 4-6h wird eine prophylaktische Faszienspaltung zur Vermeidung eines Kompartmentsyndroms empfohlen (9;54;108). Falls hingegen bereits klinische Anzeichen für ein Kompartmentsyndrom sprechen, muss eine vollständige Spaltung aller 4 Unterschenkellogen durchgeführt werden.

Therapeutische Verfahren sind überdies abhängig vom Verletzungsausmaß, dem hämodynamischen Zustand des Patienten und der Ischämie einer Extremität und verlangen zum Teil eine frühe Amputation (9). Das Überleben des Patienten muss stets das primäre Ziel sein und vor Erhalt der Extremität stehen („life before limb“).

1.8.4 Endovaskuläre Therapie

Zu den therapeutischen Optionen in der Versorgung von Gefäßverletzungen gehören außerdem die endovaskulären Verfahren mit modernen angiographischen Bildgebungen und simultaner Intervention. Diese Verfahren finden insbesondere bei umschriebenen Gefäßverletzungen bei Patienten im hämodynamisch stabilen Zustand Anwendung. Kleinere blutende Arterien werden durch die Embolisation verschlossen oder arteriovenöse Fisteln mittels Coiling versorgt. Im Falle von arteriellen Perforationen oder eines Aneurysma spurium kann zudem radiologisch ein Stentgraft eingesetzt werden (9;108).

2 Ziel der Arbeit

Ziel der vorgelegten Studie ist es Patienten mit penetrierenden arteriellen Verletzungen der Extremitäten zu untersuchen. Besonderes Interesse gilt den diagnostischen und therapeutischen Verfahren sowie dem Outcome operativ versorgter Patienten im Hinblick auf Revisionen, Amputationsrate und Mortalität. Zudem sollen Aussagen darüber getroffen werden inwieweit Veränderungen im Behandlungsregime von Verletzungen der A. poplitea zu Verbesserungen hinsichtlich der Amputationsrate führen.

3 Material und Methoden

3.1 Studiendesign

Es handelt sich um eine retrospektive Studie, bei der Patienten mit penetrierenden arteriellen Verletzungen der Extremitäten in einem Zeitraum von 18 Monaten (01. März 2010 bis 01. September 2011) ermittelt wurden.

Die Studie wurde am CHBAH in Johannesburg, Südafrika, durchgeführt, welches mit seinen nahezu 3000 Betten eines der größten Krankenhäuser der Welt ist und als Level-I-Traumazentrum zertifiziert ist (82).

Die erfassten Daten dieser Studie entstammen Patienten, welche in der „Trauma Unit“ von „Trauma Surgeons“ behandelt wurden. Dies sind Allgemeinchirurgen mit einer Subspezialisierung in Traumatologie, welche sich mit Hals-, thorakoabdominellen, kardiovaskulären Verletzungen und Polytraumata beschäftigen (82). Eine Ausnahme besteht in der Versorgung von Verletzungen der A. poplitea, welche durch die Einführung eines neuen Behandlungsprotokolls seit 2010 allein durch Gefäßchirurgen versorgt werden.

3.2 Behandlungsalgorithmus am CHBAH

Der Algorithmus zur Behandlung von vaskulären Verletzungen sieht vor, dass jeder Patient im Schockraum des CHBAH primär nach den *ATLS*- Prinzipien (Advanced Trauma Life Support) versorgt wird (Abb. 3). Zudem wird bei jedem Patienten, der sich in einem hämodynamisch stabilen Zustand befindet, ein Ganzkörper Low Dosis Röntgen (Lodox) durchgeführt, um mögliche Frakturen, Splitter oder Projektile ausfindig zu machen.

Bei aktiver Blutung wird noch in der Notfallambulanz die Blutungskontrolle mittels manueller Kompression versorgt, bis eine definitive operative Blutstillung durchgeführt werden kann. Zudem kann zur lokalen Blutungskontrolle auch eine Ballontamponade durchgeführt werden. Hierfür wird ein Foley Katheter (Blasenkatheter) tief in die

Wunde oder in den Stichkanal platziert und mit 10ml isotonischer Kochsalzlösung gefüllt, um den Blasenkatheter zu blocken. Im Falle einer ausladenden Hautwunde wird diese mittels Naht verschlossen, um die Wirkung der Tamponade zu verstärken und ein Abkippen des Katheters zu unterbinden.

Die Diagnose einer arteriellen Gefäßverletzung wird primär durch die klinische Untersuchung und die Erfassung von „hard signs“ und „soft signs“ gestellt. Im Falle von „hard signs“ erfolgt eine direkte operative Exploration der Gefäßverletzung. Zur weiteren Diagnostik und Einschätzung des Risikos einer Gefäßverletzung dient die Doppler Sonographie und Doppler Druckmessung. Diese wird bei fehlenden „hard signs“ durchgeführt und als „soft sign“ interpretiert, wenn der Doppler Druckquotient größer 10% ist, verglichen mit der kontralateralen Extremität.

Die apparative Diagnostik mittels CT- Angiographie hat die konventionelle Angiographie im CHBAH größtenteils ersetzt und wird nur veranlasst, wenn die Klinik des Patienten Anlass dazu gibt. Das wäre der Fall, wenn „soft signs“ vorliegen, Ungewissheit bezüglich der genauen Lokalisation der Gefäßverletzung besteht oder multiple Schussverletzungen bestehen. Da der CT Scanner zur Durchführung einer CT-Angiographie jedoch ca. 50 Meter vom Schockraum entfernt liegt, wird dieser nur aufgesucht, wenn der Patient hämodynamisch stabil ist. Andernfalls wird im Schockraum selbst eine konventionelle Angiographie mittels Kontrastmittel und C-Arm oder Lodox-Scanner durchgeführt.

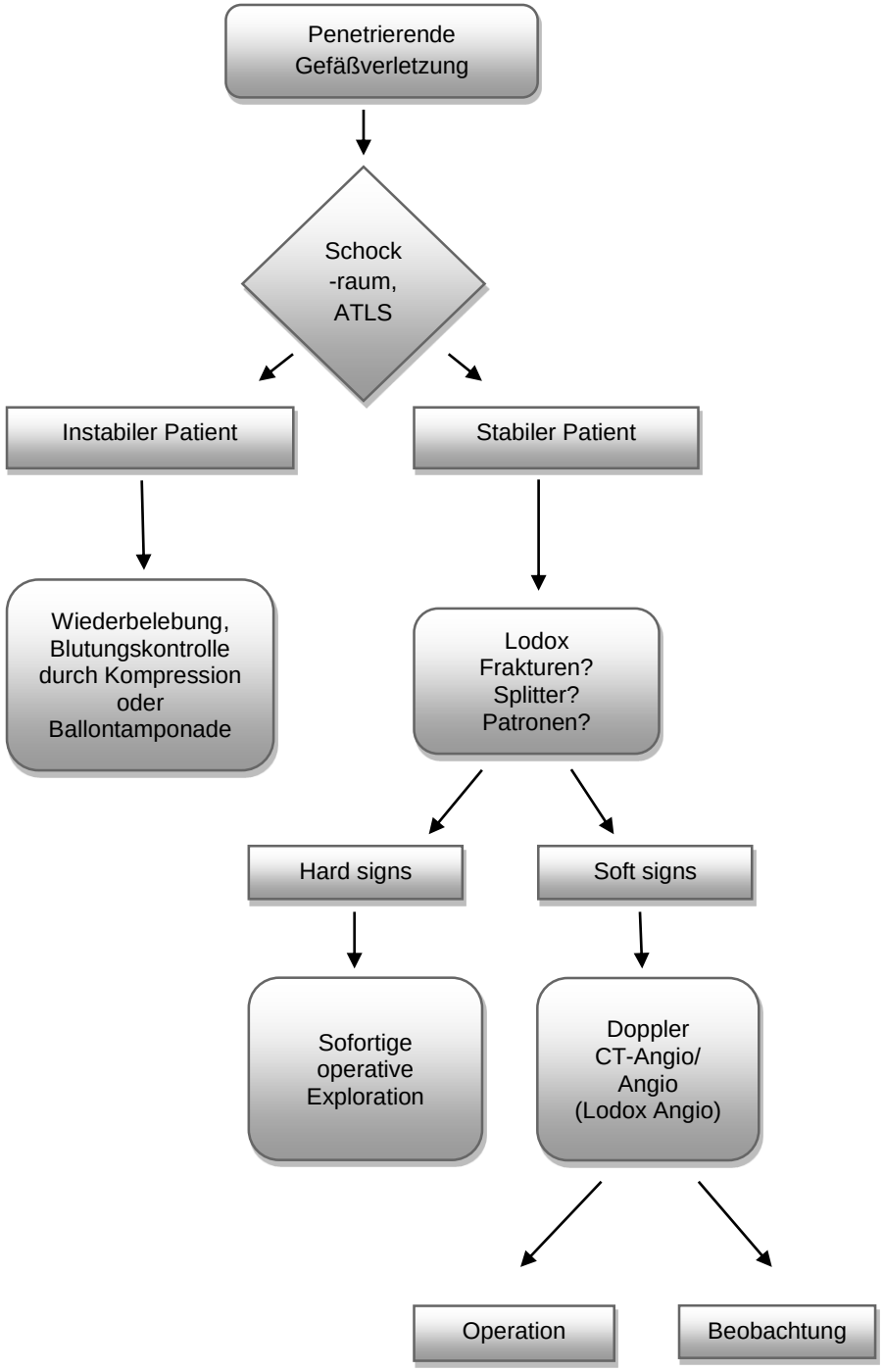

Abbildung 3: Behandlungsalgorithmus am CHBAH

Die operative Exploration einer Gefäßverletzung impliziert die Thrombendarteriektomie des Gefäßes mittels Fogarty Katheter und die anschließende Versorgung der Gefäßläsion. Als therapeutische Optionen stehen die direkte Gefäßnaht oder die End-zu-End-Anastomose zur Verfügung, wenn diese keine Zugspannung am Gefäß auslöst oder eine Lumenverkleinerung bewirkt. Andernfalls wird eine Gefäßprothese eingenäht. Die V. saphena der kontralateralen Extremität wird hierbei bevorzugt, jedoch finden auch Kunststoffprothesen aus Polytetrafluoroethylen (PTFE) Verwendung, falls die Qualität der Vene ungenügend ist oder der zeitliche Aufwand zur Entnahme der Vene das Outcome des Patienten negativ beeinflussen könnte.

Venöse Begleitverletzungen werden weitgehend ligiert, mit der Ausnahme von großlumigen Venen, die mittels einfacher Nahttechnik verschlossen werden können. Ebenso werden Nervenverletzungen nur versorgt, sofern es sich um unkomplizierte Läsionen handelt und ein kreislaufstabiler Patient vorliegt. Im Falle einer komplizierten knöchernen Begleitverletzung, kann die Gefäßverletzung zwischenzeitlich mit einem Shunt überbrückt werden, bis die knöcherne Verletzung fixiert und stabilisiert ist. Anschließend findet eine definitive Versorgung der Gefäßläsion statt. Die Versorgung mit einem temporären Shunt wird auch bei Patienten befürwortet, welche sich in einem hämodynamisch instabilen Zustand befinden und eine schnelle Revaskularisation benötigen.

Primäre Faszienspaltungen werden durchgeführt sobald eine Schwellung der Extremität beobachtet werden kann, schwere muskuloskeletale Verletzungen vorliegen, eine Revaskularisation erst nach 4-6h wieder hergestellt wird oder Venen ligiert werden.

Jeder Patient erhält perioperativ 1g Cefazolin intravenös für insgesamt 48h. Im Falle einer begleitenden Abdominalverletzung besteht die Antibiotikatherapie aus 1,2g Amoxicillin-Clavulansäure intravenös.

3.3 Patientenkollektiv

Alle Patienten, die wegen einer penetrierenden Gefäßverletzung an den großen Arterien der Extremitäten, in dem 18- monatigen Zeitraum, am CHBAH operativ behandelt wurden, wurden in dieser Studie analysiert.

Ausgeschlossen wurden Patienten, die eine arterielle Verletzung aufgrund eines stumpfen Traumas, eines degenerativen, krankheitsbedingten Gefäßzustandes oder iatrogen bedingt erlitten haben. Nicht mit eingeschlossen wurden ebenso Patienten, die eine arterielle Verletzung distal der Bifurkation der A. brachialis oder distal der Trifurkation der A. poplitea zeigten. Alle Patienten, die lediglich konservativ behandelt wurden und alle Patienten, die außerhalb des besagten Zeitraumes an einer penetrierenden arteriellen Verletzung behandelt wurden, wurden ausgeschlossen. Bereits am Unfallort oder während des Krankentransportes verstorbene Patienten wurden in der Studie nicht berücksichtigt. Das Patientenkollektiv umfasste jedes Geschlecht und jede Altersstufe.

3.4 Datenerhebung

Die Datenakquisition erfolgte retrospektiv anhand von Aufnahmebüchern der Notfallambulanz, den sogenannten „Resus-books“, und anhand von Operationsprotokollen. Diese Unterlagen wurden eingesehen und nach folgenden Merkmalen ausgewertet:

- Eine Gefäßverletzung der Extremität wurde dokumentiert
- Eine Amputation einer Extremität wurde beschrieben
- Eine Faszienspaltung wurde erwähnt
- Frakturen oder Weichteilverletzungen in anatomischer Nähe zu Gefäßen lagen vor
- Verletzungen durch Schuss, Stich oder andere scharfe Gegenstände an Extremitäten wurden erfasst

Durch diese eingegrenzte Suchmethode konnten 405 Patienten detektiert werden. Mittels Vorname, Nachname und Identifikationsnummer wurden anschließend im Zentralarchiv des Krankenhauses die passenden Patientenakten herausgesucht und bearbeitet. Zum Zeitpunkt der Datenerhebung war noch keine elektronische Datenbank im CHBAH etabliert, weshalb das Ermitteln der Daten anhand handgeschriebener Dokumente erfolgte. Von 405 potentiellen Fällen von penetrierenden Gefäßverletzungen der Extremitäten, entsprachen 128 Patienten den Merkmalsmustern der primären Patientensuche. Nach detaillierterer Aktenbearbeitung wurden

nachträglich 15 Patienten aus der Studie ausgeschlossen, da sie nicht die zuvor im Studienprotokoll festgelegten Einschlusskriterien erfüllten.

Zur Erfassung der Patienteninformationen wurden die Patientenakten durchforscht und anhand eines umfangreichen Dokumentationsbogens mit folgenden Variablen erhoben:

Patientendaten

- Name, Vorname
- Geschlecht
- Geburtsjahr

Unfallanamnese

- Unfalldatum, Unfallzeitpunkt
- Verletzungsmechanismus (Schuss, Stich, Glas, Tierbiss, etc.)
- Verletzungslokalisation (A. axillaris, A. brachialis, A. femoralis A. poplitea)
- Begleitverletzung
- Zuverlegung

Notaufnahme

- Aufnahmedatum, Aufnahmezeitpunkt
- Blutdruck, Puls, Temperatur, Glascow Coma Scale
- Klinische Untersuchung
    - „hard signs“ (Kalte Extremität, Pulslosigkeit, Gefäßschwirren, expandierendes/ pulsierendes Hämatom und pulsierende Blutung)
    - „soft signs“ (Nicht-expandierendes Hämatom, Parästhesie/ Parese und Pulsabschwächung)

Diagnostik

- Angiographie, Doppler- Sonographie
- Röntgen, Computertomographie, Lodox

Therapie

- Operationsdatum, Operationszeitpunkt, Operationsdauer
- Primäre Operationsindikation

- Intra- und postoperatives Labor (Hb, Hkt, pH, pO2, pCO2, Laktat, BE)
- Gefäßbefunde (vollständige/unvollständige Gefäßdurchtrennung, Dissektion, Thrombosen, AV- Fistel, A. spurium)
- Operationstechniken
- Revisionen
- Intensivtage

Komplikationen

- Blutung, Thrombose, Hämatom, Ödem
- Kompartmentsyndrom
- Infektion (lokal/systemisch)
- Ischämie, Nekrose
- Parästhesie, Paralyse

Abschluss

- Letalität
- Entlassung

3.5 Auswertung

Die Auswertung des Dokumentationsbogens erfolgte nach verschiedenen Kriterien. Zum einen konnten Aussagen über Geschlechterverteilung und Alterszusammensetzung sowie über Zeitintervalle zwischen Unfall und Krankenhausaufnahme oder zwischen Krankenhausaufnahme und Operation getroffen werden.

Der Verletzungsmechanismus wurde eingeteilt in Schuss-, Stichverletzungen und Tierbisse respektive Hundebisse. Verletzungen durch Glasscheiben, durch messerähnliche Gegenstände oder penetrierende Verletzungen durch Verkehrsunfälle wurden zu Verletzungen mit anderen scharfen Gegenständen zusammengefasst. Der Verletzungsmechanismus wurde zudem dem verletzten Gefäß (A. axillaris, A. brachialis, A. femoralis, A. poplitea) zugeordnet.

Begleitverletzungen wurden bei allen Patienten dokumentiert und in erster Linie Nerven-, Venenläsionen und Frakturen vermerkt. Verletzungen von anderen

Körperpartien, wie Thorax, Abdomen, Kopf/Hals, Genital und Weichteilverletzungen wurden ebenfalls erfasst und im Falle von Verletzungen mehrere Körperpartien als Mehrfachverletzung eingeordnet.

Diagnostische Verfahren wurden entweder der Gruppe der klinischen oder apparativen Untersuchungsmethoden zugeteilt. Gesondert erfasst wurden zudem die in der Notaufnahme- Diagnostik festgehaltenen Werte von GCS, Blutdruck, Puls und Temperatur sowie „hard signs“ (fehlender Pulsstatus, kalte Extremität, Gefäßschwirren, expandierendes/pulsierendes Hämatom) und „soft signs“ (Pulsabschwächung, Parästhesie/Parese, nicht expandierendes Hämatom). Die apparativen Untersuchungen beinhalteten die Angiographie, die Röntgendiagnostik, die Doppler-Sonographie, das Lodox und die Computertomographie.

Die Art der Gefäßverletzung wurde nach *Linder und Vollmar* (1965) eingeteilt, wobei bei diesem Patientenkollektiv nur auf die Einteilung der scharfen, direkten Gefäßverletzungen in vollständige und unvollständige Gefäßdurchtrennungen eingegangen wurde. Des Weiteren wurde zwischen thrombosierten Gefäßen, Gefäßdissektion, Gefäßen mit AV-Fistel und Aneurysma spurium differenziert. Die Verletzungsart wurde dem Operationsbericht oder den Befunden der Diagnostik entnommen.

Unter dem Merkmal Therapie wurden die prophylaktischen Faszienspaltungen, die frühen Amputationen und unter dem Merkmal operative Maßnahmen die primären und sekundären Gefäßversorgungen zusammengefasst. Bei den Gefäßversorgungen wurden direkte Gefäßnähte, End-zu-End Anastomosen, Ligaturen, Verwendung von autologen Gefäßprothesen mit Venenmaterial oder heterologen Kunststoffprothesen (PTFE) unterschieden. Ferner wurden Amputationen nach erfolglosen Primär- oder Sekundäreingriffen als späte Amputationen vermerkt. Auch hier wurden die Informationen den Operationsberichten entnommen.

Der klinische Verlauf der Patienten wurde einerseits durch die Liegezeit auf der ICU und die Gesamtliegezeit im Krankenhaus, andererseits durch die Komplikationsrate und die Letalität beschrieben. Bei den Komplikationen wurden Blutungen, die Gefäßthrombose, das Kompartmentsyndrom, lokale/systemische Infektionen, Nekrosen, neurologische Defizite und das akute Herzleiden differenziert.

3.5.1 Scoresysteme

In diesem Patientenkollektiv wurde als einziger kontinuierlich dokumentierter Score, der Glascow Coma Scale Score analysiert. Andere Scoresysteme, wie sie im Abschnitt 1.7.6 beschrieben werden, wurden in den Patientenakten nicht aufgeführt.

3.6 Statistische Methoden

Die erhobenen Daten wurden anonymisiert in eine elektronische Datenbank von Microsoft Excel 2007/2010 übertragen und mittels Excel und dem Programm IBM SPSS Statistics, Version 18.0/21.0 statistisch ausgewertet.

Parameter quantitativer Variablen wurden anhand von Mittelwert und Standardabweichung, Minimum und Maximum dargestellt und mittels Kolmogorov-Smirnov-Test bzw. Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung geprüft. Absolute Häufigkeiten und prozentuale Häufigkeiten wurden zudem bei allen Parametern mit ordinalem und nominalem Skalenniveau angegeben. Die Ergebnisse wurden tabellarisch oder mittels Diagramm optisch dargestellt.

Die Signifikanzbestimmung erfolgte für den Vergleich von Häufigkeiten durch den Chi-Quadrat Test bei unverbundenen Stichproben und bei kleinen Häufigkeiten durch den exakten Test nach Fisher. Beim Vergleich von Medianen wurde der Mann- Whitney-U-Test angewandt. Bei einem Signifikanzniveau von $\leq 0{,}05$ wurde eine statistische Signifikanz angenommen.

4 Ergebnisse

4.1 Demographische Daten

4.1.1 Patientenkollektiv

Im Zeitraum vom 1. März 2010 bis 1. September 2011 wurden insgesamt 128 Patienten mit penetrierenden arteriellen Gefäßverletzungen der Extremitäten im CHBAH dokumentiert und registriert. Von diesen 128 Patienten erfüllten 113 Patienten die Einschlusskriterien und wurden ausgewertet.

4.1.2 Geschlechterverteilung

Die Geschlechterverteilung des Patientenkollektivs zeigt einen deutlich höheren Anteil an männlichen Verletzten. Von 113 Patienten mit penetrierenden arteriellen Gefäßverletzungen der Extremitäten betrug der Anteil an männlichen Patienten 91% (n=103) im Vergleich zum Anteil an weiblichen Verletzten, der bei 9% (n=10) lag (Abb. 4).

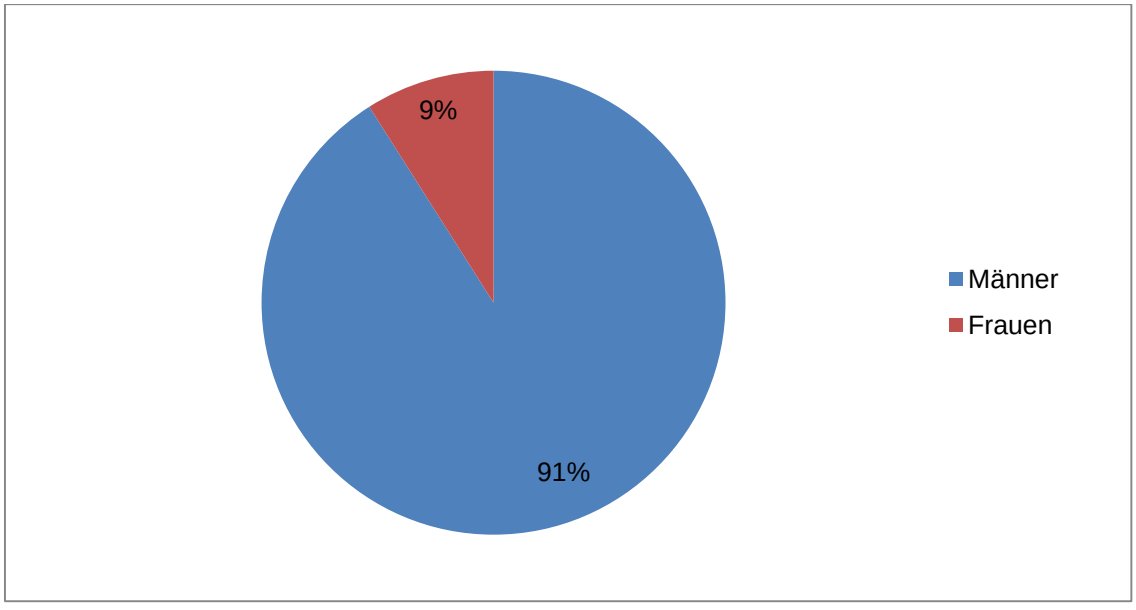

Abbildung 4: Geschlechterverteilung

4.1.3 Altersstrukturen

Das durchschnittliche Alter der Patienten betrug 25 Jahre (13-66 (+/-8.59). Die Altersverteilung ist der Abb. 5 zu entnehmen, welche einen deutlichen Peak an Verletzten im dritten Lebensjahrzent erkennen lässt.

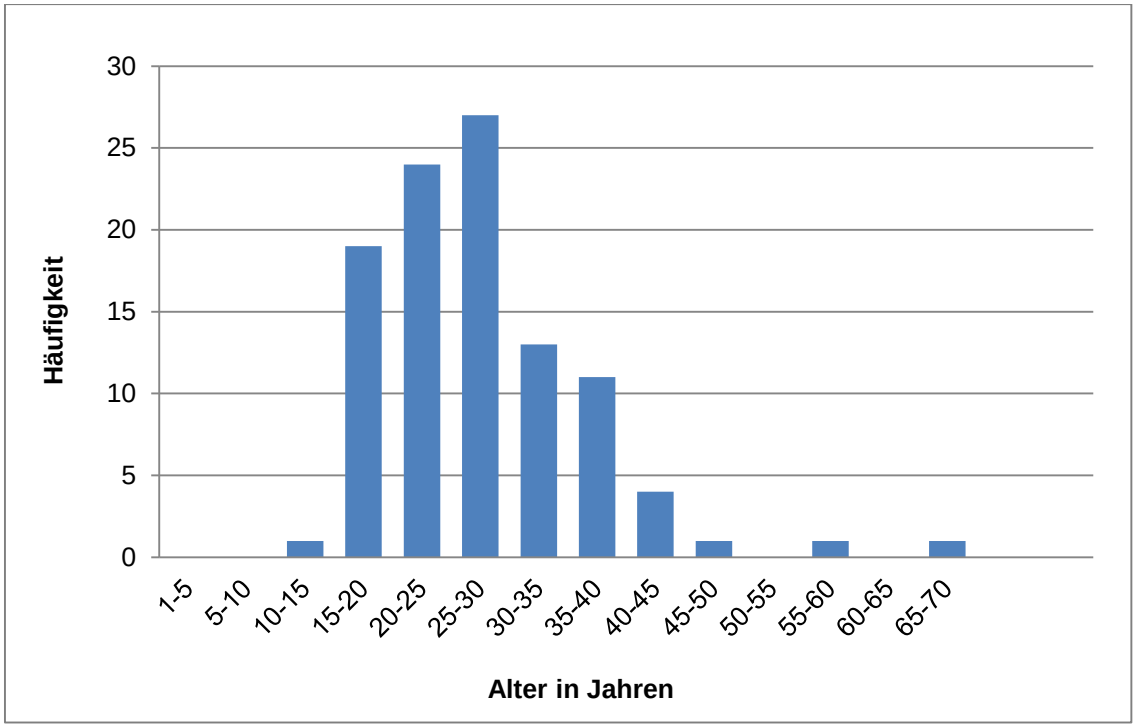

Abbildung 5: Altersverteilung

4.2 Verletzungslokalisation und deren Motive

4.2.1 Lokalisation der Gefäßverletzungen

Von den 113 Patienten, die arterielle Gefäßläsionen erlitten, wurden insgesamt 10 Verletzungen der A. axillaris, 47 der A. brachialis, 34 der A. femoralis (15 A. femoralis communis, 14 A. femoralis superficialis und 5 A. femoralis profunda) und 25 der A. poplitea verzeichnet. Hierbei wiesen 3 Patienten simultane Verletzungen der A. femoralis profunda und der A. femoralis superficialis auf.

4.2.2 Verletzungsmotive

Penetrierende arterielle Gefäßverletzungen entstanden hauptsächlich durch tätliche Auseinandersetzungen zwischen Individuen oder mit Personen des Polizeiwesens. Hierbei wurden die Verletzungen überwiegend durch Schuss- oder Stichwaffen zugefügt, jedoch ohne detailliertere Dokumentation über Waffentyp oder Projektilart. In der Mehrzahl war der Gebrauch von Handfeuerwaffen (Büchsen, Flinten) oder Faustfeuerwaffen (Pistolen, Revolver) üblich, Verletzungen durch Hochgeschwindigkeitswaffen wie vom Typ AK-47 waren selten. Weitere Stich- oder Schnittverletzungen waren durch messerähnliche Gegenstände, zerbrochene Glasscheiben, penetrierende Verletzungen bei Verkehrsunfällen oder durch Hundebisse bedingt (Abb. 6).

Die häufigste Ursache von penetrierenden arteriellen Gefäßverletzungen war mit 54% die Schussverletzung, gefolgt von Stichverletzungen (27%), Verletzungen durch andere scharfe Gegenstände (18%) und Hundebisse (2%). In Patientenzahlen ausgedrückt waren dies 61 Patienten mit Schussverletzungen, 30 mit Stichverletzungen, 20 mit Verletzungen verursacht durch scharfe Gegenstände und 2 mit Hundebissen.

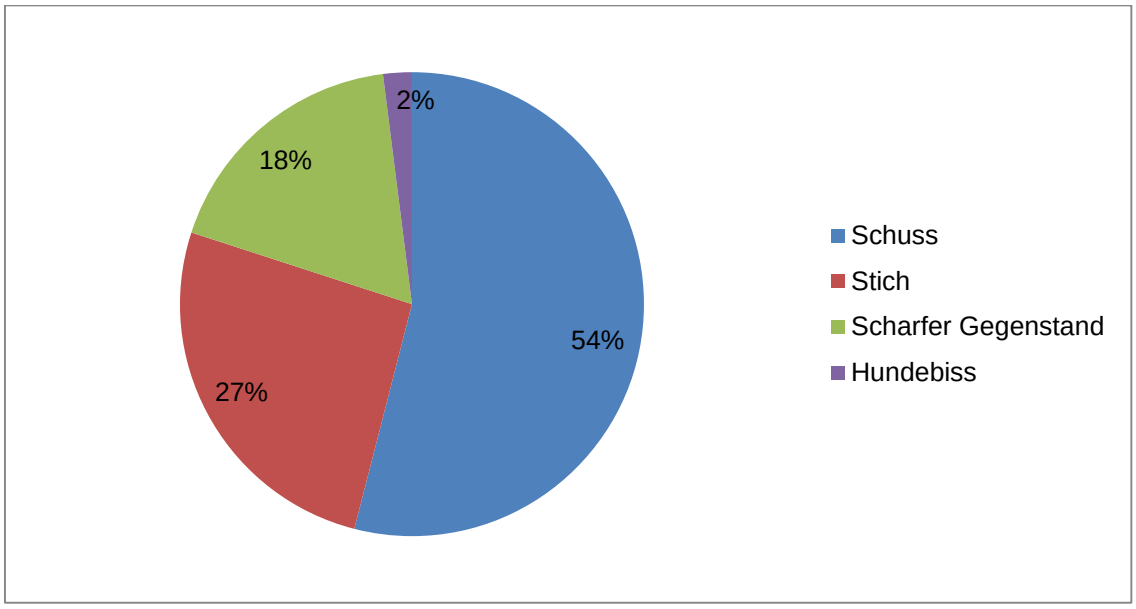

Abbildung 6: Verletzungsmuster

4.2.3 Gefäßverletzung im Zusammenhang zum Verletzungsmechanismus (Abb. 7)

Obere Extremität

Der häufigste Verletzungsmechanismus bei Verletzung der A. axillaris war mit 50 % die Stichverletzung gefolgt von der Schussverletzung mit 30% und der Verletzung mit scharfem Gegenstand mit 20%. Unter allen Verletzungen der A. axillaris gab es demzufolge 5 Patienten mit Stichverletzungen, 3 Patienten mit Schussverletzungen und 2 Patienten mit Verletzungen bedingt durch andere scharfe Gegenstände.

Verletzungen der A. brachialis wurden ebenfalls hauptsächlich durch Stichverletzungen (43%) gefolgt von Schussverletzungen (28%), Verletzungen mit scharfen Gegenständen (25%) und Hundebissen (4%) verursacht. Dies waren insgesamt 20 Patienten mit Stichverletzungen, 13 Patienten mit Schussverletzungen, 12 Patienten mit Verletzungen bedingt durch scharfe Gegenstände und 2 Patienten mit Hundebissen.

Untere Extremität

Verletzungen der A. femoralis waren zu 77% durch Schussverletzungen bedingt, gefolgt von 13% Stichverletzungen und 10% Verletzungen mit scharfen Gegenständen. Insgesamt waren dies 24 Schussverletzungen, 4 Stichverletzungen und 3 Verletzungen mit scharfen Gegenständen.

Verletzungen der A. poplitea wurden hauptsächlich durch Schussverletzungen verursacht (84%), gefolgt von Verletzungen mit scharfen Gegenständen (12%) und Stichverletzungen (4%). Insgesamt waren dies 21 Patienten mit Schussverletzungen, 3 Patienten mit Verletzungen durch scharfe Gegenstände und 1 Patient mit Stichverletzung.

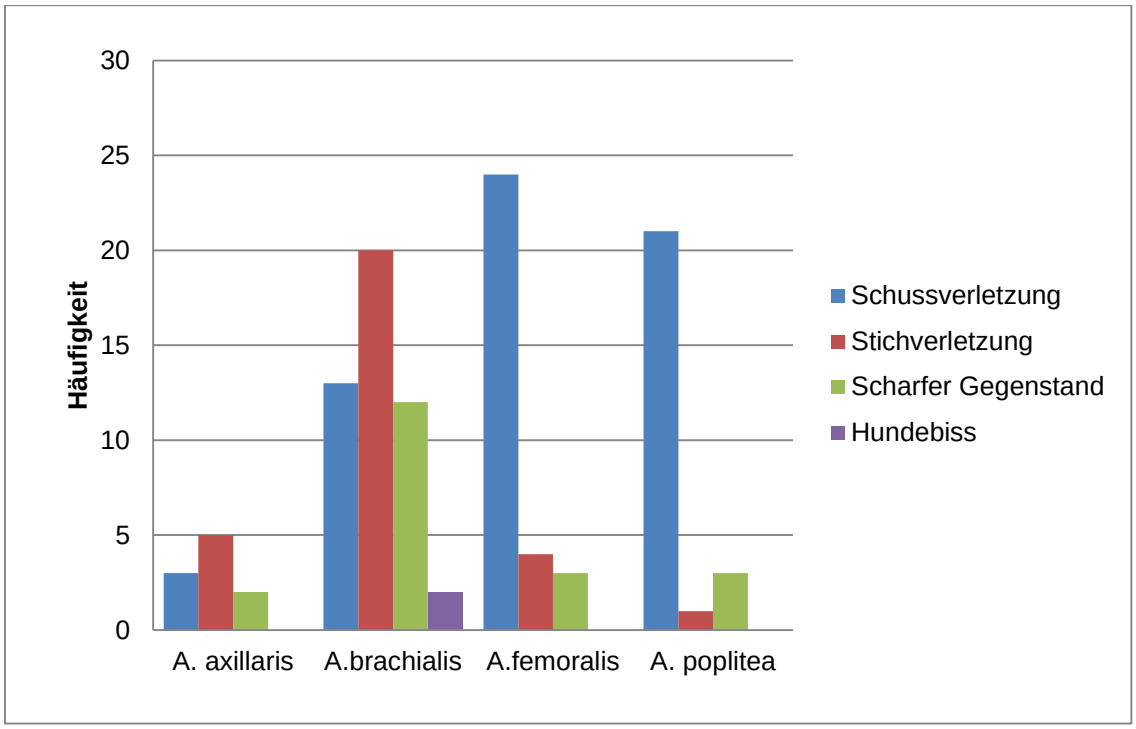

Abbildung 7: Verletzungsmechanismus

4.3 Begleitverletzungen (Tabelle 2)

Begleitverletzungen wurden bei 59 der 113 Patienten (52%) mit arteriellen Gefäßverletzungen verzeichnet, von denen viele Patienten Mehrfachverletzungen aufwiesen, weshalb die totale Summe der Begleitverletzungen bei 110 lag. Eine der häufigsten Begleitverletzungen waren mit 29% (n=32) Frakturen, worunter sich 15 (47%) Femur-,10 (31%)Tibia-, 6 (19%) Humerus- und eine (3%) Ulnafraktur befanden. Knöcherne Begleitverletzungen kamen zu 60% bei Verletzung der A. poplitea vor, gefolgt von 16% bei Verletzung der A. femoralis, 14% bei Verletzung der A. brachialis und schließlich 10% bei Verletzung der A. axillaris.

Ferner waren 30% (n=33) Nervenläsionen vorzufinden, worunter 20 (64%) N. medianus Verletzungen, 5 (16%) N. ulnaris Verletzungen, jeweils 2 (6%) Verletzungen von N. radialis und Plexus brachialis sowie 3 (10%) N. peroneus communis Verletzungen vorlagen. Eine Verletzung des N. musculocutaneus wurde ebenfalls verzeichnet. Insgesamt waren 47% der Patienten mit Verletzung der A. brachialis betroffen von Nervenläsionen, gefolgt von 12% Patienten mit Verletzung der A. poplitea und 10%

Patienten mit Verletzung der A. axillaris. Es wurden keine Nervenläsionen im Zusammenhang zu Verletzungen der A. femoralis dokumentiert.

Verletzungen des Abdomens traten bei 15% (n=16) auf und thorakale Verletzungen wurden bei 10% (n=11) vermerkt. Weitere 10% (n=11) der Traumata waren Weichteilverletzungen der Extremitäten. Sechs Prozent (n=6) betrafen Verletzungen von Kopf oder Hals und 1% (n=1) betrafen Verletzungen des Genitales. Begleitende Verletzungen der Venen lagen bei 31% (n=35) der Patienten mit arteriellen Gefäßverletzungen vor.

Begleitverletzung	**Anzahl**	**Prozent**
Knochen	31	29%
• Humerus	6	19%
• Ulna	1	3%
• Femur	15	47%
• Tibia	10	31%
Nerven	33	30%
• Pl. brachialis	2	6%
• N. radialis	2	6%
• N. ulnaris	5	16%
• N. medianus	20	64%
• N. peroneus c.	3	10%
Venen	35	31%
Abdomen	16	15%
Thorax	11	10%
Weichteil	11	10%
Kopf/Hals	6	6%
Genital	1	1%

Tabelle 2: Begleitverletzungen

4.4 Diagnostik

4.4.1 Klinische Untersuchung

4.4.1.1 „Hard signs“

Zu den „hard signs“ der klinischen Untersuchung von Patienten mit Gefäßverletzungen gehören: Kalte Extremität, Pulslosigkeit, Gefäßschwirren, expandierendes/-pulsierendes Hämatom und pulsierende Blutung.

Das am häufigsten erfasste „hard sign“ war in diesem Patientenkollektiv die Pulslosigkeit (48%), gefolgt von der kalten Extremität (35%), der pulsatilen Blutung (23%), dem expandierendem/pulsierendem Hämatom (6%) und dem Gefäßschwirren (1%). Einige der Patienten wiesen auch mehrere „ hard signs“ auf (Abb. 8).

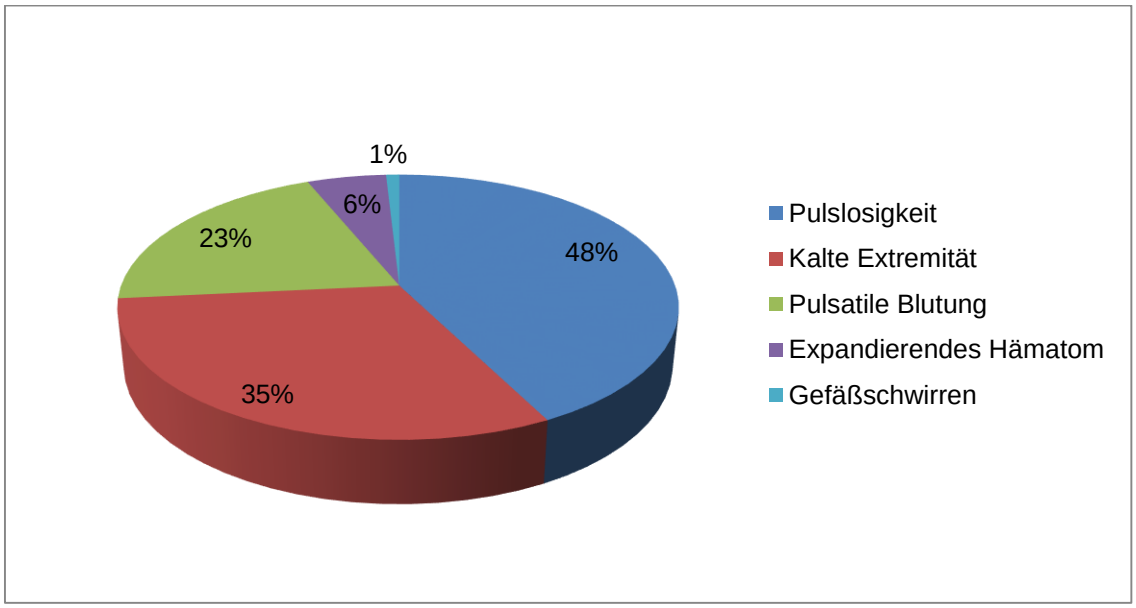

Abbildung 8: „Hard signs“

Obere Extremität

Von den 10 Verletzungen der A. axillaris wiesen 7 (70%) eine Pulslosigkeit, 2 (20%) eine kalte Extremität und 3 (30%) eine pulsatile Blutung auf.

Unter den 47 Verletzungen der A. brachialis war die Pulslosigkeit bei 19 Patienten (40%) vorzufinden. Darauf folgten 11 Patienten (23%) mit kalter Extremität und 12 Patienten (26%) mit pulsatiler Blutung. Ein expandierendes/ pulsierendes Hämatom war bei 2 Patienten vorzufinden (4%).

Untere Extremität

Von den 31 Patienten mit A. femoralis Verletzungen wiesen 14 (41%) eine Pulslosigkeit, 8 (24%) eine kalte Extremität, 6 (18%) pulsatile Blutungen, 3 (13%) ein expandierendes/pulsierendes Hämatom und ein (3%) Patient Gefäßschwirren auf.

Unter den 25 Patienten mit Verletzungen der A. poplitea war die kalte Extremität mit 18 Patienten (72%) das am häufigsten vorzufindende „hard sign“. Darauf folgten 14 Patienten (56%) mit Pulslosigkeit, 5 Patienten (20%) mit pulsatiler Blutung und 2 (8%) Patienten mit expandierendem/pulsierendem Hämatom (Abb. 9).

Im Vergleich zwischen oberer und unterer Extremität trat die kalte Extremität signifikant häufiger an der unteren Extremität auf (p= 0,008, X^2-Test).

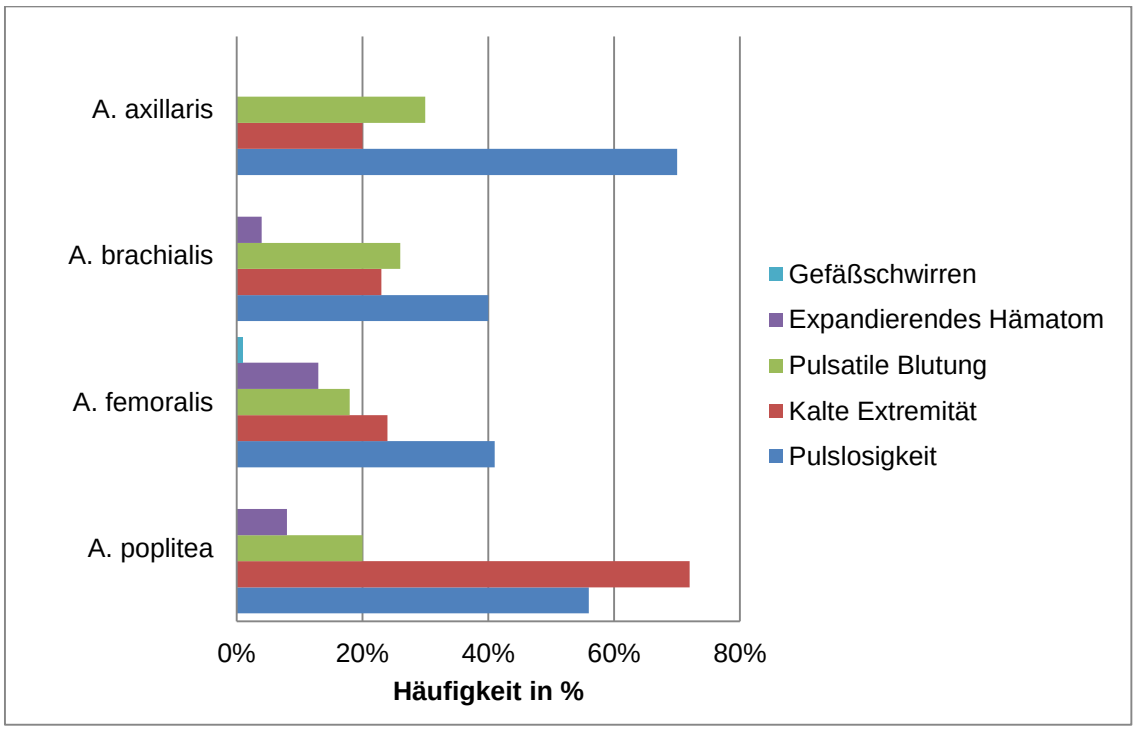

Abbildung 9: Gefäßverletzungen mit „hard signs“

4.4.1.2 „Soft signs“

Zu den „soft signs“ der klinischen Untersuchung von Patienten mit Gefäßverletzungen gehören: Nicht-expandierendes Hämatom, Parästhesie/ Parese und Pulsabschwächung.

Das „soft sign“, welches in diesem Patientenkollektiv am meisten erfasst wurde war mit 31% die Parästhesie/ Parese, gefolgt von 18% Pulsabschwächung und 12% nicht-expandierendem Hämatom. Einige der Patienten wiesen auch mehrere „ soft signs“ auf (Abb. 10).

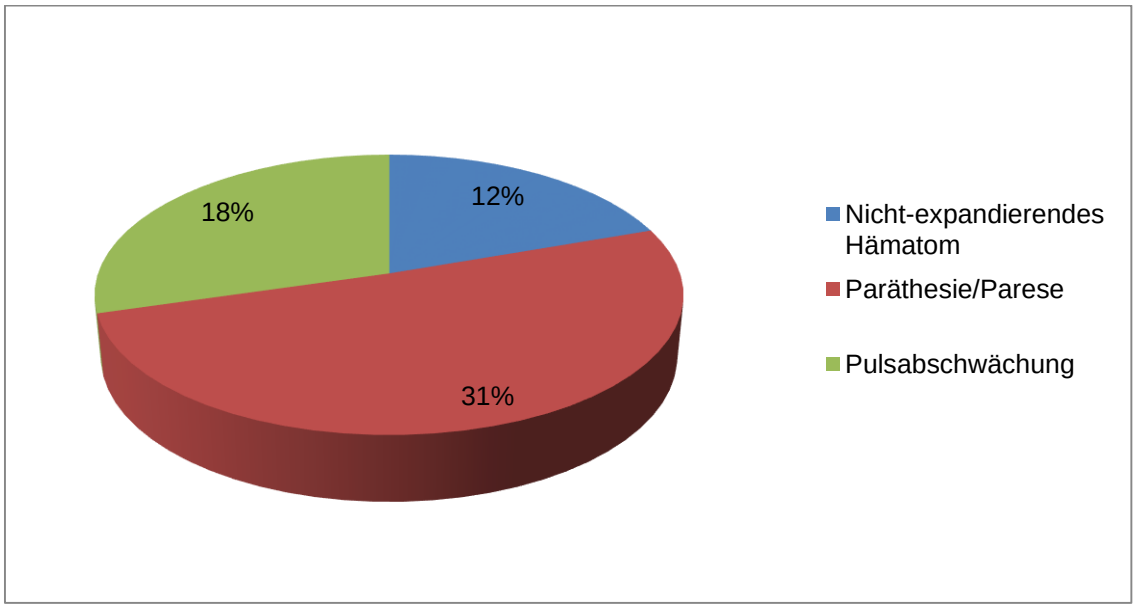

Abbildung 10: „Soft signs“

Obere Extremität

Von den 10 Patienten mit Verletzung der A. axillaris zeigten 60% (n=6) Parästhesien/Paresen, 20%(n=2) ein nicht- expandierendes Hämatom und 10%(n=1) eine Pulsabschwächung.

Die 47 Patienten mit Verletzung der A. brachialis wiesen zu 36% (n=17) ebenfalls am häufigsten Parästhesien/Paresen auf, gefolgt von 23% (n=11) Pulsabschwächung und 6% (n=3) nicht-expandierendem Hämatom.

Untere Extremität

Unter den 31 Patienten mit Verletzungen der A. femoralis waren die „soft signs“ mit einer ähnlichen Verteilung vorzufinden. Folglich wurden bei 19% (n=6) Parästhesien/Paresen, bei 23% (n=7) ein nicht- expandierendes Hämatom und bei 16% (n=5) Pulsabschwächung dokumentiert.

Bei den 25 Patienten mit Verletzung der A. poplitea wurde die Parästhesie mit 24% (n=6) am häufigsten erfasst, gefolgt von 12% (n=3) Pulsabschwächung und 4% (n=1) nicht-expandierendem Hämatom (Abb. 11).

Die Parästhesie trat an der oberen Extremität signifikant häufiger auf als an der unteren Extremität (p=0,029, X^2-Test).

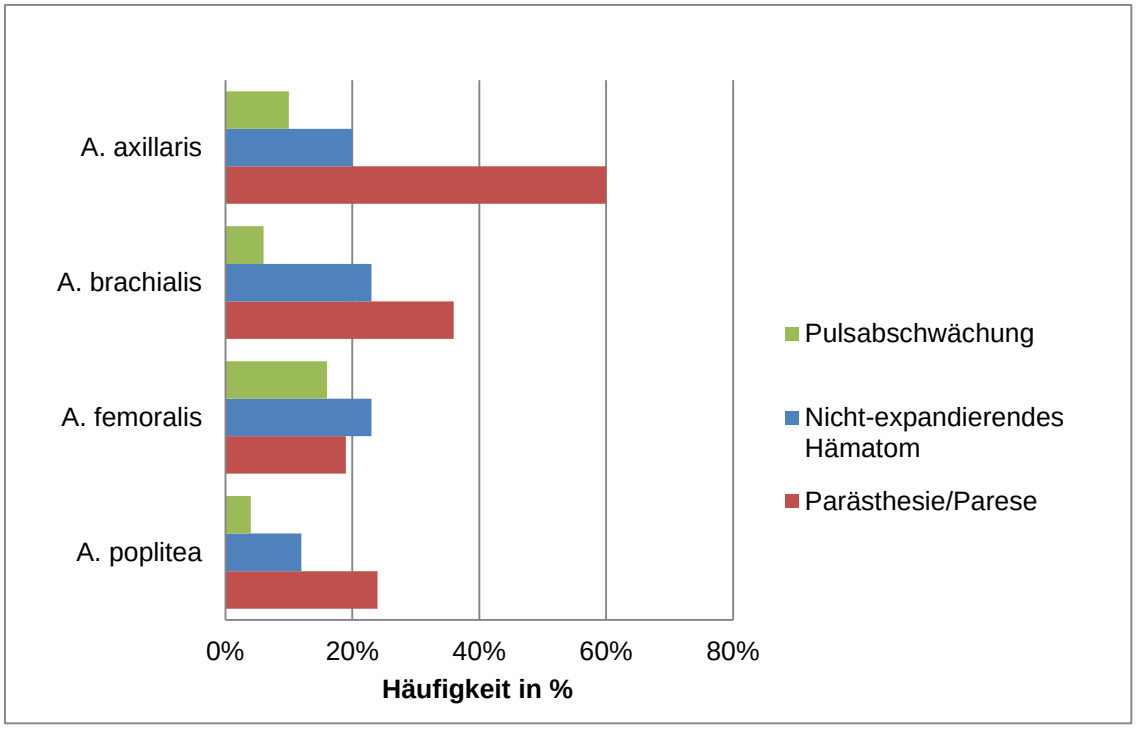

Abbildung 11: Gefäßverletzungen mit „soft signs“

4.4.2 GCS und Blutdruck

4.4.2.1 GCS

Die Glascow Coma Scale (GCS) wurde bei 78 Patienten in der Notaufnahme dokumentiert und zeigte einen Mittelwert von 14,2 Punkten (3-15 (+/- 2,519)). Der mediane GCS betrug 15, bei 5 Patienten wurde ein GCS von ≤ 8 Punkten erfasst. Wie in Abb. 12 zu erkennen ist, konnte ein Großteil der Patienten trotz penetrierender arterieller Gefäßverletzung einer Extremität die volle Punktzahl des GCS Scores erreichen und somit gezielt visuell, verbal und motorisch reagieren.

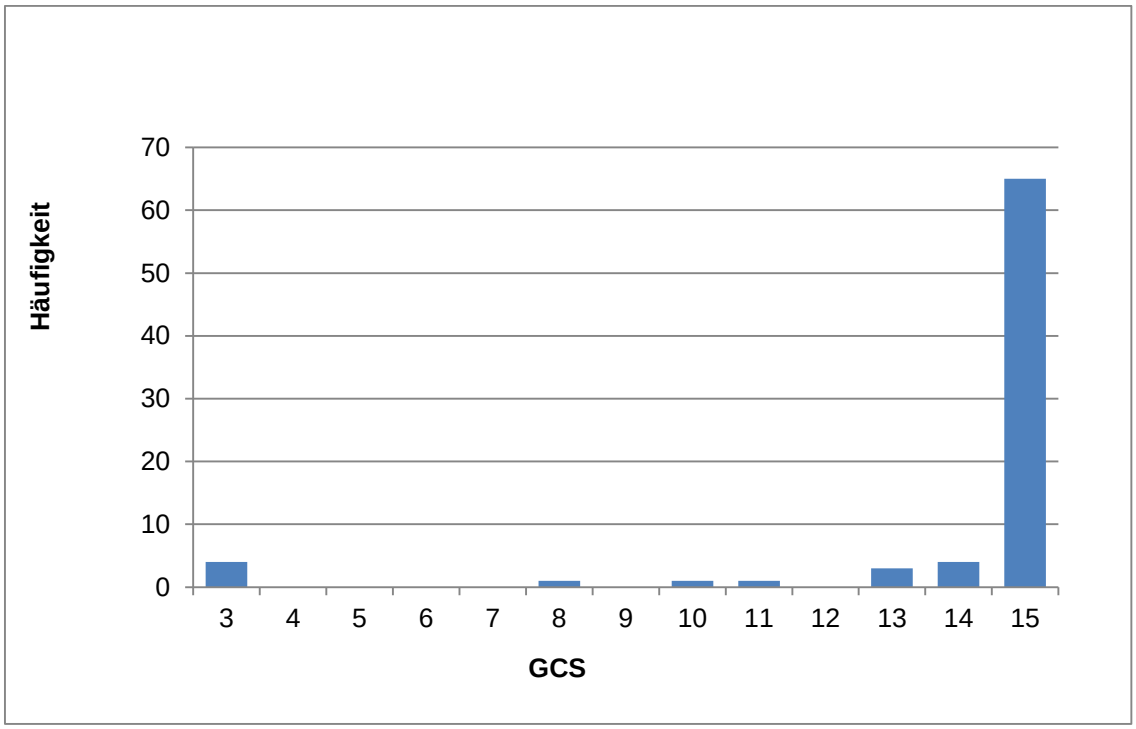

Abbildung 12: Glascow Coma Scale-Verteilung

4.4.2.2 Blutdruck

Der bei Aufnahme erhobene systolische Blutdruckwert von Patienten mit penetrierenden arteriellen Verletzungen betrug durchschnittlich 108,04 mmHg (50-185 (+/-28,475)), von insgesamt 84 dokumentierten Messwerten. Die Verteilung der

Blutdruckwerte entspricht einer Normalverteilung nach Shapiro-Wilk und Kolmogorov-Smirnov und kann den Abb. 13 und 14 sowie Tab. 3 entnommen werden.

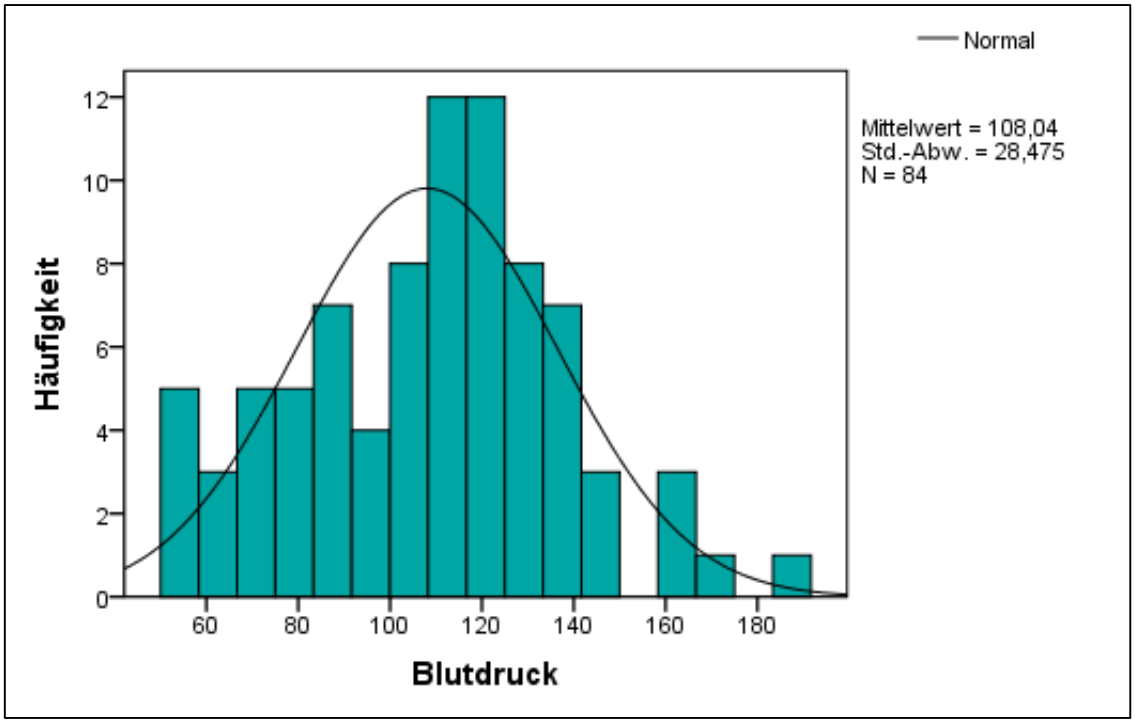

Abbildung 13: Histogramm der Blutdruckwerte

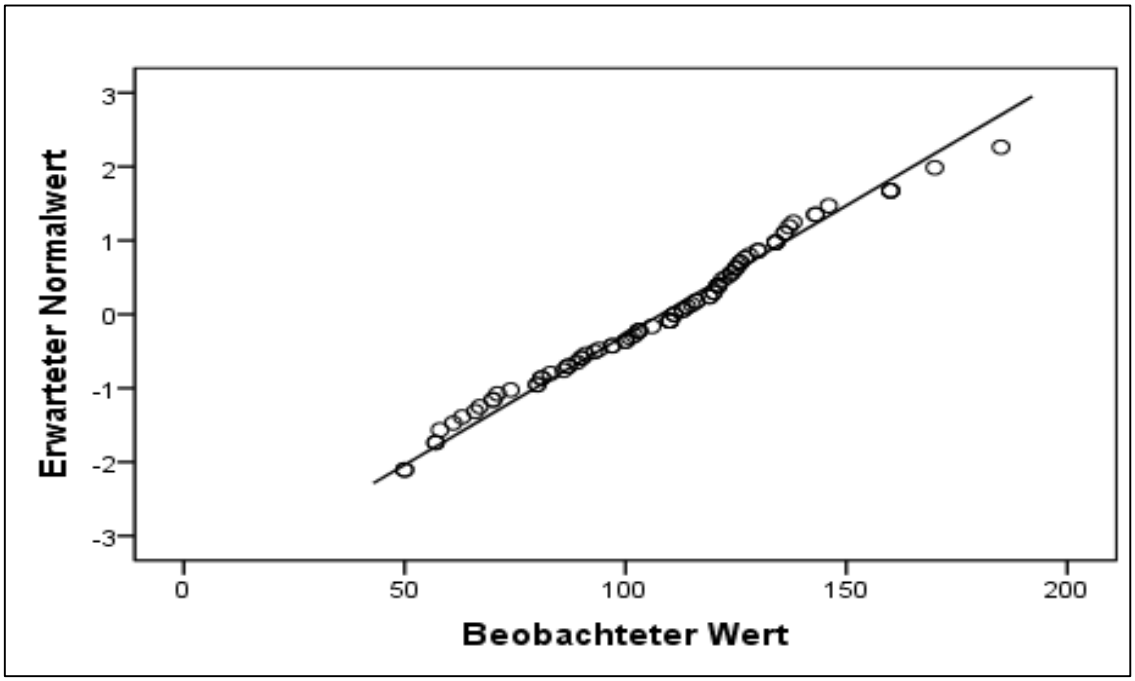

Abbildung 14: Q-Q-Diagramm von Blutdruck

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Blutdruck	,087	84	,170	,984	84	,370

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Tabelle 3: Tests auf Normalverteilung der Blutdruckwerte

Die Angaben in Tab. 4 beziehen sich auf die Häufigkeit der gemessenen systolischen Blutdruckwerte unter 90 mmHg, zwischen 90 und 100 mmHg und über 100 mmHg bei Patienten mit einer Verletzung der oberen oder unteren Extremität. Systolische Blutdruckwerte über 100 mmHg konnten in 51 Fällen (61%) dokumentiert werden, wobei die Verteilung von Patienten mit Gefäßverletzungen der oberen und unteren Extremität mit 31% und 30% fast identisch war. Bei 11% (n=10) der Patienten konnten Werte ≥90mmHg und ≤100mmHg gemessen werden. Patienten, die bei Aufnahme in der Notaufnahme systolische Blutdruckwerte unter 90 mmHg aufwiesen, wurden als hypotensiv eingeteilt. Unter den Patienten mit arteriellen Gefäßverletzungen wiesen 28% (n=24) hypotensive systolische Blutdruckwerte auf, 13% mit arteriellen Verletzungen an der oberen Extremität und 15% mit arteriellen Verletzungen an der unteren Extremität. Der durchschnittliche systolische Blutdruckwert lag bei diesen Patienten bei 70,42 mmHg (50-89 (+/- 12,614)). Sechzehn dieser hypotensiven Patienten befanden sich ebenfalls in der Gruppe der 59 Patienten mit Begleitverletzungen, so dass schlussfolgernd ca. jeder dritte Patient (27%) mit Mehrfachverletzungen hypotensive systolische Blutdrücke aufwies (Abb. 15). Die weiteren 10 Patienten mit systolischer Hypotension waren der Gruppe der 54 singulären arteriellen Gefäßverletzungen zuzuordnen, so dass in dieser Gruppe ca. jeder fünfte Patient (19%) mit singulärer arterieller Gefäßverletzung hypotensive systolische Blutdrucke zeigte.

	<90mmHg n (%)	≥90-≤100mmHg n (%)	>100mmHg n (%)	Gesamt n (%)
Obere Extremität	11 (13%)	8 (10%)	26 (31%)	45 (54%)
Untere Extremität	13 (15%)	1 (1%)	25 (30%)	39 (30%)
Alle Patienten	24 (28%)	9 (11%)	51 (61%)	84 (100%)

Tabelle 4: Systolische Blutdruckwerte <90mmHg, ≥90mmHg - ≤100mmHg und >100mmHg bei Patienten mit Gefäßverletzung an der oberen bzw. unteren Extremität

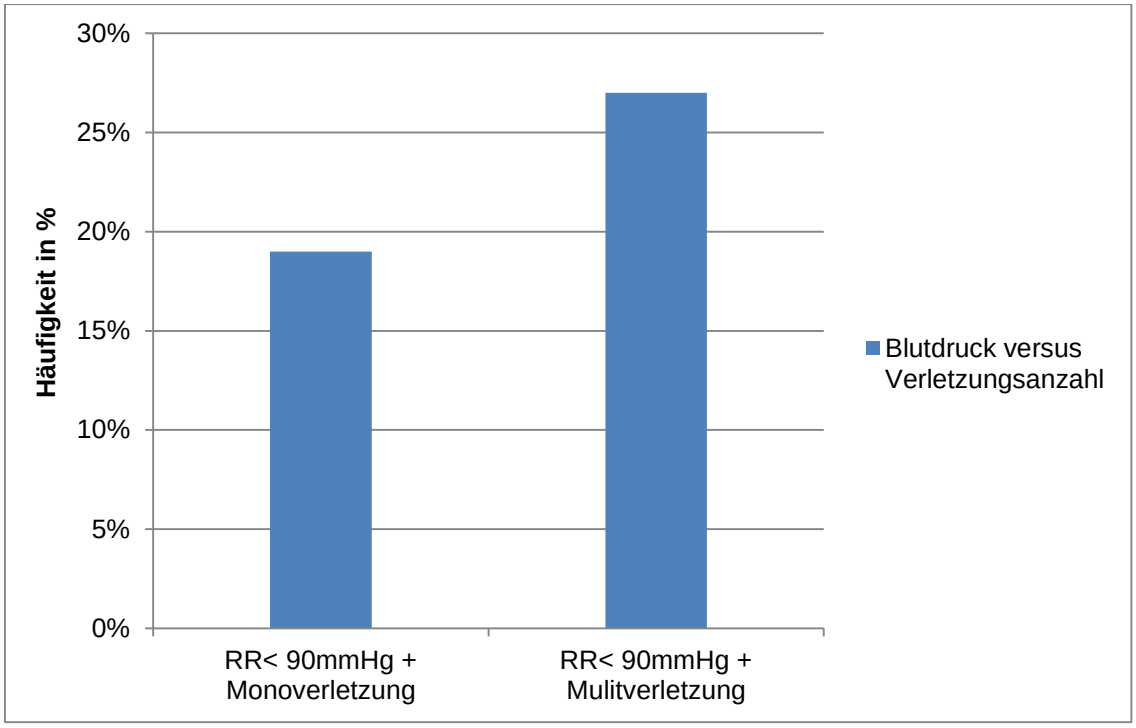

Abbildung15: Blutdruck <90mmHg bei Monoverletzung und Multiverletzung

4.4.3 Apparative Diagnostik

In diesem Patientenkollektiv wurden alle durchgeführten diagnostischen Verfahren evaluiert und sind in Abb. 16 dargestellt. Die häufigste präoperative apparative Untersuchung zur Diagnostik von Gefäßverletzungen war die CT- Angiographie mit 35% (n=42). Weitere diagnostische Verfahren waren die Doppler-Sonographie mit 19% (n=25), die konventionelle Angiographie mit 3% (n=3) und die Lodox-Angiographie mit 1% (n=1). Bei 13 Patienten wurde nach einer Dopplersonographie eine CT-

Angiographie und bei 2 Patienten eine konventionelle Angiographie zur weiteren Gefäßevaluation durchgeführt. Die Röntgendiagnostik wurde in 28% (n=37) ausgeführt und diente in 19% der Darstellung des Thorax und in 17% der Darstellung der Extremität. Ferner wurde das Lodox zu 9 % (n=12) angewandt und zu 2 % (n=3) wurde eine Computertomographie durchgeführt.

Intra- und postoperative Diagnostik diente der Qualitätskontrolle und wurde mit 75% (n=18) hauptsächlich durch die Doppler Sonographie durchgeführt. Eine CT-Angiographie wurde in 17% (n=4) ausgeführt, eine konventionelle Angiographie wurde intraoperativ in einem Fall (4%) durchgeführt und ein Patient (4%) erhielt postoperativ eine Röntgendiagnostik.

Zwanzig Patienten wurden erfasst, welche laut Patientendokumentation keine apparative Diagnostik erhalten hatten.

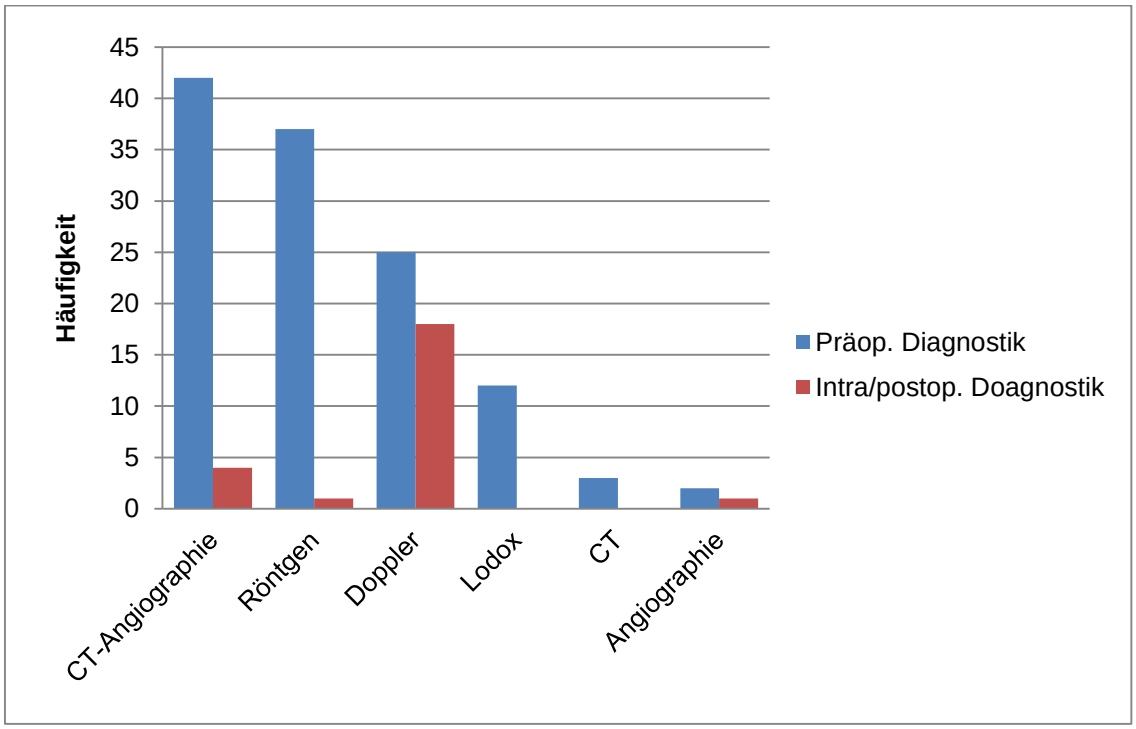

Abbildung 16: Anzahl durchgeführter apparativer Diagnostik prä- und intra/postoperativ

4.5 Therapie

Alle 113 Patienten mit penetrierenden arteriellen Gefäßverletzungen, die sich in einem hämodynamisch stabilen Zustand befanden, wurden operativ versorgt. Hiervon konnten 76 Patienten innerhalb der ersten 24h operiert werden, 37 aufgrund ihres klinisch instabilen Zustandes erst später. Die Dauer zwischen Ankunft in der Notaufnahme und Operationsbeginn lag bei diesen 76 Patienten im Mittel bei 5h3min. Bei 90% der Fälle wurde zuerst die arterielle Gefäßverletzung operativ versorgt. In 10% der Fälle bestand eine komplizierte Begleitverletzung, die der operativen Versorgung der arteriellen Gefäßverletzung vorausging. Dies waren konkret 7 Patienten mit komplizierten Frakturen, 3 Patienten mit schwerer abdomineller Verletzung und einem Patienten mit einer Stichverletzung am Hals, die den Vorrang vor der operativen Versorgung der Gefäßverletzung hatten. Konsequenz dieser bewusst verschobenen Gefäßversorgung war in 45% (n=5) die Amputation der Extremität. Patienten wiederum mit primärer Gefäßversorgung und anschließender beispielsweise Frakturversorgung wurden in 9 Fällen dokumentiert und nur 1 Patient unterlief einer Amputation (11%, p=0,1, Fishers Exact Test).

Bei 16 Patienten fehlte die Dokumentation über die Frakturversorgung.

4.5.1 Faszienspaltung

Primäre Faszienspaltungen zur Prophylaxe eines Kompartmentsyndroms wurden bei 47 von 113 Patienten (42%) durchgeführt, die Verletzungen an arteriellen Gefäßen vorwiesen. Abb. 17 kann man entnehmen, dass 2 (20%) Faszienspaltungen bei Patienten mit Verletzung der A. axillaris und 20 (43%) bei Patienten mit Verletzung der A. brachialis durchgeführt wurden. Bei weiteren 8 (26%) Patienten mit Verletzung der A. femoralis und 17 (68%) Patienten mit Verletzung der A. poplitea erfolgte eine primäre Fasziotomie.

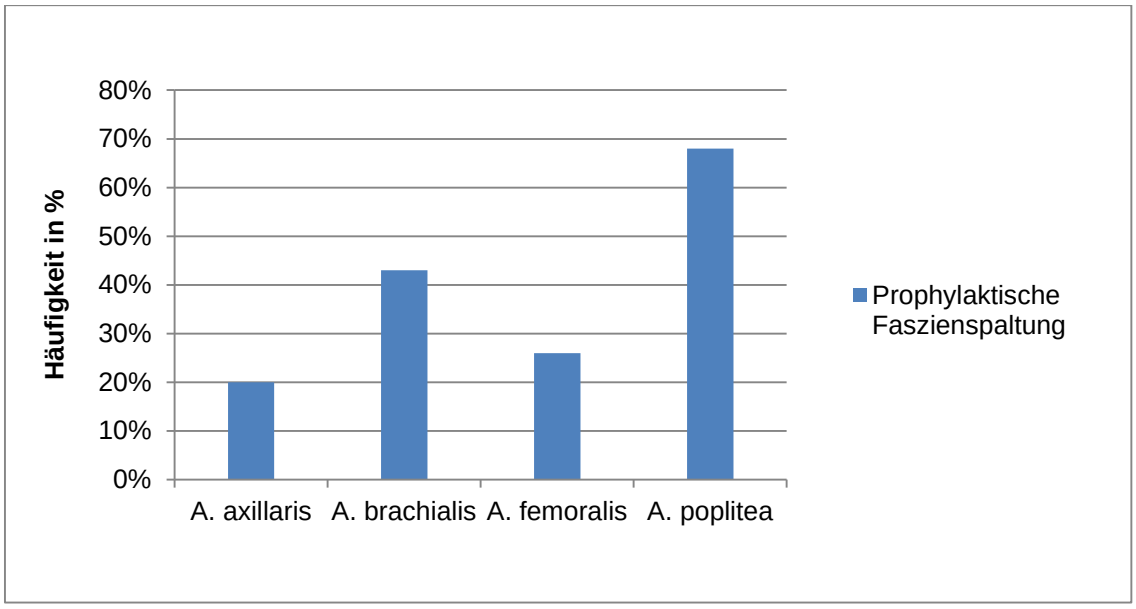

Abbildung 17: Rate an prophylaktischen Faszienspaltungen

Patienten mit diagnostiziertem Kompartmentsyndrom wurden in 19 Fällen dokumentiert und es erfolgte zu 95% eine therapeutische Faszienspaltung. Dies waren 4 Patienten mit Verletzung der A. brachialis, 9 Patienten mit Verletzung der A. femoralis und 5 Patienten mit Verletzung der A. poplitea. Drei dieser Patienten entwickelten erst im klinischen Verlauf ein Kompartmentsyndrom. Es wurde ein Patient mit Verletzung der A. poplitea und Kompartmentsyndrom dokumentiert bei dem keine Faszienspaltung durchgeführt wurde, weil er einer frühen Amputation des Oberschenkels unterlief. Es wurde kein Patient mit Verletzung der A. axillaris und Kompartmentsyndrom verzeichnet.

Insgesamt wurden somit 66 (58%) Fasziotomien durchgeführt.

4.5.2 Frühe Amputation

Die Indikation für eine frühe Amputation war gegeben, wenn eine arterielle Gefäßverletzung zu einem hohen Blutverlust mit Kreislaufinstabilität und Lebensgefahr für den Patienten führte. In diesem Zusammenhang galt die Regel „life before limb“ und das verletzte Gefäß wurde ligiert. Zudem wurden Amputationen vollzogen, wenn aufgrund der penetrierenden arteriellen Verletzung langanhaltend keine Perfusion der

Extremität vorlag, die tolerable Ischämiezeit überschritten war und bereits Nekrosen zu vermerken waren. Verletzungen, die eine Extremität in einem Ausmaß mutiliert hatten, dass eine Rekonstruktion aus gefäßchirurgischer Sicht oder interdisziplinärer Sicht nicht möglich machte, führten ebenfalls zu einer Amputation.

In diesem Patientenkollektiv wurden insgesamt 7 Patienten verzeichnet bei denen eine frühe Extremitätenamputation erfolgte. Fünf dieser Patienten, worunter eine Person mit Verletzung der A. femoralis und 4 Personen mit Verletzung der A. poplitea dokumentiert wurden, erfuhren komplizierte Verletzungen an den Extremitäten und in 2 Fällen von Verletzungen der A. poplitea bestanden prolongierte Ischämiezeiten >6h. Eine Revaskularisation konnte bei diesen 5 Patienten nicht mehr erreicht werden. Bei einem weiteren Patienten mit Verletzung der A. brachialis erfolgte die Oberarmamputation angesichts ausgedehnter Weichteilnekrosen. Einem weiteren Patienten mit hohem Blutverlust aus einer Verletzung der A. poplitea musste als lebensrettende Maßnahme das Gefäß unterbunden und der Unterschenkel amputiert werden.

4.5.3 Operativer Gefäßbefund

Das betroffene Gefäß der penetrierenden Verletzung wurde intraoperativ freigelegt, um den Gefäßbefund zu identifizieren. Unter den 113 Patienten zeigten sich arterielle Gefäßbefunde mit vollständiger Durchtrennung, unvollständiger Durchtrennung und Dissektionen. Zusätzlich wurden bereits thrombosierte Gefäße, Gefäße mit arteriovenöser Fistel und Aneurysmabildung verzeichnet. Eine Zusammenstellung der Ergebnisse ist in Tab. 5 dargestellt.

Obere Extremität

Unter den 10 Patienten mit Verletzung der A. axillaris wurden jeweils 5 (50%) vollständige und 4 (40%) unvollständige Gefäßdurchtrennungen, sowie 3 (30%) bereits thrombosierte Gefäße dokumentiert.

Die 47 Verletzungen der A. brachialis zeigten im operativen Gefäßbefund 28 Fälle (60%) mit vollständiger Gefäßdurchtrennung, 11 Fälle (23%) mit unvollständiger Gefäßdurchtrennung und 4 (9%) Fälle mit Dissektion. Drei (6%) Gefäße waren bereits

thrombosiert und es wurden jeweils ein Gefäß mit AV-Fistel und ein Gefäß mit Aneurysma spurium vermerkt.

Untere Extremität

Unter den 34 Verletzungen der A. femoralis wurden 17 (50%) vollständige Gefäßdurchtrennungen, 11 (32%) unvollständige Gefäßdurchtrennungen und 2 (6%) Dissektionen dokumentiert. Weitere 3 Gefäße waren thrombosiert, bei 2 (6%) Gefäßen hatte sich eine AV- Fistel und bei 2 Gefäßen ein Aneurysma spurium gebildet.

Unter den 25 A. poplitea Verletzungen zeigte sich mit 19 Fällen (76%) am häufigsten der Gefäßbefund der vollständigen Gefäßdurchtrennung, gefolgt von 5 Fällen (20%) mit unvollständiger Gefäßdurchtrennung sowie einem thrombosierten Gefäß.

Gefäßbefund	**A. axillaris**	**A. brachialis**	**A. femoralis**	**A. poplitea**	**Gesamtzahl Verletzungen**
	n= 10 n (%)	**n = 47 n(%)**	**n= 34 n(%)**	**n= 25 n(%)**	**n= 116 n(%)**
Thrombosierung	3 (30%)	3 (6%)	3 (9%)	1 (4%)	10 (9%)
Volls. Gefäßd.	5 (50%)	28 (60%)	17 (50%)	19 (76%)	69 (59%)
Unvoll. Gefäßd.	5 (50%)	11 (23%)	11 (32%)	5 (20%)	32 (28%)
Dissektion	0 (0%)	4 (9%)	2 (6%)	0 (0%)	6 (5%)
AV-Fistel	0 (0%)	1 (2%)	2 (6%)	0 (0%)	3 (3%)
A. spurium	0 (0%)	1 (2%)	2 (6%)	0 (0%)	3 (3%)

Tabelle 5: Operativer Gefäßbefund
Volls. Gefäßd. = vollständige Gefäßdurchtrennung, Unvollst. Gefäßd. = unvollständige Gefäßdurchtrennung, AV-Fistel= arteriovenöse Fistel, A. spurium= Aneurysma spurium

4.5.4 Operative Gefäßversorgung und deren Ergebnisse

Die operativen Techniken zur Behandlung von Gefäßläsionen waren zum einen die Gefäßrekonstruktion durch die Insertion eines Interponates, sei es autolog mit Verwendung einer körpereigenen Vene oder heterolog mit dem Gebrauch einer Gefäßprothese, z.B. PTFE (Polytetrafluorethylen). Zum anderen bestand die Option der

direkten Gefäßnaht oder der End-zu-End-Anastomose, wenn diese zu keiner Lumenverkleinerung oder erhöhten Zugspannung am Gefäß führten. Stents wurden zur Gefäßstabiliserung verwendet im Falle von möglichen Stenosierungen nach angioplastischen Interventionen. Der Gebrauch von Shunts diente bei Patienten mit schwerwiegenden Begleitverletzungen oder hämodynamischer Instabilität zur Überbrückung des verletzten Gefäßareals und Verkürzung der Ischämiezeit bis zur nächstmöglichen definitiven Gefäßrekonstruktion.

Frühe Amputationen wurden nicht zu den Gefäßrekonstruktionen gezählt und aus den folgenden Rechnungen ausgeschlossen.

4.5.4.1 Primäre Gefäßversorgung

Obere Extremität

Bei Verletzungen der A. axillaris erfolgte die Versorgung in 5 Fällen (50%) mittels Veneninterposition und in jeweils 2 Fällen (20%) mittels PTFE- Prothese oder End-zu-End-Anastomose. Bei einem Patienten (10%) mit unvollständiger Gefäßdurchtrennung wurde zur Stabilisierung der Gefäßwand ein Stent gelegt.

In der Gefäßrekonstruktion von Verletzungen der A. brachialis wurde bei 28 von 46 Patienten (61%) am häufigsten das Verfahren der Veneninterposition angewandt, gefolgt von 15 (33%) End- zu-End-Anastomosen und einer (2%) direkten Gefäßnaht. Zwei Patienten wurde provisorisch ein Shunt gelegt, welcher in einer Zweit-OP durch ein Veneninterponat ersetzt wurde. Einer dieser Patienten hatte zusätzlich zu der Gefäßverletzung eine schwerwiegende abdominelle Begleitverletzung, die an erster Stelle versorgt werden musste. Der andere Patient zeigte sich mit einem systolischen Blutdruck von nur 70 mmHg und keinen tastbaren peripheren Pulsen als hämodynamisch instabil, so dass vorerst eine Magensonde als Shunt gelegt wurde, um zu einem späteren Zeitpunkt eine definitive Gefäßrekonstruktion durchzuführen.

Untere Extremität

Die Versorgung von Verletzungen der A. femoralis erfolgte in 12 von 33 Fällen (36 %) mittels autologem venösen Gefäßersatz und ebenso in 12 Fällen (36%) mittels PTFE Prothese. Einem Patienten mit PTFE Prothese wurde zur zusätzlichen Gefäßstabilisation

ein Stent gelegt. Drei Verletzungen (9%) wurden mit einer End-zu-End-Anastomose und zwei (6 %) mit einer direkten Gefäßnaht versorgt. Alle Verletzungen der A. femoralis profunda (n=5) wurden ligiert. Ein Patient mit vollständiger Gefäßdurchtrennung, abdomineller Begleitverletzung und einem Blutdruck von 50/30 mmHg wurde aufgrund seines hämodynamisch kritischen Zustandes von einem kleineren Kreiskrankenhaus in das CHBAH verlegt. Hier wurde intraoperativ ein Shunt gelegt, um in einer Zweitoperation eine definitive Gefäßrekonstruktion mit einem venösen Gefäßinterponat durchzuführen und die abdominelle Verletzung zu versorgen.

Die häufigste Therapie von Verletzungen der A. poplitea war in 17 von 20 Fällen (85%) die Veneninterposition, gefolgt von zwei (10%) End-zu-End-Anastomosen und einer (5%) PTFE-Prothese. Einem weiteren Patienten mit A. poplitea Läsion wurde ein Bypass zwischen A. femoralis und A. poplitea gelegt.

Die Anzahl der angewandten Therapieverfahren von Gefäßverletzungen der oberen und unteren Extremität sind in Abb. 18 dargestellt.

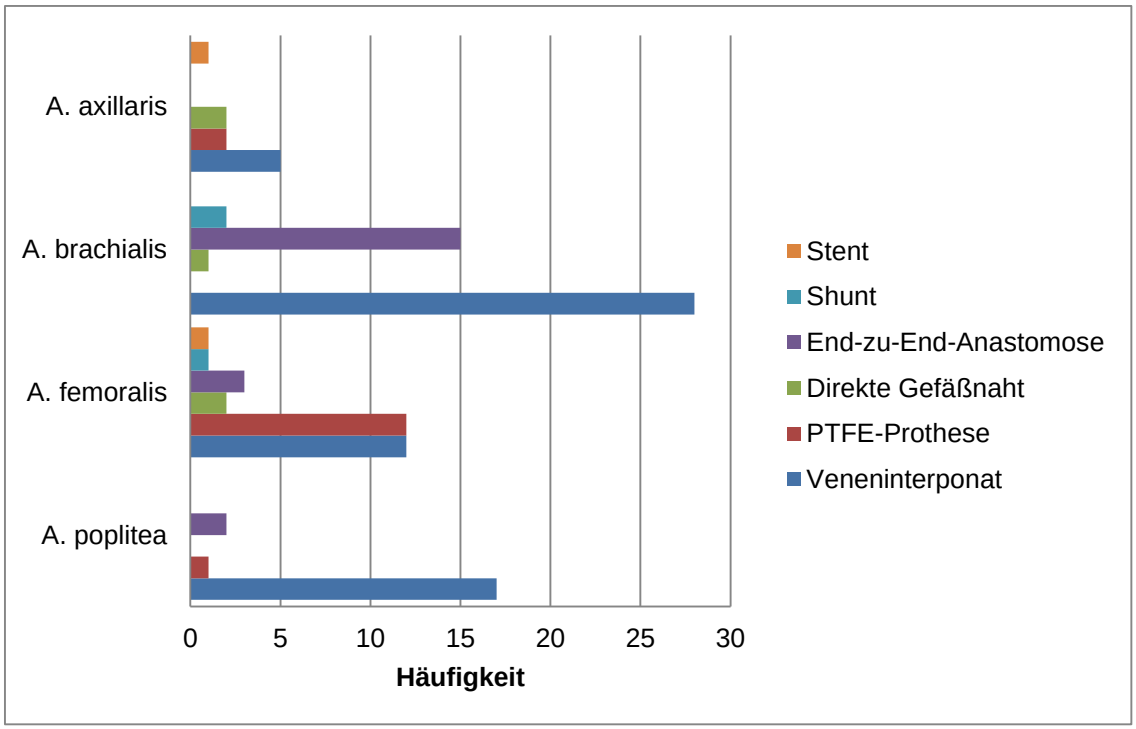

Abbildung 18: Anzahl und Verteilung primär durchgeführter Gefäßversorgungen

4.5.4.2 Ergebnisse der primären Gefäßversorgung

Obere Extremität

Penetrierende Verletzungen der A. axillaris, welche mit Gefäßnaht oder Protheseninterponat behandelt wurden, zeigten zu keiner Zeit Komplikationen und erforderten keinen Sekundäreingriff. Es konnten somit alle 10 Patienten (100%) mit Verletzung der A. axillaris erfolgreich in der Erstoperation versorgt werden.

Von den 46 operierten Patienten mit Verletzung der A. brachialis, konnten 40 Patienten (87%) in der Primärversorgung erfolgreich therapiert werden. Bei sechs Patienten (13%) musste aufgrund von Komplikationen nach der Erstversorgung eine Reexploration erfolgen. Ursächlich waren hierfür postoperative Blutungen (50%) oder Thrombosierungen (50%) der chirurgisch versorgten Gefäßabschnitte. Nachblutungen kamen bei 2 Patienten mit zuvor eingesetztem V. basilica Interponat und bei einem Patienten mit zuvor eingesetztem V. saphena Interponat vor. Thrombosierungen entwickelten sich in den V. saphena Interponaten von 2 Patienten sowie in einer als Shunt fungierenden Magensonde eines anderen Patienten.

Untere Extremität

Insgesamt konnte ein erfolgreiches Behandlungsergebnis nach Primärversorgung bei 24 von 30 operierten Patienten (80%) mit Verletzung der A. femoralis erzielt werden. In sechs Fällen (20%) wurden postoperative Komplikationen vermerkt, welche mittels Zweitoperation versorgt wurden. Das dominanteste Problem stellte hierbei die Reperfusion der betroffenen Extremität respektive Weichteilnekrosen dar, welche in 5 Fällen dokumentiert wurde. Dies waren je 2 Patienten mit V. saphena Interponat und 2 Patienten mit PTFE-Prothese. Ein weiterer Patient, der zuvor mit einer Gefäßnaht versorgt wurde, entwickelte postoperativ primär Blutungen und sekundär eine Gefäßthrombose. Angesichts ausgeprägter Weichteilnekrosen erfolgte bei diesem Patienten eine Revision. Postoperative Blutungen bestanden zudem bei einem Patienten mit V. saphena Interponat, welcher ebenfalls eine Reexploration benötigte. Insgesamt stellte die postoperative Blutung in 2 Fällen die Ursache für eine Revision dar.

Von 20 operierten Patienten mit einer penetrierenden Verletzung der A. poplitea konnten 90% (n=18) in der Primärversorgung effektiv therapiert werden. In 2 Fällen zeigten sich Komplikationen, welche mittels Sekundäreingriff revidiert werden

mussten. Dies waren jeweils 2 Patienten mit fehlender Reperfusion der Extremität nach zuvor eingesetztem V. saphena Interponat.

Zusammenfassend sind in der Abb. 19 die Ergebnisse der erfolgreichen Primärversorgung der Gefäßrekonstruktionen abzulesen, welche bei A. axillaris Verletzungen bei 100% lag, bei A. brachialis Verletzungen bei 87%, bei A. femoralis Verletzungen bei 80% und bei A. poplitea Verletzung bei 90%. In der Abb. 20 sind die Anzahl der Komplikationen, welche zu einem Sekundäreingriff führten, zu entnehmen.

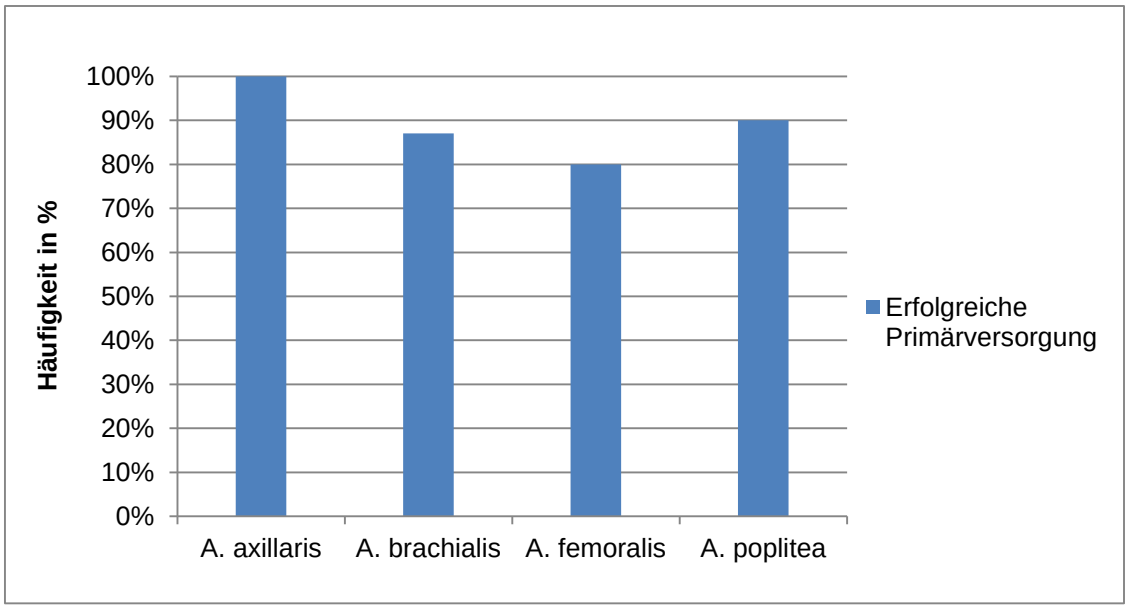

Abbildung 19: Rate an erfolgreichen Primärversorgungen

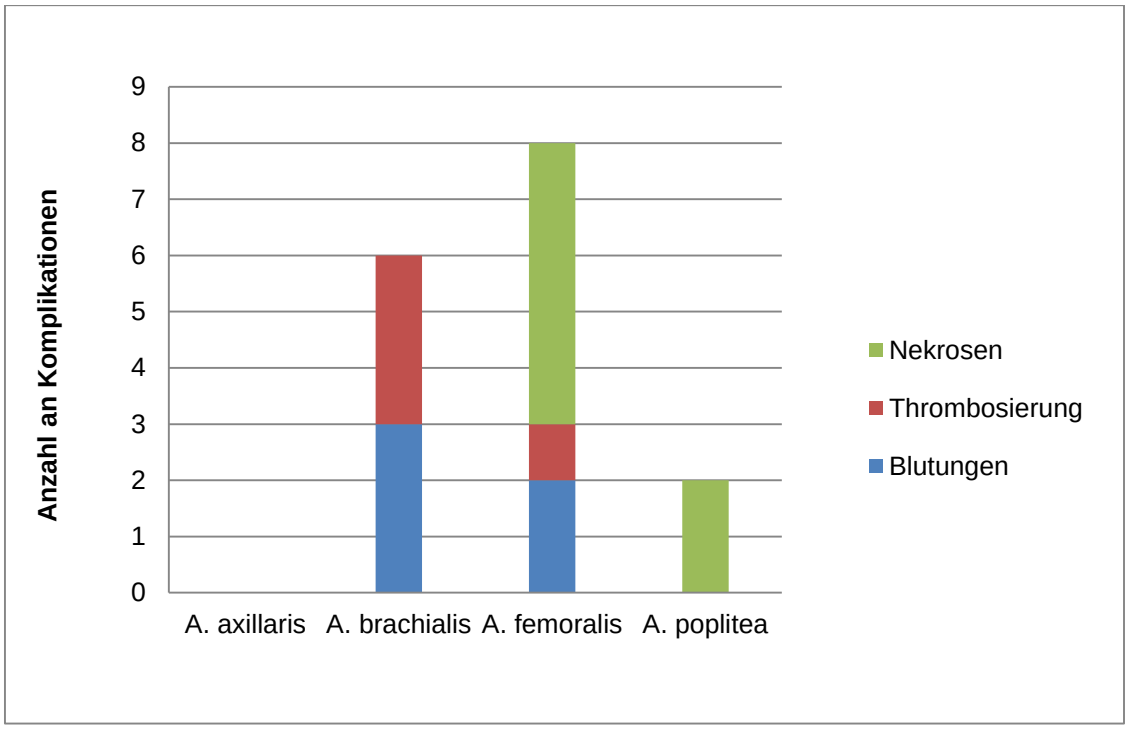

Abbildung 20: Komplikationen mit erforderlichem Sekundäreingriff

4.5.4.3 Sekundäre Gefäßversorgung

Obere Extremität

Zu keinem Zeitpunkt musste eine operativ versorgte A. axillaris Verletzung sekundär revidiert werden.

Revisionen an Verletzungen der A. brachialis erfolgten am häufigsten durch den Austausch der defekten Prothese mit Einsatz eines neuen autologen V. saphena Interponates (n=4) oder mittels Gefäßnaht (n=2). Zwei Patienten mit V. basilica Interponat und postoperativer Blutung wurden in der Zweitoperation mit einem neuen V. saphena Interponat versorgt. Unter den 3 Patienten mit primär eingesetztem V. saphena Interponat entwickelten 2 Patienten eine Thrombose. Einem dieser Patienten wurde ein neues V. saphena Interponat eingesetzt, bei dem anderen Patienten wurde die thrombosierte Gefäßstelle exzidiert und die Gefäßläsion vernäht. Der dritte Patient zeigte postoperative Blutungen und wurde durch Übernähung der Leckage behandelt. Der Patient mit temporärer Magensonde musste aufgrund einer intraluminalen Thrombose frühzeitig mit einem V. cephalica Interponat zweitversorgt werden.

Untere Extremität

Von 6 Patienten mit A. femoralis Verletzung, welche sich einer Zweitoperation unterzogen, konnte ein Patient mit postoperativer Blutung nach V. saphena Interposition mittels Gefäßnaht Extremitäten erhaltend operiert werden. Bei den restlichen 5 Patienten konnte die Perfusion der Extremität nicht wiederhergestellt werden.

Die sekundäre Gefäßversorgung von beiden Patienten mit A. poplitea Verletzung konnte gleicherweise keine Reperfusion der Extremität erzielen, da bereits weit fortgeschrittene Nekrosen vorlagen.

4.5.4.4 Ergebnisse der sekundären Gefäßversorgung

Obere Extremität

Bei keinem Patienten mit Verletzung der A. axillaris erfolgte eine Zweitoperation.

Alle 6 Patienten mit Verletzung der A. brachialis, bei denen eine Reexploration aufgrund von Komplikationen nach der Erstversorgung indiziert war, konnten erfolgreich versorgt werden.

Untere Extremität

Von 6 Patienten mit Revisionen an Verletzungen der A. femoralis, konnte ein Patient erfolgreich versorgt werden. Die anderen 5 Patienten mit postoperativen Komplikationen und Sekundäreingriff zeigten intraoperativ eine ausgeprägte Minderperfusion der Extremität mit Weichteilnekrosen. Bei diesen Patienten konnte nicht Extremitäten erhaltend operiert werden und es erfolgte eine Amputation.

Aufgrund der fortgeschrittenen Weichteilnekrosen und der Minderperfusion der Extremität musste bei beiden Patienten mit Verletzung der A. poplitea eine Extremitätenamputation durchgeführt werden.

Die Rate an erfolgreichen Sekundäreingriffen kann der Abb. 21 entnommen werden.

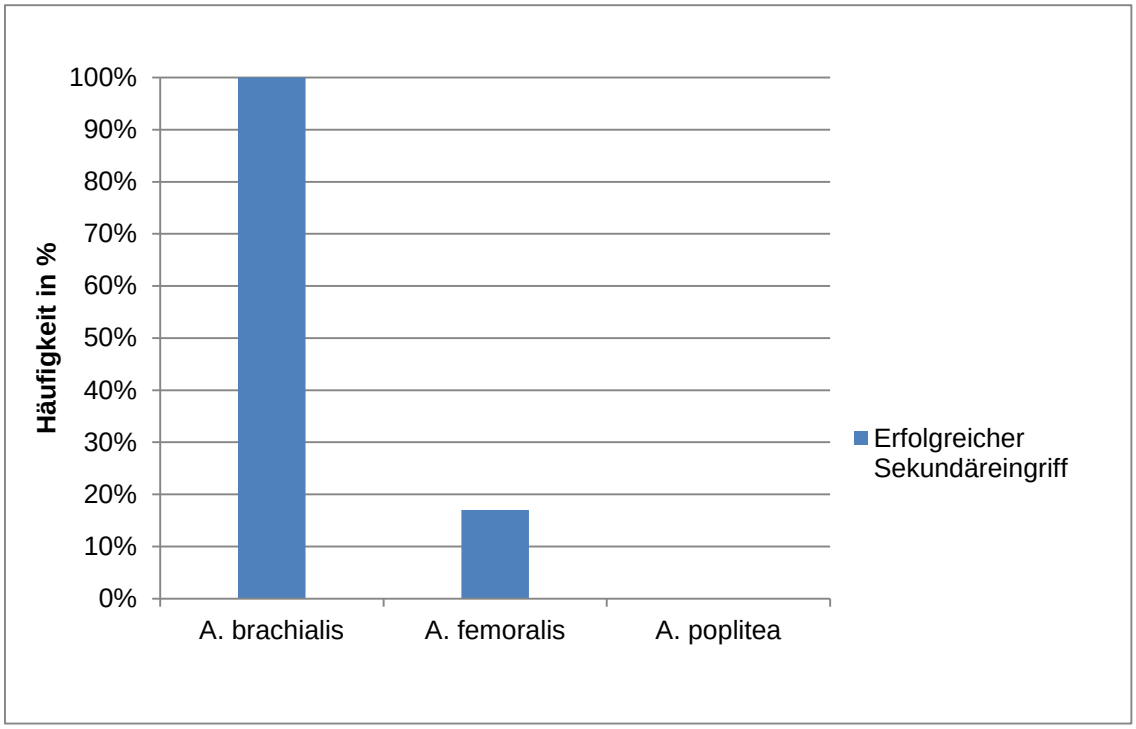

Abbildung 21: Rate an erfolgreichen Sekundäreingriffen

4.5.4.5 Späte Amputationen

Bei Patienten, bei denen trotz gefäßchirurgischen Eingriffen keine ausreichende Reperfusion der Extremität erreicht werden konnte und bereits ausgedehnte Weichteilnekrosen vorlagen, mussten späte Amputationen durchgeführt werden. Dies waren 5 Patienten mit Verletzung der A. femoralis und fortgeschrittener Ischämie der Extremität, wovon drei bereits eine verlängerte Ischämiezeit bei Aufnahme zeigten. Diese drei Patienten wurden ca. 12h nach Unfallzeitpunkt mit kalten und pulslosen Extremitäten in die Notaufnahme eines anderen Kreiskrankenhauses transportiert und anschließend in das CHBAH verlegt. Ferner musste eine späte Amputation bei zwei Patienten mit Verletzung der A. poplitea und unzureichender Reperfusion der Extremität nach Primärversorgung mit einem V. saphena Interponat durchgeführt werden. Es wurden keine Fälle von späten Amputationen bei Verletzungen der A. axillaris oder A. brachialis dokumentiert. Die Verteilung der späten Amputationen kann der Abb. 22 entnommen werden. Tab. 6 beschreibt die Verteilung der Amputationen im Zusammenhang zu Revisionen und Ischämiezeit bezogen auf die Gesamtzahl der Patienten.

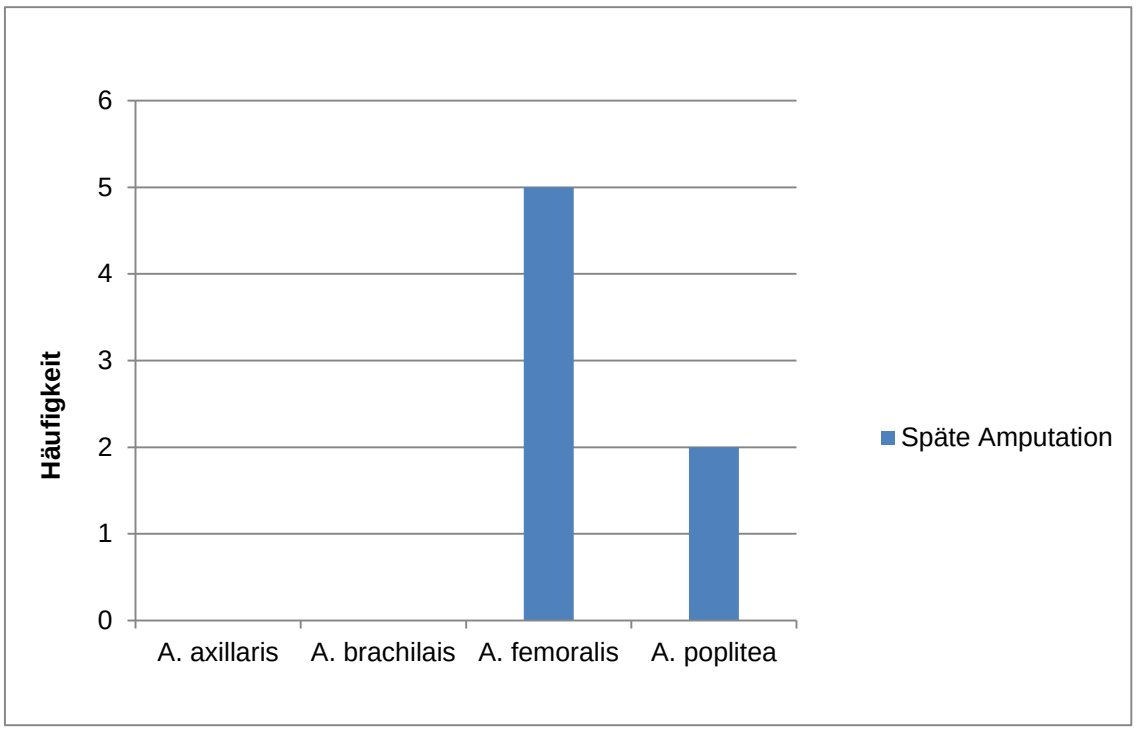

Abbildung 22: Anzahl an späten Amputationen

Gefäßbefund	**A. axillaris** **(n=10)** **n (%)**	**A. brachialis** **(n=47)** **n (%)**	**A. femoralis** **(n=31)** **n (%)**	**A. poplitea** **(n=25)** **n (%)**	**Gesamtzahl Patienten** **(n=113)** **n (%)**
Frühe Amp.	0 (0%)	1 (2%)	1(3%)	5 (20%)	7 (6%)
Lange Ischämiezeit + frühe Amp.	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (8%)	2 (2%)
Revision					
- Total	0 (0%)	6 (13%)	6 (19%)	2 (8%)	14 (12%)
- Erfolgreich	0 (0%)	6 (13%)	1 (3%)	0 (0%)	7 (6%)
- Amp.	0 (0%)	0 (0%)	5 (16%)	2 (8%)	7 (6%)
Lange Ischämiezeit und späte Amp.	0 (0%)	0 (0%)	3 (10%)	0 (0%)	3 (3%)

Tabelle 6: Anzahl früher und später Amputationen in Bezug auf Revisionen und Ischämiezeit. Amp.= Amputation

4.6 Gefäßversorgung mittels autologer und heterologer Gefäßprothesen

Die Entscheidung zur operativen Versorgungsmethode einer penetrierenden Gefäßverletzung wurde anhand des Lokalbefundes des verletzten Gefäßareals getroffen. Arterien mit großen Gefäßwandläsionen wurden mit Gefäßprothesen versorgt, da direkte Gefäßnähte oder End-zu-End-Anastomosen zu einer Lumenverkleinerung oder starken Spannungskräften geführt hätten. Grundsätzlich wurden hierbei autologe Gefäßprothesen von der patienteneigenen V. saphena präferiert. In Ausnahmen kam auch die V. cephalica oder V. basilica zum Einsatz. Wenn diese sich nach Freilegung aus dem Gefäßbett als nicht transplantabel gezeigt hatten, respektive Verletzungen der Tunicae bestanden, stärkere Sklerosierungen vorhanden waren oder der Abstand der zu überbrückenden verletzten Gefäßstrecke durch das Veneninterponat nicht ausreichte, wurden heterologe Gefäßprothesen verwendet. In diesem Patientenkollektiv bedeutete dies konkret der Einsatz von 15 PTFE- grafts (14%) und 62 Veneninterpositionen (58%), worunter bei 55 Patienten ein V. saphena- Interponat verwendet wurde. Bei 2 Patienten wurde ein V. cephalica- Interponat und bei 5 Patienten ein V. basilica Interponat angewandt.

In 7 Fällen konnte die patienteneigene V. saphena aufgrund insuffizienter Gefäßqualität nicht als Veneninterponat verwendet werden, stattdessen kamen hier PTFE- Prothesen zum Einsatz. Dies waren konkret 6 Patienten mit Verletzung der A. femoralis und ein Patient mit Verletzung der A. poplitea.

4.6.1 Komplikationen und Zweiteingriffe nach Gefäßersatz

Eine Reexploration mit Wiedereröffnung der Wundnaht nach Gefäßersatz wurde am häufigsten aufgrund postoperativer Blutungen oder Thrombosierung des Gefäßinterponates durchgeführt. Zudem führten Schwierigkeiten in der Perfusion des Interponates oder eine unzureichende Reperfusion der verletzten Extremität zu Sekundäreingriffen.

Insgesamt wurden bei 12 von 77 Patienten (16%) mit Gefäßersatz postoperative Komplikationen verzeichnet, die zu einer Reexploration führten. Bei 2 Patienten mit

Verletzung der A. brachialis und V. saphena Interponat wurde eine Thrombosierung des Interponates dokumentiert. Des Weiteren erfolgte eine Revision aufgrund postoperativer Blutungen nach Veneninterposition bei einem Patienten mit Verletzung der A. brachialis und bei einem Patienten mit Verletzung der A. femoralis. Zwei weitere Patienten mit Reexploration aufgrund postoperativer Nachblutungen wurden bei Verletzungen der A. brachialis und V. basilica Interponat vermerkt.

Eine unzureichende Reperfusion der Extremität nach Gefäßprothesenanlage und anschließender Revision wurde in 6 Fällen dokumentiert. Dies waren 2 Patienten mit Verletzung der A. femoralis und 2 Patienten mit Verletzung der A. poplitea. Zwei weitere Fälle mit Komplikationen der Reperfusion wurden bei A. femoralis und PTFE-Prothese verzeichnet.

4.6.2 Amputationen nach Gefäßersatz

In 6 von 77 Fällen (8%) führte eine postoperative Komplikation der Erstversorgung nach Gefäßprotheseneinsatz zu einer Amputation, hauptsächlich aufgrund mangelnder Reperfusion der verletzten Extremität. Reperfusionskomplikationen mit anschließender Amputation wurden in 2 Fällen bei Verletzungen der A. femoralis nach PTFE-Prothesenversorgung und in 2 Fällen bei Verletzung der A. femoralis nach Einsatz eines V. saphena Interponates dokumentiert. Weitere Amputationen mussten zudem bei 2 Patienten mit Verletzung der A. poplitea und V. saphena Interponat aufgrund fehlender Reperfusion durchgeführt werden.

4.7 Gefäßversorgung mittels chirurgischer Gefäßnaht

Direkte Gefäßnähte oder End-zu-End-Anastomosen konnten bei Gefäßläsionen angewandt werden, bei denen die Naht nicht zu einer Lumenverkleinerung oder einer erhöhten Zugspannung am Gefäß führte.

Insgesamt wurden 25 Fälle dokumentiert, bei denen die Gefäßverletzung durch eine chirurgische Naht versorgt wurde. Dies waren 22 End-zu-End-Anastomosen und 3 direkte Gefäßnähte.

4.7.1 Komplikationen und Zweiteingriffe nach Gefäßnaht

Von 25 Patienten wurde ein Patient (4%) mit Verletzung der A. femoralis dokumentiert, der aufgrund einer postoperativen Blutung nach Gefäßnaht eine Reexploration erfuhr.

4.7.2 Amputationen nach Gefäßnaht

Ein Patienten mit Verletzung der A. femoralis, der mit einer direkten Gefäßnaht in der Erstversorgung behandelt wurde, musste aufgrund postoperativer Komplikationen respektive Blutungen und fortgeschrittener Ischämie eine Extremitätenamputation erfahren.

4.8 Short- term follow- up

Insgesamt mussten 27 Patienten, die aufgrund einer penetrierenden arteriellen Verletzung operativ versorgt wurden, auf die Intermediate Care Unit (ICU) verlegt werden und verbrachten im Mittel 3,3d (1-12, +/- 2,935) dort. Die durchschnittliche Krankenhausaufenthaltsdauer eines Patienten im CHBAH lag bei 21,2 Tagen (1-104, +/-20,151).

4.8.1 Perioperative Komplikationen

Komplikationen im Behandlungsverlauf traten sowohl intraoperativ als auch postoperativ auf, wurden insgesamt 140-mal dokumentiert und können der Tab. 7 entnommen werden. Eine häufige Komplikation stellte die Blutung dar, die sich als arterielle Blutung, gemischt arteriell-venöse Blutung, Hämatom oder Blutung aus einer Faszienspaltung manifestierte. Insgesamt wurden 22 Patienten mit Blutungskomplikationen verzeichnet, wovon 4 Patienten arterielle Blutungen intraoperativ aufwiesen. Postoperativ entwickelten weitere 9 Patienten arterielle Blutungen, 2 Patienten gemischt arteriell-venöse Blutungen und 2 Patienten Hämatome. Häufige Ursache dieser Blutungen stellte die Insuffizienz des Gefäßinterponates dar,

welche in 6 Fällen vorzufinden war. Bei 5 Patienten mit durchgeführter Faszienspaltung, wurde anschließend eine stärkere Blutung aus der Wunde dokumentiert. Thrombosen stellten sich in 9 Fällen als postoperative Komplikation dar. Drei Patienten ohne primäre Faszienspaltung entwickelten postoperativ ein Kompartmentsyndrom.

Weitere Komplikationen, die sich auf das Wundbett bezogen, waren Infektionen, Ödembildung, Ischämien und Nekrosen. Insgesamt waren bei 25 Patienten lokale Infektionen entweder an Wundnähten oder Stumpfverschlüssen zu vermerken. Systemische Infektionen zeigten sich bei 4 Patienten. Wundbettreaktionen im Rahmen eines Ödems konnten bei 31 Patienten dokumentiert werden. Eine Minderversorgung des operierten Areals zeigte sich bei 10 Patienten durch Ischämiezeichen und bei 17 Patienten durch Nekrosebildung.

Periphere neurologische Defizite waren 16-mal zu verzeichnen, wovon 3 Patienten Parästhesien bemerkten, 3 Patienten litten unter einer Paralyse der Extremität und bei 5 Patienten konnten jeweils beide neurologischen Komplikationen festgestellt werden.

Weitere gravierende Komplikationen aus interdisziplinärer Sicht stellte der Myokardinfarkt dar, der bei 2 Patienten intraoperativ und bei einem Patienten postoperativ entstand.

Komplikation	Anzahl	Prozent
Blutungen	22	16%
• arteriell	13	59%
• arteriell-venös	2	9%
• Faszienblutung	5	23%
• Hämatom	2	9%
Thrombosen	9	6%
Kompartmentsyndrom	3	2%
Myokardinfarkt	3	2%
Infektionen		
• lokal	25	18%
• systemisch	4	3%
Ödem	31	22%
Ischämiezeichen	10	7%
Nekrosen	17	12%
Parästhesie	8	6%
Paralyse	8	6%

Tabelle 7: Anzahl an Komplikationen

Komplikationen, die im konkreten Zusammenhang zu Faszienspaltungen standen, waren zum einen die bereits oben erwähnten Blutungen aus Fasziotomiewunden, zum anderen konnten in dieser Subgruppe auch vermehrt Nekrosen (n=11, 17%), Ischämien (n=8, 12%) und Ödeme (n=19, 29%) beobachtet werden. Ferner zeigte sich eine erhöhte Anzahl an Patienten mit Fasziotomie, die auf die ICU verlegt werden musste (19 vs. 9) sowie eine verlängerte Krankenhaus Liegezeit, die bei Patienten mit Fasziotomie um ein dreifaches verlängert (10,7d +/- 12,5 vs. 29d +/-21,2) war, wie Abb. 23 verdeutlicht (p=,000 Mann- Whitney-U-Test).

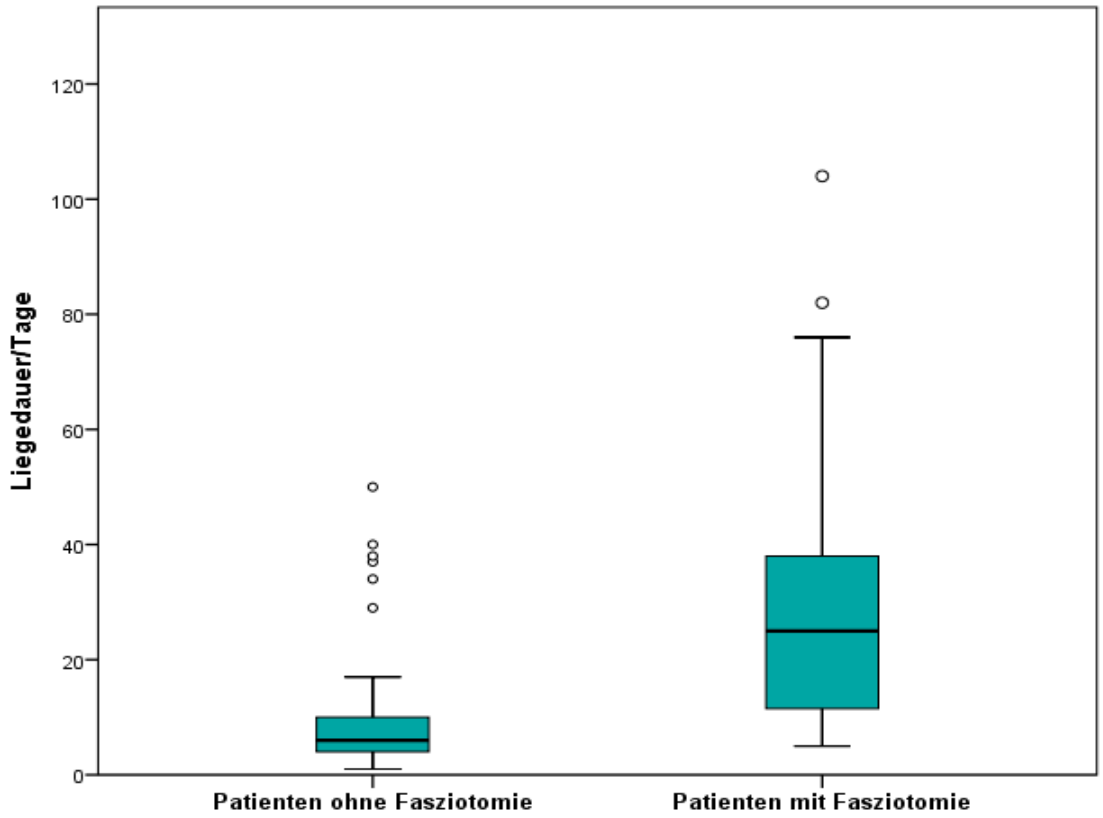

Abbildung 23: Arithmetische Mittelwerte der Krankenhausliegedauer sowie Standardabweichungen von Patienten mit erhaltener Fasziotomie und ohne Fasziotomie

4.8.2 Letalität

Die Letalität des Patientenkollektivs betrug 4%. Insgesamt waren dies 5 von 113 Patienten, die postoperativ verstarben. Verletzungen an der A. femoralis waren ursächlich für den Tod von 2 Patienten. Ein weiterer Patient zeigte Schussverletzungen an der A. femoralis und am Abdomen, welche primär mit einer Damage Control Laparotomie und einem Shunt der A. femoralis versorgt wurden. Postoperativ musste 16h später erneut eine Laparotomie durchgeführt werden, da eine Blutung bestand, welche auf eine DIC zurückzuführen war. Der Patient wurde auf die ICU verlegt und verstarb am nächsten Tag aufgrund der DIC. Ein anderer Patient wurde mit multiplen Stichverletzungen an A. axillaris, Hals, Thorax, Abdomen und unteren Extremitäten im Krankenhaus aufgenommen, operativ versorgt und auf die ICU verlegt. Auch dieser Patient entwickelte eine DIC und verstarb noch am selben Tag. Ein weiterer Patient mit A. brachialis Verletzung erlitt intraoperativ einen Myokardinfarkt, konnte erfolgreich reanimiert werden und verstarb jedoch postoperativ.

5 Diskussion

5.1 Methodenkritik

Die Studie zu penetrierenden arteriellen Verletzungen der Extremitäten wurde anhand retrospektiv ermittelter Patientendaten des CHBAH in Johannesburg, Südafrika erstellt. Zum Zeitpunkt der Datenerhebung war noch keine elektronische Datenbank im CHBAH etabliert, weshalb die Recherche anhand von Aufnahmebüchern der Notfallambulanz und Operationsbüchern betrieben wurde. Diesen Büchern konnten Patienteninformationen mit Diagnosestellung und Therapie entnommen werden, sofern diese leserlich und vollständig waren. Zu einem kleinen Anteil konnte die Handschrift nicht nachvollzogen werden oder die Patientenidentifikationsnummer war inkorrekt, weshalb im weiteren Prozedere nicht die passenden Patientenakten gefunden wurden. Infolgedessen wurden möglicherweise Patienten, die den Einschlusskriterien entsprachen, nicht in der Studie erfasst. Ferner handelte es sich bei den Patientenakten um handgeschriebene Dokumente in unterschiedlicher Qualität mit zum Teil nicht identifizierbarer Schreibweise. Auch hier war die Datenauswertung durch die nicht elektronisch niedergelegten Dokumente erschwert und führte gegebenenfalls zu Datenverlust.

Ein weiterer Kritikpunkt der Methodik liegt in der Übertragung der erfassten Daten in eine elektronische Datenbank von Microsoft Excel, da das Risiko der inkorrekten Datenübertragung durch Tippfehler besteht. Durch präzise Dateneingabe und mehrfacher Datenprüfung wurde dem jedoch entgegengewirkt.

Ein weiterer Ursprung für mögliche Fehlerquellen liegt im Studiendesign, da in retrospektiven Studien Daten evaluiert werden, welche bereits erstellt wurden ohne Einfluss darauf nehmen zu können. Folglich kann eine nicht standardisierte Patientendokumentation vorliegen, welche im Umfang und Detailgenauigkeit variiert und eventuell unvollständige oder gar fehlende Angaben beinhaltet. Derartige Fehlerquellen und die Tatsache, dass man sich auf die Richtigkeit der Angaben Dritter verlassen muss, stellen einen großen Nachteil retrospektiver Studien dar.

Des Weiteren kann bei einer retrospektiven Arbeit kein Einfluss auf die Stichprobengröße oder Verteilung genommen werden, weshalb in dieser Studie unterschiedlich große Subgruppen bestehen. Die begrenzte Anzahl an Patienten einzelner Subgruppen ist kritisch anzusehen bezüglich statistischer Analysen, da kleine Stichproben teilweise keinen statistisch signifikanten Effekt aufzeigen können und demzufolge rein deskriptiv beschrieben werden.

Ferner handelt es sich in dieser Studie um ein inhomogenes Patientenkollektiv, da Patienten mit penetrierenden arteriellen Verletzungen der Extremitäten jeder Altersstufe und Herkunft eingeschlossen wurden und auch keine Differenzierung zwischen der Ausprägung prognoserelevanter Faktoren, wie Anzahl an Begleitverletzungen oder Vorerkrankungen gemacht wurde. Hierdurch ist eine statistische Inhomogenität gegeben, welche jedoch die Komplexität dieses Verletzungstyps wiederspiegelt.

Besonders hervor zu heben ist der Ort der Studiendurchführung. Das CHBAH liegt in der südafrikanischen Stadt Johannesburg und versorgt medizinisch den umliegenden Stadtteil SOWETO (South Western Township). SOWETO ist das größte Township Südafrikas und trotz bevölkerungsstatistisch schwer erfassbarer Einwohnerzahl, liegen Schätzungen bei ca. 3,5 Mio. Einwohnern auf einer Fläche von 130km2 (48). Der knappe Wohnraum und die hohe Armutsrate beeinflussen den Allgemeinzustand der hier lebenden Menschen und führen zusätzlich zu einer großen Gewaltbereitschaft. Folglich ist der Vergleich dieses Patientenkollektivs mit anderen internationalen Studien aus stabileren sozioökonomischen Strukturen möglicherweise eingeschränkt.

Weiterhin muss bei der Gegenüberstellung aktueller Studien zu dieser Thematik berücksichtigt werden, dass das Versorgungssystem länderunterschiedlich gestaltet ist. Es bestehen Unterschiede im Gesundheitssystem, im Rettungssystem und ebenso in der Größe des Einzugsgebietes eines Krankenhauses, wie am Bespiel vom CHBH zu erkennen, welches rund 3,5 Mio. Menschen versorgt (48;65).

5.2 Diskussion der Ergebnisse

Penetrierende arterielle Verletzungen der Extremitäten machen im westlichen Europa nur einen geringen Prozentsatz der Verletzungen aus, weshalb epidemiologische Daten größtenteils aus Metaanalysen entnommen werden (23;36;87;97). In Ländern mit

Gewaltbereitschaft, höherer Kriminalitätsrate und zum Teil gelockertem Waffengesetz wie in Südafrika, den USA oder Osteuropa findet man größere Fallzahlen zu diesem Verletzungstyp, weshalb ein Großteil der Studien aus diesen Ländern stammt (53). Zudem existieren Register zur Erfassung von Gefäßverletzungen, wie beispielsweise in den USA oder Skandinavien (97). In Südafrika liegt der Anteil an penetrierenden Verletzungen, die in Trauma Units operativ versorgt werden, bei bis zu 80%, wohingegen in Deutschland das Traumaregister der DGU in den Jahren 2004-2013 gerade mal 4,8% penetrierende Verletzungen verzeichnete (27;105). Jedoch ist auch in Südafrika ein Rückgang an penetrierenden Verletzungen zu beobachten, da am Beispiel des CHBAH im Jahr 2008 eine Inzidenz von 47% penetrierenden Verletzungen dokumentiert wurde. Eine Erklärung für diesen rückläufigen Trend an penetrierenden Verletzungen bietet gegebenenfalls der politische Strukturwandel, der Südafrika durchläuft. Die Etablierung einer Demokratie führte in Südafrika zu stabileren Verhältnissen im Landesinneren und zu einer positiven Entwicklung der wirtschaftlichen Lage mit Schaffung von Arbeitsplätzen. Gewalttätige politische Auseinandersetzungen nahmen ab und die Polizei wurde nicht mehr als Symbol der Unterdrückung, wie zu Zeiten der Apartheid, sondern als Ordnungshüter angesehen.

5.2.1 Patientenkollektiv

In einem Zeitraum von 18 Monaten, zwischen dem 1. März 2010 und dem 1. September 2011, wurden 113 Patienten mit penetrierenden arteriellen Verletzungen der Extremitäten am CHBH in Johannesburg chirurgisch versorgt.

Die Geschlechterverteilung des Patientenkollektivs zeigt mit 91% einen deutlich höheren Anteil an männlichen Patienten. Diese Verteilung steht im Einklang mit anderen publizierten Studien (1;18;20;53;83;90). Das Patientendurchschnittsalter lag in dieser Studie bei 25 Jahren, der Großteil der aktuellen Studien berichtet von einem Durchschnittsalter um die 30 Jahre (38;45;53;55;83).

Die Studiengröße von 113 Patienten kann mit den Fallzahlen anderer Studien über penetrierende arterielle Verletzungen der Extremitäten verglichen werden, da sowohl *Degiannis et al. (20)* ebenso am CHBAH von einem Studienkollektiv aus 173 Patienten berichtete, als auch *Cakir et al. (15)* eine Fallzahl von 192 Patienten untersuchte.

2008 veröffentlichte *Rasouli et al. (90)* eine Studie über penetrierende Verletzungen der oberen Extremität mit 113 Patienten und 2009 erschien eine Arbeit von *Ekim et al*. (24) mit 49 Patienten. Des Weiteren veröffentlichte *Degiannis et al.* (18) eine Studie über penetrierende Verletzungen der unteren Extremität mit 104 Patienten.

Bei Betrachtung der Verletzungsursache penetrierender arterieller Verletzungen der Extremitäten erkennt man, dass mit 54% der führende Mechanismus die Schussverletzung war, gefolgt von 27% Stichverletzungen. Penetrierende Gefäßläsionen, verursacht durch Verkehrsunfälle oder Tierbisse, nahmen in dieser Untersuchung nur einen kleineren Stellenwert ein. Diese Ergebnisse unterscheiden sich zu anderen Studien, denn international gesehen ist die Stichverletzung der häufigste Verletzungsmechanismus. *Ekim et al*. (24) berichtete von 53% Stichverletzungen und auch *Ergunes et al. (25)* und *Graham et al. (43)* gaben eine wesentlich höhere Rate an Stichverletzungen an. In Deutschland wiederum liegt die Ursache von Gefäßverletzungen der Extremitäten vor allem in Verkehrs- und Arbeitsunfällen, sowie mit stetigem Anstieg in iatrogenen Verletzungen (9;97). Das Patientenkollektiv dieser Studie kann zum Vergleich iatrogener Verletzungen nicht herangenommen werden, da diese aus der Studie ausgeschlossen wurden.

Zur Verletzungsbeteiligung der jeweiligen Arterien, war in dieser Arbeit die A. brachialis das am häufigsten verletzte Gefäß, gefolgt von der A. femoralis. Diese Häufigkeitsverteilung unterscheidet sich von anderen Studien, da in *Ockert et al*. (83) und *Huynh et. al.* (55) die A. poplitea das Gefäß mit der häufigsten Verletzungsrate darstellte.

5.2.2 Begleitverletzungen

Penetrierende arterielle Gefäßverletzungen der Extremitäten treten vermehrt in Kombination mit Verletzungen anderer Körperregionen auf. Zudem stehen sie im Zusammenhang zum Polytrauma, denn 3%-10% aller polytraumatisierten Patienten weisen eine arterielle Gefäßverletzung auf (54). Die in dieser Studie beobachtete Verteilung der Verletzungen anderer Körperregionen zeigte im Vergleich zur Literatur eine geringere Rate, da *Compton et al*. (17) von einer doppelt so hohen Verletzungsrate

von Abdomen (38%), Thorax (20%) und Hals (12%) berichtete. Ebenso zeigten Studien von *Degiannis et al*. (18;20) ein größeres Verletzungsausmaß anderer Körperregionen.

Begleitverletzungen von Knochen und Nerven lagen zu jeweils 30% vor, begleitende Venenläsionen traten bei 31% der Patienten auf. Im Vergleich konnte in einer Studie von *Degiannis et. al* (20) im selben Krankenhaus eine geringere Nerven- und Knochenbeteiligung beobachtet werden, die bei 24% und 16% lag. Auch *Franz et. al* (38) berichtete bei Verletzungen der unteren Extremität von nur 4,6% Nervenverletzungen. Hinsichtlich der Venenverletzungen zeigte die Studie von *Degiannis et. al* (20) eine höhere Beteiligung mit 53%. Die häufigsten Nervenverletzungen wurden an der oberen Extremität beobachtet und betrafen überwiegend den N. medianus. Gleicherweise stellte der Großteil der Studien zu dieser Thematik fest, dass die obere Extremität einen höheren Anteil an Nervenverletzungen aufweist als die untere Extremität (15;20;83). Knöcherne Begleitverletzungen wurden in dieser Studie am häufigsten am Femurknochen beobachtet. Die aktuelle Literatur bietet hinsichtlich der Frakturlokalisation kontroverse Ergebnisse, da zum einen vermehrt Frakturen an der oberen Extremität (20;83), zum anderen an der unteren Extremität verzeichnet wurden (15).

Interessante Resultate ergaben sich zudem in der Subgruppenanalyse dieser Studie, da Patienten mit Verletzung der A. poplitea eine vergleichsweise hohe Rate an knöchernen Begleitverletzungen (60%) und nur eine geringe Rate an Nervenverletzungen aufwiesen (12%). Hinsichtlich der hohen knöchernen Beteiligung bei A. poplitea Verletzungen und der insgesamt hohen Rate an Schussverletzungen (84%) mit bekanntlich größerem Verletzungsausmaß als Stichverletzungen, hätte man eine höhere Nervenbeteiligung erwarten können. Schlussendlich ist die Nervenbeteiligung entscheidend für das funktionelle Outcome einer Extremität (43;107).

5.2.3 Klinische Untersuchung

Patienten mit penetrierenden Verletzungen bedürfen einer ausführlichen klinischen Untersuchung mit dem Bewusstsein über das potentielle Vorliegen einer Gefäßverletzung. *Billing et al.* (9) behauptete, einer der wichtigsten Erfolgsparameter sei es überhaupt an die Möglichkeit der Gefäßverletzung zu denken. Hinweise hierfür

können aus dem Unfallmechanismus bereits geschlossen werden, wenn gegebenenfalls ein penetrierender Unfallmechanismus oder ein Verkehrsunfall mit Hochrasanztrauma und hohem Blutverlust vorliegt. Weitere Anhaltspunkte sind ein hypovolämischer Schock, Frakturen oder Luxationen, sensible oder motorische Defizite und Unterschiede in der Hautdurchblutung (11). Der Grundpfeiler der Detektion von peripheren Gefäßverletzungen stellt im CHBAH, sowie in diversen anderen Krankenhäusern, die klinische Untersuchung der Extremität dar, noch bevor bildgebende Verfahren veranlasst werden (40). Hierzu gehört das Erfassen von sogenannten „hard signs“ und „soft signs“. *Frykberg et al*. (40) zeigte, dass das Vorhandensein eines „hard signs“ eine Sensitivität von 100% hat für die Diagnose einer interventionsbedürftigen Gefäßverletzung. Des Weiteren besteht Übereinstimmung mit der aktuellen Literatur bezüglich der Indikation zur direkten operativen Exploration im Falle von „hard signs“ (34;38). Das Vorliegen von „soft signs“ stellt hingegen keine lebens- oder extremitätengefährdende Situation dar. Hier können Bildgebungen zur weiteren Diagnostik und Einschätzung der Gefäßläsion durchgeführt oder eine abwartende Haltung eingenommen werden. Schließlich berichtete *Shanmugam et al*. (100), dass auch ohne Angiographie die Rate an Patienten mit erhaltener Extremität nach Gefäßverletzung bei 100% lag.

5.2.4 Apparative Diagnostik

Die CT-Angiographie oder die Multi Detektor Computertomographie sind moderne nichtinvasive bildgebende Verfahren zur Diagnostik von Gefäßverletzungen und haben die konventionelle Angiographie größtenteils abgelöst. Untersuchungen von *Inaba et al. (57;58)* und *Rieger et al.* (93) zur Multi Detektor Computertomographie zeigten, dass es sich um ein sensitives und spezifisches Untersuchungsverfahren handelt, das die konventionelle Angiographie ersetzen kann. Ebenso berichten die aktuellen Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Gefäßchirurgie (22), sowie Studien von *Pieroni et al*. (89), *Busquéts et al*. (13), *Xia et al. (110)* und *Iezzi et al*. (56) von einer schnellen und präzisen Diagnostik von Gefäßverletzungen durch die Spiral-CT-Angiographie. Zudem dient sie der Feststellung von Weichteil- oder Knochenverletzungen im Rahmen von Polytraumata, die häufig im Zusammenhang zu Gefäßverletzungen stehen. Zusammenfassend betonen die Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für

Gefäßchirurgie, dass nur in dringlichen Notfällen auf die Spiral-CT-Angiographie zurückgegriffen und die primäre Diagnostik mittels klinischer Untersuchung und gegebenenfalls ergänzender Duplexsonographie durchgeführt werden sollte (22). Zudem empfiehlt auch der Behandlungsalgorithmus von *Billing et al*. (9) eine CT-Angiographie erst bei ungewissem Untersuchungsbefund oder „weichen Kriterien".

In dieser Studie wurde bei 42 von 113 Patienten (37%) eine präoperative CT-Angiographie und bei 2 Patienten (2%) eine konventionelle Angiographie durchgeführt. Im Vergleich ist diese Anzahl weitaus höher, als in anderen Publikationen, die von einer Rate von 14-18% Angiographien sprechen (15;25). Dieser Unterschied beruht möglicherweise auf dem Verletzungsmechanismus, da in dieser Untersuchung hauptsächlich Schussverletzungen vorlagen, deren Auswirkung auf Gefäße, Nerven, Weichteil und Knochen weitaus destruktiver ist, als bei Stichverletzungen. Gegebenenfalls führte dies zu erschwerten klinischen Untersuchungsbedingungen. Andererseits fiel in dieser Studie auch eine fehlende Dokumentation des Pulsstatus in 21 Fällen (19%) auf, was den Eindruck vermittelt, dass mehr Wert auf das Ergebnis der apparativen Diagnostik gelegt wurde, obwohl bereits *Fabian et al.* (29) berichtete, dass eine sorgfältige klinische Untersuchung eine Angiographie ersparen kann. Auch wird die These, dass mehr Wert auf die Aussage apparativer Diagnostik gelegt wurde, darin bestärkt, dass trotz klinisch erkannter Pulslosigkeit, welches ein „hard sign" mit sofortiger Op-Indikation darstellt, in 19 Fällen (17%) eine zusätzlich CT-Angiographie durchgeführt wurde.

Einen großen Stellenwert in der Diagnostik von Gefäßverletzungen nimmt die Doppler Sonographie respektive Duplex Sonographie ein, denn in vielen Publikationen wird die nicht invasive, mobile und kosteneinsparende Untersuchungsmethode als ergänzende Diagnostik neben der körperlichen Untersuchung angesehen (14;18;39;78). Zudem berichtete *Pezeshki et al.* (88) von einer Sensitivität von 95% und einer Spezifität von 98% sowie *Bynoe et al*. (14) von einer Präzision von 98% in der Diagnostik von Gefäßverletzungen durch die Duplexsonographie. Ferner stellte *Panetta et al. (86)* in einer experimentellen Studie fest, dass die Duplexsonographie eine höhere Sensitivität als die Angiographie aufweist. Bezüglich der Feststellung von Gefäßverletzungen an der oberen Extremität zeigte sich bezogen auf die Spezifität kein Unterscheid zwischen Dopplersonographie und Angiographie.

In dieser Studie wurde die Dopplersonographie in 25 Fällen als präoperatives ergänzendes Untersuchungsverfahren neben der klinischen Beurteilung angewandt. In vielen anderen Studien findet die Doppler Sonographie wiederum als Routine Basisdiagnostik statt (9). Von diesen 25 Patienten konnte bei 12 Fällen die Diagnose mittels klinischer Untersuchung und Doppler Sonographie gestellt werden, bei den restlichen 13 Patienten musste zur zielführenden Diagnostik eine CT Angiographie (n=13) und zusätzlich in 2 Fällen eine konventionelle Angiographie durchgeführt werden. Dieses Vorgehen findet in der Studie von *Ergunes et al. (25)* Bestätigung, der ebenfalls berichtet, dass bei Ungewissheit nach klinischer Untersuchung und Dopplersonographie eine Angiographie folgen sollte.

Das Lodox ist von den hier beschriebenen Untersuchungstechniken die jüngste im Bereich der Diagnostik von Weichteil, Knochen und auch Gefäßen. Im Jahr 2002 wurde es von der Food and Drug Administration als radiologische Diagnostik in der Notfallambulanz sowie bei Trauma-Patienten zugelassen. Seither verfügen rund 25 Trauma Zentren weltweit über ein Lodox Gerät und verwenden es innerhalb des Notfallraum Managements (26). Im CHBAH sieht das Behandlungsprotokoll vor, bei jedem stabilen Trauma Patienten ein Lodox durchzuführen (64). Viele Studien berichten über die Gleichwertigkeit gegenüber der konventionellen Radiographie, über eine höherwertige Qualität digitaler Bilder von Mediastinum, Lunge und Weichteil und einer geringeren Strahlenexposition durch das Lodox (8;16;72). Zudem berichtete *Exadaktylos et al. (28)* von einer geringeren Durchleuchtungszeit (37min versus 26min) mit dem Lodox und eine im Mittel wesentlich kürzere Zeit für eine Ganzkörperaufnahme (4min versus 26min). Interessant erscheint nun der internationale Vergleich bezüglich der Angiographie mittels Lodox, welche bei instabilen Patienten mit Gefäßverletzungen im Schockraum des CHBAH durchgeführt wird. Studien von *O´Gorman et al. (81), Itani et al. (59)* und *MacFarlane et* al. (69) haben gezeigt, dass das Lodox eine sensitive, präzise und kosteneffektive Untersuchungsmethode zur Feststellung von peripheren Gefäßverletzungen ist. Dieser Meinung ist auch *Ball et al*. (6), denn in seinem Studienkollektiv wurde bei allen operativ versorgten Patienten eine Gefäßverletzung mittels Lodox entdeckt und die Spezifität betrug 100%. Zudem zeigte er, wie auch *Itani et al. (59)*, dass das Lodox weniger zeitaufwändig ist, als die konventionelle Angiographie oder die intraoperative Angiographie.

5.2.5 Therapie

5.2.5.1 Faszienspaltung

Die Indikation für eine Faszienspaltung bestand am CHBAH zum einen bei Patienten mit bereits manifestem Kompartmentsyndrom oder bei Patienten mit Anzeichen von Schwellung der Extremität, muskuloskeletaler Verletzung, erfolgter Revaskularisation erst nach 4-6h und Venenligatur. Viele internationale Studien stimmen mit diesen Indikationsstellungen überein und führen größtenteils keine Kompartment-druckmessung durch (7;9;30;45;52;83). In dieser Studie konnte anhand des klinischen Erscheinungsbildes in 19 Fällen (17%) ein Kompartmentsyndrom diagnostiziert werden, davon war die untere Extremität häufiger betroffen als die obere Extremität (79% versus 21%). Nur 3 der Patienten entwickelten im klinischen Verlauf ein Kompartmentsyndrom. Im Literaturvergleich fallen ähnliche Ergebnisse bezüglich der Anzahl an Kompartmentsyndromen auf (15;17;35;47).

Faszienspaltungen wurden insgesamt bei mehr als der Hälfte (n=66, 58%) der Patienten durchgeführt und bei 47 Patienten (42%) bestanden Anzeichen, die eine prophylaktische Faszienspaltung veranlassten. Im Falle von Verletzungen der A. poplitea lag der Anteil an prophylaktischen Faszienspaltungen sogar bei 68%.

Die Häufigkeit der Fasziotomien ist in dieser Studie verhältnismäßig hoch, jedoch immer noch im Durchschnitt anderer literarischer Angaben, die von Fasziotomien zwischen 16%-60% berichten (2;18;20;25;38;47;55;60). Hinsichtlich der Anzahl an Faszienspaltungen bei Patienten mit A. poplitea Verletzungen, zeigen sich übereinstimmende Resultate bei *Franz et al.* (38) (63%), *Huynh et al*. (55) (60%), *Mullenix et al.* (79) (53%) und *Padberg et al. (85) (*54%). Die Indikation für eine Fasziotomie scheint schlussfolgernd unterschiedlich streng gehandhabt und betrifft zum Großteil den Unterschenkel. Bezüglich des kurzfristigen Verlaufs konnte bei Patienten mit schwerem Gefäßtrauma und notwendiger Fasziotomie, eine vermehrte Komplikationsrate von Ödemen, Nekrosen und Ischämien beobachtet werden. Zudem zeigte sich eine eindeutige Verlängerung der Liegezeit (29d versus 10,7d) sowie eine doppelt so hohe Anzahl an Patienten, die auf die ICU verlegt werden musste (19 vs. 9). Diese Ergebnisse stimmen vereinzelt mit denen von Huynh et al. (55) und *Field CK (35)* überein und sind bezeichnend für die Verletzungsschwere eines Gefäßtraumas

sowie für die therapeutische Invasivität einer Fasziotomie, die zur Erhaltung einer Extremität entscheidend sein kann.

5.2.5.2 Operative Gefäßversorgung

Die Indikation für eine operative Exploration wurde anhand der klinischen oder apparativen Diagnose einer Gefäßverletzung gestellt. Hierbei wurde die Gefäßläsion in der Regel vor anderen behandlungsbedürftigen Verletzungen versorgt, um eine schnelle Revaskularisation und eine Verkürzung der Ischämiezeit zu erzielen. In 11 Fällen (10%) wurde aufgrund schwerwiegender Begleitverletzungen von Knochen, Abdomen oder Hals diese Reihenfolge nicht eingehalten. In dieser Gruppe erfolgte bei 5 von 11 Patienten (45%) eine Amputation. Hingegen lag der Anteil von Amputationen bei Patienten, die primär gefäßchirurgisch und anschließend beispielsweise orthopädisch versorgt wurden, nur bei 1 zu 9 (11%). Eine statistische Signifikanz konnte hierbei nicht erreicht werden (p=0,1 Fishers Exact Test), was zum Teil auf der geringen Stichprobengröße beruhen kann. Passend zu diesen Ergebnissen konnte auch *Hunyh et al.* (55) keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den gleichen Gruppen beweisen. Dennoch ist sich die aktuelle Literatur einig darüber, dass die Gefäßversorgung an erster Stelle steht und nur temporär mit einem Shunt überbrückt werden sollte, falls Begleitverletzungen primär behandelt werden müssen (31;33;47;55;76).

Bezüglich therapeutischer Verfahren der Gefäßversorgung ist die spannungsfreie Naht, häufig durch Verwendung eines Interponates, primäre Wahl. Hierbei ist der Gebrauch einer autologen Vene, wie der V. saphena magna, zu favorisieren (9;31;33). In diesem Patientenkollektiv wurde bei mehr als der Hälfte (58%) der Gefäßverletzungen ein Veneninterponat verwendet und bei ca. 1/4 (23%) eine primäre Gefäßnaht angewandt. Die eingesetzten Veneninterponate bestanden zu 89% aus der V. saphena magna, die an der kontralateralen Extremität entnommen wurde, und zu 11% aus anderen Venen (V. cephalica, V. basilica). In vielen weiteren Studien ist das häufigste Therapieverfahren ebenfalls die Interposition überwiegend einer V. saphena magna, gefolgt von der primären Gefäßnaht (15;55;83). Alloplastisches Prothesenmaterial sollte aufgrund des Risikos einer Protheseninfektion die Ausnahme bleiben und wurde in diesem

Patientenkollektiv auch nur in 14% der Fälle verwendet. Diese Ergebnisse sind analog zu anderen Publikationen.

5.2.5.3 Outcome und Amputationen

Ein Extremitätenerhalt konnte bei 88% der Patienten mit penetrierenden arteriellen Gefäßverletzungen erreicht werden. Bei 94% erfolgten gefäßrekonstruktive Maßnahmen mit einer Erfolgsquote von 87% in der primären Gefäßversorgung. In 13% der Fälle musste eine Reexploration aufgrund postoperativer Blutung, Thrombosierung oder Minderperfusion erfolgen. Die Anzahl der Patienten mit Extremitätenerhalt stimmt mit anderen Studien von *Cakir et al. (15)* (88%), *Hafez et al. (47)* (83,2%) und *Razmadze et al. (91)* (84,1%) überein. Die Quote der erfolgreichen primären Gefäßversorgung gleicht vorherigen Studien aus dem CHBAH (18-20).

Der Hauptanteil der Reexplorationen betraf die A. femoralis (20%) und die A. brachialis (13%), die A. poplitea zeigte wiederum nur eine Revisionsrate von 10%. Im direkten Vergleich mit zuvor publizierten Studien des CHBAH, ist die Rate an Revisionen der oberen Extremität und der A. femoralis vergleichbar (18;20). Interessant erscheint demnach, ob Unterschiede in den Ergebnissen der A. poplitea vorzuweisen sind. Im Falle von Schussverletzungen der A. poplitea besteht ein signifikanter Unterschied zwischen der Rate an Reexplorationen, denn in der aktuellen Untersuchung lag diese bei 2 von 18, in den vorhergehenden gebündelten Ergebnissen wiederum bei 23 von 68 (p=0,049, Fishers Exact Test) (18;20).

Erfolgreiche Reexplorationen konnten bei allen Patienten mit Verletzung der A. brachialis dokumentiert werden, im Gegensatz zu Patienten mit A. femoralis und A. poplitea Verletzungen. Hier war nur eine Reexploration an der A. femoralis erfolgreich, den restlichen Reexplorationen folgte eine Amputation. Die Revisionsamputationsrate lag somit bei 6%.

Im Falle von schwerwiegenden, nicht therapierbaren Gefäß- und Extremitätenverletzungen oder einer „life before limb“ Situation, musste eine frühe Amputation erfolgen. Dies war der Fall in 6% der Patienten, mit der höchsten Beteiligung in der Gruppe der A. poplitea Verletzungen (20%).

Die gesamte Amputationsrate lag demnach bei 12% und verteilte sich auf 6% Unterschenkel-, 5% Oberschenkel- und 1% Oberarmamputationen. Es wurden keine Amputationen bei Verletzungen der A. axillaris dokumentiert.

In Deutschland würde man von geringeren Amputationsraten ausgehen, da ein kürzeres Zeitintervall zwischen Klinikaufnahme und operativer Versorgung vorliegt. Das Traumaregister der DGU dokumentierte in den Jahren 2004-2013 ein durchschnittliches Zeitintervall von 84 min (105). Demgegenüber wurden Patienten im CHBAH im Durchschnitt erst nach 5 h versorgt. Nachteile einer etwa 3h längeren Ischämiezeit sind folglich vermehrt frühe Amputationen sowie thrombotische Komplikationen.

Die Amputationsrate dieser Studie ist wiederum mit den Ergebnissen anderer Studien vergleichbar, die eine Amputationsrate bis zu 33% und höher bei Patienten mit Mehrfachverletzungen, penetrierendem Trauma, verlängerter Ischämiezeit und Koagulopathie beschreiben (37). Zudem zeigt sich eine erhöhte Mortalität bei Patienten mit kombinierten arteriovenösen Verletzungen, Frakturen, Rumpfverletzungen und Hypotension (4;15;32). In dieser Studie lag die Mortalität bei 4 % (5/113) und ist vergleichbar mit der Mortalität anderer Studien (38;79). Im Gegensatz zu Patienten mit Mehrfachverletzungen, weisen Patientin mit singulären Gefäßverletzungen nur Amputationsraten von 3% auf (90). Die hohe Rate an Amputationen von Patienten mit Verletzung der A. poplitea ist demnach plausibel, da der Anteil an Mehrfachverletzungen bei 60% lag. Zieht man wieder einen Vergleich zwischen den jetzigen und den vorhergehenden gebündelten Ergebnissen von Verletzungen der A. poplitea erkennt man, dass bezogen auf die Amputationsrate von Schussverletzungen der A. poplitea (21 von 25 Patienten) erneut ein Unterschied besteht (18;20). Demnach lag die Amputationsrate von Schussverletzungen der A. poplitea in dieser Studie bei 11% (2/18) und zuvor bei 16% (11/68). Ein statistisch signifikanter Unterschied konnte jedoch nicht nachgewiesen werden (p=0,8 Fishers Exact Test). Frühe Amputationen wurden hierbei wieder ausgeschlossen.

Schlussfolgernd besteht ein Unterschied zwischen dem Outcome von Patienten mit Schussverletzungen der A. poplitea dieser Studie und der zuvor veröffentlichten Studien des CHBAH, bei ansonsten vergleichbaren Studienbedingungen und Studienergebnissen. Es konnte eine signifikant geringere Rate an Reexplorationen und eine nicht signifikant geringere Anzahl an Amputationen festgestellt werden. Eine Erklärung für diese positive Entwicklung bietet möglicherweise das Trauma

Management des CHBAH, das zu Beginn des Jahres 2010 eine Veränderung des Behandlungsprotokolls für Verletzungen der A. poplitea vorgenommen hatte. Das operativ schwierig zu erfassende Gefäß, aufgrund anatomischer Gegebenheiten, mit geringen Gefäßkollateralen im distalen Gefäßabschnitt sollte ab dato von Gefäßchirurgen operiert werden, mit der Absicht ein besseres Outcome zu erzielen. Das Behandlungsprotokoll der restlichen peripheren Gefäße sah aufgrund positiver Resultate keine Veränderungen vor und implizierte weiterhin die operative Versorgung durch „Trauma Surgeons“. Demzufolge konnten auch in dieser Studie zufriedenstellende Ergebnisse für A. axillaris, A. brachialis und A. femoralis Verletzungen festgestellt werden. Hinsichtlich der zum Teil signifikant besseren Ergebnisse von Patienten mit Verletzung der A. poplitea, wird der Anschein erweckt, dass eine bessere Versorgung von Verletzungen der A. poplitea durch Gefäßchirurgen, als durch „Trauma Surgeons“ geboten wird. Diese Hypothese sollte durch weitere Studien mit größeren Stichproben bestärkt werden, um gegebenenfalls auch statistisch signifikante Ergebnisse bezüglich der Amputationsrate zu erlangen.

6 Zusammenfassung

Penetrierende arterielle Gefäßverletzungen zeigen ein vermehrtes Aufkommen in Ländern mit hoher Gewaltbereitschaft und Kriminalität wie Südafrika oder USA. Deutschland weist hingegen nur geringe Zahlen an penetrierenden Verletzungen auf. Durch das komplexe Verletzungsmuster stellt die penetrierende Gefäßverletzung eine gefäßchirurgische Notfallsituation dar und erfordert hohe Expertise seitens behandelnder Ärzte. Die vorgelegte Arbeit soll anhand von Patientendaten der „Trauma Unit“ des Chris Hani Baragwanath Hospital in Johannesburg, Südafrika, das Management von Patienten mit penetrierenden arteriellen Gefäßverletzungen der Extremitäten untersuchen. Insbesondere sollen Aussagen über Diagnostik, Therapie und Outcome gewonnen, sowie unterschiedliche Behandlungsstrategien der A. poplitea hinsichtlich Revision und Amputation verglichen werden. Es wurden Daten von 113 Patienten mit penetrierenden arteriellen Gefäßverletzungen der Extremitäten in einem 18-monatigen Zeitraum, vom 1. März 2010 bis 1. September 2011 ausgewertet. Gefäßverletzungen der oberen Extremität sowie der A. femoralis wurden von „Trauma Surgeons“, Allgemeinchirurgen mit einer Subspezialisierung in Traumatologie, versorgt. Die Behandlung von Verletzungen der A. poplitea erfolgte mit dem Einführen eines neuen Behandlungsprotokolls seit 2010 durch Gefäßchirurgen. Hauptursache von penetrierenden arteriellen Gefäßverletzungen waren Gewalttaten von überwiegend Männern im jungen Erwachsenenalter mit durchschnittlich 25 Jahren. Verletzungsmechanismen waren bei über der Hälfte Schussverletzungen, mit dem höchsten Anteil in der Gruppe der A. poplitea Verletzungen (84%), gefolgt von Stichverletzungen bei ca. jedem dritten Patienten. Gefäßläsionen lagen zu etwa gleichen Anteilen an oberer Extremität (10. A. axillaris, 47 A. brachialis) und unterer Extremität (34 A. femoralis, 25 A. poplitea) vor und traten gehäuft in Kombination mit Verletzungen anderer Körperregionen auf. Typische Begleitverletzungen wie Frakturen, Nervenläsionen und Venenverletzungen waren bei ca. jedem dritten Patienten vorzufinden. Nervenverletzungen bestanden vermehrt an der oberen Extremität, Frakturen wiederum an der unteren Extremität, in erster Linie im Zusammenhang zu Verletzungen der A. poplitea (60%). Die klinische Untersuchung erfolgte anhand der Dokumentation von “soft signs“ (Pulsabschwächung, nicht expandierende Hämatom, Parästhesie/Parese) und „hard signs“ (Pulslosigkeit, kalte Extremität, Gefäßschwirren, pulsatile Blutung, pulsierende/expandierende Hämatom). Eine sofortige Op-Indikation

bestand bei Vorhandensein von „hard signs“. Die apparative Diagnostik beinhaltete die Doppler Sonographie, bei über einem Drittel die CT-Angiographie sowie das Low Dosis Röntgen (Lodox) für die Darstellung von Weichteil, Knochen und Gefäßen. Bei über der Hälfte der Patienten (58%) erfolgte eine Fasziotomie, überwiegend an der unteren Extremität und in hoher Assoziation zu Verletzungen der A. poplitea (68%). Bei ca. 1/5 bestand hierbei ein Kompartmentsyndrom. Patienten mit Fasziotomien wurden vermehrt auf die Intermediate Care Unit verlegt und zeigten verlängerte Krankenhaus Liegezeiten sowie erhöhte Komplikationsraten. Die operative Gefäßversorgung erfolgte bei 67,3% der Patienten innerhalb der ersten 24h und im Mittel innerhalb von 5h3min, was der „golden period“ von 6h entspricht. Die Gefäßläsion war in der Regel die primär zu versorgende Verletzung vor anderen Begleitverletzungen, wurde jedoch in 10% aufgrund schwerwiegender Begleitverletzungen verschoben. Die schlussendliche Amputationsrate dieser Patienten betrug 45% im Vergleich zu Patienten, deren Begleitverletzung sekundär versorgt wurde mit einer Amputationsrate von nur 11%. Das häufigste Therapieverfahren war in 58% die Verwendung eines autologen Veneninterponates, gefolgt von 23% Gefäßnaht und 14% PTFE (Polytetrafluorethylen). Ein Extremitätenerhalt konnte bei 88% der Patienten mit penetrierenden arteriellen Gefäßverletzungen erreicht werden. Bei 94% erfolgten gefäßrekonstruktive Maßnahmen mit einer Erfolgsquote von 87% in der primären Gefäßversorgung. Bei 13% folgte ein Sekundäreingriff mit einer Erfolgsquote und einer Amputationsrate von jeweils 50%. Das Outcome von Gefäßverletzungen der oberen Extremität sowie der A. femoralis gleichen vorherigen Studien aus demselben Krankenhaus, im Falle von Schussverletzungen der A. poplitea zeigt sich im Vergleich eine signifikant geringere Revisionsrate ($p= 0,049$), sowie eine geringere Amputationsrate, die ggfs. auf das veränderte Behandlungsprotokoll zurückzuführen sind. Frühe Amputationen mussten in einer „life before limb“ Situation erfolgen und wurden bei 6% der Patienten durchgeführt, mit dem höchsten Anteil in der Gruppe der A. poplitea Verletzungen (20%). Die Mortalität des Patientenkollektivs betrug 4%.

7 Englische Zusammenfassung

Purpose: Penetrating arterial injuries are common injuries in countries with high violence and crime, such as South Africa or USA. Germany, however, has only small numbers of penetrating trauma. The purpose of the present study was to assess the management of penetrating arterial trauma to the limbs regarding diagnosis, treatment and outcome. In the case of popliteal artery injury two different treatment strategies were compared for their revision and amputation rate.

Methods: All patients sustaining penetrating arterial injuries to the limbs admitted to the Chris Hani Baragwanath Academic Hospital between 01.03.2010 and 01.09.2011 were included in this study. Axillary, brachial and femoral artery injuries were operated by trauma surgeons whereas popliteal artery injuries were operated by vascular surgeons.

Results: There were 103 males (91%) and 10 females (9%). Ten patients had axillary-, 47 brachial-, 31 femoral- and 25 popliteal artery injuries (some patients had multiple vascular injury). The main mechanisms of injuries were gunshot in 54% of cases and stab wounds in 27%. Associated injuries were vein injury (31%), nerve injury (30%) and bone fracture (29%). Fasciotomy was performed in 58% of patients. Saphenous vein graft was the most common conduit of choice in arterial repair (58%). Amputation was needed in 12% of patients (6% primary- and 6% late amputations). Five patients died.

Conclusion: Management and outcome of axillary, brachial and femoral artery injuries were successful and not significantly different from previous reported experience of the Chris Hani Baragwanath Hospital. In the case of popliteal artery injury, operated by vascular surgeons, the compared results showed a statistically significant diminished re exploration rate (p=0,049) and a decrease of amputation rate from 16% to 11%.Though outcome of patients with popliteal artery injury may be improved if operated by vascular surgeons. Further research is needed to prove the validity of this suggestion.

8 Literaturliste

(1) Al-Ganadi A. Management of Vascular Injury during Current Peaceful Yemeni Revolution. Ann Vasc Surg 2015.

(2) Al-Salman MM, al-Khawashki H, Sindigki A, Rabee H, al-Saif A, al-Salman FF. Vascular injuries associated with limb fractures. Injury 1997; 28(2):103-107.

(3) American Association for Advancement of Automotiv Medicine. The Abbreviated Injury Scale (AIS) 1985 Revision. Des Plains, Illinois 1985. 2015.

(4) Asensio JA, Kuncir EJ, Garcia-Nunez LM, Petrone P. Femoral vessel injuries: analysis of factors predictive of outcomes. J Am Coll Surg 2006; 203(4):512-520.

(5) Baker SP, O'Neill B, Haddon W, Jr., Long WB. The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care. J Trauma 1974; 14(3):187-196.

(6) Ball CG, Nicol AJ, Beningfield SJ, Navsaria PH. Emergency room arteriography: an updated digital technology. Scand J Surg 2007; 96(1):67-71.

(7) Barros D'Sa AA, Harkin DW, Blair PH, Hood JM, McIlrath E. The Belfast approach to managing complex lower limb vascular injuries. Eur J Vasc Endovasc Surg 2006; 32(3):246-256.

(8) Beningfield S, Potgieter H, Nicol A, van AS, Bowie G, Hering E et al. Report on a new type of trauma full-body digital X-ray machine. Emerg Radiol 2003; 10(1):23-29.

(9) Billing A., Karl T., Hoffmann R., Rilinger N. Gefäßverletzungen. Trauma und Berufskrankheit, Band 11, Ausgabe 2, pp 64-73 2009.

(10) Brieschenk Daniela. Salutogenetische Aspekte am Beispiel Südafrika. Diplomica Verlag GmbH Hamburg, 30-33; 2012.

(11) Bühren V. Gefäße. In: Rüter A, Trentz O, Wagner M, editors. Unfallchirurgie. Urban & Schwarzenberg; 1995.

(12) Bundeskriminalamt. Polizeiliche Kriminalstatistik 2012; Bundesministerium des Innern. 2012.

(13) Busquets AR, Acosta JA, Colon E, Alejandro KV, Rodriguez P. Helical computed tomographic angiography for the diagnosis of traumatic arterial injuries of the extremities. J Trauma 2004; 56(3):625-628.

(14) Bynoe RP, Miles WS, Bell RM, Greenwold DR, Sessions G, Haynes JL et al. Noninvasive diagnosis of vascular trauma by duplex ultrasonography. J Vasc Surg 1991; 14(3):346-352.

(15) Cakir O, Subasi M, Erdem K, Eren N. Treatment of vascular injuries associated with limb fractures. Ann R Coll Surg Engl 2005; 87(5):348-352.

(16) Chen RJ, Fu CY, Wu SC, Wang YC, Chung PK, Huang HC et al. Diagnostic accuracy, biohazard safety, and cost effectiveness-the Lodox/Statscan provides a beneficial alternative for the primary evaluation of patients with multiple injuries. J Trauma 2010; 69(4):826-830.

(17) Compton C, Rhee R. Peripheral vascular trauma. Perspect Vasc Surg Endovasc Ther 2005; 17(4):297-307.

(18) Degiannis E, Bowley DM, Bode F, Lynn WR, Glapa M, Baxter S et al. Ballistic arterial trauma to the lower extremity: recent South African experience. Am Surg 2007; 73(11):1136-1139.

(19) Degiannis E, Levy RD, Sliwa K, Potokar T, Saadia R. Penetrating injuries of the brachial artery. Injury 1995; 26(4):249-252.

(20) Degiannis E, Levy RD, Sofianos C, Florizoone MG, Saadia R. Arterial gunshot injuries of the extremities: a South African experience. J Trauma 1995; 39(3):570-575.

(21) Dettmeyer R.B., Verhoff M.A. Rechtsmedizin. Springer, 66-80; 2011.

(22) Deutsche Gesellschaft für Gefäßchirurgie und Gefäßmedizin. Gefäßverletzungen (S2). Leitlinie zu Diagnostik und Therapie in der Gefäßchirurgie. 161-165. 2014. Springer Berlin Heidelberg.

(23) DuBose JJ, Savage SA, Fabian TC, Menaker J, Scalea T, Holcomb JB et al. The American Association for the Surgery of Trauma PROspective Observational Vascular Injury Treatment (PROOVIT) registry: multicenter data on modern vascular injury diagnosis, management, and outcomes. J Trauma Acute Care Surg 2015; 78(2):215-222.

(24) Ekim H, Tuncer M. Management of traumatic brachial artery injuries: a report on 49 patients. Ann Saudi Med 2009; 29(2):105-109.

(25) Ergunes K, Yilik L, Ozsoyler I, Kestelli M, Ozbek C, Gurbuz A. Traumatic brachial artery injuries. Tex Heart Inst J 2006; 33(1):31-34.

(26) Evangelopoulos DS, Deyle S, Zimmermann H, Exadaktylos AK. Personal experience with whole-body, low-dosage, digital X-ray scanning (LODOX-Statscan) in trauma. Scand J Trauma Resusc Emerg Med 2009; 17:41.

(27) Exadaktylos A, Stettbacher A, Edul S, Nichols A, Bautz P. [Successful management of abdominal stab wounds with clinical evaluation: experiences of an South-African trauma unit with 496 consecutive patients]. Unfallchirurg 2003; 106(3):215-219.

(28) Exadaktylos AK, Benneker LM, Jeger V, Martinolli L, Bonel HM, Eggli S et al. Total-body digital X-ray in trauma. An experience report on the first operational full body scanner in Europe and its possible role in ATLS. Injury 2008; 39(5):525-529.

(29) Fabian TC, Turkleson ML, Connelly TL, Stone HH. Injury to the popliteal artery. Am J Surg 1982; 143(2):225-228.

(30) Fainzilber G, Roy-Shapira A, Wall MJ, Jr., Mattox KL. Predictors of amputation for popliteal artery injuries. Am J Surg 1995; 170(6):568-570.

(31) Feliciano DV. Management of peripheral arterial injury. Curr Opin Crit Care 2010; 16(6):602-608.

(32) Feliciano DV, Herskowitz K, O'Gorman RB, Cruse PA, Brandt ML, Burch JM et al. Management of vascular injuries in the lower extremities. J Trauma 1988; 28(3):319-328.

(33) Feliciano DV, Moore EE, West MA, Moore FA, Davis JW, Cocanour CS et al. Western Trauma Association critical decisions in trauma: evaluation and management of peripheral vascular injury, part II. J Trauma Acute Care Surg 2013; 75(3):391-397.

(34) Feliciano DV, Moore FA, Moore EE, West MA, Davis JW, Cocanour CS et al. Evaluation and management of peripheral vascular injury. Part 1. Western Trauma Association/critical decisions in trauma. J Trauma 2011; 70(6):1551-1556.

(35) Field CK. Fasciotomy in vascular trauma: is it too much, too often? 1994.

(36) Fingerhut A, Leppaniemi AK, Androulakis GA, Archodovassilis F, Bouillon B, Cavina E et al. The European experience with vascular injuries. Surg Clin North Am 2002; 82(1):175-188.

(37) Fox CJ, Perkins JG, Kragh JF, Jr., Singh NN, Patel B, Ficke JR. Popliteal artery repair in massively transfused military trauma casualties: a pursuit to save life and limb. J Trauma 2010; 69 Suppl 1:S123-S134.

(38) Franz RW, Shah KJ, Halaharvi D, Franz ET, Hartman JF, Wright ML. A 5-year review of management of lower extremity arterial injuries at an urban level I trauma center. J Vasc Surg 2011; 53(6):1604-1610.

(39) Fry WR, Smith RS, Sayers DV, Henderson VJ, Morabito DJ, Tsoi EK et al. The success of duplex ultrasonographic scanning in diagnosis of extremity vascular proximity trauma. Arch Surg 1993; 128(12):1368-1372.

(40) Frykberg ER, Dennis JW, Bishop K, Laneve L, Alexander RH. The reliability of physical examination in the evaluation of penetrating extremity trauma for vascular injury: results at one year. J Trauma 1991; 31(4):502-511.

(41) Georg Thieme Verlag KG (Hrsg.). Endspurt Klinik Skript 1: Innere und Chirurgie: Herz-Kreislauf-System, Gefäße. 95-105; 2013.

(42) Giswold ME, Landry GJ, Taylor LM, Moneta GL. Iatrogenic arterial injury is an increasingly important cause of arterial trauma. Am J Surg 2004; 187(5):590-592.

(43) Graham JM, Mattox KL, Feliciano DV, DeBakey ME. Vascular injuries of the axilla. Ann Surg 1982; 195(2):232-238.

(44) Greenspan L, McLellan BA, Greig H. Abbreviated Injury Scale and Injury Severity Score: a scoring chart. J Trauma 1985; 25(1):60-64.

(45) Gupta R, Quinn P, Rao S, Sleunarine K. Popliteal artery trauma. A critical appraisal of an uncommon injury. Injury 2001; 32(5):357-361.

(46) Haas Nobert Peter, Kretteck Christian. Tscherne Unfallchirurgie Hüfte und Oberschenkel, Band 13. Springer DE; 2012.

(47) Hafez HM, Woolgar J, Robbs JV. Lower extremity arterial injury: results of 550 cases and review of risk factors associated with limb loss. J Vasc Surg 2001; 33(6):1212-1219.

(48) Hauer Thorsten, Huschitt Niels. Learning surgical skills in penetrating trauma. Wehrmedizinische Monatsschrift 2013.

(49) Heberer Georg, Van Dongen R.J.A.M. Gefäßchirurgie. 11 ed. Springer Verlag, Berlin; 2003.

(50) Helfet DL, Howey T, Sanders R, Johansen K. Limb salvage versus amputation. Preliminary results of the Mangled Extremity Severity Score. Clin Orthop Relat Res 1990;(256):80-86.

(51) Henne-Bruns Doris, Dürig Michael KB. Duale Reihe Chirurgie. 2 ed. Thieme, 1158-1160; 2007.

(52) Hinck D., Gatzka F., Debus E.S. Kriegschirurgische Versorgung von Gefäßverletzungen der Extremitäten. Gefässchirurgie 2011 11 A.D..

(53) Hindel C., Hildebrand P., Staubach K.-H., Bruch H.-P. Penetrating Injuries-a steadiliy rising danger in Western Europe. Viszeralchirurgie 42: 366-374 2007.

(54) Hupp T., Allenberg J.-R. Traumatische Gefäßverletzungen. In: Jürgen Durst, editor. Traumatologische Praxis in einem Band; Standards in Diagnostik und Therapie für alle Fachgebiete; mit 91 Tabellen. Schattauer Verlag; 1997.

(55) Huynh TT, Pham M, Griffin LW, Villa MA, Przybyla JA, Torres RH et al. Management of distal femoral and popliteal arterial injuries: an update. Am J Surg 2006; 192(6):773-778.

(56) Iezzi R, Cotroneo AR, Pascali D, Merlino B, Storto ML. Multi-slice CT (MSCT) angiography for assessment of traumatic lesions of lower limbs peripheral arteries. Emerg Radiol 2007; 14(6):389-394.

(57) Inaba K, Branco BC, Reddy S, Park JJ, Green D, Plurad D et al. Prospective evaluation of multidetector computed tomography for extremity vascular trauma. J Trauma 2011; 70(4):808-815.

(58) Inaba K, Potzman J, Munera F, McKenney M, Munoz R, Rivas L et al. Multi-slice CT angiography for arterial evaluation in the injured lower extremity. J Trauma 2006; 60(3):502-506.

(59) Itani KM, Burch JM, Spjut-Patrinely V, Richardson R, Martin RR, Mattox KL. Emergency center arteriography. J Trauma 1992; 32(3):302-306.

(60) Joshi V, Harding GE, Bottoni DA, Lovell MB, Forbes TL. Determination of functional outcome following upper extremity arterial trauma. Vasc Endovascular Surg 2007; 41(2):111-114.

(61) Karl-Walter Jauch, Wolf Mutschler, M.W.Wichmann. Periphere traumatische Gefäßverletzungen. Chirurgie Basisweiterbildung:In 99 Schritten durch den Common Trunk. 2007 ed. Springer; 7 A.D. 471-485.

(62) Kneubuehl Beat P., Coupland Robin M., Rothschild Markus A., Thali Michael J. Wundballistik Grundlagen und Anwendungen. 3 ed. Springer, 100-115; 2008.

(63) Kobbe P., Pape H.C. Penetrierende Verletzungen. Notfall Rettungsmed 2008.

(64) Kruger A, Florido C, Braunisch A, Walther E, Yilmaz TH, Doll D. Penetrating arterial trauma to the limbs: outcome of a modified protocol. World J Emerg Surg 2013; 8(1):51.

(65) Landmann, Willem a., Johann Mouton, Khanyisa H.Nevhutalu. Chris Hani Baragwanath Hospital ethics audit. Ethics Institute of Southafrica Research Report 2 2001.

(66) Li Z, Zhao L, Wang K, Cheng J, Zhao Y, Ren W. Characteristics and treatment of vascular injuries: a review of 387 cases at a Chinese center. Int J Clin Exp Med 2014; 7(12):4710-4719.

(67) Lodox systems. Lodox critical imaging technology [http://lodox.com]. 2015.

(68) Ludwig Malte, Rieger Johannes, Ruppert Volker. Gefäßmedizin in Klinik und Praxis: Leitlinienorientierte Angiologie, Gefäßchirurgie und interventionelle Radiologie. 2 ed. Georg Thieme Verlag; 2010.

(69) MacFarlane C, Boffard KD, Saadia R, Wilkinson AE. Emergency room arteriography: a useful technique in the assessment of peripheral vascular injuries. J R Coll Surg Edinb 1989; 34(6):310-313.

(70) Madea B. Basiswissen Rechtsmedizin. Springer, 120-143; 2007.

(71) Mahoney PF, Ryan JBAJSCW. Ballistic Trauma- A Practical Guide. 2 ed. Springer Verlag; 2005.

(72) Mantokoudis G, Hegner S, Dubach P, Bonel HM, Senn P, Caversaccio MD et al. How reliable and safe is full-body low-dose radiography (LODOX Statscan) in detecting foreign bodies ingested by adults? Emerg Med J 2013; 30(7):559-564.

(73) Markgraf E, Bohm B, Bartel M, Dorow C, Rimpler H, Friedel R. [Traumatic peripheral vascular injuries]. Unfallchirurg 1998; 101(7):508-519.

(74) Marzi Ingo, Bühren Volker. Checkliste Traumatologie. 7 ed. Georg Thieme Verlag, 180-181; 2011.

(75) Mattox KL, Feliciano DV, Burch J, Beall AC, Jr., Jordan GL, Jr., De Bakey ME. Five thousand seven hundred sixty cardiovascular injuries in 4459 patients. Epidemiologic evolution 1958 to 1987. Ann Surg 1989; 209(6):698-705.

(76) McHenry TP, Holcomb JB, Aoki N, Lindsey RW. Fractures with major vascular injuries from gunshot wounds: implications of surgical sequence. J Trauma 2002; 53(4):717-721.

(77) McNamara MG, Heckman JD, Corley FG. Severe open fractures of the lower extremity: a retrospective evaluation of the Mangled Extremity Severity Score (MESS). J Orthop Trauma 1994; 8(2):81-87.

(78) Meissner M, Paun M, Johansen K. Duplex scanning for arterial trauma. Am J Surg 1991; 161(5):552-555.

(79) Mullenix PS, Steele SR, Andersen CA, Starnes BW, Salim A, Martin MJ. Limb salvage and outcomes among patients with traumatic popliteal vascular injury: an analysis of the National Trauma Data Bank. J Vasc Surg 2006; 44(1):94-100.

(80) Mutschler Wolf-Eberhard, Kohn Dieter, Pohlemann Tim. Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie: Arterielle Gefäßverletzung. 3 ed. Georg Thieme Verlag, 411-413; 2013.

(81) O'Gorman RB, Feliciano DV, Bitondo CG, Mattox KL, Burch JM, Jordan GL, Jr. Emergency center arteriography in the evaluation of suspected peripheral vascular injuries. Arch Surg 1984; 119(5):568-573.

(82) o.V.(o.J.). Chris Hani Baragwanath Academic Hospital; (http://www.chrishanibaragwanathhospital.co.za/). 2014.

(83) Ockert S, Winkler M, Richter A, Palma P, Post S. [Vascular injuries after extremity trauma]. Zentralbl Chir 2002; 127(8):689-693.

(84) Pabst Günter, Doll Klaus D, Von Kalkreuth Christoph, Willand Julia. Handbuch Südafrika. 9 ed. Capetown online; 2012.

(85) Padberg FT, Jr., Rubelowsky JJ, Hernandez-Maldonado JJ, Milazzo V, Swan KG, Lee BC et al. Infrapopliteal arterial injury: prompt revascularization affords optimal limb salvage. J Vasc Surg 1992; 16(6):877-885.

(86) Panetta TF, Hunt JP, Buechter KJ, Pottmeyer A, Batti JS. Duplex ultrasonography versus arteriography in the diagnosis of arterial injury: an experimental study. J Trauma 1992; 33(4):627-635.

(87) Perkins ZB, Yet B, Glasgow S, Cole E, Marsh W, Brohi K et al. Meta-analysis of prognostic factors for amputation following surgical repair of lower extremity vascular trauma. Br J Surg 2015; 102(5):436-450.

(88) Pezeshki RM, Mohammadifard M, Ravari H, Farrokh D, Ansaripour E, Saremi E. Comparing color Doppler ultrasonography and angiography to assess traumatic arterial injuries of the extremities. Iran J Radiol 2015; 12(1):e14258.

(89) Pieroni S, Foster BR, Anderson SW, Kertesz JL, Rhea JT, Soto JA. Use of 64-row multidetector CT angiography in blunt and penetrating trauma of the upper and lower extremities. Radiographics 2009; 29(3):863-876.

(90) Rasouli MR, Moini M, Khaji A. Civilian traumatic vascular injuries of the upper extremity:report of the Iranian national trauma project. Ann Thorac Cardiovasc Surg 2009; 15(6):389-393.

(91) Razmadze A. Vascular injuries of the limbs: a fifteen-year Georgian experience. Eur J Vasc Endovasc Surg 1999; 18(3):235-239.

(92) Reuben BC, Whitten MG, Sarfati M, Kraiss LW. Increasing use of endovascular therapy in acute arterial injuries: analysis of the National Trauma Data Bank. J Vasc Surg 2007; 46(6):1222-1226.

(93) Rieger M, Mallouhi A, Tauscher T, Lutz M, Jaschke WR. Traumatic arterial injuries of the extremities: initial evaluation with MDCT angiography. AJR Am J Roentgenol 2006; 186(3):656-664.

(94) Robbs J.V. Penetrating vascular injuires: principles of diagnosis and management. Gefäßchirurgie 2002.

(95) Rücker Daniel. Große Unterschiede in der Versorgung. Pharmazeutische Zeitung online 2010.

(96) Rudstrom H, Bergqvist D, Ogren M, Bjorck M. Iatrogenic vascular injuries in Sweden. A nationwide study 1987-2005. Eur J Vasc Endovasc Surg 2008; 35(2):131-138.

(97) Ruppert V, Sadeghi-Azandaryani M, Mutschler W, Steckmeier B. [Vascular injuries in extremities]. Chirurg 2004; 75(12):1229-1238.

(98) Saager Hansjürg SJL. South Africa- Bulletin für Informationen zu Wirtschaft, Politik, Bildung und Kultur. South Africa 2011.

(99) Seekamp A, Kontopp H, Tscherne H. [Hannover Fracture Scale '98--reevaluation and new prospects for an established score system]. Unfallchirurg 2001; 104(7):601-610.

(100) Shanmugam V, Velu RB, Subramaniyan SR, Hussain SA, Sekar N. Management of upper limb arterial injury without angiography--Chennai experience. Injury 2004; 35(1):61-64.

(101) Sherry L.Murphy BS, Jiaquan Xu MD, and Kenneth D.Kochanek MA. National Vital Statistics Reports, Deaths:Preliminary data for 2010. 60. 11-1-2012.

(102) Tai Nigel, Raj John P, Walsh Michael. Vascular Trauma. Surgery 2004 2004.

(103) Teasdale G, Jennett B. Assessment of coma and impaired consciousness. A practical scale. Lancet 1974; 2(7872):81-84.

(104) Tony R.Hug. Südafrika- Das Paradies für Anleger und Einwanderer. Berlin: Gentlemen`s Digest Ltd. & Co.KG; 2004.

(105) TraumaRegister DGU. Jahresbericht 2014, Sektion Intensiv-Notfallmedizin,Schwerverletztenversorgung (NIS) der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) und Akademie der Unfallchirurgie GmbH (AUC). 2014.

(106) UNODC United Nations Office on Drugs and Crime. Homicide statistics 2013, Homicide counts and rates, time series 2000-2012. 2015.

(107) Wali MA. Upper limb vascular trauma in the Asir region of Saudi Arabia. Ann Thorac Cardiovasc Surg 2002; 8(5):298-301.

(108) Wirth Carl Joachim, Mutschler Wolf-Eberhard, Kohn Dieter, Pohlemann Tim. Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie. 3 ed. Thieme Verlag; 2013.

(109) Woodward EB, Clouse WD, Eliason JL, Peck MA, Bowser AN, Cox MW et al. Penetrating femoropopliteal injury during modern warfare: experience of the Balad Vascular Registry. J Vasc Surg 2008; 47(6):1259-1264.

(110) Xia YB, Pan GM, Geng CJ, Xue F, Xie YY. Application of 64-slice spiral computed tomography angiography in extremity vascular injuries. Genet Mol Res 2015; 14(1):170-179.

9 Anhang

9.1 Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Abb.	Abbildung
AIS	Abrreviated Injury Scale
AK-47	Awtomat Kalaschnikowa obrasza 1947
Amp.	Amputation
ATLS	Advanced Trauma Life Support
AV	arteriovenös
BE	Base Excess
CCD	charge coupled device
CHBAH	Chris Hani Baragwanath Academic Hospital
CT	Computertomographie
d	Tage
DIC	Disseminierte intravaskuläre Koagulopathie
DGU	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie
g	Gramm
GCS	Glascow Coma Scale
Gefäßd.	Gefäßdurchtrennung
h	Stunde
Hb	Hämoglobin
Hkt	Hämatokrit
ICU	Intermediate Care Unit
ISS	Injury Severity Score
Lodox	Low dosage X-ray
min	Minute
Mio.	Million
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
MRT	Magnetresonanztomographie
n	Anzahl
N.	nervus
OP	Operation
pCO2	Kohlendioxidpartialdruck
PTFE	Polytetrafluorethylen
RR	Riva-Rocci/Blutdruck
SOWETO	South Western Township
syst.	systemisch
unvoll.	unvollständig
V.	Vena
volls.	vollständig
vs.	Versus

9.2 Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer in Marburg waren die Damen und Herren Professoren und Privatdozenten:

Arnold, Barth, Basler, Baum, Baumann, Becker, Bette, Czubayko, Daut, del Rey, Eilers, Feuser, Fuchs-Winkelmann, Gerdes, Gotzen, Gris, Grundmann, Grzeschik, Gudermann, Hermann-Lingen, Hertl, Hofmann, Holst, Hoyer, Jackowski-Dohrmann, Junclas, Kann, Keller, Kill, Klose, Koolman, Krieg, Kroll, Lang, Lenz, Lill, Lohoff, Maier, Maisch, Mandrek, Max, Moll , Moosdorf, Mutters, Müller, Neubauer, Oertel, Plant, Prinz, Radsak, Remschmidt, Renz, Richter, Röhm, Rothmund, Ruchholtz, Schäfer, Schneider, Schmidt, Schnabel, Schneider, Schrader, Seitz, Steiniger, Vogelmeier, Wagner, Weihe, Weiler, Werner, Westermann, Wulf.

9.3 Danksagung

Mein Dank gilt in erster Linie Herrn Prof. Dr. med. S. Ruchholtz, Direktor der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie Gießen und Marburg, für die Überlassung des interessanten Themas und die Möglichkeit meine Promotion an seiner Klinik durchzuführen.

Besonders bedanken möchte ich mich bei Herrn PD Dr. med. A. Krüger für die wissenschaftliche Anleitung und fachkundige Betreuung sowie Beratung in allen aufkommenden Fragen.

Des Weiteren möchte ich mich bei Prof. Dr. med. E. Degiannis bedanken, der es ermöglicht hat in der „Trauma Unit“ des Chris Hani Baragwanath Hospital zu forschen. Durch seine intensive Betreuung vor Ort, die Unterstützung bei der Planung der Arbeit und die Hilfe bei der Datenbeschaffung hat er einen wesentlichen Anteil zum Gelingen dieser Arbeit beigesteuert.

Dank gebührt auch Herrn PD Dr. med. D. Doll für sein Engagement bei der Betreuung der Arbeit.

Meine größte Dankbarkeit möchte ich meinen Eltern, Ute Florido und Antonio Florido aussprechen, die mich auf all meinen bisherigen Wegen mit viel Unterstützung und Liebe begleitet haben. Ebenso richte ich großen Dank an meine Freunde Amelie Braunisch und Eric Walther, die mir nicht nur in Südafrika sondern auch in 6 intensiven Jahren zur Seite standen. Von ganzem Herzen möchte ich auch Thomas Schwarz für seine Liebe und Geduld danken.