

Aus dem medizinischen Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie
Geschäftsführender Direktor: Univ.- Prof. Dr. med. Steffen Ruchholtz
Medizinische Direktorin: Univ.- Prof. Dr. med. Susanne Fuchs- Winkelmann

des Fachbereichs Medizin
der Philipps-Universität Marburg

Titel der Dissertation:

**Penetrierende Verletzungen des Halses:
Charakterisierung eines südafrikanischen Patientenkollektivs,
Einflussfaktoren auf Diagnostik, Therapie, Komplikationsrate und
Mortalität**

INAUGURAL - DISSERTATION

zur

Erlangung des Doktorgrades der gesamten Humanmedizin
dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Amelie Irene Braunisch aus Starnberg

Marburg, 2018

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg am:
28. Juni 2018

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Herr Prof. Dr. Helmut Schäfer

Referent: Herr Prof. Dr. Antonio Krüger

Korreferent: Herr Prof. Dr. Afshin Teymoortash



Originaldokument gespeichert auf dem Publikationsserver
der Philipps-Universität Marburg
<http://archiv.ub.uni-marburg.de>

Dieses Werk bzw. der Inhalt steht unter einer Creative Commons Lizenz vom Typ:

Namensnennung

Keine kommerzielle Nutzung

Keine Bearbeitung

4.0 International

Die vollständige Lizenz finden Sie unter:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Original document saved on the publication server of the
Philipps-Universität Marburg
<http://archiv.ub.uni-marburg.de>

This work is licensed under the Creative Commons license:

Attribution

Non-Commercial

No Derivatives

4.0 International

To view a copy of this license, visit:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

**Meinen Eltern Barbara und Norbert
und meinem Ehemann Matthias**

Deutsche Zusammenfassung

Penetrierende Verletzungen des Halses:

Charakterisierung eines südafrikanischen Patientenkollektivs, Einflussfaktoren auf Diagnostik, Therapie, Komplikationsrate und Mortalität

Hintergrund: Seit Beginn des 20. Jahrhunderts wurde in zahlreichen Publikationen diskutiert, welche Faktoren für die Therapie penetrierender Halsverletzungen entscheidend sind. Neben der Behandlungsstrategie selbst lagen dabei die Unterschiede zwischen Schussverletzungen und Verletzungen durch scharfe Gewalt, die anatomische Einteilung des Halses und die Diagnostik mittels körperlicher Untersuchung, computertomographischer Angiographie (CTA) und Ösophagographie im Fokus vieler Studien. Das Ziel dieser Arbeit ist es, einen Beitrag zur Verbesserung der Versorgungsstrategien von penetrierenden Halsverletzungen zu leisten. Dafür wurde ein südafrikanisches Patientenkollektiv hinsichtlich der Epidemiologie, des Verletzungsmechanismus und der -lokalisation, der Vitalparameter, der Diagnostik, der Therapie sowie der Komplikationen und der Mortalität charakterisiert. In einem zweiten Schritt wurde der Einfluss des Verletzungsmechanismus und der Lokalisation der Wunde auf die Patientenversorgung untersucht. Ein weiteres Ziel der Studie ist die Analyse der Aussagekraft der körperlichen Untersuchung, der CTA und der Ösophagographie.

Methoden: In die retrospektive Studie wurden Patienten mit einer penetrierenden Verletzung des Halses eingeschlossen, die zwischen März 2010 und August 2011 in das Chris Hani Baragwanath Hospital in Johannesburg, Südafrika aufgenommen wurden. Die Versorgung erfolgte nach dem Prinzip des *Selektiven nicht-operativen Managements (SNOM)*. Gemäß des Algorithmus der Klinik wurde auf der Basis der vorliegenden Symptome und der Ergebnisse apparativer Untersuchungen über die Therapie entschieden. Dabei wurden nicht alle Patienten mit vaskulären ‚*hard signs*‘ (fehlende periphere Pulse, Seitendifferenz der Pulse, ‚*thrill*‘, ‚*bruit*‘, expandierendes oder pulsierendes Hämatom) oder aerodigestiven ‚*hard signs*‘ (Emphysem, Dysphagie, Hämatemesis, blasende Wunde, Hämoptysis, Heiserkeit) operiert.

Ergebnisse: Von den 303 Patienten wurden 265 durch scharfe Gewalt, 30 durch Schusswaffen und 8 durch einen anderen Mechanismus verletzt. 90,8% der Patienten

hatten eine singuläre Verletzung und 9,2% der Patienten hatten multiple Wunden. Bei 31 Patienten waren ‚*hard signs*‘ für eine vaskuläre Verletzung vorhanden und bei 49 Patienten ‚*hard signs*‘ für eine aerodigestive Verletzung. Bei 163 Patienten wurde eine CTA und bei 56 Verletzten eine Ösophagographie durchgeführt. 169 (55,8%) Patienten wurden konservativ und 134 (44,2%) Patienten operativ therapiert. Die Komplikationsrate lag bei 9,9%, die intrahospitale Mortalität bei 2,3%. Nach Verletzungen durch scharfe Gewalt wurde signifikant seltener eine CTA durchgeführt ($p=0,012$), außerdem unterschied sich die Erstversorgung in der Notaufnahme: die Wunde wurde häufiger in der Notaufnahme genäht ($p=0,005$) und eine Intubation ($p=0,005$) und eine Immobilisation der Halswirbelsäule ($p=0,000$) wurden seltener durchgeführt als nach Schussverletzungen. Die Komplikationsrate war nach scharfer Gewalt niedriger ($p=0,009$). Verletzungen des hinteren Halsdreieckes wurden häufiger konservativ therapiert ($p=0,039$). Gefäßläsionen waren bei Verletzungen der Zone II wahrscheinlicher als in anderen Arealen ($p=0,013$). Die Sensitivität der vaskulären ‚*hard signs*‘ lag bei 24,1%, die Spezifität bei 92,8%. Die Sensitivität der aerodigestiven ‚*hard signs*‘ berechnete sich mit 42,3%, die Spezifität mit 86,3%. Die CTA erreichte eine Sensitivität von 63,6% und eine Spezifität von 91,2%. Die Sensitivität der Ösophagographie betrug 42,9%, die Spezifität 95,3%.

Schlussfolgerung: Die Entscheidung für die operative oder konservative Therapie sollte auf der körperlichen Untersuchung und der zusätzlichen Bildgebung basieren. ‚*Hard signs*‘ stellen keine obligate Operationsindikation dar, sondern eine konservative Therapie ist möglich, wenn die Ergebnisse der Bildgebung dieses Vorgehen rechtfertigen. Aufgrund der größeren Destruktionskraft und demzufolge der höheren Komplikationsrate unterscheidet sich die Erstversorgung von Schussverletzungen von der nach scharfer Gewalt. Die Bedeutung der Lokalisation der Wunde für die Diagnostik und für die definitive Therapie ist insgesamt gering. Aufgrund der hohen Spezifität der ‚*hard signs*‘ und der bildgebenden Untersuchungen CTA und Ösophagographie kann bei einem pathologischen Befund jeweils von einer entsprechenden viszeralen Verletzung ausgegangen werden. Wegen der niedrigen Sensitivität der ‚*hard signs*‘, der CTA und der Ösophagographie wird von einer Empfehlung für das weitere diagnostische und therapeutische Vorgehen auf Grundlage der Sensitivität abgesehen.

Abstract

Penetrating Neck Injuries:

Characterization of a South African Patients Collective, Factors Influencing Diagnosis, Therapy, Complication Rate and Mortality

Background: Since the beginning of the 20th century factors influencing the treatment of penetrating neck injuries are under debate. Besides the management itself the differences between gunshot wounds and stab wounds, the anatomical classification of the neck and the diagnosis of visceral injuries by the physical examination, the computed tomographic angiography (CTA) and the oesophagography were in the center of many publications. The aim of this study is to clarify and improve diagnostic and treatment strategies of penetrating neck injuries. Therefore, a characterization of a South African patient collective regarding epidemiology, mechanism and anatomical location of injury, vital signs, diagnostic and therapeutic modalities, complications and mortality rate was conducted. Secondly, this work evaluates the effect of the mechanism of injury and of the affected zone onto the treatment. Finally, the accuracy of the physical examination, the CTA and the oesophagography were examined.

Methods: 303 patients with penetrating neck injury who were admitted to the Chris Hani Baragwanath Hospital in Johannesburg, South Africa from March 2010 to April 2011 were included in this study and retrospectively analyzed. The treatment followed the principles known as *selective non-operative management (SNOM)*. In accordance with the hospital's algorithm the decision for surgical intervention was based on clinical examination and the results of diagnostic investigations. Not all patients with vascular 'hard signs' (missing peripheral pulses, side difference of the pulses, thrill, bruit, expanding or pulsatile hematoma) and aerodigestive 'hard signs' (emphysema, dysphagia, hematemesis, bubbling wound, hemoptysis, hoarseness) underwent exploration.

Results: Out of the 303 patients included in the study 265 presented with stab wounds, 30 had gunshot wounds and 8 had injuries from another mechanism. 90.8% were treated due to a single wound whereas 9.2% sustained multiple injuries. 'Hard signs' for vascular trauma were present in 31 patients and 'hard signs' for

aerodigestive trauma in 49 patients. 163 patients underwent CTA. Oesophagography was performed in 56 patients. 169 patients (55.8%) were managed conservatively and 134 (44.2%) surgically. Complications occurred in 9.9%. In-hospital mortality rate was 2.3%. Patients with stab wounds received a CTA significantly more rarely ($p=0.012$). Concerning stab wounds, treatment in the emergency room was different in this type of injury: the wound was sutured more often directly in the emergency room ($p=0.005$) and an intubation ($p=0.005$) and an immobilization of the cervical spine ($p=0.000$) was performed not as often as after gunshot wounds. Additionally, the complication rate was decreased in patients with stab wounds ($p=0.009$). Concerning the classification of the neck wounds the posterior triangle were significantly more often managed conservatively ($p=0.039$). Vascular injuries were more common in zone II of the neck ($p=0.013$). The sensitivity and specificity of vascular 'hard signs' were 24.1% and 92.8% respectively. Aerodigestive 'hard signs' had a sensitivity and a specificity of 42.3% and 86.3% respectively. CTA achieved a 63.6% sensitivity and 91.2% specificity. Oesophagography showed a sensitivity and specificity of 42.9% and 95.3% respectively.

Conclusion: The management of penetrating neck injuries should be based on physical examination and additional investigations for all patients. 'Hard signs' are no indication for a mandatory surgical exploration, but a conservative treatment is possible, if the results of the additional investigations are justifying this approach. Because of the higher destructive power and as a result the higher complication rate of gunshot wounds the emergency management differs from the treatment of stab wounds. The anatomical localization of the injury has little importance for the diagnostic approach and the definitive therapy. High specificities of the physical examination and the radiological investigations suggest a visceral trauma in case of a pathological result. Due to low sensitivities of the clinical signs, the CTA and oesophagography a clear recommendation for the improvement of diagnostic and therapeutic strategies cannot be proposed in this study.

Inhaltsverzeichnis

Deutsche Zusammenfassung	1
Abstract	3
1. Einleitung	8
1.1 Penetrierende zervikale Verletzungen	8
1.2 Besonderheit des Studienorts	10
1.2.1 Kriminalität in der Republik Südafrika und in Johannesburg	10
1.2.2 Das Chris Hani Baragwanath Hospital	10
1.3 Klassifikationen penetrierender Halsverletzungen	11
1.3.1 Einteilung nach Verletzungsmechanismus	11
1.3.1.1 Schussverletzungen.....	11
1.3.1.2 Scharfe Gewalt	12
1.3.1.3. Konsequenzen des Verletzungsmechanismus.....	12
1.3.2 Anatomische Einteilung.....	13
1.4 Diagnostik	17
1.4.1 Körperliche Untersuchung.....	17
1.4.2 Computertomographische Angiographie.....	21
1.4.3 Diagnostik des Ösophagus.....	22
1.4.4 Weitere Untersuchungen	23
1.5 Therapie	26
1.5.1 Notfallraumversorgung.....	26
1.5.2 Definitive Therapie.....	29
1.5.2.1 Obligate Operation.....	29
1.5.2.2 Selektives nicht-operatives Management	29
1.5.3 Patientenversorgung im Chris Hani Baragwanath Hospital.....	31
1.5.4 Operationsverfahren	34
1.6 Komplikationen und Mortalität	37
2. Ziel der Arbeit	39
3. Material und Methoden	40
3.1 Studienpopulation	40
3.2 Datenerhebung	40
3.3 Auswertung	42
3.4 Statistische Methoden	44
4. Ergebnisse	45

4.1 Deskriptive Ergebnisse.....	45
4.1.1 Patientenkollektiv.....	45
4.1.2 Vitalparameter.....	46
4.1.3 Verletzungen.....	48
4.1.4 Diagnostik.....	51
4.1.4.1 Körperliche Untersuchung.....	51
4.1.4.2 Apparative Diagnostik.....	52
4.1.5 Therapie.....	54
4.1.5.1 Notfallraumversorgung.....	54
4.1.5.2 Definitive Therapie.....	59
4.1.5.3 Patientenversorgung im Chris Hani Baragwanath Hospital.....	63
4.1.6 Komplikationen.....	66
4.1.7 Mortalität.....	68
4.2 Einfluss des Verletzungsmechanismus.....	70
4.3 Einfluss der Lokalisation.....	73
4.4 Einfluss der ‚hard signs‘.....	75
4.5 Bedeutung ausgewählter apparativer Untersuchungen.....	80
4.5.1 Computertomographische Angiographie.....	80
4.5.2 Ösophagographie.....	81
4.6 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	82
5. Diskussion.....	85
5.1 Diskussion der deskriptiven Ergebnisse.....	85
5.1.1 Patientenkollektiv.....	85
5.1.2 Vitalparameter.....	86
5.1.3 Verletzungen.....	87
5.1.4 Therapie.....	89
5.1.4.1 Notfallraumversorgung.....	89
5.1.4.2 Definitive Therapie.....	91
5.1.5 Komplikationen und Mortalität.....	94
5.2 Einfluss des Verletzungsmechanismus.....	96
5.3 Einfluss der Lokalisation der Verletzung.....	99
5.4 Einfluss der ‚hard signs‘.....	101
5.5 Bedeutung ausgewählter apparativer Untersuchungen.....	106
5.5.1 Computertomographische Angiographie.....	106
5.5.2 Ösophagographie.....	107
5.6 Limitationen.....	110
5.7 Schlussfolgerungen.....	113

6. Literatur	115
7. Anhang.....	128
7.1 Abkürzungsverzeichnis	128
7.2 Tabellenverzeichnis	130
7.3 Abbildungsverzeichnis	131
8. Persönlicher Anhang	133
8.1 Verzeichnis der akademischen Lehrer.....	133
8.2 Danksagung	134

1. Einleitung

1.1 Penetrierende zervikale Verletzungen

Penetrierende Verletzungen sind selten in Deutschland: Laut dem 2016 erschienenen Jahresbericht des *TraumaRegister DGU*[®], der zentralen Datenbank der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU), machte dieser Mechanismus zwischen 2006 und 2015 nur 4,3% aller Unfallursachen aus (Lefering et al. 2016). Das Verletzungsbild ist hingegen in Südafrika, wo bis zu 80% aller chirurgisch therapierten Traumata penetrierende Verletzungen darstellen, bei weitem nicht ungewöhnlich (Exadaktylos et al. 2003). Im Chris Hani Baragwanath Krankenhaus in Johannesburg, Südafrika, in dem die Daten dieser Studie akquiriert wurden, lag der Anteil dieses Verletzungstypus im Jahr 2008 bei 47% (Krüger et al. 2013).

Penetrierende Traumata definieren sich als Verletzungen, welche durch eine Schusswaffe oder durch scharfe Gewalt, in Form einer Stich- oder Schnittwunde, zugefügt wurden. Kommt es am Hals zu einer penetrierenden Läsion muss eine vaskuläre Verletzung sowie eine Beteiligung der Trachea, des Ösophagus und des dortigen Nervengewebes ausgeschlossen werden. Aufgrund der anatomischen Komplexität des Halses, in welchem lebenswichtige Strukturen auf dichtem Raum liegen, wird bereits seit Beginn des letzten Jahrhunderts in zahlreichen Publikationen darüber debattiert, welche Faktoren das Behandlungsergebnis penetrierender zervikaler Verletzungen beeinflussen.

Es ist überliefert, dass der französische Chirurg Ambroise Paré (1510-1590) eine der ersten Operationen bei einem Patienten mit einer penetrierenden zervikalen Gefäßverletzung durchgeführt hat, indem er die verletzte Arteria (A.) carotis communis und Vena (V.) jugularis interna ligierte (Toit et al. 2003; Fox et al. 2006; Bell et al. 2007; Soliman et al. 2012). Während der napoleonischen Kriege wurden Schussverletzungen erstmalig gesäubert. Die Versorgung wurde während des Ersten Weltkrieges um ein Débridement und eine Wunddrainage erweitert (Bell et al. 2007). In Anbetracht der hohen Morbiditäts- und Mortalitätsrate und der verbesserten chirurgischen Möglichkeiten wurde nach dem Zweiten Weltkrieg zu einer obligaten Exploration bei allen Patienten mit einer penetrierenden zervikalen Verletzung geraten (Fogelman & Stewart 1956). Da sich diese Empfehlung vor allem auf Erfahrungen während militärischer Auseinandersetzungen stützte, wurden in den

1960er Jahren kritische Stimmen gegen die unbedingte operative Versorgung laut. Es wurde argumentiert, dass durch eine selektive Herangehensweise auf der Basis klinischer Befunde und apparativer Untersuchungen viele negative Explorationen vermeidbar seien (Stein & Seaward 1967). Die jeweiligen Vor- und Nachteile einer obligaten chirurgischen Therapie versus einer selektiven konservativen Versorgung wurden daraufhin ausführlich wissenschaftlich aufgearbeitet (Jones et al. 1967; Yoder & Merck 1969; Ashworth et al. 1971; Williams & Sherman 1973; Sheely et al. 1975; Saletta et al. 1976). Die selektive nicht-operative Therapie setzte sich letztendlich durch. Über einige Aspekte bei der Versorgung penetrierender Halsverletzungen wurde jedoch weiter diskutiert: Es wurde erörtert, ob Verletzungen durch Schusswaffen beziehungsweise durch scharfe Gewalt aufgrund der verschiedenen Mechanismen unterschiedlicher Ansätze in Diagnostik und Therapie bedürfen (Ordog et al. 1985; Hirshberg et al. 1994; Sofianos et al. 1996; Demetriades et al. 1996; van As et al. 2002; Munera et al. 2002; Thoma et al. 2008; Burgess, Dale, Almeyda & Corbridge 2012a; Inaba et al. 2012; Sperry et al. 2013). Ebenso wurde darüber debattiert, ob die langjährige Einteilung des Halses in drei Zonen zur Klassifikation der Eintrittswunde mit der Zeit an Bedeutung verloren hat (Pasley et al. 2012; Shiroff et al. 2013; Low et al. 2014; Prichayudh et al. 2015). In den letzten Jahrzehnten haben sich außerdem zahlreiche Studien mit der Aussagekraft der klinischen Zeichen in der körperlichen Untersuchung und mit den unterschiedlichen bildgebenden Verfahren auseinander gesetzt (Weigelt et al. 1987; Ngakane et al. 1990; Demetriades et al. 1993; Demetriades et al. 1995; Munera et al. 2000; Madiba & Muckart 2003; Mohammed et al. 2004; Munera et al. 2004; Munera et al. 2005; Insull et al. 2007; Tisherman et al. 2008; N. Ahmed et al. 2009; Pasley et al. 2012; Burgess, Dale, Almeyda & Corbridge 2012a; Inaba et al. 2012; Sperry et al. 2013; Schroll et al. 2015).

1.2 Besonderheit des Studienorts

1.2.1 Kriminalität in der Republik Südafrika und in Johannesburg

Die Erhebung der Studiendaten erfolgte im Chris Hani Baragwanath Hospital im Stadtteil Soweto der Provinzhauptstadt Johannesburg in der Republik Südafrika. Soweto, der Name ist ein Akronym für ‚*South Western Township*‘, wurde Anfang des 20. Jahrhunderts als Siedlung für schwarze Industriearbeiter erbaut. Dieser Stadtteil hat seit der Gründung mit Armut in der Bevölkerung, mit Arbeitslosigkeit, prekären Wohnsituationen, mit einer hohen Rate an Straftaten sowie mit schlechter Infrastruktur zu kämpfen (Official Website of the City of Johannesburg 2007).

Die große Anzahl von penetrierenden zervikalen Verletzungen ist auf die hohe Kriminalitätsrate Südafrikas zurück zu führen, die - obwohl sie in den letzten Jahrzehnten gesunken ist - immer noch weit über der in europäischen Ländern liegt. Der Anteil an Tötungsdelikten, welcher als Indikator für die Anzahl an Gewaltverbrechen dient, lag in Südafrika im Jahre 2011 bei 30,0 Morden pro 100.000 Einwohnern und ist damit einer der höchsten weltweit (Reconciliation & Security 2009; United Nations Office on Drugs and Crime 2014). Im Vergleich dazu lag die Anzahl der Morde bzw. Totschläge in Deutschland 2011 bei 0,8 pro 100.000 Einwohnern (World Health Organization 2015). Johannesburg, die Hauptstadt der Provinz Gauteng, gilt als besonders gefährlich. So musste sich die Stadt 2003/2004 mit einer deutlich höheren Tötungsrate als in anderen Teilen des Landes auseinandersetzen, sie betrug 44,8 Morde pro 100.000 Einwohner (United Nations Office on Drugs and Crime 2014; Statistics South Africa 2006). Laut dem Auswärtigen Amt sind neben den Innenstädten vor allem die Townships von Kriminaldelikten betroffen (Auswärtiges Amt 2017).

1.2.2 Das Chris Hani Baragwanath Hospital

Das Chris Hani Baragwanath Hospital ist ein Lehrkrankenhaus der University of the Witwatersrand, Johannesburg und ein Level-I-Traumazentrum. Mit 2888 Betten im Jahr 2004 hatte es mit Abstand die höchste Patientenzahl in der Provinz Gauteng und gilt mit aktuell circa 3200 Betten als eines der größten Krankenhäuser der Welt (Statistics South Africa 2006; Chris Hani Baragwanath Hospital 2017).

Zum Zeitpunkt der Datenerhebung wurde die Abteilung für Traumatologie von Prof. Dr. Elias Degiannis geleitet. Die Klinik für Traumatologie des Chris Hani Baragwanath Krankenhauses hat die Möglichkeit schwer verletzte Patienten aufzunehmen und unter ständiger Aufsicht eines erfahrenen Traumachirurgen zu versorgen. Die Notaufnahme der Klinik besteht aus elf Untersuchungseinheiten mit Beatmungsmöglichkeiten, 16 Reanimationsbetten und einem Bereich zur Triage, in den bis zu 40 Patienten aufgenommen werden können. Im Bereich der Notaufnahme können Lodox®-Bildgebungen (siehe 1.4.4 Weitere Untersuchungen) und Dopplersonographien durchgeführt werden. Fünfundzwanzig Meter von der Aufnahmestation entfernt besteht die Möglichkeit der Durchführung einer Computertomographie oder Angiographie. Bis zu vier Operationssäle stehen 24 Stunden täglich zur Verfügung. Die chirurgische Intensivstation verfügt über acht und die traumatologische Station über 56 Betten, außerdem können bei Bedarf 25 Betten auf anderen chirurgischen Stationen genutzt werden (Trauma Directorate Chris Hani Baragwanath Academic Hospital 2017).

1.3 Klassifikationen penetrierender Halsverletzungen

1.3.1 Einteilung nach Verletzungsmechanismus

1.3.1.1 Schussverletzungen

Bei Schussverletzungen sind unter anderem die ballistischen Eigenschaften der Waffe für das Ausmaß der Wunde entscheidend. Die Ballistik lässt sich in unterschiedliche Teilbereiche unterteilen, von denen die sogenannte Endballistik das wichtigste Gebiet für die Patientenversorgung ist (Kneubuehl et al. 2008). Diese Disziplin befasst sich mit dem Auftreffen des Geschosses in einen Körper. Beim Einschuss kommt es neben der Beschleunigung des Gewebes in Schussrichtung auch zu einer Radialbeschleunigung. Eine entstandene temporäre Wundhöhle fällt durch das gebildete Vakuum und durch die hohe Energie wieder in sich zusammen, wodurch es zu starker Gewebeschädigung kommen kann (Dettmeyer & Verhoff 2011). Für die Ausdehnung der Verletzung spielt neben der Entfernung zwischen Waffe und Ziel auch die verwendete Patrone eine Rolle (Franke et al. 2017). Entscheidend ist außerdem die Geschwindigkeit und Energie des Geschosses: Bei ‚*high-velocity*‘-,

englisch (engl.) für „hohe Geschwindigkeits-“, Waffen wie beispielsweise einem Armee- oder Jagdgewehr, verlassen die Geschosse die Mündung mit hoher Geschwindigkeit von 700-1000 m/s, beschleunigen auf 1500-4500 J und haben durch Bildung einer großen Wundhöhle eine große Destruktionskraft. ‚*Low-velocity*‘-Waffen (engl. „niedrige Geschwindigkeit“), beispielsweise Kurzwaffen (Revolver oder Pistolen), erreichen Geschwindigkeiten von 200-500 m/s und haben mit 250-750 J eine viel niedrigere Energie. Kurzwaffen werden im zivilen Zusammenhang häufiger gebraucht, sie bewirken eine weniger starke Gewebeerstörung und die Geschosse bilden lange Schusskanäle mit geringerem Durchmesser (Kneubuehl et al. 2008; Pinto et al. 2009).

1.3.1.2 Scharfe Gewalt

Verletzungen durch scharfe Gegenstände, wie Messer, Glasscherben oder Scheren, werden in senkrecht eingestochene Stichverletzungen und tangentielle Schnittverletzungen unterteilt. Bei beiden kommt es zu einer Gewebedurchtrennung mit glatten Wundrändern, ohne Quetschung, Schürfung oder Gewebsbrücken. Stichverletzungen sind mandelförmig oder elliptisch geformt. Wurde die Waffe im Körper gedreht oder hat sich das Opfer während der Tat bewegt, imponiert inspektorisch eine typische „Schwalbenschwanzform“. Das Ausmaß der Stichverletzung muss nicht mit der verletzenden Klinge korrelieren: Die Breite des Stichkanals kann weiter oder enger als die Klinge sein, je nachdem ob zusätzlich zu der Stich- auch eine Schnittverletzung vorliegt. Ebenso kann der Wundkanal beim Einstich der gesamten Klinge aufgrund der Elastizität des Gewebes länger sein oder auch kürzer, wenn die Waffe nicht komplett in den Körper eingestochen wurde (Dettmeyer & Verhoff 2011).

1.3.1.3. Konsequenzen des Verletzungsmechanismus

Ob der Verletzungsmechanismus hinsichtlich der weiteren Patientenversorgung bedeutsam ist, wurde in den letzten 30 Jahren oftmals diskutiert. Mittlerweile wird das sogenannte *Selektive nicht-operative Management (SNOM)* sowohl bei Schussverletzungen als auch bei Verletzungen durch scharfe Gewalt empfohlen (siehe 1.5.2.2 Selektives nicht-operatives Management).

Dabei gehen die meisten Publikationen von Verletzungen durch ‚*low-velocity*‘-Waffen aus. Obwohl bei Verletzungen mit ‚*high-velocity*‘-Waffen und im militärischen Kontext eine großzügigere Indikationsstellung für eine Exploration gerechtfertigt sein kann (Bell et al. 2007), setzt sich das *SNOM* mittlerweile auch in diesem Bereich durch (de Régloix et al. 2016).

1.3.2 Anatomische Einteilung

Der Hals, als das Bindeglied zwischen Kopf und Rumpf, beinhaltet so viele lebenswichtige Strukturen auf engem Raum, wie keine andere anatomische Region des Körpers. Neben den großen, das Gehirn versorgenden Gefäßen liegen im Hals die Atem- und die Speisewege sowie Nervenbahnen, wie Rückenmark und periphere Nerven.

Im vergangenen Jahrhundert wurden verschiedene Prinzipien genutzt, um penetrierende zervikale Verletzungen zu lokalisieren, beispielsweise die Einteilung in eine rechte und eine linke Halsseite sowie ein mittleres Areal (Stein & Seaward 1967). Wegweisend war jedoch die willkürliche Einteilung des Halses in drei Zonen, die Monson und Kollegen in ihrem Artikel „*Carotid vertebral trauma*“ im Jahr 1969 vornahmen (Monson et al. 1969). Ziel der Autoren war eine Vereinfachung der Diagnostik und Therapie durch eine Klassifizierung der Verletzungslokalisation. Die Autoren empfahlen bei kaudalen Wunden in Zone I, dem Bereich unterhalb der Claviculae, und bei kranialen Verletzungen in der Zone III, dem Abschnitt zwischen Angulus mandibulae und Schädelbasis, eine präoperative Angiographie durchzuführen und auf der Basis der Ergebnisse eine Entscheidung für eine operative oder eine konservative Therapie zu treffen. Bei Verletzungen der mittleren Zone II, dem Areal zwischen Sternum und Angulus mandibulae, rieten Monson und Kollegen aufgrund des einfachen chirurgischen Zugangsweges zu einer obligaten Exploration (siehe Abbildung 1).

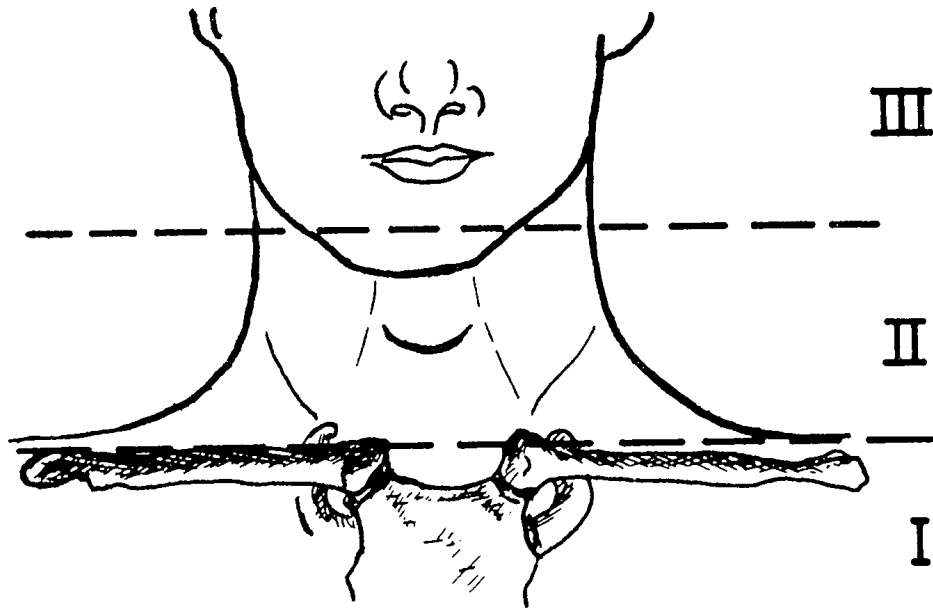


Abbildung 1: Zonen des Halses nach Monson et al. (Quelle Bild: Monson et al. 1969)
 Die Abbildung zeigt die Einteilung des Halses in Zonen nach Monson et al.:
 Zone I: kaudal der Claviculae, Zone II: Sternum bis Angulus mandibulae, Zone III: Angulus mandibulae bis Schädelbasis

Roon und Christensen modifizierten diese Einteilung im Jahr 1979: Sie definierten den Bereich zwischen den Claviculae und der Cartilago cricoidea als die kaudale Zone I, das Areal zwischen dem Unterrand der Cartilago cricoidea und dem Angulus mandibulae als die mittlere Zone II und den Abschnitt oberhalb des Angulus mandibulae bis zur Schädelbasis als kraniale Zone III (siehe Abbildung 2). Diese Klassifikation ist bis heute in Benutzung. Auch Roon und Christensen empfahlen eine weiterführende Diagnostik bei Verletzungen in den Zonen I und III, da die anatomischen Grenzregionen mit dem thorakozervikalen Übergang in Zone I und der Öffnung zur Schädelhöhle in Zone III bei Diagnostik und Therapie von penetrierenden Halsverletzungen eine besondere Herausforderung darstellen würden. Da die klinische Untersuchung und die operative Exploration von Verletzungen der am häufigsten betroffenen Zone II meist unproblematisch sei, rieten die Autoren zu einer obligaten Operation bei dortigen Wunden (Roon & Christensen 1979).

Eine Übersicht über die Halsorgane, die in den jeweiligen Zonen liegen, bietet die Tabelle 1.

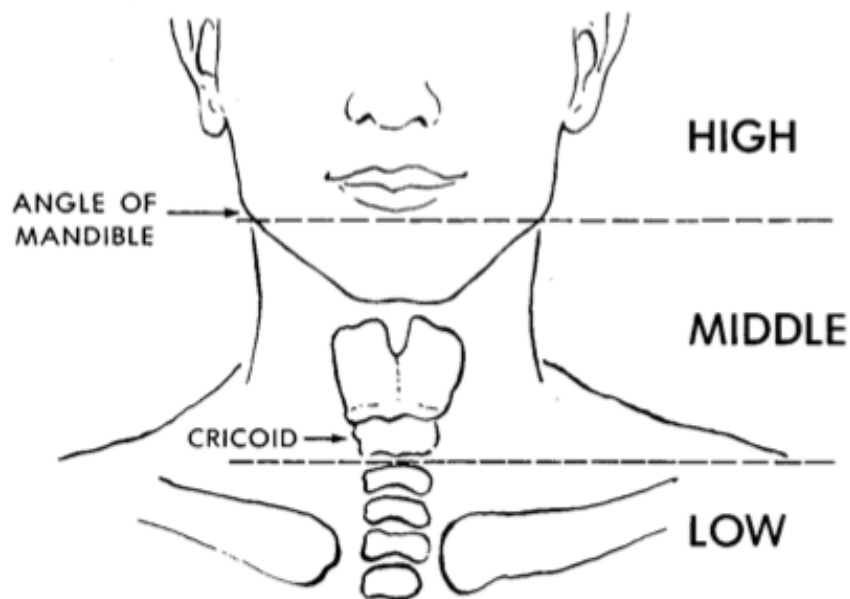


Abbildung 2: Zonen des Halses nach Roon und Christensen (Quelle Bild: Roon & Christensen 1979)

Die Abbildung zeigt die Einteilung des Halses in Zonen nach Roon und Christensen:
 Zone I: Claviculae bis Cartilago cricoidea, Zone II : Unterrand Cartilago cricoidea bis Angulus mandibulae, Zone III: Angulus mandibulae bis Schädelbasis
 (*low* =engl. tief, *middle* =engl. mittel, *high* =engl. hoch)

Beide Einteilungen beziehen sich auf den anterioren Teil des Halses, zwischen den Vorderseiten der Musculi (Mm.) sternocleidomastoidei (Brywczyński et al. 2008). Die Wahrscheinlichkeit für eine schwere Organverletzung nach penetrierenden Traumata ist im hinteren Halsdreieck geringer (Thoma et al. 2008).

Seit der Zoneneinteilung und den implizierten diagnostischen und therapeutischen Empfehlungen sind fast 50 Jahre vergangen und die Fachwelt ist aufgrund fortschrittlicher bildgebender Verfahren von der Leitlinie, Verletzungen der Zone II obligat zu operieren und in Zone I und III weitere Untersuchungen durchzuführen, abgerückt (siehe 1.5 Therapie).

Aktuell wird von den Vertretern eines *no-zone*- (engl. „keine-Zone“) Konzeptes diskutiert, ob die Einteilung in Zonen noch zeitgemäß ist (Pasley et al. 2012; Low et al. 2014; Prichayudh et al. 2015; Kasbekar et al. 2017).

	Zone I	Zone II	Zone III
Gefäße	A. carotis communis	A. carotis communis	
		A. carotis int./ext.	A. carotis int./ext.
	A./V. vertebralis	A./V. vertebralis	A./V. vertebralis
	A./V. subclavia		
	Tr. brachiocephalicus		
	V. brachiocephalica		
	V. jugularis int./ext.	V. jugularis int./ext.	V. jugularis int./ext.
Aerodigestivtrakt			Epi-/ Mesopharynx
		Hypopharynx	Hypopharynx
		Larynx	
	Ösophagus	Ösophagus	
	Trachea		
Nerven	Rückenmark	Rückenmark	Rückenmark
			N. facialis, R. colli
	N. vagus (X), N. laryngeus recurrens	N. vagus (X), N. laryngeus superior	N. vagus (X), R. pharyngealis
	N. accessorius (XI)	N. accessorius (XI)	N. accessorius (XI)
	N. phrenicus	N.phrenicus	
	Pl. cervicalis	Pl. cervicalis	
	Pl. brachialis		
	Tr. sympathicus	Tr. sympathicus	Tr. sympathicus
Weitere Organe			Gl. parotidea/ Gl. submandibularis
	Gl. thyroidea/ Gll. parathyroideae	Gl. thyroidea/ Gll. parathyroideae	
	Ductus thoracicus		
	Lunge		

Tabelle 1: Halsorgane und Zonen

Die Tabelle listet die Halsorgane in Zone I, II und III (nach Roon und Christensen) auf. (A.=Arteria, V.=Vena, Tr.=Truncus, N=Nervus, R.=Ramus, Pl.=Plexus, Gl.=Glandula)

1.4 Diagnostik

1.4.1 Körperliche Untersuchung

Bei der körperlichen Untersuchung werden zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeit von Organverletzungen sogenannte ‚*hard signs*‘ und ‚*soft signs*‘, englisch für „harte“ respektive „weiche Zeichen“, zur Hilfe genommen. Unter ‚*hard signs*‘ werden Symptome verstanden, die mit einem hohen Risiko einer viszeralen Verletzung assoziiert sind, weshalb ein sofortiger Therapiebeginn indiziert sein kann. Bei ‚*soft signs*‘ wird eine mittlere Wahrscheinlichkeit für eine Organverletzung angenommen und die Verletzung wird als weniger akut eingeschätzt.

Je nach Autor gelten unterschiedliche Symptome als ‚*hard*‘ beziehungsweise als ‚*soft signs*‘: Die klinischen Zeichen, die in den meisten Publikationen zu den ‚*hard signs*‘ gezählt werden, werden hier als sogenannte „Kernsymptome“ bezeichnet. Für Gefäßverletzungen sind hier eine schwere aktive Blutung, ein therapierefraktärer hypovolämischer Schock, ein pulsatile oder größer werdendes Hämatom und ein neurologisches Defizit zu nennen (A. Ahmed 2009; Burgess, Dale, Almeyda & Corbridge 2012b; Sperry et al. 2013; Schroll et al. 2015).

In Tabelle 2 sind neben den „Kernsymptomen“ die anderen klinischen Zeichen, welche fakultativ je nach Veröffentlichung den ‚*hard signs*‘ zugeschrieben werden, sowie außerdem die ‚*soft signs*‘ zu finden (Demetriades et al. 1993; Mohammed et al. 2004; Insull et al. 2007; Tisherman et al. 2008; Schroeder et al. 2009; Inaba et al. 2012; Pasley et al. 2012; Madsen et al. 2015).

Die Symptome für eine Verletzung des Aerodigestivtraktes sind analog dazu ebenfalls in Tabelle 2 ablesbar (Pakarinen et al. 2006; Burgess, Dale, Almeyda & Corbridge 2012b; Sperry et al. 2013).

	Klinische Zeichen	
	Vaskuläre Verletzungen	Aerodigestive Verletzungen
<i>„hard signs“</i> „Kernsymptome“	<ul style="list-style-type: none"> • Schwere aktive Blutung • Therapierefraktärer hypovolämischer Schock • Pulsatiles Hämatom • Größer werdendes Hämatom • Neurologisches Defizit 	<ul style="list-style-type: none"> • Akute Atemnot • Großes subkutanes Emphysem • Blasende Wunde • Hämatemesis
<i>„hard signs“</i> fakultativ	<ul style="list-style-type: none"> • Fehlende Pulse • Seitendifferenz der Pulse • Auskultierbares Strömungsgeräusch (engl. <i>„Bruit“</i>) • Palpable Vibrationen (engl. <i>„Thrill“</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> • Odynophagie • Dysphagie • Heiserkeit • Stridor • Hämoptysis
<i>„Soft signs“</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Venöse Blutung • Stabiles Hämatom • Blutungsanamnese • Hypotension 	<ul style="list-style-type: none"> • (Geringes) subkutanes Emphysem • (Geringe) Hämatemesis • (Geringe) Hämoptysis • Dysphagie • Heiserkeit/Dysphonie

Tabelle 2: Klinische Zeichen vaskulärer und aerodigestiver Verletzungen

Die Tabelle fasst die Symptome, die bei den meisten Autoren als *„hard signs“* gelten, als sogenannte „Kernsymptome“ zusammen. Außerdem sind fakultative *„hard signs“* und *„soft signs“* ablesbar.

Die Rolle der körperlichen Untersuchung wurde lebhaft diskutiert und in zahlreichen Studien hinsichtlich ihrer Bedeutung untersucht. In Tabelle 3 ist die Sensitivität und Spezifität der klinischen Untersuchung, bei dem Verdacht auf eine Gefäßverletzung oder eine viszerale Läsion, in Publikationen zwischen 1991 und 2013 abzulesen. Die Sensitivität mit Werten zwischen 38% und 97% und die Spezifität mit Werten zwischen 49% und 100% waren in diesen Publikationen sehr breit gestreut. Dementsprechend unterschiedlich wurde die Relevanz der klinischen Symptomatik bewertet.

In aktuelleren Studien besitzt die körperliche Untersuchung bei dem Verdacht auf eine vaskuläre Verletzung einen hohen Stellenwert: In einigen Studien wird beispielsweise eine sofortige Operation bei ‚*hard signs*‘ empfohlen, während bei ‚*soft signs*‘ eine weiterführende Bildgebung mittels CTA indiziert sein kann. Bei einem asymptomatischen Patienten kann eine konservative Therapie mit engmaschiger Überwachung der Vitalparameter gerechtfertigt sein (Inaba et al. 2012; Pasley et al. 2012).

Weniger Studien sind zur Diagnostik von aerodigestiven Verletzungen mittels der Klinik vorhanden. Die Diagnosestellung durch die körperliche Untersuchung gilt als schwierig, besonders bei kleinen oder gedeckten Defekten an Trachea und Ösophagus oder bei schweren vaskulären Begleitverletzungen am Hals. Oftmals sind die klinischen Zeichen diskreter (Ngakane et al. 1990; Madiba & Muckart 2003). Weigelt et al. publizierten eine Sensitivität der klinischen Untersuchung von 80% und eine Spezifität von 64% für ösophageale Verletzungen (Weigelt et al. 1987).

Aktuellere Studien empfehlen bei dem Verdacht auf eine Verletzung des Aerodigestivtraktes weiterführende Untersuchungen, da die zügige Diagnose und die Einleitung einer adäquaten Therapie das hohe Morbiditäts- und Mortalitätsrisiko senken (Thoma et al. 2008; Tisherman et al. 2008; Van Waes et al. 2011; Siau et al. 2012; Soliman et al. 2012; Sperry et al. 2013; Madsen, Oosthuizen, et al. 2016).

Studien	Sensitivität	Spezifität	Besonderheiten
Sclafani et al., 1991	61%	80%	Vaskuläre Verletzungen Referenz: AG
Demetriades et al., 1993	84%	-	„Signifikante“ Verletzungen Referenz: OP-Ergebnis
Jarvik et al., 1995	95%	49%	Vaskuläre Verletzungen Referenz: AG, OP-Ergebnis, Follow-Up
Demetriades et al., 1997	38%	100%	Vaskuläre- und aerodigestive Verletzungen Referenz: AG, OP-Ergebnis
Gasparri et al., 2000	82%	91%	Vaskuläre Verletzungen Referenz: AG
Azuaje et al., 2003	93%	-	Vaskuläre Verletzungen Referenz: AG
Mohammed et al., 2004	57%	53%	Vaskuläre Verletzungen Referenz: CTA Nur Schussverletzungen
Insull et al., 2007	93%	96%	„Signifikante“ Verletzungen Referenz: OP-Ergebnis Nur Zone II
Thoma et al., 2008	-	90%	Vaskuläre Verletzungen Referenz: AG
Ahmed et al., 2009	97%	87%	„Signifikante“ Verletzungen Referenz: OP-Ergebnis
Kazi et al., 2013	81%	70%	Vaskuläre Verletzungen Referenz: OP-Ergebnis

Tabelle 3: Sensitivität und Spezifität der körperlichen Untersuchung in der Literatur
 In der Tabelle ist die Sensitivität und Spezifität der klinischen Untersuchung in Studien zwischen 1991 und 2013 aufgeführt. In der Spalte Besonderheiten ist abzulesen, ob die Studie vaskuläre oder viszerale Verletzungen betrachtet hatte sowie auf welche Weise das Ergebnis der klinischen Einschätzung bestätigt wurde (Referenz).
 (AG=Angiographie, CTA=computertomographische Angiographie, OP-Ergebnis=Ergebnis der Operation)

1.4.2 Computertomographische Angiographie

Seit dem Jahr 2000 steht in zahlreichen Studien zur Diagnostik von Gefäßverletzungen nach penetrierenden zervikalen Traumata die computertomographische Angiographie (CTA) im Mittelpunkt. Aus den Veröffentlichungen von Munera et al. und Inaba et al. lassen sich die Vorteile der CTA im Vergleich zur konventionellen Angiographie folgendermaßen zusammenfassen (Munera et al. 2000; Munera et al. 2002; Inaba et al. 2012): Die CTA ist in vielen Krankenhäusern verfügbar und es wird im Gegensatz zur Angiographie kein spezielles Team benötigt. Der Verwundete muss nicht steril abgedeckt werden und die Versorgung des Patienten kann gewährleistet werden, sollte sich an seinem hämodynamischen oder respiratorischen Zustand etwas ändern. Ein apparatives Monitoring während des Scans ist möglich, die Untersuchung dauert nicht lange, eine zusätzliche Sedierung oder Analgesie ist nicht erforderlich und das Kontrastmittel kann in eine periphere Vene injiziert werden (Pasley et al. 2012). Bei einem Vergleich der Strahlenexposition der CTA und der konventionellen Angiographie an der unteren Extremität fiel das Ergebnis zugunsten der CTA aus (Willmann et al. 2005). Das Untersuchungsergebnis ist hochauflösend, multiplanar und dreidimensional. Neben der Diagnostik von Gefäßen ist auch die Beurteilung des Aerodigestivtraktes, der Wirbelsäule und des umgebenden Weichteilgewebes möglich.

Nachteilig wirkt sich die geringere Auflösung aus, vor allem bei kleineren Läsionen. Bei metallenen Fremdkörpern wie Zahnfüllungen oder Kugel- bzw. Messerfragmenten kommt es bei der CTA zu störenden Artefakten, was weitere Untersuchungen bedingen kann. Im Gegensatz zur konventionellen Angiographie gibt es bei der CTA keine Möglichkeit zur endovaskulären Intervention (Burgess, Dale, Almeyda & Corbridge 2012b).

Die CTA erreichte bei Munera et al. in den 2000 und 2002 durchgeführten Studien eine Sensitivität von 90% bzw. 100% und eine Spezifität von 100% bzw. 98,6%. Der positive prädiktive Wert lag bei 100% bzw. 92,8% und der negative prädiktive Wert bei 98% bzw. 100% (Munera et al. 2000; Munera et al. 2002). Auch Inaba et al. haben im Rahmen einer prospektiven multizentrischen Studie bei Patienten mit den ‚*soft signs*‘ venöse Blutung, stabiles nicht-pulsatiles Hämatom, geringe Hämoptysis, Dysphonie, Dysphagie und subkutanes Hämatom eine Sensitivität von 100% und eine

Spezifität von 97,5% ermittelt (Inaba et al. 2012). Aufgrund der diagnostischen Genauigkeit in Kombination mit den Vorteilen bei der Anwendung wird die Durchführung einer CTA als diagnostisches Mittel der Wahl bei Patienten mit mittlerem Risiko für eine Gefäßverletzung empfohlen (Burgess, Dale, Almeyda & Corbridge 2012b).

Die CTA kann auch für die Diagnostik aerodigestiver Verletzungen heran gezogen werden (Inaba, Munera, McKenney, Rivas, de Moya, et al. 2006; Madsen, Oosthuizen et al. 2016)

1.4.3 Diagnostik des Ösophagus

Ein Vorteil der Ösophagographie ist die gute Beurteilbarkeit der Ausdehnung und der genauen Lokalisation eines Mukosadefektes (Madiba & Muckart 2003). Die Durchführung erfordert jedoch ein radiologisches Team, ist bei intubierten Patienten erschwert und für instabile Patienten ungeeignet (N. Ahmed et al. 2009). Die Sensitivität der Ösophagographie für die Detektion von Ösophagusverletzungen liegt zwischen 35% und 100%, die Spezifität zwischen 96% und 100% (Wood et al. 1989; N. Ahmed et al. 2009).

Die Ösophagoskopie ist technisch weniger anspruchsvoll als die Ösophagographie und gut bei intubierten oder instabilen Patienten sowie intraoperativ durchführbar. Da die Sensitivität mit bis zu 100% und die Spezifität mit maximal 96% höher liegen als die der Ösophagographie, wird diese Methode bei einigen Autoren bevorzugt (Weigelt et al. 1987; Armstrong et al. 1994; Flowers et al. 1996). Nachteilig wirkt sich jedoch aus, dass diese Untersuchung die Anwesenheit eines Endoskopie-erfahrenen Arztes erfordert und dass das Risiko einer iatrogenen Verletzung besteht (Soliman et al. 2012). Außerdem ist die Manipulation und Reklination der Halswirbelsäule erforderlich, was nach einem Trauma mit potentieller Instabilität der Wirbelsäule riskant sein kann.

Mittlerweile wird in aktuelleren Studien mit Blick auf die gewachsene Bedeutung der Computertomographie von einer Routineendoskopie bei asymptomatischen und hämodynamisch stabilen Patienten abgeraten. Diese Patienten sollten primär eine Computertomographie erhalten. Bei Patienten mit dem klinischen Verdacht auf eine Speiseröhrenverletzung wird hingegen eine Ösophagoskopie oder eine Ösophagographie empfohlen. Bei einem Hinweis auf eine Ösophagusverletzung sollte

sich dann eine weitere radiologische oder endoskopische Abklärung anschließen (Osborn et al. 2008; Pasley et al. 2012; Offiah & Hall 2012; Soliman et al. 2012).

1.4.4 Weitere Untersuchungen

Lodox[®]

Die Bezeichnung Lodox[®] steht für das Akronym ‚*low-dose X-ray*‘ (engl. für „niedrig dosiertes Röntgen“). Wie in Abbildung 3 zu sehen, ist das Lodox[®] eine Bildgebung mittels Röntgenstrahlen, die eine schnelle Diagnostik des gesamten Körpers bei niedriger Strahlendosis ermöglicht (Evangelopoulos et al. 2009; Official Website of Lodox Systems - Installations 2015). Die Methode wurde zur Kontrolle von Arbeitern südafrikanischer Diamantenminen erfunden und in Südafrika aufgrund der hohen Anzahl an Patienten mit schweren Traumata weiter entwickelt. Sie ermöglicht die Untersuchung des ganzen Körpers innerhalb von 13 Sekunden und ein digitales Röntgenbild mit anterior- posteriorem, lateralem und schrägem Strahlengang liegt in weniger als einer Minute vor (Whiley et al. 2013). Es wird eine geringe Strahlendosis von durchschnittlich 6% im Vergleich zur Bildgebung mittels konventionellem Röntgen benötigt (Evangelopoulos et al. 2009; Whiley et al. 2013), wovon der Patient und das medizinische Personal profitieren. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit der Patientenversorgung bei hämodynamischer oder respiratorischer Instabilität während der Untersuchung. Metallene Fremdkörper, beispielsweise bei multiplen Schussverletzungen, können detektiert werden (Fu et al. 2008). Aufgrund dieser Faktoren spielt das Lodox[®] eine wichtige Rolle während der ‚*Primary Survey*‘ der ‚*Advanced Trauma Life Support[®]*‘- (ATLS[®]-) Prinzipien (siehe 1.5.1 Notfallraumversorgung) (Exadaktylos et al. 2008). Wegen der hohen Patientenzahlen und der oben genannten Vorteile hinsichtlich der personellen und technischen Ressourcen wird das Lodox[®] in der Traumatologie vor allem in Südafrika viel genutzt (Official Website of Lodox Systems - Installations 2015). Laut Deyle et al. und Evangelopoulos et al. stellt das Lodox[®] ein gutes Instrument zum Screening dar. Die Autoren geben jedoch zu bedenken, dass nach der Bildgebung mittels Lodox[®] bei 50% der Patienten eine weitere radiologische Untersuchung durchgeführt wird (Evangelopoulos et al. 2009; Deyle et al. 2010).

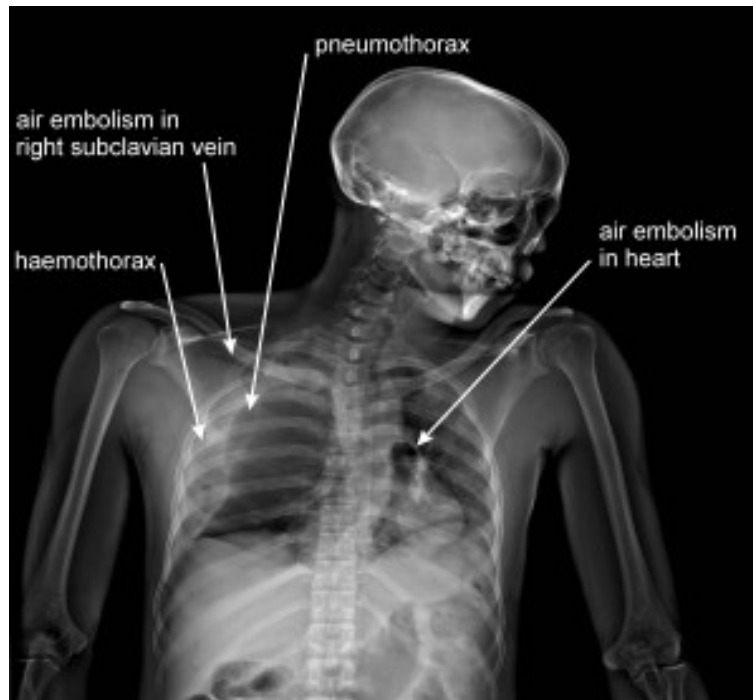


Abbildung 3: Bildgebung mittels Lodox® (Quelle Bild: Official Website of Lodox Systems- Case of the month 2015)

Das Bild zeigt die Lodox®-Aufnahme eines Patienten mit einem Pneumothorax (engl. ‚*pneumothorax*‘), einem Hämatothorax (engl. ‚*haemothorax*‘), einer Luftembolie in der rechten V. subclavia (engl. ‚*air embolism in right subclavian vein*‘) und einer kardialen Luftembolie (engl. ‚*air embolism in heart*‘) nach einer penetrierenden zervikalen Verletzung durch scharfe Gewalt.

Angiographie

Osborn et al. definierten die Angiographie 2008 als den diagnostischen Goldstandard bei der Evaluation von vaskulären Verletzungen nach penetrierenden Traumata (Osborn et al. 2008). Neben der hohen Sensitivität und Spezifität ist ein Vorteil der Angiographie die Möglichkeit der Blutungskontrolle durch die endovaskuläre Therapie (Demetriades et al. 1989). Nachteilig sind jedoch die Dauer der Untersuchung, die Notwendigkeit eines Angiographie-Teams und die Invasivität mit einem Risiko von 0,16% bis 2,0% für daraus resultierende Komplikationen (Munera et al. 2002). Die CTA ist mittlerweile der konventionellen Angiographie überlegen. Die Angiographie kann jedoch von Vorteil sein, wenn die Symptomatik auf eine Verletzung hinweist, die durch endovaskuläre Behandlung optimal zu versorgen wäre, wie beispielsweise bei den klinischen Zeichen ‚*bruit*‘ und ‚*thrill*‘ (LeBlang & Nuñez 2000). Das Vorhandensein metallener Fremdkörper im Untersuchungsgebiet kann aufgrund von Artefakten in der CTA eine Angiographie erfordern (Newton 2017).

Computertomographie

Die Computertomographie ist innerhalb kürzester Zeit und bei immobilisierter Halswirbelsäule durchführbar. Bei dem Verdacht auf eine laryngotracheale Verletzung ist der Einsatz der Computertomographie zur Beurteilung des Larynx von Vorteil (Robinson et al. 2009; Kazi et al. 2013). Die Sensitivität der Computertomographie bei Ösophagusverletzungen ist in der Literatur umstritten: Sie liegt zwischen 50% (Gonzalez et al. 2003) und 100% (Inaba, Munera, McKenney, Rivas, de Moya, et al. 2006), weswegen die Computertomographie zum Ausschluss einer ösophagealen Verletzung als nur bedingt geeignet gilt (Newton 2017).

Eine aktuelle Studie hat mit einer Sensitivität von 95% und einer Spezifität von über 85% sehr gute Ergebnisse für die Diagnostik mittels einer computertomographischen Ösophagographie erzielt (Conradie & Gebremariam 2015).

Dopplersonographie

Die Kombination aus körperlicher Untersuchung und Dopplersonographie erzielte mit einer Sensitivität von 91% und einer Spezifität von 99% bei der Diagnose von Gefäßverletzungen gute Ergebnisse (Demetriades et al. 1995). Der Genauigkeit, Kostengünstigkeit, Nicht-Invasivität und der Tatsache, dass kein Kontrastmittel benötigt wird (Montorfano et al. 2017), stehen folgende Nachteile gegenüber, aufgrund derer sie in vielen Krankenhäusern nicht als Routineuntersuchung gebraucht wird: Die Dopplersonographie ist stark untersucherabhängig und sie benötigt Zeit, selbst wenn sie von einem erfahrenen Arzt ausgeführt wird. Damit ist sie bei instabilen Patienten nur eingeschränkt geeignet. Die Untersuchung wird durch ein subkutanes Emphysem, ein großes Hämatom oder durch echodichte Objekte wie Knochensplitter oder metallische Fremdkörper, beispielsweise Messer- oder Kugelfragmente, limitiert. Durch die Dopplersonographie ist es außerdem nicht möglich die distalen intrakraniellen Anteile der A. carotis interna oder der A. vertebralis sowie Abschnitte der proximalen A. und V. subclavia darzustellen (Munera et al. 2002; Newton 2017).

Magnetresonanztomographie

Da die zur Überwachung und Stabilisierung notwendige technische Ausrüstung während der Untersuchung abgelegt werden muss, wird die Magnetresonanztomographie (MRT) in der Routinediagnostik penetrierender

Halsverletzung selten genutzt (Newton 2017). Außerdem wird diese Bildgebung durch das potentielle Vorhandensein ferromagnetischer Fremdkörper limitiert (Offiah & Hall 2012) und die Untersuchung ist hinsichtlich ihrer Dauer unterlegen. Es fehlen größere prospektive Studien zur diagnostischen Genauigkeit der MRT.

1.5 Therapie

1.5.1 Notfallraumversorgung

Die Algorithmen des *ATLS*[®], des *Advanced Trauma Life Support*[®], stellen den internationalen Standard in der Erstversorgung von Schwerverletzten dar. Dieses Weiterbildungsprogramm wurde 1978 von dem amerikanischen Chirurgen Dr. Jim Styner entwickelt und wird seit 1980 in Zusammenarbeit mit dem *American College of Surgeons* in über 50 Ländern unterrichtet (World Health Organization et al. 2004). Die wichtigsten Inhalte dieser Leitlinien bestehen in der schnellen Einschätzung des klinischen Zustandes des Patienten (*assessment*) und der bedarfsgerechten Therapie. Die unmittelbare Bedrohung soll systematisch erfasst und sofort behoben werden. Das Konzept teilt sich in eine *Primary Survey* mit primärer Diagnostik und Sicherung der Vitalfunktionen und in eine *Secondary Survey* mit einer ausführlichen Untersuchung nach der Abwendung lebensbedrohlicher Ereignisse. Vor allem die erste Stufe orientiert sich an einer strikten Reihenfolge diagnostischer und therapeutischer Schritte, durch die Behandlungsprioritäten vereinfacht werden und die sich von dem Akronym „ABCDE“ ableiten lassen: „A“ steht für die Atemwege (engl. *Airway*), „B“ für die Atmung und Ventilation (engl. *Breathing*), „C“ für den Kreislauf, Blutungen und Organperfusion (engl. *Circulation*), „D“ für potentielle Behinderungen und den neurologischen Status (engl. *Disability*) und „E“ für die Exposition des Patienten gegenüber Umwelteinflüssen (engl. *Exposure*) (Burgess, Dale, Almeyda & Corbridge 2012b). Dieses Konzept hat sich international durchgesetzt.

Bezüglich penetrierender Verletzungen des Halses verdienen einige Punkte besonderer Beachtung:

Eine Atemwegssicherung durch eine Intubation ist bei folgenden Symptomen indiziert: einer signifikanten Blutung, einem Hämatom, *bruit* oder *thrill*,

Hämoptysis, einem subkutanen Emphysem, einem neurologischen Defizit, inspektorisch erkennbarer Deformation des Halses, Stridor, Dysphagie und Auffälligkeiten der Stimme, vor allem Heiserkeit. Eine ‚*Rapid Sequence Induction*‘ (*RSI*), englisch für Notfalleinleitung, wird als Mittel der Wahl empfohlen. Alternativ stehen die Sicherung der Atemwege am wachen Patienten durch eine fiberoptisch unterstützte Intubation oder die blinde nasotracheale Intubation zur Verfügung (Shearer & Giesecke 1993; Mandavia et al. 2000; Weitzel et al. 2004; Tallon et al. 2007). Für die chirurgische Atemwegssicherung bestehen folgende Indikationen: eine erfolglose Intubation, eine massive Deformation des Halses, ein großes Mittelgesichtstrauma oder die Nicht-Darstellbarkeit der Glottis (Newton 2017).

Gilroy und Kollegen beschrieben 1992 in einer in Johannesburg durchgeführten Studie folgende Methode zur Blutungskontrolle bei penetrierenden Verletzungen des Halses: Durch die Positionierung eines 18 oder 20 Gauge (G) großen, abgeklemmten oder verknoteten Foley-Katheters in die Wunde kann, nach Füllung des Ballons mit Natriumchloridlösung, eine Blutung zum Stillstand gebracht werden. Bei Bedarf können zwei Katheter in den Wundkanal gelegt werden, um bei andauernder Hämorrhagie neben dem proximalen auch den distalen Gefäßanteil zu komprimieren. Bei Verletzungen in Zone I und einer Blutung in die Pleurahöhle sollte der Katheter möglichst nach proximal eingebracht werden, so dass das blutende Gefäß gegen die Clavicula oder gegen die erste Rippe komprimiert und die Blutung so gestoppt oder reduziert wird (siehe Abbildung 4) (Gilroy et al. 1992). Die Einbringung eines Foley-Katheters kann eine Komponente des konservativen Managements sein, wenn der Katheter nach dem Ausschluss einer arteriellen Verletzung nach 48-96 Stunden ohne Nachblutung wieder entfernt werden kann (Navsaria et al. 2006).

Das Verfahren ist ein wichtiger Teil der Damage-Control-Strategie, bei der eine Stabilisierung schwer verletzter Patienten in drei Schritten erreicht wird: Nach dem Erreichen der temporäre Kontrolle über die schwersten Verletzungen wird auf der Intensivstation eine etwaige Azidose, Hypothermie oder Koagulopathie therapiert. Danach folgt die definitive operative Versorgung der Verletzungen (Firoozmand & Velmahos 2000; Franke et al. 2017).

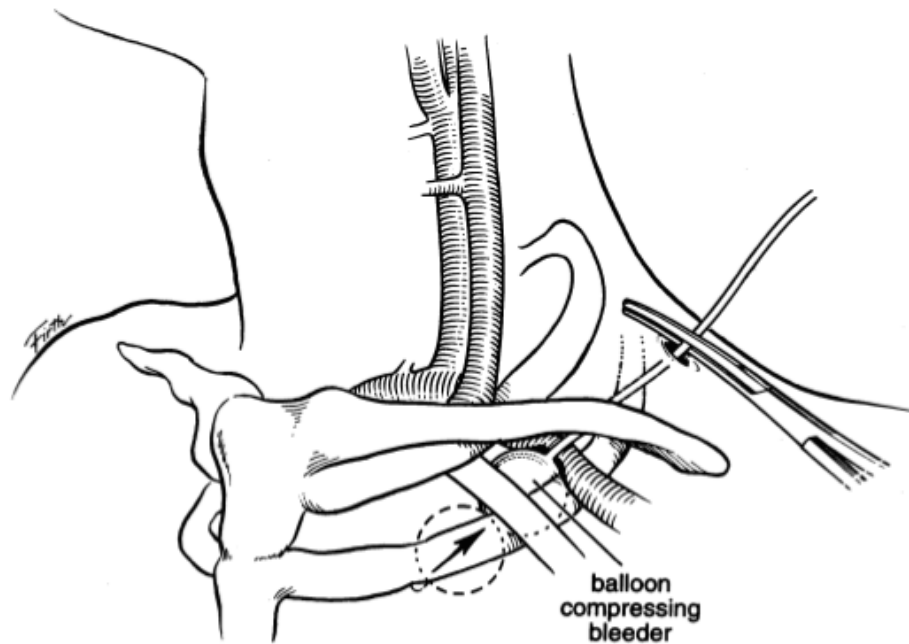


Abbildung 4: Ballontamponade der A. subclavia nach Demetriades et al. (Quelle Bild: Demetriades et al. 1999)

Die Abbildung zeigt eine penetrierende Halsverletzung der Zone I sowie den in den Wundkanal eingebrachten Foley-Katheter. Dieser wurde nach Füllung des Ballons nach distal gezogen, wodurch das blutende Gefäß gegen die Clavicula komprimiert wird.

Eine mögliche Therapie bei schwerstverletzten Patienten mit einem Herzkreislaufstillstand nach penetrierenden Verletzungen ist die Durchführung einer Thorakotomie im Notfallbereich des Krankenhauses (Degiannis et al. 2005). Gründe für den kardialen Arrest können ein hämorrhagischer Schock, ein Spannungspneumothorax, eine Verlegung der Atemwege, eine Perikardtamponade oder eine Luftembolie sein (Newton 2017). Vor allem Verletzungen der Zone I können durch eine Beteiligung thorakaler Strukturen eine Notfallthorakotomie erforderlich machen. Demetriades und Kollegen plädierten 1987 dafür diese Methode für Patienten mit reaktiven Pupillen, Atemanstrengungen und kardialer Aktivität aufzusparen (Demetriades et al. 1987). In einer aktuelleren Studie wird die Indikation für eine Notfallthorakotomie nach penetrierendem Zervikaltrauma nur bei einer prähospitalen kardiopulmonalen Reanimation (engl. ‚*Cardiopulmonary Resuscitation*‘, *CPR*) von weniger als 5 Minuten oder bei Patienten mit therapierefraktärem Schock gesehen (Burlew et al. 2012).

Die Wahrscheinlichkeit einer Wirbelkörperfraktur oder einer Rückenmarksverletzung nach penetrierenden Traumata des Halses ist niedrig und die Inzidenz ist von dem

Verletzungsmechanismus abhängig: Während das Risiko für eine Rückenmarksschädigung nach scharfer Gewalt bei 0,1% liegt, beträgt das Risiko für eine neuronale Läsion nach Schussverletzungen zwischen 0,4% und 0,9% (Rhee et al. 2006; Lustenberger et al. 2011). Aus ungeklärter Ursache liegt bei Patienten mit penetrierender Halsverletzung eine signifikant höhere Mortalität nach Anlage einer Zervikalschiene vor (Vanderlan et al. 2009). Vor der Immobilisation der Halswirbelsäule sollten die Vor- und Nachteile sorgfältig abgewogen werden (Connell et al. 2003; Rhee et al. 2006).

1.5.2 Definitive Therapie

1.5.2.1 Obligate Operation

Die Autoren Fogelman und Stewart postulierten 1956, dass die Ausmaße einer penetrierenden Halsverletzung nur durch eine frühe chirurgische Exploration erkannt werden können. Die Autoren empfahlen eine obligatorische Operation, da bei einer Gesamtmortalität von 11% die Mortalität bei konservativer Therapie mit 35% viel höher liege (Fogelman & Stewart 1956). Die Befürworter der obligaten Operation argumentierten außerdem mit der geringen Morbidität und Mortalität bei nicht-therapeutischen Explorations- und hohen Komplikations- und Todesfallraten bei verzögerter chirurgischer Therapie (Apffelstaedt et al. 1994).

Innerhalb der letzten Jahrzehnte hat man sich aber bei zunehmender Qualität der bildgebenden Diagnostik von der obligaten Operation abgewandt.

1.5.2.2 Selektives nicht-operatives Management

Stein und Seaward widersprachen 1967 der Empfehlung für eine obligate chirurgische Versorgung mit dem Argument, dass die hohen Komplikations- und Mortalitätsraten vor allem nach Verletzungen mit ‚*high-velocity*‘- Geschossen auftreten würden, nicht aber bei ‚*low-velocity*‘- Schusswaffen oder bei scharfer Gewalt. In der im Chris Hani Baragwanath Hospital durchgeführten Studie wurden symptomatische Patienten sofort operiert, die übrigen Patienten wurden konservativ behandelt. Die konservativ therapierte Gruppe wies deutlich bessere Ergebnisse bezüglich der Morbidität und Mortalität auf (Stein & Seaward 1967). Die Frage des Managements von stabilen

Patienten mit penetrierender Halsverletzung wurde in den folgenden Jahrzehnten lebhaft diskutiert (Jones et al. 1967; Yoder & Merck 1969; Williams & Sherman 1973; Sheely et al. 1975; Wood et al. 1989; Velmahos, Souter, Degiannis, Mokoena & Saadia 1994a; Demetriades et al. 1996; Sofianos et al. 1996; Biffi et al. 1997).

Ein wichtiges Argument der Befürworter der selektiven konservativen Therapie stellte der hohe Anteil der negativen Explorationen dar, der sich zwischen 28% und 63% bewegte (Saletta et al. 1976).

Seit ungefähr 20 Jahren ist sich die Fachwelt einig, dass das sogenannte *Selektive nicht-operative Management* (engl. *selective non-operative management, SNOM*) der obligaten Operation überlegen ist: Auf der Basis der klinischen Symptomatik sowie der additiven apparativen Untersuchungen sollte individuell entschieden werden, ob der Patient einer sofortigen Operation bedarf oder unter engmaschiger Überwachung konservativ behandelt werden kann. Letzteres treffe laut Demetriades et al. auf 80% der Patienten mit penetrierenden Halsverletzungen zu (Demetriades et al. 1993). Die Vorteile des *SNOM* beschränken sich nicht auf Verletzungen durch scharfe Gewalt, auch Patienten mit Schussverletzungen können konservativ therapiert werden (Demetriades et al. 1996; Biffi et al. 1997).

Uneinigkeit besteht jedoch weiterhin bezüglich der Indikationen für eine sofortige chirurgische Exploration und für die Diagnostik mittels bildgebender Verfahren wie der CTA oder der Ösophagographie. Einige Autoren empfehlen beispielsweise Patienten mit hämodynamischer Instabilität, Beeinträchtigung der Atmung oder ‚*hard signs*‘ sofort zu operieren, bei Patienten mit ‚*soft signs*‘ dagegen weitere Diagnostik anzuschließen. Abhängig vom Befund könne eine chirurgische Versorgung indiziert sein. Negative Befunde würden für eine konservative Therapie mit engmaschiger Überwachung sprechen. Bei asymptomatischen Patienten sei das *SNOM* mit wiederholten ausführlichen körperlichen Untersuchungen ausreichend (Demetriades et al. 1993; Biffi et al. 1997; Munera et al. 2002; Pakarinen et al. 2006; Burgess, Dale, Almeyda & Corbridge 2012b; Pasley et al. 2012; Inaba et al. 2012; Sperry et al. 2013).

1.5.3 Patientenversorgung im Chris Hani Baragwanath Hospital

Die Erstversorgung wurde im Chris Hani Baragwanath Hospital gemäß der *ATLS*[®]-Prinzipien durchgeführt. Aufgrund der klaren Evidenz dieser Strategie und der hohen Anzahl an Patienten mit penetrierenden zervikalen Verletzungen wurde das Konzept des *SNOM* verfolgt (Velmahos, Souter, Degiannis, Mokoena & Saadia 1994b). Alle Patienten mit penetrierenden Halsverletzungen wurden in der Notaufnahme körperlich untersucht. Die Entscheidung über das weitere Vorgehen wurde nach folgenden Leitlinien getroffen: Patienten mit einer therapierefraktären hämodynamischen Instabilität, einer offensichtlichen viszeralen Verletzung oder einer aktiven Blutung wurden sofort chirurgisch exploriert. Bei hämodynamisch stabilen Patienten mit dem Verdacht auf eine vaskuläre Verletzung aufgrund von ‚*hard signs*‘ (siehe Tabelle 4), wurde eine CTA durchgeführt. Bei pathologischen Ergebnissen wurde der Patient operiert, bei unauffälligem Befund erfolgte vorerst eine konservative Therapie unter engmaschiger Beobachtung des Verlaufs und der Vitalparameter (siehe Abbildung 5).

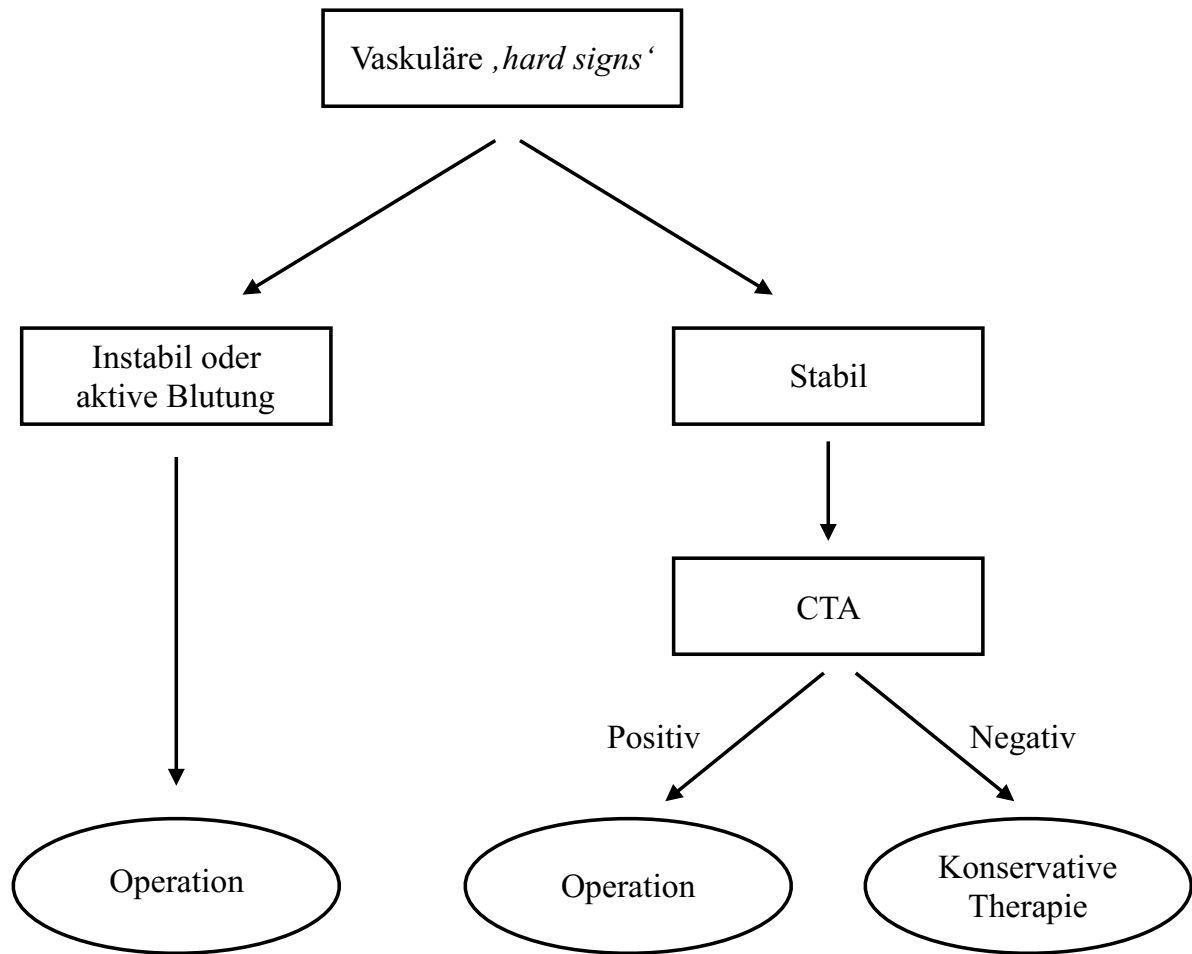


Abbildung 5: Algorithmus beim Vorliegen von vaskulären ‚hard signs‘
 Die Abbildung zeigt den Algorithmus des Chris Hani Baragwanath Hospitals für das Management von Patienten mit ‚hard signs‘ einer vaskulären Verletzung.
 (CTA=computertomographische Angiographie)

Die Patienten mit aerodigestiven ‚hard signs‘ (siehe Tabelle 4), die hämodynamisch instabil waren oder bei denen eine Verletzung der Luft- und/oder Speisewege offensichtlich war, wurden sofort operiert. Bei stabilen Patienten mit aerodigestiven ‚hard signs‘ wurde eine Ösophagographie mit dem jodhaltigen Kontrastmittel Hexabrix[®] oder eine Ösophagoskopie durchgeführt, je nach Einzelfall in Kombination mit einer CTA. Patienten, bei denen eine aerodigestive Verletzung nachgewiesen wurde, wurden operiert, bei unauffälligen Ergebnissen wurde der Patient konservativ behandelt (siehe Abbildung 6).

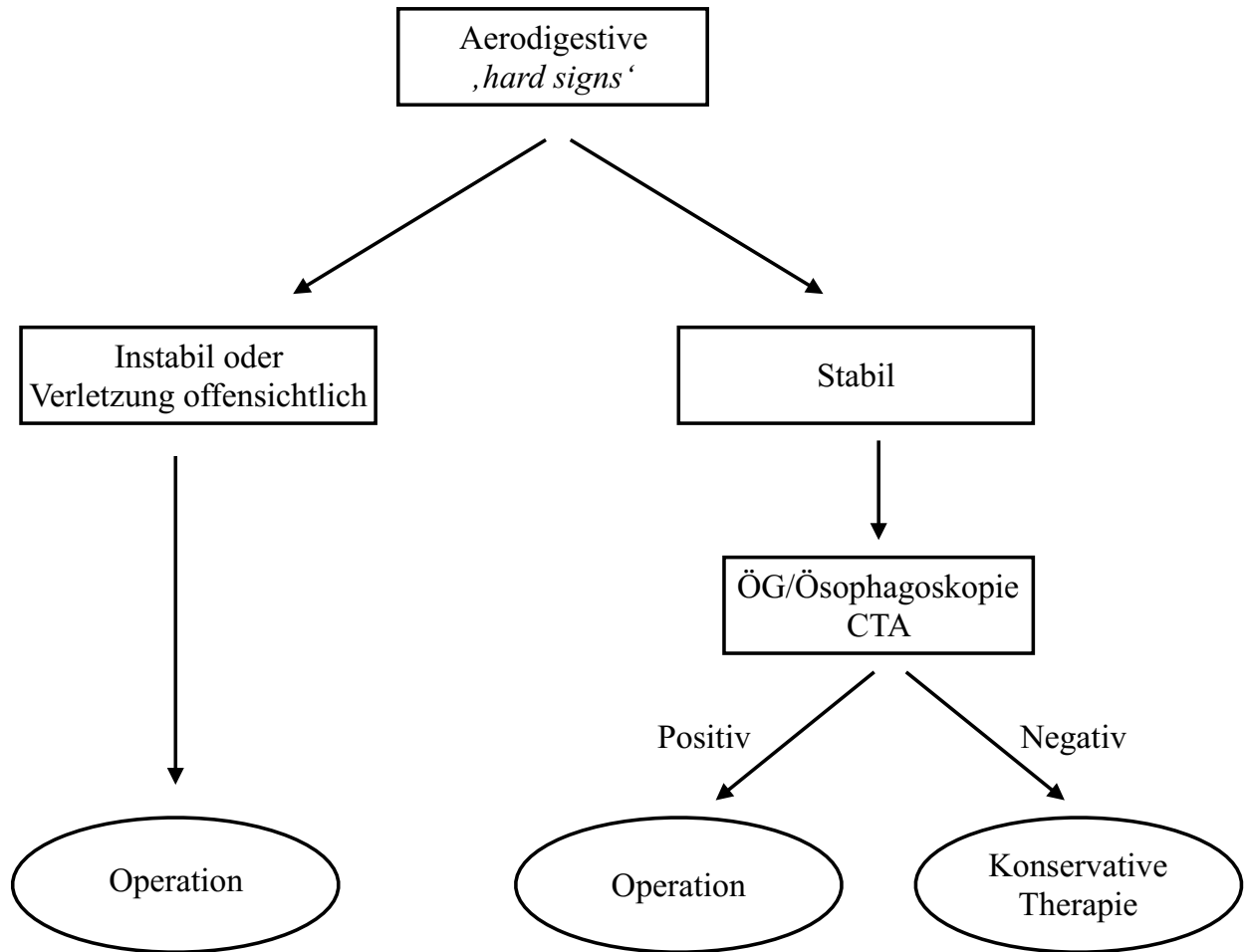


Abbildung 6: Algorithmus beim Vorliegen von aerodigestiven ,hard signs'
 Die Abbildung zeigt den Algorithmus des Chris Hani Baragwanath Hospitals für das Management von Patienten mit ,hard signs' einer Verletzung des Aerodigestivtraktes.
 (ÖG=Ösophagographie, CTA=computertomographische Angiographie).

	Klinische Zeichen	
	Vaskuläre Verletzung	Aerodigestive Verletzung
„Hard signs“ im Chris Hani Baragwanath Hospital	<ul style="list-style-type: none"> • Pulsierendes Hämatom • Expandierendes Hämatom • ‚Bruit‘ • ‚Thrill‘ • Fehlende periphere Pulse • Seitendifferenz der Pulsstärke 	<ul style="list-style-type: none"> • Subkutanes Emphysem • Hämoptysis • Hämatemesis • Blasenbildende Wunde • Dysphagie • Heiserkeit

Tabelle 4: ‚Hard signs‘ für vaskuläre und aerodigestive Verletzungen im Chris Hani Baragwanath Hospital
(‚Bruit‘=engl. auskultierbares Strömungsgeräusch, ‚Thrill‘=engl. palpable Vibrationen)

1.5.4 Operationsverfahren

Bei den meisten penetrierenden Halsverletzungen kann mit einer Inzision am anterioren Rand des M. sternocleidomastoideus begonnen werden. Je nach betroffener Zone kann es notwendig sein andere Zugangswege zu wählen, wie eine mediane Sternotomie oder eine supraclaviculäre Inzision, gegebenenfalls in Kombination mit einer Resektion der medialen Clavicula, bei Zone I- Verletzungen. Bei beidseitigen Wunden können sich, vor allem bei Zone II- Traumata, bilaterale Inzisionen an den Vorderrändern der Mm. sternocleidomastoidei anbieten, welche durch eine transverse Schnittführung verbunden werden können (Asensio et al. 2011). Eine Operation in Zone III stellt eine Herausforderung dar und kann die Subluxation, Dislokation oder Resektion der Mandibula oder einen zirkumferenten Schnitt um das Ohr erfordern (Asensio et al. 2011; Sperry et al. 2013).

Eine gefürchtete Organverletzung nach penetrierenden zervikalen Traumata ist eine Läsion der A. carotis, da die starke Blutung nicht nur zur Hypovolämie und in extremis zum Verbluten, sondern auch durch die Bildung eines großen Hämatoms zur Verlegung der Atemwege führen kann. Außerdem ist eine Ischämie des distalen Stromgebietes mit schwerwiegenden neurologischen Folgeschäden möglich (Asensio et al. 2011). Verletzungen der A. carotis communis, der A. carotis interna und externa sollten, unabhängig vom neurologischen Status, chirurgisch versorgt werden (Burgess, Dale, Almeyda & Corbridge 2012a; Teehan et al. 1997; Feliciano 2001;

Demetriades, Salim, Brown, Martin & Rhee 2007a; Demetriades et al. 1989; Madsen, Laing, Bruce, Oosthuizen, et al. 2016). Falls möglich sollte dies durch eine Gefäßnaht geschehen, gegebenenfalls mit vorangegangenen Débridement der Verletzung. Ist eine spannungsfreie End-zu-End-Anastomose nicht möglich, kann ein Interponat eingelegt werden: Die Alternativen stellen ein autologes V. saphena magna-Transplantat oder als zweite Wahl eine künstliche Polytetrafluorethylen (PTFE)-Gefäßprothese dar. Als ultima ratio verbleibt die Ligatur der A. carotis bei unkontrollierbarer therapierefraktärer Blutung oder bei komatösen Patienten mit fixiertem neurologischen Defizit (Ramadan et al. 1995; Teehan et al. 1997; Asensio et al. 2011).

Die definitive Therapie der A. vertebralis ist schwierig, da die Arterie nicht leicht zugänglich ist. Durch intrazerebrale Anastomosen im Circulus arteriosus cerebri kann es nach der Versorgung des proximalen Anteiles durch retrograden Fluss zur Hämorrhagie aus dem distalen Gefäßstumpf kommen (Fogelman & Stewart 1956). Die Blutungskontrolle kann temporär durch eine Kompression mit Knochenwachs erfolgen oder definitiv durch die proximale Ligatur des Gefäßes am Abgang aus der A. subclavia oder durch das Einbringen eines Fogarty- Katheters als Tamponade (Sperry et al. 2013; Pejkić et al. 2014). Empfohlen wird außerdem eine endovaskuläre Therapie durch Ballonokklusion, durch Einlegen eines Stents oder durch Coiling (Mwipatayi et al. 2004).

Verletzungen der A. subclavia sind mit einer hohen Mortalität von bis zu 39% assoziiert und viele Patienten versterben noch am Unfallort (Demetriades, Salim, Brown, Martin & Rhee 2007b). Die Therapie der ersten Wahl ist die Resektion des verletzten Gefäßstückes und eine spannungsfreie End-zu-End-Anastomose. Alternativ steht die Einlage eines autologen V. saphena- Interponates oder einer synthetischen PTFE- Prothese zur Verfügung. Die Ligatur der A. subclavia sollte wegen des Risikos einer Ischämie der Extremität unbedingt vermieden werden. Es ist notfalls eine temporäre Shunt-Einlage mit späterer definitiver Versorgung möglich (Demetriades, Salim, Brown, Martin & Rhee 2007a). Sind keine Kontraindikationen, wie ein großes komprimierendes Hämatom, Begleitverletzungen mit Operationsindikation oder eine infizierte Wunde, vorhanden, kann bei stabilen Patienten eine endovaskuläre Therapie mit Stentprothesen durchgeführt werden (Toit et al. 2008). Ein zusätzliches Trauma der V. subclavia ist häufig und sollte chirurgisch durch eine Naht versorgt werden. Alternativ ist die Ligatur der Vene möglich, dies kann zwar zu einem temporären

postoperativen Ödem der Extremität führen, Langzeitfolgen sind jedoch selten (Demetriades, Salim, Brown, Martin & Rhee 2007a).

Sowohl die V. jugularis interna als auch die V. jugularis externa können nach einer penetrierenden Verletzung konservativ versorgt werden (Inaba, Munera, McKenney, Rivas, Marecos, et al. 2006). Bei einer starker Blutung oder einer Operation aufgrund einer Begleitverletzung sollte das Gefäß ligiert werden (Burgess, Dale, Almeyda & Corbridge 2012b). In dem seltenen Fall einer bilateralen Verletzung der V. jugularis interna empfiehlt sich eine Gefäßnaht (Fogelman & Stewart 1956; Kumar et al. 2001; Burgess, Dale, Almeyda & Corbridge 2012b).

Bei dem klinischen Verdacht auf ein Trachealtrauma sollte die Priorität bei der Sicherung der Atemwege liegen (Burgess, Dale, Almeyda & Corbridge 2012b). Laryngotracheale Verletzungen stellen eine Indikation für eine chirurgische Versorgung mittels Naht dar. Ist die Verletzung auf die Mukosa beschränkt, kann der Patient konservativ behandelt werden. Durch die Anlage eines Tracheostomas sollten die Atemwege für den Fall eines Larynxödems gesichert werden (Thoma et al. 2008). Da die Morbidität und Mortalität von Ösophagusverletzungen mit der Zeit zwischen dem Trauma und der definitiven Versorgung ansteigt (Huber-Lang et al. 2006; Yeh et al. 2015), wird bei einem Verdacht auf eine ösophageale Verletzung einerseits zu einer möglichst schnellen chirurgischen Exploration geraten (Asensio et al. 2001). Andererseits spielt bei der Entscheidung für eine Therapieform das in der Bildgebung festgestellte Ausmaß der Verletzung eine wichtige Rolle. So können Patienten, bei denen in der Ösophagographie die Ausbreitung des Kontrastmittels lokal begrenzt ist und sich nicht ins Mediastinum fortsetzt, konservativ behandelt werden (Altorjay et al. 1997; Madiba & Muckart 2003; Huber-Lang et al. 2006). Eine Operationsindikation besteht aber bei großen Defekten, bei weitflächiger Ausbreitung des Kontrastmittels oder bei einem Kontrastmittelnachweis im Mediastinum. Der Defekt kann dann in den meisten Fällen mittels Naht versorgt werden, je nach Ausmaß der Verletzung nach vorherigem Débridement. Bei einem Verdacht auf eine Läsion des Ösophagus ist eine intravenöse Antibiotikatherapie und Nahrungskarenz indiziert (Madiba & Muckart 2003; Burgess, Dale, Almeyda & Corbridge 2012b). Die Empfehlung bei einer kombinierten ösophagealen und trachealen Verletzung zur Vermeidung einer ösophagotrachealen Fistel gut vaskularisiertes Gewebe zwischen Speise- und Luftröhre zu legen, ist umstritten (Madiba & Muckart 2003; Ellabban 2016).

1.6 Komplikationen und Mortalität

Zu den allgemeinen Komplikationen von penetrierenden Verletzungen des Halses zählen die Pneumonie, das respiratorische Versagen oder das akute progressive Lungenversagen (engl. *Acute Respiratory Distress Syndrome, ARDS*). Außerdem können lokale Wundinfektionen oder systemische Entzündungsreaktionen auftreten. Als Folge der Liegezeit sind tiefe Beinvenenthrombosen oder Muskelkontrakturen möglich.

Komplikationen von Gefäßverletzungen sind Nachblutungen, die Thrombosierung des Gefäßes, die Ablösung eines Embolus mit distaler Ischämie, eine Striktur des Gefäßes, große Hämatome und die Bildung eines Pseudoaneurysmas und dessen Ruptur (Jarvik et al. 1995; Stuhlfaut et al. 2005). Eine gefürchtete Komplikation, vor allem nach Verletzungen der A. carotis, stellt die zerebrale Ischämie dar (Asensio et al. 2011).

Ein Empyem oder eine Mediastinitis, aber auch eine Nahtdehiszenz, eine Striktur des Ösophagus sowie kutane, ösophageale oder ösophagotracheale Fisteln sind typische Komplikationen nach einem Defekt des Ösophagus (Asensio et al. 2001; Smakman et al. 2004). Eine Verzögerung in der definitiven Versorgung von Ösophagusverletzungen stellt einen unabhängigen Risikofaktor für eine erhöhte Morbidität dar (Asensio et al. 2001). Nicht nur Speichel und Bakterien der Mundflora gelangen über die Wunde in umgebendes Gewebe, sondern durch einen kaudalen Reflux auch Magen- und Gallensäure sowie Pepsin. Es besteht die Gefahr, dass sich eine Infektion - unterstützt durch die Schwerkraft, den negativen intrathorakalen Druck und den positiven Druck während des Schluckaktes - entlang der Halsfaszien bis ins Mediastinum ausbreitet (Stanley et al. 1997; Madiba & Muckart 2003). Das Risiko für eine tiefe Halsinfektion korreliert mit der Lokalisation der Verletzung: In den kranialen Hypopharynxanteilen ist das Risiko geringer als in den kaudalen Pharynxabschnitten und im Bereich des Ösophagus (Stanley et al. 1997).

Zu den Komplikationen laryngotrachealer Traumata zählen der gastroösophageale Reflux und die Aspiration. Typische Langzeitfolgen sind außerdem neben einer trachealen Stenosierung eine Veränderung der Stimmqualität mit Heiserkeit oder Aphonie, Lähmungen oder Granulombildung der Stimmbänder, Dysphagie und Dyspnoe (Angood et al. 1986; Bumpous et al. 2000; Lee et al. 2006).

Die Mortalität von penetrierenden zervikalen Verletzungen liegt zwischen 0,6% (Demetriades et al. 1993) und 9,8% (Soliman et al. 2012), sie bewegt sich in den meisten Studien jedoch zwischen drei und vier Prozent (Saletta et al. 1976; Demetriades et al. 1997; Gasparri et al. 2000; A. Ahmed 2009; Van Waes et al. 2011).

Die Todesfallrate ist in einigen Subgruppen deutlich höher:

Bei Patienten mit A. carotis- Verletzungen liegt die Mortalität zwischen 6,9% und, unter Berücksichtigung der prähospitalen Todesfälle, 66% (Demetriades et al. 1989; Ramadan et al. 1995; Navsaria et al. 2002). Die Mortalität nach Verletzungen der A. vertebralis wird in der Literatur mit 6,9% angegeben (Mwipatayi et al. 2004). Die Sterblichkeit nach Verletzungen der A. subclavia reicht bis zu 39% (Lin et al. 2003). Nach Ösophagusverletzungen variiert die Mortalität je nach Publikation zwischen 6% (Smakman et al. 2004) und 26% (Asensio et al. 1997). Die Häufigkeit von Todesfällen nach Verletzungen der Trachea liegt zwischen einem Prozent und 4,5%. Die Tatsache, dass die beiden zuletzt genannten Traumata jedoch oft mit anderen Organverletzungen vergesellschaftet sind, erschwert die Einschätzung deren spezifischer Mortalitätsrate (Symbas et al. 1976; Symbas et al. 1982; Grewal et al. 1995; Lyons et al. 2013).

2. Ziel der Arbeit

In Deutschland sind penetrierende Verletzungen selten; nur 4-5% aller Traumata haben einen penetrierenden Mechanismus als Ursache (Bieler et al. 2014; Lefering et al. 2015). Dementsprechend wenige penetrierende Verletzungen sind am Hals lokalisiert.

Ziel dieser Studie ist die deskriptive Beschreibung eines hierzulande ungewöhnlichen Patientenkollektives. Die betroffene Kohorte soll hinsichtlich der Epidemiologie, der Parameter bei der Aufnahme in das Krankenhaus, des Verletzungsmechanismus und der Verletzungslokalisierung, der Diagnostik, der Therapie sowie der Komplikationen und der Mortalität charakterisiert werden.

In einem zweiten Schritt soll der Einfluss des Verletzungsmechanismus und der Lokalisation der Wunde auf die Diagnostik, die Patientenversorgung sowie auf die Komplikations- und Mortalitätsrate untersucht werden.

Schlussendlich wird die Aussagekraft der körperlichen Untersuchung und zwei ausgewählter apparativer Untersuchungen, der CTA und der Ösophagographie, analysiert werden.

3. Material und Methoden

3.1 Studienpopulation

Die Grundlage der Studie bilden Patienten, die zwischen März 2010 und August 2011 mit einer penetrierenden Verletzung des Halses in das Chris Hani Baragwanath Hospital aufgenommen wurden. Die Einschlusskriterien waren mindestens eine penetrierende Verletzung des Halses, lokalisiert zwischen Claviculae und Schädelbasis, eine Perforation des Platysmas und eine stationäre Behandlung im Krankenhaus.

Aus der Studie ausgeschlossen wurden Patienten, bei denen nicht das zervikale das führende Trauma war, sondern die eine schwerwiegende Verletzung an einem anderen Bereich des Körpers hatten, welche unter Umständen zum Tode geführt hat. Außerdem wurden Patienten nicht betrachtet, bei denen eine stationäre Aufnahme in die Klinik nicht indiziert war und die lediglich ambulant behandelt wurden. Im Nachhinein ausgeschlossen wurden Patienten mit fehlender oder unvollständiger Dokumentation des Ergebnisses der CTA. Für den deskriptiven Teil der Arbeit erfasst, aber für die statistische Auswertung der Bedeutung des Verletzungsmechanismus, der Lokalisation und der Diagnostik ausgeschlossen, wurden die Patienten, die weder durch eine Schusswaffe noch durch scharfe Gewalt sondern durch einen „anderen Mechanismus“ verwundet wurden.

3.2 Datenerhebung

Die Erhebung und Auswertung der Daten erfolgte retrospektiv anhand von handschriftlich verfassten Patientenakten. Die für die Studie geeigneten Patienten wurden mit Hilfe der Dokumentation in der Notaufnahme über die Aufnahmediagnose ausfindig gemacht. Außerdem wurden die Patienten durch Durchsicht der Unterlagen des Operationsbereiches über die Diagnose und die durchgeführte chirurgische Therapie gesucht. Daraufhin wurden die Akten potentieller Studienteilnehmer anhand der Namen und Patientennummern aus dem Krankenhausarchiv angefordert. Von 417 erhaltenen Patientenakten erfüllten 338 Patienten die Einschlusskriterien und wurden anonymisiert in die Studie aufgenommen. Im Nachhinein ausgeschlossen wurden 35 Patienten mit fehlenden

Resultaten in der CTA, so dass die Studienpopulation letztendlich bei 303 Patienten lag.

Für die Studie wurden epidemiologische Daten (Alter und Geschlecht) erhoben. Dokumentiert wurden außerdem - wenn in den Patientenakten vorhanden - der Zeitpunkt der Verletzung und das Datum und die Uhrzeit der Aufnahme ins Krankenhaus, der Operation, der Verlegung auf die Intensivstation, sowie der Revisionsoperation(en) und der Entlassung.

Es wurden der Blutdruck, der Puls, der Punktwert auf der ‚*Glasgow-Coma-Scale*‘ (engl. Glasgow-Koma-Skala, GCS) sowie - wenn verfügbar - die Ergebnisse der Blutgasanalyse in der Notaufnahme und im Operationssaal aufgenommen. Bei einigen Patienten waren die Vitalparameter Blutdruck und Puls nicht exakt dokumentiert, sondern es fanden sich ausschließlich Aktenvermerke über die hämodynamische Stabilität des Patienten. Diese wurden wörtlich in den Datensatz aufgenommen. Details zu der Verletzung, wie der Mechanismus (Scharfe Gewalt, scharfe Gewalt durch Glasscherben, Schussverletzung, anderer Mechanismus) und die Zone der Verletzung (Zone I, II, III und hinteres Halsdreieck), die Anzahl der zervikalen und der extrazervikalen Verletzungen, die Lokalisation einer etwaigen Begleitverletzung und das Vorhandensein einer Austrittswunde nach Schussverletzungen wurden erfasst. In den Patientenakten nicht vorhanden waren bei Patienten mit einer Schussverletzung Informationen zu der Waffe (‚*high*‘- oder ‚*low-velocity*‘-Waffe).

Es erfolgte eine Erhebung der Maßnahmen der Erstversorgung mit folgenden Informationen: die Durchführung und der Zeitpunkt einer Intubation, die Art des Tubus, die Hämorrhagiekontrolle durch einen Foley-Katheter, die Versorgung der Wunde durch eine Naht, die Kompression der Wunde, die Anlage einer Thoraxdrainage, die Durchführung einer Notfallraum- Thorakotomie, -Sternotomie oder einer kardiopulmonalen Reanimation. Folgende Ergebnisse der körperlichen Untersuchung wurden berücksichtigt: das Vorhandensein einer Blutung, peripherer Pulse, eines expandierenden oder pulsierenden Hämatoms, eines auskultierbaren Strömungsgeräusches (‚*bruit*‘), tastbarer Vibrationen im Bereich der Verletzung (‚*thrill*‘) und Unterschiede der Pulsstärke im Seitenvergleich. Bezüglich Verletzungen des Aerodigestivtraktes wurden die klinischen Auffälligkeiten Hautemphysem, Hämatemesis, Dysphagie, Heiserkeit, Hämoptysis und eine Blasenbildung an der Wunde festgehalten.

Es wurde die präoperative Diagnostik mit Befunden erfasst (Röntgen, Lodox®, Dopplersonographie, Ösophagographie, Ösophagoskopie, Computertomographie, CTA und Angiographie). Bei operierten Patienten wurden die Ergebnisse der chirurgischen Exploration und die Therapie verzeichnet. Es erfolgte eine Dokumentation der Komplikationen, der Revisionsoperation(en) sowie im Todesfall der Zeitpunkt und Ort des Todes sowie die Todesursache.

3.3 Auswertung

Zur Abschätzung der hämodynamischen Stabilität des Patienten dienten der systolische Blutdruck und die Herzfrequenz. Da die Mortalität von Patienten mit großem penetrierendem Trauma ab einem systolischen Blutdruck unter 110 mmHg ansteigt (Hasler et al. 2012), wurden bereits die systolischen Blutdruckwerte unter 110 mmHg betrachtet. Zur Abschätzung der Wahrscheinlichkeit eines hämorrhagischen Schockes wurde der Schockindex (SI) heran gezogen, der sich durch die Berechnung der Herzfrequenz dividiert durch den systolischen Blutdruck ergibt (Olaussen et al. 2014). Ein Schockindex von 0,9 oder höher ist mit einem Anstieg des Risikos für einen Volumenmangelschock assoziiert. Auch wenn die Erniedrigung des Cut-off-Wertes auf 0,8 diskutiert wird, wurde für diese Studie der etablierte Wert von 0,9 verwendet (DeMuro et al. 2013).

Zur Einschätzung des neurologischen Status hat sich die GCS etabliert, welche die Quantifizierung von Bewusstseinsveränderungen mit Hilfe der drei Kategorien Augenöffnen, Bewusstsein und Motorik erlaubt. Keine oder eine milde Schädigung des Gehirnes besteht bei 13-15 Punkten, eine moderate Schädigung bei 9-12 Punkten und ein schwerer Hirnschaden besteht ab einem Punktwert von acht Punkten oder weniger. Die Erhebung des adäquaten Wertes ist bei intubierten und sedierten Patienten limitiert (Raja & Zane 2016).

Die Lokalisationen der zervikalen Verletzung wurde im Chris Hani Baragwanath Krankenhaus entsprechend der Einteilung des Halses nach Roon und Christensen dokumentiert (siehe Abbildung 2) (Roon & Christensen 1979). Verletzungen des hinteren Halsdreieckes wurden ebenso aufgezeichnet.

Die Dokumentation des Verletzungsmechanismus erfolgte mittels der Kategorien Verletzung durch scharfe Gewalt, speziell durch Glasscherben, durch eine Feuerwaffe oder durch einen anderen Mechanismus. Patienten, die durch einen „anderen

Mechanismus“ verletzt wurden, werden nur im deskriptiven Teil berücksichtigt, bei der weiteren statistischen Auswertung galt diese Kategorie als Ausschlusskriterium.

Als ‚*hard signs*‘ vaskulärer Verletzungen wurden fehlende periphere Pulse, eine Seitendifferenz der Pulsstärke, ‚*thrill*‘, ‚*bruit*‘ sowie ein expandierendes oder pulsierendes Hämatom definiert. Als aerodigestive ‚*hard signs*‘ galten ein Emphysem, Dysphagie, Hämatemesis, Hämoptysis, eine blasende Wunde und Heiserkeit (siehe 1.5.3 Patientenversorgung im Chris Hani Baragwanath Hospital, Tabelle 4).

Da in vielen Patientenakten eine vorhandene Blutung nicht näher spezifiziert wurde (arterielle bzw. venöse Blutung), wurde die Blutung nicht in die Kategorie der ‚*hard signs*‘ aufgenommen und bei Berechnungen nur eingeschränkt berücksichtigt.

Fand sich in der Patientenakte kein Vermerk zu pathologischen Ergebnissen in der körperlichen Untersuchung, wurde von einem asymptomatischer Patient ausgegangen. Wenn in der CTA oder der Ösophagographie ein pathologisches Ergebnis nicht sicher ausgeschlossen werden konnte, wurde der Patient bei der Berechnung der Sensitivität und Spezifität ausgeschlossen. Bei der Kalkulation der Sensitivität, Spezifität, sowie des positiven (PPW) und negativen prädiktiven Wertes (NPW) bezieht sich ein positives Ergebnis in der Operation auf die großen Arterien und Venen des Halses oder auf den Aerodigestivtrakt mit Verletzungen der Trachea, des Pharynx oder des Ösophagus. Verletzungen an Ästen der A. carotis externa werden für diese Fragestellung nicht als ein positiver Operationsbefund gewertet. Unspezifische Aussagen in den Akten wurden eingeschränkt berücksichtigt: Wenn im Operationsbericht eine „Blutung“ dokumentiert war, ohne das verwundete Gefäß zu nennen, wurde dies nicht als eine Verletzung einer großen Halsarterie oder -vene gewertet. Für die Berechnungen der Sensitivität, Spezifität und des PPW und NPW wurde das Ergebnis der jeweiligen Untersuchung mit dem Resultat der Operation, dem Auftreten von Komplikationen und bei Todesfällen mit der Todesursache verglichen. Bei nicht-operierten Patienten wurde bei einem komplikationslosen Verlauf davon ausgegangen, dass keine viszerale Verletzung vorhanden gewesen ist. Unter „definitiver Therapie“ wurde die Therapie verstanden, die zum Behandlungsergebnis geführt hat. Dies war entweder eine chirurgische Exploration oder ein konservatives Vorgehen.

3.4 Statistische Methoden

Die Erhebung der Daten erfolgte mit Microsoft® Excel® for Mac 2008 und 2011. Beide Versionen wurden auch zur Auswertung benutzt. Die Daten wurden in das Programm Statistical Package for the Social Sciences® (SPSS®), Version 21 und 22, übertragen, mit dem der Großteil der Daten analysiert wurde.

In der Studie sind relative und absolute Häufigkeiten angegeben. Im deskriptiven Teil der Studie finden sich Minimal- und Maximalwerte. Es wurde eine Berechnung des Mittelwertes und der Standardabweichung als Maß der Streuung vorgenommen.

Mittels der logistischen Regression wurde der Einfluss verschiedener Faktoren auf eine Zielvariable bestimmt. Im Text findet sich ein Vermerk zu der abhängigen und den unabhängigen Variablen. Von dem zugehörigen Chi²-Test (zur Überprüfung der Signifikanz des Regressionsmodells) wurden der Chi²-Wert (Chi²), die Freiheitsgrade (df) und die Signifikanz (p) angegeben, außerdem die Anzahl der in die Rechnung eingeschlossenen Patienten (n). Im Text sind die Odds Ratio (OR) mit dem 95% Konfidenzintervall (CI) und der Signifikanzwert (p) der Variablen zu finden.

Es wurden Signifikanztestungen mit dem Pearson Chi²-Test und bei kleinerem Datenumfang mit dem exakten Test nach Fisher durchgeführt. Auch hier wurden der Chi²-Wert, die Freiheitsgrade, die Anzahl der Patienten und die Signifikanz angegeben. Für die Vitalparameter wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test, zur Testung auf eine Normalverteilung, durchgeführt. Bei verteilungsfreien Testvariablen erfolgte die Analyse der Vitalparameter hinsichtlich Verletzungsmechanismus (GSW: engl. ‚*gunshot wound*‘, Schusswunden/ SW: ‚*stab wound*‘, engl. Wunde durch scharfe Gewalt) und Lokalisation durch den Mann-Whitney-U-Test. Angegeben wurden jeweils die Anzahl der eingeschlossenen Patienten (n), der z-Wert (z) und die Signifikanz (p).

Das Ergebnis eines statistischen Tests wurde bei einem p-Wert kleiner oder gleich 0,05 als signifikant erachtet. Die Sensitivität, die Spezifität sowie der PPW und der NPW wurden unter Berücksichtigung des Operationsergebnisses, der Komplikationen und der Todesfälle kalkuliert. Die Werte sind mit einem Konfidenzintervall von 95% aufgeführt.

Bei der statistischen Analyse wurde eine Beratung durch Frau Prof. Dr. rer. nat. Nina Timmesfeld vom Institut für Medizinische Biometrie und Epidemiologie der Philipps-Universität Marburg in Anspruch genommen.

4. Ergebnisse

4.1 Deskriptive Ergebnisse

4.1.1 Patientenkollektiv

Es wurden die 303 Patienten erfasst, die vom 01.03.2010 bis zum 30.08.2011 mit einer penetrierenden zervikalen Verletzung in das Chris Hani Baragwanath Hospital aufgenommen wurden.

Zweihundertdreiundsiebzig (90,1%) der Patienten waren männlich und 30 (9,9%) waren weiblich. Die Altersverteilung reichte von neun bis 65 Jahren (siehe Tabelle 5 und Abbildung 7).

	Männer (n=273)	Frauen (n=30)	Total (n=303)
Alter in Jahren	n=271	n=29	n=300
Mittelwert \pm SD	29,0 \pm 9,3	31,1 \pm 10,8	29,2 \pm 9,5
Min/Max	13/65	9/53	9/65

Tabelle 5: Alter

Die Tabelle zeigt das Alter der Männer, der Frauen und des gesamten Patientenkollektivs mit Mittelwerten, Standardabweichung, Minimum und Maximum.

Bei drei Patienten waren in den Dokumenten keine Einträge zum Alter vorhanden.

(SD=Standardabweichung, Min=Minimum, Max=Maximum)

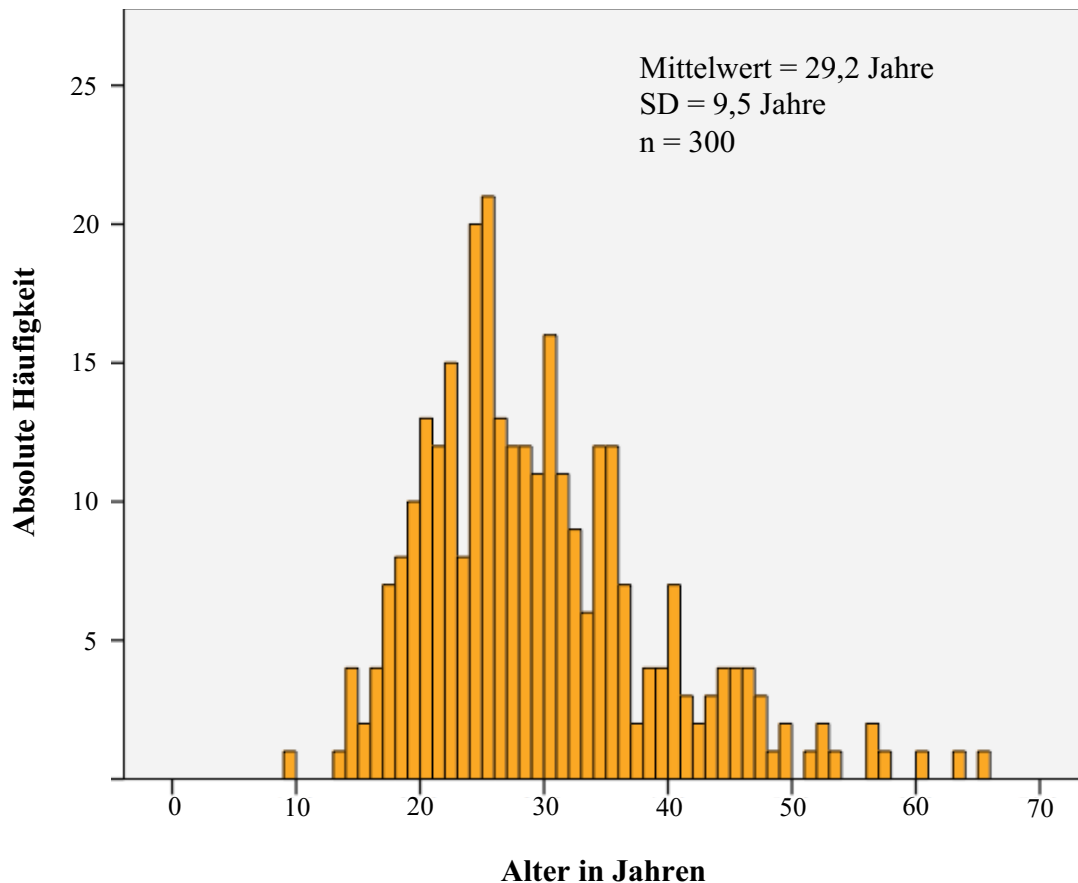


Abbildung 7: Altersverteilung

Die Abbildung zeigt die Altersverteilung in dem Patientenkollektiv. Bei drei Patienten war kein Alter dokumentiert.

(SD=Standardabweichung)

4.1.2 Vitalparameter

Systolischer Blutdruck

Bei 270 Patienten war der Blutdruck in der Patientenakte vermerkt. Der mittlere systolische Blutdruck der Patienten bei der Aufnahme ins Krankenhaus lag bei 124,8 mmHg (SD=±25,5 mmHg). Minimal- und Maximalwerte sind in Tabelle 6 ablesbar. Bei 56 der 303 Patienten (18,5%) lag der systolische Blutdruck unter 110,0 mmHg, bei 26 Patienten (8,6%) unter 90,0 mmHg. Hundertzweiundfünfzig Patienten (50,2%) waren normoton und 62 Patienten (20,5%) waren hyperten (siehe Abbildung 8 und Tabelle 6).

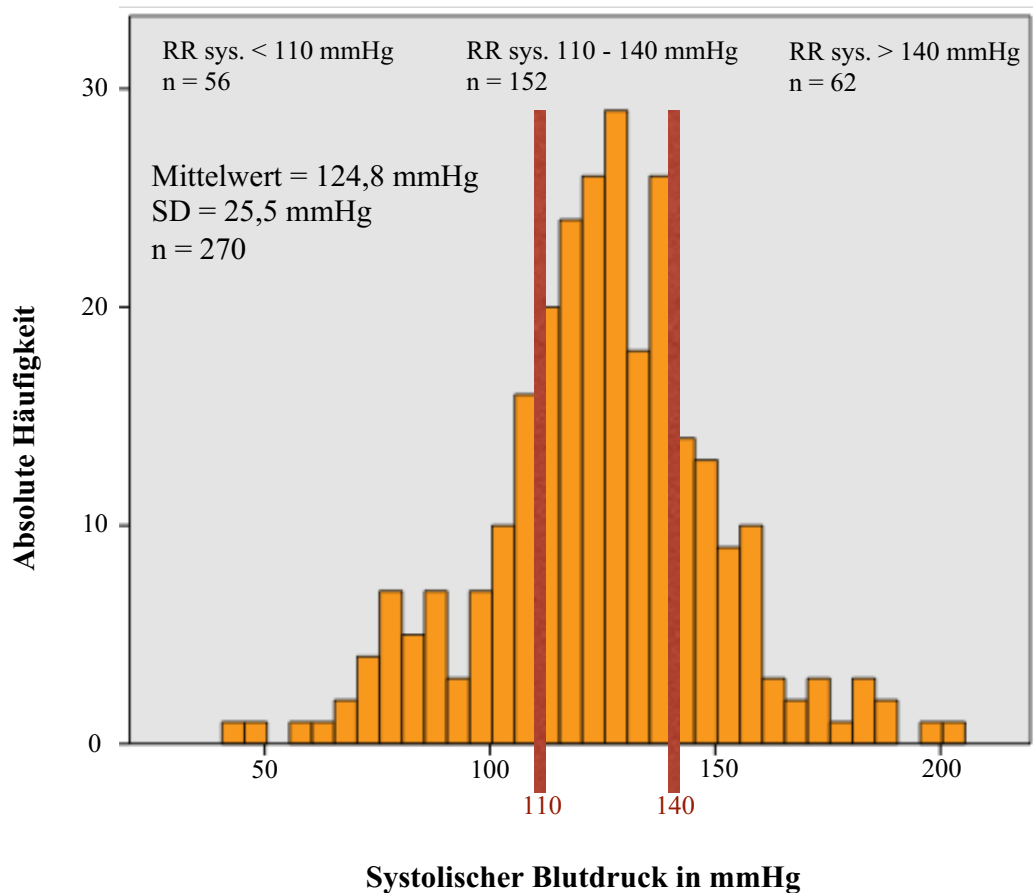


Abbildung 8: Verteilung des systolischen Blutdrucks

Die Abbildung zeigt die Verteilung der systolischen Blutdruckwerte. Bei 33 Patienten war kein Eintrag zum Blutdruck in der Akte vorhanden.

(RR sys.=systolischer Blutdruck, SD=Standardabweichung)

Herzfrequenz und Schockindex

Der Mittelwert der Herzfrequenz lag bei 88,3 Schlägen pro Minute (engl. *beats per minute, bpm*) (siehe Tabelle 6). Bei 237 Patienten (78,2%) ließ sich der Schockindex berechnen: Bei 40 Patienten (16,9%) lag der Wert bei dem Grenzwert von 0,9 oder höher. Von sechs Patienten (2,0%) waren zwar die Vitalparameter Herzfrequenz und Blutdruck nicht aufgezeichnet, es fand sich jedoch ein Vermerk in der Akte, laut dem sich der Patient in einem hämodynamisch instabilen Zustand befinde. Von 64 Verletzten war die Herzfrequenz nicht dokumentiert.

Glasgow-Coma-Scale

Bei den meisten Patienten bestand keine oder nur eine leichte Bewusstseinsbeeinträchtigung. Der durchschnittliche Wert auf der GCS lag bei 14,6 Punkten (SD= ±1,6 Punkten). Zweihundertsiebzig Patienten (89,1%) erreichten auf

der GCS einen Punktwert von über 13 Punkten, bei 253 Patienten (83,5%) wurden 15 Punkte dokumentiert. Sieben Patienten (2,3%) hatten eine moderate Bewusstseinsstörung mit 9 - 12 Punkten, ein Koma mit acht oder weniger Punkten lag bei sechs Patienten (2,0%) vor. Vier Patienten erreichten die Aufnahme intubiert und sediert, womit die verbale Reaktion nicht verwertbar war. Von vier weiteren Patienten wurde der Bewusstseinszustand in den Patientenunterlagen unter Umgehung der GCS beschrieben: Ein Patient wurde als ‚*unconscious*‘ (engl. bewusstlos) und drei Patienten als ‚*semiconscious*‘ (engl. bewusstseinsgetrübt) bezeichnet.

Vitalparameter	Männer (n=273)	Frauen (n=30)	Total (n=303)
Blutdruck syst. in mmHg	n=241	n=29	n=270
Mittelwert ± SD	125,9 ± 24,9	115,9 ± 28,9	124,8 ± 25,5
Min/Max	43,0/201,0	69,0/180,0	43,0/201,0
Herzfrequenz in bpm	n=215	n=24	n=239
Mittelwert ± SD	87,8 ± 19,3	93,5 ± 10,8	88,3 ± 18,7
Min/Max	40/147	71/115	40/147
GCS	n=255	n=28	n=283
Mittelwert ± SD	14,6 ± 1,7	15 ± 0,2	14,6 ± 1,6
Min/Max	3/15	14/15	3/15
Schockindex > 0,9	33 (15,3%)	7 (29,2%)	40 (16,9%)
n (%)			

Tabelle 6: Vitalparameter bei Aufnahme

Die Tabelle zeigt die Vitalparameter der Männer, der Frauen und des gesamten Patientenkollektivs mit Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum. Abzulesen ist der systolische Blutdruck in mmHg, die Herzfrequenz in Schlägen pro Minute und der Punktwert auf der GCS. Außerdem die Anzahl der Patienten mit einem Schockindex von > 0,9 und deren Anteil an allen Männern, Frauen bzw. dem Gesamtkollektiv.

(syst.=systolisch, SD=Standardabweichung, Min=Minimum, Max=Maximum, bpm=*beats per minute*: engl. Schläge pro Minute, GCS=Glasgow-Coma-Scale)

4.1.3 Verletzungen

Scharfe Gewalt war bei 265 Patienten die Ursache der penetrierenden Halsverletzung und stellte mit 87,5% den häufigsten Verletzungstyp dar. Dabei wurde die Wunde in 31 Fällen (10,2%) mit zerbrochenem Glas zugefügt. Dreißig Patienten (9,9%) sind durch eine Schusswaffe verletzt worden (siehe Tabelle 7). Bei 22 Patienten hat das Geschoss den Körper durch eine Austrittswunde wieder verlassen. Acht Patienten (2,6%) hatten eine penetrierende Verletzung des Halses aus einer anderen Ursache (siehe Abbildung 9). Bei sieben Patienten (2,3%) handelte es sich um einen Suizidversuch.

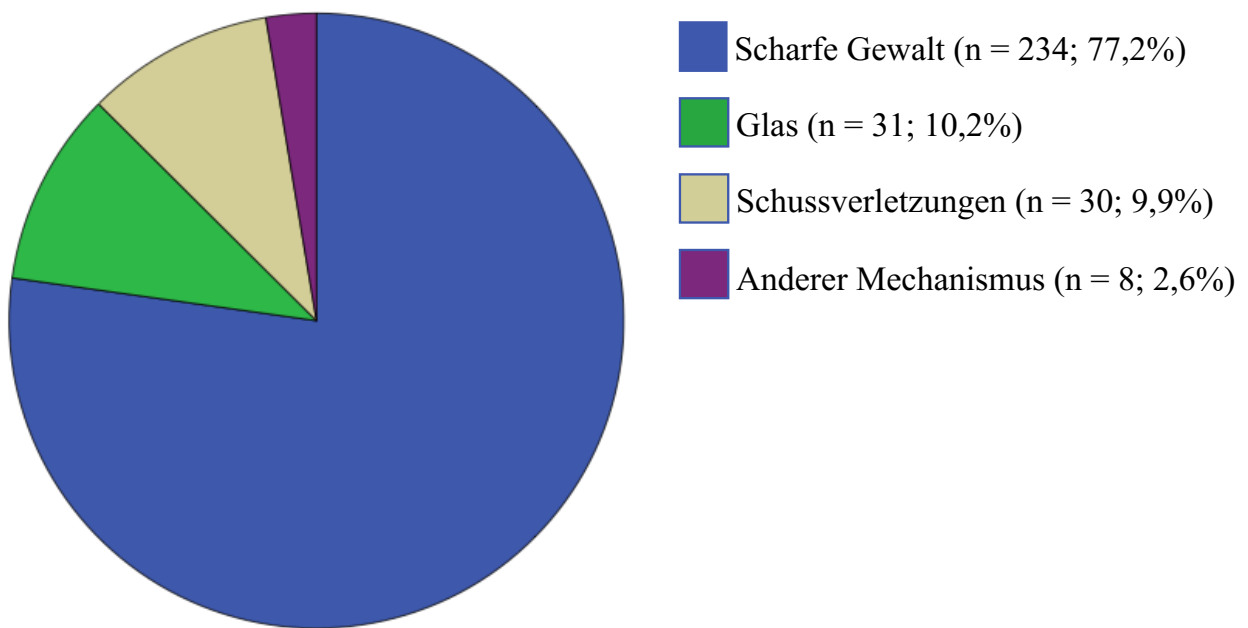


Abbildung 9: Verletzungsmechanismus
Die Abbildung zeigt die Verteilung des Verletzungsmechanismus.

Zweihundertfünfundsiebzig Patienten (90,8%) hatten eine singuläre Verletzung, bei 23 Patienten (7,6%) wurden zwei Eintrittswunden dokumentiert, zwei Patienten (0,7%) wurden drei Mal verwundet und drei Patienten (1,0%) wurden vier Mal oder öfter am Hals verletzt.

Zone I, der Bereich zwischen Clavicula und Cartilago cricoidea, war insgesamt 116 Mal (38,3%) betroffen. Zone II, das Areal zwischen Cartilago cricoidea und Angulus mandibulae, war in 137 Fällen (45,2%) verletzt. Bei 53 Patienten (17,4%) befand sich die Wunde zwischen dem Angulus mandibulae und der Schädelbasis in Zone III und bei 32 Patienten (10,6%) im hinteren Halsdreieck. Bei 20 Patienten (6,6%) wurde die Lokalisation nicht dokumentiert. Der Tabelle 7 ist neben dem Mechanismus der Verletzung und den betroffenen Zonen auch die Anzahl der zervikalen Wunden zu entnehmen.

	Männer (n=273)	Frauen (n=30)	Total (n=303)
Verletzungen			
Scharfe Gewalt, n (%)	237 (86,8%)	28 (93,3%)	265 (87,5%)
Schussverletzungen, n (%)	30 (11,0%)	0 (0,0%)	30 (9,9%)
Anderer Mechanismus, n (%)	6 (2,2%)	2 (6,7%)	8 (2,6%)
Lokalisation			
Verletzungen in Zone I gesamt eine/zwei/drei/>drei Verletzungen	103 92/10/1/0	13 10/0/1/2	116 102/10/2/2
Verletzungen in Zone II gesamt eine/zwei/drei/>drei Verletzungen	122 111/10/0/1	15 11/2/1/1	137 122/12/1/2
Verletzungen in Zone III gesamt eine/zwei/drei/>drei Verletzungen	49 39/10/0/0	4 3/0/0/1	53 42/10/0/1
Verletzungen des p. Halsdreiecks gesamt eine/zwei/drei/>drei Verletzungen	30 26/3/1/0	2 2/0/0/0	32 28/3/1/0

Tabelle 7: Verletzungsmechanismus und Lokalisation

Die Tabelle bildet die Daten der Männer, der Frauen und des gesamten Patientenkollektivs ab. Abzulesen ist der Verletzungsmechanismus mit scharfer Gewalt, Schussverletzungen und anderen Verletzungsarten. Außerdem die Anzahl der Verletzungen in den jeweiligen Zonen, unterteilt nach Gesamtzahl, singulären und multiplen Verletzungen (zwei/drei/mehr als drei Verletzungen). Bei 20 Patienten wurde die Lokalisation nicht in der Akte dokumentiert. Durch zonenübergreifende und multiple Verletzungen überschreitet die Anzahl der betroffenen Zonen die Anzahl der Patienten.

(p.=posterioren)

Bei 59 Patienten (19,5%) war die Verletzung kompartimentübergreifend und involvierte neben dem Hals auch den Thorax. Bei 53 dieser 59 Patienten (89,8%) war die Zone I, bei sechs Patienten (10,2%) das hintere Halsdreieck betroffen.

Hundertneunddreißig Patienten (45,9%) hatten außer der Wunde am Hals mindestens eine extrazervikale Begleitverletzung. Der Kopf war mit 63 Fällen (20,8%) am häufigsten betroffen, gefolgt vom Thorax mit 59 Verletzungen (19,5%) sowie den Extremitäten mit 51 Verletzungen (16,8%) und dem Abdomen mit 19 Verletzungen (6,3%). Bei einem Patienten war die Dokumentation diesbezüglich unvollständig.

Bei 57 Patienten (18,8%) wurde ein Pneumo- oder Hämatothorax oder ein Pneumomediastinum diagnostiziert.

4.1.4 Diagnostik

4.1.4.1 Körperliche Untersuchung

In der körperlichen Untersuchung bei Aufnahme wurden bei 31 Patienten ‚*hard signs*‘ für eine vaskuläre Verletzung diagnostiziert. Neunundvierzig Patienten hatten mindestens ein ‚*hard sign*‘ einer aerodigestiven Verletzung. Bei 76,2% der Patienten waren keine ‚*hard signs*‘ vorhanden. In Tabelle 8 finden sich die Häufigkeiten der ‚*hard signs*‘ und weiterer Aufnahmebefunde.

Ergebnis der körperlichen Untersuchung	Zone I (n=116)	Zone II (n=137)	Zone III (n=53)	P. Dreieck (n=32)	Total (n=303)
Vaskuläre ‚ <i>hard signs</i> ‘ n (%)	13 (11,2%)	16 (11,7%)	4 (7,5%)	3 (9,4%)	31 (10,2%)
Aerodigestive ‚ <i>hard signs</i> ‘ n (%)	20 (17,2%)	26 (19,0%)	7 (13,2%)	4 (12,5%)	49 (16,2%)
Keine ‚ <i>hard signs</i> ‘ n (%)	88 (75,9%)	98 (71,5%)	43 (81,1%)	26 (81,3%)	231 (76,2%)
Aktive Blutung n (%)	40 (34,5%)	55 (40,1%)	19 (35,8%)	14 (43,8%)	109 (36,0%)
SI > 0,9 oder instabil n (%)	16 (13,8%)	19 (13,9%)	5 (9,4%)	8 (25%)	47 (15,5%)

Tabelle 8: Befunde der körperlichen Untersuchung

Die Tabelle zeigt die Häufigkeit vaskulärer und aerodigestiver ‚*hard signs*‘ sowie die Häufigkeit fehlender ‚*hard signs*‘ je nach Zone und insgesamt. Außerdem ist die Häufigkeit einer aktiven Blutung und eines Schockindex >0,9 bzw. einer hämodynamischen Instabilität ablesbar. Durch zonenübergreifende und multiple Verletzungen überschreitet die Anzahl der Befunde in den betroffenen Zonen die Anzahl der Patienten.

(P.=Posteriores, SI=Schockindex)

4.1.4.2 Apparative Diagnostik

Bei 250 Patienten (82,5%) wurde eine ergänzende bildgebende Diagnostik durchgeführt, 53 Patienten (17,5%) erhielten nach der Erhebung des körperlichen Befundes keine weitere apparative Untersuchung. Die am häufigsten durchgeführten Untersuchungen sind die CTA und das Röntgen. Danach folgen das Lodox[®] und die Ösophagographie. Die Computertomographie, die Dopplersonographie, die präoperative Ösophagoskopie und die Angiographie wurden selten genutzt (siehe Tabelle 9).

Apparative Untersuchungen	Zone I (n=116)	Zone II (n=137)	Zone III (n=53)	P. Dreieck (n=32)	Total (n=303)
Keine, n (%)	22 (19,0%)	25 (18,2%)	7 (13,2%)	6 (18,8%)	53 (17,5%)
CTA, n (%)	64 (55,2%)	72 (52,6%)	30 (56,6%)	15 (46,9%)	163 (53,8%)
Röntgen, n (%)	6 (5,6%)	65 (47,4%)	29 (54,7%)	17 (53,1%)	159 (52,5%)
Lodox [®] , n (%)	23 (19,8%)	26 (19,0%)	9 (17,0%)	9 (28,1%)	61 (20,1%)
ÖG, n (%)	20 (17,2%)	33 (24,1%)	10 (18,9%)	3 (9,4%)	56 (18,5%)
CT, n (%)	16 (13,8%)	19 (13,9%)	9 (17,0%)	5 (15,6%)	44 (14,5%)
Ultraschall, n (%)	13 (11,2%)	11 (8,0%)	2 (3,8%)	6 (18,8%)	30 (9,9%)
BS/ ÖS, n (%)	1 (0,9%)	3 (2,2%)	0 (0,0%)	1 (3,1%)	5 (1,7%)
Angiographie, n (%)	1 (0,9%)	1 (0,7%)	0 (0,0%)	0(0,0%)	2 (0,7%)

Tabelle 9: Apparative Untersuchungen

Die Tabelle zeigt die Anzahl der apparativen Untersuchungen je nach Lokalisation und insgesamt. Außerdem wird der prozentuale Anteil der durchgeführten Untersuchung an der Gesamtzahl der Verletzungen in der jeweiligen Zone aufgeführt. Durch zonenübergreifende und multiple Verletzungen überschreitet die Anzahl der Untersuchungen in den betroffenen Zonen die Anzahl der Patienten.

(P.=Posteriores, CTA=computertomographische Angiographie, ÖG=Ösophagographie, CT=Computertomographie, BS=Bronchoskopie, ÖS= Ösophagoskopie)

Tabelle 10 und Tabelle 11 zeigen die Befunde der CTA respektive der Ösophagographie. In den Akten von fünf Patienten war die Dokumentation hinsichtlich des Ergebnisses der Ösophagographie lückenhaft.

Ergebnis der CTA	Zone I (n=64)	Zone II (n=72)	Zone III (n=30)	P. Dreieck (n=15)	Total (n=163)
GV, n (%)	8 (12,5%)	14 (19,4%)	7 (23,3%)	0 (0,0%)	20 (12,3%)
Arteriell, n (%)	2 (3,1%)	3 (4,2%)	2 (6,7%)	0 (0,0%)	6 (3,7%)
Venös, n (%)	7 (10,9%)	13 (18,1%)	6 (20,0%)	0 (0,0%)	17 (10,4%)
Keine GV, n (%)	56 (87,5%)	54 (75,0%)	21 (70,0%)	14 (93,3%)	138 (84,7%)
GV möglich, n (%)	0 (0,0%)	4 (5,6%)	2 (6,7%)	1 (6,7%)	5 (3,1%)
Emphysem, n (%)	21 (32,8%)	17 (23,6%)	6 (20,0%)	4 (26,7%)	42 (25,8%)

Tabelle 10: Ergebnisse der computertomographischen Angiographie

Die Tabelle zeigt die Ergebnisse der CTA je nach Zone und insgesamt. Es wird der prozentuale Anteil des Untersuchungsbefundes an der Gesamtzahl der Untersuchungen in der jeweiligen Zone aufgeführt. Da bei einigen Patienten sowohl eine arterielle als auch eine venöse Verletzung aufgetreten ist, übersteigt die Summe der arteriellen und der venösen Verletzungen die Gesamtzahl der Gefäßverletzungen. Durch zonenübergreifende und multiple Verletzungen überschreitet die Anzahl der Befunde in den betroffenen Zonen die Anzahl der Patienten.

(CTA=computertomographische Angiographie, P.=Posteriores, GV=Gefäßverletzung)

Ergebnis der Ösophagographie	Zone I (n=20)	Zone II (n=33)	Zone III (n=10)	P. Dreieck (n=3)	Total (n=56)
ÖV, n (%)	3 (15,0%)	3 (9,1%)	3 (30,0%)	0 (0,0%)	5 (8,9%)
ÖV möglich, n (%)	0 (0%)	1 (3,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	1 (1,8%)
Keine ÖV, n (%)	17 (85,0%)	24 (72,7%)	7 (70,0%)	3 (100%)	45 (80,4%)

Tabelle 11: Ergebnisse der Ösophagographie

Die Tabelle zeigt die Ergebnisse der Ösophagographie je nach Zonen und insgesamt. Es wird der prozentuale Anteil der Untersuchungsergebnisse an der Gesamtzahl der Ösophagographien in der jeweiligen Zone aufgeführt. Durch zonenübergreifende und multiple Verletzungen überschreitet die Anzahl der Befunde in den betroffenen Zonen die Anzahl der Patienten. Bei fünf Patienten war das Untersuchungsergebnis nicht protokolliert worden.

(P.=Posteriores, ÖV=Ösophageale/hypopharyngeale Verletzungen)

4.1.5 Therapie

4.1.5.1 Notfallraumversorgung

Alle Patienten wurden nach der Aufnahme in das Krankenhaus gemäß der *ATLS*[®]-Kriterien versorgt. In Tabelle 12 sind die speziellen Maßnahmen im Rahmen der Notfallraumversorgung mit den jeweiligen Zonen ablesbar. Unterlagen zur präklinischen Versorgung der Patienten waren bis auf eine etwaige Intubation nicht vorhanden. Tabelle 13 bildet den Zeitpunkt und die Methode der frühen Atemwegssicherung, das heißt prähospital durch den Rettungsdienst oder intrahospital in der Notaufnahme, ab.

Erstversorgung	Zone I (n=116)	Zone II (n=137)	Zone III (n=53)	P. Dreieck (n=32)	Total (n=303)
Intubation, n (%)	18 (15,5%)	16 (11,7%)	2 (3,8%)	1 (3,1%)	33 (10,6%)
Foley-Katheter, n (%)	14 (12,1%)	15 (10,9%)	5 (9,4%)	2 (6,3%)	30 (9,9%)
Naht, n (%)	38 (32,8%)	45 (32,8%)	19 (35,8%)	15 (46,9%)	111 (36,6%)
Druckverband, n (%)	6 (5,2%)	6 (4,4%)	4 (7,5%)	0 (0,0%)	13 (4,3%)
Immobil. HWS, n (%)	4 (3,4%)	6 (4,4%)	2 (3,8%)	0 (0,0%)	10 (3,3%)
Thorakotomie (o.a.), n (%)	4 (3,4%)	1 (0,7%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	4* (1,3%)
Reanimation, n (%)	2 (1,7%)	2 (1,5%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	4 (1,3%)

Tabelle 12: Notfallraumversorgung

Die Tabelle zeigt die Therapie im Notfallraum je nach Zone und insgesamt. Es wird der prozentuale Anteil der jeweiligen Intervention an der Gesamtzahl der Verletzungen in der Zone aufgeführt. Durch zonenübergreifende und multiple Verletzungen überschreitet die Anzahl der betroffenen Zonen die Anzahl der Patienten. Bei vier Patienten war die Dokumentation nicht eindeutig.

* Bei einem Patienten wurde eine Thorakotomie und Sternotomie durchgeführt, bei einem eine Sternotomie und bei zweien eine Thorakotomie.

(P.=Posteriores, Immobil. HWS=Immobilisation Halswirbelsäule, o.a.=oder andere: Thorakotomie oder Sternotomie)

	Intubation durch Rettungsdienst (n=6)	Intubation in Notaufnahme (n=33)	Frühe Intubation gesamt (n=39)
Orotracheal, n (%)	4 (66,7%)	30* (90,9%)	34 (87,2%)
Nasotracheal, n (%)	-	1 (3,0%)	1 (2,6%)
Tracheotomie, n (%)	2 (33,3%)	1(3,0%)	3 (7,7%)
Krikothyroidotomie, n (%)	-	1** (3,0%)	1 (2,6%)

Tabelle 13: Zeitpunkt und Methode der frühen Intubation

Die Tabelle zeigt den Zeitpunkt der frühen Intubation (präklinisch oder intrahospital in Notfallraum) sowie die gewählte Intubationsmethode.

*Bei einem Patient mit Intubation in der Notaufnahme war die Dokumentation bzgl. der gewählten Methode unvollständig.

**Bei einem Patienten wurde im Anschluss an eine vergebliche oro-tracheale Intubation eine Krikothyroidotomie durchgeführt.

In den folgenden logistischen Regressionen wurden als unabhängige Variablen der Verletzungsmechanismus, die einzelnen Zonen sowie die vaskulären und aerodigestiven ‚*hard signs*‘ verwendet.

Das Modell der ersten Rechnung mit der abhängigen Variable Intubation war als Ganzes signifikant ($\text{Chi}^2=23,009$; $p=0,002$; $\text{df}=7$; $n=273$), außerdem konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Intubation in der Notaufnahme und den unabhängigen Variablen Verletzungsmechanismus ($\text{OR}=0,236$ [0,087-0,640]; $p=0,005$) und vaskuläre ‚*hard signs*‘ ($\text{OR}=3,148$ [1,202-8,247]; $p=0,020$) gezeigt werden:

Nach Verletzungen durch scharfe Gewalt sank die relative Wahrscheinlichkeit für eine Intubation um 76,4%. Während acht der 30 Schussverletzten (26,7%) intubiert wurden, traf dies bei nur 25 der 265 der Patienten mit Wunden durch scharfe Gewalt (9,4%) zu (siehe Abbildung 10 und Tabelle 14).

Die Wahrscheinlichkeit für eine Intubation in der Notaufnahme war bei vaskulären ‚*hard signs*‘ mehr als drei Mal so hoch wie bei fehlenden Symptomen: Bei asymptomatischen Patienten wurde in 9,6% der Fälle intubiert, bei vorhandenen ‚*hard signs*‘ in 25,8%.

Zu der Lokalisation sowie den aerodigestiven ‚*hard signs*‘ war kein signifikanter Zusammenhang nachweisbar.

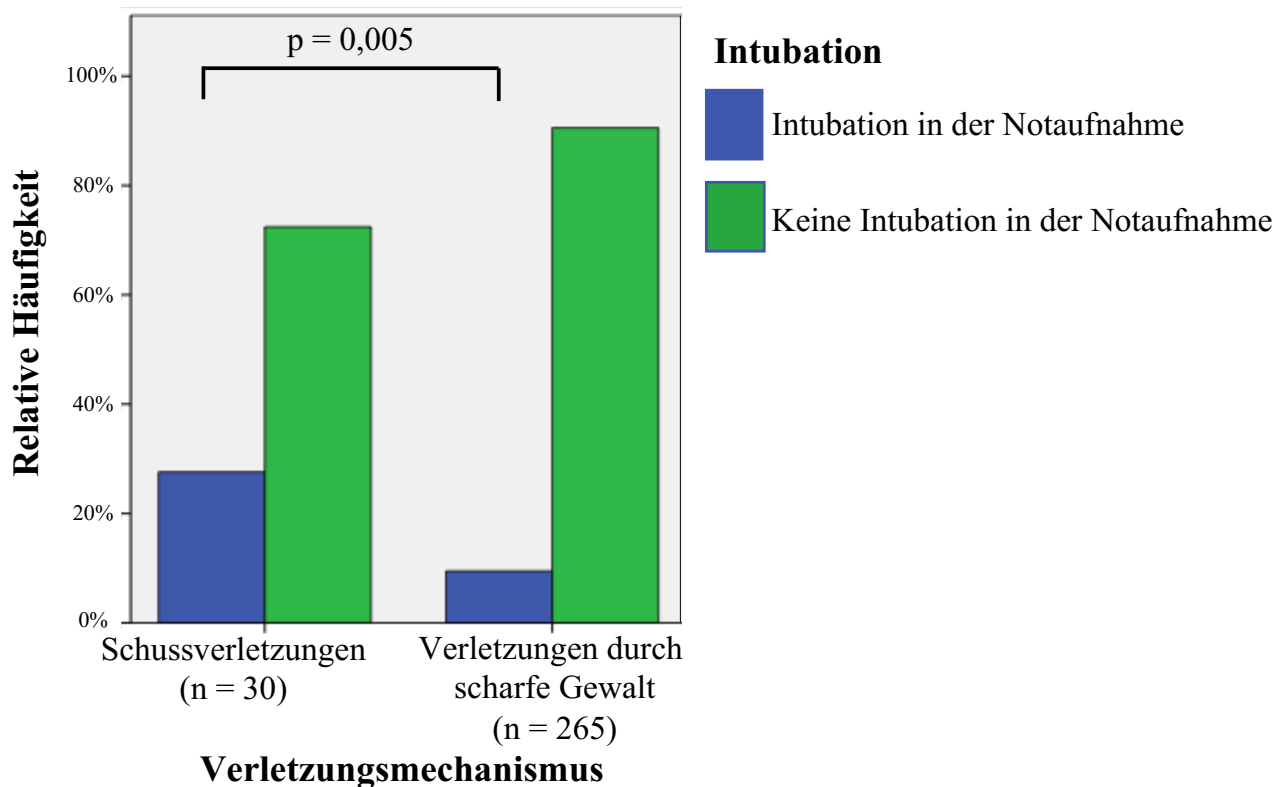


Abbildung 10: Verletzungsmechanismus und Intubation in der Notaufnahme
 Die Abbildung zeigt die relative Häufigkeit der Intubation in der Notaufnahme nach Schussverletzungen und nach Verletzungen durch scharfe Gewalt in blau und die unterlassene Intubation in der Notaufnahme in grün. Der Zusammenhang ist statistisch relevant ($p=0,005$; logistische Regression).

Die Hämorrhagiekontrolle mittels eines Foley-Katheters wurde bei 30 Patienten angewandt (siehe Tabelle 12). Die logistische Regression mit der abhängigen Variable Anlage des Katheters war weder als Ganzes signifikant ($\text{Chi}^2=7,250$; $p=0,403$; $\text{df}=7$; $n=275$), noch zeigte sich ein Zusammenhang zu einer der unabhängigen Variablen.

Bei 111 Patienten wurde die Verletzung direkt in der Notaufnahme durch eine Naht versorgt (siehe Tabelle 12). Eine logistische Regression ($\text{Chi}^2=41,659$; $p=0,000$; $\text{df}=7$; $n=275$) zeigte, dass die Chance für eine Naht der Wunde in der Notaufnahme über neun Mal höher nach scharfer Gewalt als nach Schussverletzungen war ($\text{OR}=9,571$ [$2,192-41,783$]; $p=0,005$) (siehe Tabelle 14). Außerdem verringerte sich die relative Wahrscheinlichkeit für eine Naht um 95,4%, wenn ‚*hard signs*‘ vorhanden waren ($\text{OR}=0,046$ [$0,006-0,346$]; $p=0,005$): 110 der 111 Patienten (99,1%) zeigten keine Symptome, nur ein Patient (0,9%) mit einem ‚*hard sign*‘ wurde in der Notaufnahme genäht.

Die Halswirbelsäule wurde bei Verletzten durch Schusswaffen signifikant häufiger immobilisiert. Eine logistische Regression ($\text{Chi}^2=25,849$; $p=0,001$; $\text{df}=7$; $n=275$) ergab, dass die Wahrscheinlichkeit für eine Immobilisation um 96,2% sank, wenn der Patient eine Schnitt- oder Stichverletzung erlitten hatte ($\text{OR}=0,038$ [0,009-0,168]; $p=0,000$) (siehe Tabelle 14).

Bei vier Patienten wurde eine Notfallraum-Thorakotomie oder -Sternotomie durchgeführt. Die logistische Regression ($\text{Chi}^2=14,760$; $p=0,039$; $\text{df}=7$; $n=275$) zeigte, dass die relative Wahrscheinlichkeit für diesen Eingriff mehr als zwölf Mal höher war ($\text{OR}=12,675$ [1,448-110,917]; $p=0,022$), wenn ‚*hard signs*‘ vorhanden waren. In einem aufgrund der niedrigen Patientenzahl durchgeführten exakten Test nach Fisher fand sich dieser Zusammenhang jedoch nicht ($p=0,053$; exakter Test nach Fisher). Die Mortalität ist bei diesen Patienten signifikant erhöht ($p=0,003$; exakter Test nach Fisher): Von den vier Patienten sind zwei (50,0%) an massivem Blutverlust verstorben.

Vier Patienten (1,3%) mussten im Notfallbereich kardiopulmonal reanimiert werden, zwei der Patienten sind im Notfallbereich verstorben, somit ist die Mortalität bei reanimationspflichtigen Patienten signifikant erhöht ($p=0,003$; exakter Test nach Fisher).

Erstversorgung		Scharfe Gewalt (n=265)	Schussverletzungen (n=30)
Intubation , n (%)	n=33	25 (9,4%)	8 (26,7%)
Foley-Katheter , n (%)	n=30	26 (9,8%)	4 (13,3%)
Naht , n (%)	n=110	108 (40,8%)	2 (6,7%)
Immobil. HWS , n (%)	n=10	3 (1,1%)	7 (23,3%)
Thorakot. (o.a.) , n (%)	n=4	4 (1,5%)	0 (0%)

Tabelle 14: Erstversorgung unterteilt nach Verletzungsmechanismus

Die Tabelle zeigt die Anzahl der therapeutischen Maßnahmen in der Notaufnahme aufgeteilt nach Verletzungen durch scharfe Gewalt und Schussverletzungen. Außerdem ist der prozentuale Anteil der durch die jeweilige Methode erstversorgten Patienten an allen Patienten mit Stich-/Schnittverletzungen bzw. Schussverletzungen ablesbar.

Patienten, die durch einen anderen Mechanismus verwundet wurden, sind nicht aufgeführt.

(Immobil. HWS=Immobilisation Halswirbelsäule, Thorakot. (o.a.)=oder andere: Thorakotomie oder Sternotomie)

Wie aus Tabelle 15 ablesbar, konnten mittels logistischer Regression ($\text{Chi}^2=87,853$; $p=0,000$; $\text{df}=6$; $n=303$) signifikante Zusammenhänge zwischen der abhängigen

Variable definitive Therapie und den Maßnahmen der Notfallraumversorgung (unabhängige Variablen: Intubation, Foley-Katheter, Naht, Immobilisation Halswirbelsäule, Thorakotomie/Sternotomie) nachgewiesen werden:

Die Chance auf eine konservative Therapie sank um 64% (OR=0,360 [0,132-0,979]; p=0,045), wenn der Patient frühzeitig intubiert werden musste (siehe Tabelle 15).

Ebenso verringerte sich die Chance für eine konservative Therapie um 78,6%, wenn ein Foley-Katheter zur Hämorrhagiekontrolle eingelegt wurde (OR=0,214 [0,075-0,611]; p=0,004).

Die relative Wahrscheinlichkeit für eine nicht-operative Therapie stieg hingegen um mehr als das siebenfache, wenn die Wunde bereits im Notfallraum genäht wurde (OR=7,159 [3,899-13,164]; p=0,000).

Ebenfalls stieg die Chance auf eine engmaschige Überwachung ohne Operation nach einer Immobilisation der Halswirbelsäule um mehr als das zwanzigfache an (OR=21,077 [1,972-225,288]; p=0,012).

Bis auf eine auf über das zwanzigfache erhöhte Mortalität bei Patienten mit einer Thorako- und Sternotomie (OR=28,902 [1,425-585,984]; p=0,028) fand sich mittels logistischer Regression (Chi²=20,808; p=0,002; df=6; n=303) kein weiterer Zusammenhang zwischen den unabhängigen Variablen der Maßnahmen der Notfallraumversorgung und der abhängigen Variable der Sterberate.

Erstversorgung	Operation (n=134)	Konservative Therapie (n=169)
Intubation, n (%) n=33	23 (69,7%)	11 (33,3%)
Foley-Katheter, n (%) n=30	24 (80%)	6 (20%)
Naht, n (%) n=111	19 (17,1%)	92 (82,9%)
Immobil. HWS, n (%) n=10	1 (10%)	9 (90%)
Thorakot. (o.a.), n (%) n=4	4 (100%)	0 (0%)

Tabelle 15: Erstversorgung unterteilt nach definitiver Therapie

Die Tabelle zeigt das weitere Management und die therapeutischen Maßnahmen in der Notaufnahme. Außerdem ist der prozentuale Anteil der jeweiligen Therapie an allen durch diese Methode erstversorgten Patienten ablesbar.

(Immobil. HWS=Immobilisation Halswirbelsäule, Thorakot. (o.a.)=oder andere: Thorakotomie oder Sternotomie)

4.1.5.2 Definitive Therapie

Gemäß dem Protokoll des *SNOM* wurden 169 der 303 Patienten (55,8%) nach der Versorgung in der Notaufnahme konservativ behandelt und 134 Verwundete (44,2%) wurden sofort chirurgisch versorgt (siehe Tabelle 16).

Management	Zone I (n=116)	Zone II (n=137)	Zone III (n=53)	P. Dreieck (n=32)	Total (n=303)
Operativ, n (%)	51 (44,0%)	71 (51,8%)	23 (43,4%)	8 (25,0%)	134 (44,2%)
Konservativ, n (%)	65 (56,0%)	66 (48,2%)	30 (56,6%)	24 (75,0%)	169 (55,8%)

Tabelle 16: Definitive Therapie

Die Tabelle zeigt die Anzahl der operativ und der konservativ versorgten Patienten je nach Lokalisation und insgesamt. Es wird der prozentuale Anteil der Therapie im Vergleich zu der Gesamtzahl der Verletzungen in der jeweiligen Zone aufgeführt. Durch zonenübergreifende und multiple Verletzungen überschreitet die Anzahl der betroffenen Zonen die Anzahl der Patienten.

(P.=Posteriores)

Die intraoperativ diagnostizierten Organverletzungen sind mit Lokalisation in Tabelle 17 zu finden. Große Gefäße waren bei den 134 operierten Patienten mit 41,8% am häufigsten betroffen. Eine Verletzung des Aerodigestivtraktes wurde bei 19,4% der chirurgisch-versorgten Patienten intraoperativ diagnostiziert. Der Ösophagus war mit 10,4 % öfter verletzt als die Trachea mit 6,0% und der Pharynx mit 3,0%. In 10,4% der Fälle wurde Nervengewebe beschädigt.

Verletzte Organe n (%)	Zone I (n=51)	Zone II (n=71)	Zone III (n=23)	P. Dreieck (n=8)	Total (n=134)
Große Gefäße	24 (47,1%)	32 (45,1%)	7 (30,4%)	3 (37,5%)	56 (41,8%)
A. carotis communis	1 (2,0%)	7 (9,9%)	0 (0,0%)	1 (12,5%)	9 (6,7%)
A. vertebralis	0 (0,0%)	4 (5,6%)	2 (8,7%)	1 (12,5%)	6 (4,5%)
V. vertebralis	0 (0,0%)	3 (4,2%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	3 (2,2%)
A. subclavia	6 (11,8%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	16 (11,9%)
V. subclavia	7 (13,7%)	1 (1,4%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	7 (5,2%)
V. jugularis interna	6 (11,8%)	20 (28,2%)	3 (13,0%)	0 (0,0%)	24 (17,9%)
V. jugularis externa	6 (11,8%)	10 (14,1%)	2 (8,7%)	1 (12,5%)	15 (11,2%)

Fortsetzung von Seite 59					
Verletzte Organe n (%)	Zone I (n=51)	Zone II (n=71)	Zone III (n=23)	P. Dreieck (n=8)	Total (n=134)
Kleinere Gefäße	14 (27,5%)	14 (19,7%)	9 (39,1%)	2 (25,0%)	32 (23,9%)
Trachea	4 (7,8%)	4 (5,6%)	1 (4,3%)	0 (0,0%)	8 (6,0%)
Pharynx	0 (0,0%)	2 (2,8%)	2 (8,7%)	1 (12,5%)	4 (3,0%)
Ösophagus	6 (11,8%)	9 (12,7%)	1 (4,3%)	0 (0,0%)	14 (10,4%)
Nervengewebe	5 (9,8%)	4 (5,6%)	3 (13,0%)	2 (25,0%)	14 (10,4%)

Tabelle 17: Organverletzungen

Die Tabelle zeigt die verletzten Halsorgane der operierten Patienten je nach Lokalisation und insgesamt. Es wird der prozentuale Anteil der Organverletzungen im Vergleich zu der Gesamtzahl der operierten Patienten in der jeweiligen Zone aufgeführt. Durch zonenübergreifende und multiple Verletzungen überschreitet die Anzahl der Verletzungen in der betroffenen Zone die Anzahl der Patienten.

(P.=Posteriores)

Sieben der neun Verletzungen der A. carotis communis wurden durch eine Gefäßnaht chirurgisch versorgt, eine durch einen synthetischen sowie eine durch einen biologischen Patch. Die sechs A. vertebralis- und drei V. vertebralis-Läsionen wurden ligiert; bei einem Patienten mit A. vertebralis- Blutung wurden Bauchtücher zur Kompression eingelegt und bei einem Patienten mit einem V. vertebralis-Trauma wurde zusätzlich ein Foley-Katheter in die Wunde eingebracht. Drei der sechs Patienten mit einer Läsion der A. subclavia wurden durch eine Gefäßnaht versorgt, ein Mal musste die Wunde bis zum Stopp der Blutung durch Bauchtücher komprimiert werden. Die A. subclavia wurde ein Mal mit einem Stent versorgt, eine Verletzung wurde mit einem Shunt und eine mit einem synthetischen Patch versehen. Die sieben Verletzungen der V. subclavia wurden ligiert. Neunzehn der 24 Kontinuitätsverletzungen der V. jugularis interna wurden ligiert, fünf wurden durch eine Naht versorgt. Bei allen fünfzehn Verletzungen der V. jugularis externa wurde das Gefäß unterbunden. Fünf der acht Trachealverletzungen wurden genäht, zwei Patienten erhielten zusätzlich ein Tracheostoma. Zwei Patienten mit Verletzung der Luftröhre wurden ausschließlich durch eine Tracheostoma versorgt. Alle vier Pharynxwunden wurden durch eine Naht geschlossen. Die Ösophagusverletzung wurde bei zwei der 14 Patienten debridiert sowie drainiert und bei zehn Patienten

genäht. Die Patientenakte war bezüglich der chirurgischen Versorgung eines Patienten mit Trachealverletzung und zweier Patienten mit Ösophagusverletzung unvollständig. Bei vier Patienten wurde im Operationssaal eine Kugel entfernt, bei zweien eine Glasscherbe und bei zweien ein Messer. Zwei Patienten wurden mit Verzögerung operiert: Ein Patient musste nach fünf Tagen operiert werden, da sich durch eine Verletzung der A. subclavia ein Pseudoaneurysma und eine arteriell-venöse Fistel gebildet hatte und ein Patient wurde in das Chris Hani Baragwanath Krankenhaus verlegt und dort ebenfalls an einem Pseudoaneurysma der A. subclavia operiert. Elf (6,5%) der 169 konservativ versorgten Patienten mussten wegen einer Begleitverletzung operiert werden.

In Tabelle 18 ist die Häufigkeit der operativen bzw. konservativen Therapie je nach Verletzungsmechanismus ablesbar.

Mechanismus und Versorgung	Zone I (n=116)	Zone II (n=137)	Zone III (n=53)	P. Dreieck (n=32)	Total (n=303)
GSW, n (%)	10 (8,6%)	20 (14,6%)	8 (15,1%)	1 (3,1%)	30 (9,9%)
Operativ, n (%)	2 (20,0%)	9 (45,0%)	3 (37,5%)	1 (100%)	14 (46,7%)
Konservativ, n (%)	8 (80,0%)	11 (55,0%)	5 (62,5%)	0 (0,0%)	16 (53,3%)
SW, n (%)	101 (87,1%)	113 (82,5%)	44 (83,0%)	31 (96,9%)	265 (87,5%)
Operativ, n (%)	46 (45,5%)	59 (52,2%)	19 (43,2%)	7 (22,6%)	115 (43,4%)
Konservativ, n (%)	55 (54,5%)	54 (47,8%)	25 (56,8%)	24 (77,4%)	150 (56,6%)
Anderer M., n (%)	5 (4,3%)	4 (2,9%)	1 (1,9%)	0 (0,0%)	8 (2,6%)
Operativ, n (%)	3 (60,0%)	3 (75,0%)	1 (100%)	0 (0,0%)	5 (1,7%)
Konservativ, n (%)	2 (40,0%)	1 (25,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	3 (1,0%)

Tabelle 18: Verletzungsmechanismus und Patientenversorgung

Die Tabelle zeigt den Verletzungsmechanismus und die definitive Therapie aufgeteilt nach Lokalisation und insgesamt. Es wurde der prozentuale Anteil des jeweiligen Verletzungsmechanismus im Vergleich zu der Gesamtzahl der Verletzungen in der jeweiligen Zone aufgeführt. Außerdem ist der Anteil der operativen und der konservativen Therapie an den Verwundeten ablesbar, die in dieser Zone durch den jeweiligen Mechanismus verletzt wurden. Durch zonenübergreifende und multiple Verletzungen überschreitet die Anzahl der betroffenen Zonen die Anzahl der Patienten.

(P.=Posteriores, GSW=engl. ‚*gunshot wound*‘: Schussverletzung, SW=engl. ‚*stab wound*‘: Verletzung durch scharfe Gewalt, M.=Mechanismus)

Eine logistische Regression mit der abhängigen Variable definitive Therapie und den unabhängigen Variablen Verletzungsmechanismus, einzelne Zonen, vaskuläre und aerodigestive ‚*hard signs*‘ sowie Durchführung von CTA und Ösophagographie war als Modell signifikant ($\text{Chi}^2=63,688$; $p=0,000$; $\text{df}=9$; $n=270$) und zeigte auch signifikante Ergebnisse:

Ein signifikanter Zusammenhang ergab sich zwischen der definitiven Therapie und der unabhängigen Variable Verletzung des hinteren Halsdreieckes ($\text{OR}=3,667$ [$1,065-12,632$]; $p=0,039$): Die Chance für eine konservative Therapie war bei dortigen Verletzungen mehr als drei Mal so hoch (siehe Tabelle 16).

Es konnte außerdem gezeigt werden, dass sich die Chance für eine konservative Versorgung um 72,9% verringerte, wenn ‚*hard signs*‘ für eine vaskuläre Verletzung vorhanden waren ($\text{OR}=0,271$ [$0,104-0,703$]; $p=0,007$): Es wurden nur acht (25,8%) der 31 Patienten mit vaskulären ‚*hard signs*‘ konservativ behandelt, 23 (74,2%) hingegen operativ versorgt. Ein Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein von aerodigestiven ‚*hard signs*‘ und der Wahl des Therapieregimes war nicht nachweisbar ($\text{OR}=0,749$ [$0,335-1,675$]; $p=0,481$) (siehe Tabelle 19 und Abbildung 11).

Zwischen der Wahl des Managements und dem Verletzungsmechanismus fand sich ebenfalls kein statistisch signifikanter Zusammenhang ($\text{OR}=1,361$ [$0,554-3,340$]; $p=0,501$) (siehe Tabelle 18 und 4.2 Einfluss des Verletzungsmechanismus).

‚Hard signs‘ und Versorgung	Zone I (n=116)	Zone II (n=137)	Zone III (n=53)	P. Dreieck (n=32)	Total (n=303)
Vaskuläre ‚HS‘, n (%)	13 (11,2%)	16 (11,7%)	4 (7,5%)	3 (9,4%)	31 (10,2%)
Operativ	9 (69,2%)	13 (81,3%)	2 (50,0%)	2 (66,7%)	23 (74,2%)
Konservativ	4 (30,8%)	3 (18,8%)	2 (50,0%)	1 (33,3%)	8 (25,8%)
Aerodig. ‚HS‘, n (%)	20 (17,2%)	26 (19,0%)	7 (13,2%)	4 (12,5%)	49 (16,2%)
Operativ	10 (50,0%)	15 (57,7%)	3 (42,9%)	0 (0,0%)	23 (46,9%)
Konservativ	10 (50,0%)	11 (42,3%)	4 (47,1%)	4 (100%)	26 (53,1%)

Tabelle 19: Versorgung der Patienten mit ‚*hard signs*‘

Die Tabelle zeigt die definitive Therapie je nach Lokalisation und insgesamt. Es wird der prozentuale Anteil des Untersuchungsergebnisses im Vergleich zu der Gesamtzahl der Verletzungen in der jeweiligen Zone aufgeführt. Außerdem wird der Anteil der jeweiligen Therapie bei ‚*hard signs*‘ in der jeweiligen Zone gezeigt. Durch zonenübergreifende und multiple Verletzungen überschreitet die Anzahl der betroffenen Zonen die Anzahl der Patienten.

(P.=Posteriores, ‚*HS*‘= ‚*hard signs*‘, Aerodig.=Aerodigestive)

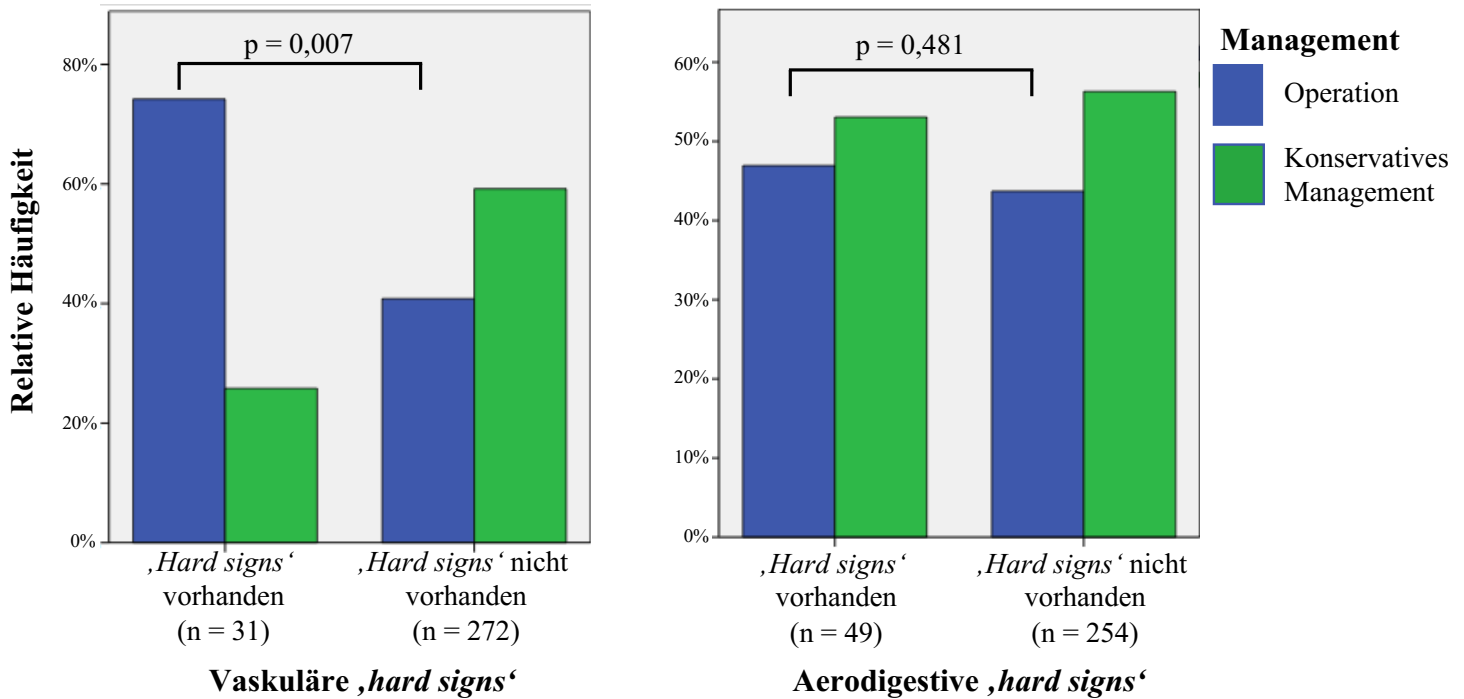


Abbildung 11: Vaskuläre und aerodigestive ,hard signs‘ und Therapie

Die Abbildung zeigt die relative Häufigkeit der operativen Versorgung je nach Vorhandensein von ,hard signs‘ in blau und die Häufigkeit der konservativen Versorgung in grün. Während der Zusammenhang zwischen vaskulären ,hard signs‘ und Management statistisch signifikant ist ($p=0,007$; logistische Regression), besteht dieser Zusammenhang zwischen aerodigestiven ,hard signs‘ und Therapie nicht ($p=0,481$; logistische Regression).

Es bestand eine fast sechs Mal höhere Chance für eine konservative Versorgung nach einer durchgeführten CTA (OR=5,782 [3,222-10,376]; $p=0,000$) (siehe 4.5.1 Computertomographische Angiographie). Von den 20 Patienten, bei denen in der CTA eine Gefäßverletzung diagnostiziert wurde, wurden sechs operiert (30,0%) und 14 konservativ behandelt (70,0%). Achtzig Prozent der Patienten, bei denen in der CTA eine vaskuläre Schädigung nicht sicher ausgeschlossen werden konnte, wurden operiert. Drei (60,0%) der fünf Patienten mit einer nachgewiesenen Verletzung in der Ösophagographie wurden operiert, zwei (40,0%) nicht-chirurgisch behandelt.

4.1.5.3 Patientenversorgung im Chris Hani Baragwanath Hospital

Gemäß des Algorithmus des Chris Hani Baragwanath Krankenhauses (siehe 1.5.3 Patientenversorgung im Chris Hani Baragwanath Hospital) wurden 19 der 31 Patienten mit vaskulären ,hard signs‘ ohne eine vorherige CTA sofort operiert, da sie sich in einem therapierefraktär instabilen Zustand befanden. Ein Patient mit einer

kritischen Kreislaufsituation verstarb in der Notaufnahme. Die übrigen elf Patienten waren entweder primär in einem stabilen Zustand oder stabilisierten sich durch die Erstversorgung. Bei sieben der elf stabilen Patienten mit ‚*hard signs*‘ wurde eine CTA durchgeführt. Alle Patienten wurden nach der CTA konservativ therapiert, da es sich bei den zwei nachgewiesenen vaskulären Verletzungen um venöse Läsionen handelte. Vier stabile Patienten mit ‚*hard signs*‘ wurden ohne weitere Diagnostik operiert, bei zwei Patienten wurde intraoperativ eine Verletzung der A. carotis communis diagnostiziert. Bei zwei weiteren Patienten wurde außer einer Verletzung kleinerer arterieller Gefäße kein pathologischer Befund erhoben (siehe Abbildung 12).

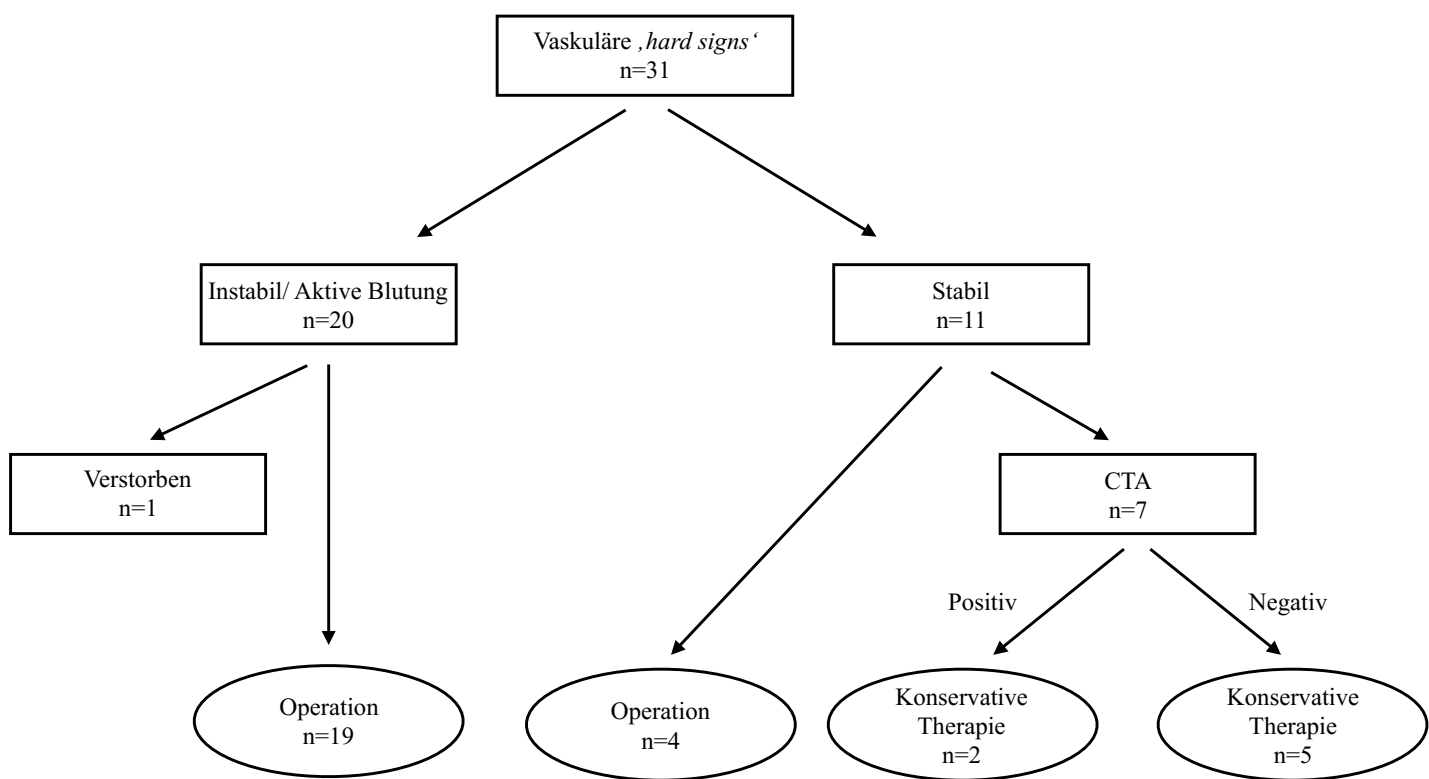


Abbildung 12: Management bei Patienten mit vaskulären ‚*hard signs*‘
Die Abbildung zeigt die Umsetzung des Algorithmus des Chris Hani Baragwanath Krankenhaus bei dem Verdacht auf eine vaskuläre Verletzung aufgrund von ‚*hard signs*‘.
(CTA=computertomographische Angiographie)

Von den 49 Patienten mit aerodigestiven ‚*hard signs*‘ waren 13 entweder in einer instabilen Atemwegs- oder Kreislaufsituation oder in der klinischen Untersuchung war die Verletzung der Speise- oder Luftwege offensichtlich. Wie in dem Algorithmus für die Behandlung von Patienten mit Verdacht auf eine Verletzung des Aerodigestivtraktes vorgesehen, wurden zwölf dieser Patienten sofort operiert, ein

Patient mit einem subkutanen Emphysem in der klinischen Untersuchung und einem Pneumothorax stabilisierte sich nach Drainageeinlage und konnte konservativ weiter behandelt werden. Von den 36 stabilen Patienten erhielten 28 eine präoperative Ösophagographie oder Ösophagoskopie, mit oder ohne zusätzliche CTA. Ein Patient mit positiven Ergebnissen in allen Untersuchungen wurde operiert, zwei Patienten wurden konservativ behandelt. Bei einem dieser Patienten wurde eine Ösophagusverletzung komplikationslos konservativ therapiert. Der zweite Patient, mit einer Pharynxverletzung, erhielt eine perkutane endoskopische Gastrostomie und ein Tracheostoma. Fünfzehn der 19 Patienten mit einem negativen Befund sowohl in der ösophagusspezifischen Diagnostik als auch in der CTA wurden konservativ therapiert, vier wurden chirurgisch behandelt: bei zwei dieser Verwundeten wurde zwar eine Verletzung der Speisewege in der Ösophagographie ausgeschlossen, sie wurden aber aufgrund der ‚*hard signs*‘ operiert und es fand sich bei beiden eine Ösophagusverletzung, ein Patient litt zusätzlich an einer Läsion der A. vertebralis. Bei den übrigen zwei Verwundeten wurde der klinische Verdacht durch die Operation nicht bestätigt. Patienten, die zwar einen negativen Ösophagographie- oder Ösophagoskopie-Befund, jedoch ein subkutanes Emphysem in der CTA aufwiesen, wurden mehrheitlich konservativ behandelt, ein Patient von sechs wurde operiert.

Acht Patienten mit ‚*hard signs*‘ für eine aerodigestive Verletzung erhielten ausschließlich eine CTA, zwei der Patienten mit positivem Befund wurden chirurgisch therapiert, zwei konservativ. Drei der vier Patienten ohne Emphysem in der CTA wurden operiert. Ein Patient litt an einer Ösophagusverletzung und zwei Patienten mussten an einer Läsion eines großen Gefäßes versorgt werden.

Insgesamt wurden 23 der Verwundeten mit aerodigestiven ‚*hard signs*‘ operiert, sechszwanzig wurden konservativ behandelt (siehe Abbildung 13).

Von den 231 Patienten, bei denen weder aerodigestive noch vaskuläre ‚*hard signs*‘ bestanden, haben 125 Patienten (54,1%) eine CTA erhalten. Von diesen Patienten wurden 96 (76,8%) konservativ weiter behandelt und 29 (23,2%) operiert. Wurde keine CTA durchgeführt, wurden 41,6% konservativ und 58,4% operativ behandelt. Der Zusammenhang zwischen der Durchführung einer CTA und der definitiven Therapie hat sich mittels eines Chi²-Tests nach Pearson als statistisch signifikant herausgestellt ($\chi^2=29,138$, $df=1$, $p=0,000$). Bei 45,5% der Patienten, die keine CTA erhalten haben, war zwar kein ‚*hard sign*‘, aber eine Blutung dokumentiert.

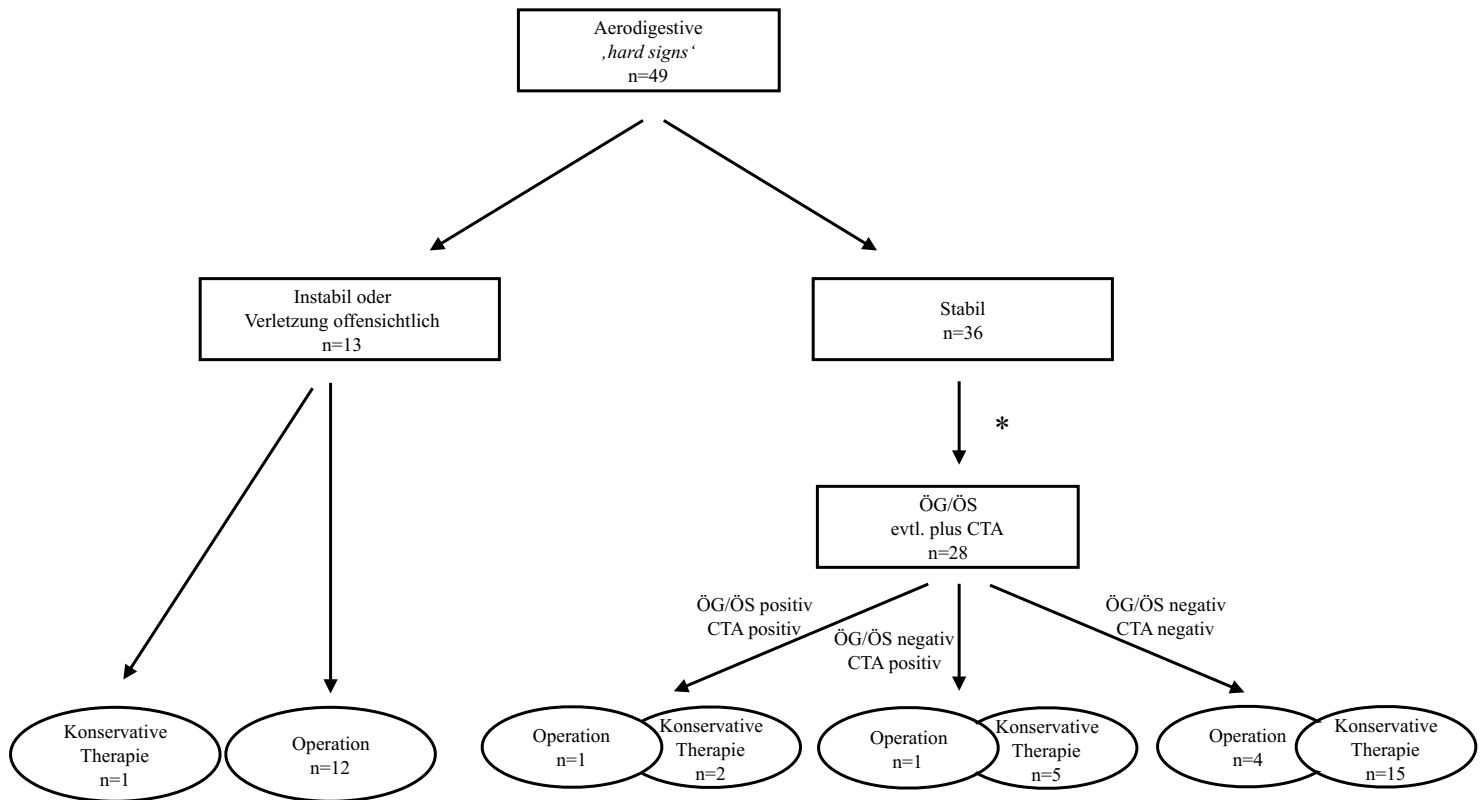


Abbildung 13: Management bei Patienten mit aerodigestiven ‚hard signs‘
 Die Abbildung zeigt die Umsetzung des Algorithmus des Chris Hani Baragwanath Krankenhaus bei dem Verdacht auf eine aerodigestive Verletzung aufgrund von ‚hard signs‘.
 *Acht stabile Patienten erhielten ausschließlich eine CTA, davon wurden fünf operiert und drei konservativ therapiert.
 (ÖG=Ösophagographie, ÖS=Ösophagoskopie, CTA=computertomographische Angiographie)

4.1.6 Komplikationen

Dreißig der 303 Patienten (9,9%) entwickelten während des Krankenhausaufenthaltes eine oder mehrere Komplikationen (siehe Abbildung 14). Bei drei Patienten bildete sich eine lokale Wundinfektion, bei zweien mit einem Abszess. In sechs Fällen musste ein Empyem therapiert werden, ein Mal mit einer Sepsis und ein Mal mit einer Mediastinitis. Drei weitere Patienten entwickelten eine Sepsis und ein Weiterer eine Mediastinitis. Beide Patienten mit einer Mediastinitis waren zuvor am Ösophagus verletzt worden.

Bei vier Patienten war eine respiratorische Insuffizienz dokumentiert. Eine Pneumonie wurde bei sechs Verletzten diagnostiziert.

Eine vaskuläre Komplikation mit einer Nachblutung war bei zwei Patienten vermerkt. Es bildete sich bei einem Patient mit einer Verletzung der A. carotis communis eine Stenose. Einmalig kam es zu einer Thrombosierung der V. subclavia. Außerdem erkrankte ein Verletzter an einer tiefen Beinvenenthrombose und ein Patient an einer Thrombophlebitis.

Ein Patient entwickelte nach Anlage eines Tracheostomas und einer perkutanen endoskopischen Gastrostomie eine thorakoösophageale Fistel. Bei einem weiteren Patienten bildete sich eine ösophageale Fistel und in einem Fall war neben einer Striktur des Ösophagus und einer pharyngealen Fistel eine bilaterale Lähmung des N. recurrens mit respiratorischer Beeinträchtigung verzeichnet.

Es verkomplizierte sich der Verlauf bei zwei Patienten durch eine Neuropraxie.

Bei einem Patienten wurde während der Applikation eines zentralen Venenkatheters zur Messung des zentralen Venendruckes ein Hämatothorax verursacht.

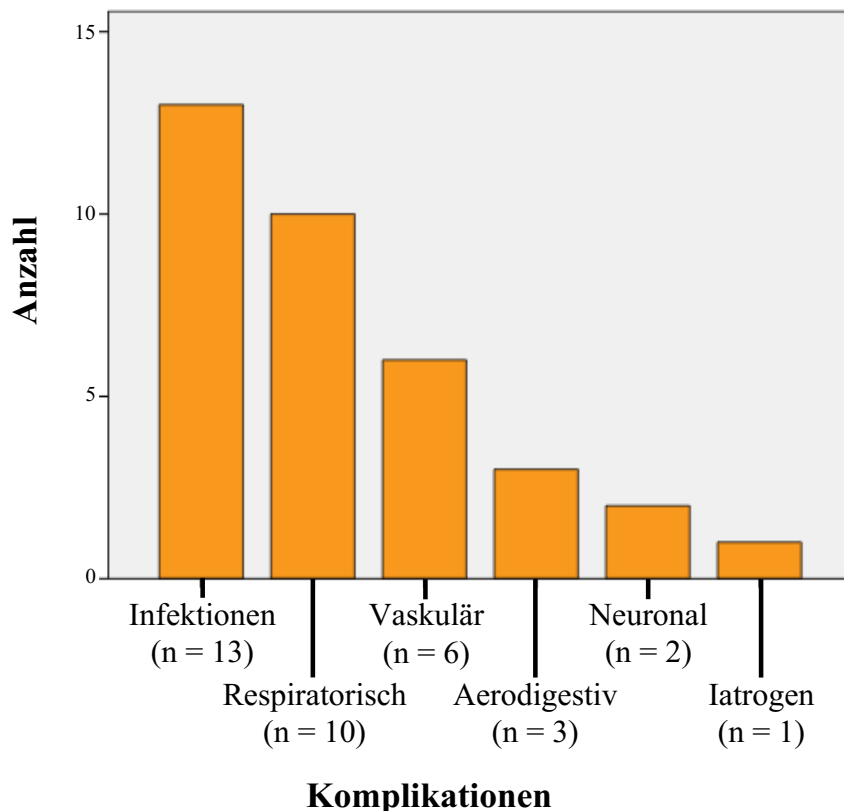


Abbildung 14: Komplikationen

Die Abbildung zeigt die Häufigkeit der verschiedenen Komplikationen: Infektionen (n=13; 43,3%); respiratorische Komplikationen (n=10; 33,3%); vaskuläre Komplikationen (n=6; 20%); aerodigestive Komplikationen (n=3; 10%); neuronale Komplikationen (n=2; 6,7%); iatrogene Komplikation (n=1; 3,3%).

In einer logistischen Regression ($\text{Chi}^2=16,233$; $p=0,039$; $\text{df}=8$; $n=275$) mit Komplikationen als abhängige Variable konnte analysiert werden, dass sich die Chance für eine Komplikation nach Stichverletzungen im Gegensatz zu Schussverletzungen signifikant um 77,8% verringert ($\text{OR}=0,222$ [0,071-0,693]; $p=0,009$) (siehe 4.2 Einfluss des Verletzungsmechanismus und Abbildung 16). Während sechs der 30 Patienten (20,0%) mit einer Schussverletzung eine Komplikation erlitten, waren es nur 19 der 265 Patienten (7,2%) mit einer Verletzung durch scharfe Gewalt

Außerdem ergab sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Bildung einer Komplikation und dem Ergebnis der Operation: Mittels oben genannter logistischer Regression konnte festgestellt werden, dass die relative Wahrscheinlichkeit für eine Komplikation bei der intraoperativen Diagnose einer vaskulärer Schädigung um mehr als das sechsfache anstieg ($\text{OR}=6,229$ [1,608-24,133]; $p=0,008$). Bei intraoperativ diagnostizierten Gefäßverletzungen lag die Komplikationsrate bei 17,3%, während sie bei fehlender Diagnose bei 8,4% lag.

Zu den übrigen unabhängigen Variablen (Zonen, Management, intraoperative Diagnose von aerodigestiven Verletzungen) fand sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang.

4.1.7 Mortalität

Sieben der 303 in die Studie eingeschlossenen Patienten sind im Laufe des Krankenhausaufenthaltes verstorben. Damit lag die Mortalität bei 2,3% (siehe Tabelle 20).

	Zone I (n=116)	Zone II (n=137)	Zone III (n=53)	P. Dreieck (n=32)	Total (n=303)
Todesfälle, n (%)	5 (4,3%)	1 (0,7%)	0 (0,0%)	1 (3,1%)	7 (2,3%)

Tabelle 20: Mortalität

Die Tabelle zeigt die verstorbenen Patienten je nach Zone und insgesamt. (P.=Posteriores)

Die häufigste Todesursache ($n=5$; 71,4%) war ein hämorrhagischer Schock mit letalem Ausgang. Zwei der Todesfälle ereigneten sich in der Notaufnahme: Bei einem

Patienten war zum Zeitpunkt der Aufnahme kein Blutdruck mehr messbar und der Punktwert auf der GCS lag bei drei Punkten. Der zweite Patient verstarb in der Notaufnahme nach einer Verletzung der V. brachiocephalica. Die Blutung war trotz einer bilateralen Notfallthorakotomie in Kombination mit einer Sternotomie nicht beherrschbar. Bei dieser Intervention wurden außerdem eine Verletzung der Trachea und des Ösophagus diagnostiziert. Ein Patient verstarb nach einer Notfallthorakotomie im Operationssaal an einer Verletzung des Pulmonalarterienhauptstammes und der A. thoracica interna. Zwei Patienten verstarben auf der Intensivstation: Ein primär stabiler Patient mit Verletzung der A. und V. subclavia wurde nach Zustandsverschlechterung ein zweites Mal operiert, er verstarb trotz Sternotomie und Ligatur der Gefäße. Ein zweiter Patient verstarb auf der Intensivstation nach einer Läsion der V. subclavia.

Ein Patient mit einer Infektion der abdominellen Begleitverletzungen verstarb auf der Normalstation an einer Sepsis. Ein weiterer Patient mit einer Quadriplegie erlag auf der Normalstation einer Pneumonie und Sepsis.

Bei der Analyse der Mortalität durch eine logistische Regression wurden folgende unabhängigen Variablen berücksichtigt: Verletzungsmechanismus, Lokalisation der Wunde, Vorhandensein vaskulärer und aerodigestiver ‚*hard signs*‘, Therapie, Ergebnis der Operation und Komplikationen. Sowohl das Modell als Ganzes ($\text{Chi}^2=22,991$; $p=0,018$; $\text{df}=11$; $n=275$), als auch der Zusammenhang zu Komplikationen ($\text{OR}=22,557$ [$2,527-201,375$]; $p=0,005$) waren signifikant: Sind Komplikationen vorhanden, steigt die relative Wahrscheinlichkeit für den Patienten zu versterben um mehr als das zwanzigfache an. Während drei der sieben verstorbenen Patienten (42,9%) Komplikationen entwickelten, litten nur 23 der 296 überlebenden Patienten (7,8%) an Komplikationen (siehe Abbildung 15). Keinen Einfluss auf die Mortalität hatten jedoch die anderen Variablen.

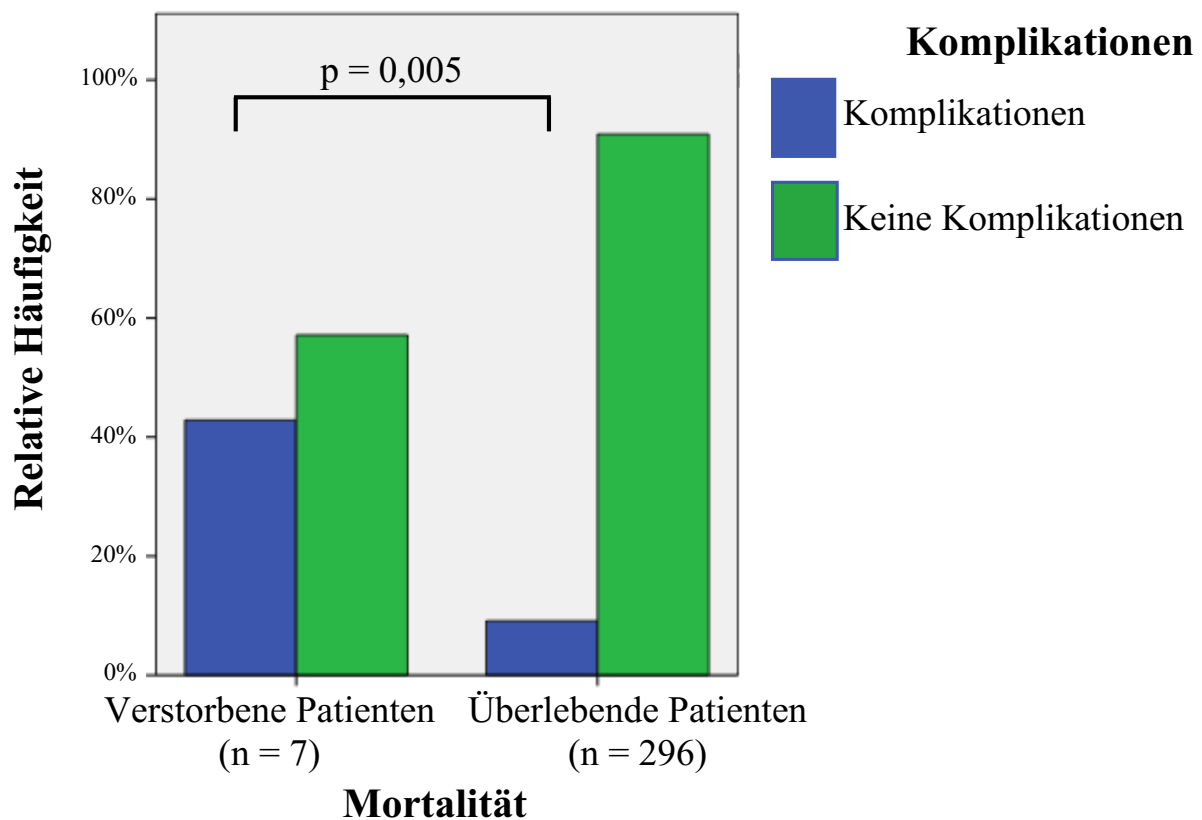


Abbildung 15: Mortalität und Komplikationen

Die Abbildung zeigt die Mortalität und die Komplikationen: das Erleiden von Komplikationen ist in blau, der komplikationslose Verlauf in grün dargestellt. Der Zusammenhang zwischen der Mortalität und der Entwicklung von Komplikationen ist statistisch signifikant ($p=0,005$; logistische Regression).

4.2 Einfluss des Verletzungsmechanismus

Es konnte mittels Mann-Whitney-U-Test kein signifikanter Unterschied zwischen Verletzungen durch Schusswaffen und durch scharfe Gewalt hinsichtlich des systolischen Blutdrucks ($n=263$; $z=-0,342$; $p=0,732$; Median GSW 124,0 mmHg/ Median SW 125 mmHg) und der Herzfrequenz ($n=234$; $z=-0,857$; $p=0,392$; Median GSW 90 bpm/ Median SW 88 bpm) festgestellt werden.

Bei den folgenden logistischen Regressionen wurden neben der jeweiligen abhängigen Variable als unabhängige Variablen berücksichtigt: Verletzungsmechanismus, Zone I bis Zone III, hinteres Halsdreieck sowie vaskuläre und aerodigestive ‚hard signs‘. Eine Übersicht über die Ergebnisse ist in Tabelle 21 zu finden.

Die Häufigkeit der Durchführung einer CTA wurde vom Verletzungsmechanismus beeinflusst: Die relative Wahrscheinlichkeit für eine CTA sank nach einer Verletzung durch scharfe Gewalt um 71,0% (OR=0,290 [0,111-0,761], p=0,012): während 78,6% der Patienten mit Schusswunde eine CTA erhalten haben, waren es nach Stich- oder Schnittverletzungen nur 52,5%.

Wie unter dem Gliederungspunkt 4.1.5.1 Notfallraumversorgung näher ausgeführt, wirkte sich der Verletzungsmechanismus auf die Erstversorgung aus: Die Chance für eine Intubation im Notfallraum sowie für eine Immobilisation der Halswirbelsäule sank nach Verletzungen durch scharfe Gewalt, während die Chance für eine Naht der Wunde noch in der Notaufnahme nach Schnitt- und Stichverletzungen anstieg.

Wie unter Gliederungspunkt 4.1.6 Komplikationen beschrieben, sank die relative Wahrscheinlichkeit für eine Komplikation bei Verletzungen durch scharfe Gewalt (siehe Abbildung 16).

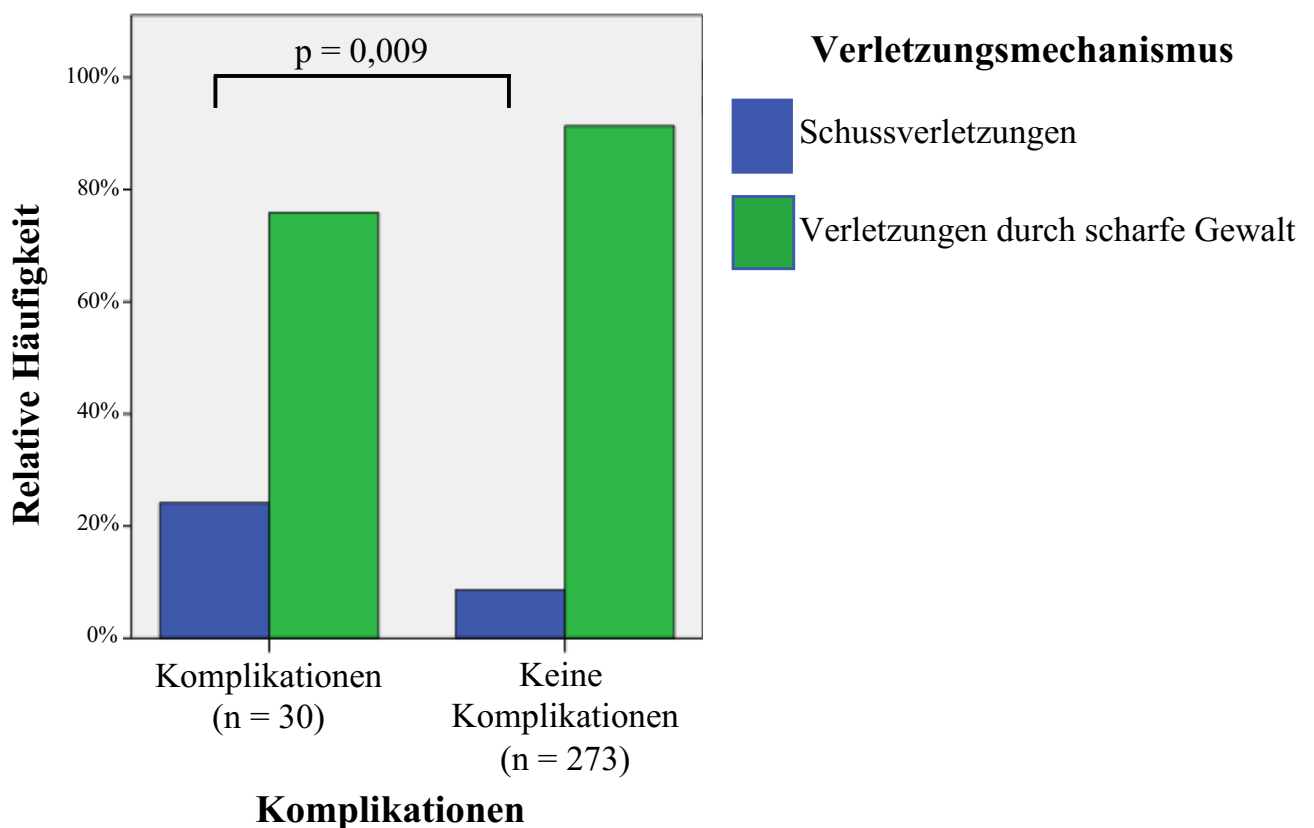


Abbildung 16: Komplikationen und Verletzungsmechanismus

Die Abbildung zeigt die relative Häufigkeit von Komplikationen je nach Verletzungsmechanismus: Schussverletzungen sind in blau, Verletzungen durch scharfe Gewalt in grün dargestellt. Der Zusammenhang zwischen der Entwicklung von Komplikationen und Verletzungsmechanismus ist statistisch signifikant (p=0,009; logistische Regression).

Der Verletzungsmechanismus beeinflusste weder die Häufigkeit des Auftretens von vaskulären oder aerodigestiven ‚*hard signs*‘, die Entscheidung für eine Operation oder konservative Therapie, die Wahrscheinlichkeit für eine vaskuläre oder aerodigestive Verletzung (diagnostiziert während der Operation, durch Komplikationen oder die Todesursache) oder die Mortalitätsrate (siehe Tabelle 21).

Durch den Verletzungsmechanismus beeinflusste (abhängige) Variable	Zusammenhang signifikant	Logistische Regression
Vaskuläre ‚ <i>hard signs</i> ‘	Nein	p=0,753, OR=0,831 [2,64-2,622] (Chi ² =3,399; p=0,757; df=6; n=275)
Aerodigestive ‚ <i>hard signs</i> ‘	Nein	p=0,577, OR=0,757 [0,285-2,010] (Chi ² =3,308; p=0,769; df=6; n=275)
Durchführung CTA	Ja	p=0,012 , OR=0,290 [0,111-0,761] (Chi ² =14,965; p=0,036; df=7; n=270)
Durchführung ÖG	Nein	p=0,410, OR=0,661 [0,247-1,770] (Chi ² =37,531; p=0,000; df=7; n=270)
Intubation in Notaufnahme	Ja	p=0,005 , OR=0,236 [0,087-0,640] (Chi ² =23,009; p=0,002; df=7; n=273)
Foley-Katheter	Nein	p=0,607, OR=0,738 [0,232-2,349] (Chi ² =7,250; p=0,403; df=7; n=275)
Naht in Notaufnahme	Ja	p=0,003 , OR=9,571 [2,192-41,783] (Chi ² =41,659; p=0,000; df=7; n=275)
Immobilisation Halswirbelsäule	Ja	p=0,000 , OR=0,038 [0,009-0,168] (Chi ² =25,849; p=0,001; df=7; n=275)
Definitive Therapie	Nein	p=0,915, OR=0,958 [0,433-2,120] (Chi ² =21,360; p=0,003; df=7; n=275)
Nachgewiesene Gefäßverletzung	Nein	p=0,150, OR=2,558 [0,713-9,179] (Chi ² =23,565; p=0,001; df=7; n=275)
Nachgewiesene aerodigestive Verletzung	Nein	p=0,067, OR=0,359 [0,120-1,076] (Chi ² =18,225; p=0,011; df=7; n=275)
Komplikationen*	Ja	p=0,009 , OR=0,222 [0,071-0,693] (Chi ² =16,233; p=0,039; df=8; n=275)
Mortalität	Nein	p=0,384, OR=0,036 [0,360-3,596] (Chi ² =12,585; p=0,083; df=7; n=268)
* Die logistische Regression wurde mit den unabhängigen Variablen Verletzungsmechanismus, Zone I bis Zone III, hinteres Halsdreieck, Therapie und im OP diagnostizierte Verletzungen berechnet.		

Tabelle 21: Verletzungsmechanismus als Einflussfaktor

Die Tabelle zeigt, welche Faktoren durch den Verletzungsmechanismus beeinflusst wurden. Statistisch signifikant ist der Zusammenhang zwischen der Art der Verletzung und der Häufigkeit der Durchführung einer CTA, der Intubation, der Immobilisation der Halswirbelsäule und der Naht in der Notaufnahme sowie der Häufigkeit von Komplikationen. Angegeben ist neben dem p-Wert die Odds Ratio mit dem 95% Konfidenzintervall (OR [95% CI]) und der Chi²-Test der logistischen Regression (Chi², p, df, n).

(CTA=computertomographische Angiographie; ÖG=Ösophagographie)

4.3 Einfluss der Lokalisation

Mittels des Mann-Whitney-U-Tests war kein Unterschied bei Blutdruck und Herzfrequenz zwischen den in Zone I- verletzten Patienten und den Patienten, die nicht in dieser Zone verletzt wurden, nachweisbar. Selbiges galt auch für die übrigen Lokalisationen (siehe Tabelle 22).

	Zone I betroffen/nicht betroffen	Zone II betroffen/nicht betroffen	Zone III betroffen/nicht betroffen	P. Halsdreieck betroffen/nicht betroffen
Syst. Blutdruck	p=0,632 n=250 z= -0,479	p=0,921 n=250 z= -0,099	p=0,399 n=250 z= -0,844	p=0,876 n=250 z= -0,156
Herzfrequenz	p=0,266 n=222 z= -1,111	p=0,768 n=250 z= -0,295	p=0,549 n=250 z= -0,600	p=0,204 n=250 z= -1,271

Tabelle 22: Lokalisation und Vitalparameter

Die Tabelle zeigt die Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests, bei dem der systolische Blutdruck und die Herzfrequenz der in Zone I-verletzten Patienten mit den Werten der Patienten verglichen wurden, die nicht in dieser Zone verwundet waren. Diese Analyse wurde analog für die restlichen Lokalisationen durchgeführt.

(P.=Posteriores, Syst.=Systolischer)

Bei den folgenden logistischen Regressionen wurden neben der jeweiligen abhängigen Variablen folgende unabhängige Variablen berücksichtigt: Verletzungsmechanismus, Zone I bis Zone III, hinteres Halsdreieck sowie vaskuläre und aerodigestive ‚*hard signs*‘. Eine Übersicht über die Ergebnisse findet sich in Tabelle 23.

Es gibt einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Verletzungen im hinteren Halsdreieck und dem Management: Die logistische Regression mit den oben genannten Variablen und zusätzlich den Variablen Durchführung einer CTA und Ösophagographie ($\text{Chi}^2=63,688$; $p=0,000$; $\text{df}=9$; $n=270$) zeigte, dass die Chance für eine konservative Behandlung nach einer Verletzung im hinteren Halsdreieck um mehr als das dreifache anstieg ($\text{OR}=3,667$ [$1,065-12,632$]; $p=0,039$). Von den 32 dort verletzten Patienten wurden 25,0% operativ und 75,0% konservativ therapiert.

Weiterhin war die relative Wahrscheinlichkeit einer Gefäßverletzung bei einer Wunde in Zone II um über das dreifache erhöht ($\text{OR}=3,334$ [$1,295-8,582$]; $p=0,013$). War dieser Bereich nicht involviert, wurde bei 12,3% eine vaskuläre Verletzung diagnostiziert, bei einer Verletzung in Zone II war bei 23,4% der Patienten eine Gefäßläsion vorhanden. Es gab keinen signifikanten Zusammenhang zwischen einer

der Zonen und der Häufigkeit von ‚hard signs‘, der Durchführung einer CTA bzw. Ösophagographie oder der Notfallraumversorgung. Aerodigestive Verletzungen waren in keiner Zone gehäuft zu finden. Die Häufigkeit von Komplikationen und Todesfällen waren von der Lokalisation unabhängig.

Durch die Lokalisation beeinflusste (abh.) Variable	In Zone I Zusammenhang signifikant	In Zone II Zusammenhang signifikant	In Zone III Zusammenhang signifikant	Im P. Halsdreieck Zusammenhang signifikant
Vask. ‚hard signs‘	Nein, p=0,990 (0,993 [0,307-3,211])	Nein, p=0,897 (1,080 [0,338-3,447])	Nein, p=0,382 (0,589 [0,180-1,930])	Nein, p=0,783 (0,789 [0,146-4,254])
Aerodig. ‚hard signs‘	Nein, p=0,973 (0,983 [0,364-2,654])	Nein, p=0,844 (1,102 [0,419-2,896])	Nein, p=0,566 (0,754 [0,287-1,981])	Nein, p=0,698 (0,750 [0,176-3,203])
Durchführung CTA	Nein, p=0,263 (0,652 [0,308-1,379])	Nein, p=0,162 (0,599 [0,292-1,229])	Nein, p=0,540 (0,801 [0,393-1,631])	Nein, p=0,153 (0,471 [0,168-1,322])
Durchführung ÖG	Nein, p=0,723 (0,839 [0,318-2,211])	Nein, p=0,424 (1,474 [0,569-3,814])	Nein, p=0,764 (0,873 [0,360-2,117])	Nein, p=0,364 (0,479 [0,098-2,350])
Intubation in NA	Nein, p=0,580 (1,445 [0,393-5,313])	Nein, p=0,948 (0,958 [0,267-3,445])	Nein, p=0,064 (0,226 [0,047-1,087])	Nein, p=0,272 (0,261 [0,024-2,867])
Foley-Katheter	Nein, p=0,698 (1,252 [0,401-3,909])	Nein, p=0,871 (1,094 [0,370-3,241])	Nein, p=0,709 (0,804 [0,257-2,520])	Nein, p=0,519 (0,548 [0,088-3,406])
Naht	Nein, p=0,178 (0,569 [0,250-1,292])	Nein, p=0,333 (0,680 [0,312-1,483])	Nein, p=0,530 (0,778 [0,355-1,705])	Nein, p=0,834 (0,890 [0,299-2,651])
Definitive Therapie*	Nein, p=0,506 (1,330 [0,574-3,084])	Nein, p=0,660 (0,836 [0,377-1,853])	Nein, p=0,491 (1,314 [0,605-2,855])	Ja, p=0,039 (3,667 [1,065-12,632])
Gefäßverletzung	Nein, p=0,174 (1,892 [0,755-4,742])	Ja, p=0,013 (3,334 [1,295-8,582])	Nein, p=0,613 (0,785 [0,306-2,008])	Nein, p=1,000 (1,000 [0,214-4,678])
Aerodig. Verletzung	Nein, p=0,186 (2,179 [0,688-6,907])	Nein, p=0,104 (2,731 [0,814-9,165])	Nein, p=0,314 (1,755 [0,588-5,242])	Nein, p=0,388 (2,318 [0,344-15,626])
Komplikationen	Nein, p=0,415 (0,543 [0,125-2,359])	Nein, p=0,167 (0,377 [0,095-1,504])	Nein, p=0,905 (0,922 [0,244-3,488])	Nein, p=0,941 (0,934 [0,157-5,551])
Mortalität	Nein, p=0,997 (0,000 [0,000-.])	Nein, p=0,997 (0,000 [0,000-.])	Nein, p=0,996 (0,000 [0,000-.])	Nein, p=0,997 (0,000 [0,000-.])

* Die logistische Regression wurde mit der abhängigen Variable definitive Therapie und den unabhängigen Variablen Verletzungsmechanismus, den Lokalisationen, ‚hard signs‘, Durchführung einer CT-Angiographie und Ösophagographie, definitive Therapie, Komplikationen und Mortalität berechnet.

Tabelle 23: Lokalisation als Einflussfaktor

Die Tabelle zeigt, welche Faktoren durch die Lokalisation beeinflusst wurden. Der Einfluss der Lokalisation auf die definitive Therapie war bei Verletzungen des hinteren Halsdreiecks statistisch signifikant, außerdem die Häufigkeit vaskulärer Verletzungen bei Zone II-Verletzungen. Die übrigen Faktoren sind von der betroffenen Zone unbeeinflusst.

Angegeben ist neben dem p-Wert die Odds Ratio mit dem 95% Konfidenzintervall (OR [95% CI]). Die Werte für den Chi²-Test der logistischen Regression (Chi², p, df, n) sind Tabelle 21 zu entnehmen.

(Abh.=abhängige, P.=Posterioren, Vask.=Vaskuläre, Aerodig.=Aerodigestive, CTA=computertomographische Angiographie; ÖG=Ösophagographie; NA=Notaufnahme)

4.4 Einfluss der ‚hard signs‘

Die Sensitivität der ‚hard signs‘ von Gefäßverletzungen lag bei 24,1% (CI 13,9%-37,9%), die Spezifität lag bei 92,8% (CI 88,6%-95,5%). Der positive prädiktive Wert ergab 41,9% (CI 25,1%-60,7%) und der negative prädiktive Wert 84,9% (CI 80%-88,9%). Die Sensitivität und die Spezifität sowie der positive und der negative prädiktive Wert der einzelnen vaskulären ‚hard signs‘ sind mit einem Konfidenzintervall von 95% in Tabelle 24 aufgeführt. Ein auskultierbares Strömungsgeräusch (‚bruit‘) bestand bei keinem Patienten.

	Sensitivität (95% CI)	Spezifität (95% CI)	PPW (95% CI)	NPW (95% CI)
Vaskuläre ‚hard signs‘	24,1% (13,9-37,9)	92,8% (88,6-95,5)	41,9% (25,1-60,7)	84,9% (80-88,9)
Puls. Hämatom	1,9% (0,1-11,2)	99,6% (97,4-100)	50,0% (2,7-97,2)	82,4% (77,5-86,2)
Expand. Hämatom	9,3% (3,5-21,1)	98,0% (95,1-99,3)	50,0% (20,1-79,9)	83,3% (78,4-87,3)
‚Thrill‘	3,7% (0,6-13,8)	99,6% (97,4-100)	66,7% (12,5-98,2)	82,7% (77,8-86,7)
Fehlende periphere Pulse	3,7% (0,6-13,8)	96,8% (93,5-98,5)	20,0% (3,5-55,8)	82,3% (77,3-86,4)
Seitendifferenz der Pulsstärke	9,3% (3,5-21,1)	98,0% (95,1-99,3)	50,0% (20,1-79,9)	83,3% (78,4-87,3)
Aktive Blutung	70,4% (56,2-81,6)	71,5% (65,4-76,9)	34,9% (26,2-44,7)	91,8% (86,7-95,1)

Tabelle 24: Symptome vaskulärer Verletzungen: Sensitivität, Spezifität, positiver und negativer prädiktiver Wert

Die Tabelle zeigt neben der Sensitivität, der Spezifität, dem positiven und dem negativen prädiktiven Wert von allen vaskulären ‚hard signs‘ auch die Werte der einzelnen ‚hard signs‘ sowie der aktiven Blutung.

(CI=Konfidenzintervall, PPW=positiver prädiktiver Wert, NPW=negativer prädiktiver Wert, Puls.=Pulsierendes, Expand.=Expandierendes)

Die Sensitivität und die Spezifität der körperlichen Untersuchung hinsichtlich aerodigestiver ‚*hard signs*‘ betragen 42,3% (CI 24%-62,8%) respektive 86,3% (CI 81,5%-90%). Der positive prädiktive Wert lag bei 22,4% (CI 12,2%-37%) und der negative prädiktive Wert bei 94,1% (CI 90,2%-96,5%) (siehe Tabelle 25).

	Sensitivität (95% CI)	Spezifität (95% CI)	PPW (95% CI)	NPW (95% CI)
Aerodigestive ‚<i>hard signs</i>‘	42,3% (24,0-62,8)	86,3% (81,5-90,0)	22,4% (12,2-37,0)	94,1% (90,2-96,5)
Emphysem	15,4% (5,0-35,7)	93,1% (89,3-95,7)	17,4% (5,7-39,5)	92,1% (88,2-94,9)
Hämoptysis	0,0% (0,0-16,0)	99,6% (97,7-100)	0,0% (0,0-94,5)	91,4% (87,5-94,2)
Blasende Wunde	34,6% (17,9-55,6)	98,9% (96,6-99,7)	75,0% (42,8-93,3)	94,2% (90,6-96,4)
Dysphagie	7,7% (1,3-26,6)	95,3% (91,9-97,4)	13,3% (2,3-41,6)	91,7% (87,7-94,5)
Heiserkeit	15,4% (5,0-35,7)	97,5% (94,6-98,9)	36,4% (12,4-68,4)	92,5% (88,7-95,1)

Tabelle 25: Symptome aerodigestiver Verletzungen: Sensitivität, Spezifität, positiver und negativer prädiktiver Wert

Die Tabelle zeigt die Sensitivität, die Spezifität, den positiven und den negativen prädiktiven Wert aller aerodigestiven ‚*hard signs*‘ sowie der einzelnen ‚*hard signs*‘.

(CI=Konfidenzintervall, PPW=positiver prädiktiver Wert, NPW=negativer prädiktiver Wert)

Bezüglich des systolischen Blutdruckes und der Herzfrequenz machte es weder einen Unterschied ob vaskuläre ‚*hard signs*‘ vorhanden waren (Mann-Whitney-U-Test: Systolischer Blutdruck: n=270, z=-0,264, p=0,792; Herzfrequenz: n=239, z=0,612, p=0,541) oder ob aerodigestive ‚*hard signs*‘ vorlagen (Mann-Whitney-U-Test: Systolischer Blutdruck: n=270, z=-0,091, p=0,927; Herzfrequenz: n=239, z=0,807, p=0,420).

Die Ergebnisse der logistischen Regression mit den unabhängigen Variablen Verletzungsmechanismus, den vier Lokalisationen und den ‚*hard signs*‘ finden sich in Tabelle 26.

Bei vaskulären ‚*hard signs*‘ reduzierte sich die relative Wahrscheinlichkeit für die Durchführung einer CTA um 57,3% (siehe Tabelle 26): Während 56,6% der asymptomatischen Patienten eine CTA erhalten haben, waren es bei vaskulären ‚*hard signs*‘ nur 40,0%. Die Chance für eine Ösophagographie stieg bei aerodigestiven

'hard signs' um annähernd das Achtfache: Bei aerodigestiven *'hard signs'* wurde bei 53,1% eine Ösophagographie durchgeführt, fehlten die Symptome wurde die Untersuchung bei 12,1% vorgenommen.

Wie unter Gliederungspunkt 4.1.5.1 Notfallraumversorgung beschrieben, findet sich ein positiver Zusammenhang zwischen vaskulären *'hard signs'* und der Intubation sowie der Thorakotomie im Notfallraum. Außerdem existiert ein negativer Zusammenhang zwischen der Symptomatik und einer Naht der Wunde in der Notaufnahme.

Die Chance auf eine konservative Therapie sank bei vaskulären *'hard signs'* um 77,0% (siehe Tabelle 26): Waren keine *'hard signs'* vorhanden, wurden 59,2% konservativ therapiert, bei vorliegenden Symptomen nur 25,8%. Um beurteilen zu können, ob es einen signifikanten Zusammenhang zwischen den einzelnen *'hard signs'* und der Häufigkeit einer konservativen bzw. operativen Therapie gab, wurden Berechnungen mittels des Pearson Chi²- Tests und des exakten Tests nach Fisher durchgeführt, deren Ergebnisse in Tabelle 27 ablesbar sind.

Die Chance für eine Gefäßverletzung (diagnostiziert im Operationssaal, durch eine Komplikation oder die Todesursache) war bei vorliegenden *'hard signs'* mehr als vierfach erhöht (siehe Tabelle 26): Eine vaskuläre Verletzung wurde bei 15,1% der Patienten ohne Symptomatik diagnostiziert und bei 41,9% der Patienten mit *'hard signs'*. Bei aerodigestiven *'hard signs'* war die Chance für eine Verletzung des Aerodigestivtraktes fast fünf Mal höher: lagen keine *'hard signs'* vor, hatten 5,9% eine Verletzung der Luft- und/oder Speisewege, bei vorhandener Symptomatik wurde eine Verletzung bei 22,4% diagnostiziert.

Durch ,hard signs' beeinflusste (abhängige) Variable	Zusammenhang zu vaskulären ,hard signs' signifikant	Zusammenhang zu aerodigestiven ,hard signs' signifikant
Durchführung CTA (OR [95%CI])	Ja, p=0,039 (0,427 [0,191-0,957])	Nein, p=0,223 (1,541 [0,769-3,085])
Durchführung ÖG (OR [95%CI])	Nein, p=0,129 (0,396 [0,120-1,310])	Ja, p=0,000 (7,815 [3,726-16,395])
Intubation in NA (OR [95%CI])	Ja, p=0,020 (3,148 [1,202-8,247])	Nein, p=0,298 (1,649 [0,642-4,234])
Foley-Katheter (OR [95%CI])	Nein, p=0,925 (0,941 [0,262-3,377])	Nein, p=0,072 (0,156 [0,021-1,182])
Naht in NA (OR [95%CI])	Ja, p=0,003 (0,046 [0,006-0,346])	Nein, p=0,906 (1,046 [0,497-2,200])
Immobilisierung HWS (OR [95%CI])	Nein, p=0,998 (0,000 [0,000-.])	Nein, p=0,853 (1,183 [0,200-6,998])
Thorakotomie (OR [95%CI])	Ja, p=0,022 (12,675 [1,448-110,917])	Nein, p=0,997 (0,000 [0,000-.])
Definitive Therapie (OR [95%CI])	Ja, p=0,001 (0,230 [0,097-0,545957])	Nein, p=0,786 (1,099 [0,556-2,172])
Gefäßverletzung (OR [95%CI])	Ja, p=0,001 (4,317 [1,871-9,960])	Nein, p=0,431 (0,689 [0,273-1,743])
Aerodigestive Verletzung (OR [95%CI])	Nein, p=0,426 (0,530 [0,111-2,537])	Ja, p=0,001 (4,916 [1,933-12,501])
Komplikationen (OR [95%CI])	Nein, p=0,482 (1,535 [0,465-5,063])	Nein, p=0,234 (1,859 [0,669-5,161])
Mortalität (OR [95%CI])	Nein, p=0,099 (4,552 [0,752-27,567])	Nein, p=0,997 (0,000 [0,000-.])

Tabelle 26: ,hard signs' als Einflussfaktoren

Die Tabelle bildet ab, ob die genannten Faktoren durch vorhandene vaskuläre bzw. aerodigestive ,hard signs' beeinflusst wurden. Bei vaskulären ,hard signs' besteht dieser Zusammenhang mit der Häufigkeit einer CTA, einer Intubation, einer Naht oder Thorakotomie in der Notaufnahme sowie der Therapie und dem Nachweis vaskulärer Verletzungen. Bei aerodigestiven ,hard signs' ist die Häufigkeit der Ösophagographie und der Nachweis aerodigestiver Verletzungen signifikant. Die Werte für den jeweiligen Chi²-Test der logistischen Regression (Chi², p, df, n) sind Tabelle 21 zu entnehmen.

(CTA=computertomographische Angiographie, CI=Konfidenzintervall, ÖG=Ösophagographie, NA=Notaufnahme, HWS=Halswirbelsäule)

<i>,hard signs'</i>		Konservative Therapie (n=169)	Operation (n=134)	p-Werte
Vaskuläre ,hard signs', n (%)	n=31	8 (25,8%)	23 (74,2%)	0,000 (χ^2-Test)
Aerodigestive ,hard signs', n (%)	n=49	26 (53,1%)	23 (46,9%)	0,676 (χ^2 -Test)
Fehlende Pulse, n (%)	n=10	1 (10,0%)	9 (90,0%)	0,006 (Fisher)
Seitendifferenz Puls, n (%)	n=10	5 (50,0%)	5 (50,0%)	0,708 (χ^2 -Test)
Thrill, n (%)	n=3	1 (33,3%)	2 (66,7%)	0,589 (Fisher)
Pulsatiles Hämatom, n (%)	n=2	1 (50,0%)	1 (50,0%)	1,000 (Fisher)
Expand. Hämatom, n (%)	n=10	2 (20,0%)	8 (80,0%)	0,025 (Fisher)
Emphysem, n (%)	n=23	13 (56,5%)	10 (43,5%)	0,940 (χ^2 -Test)
Dysphagie, n (%)	n=15	10 (66,7%)	5 (33,3%)	0,384 (χ^2 -Test)
Heiserkeit, n (%)	n=11	5 (45,5%)	6 (54,5%)	0,483 (χ^2 -Test)
Hämoptysis, n (%)	n=1	0 (0,0%)	1 (100,0%)	0,442 (Fisher)
Blasende Wunde, n (%)	n=12	1 (8,3%)	11 (91,7%)	0,001 (Fisher)
Blutung, n (%)	n=109	36 (33,0%)	73 (67,0%)	0,000 (χ^2-Test)

Tabelle 27: Operative und konservative Therapie beim Vorliegen von *,hard signs'*

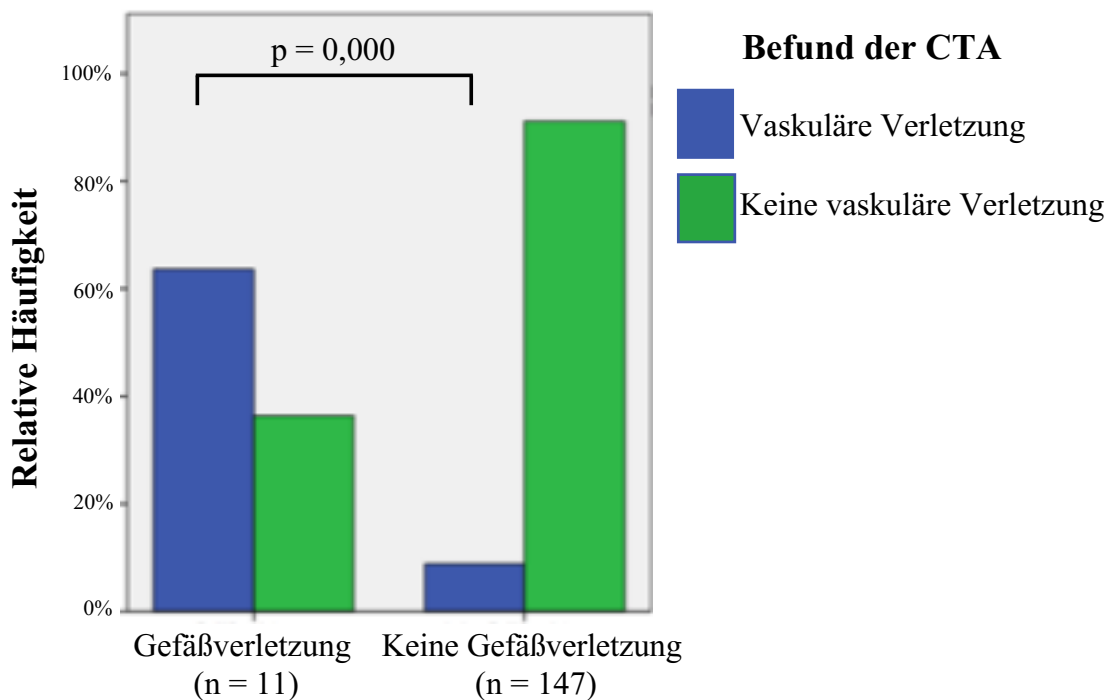
Die Tabelle zeigt die Häufigkeit der konservativen bzw. der operativen Therapie beim Vorliegen von *,hard signs'* generell, bei den einzelnen *,hard signs'* sowie bei einer Blutung. Außerdem ist der statistische Zusammenhang der beiden Variablen, berechnet mittels des Pearson χ^2 -Tests oder mittels des exakten Tests nach Fisher, abzulesen. Der Zusammenhang zwischen der operativen Therapie und dem Vorliegen von vaskulären *,hard signs'* generell und im speziellen den fehlenden Pulsen und einem größer werdenden Hämatom ist signifikant. Es wurde auch signifikant häufiger bei einer blasenbildenden Wunde und einer Blutung operiert.

(Expand.=Expandierendes, χ^2 -Test=Pearson χ^2 -Test, Fisher=exakter Test nach Fisher)

4.5 Bedeutung ausgewählter apparativer Untersuchungen

4.5.1 Computertomographische Angiographie

Von den 163 Patienten, die eine CTA erhalten haben, war das Ergebnis 20 Mal positiv, 138 Mal negativ und in fünf Fällen konnte eine Gefäßverletzung nicht sicher ausgeschlossen werden. Bei der Analyse der Diagnostik wurden nur die 158 Patienten berücksichtigt, die eine CTA erhalten haben und deren Befund eindeutig war. Im Vergleich zu den Operationsergebnissen, den aufgetretenen Komplikationen und der Todesursache lag die Sensitivität der CTA bei 63,6% (CI 31,6%-87,6%) und die Spezifität bei 91,2% (CI 85,1%-95,0%). Der positive prädiktive Wert betrug 35,0% (CI 16,3%-59,1%) und der negative prädiktive Wert 97,1% (CI 92,3%-99,1%).



Gefäßverletzungen (OP-Ergebnis, Komplikationen, Todesursache)

Abbildung 17: Gefäßverletzungen und das Ergebnis der computertomographischen Angiographie

Die Abbildung zeigt die relative Häufigkeit der Diagnose einer vaskulären Verletzungen durch die CTA in blau beziehungsweise den Ausschluss einer Gefäßverletzung in grün bei einer tatsächlichen Gefäßverletzung, diagnostiziert im Operationssaal, durch die Entstehung einer vaskulären Komplikation oder den Tod des Patienten, beziehungsweise bei unauffälligen Befunden. Der Zusammenhang ist statistisch signifikant ($p=0,000$; Pearson χ^2 -Test).

(CTA=computertomographische Angiographie, OP-Ergebnis=Ergebnis der Operation)

In einem Chi²-Test nach Pearson bestand ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Ergebnis der CTA und einer Gefäßverletzung, die durch die Operation, durch aufgetretene Komplikationen oder durch die Todesursache diagnostiziert wurde ($\chi^2=27,791$, $df=1$, $p=0,000$) (siehe Abbildung 17).

4.5.2 Ösophagographie

In den 56 durchgeführten Ösophagographien wurde fünf Mal eine pharyngeale oder ösophageale Läsion diagnostiziert, in 45 Fällen konnte eine Verletzung ausgeschlossen werden und ein Mal konnte kein sicherer Befund gestellt werden. Bei fünf Patienten fehlten entsprechende Angaben in den Akten. Für die Analyse wurden ausschließlich die 50 Patienten mit eindeutigem Befund berücksichtigt.

Die Sensitivität der Ösophagographie betrug 42,9% (CI 11,8%-79,8%), die Spezifität 95,3% (CI 82,9%-99,2%), der positive prädiktive Wert 60,0% (CI 17,0%-92,7%) und der negative prädiktive Wert 91,1% (CI 77,9%-97,1%).

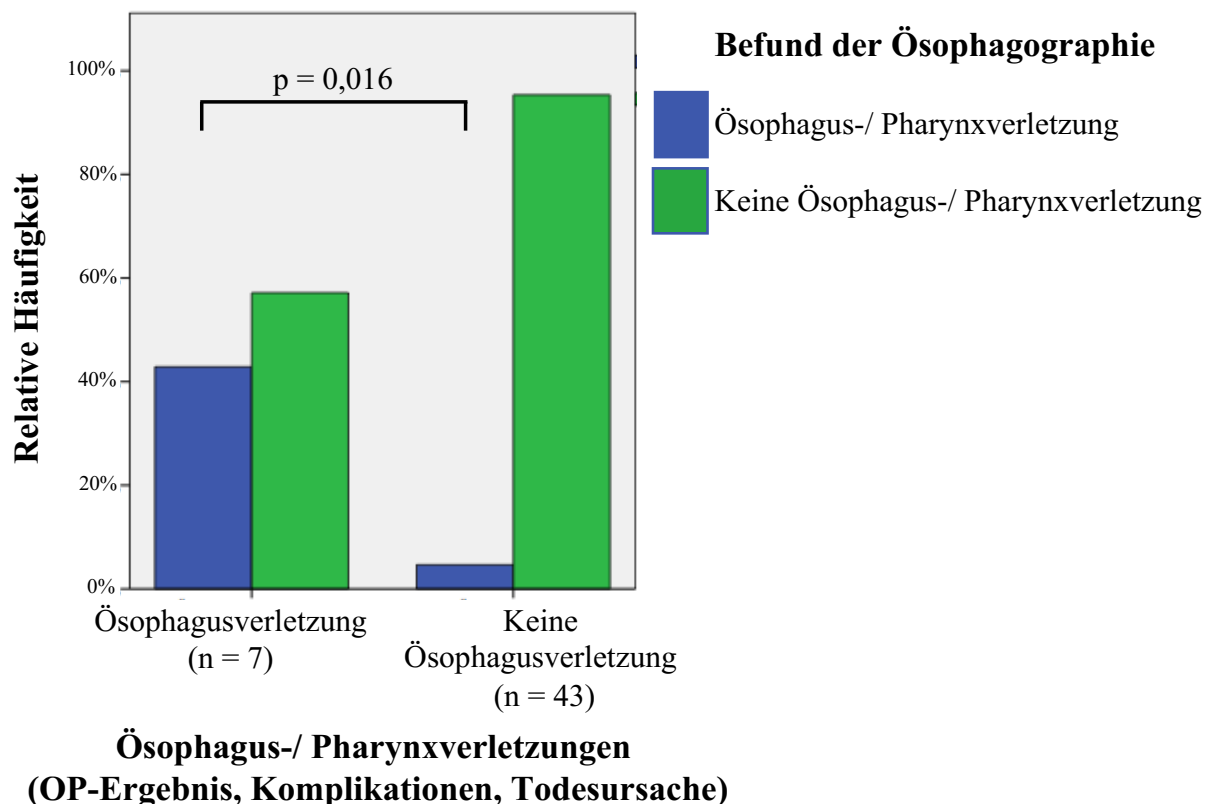


Abbildung 18: Ösophagus-/Pharynxverletzungen und das Ergebnis der Ösophagographie
Die Abbildung zeigt die relative Häufigkeit einer durch die Ösophagographie diagnostizierten ösophagealen und/oder pharyngealen Verletzung in blau beziehungsweise den Ausschluss einer Ösophagus-/Pharynxverletzung in grün bei Ösophagus-/Pharynxverletzungen, die im Operationssaal, durch die Entstehung einer entsprechenden Komplikation oder den Tod des

Patienten diagnostiziert wurden, und bei unauffälligen Befunden. Der Zusammenhang ist statistisch signifikant ($p=0,016$; exakter Test nach Fisher).

Es war ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Ergebnis der Ösophagographie und einer tatsächlichen Ösophagusverletzung nachweisbar ($p=0,016$; exakter Test nach Fisher) (siehe Abbildung 18).

4.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Das Patientenkollektiv der 303 Patienten mit einer penetrierenden zervikalen Verletzung bestand zu einem großen Teil (90,1%) aus Männern. Das Durchschnittsalter lag bei 29,2 Jahren mit einer Altersverteilung von neun bis 65 Jahren. Der Mittelwert des systolischen Blutdruckes befand sich bei 124,8 mmHg, die mittlere Herzfrequenz lag bei 88,3 Schlägen pro Minute. Bei 89,15% der Patienten lag der GCS-Punktwert bei mindestens 13 Punkten.

Zweihundertfünfundsechzig Patienten (87,5%) hatten die Verletzung durch einen scharfen Gegenstand erlitten, 30 (9,9%) Patienten wurden angeschossen und acht Patienten (2,6%) wurden durch einen anderen Mechanismus verletzt. Auch wenn singuläre Verletzungen am häufigsten (90,8%) waren, wurden 9,3% der Patienten mindestens zwei Mal verwundet. Die Zone I war 116 Mal (38,3%) betroffen, die Zone II 137 Mal (45,2%) und die Zone III 53 Mal (17,4%). Bei 32 Patienten (10,6%) war eine Verletzung des hinteren Halsdreiecks dokumentiert. Eine extrazervikale Begleitverletzung hatten 139 Patienten (45,9%) erlitten.

Bei 31 Patienten waren in der Akte vaskuläre ‚*hard signs*‘ in der körperlichen Untersuchung vermerkt und 49 Patienten waren durch aerodigestive ‚*hard signs*‘ auffällig. Mit 82,5% der Patienten erhielten die Meisten mindestens eine ergänzende bildgebende Untersuchung. Bei 163 Patienten (53,8%) wurde eine CTA und bei 56 Verletzten (18,5%) eine Ösophagographie durchgeführt. Es wurden 20 Gefäßverletzungen in der CTA diagnostiziert, davon sechs Arterien- und 17 Venenverletzungen. Von 56 Ösophagographien war der Befund bei fünf Untersuchungen (8,9%) pathologisch.

Die Erstversorgung in der Notaufnahme beinhaltete unter anderem die Intubation, die Immobilisation der Halswirbelsäule und Maßnahmen zur Blutstillung, wie die

Einbringung eines Foley-Katheters, die Versorgung der Wunde durch eine Naht oder die Kompression der Verletzung. Bei Einigen war eine Notfallraum-Thorakotomie/ -Sternotomie oder eine kardiopulmonale Reanimation indiziert.

Die Halswunde wurde bei 169 (55,8%) Patienten konservativ unter engmaschiger Überwachung der Vitalparameter behandelt und bei 134 (44,2%) Patienten chirurgisch im Operationssaal versorgt. Eine Verletzung der großen Gefäße war die häufigste intraoperative Diagnose, gefolgt von einer Läsion des Aerodigestivtraktes. Den Algorithmen des Chris Hani Baragwanath Hospitals bei ‚*hard signs*‘ wurde weitestgehend gefolgt, einige Entscheidungen wurden individuell getroffen.

Es traten bei 9,9% der Patienten im Verlauf des Krankenhausaufenthaltes Komplikationen auf, am häufigsten waren Infektionen. Die Mortalität lag bei 2,3%, die meisten Patienten verstarben an einem tödlichen Blutverlust.

Der Verletzungsmechanismus hatte auf verschiedene Faktoren einen Einfluss: Die relative Wahrscheinlichkeit für eine CTA war nach Verletzungen durch scharfe Gewalt geringer als nach Schussverletzungen. Es bestand ein negativer Zusammenhang zwischen scharfer Gewalt und der Intubation in der Notaufnahme sowie der Immobilisation der Halswirbelsäule, hingegen ein positiver Zusammenhang zwischen scharfer Gewalt und einer Naht in der Notaufnahme. Die Chance für eine Komplikation war nach Schussverletzungen höher.

Die Lokalisation hatte folgenden statistisch signifikanten Einfluss: Wurde das hintere Halsdreieck verletzt, war die Chance für eine konservative Therapie höher. Bei Verletzungen in Zone II stieg die relative Wahrscheinlichkeit für eine Gefäßverletzung an.

Die Sensitivität der ‚*hard signs*‘ für vaskuläre Läsionen lag bei 24,1%, die Spezifität bei 92,8%. Der positive prädiktive Wert befand sich bei 41,9%, der negative bei 84,9%. Die Sensitivität der ‚*hard signs*‘ aerodigestiver Verletzungen berechnete sich mit 42,3%, die Spezifität mit 86,3%, der positive prädiktive Wert mit 22,4 % und der negative prädiktiven Wert mit 94,1%. Während die relative Wahrscheinlichkeit für eine CTA bei ‚*hard signs*‘ einer Gefäßverletzung sank, stieg die Chance für eine Ösophagographie bei aerodigestiven ‚*hard signs*‘ an. Es war ein positiver Zusammenhang zwischen vaskulären ‚*hard signs*‘ und Intubation bzw. Thorakotomie im Notfallraum vorhanden sowie ein negativer Zusammenhang zwischen der vaskulären Symptomatik und einer Naht der Wunde in der Notaufnahme. Die Chance auf eine konservative Therapie verringerte sich bei vorliegenden vaskulären ‚*hard*

signs'. Waren Symptome einer Verletzung an Gefäßen oder des Aerodigestivtrakts vorhanden, war die Chance einer tatsächlichen Läsion erhöht.

Die Sensitivität der CTA betrug 63,6%, die Spezifität 91,2%. Der positive prädiktive Wert lag bei 35% und der negative prädiktive Wert bei 97,1%. Die Sensitivität der Ösophagographie betrug 42,9%, die Spezifität 95,3%, der positive prädiktive Wert 60,0% und der negative prädiktive Wert 91,1%.

5. Diskussion

5.1 Diskussion der deskriptiven Ergebnisse

5.1.1 Patientenkollektiv

Die Studie zeichnet sich gegenüber früheren Publikationen zu penetrierenden Halsverletzungen unter anderem durch die hohe Fallzahl von 303 Patienten aus (siehe Tabelle 28). Wie in anderen Studien mit einem Männeranteil zwischen 74,2% und 91,2%, ist auch hier das Kollektiv mit 90,1% überwiegend männlich. Das Alter der Verletzten liegt mit 29,2 Jahren wie bei anderen Artikeln um das 30. Lebensjahr. Beispielhaft sind in Tabelle 28 Veröffentlichungen zu penetrierenden Halsverletzungen zwischen 1994 und 2016 zu sehen. Das hinsichtlich Alter und Geschlecht ähnliche Patientenkollektiv und die hohe Patientenzahl sprechen für eine gute Vergleichbarkeit.

	Patienten- zahl	Alter Mittelwert (Min/Max)	Männeranteil in %
Apffelstaedt et al., 1994	393	29,6 (15/71)	k.A.
Velmahos et al., 1994	755	27 (11/48)	k.A.
Demetriades et al., 1996	97	27 (5/47)	88
Demetriades et al., 1997	223	28,8 (2/82)	89
Nason et al., 2001	130	29 (4/74)	83,8
Van As et al., 2002	116	27 (15/58)	90
Pakarinen et al., 2006	85	43,7 (k.A./k.A.)	80
Osborn et al., 2008	120	33,8 (4/92)	74,2
Thoma et al., 2008	203	29,5 (16/66)	90,6
Ahmed et al., 2009	225	28 (k.A./k.A.)	93
Zaidi et al., 2011	46	35,3 (2/80)	82,6
Van Waes et al., 2011	77	26 (Med.)(17/54)	90,9
Inaba et al., 2012	435	31,1 (16/62)	86,2
Kazi et al., 2013	68	28 (3/74)	91,2

Fortsetzung von Seite 85			
	Patienten- zahl	Alter Mittelwert (Min/Max)	Männeranteil in %
Prichayudh et al., 2015	86	27,1 (k.A./k.A.)	89,5
Madsen et al., 2016	510	29,2 (8/73)	88,6
Mittelwert der Studien (± SD)	223,1 (± 200,1)	30,3 (± 4,4)	87,0 (± 5,2)
Ergebnisse dieser Studie	303	29,2 (9/65)	90,1

Tabelle 28: Epidemiologische Daten von Studien zwischen 1994 und 2016

Die Tabelle zeigt 16 Studien zu penetrierenden Halsverletzungen, veröffentlicht zwischen 1994 und 2016, mit der Patientenzahl, dem Mittelwert des Alters mit Minimal- und Maximalwerten sowie dem Anteil der männlichen Patienten. Es finden sich außerdem der errechnete Mittelwert der 16 Studien und die Ergebnisse dieser Arbeit in der Tabelle. (Min=Minimum, Max=Maximum, k.A.=keine Angabe, Med.=Median, SD=Standardabweichung)

5.1.2 Vitalparameter

Der Mittelwert des in der Notaufnahme gemessenen systolischen Blutdruckes lag - wie in anderen Studien (Weitzel et al. 2004; Inaba, Munera, McKenney, Rivas, de Moya, et al. 2006; Inaba et al. 2012; Prichayudh et al. 2015) - im normotonen Bereich. Auch die Herzfrequenz und der Wert auf der GCS waren zumeist nicht pathologisch.

Diese Zahlen lassen jedoch nicht den Schluss zu, dass penetrierende Halsverletzungen überwiegend mit einem stabilen Kreislauf einhergehen. Es waren keine Daten über die prähospitalen Versorgung vorhanden und es besteht einerseits die Möglichkeit, dass der Kreislauf einiger Patienten vor der Aufnahme in das Krankenhaus durch die Rettungskräfte stabilisiert wurde.

Andererseits muss vor allem davon ausgegangen werden, dass bei einem gewissen Anteil der Verwundeten eine hämodynamische Instabilität aufgrund einer starken Hämorrhagie vorlag. Im Falle einer Verletzung eines großen Gefäßes, beispielsweise der A. carotis oder der A. subclavia, würde ein Aufschub bei dem Transport in ein Krankenhaus einen massiven Blutverlust mit instabiler Kreislaufsituation bedeuten.

Die nationale Richtlinie für die Zeit zwischen Annahme eines Notrufes und dem Eintreffen des Rettungsdienstes (engl. ‚*response time*‘) lag in Südafrika während des Studienzeitraumes 2010/2011 bei 15 Minuten in Städten und 40 Minuten auf dem Land. Diese Zeitvorgabe von unter 15 Minuten konnte jedoch nur bei der Hälfte der Fälle (50,4%) eingehalten werden, in 86,5% der Fällen lag die ‚*response time*‘ unter 60 Minuten (Gauteng Department of Health and Social Development 2011). Diese Verzögerung kann bei einigen Patienten zu einer kritischen Kreislaufsituation oder zum Tod geführt haben. Denn Verletzungen der großen Gefäße haben mit bis zu 39% schon intrahospital eine hohe Mortalität (siehe 5.1.5 Komplikationen und Mortalität und Tabelle 30) (Ramadan et al. 1995; Bumpous et al. 2000; Ofer et al. 2001; Navsaria et al. 2002; Lin et al. 2003; Mwipatayi et al. 2004; Asensio et al. 2011). Da keine Daten über die Versorgung der Patienten oder über die Todesfälle vor dem Erreichen der Klinik vorhanden waren, kann nur vermutet werden, dass die prähospitalen Vitalparameter häufiger auf eine hämodynamische Instabilität hingewiesen haben. Durch prähospitaler Todesfälle könnte außerdem eine Selektion zugunsten hämodynamisch stabiler Patienten entstanden sein.

5.1.3 Verletzungen

Obwohl weltweit die meisten Morde durch Feuerwaffen begangen werden, ist laut der ‚*Global Study on Homicide 2013*‘ der Vereinten Nationen in Südafrika der Anteil der Tötungsdelikte durch scharfe Gewalt am höchsten (siehe Abbildung 19) (United Nations Office on Drugs and Crime 2014).

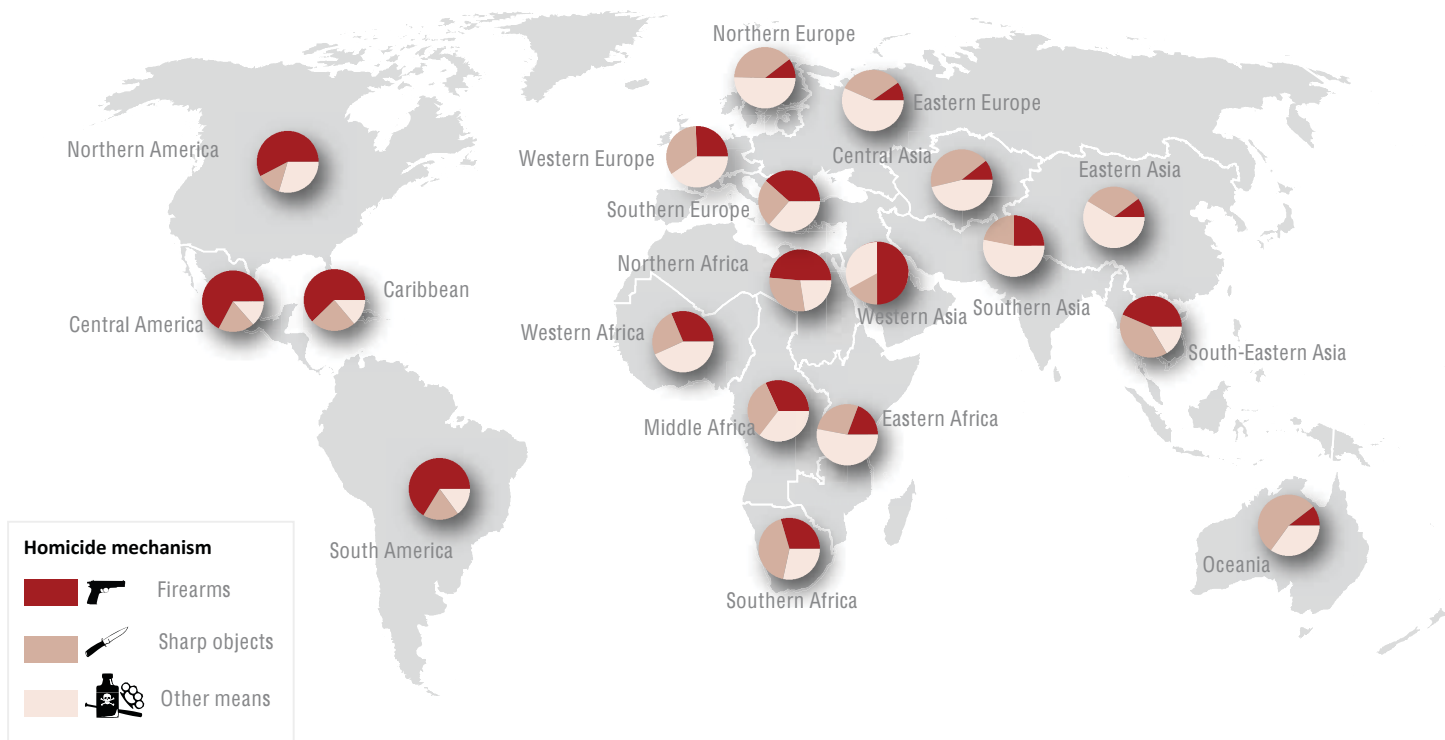


Abbildung 19: Gebrauch von Waffen bei Tötungsdelikten (Quelle Bild: United Nations Office on Drugs and Crime 2014)

Die Abbildung zeigt die unterschiedlichen Mechanismen bei Tötungsdelikten weltweit im Jahr 2012. In dunkelrot ist der Anteil der Schusswaffen (engl. ‚Firearms‘), in hellrot der Anteil der scharfen Gewalt (engl. ‚Sharp objects‘) und in beige der Anteil von anderen Waffen (engl. ‚Other means‘) abgebildet. Aus der ‚Global Study on Homicide 2013‘ des United Nations Office on Drugs and Crime.

Diese Einschätzung der Vereinten Nationen aus dem Jahr 2012 deckt sich mit den Ergebnissen von Publikationen aus Südafrika zu dem Thema penetrierende Verletzungen des Halses (siehe Tabelle 29). Auch in dieser Studie ist der Anteil der Verletzungen durch scharfe Gewalt mit 87,5% deutlich höher als der von Schussverletzungen mit 9,9%.

Studien	Verletzungen durch scharfe Gewalt in %	Schussverletzungen in %
Demetriades et al., 1989	93	7
Gilroy et al., 1992	71,4	28,6
Velmahos et al., 1994	78	21
Navsaria et al., 2006	88,2	11,8
Thoma et al., 2008	78	21
Van Waes et al., 2011	87	22,1
Madsen et al., 2016	89	11
Ergebnisse dieser Studie	87,5	9,9

Tabelle 29: Verletzungsmechanismus in südafrikanischen Publikationen

Die Tabelle zeigt die Häufigkeit von Verletzungen durch scharfe Gewalt und durch Schusswaffen in südafrikanischen Studien zu penetrierenden zervikalen Traumata zwischen 1989 und 2016.

5.1.4 Therapie

5.1.4.1 Notfallraumversorgung

Die Intubationsmethode in der Notaufnahme wurde nicht dokumentiert, weswegen die *RSI* und die fiberoptische Intubation hinsichtlich ihrer Erfolgsrate nicht beurteilt werden können. Die Bedeutung des Verletzungsmechanismus für die frühe Intubation wird unter dem Gliederungspunkt 5.2 Einfluss des Verletzungsmechanismus diskutiert.

Zur Blutungskontrolle wurde bei 30 Patienten ein Foley-Katheter in den Wundkanal eingeführt. Von dieser Methode wurde unabhängig von dem Verletzungsmechanismus und der Lokalisation Gebrauch gemacht und der Großteil der Patienten (80,0%) wurde anschließend chirurgisch versorgt. Insofern wurde diese Technik hauptsächlich zur temporären Hämorrhagiekontrolle während der Erstversorgung eingesetzt. Da auch bei den sechs konservativ weiter behandelten Patienten keine Nachblutung dokumentiert war, hat sich die Methode ebenso bei der nicht-operativen Versorgung von venösen Blutungen bewährt, wie von Navsaria und Kollegen beschrieben (Navsaria et al. 2006). Die Mortalität war weder bei den operativ noch bei den konservativ therapierten Patienten erhöht. Insofern ist eine derartige Gefäßtamponade ein geeignetes Mittel bei der Versorgung penetrierender

Halsverletzungen (Gilroy et al. 1992; Firoozmand & Velmahos 2000; Ball et al. 2011). Da bei dieser, wie auch bei früheren Publikationen relativ kleine Patientenzahlen untersucht wurden, ist eine prospektive Studie zu dem Thema empfehlenswert.

Die Verletzung wurde bei 111 Patienten in der Notaufnahme genäht. Es war ein signifikanter positiver Zusammenhang zu scharfer Gewalt und zu konservativer Behandlung vorhanden und es bestand außerdem eine negative Korrelation zu vaskulären ‚*hard signs*‘. Somit sind vor allem oberflächliche Stich- und Schnittverletzungen ohne Auffälligkeiten in der körperlichen Untersuchung durch eine einfache Naht behandelt worden, welche im Anschluss keiner weiteren chirurgischen Intervention bedurften.

Die Aufarbeitung der Tatsache, dass die Wahrscheinlichkeit für die Immobilisierung der Halswirbelsäule bei Opfern von Schussverletzungen fast doppelt so hoch war wie bei Wunden durch scharfe Gewalt, wird in dem Gliederungspunkt 5.2 Einfluss des Verletzungsmechanismus erfolgen. Eine erhöhte Mortalität nach Anlage einer Zervikalschiene, wie von Vanderlan et al. beschrieben (Vanderlan et al. 2009), konnte nicht beobachtet werden.

Die Mortalität ist mit 50,0% bei den Patienten, bei denen eine Notfallraumthorakotomie oder -sternotomie durchgeführt wurde, im Vergleich zum Gesamtkollektiv mit einer Sterberate von 2,3% stark erhöht. Die Notfallraumthorakotomie wird bei moribunden Patienten mit refraktärem Schock empfohlen - was die hohe Mortalität erklärt - und ausgewählte Patienten profitieren laut Studienlage von diesem Therapieversuch (Demetriades et al. 1987; Degiannis et al. 2005; Burlew et al. 2012; Newton 2017). Die statistische Aussagekraft ist jedoch in diesem Kollektiv aufgrund der geringen Patientenzahl eingeschränkt, worauf das hohe Konfidenzintervall der Odds Ratio hinweist. Aus diesem Grund wird von einer Empfehlung auf der Basis der vorliegenden Daten abgesehen. In Anbetracht der früheren Publikationen wird diesem Eingriff jedoch ein hoher Stellenwert als Mittel der letzten Wahl bei der Versorgung penetrierender zervikaler Verletzungen eingeräumt (Demetriades et al. 1987; Sheppard et al. 2006; Moore et al. 2011; Burlew et al. 2012).

Auf die Bedeutung des Verletzungsmechanismus bei der Erstversorgung wird im Gliederungspunkt 5.2 Einfluss des Verletzungsmechanismus näher eingegangen.

5.1.4.2 Definitive Therapie

Bei der chirurgischen Exploration war die häufigste intraoperativ gestellte Diagnose mit 41,8% eine Läsion der großen Gefäße, gefolgt von Verletzungen kleinerer Gefäße wie der Äste der A. carotis externa mit 23,9%. Der Ösophagus und Nervengewebe waren jeweils zu 10,4% verletzt, die Trachea war bei 6% der Patienten verwundet. Dies entsprach den Häufigkeiten in der Literatur: Offiah et al. berichteten in ihrem Review von ungefähr 40% Gefäßverletzungen (Offiah & Hall 2012). Ösophageale Verletzungen sind relativ selten, die Häufigkeit beträgt zwischen zwei und 15% (Madiba & Muckart 2003; Soliman et al. 2012). Gleiches gilt für tracheale Verletzungen, für die eine Inzidenz zwischen 2,5% und 7,1% beschrieben ist (Bell et al. 2007; Thoma et al. 2008; Nason et al. 2001; Apffelstaedt et al. 1994).

Die chirurgische Therapie erfolgte leitliniengerecht (siehe 1.5.4 Operationsverfahren): Die Gefäßkontinuität wurde nach Verletzungen der A. carotis in allen Fällen wieder hergestellt (Demetriades et al. 1989; Teehan et al. 1997; Feliciano 2001; Degiannis et al. 2005; Madsen, Laing, Bruce, Oosthuizen, et al. 2016). Alle Verletzungen der A. und V. vertebralis wurden ligiert, zusätzlich wurden Maßnahmen des Damage-Control-Konzeptes angewandt (Firoozmand & Velmahos 2000; Degiannis et al. 2005; Burgess, Dale, Almeyda & Corbridge 2012a; Mwipatayi et al. 2004). Verletzungen der A. subclavia wurden, wenn möglich, durch eine End-zu-End-Anastomose versorgt, andernfalls wurde ein Shunt, ein Stent oder ein Patch verwendet (Lin et al. 2003; Demetriades, Salim, Brown, Martin & Rhee 2007a; Toit et al. 2008; Madsen et al. 2015). Die intraoperativ detektierten Verletzungen der V. jugularis wurden genäht oder ligiert (Kumar et al. 2001; Inaba, Munera, McKenney, Rivas, Marecos, et al. 2006; Demetriades, Salim, Brown, Martin & Rhee 2007a; Burgess, Dale, Almeyda & Corbridge 2012a). Die meisten Verletzungen an der Trachea wurden operativ versorgt, zwei wurden konservativ behandelt (Degiannis et al. 2005; Lee et al. 2006; Demetriades, Salim, Brown, Martin & Rhee 2007a; Thoma et al. 2008; Burgess, Dale, Almeyda & Corbridge 2012a; Lyons et al. 2013; Madsen, Laing, Bruce, Oosthuizen, et al. 2016). Ösophagopharyngeale Verletzungen wurden debridiert und genäht, zwei Verletzungen wurden konservativ therapiert (Asensio et al. 1997; Asensio et al. 2001; Madiba & Muckart 2003; Degiannis et al. 2005).

Das Chris Hani Baragwanath Krankenhaus hat früh damit begonnen penetrierende Halsverletzungen konservativ zu therapieren. Stein und Kollegen plädierten 1967 in

einer Studie, die im Chris Hani Baragwanath Hospital durchgeführt wurde, für ein *SNOM* bei Verletzungen durch eine ‚*low-velocity*‘-Waffe oder durch scharfe Gewalt (Stein & Seaward 1967). Auch während dieses Studienzeitraumes wurde unabhängig vom Verletzungsmechanismus und der Lokalisation der Wunde anhand klinikinterner Leitlinien über die definitive Therapie entschieden. Der Algorithmus des Chris Hani Baragwanath Krankenhauses berücksichtigte außer den ‚*hard signs*‘ die hämodynamische Stabilität und die Ergebnisse der apparativen Untersuchungen. Patienten mit ‚*hard signs*‘ wurden somit nicht obligat operiert, wie von einigen Autoren empfohlen (Pasley et al. 2012; Inaba et al. 2012; Sperry et al. 2013). Wie schon vor 50 Jahren wurde die Operationsindikation im Chris Hani Baragwanath Hospital somit restriktiver gestellt als in anderen Häusern. Dieses Vorgehen steht nun im Folgenden zur Debatte:

Gemäß des Algorithmus wurden 19 instabile Patienten mit vaskulären ‚*hard signs*‘ sofort operiert (siehe 4.1.5.3 Patientenversorgung im Chris Hani Baragwanath Hospital). Von elf stabilen Patienten erhielten sieben eine CTA. Dadurch wurde bei zwei Patienten eine Gefäßläsion detektiert, die konservativ behandelt werden konnte, da es sich um eine venöse Verletzung handelte. Auch die fünf Patienten, bei denen eine vaskuläre Läsion in der CTA ausgeschlossen wurde, wurden nicht-operativ behandelt. Daraus kann geschlossen werden, dass Patienten mit ‚*hard signs*‘ konservativ behandelt werden können, wenn in der CTA eine Gefäßverletzung ausgeschlossen werden konnte oder die Bildgebung eine nicht-chirurgische Therapie rechtfertigt.

Entgegen des Algorithmus wurden vier stabile Patienten mit ‚*hard signs*‘ ohne vorherige CTA vermutlich aufgrund einer individuellen Einschätzung operiert. Die klinische Ausprägung der ‚*hard signs*‘ war nicht dokumentiert, aber es kann vermutet werden, dass diese Einschätzung auf dem Schweregrad der Symptomatik beruhte. Eine weitere Erklärung für die Abweichung von der Leitlinie wäre das Vorhandensein einer Blutung, aufgrund der die Exploration indiziert war. Bei zweien wurde eine Verletzung eines großen Gefäßes diagnostiziert, bei den anderen zwei Patienten wurden arterielle Blutungen aus kleineren Gefäße therapiert. Die Exploration war insofern durch den intraoperativen Befund begründet.

Dem Algorithmus für aerodigestive ‚*hard signs*‘ folgend wurde bei 28 der 36 stabilen Patienten eine Ösophagus-spezifische Diagnostik durchgeführt. Sechs Patienten wurden operiert, 22 Patienten, darunter zwei Patienten mit einer nachgewiesenen

Ösophagus-/ Pharynxverletzung, wurden danach unter engmaschiger Beobachtung konservativ therapiert (siehe 4.1.5.3 Patientenversorgung im Chris Hani Baragwanath Hospital). Die Entscheidung wurde zugunsten der nicht-chirurgischen Therapie getroffen, da das Ausmaß des Traumas zuvor in der Ösophagographie oder -skopie beurteilt wurde (T E Madiba 2003). Von den Patienten, die keine Ösophagographie oder -skopie, aber eine CTA erhalten haben, wurden fünf operiert und drei konservativ therapiert.

Aufgrund der Vorgabe, stabile Patienten mit ‚*hard signs*‘ nicht obligat zu operieren, konnte bei sieben stabilen Patienten mit Symptomen für eine vaskuläre und bei 22 stabilen Patienten mit klinischen Zeichen für eine aerodigestive Verletzung auf eine chirurgische Therapie verzichtet werden. Aus diesem Grund sollte die Empfehlung für eine obligate Operation von Patienten mit ‚*hard signs*‘ kritisch hinterfragt werden. Denn es besteht die Möglichkeit, dass bei diesen symptomatischen Patienten zwar eine viszerale Verletzung vorhanden ist, dass jedoch nach Abwägung auf der Basis der Bildgebung keine Operationsindikation besteht.

Von den Patienten, die keine ‚*hard signs*‘ vorwiesen, haben etwas mehr als die Hälfte eine CTA erhalten. Über zwei Drittel wurden daraufhin konservativ therapiert, vermutlich da durch die CTA eine vaskuläre Verletzung hinreichend ausgeschlossen werden konnte. Wurde hingegen keine CTA durchgeführt, wurden weit weniger als die Hälfte nicht-chirurgisch versorgt. Wahrscheinlich lag die signifikant höhere Anzahl an operierten Patienten einerseits an der Tatsache, dass bei fast der Hälfte der Patienten ohne CTA eine Blutung dokumentiert war. Dies stellte wohl die Operationsindikation dar. Unklar ist der Grund für die Operation bei den übrigen Patienten. Wahrscheinlich wurde die Entscheidung für die Operation basierend auf dem klinischen Zustand individuell durch den behandelnden Arzt getroffen.

Insofern spielte die klinische Einschätzung des Chirurgen - vermutlich vor allem bei stark ausgeprägter Symptomatik - eine nicht unerhebliche Rolle.

Das *SNOM* und auch die Leitlinien bei vorhandenen ‚*hard signs*‘ haben sich im Chris Hani Baragwanath Krankenhaus bewährt, in dem das beschriebene Verletzungsbild ein häufiges ist. Schon 1994 beschrieben Velmahos und Kollegen die pragmatische Vorgehensweise in der Klinik folgendermaßen: „At Baragwanath Hospital the policies are often formulated not only on the grounds of strict surgical philosophy but also according to the most pragmatic way of dealing with a heavy load of trauma patients“ (Velmahos, Souter, Degiannis, Mokoena & Saadia 1994a).

5.1.5 Komplikationen und Mortalität

Die Komplikationsrate in dieser Studie lag bei 9,9%.

Der geringere Anteil von Komplikationen nach Verletzungen durch scharfe Gewalt wird unter dem Gliederungspunkt 5.2 Einfluss des Verletzungsmechanismus diskutiert.

Wurde eine vaskuläre Verletzung diagnostiziert, stieg die relative Wahrscheinlichkeit für eine Komplikation um das Sechsfache an. Dies könnte einerseits der Fall sein, weil Gefäßläsionen bei den meisten Patienten intraoperativ detektiert wurden. Operierte Patienten könnten generell schwerer als konservativ Behandelte verwundet gewesen sein, was die Wahrscheinlichkeit für eine Komplikation erhöht haben könnte. Der Zusammenhang zwischen einer Organverletzung und einer Komplikation ist bei Patienten, die eine Verletzung des Aerodigestivtraktes erlitten haben, nicht nachweisbar. Dies ist insbesondere bemerkenswert, weil die Komplikationsrate nach Ösophagusverletzungen in der Literatur mit bis zu 53,5% als besonders hoch eingeschätzt wird (Asensio et al. 1997; Asensio et al. 2001; Smakman et al. 2004). Da die Anzahl der Patienten mit einer aerodigestiven Verletzung und Komplikationen bei sechs Fällen liegt, ist die Aussagekraft der logistischen Regression diesbezüglich jedoch eingeschränkt. Unter der Berücksichtigung des erhöhten Komplikationsrisikos nach vaskulären Traumata und der bekannten erhöhten Komplikationsrate ösophagealer Läsionen kann vermutet werden, dass bei Patienten mit einer viszeralen Verletzung generell ein erhöhtes Komplikationsrisiko besteht.

Die Mortalität von 2,3% ist mit anderen Publikationen vergleichbar (siehe Tabelle 30). Patienten, die Komplikationen entwickelt haben, sind signifikant häufiger verstorben. Es wundert nicht, dass die Patienten, die mit einer Sepsis, Mediastinitis, respiratorischer Insuffizienz oder einer Nachblutung an einer schweren Komplikation erkranken, ein höheres Mortalitätsrisiko haben (Osler 2012). Das erhöhte Sterberisiko von Traumapatienten mit einer Komplikation durch eine nosokomiale Infektion (Pneumonie, Sepsis, Staphylococcus-, Clostridium difficile- Infektion) wurde 2011 von Glance et al. nachgewiesen (Glance et al. 2011).

Wie bereits unter 5.1.2 Vitalparameter erwähnt, kann vermutet werden, dass die Gesamtmortalität von penetrierenden Halsverletzungen aufgrund von prähospitalen Todesfällen höher liegt. Der Anteil dieser Patienten ist jedoch auf Grundlage der vorliegenden Daten nicht zu eruieren gewesen. Die Tatsache, dass die häufigste

Todesursache ein hämorrhagischer Schock war und fast die Hälfte der verstorbenen Patienten in der Notaufnahme - und damit relativ früh - an einer therapierefraktären Blutung verstorben sind, verfestigt die These einer höheren Gesamtmortalität aufgrund prähospitaler Hämorrhagie.

Studie	Besonderheiten des Patientenkollektivs	Mortalität
Ramadan et al., 1995	A. carotis- Verletzungen	22%
Demetriades et al., 1996	Transzervikale Schussverletzungen	3%
Sofianos et al., 1996	Operierte Patienten	5%
Asensio et al., 1997	Ösophagusverletzungen	26%
Demetriades et al., 1997		2,7%
Demetriades et al., 1999	A. subclavia- und A. axillaris- Verletzungen	34%
Bumpous et al., 2000	Aerodigestive Verletzungen	13%
Van As et al., 2002	Schussverletzungen	8,6%
Navsaria et al., 2002	A. carotis-Verletzungen	6,3%
Madiba et al., 2003	Ösophagusverletzungen	7%
Lin et al., 2003	A. subclavia- Verletzungen	39%
Smakman et al., 2004	Ösophagusverletzungen	6%
Mwipati et al., 2004	A. vertebralis-Verletzungen	6,9%
Ahmed et al., 2009		4%
Van Waes et al., 2011		3%
Hussain Zaidi et al., 2011		0%
Soliman et al., 2014		9,8%
Inaba et al., 2012		1,3%
Prichayudh et al., 2015		2%
Madsen et al., 2016		2%
Ergebnis dieser Studie		2,3%

Tabelle 30: Mortalität in der Literatur

Die Tabelle zeigt die Mortalität in Publikation zu penetrierenden Verletzungen des Halses zwischen 1995 und 2016.

5.2 Einfluss des Verletzungsmechanismus

Sowohl bei Verletzungen durch ‚*low-velocity*‘-Waffen als auch bei scharfer Gewalt ist das *SNOM* mittlerweile das Therapieregime der Wahl (Sofianos et al. 1996; Demetriades et al. 1996; van As et al. 2002; Munera et al. 2002; Thoma et al. 2008; Burgess, Dale, Almeyda & Corbridge 2012b; Pasley et al. 2012; Inaba et al. 2012; Sperry et al. 2013). Auch im Chris Hani Baragwanath Hospital wurde im Studienzeitraum selektiv auf der Basis der klinischen Untersuchung in Kombination mit zusätzlicher apparativer Diagnostik entschieden, ob der Patient sofort chirurgisch exploriert werden muss oder unter engmaschiger Überwachung konservativ therapiert werden kann. Es stellt sich jedoch die Frage, in wie weit der Verletzungsmechanismus trotzdem Auswirkungen auf die Diagnostik und Therapie hatte.

Bezüglich der Vitalparameter Blutdruck und Herzfrequenz unterschieden sich die Patienten mit einer Verletzung durch eine Feuerwaffe statistisch nicht von den Patienten, die durch scharfe Gewalt verwundet wurden. Wie bereits in Gliederungspunkt 5.1.2 Vitalparameter diskutiert, ist aufgrund fehlender prähospitaler Daten der Rückschluss nicht möglich, dass der hämodynamische Zustand beider Kollektive vor der Aufnahme ins Krankenhaus ebenfalls ähnlich war. In einer aktuellen südafrikanischen Studie aus Pietermaritzburg wird aufgrund der hohen Anzahl tödlich verlaufender Schusswunden im Sterberegister spekuliert, dass die prähospitaler Mortalität nach Schusswunden höher liegen könnte als nach Verletzungen durch scharfe Gewalt (Madsen, Laing, Bruce & Clarke 2016). Diese Vermutung könnte auf Soweto, Johannesburg übertragbar sein.

Die beiden Patientengruppen differierten in der körperlichen Untersuchung zwar nicht hinsichtlich der Häufigkeit von ‚*hard signs*‘, jedoch wurde bei Verletzungen durch eine Feuerwaffe signifikant häufiger eine CTA durchgeführt. Dies ist sinnvoll, da es vorkommen kann, dass das Projektil auf dem Weg durch den Körper die Bahn ändert. Die Bildgebung ermöglicht dann die Darstellung des Wundkanals. Zusätzlich ist durch die CTA die Beurteilung des umliegenden Gewebes inklusive des Aerodigestivtraktes möglich (Gracias et al. 2001; Mohammed et al. 2004; Offiah & Hall 2012; Madsen, Laing, Bruce & Clarke 2016). Durch das indirekte Trauma mit der Energieübertragung beim Aufprall des Geschosses in den Körper kann es zu einer Gewebeschädigung der Arterien kommen (Wang et al. 2002); Läsionen der Intima

können in der CTA detektiert werden. Zusammenfassend ist eine häufigere Durchführung der CTA nach Schussverletzungen berechtigt, einige Autoren plädieren sogar für eine obligate Bildgebung nach Schussverletzungen (Back et al. 1997; van As et al. 2002; Mohammed et al. 2004; Madsen, Laing, Bruce & Clarke 2016).

Der Verletzungsmechanismus hatte außerdem Auswirkungen auf die Erstversorgung: Angeschossene Patienten wurden signifikant häufiger in der Notaufnahme intubiert. Die Gewebereaktion kann nach Schussverletzungen ausgeprägter sein und eine Gefährdung der Atemwege würde somit schneller eintreten (Ordog et al. 1985). Nach dem Grundsatz „eine frühe Intubation ist eine leichtere Intubation“ wird von einigen Autoren eine zeitige Atemwegssicherung empfohlen, um einer Ödementwicklung mit einer Verschlechterung des respiratorischen Zustandes des Patienten zuvor zu kommen (Schaidler & Bailitz 2003; Degiannis et al. 2005). Aus den Daten des Chris Hani Baragwanath Krankenhauses ging jedoch nicht hervor, ob die höhere Anzahl von Intubationen nach Schussverletzungen aufgrund bereits bestehender respiratorischer Insuffizienz erfolgte oder ob bei angeschossenen Patienten die Indikation für die Atemwegssicherung aus prophylaktischen Gründen großzügiger gestellt wurde.

Die Halswirbelsäule wurde nach einer Schussverletzung häufiger immobilisiert. Auch wenn das Risiko einer Fraktur der Halswirbelsäule mit Rückenmarksverletzung bei Schusswunden deutlich höher ist, so ist die Inzidenz für neuronale Läsionen mit 0,4% bzw. 0,9% niedrig (Rhee et al. 2006; Lustenberger et al. 2011; Madsen, Laing, Bruce & Clarke 2016). Trotzdem sollte nach Schussverletzungen auf eine typische Klinik geachtet und entsprechend reagiert werden, da Lustenberger et al. herausgearbeitet haben, dass alle Patienten mit einer Rückenmarksschädigung Auffälligkeiten in der neurologischen Untersuchung zeigten (Lustenberger et al. 2011). Da die Wahrscheinlichkeit einer spinalen Instabilität bei fehlendem neurologischen Defizit minimal ist, sollte bei asymptomatischen Patienten sorgfältig abgewogen werden, ob der Verletzte von einer Zervikalschiene profitiert, angesichts der erschwerten diagnostischen und therapeutischen Möglichkeiten nach einer Anlage derselben (Connell et al. 2003; Rhee et al. 2006).

Schusswunden wurden seltener in der Notaufnahme genäht. Durch das unsterile Geschoss, an dem während des Durchtritts durch den Körper Bakterien haften bleiben, wird im Körper eine tiefe Wundhöhle gebildet, in der devitalisiertes und schlecht vaskularisiertes Gewebe einen idealen Nährboden für Mikroorganismen

bildet (Kneubuehl et al. 2008). Aus diesem Grund ist eine chirurgische Wundversorgung mit Adaption der Wundränder kontraindiziert.

Es bestand kein signifikanter Unterschied in der definitiven Therapie: Wie von anderen Autoren empfohlen, wurde im Chris Hani Baragwanath Hospital gemäß des *SNOM* therapiert (Ordog et al. 1985; Demetriades et al. 1996; van As et al. 2002; Mohammed et al. 2004; Thoma et al. 2008; Madsen, Laing, Bruce & Clarke 2016). Es wurden in beiden Gruppen annähernd gleich viele Patienten chirurgisch und konservativ behandelt.

Nach Schussverletzungen traten häufiger Komplikationen auf. Dies liegt neben den oben genannten Faktoren an der größeren Destruktionskraft von Schussverletzungen (Madsen, Laing, Bruce & Clarke 2016). Die Mortalität war zwar bei den angeschossenen Patienten etwas höher, dies war jedoch statistisch nicht bedeutsam.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das *SNOM* sowohl bei Wunden durch scharfe Gewalt als auch bei Schussverletzungen gerechtfertigt ist, da weder Unterschiede der Vitalparameter zum Zeitpunkt der Aufnahme bemerkbar waren, noch Unterschiede in der definitiven Therapie bestanden oder eine erhöhte Mortalität in einer der Gruppen auftrat. Jedoch ist die Komplikationsrate nach Schussverletzungen höher als nach Wunden durch scharfe Gewalt. Die Entscheidung der behandelnden Ärzte bei Patienten mit Schussverletzungen frühzeitig auf potentielle Bedrohungen zu reagieren, scheint aufgrund der möglichen Komplikationen wie einer Verlegung der Atemwege, einer Rückenmarksverletzung oder einer bakterieller Besiedelung in der Tiefe der Wunde, berechtigt. Aus diesem Grund ist die frühzeitige Intubation, die häufigere Immobilisierung der Halswirbelsäule und der Verzicht auf eine Adaption der Wundränder bei Schusswunden indiziert (Ordog et al. 1985; Degiannis et al. 2005; Rhee et al. 2006; Schaidler & Bailitz 2003). Ein Ansatz zur Reduzierung der Komplikationen könnte in einer separaten Studie betrachtet werden.

Einschränkend ist zu bemerken, dass in den Patientenakten keine ballistischen Informationen, wie der Typ der Waffe (*high-* oder *low-velocity*-Waffe), das Kaliber oder die Entfernung, aus welcher der Schuss abgefeuert wurde, dokumentiert waren. Schon Sofianos und Kollegen hatten in der prospektiven Studie im Chris Hani Baragwanath Hospital vermutet, dass die meisten Patienten mit *low-velocity*-Waffen getroffen wurden, da die Verletzungskraft von *high-velocity*- Geschossen um einiges stärker sei. Dadurch sei es unwahrscheinlich, dass die durch Langwaffen

Verletzten bis zur Aufnahme in das Krankenhaus überleben würden (Sofianos et al. 1996; Krüger et al. 2013). Außerdem seien ‚*low-velocity*‘-Waffen im zivilen Gebrauch weit häufiger (Bell et al. 2007). In dieser Studie wurde zwar aus den genannten Gründen davon ausgegangen, dass die Geschosse überwiegend niedrige Geschwindigkeiten besaßen. Jedoch scheinen die ballistischen Faktoren mittlerweile vernachlässigbar zu sein, da auch im militärischen Kontext mit Verletzungen durch ‚*high-velocity*‘-Waffen zunehmend nach dem Prinzip des *SNOM* vorgegangen wird (de Régloix et al. 2016).

5.3 Einfluss der Lokalisation der Verletzung

Die Einteilung des Halses in die drei Zonen, die 1969 von Monson vorgenommen und 1979 von Roon und Christensen modifiziert wurde (Monson et al. 1969; Roon & Christensen 1979), diente in beiden Arbeiten dazu nach penetrierenden Halsverletzungen lokalisationsbezogene Leitlinien zu entwickeln. Aufgrund des diagnostischen und therapeutischen Fortschritts in den letzten 50 Jahren ist es notwendig die Einteilung in Zonen kritisch zu hinterfragen:

Die Zone hatte bei dem Patientenkollektiv dieser Arbeit weder Einfluss auf den Blutdruck noch auf die Herzfrequenz. In keiner der drei Zonen wurden signifikant häufiger ‚*hard signs*‘ einer vaskulären oder einer aerodigestiven Verletzung dokumentiert. Und auch wenn Untersuchungen mittels CTA in Zone I und III öfters durchgeführt wurden, war dieser Zusammenhang ebenso wie die Häufigkeit der Ösophagographie nicht signifikant. Die Notfallraumversorgung, die Komplikationsrate und die Mortalität unterschieden sich nicht innerhalb der verschiedenen Areale des Halses.

Die Lokalisation der Verletzung - wenn auch nicht in einer der drei klassischen Zonen - hatte jedoch eine Auswirkung auf das weitere Management (siehe Tabelle 23): Patienten mit Verletzungen im hinteren Halsdreieck wurden signifikant häufiger konservativ therapiert. Dies liegt vermutlich an der weniger dichten Lage von Organen und der damit geringeren Inzidenz von viszeralen Verletzungen in diesem Bereich. Analog dazu lässt sich der signifikante Zusammenhang zwischen der Zone II und der Häufigkeit vaskulärer Verletzungen erklären: In dieser räumlich am

ausgedehntesten Zone liegen die großen zervikalen Gefäße ohne Schutz durch knöchernen Strukturen (Offiah & Hall 2012).

Auch wenn also das gehäufte Auftreten vaskulärer Verletzungen in Zone II berücksichtigt werden muss, hat sich in dem Patientenkollektiv der Studie weder die Diagnostik, noch die Therapie, die Komplikationen oder die Mortalität in den Zonen I bis III unterschieden.

Insofern sollte die anatomische Einteilung kritisch hinterfragt werden. Die Vertreter des ‚*no-zone*‘- Konzeptes fordern von der traditionellen Aufteilung in drei Zonen abzusehen, da die Lokalisation der Eintrittswunde und die damit implizierten Algorithmen dazu verleiten würden, eine operative Exploration oder aufwendige Diagnostik durchzuführen, auch wenn mittlerweile mit der CTA eine nicht-invasive Untersuchung zur Verfügung stünde. Durch die CTA kann der Wundverlauf abgebildet werden und basierend auf den Ergebnissen der Untersuchung sollte über die weitere Therapie entschieden werden (Munera et al. 2002; Inaba, Munera, McKenney, Rivas, de Moya, et al. 2006; Osborn et al. 2008; Pasley et al. 2012; Inaba et al. 2012; Shiroff et al. 2013; Low et al. 2014; Prichayudh et al. 2015; Kasbekar et al. 2017).

Außerdem kann zwar mittels der Zonen eine Einordnung der Eintrittswunde erfolgen, der weitere Verlauf der Wunde ist jedoch unbekannt. So kann sich der Schusskanal mit einem Einschuss in der leicht explorierbaren Zone II ohne inspektorische Hinweise in die Zonen I oder III ausdehnen (Pasley et al. 2012; Low et al. 2014; Prichayudh et al. 2015). Problematisch wird die Einteilung auch bei multiplen zervikalen Wunden. Die vorliegenden Daten unterstützen die These, dass Empfehlungen, die auf den Zonen basieren, aufgegeben werden sollten. Da das ‚*no-zone*‘- Konzept noch nicht lange diskutiert wird, werden weitere Studien zeigen, ob die anatomische Klassifikation aufgrund der modernen apparativen Diagnostik obsolet geworden ist.

5.4 Einfluss der ‚*hard signs*‘

Die Sensitivität von vaskulären ‚*hard signs*‘ liegt mit 24,1% (CI 13,9%-37,9%) unter der in anderen Studien. Die Spezifität von 92,8% (CI 88,6%-95,5%) ist mit anderen Publikationen vergleichbar (siehe Tabelle 3). Die Tendenz zu einer niedrigen Sensitivität und einer hohen Spezifität setzt sich auch bei Betrachtung der einzelnen vaskulären ‚*hard signs*‘ fort (siehe Tabelle 24 und Tabelle 25).

Eine niedrige Sensitivität bedeutet, dass eine vaskuläre Läsion bei fehlenden ‚*hard signs*‘ nicht ausgeschlossen werden kann. Basierend auf einer hohen Spezifität kann bei vorhandenen ‚*hard signs*‘ von einer Gefäßverletzung ausgegangen werden (Simel & Rennie 2008).

Als Konsequenz für die Diagnostik von Gefäßverletzungen im klinischen Alltag würde dies bedeuten, dass bei asymptomatischen Patienten zum sicheren Ausschluss einer arteriellen oder venösen Verletzung eine Bildgebung durchgeführt werden sollte. Sind jedoch ‚*hard signs*‘ vorhanden, ist die Wahrscheinlichkeit einer Läsion eines großen Gefäßes hoch.

Aufgrund der Diskrepanz dieser Werte zu anderen Publikationen - vor allem hinsichtlich der Sensitivität - sollten einige Aspekte unbedingt berücksichtigt werden: Ein methodischer Grund für die niedrige Sensitivität könnte eine für diese Fragestellung zu geringe Patientenzahl sein. Trotz der insgesamt hohen Fallzahl von 303 Patienten waren nur bei 31 Patienten vaskuläre und bei 49 Patienten aerodigestive ‚*hard signs*‘ vorhanden, wodurch der Anteil der richtig und falsch positiven Patienten gering war. Die Problematik der geringen Patientenzahl wird auch bei Betrachtung des breiten Konfidenzintervalls der Sensitivität deutlich (siehe Tabelle 24). Jedoch bleibt auch bei Berücksichtigung des Konfidenzintervalls die Sensitivität der ‚*hard signs*‘ für vaskuläre Verletzungen niedrig.

Ein weiterer wichtiger Grund für die niedrige Sensitivität ist die Tatsache, dass nicht alle Patienten mit ‚*hard signs*‘ operiert wurden. Da als Referenz zu der klinischen Untersuchung das Resultat der Operation, die Entwicklung von Komplikationen (beispielsweise Nachblutungen) oder die Todesursache herangezogen wurden, fielen diejenigen Patienten aus der Berechnung der Sensitivität heraus, bei denen zwar ‚*hard signs*‘ diagnostizierbar waren, bei denen man sich aber aufgrund ihrer hämodynamischen Stabilität in Kombination mit der Bildgebung für eine konservative Therapie entschieden hatte. Diese Vorgehensweise ist beispielsweise bei

Verletzungen der V. jugularis möglich (Inaba, Munera, McKenney, Rivas, Marecos, et al. 2006). So verkleinerte sich die Zahl der Patienten, bei denen richtigerweise ein pathologischer Befund diagnostiziert wurde (richtig positive Ergebnisse) auf 13 Patienten. In anderen Publikationen wurde die Sensitivität der ‚*hard signs*‘ unter anderem durch den Vergleich mit den Ergebnissen der konventionellen oder der computertomographischen Angiographie oder durch Nachsorgeuntersuchungen berechnet (Jarvik et al. 1995; Mohammed et al. 2004). Dadurch konnten bei diesen Veröffentlichungen auch Patienten mit Gefäßläsionen betrachtet werden, deren Verletzungen zwar ‚*hard signs*‘ verursacht hatten, die jedoch konservativ therapiert werden konnten, keine Komplikationen erlitten oder nicht an der Verletzung verstorben sind. Bei der Kalkulation wurden außerdem nur Verletzungen der großen Arterien und Venen des Halses, nicht aber Läsionen der Äste der A. carotis externa als ein positiver Operationsbefund gewertet. Auch das kann zu einer Unterschätzung der richtig positiven Resultate beigetragen haben.

Der mit 41 Fällen hohe Anteil falsch negativer Patienten hat außerdem zu der niedrigen Sensitivität beigetragen. Der Grund dafür ist, dass eine Blutung in der Studie nicht als ein ‚*hard sign*‘ gewertet wurde. War dies jedoch als einziges Symptom die Operationsindikation, ging dieser Fall bei einer vaskulären Verletzung als falsch negativ in die Berechnung ein.

Ein weiterer Aspekt schränkt die Vergleichbarkeit dieser Studie mit anderen Publikationen ein: Die Definition der ‚*hard signs*‘ ist je nach Autor verschieden, so dass die weitere Unterscheidung zwischen in der Literatur häufig genannten „Kernsymptomen“ und „fakultativen ‚*hard signs*““, wie in Tabelle 2 aufgelistet, sinnvoll erschien. Denn während bei Demetriades et al. eine moderate oder schwere Blutung, ein therapierefraktärer Schock, ein signifikantes Hämatom, ‚*bruit*‘ und abgeschwächte periphere Pulse Anzeichen für eine vaskuläre Verletzung waren, galten für Ahmed et al. nur die klinischen Zeichen schwere Blutung, expandierendes Hämatom, fehlende Carotispulse und ein neurologisches Defizit als bedeutende klinische Symptome (Demetriades et al. 1997; A. Ahmed 2009).

Eine Blutung ist bei dieser Studie nicht als ‚*hard sign*‘ definiert gewesen, da in zu vielen Patientenakten nicht dokumentiert war, von welcher Qualität sie gewesen ist. Im Chris Hani Baragwanath Krankenhaus wurden folgende sechs klinische Zeichen zu den ‚*hard signs*‘ gezählt: ein pulsierendes oder expandierendes Hämatom, ‚*bruit*‘ (bei keinem der Patienten vorhanden), ‚*thrill*‘, fehlende periphere Pulse und eine

Seitendifferenz der Pulsstärke. Es kann vermutet werden, dass die Sensitivität umso höher liegt, je enger die ‚*hard signs*‘ definiert sind.

Bezieht man das Symptom „Blutung“, ob nun arteriell oder venös, in die Überlegungen mit ein, dann hatte dieses Symptom mit 70,4% (CI 56,2%-81,6%) eine deutlich höhere Sensitivität als die ‚*hard signs*‘ (siehe Tabelle 24). Aufgrund der ausgeprägten Differenz zu den anderen klinischen Zeichen stellt sich die Frage, ob nicht vor allem die Blutung für die höhere Sensitivität der körperlichen Untersuchung in anderen Studien verantwortlich sein könnte. Damit wären die klassischen ‚*hard signs*‘ hinter dem Symptom der Blutung zu vernachlässigen.

Um diese Fragestellung weiter auszuarbeiten, ist eine prospektive Studie zu der diagnostischen Wertigkeit der ‚*hard signs*‘ empfehlenswert, in der die einzelnen Symptome kritisch hinterfragt werden sollten. Die Beurteilung würde dadurch erleichtert werden, wenn wie bei Inaba und Kollegen (Inaba et al. 2012) alle Patienten mit ‚*hard signs*‘ chirurgisch exploriert werden würden und die asymptomatischen Patienten eine vergleichende Bildgebung mittels CTA oder Angiographie erhalten würden.

Es ist hingegen davon auszugehen, dass die Spezifität präziser abgebildet ist: Das Konfidenzintervall ist deutlich schmaler, da die Subgruppe der richtig negativen Patienten viel größer war. Es ist unwahrscheinlich, dass der Anteil der falsch negativen Patienten tatsächlich höher lag, da die meisten Patienten mit ‚*hard signs*‘ operiert wurden oder weiterführende Untersuchungen erhalten haben. Selbst wenn Patienten fälschlicherweise anstatt in der Gruppe der falsch negativen Ergebnisse als richtig positiv vermerkt worden wären, bleibt die Spezifität aufgrund der hohen Anzahl der Patienten als Basis für die Berechnung hoch.

Da vorhandene vaskuläre ‚*hard signs*‘ durchaus Auswirkungen auf die weitere Diagnostik und Therapie hatten, ist eine hohe Sensitivität und Spezifität durchaus wünschenswert: Bei ‚*hard signs*‘ stieg die Chance für eine Operation ohne vorherige apparative Diagnostik. Die hohe Spezifität wird in diesem statistischen Zusammenhang abgebildet. Die mehr als viermal so hohe Chance für eine Gefäßverletzung bei Symptomen - mit dem damit einhergehenden Risiko für eine hämodynamische Instabilität - rechtfertigt eine Exploration ohne weitere Untersuchungen.

Betrachtet man neben der Tatsache, dass Patienten mit vaskulären ‚*hard signs*‘ generell häufiger operiert wurden, das Management bei dem Vorliegen der einzelnen

,hard signs', kann festgestellt werden, dass fehlende Pulse und ein expandierendes Hämatom signifikant häufiger zu einer Operation geführt haben (siehe Tabelle 27). Vermutlich wurden diese Symptome als besonders bedrohlich eingeschätzt. Der Zusammenhang gilt ebenso für die Blutung, wodurch die klinische Bedeutung des Symptoms erneut betont wird. Die Subgruppen der Patienten mit *,thrill'*, *,bruit'* oder einem pulsatilen Hämatom sind gering, so dass die Aussagekraft zu den Konsequenzen dieser Zeichen eingeschränkt ist.

Die Sensitivität der *,hard signs'* für Verletzungen des Aerodigestivtraktes lag bei 42,3%, die Spezifität bei 86,3%. Die niedrige Sensitivität und hohe Spezifität findet sich ebenfalls bei den einzelnen Symptomen (siehe Tabelle 25).

In der Literatur wurde die Sensitivität und Spezifität für die Detektion von Wunden der Luft- und Speisewege durch die körperliche Untersuchung seltener berechnet und die Werte sind insgesamt geringer als bei Gefäßverletzungen (Weigelt et al. 1987; Ngakane et al. 1990; Madiba & Muckart 2003). Die oben genannten Argumente für die geringere Sensitivität sind auch für aerodigestive Symptome anwendbar: Auch bei Anwesenheit der klinischen Zeichen wurden einige Patienten konservativ therapiert und nicht jeder Patient mit *,hard signs'* hat eine bildgebende Diagnostik erhalten. Somit kann es erneut sein, dass der Anteil der richtig positiven Ergebnisse mit 11 Fällen unterschätzt wurde. Die falsch negativen Resultate könnten mit 15 Fällen überschätzt worden sein, wenn zwar keine aerodigestiven *,hard signs'* vorlagen, bei einer Operation aufgrund einer anderen Indikation jedoch eine Läsion der Atem- oder Speisewege aufgefallen ist, die auch durch eine konservative Therapie ausgeheilt wäre. Insofern ist es möglich, dass die Sensitivität insgesamt zu niedrig abgebildet ist. Aus den oben genannten Gründen ist auch bei den aerodigestiven *,hard signs'* davon auszugehen, dass das Fehlerrisiko bei der Berechnung der Spezifität geringer war.

Statistisch signifikant ist eine höhere relative Wahrscheinlichkeit für eine Ösophagographie bei vorhandenen *,hard signs'*. Da eine Verzögerung in der definitiven Versorgung von ösophagealen Verletzungen mit einer erhöhten Morbidität und Mortalität assoziiert ist und zusätzliche Diagnostik unter Umständen viel Zeit kostet (Asensio et al. 1997; Asensio et al. 2001), ist der diagnostische Stellenwert der Ösophagographie zu hinterfragen (siehe 5.5.2 Ösophagographie). Die Wahrscheinlichkeit für eine Verletzung der Speise- und Luftwege, nachgewiesen durch das Operationsergebnis, das Auftreten von Komplikationen oder auf welche die

Todesursache zurückzuführen ist, war bei vorhanden *,hard signs'* in der körperlichen Untersuchung fast fünf Mal höher. Analog zu den vaskulären *,hard signs'* spiegelt dies die hohe Spezifität wieder.

Das einzige Symptom, das signifikant häufiger zu einer Operation führte, war die blasenbildende Wunde. Dass bei keinem anderen „Kernsymptom“ aerodigestiver Verletzungen die Wahrscheinlichkeit für eine Operation anstieg, lässt sich damit erklären, dass in den Patientenakten die Größe des Emphysems nicht verzeichnet war und vermutlich kleinere Luftansammlungen nicht operiert wurden. Eine Hämatemesis ist in dem Patientenkollektiv nicht aufgetreten, eine Hämoptysis nur ein Mal. Auch die übrigen *,hard signs'* waren nicht signifikant und es ist davon auszugehen, dass Heiserkeit und Dysphagie als weniger bedrohlich eingeschätzt wurden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bei symptomatischen Patienten aufgrund der hohen Spezifität der *,hard signs'* von einer Verletzung eines Gefäßes beziehungsweise des Luft- und/oder Speisetraktes ausgegangen werden muss. Die niedrige Sensitivität legt nahe, dass bei fehlenden klinischen Zeichen eine viszerale Verletzung nicht ausgeschlossen ist.

Von einer Empfehlung auf Grundlage der Sensitivität wird aufgrund der deutlichen Unterschiede der Werte im Vergleich zu anderen Publikationen verzichtet. Mögliche Fehlerquellen für die niedrige Sensitivität wurden identifiziert und es wird zu einer erneuten Beurteilung der klinischen Zeichen durch eine prospektive Untersuchung geraten.

5.5 Bedeutung ausgewählter apparativer Untersuchungen

5.5.1 Computertomographische Angiographie

Die Sensitivität der CTA zur Detektion vaskulärer Verletzungen lag bei 63,6% (CI 31,6%-87,6%), die Spezifität bei 91,2% (CI 85,1%-95,0%). Die geringe Sensitivität würde bedeuten, dass bei negativem Resultat in der CTA eine vaskuläre Verletzung nicht ausgeschlossen werden kann. Bei pathologischem Befund in der CTA kann aber aufgrund der hohen Spezifität von einer Gefäßläsion ausgegangen werden.

Auffallend ist die Diskrepanz der Werte zu anderen Studien: Vor allem die Sensitivität lag deutlich niedriger als in früheren Veröffentlichungen, in denen sie zwischen 90% und 100% betrug. Die Spezifität dagegen ist mit anderen Publikationen vergleichbar (Munera et al. 2000; Mazolewski et al. 2001; Munera et al. 2002; Inaba et al. 2012; Kazi et al. 2013).

Es lassen sich mögliche Fehlerquellen identifizieren, ähnlich der Ursachen für die niedrige Sensitivität der ‚*hard signs*‘ (siehe 5.4 Einfluss der ‚*hard signs*‘): In der Publikation von Inaba - mit einer Sensitivität hinsichtlich der Detektion signifikanter viszeraler Verletzungen von 100% und einer Spezifität von 97,5% - wurde der Befund der CTA mit dem Ergebnis der Operation, mit den Nachsorgeuntersuchungen und mit additiven Untersuchungen, wie der Angiographie, Ösophagographie, Ösophago- oder Bronchoskopie verglichen (Inaba et al. 2012). In der vorliegenden Studie wurden als Referenz das Operationsergebnis, Komplikationen und die etwaige Todesursache verwendet. Wenn Patienten mit pathologischen Befunden, die keine Operationsindikation darstellten, konservativ therapiert wurden, keine Komplikationen entwickelt haben oder nicht verstorben sind, wurden die Untersuchungsergebnisse als falsch positiv gewertet. Tatsächlich war die Diagnose bei diesen beispielsweise venösen Verletzungen oder bei kleineren Läsionen, welche unter konservativer Therapie folgenlos ausgeheilt sind, richtig positiv. Inaba und Kollegen zeigten 2006 auf, dass durch die CTA zunehmend V. jugularis-Verletzungen nachgewiesen werden, die bei hämodynamisch stabilen Patienten konservativ behandelt werden können (Inaba, Munera, McKenney, Rivas, Marecos, et al. 2006). Dies könnte zu einer Unterschätzung der Sensitivität beigetragen haben.

Des Weiteren wurden Fälle, bei denen in der CTA eine Gefäßverletzung nicht sicher bestätigt oder ausgeschlossen werden konnte, aus der Berechnung ausgeschlossen. Dieser Faktor könnte ebenfalls zu einer Fehleinschätzung geführt haben.

Außerdem wurde hier ausschließlich die Diagnostik von Gefäßverletzungen betrachtet, im Gegensatz zu Organverletzungen in anderen Veröffentlichungen (Inaba, Munera, McKenney, Rivas, de Moya, et al. 2006; Inaba et al. 2012).

Eine weitere Fehlerquelle könnte die relative niedrige Patientenzahl in einigen Subgruppen gewesen sein, denn auch wenn die Zahl der in diese Studie eingeschlossenen Patienten mit 303 hoch war, haben nur 163 (53,8%) Verwundete eine CTA erhalten und die Patientenzahlen mit richtig positiven und falsch negativen Befunden waren gering.

Die Diskrepanz zwischen den Ergebnissen dieser Studie und früheren Publikationen erschwert die Bewertung der Untersuchung. Vor allem deshalb, weil einige Publikationen aufgrund der hohen Sensitivität und Spezifität bereits von der Qualität der CTA überzeugt haben (Munera et al. 2000; Munera et al. 2002; Inaba, Munera, McKenney, Rivas, de Moya, et al. 2006; Inaba et al. 2012; Schroll et al. 2015). Insofern wird an dieser Stelle von einer Empfehlung auf der Grundlage der hier berechneten Sensitivität von 63,6% abgesehen.

Wie bereits unter 5.4 Einfluss der ‚*hard signs*‘ aufgeführt ist, kann davon ausgegangen werden, dass bei der Berechnung der Spezifität - unter anderem aufgrund der höheren Anzahl richtig negativer Ergebnisse - die Wahrscheinlichkeit für Fehler geringer war.

Basierend auf der hohen Spezifität kann der Schluss gezogen werden, dass bei der Feststellung eines pathologischen Befundes in der CTA eine Gefäßverletzung nahezu sicher ist. Dies wird auch durch den statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der CTA und nachgewiesenen Gefäßverletzungen betont.

5.5.2 Ösophagographie

Die Sensitivität der Ösophagographie lag bei 42,9% (CI 11,8%-79,8%), die Spezifität bei 95,3% (CI 82,9%-99,2%). Auch bei dieser Methode kann aufgrund der hohen Spezifität bei einem pathologischen Befund von einer Läsion des Ösophagus ausgegangen werden. Jedoch kann bei negativem Resultat ein Trauma der Speisewege nicht ausgeschlossen werden (Simel & Rennie 2008). Bei der Berechnung der Sensitivität der Ösophagographie kann es, wie unter den Gliederungspunkten 5.4 Einfluss der ‚*hard signs*‘ und 5.5.1 Computertomographische Angiographie

beschrieben, zu Verzerrungen gekommen sein, weil als Referenz lediglich das Operationsergebnis sowie mögliche Komplikationen und Todesfälle dienten. Auch bei dieser Methode kann es zu einer Unterschätzung der richtig positiven Befunde durch komplikationslos konservativ behandelte Patienten gekommen sein. Außerdem wurden Befunde, bei denen die Diagnose nicht bestätigt oder ausgeschlossen werden konnte, aus der Berechnung ausgeschlossen. Diese Faktoren könnten eine zu niedrige Sensitivität verursacht haben.

Wie schon bei der körperlichen Untersuchung und der CTA ist am breiten Konfidenzintervall erkennbar, dass die Fallzahl zur Berechnung - vor allem der Sensitivität - gering war.

Die Schwierigkeit bei der vorliegenden und bei anderen Studien zur Diagnostik von Ösophagusverletzungen besteht darin, dass diese selten vorkommen. Dadurch ist selbst bei größeren Studien zu penetrierenden zervikalen Verletzungen nur ein geringer Teil der Patienten von Läsionen der Speisewege betroffen. In der Literatur variiert die Sensitivität zwischen 35% und 89% bis 100% innerhalb verschiedener Studien stark (Weigelt et al. 1987; Wood et al. 1989; Gonzalez et al. 2003; N. Ahmed et al. 2009). Als Erklärung für die geringe Sensitivität diente die hohe Rate an falsch-negativen Befunden durch kleine Defekte der Speiseröhre. Auch wenn diese nicht durch die Ösophagographie diagnostiziert werden, würden sie komplikationslos durch konservative Therapie abheilen (Ngakane et al. 1990; Gonzalez et al. 2003). Diese Erklärung könnte auch auf diese Arbeit übertragbar sein. Laut Ahmed et al. ist die niedrige Sensitivität von 35% vor allem der Unzuverlässigkeit der Untersuchung bezüglich Läsionen des Meso- und Hypopharynx geschuldet.

Die Spezifität hingegen ist auch in anderen Publikationen hoch und liegt zwischen 89% und 100% (Wood et al. 1989; Weigelt et al. 1987). Auch bei der Ösophagographie kann aus den oben genannten Gründen davon ausgegangen werden, dass die Spezifität präziser berechnet werden konnte als die Sensitivität.

Seit einigen Jahren gewinnt bei der Diagnostik von Ösophagusverletzungen die Computertomographie an Bedeutung. Einerseits wird eine kombinierte Diagnostik empfohlen: Soliman und Kollegen rieten zu einer primären Mehrschicht-Computertomographie bei asymptomatischen Patienten mit Verdacht auf eine Läsion der Speisewege und gegebenenfalls einer Ösophagographie oder Ösophagoskopie im Anschluss (Soliman et al. 2012).

In einer Studie aus dem Jahr 2015 war die computertomographische Methode der klassischen Ösophagographie überlegen: Die Sensitivität der computertomographischen Ösophagographie bei der Detektion von Läsionen der Speisewege lag bei 95% und die Spezifität bei über 85% (Conradie & Gebremariam 2015). Auch die CTA spielt eine zunehmende Rolle bei der Diagnostik ösophagealer Läsionen: Einige Autoren empfehlen eine Ösophagographie, sollte der Wundkanal in der CTA in der Nachbarschaft von Organen des Aerodigestivtraktes liegen (Offiah & Hall 2012; Munera et al. 2005; Soliman et al. 2012; Osborn et al. 2008). Und auch wenn Conradie und Kollegen in einer Publikation zeigten, dass bei der Diagnostik ösophagealer Verletzungen mittels der CTA gehäuft falsch positive Ergebnisse auftreten, ergab eine 2016 erschienene Studie zur CTA von Madsen et al. eine hohe Sensitivität von 97,4% für tiefe Emphyseme bei Verletzungen der Speisewege. Außerdem gaben die Autoren eine Sensitivität von 100% nach dem Ausschluss irrelevanter Verletzungen und eine Spezifität von 63,5% an; eine signifikante Verletzung des Aerodigestivtraktes sei bei dem CTA-Befund eines fehlenden Emphysems in den tiefen Schichten des Halses unwahrscheinlich (Madsen, Oosthuizen, et al. 2016).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass bei pathologischen Resultaten der Ösophagographie sehr wahrscheinlich eine Verletzung der Speisewege vorliegt. Insofern kann auf der Basis eines positiven Befundes über das weitere Vorgehen entschieden werden. Weniger klar ist die Lage bei negativem Befund. Aufgrund der niedrigen Sensitivität kann eine ösophageale Verletzung nicht ausgeschlossen werden. Da die Sensitivitätswerte in der Literatur stark variieren und in dieser Studie mögliche Fehlerquellen vorlagen, wird hier von einer abschließenden Empfehlung auf der Basis der vorliegenden Daten abgesehen. Aufgrund der guten Ergebnisse der Computertomographie und der CTA in aktuellen Studien scheint jedoch eine Kombination mit einer der beiden Untersuchungen ratsam zu sein. Weitere Studien sollten zur Diagnostik von Ösophagusverletzungen durchgeführt werden.

5.6 Limitationen

Vor den Schlussfolgerungen, die sich aus dieser Arbeit ergeben, sollten die Limitationen der Studie bedacht werden.

Eine methodische Limitation stellt das Studiendesign dar: Die Daten wurden retrospektiv auf der Basis von Patientenakten erhoben. Wie bei allen retrospektiven Studien kann kein Beweis für eine aufgestellte Hypothese erbracht werden.

Die beschriebenen Zusammenhänge können theoretisch auf unbekanntem Störfaktoren (engl. ‚*Confounder*‘) beruhen. Um diese Verzerrung möglichst gering zu halten, wurden viele Berechnungen mittels logistischer Regression durchgeführt.

Bei manchen Fragestellungen war die Anzahl der Patienten in den Subgruppen gering, was die Auswertung teilweise erschwert hat. Um trotzdem eine möglichst genaue Interpretation zu ermöglichen, wurde in einigen Fällen der exakte Test nach Fisher angewendet.

Daten zu der prähospitalen Versorgung waren nicht vorhanden, so dass keine Aussage zur prähospitalen hämodynamischen Stabilität und zur Gesamtmortalität getroffen werden kann. Es ist möglich, dass die Mortalität - inklusive der vor Aufnahme in das Krankenhaus verstorbenen Patienten - tatsächlich höher liegt und der Anteil der konservativ versorgten Patienten so hoch ist, weil viele Schwerverletzte schon vor der Aufnahme in die Klinik verstorben sind. Diese Verzerrung wurde von Ahmed et al. als ‚*delayed presentation bias*‘, als systematischer Fehler durch eine verspätete Vorstellung, bezeichnet (A. Ahmed 2009). Es ist außerdem möglich, dass Patienten im Rahmen der Erstversorgung durch die Rettungskräfte stabilisiert wurden.

Im Chris Hani Baragwanath Krankenhaus war während der Erhebung der Daten keine elektronische Datenbank vorhanden und die Akten waren handgeschrieben. Die Unterlagen wurden in einem Archiv gelagert, es haben Patientendokumentationen gefehlt oder waren unvollständig. Von den 417 erhaltenen Krankenakten waren 303 passend für die Fragestellung, die übrigen haben die Einschlusskriterien nicht erfüllt. Bei schwer leserlicher Handschrift kann es zu einem Verlust von Daten gekommen sein. Die Genauigkeit der Aufzeichnungen war von der Sorgfältigkeit des behandelnden Arztes bei der Dokumentation abhängig. Auch wenn die Patientenakten nach einem Schema, angelehnt an ABCDE des ‚*ATLS*[®]‘- Konzeptes, aufgebaut waren, war die Dokumentation nicht standardisiert.

Es lag keine Dokumentation des Typus der Schusswaffe vor, auch wenn vermutet werden kann, dass Schussverletzungen überwiegend durch Waffen niedriger Geschwindigkeiten verursacht worden sind. ‚*Low-velocity*‘- Waffen kommen im zivilen Gebrauch häufiger vor und die Mortalitätsrate vor dem Eintreffen im Krankenhaus ist bei Patienten, die durch ‚*high-velocity*‘- Geschosse verletzt worden sind, hoch. Möglich ist jedoch, dass vereinzelt Patienten Opfer von ‚*high-velocity*‘- Schusswaffen geworden sind. Dies könnte eine Abweichung von den Leitlinien bedingt haben.

Bei einigen Patienten fehlten die Angaben zum Verletzungsmechanismus oder zur verletzten Zone. War dies der Fall, wurde der Patient aus den statistischen Analysen ausgeschlossen. Bei fehlenden Werten wurde von einem Normalbefund ausgegangen (siehe 3.3 Auswertung). Mit den genannten Maßnahmen wurde versucht die Verzerrungen so gering wie möglich zu halten, wodurch mögliche Effekte eher unter- als überschätzt wurden.

Neben der Sorgfältigkeit der Dokumentation war auch die Diagnostik und Therapie vom behandelnden Arzt abhängig. Die optimale Therapie für jeden Patienten basierte vermutlich auch auf individuellen Entscheidungen, weswegen nicht jeder Patient mit ‚*hard signs*‘ eine CTA oder eine Ösophagographie erhalten hat.

Wegen oftmals fehlender Dokumentation der Qualität (arteriell oder venös) oder der Lokalisation (welches Gefäß) einer Hämorrhagie wurde eine Blutung nur eingeschränkt bei der Kalkulation der Sensitivität und Spezifität berücksichtigt.

Bei der Analyse wurden nur Läsionen der großen Gefäße eingeschlossen. Dadurch wurde das Risiko in Kauf genommen, dass die Anzahl der richtig positiven Ergebnisse sinken und der falsch negativen Ergebnisse steigen könnte, wodurch die Sensitivität unterschätzt werden würde. Ein weiterer Grund für die im Vergleich zu anderen Publikationen deutlich niedrigeren Sensitivitäten der körperlichen Untersuchung, der CTA und der Ösophagographie ist die Tatsache, dass als Referenzen die Operationsergebnisse, die Komplikationen und die Todesfälle dienten. Dadurch fielen pathologische Befunde, die ohne Komplikationen konservativ therapiert wurden, in die Gruppe der falsch positiven Resultate, obwohl das Ergebnis richtigerweise pathologisch war. Die Aussagekraft der diagnostischen Werte wird außerdem durch die geringe Patientenzahl in einigen Subgruppen eingeschränkt.

Wie bei vielen Studien zu Traumapatienten ist keine Nachsorgeuntersuchung durchgeführt worden. Dabei kann es auch nach einem längeren Zeitraum zu

verspäteten Komplikationen kommen, wie beispielsweise zu einer Ruptur eines Pseudoaneurysmas.

Der Patientenversorgung lag ein klinikinterner Algorithmus zugrunde, der nicht bei jedem Patienten mit ‚*hard signs*‘ eine Operation vorsah. Aufgrund der hohen Anzahl von Patienten mit penetrierenden zervikalen Verletzungen und der sich daraus ergebenden Erfahrung mit diesem Verletzungstypus war dies im Chris Hani Baragwanath Hospital möglich. Für andere Krankenhäuser mag dies nicht gelten, was die Vergleichbarkeit erschwert.

Da die Studie in Soweto, einem Stadtteil von Johannesburg in der Republik Südafrika durchgeführt wurde, lassen sich die Ergebnisse nur eingeschränkt auf andere Länder mit unterschiedlichen Strukturen in der Patientenversorgung übertragen.

5.7 Schlussfolgerungen

Durch die Auswertung der deskriptiven Ergebnisse wurde deutlich, dass die Studie mit früheren Veröffentlichungen durchaus vergleichbar ist. Sie hat eine hohe Patientenzahl und das Patientenkollektiv besteht überwiegend aus Männern um das 30. Lebensjahr. Wie in anderen südafrikanischen Publikationen überwiegen Stich- und Schnittverletzungen gegenüber Wunden durch Feuerwaffen. Auch wenn die meisten Patienten bei der Ankunft im Krankenhaus hämodynamisch stabil waren, kann vermutet werden, dass penetrierende Halsverletzungen durch starken Blutverlust zu zahlreichen prähospitalen Todesfällen führen.

Es bestehen Hinweise darauf, dass ein Foley-Katheter zur Hämorrhagiekontrolle geeignet ist und dass eine Notfallraumsternotomie oder -thorakotomie als Mittel der letzten Wahl beim moribunden Patienten mit therapierefraktärem Schock anzusehen ist.

Die klinikinternen Leitlinien des Chris Hani Baragwanath Hospitals setzten das Prinzip des *SNOM* um und gingen sogar noch darüber hinaus: Nicht alle Patienten mit ‚*hard signs*‘ wurden operiert, sondern die meisten stabilen Patienten erhielten zuerst eine ergänzende Diagnostik. Der Vorteil dieser Vorgehensweise war, dass einige Patienten trotz ‚*hard signs*‘ bei entsprechenden Befunden in der apparativen Diagnostik konservativ behandelt werden konnten.

Patienten mit vaskulären Verletzungen haben ein erhöhtes Komplikationsrisiko. Dies gilt vermutlich generell für viszerale Verletzungen. Die intrahospitale Mortalität nach penetrierenden Halsverletzungen ist mit 2,3% ähnlich vergangener Veröffentlichungen.

Ein Ziel der Untersuchung war die Analyse des Einflusses des Verletzungsmechanismus und der Einteilung in Zonen. Die Studie ergab, dass sowohl Wunden durch scharfe Gewalt als auch Schussverletzungen im Rahmen des *SNOM* therapiert werden sollten. Nach Schussverletzungen sollte eine bildgebende Diagnostik mittels CTA erfolgen, weil die Gewebereaktion und der Wundkanal dadurch am besten zu beurteilen sind. Die Erstversorgung von Schussverletzten unterscheidet sich in verschiedenen Bereichen von der bei Patienten mit Wunden durch scharfe Gewalt. Es scheint von Nutzen zu sein, die Indikation für die Sicherung der Atemwege großzügiger zu stellen, da die Gewebereaktion und -schädigung nach Schussverletzungen bedeutsamer sind. Die Indikation für eine Immobilisation der

Halswirbelsäule ist nach Schussverletzungen zeitiger zu stellen. Mit einer erhöhten Komplikationsrate muss nach Schussverletzungen gerechnet werden.

Ein wichtiges Ergebnis der Studie ist, dass die Einteilung in die Zonen des Halses nach Höhe der Eintrittswunde kritisch hinterfragt werden sollte. Zusätzliche Studien zu dem ‚no-zone‘- Konzept sind zur weiteren Evaluation dieses Ansatzes empfehlenswert.

Ein Aspekt der Arbeit lag auf der Bedeutung der körperlichen Untersuchung, vornehmlich der ‚hard signs‘, sowie der CTA und der Ösophagographie. Bei der Analyse der diagnostischen Güte mittels Berechnung der Sensitivität und Spezifität war eine im Vergleich zu vorherigen Studien jeweils geringe Sensitivität auffällig. Für diese Diskrepanz wurden Fehlerquellen ausfindig gemacht und diskutiert.

Die Sensitivität der ‚hard signs‘ von Gefäßverletzungen lag bei 24,1%, die von Läsionen der Luft- und Speisewege bei 42,3%. Die Spezifität von vaskulären Wunden machte 92,8% aus, die Spezifität aerodigestiver Verletzungen 86,3%. Die Sensitivität des unspezifischen klinischen Zeichens einer Blutung war mit 70,4% höher und könnte damit den klassischen vaskulären ‚hard signs‘ überlegen sein. Auf der Grundlage der Spezifität kann abgeleitet werden, dass bei vorhandenen ‚hard signs‘ von einer viszeralen Verletzung ausgegangen werden kann. Von einer Schlussfolgerung basierend auf der Sensitivität wird hier abgesehen und eine prospektive Studie unter Berücksichtigung der möglichen Fehlerquellen empfohlen.

Die Sensitivität der CTA berechnete sich mit 63,6%, die Spezifität mit 91,2%. Die hohe Spezifität legt nahe, dass eine Gefäßverletzung nahezu sicher ist, wenn in der Untersuchung ein pathologischer Befund diagnostiziert wird. Da die CTA in anderen Publikationen mit einer hohen Sensitivität und Spezifität überzeugt hat, wird von der Ableitung von Konsequenzen auf Grundlage dieser Ergebnisse verzichtet.

Die Spezifität der Ösophagographie mit 95,3% legt nahe, dass bei positiven Befunden eine ösophageale oder pharyngeale Läsion sehr wahrscheinlich ist. Die Sensitivität ist jedoch nicht nur in dieser Untersuchung mit 42,9% gering. Die Werte waren in anderen Publikationen ähnlich und variierten innerhalb der Veröffentlichungen stark. Die Computertomographie und die CTA gewinnen bei der Diagnostik von aerodigestiven Verletzungen zunehmend an Bedeutung. Dies sollten weitere Studien zeigen.

6. Literatur

- Ahmed, A., 2009. Selective observational management of penetrating neck injury in Northern Nigeria. *South African Journal of Surgery*, 47(3), p.80.
- Ahmed, N. et al., 2009. Diagnosis of penetrating injuries of the pharynx and esophagus in the severely injured patient. *The Journal of trauma*, 67(1), pp.152–154.
- Altorjay, A. et al., 1997. Nonoperative management of esophageal perforations. Is it justified? *Annals of Surgery*, 225(4), pp.415–421.
- Angood, P.B. et al., 1986. Extrinsic civilian trauma to the larynx and cervical trachea—important predictors of long-term morbidity. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 26(10), pp.869–873.
- Apffelstaedt, J.P., Med, M. & Müller, R., 1994. Results of mandatory exploration for penetrating neck trauma. *World journal of surgery*, 18(6), pp.917–919.
- Armstrong, W.B., Detar, T.R. & Stanley, R.B., 1994. Diagnosis and management of external penetrating cervical esophageal injuries. *The Annals of otology, rhinology, and laryngology*, 103(11), pp.863–871.
- Asensio, J.A. et al., 2011. Penetrating carotid artery: uncommon complex and lethal injuries. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 37(5), pp.429–437.
- Asensio, J.A. et al., 2001. Penetrating esophageal injuries: multicenter study of the American Association for the Surgery of Trauma. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 50(2), pp.289–296.
- Asensio, J.A. et al., 1997. Penetrating esophageal injuries: time interval of safety for preoperative evaluation—how long is safe? *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 43(2), pp.319–324.
- Ashworth, C., Williams, L.F. & Byrne, J.J., 1971. Penetrating wounds of the neck. *The American Journal of Surgery*, 121(4), pp.387–391.
- Auswärtiges Amt, 2017. Südafrika: Reise- und Sicherheitshinweise. *auswaertiges-amt.de/DE/Laenderinformationen-SiHi/SuedafrikaSicherheit.html*. Available at: <http://www.auswaertiges-amt.de/DE/Laenderinformationen/00-SiHi/SuedafrikaSicherheit.html> [Accessed March 7, 2017].
- Back, M.R., Baumgartner, F.J. & Klein, S.R., 1997. Detection and evaluation of aerodigestive tract injuries caused by cervical and transmediastinal gunshot wounds. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 42(4), pp.680–686.
- Ball, C.G. et al., 2011. A Decade's Experience With Balloon Catheter Tamponade for

- the Emergency Control of Hemorrhage. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 70(2), pp.330–333.
- Bell, R.B. et al., 2007. Management of penetrating neck injuries: a new paradigm for civilian trauma. *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 65(4), pp.691–705.
- Bieler, D.D. et al., 2014. Schuss- und Stichverletzungen in Deutschland – Epidemiologie und Outcome. *Der Unfallchirurg*, 117(11), pp.995–1004.
- Biffi, W.L. et al., 1997. Selective management of penetrating neck trauma based on cervical level of injury. *The American Journal of Surgery*, 174(6), pp.678–682.
- Brywczyński, J.J. et al., 2008. Management of penetrating neck injury in the emergency department: a structured literature review. *Emergency medicine journal : EMJ*, 25(11), pp.711–715.
- Bumpous, J.M. et al., 2000. Penetrating injuries of the visceral compartment of the neck. *American Journal of Otolaryngology*, 21(3), pp.190–194.
- Burgess, C.A., Dale, O.T., Almeyda, R. & Corbridge, R.J., 2012a. An evidence based review of the assessment and management of penetrating neck trauma. *Clinical otolaryngology : official journal of ENT-UK ; official journal of Netherlands Society for Oto-Rhino-Laryngology & Cervico-Facial Surgery*, 37(1), pp.44–52.
- Burgess, C.A., Dale, O.T., Almeyda, R. & Corbridge, R.J., 2012b. An evidence based review of the assessment and management of penetrating neck trauma. *Clinical otolaryngology : official journal of ENT-UK ; official journal of Netherlands Society for Oto-Rhino-Laryngology & Cervico-Facial Surgery*, 37(1), pp.44–52.
- Burlew, C.C. et al., 2012. Western Trauma Association Critical Decisions in Trauma. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 73(6), pp.1359–1363.
- Chris Hani Baragwanath Hospital, 2017. The Chris Hani Baragwanath Hospital, South Africa | The World's 3rd Biggest Hospital, in South Africa. *chrishanibaragwanathhospital.co.za*. Available at: <https://www.chrishanibaragwanathhospital.co.za/> [Accessed March 7, 2017].
- Connell, R.A., Graham, C.A. & Munro, P.T., 2003. Is spinal immobilisation necessary for all patients sustaining isolated penetrating trauma? *Injury*, 34(12), pp.912–914.
- Conradie, W.J. & Gebremariam, F.A., 2015. Can computed tomography esophagography reliably diagnose traumatic penetrating upper digestive tract injuries? - PubMed - NCBI. *Clinical Imaging*, 39(6), pp.1039–1045.
- de Régloix, S.B. et al., 2016. Comparison of Penetrating Neck Injury Management in Combat Versus Civilian Trauma: A Review of 55 Cases. *Military medicine*, 181(8), pp.935–940.
- Degiannis, E. et al., 2005. [Treatment of penetrating injuries of neck, chest and

- extremities]. *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizen*, 76(10), pp.945–958.
- Demetriades, D. et al., 1989. Carotid artery injuries: experience with 124 cases. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 29(1), pp.91–94.
- Demetriades, D. et al., 1997. Evaluation of Penetrating Injuries of the Neck: Prospective Study of 223 Patients. *World journal of surgery*, 21(1), pp.41–48.
- Demetriades, D. et al., 1995. Penetrating Injuries of the Neck in Patients in Stable Condition: Physical Examination, Angiography, or Color Flow Doppler Imaging. *Archives of Surgery*, 130(9), pp.971–975.
- Demetriades, D. et al., 1999. Penetrating injuries to the subclavian and axillary vessels. *Journal of the American College of Surgeons*, 188(3), pp.290–295.
- Demetriades, D. et al., 1996. Transcervical gunshot injuries: mandatory operation is not necessary. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 40(5), pp.758–760.
- Demetriades, D., Charalambides, D. & Lakhoo, M., 1993. Physical examination and selective conservative management in patients with penetrating injuries of the neck. *British Journal of Surgery*, 80(12), pp.1534–1536.
- Demetriades, D., Rabinowitz, B. & Sofianos, C., 1987. Emergency room thoracotomy for stab wounds to the chest and neck. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 27(5), pp.483–485.
- Demetriades, D., Salim, A., Brown, C., Martin, M. & Rhee, P., 2007a. Neck Injuries. *Current Problems in Surgery*, 44(1), pp.13–85.
- Demetriades, D., Salim, A., Brown, C., Martin, M. & Rhee, P., 2007b. The neck with complex anatomic features and dense concentration of numerous vital structures. *Current Problems in Surgery*, 44(1), pp.6–10.
- DeMuro, J.P. et al., 2013. Application of the Shock Index to the prediction of need for hemostasis intervention. *The American Journal of Emergency Medicine*, 31(8), pp.1260–1263.
- Dettmeyer, R.B. & Verhoff, M.A., 2011. *Rechtsmedizin*, Berlin, Heidelberg: Springer Science & Business, pp. 64-79.
- Deyle, S. et al., 2010. Review of Lodox Statscan in the detection of peripheral skeletal fractures in multiple injury patients. - PubMed - NCBI. *Injury*, 41(8), pp.818–822.
- Ellabban, M.A., 2016. The Sternocleidomastoid Muscle Flap: A Versatile Local Method for Repair of External Penetrating Injuries of Hypopharyngeal-Cervical Esophageal Funnel. *World journal of surgery*, 40(4), pp.870–880.
- Evangelopoulos, D.S. et al., 2009. Personal experience with whole-body, low-dosage, digital X-ray scanning (LODOX-Statscan) in trauma. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine*, 17(1), p.41.

- Exadaktylos, A. et al., 2003. [Successful management of abdominal stab wounds with clinical evaluation: experiences of an South-African trauma unit with 496 consecutive patients]. *Der Unfallchirurg*, 106(3), pp.215–219.
- Exadaktylos, A.K. et al., 2008. 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*, 39(5), pp.525–529.
- Feliciano, D.V., 2001. Management of penetrating injuries to carotid artery. *World journal of surgery*, 25(8), pp.1028–1035.
- Firoozmand, E. & Velmahos, G.C., 2000. Extending damage-control principles to the neck. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 48(3), pp.541–543.
- Flowers, J.L. et al., 1996. Flexible endoscopy for the diagnosis of esophageal trauma. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 40(2), pp.261–5–discussion 265–6.
- Fogelman, M.J. & Stewart, R.D., 1956. Penetrating wounds of the neck. *The American Journal of Surgery*, 91(4), pp.581–596.
- Fox, C.J. et al., 2006. Delayed evaluation of combat-related penetrating neck trauma. *Journal of Vascular Surgery*, 44(1), pp.86–93.
- Franke, A. et al., 2017. The First Aid and Hospital Treatment of Gunshot and Blast Injuries. *Deutsches Arzteblatt international*, 114(14), pp.237–243.
- Fu, C.-Y., Wu, S.-C. & Chen, R.-J., 2008. Lodox/Statscan provides rapid identification of bullets in multiple gunshot wounds. - PubMed - NCBI. *The American Journal of Emergency Medicine*, 26(8), pp.965.e5–965.e7.
- Gasparri, M.G. et al., 2000. Physical examination plus chest radiography in penetrating periclavicular trauma: the appropriate trigger for angiography. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 49(6), pp.1029–1033.
- Gauteng Department of Health and Social Development, 2011. Annual Report 2010/2011.
<http://www.health.gpg.gov.za/dohDocuments/Annual%20Reports/ANNUAL%20REPORT%20%20%202010-2011%20Gauteng%20Department%20of%20Health.pdf>, pp.128–129.
 Available at:
<http://www.health.gpg.gov.za/dohDocuments/Annual%20Reports/ANNUAL%20REPORT%20%20%202010-2011%20Gauteng%20Department%20of%20Health.pdf> [Accessed May 16, 2017].
- Gilroy, D. et al., 1992. Control of life-threatening haemorrhage from the neck: a new indication for balloon tamponade. *Injury*, 23(8), pp.557–559.

- Glance, L.G. et al., 2011. Increases in mortality, length of stay, and cost associated with hospital-acquired infections in trauma patients. *Archives of Surgery*, 146(7), pp.794–801.
- Gonzalez, R.P. et al., 2003. Penetrating zone II neck injury: does dynamic computed tomographic scan contribute to the diagnostic sensitivity of physical examination for surgically significant injury? A prospective blinded study. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 54(1), pp.61–4– discussion 64–5.
- Gracias, V.H. et al., 2001. Computed Tomography in the Evaluation of Penetrating Neck Trauma: A Preliminary Study. *Archives of Surgery*, 136(11), pp.1231–1235.
- Grewal, H. et al., 1995. Management of penetrating laryngotracheal injuries. *Head & neck*, 17(6), pp.494–502.
- Hasler, R.M. et al., 2012. Systolic blood pressure below 110mmHg is associated with increased mortality in penetrating major trauma patients: Multicentre cohort study. *Resuscitation*, 83(4), pp.476–481.
- Hirshberg, A. et al., 1994. Transcervical gunshot injuries. *The American Journal of Surgery*, 167(3), pp.309–312.
- Huber-Lang, M. et al., 2006. Esophageal Perforation: Principles of Diagnosis and Surgical Management. *Surgery Today*, 36(4), pp.332–340.
- Inaba, K. et al., 2012. Evaluation of multidetector computed tomography for penetrating neck injury. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 72(3), pp.576–584.
- Inaba, K., Munera, F., McKenney, M., Rivas, L., de Moya, M., et al., 2006. Prospective Evaluation of Screening Multislice Helical Computed Tomographic Angiography in the Initial Evaluation of Penetrating Neck Injuries. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 61(1), pp.144–149.
- Inaba, K., Munera, F., McKenney, M.G., Rivas, L., Marecos, E., et al., 2006. The nonoperative management of penetrating internal jugular vein injury. *Journal of Vascular Surgery*, 43(1), pp.77–80.
- Insull, P. et al., 2007. Is exploration mandatory in penetrating zone II neck injuries? *ANZ journal of surgery*, 77(4), pp.261–264.
- Jarvik, J.G. et al., 1995. Penetrating neck trauma: sensitivity of clinical examination and cost-effectiveness of angiography. *American Journal of Neuroradiology*, 16(4), pp.647–654.
- Jones, R.F., Terrell, J.C. & Salyer, K.E., 1967. Penetrating Wounds of the Neck: An Analysis of 274 Cases. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 7(2), p.228.
- Kasbekar, A.V. et al., 2017. Penetrating neck trauma and the need for surgical exploration: six-year experience within a regional trauma centre. *The Journal of laryngology and otology*, 131(1), pp.8–12.

- Kazi, M. et al., 2013. Utility of clinical examination and CT scan in assessment of penetrating neck trauma. *Journal of the College of Physicians and Surgeons--Pakistan : JCPSP*, 23(4), pp.308–309.
- Kneubuehl, B.P. et al., 2008. *Wundballistik: Grundlagen und Anwendungen* 3rd ed., Springer Medizin Verlag, pp.91-112.
- Krüger, A. et al., 2013. Penetrating arterial trauma to the limbs: outcome of a modified protocol. *World journal of emergency surgery : WJES*, 8(1), p.51.
- Kumar, S.R., Weaver, F.A. & Yellin, A.E., 2001. Cervical vascular injuries. *Surgical Clinics of North America*, 81(6), pp.1331–1344.
- LeBlang, S.D. & Nuñez, D.B., Jr, 2000. Noninvasive Imaging of Cervical Vascular Injuries. *American Journal of Roentgenology*, 174(5), pp.1269–1278.
- Lee, W.T., Eliashar, R. & Eliachar, I., 2006. Acute external laryngotracheal trauma: diagnosis and management. *Ear, nose, & throat journal*, 85(3), pp.179–184.
- Lefering, R. et al., 2016. *TraumaRegister DGU - Jahresbericht 2016*. Available at: http://www.traumaregister-dgu.de/fileadmin/user_upload/traumaregister-dgu.de/docs/Downloads/TR-DGU-Jahresbericht_2016.pdf [Accessed March 7, 2017].
- Lefering, R., Paffrath, T. & Nienaber, U., 2015. *TraumaRegister DGU Jahresbericht 2015*. Available at: http://www.traumaregister-dgu.de/fileadmin/user_upload/traumaregister-dgu.de/docs/Downloads/TR-DGU-Jahresbericht_2015.pdf [Accessed March 7, 2017].
- Lin, P.H. et al., 2003. Penetrating injuries of the subclavian artery. *The American Journal of Surgery*, 185(6), pp.580–584.
- Low, G.M.I. et al., 2014. The use of the anatomic “zones” of the neck in the assessment of penetrating neck injury. *The American surgeon*, 80(10), pp.970–974.
- Lustenberger, T. et al., 2011. Unstable cervical spine fracture after penetrating neck injury: a rare entity in an analysis of 1,069 patients. *The Journal of trauma*, 70(4), pp.870–872.
- Lyons, J.D. et al., 2013. Modern management of penetrating tracheal injuries. *The American surgeon*, 79(2), pp.188–193.
- Madiba, T.E. & Muckart, D.J.J., 2003. Penetrating injuries to the cervical oesophagus: is routine exploration mandatory? *Annals of The Royal College of Surgeons of England*, 85(3), pp.162–166.
- Madsen, A.S., Laing, G.L., Bruce, J.L. & Clarke, D.L., 2016. A comparative audit of gunshot wounds and stab wounds to the neck in a South African metropolitan trauma service. *Annals of The Royal College of Surgeons of England*, 98(7),

- pp.488–495.
- Madsen, A.S., Laing, G.L., Bruce, J.L., Oosthuizen, G.V., et al., 2016. An audit of penetrating neck injuries in a South African trauma service. *Injury*, 47(1), pp.64–69.
- Madsen, A.S., Oosthuizen, G., et al., 2016. The role of computed tomography angiography in the detection of aerodigestive tract injury following penetrating neck injury. - PubMed - NCBI. *Journal of Surgical Research*, 205(2), pp.490–498.
- Mandavia, D.P., Qualls, S. & Rokos, I., 2000. Emergency airway management in penetrating neck injury. *Annals of Emergency Medicine*, 35(3), pp.221–225.
- Mazolewski, P.J. et al., 2001. Computed tomographic scan can be used for surgical decision making in zone II penetrating neck injuries. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 51(2), pp.315–319.
- Mohammed, G.S. et al., 2004. The Role of Clinical Examination in Excluding Vascular Injury in Haemodynamically Stable Patients with Gunshot Wounds to the Neck. A Prospective Study of 59 Patients. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 28(4), pp.425–430.
- Monson, D.O., Saletta, J.D. & Freeark, R.J., 1969. Carotid vertebral trauma. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 9(12), pp.987–999.
- Montorfano, M.A. et al., 2017. Point-of-care ultrasound and Doppler ultrasound evaluation of vascular injuries in penetrating and blunt trauma. *Critical ultrasound journal*, 9(1), p.5.
- Moore, E.E. et al., 2011. Defining the Limits of Resuscitative Emergency Department Thoracotomy: A Contemporary Western Trauma Association Perspective. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 70(2), pp.334–339.
- Munera, F. et al., 2000. Diagnosis of Arterial Injuries Caused by Penetrating Trauma to the Neck: Comparison of Helical CT Angiography and Conventional Angiography1. *Radiology*, 216(2), pp.356–362.
- Munera, F. et al., 2002. Penetrating neck injuries: helical CT angiography for initial evaluation. *Radiology*, 224(2), pp.366–372.
- Munera, F., Cohn, S. & Rivas, L.A., 2005. Penetrating injuries of the neck: use of helical computed tomographic angiography. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 58(2), pp.413–418.
- Munera, F., Soto, J.A. & Nunez, D., 2004. Penetrating injuries of the neck and the increasing role of CTA. *Emergency Radiology*, 10(6), pp.303–309.
- Mwipatayi, B.P. et al., 2004. Management of extra-cranial vertebral artery injuries. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 27(2), pp.157–162.

- Nason, R.W. et al., 2001. Penetrating neck injuries: analysis of experience from a Canadian trauma centre. *Canadian journal of surgery. Journal canadien de chirurgie*, 44(2), pp.122–126.
- Navsaria, P., Omosoro-Jones, J. & Nicol, A., 2002. An Analysis of 32 Surgically Managed Penetrating Carotid Artery Injuries. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 24(4), pp.349–355.
- Navsaria, P., Thoma, M. & Nicol, A., 2006. Foley Catheter Balloon Tamponade for Life-threatening Hemorrhage in Penetrating Neck Trauma. *World journal of surgery*, 30(7), pp.1265–1268.
- Newton, K., 2017. UpToDate: Penetrating neck injuries. Available at: https://www.uptodate.com/contents/penetrating-neck-injuries-initial-evaluation-and-management?source=search_result&search=penetriertes+Halstrauma&selectedTitle=1~23#H24 [Accessed February 15, 2017].
- Ngakane, H., Muckart, D.J. & Luvuno, F.M., 1990. Penetrating visceral injuries of the neck: results of a conservative management policy. *The British journal of surgery*, 77(8), pp.908–910.
- Ofer, A. et al., 2001. CT Angiography of the Carotid Arteries in Trauma to the Neck. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 21(5), pp.401–407.
- Offiah, C. & Hall, E., 2012. Imaging assessment of penetrating injury of the neck and face. *Insights into Imaging*, 3(5), pp.419–431.
- Official Website of Lodox Systems - Installations, 2015. LODOX. Available at: <http://lodox.com/installations/> [Accessed March 29, 2017].
- Official Website of Lodox Systems- Case of the month, 2015. LODOX. Available at: <http://lodox.com/installations/> [Accessed March 11, 2017].
- Official Website of the City of Johannesburg, 2007. City of Johannesburg. Available at: http://www.joburg.org.za/index.php?option=com_content&view=article&id=921:soweto&catid=108 [Accessed March 7, 2017].
- Olaussen, A. et al., 2014. Review article: shock index for prediction of critical bleeding post-trauma: a systematic review. *Emergency medicine Australasia : EMA*, 26(3), pp.223–228.
- Ordog, G.J. et al., 1985. 110 Bullet Wounds to the Neck. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 25(3), p.238.
- Osborn, T.M. et al., 2008. Computed Tomographic Angiography as an Aid to Clinical Decision Making in the Selective Management of Penetrating Injuries to the Neck: A Reduction in the Need for Operative Exploration. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 64(6), pp.1466–1471.

- Osler, T., 2012. Complication-associated mortality following trauma: a population-based observational study. - PubMed - NCBI. *Archives of Surgery*, 147(2), pp.152–158.
- Pakarinen, T.-K. et al., 2006. Management of cervical stab wounds in low volume trauma centres: Systematic physical examination and low threshold for adjunctive studies, or surgical exploration. *Injury*, 37(5), pp.440–447.
- Pasley, J., Berg, R.J. & Inaba, K., 2012. Multidetector Computed Tomographic Angiography (MDCTA) for Penetrating Neck Injuries. *Rambam Maimonides medical journal*, 3(3), p.e0016.
- Pejkić, S. et al., 2014. Indirect surgical management of a penetrating vertebral artery injury. *Vascular*, 22(6), pp.468–470.
- Pinto, A. et al., 2009. Gunshot Injuries in the Neck Area: Ballistics Elements and Forensic Issues. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI*, 30(3), pp.215–220.
- Prichayudh, S. et al., 2015. Selective management of penetrating neck injuries using “no zone” approach. *Injury*, 46(9), pp.1720–1725.
- Raja, A., MD, MBA, MPH & Zane, R., MD, 2016. UpToDate.
http://www.uptodate.com/contents/initial-management-of-trauma-in-adults?source=search_result&search=initial+management+trauma&selectedTitle=1~150.
 Available at: http://www.uptodate.com/contents/initial-management-of-trauma-in-adults?source=search_result&search=initial+management+trauma&selectedTitle=1~150 [Accessed March 10, 2017].
- Ramadan, F. et al., 1995. Carotid artery trauma: A review of contemporary trauma center experiences. *Journal of Vascular Surgery*, 21(1), pp.46–56.
- Reconciliation, C.F.T.S.O.V.A. & Security, S.A.M.F.S.A., 2009. Why Does South Africa Have Such High Rates of Violent Crime?, p.12.
 Available at: http://www.csvr.org.za/docs/study/7.unique_about_SA.pdf [Accessed March 7, 2017].
- Rhee, P. et al., 2006. Cervical spine injury is highly dependent on the mechanism of injury following blunt and penetrating assault. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 61(5), pp.1166–1170.
- Robinson, S. et al., 2009. Multidetector row computed tomography of the injured larynx after trauma. *Seminars in ultrasound, CT, and MR*, 30(3), pp.188–194.
- Roon, A.J. & Christensen, N., 1979. Evaluation and treatment of penetrating cervical injuries. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 19(6), pp.391–397.
- Saletta, J.D. et al., 1976. Penetrating trauma of the neck. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 16(7), pp.579–587.

- Schaider, J. & Bailitz, J., 2003. Neck trauma: don't put your neck on the line. *Emerg Med Pract*, 5.
- Schroeder, J.W., Baskaran, V. & Aygun, N., 2009. Imaging of traumatic arterial injuries in the neck with an emphasis on CTA. *Emergency Radiology*, 17(2), pp.109–122.
- Schroll, R. et al., 2015. Role of computed tomography angiography in the management of Zone II penetrating neck trauma in patients with clinical hard signs. *The journal of trauma and acute care surgery*, 79(6), pp.943–50–discussion 950.
- Shearer, V.E. & Giesecke, A.H., 1993. Airway management for patients with penetrating neck trauma: a retrospective study. *Anesthesia and analgesia*, 77(6), pp.1135–1138.
- Sheely, C.H. et al., 1975. Current concepts in the management of penetrating neck trauma. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 15(10), pp.895–900.
- Sheppard, F.R. et al., 2006. Emergency department resuscitative thoracotomy for nontorso injuries. *Surgery*, 139(4), pp.574–576.
- Shiroff, A.M. et al., 2013. Penetrating neck trauma: a review of management strategies and discussion of the “No Zone” approach. *The American surgeon*, 79(1), pp.23–29.
- Siau, R.T.K. et al., 2012. Management of penetrating neck injuries at a London trauma centre. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 270(7), pp.2123–2128.
- Simel, D. & Rennie, D., 2008. *The Rational Clinical Examination: Evidence-Based Clinical Diagnosis*, McGraw Hill Professional, pp.1-16.
- Smakman, N. et al., 2004. Factors affecting outcome in penetrating oesophageal trauma. *The British journal of surgery*, 91(11), pp.1513–1519.
- Sofianos, C. et al., 1996. Selective surgical management of zone II gunshot injuries of the neck: A prospective study. *Surgery*, 120(5), pp.785–788.
- Soliman, A.M.S., Ahmad, S.M. & Roy, D., 2012. The role of aerodigestive tract endoscopy in penetrating neck trauma. *The Laryngoscope*, pp.1-9.
- Sperry, J.L. et al., 2013. Western Trauma Association Critical Decisions in Trauma. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 75(6), pp.936–940.
- Stanley, R.B. et al., 1997. Management of external penetrating injuries into the hypopharyngeal-cervical esophageal funnel. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 42(4), pp.675–679.
- Statistics South Africa, 2006. *Provincial Profile 2004- Gauteng*, Statistics South Africa. pp.30-34, 54-56.

Available at: <http://www.statssa.gov.za/publications/Report-00-91-07/Report-00-91-072004.pdf>. [Accessed March 7, 2017]

- Stein, A. & Seaward, P.D., 1967. Penetrating wounds of the neck. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 7(2), pp.238–247.
- Stuhlfaut, J.W. et al., 2005. Impact of MDCT angiography on the use of catheter angiography for the assessment of cervical arterial injury after blunt or penetrating trauma. *AJR. American journal of roentgenology*, 185(4), pp.1063–1068.
- Symbas, P.N., Hatcher, C.R. & Boehm, G.A., 1976. Acute penetrating tracheal trauma. *The Annals of thoracic surgery*, 22(5), pp.473–477.
- Symbas, P.N., Hatcher, C.R. & Vlasis, S.E., 1982. Bullet wounds of the trachea. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*, 83(2), pp.235–238.
- T E Madiba, D.J.J.M., 2003. Penetrating injuries to the cervical oesophagus: is routine exploration mandatory? *Annals of The Royal College of Surgeons of England*, 85(3), pp.162–166.
- Tallon, J.M., Ahmed, J.M. & Sealy, B., 2007. Airway management in penetrating neck trauma at a Canadian tertiary trauma centre. *CJEM*, 9(2), pp.101–104.
- Teehan, E.P. et al., 1997. Carotid arterial trauma: assessment with the Glasgow Coma Scale (GCS) as a guide to surgical management. *Cardiovascular surgery (London, England)*, 5(2), pp.196–200.
- Thoma, M. et al., 2008. Analysis of 203 patients with penetrating neck injuries. *World journal of surgery*, 32(12), pp.2716–2723.
- Tisherman, S.A. et al., 2008. Clinical Practice Guideline: Penetrating Zone II Neck Trauma. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 64(5), pp.1392–1405.
- Toit, du, D.F. et al., 2008. Long-term results of stent graft treatment of subclavian artery injuries: Management of choice for stable patients? *Journal of Vascular Surgery*, 47(4), pp.739–743.
- Toit, du, D.F. et al., 2003. Neurologic outcome after penetrating extracranial arterial trauma. *Journal of Vascular Surgery*, 38(2), pp.257–262.
- Trauma Directorate Chris Hani Baragwanath Academic Hospital, 2017. Official Website Trauma Directorate Chris Hani Baragwanath Academic Hospital. baragwanathtrauma.com/. Available at: <http://baragwanathtrauma.com/> [Accessed March 7, 2017].
- United Nations Office on Drugs and Crime, 2014. Global Study on Homicide 2013. pp.32–33, 65–68. Available at: http://www.unodc.org/documents/data-and-analysis/statistics/GSH2013/2014_GLOBAL_HOMICIDE_BOOK_web.pdf

[Accessed March 7, 2017].

- van As, A.B., van Deurzen, D.F.P. & Verleisdonk, E.J.M.M., 2002. Gunshots to the neck: selective angiography as part of conservative management. *Injury*, 33(5), pp.453–456.
- Van Waes, O.J. et al., 2011. Management of penetrating neck injuries. *British Journal of Surgery*, 99(S1), pp.149–154.
- Vanderlan, W.B., Tew, B.E. & McSwain, N.E., 2009. Increased risk of death with cervical spine immobilisation in penetrating cervical trauma. *Injury*, 40(8), pp.880–883.
- Velmahos, G.C., Souter, I., Degiannis, E., Mokoena, T. & Saadia, R., 1994a. Selective surgical management in penetrating neck injuries. *Canadian journal of surgery. Journal canadien de chirurgie*, 37(6), pp.487–491.
- Velmahos, G.C., Souter, I., Degiannis, E., Mokoena, T. & Saadia, R., 1994b. Selective surgical management in penetrating neck injuries. *Canadian journal of surgery. Journal canadien de chirurgie*, 37(6), pp.487–491.
- Wang, C.-J. et al., 2002. Pathomechanism of shock wave injuries on femoral artery, vein and nerve. *Injury*, 33(5), pp.439–446.
- Weigelt, J.A. et al., 1987. Diagnosis of penetrating cervical esophageal injuries. *American journal of surgery*, 154(6), pp.619–622.
- Weitzel, N., Kendall, J. & Pons, P., 2004. Blind nasotracheal intubation for patients with penetrating neck trauma. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 56(5), pp.1097–1101.
- Whiley, S.P., Alves, H. & Grace, S., 2013. Full-Body X-Ray Imaging to Facilitate Triage: A Potential Aid in High-Volume Emergency Departments. *Emergency medicine international*, 2013(12), pp.1–6.
- Williams, J.W. & Sherman, R.T., 1973. Penetrating wounds of the neck: surgical management. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 13(5), pp.435–442.
- Willmann, J.K. et al., 2005. Aortoiliac and lower extremity arteries assessed with 16-detector row CT angiography: prospective comparison with digital subtraction angiography. *Radiology*, 236(3), pp.1083–1093.
- Wood, J., Fabian, T.C. & Mangiante, E.C., 1989. Penetrating neck injuries: recommendations for selective management. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 29(5), pp.602–605.
- World Health Organization, 2015. *Global Status Report on Violence Prevention 2014*, World Health Publications.
- World Health Organization, Surgery, I.S.O. & Care, I.A.F.T.S.O.T.A.S.I., 2004. *Guidelines for Essential Trauma Care*, World Health Organization. pp.129-195.

Available at:

http://www.who.int/violence_injury_prevention/violence/status_report/2014/en/
[Accessed March 7, 2017]

Yeh, D. et al., 2015. Preoperative evaluation of penetrating esophageal trauma in the current era: An analysis of the National Trauma Data Bank. *Journal of Emergencies, Trauma, and Shock*, 8(1), pp.30–33.

Yoder, R.L. & Merck, D.E., 1969. Innocuous appearing stab wounds to the neck: is exploration always indicated. *Southern medical journal*, 62(1), pp.113–115.

7. Anhang

7.1 Abkürzungsverzeichnis

Alphabetisch geordnet

- A., Aa. Arteria, Arteriae
- AG Angiographie
- ARDS engl. *Acute Respiratory Distress Syndrome*: akutes progressives Lungenversagen
- *ATLS*[®] *Advanced Trauma Life Support*[®]
- Bpm engl. *beats per minute*: Schläge pro Minute
- bzw. beziehungsweise
- ca. circa
- CI engl. *Confidence Interval*: Konfidenzintervall
- CTA Computertomographische Angiographie
- DGU Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie
- engl. Englisch
- et al. Et alii (m), et aliae (w): und andere
- G Gauge
- GCS engl. *Glasgow- Coma- Scale*: Glasgow- Koma- Skala
- Ggl. Ganglion
- Gl., Gll. Glandula, Glandulae
- GSW engl. *Gunshot wound*: Schussverletzung
- GV Gefäßverletzungen
- J Joule
- k.A. Keine Angabe
- M., Mm. Musculus, Musculi
- m/s Meter pro Sekunde
- max Maximalwert
- min Minimalwert
- mmHg Millimeter Quecksilbersäule
- MRT Magnetresonanztomographie
- ÖG Ösophagographie

- OP Operation
- ÖV Ösophageale/hypopharyngeale Verletzung
- Pl. Plexus
- PTFE Polytetrafluorethylen
- R., Rr Ramus, Rami
- RR Riva Rocci (Blutdruck)
- RSI engl. *Rapid Sequence Induction*: Notfalleinleitung
- SD engl. *Standard Deviation*: Standardabweichung
- SI Schock Index
- *SNOM* Selektives nicht-operatives Management
(engl. *selective non-operative management*)
- SW engl. *Stab Wound*: Stichverletzung
- Tr. Truncus
- V., Vv. Vena, Venae
- χ^2 Chi²- Test nach Pearson

7.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Halsorgane und Zonen	16
Tabelle 2: Klinische Zeichen vaskulärer und aerodigestiver Verletzungen.....	18
Tabelle 3: Sensitivität und Spezifität der körperlichen Untersuchung in der Literatur	20
Tabelle 4: ‚Hard signs‘ für vaskuläre und aerodigestive Verletzungen im Chris Hani Baragwanath Hospital.....	34
Tabelle 5: Alter	45
Tabelle 6: Vitalparameter bei Aufnahme	48
Tabelle 7: Verletzungsmechanismus und Lokalisation.....	50
Tabelle 8: Befunde der körperlichen Untersuchung	51
Tabelle 9: Apparative Untersuchungen.....	52
Tabelle 10: Ergebnisse der computertomographischen Angiographie	53
Tabelle 11: Ergebnisse der Ösophagographie	53
Tabelle 12: Notfallraumversorgung	54
Tabelle 13: Zeitpunkt und Methode der frühen Intubation	55
Tabelle 14: Erstversorgung unterteilt nach Verletzungsmechanismus	57
Tabelle 15: Erstversorgung unterteilt nach definitiver Therapie.....	58
Tabelle 16: Definitive Therapie.....	59
Tabelle 17: Organverletzungen.....	59
Tabelle 18: Verletzungsmechanismus und Patientenversorgung	61
Tabelle 19: Versorgung der Patienten mit ‚hard signs‘	62
Tabelle 20: Mortalität.....	68
Tabelle 21: Verletzungsmechanismus als Einflussfaktor.....	72
Tabelle 22: Lokalisation und Vitalparameter	73
Tabelle 23: Lokalisation als Einflussfaktor	74
Tabelle 24: Symptome vaskulärer Verletzungen: Sensitivität, Spezifität, positiver und negativer prädiktiver Wert	75
Tabelle 25: Symptome aerodigestiver Verletzungen: Sensitivität, Spezifität, positiver und negativer prädiktiver Wert	76
Tabelle 26: ‚hard signs‘ als Einflussfaktoren.....	78

Tabelle 27: Operative und konservative Therapie beim Vorliegen von ‚ <i>hard signs</i> ‘	79
Tabelle 28: Epidemiologische Daten von Studien zwischen 1994 und 2016.....	85
Tabelle 29: Verletzungsmechanismus in südafrikanischen Publikationen.....	89
Tabelle 30: Mortalität in der Literatur.....	95

7.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zonen des Halses nach Monson et al. (Monson et al. 1969).....	14
Abbildung 2: Zonen des Halses nach Roon und Christensen (Roon & Christensen 1979).....	15
Abbildung 3: Bildgebung mittels Lodox [®] (Official Website of Lodox Systems- Case of the month 2015)	24
Abbildung 4: Ballontamponade der A. subclavia (Demetriades et al. 1999).....	28
Abbildung 5: Algorithmus beim Vorliegen von vaskulären ‚ <i>hard signs</i> ‘	32
Abbildung 6: Algorithmus beim Vorliegen von aerodigestiven ‚ <i>hard signs</i> ‘	33
Abbildung 7: Altersverteilung	46
Abbildung 8: Verteilung des systolischen Blutdrucks	47
Abbildung 9: Verletzungsmechanismus.....	49
Abbildung 10: Verletzungsmechanismus und Intubation in der Notaufnahme	56
Abbildung 11: Vaskuläre und aerodigestive ‚ <i>hard signs</i> ‘ und Therapie.....	63
Abbildung 12: Management bei Patienten mit vaskulären ‚ <i>hard signs</i> ‘	64
Abbildung 13: Management bei Patienten mit aerodigestiven ‚ <i>hard signs</i> ‘	66
Abbildung 14: Komplikationen	67
Abbildung 15: Mortalität und Komplikationen	70
Abbildung 16: Komplikationen und Verletzungsmechanismus	71
Abbildung 17: Gefäßverletzungen und das Ergebnis der computertomographischen Angiographie.....	80
Abbildung 18: Ösophagus-/Pharynxverletzungen und das Ergebnis der Ösophagographie.....	81
Abbildung 19: Gebrauch von Waffen bei Tötungsdelikten (United Nations Office on Drugs and Crime 2014).....	88

8. Persönlicher Anhang

8.1 Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer in Marburg waren die Damen und Herren (Auflistung in alphabetischer Reihenfolge):

Adamkiewicz, Barth, Bartsch, Baum, Becker, Becker, Berger, Bette, Bien, Bohlander, Cetin, Czubayko, Dannlowski, del Rey, Dinges, Dodel, Doll, Donner- Banzhoff, Eberhart, Ellenrieder, El-Zayat, Engenhardt-Cabillic, Fendrich, Feuser, Fölsch, Frink, Fuchs-Winkelmann, Geks, Görg, Görg, Gress, Grimm, Grundmann, Grzeschik, Hegele, Hertl, Heverhagen, Hofmann, Höffken, Hoyer, Hundt, Jansen, Jerrentrup, Kann, Kanngießner, Kill, Kircher, Kirschbaum, Klose, Knake, Kolb-Niemann, Koczulla, Köhler, König, Konrad, Koolmann, Kühne, Kühnert, Krüger, Leonhardt, Lill, Löffler, Lohoff, Lüers, Mahnken, Maier, Maisch, Moll, Moosdorf, Mueller, Mutters, Neubauer, Neumüller, Nimsky, Oertel, Oliver, Pagenstecher, Plant, Preisig-Müller, Ramaswamy, Renz, Richter, Röhm, Rosenow, Röttgers, Ruchholtz, Rüscher, Sahmland, Schäfer, Schäfer, Schieffer, Schmidt, Schu, Seifart, Seitz, Sekundo, Steiniger, Tackenberg, Teymoortash, Vogelmeier, Wagner, Weihe, Werner, Westermann, Wulf, Zettl.

8.2 Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Univ.- Prof. Dr. med. Steffen Ruchholtz für die Möglichkeit meine Promotion an der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie durchzuführen.

Besonderer Dank gebührt Herrn Prof. Dr. med. Antonio Krüger, für seine stetige Unterstützung und sein Engagement bei der Betreuung der Arbeit.

Ich möchte mich bei Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Dietrich Doll dafür bedanken, dass er meine Neugier für dieses interessante Thema geweckt hat sowie für seine Betreuung während der Promotion.

Vielen Dank an Herrn Prof. Dr. med. Elias Degiannis, dem Leiter der „Trauma Surgery“ des Chris Hani Baragwanath Hospital während des Zeitraumes der Datenerhebung, für die Möglichkeit die Studie in seiner Klinik durchzuführen. Mit seiner hervorragenden Unterstützung vor Ort hat er die intensive Zeit in Südafrika maßgeblich beeinflusst und entscheidend zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

Vielen Dank an Frau Dr. med. Carla Florido und Herrn Eric Walther. Zusammen hatten wir eine unvergessliche Zeit in Südafrika und in Marburg. Damals wie heute bin ich froh um diese besondere Freundschaft.

Für die ermutigende und liebevolle Unterstützung danke ich meiner Familie, vor allem meinen Eltern Barbara Portenlänger-Braunisch und Dr. med. Norbert Braunisch.

Von ganzem Herzen möchte ich meinem Ehemann Dr. med. Matthias Braunisch danken für seine Unterstützung, seine Geduld und Liebe.