

Diplomarbeit

Präklinische Notfallthorakotomie
Ergebnisse abhängig von Fachdisziplin/Lernkurve?

eingereicht von

Florian Sommerauer

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der gesamten Heilkunde
(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Universitätsklinik für Unfallchirurgie Graz

unter der Anleitung von

Univ.-Ass. Priv.-Doz. Dr. med. univ. Paul Puchwein

Graz, am 24.08.2016

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 24.08.2016

Florian Sommerauer eh

für Luise

Im Sinne der gendergerechten Formulierung weise ich hiermit darauf hin, dass aus Gründen der besseren Lesbarkeit hauptsächlich das generische Maskulinum verwendet wird. Alle geschlechtsbezogenen Bezeichnungen gelten daher, sofern nicht anders vermerkt, für Frauen und Männer gleichermaßen.

Danksagung

Da diese Diplomarbeit stellvertretend für das gesamte Studium stehen soll, gilt mein besonderer Dank meiner Familie, die mir nicht nur dieses Studium, sondern auch diverse Auslandsaufenthalte ermöglicht haben, dessen Erfahrungen eine besondere Wertigkeit, gerade auch abseits universitärer Ausbildung, erfahren. Gerade die Menschen, mit welchen ich diese Fremde entdecken durfte, sind teilweise zu außergewöhnlichen Freunden geworden, die weit über das Studium hinaus eine besondere Bereicherung darstellen. Außerdem gilt mein Dank dem Anatomischen Institut Graz und dem Medizinercorps Graz. Zwei Institutionen, die mich immer wieder motiviert haben, auch über den curricularen Lehrstoff hinauszublicken. Die Namen dieser Einrichtungen stehen stellvertretend für alle Kollegen, Freunde, Lehrer und auch den ein oder anderen Schüler, mit denen ich lehren und vor allem lernen durfte.

Nicht vergessen will ich all meine Freunde und Wegbegleiter, mit denen ich wohl dieses ganz besondere Stück gehen durfte und, so will ich hoffen, auch noch weiterhin gehen darf. Gerne würde ich alle ihre Namen hier niederschreiben, jedoch befürchte ich, nie eine Vollständigkeit dieser Liste erreichen zu können.

Nicht zuletzt danke ich meinem Betreuer, Paul Puchwein, der mir in vieler Hinsicht ein Vorbild war und ist.

Der letzte Dank gilt noch einmal meinen Eltern, ohne die das vorhin gesagte gar nicht möglich wäre.

Zusammenfassung

Hintergrund: Der Begriff Notfallthorakotomie spaltet die notfallmedizinische Fachwelt immer wieder auf ein Neues. Auch wenn bis dato einige Publikationen veröffentlicht wurden, die auf ein Überleben und einen guten neurologischen Outcome nach durchgeführter Notfallthorakotomie [1,6] hindeuten, hat sich dieses Procedere noch nicht flächendeckend durchsetzen können. Gerade im präklinischen Bereich scheint der Respekt vor diesem hochinvasiven Eingriff noch immer groß. Das Ziel dieser Studie ist das Ermitteln einer zu erwartenden Zeit bzw. auftretenden Komplikationen und der Vergleich zwischen Notfallmedizinern nicht-chirurgischer Fachdisziplinen mit ihren Kollegen der Chirurgie.

Material: Bei dieser Studie handelt es sich um eine Kadaverstudie mit 29 Leichen des Anatomischen Instituts Graz, konserviert nach der Methode von Thiel [54]. Als Studienteilnehmer wurden jeweils 3 Notfallmediziner aus den Fachgebieten Anästhesie und Innere Medizin sowie 5 Studenten mit notfallmedizinischem Hintergrund gegen eine Gruppe von 3 Chirurgen verglichen.

Methoden: Allen Teilnehmern wurde vorab eine elektronische Lernhilfe zur Verfügung gestellt. Am Durchführungstag erhielten die Probanden eine mündliche Einführung und eine Demonstration an einer Leiche. Danach wurden von jedem Teilnehmer zwei Clamshell-Thorakotomien durchgeführt und die dafür benötigten Zeiten sowie die aufgetretenen Komplikationen notiert. Instrumente und Zugangsweg wurden an die Arbeit von Wise et al. adaptiert [32].

Ergebnisse: Die durchschnittlich benötigte Zeit bis zur Durchführung einer bimanuellen, offenen Herzdruckmassage belief sich auf 167 Sekunden (2:47 Minuten). Weder der Unterschied der benötigten Zeit noch die Komplikationsrate zwischen den Teilnehmergruppen zeigte eine statistische Signifikanz. Jedoch ist ein positiver Trend zwischen dem ersten und dem zweiten Durchgang erkennbar.

Diskussion: Diese Arbeit konnte zeigen, dass es auch für Notfallmediziner aus nicht-chirurgischen Stammdisziplinen möglich ist, mit geringem Aufwand, diesen Eingriff zu erlernen und sicher anzuwenden.

Abstract

Background: The emergency thoracotomy is not a widespread procedure, performed by non-surgical emergency physicians in Europe. Although enough data has been published that indicate a good survival and good neurological outcome after emergency thoracotomy [1,6], there is still need for a better training and enlightenment for emergency physicians. The aim of this study is to determine the time required to perform a thoracotomy and the a priori defined complication rate.

Material: We used 29 cadavers provided by the Anatomical Institute of the Medical University of Graz. A study group, consisting of three internal specialists and anaesthetists as well as five students, was compared to a group of three surgeons. Two clamshell thoracotomy was performed by each participant.

Methods: All participants received a manual about the procedure one week in advance. The same day all candidates were instructed by a cadaveric demonstration. The incision and the material we used was published by Wise et al. [32]. Times and a priori complications were recorded.

Results: The mean total time for the clamshell procedure amounted 167 seconds (2:47 min.) We could neither discover any statistical difference in the time among the different groups nor the complication rate. However, there is a positive tendency concerning the complication rate recognizable.

Conclusion: The clamshell incision can be taught easily to emergency physicians of any specialty, using anatomic cadavers and a theoretical manual.

Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNG.....	IV
ZUSAMMENFASSUNG.....	V
ABSTRACT	VI
INHALTSVERZEICHNIS.....	VII
GLOSSAR UND ABKÜRZUNGEN.....	IX
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	II
TABELLENVERZEICHNIS.....	III
1 EINLEITUNG	1
1.1 ALLGEMEINES	1
1.2 EPIDEMIOLOGIE.....	1
1.3 GESCHICHTE	2
1.4 ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE	4
1.4.1 <i>Anatomie des Thorax</i>	4
1.4.2 <i>Physiologie der Brustorgane</i>	10
1.5 PATHOPHYSIOLOGIE UND KINEMATIK DES THORAXTRAUMAS.....	13
1.5.1 <i>Grundlagen</i>	13
1.5.2 <i>Das penetrierende Thoraxtrauma</i>	14
1.5.3 <i>Das stumpfe Thoraxtrauma</i>	16
1.6 DIE PRÄKLINISCHE NOTFALLTHORAKOTOMIE – EIN ÜBERBLICK.....	18
1.6.1 <i>Hintergrund</i>	18
1.6.2 <i>Durchführung</i>	19
1.6.3 <i>Datenlage</i>	23
1.6.4 <i>Indikationsstellung</i>	27
2 MATERIAL UND METHODEN.....	34
2.1 EINFÜHRUNG.....	34
2.2 TEILNEHMER.....	34
2.3 UNTERRICHT.....	35
2.4 STUDIENPRÄPARATE.....	36
2.5 MATERIAL ZUR DURCHFÜHRUNG EINER NOTFALLTHORAKOTOMIE.....	36
2.6 MESSPUNKTE.....	37
2.7 STATISTISCHE AUSWERTUNG	37

3	ERGEBNISSE – RESULTATE	39
4	DISKUSSION	43
5	ABSCHLUSS	45
6	LITERATURVERZEICHNIS	46
	APPENDIX – STUDIENPROTOKOLL	51

Glossar und Abkürzungen

A

ADP *Adenosindiphosphat*
AIS *Abbreviated Injury Scale*
ANP *Atriales natriuretisches Peptid*
AV-Klappe *Atrioventrikular-Klappe*

D

DGU *Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie*

E

EAST *Eastern Association for Surgery of Trauma*
ERC *European Resuscitation Council*

F

FAST *Fast Assessment with Sonography in Trauma*

G

GCS *Glasgow Coma Scale*

H

HIV *Humanes Immundefizienz-Virus*
HKS *HerzKreislaufstillstand*
HOSS *Heart Only Sonographic Screening*

I

ISS *Injury Severity Score*

J

Jh. *Jahrhundert*

L

LAD *left anterior descending (artery) s. RIVA*

M

mbar *Millibar*

P

PEA *pulslose elektrische Aktivität*
PEP *Postexpositionsprophylaxe*

R

RIVA *Ramus interventricularis anterior*
ROSC *return of spontaneous circulation*

S

SD. *Standardabweichung*

U

USD *US Dollar*

V

VCI *Vena cava inferior*

μ

μm *Mikrometer*

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1 FLUSSDIAGRAMM PRÄKLINISCHE NOTFALLTHORAKOTOMIE	30
ABBILDUNG 2 RESULTATE THORAKOTOMIE 1	41
ABBILDUNG 3 RESULTATE THORAKOTOMIE 2	41

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1 ERGEBNISSE UND KOMPLIKATIONEN 42

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Der Begriff Notfallthorakotomie spaltet die notfallmedizinische Fachwelt immer wieder auf ein Neues. Auch wenn bis dato einige Publikationen veröffentlicht wurden, die auf ein Überleben und einen guten neurologischen Outcome nach durchgeführter Notfallthorakotomie [1] hindeuten, hat sich dieses Procedere noch nicht weitgehend durchsetzen können. Zu groß scheint (noch) der Respekt bei den, die Notfallmedizin dominierenden, konservativen Fachrichtungen, vor diesem hochinvasiven, wenngleich technisch leicht erlernbaren Eingriff zu sein.

Die Pathophysiologie eines traumatisch bedingten Herzkreislaufstillstandes (HKS) bringt es naturgemäß mit sich, dass sich die therapeutische Herangehensweise von einem medizinisch verursachten HKS unterscheidet. Nicht die externe Herzdruckmassage und Defibrillation, sondern die Beseitigung reversibler Ursachen stehen hier im Vordergrund [2]. Auch gibt es Hinweise, dass eine offene Herzdruckmassage Vorteile gegenüber einer Geschlossen mit sich bringt [3].

Diese Arbeit soll alle, dem derzeitigen Wissen entsprechenden, Vor- und Nachteile der Notfallthorakotomie beleuchten und etwaige Vorurteile abbauen.

1.2 Epidemiologie

Nahezu 60% aller traumatischen Todesfälle in Europa betrifft die Population der über 65-jährigen. Das bedeutet, dass die restlichen 40% auf die Gruppe der unter 65-jährigen fallen. Bei der Betrachtung der Gesamtzahl aller Todesfälle, ergibt sich, dass unter 65-jährige ein dreimal so hohes Risiko aufweisen, durch eine externe Gewalteinwirkung um ihr Leben zu kommen als ältere Personen. Zwischen dem 1 und 4, sowie dem 10 und dem 34 Lebensjahr ist der traumatische Tod die führende Todesursache. Den Höhepunkt erreicht diese Statistik bei den 15- bis 19-jährigen mit einem Anteil von 37%. Dieser Höhepunkt ist auf den Verkehrsunfall zurückzuführen, der sich für mehr als ein Viertel aller Todesfälle der 15- bis 19-jährigen verantwortlich zeigt [4]. Diese Statistiken zeigen, dass gerade bei jungen Menschen das Trauma eine der führenden Todesursachen ist. Insbesondere das

Thoraxtrauma repräsentiert mit 25-50% eine der Hauptursachen für traumatische Mortalität [5].

1.3 Geschichte

Historische Beschreibungen über thorakale Verletzungen und ihrer Behandlung reichen über Galen und Homer bis in das alte Ägypten zurück. Aber nicht nur die Antike, auch die Kriegsmedizin war im Begriff ihren Beitrag zu einem Fortschritt der modernen Chirurgie zu leisten. So bemängelte John Hunter, Chirurg der Britischen Armee im 18. Jahrhundert, etwa, dass im Allgemeinen zu wenig für verwundete Soldaten mit Thoraxverletzungen getan werde. Sein einziger Beitrag zu diesem Sujet, sollte jedoch der Vorschlag, bei einem Hämatothorax, der angesammelten Flüssigkeit im Brustraum eine Möglichkeit zu entweichen zu geben, bleiben. Dem pflichtete Baron Dominique-Jean Larrey, französischer Militärarzt und Leibchirurg Napoleons, Anfang des 19. Jahrhunderts zu. Larrey sollte später als Schöpfer der modernen Kriegschirurgie größere medizinhistorische Bekanntheit erlangen [6]. Die Thoraxdrainage war geboren.

Am 9. September 1896 sollte ein gewisser Ludwig Rehn herzchirurgische Geschichte schreiben. An diesem Tag entschloss sich der deutsche Chirurg und Chefarzt der Chirurgischen Klinik des Städtischen Krankenhauses in Frankfurt am Main dazu, eine Thorakotomie bei einem 22-jährigen Gärtnergehilfen durchzuführen. Der Gärtner war einen Tag zuvor bei einem Raufhandel durch einen Messerstich im linken Teil seines Brustkorbes verletzt und seitdem erfolglos konservativ therapiert worden. Nach Eröffnung des Brustkorbes fand Rehn eine Laceration des rechten Ventrikels, welche er durch eine Naht verschloss. Ab diesem Zeitpunkt war die technische Möglichkeit einer Herznaht unumstritten. Umstritten ist jedoch ein Zitat des Chirurgen Theodor Billroth:

„Der Chirurg der jemals versuchen würde, eine Wunde des Herzens zu nähen, kann sicher sein, dass er die Achtung seiner Kollegen für immer verlöre.“ [7]

Ob sich dieser Ausspruch tatsächlich so zugetragen oder durch einen Fehler bei der Übertragung entstanden ist, darf bezweifelt werden [7].

Im Laufe der Jahrzehnte weckte das Konzept der Notfallthorakotomie bei traumatischem Herzkreislaufstillstand und schwer kranken Menschen immer größeres Interesse unter der

Ärzteschaft. Zwei Jahrzehnte davor experimentierte ein gewisser Moritz Schiff bereits mit der offenen Herzdruckmassage. Ein gewisser Dr. G. Hake, englischer Physiologe, beschrieb bereits 1874 im *The Practitioner* die Arbeiten seines deutschen Kollegen, als er diesen in seinem Forschungslabor in Florenz besuchte. Aber Schiff experimentierte nicht nur mit der offenen Herzdruckmassage, sondern beschrieb auch den blutdrucksteigernden Effekt durch Kompression der thorakalen Aorta, nachdem er mittels Chloroform eine iatrogene Hypotonie geschaffen hatte. Die erste Beschreibung dieses Manövers an einem Menschen, geht auf Denis G. Zesas im Jahre 1903 zurück, der 20 Jahre davor (1880), einem gewissen Dr. Niehans diesen Eingriff assistierte [61]. Dieser Aufschwung nahm sein langsames Ende mit der Einführung der externen Herzdruckmassage durch Kouwenhoven et al. in den 60er Jahren des 20. Jh.s. [6].

In den 1990er Jahren konnte Davies et al. gute Ergebnisse im präklinischen Bereich erzielen [29].

Seit 2010 findet die Notfallthorakotomie auch Einzug in die European Resuscitation Guidelines; mit besonderem Nachdruck in der aktuellen Version von 2015 [53].

1.4 Anatomie und Physiologie

1.4.1 Anatomie des Thorax

1.4.1.1 Grenzen des Thorax

Als Thorax wird jene Höhle des Körpers bezeichnet, welche durch die Rippen einen knöchernen Käfig erfährt. Den kaudalen Abschluss bildet das Zwerchfell, Diaphragma, das sich kuppelförmig gegen den Inhalt der Brusthöhle vorwölbt. Dieser besondere Umstand bedingt, dass nicht ausschließlich die Organe der Brust, sondern auch die kranialen Eingeweide des Bauchraumes, insbesondere Leber und Milz, von den schützenden Rippen umschlossen werden.

Muss man dem Thorax eine genaue Grenze vorgeben, so bilden die knöchernen Strukturen ihre Grundlage. Die untere Öffnung, Apertura thoracis inferior, umfasst eine Linie, die ihren Ausgang an der Spitze des Schwertfortsatzes, Processus xyphoideus, nimmt. Sie folgt dem Rippenbogen und den Spitzen der drei letzten Rippen, um am Unterrand der zwölften Rippe folgend, im Dornfortsatz, Processus spinosus, der zwölften Rippe ihr Ende zu finden.

Die obere Öffnung, Apertura thoracis superior, wird durch den ersten Brustwirbel, den beiden ersten Rippen und dem Unterrand der Drosselgrube, Incisura jugularis sterni, gebildet.

Der Inhalt des Thorax, soweit man diesen als Gesamtheit der Brustorgane versteht, folgt allerdings nicht diesen Grenzen.

Gegen den Hals hin, überragen die Spitzen der Lungen nicht nur den Oberrand der ersten Rippe, sondern in der Ansicht von vorne, auch das Schlüsselbein, Clavicula. Allerdings überschreiten sie die Höhe des ersten Brustwirbelkörpers nicht.

Gegen das Cavum abdominalis, der Bauchhöhle, hin, verschiebt sich die Grenze der Eingeweide nach kranial, wodurch, wie bereits vorhergehend erwähnt, Bauchorgane Schutz innerhalb der Grenzen des Brustkorbes finden. In einer Mittelstellung zwischen maximaler Inspiration und Expiration, schieben sich die beiden Zwerchfellkuppeln, rechtsseitig in den vierten und linksseitig, in den fünften Interkostalraum.

1.4.1.2 Der knöcherne Thorax

Der knöcherne Thorax wird durch zwölf Rippenpaare, die Brustwirbelsäule, Columna vertebralis, und dem Brustbein, Sternum, gebildet. Seine Form gleicht einem gegen kaudal

und kranial offener Kegel, der nach oben hin abgeschnitten ist und dessen Spitze nach kranial zeigt. Die oberen Rippen, nehmen beim Erwachsenen, einen von hinten oben nach vorne unten, absteigenden Verlauf, wohingegen die weiter kaudal gelegenen Rippen eine mehr horizontale Ausrichtung annehmen.

Die gelenkige Verbindung der Rippen mit der Wirbelsäule erlaubt dem Thorax, sich bei Inspiration auszudehnen. Auch kann sich dieser Umstand zum Beispiel bei der Anlage einer Thoraxdrainage vorteilhaft zeigen. Abduziert man den Oberarm um circa 180 Grad, erweitern sich die Interkostalräume und erleichtern die Insertion einer Drainage in den Interpleuralspalt.

1.4.1.3 Der Weichteilmantel des Thorax

Betrachtet man den Thorax an einem lebenden Menschen, so wird er, vor allem an einem trainierten Mann, ebenso an einen abgeschnittenen Kegel erinnern. Allerdings liegt die Basis jetzt am Hals und den Schultern und das gestutzte Ende zieht gegen das Abdomen. Dieser Umstand liegt in der Masse des Weichteilmantels, welcher im Bereich des Schultergürtels sein größtes Ausmaß findet.

Die durch die Rippen frei gelassenen Zwischenrippenräume, werden von den Interkostalmuskeln, die sich in drei verschiedene Gruppen aufteilen, ausgefüllt. Gegen die beiden Schultern und Oberarme zieht die sogenannte Schultergürtelmuskulatur. Der knöcherne Brustkorb selbst und die Brustwirbelsäule dienen als Ursprung und Ansatz einer Vielzahl rumpfstabilisierender Muskeln, welche hier aufzuführen das Ausmaß dieser Arbeit sprengen würde.

Erwähnt sei nur, dass die vordere Achselfalte durch den großen Brustmuskel, *Musculus pectoralis major*, und die hintere Achselfalte durch den großen Rückenmuskel, *Musculus latissimus dorsi*, aufgeworfen wird. Ihre größte Ausdehnung finden diese Falten wiederum bei Abduktion des Oberarmes. Ein Umstand, den man sich bei der Lokalisation der Einstichstelle einer Thoraxdrainage zu Nutze machen kann.

1.4.1.4 Die Brusthöhle

Die anatomische Nomenklatur beschreibt drei Höhlen im menschlichen Körper die von serösen Häuten umzogen sind und somit als seröse Höhlen bezeichnet werden können. Zwei von diesen befinden sich im Cavum thoracis, der Brusthöhle. Die dritte Höhle dieser Art, das Cavum abdominalis, die Bauchhöhle, befindet sich zwar nicht direkt in der

Brusthöhle, reicht aber, nur begrenzt durch das Zwerchfell, über die Grenzen des knöchernen Thorax. Somit befinden sich alle drei serösen Höhlen in mehr oder minder enger Beziehung. Wie schon eingangs erwähnt, dient dieser Umstand dem Schutz wichtiger Bauchorgane.

Nun soll auf die beiden, sich in der Brusthöhle befindlichen Höhlen eingegangen werden. An dieser Stelle sei erwähnt, dass der Hohlraum in dem sich die Lunge befindet natürlich paarig angelegt ist und dementsprechend, je nach Geschmack des Lesers, auch eine vierte seröse Höhle eingerechnet werden kann. In dieser Arbeit sollen jedoch die beiden Lungenhöhlen zusammengefasst und nur von drei Hohlräumen gesprochen werden. Im Cavum pleurae, das von der Pleura parietalis, dem Rippenfell, ausgekleidet wird, befindet sich die, von Pleura visceralis, dem Lungenfell, überzogene, Lunge. Jede Lunge füllt ihr Cavum, bis auf den Pleuraspalt und die Recessus, nahezu vollständig aus. Zwischen den beiden Pleurahöhlen liegt der Mittelfellraum, Mediastinum, in welchem, eingeschlossen in die dritte und somit letzte seröse Höhle, dem Herzbeutel, Pericardium, das Herz liegt. Alle diese Höhlen sind vollkommen in sich geschlossene Säcke.

1.4.1.5 Die Lunge

Die Lunge ist ein paarig angelegtes Organ, das dem Gasaustausch dient. Morphologisch unterscheidet sich die rechte von der linken Lunge darin, dass sich am rechtsseitig angelegten Organ ein Lappen mehr befindet. Somit lässt sich rechts die Lunge in drei, links in zwei Lappen unterteilen. Die Lunge selbst legt sich ganz eng an die sie umgebende seröse Haut, die Pleura parietalis an. Dieser Umstand wird durch den im Pleuraspalt herrschenden Unterdruck und einem Flüssigkeitsfilm erzeugt.

Die große Besonderheit der Lunge liegt nun darin, dass im Moment der Eröffnung des Thorax, das Organ in sich selbst zusammenfällt. Dadurch kann die Lunge der Erweiterung des Thorax und somit der Inspirationsbemühung nicht mehr folgen. Somit ist eine physiologisch funktionierende Lunge nicht ausschließlich an die Intaktheit des Organs selbst gebunden, sondern vielmehr auch an die Intaktheit ihres physikalischen Umfelds. Sei es aufgrund eines Unfalls oder in iatrogener Absicht, muss bei Eröffnung des Thorax mit einer kollabierten Lunge gerechnet werden.

1.4.1.6 Das Herz

Das Herz, Cor, das Organ, um welches sich ein Großteil dieser Arbeit drehen soll, ist ein muskulöses Hohlorgan mit vier Kammern. Das Herz übernimmt zum einen die wichtige Aufgabe der Pumpfunktion ist aber auch ein endokrines Organ.

Das Herz liegt schräg zur Körperachse im Mediastinum, so dass seine Basis, nach hinten oben und seine Spitze, Apex cordis, nach unten vorne blickt. Seine quere Lage bedingt, dass sich zwei Drittel der Masse links der Medianlinie befinden. Ein Umstand, der den fehlenden dritten Lappen der linken Lunge erklärt.

Eröffnet man den Brustkorb und verschafft sich Zugang zum Herzen, erblickt man den Herzbeutel, Pericardium. Der Herzbeutel selbst besteht aus einem inneren, serösen und einem äußeren, fibrösen Pericardium. Das innere Pericardium ist ein seröser Sack, der der reibungslosen Beweglichkeit und der Volumenänderung des Herzen dient. Das Pericardium serosum besteht, wie jede seröse Hülle, aus einem parietalen, und einem viszeralen Blatt, wobei das viszerale Blatt sich als Epikard dem Myokard anlagert.

Klinisch weitaus bedeutsamer jedoch, ist die Ansicht des Herzbeutels von vorne. In dieser erkennt man, dass zwei Gefäß-Nerven-Bündel an den Seitenkanten nach kaudal ziehen. Diese Strukturen sind der Nervus phrenicus und die Vasa pericardiacophrenica, wobei sich das rechtsseitige Gefäß-Nerven-Bündel etwas mehr nach dorsal verlagert. Macht man sich diesem Umstand bewusst, lässt sich womöglich eine potentielle Verletzung der oben erwähnten wichtigen Strukturen, bei einer möglichen therapeutischen Intervention, verhindern. Dadurch scheint eine Inzision des Herzbeutels entlang der Verlaufsstruktur, also vertikal, risikoärmer.

Eröffnet man den Herzbeutel in der oben genannten Weise, erblickt man nun das Herz in seiner Vorderansicht, Facies sternocostalis. Die facies sternocostalis geht nun rechtsseitig, durch einen scharfen Rand, Margo dexter, getrennt, in die dem Zwerchfell aufliegende Fläche, Facies diaphragmatica, über. Linksseitig trennt ein etwas weicherer Übergang, Margo obtusus, die Vorderfläche von der linkslateralen Ansicht, Facies pulmonalis.

Bedenkt man, dass das Herz auch rechtsseitig an die Lunge grenzt, erscheint diese Bezeichnung etwas verwirrend. Der Basis des Herzens aufgesetzt, erblickt man die Stämme der großen Gefäße. Aus dem rechten Ventrikel kommend, der Truncus pulmonalis, der sich nach dorsal hin kurz nach der Aortenwurzel in eine Arteria pulmonalis sinister und eine Arteria pulmonalis dexter aufspaltet. Etwas weiter oben und hinten als der Truncus pulmonalis, entspringt die Aorta um sich zuerst mit ihrer Pars ascendens vor und dann mit ihrem Arcus aortae hinter die Aufzweigung des Truncus pulmonalis zu schieben.

Betrachtet man das muskulöse Organ von vorne etwas genauer, erkennt man eine vertikale Kerbung, die links der Mittellinie gegen den Apex verläuft. In dieser Kerbe, Sulcus interventricularis anterior, verläuft die gleichnamige Arterie, als Ramus interventricularis anterior (RIVA) bezeichnet. Unter Klinikern besser bekannt als LAD, *left anterior descending*. Diese Kerbe dient gleichzeitig als Trennlinie zwischen dem rechten und linken Ventrikel. Da diese Trennlinie naturgemäß nach links verschoben ist, nimmt nahezu das gesamte Ausmaß der Facies sternocostalis der rechte Ventrikel und das rechte Atrium ein. Ein Umstand, den man sich bei eventuellen Stichverletzungen von vorne, bewusst machen sollte. Außerdem kann man noch eine weitere Aussackung, die dem Raum zwischen der oberen Hohlvene, Vena cava superior und der Aortenwurzel zu entspringen scheint, ausmachen. Man hat soeben das rechte Herzohr, Auricula dexter, erkannt. Die genaue Funktion dieser Aussackung ist noch nicht vollends geklärt. Als gesichert kann allerdings betrachtet werden, dass sie eine wichtige Funktion in der Produktion des Hormones ANP (Atriales natriuretisches Peptid) spielt. Etwas verdeckt durch das rechte Herzohr, befindet sich der Ursprung der rechten Herzkranzarterie, Arteria coronaria dexter, die dann an der Basis des rechten Herzohres, zwischen dem rechten Vorhof und der rechten Kammer, nach dorsal zieht, um als Ramus interventricularis posterior gegen die Herzspitze zu ziehen und mit dem Ramus interventricularis anterior zu anastomosieren.

Eröffnet man nun den rechten Vorhof um in weiterer Folge den Weg des Blutes zu nehmen, gelangt man über eine dreisegelige Klappe, der Valvula tricuspidalis, in den Einflusstrakt der rechten Kammer. Die recht dünne Muskulatur des rechten Herzens erscheint hier in Trabekel. Die weiter vorne und oben gelegene Ausflussbahn treibt uns nun durch die Pulmonalklappe in den Truncus pulmonalis weiter. Die Pulmonalklappe ist im Gegensatz atrioventrikulären Trikuspidalklappe keine Segel- sondern eine Taschenklappe. Nun nimmt das Blut seinen Weg durch die Lunge um sich in den Kapillaren mit Sauerstoff anzureichern und das angesammelte Kohlenstoffdioxid abzugeben. Über eine der vier Lungenvenen erreichen wir den glattwandigen, linken Vorhof. Nimmt man nun den Weg nach ventral, so gelangt man in das linke Herzohr. Ein Ort, in dem sich bei Vorhofflimmern Thromben bilden können.

Über die zweisegelige Mitral- oder Bikuspidalklappe gelangt man nun in eine zerklüftete Einflussbahn um über eine glattwandige Ausflussbahn und die Aortenklappe in den aufsteigenden Teil der Aorta zu gelangen.

Die beiden Herzkammern sind über ein großteils muskuläres Kammerseptum voneinander getrennt. Nur ein kleiner Teil, unmittelbar kaudal der rechten und hinteren Tasche der

Aortenklappe ist membranös. Projiziert man die Ränder des Kammerseptums an die Herzoberfläche, so erkennt man eine Übereinstimmung mit den schon bekannten Einkerbungen, Sulci interventriculares anterior und posterior.

Das Herz selbst ist in drei Schichten aufgebaut. Von innen nach außen sind das Endokard, Myokard und Epikard, wobei die Dicke der Herzwand nahezu ausschließlich durch das Myokard bestimmt wird [9, 10, 11, 12, 13].

1.4.2 Physiologie der Brustorgane

1.4.2.1 Die Lunge – Atemmechanik

Da die gesamte Physiologie der Lunge und der Atmung diese Arbeit bei weitem sprengen würde, wird im Folgenden nur auf die relevanten Details eingegangen.

Als äußere Atmung bezeichnet man den Gasaustausch zwischen den Alveolen und dem Blut. Sauerstoff muss aus der Atmosphäre aufgenommen und Kohlendioxid abgegeben werden.

Als innere Atmung wird die Verbrennung der Nährstoffe mittels Sauerstoff zu Kohlendioxid und Wasser bezeichnet. Das dabei entstehende Endprodukt ist das energiereiche Adenosindiphosphat (ADP).

Um eine funktionierende äußere Atmung zu gewährleisten, ist eine intakte Atemmechanik von Nöten. Der wichtigste Inspirationsmuskel ist das Zwerchfell, Diaphragma, das von dem aus den Segmenten C₃₋₅ stammenden Nervus phrenicus versorgt wird. Wie vorhergehend erwähnt, verläuft der Nervus phrenicus an den beiden Seitenrändern des Herzbeutels Richtung kaudal. Kommt es hier zu einer Verletzung, zum Beispiel im Rahmen einer Eröffnung des Herzbeutels, hätte dies Auswirkungen auf die Atemmechanik. Bei einer Kontraktion des Zwerchfells kommt es zu einer Abflachung desselben und somit zu einer konsekutiven Vergrößerung der Thoraxvolumens. Diese Volumenänderung bewirkt einen Unterdruck und dadurch einen Druckgradienten gegenüber der Atmosphäre der in Richtung Alveolen zeigt. Unter Ruhebedingungen deckt das Zwerchfell circa zwei Drittel dieser Atemarbeit. Das restliche Drittel wird von den Musculi intercostales externi, den äußeren Zwischenrippenmuskeln, bewältigt. Kommt es zu einer Verletzung des Rückenmarks auf Höhe der Segmente aus welchen der Nervus phrenicus entstammt, ist es ein Leichtes sich die daraus folgenden Konsequenzen abzuleiten. In diesem Falle wäre nicht nur das Zwerchfell betroffen, sondern auch die Gesamtheit der Interkostalmuskulatur, welche aus den ihrer Höhe entsprechenden motorischen Ästen des Brustmarks versorgt wird.

Bei Ruheatmung ist die Expiration ein rein passiver Vorgang, der auf der elastischen Retraktionsfähigkeit der Lunge beruht. Bei einer forcierten, beschleunigten Expiration müssen die inneren Interkostalmuskeln, Musculi intercostales interni, zum Einsatz gebracht werden.

Damit die Lunge den Expansionsbewegungen der Thoraxwand folgen kann, muss eine Verbindung zwischen der Pleura parietalis, dem Rippenfell, und der Pleura visceralis, dem

Lungenfell hergestellt werden. Diese Verbindung dieses circa 10µm dicken Pleuraspaltes wird durch einen dünnen Flüssigkeitsfilm und einen Unterdruck sichergestellt. Dieser Unterdruck befindet sich bei normaler Spontanatmung in Inspiration bei circa -8 mbar. Kommt es nun zu einer Verbindung dieses Spaltes mit der Atmosphäre, sei es aufgrund eines Unfalles, zum Beispiel einem Messerstich, oder iatrogen, bei Anlage einer Thoraxdrainage, bricht dieser Unterdruck zusammen und die Lunge kollabiert. Ein Pneumothorax entsteht. Dabei ist es nicht von Relevanz ob dieser Anglich an den Atmosphärendruck über eine direkte Verbindung durch die Brustwand hindurch, oder über die eröffnete Lunge selbst, wie zum Beispiel beim Platzen einer Emphyseblase, entsteht [14, 15, 16].

1.4.2.2 Die Physiologie des Herzens

Das Herz ist das erste Organsystem des Menschen, das seine Arbeit aufnimmt. Der Herzschlag beginnt um den 23. Tag der Entwicklung [17]. Aber nicht nur dieses Faktum macht das Herz zu einem besonderen Organ. Das Herz ist ein sogenanntes autonomes Organsystem. Selbst wenn man die, das Herz versorgenden Nerven, durchtrennen würde, schlägt es in einem regelmäßigen Rhythmus von circa 70 bis 80 Schlägen pro Minute. Für diesen Rhythmus zeigen sich spezialisierte Zellen, sogenannte Schrittmacherzellen verantwortlich. Diese Schrittmacherzellen sind Herzmuskelzellen, die in der Lage sind, spontan zu depolarisieren und somit eine weiterführende Erregung auszulösen. Das primäre Schrittmacherzentrum ist der Sinusknoten, der sich im rechten Vorhof befindet. Neben dem Sinusknoten gibt es noch untergeordnete Schrittmacherzentren, die dann zum Einsatz kommen, sollte die Erregung durch den Sinusknoten ausfallen oder nicht weitergeleitet werden. Da ein untergeordnetes Schrittmacherzentrum nur dann eine Erregung auslösen kann, wenn die Erregung des Sinusknoten entfällt oder nicht weitergeleitet wird, muss die Eigenfrequenz des untergeordneten Zentrums niedriger sein, als die des Sinusknoten. Somit versteht es sich von selbst, dass je distaler ein Ersatzzentrum die Schrittmacherfunktion übernehmen muss, die Frequenz immer mehr abnimmt.

Wird diese elektrische Information in mechanische Arbeit umgewandelt, sprich der Herzmuskel führt die durch das Reizleitungssystem geleitete Erregung aus, spricht man von elektromechanischer Koppelung. Kann das elektrische Signal nicht in eine mechanische Antwort umgewandelt werden, spricht man von einer elektromechanischen Entkoppelung, oder pulsloser elektrischer Aktivität. Ein Zustandsbild, das mit einem

Viertel aller initialen Herzrhythmen bei traumatisch bedingtem Herzkreislaufstillstand, assoziiert ist [18].

Mechanische Aktivität oder Herzmechanik beschreibt die Phasen einer Herzaktion.

Grundsätzlich kann diese in Systole und Diastole unterteilt werden. Die Systole wiederum teilt sich in eine Anspannungs- und eine Austreibungsphase. In der Anspannungsphase kommt es zu einer Kontraktion der Herzkammern, Ventrikel, und zu einem konsekutiven Druckanstieg. Diese Drucksteigerung hat zur Folge, dass sich nun die AV-Klappen schließen. Somit sind zu diesem Zeitpunkt alle Klappen geschlossen. Übersteigt nun der Innendruck den in der Aorta und Truncus pulmonalis herrschenden Druck, öffnen sich die Taschenklappen und es kommt zur Austreibungsphase. Sobald der Druck in den großen Gefäßen den Innendruck der Ventrikel wieder übersteigt, schließen sich die Taschenklappen. Die Austreibungsphase ist beendet.

Die Diastole unterteilt sich in eine Entspannungs- und eine Füllungsphase. Die Entspannungsphase schließt an die Austreibungsphase. Alle Klappen sind geschlossen. Fällt nun der Innendruck der Ventrikel unter den der Vorhöfe, öffnen sich die AV-Klappen und die Füllungsphase beginnt.

Kommt es nun zu einer akuten Ansammlung von Flüssigkeit im Herzbeutel, führt dies zu einer Kompression des Herzens bis zur völligen Unfähigkeit eine normale Herzaktion durchzuführen. Man spricht von einer Herzbeuteltamponade [15, 16].

1.5 Pathophysiologie und Kinematik des Thoraxtraumas

1.5.1 Grundlagen

Laut dem Traumaregister der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie e. V. (DGU) lässt sich bei schwerstverletzten Patienten mit einem Injury Severity Score von ≥ 16 Punkten ein relativer Anteil an Thoraxtraumata von etwa 60% feststellen. Berücksichtigt werden hierbei nur Verletzungsmuster von mindestens 2 Punkten (mäßig) der Abbreviated Injury Scale (AIS) [20]. Betrachtet man den Gesamtanteil aller Thoraxtraumata, also auch Verletzungen bei Patienten, die einen geringeren ISS Score als 16 Punkte aufweisen, so ergibt sich ein Anteil von etwa 45% [21].

Um so wichtiger scheint es, sich mit der Pathophysiologie und vor allem auch den Entstehungsmechanismen des Thoraxtraumas auseinanderzusetzen.

Grundsätzlich muss bei der Abhandlung der pathophysiologischen Vorgänge im Rahmen eines Traumas gegen den Brustkorb zwischen dem penetrierenden oder spitzen Thoraxtrauma und einem stumpfen Verletzungsmuster unterschieden werden. Auf den ersten Blick scheint das Verständnis des penetrierenden Traumas einfach. Abhängig von Größe und Form des penetrierenden Gegenstandes kann auf das Ausmaß der zu erwartenden Verletzung rückgeschlossen werden. Man muss sich jedoch vor Augen führen, dass eingeführte Gegenstände, zum Beispiel ein Messer, Rotationsbewegungen innerhalb des Körpers unterliegen können. Denkt man an Verletzungen die durch eine Schusswaffe entstanden sind, so reicht es nicht Ein- und Austrittswunde durch eine gedachte Linie zu verbinden um auf den verursachten Schaden folgern zu können. Diese Überlegungen sind von Bedeutung um eine etwaige Herzbeteiligung ein- beziehungsweise auszuschließen.

Viel häufiger als das penetrierende Trauma findet man zumindest im mitteleuropäischen Raum das stumpfe Thoraxtrauma. Mit einem Anteil von unter 10% erscheint die penetrierende Ätiologie hingegen selten [19].

1.5.2 Das penetrierende Thoraxtrauma

Wie eingangs erwähnt handelt es sich beim Entstehungsmechanismus des penetrierenden Thoraxtrauma um ein mehr oder minder spitzes Objekt, das die Brustwand durchdringt, um dann entweder in der Brusthöhle zu verbleiben oder den Thorax wieder zu verlassen. Sei es durch die Eintrittswunde oder durch eine zweite, sogenannte Austrittswunde. Der durch dieses Objekt verursachte Organschaden hängt zum einen von der Größe und Gestalt und zum anderen von der mit dem Objekt eingebrachten Energie und der Schadenslokalisation ab.

Der einfachste denkbare Schadensfall im Zuge einer Penetrationsverletzung ist die Eröffnung der Thoraxwand. Die Konsequenz dieser Verletzung ist der Druckausgleich des Pleuraspaltes an die, in der Atmosphäre herrschenden, Druckverhältnisse. Die Lunge verliert ihre Adhäsionsfähigkeit zu der Thoraxwand und zieht sich aufgrund ihrer Retraktionsfähigkeit zusammen. Sie kann somit den Atemexkursionen der Brustwand nicht mehr folgen. Ein Pneumothorax entsteht. In seiner einfachsten Form stellt sich der Pneumothorax als geschlossener Pneumothorax dar. Luft ist in den Pleuraspalt eingedrungen, die Eintrittswunde schließt sich aber direkt nach der Penetration wieder, weil sich zum Beispiel das Weichteilgewebe über die Öffnung schiebt. Ein Grund hierfür könnte zum Beispiel die Anlage eines zentralvenösen Katheters in die Vena subclavia sein. Beim offenen Pneumothorax kann die Luft über die Wunde ein- und austreten. Der betroffene Lungenflügel ist zwar kollabiert, der gegenüberliegende Flügel kann aber, sofern nicht betroffen, weiterhin an der Ventilation teilnehmen. Denkt man an die Anlage einer Thoraxdrainage, ohne ein Ventil oder einen Sog anzuschließen, würde dieser Fall eintreten. Die gravierendste Konsequenz ergibt sich bei Entstehung eines Ventilmechanismus, bei welchem Luft ein- aber nicht ausdringen kann. Bei andauernder Spontanatmung oder künstlicher Beatmung, generiert sich ein Überdruck. Wird dieser Kreislauf nicht unterbrochen, kommt es zu einem lebensbedrohlichen Zustandsbild. Das entstandene Spannungsverhältnis übt zum einen Druck auf den kontralateralen Lungenflügel und zum anderen auf das Herz mit seinen zu- und abführenden Gefäßen aus. Übersteigt dieser Druck ein bestimmtes Maximum kommt es zu einer respiratorischen Dekompensation und zu einem obstruktiven Schock. Die respiratorische Komponente lässt sich dadurch erklären, dass sich der Mittelfeldraum, Mediastinum, mit seinen Inhaltsgebilden auf die gesunde Seite hin verlagert. Es wird somit ein erhöhter Druck auf den gesunden Lungenflügel ausgeübt und die benötigte Atemarbeit steigt an, bis die erschwerten Bedingungen nicht mehr kompensiert werden können. Das Zustandsbild wird

zusätzlich erschwert, da die initial betroffene Lunge nicht am Gasaustausch teilnehmen kann. Die schwächsten Komponenten im mediastinalen System sind, aufgrund ihrer anatomischen Gegebenheiten, die Venen. Durch die Verlagerung der Organe kommt es zu einem Abknicken der unteren Hohlvene, Vena cava inferior (VCI) und dadurch zu einer Verminderung des venösen Rückstroms. Das Zustandsbild eines Schocks entsteht. Grundsätzlich muss bei jedem Thoraxtrauma, sei es spitzer oder stumpfer Genese mit einem (Spannungs-)Pneumothorax gerechnet werden. Denn auch eine ursächlich stumpfe Gewalteinwirkung kann, bei konsekutiver Rippenfraktur, zu einer spitzen Pathogenese führen [18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25].

Aber nicht nur eintretende Luft kann zu einer Verschiebung der Druckverhältnisse im Thorax führen. Bedenke man, ein scharfer Gegenstand dringe in die Brusthöhle ein und verletze eine Arterie, so kann das austretende Blut analog zur Luft, genauso zu einer Spannungssymptomatik führen. Die Therapie ist im Übrigen die gleiche. Nämlich die Wiederherstellung ausgeglichener Druckverhältnisse. Ein Spezialfall tritt ein, wenn das Zwerchfell betroffen ist und sich eigentlich intrabdominelle Organe in den Brustraum vorschieben. Man spricht von einem Enterothorax [19].

Trifft das penetrierende Objekt auf ein Organ, kommen weitere pathophysiologische Überlegungen hinzu. Wie eingangs erwähnt, lassen Eintritts- und Austrittswunden nur bedingt Rückschlüsse auf das zu erwartende Verletzungsmuster zu.

Ist das betroffene Organ das Herz mit seinen angrenzenden Gefäßen, ist das Mortalitätsrisiko stark abhängig von der direkten Lokalisation der Verletzung am Organ oder Blutgefäß. Lacerationen der Aorta führen mit mehr als 90% zum Tod am Unfallort oder am Transport, nahezu ebenso vulnerabel ist der linke Ventrikel. Erreichen die Patienten hingegen lebend das Krankenhaus, liegt das Mortalitätsrisiko für Aortenverletzungen immerhin noch bei etwa 60%. Das geringste Mortalitätsrisiko weist eine Verletzung des rechten Ventrikels mit 7,5% auf.

Die Wahrscheinlichkeit eine Herzbeutelamponade und somit eine potentiell reversible Ursache des Herzkreislaufstillstandes, zu entwickeln, ist bei Patienten die lebend das Krankenhaus erreichen, mehr als doppelt so hoch [25].

1.5.3 Das stumpfe Thoraxtrauma

Betrachtet man die Mechanismen des stumpfen Traumas, unterscheidet man zwischen dem Akzelerations- und dem Dezelerationstrauma. Grundsätzlich wird die auftretende Energie über den muskuloskelettalen Apparat an die inneren Organe weitergegeben. Hinweise auf die Größe der abgegebenen Energie können beim Erwachsenen zum Beispiel Knochenbrüche sein. Bei Kindern ist hier jedoch Vorsicht geboten, da das knöcherne Skelett des Kindes eine außergewöhnliche Elastizität besitzt und die auftretende Energie an die inneren Organe weitergeleitet wird. Beim Akzelerationstrauma, auch Trauma durch Beschleunigung, trifft ein Gegenstand auf den Körper, in diesem Fall der Brustkorb, auf. Der Körper wird beschleunigt. Ein Beispiel hierfür wäre der Schlag mit einem Baseballschläger auf den Körper. Der hierzulande weitaus häufigere Mechanismus ist das Dezelerationstrauma, oder Trauma durch Abbremsen. Der beschleunigte Körper wird durch ein plötzliches Hindernis abrupt abgebremst. Wichtigste Beispiel ist hier der Verkehrsunfall.

Durch diese Mechanismen kommt es zu Scher- und Kompressionskräften. Scherkräfte treten auf, wenn ein Organ oder Gewebe in der Lage ist, schneller die Richtung der Beschleunigung zu wechseln als seine Umgebung. Kompressionskräfte treten auf wenn ein Organ oder Gewebe durch seine Umgebung komprimiert wird. Obwohl differente Pathomechanismen zwischen einem stumpfen und einem penetrierenden Thoraxtrauma vorliegen, können die Konsequenzen ähnlich oder gar dieselben sein. Durch die ebengenannten Scherkräfte kann es zu Einrissen in der Lunge und der Pleura kommen. Auch können gebrochene Rippen Lunge und Pleura durchstoßen und zu denselben Konsequenzen wie ein penetrierendes Trauma führen. Luft strömt ein und es kommt zu einem Pneumothorax oder sogar einem Spannungspneumothorax. Kommt es zu Einrissen und darauffolgender Einblutung des Lungengewebes, spricht man von einer Lungenkontusion. Abhängig von der Größe des betroffenen Areals kann es zu eingeschränkten Gasaustausch führen.

Ist der knöcherne Thorax soweit verletzt, zum Beispiel durch eine Serienrippenfraktur, dass er Instabilitäten aufweist, kann das betroffene Areal den Einatembemühungen des Brustkorbes nicht mehr folgen und es kommt, in Abhängigkeit der Größe, zu Ventilationsstörungen. Dieses Krankheitsbild versteht man unter dem Begriff: „paradoxe Atmung“.

Trifft stumpfe Gewalt auf das Herz, kommt es analog zur Lunge zu Kompressionen des Herzgewebes. Diese Energie kann zum einen zu Herzrhythmusstörungen und zum anderen

zu Einblutungen führen. Einblutungen in das Myokard können zu Beeinträchtigungen der Herzaktion führen.

Führt man sich vor Augen, dass das Herz und der Aortenbogen, Arcus aorte, eine relativ hohe Bewegungsfreiheit, im Gegensatz zu der fest mit der Wirbelsäule verwachsenen Pars descendens der Aorta aufweist, ist es nachvollziehbar, dass es bei Auftreten von Scherkräften zu Einrissen in der Gefäßwand der Hauptschlagader kommen kann. Dieses Phänomen kann augenscheinlich am Modell einer Glocke erläutert werden. Das Herz, befestigt an der Aorta, schwingt, vergleichbar mit einem Glockenschlägel, sobald Energie auf den Thorax beziehungsweise die Glocke auftrifft.

Weitere Verletzungsmuster des stumpfen Thoraxtraumas sind Abrisse und Teilabriss des Bronchialsystems und Zwerchfelleinrisse [22, 23, 24].

1.6 Die präklinische Notfallthorakotomie – ein Überblick

1.6.1 Hintergrund

Der Begriff Notfallthorakotomie findet in den letzten Jahren immer mehr Einzug in einschlägige Literatur und nicht zuletzt in die Entscheidungsfindung in notfallmedizinischen Einrichtungen. Sei es im innerklinischen oder präklinischen Bereich. Ein Grund hierfür mag eine Reihe von Veröffentlichungen hoffnungserweckender Daten sein [25, 26, 27, 28, 29]. Allerdings zeigt sich die Suche nach diesen Daten mit einigen Schwierigkeiten verbunden. Eine Vielzahl verschiedener Definitionen des Begriffs Notfallthorakotomie stehen dem Suchenden gegenüber. Diese zeigen sich in Abhängigkeit von Ort (Unfallort, Notaufnahme, Operationssaal, etc.), Anwender, Zeitpunkt und Zustand des Patienten [6]. Gerade die Frage des Anwenders gewinnt immer mehr an Bedeutung [2]. Wer gilt als erfahrener Anwender, beziehungsweise ist es möglich erfahrene Anwender im präklinischen Bereich einzusetzen? Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Studie liefert Hinweise hinsichtlich solcher Fragestellungen [2]. Es müssen aber noch mehr Daten in diese Richtung im Laufe der nächsten Jahre gesammelt werden.

Eine weitere Herausforderung stellt die Datenlage im präklinischen Bereich dar. Ursache für die kaum ausreichende Datenlage ist zum einen die Voraussetzung eines Arzt-gestützten Rettungsdienst-Systems und zum anderen nicht repräsentative Fallzahlen in solchen Systemen. Einige präklinische Daten liegen aus militärischen Konflikten vor. Wobei jedoch zu erwähnen ist, dass Verletzungen des Schlachtfeldes möglicherweise nur schwer mit dem klinischen Erscheinungsbild ziviler Traumapatienten zu vergleichen ist [26, 27]. Die größte Datensammlung im Bereich präklinische Notfallthorakotomie stammt von Davies et al. die gute präklinische Ergebnisse zeigen konnten [29].

Im Vergleich zwischen präklinischen und klinischen Daten zeigen die intrahospitalen Ergebnisse einen Überlebensvorteil gegenüber Thorakotomien am Notfallort. Hierbei ist allerdings zu bedenken, dass Patienten, die vor Ort einer sofortigen operativen Intervention bedürfen, schwerer verletzt sind als Verunfallte, die ein Krankenhaus lebend erreichen [28]. Somit ist eine Vergleichbarkeit nur eingeschränkt möglich und es bedarf weiterer präklinischer Daten.

Ein wichtiger Schritt in der Begutachtung der präklinischen Notfallthorakotomie wird die Beantwortung folgender drei Fragen sein: Wer soll diesen Eingriff durchführen? Wann soll der Eingriff durchgeführt werden? Wo soll dieser Eingriff durchgeführt werden? [6].

Aufgrund der spärlichen Datenlage werden in dieser Arbeit sowohl innerklinische als auch aus dem militärischen Umfeld bezogene Daten zur Analyse herangezogen, nicht auch zuletzt um die Frage des Ortes zu klären.

1.6.2 Durchführung

Die Art und Weise wie eine Notfallthorakotomie durchgeführt wird, hängt in einem außerordentlichen Maße vom Anwender beziehungsweise, wenn innerklinisch durchgeführt, vom jeweiligen Zentrum ab. Von herzchirurgischer Seite wird auch in der Notfallsituation die mediale Sternotomie bevorzugt. Grund hierfür ist die bessere Übersicht, im Gegensatz zur linksseitigen anterolateralen Thorakotomie, gerade bei Verletzungen die von rechts parasternal zugefügt wurden. Eine weitere Möglichkeit ist die bilaterale anteriore Thorakotomie („Clamshell“), die zwar den größtmöglichen Überblick aller wichtigen thorakalen Organe bietet [31], aber natürlich einen weitaus aggressiveren Ansatz darstellt. Die Vor- und Nachteile dieses Zugangs werden im Laufe dieser Arbeit noch diskutiert werden. Wie eingangs erwähnt hängt der zu wählende Zugang stark vom Anwender ab. Der Zugang muss jedoch den raschestmöglichen, definitiven Überblick über die zu erwartende verletzte Struktur und die sofortige Möglichkeit der Intervention gewährleisten. Bei der Auswahl eines geeigneten Zugangs die zu erwartende verletzte Struktur in die Entscheidungsfindung miteinzubeziehen, birgt ein gewisses Risiko, das Verletzungsausmaß zu unterschätzen und bei einer notwendigen Erweiterung eventuell wichtige Zeit zu verlieren. Nichts desto trotz empfehlen manche Autoren initial den linksseitig anterolateralen Zugang um diesen im Bedarfsfall zu erweitern [6, 60].

Nachdem sich diese Arbeit mit der präklinischen Thorakotomie auseinandersetzt, soll das Hauptaugenmerk auf die Durchführung durch nicht aus der Herz- oder Thoraxchirurgie entstammende Anwender gelegt werden.

Eine Gruppe um Simms veröffentlichte 2013 eine Studie, die die verschiedenen Zugänge miteinander verglich. Verglichen wurden die linksseitige und rechtsseitige anterolaterale, die bilaterale anteriore („Clamshell“) Thorakotomie, sowie die Inzisionen des zweiten und dritten Interkostalraumes beziehungsweise die mediane Sternotomie. Untersucht wurde die benötigte Dauer jedes Zuganges um eine definitive Kontrolle über möglichst alle thorakalen Organe zu erreichen. Außerdem wurden anatomische Strukturen markiert, die nicht innerhalb von 15 Minuten adäquat erreicht werden konnten.

Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die bilaterale anteriore Thorakotomie

(„Clamshell“) den idealen Zugang im Rahmen einer Notfallthorakotomie darstellt. Obwohl dieser Zugang den wohl aggressivsten Ansatz bietet, besticht er dadurch, die größtmögliche Übersicht in einer möglichst kurzen Zeit zu erreichen. Die mediane Sternotomie, die zwar einen vergleichbaren Überblick verschafft, büßt aufgrund ihrer komplexeren technischen Anforderung und des zu benötigten Materials ihren praktischen Aspekt ein. Die anderen oben genannten Zugänge bieten durch ihren eingeschränkten Zugang nur bedingt eine Alternative. Nachdem im präklinischen Umfeld hauptsächlich nicht spezialisierte Anwender vorzufinden sind, gilt die Überlegung, ausschließlich die bilaterale anteriore Thorakotomie („Clamshell“) zu trainieren und anzuwenden [31].

Neben der Wahl eines geeigneten Zugangs muss auch die Frage der zu benötigten Instrumente vorrangig geklärt werden. Die Anforderung um ein standardisiertes Vorgehen sicherzustellen, ist die allgemeine Verfügbarkeit in notfallmedizinischen Einrichtungen und im präklinischen Rettungsdienst. Eine Autorengruppe um Wise empfiehlt die Verwendung eines Skalpells, einer großen Klemme und Schere und einer Drahtsäge nach Gigli, sollte die Durchtrennung des Sternums durch die Schere nicht möglich sein [32]. Andere Autoren verweisen hierbei, aufgrund der oftmals schlechten Verfügbarkeit einer Drahtsäge, auf die Verwendung einer Gipsschere [2, 31]. An dieser Stelle muss überlegt werden ob im präklinischen Rettungsdienst eine Gipsschere einfacher verfügbar wäre. Allerdings gestaltet sich die Ausrüstung der Fahrzeuge mit einer Gipsschere aller Wahrscheinlichkeit nach einfacher als mit einem spezialisierten Instrument, wie einer Drahtsäge. Dieser Empfehlung hinzuzufügen wäre noch eine chirurgische Pinzette, sowie eine Verbandsschere nach Lister. Ein Rippenspreizer ist bei der bilateralen anterioren Thorakotomie („Clamshell“) nicht zwingend notwendig, da der Brustkorb venusmuschelartig nach oben hin aufgeklappt werden kann. Achtung ist hier aufgrund der scharfkantigen Rippenfragmente geboten. Sollte ein anderer Zugang gewählt werden, sollte auf die Verwendung eines Rippenspreizer zurückgegriffen werden.

Da es sich bei der bilateralen anterioren Thorakotomie („Clamshell“) um den empfohlenen Zugang handelt, wird in der folgenden Abhandlung nur auf diese Zugangsform eingegangen. Für die restlichen Möglichkeiten wird auf einschlägige Literatur verwiesen. Nachdem die Indikation zu einer notfallmäßigen Thorakotomie gestellt wurde, sollte unverzüglich mit ihrer Durchführung begonnen werden. Der Patient befindet sich in Rückenlage mit etwa 180° abduzierten Armen. Sollte dies nicht so sein, muss der zu

Behandelte unverzüglich in diese Position geführt werden. Da es sich hierbei um einen Notfalleingriff mit einem begrenzten Zeitfenster handelt, kann auf eine völlige Asepsis verzichtet werden. Ein venöser beziehungsweise ossärer Zugang und die Intubation sollten gleichzeitig durch andere Teammitglieder durchgeführt werden um die Notfallthorakotomie nicht zu verzögern. Der nächste Schritt beinhaltet eine bilaterale Minithorakotomie im fünften Intercostalraum auf Höhe der mittleren Axillarlinie, so wie sie bei einer Thoraxdrainage durchgeführt wird. Hintergrund dieses Manövers ist der Ausschluss eines Spannungspneumothorax, einer reversiblen Ursache des Herzkreislaufstillstandes. Sollte es nach dem Entlasten eines potentiellen Spannungspneumothorax zu einem Wiedereinsetzen der Herztätigkeit kommen, wäre die Notfallthorakotomie ab diesem Zeitpunkt beendet. Bleibt es bei einem Persistieren des Herzstillstandes, werden die beiden Inzisionen durch einen langen und tiefen Hautschnitt entlang des fünften Interkostalraumes miteinander verbunden. Auch die Haut über dem Sternum wird bis auf den Knochen inzidiert. Die nun schwierigste Aufgabe ist die Durchtrennung des Sternums. Die bandhaften Strukturen, welche die Brustbeininnenseite mit dem Herzbeutel verbinden, Ligamenta sternopericardiaca, sollten mit einem Finger gelöst werden. Die Durchtrennung mit einer Schere erfordert viel Kraft und sollte durch das stärkste Teammitglied durchgeführt werden. Sollte die Durchführung mit einer Schere nicht zu dem gewünschten Erfolg führen, muss auf eine Säge zurückgegriffen werden. Eine Möglichkeit bietet eine Drahtsäge nach Gigli. Diese sollte, ähnlich einer Ligierung eines Gefäßes, durch eine vorher unter dem Sternum durchgeführte Klemme gefasst und herumgeführt werden, um das Brustbein von innen nach außen zu durchtrennen. Nun erfolgt das muschelartige Aufklappen, welches der „Clamshellthorakotomie“ ihren Namen verliehen hat. Dies kann, wie oben beschrieben, durch einen Rippenspreizer oder die bimanuelle Hilfe eines Teammitgliedes geschehen. Nun sollte sich ein nahezu vollständiger Überblick über das Innere des Thorax bieten. Sind alle bandhaften Strukturen, welche sich zwischen dem Sternum und dem Pericardium aufspannen, stumpf durch den Finger durchtrennt worden, muss der Herzbeutel vorsichtig mit einer Pinzette in der Mitte gefasst und zeltförmig aufgespannt werden. Hier ist wiederum besondere Vorsicht, auf die beiden am Seitenrand des Perikards verlaufenden Nervi phrenici, geboten. Die beiden Nerven schonend, wird nun behutsam mit einer Verbandsschere der Sack entlang der nervösen Verlaufsrichtung, also longitudinal, eröffnet. Nun wird das Herz von geronnenem Blut befreit und inspiziert. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass das Herz nicht allzu stark aus seiner ursprünglichen Position luxiert wird. Ein übermäßiges

Herauskippen würde zu einem Abknicken der venösen Gefäße und somit zu einem Sistieren des venösen Rückstroms führen.

Ab dem Zeitpunkt der Eröffnung des Perikards und somit einer potentiellen Entlastung einer Herzbeuteltamponade können verschiedene Szenarien in Kraft treten.

Erstens, das Herz ist nun befreit von der aus geronnenem Blut verursachten Obstruktion und beginnt selbstständig, mit einem adäquaten Herzzeitvolumen, zu schlagen. Eventuelle Wunden sollten verschlossen werden. Der erste Versuch der kardialen Blutstillung sollte immer durch sanften Fingerdruck unternommen werden. Ist dies erfolgreich, sollten keine weiteren Schritte eingeleitet und der Fingerdruck bis zum Erreichen eines kardiochirurgischen Operationssaales belassen werden. Alternativ kann auch eine sterile Kompresse Verwendung finden. Sollte die Blutung durch diese Manöver nicht sistieren, besteht die Möglichkeit die Spitze eines Urinkatheters in die Wunde einzubringen und anschließend zu blocken. Da das Volumen des Ballons das effektive Schlagvolumen reduziert, kann ein pauschales Blockvolumen nicht genannt werden. Der Ballon wird nur soweit aufgeblasen und zurückgezogen, bis die Blutung zum Stillstand gebracht wird. Besondere Vorsicht ist beim Zurückziehen geboten. Bei zu raschem Zug kann man den gefüllten Ballon aus der Läsion herausreißen und womöglich die ursprüngliche Wunde vergrößern und somit erheblichen Schaden anrichten [60]. Physiologische Kochsalzlösung oder eine isotone Infusionslösung ist hierbei zu verwenden. Die Konsequenz eines Cuff-Lecks bei gleichzeitiger Insufflation von Luft, wäre eine Luftembolie. Nach korrekter Durchführung muss der Urinkatheter abgeklemmt werden. Selbstverständlich können Medikamente und Volumsgaben über das Lumen des Katheters erfolgen.

Zweitens, das Herz beginnt selbstständig zu schlagen, allerdings ohne adäquates Herzzeitvolumen. In diesem Fall kann das Herz zum einen mechanisch, durch eine interne Herzdruckmassage und zum anderen durch inotrope Medikamente unterstützt werden. Bei einer internen Herzdruckmassage befindet sich das Herz zwischen den ausgestreckten Handflächen. Wie bereits oben erwähnt ist wiederum darauf zu achten, das Herz nicht allzu weit aus der Brusthöhle zu luxieren. Um ein Schlagvolumen zu generieren, wird das Herz vom Apex Richtung seiner Basis ausgedrückt. Diverse Verletzungen werden, wie oben beschrieben, versorgt. Unterstützend kann von einem Teammitglied die absteigende Aorta suprarenisch manuell geklemmt werden. Das Anbringen einer Klemme, sollte nur erfahrenen Anwendern vorbehalten bleiben.

Drittens, das Herz verharrt in einem Stillstand. Zu diesem Zeitpunkt sollten die Verletzungen des Herzmuskels schnellstmöglich versorgt werden um weiterfolgend eine mechanische und medikamentöse, richtlinienkonforme Reanimation einzuleiten. Diese Schritte sind ausführlich weiter oben beschrieben. Sollte die Notwendigkeit einer Defibrillation eintreten, bietet sich die Verwendung interner Paddels an. Sollten diese nicht verfügbar sein, kann eine herkömmliche externe Defibrillation erfolgen [2,32].

1.6.3 Datenlage

Der traumatische Herzkreislaufstillstand wird noch immer kontrovers diskutiert, obwohl eine Reihe von Publikationen belegt, dass eine kardiopulmonale Reanimation durchwegs gute Ergebnisse liefert [18, 34]. Auch finden sich im speziellen Bereich der Notfallthorakotomie gute Ergebnisse [1, 6, 28, 29, 33, 35, 36].

2012 publizierte eine Gruppe um Leis einen guten neurologischen Outcome von 6,6%, wobei in 40,1% ein ROSC, also die Herstellung eines Spontankreislaufs gelang. Bei 36,4% der entlassenen Patienten mit einer guten neurologischen Rehabilitation war der Initialrhythmus ein Kammerflimmern, verglichen mit 2,7% bei einer Asystolie und 7% wiesen eine pulslose elektrische Aktivität (PEA) auf. Es konnte auch eine signifikante Korrelation zwischen der Zeit bis zum Eintreffen der Einsatzkräfte und dem neurologischen Outcome aufgezeigt werden. Diese Studie bezieht sich auf den traumatischen Herzkreislaufstillstand im Allgemeinen. Es wird weder zwischen bestimmten Unfallmechanismen unterschieden, noch wird auf die Einzelheiten der Therapie (Thoraxdrainage, Thorakotomie, etc.) eingegangen [18].

Die Mehrheit aller Traumapatienten die ein Thoraxtrauma erleiden, können im Allgemeinen konservativ behandelt werden, wobei Patienten die eine Thoraxdrainage benötigen, ebenso zu dieser Subgruppe gezählt werden. Ein gewisser Prozentsatz von etwa 10-15% benötigt allerdings eine akut-chirurgische Intervention [6].

Im Jahr 2001 veröffentlichte eine Arbeitsgruppe des American College of Surgeons eine Überblicksarbeit über 42 Studien mit einer Gesamtüberlebensrate von 7,83%, bei einer Anzahl von insgesamt 7035 durchgeführten Thorakotomien. Bei genauer Betrachtung entfallen 11,16% der Überlebenden auf ein Trauma penetrierender Genese, wohingegen nur 1,6% der stupfen Traumata überlebten. Wirft man einen noch genaueren Blick auf diese Arbeit, findet man bei penetrierenden Herzverletzungen ein Überleben von 31,1%.

Diese Ergebnisse liefern wichtige Hinweise bei der Auswahl der Patientengruppen die von einer Notfallthorakotomie profitieren können. Jedoch wird in dieser Arbeit nicht zwischen einer präklinischen und einer innerklinischen Thorakotomie unterschieden [35].

Außerklinische Ergebnisse liefert eine Arbeit, die im Jahr 2011 publiziert wurde. Davies et al fanden bei 71 präklinisch durchgeführten Notfallthorakotomien 13 Überlebende und kommen somit auf ein Gesamtüberleben von 18%, wobei 11 (84,6%) der überlebenden Patienten mit einem guten neurologischen Outcome entlassen werden konnten. Bei allen Überlebenden konnte eine Herzbeutelamponade gefunden werden [29].

Während bei penetrierende Thoraxverletzungen die besten Ergebnisse zu erwarten sind, kämpft das Trauma stumpfer Genese mit einer schlechten Prognose. Die Überlebenschancen liegen bei lediglich etwa 1,6% [36]. Eine präklinische Studie aus dem Jahr 2009 erreichte bei 81 durchgeführten Thorakotomien unglücklicherweise keinen einzigen Überlebenden [40]. Allerdings sollte ein Herz-Kreislaufstillstand bei stumpfen Traumata nicht im Vorhinein als frustrierend erachtet werden, da es eine limitierte Gruppe von Patienten gibt, die von diesem Manöver profitieren. [36, 37, 38].

Nachdem das Trauma mitunter zu den häufigsten Todesursachen im Jugend- und Kindesalter gehört, muss die Rolle der Notfallthorakotomie auch in diesem Sektor diskutiert und geklärt werden. Allerdings sind nur wenige Daten verfügbar. Grund hierfür mag sein, dass die meisten Zentren kein standardisiertes Vorgehen im Erwachsenenbereich bereitstellen und somit auch keines in der Kinderheilkunde vorhanden ist. Hoffnungen, Kinder und Jugendliche könnten eine höhere Rehabilitationsfähigkeit gegenüber Erwachsenen aufweisen, konnten durch die aktuelle Datenlage nicht bestätigt werden. Der Outcome nach einem penetrierenden Thoraxtrauma mit konsekutiven Herz-Kreislaufstillstand liegt bei etwa 9-12%. Das stumpfe Trauma befindet sich mit 0-2,3% in einem ähnlichen Bereich wie im Erwachsenenalter [37, 38].

Auch im Umfeld bewaffneter Konflikte, erreichen isolierte, penetrierende Herzverletzungen mit einer Überlebensrate von 19,4% den besten Outcome, wohingegen multiple, ballistische Wunden die schlechtesten Ergebnisse liefern [26].

1.6.3.1 Interpretation der Datenlage

Allen Studien gemein ist der beste Outcome bei penetrierenden Thoraxverletzungen [1, 6, 26, 27, 28, 29, 35, 36, 37, 38], wobei Patienten die eine isolierte, penetrierende

Herzverletzung und/oder eine Herzbeutelamponade aufweisen, wahrscheinlich einen Vorteil besitzen [26, 29]. Dies resultiert daraus, dass eine Herzbeutelamponade eine potentiell reversible Ursache ist und sich durch die rasche Eröffnung des Thorax mit folgender Entlastung des Herzbeutels, beheben lässt. Multiple, penetrierende Thoraxverletzungen, die womöglich einen großen Blutverlust zur Folge haben, können prinzipiell auch unter den reversiblen Ursachen geführt werden. Hierbei muss aber an die präklinische Verfügbarkeit von Blutprodukten gedacht werden. Abgesehen davon, erfordert die Detektion und Elimination von Blutungen im Thoraxbereich einschlägige Erfahrung.

Ein weiterer Prädiktor für eine gute Überlebenschance sind aufrechterhaltende Lebenszeichen bis zum Erreichen des Schockraums, beziehungsweise ist der traumatische Herzkreislaufstillstand am Unfallort mit einem sehr schlechten Outcome assoziiert [27, 39]. Diese Daten mögen womöglich zu der Annahme hinreißen, dass die präklinische Notfallthorakotomie ein frustrierendes Unterfangen sei. Betrachtet man aber die Arbeiten, die zu diesem Ergebnis führen, handelt es sich bei diesen um innerklinisch durchgeführte Studien. Es scheint, dass Patienten, die noch am Unfallort einen Herzkreislaufstillstand erleiden, möglicherweise einem schwereren Verletzungsmuster unterliegen als solche, die bei Eintreffen noch Lebenszeichen aufweisen. Hier könnte sich die präklinische Thorakotomie als Vorteil erweisen. Aber dazu müssen noch mehr Daten gewonnen werden.

Bei einem traumatischen Herzkreislaufstillstand nach stumpfer Gewalteinwirkung, scheint die Notfallthorakotomie nur einem kleinen Patientenkollektiv dienlich zu sein. Ein gutes Outcome wird vor allem bei Patienten erreicht, die bei Zeitpunkt des Beginnes einer Notfallthorakotomie noch Lebenszeichen aufweisen, beziehungsweise wenn innerhalb von 15 Minuten nach Eintritt des Stillstandes mit der Notfallthorakotomie begonnen wird [36]. Diese Schlüsse werfen möglicherweise ein neues Licht auf die Indikation der präklinischen Notfallthorakotomie, gilt es doch bis dato unumstritten, die präklinische Notfallthorakotomie nur nach Eintreten des Herzkreislaufstillstandes zu beginnen. Auf die Indikationsstellung soll später noch genauer eingegangen werden.

Nicht zuletzt muss erwähnt sein, dass wahrscheinlich nicht nur die Reversion der Ursache des Herzkreislaufstillstandes, mit der einer Verbesserung, vor allem eines guten neurologischen Outcomes, des Ergebnisses einhergeht, sondern auch die durch die Thorakotomie entstandene Möglichkeit der offenen oder internen Herzdruckmassage.

Benson et al konnten 2004 anhand einer Tierstudie, die Überlegenheit einer offenen gegenüber einer geschlossenen Herzdruckmassage zeigen [3].

1.6.3.2 Zusammenfassung der Datenlage

Betrachtet man die aktuelle Datenlage so findet man ein Gesamtüberleben, abhängig nach Autor, von etwa 8-20% bei allen durchgeführten Notfallthorakotomien [1,6, 27, 28, 29, 35, 36, 37, 38, 39]. Eine so große Spannweite anzugeben ist natürlich nicht zielführend.

Ein Gesamtüberleben von 20% konnte eine Studie aus einem mitteleuropäischen Zentrum aufweisen. Diese hohe Zahl lässt sich damit erklären, dass etwa 60% der durchgeführten Notfallthorakotomien, bei einer Patientenzahl von 121, in einem Operationssaal durchgeführt wurden [39]. Diesen Eingriff in einem Operationssaal durchzuführen, erfordert eine gewisse kardiorespiratorische Stabilität seitens des Patienten, was wiederum vorsichtige Rückschlüsse auf die Schwere der Verletzungen zulässt und somit nicht direkt umlegbar auf die Notfallthorakotomie vor Ort oder im Schockraum ist.

Mit 18% Gesamtüberleben beeindruckt eine präklinische Studie aus London [29]. Hierbei ist anzuführen, dass alle durchgeführten Thorakotomien bei traumatischem Herzkreislaufstillstand nach penetrierenden Thoraxverletzungen durchgeführt wurden und alle Überlebenden eine Herzbeutelamponade aufwiesen. Die Überlebenschancen liegen bei penetrierenden Verletzungen aufgrund der zu erwartenden Pathologien, vor allem der Herzbeutelamponade, allgemein höher als bei einem stumpfen Unfallmechanismus [6].

In großen Überblicksarbeiten weist die Notfallthorakotomie im Schnitt ein Überleben von etwa 9-12% auf [6, 42, 48]. Diese Zahlen decken sich im Allgemeinen mit den Daten kleinerer Studien [1, 28, 35, 37, 38].

Abschließend kann somit gesagt werden, dass das penetrierende Thoraxtrauma ein Gesamtüberleben von etwa 9-12% aufweist.

Das stumpfe Trauma ist sowohl im innerklinischen Bereich als auch im präklinischen mit einem schlechten Outcome von etwa 1-2% assoziiert [1, 6, 28, 35, 37, 38, 42, 48].

Trotzdem darf ein Outcome in dieser Größenordnung nicht ignoriert werden, da bei einem Überleben auch mit einer guten Neurologie gerechnet werden muss [1, 42, 43].

1.6.4 Indikationsstellung

Eine der drei großen Fragen die im Rahmen der Notfallthorakotomie geklärt werden muss, ist die Frage nach dem Wann. Wann soll eine Notfallthorakotomie durchgeführt werden? Diese Frage beschäftigt sich weniger mit dem zeitlichen Aspekt, sondern vielmehr mit der richtigen Indikationsstellung.

Der momentanen Statistik zu folge, erreicht man eine totale Überlebensrate von etwa 7-8% nach Durchführung einer Notfallthorakotomie [1, 6, 27, 28, 29, 35, 36, 37, 38, 39]. Im europäischen Raum setzt das Überwiegen stumpfer Traumata das totale Outcome wahrscheinlich etwas herab [39]. Abgesehen von Outcome und ethischen Überlegungen spielen aber noch zwei andere Punkte eine wesentliche Rolle. Zum einen der durch eine Notfallthorakotomie verursachte Kostenfaktor und zum anderen die Gewährleistung der Sicherheit der Mitarbeiter. Der Kostenfaktor bezieht sich aber nicht nur auf die tatsächlichen Kosten dieses Eingriffs (etwa 900 bis 7,200 USD), sondern vielmehr auf weiterführende Kosten, die je nach dem neurologischen Outcome des Patienten entstehen. Diese reichen bis in den unteren sechsstelligen Bereich (etwa 13,000 bis 140,000 USD) [41, 42]. Jedoch wichtiger als die verursachten Kosten ist die Sicherheit des im notfallmedizinischen Bereich arbeitenden Personal. Patienten die ein penetrierendes Thoraxtrauma erleiden, weisen mit 9,4% ein erhöhtes Risiko an HIV, Hepatitis B und Hepatitis C erkrankt zu sein, auf [6, 41, 44, 45, 46]. Wobei in etwa 75% der erkrankten Personen unbekannterweise und somit auch unbehandelter Weise an einer dieser Infektionskrankheiten leiden [46]. Das Risiko durch einer Nadelstich- oder Schnittverletzung mit dem Hi-Virus infiziert zu werden liegt bei 0,3%, wobei die Einnahme einer Postexpositionsprophylaxe (PEP) die Wahrscheinlichkeit einer Serokonversion erheblich senkt [47]. Bei Schleimhautkontakt liegt das mittlere Risiko bei etwa 0,1%.

Bei Hepatitis B muss in 6-30% der Fälle bei ungeimpften Mitarbeitern mit einer Infektion gerechnet werden und bei Hepatitis C in etwa mit 1,8% [46].

Neben dem Outcome müssen somit auch die Kosten und die Gefährdung der Mitarbeiter einen Weg in die Entscheidungsfindung zur Durchführung einer Notfallthorakotomie finden.

Eine Überblicksarbeit aus dem Jahr 2000 von Rhee et al. zeigt, welche Faktoren Einfluss auf den Outcome nehmen. Zu den wichtigsten Faktoren zählen der Mechanismus, die genaue Lokalisation der Verletzung und vorhandene beziehungsweise nicht vorhandene

Lebenszeichen bei Eintreffen in der Notaufnahme. Mit dem besten Outcome ist somit eine isolierte, penetrierende Herzverletzung mit vorhandenen Lebenszeichen assoziiert [42]. Die Eastern Association for Surgery of Trauma (EAST) um Seamon et al. definiert vorhandene Lebenszeichen folgendermaßen: spontane Atembemühungen, ein zentral fühlbarer Puls, ein messbarer Blutdruck, spontane Bewegungen, eine kardiale elektrische Aktivität und eine Pupillenreaktion. Ist eine der genannten Gegebenheiten vorhanden, wird von vorhandenen Lebenszeichen gesprochen. Die Gruppe um Hunt fügt dem noch einen erhaltenen Korneal- beziehungsweise Würgerreflex und einen „Glasgow Coma Scale“-Score (GCS) mit einem größeren Wert als drei hinzu, verzichtet aber auf den messbaren Blutdruck, spontane Bewegungen, den fühlbaren Puls und die spontanen respiratorischen Bemühungen [6, 48].

Ferner beschäftigt sich die Eastern Association for Surgery of Trauma (EAST) mit sechs expliziten Fragestellungen hinsichtlich der Indikationsstellung zur Durchführung einer Notfallthorakotomie. Nämlich die Kombinationen pulsloses, penetrierendes Thoraxtrauma mit und ohne Lebenszeichen (Frage 1 und 2), pulslose, penetrierende extrathorakale Verletzungen mit und ohne Lebenszeichen (Frage 3 und 4), sowie das pulslose, stumpfe Trauma mit und ohne Lebenszeichen (Frage 5 und 6).

Frage 1 wird mit einer starken Empfehlung zur Durchführung einer Notfallthorakotomie belegt, während die Fragen 2-5 bedingt Empfehlungen erhalten. Einzig die 6. Fragestellung wird bedingt nicht empfohlen [48].

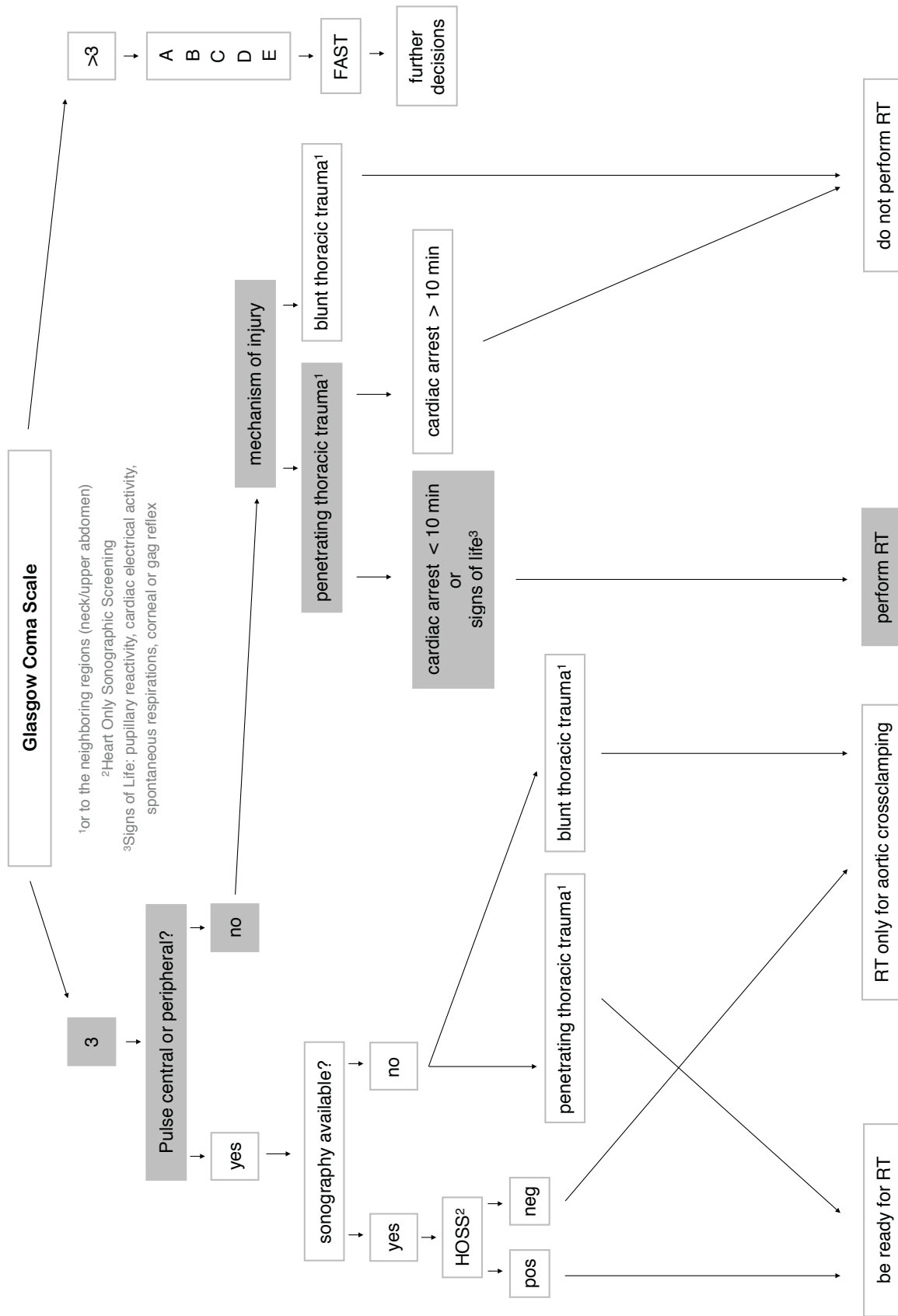
Die Empfehlung bei penetrierendem Thoraxtrauma, mit oder ohne Lebenszeichen, eine Notfallthorakotomie durchzuführen, deckt sich mit allen, für diese Arbeit verwendeten, Publikationen [1, 6, 27, 28, 29, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 48].

Eine Sonderstellung nimmt die Notfallthorakotomie bei extrathorakalen Verletzungen, die durch eine penetrierende Gewalteinwirkung entstanden sind, ein. Zum einen können spitze Traumata in den anatomischen Grenzregionen Hals und Oberbauch Verletzungen des Herzens verursachen, wobei in diesem Fall eine Thorakotomie nach der aktuellen Datenlage die beste Überlebenschance gewährleisten würde und zum anderen kann ein großer Blutverlust durch zum Beispiel isolierte Verletzungen großer Arterien eine Indikationsstellung bieten. Hierbei wäre die suprarenale Abklemmung der absteigenden Aorta Anlass einer Notfallthorakotomie.

Beim stumpfen Trauma profitiert die Patientengruppe, die bei Eintreffen in der Notaufnahme Lebenszeichen aufweist. Ansonsten ist das stumpfe Trauma mit einer schlechten Prognose assoziiert.

Diese gewonnenen Ergebnisse spiegeln meist die Umstände in einer Notaufnahme wider. Für die Präklinik sind nur wenige Daten und Fallstudien verfügbar [28, 29, 30, 51]. Doch gibt es Hinweise, dass diese Daten mit denen, in einer Notfallaufnahme gewonnenen, übereinstimmen [28, 29]. Unterstützende Hinweise bezüglich der Aussicht auf eine erfolgreiche Notfallthorakotomie kann auch die Sonographie geben. Nicht nur innerklinisch, sondern auch präklinisch, findet die Notfallsonographie Einzug in die akutmedizinische Entscheidungsfindung [49]. Das ubiquitär anzufindende Konzept in der Traumatologie ist das sogenannte FAST (Fast Assessment with Sonography in Trauma), bei welchem sich ein geübter Anwender einen Überblick über freie Flüssigkeit im Bauchraum und im Perikard verschaffen kann. Inaba et al. zeigten in ihrer Arbeit aus dem Jahr 2015, bei 187 traumatisch verursachten Herzkreislaufstillständen, dass das FAST-Konzept in der Lage ist, mit einer Sensitivität von 100% und einer Spezifität von 73,7%, potentielle Überlebende oder zumindest Organspender zu identifizieren.

Letztendlich wird die Notfallthorakotomie und vor allem die präklinische Notfallthorakotomie eine auf Expertenempfehlungen basierende Individualentscheidung bleiben. Dem allgemeinen Trend in der Medizin, evidenzbasierte Level-I-Empfehlungen zu etablieren, kann die Notfallthorakotomie ihrer Natur gemäß nicht folgen, da eine randomisierte kontrollierte Studie aus ethischen und anderen Überlegungen derzeit nicht möglich ist und mit einer sehr großen Wahrscheinlichkeit auch zukünftig nicht möglich sein wird [6, 41, 35].



Präklinische Notfallthorakotomie
 Florian Sommerauer 2016

Abbildung 1 Flussdiagramm präklinische Notfallthorakotomie

1.6.4.1 Flussdiagramm „Präklinische Notfallthorakotomie“

Das Flussdiagramm „Präklinische Notfallthorakotomie“ ist im Zusammenhang dieser Arbeit entstanden. Es soll die aktuelle, an die präklinische Situation angepasste, Datenlage zusammenfassen und somit eine Erleichterung in der Entscheidungsfindung zu einer Notfallthorakotomie vor Ort erleichtern. Die Schritte, bei denen es einer sofortigen Thorakotomie bedarf, sind grau hinterlegt.

Der „Glasgow-Coma-Scale“-Score als initiales Beurteilungskriterium beruht auf der Tatsache, dass ein Wert von 3, unmissverständlich mit einer Bewusstlosigkeit assoziiert ist, die grundsätzlich mit einem Herzkreislaufstillstand einhergehen kann. Findet man eine Person mit einem „Glasgow-Coma-Scale“ von mehr als 3 Punkten vor, ist dies unweigerlich mit einem spontanen Kreislauf verbunden. Hier sind weitere Schritte nach den derzeit gültigen traumatologischen Richtlinien, wie zum Beispiel den Leitlinien zur Schwerstverletztenbehandlung der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU), durchzuführen [52].

Sind allerdings nur drei Punkte zu vergeben, sollte überprüft werden, ob ein Puls vorhanden ist. Idealerweise würde sich hier ein zentrales Gefäß, wie zum Beispiel die Halsschlagader, Arteria carotis, anbieten. Auf das Überprüfen einer Atmung wurde hier bewusst verzichtet, da eine agonale Atmung (Schnappatmung) als typische Zeichen eines Herzkreislaufstillstandes als erhaltener Kreislauf missverstanden werden kann. Außerdem kann es im Rahmen eines Traumas, insbesondere mit Beteiligung des Schädels zu einer Apnoe mit erhaltenem Kreislauf kommen. Hierdurch könnte für das Überleben entscheidende Zeit verloren gehen. Dem Autor ist durchaus bewusst, dass es auch im Rahmen des Pulstastens zu einer bestimmten Fehlerquote kommt und dass der Europäische Wiederbelebungsrat (ERC) aus diesem Grund die Überprüfung der Atmung zur Erkennung des Herzkreislaufstillstandes in den Vordergrund stellt [53]. Allerdings muss beachtet werden, dass dem traumatischen Stillstand andere pathophysiologische Ursachen zugrunde liegen als einem medizinisch bedingten.

Nach Feststellung der Pulslosigkeit, spielt der Verletzungsmechanismus eine entscheidende Rolle. Aufgrund der schlechten Datenlage [6, 27, 28, 29, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 47, 48] und dem nicht zu unterschätzenden Risiko für Teammitglieder [6, 42, 44, 45, 46] ist die Notfallthorakotomie in Präklinik bei unbeobachtetem Herzkreislaufstillstand nach einem stumpfen Trauma nicht empfohlen. Nach einem penetrierenden Thoraxtrauma oder Trauma der anatomischen Grenzregionen Hals und Oberbauch mit Eintritt des Herzkreislaufstillstandes vor weniger als 10 Minuten soll

unverzöglich mit einer Notfallthorakotomie begonnen werden. Ist der zeitliche Eintritt des Stillstandes nicht eruierbar, kann der Patient auf Lebenszeichen untersucht werden. Als Lebenszeichen sind eine intakte Pupillenreaktion, eine elektrische Aktivität des Herzens, spontane Atembemühungen (hier wird auch eine agonale Atmung gewertet) und ein vorhandener Korneal- beziehungsweise Schluckreflex zu werten. Die Definition dieser Lebenszeichen liegt einem nicht erhebaren Zeitpunkt des Stillstandes zu Grunde. Sind doch diese Zeichen mit einem guten Outcome assoziiert [48]. Liegt der gesicherte Beginn des Kreislaufstillstandes länger als 10 Minuten zurück, sollte mit keiner präklinischen Notfallthorakotomie begonnen werden.

Ist hingegen ein Puls tastbar, so sollte, falls vorhanden, mit einer ein Sonographie des Perikards begonnen werden. Das isolierte, penetrierende Herztrauma [6, 25, 27, 29, 42, 48] und vor allem die sonographisch bestätigte Herzbeuteltamponade wird mit einer außerordentlichen Überlebenswahrscheinlichkeit in Verbindung gebracht [50]. Aufgrund des zeitlichen Aspekts sollte auf eine vollständige Ultrallschalluntersuchung durch das FAST-Protokoll (Fast Assessment with Sonography in Trauma) verzichtet und nur eine problemorientierte Untersuchung des Herzbeutels (HOSS; Heart Only Sonographic Screening) durchgeführt werden. Kommt diese zu einem positiven Ergebnis, sollte die Entscheidung für oder, bei Vorliegen sonstiger Kontraindikationen, gegen eine Thorakotomie gefällt werden, um bei einem konsekutiven Stillstand ohne Zeitverzögerung die geeigneten Maßnahmen zu ergreifen. Gegen eine Thorakotomie spricht in diesem Fall eine nicht vorhandene Expertise seitens des Teams, ein zu großes Risiko oder nicht vorhandene Ressourcen. Nachdem die präklinische Notfallthorakotomie auf die Behebung einer Herzbeuteltamponade abzielt, sollte bei einer durch den Ultraschall bestätigten physiologischen Konfiguration des Herzbeutels und des Herzens auf eine notfallmäßige Eröffnung des Brustkorbes verzichtet werden. Nachdem, wie bereits erwähnt, in der Natur der Notfallthorakotomie jedoch keine evidenzbasierte Level-I-Empfehlung möglich ist [6, 35, 41], soll ein gewisser Spielraum für Individualentscheidungen offengelassen werden. Ist zum Beispiel der Grund eines Herzkreislaufstillstandes durch einen übermäßigen Blutverlust erklärbar, kann zur Begünstigung der Durchblutung der unabdingbaren Organe, Herz und Hirn, die Aorta suprarenisch abgeklemmt werden [6, 43]. Der Zugang hierzu entspricht der Clamshell-Thorakotomie.

Auch bei durch den Anwender beobachtetem Herzkreislaufstillstand nach vorhergegangenem stumpfen Trauma, soll eine Notfallthorakotomie zur Abklemmung der

Aorta in Betracht gezogen werden. Hierbei ist jedoch zu betonen, dass bei Patienten die einer Abklemmung bedürfen, mit einem ungünstigen Outcome zu rechnen ist [8].

2 Material und Methoden

2.1 Einführung

Die vorliegende Arbeit behandelt in erster Linie die Fragestellung nach dem Anwender. Wer soll eine präklinische Notfallthorakotomie durchführen? Immer wieder wird von einem erfahrenen und geübten Anwender gesprochen [6]. Doch wer darf sich als erfahren und geübt bezeichnen? In einem schweizer Traumazentrum wurden in den Jahren 1996 bis 2008 insgesamt 121 Notfallthorakotomien durchgeführt, wovon 49 im Schockraum und die restlichen 72 im Operationssaal ausgeführt wurden [39]. Das heißt, in zwölf Jahren kam es in diesem mitteleuropäischen Zentrum zu durchschnittlich zu etwa vier Notfallthorakotomien in einem Schockraum pro Jahr. Weitere Fallberichte, vor allem in der Präklinik, sind rar [18, 28, 29, 30]. Sind diese Zahlen ausreichend um eine befriedigende Erfahrung zu erlangen beziehungsweise wie kann dieser Notfalleingriff ausreichend geübt werden?

In dieser Arbeit wird der Unterschied zwischen verschiedenen nicht-chirurgischen Fachgruppen und einer chirurgischen Kontrollgruppe untersucht und die Auswirkung eines Trainings an der Leiche ermittelt.

2.2 Teilnehmer

Für diese Studie wurden insgesamt 9 Teilnehmer aus den Fachgebieten Anästhesie, Innere Medizin und Chirurgie, sowie 5 Studenten von der lokalen Medizinischen Universität rekrutiert. Teilnahmekriterium war das Vorhandensein keiner herz- beziehungsweise thoraxchirurgischen Erfahrung für die nicht-chirurgischen Teilnehmer. Alle Teilnehmer, auch die studentische Gruppe, brachten eine präklinische, notfallmedizinische Erfahrung aus dem lokalen Rettungsdienst mit. Das Geschlechterverhältnis verhielt sich in etwa, mit insgesamt 3 Frauen und 11 Männern, 78% zu 22%.

In der Gruppe der Anästhesisten (Gruppe 1) befanden sich zwei Fachärzte und eine Assistenzärztin im zweiten Ausbildungsjahr für Anästhesie und Intensivmedizin. Die beiden Fachärzte waren zu dem Zeitpunkt zum Führen der Bezeichnung „Notarzt“ und zur Ausübung einer ärztlichen Tätigkeit im Rahmen eines organisierten Notarztdienstes laut §40 des österreichischen Ärztegesetzes befugt. Die beiden Fachärzte absolvierten

außerdem eine spezialisierte notfallmedizinische Ausbildung. Alle drei Teilnehmer versahen zum Zeitpunkt der Studie regelmäßig in einem Ausmaß von mindestens zwei Schichten pro Monat innerhalb der letzten fünf Jahre Dienst in einem organisierten Notarztdienst.

Die Gruppe der Internisten (Gruppe 2) bestand aus drei Assistenzärzten für das Fach Innere Medizin. Alle drei Ärzte waren jedoch zu dem Zeitpunkt zum Führen der Bezeichnung „Notarzt“ und zur Ausübung einer ärztlichen Tätigkeit im Rahmen eines organisierten Notarztdienstes laut §40 des österreichischen Ärztegesetzes berechtigt. Darüber hinaus durchliefen alle Teilnehmer dieser Gruppe eine spezialisierte Ausbildung im Fach präklinischer Notfallmedizin. Ihre Erfahrung entspricht derselben wie in der Gruppe der Anästhesisten.

In der dritten Gruppe (Gruppe 3) befanden sich 5 Studenten zwischen dem dritten und fünften Ausbildungsjahr. Alle Studenten wiesen eine präklinische, sanitätsdienstliche Erfahrung auf. Drei der fünf Studenten absolvierten die selbe notfallmedizinische Ausbildung wie die Teilnehmer in den obig genannten Gruppen.

Die Kontrollgruppe (Gruppe 4) bestand aus drei Chirurgen. Zwei der drei Chirurgen waren zum Zeitpunkt der Durchführung Fachärzte. Ein Facharzt für Unfallchirurgie mit mehr als 15 Jahren Erfahrung als Oberarzt, sowie eine Fachärztin für Thoraxchirurgie mit einer Erfahrung von mehr als 10 Jahren. Der dritte Studienteilnehmer war zu diesem Zeitpunkt Assistenzarzt für Unfallchirurgie in seinem vierten Ausbildungsjahr und war zur Führung der Bezeichnung „Notarzt“ und zur Ausübung einer ärztlichen Tätigkeit im Rahmen eines organisierten Notarztdienstes laut §40 des österreichischen Ärztegesetzes befugt.

2.3 Unterricht

Ziel der Studie ist es eine geeignete Methode zum Erlernen der Notfallthorakotomie durch Anwendung des bilateralen anterioren Zugangsweges („Clamshell“-Thorakotomie) zu finden. Der Unterricht vor Durchführung der Studie gliederte sich in zwei Teile. Der erste Teil bestand aus einem elektronischen Manual, welches eine Woche vor Durchführung der Studie an alle Teilnehmer versandt wurde. Dieses Manual enthielt eine Anleitung zur Durchführung einer Clamshell-Notfallthorakotomie, die durch schematische Skizzen und Bilder untermalt wurde. Außerdem wurden die Studienteilnehmer durch diese Anleitung

über die Endpunkte der Studie informiert. Insgesamt wurde angenommen, dass dieses Skriptum jeden Studienteilnehmer in etwa 20 Minuten in Anspruch nehmen würde. Der zweite Teil bestand aus einem mündlichen Vortrag bei dem jeder einzelne Schritt der Durchführung besprochen und auf individuelle Fragen eingegangen wurde. Dieser Kurzvortrag beanspruchte in etwa 10 Minuten. Abschließend wurde die Durchführung durch eine in etwa 5 Minuten dauernde Demonstration veranschaulicht. Das Kursmanual wurde in Anlehnung an Wise et al. gestaltet [32]. Zu genauen Ablauf siehe Kapitel „1.6.2 Durchführung“.

2.4 Studienpräparate

Als Studienpräparate wurden 29 Leichen des Anatomischen Instituts Graz zur Verfügung gestellt. Diese 29 Leichen wurde alle durch die Methode nach Thiel konserviert [54, 55]. Diese Methode bietet den Vorteil, dass die Leichen in einem annähernd physiologischen Zustand verbeiben, was die Farbe und die Festigkeit des Gewebes betrifft. Durch diese Balsamierungsmethode können chirurgische Operationen realitätsgenauer erlernt und geübt werden [56]. Bei der Durchführung der Studie wurden keine ganzen Leichen verwendet, sondern ausschließlich der Rumpf, jedoch mit erhaltenem Kopf. 28 dieser Leichen wurden für die Studie selbst, 1 Leiche für die initiale Demonstrationzwecke verwendet.

2.5 Material zur Durchführung einer Notfallthorakotomie

Wie in Kapitel „1.6.2 Durchführung“ ausführlich beschrieben, wurde ausschließlich Material verwendet, bei dem ausgegangen werden kann, dass dieses ubiquitär in notfallmedizinischen Einrichtungen leicht verfügbar ist. Zur Inzision der Haut wurde ein herkömmliches Einwegskalpell mit der Klingengröße 10 verwendet. Außerdem wurde eine Gipsschere für die Durchtrennung des Sternums und eine Verbandsschere nach Lister eingesetzt. Als zusätzliche Unterstützung konnte eine anatomische Pinzette benutzt werden. Als persönliche Schutzausrüsten bekamen alle Studienteilnehmer sterile

Operationshandschuhe sowie Einwegschürzen. Außerdem waren sterile Operationsmäntel verfügbar und wurden von einigen Teilnehmern präferiert.

2.6 Messpunkte

Vorab wurde ein Studienprotokoll angefertigt (siehe „Appendix Studienprotokoll“) in welchem zum einen Ausbildung und Qualifikation des Teilnehmers und zum anderen die festgelegten Messpunkte und Komplikationen.

Insgesamt wurden drei verschiedene Messzeiten und die gesamt benötigte Zeit notiert. Die erste Zeit (Zeit 1) erstreckte sich von der initialen Hautinzision bis zu dem Zeitpunkt, ab dem es dem Teilnehmer möglich war, mit der Durchtrennung des Sternums zu beginnen. Die zweite Zeit (Zeit 2) beinhaltete die Dauer der Sternotomie selbst. Als dritte und letzte Zeit (Zeit 3) wurde die benötigte Zeitspanne bis zur Durchführung einer offenen Herzdruckmassage notiert. Weiterhin wurde vermerkt ob eine Schnitterweiterung durchgeführt werden musste. Als Schnitterweiterung wurde eine Verlängerung der primären Inzisionen nach dorsal verstanden. Eine derartige Verlängerung würde mit einer Prolongierung von Zeit 1 einhergehen. Des Weiteren wurden Verletzungen der Nervi phrenici sowie diverser anderer Strukturen mit Hauptaugenmerk auf das Herz festgehalten. Abschließend wurde noch die korrekte Kompression der Aorta überprüft. Das ursprüngliche Protokoll verlangte außerdem das Auffinden der Bifurcatio tracheae, wurde aber durch die Lokalisation der Arteriae thoracicae internae ersetzt. Diverse Bemerkungen wie eine akzidentielle Verletzung der Teilnehmer wurden vermerkt und in der statistischen Auswertung berücksichtigt.

2.7 Statistische Auswertung

Zunächst wurden alle Ergebnisse von den Studienprotokollen in ein Microsoft Excel Sheet (Microsoft Excel 2010; Microsoft, Redmond, WA, USA) übertragen. Anhand der eingegeben Daten wurde eine deskriptive Statistik in Microsoft Excel durchgeführt. Gesamt- und Durchschnittszeiten und deren Standardabweichungen sowie Mittelwert, Median und Komplikationsrate wurden berechnet.

Um Aussagen über die Grundgesamtheit treffen zu können, wurde anhand der bereits angefertigten deskriptiven Statistik eine induktive Statistik angefertigt. Zur diesem Zweck wurden die Daten in SPSS Statistics (IBM Corp. Released 2012 IBM Statistics for Windows, Version 21.0 Armonk NY) exportiert.

Um den Unterschied zwischen den verschiedenen Fachgruppen zu testen wurde der Rangsummentest nach Kruskal-Wallis gewählt. Der Kruskal-Wallis-Test ist ein parameterfreier Test für ordinalskalierte Variablen, der bei mehr als zwei Stichproben angewendet wird.

Um eine Abweichung zwischen den beiden Versuchen zu testen, wurde der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test verwendet. Dieser Test ist ein parameterfreier Lagetest für zwei verbundene Stichproben.

Zu guter Letzt wurde der McNemar-Test zur statistischen Ermittlung der Komplikationsrate herangezogen. Dieser Test ist ein Homogenitätstest für zwei verbundene Stichproben [57].

Für eine statistische Signifikanz wurde ein $p < 0,005$ angenommen.

3 Ergebnisse – Resultate

Die durchschnittlich benötigte Zeit bis zur Durchführung einer bimanuellen, offenen Herzdruckmassage belief sich auf 167 Sekunden (2:47 Minuten) bei einer Standardabweichung von 42 Sekunden und einer Spannweite von 80 bis 396 Sekunden (1:20-6:36 Minuten). Hierbei muss allerdings erwähnt werden, dass es sich bei dieser Studie um eine Kadaverstudie handelt und sich die körperliche Konstitution wahrscheinlich nicht ohne Weiteres auf das zu erwartende Patientengut umlegen lässt. 6 von 28 (42,86%) Thorakotomien waren mit diversen Komplikationen behaftet, wobei in zwei Fällen der rechte und in einem Fall beide Ventrikel perforiert wurden. Bei den anderen Fällen handelte es sich um eine linksseitige Verletzung des Nervus phrenicus, eine oberflächliche Laceration des Myokards und eine Schnittverletzung der rechten Zwerchfellkuppel. Alle Komplikationen, mit Ausnahme der Verletzung des Diaphragmas, erfolgten bei der ersten Thorakotomie.

In einem Fall konnte die Aorta nicht richtig lokalisiert werden, da massive mediastinale Verklebungen die Aufsuchung unmöglich machten.

Zwei Teilnehmer verletzten sich bei der Durchführung zum einen durch die Klinge des Skalpells und zum anderen durch einen scharfen Knochensplitter des Sternums. In einem Fall musste eine Schnitterweiterung durchgeführt werden.

Betrachtet man die drei Studiengruppen und die Kontrollgruppe gesondert, so findet man in der Gruppe 1, bestehend aus 3 Anästhesisten, eine durchschnittliche Zeit von 203 Sekunden (3:23 Minuten) und eine Standardabweichung von 134 Sekunden (2:14 Minuten) bei einer Spannweite von 80 bis 390 Sekunden (1:20-6:30 Minuten).

Gruppe 2 (Innere Medizin) benötigte im Schnitt 129 Sekunden (2:09 Minuten) bei einer SD von 42 Sekunden und einer Spannweite von 81 bis 203 Sekunden (1:21-3:23 Minuten).

Gruppe 3 (Studenten) weist eine mittlere Zeit von 185 Sekunden (3:05 Minuten) mit einer SD von 84 Sekunden (1:24 Minuten) und einer Spannweite 120 bis 396 Sekunden (1:20-6:36 Minuten) auf.

In der Kontrollgruppe (Chirurgie) findet man eine Durchschnittszeit von 140 Sekunden (2:20 Minuten) bei einer SD von 54 Sekunden und einer Spannweite von 90 bis 240 Sekunden (1:30-4:00 Minuten).

In der induktiven Statistik findet man jedoch keine Signifikanz ($p=0,27$; Kruskal-Wallis-Test) zwischen den verschiedenen Studiengruppen.

Eine Fragestellung dieser Arbeit ist das Vorhandensein einer Lernkurve nach dem bereits erwähnten Training. Vergleicht man die beiden Durchgänge so ergibt sich, bezogen auf den Median, eine Zeitverbesserung von 4 Sekunden (2,77%) und bezogen auf den Mittelwert 24 Sekunden (13,4%). Wiederum zeigt sich in der induktiven Statistik keine Signifikanz ($p=0,33$; Wilcoxon-Test). Bei Betrachtung der Komplikationsraten, findet man bei der ersten Durchführung eine Komplikationsrate von 35,71% und bei der nachfolgenden 7,14%. Allerdings zeigt sich auch dieser Unterschied nicht statistisch signifikant ($p=0,22$; McNemar-Test). Allerdings wurden alle Komplikationen als gleichwertig bewertet da es in der Natur der Sache einer Kadaverstudie liegt, dass die Konsequenzen einer Komplikation nicht bestimmbar sind.

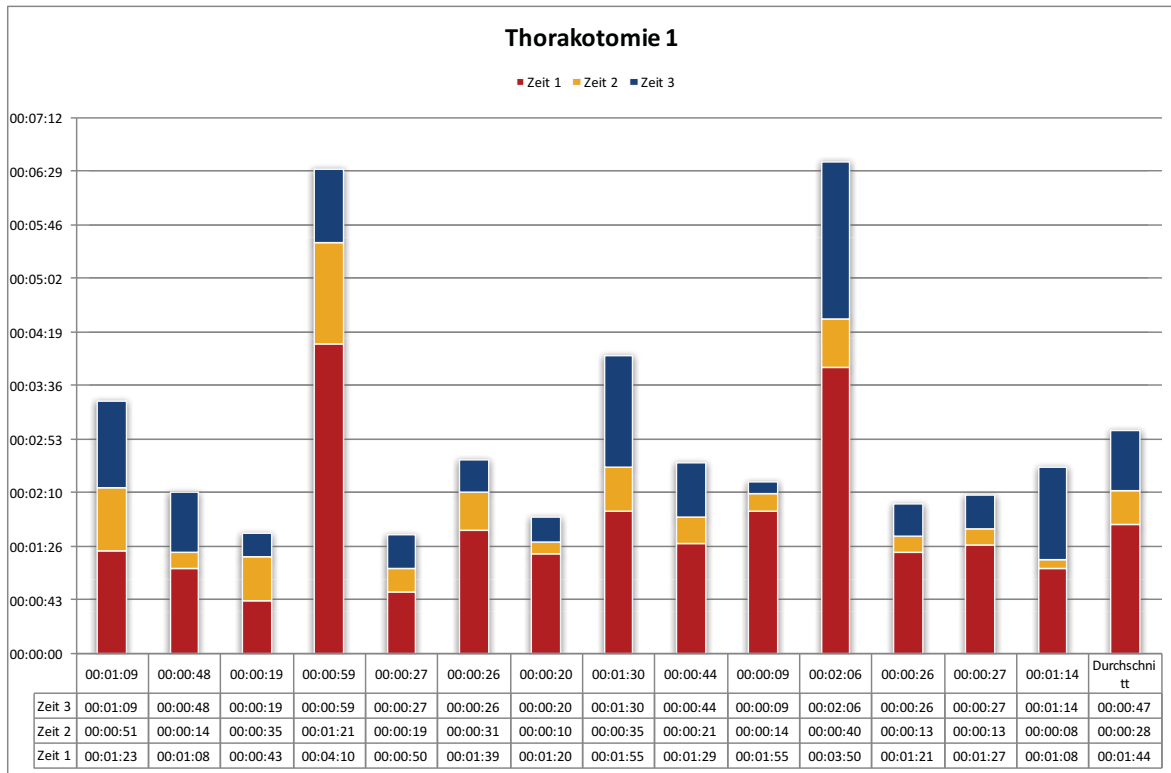


Abbildung 2 Resultate Thorakotomie 1

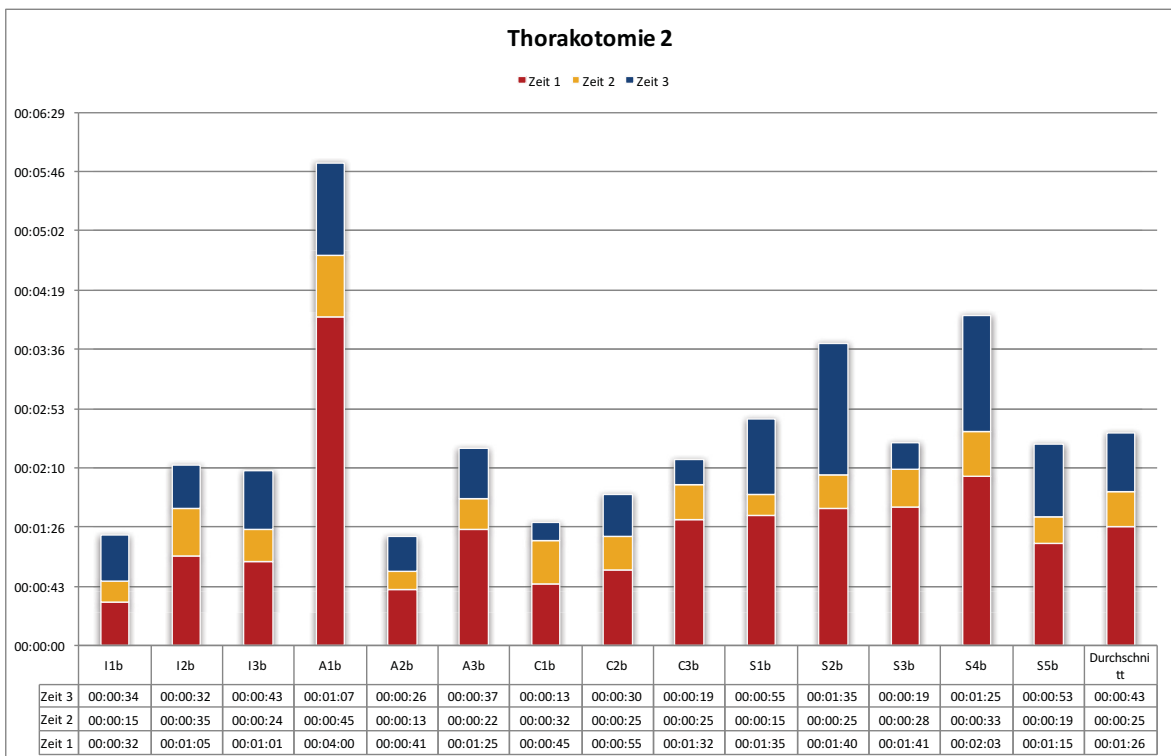


Abbildung 3 Resultate Thorakotomie 2

TN	ZEIT 1	ZEIT 2	ZEIT 3	ZEIT GESAMT	N. PHREN. S.	N. PHREN. D.	AORTA	ICR S	ICR D	SCHNITTEW.	KOMPL.
A1A	00:04:10	00:01:21	00:00:59	00:06:30	nein	nein	ja	6	6	nein	nein
A1B	00:04:00	00:00:45	00:01:07	00:05:52	nein	nein	ja	5	5	nein	nein
A2A	00:00:50	00:00:19	00:00:27	00:01:36	nein	nein	ja	5	5	nein	nein
A2B	00:00:41	00:00:13	00:00:26	00:01:20	nein	nein	ja	5	5	nein	nein
A3A	00:01:39	00:00:31	00:00:26	00:02:36	nein	nein	ja	5	5	nein	nein
A3B	00:01:25	00:00:22	00:00:37	00:02:24	nein	nein	ja	5	5	nein	nein
C1A	00:01:20	00:00:10	00:00:20	00:01:50	nein	nein	ja	5	5	nein	nein
C1B	00:00:45	00:00:32	00:00:13	00:01:30	nein	nein	ja	4	4	nein	nein
C2A	00:01:55	00:00:35	00:01:30	00:04:00	n.p.	n.p.	n.p.	4	4	nein	ja
C2B	00:00:55	00:00:25	00:00:30	00:01:50	nein	nein	ja	5	6	nein	nein
C3A	00:01:29	00:00:21	00:00:44	00:02:34	nein	nein	ja	6	6	nein	nein
C3B	00:01:32	00:00:25	00:00:19	00:02:16	nein	nein	ja	6	6	nein	nein
I1A	00:01:23	00:00:51	00:01:09	00:03:23	nein	nein	ja	6	5	nein	nein
I1B	00:00:32	00:00:15	00:00:34	00:01:21	nein	nein	ja	5	5	nein	nein
I2A	00:01:08	00:00:14	00:00:48	00:02:10	nein	nein	ja	6	6	nein	ja
I2B	00:01:05	00:00:35	00:00:32	00:02:12	nein	nein	ja	6	5	nein	nein
I3A	00:00:43	00:00:35	00:00:19	00:01:37	ja	nein	ja	5	5	nein	ja
I3B	00:01:01	00:00:24	00:00:43	00:02:08	nein	nein	ja	6	6	nein	nein
S1A	00:01:55	00:00:14	00:00:09	00:02:18	nein	nein	ja	6	6	nein	nein
S1B	00:01:35	00:00:15	00:00:55	00:02:45	nein	nein	ja	4	6	nein	nein
S2A	00:03:50	00:00:40	00:02:06	00:06:36	nein	nein	ja	5	5	ja	nein
S2B	00:01:40	00:00:25	00:01:35	00:03:40	nein	nein	ja	5	5	nein	nein
S3A	00:01:21	00:00:13	00:00:26	00:02:00	nein	nein	ja	4	4	nein	nein
S3B	00:01:41	00:00:28	00:00:19	00:02:28	nein	nein	ja	6	6	nein	nein
S4A	00:01:27	00:00:13	00:00:27	00:02:07	nein	nein	ja	4	4	nein	ja
S4B	00:02:03	00:00:33	00:01:25	00:04:01	nein	nein	ja	6	6	nein	ja
S5A	00:01:08	00:00:08	00:01:14	00:02:30	nein	nein	ja	4	4	nein	nein
S5B	00:01:15	00:00:19	00:00:53	00:02:27	nein	nein	ja	5	5	nein	nein

Tabelle 1 Ergebnisse und Komplikationen

4 Diskussion

Diese Studie hat unter Beweis gestellt, dass es auch einem Notfallmediziner, der nicht einer chirurgischen Stammdisziplin entstammt, möglich ist, eine Notfallthorakotomie ohne statistisch signifikanten Unterschied gegenüber einem Chirurgen, durchzuführen.

Statistisch nicht signifikant, aber mit einem bemerkbaren positiven Trend, zeigt sich auch der zweite gegenüber dem ersten Durchgang, hinsichtlich der Komplikationsrate. Die nicht vorhandene Signifikanz, mag zum einen einem Fehler 2. Art oder möglicherweise einer zu geringen Fallzahl unterliegen. Hierbei ist noch zu erwähnen, dass im zweiten Durchgang zwar sehr wohl eine Komplikation, namentlich eine Schnittverletzung der rechten Zwerchfellkuppel, zu verzeichnen ist, hierbei aber mit aller Wahrscheinlichkeit keine akut-letalen Konsequenzen für einen potentiellen Patienten eintreten würden. Im Gegensatz hierzu wären die Perforationen der Ventrikel wohl schwerwiegender zu werten.

Alle genannten Komplikationen des ersten Durchgangs sind während der Eröffnung des Perikards unterlaufen. Deswegen ist bei diesem Schritt besondere Vorsicht geboten. Hierbei sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die Eröffnung mit einer abgestumpften Schere (z.B. Verbandsschere nach Lister) durchgeführt werden sollte. Auch ist die Eröffnung des Perikards einer Leiche möglicherweise komplikationsreicher, da vermehrt mit Verklebungen zu rechnen ist. In einem Fall wurde auch der linke Nervus phrenicus verletzt. Diese Komplikation ist durch eine strenge Einhaltung der Schnittführung in der Mittellinie minimiert werden.

Nachdem bei Traumapatienten vermehrt mit einem Auftreten von Infektionserkrankungen zu rechnen ist [6, 41, 44, 45, 46], muss vor allem auf die Minimierung des eigenen Risikos geachtet werden. Bei dieser Studie ist es in zwei Fällen (7,14%) zu einer Verletzung eines Anwenders gekommen. In einem Fall verletzte sich ein Teilnehmer an der Skalpellklinge. Um dieses Risiko zu minimieren kann zum Beispiel bei der Durchtrennung der Interkostalmuskulatur und der der Pleura parietalis zu einer Schere gegriffen werden. Dies minimiert auch das Risiko einer Verletzung dieser Strukturen [58]. Im zweiten Fall wurde dem Studienteilnehmer einer Verletzung durch einen scharfen Knochensplitter zugefügt. Das Verwenden von chirurgischen Tüchern könnte in diesem Fall zu einer Verkleinerung des Risikos führen. Hierbei werden die Tücher um die beiden Stümpfe des durchtrennten Sternums geschlagen. Eine besondere Wichtigkeit erfährt diese Maßnahme, wenn für das Offenhalten des Thorax kein Rippenspreizer zur Verfügung steht und dieses Manöver durch einen Helfer bestritten werden muss.

Die richtige Lokalisation der Aorta decedens konnte in 27 von 28 Fällen sichergestellt werden. Bei der einzigen Ausnahme war das Auffinden aufgrund massiver Verklebungen nicht möglich. Auf die Abklemmung der Aorta mittels einer Klemme sollte in der Präklinik nur durch sehr erfahrene Anwender zurückgegriffen werden. Grund hierfür ist, zum einen das Vorhandensein des richtigen Equipments und zum anderen das sichere Auffinden des Gefäßes. Wird eine falsche Klemme oder die falsche Technik benutzt, kann es zu Verletzungen der Hauptschlagader selbst, der Speiseröhre, des Ductus thoracicus oder Truncus sympathicus kommen [58]. Somit sollte das bloße Abdrücken der Aorta durch eine Faust als effektives Mittel eingesetzt werden.

Bei der vorliegenden Arbeit wurde eine Technik benutzt, die im Jahr 2005 durch Wise et al. publiziert wurde [32]. Wise et al. benutzten dabei den bilateralen anterioren Zugang („Clamshell“) und eine überschaubare Anzahl an Instrumenten. Mit dieser Technik benötigten die Studienteilnehmer durchschnittlich 2 Minuten und 47 Sekunden. Diese Zeit darf allerdings nur als Anhaltspunkt gewertet werden, da es sich bei den verwendeten Leichen um ältere Personen handelte, bei welchen mit einer verminderten Brustwandmuskulatur gegenüber der wahrscheinlichen Traumapopulation zu rechnen ist. Eine aktuelle Arbeit aus dem Jahr 2016 von Pust et al. spricht über den links-anterioren Zugang von einem optimalen Zugang für eine Notfallthorakotomie, der jederzeit zu einer bilateralen anterioren Thorakotomie erweiterbar ist [60]. Dies sei zum einen aufgrund des möglichen Zeitverlust, der durch eine Erweiterung entsteht und zum anderen aufgrund der Publikation von Simms et al. [31] dahingestellt.

Betrachtet man die Teilzeiten getrennt, erkennt man, dass der Abschnitt vom Hautschnitt, bis zum Freilegen des Sternums die meiste Zeit in Anspruch nimmt. Dieser Umstand legt die Überlegung nahe, diesen Part der Notfallthorakotomie am häufigsten zu trainieren. Hierfür würden sich zum Beispiel Schweinehälften anbieten.

Fünf der sechs Komplikationen traten allerdings im letzten Abschnitt, beim Eröffnen des Perikards, auf. Deswegen sei an dieser Stelle noch einmal die benötigte Vorsicht bei der Eröffnung des Herzbeutels erwähnt.

5 Abschluss

Diese Arbeit konnte zeigen, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen konservativen und auch chirurgischen Fächern, bezogen auf die benötigte Zeit und die Komplikationsrate gibt. Außerdem ist ein positiver Trend in der Lernkurve, wenngleich auch nicht statistisch signifikant, erkennbar. Dies alles deutet darauf hin, dass die Notfallthorakotomie einen für alle Notfallmediziner, ganz gleich welcher Fachrichtung, erlernbarer und trainierbarer Eingriff darstellt, der die Überlebenschancen und noch viel wichtiger, den neurologischen Outcome, von Traumapatienten erheblich verbessert. Somit bleibt an dieser Stelle die Hoffnung, dass diese Maßnahme einen breiteren Einzug in die präklinische Notfallmedizin erhält um möglichst vielen Verunfallten zugutekommt.

6 Literaturverzeichnis

1. Keller D, Kulp H, Maher Z, Santora TA, Goldberg AJ, Seamon MJ. Life after near death. *J Trauma Acute Care Surg* [Internet]. 2013;74(5):1315–20. Available from: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84877016057&partnerID=tZOtx3y1>
2. Puchwein P, Sommerauer F, Clement HG, Matzi V, Tesch NP, Hallmann B, et al. Clamshell thoracotomy and open heart massage—A potential life-saving procedure can be taught to emergency physicians. *Injury* [Internet]. Elsevier Ltd; 2015; Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0020138315003046>
3. Benson DM, O’Neil B, Kakish E, Erpelding J, Alousi S, Mason R, et al. Open-chest CPR improves survival and neurologic outcome following cardiac arrest. *Resuscitation*. 2005 Feb;64(2):209–17.
4. Eurostat. [Internet]
URL:http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Accidents_and_injuries_statistics
5. LoCicero J, Mattox KL. Epidemiology of chest trauma. *Surg Clin North Am* [Internet]. 1989 Feb [cited 2016 Aug 10];69(1):15–9. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2911786>
6. Hunt PA, Greaves I, Owens WA. Emergency thoracotomy in thoracic trauma—a review. *Injury* [Internet]. 2006 Jan [cited 2014 Mar 24];37(1):1–19. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0020138305000537>
7. Ziemer G., Haverich A., Hrsg. 2010 Herzchirurgie. 3. Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag
8. Asensio JA, Murray J, Demetriades D, Berne J, Cornwell E, Velmahos G, et al. Penetrating cardiac injuries: A prospective study of variables predicting outcomes. *J Am Coll Surg*. 1998;186(1):24–34.
9. Hafferl A., neu bearbeitet von Thiel W., 1969 Lehrbuch der topographischen Anatomie. 3. Auflage, Berlin Heidelberg New York: Springer Verlag
10. Kahle W., Leonhardt H., Platzer W., Hrsg. 1975 Taschenatlas der Anatomie für Studium und Praxis Band 1: Bewegungsapparat. Stuttgart: Georg Thieme Verlag
11. Anderhuber F., Pera F., Streicher J., 2012 Waldeyer – Anatomie des Menschen Lehrbuch und Atlas in einem Band. 19. Auflage Berlin Boston: Walter de Gruyter Verlag
12. Leonhardt H., Tillmann B., Töndury G., Zilles K., Hrsg. 1987 Rauber/Kopsch Anatomie des Menschen Lehrbuch und Atlas. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag

13. Fritsch H., Kühnel W., Hrsg. 2009 Taschenatlas Anatomie Band 2: Innere Organe 10. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag
14. Oczenski W., Hrsg. 2008 Atmen-Atemhilfen Atemphysiologie und Beatmungstechnik 8. Überarbeitete Auflage, Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag
15. Huppelsberg J., Walter K., 2009 Kurzlehrbuch Physiologie. 3., überarbeitete Auflage Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag
16. Silbernagel S., Despopoulos A., 2007 Taschenatlas Physiologie. 7. Auflage, Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag
17. Sadler T. (dt. Übersetzung: Drews U.), 2008 Medizinische Embryologie. Begründet von Jan Langmann. 11. Auflage Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag
18. Leis CC, Hernández CC, Blanco MJG-O, Paterna PCR, Hernández RDE, Torres EC. Traumatic cardiac arrest. J Trauma Acute Care Surg [Internet]. 2013;74(2):634–8. Available from: <http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=01586154-201302000-00042>
19. Schulz-Drost S, Matthes G, Ekkernkamp a. Erstversorgung des Patienten mit schwerem Thoraxtrauma. Notfall + Rettungsmedizin [Internet]. 2015;18(5):421–37. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s10049-015-0042-8>
20. Traumaregister DGU®. Jahresbericht (2014) für den Zeitraum bis Ende 2013. Sektion NIS der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU)/ AUC – Akademie der Unfallchirurgie. http://www.dguonline.de/fileadmin/published_content/5.Qualitaet_und_Sicherheit/PDF/2014_TR_DGU_Jahresbericht.pdf
21. Traumaregister DGU®. Jahresbericht (2015) für den Zeitraum bis Ende 2014. Sektion NIS der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU)/ AUC – Akademie der Unfallchirurgie. http://www.traumaregister-dgu.de/fileadmin/user_upload/traumaregister-dgu.de/docs/Downloads/TR-DGU-Jahresbericht_2015.pdf
22. NAEMT, Hrsg. 2009 Präklinisches Traumamanagement Das PHTLS-Konzept. 1. Auflage München: Urban & Fischer
23. Nicol A., Steyn E., 2013 Handbook of Trauma. 2th Edition Cape Town: Oxford University Press Southern Africa
24. Silbernagl S., Lang F., 2009 Taschenatlas Pathophysiologie. 3. Vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag
25. Demetriades D, van der Veen BW. Penetrating injuries of the heart: experience over two years in South Africa. J Trauma. 1983;23(12):1034–41.

26. Morrison JJ, Mellor A, Midwinter M, Mahoney PF, Clasper JC. Is pre-hospital thoracotomy necessary in the military environment? *Injury*. Elsevier Ltd; 2011 May;42(5):469–73.
27. Morrison JJ, Poon H, Rasmussen TE, Khan M a, Midwinter MJ, Blackbourne LH, et al. Resuscitative thoracotomy following wartime injury. *J Trauma Acute Care Surg*. 2013 Mar;74(3):825–9.
28. Coats TJ, Keogh S, Clark H, Neal M. Prehospital resuscitative thoracotomy for cardiac arrest after penetrating trauma: rationale and case series. *J Trauma*. 2001;50(4):670–3.
29. Davies GE, Lockey DJ. Thirteen Survivors of Prehospital Thoracotomy for Penetrating Trauma: A Prehospital Physician-Performed Resuscitation Procedure That Can Yield Good Results. *J Trauma Inj Infect Crit Care [Internet]*. 2011;70(5):E75–8. Available from: <http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=00005373-201105000-00053>
30. Puchwein P, Prenner G, Fell B, Sereinigg M, Gumpert R. Erfolgreiche präklinische Thorakotomie bei einem 17-jährigen Mann. *Unfallchirurg*. 2013;1–4.
31. Simms ER, Flaris AN, Franchino X, Thomas MS, Caillot J-L, Voiglio EJ. Bilateral anterior thoracotomy (clamshell incision) is the ideal emergency thoracotomy incision: an anatomic study. *World J Surg*. 2013 Jun;37(6):1277–85.
32. Wise D, Davies G, Coats T, Lockey D, Hyde J, Good A. Emergency thoracotomy: “how to do it”. *Emerg Med J*. 2005 Jan;22(1):22–4.
33. Smith JE, Rickard a., Wise D. Traumatic cardiac arrest. *J R Soc Med [Internet]*. 2015;108(1):11–6. Available from: <http://jrs.sagepub.com/lookup/doi/10.1177/0141076814560837>
34. Willis CD, Cameron PA, Bernard SA, Fitzgerald M. Cardiopulmonary resuscitation after traumatic cardiac arrest is not always futile. *Injury*. 2006;37(5):448–54.
35. Group Working. Practice Management Guidelines for Emergency Department Thoracotomy. *J Am Coll Surg*. 2001;7515(01):303–9.
36. Slessor D, Hunter S. To Be Blunt : Are We Wasting Our Time ? Emergency Department Thoracotomy Following Blunt Trauma: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Ann Emerg Med [Internet]*. American College of Emergency Physicians; 65(3):297–307.e16. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.annemergmed.2014.08.020>
37. Easter JS, Vinton DT, Haukoos JS. Emergent pediatric thoracotomy following traumatic arrest. Resuscitation. European Resuscitation Council, American Heart Association, Inc., and International Liaison Committee on Resuscitation.~Published by Elsevier Ireland Ltd; 2012 Dec;83(12):1521–4.

38. Hofbauer M, Hüpfl M, Figl M, Höchtl-Lee L, Kdolsky R. Retrospective analysis of emergency room thoracotomy in pediatric severe trauma patients. *Resuscitation*. 2011 Feb;82(2):185–9.
39. Lustenberger T, Labler L, Stover JF, Keel MJB. Resuscitative emergency thoracotomy in a Swiss trauma centre. 2012; i:541–8.
40. Matsumoto H, Mashiko K, Hara Y, Kutsukata N, Sakamoto Y, Takei K, et al. Role of resuscitative emergency field thoracotomy in the Japanese helicopter emergency medical service system. *Resuscitation*. 2009;80(11):1270–4.
41. Seamon MJ, Chovanes J, Fox N, Green R, Manis G, Tsiotsias G, et al. The use of emergency department thoracotomy for traumatic cardiopulmonary arrest. *Injury* [Internet]. Elsevier Ltd; 2012;43(9):1355–61. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.injury.2012.04.011>
42. Rhee PM, Acosta J, Bridgeman a, Wang D, Jordan M, Rich N. Survival after emergency department thoracotomy: review of published data from the past 25 years. *J Am Coll Surg*. 2000;190(3):288–98.
43. Tisherman S a. Salvage techniques in traumatic cardiac arrest: thoracotomy, extracorporeal life support, and therapeutic hypothermia. *Curr Opin Crit Care*. 2013 Dec;19(6):594–8.
44. Seamon MJ, Ginwalla R, Kulp H, Patel J, Pathak AS, Santora T a, et al. HIV and hepatitis in an urban penetrating trauma population: unrecognized and untreated. *J Trauma* [Internet]. 2011;71(2):306–10; discussion 311. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21825931>
45. Bell D. Occupational risk of human immunodeficiency virus infection in health-care workers: an overview. *Am J Med*. 1997;102(5B):9–15.
46. Sloan E, MD MPH, McGill B, Zalenski R, MD F, Tsui P, et al. Human Immunodeficiency Virus and Hepatitis B Virus Seroprevalence in an Urban Trauma Population. *J Trauma* [Internet]. 1995;38(5):736–41. Available from: <http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&PAGE=reference&D=yrovftb&NEWS=N&AN=00005373-199505000-00010>
47. Cardo, Denise M. and Culver, David H. and Ciesielski, Carol A. and Srivastava, Pamela U. and Marcus, Ruthanne and Abiteboul, Dominique and Heptonstall, Julia and Ippolito, Giuseppe and Lot, Florence and McKibben, Penny S. and Bell DM. A Case–Control Study of HIV Seroconversion in Health Care Workers after Percutaneous Exposure. *N Engl J Med*. 1997; 337:1485–90.
48. Seamon MJ, Haut ER, Arendonk K Van, Barbosa RR, Chiu WC, Dente CJ, et al. An evidence-based approach to patient selection for emergency department thoracotomy : A practice management guideline from the Eastern Association for the Surgery of Trauma. 2015;79(1):159–73.
49. Sacherer F, Zechner P, Seibel A, Breikreutz R, Steiner K, Wildner G, et al. Präklinische Notfallsonographie. *Notfall und Rettungsmedizin*. 2014;18(6):449–54.

50. Inaba K, Chouliaras K, Zakaluzny S, Swadron S, Mailhot T, Seif D, et al. FAST ultrasound examination as a predictor of outcomes after resuscitative thoracotomy: a prospective evaluation. *Ann Surg* [Internet]. 2015;262(3):512–8; discussion 516–8. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26258320>
51. Wright KD, Murphy K. Cardiac tamponade: a case of kitchen floor thoracotomy. *Emerg Med J*. 2002 Nov;19(6):587–8.
52. Rixen D, Steinhausen E, Dahmen J, Bouillon B. S3 guideline on treatment of polytrauma/severe injuries. *Unfallchirurg* [Internet]. 2012;115(1):22–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00113-011-2104-9>
53. Nolan J. 2015 Resuscitation Guidelines. *Notfall+Rettungsmedizin* [Internet]. 2015;18(8):653–4. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s10049-015-0102-0>
54. Thiel W. Die Konservierung ganzer Leichen in natürlichen Farben. *Ann Anat - Anat Anzeiger* [Internet]. Urban & Fischer; 1992 Jun [cited 2016 Jul 26];174(3):185–95. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0940960211803468>
55. Thiel W. Ergänzung für die Konservierung ganzer Leichen *Allgemeine Leichenkonservierung*. 1990;(1987):5–7.
56. Eisma R, Mahendran S, Majumdar S, Smith D, Soames RW. A comparison of Thiel and formalin embalmed cadavers for thyroid surgery training. *Surg*. 2011;9(3):142–6.
57. Weiß C., 2010 *Basiswissen Medizinische Statistik*. 3., überarbeitete Auflage Heidelberg: Springer Medizin Verlag
58. Suliburk JW. Complications of emergency center thoracotomy. *Tex Heart Inst J* [Internet]. 2012;39(6):876–7. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23304043> \n <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC3528230>
59. Van Waes OJF, van Riet PA, van Lieshout EMM, Hartog DD. Immediate thoracotomy for penetrating injuries: Ten years' experience at a Dutch level I trauma center. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2012;38(5):543–51.
60. Pust GD, Namias N, Resuscitative Thoracotomy, *International Journal of Surgery* (2016), doi: 10.1016/j.ijss.2016.04.00
61. Vallejo-Manzur F, Varon J, Fromm R, Baskett P. Moritz Schiff and the history of open-chest cardiac massage. *Resuscitation*. 2002;53(1):3–5.

Appendix – Studienprotokoll

Protokoll Clamshell-Studie

Fachdisziplin: Innere Medizin Chirurgie
 Anästhesie Student

Ausbildung: FA NA
 Ass.-Arzt RM
 Jus Practicandi

Geschlecht: ♀ ♂

Thorakotomie 1:

Zeit 1 (HS bis Durchtrennen Sternum)¹:

Zeit 2 (Durchtrennen Sternum bis Clamshell):

Zeit 3 (Clamshell bis offene HDM):

Zeit gesamt:

Schnitterweiterung nötig: ja nein

Verletzung N. phrenicus dext.: ja nein

Verletzung N. phrenicus sin.: ja nein

Korrekte Markierung Aorta: ja nein

Wenn nicht, welche Struktur:

Korrekte Markierung Bifurcatio tracheae: ja nein

Wenn nicht, welche Struktur:

ICR:

¹exklusive Durchtrennen des Sternums

Thorakotomie 2:

Zeit 1 (HS bis Durchtrennen Sternum)¹:

Zeit 2 (Durchtrennen Sternum bis Clamshell):

Zeit 3 (Clamshell bis offene HDM):

Zeit gesamt:

Schnitterweiterung nötig: ja nein

Verletzung N. phrenicus dext.: ja nein

Verletzung N. phrenicus sin.: ja nein

Korrekte Markierung Aorta: ja nein

Wenn nicht, welche Struktur:

Korrekte Markierung Bifurcatio tracheae: ja nein

Wenn nicht, welche Struktur:

ICR:

Bemerkungen:

¹exklusive Durchtrennen des Sternums