

Aus dem CharitéCentrum für diagnostische und präventive Labormedizin,
Institut für Rechtsmedizin der Charité – Universitätsmedizin Berlin
(Direktor: Prof. Dr. med. M. Tsokos)

Habilitationsschrift

Todesfälle nach Trauma – Beurteilung und Interpretation notfallmedizinischer Maßnahmen bei Leichenschau und Obduktion

zur Erlangung der Lehrbefähigung für das Fach Rechtsmedizin,
vorgelegt dem Fakultätsrat der Medizinischen Fakultät der
Charité – Universitätsmedizin Berlin von
Dr. med. Claas T. Buschmann

Eingereicht: **November 2013**

Dekanin: **Frau Prof. Dr. med. A. Grüters-Kieslich**

1. Gutachter: **Herr Prof. Dr. med. O. Peschel**

2. Gutachter: **Herr Prof. Dr. med. A. Büttner**

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

1. Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen in alphabetischer Reihenfolge	4
2. Einleitung	5
3. Eigene Originalarbeiten in Zeitschriften mit „peer-review“-Verfahren als Erst- / Letztautor	
3.1. Buschmann C, Tsokos M (2008) Iatrogene Traumata nach frustraner Reanimation. Der Notarzt 24:197-202 und Diskussion	8
3.2. Buschmann C, Tsokos M, Peters M, Kleber C (2012) Obduktionsbefunde und Interpretation nach frustraner Reanimation. Der Notarzt: 28:149-61	16
3.3. Buschmann C, Gahr P, Tsokos M, Ertel W, Fakler JK (2010) Clinical diagnosis versus autopsy findings in polytrauma fatalities. Scand J Trauma Resusc Emerg Med 18:55	30
3.4. Schulz F*, Buschmann C*, Braun C, Püschel K, Brinkmann B, Tsokos M (2011) Haemorrhages into the back and auxiliary breathing muscles after death by hanging. Int J Legal Med 125:863-71	41
3.5. Kleber C, Giesecke MT, Tsokos M, Haas NP, Schaser KD, Poloczek S, Buschmann C (2012) Overall Distribution of Trauma-related Deaths in Berlin 2010: Advancement or Stagnation of German Trauma Management? World J Surg 36:2125-30 und Diskussion	52
3.6. Kleber C, Giesecke MT, Tsokos M, Haas NP, Buschmann C (2013) Trauma-related Preventable Deaths in Berlin 2010: Need to Change Prehospital Management Strategies and Trauma Management Education. World J Surg, 37:1154-61	62
3.7. Kleber C, Giesecke MT, Lindner T, Haas NP, Buschmann C (2014) Requirement for a structured algorithm in cardiac arrest following major trauma: Epidemiology, management errors, and preventability of traumatic deaths in Berlin. Resuscitation 85:405-10 und Diskussion	71
4. Diskussion	84
5. Zusammenfassung	90
6. Literaturverzeichnis	91
7. Danksagung	97
8. Erklärung	98

1. Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen in alphabetischer Reihenfolge

- < kleiner als
 - > größer als
 - ≈ etwa
 - AIS Abbreviated Injury Scale
 - ca. circa
 - CT Computertomogramm
 - DGU Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie
 - h Stunde
 - ISS Injury Severity Score
 - RettAssG Rettungsassistentengesetz
 - sog. sogenannte(r)
 - u. a. unter anderem
 - v. Chr. vor Christus
 - vs. versus
 - z. B. zum Beispiel
-

2. Einleitung

Die heutige „Rechtsmedizin“ als Anwendung ärztlichen Wissens im Dienste der Rechtspflege ist ein relativ altes Fach im Kanon der medizinischen Fachdisziplinen. Erste Spuren des Faches finden sich bereits in der Antike in der „Lex Cornelia“ von Sulla, den Justinianischen Gesetzen und in der „Lex Allemanorum“. Seit 1407 wurden „Wundärzte“ vom Rat der Stadt Freiburg/Breisgau zu Gutachtern bestellt, um sich in Totschlagsverfahren vor Gericht zur Todesursächlichkeit von Wunden zu äußern. Schon damals war der medizinische Sachverständige *in foro* insbesondere mit Fragestellungen konfrontiert, die sich mit der Rekonstruktion gewaltsamer Todesfälle befassen – als Grundlage für die Heranziehung medizinischer Sachverständiger diente die zwischen 1407 und 1417 niedergeschriebene „Blutgerichtsordnung“ [1]. Auch in der auf der Nürnberger (1481) und Bamberger (1507) Halsgerichtsordnung fußenden „Constitutio Criminalis Carolina“ (1532) war die Mitwirkung ärztlicher Sachverständiger zur Beurteilung medizinischer Fragestellungen vor Gericht vorgesehen [2]. Eine erste universitäre „Lehrkanzel für Staatsarzneikunde“ (als Fusion von Gerichtlicher Medizin und Medizinalpolizei) datiert vom Anfang des 19. Jahrhunderts in Wien, nachdem dort bereits seit 1791 eigene Fachvorlesung über die „Medicina forensis“ (1791) gehalten wurden [3]. Für Berlin ist belegt, dass Vorlesungen mit forensisch-medizinischem Inhalt bereits seit 1724 am „Collegium medico-chirurgicum“ gehalten wurden. 1833 erfolgte mit der Gründung der „Praktischen Unterrichtsanstalt für die Staatsarzneikunde“ an der damaligen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin die Grundsteinlegung für ein weiteres Zentrum gerichtsmedizinischer Lehre und Forschung im deutschen Sprachraum. Die Einrichtung dieses Lehrstuhles geht auf den ersten Lehrstuhlinhaber, den gerichtlichen Stadtphysicus Wilhelm Wagner (1793–1846) zurück, der die „Staatsarzneikunde“ in Berlin auch als akademisches Fach etablierte [4,5,6]. Die weitere historische Entwicklung und Etablierung der Rechtsmedizin als eigenes universitäres Fach führte 1904 zur Gründung der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin; der heutige „Facharzt für Rechtsmedizin“ besteht seit 1976 [7].

Im Unterschied zur Rechtsmedizin ist die heutige „Notfallmedizin“ medizinhistorisch als recht junges Fach zu betrachten; das Bestreben, in Not geratenen Mitmenschen medizinische Hilfe angedeihen zu lassen, ist jedoch naturgemäß sehr alt. Wenngleich Berichte über Mund-zu-Mund-Beatmung sich bereits im hebräischen „Talmud“ und auch im Alten Testament finden, kann jedoch von einer ähnlich konsequenten Entwicklung wie im Falle der heutigen Rechtsmedizin bezüglich der Notfallmedizin nicht ausgegangen werden. Sporadische und wohl eher instinktgeleitete, heute teils bizarr anmutende Wiederbelebungsmaßnahmen sind zwar für Ertrunkene bereits aus

der Zeit Ramses II. (ca. 1300 v. Chr.) bekannt und hielten sich teilweise bis in die Neuzeit hinein („Inversionsmethode“ = Kopfüber-Halten leblos aus dem Wasser geborgener Menschen), medizinisch fundierte Therapieoptionen z. B. für die Behebung des Herzkreislaufstillstandes existierten jedoch – auch aus fatalistisch-religiösen Überzeugungen heraus – bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts kaum bis überhaupt nicht. Die neuere Entwicklung des Rettungswesens ist maßgeblich der Gründung von Institutionen wie der „Wiener Freiwilligen Rettungsgesellschaft“ (1881), dem „Deutschen Samariterverein“ (1882) oder dem „Arbeiter-Samariter-Bund“ (1888) zu verdanken, die insbesondere den Wiederbelebungsgedanken verbreiteten und nicht nur z. B. an gefahrenträchtigen Orten wie Gewässern Rettungsringe aufstellen ließen, sondern auch ein entsprechendes gesellschaftliches Bewusstsein schufen.

Neben der sporadischen „medizinischen“ Behandlung lebloser Personen stellte vor allem aber die Behandlung Verletzter – insbesondere in Kriegszeiten – eine Notwendigkeit dar, der seit dem 16. Jahrhundert mit der Errichtung von Frontlazaretten durch Ambroise Paré (1510-1590) Rechnung getragen wurde. Mit der Entstehung der Kriegschirurgie begann gleichzeitig die Akutversorgung des Trauma-Patienten am Ereignisort, welche durch Dominique-Jean Larrey (1766-1842) weiter vorangetrieben wurde (Ersetzung der nahezu immobilen Feldlazarette durch sog. „fliegende Ambulanzen“ im Feld) [8]. Larrey berichtete 1792 über Mortalitätsraten auf dem Schlachtfeld von ca. 50 %; ältere Berichte über deutlich höhere Traumaletalitätsraten in Kriegszeiten ohne medizinische Versorgung existieren aus der Zeit der Trojanischen Kriege bzw. Homer's „Ilias“ (500 v. Chr., >80 %), der Markomanischen Kriege (167-75 v. Chr., >70 %) und des Hundertjährigen Krieges (1339-1453, ≈ 65 %) [9].

Mit Einsetzen der industriellen Revolution in Europa Mitte des 19. Jahrhunderts entwickelten sich neben den Kriegsschauplätzen weitere Brennpunkte akuter Lebensgefährdung durch Verletzungen (Industriebetriebe, Baustellen, Straßenverkehr). In diese Epoche datiert die Herausgabe des ersten Lehrbuches für Erste Hilfe durch den Kieler Chirurgen Friedrich von Esmarch (1823-1908). Dennoch galt generell der Grundsatz: „Der Patient muss zum Arzt kommen“. Die Behandlung verletzter Personen am Ort des Geschehens erfolgte (wenn überhaupt) durch medizinische Laien, ebenso wie der Transport ins Krankenhaus zur dann ärztlichen Versorgung. Diese Praxis wurde in Deutschland prinzipiell bis nach dem Zweiten Weltkrieg (1939-1945) beibehalten und führte erst ab 1973 zur Entwicklung und teils gesetzlichen Regelung medizinischer Assistenzberufe im Rettungsdienst wie Rettungshelfer (Ausbildungsdauer 320 h), Rettungssanitäter (Ausbildungsdauer 520 h) und Rettungsassistent (Ausbildungsdauer nach §§ 4,7 RettAssG 2 Jahre) [10]. Als höchstqualifizierter nichtärztlicher Ausbildungsberuf im Rettungsdienst wurde und wird

aktuell das Berufsbild des Notfallsanitäters (Ausbildungsdauer 3 Jahre) teils kontrovers diskutiert; zu diesem Vorhaben hat das deutsche Bundesgesundheitsministerium 2012 einen Gesetzesentwurf vorgelegt [11]. Das entsprechende „Notfallsanitätergesetz“ wurde im Februar 2013 vom Deutschen Bundestag verabschiedet, das bisherige Berufsbild des Rettungsassistenten wird damit in die neue Berufsbezeichnung überführt.

Während im anglo-amerikanischen Raum bis heute eine ärztliche Patientenversorgung am Notfallort nicht regelhaft praktiziert wird (sog. „Paramedic-System“), bestanden in Deutschland – parallel zur Etablierung notfallmedizinischer Assistenzberufe – seit den 1950er Jahren auch Bestrebungen, gemäß dem von Kirschner in den 1930er Jahren geprägten Grundsatz „Der Arzt muss zum Verletzten kommen, nicht der Verletzte zum Arzt!“, Ärzte für die Patientenversorgung bereits am Ereignisort zu qualifizieren, bereitzustellen und auszurüsten. Grundlage waren insbesondere militärische Erfahrungen des Zweiten Weltkrieges (Senkung der Traumaletalität verwundeter Soldaten durch frühestmögliche ärztliche Versorgung), die nun auf den zivilen Bereich übertragen wurden [12,13]. Die folgende Entwicklung erster arztbesetzter Rettungsfahrzeuge (beispielhaft „Operationswagen“ [Heidelberg 1954], „Klinomobil“ [Heidelberg 1957], „Notfallarztwagen“ [Köln 1957]) erlaubte ab den 1970er Jahren die zunehmende ärztliche Anwendung klinisch etablierter medizinischer Techniken durch Ärzte bereits am Notfallort. 1983 wurde durch die Bundesärztekammer der sog. „Fachkundenachweis Rettungsdienst“ für Ärzte im Rettungsdienst eingeführt, 2003 nahm der Deutsche Ärztetag die „Zusatz-Weiterbildung Notfallmedizin“ in die Muster-Weiterbildungsordnung auf [14]. Entsprechend wird die ärztliche Notfallqualifikation (Notarzt) derzeit in Deutschland durch curriculare Vorgaben wie die „Zusatz-Weiterbildung Notfallmedizin“ deutlich unterhalb einer Facharztqualifikation für Ärzte jeglicher Fachgebiete auf Bundeslandebene geregelt (vgl. Weiterbildungsordnungen der deutschen Landesärztekammern). Ein eigener „Facharzt für Notfallmedizin“ ist aktuell Gegenstand berufspolitischer, teils kontrovers geführter Diskussionen. Ein entsprechendes Curriculum ist in Deutschland (noch) nicht existent bzw. in den ärztlichen Weiterbildungskatalog aufgenommen [15].

Dennoch ist der Rettungsdienst in Deutschland heute im Rahmen der Gefahrenabwehr und der Gesundheitsvorsorge nicht nur ein integraler Bestandteil der staatlichen Daseinsvorsorge, sondern auch eine hochqualifizierte notfallmedizinische Dienstleistung bereits am Notfallort. Neben der Durchführung von Wiederbelebungsversuchen stellt insbesondere die rettungsdienstliche Trauma-Versorgung höchste Ansprüche an die schnelle und suffiziente Durchführung invasiver Maßnahmen am vital bedrohten Patienten. Beim erfolglos behandelten, verstorbenen

Trauma-Patienten ist dann regelhaft eine „nicht-natürliche“ Todesart zu bescheinigen, so dass der Todesfall nach kriminalpolizeilichen Ermittlungen, staatsanwaltschaftlicher Antragstellung und richterlicher Anordnung einer rechtsmedizinischen Untersuchung zugeführt werden kann. Bei Leichenschau und rechtsmedizinischer Obduktion gilt es, neben diesem Patientenkollektiv auch zunächst „ungewisse“ Todesfälle zu untersuchen und neben der Klärung der Todesursache eine Zuordnung des Todesfalles zu entweder einer „natürlichen“ oder „nicht-natürlichen“ Todesart herbeizuführen.

Abgesehen von bereits fäulnisverändert aufgefundenen Toten handelt sich im rechtsmedizinischen Obduktionsgut im Wesentlichen um Verstorbene, die – dank der heutigen medizinischen Infrastruktur in den westlichen Industrieländern – zuvor gelegentlich intensivmedizinisch im Krankenhaus, in der Mehrzahl der Fälle aber jedenfalls notfallmedizinisch am Ort des Geschehens behandelt worden sind, so dass zwischen Rechtsmedizin und Notfallmedizin durch einen zeitlich nur wenig versetzten Kontakt mit dem gleichen Patienten entsprechende Berührungspunkte entstehen. Hieraus ergibt sich für den forensisch tätigen Arzt die zwingende Notwendigkeit, Artefakte durch notfallmedizinische Behandlungsmaßnahmen am Leichnam zu erkennen, von weiteren Befunden abzugrenzen, hinsichtlich ihrer Indikation und Durchführung zu evaluieren und auch gegebenenfalls aufgetretene Komplikationen der notfallmedizinischen Behandlung zu beurteilen [16]. Dies gilt insbesondere für notfallmedizinische Maßnahmen, denen bei unsachgemäßer Durchführung auch eine todesursächliche Bedeutung zukommen kann [17,18].

3.1. Buschmann C, Tsokos M (2008) Iatrogene Traumata nach frustraner Reanimation. Der Notarzt 24:197-202 und Diskussion

Da der kardial bedingte Herzkreislaufstillstand als wesentlichste Todesursache in der westlichen Welt eine stetig wiederkehrende Indikation zur Durchführung der kardiopulmonalen Wiederbelebung darstellt [19,20], ist als häufigster Berührungspunkt zwischen Notfallmedizin und Rechtsmedizin von rechtsmedizinischer Seite zunächst die Beurteilung reanimationsbedingter Artefakte am Leichnam zu nennen, welche sowohl initial als auch mit zeitlicher Latenz auftreten können [21,22,23]. Im Folgenden wird eine topographisch-anatomische Einteilung häufiger und seltener iatrogenen Verletzungen nach frustraner Reanimation vorgestellt [24].

Iatrogene Traumata nach frustraner Reanimation¹

Iatrogenic Trauma Following Resuscitation Measures

Autoren

C. Buschmann, M. Tsokos

Institut

Institut für Rechtsmedizin, Charité – Universitätsmedizin Berlin

Schlüsselwörter

- Reanimationsverletzungen
- Häufigkeiten
- medizinische Relevanz
- forensische Relevanz

Key words

- resuscitation-related injuries
- frequencies
- medical relevance
- forensic relevance

Zusammenfassung

Reanimationsbemühungen erfordern invasive iatrogene Manipulationen am Patienten. Diese Maßnahmen sind einerseits zur erfolgreichen Wiederbelebung des Patienten unerlässlich, können andererseits aber den Patienten schädigen und den Erfolg der Wiederbelebung negativ beeinflussen. Hierbei wird zwischen häufigen und seltenen Komplikationen unterschieden. Einflussfaktoren sind Dauer und Intensität der Reanimationsmaßnahmen, Alter des Patienten sowie eine gerinnungshemmende Medikation.

Abstract

Resuscitation attempts require invasive iatrogenic manipulations on the patient. On the one hand, these measures are essential for successful survival of the patient, but on the other hand can damage the patient. We differentiate between frequent and rare injuries. Factors of influence are duration and intensity of the resuscitation attempts, age of the patient as well as a coagulate-inhibiting medication.

Einleitung

Reanimationsmaßnahmen wie extrathorakale Herzdruckmassage, externe Defibrillation, endotracheale Intubation und die Punktion peripherer und zentraler Venen zur Medikamentenapplikation werden seit langer Zeit bei Patienten mit Herz-Kreislauf-Stillstand und unsicheren Todeszeichen angewendet, entweder bis zum Erreichen eines suffizienten Spontankreislaufes oder bis zur definitiven Feststellung des Todes [1]. Diese notwendigen, potenziell lebensrettenden Sofortmaßnahmen beinhalten ein nicht unerhebliches Verletzungsrisiko mit zum Teil forensischer, vor allem aber medizinischer Relevanz. Nachfolgend geben wir in der Zusammenschau mit gängiger Literatur eine Übersicht über häufige und seltene Obduktionsbefunde, die durch iatrogene Manipulationen im Rahmen einer frustranen Reanimation entstanden und bei der Autopsie offensichtlich wurden.

Häufige Verletzungen

Hals

Die oberen Luftwege sind naturgemäß von iatrogenen Reanimationstraumata häufig betroffen; hier sind als Verletzungsmechanismen die Reklination des Kopfes zum manuellen Beatmen sowie die endotracheale Intubation wesentliche Größen. Eine mit 9,2% relativ häufige Reanimationsfolge sind retropharyngeale Blutungen; auch Einrisse der Intima der Karotiden werden als Folge der mechanischen Traktionskräfte bei Hyperextension des Kopfes beobachtet [2]; neben Zahnschäden sind weitere, mit 18% häufig anzutreffende Reanimationsfolgen (tracheale) Mukosaläsionen durch multiple Intubationsversuche [3,4]. In einem Fall aus unserem Institut wurde durch wiederholte Intubationsversuche, Manipulationen mit dem Laryngoskop und Hyperextension des Kopfes beim Beatmen eines mit Phenprocoumon antikoagulierten Patienten ein massives Weichteilhämatom im Bereich des Kehlkopfes gesetzt (Abb. 1), das nach frustraner Reanimation äußerlich durch Petechien in den Augenbindehäuten und eine obere Einflusstauung offensichtlich wurde und zunächst einen Tod durch Erdrosseln vorgetäuscht hatte. Todes-

Bibliografie

DOI 10.1055/s-2008-1067511
Der Notarzt 2008; 24: 197–202
© Georg Thieme Verlag KG
Stuttgart · New York ·
ISSN 0177-2309

Korrespondenzadresse

Dr. med. Claas T. Buschmann
Charité – Universitätsmedizin
Berlin, Institut für Rechts-
medizin
Turmstr. 21, Haus I
10559 Berlin
Tel.: 030/901728-147
Fax: 030/901728-154
claas.buschmann@charite.de
http://remed.charite.de

¹ Erstveröffentlichung des Beitrags in der Dtsch Med Wochenschr 2008; 133: 1244–1248.

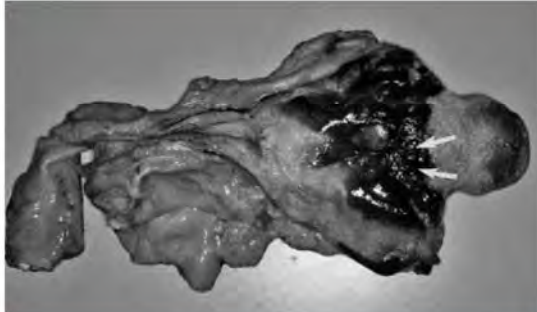


Abb. 1 Massive Hämatome in Halsmuskulatur und -weichteilen (Pfeile) durch wiederholte Intubationsversuche und Hyperextension des Kopfes nach Reanimation eines Marcumar®-Patienten.

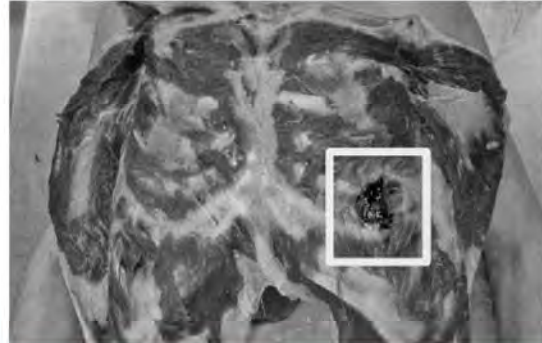


Abb. 3 Rippenfraktur (Quadrat) nach extrathorakaler Herzdruckmassage.

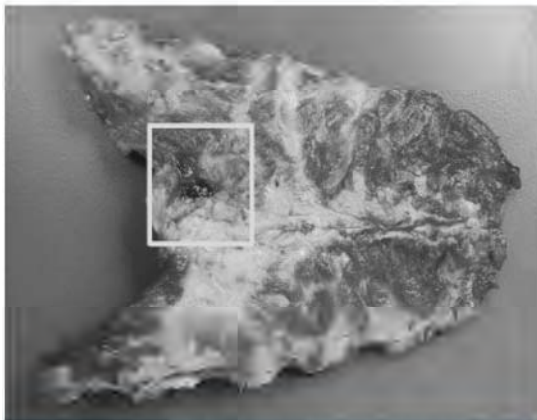


Abb. 2 Sternumfraktur (Quadrat) nach extrathorakaler Herzdruckmassage.

ursächlich war in diesem Fall allerdings eine stenosierende Koronararteriosklerose.

Thorax

Die häufigsten zu beobachtenden knöchernen Reanimationsverletzungen sind mit 40–70% der Fälle Rippen- und Sternumfrakturen, die im Rahmen der Reanimation durch extrathorakale Herzdruckmassage verursacht wurden. Rippenfrakturen treten häufiger links (vornehmlich 2.–7. Rippe) als rechts (vornehmlich 2.–6. Rippe) in der Medioklavikularlinie auf und sind generell häufiger bei älteren Menschen zu beobachten, wenn zur Thoraxkompression wegen erhöhter Thoraxrigidität ein vermehrter Kraftaufwand erforderlich ist [5] (Abb. 2 u. Abb. 3). Diese Verletzungen müssen von rechtsmedizinischer Seite gegen andere Traumata der Thoraxwand, beispielsweise durch Angriff oder Unfall, abgegrenzt werden [6]. Hier ist anzumerken, dass die alleinige konventionelle Röntgenuntersuchung bei der Diagnose knöcherner Thoraxverletzungen Grenzen hat und diese Verletzungen oft erst autoptisch nachgewiesen werden [7]. Bei Kindern sind reanimationsbedingte Verletzungen der Thoraxwand selten zu beobachten; dies liegt zum einen in der altersbedingt höheren Elastizität des knöchernen Thorax begründet, andererseits sind Reanimationen im Kindesalter insgesamt

seltener. Wenn knöcherner Verletzungen vorliegen, müssen diese differenzialdiagnostisch von vorangegangenen Misshandlungen unterschieden werden [8]. Komplizierend erscheint hier, dass auch bekannte Misshandlungsverletzungen wie retinale Blutungen im Kindesalter in seltenen Fällen offensichtlich durch Wiederbelebungsversuche provoziert werden können [9]. Wie auch bei Erwachsenen steigt bei Kindern mit zunehmender Dauer der Reanimation die Wahrscheinlichkeit, ernsthafte Verletzungen des knöchernen Thorax zu provozieren [10]. Knöcherner Thoraxverletzungen können mit Hautläsionen durch externe Herzdruckmassage im Sternumbereich verbunden sein. Dermabrasionen treten nach Reanimation sehr oft in Erscheinung und sind in aller Regel ohne klinische oder forensische Relevanz, können aber auf tieferliegende knöcherner Läsionen hinweisen. Wir beobachteten im Fall einer tödlichen Aortendissektion mit konsekutiver Perikardtamponade massive iatrogene Rippenserienfrakturen beidseits sowie eine Sternumfraktur mit Dermabrasion: Bei Perikardtamponade gelang es nicht, einen Ersatzkreislauf aufzubauen, weshalb die externe Herzdruckmassage mit erhöhtem Kraftaufwand durchgeführt wurde – dies führte dann neben der Hautläsion zu ausgeprägten knöcherner Thoraxverletzungen.

Abdomen

„Fehl“-Intubationen der Trachea – der Endotrachealtubus liegt im Ösophagus – können durch kontinuierliche Luftinsufflation in den Magen zu einer gastraln Überdehnung (Abb. 4) mit nachfolgender Magenruptur, Hämato- und Pneumoperitoneum führen (Abb. 5) [11–15], wenn die Fehllage nicht zeitnah festgestellt wird. Unter laufender externer Herzdruckmassage erhöht sich dann die Gefahr, eine Perforation des Magens zu provozieren, da die Magenwand dann von innen und außen gleichzeitig komprimiert wird. Fehlintubationen sind leichter festzustellen als Blutungen in die Bauchhöhle, da sich nach falscher Intubation zeitnah klinische Zeichen wie Zyanose und Wölbung des Abdomens einstellen. Diese Situationen sind einfach zu erkennen und durch Korrektur der Lage des Endotrachealtubus sofort behebbar, weshalb anzunehmen ist, dass Fehlintubationen in klinischer Routine häufiger vorkommen als der forensische Beweis zu führen ist.

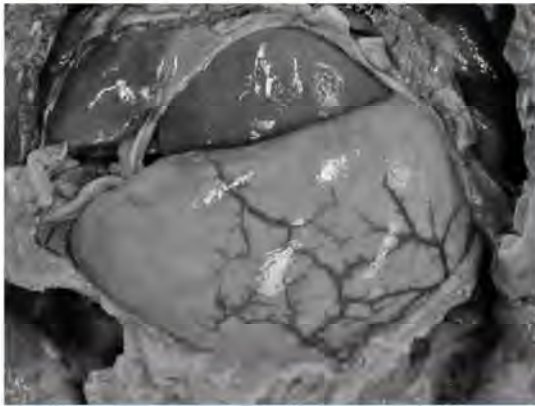


Abb. 4 Luftgefüllter Magen nach „Fehlintonation der Trachea“.

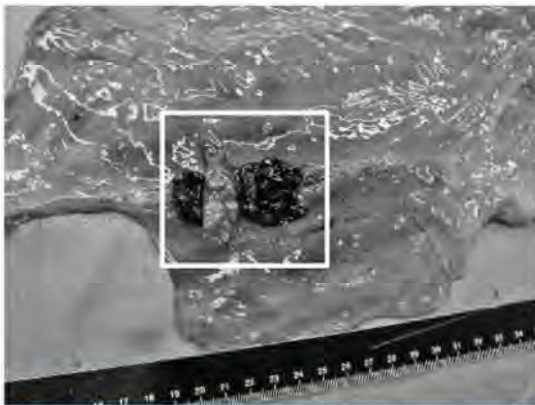


Abb. 5 Magenruptur (Quadrat) nach „Fehlintonation der Trachea“.

Seltene Verletzungen



Hals

Seltene Verletzungen im Halsbereich nach erfolgloser Reanimation sind Läsionen der Nervi recurrenti, des Sinus piriformis, der Stimmbänder und des Arytenoidknorpels [5]. Diese entstehen durch mechanische Manipulationen im Rahmen der endotrachealen Intubation. Weitere Komplikationen beinhalten lebensrettende Sofortmaßnahmen wie eine Tracheotomie oder eine Koniotomie [16]. Hier sind vor allem – je nach Ausdehnung der Inzision – Schleimhautläsionen und ausgedehnte Blutungen mit Aspiration und Verlegung der Atemwege beschrieben worden. Da Tracheotomie und Koniotomie jedoch in heutiger präklinischer Routine aufgrund der geschilderten Komplikationen nicht mehr zum Alltag gehören, geht mit strengerer Indikationsstellung auch ein insgesamt geringerer Anteil an den autopsisch festgestellten Reanimationsverletzungen des Halses einher.

Thorax

Nach externer Defibrillation kann es durch die transthorakal einwirkende Energie zu einem temporären Erythem kommen, falls die Defibrillationselektroden direkt in Kontakt mit der Haut treten und nicht – wie normalerweise üblich – durch eine schützende, aber leitende Gelschicht von der Hautoberfläche ge-

kurzgefasst

Häufige Befunde nach erfolgloser Reanimation sind im Bereich der oberen Luftwege vor allem Läsionen trachealer Strukturen durch protrahierte Intubationsversuche. Im Thoraxbereich finden sich oft durch extrathorakale Herzdruckmassage verursachte Rippen- und Sternumfrakturen, während Perforationen abdominalen Organe durch gastrale Luftinsufflation nach trachealer Fehlintonation hervorgerufen werden können.

trennt sind. Dieses Erythem heilt in aller Regel nach erfolgreicher Wiederbelebung ab; Fälle von Rhabdomyolyse, Myogloburie und konsekutivem Nierenversagen nach externer Defibrillation und Kardioversion sind jedoch beschrieben worden [17]. Sofern im Rahmen der Wiederbelebung frakturierte Rippen Perikardtamponade, Verletzungen von Herzmuskel, Perikard, Pleura, Diaphragma oder Pneumo- bzw. Hämatothorax verursachen, ist mit entsprechend ungünstigen Folgen für den Ausgang der Reanimation zu rechnen. Bode und Joachim [18] beschreiben Fälle von Aortenrupturen nach Reanimation, vor allem im Bereich der Pars descendens, und geben die Inzidenz mit 1% an. Insgesamt korreliert das Auftreten dieser Komplikationen nach Literaturlage positiv mit der Einsinktiefen des frakturierten Sternums und der Benutzung aktiver Kompressions-Dekompressions-Geräte wie der Cardio-Pump® zur externen Herzdruckmassage [19].

Abdomen

Abdominelle Strukturen sind von iatrogenen Traumata nach Reanimation seltener betroffen als thorakale Strukturen, da sich die mechanischen Wiederbelebungsversuche primär auf das Herz konzentrieren – allerdings können aufgrund der topografischen Gegebenheiten hier vor allem Oberbauchorgane wie Leber, Magen und Milz in Mitleidenschaft gezogen werden [20–22]. Verletzungen intraabdomineller Organe liegen Läsionen durch vorher frakturierte Rippen bzw. das Sternum zugrunde – hier werden bei der extrathorakalen Herzdruckmassage ausgeübte Kräfte durch den instabilen Thorax auf die Abdominalorgane übertragen und können zu Rupturen und Perforationen führen. Aufgrund der anatomischen Lage ist vor allem der linke Leberlappen betroffen: Meron et al. [21] berichten in einer aktuellen Obduktionsserie in 0,6% der Fälle über Leberläsionen. Als begünstigender Faktor wird eine nicht adäquat ausgeführte Herzdruckmassage angesehen [21,23]. Krischer et al. [24] fanden in 2,1% der Fälle Verletzungen der Leber (Abb. 6 u. Abb. 7).

Noch seltener sind Milz- oder Magenrupturen. Im Falle von Magenläsionen wird die Inzidenz mit 1% angegeben [18]; allerdings werden hier nicht nur mechanische Verhältnisse, sondern die auch künstliche Beatmung mit hohen Drücken verantwortlich gemacht. Insgesamt sind abdominelle Verletzungen nach Reanimation selten, aber schwerwiegend und im Rahmen einer laufenden Wiederbelebung im Gegensatz zu Fehlintonationen nicht therapierbar. Freie Flüssigkeit im Bauchraum, vor allem bei zweizeitiger Blutung, wird erst mit einer teilweise großen Latenzzeit durch hämodynamische Instabilität symptomatisch und muss dann chirurgisch versorgt werden, sofern der Patient erfolgreich reanimiert werden konnte. Insgesamt wird der Verlauf kompliziert [25]. Erschwerend kommt hinzu, dass Kreislaufschwankungen ein üblicher Befund im Rahmen von Reanimationen sind [21].

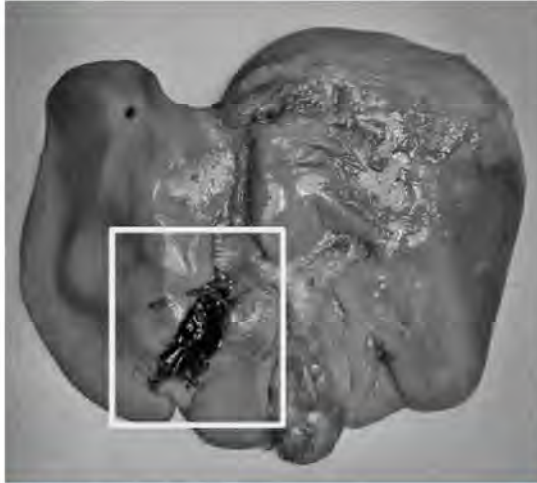


Abb. 6 Leberruptur nach Reanimation.

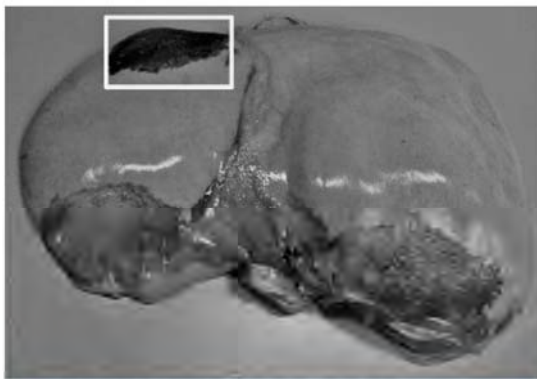


Abb. 7 Subkapsuläres Hämatom der Leber nach Reanimation.

Ferner kann bei stenosierender Koronarthrombose als vermutete häufige Ursache des Herz-Kreislauf-Stillstandes die Indikation zur Thrombolysie gestellt werden, was das Risiko für das Auftreten von Blutungskomplikationen auf bis zu 10% erhöht, vor allem wenn der Patient bereits antikoaguliert ist. Die Dauer der Wiederbelebungsmaßnahmen scheint hierbei keine Rolle zu spielen [26]. Auch kann es bei massivem Kraftaufwand im Rahmen der externen Herzdruckmassage zur Aspiration von Mageninhalt kommen [27].

Weitere Verletzungen

Eine weitere seltene, aber gefährliche Komplikation ist die iatrogen provozierte Luftembolie nach zentraler Venenpunktion. Zentrale Gefäße sind im Rahmen einer Reanimation gestaut, an der Außenseite des Halses leicht zugänglich und werden oft punktiert, da der Arzt üblicherweise am Kopf des Patienten arbeitet. Bei suffizienter externer Herzdruckmassage kann im Gefäß allerdings ein (physiologischer) Unterdruck erzeugt und bei Punktionsversuchen unter laufender Reanimation Umgebungsluft in die Vene aspiriert werden [5]. Auch durch pulmonale Barotrauma bei Intubation und künstlicher Beatmung können zerebrale Luftembolien provoziert werden [28, 29].

kurzgefasst

Seltene Halsverletzungen post reanimationem sind neben konio- oder tracheotomieinduzierten Komplikationen intubationsbedingte Läsionen nervaler und knorpeliger Strukturen im Bereich des Kehlkopfes. Thorakal können frakturierte Rippen Pleura, Perikard, Myokard und andere innere Organe sowie Gefäße verletzen, während im Bauchbereich vor allem Leber, Magen und Milz durch inadäquat ausgeführte Herzdruckmassage und ungünstige Druckverhältnisse in Mitleidenschaft gezogen werden.

Wie sind diese Beobachtungen zu werten?



Medizinische Aspekte

Reanimationsbemühungen erfordern invasive iatrogene Manipulationen am Patienten wie extrathorakale Herzdruckmassage, externe Defibrillation, endotracheale Intubation und die Punktion peripherer und zentraler Venen zur Medikamentenapplikation [1]. Diese Maßnahmen sind einerseits zur erfolgreichen Wiederbelebung des Patienten unerlässlich, können andererseits aber den Patienten schädigen und den Erfolg der Wiederbelebung negativ beeinflussen. Die Inzidenz reanimationsbedingter Verletzungen wird insgesamt zwischen 21 und 65% angegeben [30].

Die erfolgreiche Durchführung der kardiopulmonalen Reanimation erfordert neben der Kenntnis topografischer und anatomischer Gegebenheiten auch das Wissen um die angewandten Techniken und deren spezifische Risiken. So wird unter Notfallmedizinern die Frage aufgeworfen, ob die Vermeidung von Rippenfrakturen bei Reanimationen durch geringeren Kraftaufwand oder die daraus resultierende Inkaufnahme einer geringeren mechanischen Einwirkung auf das Herz höherwertig anzusiedeln ist.

Die Leitlinien zur kardiopulmonalen Reanimation des European Resuscitation Council von 2005 bzw. der Bundesärztekammer von 2006 empfehlen bei einer Kompressionsfrequenz von 100/min eine Kompressionstiefe von 4–5 cm, um einen effektiven arteriellen Blutfluss zu gewährleisten. Des Weiteren wird der Stellenwert einer suffizienten Thoraxkompression gegenüber der Atemspende hervorgehoben, da 80% der Herz-Kreislauf-Stillstände kardial bedingt sind und in den ersten Minuten der arterielle Sauerstoffgehalt noch genügend hoch ist [11, 31]. Überspitzt kann diese Aussage derart interpretiert werden, dass – insbesondere bei einem rigiden Thorax – eine suffiziente Wirkung der Herzdruckmassage erst ermöglicht wird, wenn Rippen- oder Sternumfrakturen in Kauf genommen werden. Insgesamt gesehen sind das Outcome besser bzw. die Komplikationsrate geringer, wenn die Reanimation leitliniengerecht durchgeführt wird. Dies gilt vor allem, wenn die Thoraxkompression – gerade in den ersten Minuten nach Herz-Kreislauf-Stillstand – nicht unterbrochen wird [32, 33].

Letztlich muss festgehalten werden, dass Rippen- und Sternumfrakturen nach Wiederbelebungsversuchen oft vorkommen (nach Lederer et al. in 94,7%), in aller Regel aber selten den primären Ausgang der Reanimation negativ beeinflussen [7]. Andererseits können Brustbein- oder Rippenfrakturen Pneumo- und/oder Hämatothorazes bzw. parenchymatöse Lungenverletzungen verursachen, sodass sekundär ventilatorische Störungen in der postreanimatorischen Phase gehäuft auftreten können – diese beinhalten letztlich das Risiko letaler Komplikationen [18].

Iatrogen induzierte Traumata sind also nicht nur präklinisch bzw. in der Wiederbelebungsituation von Bedeutung für das Überleben des Patienten, sondern können auch erst in der Klinik nach erfolgreicher Stabilisierung als beispielsweise gedeckte und zweizeitige Organperforationen evident werden. Umso wichtiger ist es, in Abwägung der Mittel und Umstände vorzugehen und schon unter Reanimation Maßnahmen zu ergreifen, die einerseits das Risiko sofortiger Komplikationen minimieren, andererseits auch im weiteren Verlauf den Patienten vor Schaden bewahren. Hier ist als Beispiel die Platzierung einer Magensonde zur Druckentlastung und Aspirationsprophylaxe zu nennen: Eine iatrogen induzierte Komplikation kann die Aspiration von Mageninhalt [27] oder die Magenruptur nach künstlicher Beatmung mit hohen Drücken sein; diese ist meist an der kleinen Krümmung lokalisiert [18].

Forensische Aspekte

Aus der eigenen rechtsmedizinischen Praxis ist uns kein Fall bekannt, in dem allein eine iatrogen induzierte Reanimationsverletzung rechtliche Konsequenzen zur Folge gehabt hätte. Natürlich sind Szenarien denkbar, die – auch im Rahmen einer Wiederbelebung – durch offenkundiges Falschbehandeln des Patienten rechtliche Konsequenzen für den Arzt nach sich ziehen, beispielsweise Fehlintubationen der Trachea. Deswegen aber im Rahmen einer Reanimation auf notwendige Maßnahmen zu verzichten wäre fahrlässig. Forensische Bedeutung besteht vielmehr auch im Unterlassen von Reanimationsbemühungen, ohne das Vorliegen sicherer Todeszeichen. Dies betrifft neben Ärzten vor allem medizinisches Assistenzpersonal wie Krankenschwestern und Rettungsassistenten. Für Pathologen und Rechtsmediziner liegt die forensische Relevanz in der sicheren, autoptischen Unterscheidung reanimationsbedingter und anderer Verletzungsursachen.

Fazit

Reanimationsbedingte Verletzungen sind nicht zu vermeiden bzw. werden sich mit zunehmender Dauer der Reanimationsbemühungen zwangsläufig einstellen, besonders wenn andere Faktoren hinzukommen. Einflussfaktoren sind Dauer und Intensität der Reanimationsmaßnahmen, Geschlecht und Alter des Patienten sowie eine gerinnungshemmende Medikation. Erschwerend kommt hinzu, dass diese Verletzungen oftmals in der Wiederbelebungsituation nicht sofort auffallen, sondern sich vielmehr durch ausbleibenden Erfolg der Wiederbelebung manifestieren. Zu den differenzialdiagnostischen Überlegungen gehört es, nach iatrogenen Verletzungen zu suchen, wenn sich der Zustand eines Patienten unter Reanimation nicht stabilisiert und keine Ursachen erkennbar sind, die den Erfolg der Reanimation unwahrscheinlich erscheinen lassen (traumatische Genese mit hämorrhagischem Geschehen nach stumpfer Gewalt [18]) bzw. diese kausal behoben werden können.

Interessenkonflikte

Die Autoren versichern, dass weder zu Firmen, deren Produkte in diesem Artikel genannt werden noch zu Firmen, die entsprechende Konkurrenzprodukte vertreiben, finanzielle Verbindungen bestehen.

Konsequenz für Klinik und Praxis

- ▶ Im Falle reanimationsbedingter Traumata wird zwischen häufigen und seltenen Komplikationen unterschieden.
- ▶ Das Risiko iatrogenen Reanimationstraumata ist auch bei adäquater Durchführung gegeben und sollte keinesfalls den Einsatz bewährter Wiederbelebungsstechniken infrage stellen.
- ▶ Die beteiligten Ärzte sollten allerdings um die Relevanz und die Häufigkeit des Auftretens von iatrogen induzierten Reanimationsverletzungen wissen, um diese – wenn möglich – zu vermeiden und von Verletzungen anderen Ursprunges abgrenzen zu können.

Literatur

- 1 Larsen R. Kardiopulmonale Reanimation. In: Larsen R, ed: Anästhesie (8nd Edition). München, Jena: Urban & Fischer Verlag, 2002: 851–900
- 2 Saternus KS, Fuchs V. Verletzungen der A. carotis communis durch Reanimationsmaßnahmen. Z Rechtsmed 1982; 88: 305–311
- 3 Jaeger K, Ruschulte H, Osthaus A et al. Tracheal injury as a sequence of multiple attempts of endotracheal intubation in the course of a preclinical cardiopulmonary resuscitation. Resuscitation 2000; 43: 147–150
- 4 Maxeiner H. Weichteilverletzungen am Kehlkopf bei notfallmäßiger Intubation. Anästh Intensivmed 1988; 29: 42–49
- 5 Darok M. Injuries resulting from resuscitation procedures. In: Tsokos M, ed: Forensic Pathology Reviews Vol 1. Totowa, NJ: Humana Press Inc, 2004: 293–303
- 6 Sperry K. Anterior thoracic wall trauma in elderly homicide victims. The „CPR“ defense. Am J Forensic Med Pathol 1990; 11: 50–55
- 7 Lederer W, Mair D, Rabl W et al. Frequency of rib and sternum fractures associated with out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation is underestimated by conventional chest X-ray. Resuscitation 2004; 60: 157–162
- 8 Price EA, Rush LR, Perper JA et al. Cardiopulmonary resuscitation-related injuries and homicidal blunt abdominal trauma in children. Am J Forensic Med Pathol 2000; 21: 307–310
- 9 Odom A, Christ E, Kerr N et al. Prevalence of Retinal Hemorrhages in Pediatric Patients After In-Hospital Cardiopulmonary Resuscitation: A Prospective Study. Pediatrics 1997; DOI: 10.1542/peds.99.6.e3
- 10 Ryan MP, Young SJ, Wells DL. Do resuscitation attempts in children who die, cause injury? Emerg Med J 2003; 20: 10–12
- 11 Dirks B, Seifrin P. Reanimation 2006 – Empfehlungen der Bundesärztekammer nach den Leitlinien des European Resuscitation Council. Dtsch Arztebl 2006; 103 (34–35): A2263–A2267
- 12 Hartoko TJ, Demey HE, Rogers PE et al. Pneumoperitoneum – a rare complication of cardiopulmonary resuscitation. Acta Anaesth Scand 1991; 35: 235–237
- 13 Krause S, Donen N. Gastric rupture during cardiopulmonary resuscitation. Can Anaesth Soc J 1984; 31: 319–322
- 14 Mills SA, Paulson D, Scott SM et al. Tension pneumoperitoneum and gastric rupture following cardiopulmonary resuscitation. Ann Emerg Med 1983; 12: 94–95
- 15 Schwadron E, Moses Y, Weissberg D. Gastric Rupture complicating inadvertent intubation of the esophagus. Can J Surg 1996; 39: 487–489
- 16 Bauer H, Welsch K. Punktions-Techniken in der Notfallmedizin. Münchener Medizinische Wochenschrift 1976; 118: 567–572
- 17 Minor RL Jr, Chandran PK, Williams CL. Rhabdomyolysis and myoglobinuric renal failure following cardioversion and CPR for acute MI. Chest 1990; 97: 485–486
- 18 Bode G, Joachim H. Zur Differenzialdiagnose von Unfall- und Reanimationstraumen. Z Rechtsmed 1987; 98: 19–32
- 19 Rabl W, Baubin M, Haid C et al. Review of active compression-decompression cardiopulmonary resuscitation (ACD-CPR). Analysis of iatrogenic complications and their biomechanical explanation. Forensic Sci Int 1997; 89: 175–183
- 20 Klitsch M, Darok M, Radner H. Massive injury to the heart after attempted active compression-decompression cardiopulmonary resuscitation. Int J Legal Med 1998; 111: 93–96

- 21 Meron G, Kurkciyan I, Sterz F et al. Cardiopulmonary resuscitation-associated major liver injury. *Resuscitation* DOI: 10.1016/j.resuscitation.2007.05.023
- 22 Noffsinger AE, Blisard KS, Balko MG. Cardiac laceration and pericardial tamponade due to cardiopulmonary resuscitation after myocardial infarction. *J Forensic Sci* 1991; 36: 1760–1764
- 23 Umach P, Unterdorfer H. Organverletzungen durch Reanimationsmaßnahmen. *Beiträge zur Gerichtlichen Medizin* 1980; 38: 29–32
- 24 Krischer JP, Fine EG, Davis JH et al. Complications of cardiac resuscitation. *Chest* 1987; 92: 287–291
- 25 Ziegenfuss MD, Mullany DV. Traumatic liver injury complicating cardio-pulmonary resuscitation. The value of a major intensive care facility: a report of two cases. *Crit Care Resusc* 2004; 2: 102–104
- 26 Kurkciyan I, Meron G, Sterz F et al. Major bleeding complications after cardiopulmonary resuscitation: impact of thrombolytic treatment. *Journal of Internal Medicine* 2003; 253: 128–135
- 27 Lawes EG, Baskett PJ. Pulmonary aspiration during unsuccessful cardiopulmonary resuscitation. *Intensive Care Med* 1987; 13: 379–382
- 28 Shulman D, Beilin B, Olshwang D. Pulmonary barotrauma during cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 1987; 15: 201–207
- 29 Yamaki T, Ando S, Ohta K et al. CT demonstration of massive cerebral air embolism from pulmonary barotraumas due to cardiopulmonary resuscitation. *J Comput Assist Tomogr* 1989; 13: 313–315
- 30 Hashimoto Y, Moriya F, Furumiyu J. Forensic aspects of complications resulting from cardiopulmonary resuscitation. *Legal Medicine* 2007; 9: 94–99
- 31 Kardiopulmonale Reanimation – Aktuelle Leitlinien des European Resuscitation Council. *Notfall- und Rettungsmedizin* 2006; 9: 4–170
- 32 Valenzuela TD, Kern KB, Clark LL et al. Interruptions of chest compressions during emergency medical systems resuscitation. *Circulation* 2005; 112: 1259–1265
- 33 Wik L, Kramer-Johansen J, Myklebust H et al. Quality of cardiopulmonary resuscitation during out-of-hospital cardiac arrest. *JAMA* 2005; 293: 299–304
- 34 Eldor J, Ofek B, Abramowitz HB. Perforation of oesophagus by tracheal tube during resuscitation. *Anaesthesia* 1990; 45: 70–71

Leserbrief

Iatrogene Traumata nach frustraner Reanimation

Der Notarzt 2008; 24: 197–202

Sehr geehrter Herausgeber, mit Interesse haben wir den Betrag von Buschmann und Tsokos im Notarzt gelesen. Umso betrüblicher ist es, dass er, über iatrogene Traumata durch Reanimationsbehandlung sprechend, den Ösophagus vergisst. Diese Verletzung ist gerade bei Fehlintubationen und Luftinsufflation vor Reanimation eine reale, wenngleich seltene Komplikation. Frühe Diagnostik und operative Therapie können hier eventuell den Patienten retten.

Literatur

1 Matevossian E et al. Oesophago-gastric muscular rupture after resuscitation. ANZ J Surg 2008; 78: 719

Dietrich Doll,
Dr. med. Edouard Matevossian,
Chirurgische Klinik und Poliklinik,
Klinikum rechts der Isar der TU München

Stellungnahme

Mit großem Interesse haben wir den Brief der Kollegen Doll und Matevossian zur Kenntnis genommen und möchten uns an dieser Stelle für das unserer Arbeit entgegengebrachte Interesse und die freundlicherweise übersandte Literaturstelle bedanken. Tatsächlich gab es in unserem Institut in den letzten 15 Jahren keinen Fall von autopsisch diagnostizierter, reanimationsbedingter Ösophagusruptur. Gleichwohl ist den Münchener Kollegen hinsichtlich der geschilderten Pathomechanismen, speziell unter laufender Reanimation, beizupflichten: Bei Fehlintubationen ist die Ösophagusruptur eine seltene und gefährliche Komplikation, die frühzeitig erkannt und chirurgisch therapiert werden muss, um den Patienten zu retten.

Dr. med. C. Buschmann,
Prof. Dr. med. M. Tsokos,
Institut für Rechtsmedizin,
Charité – Universitätsmedizin Berlin

Reanimation

Erfolge dank Herz-Lungen-Maschine

Der Einsatz eines extrakorporalen Lebenserhaltungssystems (Herz-Lungen-Maschine) erhöht die Überlebenschancen bei einem kardial induzierten Herz-Kreislaufstillstand wesentlich. Dies belegt eine prospektive Kohortenstudie von Chen et al. Lancet 2008; 372: 554–561

Extrakorporale Lebenserhaltungssysteme werden über die Vena und Arteria femoralis durch Punktion an den Blutkreislauf angeschlossen. Sie bestehen aus einer Pumpe, die die Blutzirkulation gewährleistet.

Eine Oxygenierungseinheit übernimmt partiell die Lungenfunktion. Diese extrakorporalen Systeme, die aus der Kardiochirurgie stammen, können deshalb auch bei einem Herz-Kreislaufstillstand eingesetzt werden.

Überlebensraten bis zu 1 Jahr erfasst

Die Autoren prüften von 2004–2006 die Effektivität dieses Reanimationsprinzips unter klinischen Bedingungen. Nach Maßgabe des behandelnden Arztes konnte bei einer kardial bedingten Reanimation, die mindestens 10 Minuten andauerte, eine Spezialeinheit des Krankenhauses alarmiert werden. Deren Ärzte übernahmen dann mit der extrakorporalen Einheit die Fortführung der Reanimation. Erfasst wurden alle Reanimationen in der Klinik. Zielkriterien der Studie waren die Überlebensraten bis zu 1 Jahr nach der Reanimation. Dabei wurde auch das neurologische Folgebild bewertet. Die Autoren verglichen dann die Erfolge der konventionellen Reanimationstechnik mit der Prognose nach Einsatz der extrakorporalen Technik.

Extrakorporales System verbesserte die Prognose

113 Patienten waren konventionell reanimiert worden. Bei 59 Patienten wurde extrakorporal reanimiert. In beiden Gruppen lag die Reanimationszeit bei ca. 45 Minuten. Der Einsatz des extrakorporalen Systems verbesserte sowohl die Kurzzeit-

als auch die Langzeitprognose signifikant. Die Überlebenschance (Hazard Ratio) konnte durch Einsatz der extrakorporalen Technik verdoppelt werden. Die ersten 30 Tage nach der Reanimation hatten 17 % der konventionell Reanimierten, aber 35 % der extrakorporal Reanimierten überlebt. Diese Tendenz war auch nach 1 Jahr noch reproduzierbar. Beim neurologischen Folgebild zeigte sich keine Gruppendifferenz.

Fazit

Bei Patienten, die aus kardialer Ursache reanimiert werden, sollte der Einsatz von extrakorporalen Lebenserhaltungssystemen erwogen werden. Die wesentliche Prognoseverbesserung durch diese Technik ist, so die Meinung der Autoren, auch darauf zurückzuführen, dass so zusätzliche lebensrettende Interventionen, wie etwa eine Notfall-PTCA, ermöglicht werden. Die Thoraxkompression während der konventionellen Reanimation macht dies sonst unmöglich.

Kommentar zur Studie

S. Lee und Y. Hong sehen die Studie als klaren Beleg dafür, dass der Einsatz der extrakorporalen Reanimationssysteme auch im regulären Klinikbetrieb sinnvoll ist. Der Erfolg dieser Technik könnte sogar durch eine zusätzliche Hypothermie verbessert werden. Da in der Studie nur der Einsatz bei stationären Patienten geprüft wurde, bleibt die Frage offen, ob auch Patienten mit präklinischem Herz-Kreislaufstillstand vom Einsatz solcher Systeme profitieren. Diese könnten z. B. in der Krankenhausambulanz bereitgehalten werden.

Lancet 2008; 372: 512–514

Dr. Horst Gross, Berlin

Der Notarzt 2009; 25

3.2. Buschmann C, Tsokos M, Peters M, Kleber C (2012) Obduktionsbefunde und Interpretation nach frustraner Reanimation. Der Notarzt: 28:149-61

Die Notfallmedizin unterliegt – wie sämtliche andere Teilgebiete der Medizin auch – einem permanenten Innovationsdruck aus Wissenschaft, Praxis und Industrie. Insbesondere gilt dies für die Reanimatologie. Da insbesondere in dieser Disziplin zahlreiche Überschneidungen mit nahezu allen anderen Fachdisziplinen stattfinden, ist die Kenntnis aktueller präklinischer Reanimationsmethoden und -geräte nicht nur für praktische Notfallmediziner im Rettungsdienst, sondern auch für anderweitig tätige Ärzte obligat, sobald entsprechende Berührungspunkte entstehen. In der täglichen rechtsmedizinischen Praxis besteht die Schnittstelle Rechtsmedizin – Notfallmedizin wie ausgeführt regelmäßig im Erkennen, Nachvollziehen und Beurteilen notfallmedizinischer Maßnahmen am frustran reanimierten Patienten hinsichtlich Indikation, korrekter Durchführung und möglicher Komplikationen bei Leichenschau und Obduktion [25]. Auch die Nicht-Durchführung notfallmedizinischer Maßnahmen am Patienten kann im konkreten Einzelfall forensische Relevanz erlangen. In diesem Zusammenhang sind beispielhaft der nicht-entlastete Spannungspneumothorax (z. B. unter Reanimation) und die präklinische Stabilisierung instabiler Beckenfrakturen zur Beherrschung möglicher hämorrhagischer Schockzustände beim Trauma-Patienten unter Reanimation anzuführen [26,55]. Daher ist die Kenntnis aktueller notfallmedizinischer Leitlinien und Entwicklungen seitens des Leichenschauenden zwingend zur Beurteilung des Einzelfalles erforderlich. Bezüglich der Systematik bietet sich daher neben der vorstehend aufgeführten topographisch-anatomischen Einteilung reanimationsbedingter Verletzungen eine weitere systematische Einteilung hinsichtlich der durchgeführten Maßnahmen an (externe Herzdruckmassage, Atemwegssicherung, [Früh]-Defibrillation, Volumen- und Medikamentenapplikation, ggf. Thoraxentlastung), welche nachfolgend vorgestellt wird [27].

Obduktionsbefunde und Interpretation nach frustrierender Reanimation

Autopsy Findings and Interpretation After Unsuccessful Resuscitation

Autoren

C. Buschmann¹, M. Tsokos¹, M. Peters¹, C. Kleber²

Institute

¹ Charité – Universitätsmedizin Berlin, Institut für Rechtsmedizin (Direktor: Prof. Dr. med. M. Tsokos), Berlin
² Charité – Universitätsmedizin Berlin, Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie, Berlin

Schlüsselwörter

- Reanimation
- Reanimationsverletzungen
- Notfallmedizin
- Obduktion

Keywords

- resuscitation
- resuscitation-related injuries
- emergency medicine
- autopsy

Zusammenfassung

Reanimationsmaßnahmen (externe Herzdruckmassage, [Früh-]Defibrillation, Atemwegssicherung, Medikamenten- und Volumenapplikation) können potenziell lebensrettend sein, beinhalten allerdings z. T. nicht unerhebliche Verletzungsrisiken für den Patienten, welche allein oder in Kombination nicht nur den initialen Erfolg der Reanimationsbemühungen limitieren, sondern auch nach initial erfolgreicher Wiederbelebung im klinischen Verlauf zu schwerwiegenden Komplikationen führen können. Wir berichten in der Synopsis aus Literatur und Obduktionsbefunden nach frustrierenden Wiederbelebungsversuchen über entsprechende medizinische und medikolegale Implikationen von reanimationsbedingten Verletzungen.

Abstract

Resuscitation techniques (external cardiac massage, [early] defibrillation, airway management, application of drugs and infusions) may be potentially life-saving, but they also contain a significant risk of injury for the patient. These resuscitation-related injuries – solitary or combined – might not only limit the success of the initial resuscitation attempts but they can also complicate the clinical course after primarily successful resuscitation. In the subsumption of literature and autopsy findings after unsuccessful resuscitation attempts, we report about medical and medicolegal implications of resuscitation-related trauma.

Einleitung

Die Grundzüge der heute als Standard verwendeten Technik der kardiopulmonalen Reanimation (CPR) wurden erstmals Anfang der 1960er-Jahre beschrieben [1–3]. Seit dieser Zeit werden national und international gültige Richtlinien und Standards zur Durchführung der CPR erarbeitet, aktualisiert und in regelmäßigen Abständen herausgegeben; die letzte Aktualisierung erfolgte im Jahr 2010 [4]. Als primäre Ziele der CPR gelten nach wie vor die Wiederherstellung eines Spontankreislaufs bzw. optimale Gewährleistung eines (temporären) Ersatzkreislaufs, die suffiziente Oxygenierung der Endstrombahn, die Behandlung der Ursache des Herz-Kreislauf-Stillstands (z. B. durch Lyse) und die Minimierung von Folgeschäden. Als Folgeschäden sind zunächst durch die Grunderkrankung (Herz-Kreislauf-Stillstand) bedingte Zustände wie Tod oder apallisches Syndrom durch Hypoxämie zu werten. Allerdings zählen auch iatrogene Verletzungen nach Reani-

mationsmaßnahmen zu möglichen Folgeschäden nach erfolgreicher CPR; die Inzidenz von Reanimationsverletzungen wird mit 21–65% d.F. angegeben [5]. Zur Erreichung der zuvor genannten Zielsetzung dienen im Wesentlichen vier Elemente:

- ▶ die externe Herzdruckmassage,
 - ▶ die (Früh-)Defibrillation,
 - ▶ eine suffiziente Atemwegssicherung sowie
 - ▶ die Medikamenten- und Volumenapplikation.
- Jede dieser potenziell lebensrettenden Maßnahmen beinhaltet allerdings auch ein nicht unerhebliches Verletzungsrisiko für den reanimationspflichtigen Patienten; derartige Verletzungen können allein oder in Kombination nicht nur den initialen Erfolg der Reanimationsbemühungen limitieren, sondern auch nach initial erfolgreicher Wiederbelebung im klinischen Verlauf zu schwerwiegenden Komplikationen führen. Erschwerend kommt hinzu, dass solche Verletzungen oftmals während der Reanimation nicht sofort diagnostiziert werden, sondern zunächst un-

Bibliografie

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0032-1305095>
 Notarzt 2012; 28: 149–161
 © Georg Thieme Verlag KG
 Stuttgart · New York
 ISSN 0177-2309

Korrespondenzadresse

Dr. med. Claas T. Buschmann
 Charité – Universitätsmedizin
 Berlin, Institut für Rechts-
 medizin (Direktor: Prof. Dr.
 med. M. Tsokos)
 Turmstraße 21, Haus N
 10559 Berlin
 Tel.: +49 30 450 525-216
 Fax: +49 30 450 525-931
claas.buschmann@charite.de
<http://remed.charite.de>

erkannt bleiben und sich vielmehr als ausbleibender Erfolg der Wiederbelebungsmaßnahmen manifestieren. Wir berichten nachfolgend in der Zusammenschau mit aktueller Literatur über Obduktionsbefunde nach frustranen Reanimationsversuchen (ca. 1000 gerichtliche Obduktionen/Jahr im Institut für Rechtsmedizin der Charité – Universitätsmedizin Berlin) sowie entsprechende medizinische und medikolegale Implikationen.

Externe Herzdruckmassage

Der externen Herzdruckmassage wird ein immer weiter zunehmender Vorrang vor den übrigen Wiederbelebungsmaßnahmen eingeräumt. Dies spiegelt sich u. a. darin wider, dass in den aktuellen Reanimationsleitlinien (2010) eine Brustkorbkompressionstiefe von 5–6 cm bei einer Frequenz von 100–120/min gefordert wird, während im Jahr 2005 noch eine Kompressionstiefe von 4–5 cm bei einer Frequenz von 80–100/min als suffizient erachtet wurde [4]. Weiterhin wird aktuell im Bereich der Laienreanimation die Durchführung der Wiederbelebung durch die externe Herzdruckmassage unter Verzicht auf eine Atemspende („pump only“) gelehrt; die Vereinfachung der Anweisungen im Reanimationsfall soll bereits bei medizinischen Laien durch das schnellere Erkennen des Herz-Kreislauf-Stillstands ohne lange „Laiendiagnostik“ zu einem schnelleren und häufigeren Beginn der externen Herzdruckmassage ohne Atemspende führen. Auch professionelle Helfer sind aufgefordert, im Reanimationsfall regelmäßig zwischen der Position am Kopf des Patienten und der Position neben dem Thorax zu wechseln, um bei einsetzender körperlicher Erschöpfung Drucktiefe und Geschwindigkeit der externen Herzdruckmassage kontinuierlich aufrechterhalten zu können. Generell sollen kompressionsfreie Intervalle („no-flow-time“) so weit wie möglich vermieden werden; so wird z. B. die Unterbrechung der externen Herzdruckmassage während des Ladens eines Defibrillators in den aktuellen Guidelines nicht mehr gefordert. Die mechanische Einwirkung auf das Herz mittels externer Herzdruckmassage zum Erreichen eines temporären Ersatzkreislaufs besitzt insbesondere im Vergleich zur Applikation von Sauerstoff oberste Priorität.

In letzter Konsequenz stellt die externe Herzdruckmassage allerdings – wengleich in bester Absicht durchgeführt – auch ein teilweise massives stumpfes Thoraxtrauma dar. In der notärztlichen Praxis werden im Rahmen der externen Herzdruckmassage regelhaft Frakturen am knöchernen Thoraxskelett gesetzt, da mit zunehmendem Alter zwar die Inzidenz kardialer, einen Herz-Kreislauf-Stillstand verursachender Erkrankungen zu-, die Elastizität des Thoraxskeletts aber abnimmt. Dieses iatrogene stumpfe Thoraxtrauma gilt es bei der gerichtlichen Obduktion hinsichtlich Genese, Indikation und möglichen Komplikationen zu beurteilen.

Nach erfolgloser Reanimation lassen sich zunächst in bis zu 80% d. F. oberflächliche Hautabschürfungen/-vertrocknungen im vorderen Oberkörperbereich beobachten; diese können ungeformt (manuelle externe Herzdruckmassage – Handballen) oder auch geformt sein, wenn zur mechanischen externen Herzdruckmassage Hilfsmittel wie z. B. das Lund University Cardiopulmonary Assist System (LUCAS™) oder der AutoPulse® der Firma ZOLL, Chelmsford/Massachusetts, USA, eingesetzt werden (Abb. 1). Derartige Dermabrasiones beinhalten zunächst – abgesehen von theoretisch denkbaren sekundären Komplikationen wie Narbenbildungen oder Infektionen – keine klinische Relevanz. Sie kön-



Abb. 1 Geformte Hautvertrocknung nach externer Herzdruckmassage mittels LUCAS™.

nen aber Hinweise auf eventuelle knöcherne Läsionen am darunterliegenden Brustkorbskelett geben, da zu ihrer Entstehung über einen sicherlich längeren Zeitraum mit einem größeren Kraftaufwand auf diesen Bereich eingewirkt worden sein muss. Beachtenswert ist in diesem Zusammenhang, dass mechanischen Reanimationsgeräten wie der CardioPump™ im Vergleich zur manuellen externen Herzdruckmassage generell ein höheres Verletzungspotenzial zugeschrieben wird, während die Verwendung des LUCAS™ kein erhöhtes Verletzungsrisiko zu beinhalten scheint. Beim ZOLL® AutoPulse® handelt es sich um eine mechanische Reanimationshilfe, welche als Brett unter den Patienten geschoben wird; Elektromotoren ziehen nun ein quer über den Thorax laufendes Band rhythmisch ein und komprimieren so den Brustkorb breitflächig ähnlich einem Schwamm, welcher ausgewrungen wird. Denkbar wäre ein – durch eine breitflächigere Krafteinwirkung bedingtes – geringeres Verletzungsrisiko als durch eine punktuelle Krafteinwirkung auf den Thorax bei Verwendung von LUCAS™ oder CardioPump™. Insgesamt ist die Literaturlage hinsichtlich des Verletzungsrisikos durch die Verwendung mechanischer Reanimationshilfen jedoch uneinheitlich [6–9].

Es finden sich in 40–70% d. F. Rippen(serien)frakturen nach frustraner Wiederbelebung; diese sind meist links lokalisiert und betreffen am häufigsten die 2.–7. Rippen auf Höhe der mittleren Klavikulallinie. Brustbeinquerfrakturen – meist im mittleren Drittel – sind in 1–43% d. F. beobachtet worden. Intensität und Dauer der CPR korrelieren positiv mit der Häufigkeit knöcherner CPR-Verletzungen [5]. In diesem Kontext muss bezüglich der in den aktuellen ERC-Leitlinien enthaltenen Forderung, nach einer sog. „Rescue-Lyse“ weitere 60–90 min zu reanimieren, festgehalten werden, dass die „Rescue-Lyse“ oder auch der gelegentlich praktizierte Transport unter Reanimation direkt ins Herzkatheterlabor zwar im Einzelfall Gründe darstellen können, eine Reanimation vor Ort nicht abzubrechen, entsprechend den örtlichen Gegebenheiten die Reanimationszeit aber z. T. wesentlich verlängern und somit eine erhöhte Inzidenz reanimationsbedingter Verletzungen zur Folge haben werden.

Insbesondere in Fällen von Reanimationsversuchen nach vorangegangenem stumpfem Thoraxtrauma ist die rechtsmedizinische Einordnung von knöchernen Thoraxskeletverletzungen anspruchsvoll; diese kann nur in der Zusammenschau von Sachver-

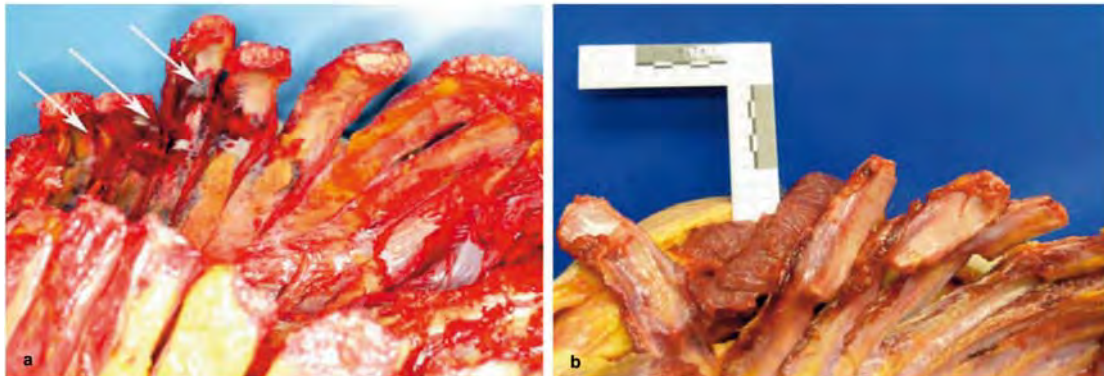


Abb. 2 Vitale Rippenserienfrakturen mit umgebender Unterblutung (Pfeile, a), avitale Rippenserienfrakturen ohne Unterblutung (b).

halt, Ereignisrekonstruktion und dokumentierten rettungsdienstlichen Maßnahmen geschehen werden [10]. Generell kann die Differenzierung durch die makroskopische Unterscheidung vitaler und avitaler Frakturen erfolgen, d.h. die Beantwortung der Frage, ob in der Umgebung der Fraktur(en) Gewebeeinblutungen vorliegen (Abb. 2a, b). Liegen solche Einblutungen vor, ist generell davon auszugehen, dass zum Zeitpunkt der Entstehung der Fraktur(en) eine suffiziente Kreislaufsituation – mit dann erst anschließendem Kreislaufzusammenbruch und Reanimationspflichtigkeit – vorgelegen hat. Da auch unter suffizienter manueller CPR maximal ein systemischer Blutdruck von nur ca. 30% des originären systemischen Blutdruckes erreicht werden kann [11], werden im Rahmen der externen Herzdruckmassage entstandene Frakturen am Thorax makromorphologisch zarter bis gar nicht eingeeblutet erscheinen – auch wenn durch Verwendung mechanischer Reanimationshilfen ein höherer systemischer Blutdruck als durch manuelle Herzdruckmassage erzielt werden kann, welcher allerdings immer noch keine physiologischen Normwerte erreicht [12].

Da die knöcherne Stabilität des frakturierten Brustkorbskeletts nicht mehr gegeben ist, können nun durch die Herzdruckmassage einwirkende Kräfte relativ ungehindert auf sämtliche inneren Strukturen übertragen werden. Dies ist einerseits beabsichtigt, um eine optimale mechanische Einwirkung auf das Herz zu erzielen, kann aber andererseits auch entsprechende penetrierende (Rippen, Sternum) oder auch stumpfe Traumata am Herz, Lungen oder anderen inneren Organen verursachen.

Es muss zunächst festgehalten werden, dass Rippen- und Sternumfrakturen nach Wiederbelebungsversuchen nahezu obligat vorkommen (nach Lederer et al. in 94,7% d.F.), bei isoliertem Auftreten aber selten den primären Ausgang der Reanimation negativ beeinflussen [13]; in kasuistischer Form sind auch Wirbelkörperfrakturen nach Reanimation beschrieben worden [14]. Nach Thoraxskelettfrakturen unter CPR können allerdings generell – in Analogie zu knöchernen Brustkorbverletzungen anderer Genese – sowohl primär lokale Komplikationen mit (potenzieller) sekundärer systemischer Manifestation als auch primär systemische Komplikationen auftreten, wobei schwere, systemisch wirksame Verletzungen seltener als leichtere, isolierte CPR-Verletzungen zu beobachten sind.

Zunächst können lokal begrenzte Brustbein- oder Rippenfrakturen Pneumo- und/oder Hämatothorazes bzw. parenchymatöse Lungenverletzungen verursachen, sodass unter laufender Beatmung initial oder im Verlauf ventilatorische Störungen bis hin

zum (Spannungs-)Pneumothorax auftreten können – diese beinhalten letztlich das Risiko letaler Komplikationen. Allerdings wird in der Literatur bisher nicht zwischen stumpfen (durch die CPR-induzierte Gewalteinwirkung auf den Thorax selbst bedingte) und penetrierenden (durch frakturierte Knochen bedingte) CPR-Verletzungen unterschieden, sodass zur Anspießung intrathorakaler/intraabdomineller Organe mit entsprechenden Komplikationen durch CPR-bedingt frakturierte Rippen/das Sternum keine verlässlichen Zahlen existieren.

Als gravierende, den Erfolg der Reanimationsbemühungen obligat zunichte machende Verletzungen sind beispielsweise das CPR-bedingte Verbiegen einer metallenen Aortenklappe mit Stenose der Ausflussbahn (Abb. 3a), das CPR-bedingte Deformieren eines Stents im Ramus circumflexus mit resultierender vollständiger Koronararterienokklusion (Abb. 3b), die traumatische partielle (Abb. 4a) oder sogar vollständige (Abb. 4b) Myokardruptur und traumatische Herzklappenschäden zu nennen. Derartige Befunde finden sich in der Literatur allenfalls in kasuistischer Form [15–18], sodass verlässliche Angaben zum prozentualen Auftreten derartiger schwerer Verletzungen schwierig zu tätigen sind; es dürfte sich aber insgesamt um Komplikationsraten im unteren einstelligen Prozentbereich handeln. Als zunächst primär lokal begrenzte Verletzungen mit (potenziell) systemischem Einfluss sind weiterhin (gedeckte) Verletzungen der Oberbauchorgane zu nennen. Dazu gehörten Leber-, Milz-, Magen-, Nieren- und Aortenrupturen; derartige Komplikationsraten bewegen sich ebenfalls im unteren einstelligen Prozentbereich (Inzidenz zwischen 0,3% und 4,3%) [5, 14, 19–22]. Als weitere primär systemische Komplikationen CPR-bedingter Verletzungen sind intravaskuläre Gaseinschlüsse in bis zu 71% d.F. [23] und – nach systemischer Verschleppung von Knochenmarksbestandteilen – auch multifokale Embolien in kasuistischer Form beschrieben worden sind [24–26].

Als wichtige postmortale Befunde nach erfolgloser Reanimation sind petechiale Stauungsblutungen in Gesicht und Konjunktiven durch Hypoxie und einen Anstieg des intrakapillären Drucks zu nennen; deren Auftreten variiert erheblich, die Inzidenz soll bis zu 21% betragen [27]. Erschwert wird die diagnostische Einordnung durch die Tatsache, dass schon die zum Todeseintritt führenden pathophysiologischen Abläufe (z.B. akutes Rechtsherzversagen, Lungenarterienthrombembolie, Gewalt gegen den Hals) diese Stauungsblutungen und weitere Zeichen der oberen Einflusstauung bis hin zu Subarachnoidalblutungen hervorrufen können.



Abb. 3 Ovalär deformierter Aorten-Kunstklappenring nach externer Herzdruckmassage (a), deformierter und dadurch komplett verschlossener RCX-Stent (Pfeil) nach externer Herzdruckmassage (b).

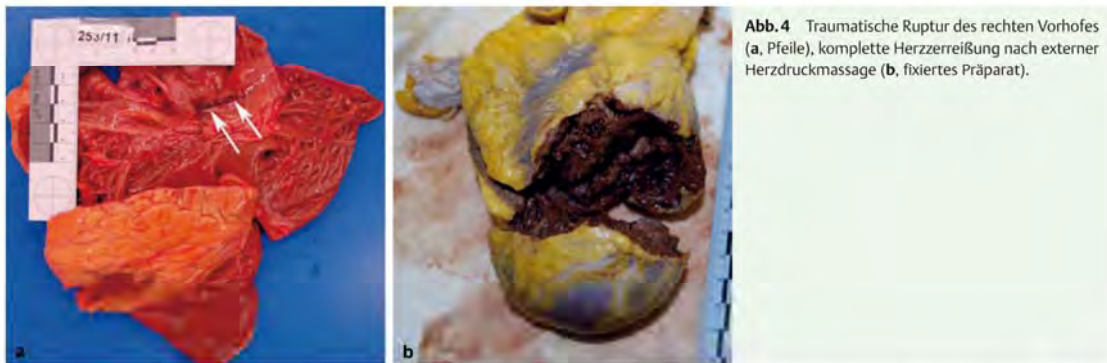


Abb. 4 Traumatische Ruptur des rechten Vorhofes (a, Pfeile), komplette Herzerreißung nach externer Herzdruckmassage (b, fixiertes Präparat).

Die externe Herzdruckmassage stellt somit eine invasive medizinische Maßnahme dar, welche zwar in der Reanimationssituation alternativlos, aber mit teilweise schwerwiegenden Komplikationen assoziiert ist. Im Rahmen des differenzialdiagnostischen Vorgehens bereits am Einsatzort, insbesondere bei sekundärer Verschlechterung nach erfolgreicher Reanimation oder erneutem Herz-Kreislauf-Stillstand, müssen daher mittels klinischer und apparativer Diagnostik (*Crepitatio? Auskultationsbefund? Weichteilemphysem? Instabiler Thorax ohne anderes Trauma? Instabile Kreislaufsituation?*) Komplikationen der externen Herzdruckmassage ausgeschlossen werden (v.a. *Pneumo-/Hämatothorax*). Komplizierend erscheint, dass Blutdruckschwankungen unter Reanimation einen üblichen Befund darstellen und somit die Differenzierung zwischen einer primär internistischen oder einer sekundär traumatischen Ursache des Herz-Kreislauf-Stillstands schwierig ist. Wichtig für die notärztliche Praxis ist jedoch, an die Möglichkeit eines sekundären (Spannungs-)Pneumothorax als Ursache des erneuten Herz-Kreislauf-Stillstands zu denken – insbesondere kardiologische Patienten unter systemischer Antikoagulation, z. B. nach Katheterintervention, haben bei gleichzeitigem Vorliegen von Rippenfrakturen ein potenziell erhöhtes Blutungsrisiko mit sekundärem Hämatothorax.

Auch in der Zielklinik sollte beim erfolgreich reanimierten Patienten mittels bildgebender Diagnostik (konventionelles Röntgen, Computertomografie) ein mögliches stumpfes Thoraxtrauma nach CPR ausgeschlossen werden. Die Durchführung einer entsprechenden Röntgenthoraxaufnahme in 2 Ebenen ist bereits

in den aktuellen Reanimationsleitlinien verankert [28]. Auch weitergehende bildgebende Verfahren bis hin zur CT-Untersuchung sind bei entsprechenden klinischen Hinweisen indiziert und werden bereits beispielsweise zum Ausschluss einer Lungenarterienthrombembolie routinemäßig durchgeführt.

(Früh-)Defibrillation

Die elektrische Defibrillation stellt die einzig kausal wirksame Methode zur sofortigen Depolarisation von Myokardiozyten bei Herzkammerflimmern oder pulsloser Kammertachykardie dar. Da mit jeder verstrichenen Minute die Chance auf eine erfolgreiche Defibrillation um 7–10% sinkt, muss diese Maßnahme so schnell wie möglich erfolgen [29]. Um das Kammerflimmern bzw. die pulslose Kammertachykardie zu durchbrechen, muss allerdings nicht jede Myokardzelle depolarisiert werden, vielmehr ist die Depolarisation einer sog. „kritischen Masse“ ausreichend. Daher müssen die Defibrillationselektroden so platziert werden, dass der Strom einen möglichst großen Anteil des Myokards des linken Ventrikels durchströmt. Entscheidend für den Erfolg der Defibrillation des Myokards ist aber nicht nur die abgegebene Energie, sondern die Energie, die das Myokard tatsächlich durchströmt. Diese wird durch den transthorakalen Widerstand bestimmt, der durch das Auftragen von Elektrodengel, eine geringe thorakale Gasfüllung und rasch aufeinanderfolgende Defibrillationen bzw. Defibrillationsserien möglichst gering gehalten wird.



Abb. 5 Tracheales Schleimhauthämatom im Bereich der Blockung nach Tubus-Entfernung als Nachweis der korrekten Tubusendlage (a); Larynxintubation *in situ*; rechtsmedizinische Präparation zum Nachweis der korrekten Lage (b); paratracheale Tubusfehlage nach Koniotomieversuch (c).

Trotz derartiger Maßnahmen sind nach rezidivierenden Defibrillationsserien Hauterytheme und/oder entsprechend den Defibrillationselektroden geformte Brandwunden am Oberkörper festzustellen, welche für sich genommen – ebenfalls abgesehen von theoretisch denkbaren sekundären Komplikationen wie Narben oder Infektionen – keine klinische Relevanz besitzen. Über systemische Komplikationen nach Defibrillation wie Rhabdomyolyse und Myoglobinurie mit konsekutivem Nierenversagen wurde bereits kasuistisch berichtet [30, 31]; verlässliche Zahlen existieren mangels größerer Studien hier unserer Kenntnis nach allerdings nicht. Ebenfalls können durch häufige Defibrillationen mit hoher Energie isolierte Myokardnekrosen provoziert werden. Das histologische Erscheinungsbild des Herzmuskels nach Defibrillation ist gut untersucht; hier sind Koagulationsnekrosen und Kontraktionsbänder die offensichtlichsten Artefakte, welche bei Unkenntnis als bereits zuvor vorhandene Myokardischämie fehlgedeutet werden können [32]. Auch die Anwendung β -adrenerger Katecholamine verursacht ein ähnliches histologisches Bild am Myokard. Wenn – was für gewöhnlich der Fall ist – Defibrillation und β -adrenerge Katecholamine gemeinsam eingesetzt werden, sind die myokardialen Veränderungen noch ausgeprägter [33]; in diesem Zusammenhang sei auf die notärztliche Dokumentationspflicht auch hinsichtlich der Anzahl der durchgeführten Defibrillationen und der applizierten Medikamente hingewiesen.

Atemwegssicherung

Die Gewährleistung einer suffizienten Ventilation, des Aspirationsschutzes und die Oxygenierung der Endstrombahn mittels Aufrechterhaltung oder Wiederherstellung einer suffizienten Hämodynamik unter bestmöglicher Ausnutzung der Sauerstoffbindungskapazität des zirkulierenden Blutvolumens ist zweifellos eine der wichtigsten notärztlichen Aufgaben, insbesondere unter Reanimationsbedingungen. Während in dieser Situation auch zunehmend supraglottische Atemwegshilfen zum Einsatz kommen, ist und bleibt die infraglottische endotracheale Intubation der Goldstandard zur präklinischen definitiven Atemwegssicherung. Prinzipiell müssen medizinische Geräte zur Rekonstruktion am/im Leichnam belassen werden. Insbesondere bei nicht natürlicher oder ungeklärter Todesart dürfen am Leichnam nach Todesfeststellung bzw. Beendigung der Reanimationsmaßnahmen keine Veränderungen mehr vorgenommen werden. Es handelt sich

nahezu bei allen notfallmedizinischen Geräten um Einmalartikel, deren Verbleib an/in der Leiche aus klinischer Sicht keine vermehrten Materialkosten verursacht, dem Rechtsmediziner aber die Einordnung der Artefakte in den Gesamtkontext erlaubt [34] – nach Extubation eines erfolglos reanimierten Patienten bleibt dem Obduzenten oft nur ein Cuffdruck-bedingtes tracheales Schleimhauthämatom zum Nachweis der korrekten endotrachealen Tubuslage (Abb. 5a). Der Nachweis der korrekten Lage eines Atemwegshilfsmittels geschieht aber optimalerweise entweder mittels postmortalen Bildgebung oder präparatorisch bei der Obduktion (Abb. 5b).

Alle präklinischen Atemwegssicherungsmaßnahmen beinhalten die Gefahr von Verletzungen der betroffenen Strukturen. Zunächst können bereits vor Einlage eine Atemwegshilfe durch das Reklिनieren des Kopfes Rupturen der (Intima der) A. carotis communis mit resultierender Blutung oder auch apoplektische Insulte durch Abgang von Kalkplaques mit einer Inzidenz von bis zu 9,2% auftreten [35]. Auch lagerungsbedingte knöcherner Verletzungen, insbesondere bei verletzter/vorgeschädigter Halswirbelsäule, sind denkbar.

Infraglottische Atemwegshilfen

Endotracheale Intubation

Bei Laryngoskopie und endotrachealer Intubation sind neben Zahnschäden mit möglicher Aspiration von Blut und/oder Zähnen eine weitere, mit 18% häufig anzutreffende Reanimationsfolge linguale, bukkale, pharyngeale, laryngeale und tracheale Mukosalläsionen, oft durch multiple und brüske Intubationsversuche [36–38]. Durch Laryngoskopie- und Intubationsversuche können gelegentlich weitere nahegelegene Strukturen (Nn. recurrenti, Aryknorpel, Stimmbänder, Sinus piriformis etc. pp) in Mitleidenschaft gezogen werden. Auch mandibuläre Frakturen sind beschrieben worden [22].

Nach Platzierung des Tubus ist die klinische und apparative Verifikation der korrekten endotrachealen Tubuslage (*regelmäßige Thoraxexkursionen, auskultierbare Atemgeräusche über allen Lungenfeldern, negativer Auskultationsbefund über der Magenblase, keine Vorwölbung des Abdomens, CO₂-Rückstrom unter Kapnometrie, kein S_aO₂-Abfall, keine Zyanose*) zwingend erforderlich. Da diese Zeichen sich nach ösophagealer Fehlintonation schnell einstellen und eine Korrektur der Tubuslage erlauben, sind Fehlintonationen in der forensischen Obduktionsroutine selten festzustellen;

Studien gehen allerdings – je nach Kompetenz des Anwenders – von einer tatsächlichen Fehlintonationsrate von bis zu 12% aus [39]. Unbemerkte Fehlintonationen können neben hypoxämischen Zuständen generell durch kontinuierliche Luftinsufflation in den Magen zu einer gastralen Überdehnung mit nachfolgender Ösophagus- und/oder Magenruptur, Hämato- und Pneumoperitoneum führen; unter Herzdruckmassage erhöht sich die Gefahr einer Perforation der von innen und außen gleichzeitig komprimierten Hohlorgane weiter [5, 40].

In diesem Zusammenhang sei nochmals auf die Anwendung der Kapnometrie während der Reanimation zur Verifizierung der korrekten Tubuslage, aber auch zur Beurteilung der Hämodynamik hingewiesen: Ein erneuter Kreislaufeinbruch nach erfolgreicher Reanimation kann häufig frühzeitig anhand eines etCO_2 -Abfalls erkannt und mittels Applikation von Katecholaminen verhindert werden – eine „No-flow“-Phase wird vermieden. Weiterhin kann die Kapnometrie z.B. im Falle einer Lungenarterien-thrombembolie wertvolle Hinweise auf die Ursache des Herz-Kreislauf-Stillstands geben.

Magensonde

Nicht nur ein fehlintonierter und beatmeter Ösophagus, auch die Beutel-Masken-Beatmung vor Intubation kann – insbesondere im Rahmen schwieriger Intubationen – zu teilweise massiver Überblähung des Magens bis hin zur Ruptur führen; auch kann es durch agonales Erbrechen oder bei massivem Kraftaufwand im Rahmen der externen Herzdruckmassage zur Aspiration von Mageninhalt kommen [5, 41]. Eine gastrale Druckentlastung ist also bereits präklinisch sinnvoll – auch stellt ein nicht entlasteter, distendierter Magen ein restriktives Ventilationshindernis und damit die dann persistierende Ursache einer Hypoxie durch Reduktion des Tidalvolumens und Notwendigkeit hoher Beatmungsdrücke unter Reanimation dar. Üblicherweise werden neben herkömmlichen Magensondensets auch gewöhnliche orotracheale Einweg-Absaugkatheter der Größen 16 Charrière (orange) oder 14 Charrière (grün) verwendet. Hierbei gilt es allerdings, in diesen Fällen den „Off-label“-Gebrauch zu beachten, was aufgrund der höheren Rigidität des Absaugkatheters im Vergleich zur Magensonde ein erhöhtes Risiko von pharyngealen, ösophagealen und gastralen Schleimhautläsionen beinhaltet. Ferner gilt es, das Verletzungsmuster des Patienten bzw. sich daraus ergebende Kontraindikationen zu bedenken: So sind in kasuistischer Form intrakranielle Fehllagen von Magensonden bzw. Absaugkathetern nach blinden nasogastralen Platzierungsversuchen bei Patienten mit Schädelbasisfraktur beschrieben worden [42].

Supraglottische Atemwegshilfen



Larynxmaske

Die Einlage einer Larynxmaske ist in notfallmedizinischen Algorithmen zur Atemwegssicherung bei schwierigem Atemweg verankert und kann eingesetzt werden, wenn Beutel-Masken-Beatmung und endotracheale Intubation nicht gelingen. Bei Verwendung einer Larynxmaske sind neben Schleimhautschäden im Oropharyngealbereich durch direkte oder indirekte, Cuffdruckbedingte Weichteilkompression auch Nervenschäden beschrieben worden [43], welche anlässlich der gerichtlichen Obduktion kein morphologisches Korrelat finden. Da die Larynxmaske als supraglottischer Atemweg keinen sicheren Aspirationsschutz bietet, es aber durch agonales Erbrechen oder bei massivem Kraftaufwand im Rahmen der externen Herzdruckmassage zur

Aspiration von Mageninhalt kommen kann (s.o.), sind aber entsprechende Obduktionsbefunde gelegentlich anzutreffen. Es empfiehlt sich also präklinisch in jedem Fall die Platzierung einer Magensonde zur gastralen Druckentlastung.

Combitubus®

Als weitere Alternative zur endotrachealen Intubation ist die Anwendung des Combitubus® in den Richtlinien verschiedener Fachgesellschaften bei der Reanimation vorgesehen. Im anglo-amerikanischen Paramedic-Rettungsdienst-System ist der Combitubus® flächendeckend eingeführt, in Deutschland wird das Gerät als alternatives Atemwegsmanagement z.B. in der Seenotrettung vor der deutschen Küste eingesetzt, wobei die Besatzungen der seegehenden Rettungseinheiten die Anwendung des Combitubus® regelmäßig trainieren [44]. Da es sich um ein relativ steifes Gerät handelt, welches blind platziert wird, besteht hier ein erhebliches Verletzungsrisiko. In einer präklinischen Studie mit 280 Patienten – allerdings nicht ausschließlich unter Reanimationsbedingungen – wurde über 69 Komplikationen in 58 Patienten berichtet: Aspirationspneumonie (n=31), Aspiration (n=16), Pneumothorax (n=6), Blutungen der oberen Atemwege (n=4), Ösophagusverletzungen (n=3), Hautemphysem (n=2), Ösophagusperforation mit Mediastinitis (n=2), Zungenödem (n=2), Stimmbandverletzungen (n=1), tracheale Verletzungen (n=1), und Pneumomediastinum (n=1). 13 dieser Komplikationen in 12 Patienten waren mit der Einlage des Combitubus® assoziiert [45].

Larynx-tubus

Das Gerät wird zunehmend durch Notärzte, vor allem aber durch Rettungsassistenten, im Rahmen der kardiopulmonalen Reanimation zur Atemwegssicherung eingesetzt. In Analogie zur Verwendung anderer Atemwegshilfen sind auch hier – insbesondere nach mehrfachen Versuchen – ebenfalls Verletzungen aller Art im Mund-Rachen-Raum denkbar, wobei uns hierzu allerdings keine Daten vorliegen. Da das Gerät im Vergleich zur endotrachealen Intubation aufgrund der supraglottischen Lage keinen absoluten Aspirationsschutz bieten kann, scheinen Aspirationen und Regurgitationen bei Verwendung eines Larynx-tubus etwa ebenso häufig wie bei Verwendung einer Larynxmaske aufzutreten; die Abgrenzung zwischen agonalem stattgehabtem Erbrechen und durch Manipulation im Mundraum provozierter Regurgitation bleibt allerdings – insbesondere in Reanimations-situationen – schwierig [46].

Chirurgische Atemwegshilfen

Die chirurgische Atemwegssicherung in einer „Cannot-intubate-cannot-ventilate“-Situation ist eine der lebensrettenden Optionen zur Sicherung des Atemwegs mit Oxygenierung und Ventilation des Patienten [47]. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen einer Tracheotomie (operative Darstellung und Eröffnung der Luftröhre mit Einlage von Trachealkanülen oder -tuben auf Höhe des 2./3. Zwischenraums des Trachealkanpels), einer Cricothyroidotomie (auch „chirurgische Koniotomie“, endotrachealer Zugang durch Durchtrennung des Lig. conicum und Intubation der Trachea auf Höhe des Larynx) und einer Punktionskoniotomie (Punktion der Trachea durch das Lig. conicum) [48].

Während eine Notfall-Tracheotomie aufgrund der Notwendigkeit chirurgischer Instrumentarien, Kenntnisse und Fähigkeiten, hohem Zeitbedarf und einer hohen Komplikationsrate (insbesondere durch Verletzungen der Schilddrüse und ihrer Gefäße) präklinisch nicht durchgeführt wird, sind Cricothyroidotomie und

Punktionskoniotomie in zahlreichen Algorithmen für die präklinische Atemwegssicherung enthalten. Nach chirurgischer Atemwegssicherung können – je nach Ausdehnung der Inzision bzw. Punktion – Schleimhautläsionen und ausgedehnte Blutungen mit Aspiration und Verlegung der Atemwege auftreten. Auch Larynxfrakturen, Trachealrupturen oder Fehlintonationen des Ösophagus sind je nach Begleitumständen und Anwenderkompetenz in unterschiedlicher Ausprägung möglich. Zu beachten ist, dass es neben paratrachealen Fehllagen (Abb. 5c) unter transtrachealer Jetventilation zur Ausbildung eines Spannungspneumothorax oder bei falscher Anlage und Verletzung der Halsweichteile mit Eröffnung des vorderen Mediastinums zu einem Spannungsmediastinum kommen kann, wenn keine ausreichende Expiration erreicht wird [49].

Medikamenten- und Volumenapplikation

Periphere und zentrale Venenpunktion

Eine seltene, aber potenziell gravierende Komplikation ist die iatrogen provozierte Luftembolie nach Venenpunktion. Venöse Gefäße sind im Rahmen einer Reanimation gestaut, an den Außenseiten des Halses leicht zugänglich und werden regelmäßig punktiert, da der (Not-)Arzt üblicherweise am Kopf des Patienten arbeitet. Bei suffizienter externer Herzdruckmassage kann im Gefäß allerdings ein (physiologischer) Unterdruck erzeugt und bei Punktionsversuchen unter laufender Reanimation Umgebungsluft in die Vene aspiriert werden; auch durch pulmonale Barotrauma bei Intubation und invasiver Beatmung können zerebrale Luftembolien provoziert werden [5]. Als weitere, nicht lebensbedrohende Komplikationen sind neben Hämatomen und Infektionen der Punktionsstelle auch artifizielle Kompartmentsyndrome und Weichteilmekrosen nach paravenöser Infusion zu nennen.

Intraossärer Zugang

Die intraossäre Punktion ist ein fester Bestandteil der Reanimationsrichtlinien für Kinder und Erwachsene des European Resuscitation Council (ERC), der American Heart Association (AHA) und des International Liaison Committee of Resuscitation (ILCOR) [50, 51] und sollte nach 2–3 frustranen intravenösen Punktionsversuchen erfolgen. Entsprechend sind insbesondere nach erfolglosen Wiederbelebungsversuchen in der rechtsmedizinischen Obduktionsroutine derartige Punktionen – gelegentlich sogar ohne den Versuch einer vorangegangenen peripher-venösen Punktion – zunehmend zu beobachten (Abb. 6). An dieser Stelle zu betonen ist die Tatsache, dass bei Notfallpatienten mit Verletzungen des Körperstammes die Volumen- und Medikamentenapplikation nicht ausschließlich über intraossäre Zugänge im Bereich der unteren Extremitäten erfolgen sollte, da applizierte Wirkstoffe dann entsprechend dem venösen Blutfluss möglicherweise in diesen Verletzungen (V. cava inferior, Abdominaltrauma/Beckenverletzung) versickern und systemisch nicht zur Wirkung kommen können.

Von rechtsmedizinischem Interesse sind weiterhin die Besonderheiten der unterschiedlichen Punktionslokalisationen. Als Punktionsort der 1. Wahl wird sowohl bei Kindern wie auch bei Erwachsenen die proximale Tibia empfohlen, wobei bei Kindern der Bereich der Epiphysenfuge geschont werden muss, welcher nach Punktion frakturieren kann und dann das Beinlängenwachstum behindert. Als Punktionsorte der 2. Wahl werden die distale Tibiametaphyse und der distale Femur benannt. Als Punk-



Abb. 6 Intraossärer Zugang Modell E.Z.-I.O. in regelrechter ossärer Position im Markraum der metaphysären proximalen Tibia; rechtsmedizinische Präparation zum Nachweis der korrekten Lage.

tionsort der 3. Wahl gilt (bei großen Becken- und Abdominaltraumata mit ungewissem Blutfluss in den Thorax) der proximale Humerus. Aufgrund der metaphysären Verankerung und der vor allem bei Kindern dünnen Kortikalis kann es zu sekundären Dislokationen der i.o. Nadeln mit der Gefahr der Fehlfusion in die umliegenden Weichteile kommen; diesbezüglich ist auf eine sichere Fixation der Kanülen zu achten. Ist eine zuvor angelegte i.o. Nadel disloziert oder wurde ein frustraner i.o. Punktionsversuch durchgeführt, sollte eine andere Lokalisation gewählt werden, da der entstandene kortikale Defekt bei erneuter Anlage in anatomischer Nähe zur ersten Punktionsstelle zum Austritt applizierter Wirkstoffe in die umgebenden Weichteile führen kann. Beim Kind ist die Punktion des Sternums zur intraossären Infusion aufgrund der engen topografischen Beziehung zur Brusthöhle nicht indiziert; ferner kann das sternale Knochenmark von Kindern aufgrund des zu geringen Volumens transfundierte Flüssigkeitsmengen nicht adäquat aufnehmen, und es gilt zu bedenken, dass die sternale Punktion mit liegender Kanüle technisch unvereinbar mit einer Herzdruckmassage ist. Punktionsgeräte mit limitierter Eindringtiefe und planer Verklebung der sternalen Punktionsstelle (z. B. F.A.S.T) können beim Erwachsenen allerdings verwendet werden und erlauben auch die manuelle Herzdruckmassage.

Absolute Kontraindikationen für den intraossären Zugang gibt es im Notfall nicht. Als relative Kontraindikationen gelten Osteoporose, Gefäßverletzungen proximal des Punktionsbereiches sowie vorangegangene Punktionen, Frakturen, Infektionen und Implantate im Punktionsbereich, welche dann bei der Obduktion zu evaluieren sein werden. Auch können erhebliche Schwierigkeiten auftreten, wenn die intraossäre Nadel nach Abbruch der Reanimationsbemühungen entfernt wird [52].

Reanimation nach Trauma

Thoraxdekompression

Aus der rechtsmedizinischen Obduktionsroutine werden immer wieder Todesfälle bekannt, in denen Patienten an einem Spannungspneumothorax, gelegentlich mit beeindruckenden Ausmaßen [53], verstarben. Auch gibt es gelegentlich Fälle, in denen Patienten mit penetrierenden Thoraxverletzungen nicht nach in-

nen oder außen verbluteten, sondern ebenfalls an einem Spannungspneumothorax verstarben, weil eine Thoraxdekompression im Rahmen der Wiederbelebungsversuche nicht durchgeführt wurde. Eine solche Maßnahme ist zurzeit (noch) nicht obligater Bestandteil aktueller Reanimationsleitlinien [54, 55]. Allerdings wird in der Notfallmedizin bei der Suche nach potenziell reversiblen Ursachen eines traumatisch bedingten Herz-Kreislauf-Stillstands der Thoraxdekompression zur Entlastung eines möglichen (Spannungs-)Pneumothorax ein zunehmend höherer Stellenwert eingeräumt: In der notfallmedizinischen Literatur verdichten sich Hinweise darauf, dass eine obligat durchgeführte Thoraxentlastung vor Abbruch einer traumatisch bedingten Reanimation einen Überlebensvorteil bietet [56, 57]. Absehbar werden also vermutlich bei traumatisch Verstorbenen, welche zuvor reanimiert wurden, vermehrt Thoraxdekompressionsmaßnahmen bei Leichenschau und Obduktion zur Darstellung gelangen. Über einige Komplikationsmöglichkeiten der gängigsten 3 Verfahren (Thoraxdrainage, Thoraxentlastungspunktion, Mini-Thorakotomie) soll im Folgenden kurz referiert werden. Es ist bei allen Verfahren zunächst darauf zu achten, dass sich der Durchführende am Oberrand der jeweiligen Rippen orientiert, da an den kostalen Unterrändern jeweils die Gefäßnervenscheiden verlaufen, die es – insbesondere zur Vermeidung relevanter Blutungen aus den Interkostalarterien – zu schonen gilt.

Thoraxdrainage

Den Goldstandard zur präklinischen Entlastung eines (Spannungs-)Pneumothorax stellt die Anlage einer Thoraxdrainage dar. Hierzu wird in sog. „Bülau-Position“ (4.–5. Interkostalraum in der vorderen bis mittleren Axillarlinie) die Brusthöhle stumpf mittels Mini-Thorakotomie eröffnet, ein Drainagesystem in die Pleurahöhle eingebracht und außenseitig vernäht. Bei zu tiefer Anlage einer Thoraxdrainage besteht vor allem auf der rechten Körperseite die Gefahr, entsprechende Strukturen zu verletzen (Leber, Diaphragma, A. thoracica lateralis bei zu weit dorsaler Schnittführung).

Bei Anlage einer Thoraxdrainage in sog. „Monaldi-Position“ (2.–3. Interkostalraum Medioklavikularlinie) besteht die erhöhte Gefahr einer Verletzung der A. thoracica interna. Aus der eigenen Praxis ist den Autoren der Fall eines jungen Mannes bekannt, der nach Anlage einer Thoraxdrainage in Monaldi-Position eine Verletzung der A. thoracica interna erlitt, reanimationspflichtig wurde und im Verlauf im hypoxischen Hirnschaden verstarb. Da die Ausprägung eines isolierten Pneumothorax lageabhängig (liegend-ventral/sitzend-apikal) schwankt, existieren allerdings keine evidenz-basierten Daten, welche Position zu bevorzugen ist.

Klinisch existiert das Problem der interlobulären Endlage des Drainageschlauches mit entsprechend insuffizienter Evakuierung des Hämato-/Pneumothorax. Auch kann die Endlage des Drainageschlauches (Abb. 7a) im instabilen Thorax durch fortgesetzte Herzdruckmassage (trotz außenseitiger Vernähung des Drainagesystems!) zu relevanten Verletzungen führen. So ist den Autoren aus eigener Praxis eine Lazeration der V. cava inferior mit konsekutiver Perikardtamponade (Abb. 7b) bekannt; im Rahmen einer traumatisch bedingten Reanimation (der Patient war von einem PKW überrollt worden) war initial bei Verdacht auf einen Hämato-pneumothorax eine Thoraxdrainage gelegt worden; durch die weitere kontinuierliche Herzdruckmassage (bei instabilem, initial durch das Überrolltrauma frakturiertem Thoraxskelett) perforierte das stumpfe intrathorakale Ende des Drainageschlauches die V. cava inferior im Bereich der Ein-

mündung in den rechten Vorhof (Abb. 7c). Die Reanimation blieb erfolglos. Auch andere intrathorakale Fremdkörper können durch Bewegung unter laufender Herzdruckmassage nicht überlebbar Verletzungen hervorrufen; kasuistisch ist beispielsweise über das Durchführen der Herzdruckmassage auf einer nach Sturz durch eine Glasscheibe im Thorax befindlichen Scherbe berichtet worden [58].

Zu den weiteren Komplikationen einer Thoraxdrainage zählt die intrapulmonale Endlage des Drainageschlauches (Abb. 7d). Insbesondere nach abgelaufenen Pleuritiden kommt es zur persistierenden Verklebung von viszeraler und parietaler Pleura, was bei erschwerter oder unmöglicher Darstellung des Pleuraspaltes die intraparenchymale Einbringung der Drainage begünstigt. Neben der Hypoxämie sind den Autoren aus eigener Praxis massive Weichteilemphyse (bis hin zum druckinduzierten Verschluss beider Karotiden und nachfolgendem Apoplex) bekannt. Vor Einlage der Thoraxdrainage muss in derartigen Fällen das digitale Austasten des Pleuraraumes, gegebenenfalls mit stumpfer Lösung der Adhäsionen, propagiert werden.

Thoraxentlastungspunktion

Als Punktionsort für die ein- oder mehrfache Nadel-Thorakotomie mittels möglichst großlumiger Venenverweilkanüle(n) (üblicherweise „orange“ = 14 G) wird der 2./3. Interkostalraum in der Medioklavikularlinie vorgeschlagen; auch hier besteht die Gefahr der Verletzung der A. thoracica interna. Die Länge der Nadel sollte mindestens 5 cm betragen [59], da die interindividuell variierende Dicke der Brustwand den Erfolg der Maßnahme limitieren kann [60, 61]. Eine solche Maßnahme wird selten durchgeführt und ist lediglich zur zeitlichen Überbrückung bis zur Anlage einer definitiven Thoraxentlastung anzusehen, da die Venenverweilkanüle im Verlauf leicht verstopfen [62]. Die Effektivität der Maßnahme hängt vom Schweregrad der pulmonalen/bronchialen Verletzung und damit dem Luftstrom pro Zeiteinheit ab; das Lumen des Katheters muss nicht immer für eine suffiziente Dekompression ausreichend sein, insbesondere da meist ein kombinierter Hämato-pneumothorax besteht und der Katheter wie ausgeführt leicht verstopfen kann (Abb. 7e). Nach erfolgreicher Punktion des Pleuraraumes und Entweichen der Luft aus der Brusthöhle kann am fixierten Venenverweilkatheter zusätzlich ein sog. „Heimlich“-Ventil angebracht werden, welches bei der Expiration zwar Luft aus der Brusthöhle entweichen lässt, bei der Inspiration ein erneutes Ansaugen der Umgebungsluft aber verhindert. Hierzu können gegebenenfalls Fingerlinge oder zirkulär abgeschnittene Fingerbestandteile von z.B. Latexhandschuhen verwendet werden, welche distal auf einer Länge von ca. 1 cm eingeschnitten und am proximalen Ende luftdicht zirkulär mit der Venenverweilkanüle verklebt werden. Auch die Punktion und Aspiration mittels Spritze (zur Kontrolle der korrekten intrapleuralem Lage) hat sich bewährt.

Mini-Thorakotomie

In Ausnahmefällen kann beim invasiv und mit intrapleuralem Überdruck beatmeten Patienten das Prinzip des „offenen Thorax“ mittels Durchführung einer Mini-Thorakotomie zur Entlastung eines Pneumo-/Hämatothorax auch ohne Einlage eines entsprechenden Drainagesystems angewendet werden [63]. Als Interventionsort wird die Bülau-Position angegeben. Derartige Verletzungen dürfen bei der Obduktion nicht mit anderen penetrierenden Thoraxverletzungen verwechselt werden; eine Unterscheidung wird bei gut dokumentiertem notärztlichem Handeln problemlos gelingen.

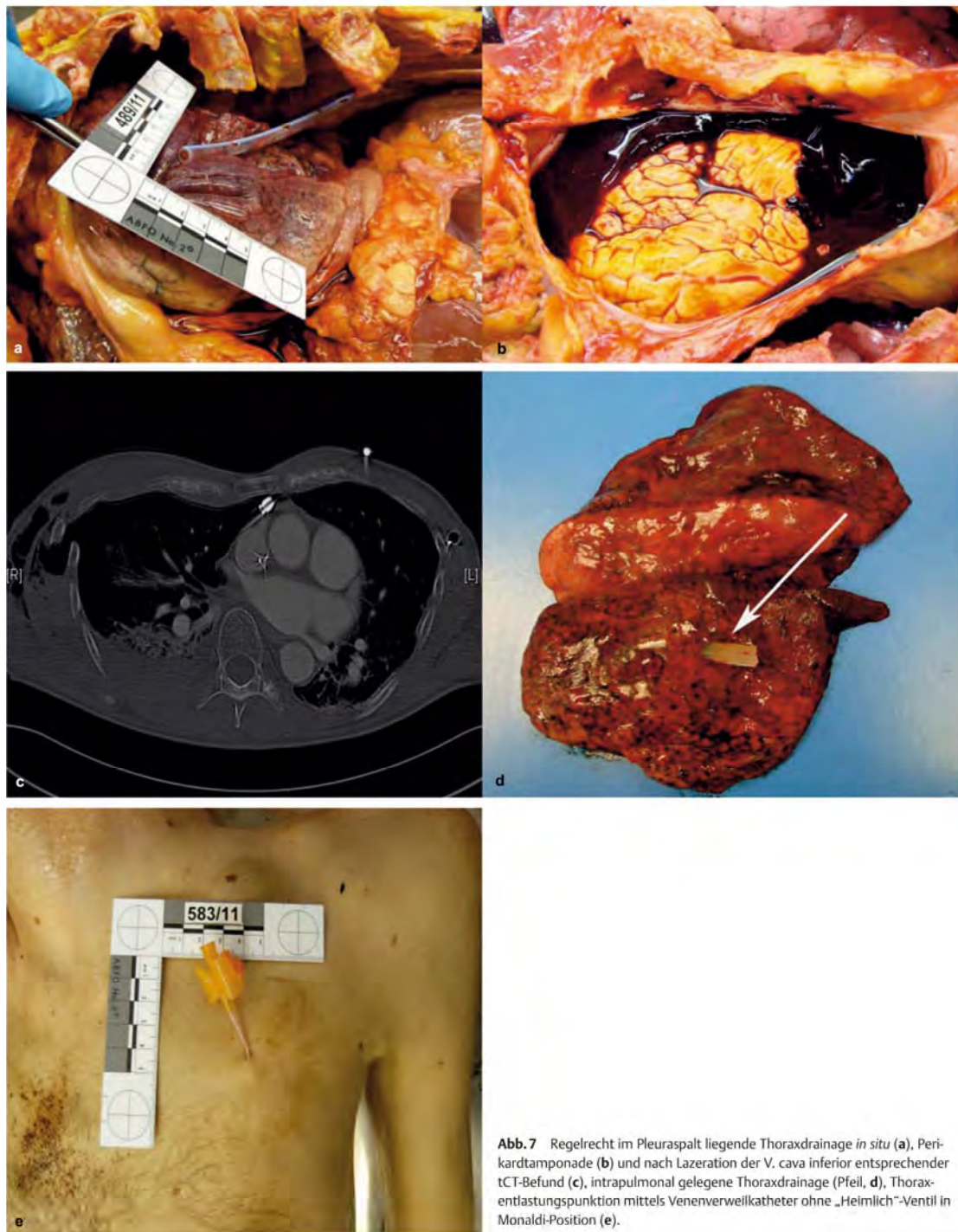


Abb. 7 Regelrecht im Pleuraspalt liegende Thoraxdrainage *in situ* (a), Perikardtamponade (b) und nach Lazeration der V. cava inferior entsprechender tCT-Befund (c), intrapulmonal gelegene Thoraxdrainage (Pfeil, d), Thoraxentlastungspunkt mittels Venenverweilkatheter ohne „Helmlich“-Ventil in Monaldi-Position (e).

Diskussion

Die akute Dekompensation eines oder mehrerer der 3 großen Organsysteme Zentrales Nervensystem (ZNS), Herz-Kreislauf- und Atmungssystem kann zur Reanimationspflichtigkeit führen. Diesem lebensbedrohenden Zustand wird versucht, durch ein standardisiertes und evidenzbasiertes Vorgehen zu begegnen, welches invasive iatrogene Manipulationen am Patienten erfordert. Diese Maßnahmen sind einerseits zur erfolgreichen Wiederbelebung des Patienten zwingend erforderlich, können andererseits aber – wie jede invasive ärztliche Maßnahme auch – den Patienten schädigen und somit den Erfolg der Wiederbelebung initial oder nach primär erfolgreicher Reanimation im klinischen Verlauf negativ beeinflussen. Im Falle des Todes sind dann bei der gerichtlichen Obduktion sämtliche medizinische Maßnahmen einschließlich der Reanimation hinsichtlich ihrer Indikation und Durchführung zu evaluieren. Reanimationsversuche können zu Verletzungen zahlreicher Strukturen führen und den Obduzenten daher gelegentlich wie oben ausgeführt vor diagnostische und rekonstruktorische Herausforderungen stellen.

Reanimationsbedingte Verletzungen sind allerdings nicht zu verhindern bzw. werden sich mit zunehmender Dauer der Reanimationsbemühungen zwangsläufig einstellen, besonders wenn weitere Risikofaktoren wie Fehler bei Herzdruckmassage und anderen notfallmedizinischen Maßnahmen, hohes Lebensalter, weibliches Geschlecht (höhere Osteoporose-Inzidenz) und eine bestehende Antikoagulation [5] hinzukommen.

Medizinische Überlegungen

Reanimationsbedingte Verletzungen können also nur durch Verzicht auf Reanimationsmaßnahmen vermieden werden; dies ist selbstverständlich obsolet. Die Frage, ob die Vermeidung von Frakturen am knöchernen Thoraxskelett bei Reanimation durch einen geringeren Kraftaufwand oder die daraus resultierende Inkaufnahme einer geringeren mechanischen Einwirkung auf das Herz höherwertig anzusiedeln ist, ist beispielsweise schon dadurch abschließend beantwortet, dass wie ausgeführt der Stellenwert einer suffizienten Thoraxkompression gegenüber der Atemspende immer weiter hervorgehoben wird – 80% der Herz-Kreislauf-Stillstände sind kardial bedingt, und in den ersten Minuten scheint der arterielle Sauerstoffgehalt noch genügend hoch [4]. Dies bedeutet in letzter Konsequenz, dass – insbesondere beim unelastischen Thorax des älteren Menschen – eine suffiziente Wirkung der Herzdruckmassage erst möglich wird, wenn Rippen- oder Sternumfrakturen in Kauf genommen werden.

Nichtsdestotrotz sollte die Verringerung des Risikos von CPR-bedingten Verletzungen angestrebt werden; dies geschieht neben der Kenntnis anatomisch-topografischer Gegebenheiten, dem Wissen um Risikofaktoren, angewandte Techniken und deren spezifische Risiken vor allem durch die korrekte Durchführung der Reanimation. Nach Reanimation sind Outcome besser bzw. Komplikationsrate geringer, wenn die Thoraxkompression – insbesondere in den ersten Minuten nach Herz-Kreislauf-Stillstand – nicht nur ununterbrochen, sondern die Reanimation insgesamt leitliniengerecht durchgeführt wird [64, 65].

Wenngleich es sich bei der vorliegenden Arbeit nicht um ein Fortbildungswerk zur korrekten rettungsdienstlichen Reanimation handeln kann, sollen doch häufige Fehlerquellen im Folgenden kurz angesprochen werden. Bei der *Herzdruckmassage* sind in diesem Zusammenhang u.a. die fehlende Verwendung einer harten Unterlage, ein falsch aufgesuchter Druckpunkt, zu tiefe und/oder ruckartige Thoraxkompressionen, eine nicht senkrech-

te Druckrichtung, die Unterbrechung der Herzdruckmassage >5 Sekunden sowie das Abheben des Handballens in der Entlastungsphase vom Thorax zu nennen. Entsprechend muss zur leitliniengerechten Durchführung der Reanimation u.a. die Verbringung des Patienten auf eine harte Unterlage, das korrekte Aufsuchen des Druckpunktes, ein Thoraxkompressions-/Entlastungsverhältnis von: 1:1 mit einer Frequenz: 100–120/min und einer Eindringtiefe 5–6 cm bei einem Thoraxkompressions-/Beatmungsverhältnis von 30:2 gehören.

Die korrekte Durchführung der (*Früh-*)*Defibrillation* beinhaltet u.a. die richtige Platzierung der Defibrillationselektroden (anterior+lateral), die Überprüfung von Elektrodenlage, Kabelverbindung, Ableitung und Amplitude, die folgende Rhythmuskontrolle, die Auswahl der abzugebenden Energie (120–180 Joule [biphasisch], 360 Joule [monophasisch]), das Einhalten eines Sicherheitsabstands (auch Umstehend!) sowie die Kommunikation der Maßnahme im Team: Ein weiterer Aspekt bei Durchführung der Defibrillation ist die potenzielle Gefährdung Umstehender – der Defibrillierende ist für seine Sicherheit und die des Rettungsteams verantwortlich und hat dafür Sorge zu tragen, dass während der Defibrillation alle Körper- und Metallkontakte zum Patienten unterbrochen werden, auch wenn eine aktuelle Arbeit zeigen konnte, dass eine gefahrlose biphasische Schockabgabe während laufender Herzdruckmassage unter bestimmten Prämissen durchaus möglich ist. Auch auf nassem Untergrund scheint eine biphasische Defibrillation keine Gefahr für die Helfer darzustellen [66]. Im Falle einer *Atemwegssicherung* gilt es vor allem, neben der korrekten Vorbereitung (u.a. Absauggerät, Endotrachealtubus [ggf. mit Führungsstab], Gleitgel, Blockerspritze [mindestens 10 ml], Magill-Zange, Stethoskop, Fixierungsmaterial) Rückfallstufen für den Fall eines schwierigen Atemweges bereitzuhalten. Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass die kontinuierliche kapnometrische Erhebung eines physiologischen endCO₂-Wertes ein sicheres Kriterium der erfolgreichen endotrachealen Intubation darstellt.

Es muss auch zu den differenzialdiagnostischen Überlegungen gehören, nach iatrogenen Traumata beim Notfallpatienten unter Reanimation zu suchen, wenn sich der Zustand des Patienten nicht stabilisiert und keine Ursachen erkennbar sind, die den Erfolg der Reanimation unwahrscheinlich erscheinen lassen (z.B. traumatische Genese mit hämorrhagischem Geschehen nach stumpfer Gewalt) bzw. diese kausal behoben werden können. Dies sollte sowohl präklinisch als auch mittels bildgebender Diagnostik beim erfolgreich reanimierten Patienten im Krankenhaus erfolgen. Inwieweit derartige Verfahren Eingang in die klinische Routine finden können, wird sich in der Zukunft zeigen – nach Kenntnis der Autoren unternehmen einige Häuser bereits in dieser Richtung Anstrengungen, die über die geforderte Röntgen-thorax-Aufnahme (s.o.) deutlich hinausgehen.

Medikolegale Überlegungen

Die rechtsmedizinische Bewertung von Reanimationsverletzungen zielt auf die Frage nach einer Kausalität zwischen den festgestellten Verletzungen/Artefakten an der Leiche, dem Todeseintritt und der Todesursache ab. Die aus Reanimationsverletzungen erwachsenden medizinischen Konsequenzen können wie ausgeführt sofort oder später teilweise gravierend sein und auch den Reanimationserfolg *ad hoc* unmöglich machen – der vorbestehend reanimationspflichtige Zustand des Patienten kann jedoch nicht einer erst einsetzenden Wiederbelebungsbehandlung geschuldet sein, wenn die Indikation zur Reanimation korrekt gestellt wurde. Offensichtliches Falschbehandeln (z.B. Fehlintuba-

tion) wird bei der gerichtlichen Obduktion selbstverständlich durch entsprechenden Nachweis dokumentiert; zur Erlangung einer todesursächlichen Relevanz müsste dann der Beweis geführt werden können, dass der (zuvor ja bereits leblose!) Patient unter adäquater Therapie nicht verstorben wäre.

Auch eine „fehlerhaft“ durchgeführte Reanimation ist bei der gerichtlichen Obduktion nur sehr schwer bzw. nicht von einer dem Standard entsprechend durchgeführten Reanimation abzugrenzen, da das Auftreten sämtlicher beschriebenen Verletzungen auch bei korrekter Durchführung zwanglos möglich ist. Reanimationsbedingte Verletzungen sind also im Gesamtkontext der jeweiligen Fallkonstellation zu beurteilen, von forensischer Bedeutung sind sie jedoch in aller Regel nicht.

Medicolegale Bedeutung erlangt hingegen vor allem das Unterlassen sämtlicher Reanimationsbemühungen ohne das Vorliegen mindestens eines der 3 sicheren Todeszeichen (Livor mortis, Rigor mortis, Fäulnis) bzw. die Falschbeurteilung von unsicheren Todeszeichen wie Atemstillstand, Pulslosigkeit, Atonie, („Leichen“-)Blässe, Hypothermie („Nobody is dead until warm and dead“), Areflexie etc. pp. Insbesondere bei genau dokumentiertem Eintritt des reanimationspflichtigen Zustands muss geprüft werden, ob die Ausprägung von vermeintlich sicheren Todeszeichen mit dem zeitlichen Verlauf korreliert.

Die äußerlich sichtbare „nicht überlebende Verletzung“ (z.B. komplette Enthauptung, komplette quere Durchtrennung des Körpers) erfordert keine Reanimationsbemühungen; allerdings gilt es zu bedenken, dass auch Verletzungen, die äußerlich nicht sichtbar sind, den unmittelbaren Todeseintritt zur Folge haben, während auch umgekehrt schwerste Verletzungen (z.B. Brandverletzungen), die zunächst als nicht mit dem Leben vereinbar eingeschätzt werden, bei adäquater Behandlung durchaus überlebt werden können. Hier ist im Zweifelsfall immer die bestmögliche medizinische Versorgung (Reanimation) durchzuführen. Einen weiteren Sonderfall mit möglicher forensischer Relevanz mag zukünftig möglicherweise der Reanimationsabbruch nach penetrierenden Thoraxverletzungen ohne die Durchführung einer Thoraxdekompression darstellen. Bei diesem Patientenkollektiv handelt es sich zum größeren Teil um jüngere Menschen ohne relevante Vorerkrankungen. Als Maßnahme zum sofortigen Beheben einer möglichen Ursache des Herz-Kreislauf-Stillstands ist die Thoraxdekompression vor dem definitiven Abbruch der Wiederbelebung als einfach durchzuführende, potenziell lebensrettende Maßnahme zu werten und sollte auch praktiziert werden. In einem forensisch relevanten Sachverhalt mit entsprechendem Obduktionsbefund (z.B. Spannungspneumothorax nach penetrierendem Thoraxtrauma) wäre im Einzelfall zu prüfen, ob das Unterlassen einer Thoraxdekompression behandlungsfehlerhaft wäre.

Wie ausgeführt, ist nicht die Durchführung von Reanimationsversuchen mit eventuellen medizinischen Komplikationen von juristischer Bedeutung, sondern vielmehr das medizinisch unrechtmäßige Unterlassen von notfallmedizinischen Maßnahmen. Wenn ein Mensch in einer Notlage seinen Möglichkeiten entsprechend versucht zu helfen, dann hat dies weder straf- noch zivilrechtlich negative Konsequenzen, auch wenn die Hilfe nicht (im objektiven Sinne) optimal verläuft. Wird dagegen nicht geholfen, so können sowohl zivil- wie auch strafrechtlich erhebliche Folgen auf den Nichthelfer u.a. im Sinne der §323c StGB („Unterlassene Hilfeleistung“) und – für den Notarzt – §§13, 222 StGB („Begehen durch Unterlassen“, „fahrlässige Tötung“) zukommen; die juristische Literatur zu diesem Themenkomplex ist

ebenso wie die ständige Rechtsprechung umfangreich und kann im Rahmen dieser Arbeit nicht umfassend dargestellt werden.

Es ist festzuhalten, dass aufgrund der Akuität der Notfallsituation das Risiko der Strafbarkeit einer medizinischen Komplikation einer Behandlung im Rahmen des Rettungsdienstes geringer ist als bei anderen fehleranfälligen Handlungen; dies gilt insbesondere für Reanimationsverletzungen, zumal diese auch bei Anwendung der „im Verkehr erforderlichen Sorgfalt“ entstehen können. Wenn der Notarzt im Reanimationsfall also bei Vorliegen eines sog. „rechtfertigenden Notstands“ im Sinne des §34 StGB eine Abwägung der zu schützenden Rechtsgüter („Leib“ vs. „Leben“) trifft, wird das Rechtsgut „Leben“ stets überwiegen, sodass die Behandlung eingeleitet werden muss, auch wenn diese mit Komplikationen behaftet sein kann. Zwar kann eine solche Handlung den Tatbestand einer Vorsatztat (z.B. Körperverletzung/Tötung) erfüllen; im Regelfall ist dies aber nicht rechtswidrig und damit nicht strafbar, da juristisch die wirksame oder „konkludente“ (=stillschweigende/mutmaßliche) Einwilligung des reanimationspflichtigen Patienten vorausgesetzt wird. Der Arzt ist ebenfalls im Sinne der „Geschäftsführung ohne Auftrag“ (§677 BGB) zur Durchführung sämtlicher medizinisch indizierter Maßnahmen berechtigt, wenn „die Geschäftsübernahme dem Interesse und dem wirklichen oder mutmaßlichen Willen des Geschäftsherrn entspricht“ (§683 [39] BGB).

Während in Deutschland zum gegenwärtigen Zeitpunkt kein einheitliches Patientengesetz und entsprechend keine allgemeingültigen Richt- oder Leitlinien zum Thema „Do-not-resuscitate“ (DNR) existiert, ist im §12 des österreichischen Patientenverfü-

Fazit für die Praxis

Das Risiko von Reanimationsverletzungen ist auch bei adäquater Durchführung immer gegeben, korreliert allerdings negativ mit der leitliniengerechten Durchführung der Wiederbelebung; der Einsatz bewährter Techniken darf keineswegs infrage gestellt werden. Eine positive Korrelation besteht mit dem Vorliegen von Risikofaktoren und der Dauer der Reanimationsversuche. Notfallmedizinisch tätige Ärzte sollten um medizinische, forensische und juristische Aspekte von iatrogen induzierten Reanimationsverletzungen wissen, um diese durch eine dem Standard entsprechende Durchführung – wenn möglich – zu vermeiden, von Verletzungen anderen Ursprunges abgrenzen zu können und Handlungssicherheit zu erhalten.

Zur Befundinterpretation nach erfolgloser Reanimation ist es für den leichenschauenden Arzt nicht nur zwingend erforderlich, dass durch medizinische Notfallmaßnahmen hervorgerufene Verletzungen und Artefakte an der Leiche als solche erkannt werden – auch medizinische Geräte an der Leiche müssen bei Leichenschau und Obduktion hinsichtlich ihrer Anwendung und Indikation beurteilt werden. Um nach erfolgloser Reanimation wieder entfernte Fremdkörper hinsichtlich der entstandenen Artefakte (beispielsweise nicht rettungsdienstlich gesetzte Nadeleinstichstellen, entfernte Boli oder Schnittlegungen für Drainagen) im Gesamtkontext beurteilen zu können, ist eine sorgfältige notärztliche Dokumentation aller durchgeführten Maßnahmen obligat. Im Rahmen der Reanimationsbemühungen in den Patienten eingebrachte Gerätschaften sollten auch nach erfolgloser Beendigung der Reanimation *in situ* verbleiben.

gungsgesetzes (PatVG) bereits festgehalten, dass eine solche DNR-Anordnung (schriftlich fixierte Weisung des Patienten an medizinisches Personal, Reanimationsmaßnahmen zu unterlassen) unbeachtet bleiben kann, sofern „die Suche nach der Patientenverfügung oder deren Prüfung das Leben oder die Gesundheit des Patienten ernstlich gefährdet“, was im Falle der Reanimationspflichtigkeit zweifellos zu bejahen ist – bereits das Lesen einer möglicherweise umfangreichen DNR-Verfügung vor dem Einleiten von Reanimationsmaßnahmen ist in einer Wiederbelebungsituation nicht praktikabel. Ferner sind die formalen und juristischen Anforderungen an eine solche DNR-Anordnung hoch; zu prüfen ist beispielsweise nach § 1904a BGB, ob die in der DNR- oder Patientenverfügung niedergelegten Wünsche auch tatsächlich auf die aktuelle Lebens- und Behandlungssituation des Patienten zutreffen – dies dürfte in einer akuten, sofort interventionsbedürftigen Notfallsituation kaum möglich sein. In einer Grenzsituation bedarf es jeweils einer individuellen Würdigung der Gesamtumstände; es sollte auch bei Vorliegen einer DNR- oder Patientenverfügung – falls überhaupt in der Notfallsituation verfügbar – reanimiert werden, sofern der Tod nicht sicher festgestellt werden kann.

Danksagung

Wir danken Herrn Dr. med. J. Fakler (Klinik für Unfall-, Wiederherstellungs- und Plastische Chirurgie, Universitätsklinikum Leipzig), Herrn Dr. med. B. Solarino (Rechtsmedizinisches Institut der Universität Bari/Italien), Frau Dr. med. C. Schönfeld und Frau Dr. univ./Beograd D. Matejic (Landesinstitut für gerichtliche und soziale Medizin, Berlin) sowie Frau Dr. med. J. Sautter und Herrn Dr. med. S. Hartwig (Institut für Rechtsmedizin der Charité – Universitätsmedizin Berlin) für die freundliche Überlassung von Bildmaterial.

Interessenkonflikt

Der korrespondierende Autor versichert, dass weder zu Firmen, deren Produkte in diesem Artikel genannt werden noch zu Firmen, die entsprechende Konkurrenzprodukte vertreiben, finanzielle Verbindungen bestehen.

Literatur

- Kauwenhoven WB, Jude JR, Knickerbocker CG. Closed chest cardiac massage. *JAMA* 1960; 173: 1064–1067
- Lown B, Amarasingham R, Neuman J. New method for terminating cardiac arrhythmias. Use of synchronized capacitor discharge. *JAMA* 1962; 182: 548–555
- Safar P, Brown TC, Holtey WJ et al. Ventilation and circulation with closed-chest cardiac massage in man. *JAMA* 1961; 176: 574–576
- European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010. www.erc.edu zuletzt aufgerufen am 11. Juni 2012
- Buschmann C, Tsokos M. Iatrogene Traumata nach frustranter Reanimation. *Der Notarzt* 2008; 24: 197–202
- Baubin M, Sumann G, Rabl W et al. Increased frequency of thorax injuries with ACD-CPR. *Resuscitation* 1999; 41: 33–38
- Blomberg H, Gedeberg R, Berglund L et al. Poor chest compression quality with mechanical compressions in simulated cardiopulmonary resuscitation: a randomized, cross-over manikin study. *Resuscitation* 2011; 82: 1332–1337
- Smekala D, Johansson J, Huzevkaa T et al. No difference in autopsy detected injuries in cardiac arrest patients treated with manual chest compressions compared with mechanical compressions with the LU-CSTM device – A pilot study. *Resuscitation* 2009; 80: 1104–1107
- Xanthos T, Pantazopoulos I, Roumelioti H et al. A comparison of autopsy detected injuries in a porcine model of cardiac arrest treated with either manual or mechanical chest compressions. *Eur J Emerg Med* 2011; 18: 108–110
- Buschmann C, Gahr P, Ertel W et al. Clinical diagnosis versus autopsy findings in polytrauma fatalities. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2010; 18: 55
- Delguercio LR, Feins NR, Cohn JD et al. Comparison of blood flow during external and internal cardiac massage in man. *Circulation* 1965; 31: 171–180
- Duchateau FX, Gueye P, Curac S et al. Effect of the AutoPulse™ automated band chest compression device on hemodynamics in out-of-hospital cardiac arrest resuscitation. *Intensive Care Med* 2010; 36: 1256–1260
- Lederer W, Mair D, Rabl W et al. Frequency of rib and sternum fractures associated with out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation is underestimated by conventional chest X-ray. *Resuscitation* 2004; 60: 157–162
- Kröner C, Maissen P, Reichenstein D et al. Pathologische Wirbelkörperfraktur nach kardiopulmonaler Reanimation. *Notfall Rettungsmed* 2011; 14: 488–490
- Buschmann C, Zechmeister E, Schulz F. Verzögerte Myokardperforation durch Mitralklappenringfraktur nach primär erfolgreicher Reanimation. *Notfall Rettungsmed* 2009; 13: 52–57
- Klitschar M, Darok M, Radner H. Massive injury to the heart after attempted active compression-decompression cardiopulmonary resuscitation. *Int J Legal Med* 1998; 111: 93–96
- Noffsinger AE, Blisard KS, Balko MG. Cardiac laceration and pericardial tamponade due to cardiopulmonary resuscitation after myocardial infarction. *J Forensic Sci* 1991; 36: 1760–1764
- Sokolove PE, Willis-Shore J, Panacek EA. Exsanguination due to right ventricular rupture during closed-chest cardiopulmonary resuscitation. *J Emerg Med* 2002; 23: 161–164
- Black C, Busuttill A, Robertson C. Chest wall injuries following cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2004; 63: 339–343
- Bode G, Joachim H. Zur Differentialdiagnose von Unfall- und Reanimationstraumen. *Z Rechtsmed* 1987; 98: 19–32
- Hoke R, Chamberlain D. Skeletal chest injuries secondary to cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2004; 63: 327–338
- Klöss T, Plischel K, Wischhusen F et al. Reanimationsverletzungen. *Anasth Intensivther Notfallmed* 1983; 18: 199–203
- Zenda T, Takayama T, Miyamoto M et al. Intravascular gas in multiple organs detected by postmortem computed tomography: effect of prolonged cardiopulmonary resuscitation on organ damage in patients with cardiopulmonary arrest. *Jpn J Radiol* 2011; 29: 148–151
- Carstens PH. Pulmonary bone marrow embolism following external cardiac massage. *Acta Pathol Microbiol Scand* 1969; 76: 510–514
- Dzieciol J, Kemona A, Górka M et al. Widespread myocardial and pulmonary bone marrow embolism following cardiac massage. *Forensic Sci Int* 1992; 56: 195–199
- Kager LM, Wegener RP. A woman who died despite resuscitation. Pulmonary bone marrow embolism secondary to a sternum fracture. *Ned Tijdschr Geneesk* 2007; 151: 695
- Hashimoto Y, Moriya F, Furumiyu J. Forensic aspects of complications resulting from cardiopulmonary resuscitation. *Legal Med* 2007; 9: 94–99
- Deakin CD, Nolan JP, Soar J et al. European resuscitation council guidelines for resuscitation 2010 Section 4. Adult advanced life support. *Resuscitation* 2010; 81: 1305–1352
- Cummins RO. From concept to standard-of-care? Review of the clinical experience with automated external defibrillators. *Ann Emerg Med* 1989; 18: 1269–1275
- Hojis R, Sinkovic A, Hojs-Fabjan T. Rhabdomyolysis and acute renal failure following cardioversion and cardiopulmonary resuscitation. *Ren Fail* 1995; 17: 765–768
- Minor RL Jr, Chandran PK, Williams CL. Rhabdomyolysis and myoglobinuric renal failure following cardioversion and CPR for acute MI. *Chest* 1990; 97: 485–486
- Saukko P, Knight B. The forensic autopsy. In: Saukko P, Knight B. *Knight's Forensic Pathology*. 3rd edition, London: Hodder Arnold; 2004: 40–41
- Karch SB. Resuscitation-induced myocardial necrosis – Catecholamines and defibrillation. *Am J Forensic Med Pathol* 1987; 8: 3–8
- Buschmann C, Kleber C, Schulz T et al. Notfallmedizin aktuell – Obduktionsbefunde. *Rechtsmedizin* 2012; 22: 197–216
- Saternus KS, Fuchs V. Verletzungen der A. carotis communis durch Reanimationsmaßnahmen. *Z Rechtsmed* 1982; 88: 305–311

- 36 Divatia JV, Bhowmick K. Complications of endotracheal intubation and other airway management procedures. *Indian J Anaesth* 2005; 49: 308–318
- 37 Jaeger K, Ruschulte H, Osthaus A et al. Tracheal injury as a sequence of multiple attempts of endotracheal intubation in the course of a pre-clinical cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2000; 43: 147–150
- 38 Maxeiner H. Weichteilverletzungen am Kehlkopf bei notfallmäßiger Intubation. *Anästhesiologie Intensivmedizin* 1988; 29: 42–49
- 39 Bernard M, Matthes G, Kanz KG et al. Notfallnarkose, Atemwegsmanagement und Beatmung beim Polytrauma. *Anästhesist* 2011; 60: 1027–1040
- 40 Matevossian E, Sinicina I, Thorban S et al. Oesophago-gastric muscular rupture after resuscitation. *ANZ J Surg* 2008; 78: 719
- 41 Lawes EG, Baskett PJ. Pulmonary aspiration during unsuccessful cardiopulmonary resuscitation. *Intensive Care Med* 1987; 13: 379–382
- 42 Moustoukas N, Litwin MS. Intracranial placement of nasogastric tube: an unusual complication. *South Med J* 1983; 76: 816–817
- 43 Hanumanthaiah D, Masud S, Ranganath A. Inferior alveolar nerve injury with laryngeal mask airway: a case report. *J Med Case Rep* 2011; 5: 122
- 44 Buschmann C, Niebuhr N, Schulz T et al. „SAR-First-Responder Sea“ – backgrounds to a medical education concept in German SAR service. *Int Marit Health* 2009; 60: 43–47
- 45 Vézina MC, Trépanier CA, Nicole PC et al. Complications associated with the Esophageal-Tracheal Combitube in the pre-hospital setting. *Can J Anaesth* 2007; 54: 124–128
- 46 Wiese CHR, Semmel T, Müller JU et al. The use of the laryngeal tube disposable (LT-D) by paramedics during out-of-hospital resuscitation – An observational study concerning ERC guidelines 2005. *Resuscitation* 2009; 80: 194–198
- 47 Helm M, Hossfeld B, Jost C et al. Chirurgische Atemwegssicherung in der präklinischen Notfallmedizin. *Notfall Rettungsmed* 2011; 14: 29–36
- 48 Breitmeier D, Schulz Y, Wilke N et al. Koniotomieübungen an der Leiche – Erfahrungen in der Ausbildung mit Medizinstudenten, Anästhesisten und Notärzten. *Anästhesiologie Intensivmedizin Notfallmed Schmerzther* 2004; 39: 94–100
- 49 Timmermann A. Modernes Atemwegsmanagement – Aktuelle Konzepte für mehr Patientensicherheit. *Anästhesiologie Intensivmedizin Notfallmed Schmerzther* 2009; 44: 246–255
- 50 Neuhaus D. Intraossärer Zugang. *Notfall Rettungsmed* 2011; 14: 543–548
- 51 Weiss M, Gächter-Angehrn J, Neuhaus D. Intraossäre Infusionstechnik. *Notfall Rettungsmed* 2007; 10: 99–116
- 52 Schröder AS, Püschel K, Anders S. Stichbeibringung an den Beinen? Fallstricke bei der äußeren Leichenschau nach notärztlicher Behandlung. *Rechtsmedizin* 2010; 20: 515–518
- 53 Buschmann C, Hunsaker JC III, Correns A et al. Blunt head trauma or extensive tension pneumothorax? *Forensic Sci Med Pathol* 2012; 8: 73–75
- 54 Hopson LR, Hirsh E, Delgado J et al. Guidelines for withholding or termination of resuscitation in prehospital traumatic cardiopulmonary arrest: joint position statement of the National Association of EMS Physicians and the American College of Surgeons Committee on Trauma. *J Am Coll Surg* 2003; 196: 106–112
- 55 Sandroni C, Nolan J. ERC 2010 guidelines for adult and pediatric resuscitation: summary of major changes. *Minerva Anestesiologia* 2011; 77: 220–226
- 56 Huber-Wagner S, Lefering R, Qvick M et al. Outcome in 757 severely injured patients with traumatic cardiorespiratory arrest. *Resuscitation* 2007; 75: 276–285
- 57 Mistry N, Bleetman A, Roberts KJ. Chest decompression during the resuscitation of patients in prehospital traumatic cardiac arrest. *Emerg Med J* 2009; 26: 738–740
- 58 Schulz F, Kontokollias JS. Tödliche Thoraxstichverletzung – ungewöhnliche Komplikation bei der Reanimation. *Rettungsdienst* 1992; 15: 45–48
- 59 Kortbeek JB, Al Turki SA, Ali J et al. Advanced trauma life support. 8th edition, the evidence for change. *J Trauma* 2008; 64: 1638–1650
- 60 Bleetman A, Dyer J. Ultrasound assessment of the vulnerability of the internal organs to stabbing: determining safety standards for stab-resistant body armour. *Injury* 2000; 31: 609–612
- 61 Connor SE, Bleetman A, Duddy MJ. Safety standards for stab-resistant body armour: a computer tomographic assessment of organ to skin distances. *Injury* 1998; 29: 297–299
- 62 Zengerink I, Brink PR, Laupland KB et al. Needle thoracostomy in the treatment of a tension pneumothorax in trauma patients: what size needle? *J Trauma* 2008; 64: 111–114
- 63 Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie (Hrsg, federführend) et al. S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung. AWMF online http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-019l_S3_Polytrauma_Schwerverletzten-Behandlung_2011-07_01.pdf zuletzt aufgerufen am 11. Juni 2012
- 64 Valenzuela TD, Kern KB, Clark LL et al. Interruptions of chest compressions during emergency medical systems resuscitation. *Circulation* 2005; 112: 1259–1265
- 65 Wik L, Kramer-Johansen J, Myklebust H et al. Quality of cardiopulmonary resuscitation during out-of-hospital cardiac arrest. *JAMA* 2005; 293: 299–304
- 66 Scieszka EL, Bogner V, Thun H et al. Evidenzbasierte Überlegungen zu Gefahren bei einer akzidentellen Defibrillation. *Der Notarzt* 2010; 26: 150–154

3.3. Buschmann C, Gahr P, Tsokos M, Ertel W, Fakler JK (2010) Clinical diagnosis versus autopsy findings in polytrauma fatalities. Scand J Trauma Resusc Emerg Med 18:55

Die Beurteilung und Interpretation durchgeführter und nicht-durchgeführter notfallmedizinischer Maßnahmen am frustriert reanimierten Patienten stellt eine rechtsmedizinische Herausforderung dar. Insbesondere bei einem nach Trauma Verstorbenen gilt es, nicht nur reanimationsbedingte Artefakte vom ursprünglichen Trauma abzugrenzen und die durchgeführten Maßnahmen in den medizinischen Kontext des konkreten Falles einzuordnen, sondern auch die klinisch angegebene Todesursache zu überprüfen und entsprechend zu verifizieren oder zu falsifizieren. In diesem Zusammenhang sollte bei Inkongruenz zwischen klinisch angegebener und autopsisch festgestellter Todesursache – nach Mitteilung an die Staatsanwaltschaft und entsprechender Freigabe – im Einzelfall eine Rückmeldung seitens der Rechtsmedizin an die weiteren beteiligten Kollegen aus Rettungsdienst, Schockraum und Intensivstation erfolgen, um den konkreten Fall aufarbeiten und in ähnlich gelagerten Fällen mögliche gleichartige diagnostische „Fallstricke“ umgehen zu können. In der nachfolgend vorgestellten Studie konnten wir aus dem Kollektiv eines Berliner Level-I-Trauma-Centers nachweisen, dass sich die Korrektheit der klinisch angegebenen Todesursache beim Trauma-Patienten umgekehrt proportional zur Krankenhausbehandlungszeit verhält. Insbesondere scheint dies für Trauma-Patienten, die unter laufender Reanimation ein Krankenhaus erreichen, zu gelten, wenn apparative diagnostische Möglichkeiten (z. B. Ganzkörper-CT bei Aufnahme, eingehende Ultraschalluntersuchung der Körperhöhlen) situativ nur sehr eingeschränkt genutzt werden können und die Einschätzung des Verletzungsmusters und der Verletzungsschwere lediglich anhand einer körperlichen Untersuchung („Bodycheck“) erfolgen muss [28].

ORIGINAL RESEARCH

Open Access

Clinical diagnosis versus autopsy findings in polytrauma fatalities

Claas T Buschmann^{1*}, Patrick Gahr², Michael Tsokos¹, Wolfgang Ertel², Johannes K Fakler^{2,3}

Abstract

Objectives: The aim of the study was to determine if differences in clinical diagnosis versus autopsy findings concerning the cause of death in polytrauma fatalities would be detected in 19 cases of fatal polytrauma from a Level 1 trauma centre.

Methods: Clinical diagnoses determining the cause of death in 19 cases of fatal polytrauma (2007 – 2008) from a Level 1 trauma centre were correlated with autopsy findings.

Results: In 13 cases (68%), the clinical cause of death and the cause of death as determined by autopsy were congruent. Marginal differences occurred in three (16%) patients while obvious differences in interpreting the cause of death were found in another three (16%) cases. Five fatalities (three with obvious differences and two with marginal differences) were remarked as early death (1-4 h after trauma) and one fatality with marginal differences as late death (>1 week after trauma). Obvious and marginal discrepancies mostly occurred in the early phase of treatment, especially when severely injured patients were admitted to the emergency room undergoing continued cardiopulmonary resuscitation, i. e. limiting diagnostic procedures, and thus the clinical cause of death was essentially determined by basic emergency diagnostics.

Conclusions: Autopsy as golden standard to define the cause of death in fatal polytrauma varies from the clinical point of view, depending on the patient's pre-existing condition, mechanism of polytrauma, necessity of traumatic cardiopulmonary resuscitation, survival time, and thus the possibility to perform emergency diagnostics. An autopsy should be performed at least in cases of early fatal polytrauma to help establishing the definite cause of death. Moreover, autopsy data should be included in trauma registries as a quality assessment tool.

Introduction

Polytrauma, defined as a trauma pattern with an Injury Severity Score (ISS) >16 points and consisting of various injuries of which at least one is life-threatening, is associated with a mortality rate up to 23% [1,2]. Severe injury is the leading cause of death among children, adolescents, and young adults (ages 1-44), and represents the third most common cause of death for all ages in the western countries, after cardiovascular diseases and cancer [3]. Frequent causes of death in trauma fatalities are at first injuries to the central nervous system (40-50%), followed by hemorrhage (20-40%) and multiple organ failure (MOF), accounting for a further 2-10%.

About 53-69% of deaths occur prior to admission to hospital, and 7.3% of polytrauma patients are reported to have received cardiopulmonary resuscitation (CPR) during pre-hospital or emergency room (ER) treatment [2,4].

In the last decades, numerous clinical implementations, scoring systems and guidelines for improving quality of treatment in polytrauma patients such as the Advanced Trauma Life Support®-(ATLS)-Program have been set up [2]. In cases of trauma death, review of autopsy data is also used as part of the trauma quality assurance (QA) process, and autopsy rates are queried by the American College of Surgeons Committee on Trauma in their reviews [5]. Generally, autopsy assessment to in- and out-of-hospital fatalities is a valuable contributor to medical education [6], and current literature supports the concept that autopsies are useful in uncovering a potentially missed diagnosis in trauma

* Correspondence: claas.buschmann@charite.de

¹University Medical Centre Charité - University of Berlin, Institute of Legal Medicine and Forensic Sciences, Turmstr. 21, Building L, 10559 Berlin, Germany

Full list of author information is available at the end of the article

patients [7-11]. Especially in death after trauma, autopsy data can provide sufficient data to assist in determining the presence of missed injuries contributory to death [12], and also confirming the clinical cause of death. However, recent studies focusing on causes of death after injury are - with few exceptions [11-13] - solely based on clinical records [2-4,14]. Moreover, in recent publications the value of autopsies after severe trauma is discussed to offer only little additional information [5,6], i.e., no major or minor discrepancies, that may have altered the patient's therapy or survival time in terms of a preventable death or missed injuries.

The aim of the present study was to determine if differences in clinical diagnosis versus autopsy findings concerning the cause of death in polytrauma fatalities would be detected in 19 cases of fatal polytrauma from a Level 1 trauma centre. The value of forensic autopsy in polytrauma fatalities, especially in cases of early death and continued CPR on arrival at the ER (when intended diagnostic procedures possibly were not completed at the occurrence of death) is discussed.

Materials and methods

Our patient collective was excerpted from 29 cases of fatal polytrauma (2007-01-01 - 2008-12-31) from the Department of Orthopedic, Trauma and Reconstructive Surgery at Campus Benjamin Franklin, University Medical Centre Charité - University of Berlin/Germany, a Level I university trauma Center. The total number of polytrauma patients admitted to this hospital during the study period was 174 (mortality rate 16.6%). Polytrauma fatalities that did not have an autopsy performed were excluded.

By order from the public prosecutor's office, 19 of these 29 patients were autopsied at the Institute of Legal Medicine and Forensic Sciences, University Medical Centre Charité - University of Berlin/Germany (autopsy rate 65.5%). Median age was 48 years (24-90 years), 15 patients were male and 4 female. Clinical records, death certificates with date and time of death and final autopsy protocols were evaluated, and then time of death was assigned to 1 of 3 mortality types according to Trunkey's trimodal temporal distribution model [15]. Beyond that, clinical diagnoses determining the cause of death in these 19 fatalities were compared to autopsy findings. For determination of discrepant diagnoses, clinical records were reviewed separately, independently, and retrospectively without knowledge of autopsy findings and vice versa by the authors from two different departments, performing a single case analysis with an interdisciplinary approach. Clinical diagnoses were annotated based on hospital charts and death certificates, and autopsy diagnoses were annotated based on final autopsy reports. Discrepancies were classified in

obvious and marginal differences. Obvious discrepancies were defined as autopsy findings that were clinically unsuspected, incorrect or interpreted differently when compared to the clinical records and death certificate, the latter presenting different pathophysiological pathways contributory to death. Marginal discrepancies were defined as unsuspected or incorrect findings at autopsy when compared to clinical records that did not directly contribute to the patient's death but likely would have had an impact on the patient's treatment or hospital course. Referring to literature, it was questioned whether the patient's death would have been preventable in cases of additional and/or incorrect clinical diagnoses or not [16].

Results

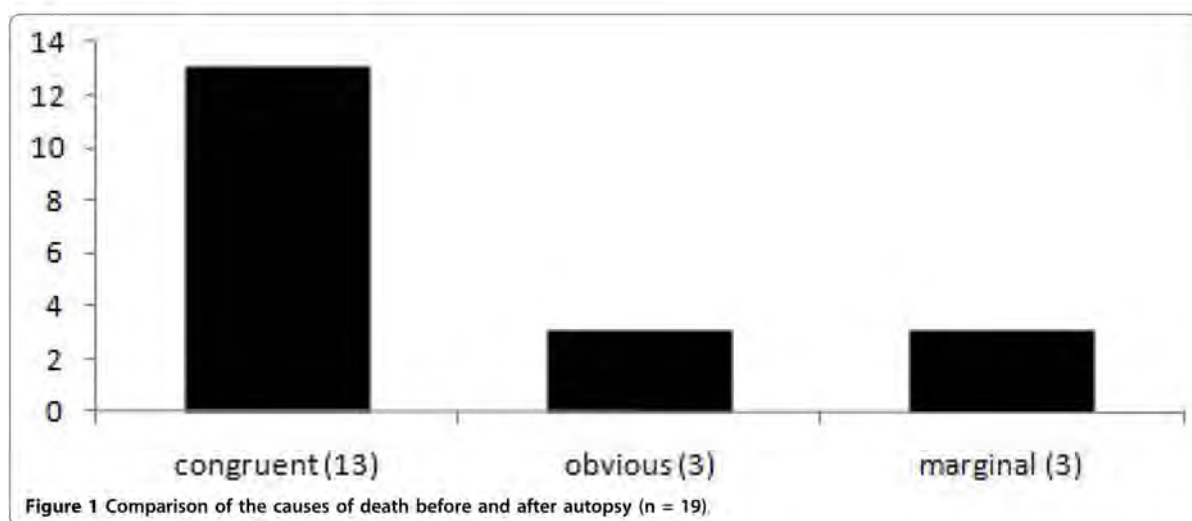
Injury patterns

High velocity traffic accidents were the leading cause of polytrauma (n = 11/52%), followed by fall from height (n = 5/26%). Injury patterns were caused by traffic accidents as pedestrian (n = 4) or car-/(motor)cycle driver (n = 7), fall from height (n = 5), homicidal stab attack (n = 1), work place accident (n = 1) and train overrun (n = 1). The median ISS at admission to the ER was scored 45 points (\pm 15.5 SD), ranging from 33 to 75 points. The stated ISS scorings in this study were solely based on clinical findings.

Traffic accidents caused multiple trauma patterns to the whole body, including severe traumatic brain injury (sTBI), multiple fractures and contusions of extremities and trunk as well as hollow organ and great vessel lacerations; incident-related specific injury patterns were not identified in this group. Falls from height mainly presented sTBI as cause of death; although blunt cardiac injuries have been described to occur frequently at least in falls exceeding >6 m [17], in our small collective such injuries were not diagnosed. Other mechanisms of trauma resulted in corresponding injuries: isolated sharp thorax trauma for homicidal stab attack (n = 1), suicidal train overrun for polytrauma including lower leg amputation (n = 1), and work place accident (patient bruised by an 1800-kg-transformator in a hoistway, n = 1) for blunt polytrauma.

Cause of death

The prevalence of discrepancies in our collective reached 32% (Figure 1), and obvious differences occurred in 3 patients (16%) while marginal differences in interpreting the cause of death were found in another 3 cases (16%). In 13 cases (68%), the clinical cause of death and the cause of death determined by forensic autopsy were congruent, but 2 of these cases (15%) had been explanted for organ donation purposes before autopsy, thus autopsy approved the clinical cause of



death, but could not reveal any discrepancies with regard to the explanted organs. None of the fatalities were classified as preventable deaths. A detailed list of the included patients is given in Table 1.

Survival time and discrepant diagnoses

None of the studied fatalities occurred as immediate death (on scene/1-59 min after trauma), conceivably due to the fact that resuscitation procedures at the site of the incident and transport to the ER took more than one hour in our study population. 9 fatalities (47%) occurred as early death (Emergency Room [ER] or Operation Room [OR]/1-4 h after trauma) and 6 (32%) fatalities as late death (> 1 week after trauma). Four (21%) patients survived between 4 h and 1 week, thus not being classifiable in Trunkey's scheme (Figure 2). Median time interval between traumatic incident and admission to the ER was 1:02 h, and median survival time from the traumatic incident was 5:35 h.

4 patients from the early death group were brought to the ER undergoing continued CPR or necessitated CPR during immediate ER course, i.e. limiting emergency diagnostics, and thus the clinical cause of death was essentially determined by means of basic emergency diagnostics and physical examination. 3 of these patients were forensically regarded as incongruent concerning the cause of death (1 with obvious differences, 2 with marginal differences).

In summary, 5 fatalities presenting discrepancies at autopsy (3 with obvious differences and 2 with marginal differences) were remarked as early death and 1 with marginal differences as late death. Obvious and marginal discrepancies concerning the cause of death mostly occurred in the early phase of treatment (n = 5/83%); 3 of the 6 discrepant fatalities arrived at the ER

undergoing continued CPR or necessitated CPR in immediate clinical course.

In the following, we present short case reports of the incongruent polytrauma fatalities in our study group.

Obvious differences

The three fatalities presenting obvious differences at autopsy when compared to clinical diagnoses, survived the traumatic incident between 2:10 h and 2:50 h (median 2:46 h) and reached the ER 1:19 h after accident (median). Median in-hospital survival time was 1:27 h, and 2 of these patients were brought to the ER undergoing continued CPR or necessitated CPR during ER diagnostic procedures.

Exemplary case reports

Table 2 gives an overview of ER diagnostic procedures in the reported exemplary case reports.

Case no. 7

The patient (m, 27 y) sustained a high velocity car accident. He arrived intubated at the ER 1:13 h after the accident where sTBI and severe blunt chest trauma with bilateral lung contusions were diagnosed (ISS: 59 points). Chest drains were applied, but artificial ventilation remained difficult (P_aO_2 maximum 70 mmHg and P_aCO_2 of 70 mmHg). The patient was brought rapidly to the OR, ER diagnostics were based on physical examination, ultrasound performance, thoracic and pelvic x-ray scans and whole-body spiral computer tomography, showing sTBI, severe chest injury, pelvic trauma (left-sided iliac wing fracture, AO/OTA type 61-A2), serial fractures of the processi transversi of the vertebral column and a small retroperitoneal hematoma. During immediate damage control surgery for thoracic trauma,

Table 1 List of included patients

no	sex	age	mechanism of polytrauma	ISS	survival time (hh: mm/days if appropriate)	cause of death (clinically)	cause of death (autoptically)	congruent?	CPR	marginal difference	obvious difference
1	f	41	traffic accident (car)	51	2:43	thorax trauma	thorax trauma	yes	-	-	-
2	f	24	homicidal stab attack	75	1:00	hemorrhagic shock due to multiple thoracic stab wounds	fatal bleeding due to multiple thoracic stab wounds, bilateral hemothorax	no - bilateral hemothorax?	+	+	-
3	m	46	traffic accident (car)	34	2:15	hemorrhagic shock due to liver rupture, thorax trauma, contusion cordis	thorax trauma, exsanguination from liver rupture	yes	-	-	-
4	m	48	traffic accident (car)	50	184 days	MOF/lung artery embolism	MOF	no - lung artery embolism?	-	+	-
5	f	75	traffic accident (cyclist)	38	15 days	sTBI	sTBI	yes	-	-	-
6	m	49	fall from height	54	9:35	sTBI	sTBI	yes	-	-	-
7	m	27	traffic accident (car)	59	2:50	sTBI, lung failure, hemorrhagic shock, thorax trauma	sTBI, bilateral lung contusion, pelvic trauma	no - pelvic trauma ?	-	-	+
8	m	72	traffic accident (pedestrian)	43	2:46	thorax trauma, heart contusion, hemorrhagic shock	thorax trauma, pericardial tamponade	no - pericardial tamponade?	+	-	+
9	m	49	traffic accident (cyclist)	43	9 days	sTBI	sTBI - explanted	yes - explanted	-	-	-
10	m	45	train overrun	75	2:22	sTBI/ hemorrhagic shock from Sinus sagittalis superior bleeding	sTBI	no - hemorrhagic shock?	-	+	-
11	m	36	fall from height	38	20:07	sTBI	sTBI	yes	-	-	-
12	m	49	work place accident	75	2:10	blunt thoraco-abdominopelvic trauma	fatal bleeding due to pelvic trauma	no - pelvic trauma?	+	-	+
13	m	41	traffic accident (cyclist)	41	1:40	sTBI, blunt abdominal and pelvic trauma	sTBI, blunt abdominal and pelvic trauma	yes	-	-	-
14	m	84	fall from height	33	5 days	sTBI	sTBI	yes	-	-	-
15	m	57	fall from height	45	7:15	blunt abdominal and pelvic trauma	blunt abdominal and pelvic trauma	yes	-	-	-
16	m	33	traffic accident (cyclist)	75	1:10	aortic rupture	aortic rupture	yes	+	-	-
17	m	45	traffic accident (cyclist)	75	6 days	sTBI	sTBI - explanted	yes - explanted	-	-	-

Table 1 List of included patients (Continued)

18	m	76	traffic accident (pedestrian)	43	7:46	sTBI	sTBI	yes	-	-	-
19	m	95	fall from height	41	21 days	lung artery embolism	lung artery embolism	yes	-	-	-

the man had to be resuscitated which remained unsuccessful; total survival time was 2:50 h, in-hospital survival time accounted for 1:37 h.

Based on clinical assessments, trauma surgeons assumed as cause of death a cardiac arrest caused by severe thorax trauma with consecutive lung failure and sTBI, while autopsy reported - besides the correct clinical diagnoses - a large retroperitoneal hematoma in the rearward fat tissue and consecutive signs of hemorrhagic shock as a further potentially lethal injury. While hemorrhagic shock was also diagnosed and addressed by orthopedic surgeons, the stable pelvic fracture as well as the serial fractures of the processi transversi of the vertebral column was not seen as the main source of bleeding. According to the trauma surgeons, continued ventilation problems with hypoxia and massive hypercapnia due to severe thoracic trauma in conjunction with sTBI were responsible for death primarily: the pelvic and vertebral column trauma had already been

diagnosed in the ER, but respiratory failure was given priority at admission. Although death would not have been evitable, the case was forensically considered as an obvious difference since the retroperitoneal destructions with subsequent bleeding were not regarded clinically as a relevant factor of death.

Case no. 8

The patient (m, 72 y) was overrun by a car; 1:19 h later he was admitted to the ER. During immediate ER course, CPR efforts were necessary, and initial ISS was scored 43 points. Severe chest trauma with bilateral serial costal fractures, heart and lung contusions as well as hemorrhagic shock was diagnosed; chest drains were applied. Physical examination, X-ray scans, abdominal ultrasound and spiral computertomography were performed immediately, confirming the chest trauma and showing a hypertrophied right heart without signs of pericardial effusion. After extensive CPR, the man was

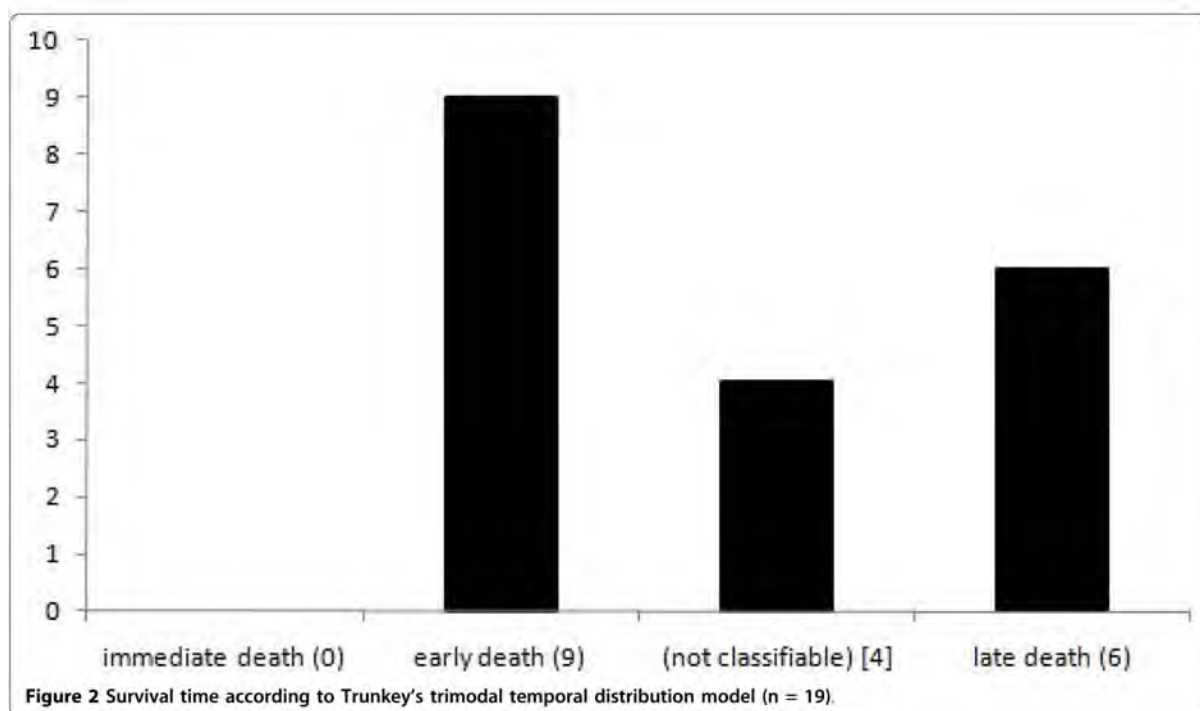


Table 2 Overview of ER diagnostic procedures in the reported exemplary case reports

no	sex	age	mechanism of polytrauma	ISS	survival time (hh:mm/days if appropriate)	cause of death (clinically)	cause of death (autoptically)	ER diagnostic procedures
7	m	27	traffic accident (car)	59	2:50	sTBI, lung failure, hemorrhagic shock, thorax trauma	sTBI, bilateral lung contusion, pelvic trauma	physical examination, ultrasound, thoracic + pelvic x-ray, whole-body CT
8	m	72	traffic accident (pedestrian)	43	2:46	thorax trauma, heart contusion, hemorrhagic shock	thorax trauma, pericardial tamponade	physical examination, ultrasound, thoracic + pelvic x-ray, whole-body CT
12	m	49	work place accident	75	2:10	blunt thoraco-abdominopelvic trauma	fatal bleeding due to pelvic trauma	physical examination, thoracic + pelvic x-ray
2	f	24	homicidal stab attack	75	1:00	hemorrhagic shock due to multiple thoracic stab wounds	fatal bleeding due to multiple thoracic stab wounds, bilateral hemato-pneumothorax	physical examination
4	m	48	traffic accident (car)	50	184 days	MOF/lung artery embolism	MOF	physical examination, ultrasound, thoracic + pelvic x-ray, whole-body CT
10	m	45	train overrun	75	2:22	sTBI/hemorrhagic shock from Sinus sagittalis superior bleeding	sTBI	physical examination, ultrasound, thoracic + pelvic x-ray, whole-body CT

pronounced dead 1:27 h after admission. Total survival time was 2:46 h; trauma surgeons blamed a hemorrhagic shock for the cardiac arrest.

Autopsy confirmed the severe chest trauma with several bilateral rib fractures as well as heart and lung contusions, but furthermore yielded a pericardial tamponade with 280 ml of blood, caused by a 10 mm traumatic rupture of the V. cava inferior at the mouth of the right atrium which was considered forensically as competitive cause of death. It could not be clarified forensically to what extent the rupture of V. cava inferior was due to the original thoracic trauma or to ponderous CPR efforts with a chest drain applied to the right pleura which was probably moved during extensive closed chest CPR: the tip of the chest drain was found to be located near the mouth of the right atrium. Despite the non-diagnosed possible iatrogenic pericardial tamponade, death was considered unpreventable because of the severity of the chest trauma.

Case no. 12

The patient (m, 49 y) was clamped by an 1800-kg-transformator that trapped him in a hoistway. After difficult extrication by the fire brigade he reached the ER 1:45 h after the accident endotracheally intubated and undergoing continued CPR. Initial ISS was scored 75 points, and emergency diagnostics consisted of basic emergency diagnostics (physical examination, thoracic and pelvic X-ray scans) as extensive CPR was continued for another 0:25 h before the patient was pronounced dead. Survival time from the accident was 2:10 h. Based upon previous surgical examination and x-ray scans, ER physicians assumed as cause of death a blunt chest, abdominal and pelvic trauma, but autopsy solely showed - besides signs

of extensive CPR - a fatal bleeding from the pelvic ring disruption with traumatic rupture of A. and V. iliaca communis dextra. Organs in thorax and upper abdomen were nearly unaltered. Although merely the pelvic injury led to death by exsanguination, the patient's demise was considered unavoidable as the blood loss already necessitated CPR on scene and the patient arrived at the ER without signs of life for a total time of 1:45 h.

Marginal differences

In the 3 fatal polytrauma issues presenting marginal differences concerning the cause of death, the patients reached the ER 1:00 h after the accident (median). 2 patients survived in-hospital for 0:12 h and 2:22 h respectively, one patient survived for 184 days. 1 patient was brought to the ER undergoing continued CPR.

Case no. 2

The patient (f, 24 y) was assaulted with a knife and sustained 25 stab wounds to the ventral and dorsal chest wall; she was intubated on scene and brought to the ER 48 min after the attack, necessitating continued CPR already during transport. At admission to the ER, ISS was scored 75 points, and clinical procedures focussed on continuing extensive CPR. Emergency diagnostics were solely performed by means of physical examination, chest drains were not applied. She was pronounced dead 12 minutes after admission to the ER because of at least 45 min therapy-resistant asystolia; survival time from the traumatic incident was 1:00 h. Clinical cause of death was assumed as solely hemorrhagic shock due to multiple chest stab wounds with hypothesized cardiac and aortic injuries while autopsy showed besides the severe sharp thorax trauma (multiple stab injuries of

lungs, pericardium, diaphragm and liver) also a bilateral hemothorax contributing to the woman's demise. Heart and aorta were unaltered. Although this was considered as marginal difference and it was clearly stated that death would not have been preventable, autopsy supported the recommendation that traumatic CPR should not be stopped until bilateral chest drains have been applied [4].

Case no. 4

A motorcycle driver (m, 48 y) was hit by a truck; 1:12 h after the accident, he arrived endotracheally intubated at the ER where the following diagnoses were collected by physical examination, ultrasound performance, thoracic and pelvic x-ray scans as well as a whole-body CT: hemorrhagic shock, spine fracture Th12, bilateral serial costal fractures, dislocated pelvic fracture, right-sided talocalcaneal joint fracture, and urinary bladder rupture (ISS: 50 points). After damage control surgery and hemodynamical stabilization, the patient was transferred to the Intensive Care Unit (ICU). The further clinical course was fraught with severe complications such as rhabdomyolysis, persisting Systemic Inflammatory Response Syndrome (SIRS), decubital ulcers, critical illness polyneuropathy, and respiratory failure. Clinical diagnostics throughout the prolonged ICU treatment period consisted of the whole bandwidth of medical possibilities. Nevertheless, the patient suffered a cardiac arrest on day 184 after admission, presenting a fulminant septic shock; CPR was carried out for 45 minutes. Clinical cause of death was determined as septic MOF with concomitant septic lung artery embolism. Autopsy confirmed besides the initial diagnoses a septic MOF as inevitable cause of death, but showed - as marginal difference - no hints for presence of lung artery embolism.

Case no. 10

The patient (m, 45 y) was overrun by a train; at admission to the ER 1:00 h after trauma sTBI, left-sided proximal humerus fracture, left-sided open hip fracture, and traumatic amputation of the left lower leg were diagnosed (ISS: 75 points). Clinical diagnostics consisted of physical examination, ultrasound performance, thoracic and pelvic x-ray scans as well as a whole-body CT. During emergency neurosurgical intervention the patient had to be resuscitated; these efforts remained unsuccessful. Total survival time from the traumatic incident was 3:22 h, in-hospital survival time was 2:22 h. With respect to timely manners and rapid aggravation of vital parameters, orthopedic surgeons blamed a bleeding from the Sinus sagittalis superior with consecutive hemorrhagic shock as the main cause of death rather than sTBI. The particular injury pattern, especially the traumatic amputation of the left lower leg did not

contribute clinically to the patient's assumed hemorrhagic shock as there was no significant bleeding from the wound because of vessel retraction.

Autopsy showed - besides the correct diagnoses mentioned above - wide-spread, primarily non-survivable destructions of the entire brain tissue with comminute fractures of the basal skull and the calvarium. The cause of unpreventable death was forensically determined as sTBI, but not hemorrhagic shock, thus being qualified as marginal difference.

Discussion

Severely injured patients present a wide range of complex problems to the trauma leader in charge: diagnosis of life-threatening injuries and their therapy need to be set up rapidly. Depending on the severity of the trauma, and thus on the time available for establishing the diagnosis, the use of diagnostic means may be very limited. Yet, a recent study points out that the in-hospital survival time is inversely proportional to the discrepancy rate at autopsy, suggesting that lack of time for appropriate diagnostic tests have an important role in missed diagnoses [18]. Especially in fatal polytrauma cases the clinically assumed causes of death might vary from the autopsy point of view, depending on several factors such as the patient's pre-existing condition and age, mechanism of accident, necessity of CPR, survival time, and the possibility to perform emergency diagnostics: if severe injury patterns with elevated ISS levels necessitate continued CPR on the patient in immediate clinical course, intended advanced diagnostic measures (besides standardly conducted performance of physical body exploration, thoracic and pelvic x-ray scans as well as abdominal ultrasound examination) usually will initially be blocked. Also in cases of immediate and/or early deaths without necessity of CPR, recommended clinical diagnostic procedures, e. g. whole-body-CT [14], cannot be carried out and diagnostic imaging might be incomplete at occurrence of death. Even with delayed deaths, numerous simultaneously arising complications, e.g. MOF, lung embolisms, Adult Respiratory Distress Syndrome (ARDS) or other competitive causes of death can as well provoke clinical uncertainty concerning the patient's demise. In connection with clinical records autopsy may answer such questions and clarify the following points:

- estimation of manner and cause of death,
- accuracy/quality assurance of clinical diagnoses, and
- verification/denial of causal relationship between trauma incident and death.

Besides that, the cause of the traumatic incident can be clarified by autopsy in some cases, e.g. myocardial

infarction, apoplectic insult or other severe pre-existing or acute diseases. Yet current literature has documented a decrease in autopsy frequency; the reasons are diversified, including technological advances in clinical testing and imaging and apprehension of potential medicolegal consequences resulting from discrepant findings. Nevertheless, disparity rates between clinical and post-mortem diagnoses concerning the cause of death are reported to reach up to 17.2% [18].

In case of trauma-related death, diagnostic assessment in polytrauma patients might also be limited at autopsy, notably in patients requiring CPR following thorax trauma: iatrogenic CPR-injuries might be sometimes hard to differentiate from the original trauma incident - cardiac massage must be considered also as a blunt chest trauma [19]. Here intensity and duration of CPR correlates with the frequency of CPR-related injuries, possibly superimposing incident-related chest trauma. In addition, usual autopsy findings in cases of trauma death need to be related to clinical data as they are not always specific for the determined cause of death, e.g. so-called "hemorrhage bleedings" (extensive subendocardial bleedings in the left ventricle) might result either from death by exsanguinations or hypotension induced by central dysregulation, e.g. sTBI [20], and lung oedema will occur as a frequent sequel of either artificial respiration or also death by central dysregulation. Furthermore, autopsy findings are also restricted in patients after explantation for organ donation purposes when explanted organs cannot be adjudged. Although performance of autopsy is currently accompanied by several additional diagnostic means, difficulties remain.

Each diagnostic procedure has limitations depending on accessible data, time available for clinical diagnostics and incident-referred pattern of trauma, and no overall diagnostic forensic and clinical gold standard is to be defined or one diagnostic measure is considered to be superior to other diagnostic measures. When executing a data-based comparison of diagnostic accuracy between clinical and forensic findings, we conclude that final statement concerning the cause of death in early polytrauma death should be conducted in synopsis of all available methods including autopsy data. A single case analysis should be comprehended in each incongruent polytrauma fatality and is necessary for accuracy in determining the cause of death.

Limitations

We conducted a single centre study from a Level I trauma centre with a relatively small patient collective; generalization of our results may be difficult, because the management of severely injured patients in level I trauma centres might differ considerably from non-trauma centre hospitals. Furthermore, the temporal

distribution of trauma deaths depends on the time intervals and classifications chosen in the given study. However, we consider our results as reliable, because review of the clinical records and death certificates as well as the final autopsy reports allowed a tight follow-up of each fatal outcome in our study by close personal interaction between surgical and forensic department. Verification of the study hypothesis was supported by the collected data. Although limitations have to be considered, we were able to demonstrate that unexpected findings concerning the cause of death are identified relatively frequently at autopsy in early polytrauma fatalities.

Conclusion

Although preventable deaths (in terms of missed and thus non-addressed injuries) were not present, our study confirms that autopsy remains an important quality assessment tool for determining discrepant diagnoses concerning the cause of death in polytrauma fatalities, especially when autopsy is preceded by a short ER stay and necessity of CPR during transport or in immediate ER course. A forensic autopsy in fatal polytrauma issues should standardly be conducted at least in each case of early/immediate death to help establishing the definite cause of the patient's demise - most likely already by proposal by the clinical physician in charge of the polytrauma patient. Autopsy provides important supplemental diagnosis, and inclusion of autopsy data from such polytrauma fatalities in national trauma registries for further research projects on this topic should be considered. Amplified interlocking between surgical and forensic departments ought to be strived for in the future.

Acknowledgements

Parts of this work have been presented as electronic poster presentation at the 22nd International Symposium on Trauma Care, German Armed Forces Hospital Ulm/Germany, October 2nd - 4th, 2009.

Author details

¹University Medical Centre Charité - University of Berlin, Institute of Legal Medicine and Forensic Sciences, Turmstr. 21, Building L, 10559 Berlin, Germany. ²University Medical Centre Charité - University of Berlin, Department of Orthopedic, Trauma and Reconstructive Surgery, Campus Benjamin Franklin, Hindenburgdamm 30, 12200 Berlin, Germany. ³MediClin Waldkrankenhaus Bad Döben, Hospital for Special Orthopedic Surgery, Gustav-Adolf-Straße 15a, 04849 Bad Döben, Germany.

Authors' contributions

CTB, PG and JKF conceived of the study, and participated in its design and coordination. MT and WE participated in the design of the study. CTB drafted the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

Competing interests

There is no conflict of interest. The corresponding author affirms that he has no relationships with a company whose product is mentioned in the article or with one that sells a competitive product. The presentation is impartial, and the content is independent of commercial influence.

Received: 8 June 2010 Accepted: 26 October 2010
Published: 26 October 2010

References

1. Probst C, Zelle BA, Sittaro NA, Lohse R, Krettek C, Pape HC: **Late death after multiple severe trauma: when does it occur and what are the causes?** *J Trauma* 2009, **66**:1212-1217.
2. Pfeifer R, Tarkin IS, Rocos B, Pape HC: **Patterns of mortality and causes of death in polytrauma patients - Has anything changed?** *Injury* 2009, **40**:907-911.
3. Tien H, Chu PTY, Brennehan F: **Causes of death following multiple trauma.** *Current Orthopaedics* 2004, **18**:304-310.
4. Huber-Wagner S, Lefering R, Qvick M, Kay MV, Paffrath T, Mutschler W, Kanz KG: **Working Group on Polytrauma of the German Trauma Society. Outcome in 757 severely injured patients with traumatic cardiorespiratory arrest.** *Resuscitation* 2007, **75**:276-85.
5. Forsythe RM, Livingston DH, Lavery RF, Mosenthal AC, Hauser CJ: **Autopsies in trauma do not add to peer review or quality assurance.** *J Trauma* 2002, **53**:321-325.
6. Shen LY, Marcotte KN, Helmer SD, Dudley MH, Smith RS: **Correlation of clinical findings and autopsy results after fatal injury from motor vehicular-related crashes.** *Am Surg* 2006, **72**:282-287.
7. Barendregt WB, de Boer HHM, Kubat K: **Autopsy analysis in surgical patients: a basis for clinical audit.** *Br J Surg* 1992, **79**:1297-1299.
8. Stothert JC, Gbaanador GBM, Herndon DN: **The role of autopsy in death resulting from trauma.** *J Trauma* 1990, **30**:1021-1026.
9. West JG: **An autopsy method for evaluating trauma care.** *J Trauma* 1981, **21**:32-39.
10. West JG: **Validation of autopsy method for evaluating trauma care.** *Arch Surg* 1982, **117**:1033-1035.
11. Martin BT, Fallon WF Jr, Palmieri PA, Tomas ER, Breedlove L: **Autopsy Data in the Peer Review Process Improves Outcomes Analysis.** *J Trauma* 2007, **62**:69-73.
12. West JG, Trunkey DD, Lim RC: **Systems of trauma care: a study of two counties.** *Arch Surg* 1979, **114**:455-460.
13. Trunkey DD, Lim RC: **Analysis of 425 consecutive trauma fatalities: an autopsy study.** *J Am Coll Emerg Phys* 1974, **3**:368-371.
14. Huber-Wagner S, Lefering R, Qvick LM, Körner M, Kay MV, Pfeifer KJ, Reiser M, Mutschler W, Kanz KG, Working Group on Polytrauma of the German Trauma Society: **Effect of whole-body CT during trauma resuscitation on survival: a retrospective, multicenter study.** *Lancet* 2009, **373**:1455-1461.
15. Trunkey DD: **Trauma.** *Sci Am* 1983, **249**:28-53.
16. Cales RH, Trunkey DD: **Preventable trauma deaths.** *JAMA* 1985, **254**:1059-63.
17. Türk EE, Tsokos M: **Blunt Cardiac Trauma Caused by Fatal Falls From Height: An autopsy-Based Assessment of the Injury Pattern.** *J Trauma* 2004, **57**:301-304.
18. Tavota F, Crowder CD, Sun CC, Burke AP: **Discrepancies Between Clinical and Autopsy Diagnoses - A Comparison of University, Community, and Private Autopsy Practices.** *Am J Clin Pathol* 2008, **129**:102-109.
19. Buschmann C, Tsokos M: **Frequent and rare complications of resuscitation attempts.** *Intensive Care Med* 2009, **35**:397-404.
20. Mahoney EJ, Biffi WL, Harrington DT, Cioffi WG: **Isolated brain injury as a cause of hypotension in the blunt trauma patient.** *J Trauma* 2003, **55**:1065-1069.

doi:10.1186/1757-7241-18-55

Cite this article as: Buschmann et al.: **Clinical diagnosis versus autopsy findings in polytrauma fatalities.** *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine* 2010 **18**:55.

3.4. Schulz F*, Buschmann C*, Braun C, Püschel K, Brinkmann B, Tsokos M (2011) Haemorrhages into the back and auxiliary breathing muscles after death by hanging. Int J Legal Med 125:863-71

Wie vorstehend berichtet sind traumatisch bedingte Todesfälle nicht nur ein relevantes medizinisches, sondern auch ein sozioökonomisches Problem; so sind Trauma-Todesfälle u. a. weltweit für den höchsten Verlust an Lebensjahren in der Altersgruppe <32 Lebensjahre verantwortlich [29]. Die weltweit größte Gruppe von Menschen, die durch Folgen von Gewalt zu Tode kommen, sind allerdings nicht akzidentiell Verunglückte, sondern Suizidenten [30]. Weltweit stirbt derzeit etwa alle 40 Sekunden und in Deutschland alle 56 Minuten ein Mensch durch Suizid – dies entspricht jährlich fast 1.000.000 Personen weltweit [31]. In Deutschland begingen im Jahr 2007 9.402 Menschen Suizid; dieses entspricht einer Suizidrate von 11,4 Personen pro 100.000 Einwohner pro Jahr [32]. Andere Studien berichteten von einer Suizidhäufigkeit in der Bundesrepublik Deutschland zwischen 12 und 20 auf 100.000 Einwohner pro Jahr [33,34]. Die tatsächliche Zahl der vollendeten Suizide dürfte noch erheblich höher liegen, da sich in der amtlichen Todesursachenstatistik hinter Verkehrsunfällen, Drogentodesfällen oder unklaren Todesursachen nicht erkannte Suizide verbergen können [35]. Männer verüben häufiger Suizide als Frauen, der Altersgipfel liegt bei >65 Lebensjahren. Suizide von Kindern, Jugendlichen oder jungen Erwachsenen sind deutlich seltener, allerdings wurde zuletzt wieder über einen Anstieg von Suiziden in der Altersgruppe der 15- bis 35-Jährigen berichtet [36]. Die Korrelation von Begehungsweise, soziokulturellen Einflußfaktoren, Lebensalter und anderen Variablen ist Gegenstand aktueller Suizidforschung. Entsprechend ist die Untersuchung suizidaler Todesfälle in der rechtsmedizinischen Praxis regelhaft durchzuführen. Die unterschiedlichen Begehungsarten sind hinlänglich bekannt; Seltenheitswert besitzen gelegentlich bizarre und spektakuläre oder auch berufsbezogene Taten [37,38,39,40]. Die häufigste Suizidmethode ist das Erhängen [41]. Entsprechend häufig ist diese Form des gewaltsamen Todes in der rechtsmedizinischen Routine zu untersuchen. Insbesondere bei dieser Suizidform ist wie bei allen Formen des äußeren Erstickens nicht von einem sofortigen Herzkreislaufstillstand, sondern vielmehr von einem mehrphasigen Verlauf auszugehen. Herzaktionen über längere Zeiträume nach dem initialen Erhängungsvorgang sind seit langer Zeit bekannt [42]. Entsprechend können sichere Todeszeichen bei erst kürzlich erhängt aufgefundenen Personen noch nicht ausgeprägt sein, so dass Reanimationsversuche durch Laien und/oder Rettungsdienstpersonal eingeleitet und entsprechende Artefakte gesetzt werden. Diese müssen bei Leichenschau und Obduktion erkannt und interpretiert werden. Neben zahlreichen hinlänglich bekannten, teilweise aber unspezifischen Befunden (u. a.

doppelte Hyperämiezone ober- und unterhalb der Strangmarke, Stauungsblutungen oberhalb der Strangmarke, positive Phosphatidprobe, pulmonale Dystelektasen, pulmonales Mikroemboliesyndrom, gelegentlich Blutungen unter das vordere Längsband der Wirbelsäule, Lungenarterienembolien, Aspirationsbefunde und Darmwandhämorrhagien [43]) konnten wir in einer retrospektiven Untersuchung in ca. 30 % der Erhängungstodesfälle Einblutungen in die Rücken- und Atemhilfsmuskulatur beobachten. Diese neue Beobachtung impliziert einige differentialdiagnostische Überlegungen. Neben postmortaler Genese (innere Totenflecke, Autolyse, Leichenfäulnisartefakte) sind auch intravitale Diapedeseblutungen bei Erkrankungen wie angeborenen oder erworbenen Gerinnungsstörungen möglich. Insbesondere gilt es aber, durch die rechtsmedizinische Leichenschau eine Gewalteinwirkung durch fremde Hand zum Todeszeitpunkt auszuschließen, so dass auch eine mechanisch-traumatische Genese im Sinne einer Widerlagerblutung bei Zustand nach Reanimation auf Steinboden, Parkett etc. pp. in Betracht zu ziehen sein wird, da eine suffiziente Herzdruckmassage auf einer unelastischen Unterlage durchgeführt werden muss, um eine optimale mechanische Krafteinwirkung auf das Herz zu gewährleisten [44]. Gleiches gilt für Patienten, welche reanimationspflichtig aus dem Wasser geborgen werden und teilweise gleichartige Muskelblutungen aufweisen [45]. Bei dokumentiertem notärztlichen Handeln wird die rechtsmedizinische Einordnung derartiger Muskelblutungen als Reanimationsartefakt problemlos gelingen [46].

Haemorrhages into the back and auxiliary breathing muscles after death by hanging

Friedrich Schulz · Claas Buschmann ·
Christian Braun · Klaus Püschel · Bernd Brinkmann ·
Michael Tsokos

Received: 15 June 2011 / Accepted: 7 September 2011 / Published online: 21 September 2011
© Springer-Verlag 2011

Abstract We describe and discuss haemorrhages discovered in the back and auxiliary breathing muscles of a population of cases of suicidal death by hanging. Intramuscular haemorrhages were present in approximately 30% of the cases. Pre-existing illnesses with an increased tendency to bleed or an anticoagulant medication did not exist; corresponding skin and subcutaneous fatty tissue structures were intact in each case. In cases of death by hanging, the occurrence of muscle haemorrhages of this type may be

explained pathophysiologically by the occurrence of increased respiratory exertions and/or seizures during the hanging process. Although the results of our study do not indicate an obligatory autopsy finding, evidence of internal haemorrhaging into the back and auxiliary breathing muscles may be called upon following consideration of differential diagnostic aspects as a further diagnostic indication of vital hanging.

Keywords Intramuscular haemorrhages · Vitality signs · Hanging · Suicide · Autopsy

Friedrich Schulz and Claas Buschmann have contributed equally to the manuscript and thus share first authorship.

Electronic supplementary material The online version of this article (doi:10.1007/s00414-011-0622-1) contains supplementary material, which is available to authorized users.

F. Schulz · K. Püschel
Department of Forensic Medicine,
University Medical Centre Hamburg-Eppendorf,
Butenfeld 34,
22529 Hamburg, Germany

C. Buschmann (✉) · M. Tsokos
Institute of Legal Medicine and Forensic Sciences,
University Medical Centre Charité-University of Berlin,
Turnstr. 21, Building N,
10559 Berlin, Germany
e-mail: claas.buschmann@charite.de
URL: <http://remed.charite.de>

C. Braun
Institute of Legal Medicine,
Ludwig-Maximilian-University Munich,
Nußbaumstr. 26,
80336 Munich, Germany

B. Brinkmann
Institute of Forensic Genetics,
Im Derdel 8,
48161 Munster, Germany

Introduction

It is a well-known fact that death by hanging is a complex process. It is not only complex in terms of the pathophysiological course of events leading to death [1, 2] but is also in part non-uniform in relation to the external circumstances [3, 4]. Documented observations originate from both few cases in which suicides filmed their own death—and currently reported by Sauvageau [5]—and from judicial hangings, as described in the past by Miloslavich [6], Seyfarth [7], Kalle [8] and Dobson [9]. In order to exclude foul play, one's aim of autopsy on a person found hanged will be to clarify whether this person hanged himself or herself or was hanged whilst alive or was placed in a hanging situation as a corpse, for instance as a cover-up for homicide [10, 11]. In addition to evidence at the scene where the corpse is discovered and a lack of defensive injuries, vitality signs in the body may serve this end. Local macro- and micro-morphological evidence of vital hanging include several investigations about morphology and vitality signs of the strangulation mark, e.g. a double zone of hyperaemia above and below as well as congestion

haemorrhages above the ligature mark. As systemic reactions, a positive phosphatidic sample [12], pulmonary dystelectasis and pulmonary microembolism syndrome [13], and occasionally pulmonary embolisms, aspiration findings and haemorrhages of the intestinal wall [12, 14–16] have also been described. Since, however, individual morphologically discernible findings, such as haemorrhages under the anterior longitudinal ligament of the vertebral column, are neither specific nor sensitive [17–19]. In some cases, considerable doubts as to their vital origin are expressed, and these findings may also be provoked post-mortally [12, 20], as many vitality signs as possible should be called upon in order to classify the type and cause of death and to be able to exclude post-mortal hanging as a homicide cover-up on the basis of a combination of the results of criminal police investigations, inspection of the scene where the body was found as well as autopsy findings.

In cases where the post-mortem examination of a hanged person reveals in the back and auxiliary breathing muscles intramuscular haemorrhages of exogenous origin involving the skin and/or the corresponding subcutaneous fatty tissue, it is necessary first to distinguish between injuries inflicted by another person, for example in the course of a prior physical alteration, and those arising during the hanging process as a result of bumping into objects, furniture etc. in the course of seizures [21]. Such findings may also be a result of resuscitation attempts in the sense of agonal/post-mortal abutment haemorrhages over prominent bony structures on the back of the body (shoulder blades, spinous processes of the vertebrae) as a sufficient resuscitation must take place in supine position on a hard surface [22]. An entirely post-mortal origin in the sense of internal livor mortis would also be conceivable in the event of early discovery, recovery and depositing of the body on the ground [23]. In this case, accurate knowledge of the facts as well as the position in which the body was found and recovered is essential for differentiation purposes [3].

In general, exogenously inflicted and endogenously incurred muscular haemorrhages will be successfully differentiated in the course of forensic autopsy by preparation of the skin and corresponding subcutaneous fatty tissue over the muscular haemorrhage. Evidence for vitality may subsequently take place by assignment to the histological criteria “pre-mortally (vital-agonal)”, “indifferent” or “post-mortally (areactive)” as formulated by Sigrist and Hauser amongst others [24–27]. Moreover, such muscular haemorrhages have also been subjected to immunohistochemical and ultrastructural investigation by Fechner et al. [28–30].

Vital haemorrhaging into the back and auxiliary breathing muscles without corresponding haemorrhaging into the subcutaneous fatty tissue or the skin are, however, a non-specific finding which is occasionally encountered in the

course of forensic autopsies dependent on the cause of death; thus, such findings were already reported more than 100 years ago in connection with death by drowning, for instance, by Paltauf [31], more recently by Carter [32] and in about half of the deaths in a prospective autopsy study by Püschel et al. [33]. In cases of natural death from cardiac and pulmonary causes too, haemorrhages in the back and auxiliary breathing muscles without corresponding haemorrhages in the subcutaneous fatty tissue or the skin were observed [34, 35].

As early as 1922, Reuter reported on haemorrhages found in the back and auxiliary breathing muscles after death by strangulation [36]; in this context, haemorrhaging in the muscles of the tongue and the back of the neck was also reported [37, 38]. From a pathogenetic point of view, these haemorrhages are to be accounted for by muscles ruptured as a result of increased and convulsive respiratory activity in the agony phase. In the event of death by obstructive asphyxia, in particular, convulsive efforts to breathe in the dyspnoea phase as well as tonic-clonic asphyxiation seizures in the sense of a vital/agonal reaction were observed in animal experiments [39, 40]. As not only a dyspnoea phase and a seizure stage but also convulsions between 10 and 19 s are described during the hanging process [41–43], vital haemorrhaging into the back and auxiliary breathing muscles without corresponding haemorrhaging into the subcutaneous fatty tissue or the skin might also be explainable in such cases.

Material and methods

In 2006, we were able to report about the first results of an autopsy study on the occurrence of haemorrhaging into the back and auxiliary breathing muscles in cases of death by hanging [44]. In the context of the continuation of this survey, the localisation, intensity, size and shape of the haemorrhages and intramuscular ruptures were described in all cases of death by hanging autopsied from 2005 to 2008 at the Department of Forensic Medicine of the University Medical Centre Hamburg-Eppendorf by means of layered preparation of the muscles of the torso, the neck, the pectoral girdle and the upper arm. The relevant autopsy reports and investigation files were then recorded and evaluated in respect of gender, age, height, weight, body mass index (BMI), post-mortal interval, putrefaction, type of hanging, signs of congestion in the head and neck area, resuscitation attempts carried out, characteristics and localisation of haemorrhages of the intestine walls, haemorrhaging into the back and auxiliary breathing muscles, Simon's bleedings, previous illnesses and degree of alcoholisation or toxicologically relevant substance influence at the time of death. More highly putrefied bodies were excluded from

the study for reasons of limited suitability for assessment; corpses with incipient changes through putrefaction in the sense of greenish putrid abdominal walls were included in the study. The cases of death by hanging were further divided into a

- (a) Group with haemorrhaging into the back and auxiliary breathing muscles recorded in the autopsy report as well as a
- (b) Group with no description of haemorrhaging into the back and auxiliary breathing muscles described in the autopsy report.

In cases of muscle haemorrhages after death by hanging, the anatomical–topographical assignment was made first, then the evaluation of the relevant histological tissue sections; this revealed macroscopically blood-filled areas of the muscle. Then the following classification following histological criteria was undertaken: pre-mortal (vital/agonal), indifferent and post-mortal (areactive). Lung tissue was also examined for the existence of pulmonary fat embolism. The following staining was performed: elastic van Gieson, phosphotungstic acid haematoxylin and haematoxylin–eosin.

In the group without description of haemorrhaging into the back and auxiliary breathing muscles described in the autopsy report, a histological processing of the muscle sections described at autopsy as unremarkable was not possible; this was due to the fact that in cases of macroscopically normal findings, no corresponding tissue sections were preserved for tissue analysis. Lung tissue was not examined in this group.

Statistic evaluation

For examination of statistic significances concerning differences of the frequency between groups, we used the two-sided *t* test [45].

Results

The overall study population ($n=62$) consisted of 51 men and 11 women. All were suicides; on the basis of the autopsy findings, all the deaths were classified as vital hangings. The median age was approximately 49.5 years (± 15.7 SD). The median height was 175.5 cm (± 7.6 SD) and the median weight 72.5 kg (± 13.3 SD), making the median BMI 23.5 kg/m² (± 3.4 SD). As far as this could be reconstructed, 60 h (± 31.3 SD) passed between death and autopsy. Twenty-one of the bodies displayed incipient changes through putrefaction in the form of greenish putrid abdominal walls; 41 of the deceased manifested no signs of putrefaction at autopsy. Thirty-eight of the deceased had hanged themselves typically (free suspension without contact to the ground and knot centred in the back of the

neck); 24 hanged persons had contact with the ground. Signs of congestion in the head and neck region were present in 18 cases. Only in six cases had resuscitation attempts preceded certification of death.

In six cases, haemorrhaging into the intestinal walls in the sense of posited abdominal congestion symptoms [16] was attested. Thirty-one deaths displayed haemorrhages under the anterior longitudinal ligament of the vertebral column. In 29 cases, previous illnesses were present; for the most part, these affected the cardiovascular and respiratory system and in no case were associated with a pathologically increased tendency to bleed. Twenty of the deceased were under the influence of alcohol, some of them considerably (between 0.05‰ and 2.76‰). Toxicologically relevant findings were only substantiated in two cases: in one case, a non-lethal intoxication with a combination of methadone and diazepam was ascertained and in a second case, an overdose of non-steroidal antirheumatics was established. In a further case, diazepam abuse existed anamnestically, but this could not be confirmed for the time of death.

Amongst all the cases of death by hanging investigated retrospectively, the relevant autopsy reports in 18 cases (29.03%) indicated haemorrhaging into the back and auxiliary breathing muscles. In the remaining 44 cases of death by hanging (70.96%), no indications could be found in the autopsy reports for the presence of haemorrhaging into the back and auxiliary breathing muscles. An overview of all the parameters surveyed in the entire study group is available as electronic supplemental material (ESM).

Group with haemorrhaging into the back and auxiliary breathing muscles

This population consisted of 14 men and 4 women; the median age was approximately 53.5 years (± 12.0 SD). The median height was 174 cm (± 6.0 SD) and the median weight 72.7 kg (± 11.9 SD), making the median BMI 24.7 kg/m² (± 3.6 SD). As far as reconstructable, 57 h (± 24.5 SD) passed between death and autopsy. Four of the deceased displayed incipient putrefaction changes in the form of greenish putrid abdominal walls. Nine of the deceased had hanged themselves typically (free suspension without contact to the ground and knot centred in the back of the neck), a further nine hanged persons had contact with the ground. Signs of congestion in the head and neck region were present in seven cases. In none of the cases had resuscitation attempts been made. Two of the deceased displayed haemorrhaging into the intestinal walls; 7 of the 18 deaths presented haemorrhages under the anterior longitudinal ligament of the vertebral column. In nine cases, previous illnesses of the cardiovascular and respiratory systems existed from the autopsy findings; medical files were not available in these cases. Six of the deceased

were under the influence of alcohol, some of them considerably (between 0.09‰ and 2.19‰); all other toxicological tests remained negative. Notably, no intoxication with centrally acting substances which might suppress respiratory activity was found. Furthermore, there were no hints for ingestion of anticoagulants such as acetylsalicylic acid, clopidogrel or phenprocumone.

Table 1 shows the muscle haemorrhage findings in the haemorrhage group. Amongst the muscles into which haemorrhaging occurred the musculus infraspinatus dominated (11 out of 18 cases), followed by the musculus supraspinatus and the musculus subscapularis (5 cases each). The total of 59 muscle haemorrhages detected frequently occurred bilaterally; no preference for a particular side was demonstrated (32 haemorrhages in the left-hand side of the body, 27 in the right-hand side). Very infrequently, circumscribed muscle ruptures were observable, also with formation of smaller haemorrhage cavities. The haemorrhages impressed as fresh and for the most part massive (Figs. 1 and 2). In no case did the corresponding subcutaneous fatty tissue and the skin display signs of injury.

Histology

In 11 of the 18 cases (61.1%), areas of muscle haemorrhage preserved at autopsy were histologically prepared and analysed; in the remaining 7 cases, relevant preserved tissues were not available or were strongly autolytic after a lengthy

storage period despite fixing in formalin. Classification of the histological findings of the survey was based on the criteria presented in Table 2 [24, 25, 27, 33, 35, 46]. Eight of the 11 cases which underwent histological examination displayed changes in the muscle fibres consistent with pre-mortals (vital/agonal) origin: e.g. discoïd and segmental fibre disintegration within the sarcolemma tube which was frequently still preserved, often with hourglass deformation, with replacement of cross striation by longitudinal striation at concave rupture points (Fig. 3). In seven of these eight cases, muscle fibre changes were likewise found such as may also be observed in the indifferent type of muscle fibre alteration (not suitable as a sign of vital reaction), e.g. a wave-like formation of muscle fibres and hypercontraction bands (Fig. 4). In 3 of the 11 cases, muscle changes of an areactive type were present in combination with changes of indifferent type. Haemorrhages of the vital type (mostly a star-shaped configuration with a centrifugal spread of bleeding) were found in 7 of the 11 cases (Fig. 5). The ascertained muscle fibre changes lay predominantly in the area of haemorrhaging. In no case was it possible histologically to detect a pulmonary fat embolism.

Group with no description of haemorrhaging into the back and auxiliary breathing muscles

The 44 cases of death by hanging included 37 men and 7 women; the median age was approximately 43.5 years

Table 1 Location of intramuscular haemorrhages in the haemorrhage group

Gender	Age (year)	Height (cm)	Weight (kg)	Macroscopic distribution of muscle haemorrhages after death by hanging										
				Musculus infraspinatus	Musculus supraspinatus	Musculus subscapularis	Musculus trapezius	Musculus rhomboideus	Musculus serratus posterior superior	Musculus deltoideus	Musculus erector spinae	Musculus biceps brachii	Musculus triceps brachii	
F	61	162	68.0	Bilateral	–	Bilateral	–	–	–	–	–	–	–	–
M	46	174	98.4	Bilateral	–	Bilateral	–	–	–	–	–	–	–	–
M	35	179	81.0	–	–	–	–	–	Right	–	–	–	–	–
M	72	183	92.4	Bilateral	Right	–	–	–	–	–	–	Right	–	–
M	56	175	64.9	Bilateral	–	–	Bilateral	–	–	–	–	–	–	–
M	65	170	64.2	Right	–	–	–	Bilateral	–	Bilateral	–	–	Bilateral	–
F	72	174	65.0	–	–	–	–	Left	–	–	–	–	–	–
M	54	178	78.8	Left	–	Left	–	–	–	Right	–	–	–	–
M	52	174	83.5	Left	–	–	Right	–	Left	–	–	–	–	–
M	47	175	63.1	–	Bilateral	–	–	–	–	–	–	–	–	–
M	41	175	73.3	Right	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
M	50	174	93.5	Left	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
M	65	170	71.0	Bilateral	Bilateral	–	–	–	–	–	–	–	–	–
M	39	185	73.5	–	–	–	–	Bilateral	–	–	–	–	–	–
F	37	165	64.0	–	–	Left	–	–	–	–	–	–	–	–
F	53	164	72.0	Bilateral	Bilateral	–	Left	Left	–	–	Left	–	–	–
M	72	174	93.8	–	–	Bilateral	–	–	–	–	Right	–	–	–
M	54	169	65.0	–	–	–	Left	–	Left	–	–	–	–	–



Fig. 1 Massive fresh haemorrhaging into the left musculus infraspinatus. Overlying skin and subcutaneous fatty tissue with no signs of injury

(± 16.6 SD). The median height was 177 cm (± 8.1 SD) and the median weight 72.5 kg (± 13.9 SD), making the average BMI 23.2 kg/m² (± 3.2 SD). As far as reconstructable, 60.5 h (± 33.5 SD) passed between death and autopsy. Seventeen of the bodies displayed decomposition changes in the form of greenish putrid abdominal walls; 27 displayed no signs of decomposition at autopsy. Twenty-nine of the deceased had hanged themselves typically (free suspension without contact to the ground and knot centred in the back of the neck); 15 hanged persons had contact with the ground. Signs of congestion in the head and neck region were present in 11 cases. In six cases, resuscitation attempts had been undertaken.

Four of the deceased displayed haemorrhaging into the intestinal walls; 24 presented haemorrhages under the anterior longitudinal ligament of the vertebral



Fig. 2 Fresh haemorrhaging into the left musculus rhomboideus. No haematoma in neighbouring fatty tissue

column. In 20 cases, previous illnesses existed, mostly of the cardiovascular and respiratory systems. Fourteen of the deceased were under the influence of alcohol, some of them considerably (between 0.05‰ and 2.76‰). As mentioned above, toxicologically relevant findings were only substantiated in two cases. In particular, there were no hints for ingestion of anti-coagulants such as acetylsalicylic acid, clopidogrel or phenprocumone. Neither histological processing of macroscopically normal muscle samples nor lung tissue was performed.

Statistic results

A significant connection between the occurrence of intramuscular haemorrhages and all other parameters recorded in both groups was not found. Although the median age was different between both groups, this distinction was not significant (two-sided *t* test, $p=0.076$).

Discussion

The autopsy diagnosis of “haemorrhages in the back and auxiliary breathing muscles” when a post-mortem examination is carried out on hanged persons initially implies a range of differential diagnostic considerations on the part of the pathologist; in this context, there is a need to discuss a mechanical, traumatic origin (abutment haemorrhage in the state following resuscitation, other blunt force trauma to the body) as well as autolysis, decomposition artefacts and post-mortal formation. Furthermore, other possible triggers for muscle haemorrhages which must be considered are, for instance, diapedesis haemorrhages in illnesses such as congenital or acquired blood clotting disorders (e.g. disseminated intravascular coagulation or septicaemia) or terminal hypothermia [47–50].

We were able to exclude putrefaction artefacts as a cause of muscle haemorrhages in the haemorrhage group; only 4 of the 14 cases (28.5%) displayed decomposition changes, and these were at most slight. We were not able to confirm a mechanical/traumatic origin of the areas of muscles into which haemorrhaging occurred due to iatrogenic measures in the haemorrhage group as in no case with positive haemorrhage findings resuscitation attempts had taken place, and resuscitation attempts in the group without haemorrhages had not led to the occurrence of muscle haemorrhages. Moreover, no case revealed indications of another mechanical/traumatic origin of muscle haemorrhages. Indications of hypothermia at the time of death could not be elicited. Moreover, none of the deceased suffered from previous illnesses or intoxications which could provide an explanation for an increased tendency to

Table 2 Histological criteria for the chronological classification of areas of muscles suffering haemorrhaging

Histomorphology	Classification
Haemorrhage sites, some with a star-shaped structure, fading towards the periphery, characterised by a cobweb-like structure in the sense of an active displacement or spreading apart of the muscle fibres due to intervening blood cells Granular, segmental or discoid disintegration of the fibres Invaginated contraction caps In places, noticeable longitudinal striation with loss of cross striation Concave intra-sarcolemmal ruptures with an empty sarcolemma Pre-ruptures with retention of the muscle membranes in the sense of empty sarcolemma tubes which may be extended in hourglass form Complete ruptures of the fibres, in some cases with disintegration of the sarcolemma and discoid curling of the torn ends Hypercontracted bands	Pre-mortal (vital/agonal)
Homogenisation of the fibres Loss of cross striation Appearance of longitudinal striation Wave-like form of the muscle fibres Distractional and hypercontracted bands	Indifferent (pre- and post-mortal)
Block-like disintegration of the muscle fibres with retention of cross striation in the fragments No discoid curling of the ruptured ends In places, convex intra-sarcolemmal ruptures with or without an empty sarcolemma	Areactive (post-mortal)

bleed. Thus, further differential diagnostic deliberations had to be undertaken.

In the course of a typical hanging, one of the sequels of peracute anoxia with occlusion of the carotid arteries is the interruption of the perfusion of the respiratory centre; this causes a failure of the systemic rise in CO₂ as a factor in triggering respiration. For this reason, respiration is initially suppressed. Consciousness also fades after a few seconds [2, 5, 12]. However, heart activity is observed for considerably longer: agony durations of between 7 and

20 min (even longer in individual cases) have been described in cases of execution by hanging [6–9]. In cases of atypical hanging, signs of congestion in the head and neck region also result from the initial incomplete interruption of cranial arterial perfusion as the ligature interrupts venous drainage.

Furthermore, by analogy with death by drowning or obstructive asphyxia, in the course of death by hanging, phases of inspiratory dyspnoea or apnoea and terminal, sometimes convulsive, respiration exertions and hypoxic

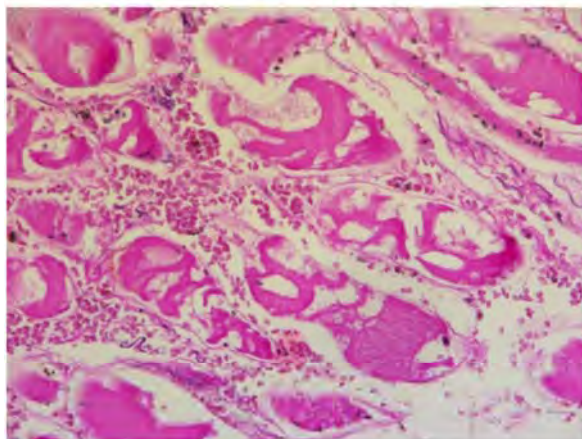


Fig. 3 “Vital” alteration to muscle fibres: distinct segmental and discoid forms of fibre disintegration, and concave, intra-sarcolemmal ruptures with an empty sarcolemma. Fresh haemorrhages nearby with no leukocytic reaction (musculus subscapularis). Elastic van Gieson staining, $\times 200$

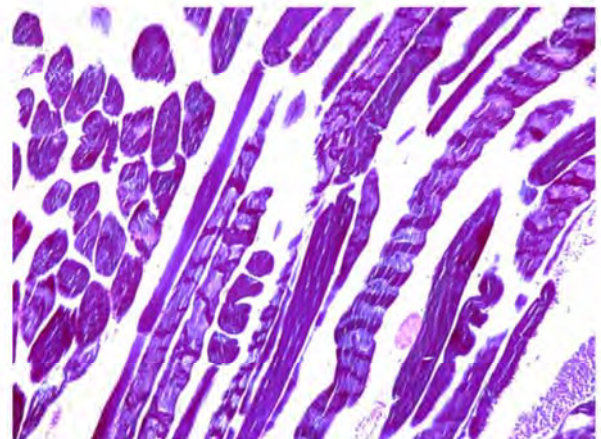


Fig. 4 Distinct hypercontraction bands, wave-like form of muscle fibres, and focally block-like fibre ruptures with replacement of cross striation by longitudinal striation. Adjacent fresh haemorrhages (musculus rhomboideus). Phosphotungstic acid haematoxylin staining, $\times 160$

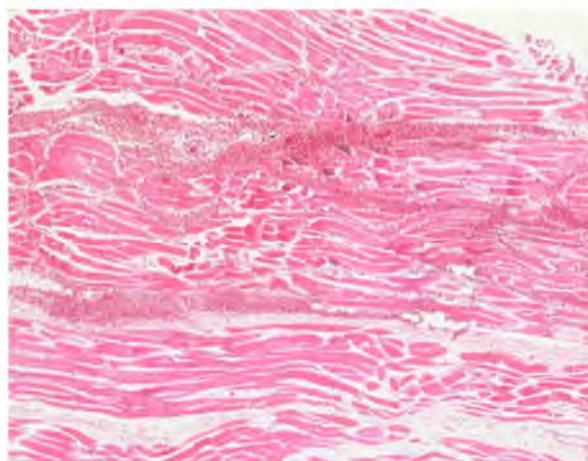


Fig. 5 Fresh communicating muscle haemorrhages with a hint of star-shaped configuration. Focally wave-like form of the muscle fibres, fibre ruptures (musculus infraspinatus). Haematoxylin–eosin staining, $\times 80$

seizures occur [12, 42, 43]. In the event of (maximally) increased inspiration attempts, the so-called “auxiliary breathing muscles”, in particular, are employed [51]. Although the topographical and anatomical definition of the respiratory and the auxiliary breathing muscles varies in clinical literature to some extent, there is a consensus that the muscle groups at the back of the body extending from the vertebral column to the upper extremity also move the ribs and sternum in the event of increased inspiration exertions and can thus be considered part of the auxiliary breathing muscles [52], whilst the autochthonous back muscles (musculus erector spinae) favour inspiration by means of reclination of the vertebral column. In the event of maximally increased inspiration and terminal convulsions of the thorax muscles, other muscle groups at the back of the body may also be used so that hyperextensions and hypercontractions of muscle fibres may occur there, causing the described scenario at autopsy of vital/agonal muscle haemorrhages without corresponding haemorrhages of the skin and/or subcutaneous fatty tissue [33–35]. In principle, it must be assumed that agonal respiratory distress leads to massive overload of the back and auxiliary breathing muscles with consecutive muscle fibre tearing. The spasmodic contractions may even affect the muscles of the arm region. Haemorrhaging into the muscles of the abdomen as an expression of maximally increased expiration attempts was not present in any of the cases, so an inspiratory event must be assumed in line with previously known pathophysiological processes.

In the present study, haemorrhages of the back and auxiliary breathing muscles—without corresponding haemorrhages of the skin and subcutaneous fat tissue—were found in approximately 30% of cases after death by

hanging; the majority of these haemorrhages were classified histologically as pre-mortal (vital–agonal).

Although not being statistically significant, a connection may be deduced between the occurrence of haemorrhages of the back and auxiliary breathing muscles and the other parameters surveyed from our data for the median age: the difference ascertained—age in the group without haemorrhages with 43.5 years (± 16.6 SD) is 10 years lower than in the haemorrhage group with 53.5 years (± 12.0 SD)—could possibly be explained by the fact that at the higher age, due to, e.g. age-appropriate, arteriosclerotic-related degenerative changes in cerebral vessels, a lower level of hypoxia tolerance might exist in the sense of a decrease in the convulsion threshold, facilitating the occurrence of terminal hypoxic seizures and thus favouring the occurrence of haemorrhaging into the back and auxiliary breathing muscles. Altogether, statistical differences between both groups did not emerge, in particular, any correlation between the occurrence of muscle haemorrhages and body position, typical or atypical hanging or congestion syndrome.

It remains unclear whether the incidence of approximately 30% ascertained in our study corresponds to the actual occurrence of muscle haemorrhages in other populations of hanged persons. It is conceivable that such haemorrhages after death by hanging are possibly not ascertained at autopsy as the preparation of layers from the front and back side of the torso is not part of standard procedure during the post-mortem examination of hanged persons. In order to further validate the pathophysiological connections, we assume it will be necessary in future to systematically examine and evaluate cases of death by hanging with respect to intramuscular haemorrhages of the back and auxiliary breathing muscles in a larger population.

Conclusions of practical interest

Haemorrhaging into the back and auxiliary breathing muscles is evidently not uncommon during death by hanging. Evidence of such haemorrhages can be called upon as a further sign of vital hanging whilst considering differential diagnostic aspects, especially after histological preparation of relevant muscle sections and integration of all available information—under the assumption of underlying maximally increased agonal respiratory efforts and terminal hypoxic seizures.

Conflict of interest There is no conflict of interest. The corresponding author affirms that he has no relationships with a company whose product is mentioned in the article or with one that sells a competitive product. The presentation is impartial, and the content is independent of commercial influence.

References

- Püschel K (1982) Vitale Reaktionen zum Beweis des Todes durch Strangulation. Habilitation treatise. University of Hamburg, Germany
- Gilbert JD, Jensen L, Byard RW (2008) Further observations on the speed of death in hanging. *J Forensic Sci* 53:1204–1205
- Zollinger U, Pollak S (1988) Vortäuschung von Strangulationsbefunden durch postmortale Bergungs- und Transportmaßnahmen. *Beitr Gerichtl Med* 47:479–486
- Vennemann B, Pollak S (2006) Death by hanging while watching violent pornographic videos on the internet—suicide or accidental autoerotic death? *Int J Legal Med* 120:110–114
- Sauvageau A (2009) Agonal sequences in four filmed hangings: analysis of respiratory and movement responses to asphyxia by hanging. *J Forensic Sci* 54:192–194
- Miloslavich E (1919) Zur Lehre vom Erhängungstode. *Vierteljahresschr Gerichtl Med* 58:162–168
- Seyfarth (1919) Über Hinrichtungen und andere gerichtszärztliche Erfahrungen in Südostbulgarien. *MMW* 38:1098
- Kalle E (1933) Beobachtungen über den Tod bei Hinrichtungen mit dem Strang. *Dtsch Z Gesamte Gerichtl Med* 22:192–203
- Dobson J (1951) Cardiac action after “death” by hanging. *Lancet* 261:1222–1224
- Reuter F (1930) Tötung durch Erwürgen mit nachträglichem Aufhängen der Leiche zur Vortäuschung eines Selbstmordes. *Dtsch Z Ges Gerichtl Med* 14:449–454
- Püschel K, Holtz W, Hildebrandt E, Naeve W, Brinkmann B (1983) Erhängen: Suizid oder Tötungsdelikt? *Arch Kriminol* 174:141–153
- Madea B (2003) Ersticken. In: Brinkmann B, Madea B (eds) *Handbuch gerichtliche Medizin* 1. Springer, Berlin, pp 699–796
- Brinkmann B (1978) Vitale Reaktionen in der Lungenstrombahn bei Tod durch Strangulation. *Z Rechtsmed* 81:133–146
- Püschel K (1979) Lungenembolie als vitale Reaktion bei Erhängen? *Z Rechtsmed* 83:179–183
- Rothschild MA, Maxeiner H (1992) Über die Aspiration von Erbrochenem beim Erhängen mit typischer Lage des Strangwerkzeuges sowie freier Suspension. *Arch Kriminol* 190:97–102
- Schulz F, Schäfer HJ, Püschel K, Tsokos M, Brinkmann B, Buschmann C (2011) Bowel wall hemorrhage after death by hanging. *Int J Legal Med* 125:403–410
- Braun C, Tsokos M (2006) Häufigkeit von Simon-Blutung bei verschiedenen Todesursachen. *Rechtsmedizin* 16:302–308
- Geserick G, Lignitz PD (1976) Zum Aussagewert der ventralen Bandscheibenblutungen. *Beitr Gerichtl Med* 34:259–263
- Nikolić S, Zivković V, Juković F, Babić D, Stanojkovski G (2009) Simon's bleedings: a possible mechanism of appearance and forensic importance—a prospective autopsy study. *Int J Legal Med* 123:293–297
- Saternus KS, Dotzauer G, Imhäuser G (1979) Zum Stellenwert des Simon'schen Zeichens. *Z Rechtsmed* 83:283–289
- Risse M, Weiler G (1989) Agonale und supravitale Bewegungsabläufe beim Erhängen. *Beitr Gerichtl Med* 47:243–246
- Bundesärztekammer (2007) *Reanimation—Empfehlungen für die Wiederbelebung*. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln, pp 6–8
- Bockholdt B, Maxeiner H, Hegenbarth W (2005) Factors and circumstances influencing the development of hemorrhages in livor mortis. *Forensic Sci Int* 149:133–137
- Sigrist T (1987) Untersuchungen zur vitalen Reaktion der Skelettmuskulatur. *Beitr Gerichtl Med* 45:87–101
- Sigrist T, Rabl W (1993) Skelettmuskelblutungen—vital oder postmortal? *Rechtsmedizin* 3:94–96
- Sigrist T, Germann U, Markwalder C (1997) Zur Anwendung der Muskelhistologie für den Nachweis der Vitalität eines Erhängungsvorganges. *Arch Kriminol* 200:107–112
- Hauser R, Fechner G, Brinkmann B (1990) Zur Unterscheidung von intravitalen und postmortalen Blutungen. *Beitr Gerichtl Med* 48:437–441
- Fechner G, Petkovits T, Brinkmann B (1990) Zur Ultrastruktur-Pathologie mechanischer Skelettmuskelschädigungen. *Z Rechtsmed* 103:291–299
- Fechner G, Hauser R, Sepulchre MA, Brinkmann B (1991) Immunohistochemical investigations to demonstrate vital direct traumatic damage of skeletal muscle. *Int J Legal Med* 104:215–219
- Fechner G, Bajanowski T, Brinkmann B (1993) Immunohistochemical alterations after muscle trauma. *Int J Legal Med* 105:203–207
- Paltauf A (1888) *Über den Tod durch Ertrinken*. Urban und Schwarzenberg, Wien
- Carter N, Ali F, Green MA (1998) Problems in the interpretation of hemorrhage into neck musculature in cases of drowning. *Am J Forensic Med Pathol* 19:223–225
- Püschel K, Schulz F, Darmann I, Tsokos M (1999) Macromorphology and histology of intramuscular hemorrhages in cases of drowning. *Int J Legal Med* 112:101–106
- Schulz F, Lach H, Püschel K (2008) Nontraumatic intramuscular hemorrhages associated with death caused by internal diseases. In: Tsokos M (ed) *Forensic pathology reviews*, vol 5. Humana, Totowa, pp 129–136
- Lach H, Püschel K, Schulz F (2005) Intramuskuläre Blutungen beim Tod aus innerer Ursache. *Arch Kriminol* 216:97–107
- Reuter F (1922) Über das Vorkommen, die Entstehung und Bedeutung von Muskelblutungen beim Erstickungstode. *Beitr Gerichtl Med* 5:137–156
- Bockholdt B, Maxeiner H (2002) Hemorrhages of the tongue in the postmortem diagnostics of strangulation. *Forensic Sci Int* 126:214–220
- Penning R, Keil W, Kayser D (1995) Einblutungen der Nackenmuskulatur bei Strangulation und Kontrolltodesfällen. In: Althoff (ed) *Rechtsmedizin von A–Z*. Murken-Altroge, Herzogenrath, p 121
- Brinkmann B, Püschel K, Bause HW, Doehn M (1981) Zur Pathophysiologie der Atmung und des Kreislaufs bei Tod durch obstruktive Asphyxie. *Z Rechtsmed* 87:103–116
- Suzuki T, Ikeda N, Umetsu K, Kashimura S (1986) Zum Ablauf der Atmung bei Tod durch obstruktive Asphyxie. *Z Rechtsmed* 96:105–109
- Suzuki T (1996) Suffocation and related problems. *Forensic Sci Int* 80:71–78
- Ikeda N, Harada A, Suzuki T (1992) The course of respiration and circulation in death due to typical hanging. *Int J Legal Med* 2104:313–315
- Sauvageau A, LaHarpe R, Geberth VJ, Working Group on Human Asphyxia (2010) Agonal sequences in eight filmed hangings: analysis of respiratory and movement responses to asphyxia by hanging. *J Forensic Sci* 55:1278–1281
- Braun C, Schulz F, Tsokos M (2006) Erste Ergebnisse einer prospektiven Studie zum Auftreten von Einblutungen in die Atemhilfsmuskulatur beim Erhängen. *Rechtsmedizin* 4:261
- Sachs L, Hedderich J (eds) (2003) *Angewandte Statistik*. Springer, Berlin
- Keil W, Forster A, Meyer HJ, Peschel O (1995) Characterization of haemorrhages at the origin of the sternocleidomastoid muscles in hanging. *Int J Legal Med* 108:140–144
- Eckhardt Th, Schöndorf TH, Lasch HG (1984) Störungen der Hämostase. In: Remmele W (ed) *Pathologie* 1. Springer, Berlin, pp 480–483
- Buss H (1984) Blut- und Lymphgefäße. In: Remmele W (ed) *Pathologie* 1. Springer, Berlin, pp 217–222

49. Madea B, Tsokos M, Preuß J (2008) Death due to hypothermia—morphological findings, their pathogenesis and diagnostic value. In: Tsokos M (ed) *Forensic Pathology Reviews*, vol 5. Humana, Totowa, pp 3–21
50. Dimhofer R, Sigrist T (1978) Muskelblutungen im Körperkern—ein Zeichen vitaler Reaktion beim Tod durch Unterkühlung? *Beitr Gerichtl Med* 37:159–166
51. Banner MJ (1995) Respiratory muscle loading and the work of breathing. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 9:192–204
52. Hochschild J (2005) Funktionelle Anatomie des Thorax. In: Hochschild J (ed) *Strukturen und Funktionen begreifen 1—Grundlagen der Wirbelsäule, HWS und Schädel, BWS und Brustkorb. Obere Extremität*, Georg Thieme, Stuttgart, pp 80–87

3.5. Kleber C, Giesecke MT, Tsokos M, Haas NP, Schaser KD, Poloczek S, Buschmann C (2012) Overall Distribution of Trauma-related Deaths in Berlin 2010: Advancement or Stagnation of German Trauma Management? World J Surg 36:2125-30* und Diskussion

In der zuvor dargestellten Studie konnten wir nachweisen, dass Blutungen in Rücken- und Atemhilfsmuskulatur in etwa 30 % der Todesfälle durch Erhängen festgestellt werden können. Vorausgegangene Reanimationsversuche auf hartem Untergrund als Ursache solcher Blutungsbefunde im Sinne einer sog. „Widerlagerblutung“ gilt es bei der gerichtlichen Obduktion einer erhängten Person stets auszuschließen oder zu bestätigen. Als „Widerlagerblutungen“ bezeichnet werden Einblutungen in Haut, Unterhautfettgewebe und/oder Muskulatur über anatomischen Fixpunkten, wo bei aus entgegengesetzter Richtung einwirkender stumpfer Gewalt (im Reanimationsfall der externen Herzdruckmassage) ein knöchernes Widerlager besteht. Zwar wird berichtet, dass 80 – 90 % der erhängt aufgefundenen Betroffenen, die bei fehlenden Todeszeichen und erfolgreicher Reanimation ein Krankenhaus erreichen, ein solches Ereignis primär überleben – das neurologische Outcome ist jedoch schlecht, und die Letalität nach Erhängen soll trotz rettungsdienstlicher Maßnahmen bis zu 70 % betragen [47,48,49]. Entsprechend üblich ist die rechtsmedizinische Untersuchung Erhangener.

Eine weitere, bereits angesprochene und rechtsmedizinisch bedeutsame nicht-natürliche Todesursache, die trotz geeigneter notfallmedizinischer Maßnahmen ebenfalls mit hoher Letalität vergesellschaftet ist, stellt die isolierte oder kombinierte stumpfe und/oder scharfe (Vielfach-)Verletzung dar. Als sog. „Polytrauma“ werden Verletzungen mehrerer Körperregionen oder Organsysteme bezeichnet, wobei wenigstens eine Verletzung oder die Kombination mehrerer Verletzungen vital bedrohlich ist. Der „Injury Severity Score“ (ISS), eine anatomische Verletzungsgradtabelle zur klinischen Einordnung der Verletzungsschwere, beträgt definitionsgemäß mindestens 16 Punkte, wobei Werte zwischen 0 und 75 Punkten vergeben werden können. Bewertungsgrundlage ist die jeweilige Überlebenswahrscheinlichkeit bei den Einzelverletzungen gemäß der vereinfachten Verletzungsskala „Abbreviated Injury Scale“ (AIS) [50]. Als häufigste Polytrauma-Ursachen sind im Jahre 2012 laut TraumaRegister® der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) mit 56,7 % Verkehrsunfälle angegeben. An zweiter Stelle stehen Sturzgeschehen mit insgesamt 33,3 %, wobei Stürze aus einer Höhe >3 m 16,5 % ausmachen [51]. Die Überlebenswahrscheinlichkeit nach erlittenem Polytrauma ist

*Nachwuchs-Förderpreis 2013 des Forums Medizin und Wissenschaft (FMW) e.V.-

naturgemäß vom Verletzungsmuster abhängig und nimmt ab, wenn ein Schädel-Hirn-Trauma, ein Abdominal- oder ein Thoraxtrauma Teil des Verletzungsmusters sind [52]. Insgesamt dient das angesprochene TraumaRegister® der DGU als Datenbank-Tool zur Evaluation zahlreicher traumatologischer Parameter und Kennzahlen [z. B. 53]. Für das Jahr 2012 wird durch die DGU eine Gesamtletalität nach erlittenem Polytrauma von 13,1 % postuliert. Als erhebliche Einschränkung dieser Datenqualität ist in diesem Zusammenhang allerdings die Tatsache zu werten, dass tödliche verlaufende Fälle von Polytrauma, welche bereits am Ereignisort versterben und damit nicht ein Krankenhaus erreichen, naturgemäß nicht in die Datenerhebung eingehen können. Die tatsächliche Traumaletalität bleibt somit unklar bzw. wird unterschätzt. Diese Tatsache veranlasste uns zur Durchführung einer prospektiven Observationsstudie, deren Ergebnisse nachfolgend vorgestellt werden [54].

Overall Distribution of Trauma-related Deaths in Berlin 2010: Advancement or Stagnation of German Trauma Management?

Christian Kleber · Moritz T. Giesecke · Michael Tsokos ·
Norbert P. Haas · Klaus D. Schaser · Poloczek Stefan ·
Claas T. Buschmann

Published online: 19 May 2012
© Société Internationale de Chirurgie 2012

Abstract

Background Trauma is the leading cause of death among children, adolescents, and young adults. The latest data from the German Trauma Registry reveals a constant decrease in trauma mortality, indicating that 11.6 % of all trauma patients in 2010 died in hospital. Notably, trauma casualties dying before admission to hospital have not been systematically surveyed and analyzed in Germany.

Methods We conducted a prospective observational study of all traumatic deaths in Berlin, recording demographic data, trauma mechanisms, and causes/localization and time of death after trauma. Inclusion criteria were all deaths following trauma from 1 January 2010 to 31 December 2010.

Results A total of 440 trauma fatalities were included in this study, with a mortality rate of 13/100,000 inhabitants; 78.6 % were blunt injuries, and fall from a height >3 m (32.7 %) was the leading trauma mechanism. 32.5 % died immediately, 23.9 % died within 60 min, 7.7 % died within 1–4 h, 16.8 % died within 4–48 h, 11.1 % died <1 week later, and 8 % died >1 week after trauma. The predominant causes of death were polytrauma (45.7 %), sTBI (38 %), exsanguination (9.5 %), and thoracic trauma (3.2 %). Death occurred on-scene in 58.7 % of these cases,

in the intensive care unit in 33.2 %, and in 2.7 % of the cases, in the emergency department, the operating room, and the ward, respectively.

Conclusions Polytrauma is the leading cause of death, followed by severe traumatic brain injury (sTBI). The temporal analysis of traumatic death indicates a shift from the classic “trimodal” distribution to a new “bimodal” distribution. Besides advances in road safety, prevention programs and improvement in trauma management—especially the pre-hospital phase—have the potential to significantly improve the survival rate after trauma.

Introduction

Trauma is the leading cause of death among children, adolescents, and young adults (≤ 44 years) and represents the third most common cause of death for all ages in the Western countries [1, 2]. Severe traumatic brain injury (sTBI), exsanguination, and multiple organ failure (MOF) are known to be the predominant causes of in-hospital traumatic death [3]. In contrast, immediate deaths on-scene are primarily the result of non-survivable sTBI and exsanguination [4–6]. Permanent innovations in critical care, trauma treatment, and road safety have managed to lower the trauma mortality in Germany [7]. Therefore, the German rescue system and trauma management is accepted worldwide and its application has improved significantly the survival of polytraumatized patients since the 1970s [8]. The latest data from the German Trauma Registry also reveal a constant decrease in trauma mortality, indicating that 11.6 % of all trauma patients in 2010 died in hospital. Notably, trauma casualties dying before admission to the hospital have not been systematically surveyed and analyzed in Germany, although previously published data from

C. Kleber (✉) · M. T. Giesecke · N. P. Haas · K. D. Schaser
Center for Musculoskeletal Surgery, AG Polytrauma,
Charité—Universitätsmedizin, Campus Virchow Klinikum,
Augustenburger Platz 1, 13353 Berlin, Germany
e-mail: christian.kleber@charite.de

M. Tsokos · C. T. Buschmann
Institute of Legal Medicine and Forensic Sciences,
Charité—Universitätsmedizin, Turmstrasse 21 (Haus N),
10559 Berlin, Germany

P. Stefan
Berlin Fire Department, Voltaiestr. 2, 10179 Berlin, Germany

Australia, Brazil, England, Ghana, Italy, Mexico, and the United States (1977–2006) indicated that most of the trauma victims died on-scene or during transport, ranging from 20.6 to 73.7 % of cases [4, 6, 9–17]. The results of these studies, however, are not applicable on a one-to-one basis to Germany. In addition to socioeconomic and infrastructural differences, the emergency physician-based rescue system in Germany, when compared to a paramedic-driven systems in Australia, Brazil, England, Ghana, Italy, Mexico, and the United States, potentially influences the overall distribution of trauma deaths. Therefore, we publish here the first systematic German record of all trauma deaths in the county of Berlin.

Materials and methods

We conducted a prospective observational study of all trauma deaths in Berlin. As the German capital, Berlin sustains 3.4 million inhabitants in an urban area of 892 km² (<http://www.berlin.de>). Within that area, there are 39 hospitals with emergency departments, 6 of which can be classified equal to Level I trauma centers. Emergency medical service is driven by the Berlin fire department, providing 38 fire stations, 40 ambulance stations, 101 ambulances, 18 physician staffed ambulances, and 2 rescue helicopters on call 24 h a day, with a central dispatch center activated by calling 112 (<http://www.berliner-feuerwehr.de>). All severely injured patients without firm indices of death were seen or treated by an emergency physician.

Inclusion criteria were all deaths following trauma from 1 January 2010 to 31 December 2010. German law requires that all traumatic deaths be reported to the public prosecutor's office in Berlin, and this ensured that all trauma-related deaths were recorded and could be included in the present study. Victims of strangulation, burns, drowning, death from basic illnesses or complications not primarily associated with trauma (e.g., chronic obstructive pulmonary disease, heart attack) were excluded.

Data were acquired via the public prosecutor's office of Berlin, where complete police investigation files including death certificates and autopsy records were accessible. Clinical diagnoses were annotated based on hospital charts and death certificates. Autopsy diagnoses were annotated based on final autopsy reports. Clinical records, death certificates with date and time of death, and final autopsy protocols were evaluated. Demographic data, including age, gender, incident time (grouping: 0–4/4–8/8–16/16–20/20–24 h), and season (spring: 20 March–20 June; summer: 21 June–22 September; autumn: 23 September–21 December; and winter: 22 December–19 March), time/weekday and place of death, trauma mechanism [fall from

height (>3 m), fall from standing height, train overrun, gunshot, stab/cut, accident as pedestrian/vehicle occupant, cyclist], survival time, and cause of death were recorded.

The cause of death was defined according to the death certificate when autopsy was not ordered. In cases of autopsy, the cause of death was classified by the final autopsy protocol. The following causes of death were defined:

- *Polytrauma*: Coincident blunt and/or penetrating severe injuries to various organs or organ systems, which were primarily lethal due to destruction or dysfunctions of vital structures without hemorrhagic shock as the leading cause of death.
- *Exsanguination*: Coincident/singular blunt and/or penetrating severe injury/injuries to various organ/-s or organ systems, which were primarily lethal due to hemorrhagic shock without destruction/dysfunctions of vital structures as the leading cause of death.
- *Isolated severe traumatic brain injury (sTBI)*: Destruction of brain tissue, midline shift, intracranial bleeds, and absence of other severe injuries.
- *Thoracic trauma*: Coincident severe injuries to chest wall and inner thoracic anatomical structures, which were primarily lethal due to destruction/dysfunction, absence of other severe injuries or signs of exsanguination (lung contusion, pneumothorax, pericardial tamponade).
- *Others*: Injury patterns not covered by the above-mentioned definitions.

The time of death was classified as immediate (0 min), <1 h, 1–4 h, 4–48 h, 2–7 days, and >7 days. The location of traumatic deaths was defined as out of hospital, in the emergency department, in the operating room, in the intensive care unit (ICU), and on the ward. The trauma mechanism was divided into blunt trauma and/or penetrating trauma.

Statistical analysis of group differences was performed for categorical and continuous variables by running the Wilcoxon/Mann–Whitney test. The data are presented with means and standard deviation (\pm). A *p* value <0.05 was regarded as statistically significant.

Results

Traumatic deaths and survival time

A total of 440 trauma fatalities were included in this study. The mortality rate was 13/100,000 inhabitants compared to an overall mortality rate of 948/100,000 deaths in Berlin 2010. Therefore, trauma was the cause of death in <2 % of all deaths in Berlin 2010.

The autopsy rate was 60 % ($n = 264$), 64.1 % male with a mean age of 58 ± 23 years (range 0–99 years) and mean survival time of 45.2 ± 127 h (range 0 h–51.7 days).

Trauma-related deaths occurred more frequently in the spring and summer months (25.7 % spring, 28.1 % summer, 22.5 % autumn, 23.7 % winter). On weekday basis, there was a nearly equal distribution of traumatic deaths, with two peaks, one on Wednesday (15.9 %) and another on Friday (15.0 %). Notably, most of the traumatic deaths in penetrating trauma occurred on Monday (19.0 %) and Thursday (17.2 %). Most of the victims died during the daytime hours (8–19:59 o'clock; 63.7 %) with maximums between 8 and 11:59 o'clock (23.1 %), and between 16 and 20 o'clock (21.7 %).

Injury pattern, cause, and time of death

78.6 % of injuries were blunt trauma; 13.2 % were penetrating wounds; and 8.2 % were combined blunt and penetrating injuries. Fall from a height >3 m ($n = 144/32.7$ %) was the leading trauma mechanism, followed by fall from standing height ($n = 140/31.8$ %), high-velocity traffic accidents ($n = 84/19.2$ %), and stab/cut/gunshot injuries ($n = 55/12.5$ %) (Fig. 1).

The observed traffic accidents included train overruns ($n = 35/7.9$ %), pedestrians ($n = 21/4.8$ %), cyclists ($n = 18/4.1$ %), and vehicle occupants ($n = 10/2.3$ %). 32.5 % of the casualties died immediately, 23.9 % within 60 min, 7.7 % within 1–4 h, 16.8 % within 4–48 h, 11.1 % in <1 week, and 8 % more than 1 week after trauma (Fig. 2).

The above-mentioned trauma mechanisms led to a polytrauma injury pattern, including sTBI, multiple fractures/contusions of extremities and trunk, as well as hollow organ and great vessel lacerations. The predominant causes of death were polytrauma (45.7 %), isolated sTBI (38 %), exsanguination (9.5 %), and thoracic trauma (3.2 %) (Fig. 3).

Statistically significant differences relating to cause of death were detected, with 50 % dying from exsanguination for penetrating wounds and 50.6 % dying from polytrauma for blunt trauma mechanism ($p < 0.001$). Seasonal analysis of the cause of death revealed a significant association with the winter season ($p = 0.002$), with an increased rate of

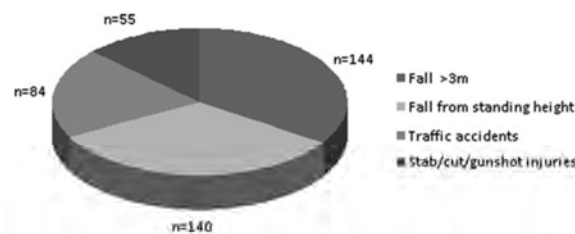


Fig. 1 Injury pattern. Typical urban distribution, with falls as the predominant trauma mechanism

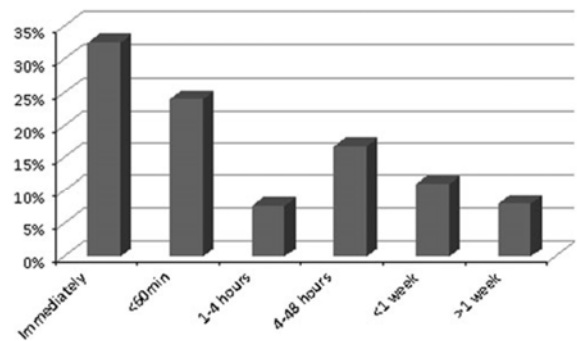


Fig. 2 Temporal distribution of traumatic deaths. Two peaks within 1 and 6–48 h after trauma

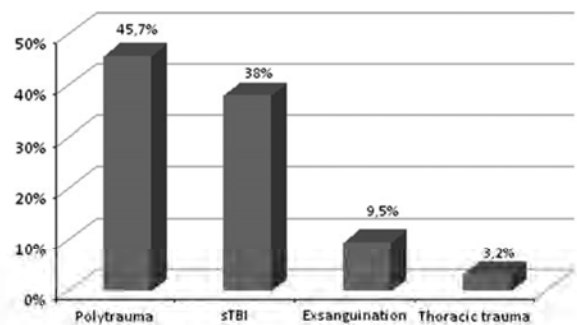


Fig. 3 Traumatic death causes. Polytrauma was the predominant cause of death, followed by severe traumatic brain injury (sTBI)



Fig. 4 Location of traumatic deaths. Most victims died on-scene and in the intensive care unit (ICU)

exsanguination (15.2 vs. 6 %), a decreased rate of polytrauma (50.6 vs. 39.4 %), and no statistically significant differences referring trauma mechanisms.

Location of traumatic deaths

Death occurred on-scene in 58.7 % of cases, in the ICU in 33.2 % of cases, and in 2.7 % of the cases, death occurred in the emergency department, operating room, and ward, respectively (Fig. 4).

The distribution of death causes related to the location of death is shown in Table 1.

When comparing the casualties recorded as died on-scene versus died in the ICU, there was no statistical

Table 1 Temporal distribution of traumatic death causes: polytrauma is the leading death cause early after trauma, followed by severe traumatic brain injury (sTBI) in the intensive care unit (ICU)

	Polytrauma	sTBI	Exsanguination	Thoracic trauma	Others
On-scene	62	17.1	13.6	4.3	3.1
Emergency department	50	33.3	16.7	–	–
Operating room	75	16.7	8.3	–	–
ICU	17.8	74	1.4	2.1	4.8
Ward	–	75	16.7	–	8.3

significance; however, for age (50.5 ± 20 vs. 54.3 ± 27.1 years; $p = 0.19$) and gender (male: 72.4 vs. 60 %; $p = 0.08$) significant differences were found. As compared to preclinical traumatic deaths (74 vs. 17.1 %; $p = 0.01$), significantly more patients died in the ICU as a consequence of sTBI.

Discussion

We present for the first time a systematic population-based analysis of trauma-related deaths in an urban emergency physician-based rescue system. The mean age of trauma casualties was 58 years. Notably, compared to the literature, this is the oldest reported collective since 1977, supporting the known phenomenon of an aging population and consequent older trauma victims [4, 6, 9–17] (Table 2).

We also detected a typical distribution of trauma mechanisms leading to death in an urban population. The most frequent mechanisms of injury were falls, with an increased incidence of penetrating trauma compared to rural parts of Germany, and a rather low incidence in comparison with U.S. data [11, 13].

The present study showed a trauma mortality of 13/100,000 inhabitants for Berlin in 2010. This is the lowest trauma-related mortality reported in any published study [4, 6, 9–17] (Table 2). This low trauma mortality rate may reflect advances in trauma management and road safety over the years, as well as the socioeconomic background of Berlin compared to second or third world countries.

Nevertheless, similar to the other studies, the majority of trauma victims (58.7 %) in the present study died before reaching a hospital. This underscores the findings of other reported studies from 1977 to 2006 [4, 6, 9–17] (Table 2). Because of the internationally recognized rescue system now in place in Germany, the short rescue times (62 ± 29 vs. 72 ± 52 min in 2010), and the continuing decrease in hospital trauma mortality based on data from the German Trauma Registry, we anticipated a far lower rate of pre-hospital deaths [18]. Furthermore, compared to two European studies from 1988 and 1998, 12–22 years later (2010) the overall mortality rate has decreased, but no advances in pre-clinical trauma mortality have been observed [15, 17].

Prior to submission of the recent study in 07/2011, PubMed was searched for “multiple trauma AND clinical management,” which produced 1,707 hits, while a PubMed search for “multiple trauma AND out-of-hospital management” produced only 20 hits. In our opinion this fact indicates exactly the cause of stagnation of pre-hospital trauma mortality over now 40 years. Despite prevention programs, almost no pioneering preclinical trauma management measure was invented. On our opinion the immediate traumatic deaths (32.5 %) have to be improved by further advances in road safety and prevention programs. A subgroup analysis of our data indicates that nearly 20 % of all recorded preclinical death causes were potentially survivable injuries demanding invasive emergency medical measures, such as a chest drain. The deaths within 60 min after trauma (23.9 %) are the domain of rescue systems and emergency medicine. This fact strongly indicates that as well as further research on preclinical trauma management, new implementations of out-of-hospital strategies for patients with severe trauma and exsanguination need to be strived for in the forthcoming years to reduce preclinical trauma mortality.

Furthermore, our data revealed inconsistency in referring to the cause of death, as classically reported, with isolated sTBI as the leading cause of death in the early phase after trauma [4]. In our collective, polytrauma (45.7 %) was the overall leading cause of death, followed by isolated sTBI (38 %) and exsanguination (9.5 %). These data may reflect the reality that pre-hospital deaths with severe destruction of the body and consequent non-survivable injuries usually have been neglected over the years and are not recorded in current trauma registries [19]. The sub-analysis of traumatic deaths dependent on the location of death revealed polytrauma as the leading cause of death from the scene up to the emergency operation, whereas isolated sTBI is the leading cause of death in the later clinical course (ICU). Knowing that, almost all trauma registries record only in-hospital deaths, and this explains the discrepancy between our data and overestimation of isolated sTBI, especially in the early phase after trauma. In the present study the risk of potentially incorrect grouping of death causes of trauma casualties, based on autopsy findings or death certificates, was ruled out by a

Table 2 Comparison of the Berlin data with published data from 1977 to 2006

Author	City/district	Country	Year data collection	Study period	N	Preclinical deaths	Deaths/100,000 population	Age	Data source
Baker et al. [9]	San Francisco	USA	1977	12	437	53			Autopsy
Spain et al. [14]	New York	USA	1979–1980	12	421	69			Autopsy
Daly and Thomas [15]	London	England	1988	12	434	58.8	23.9	52	
Mock et al. [10]	Seattle	USA	1992–1993	12	533	20.6		36.6	Registry
Mock et al. [10]	Monterrey	Mexico	1992–1993	12	545	40		32.2	Registry
Maio et al. [16]	Michigan	USA	1994	12	155	58.1		37.4	
Sauaia et al. [4]	Denver	USA	1995	12	289	34		36.8	Registry, autopsy
Mock et al. [10]	Kumasi	Ghana	1995–1996	17	552	51.1	70	35.3	Epidemiology survey
Demetriades et al. [11]	Los Angeles	USA	1996	12	2894	66.6	30.9		Registry
Potenza et al. [13]	San Diego	USA	1987–1997	120	14767	60.3		42.1	Registry
			1987–1989	30			58.7		
			1995–1997	30			45.9		
Chiara et al. [17]	Milan	Italy	1997–1998	12	255	73.7			Autopsy
Masella et al. [12]	Ribeirao Preto	Brazil	2000–2001	21	787	56.9		35.7	Health Ministry
			2000	12			92		
			2001	12			77		
Evans et al. [6]	Newcastle	Australia	2005–2006	12	175	66	12.3	43	Autopsy
Kleber et al. [18]	Berlin	Germany	2010	12	440	58.7	13	58	Autopsy

sub-analysis comparing the death causes recorded in both groups ($p = 0.83$). In fact, the fallibility of death certificates compared to post mortem study is well described, and the ratio of death from exsanguination may be underestimated while that for sTBI is overestimated, supporting our data, revealing polytrauma as the predominate traumatic death cause.

Taking the location of traumatic death into account (Fig. 4), our data highlight two hotspots of trauma management: the pre-hospital phase and the ICU, which represent 91.9 % of all trauma deaths in Germany. Based on these findings, we think that focusing and solving of the accompanying problems in these phases of trauma management has the highest potential to further improve survival after trauma in Germany. Furthermore, this calls not only for advanced research efforts in the field of preclinical trauma management and prevention, but also for further collaboration between forensic medicine and trauma surgery to evaluate overall trauma mortality and gather solutions to improve survival.

Since 1983 the trimodal distribution of temporal trauma deaths has been accepted worldwide [3, 9]. In contrast to the trimodal model, we detected two peaks of traumatic deaths, immediate/within 60 min and within 4–48 h. Based on our findings, we suggest a shift to a new bimodal temporal trauma death model. The mean survival time of ~2 days underscores this hypothesis. The constant development and advances in organ replacement therapies and

surgical critical trauma care might be the reason for the disappearance of the third peak [20].

Conclusions

The systematic analysis of all traumatic deaths in 2010 in Berlin revealed polytrauma as the leading cause of death after trauma, followed by isolated sTBI, especially in the later phase of trauma care. Furthermore, two hotspots of trauma management were detected, the pre-hospital phase and the ICU. The temporal analysis of traumatic death indicates a shift from the classic “trimodal” distribution to a new “bimodal” distribution.

Besides advances in road safety, prevention programs, and improvements in trauma management, in our opinion, especially the pre-hospital phase has the potential to significantly improve the survival rate after trauma in Germany.

Acknowledgments Contributions were made possible by DFG funding through the Berlin-Brandenburg School for Regenerative Therapies GSC 203.

Conflict of interest None.

References

1. Buschmann CT, Gahr P, Tsokos M et al (2010) Clinical diagnosis versus autopsy findings in polytrauma fatalities. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 18:55

2. Pfeifer R, Tarkin IS, Rocos B et al (2009) Patterns of mortality and causes of death in polytrauma patients—has anything changed? *Injury* 40:907–911
3. Trunkey DD (1983) Trauma. Accidental and intentional injuries account for more years of life lost in the U.S. than cancer and heart disease. Among the prescribed remedies are improved preventive efforts, speedier surgery and further research. *Sci Am* 249:28–35
4. Sauaia A, Moore FA, Moore EE et al (1995) Epidemiology of trauma deaths: a reassessment. *J Trauma* 38:185–193
5. Probst C, Zelle BA, Sittaro NA et al (2009) Late death after multiple severe trauma: when does it occur and what are the causes? *J Trauma* 66:1212–1217
6. Evans JA, van Wessem KJ, McDougall D et al (2010) Epidemiology of traumatic deaths: comprehensive population-based assessment. *World J Surg* 34:158–163. doi:10.1007/s00268-009-0266-1
7. Probst C, Pape HC, Hildebrand F et al (2009) 30 years of polytrauma care: an analysis of the change in strategies and results of 4849 cases treated at a single institution. *Injury* 40:77–83
8. Haas NP, Hoffmann RF, Mauch C et al (1995) The management of polytraumatized patients in Germany. *Clin Orthop Relat Res* 318:25–35
9. Baker CC, Oppenheimer L, Stephens B et al (1980) Epidemiology of trauma deaths. *Am J Surg* 140:144–150
10. Mock CN, Jurkovich GJ, Amon-Kotei D et al (1998) Trauma mortality patterns in three nations at different economic levels: implications for global trauma system development. *J Trauma* 44:804–812 discussion 812–804
11. Demetriades D, Murray J, Sinz B et al (1998) Epidemiology of major trauma and trauma deaths in Los Angeles County. *J Am Coll Surg* 187:373–383
12. Masella CA, Pinho VF, Costa Passos AD et al (2008) Temporal distribution of trauma deaths: quality of trauma care in a developing country. *J Trauma* 65:653–658
13. Potenza BM, Hoyt DB, Coimbra R et al (2004) The epidemiology of serious and fatal injury in San Diego County over an 11-year period. *J Trauma* 56:68–75
14. Spain DM, Fox RI, Marcus A (1984) Evaluation of hospital care in one trauma care system. *Am J Public Health* 74:1122–1125
15. Daly KE, Thomas PR (1992) Trauma deaths in the south west Thames region. *Injury* 23:393–396
16. Maio RF, Burney RE, Gregor MA et al (1996) A study of preventable trauma mortality in rural Michigan. *J Trauma* 41:83–90
17. Chiara O, Scott JD, Cimbanassi S et al (2002) Trauma deaths in an Italian urban area: an audit of pre-hospital and in-hospital trauma care. *Injury* 33:553–562
18. Kleber C, Lefering R, Kleber AJ et al (2012) Rescue time and survival of severely injured patients in Germany. *Unfallchirurg*
19. MacLeod JB, Cohn SM, Johnson EW et al (2007) Trauma deaths in the first hour: are they all unsalvageable injuries? *Am J Surg* 193:195–199
20. Kleber C, Schaser KD, Haas NP (2011) Surgical intensive care unit—the trauma surgery perspective. *Langenbecks Arch Surg* 396:429–446

Trauma Care: Not All Countries Are Equal

Pietro Brambillasca · Federico Coccolini ·
Fausto Catena · Salomone Di Saverio ·
Luca Ansaloni

Published online: 31 August 2012
© Société Internationale de Chirurgie 2012

To the Editor,

We read with great interest the article by Kleber et al. [1] about trauma management and trauma-related deaths. We agree with the authors about the necessity to re-evaluate and improve trauma care policies. However, the shifting of traumatic death distribution (tri- to bi-modal, as suggested) should be, in our opinion, considered to be a regional phenomenon.

Not all trauma-care systems are equal, and not all countries have reached the same high level of implementation in trauma care. The first goal of trauma care is the regionalization of the patients. This leads to improved outcomes and optimization of resources [2]. However, not all European countries are organized into national trauma systems. The diversity in organization determines differences in the timing of assistance to patients. This could have a strong impact on mortality. Several regions in southern Europe still have quite old hospital buildings.

P. Brambillasca (✉)
Department of Anesthesiology & Critical Care, USC1,
Ospedali Riuniti, Largo Barozzi 1, 24128 Bergamo, Italy
e-mail: pbrambillasca@ospedaliriuniti.bergamo.it

F. Coccolini · L. Ansaloni
Department of General and Emergency Surgery,
Ospedali Riuniti, Bergamo, Italy

F. Catena
Department of General and Emergency Surgery,
Ospedale Maggiore, Parma, Italy

S. D. Saverio
Department of General and Emergency Surgery,
Ospedale Maggiore, Bologna, Italy

The delivery of care in old buildings may make management of the internal organization difficult, leading to crucial delays in delivery of key clinical services, such as blood distribution, biochemistry, and radiology. Sometimes trauma patients in these institutions may have need to short intrahospital ambulance transfers and this may be cause of definitive treatment delays and developing of hypothermia.

The Italian experience is a clear demonstration of the difficulty in organizing resources to optimize trauma care. Even in a developed country, few regions are making a concerted effort to start a national trauma system. Emilia-Romagna and Lombardy are among the most advanced regions in Italy in trauma management. The authors' three centers, Bologna, Bergamo, and Parma, treat an average of 600, 200, and 100 trauma patients per year, respectively, while the general population in these areas is 2,950,000. Even with good experience in managing trauma patients, we don't agree with the statement of the authors.

The second critical period of trauma management, the time from the hospital admission to entry into the intensive care unit (ICU), remains crucial. On the one hand, a failure in centralization of patients, and on the other hand the absence of definitive national protocols for treating them, allow each individual center to decide arbitrarily the best treatment strategy. This policy—or lack of policy—ultimately leads to waste and to poorer outcomes in terms of morbidity and mortality, because the quality of trauma management is aleatory. Moreover, the heterogeneous formation of the personnel involved in the care of traumatized patients also has a negative effect on outcomes [3].

Our German colleagues have clearly demonstrated the necessity to elaborate national protocols and guidelines. Such national systems might lead to a European common formative program for surgeons and trauma teams that

could start at the university level by introducing Advanced Trauma Life Support (ATLS) as a core curriculum of general and trauma surgeons. This program could also be extended to Emergency Physicians working in small primary care centers in isolated/rural regions [4]. Special efforts to organize an efficient secondary transfer system on a regional or departmental scale should also be made, in order to reduce the higher morbidity and mortality among people living, working, and having accidents in non-urban settings.

Conflict of interest All authors declare to have no conflict of interest.

References

1. Kleber C, Giesecke MT, Tsokos M et al. (2012) Overall distribution of trauma-related deaths in Berlin 2010: advancement or stagnation of German trauma management? *World J Surg*. doi: [10.1007/s00268-012-1650-9](https://doi.org/10.1007/s00268-012-1650-9)
2. Gabbe BJ, Biostat GD, Simpson PM et al (2012) Improved functional outcomes for major trauma patients in a regionalized, inclusive trauma system. *Ann Surg* 255:1009–1015
3. Coccolini F, Lazzareschi D (2009) Isn't it time to start speaking about "European surgeons"? *World J Emerg Surg* 4:27
4. McCrum ML, McKee J, Lai M et al. (2012) ATLS adherence in the transfer of rural trauma patients to a level I facility. *Injury*, May 2012 (Epub ahead of print)

Overall Distribution of Trauma-Related Deaths in Berlin 2010: The Weakest Links of the Chain of Survival are Emergency Medicine and Critical Care: Reply

Christian Kleber · Moritz Giesecke ·
Claas Buschmann

Published online: 18 October 2012
© Société Internationale de Chirurgie 2012

Dear Editor,

We are very happy to have received such a great response since the publication of our article about traumatic deaths in Berlin 2010 [1]. Furthermore, we expect more controversy and scientific discussion after publication of the second part, preventable trauma deaths (article in review, *World Journal of Surgery*).

In our opinion, the major finding of our first study is the underestimation of the importance of preclinical trauma management. The results of our second study will clarify that the quality of preclinical trauma management is overestimated, and therefore the significance and potential to reduce traumatic deaths is not recognized. With the primary focus on advancements in critical care, one of the two “hot spots” of trauma management, the main problem, preclinical trauma management, is disregarded [2]. In a recent study, we revealed the need for individualized preclinical treatment of trauma patients with invasive preclinical measures, e.g., intubation and chest tubing [3]. Therefore, we conclude that the education of paramedics and emergency physicians, and the active contribution of trauma surgeons to preclinical trauma management are crucial factors for improving the quality of national trauma management, and that adding these components has the potential to significantly lower mortality after severe trauma. All organizational, structural, and management efforts (national trauma network, trauma registry, national interdisciplinary guideline)

rely on effective preclinical trauma management. Thus, we have to secure the preclinical treatment of trauma patients and advocate for their needs.

Referring to the letter from Brambillasca et al. [4] we totally agree with their striving for structures and national protocols necessary for a modern trauma system, but the basis of all is an intact chain of survival. The weakest link is always crucial, and in our study, preclinical trauma care was the weakest link. Therefore, we recommend advancing preclinical trauma management further by educating paramedics and emergency physicians in the administration of safe and effective preclinical treatment of patients after severe trauma. Self-evidently there are regional or national differences demanding an analysis of local trauma systems to reveal their weakest link(s). To our minds, the new bimodal temporal distribution of traumatic deaths is not only a regional phenomenon but also the logical consequence of continuous advancement in the treatment and logistics of trauma patients revealing the two hot spots, or weakest links: preclinical trauma management and intensive care medicine.

References

1. Kleber C, Giesecke MT, Tsokos M et al (2012) Overall distribution of trauma-related deaths in Berlin 2010: advancement or stagnation of German trauma management? *World J Surg* 36:21252130. doi:10.1007/s00268-012-1650-9
2. Kleber C, Schaser KD, Haas NP (2011) Surgical intensive care unit—the trauma surgery perspective. *Langenbecks Arch Surg* 396: 429–446
3. Kleber C, Lefering R, Kleber AJ et al (2012) Rescue time and survival of severely injured patients in Germany. *Unfallchirurg*. doi:10.1007/s00113-011-2132-5
4. Brambillasca P, Coccolini F, Catena F et al (2012) Trauma care: not all countries are equal. *World J Surg*. doi:10.1007/s00268-

C. Kleber (✉) · M. Giesecke
Center for Musculoskeletal Surgery, Campus Virchow
Klinikum, Charité–Universitätsmedizin, Augustenburger Platz 1,
13353 Berlin, Germany
e-mail: christian.kleber@charite.de

C. Buschmann
Institute of Legal Medicine and Forensic Sciences,
Charité–Universitätsmedizin, Berlin, Germany

**3.6. Kleber C, Giesecke MT, Tsokos M, Haas NP, Buschmann C (2013)
Trauma-related Preventable Deaths in Berlin 2010: Need to Change
Prehospital Management Strategies and Trauma Management Education.
World J Surg, 37:1154-61**

Angesichts der Tatsache, dass möglicherweise in Deutschland, jedenfalls aber in Berlin, mehr als 50 % aller traumatisch Verstorbenen ein Krankenhaus nicht lebend erreichen, sind Überlegungen hinsichtlich der Möglichkeiten einer Verringerung der präklinischen Traumaletalität anzustellen. Da es sich wie ausgeführt in der Mehrzahl der traumatischen Todesfälle um Suizide handelt, rücken präventive Maßnahmen bezüglich der Verhinderung suizidaler Handlungen in den Blickpunkt. Es handelt sich bei dieser Problematik nicht um ein originär rechts- bzw. notfallmedizinisches Thema, wenngleich entsprechende Berührungspunkte in der täglichen Arbeit der Fachdisziplinen obligat anzutreffen sind [32,33]. In diesem Zusammenhang sollen doch dennoch einige Denkanstöße gegeben werden – zu fordern ist beispielsweise eine verbesserte psychiatrisch-psychotherapeutische Infrastruktur, streng limitierter Zugang zu Schusswaffen für Privatpersonen, ein obligates Stoppen von U-/S-Bahnen mit nachfolgender langsamer Einfahrt in einen Bahnhof oder die Installation von „Suizid-Gittern“ an Türmen/Brücken (*„...Auf der Kirchenfeld- und der Kornhausbrücke werden die kritischen Bereiche über den Straßen, Wegen und dem Sportplatz Schwellenmätteli provisorisch mit einem drei Meter hohen Drahtgitterzaun gesichert.“ Basler Zeitung, 09.12.2009*). Eine weitere relevante Zielgruppe zur Reduktion der traumabedingten Letalität sind Verkehrsteilnehmer; insbesondere Fahranfänger sollten unter Sicherheitsaspekten weiter hinsichtlich der Problematik „Alkohol und Drogen im Straßenverkehr“ sensibilisiert werden. Auch eine weitere Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur ist zu fordern.

Insbesondere erscheinen aber zur Verringerung der präklinischen Traumaletalität weitere präklinische Studien hinsichtlich der Evaluierung/Optimierung präklinischer Abläufe, Algorithmen und Behandlungspfade dringend erforderlich. Aus dem Studienkollektiv der vorstehenden Arbeit konnten wir zwischen nicht vermeidbaren, potentiell vermeidbaren und definitiv vermeidbaren Trauma-Todesfällen differenzieren. Im Gesamtergebnis identifizierten wir in unserem Kollektiv (n = 264) 14 definitiv vermeidbare traumatische Todesfälle im Beobachtungszeitraum 01.01.2010 – 31.12.2010; auf die Bevölkerungszahl der Bundesrepublik Deutschland hochgerechnet könnte dies etwa 300 vermeidbaren Trauma-Todesfällen pro Jahr entsprechen [55].

Trauma-related Preventable Deaths in Berlin 2010: Need to Change Prehospital Management Strategies and Trauma Management Education

C. Kleber · M. T. Giesecke · M. Tsokos ·
N. P. Haas · C. T. Buschmann

Published online: 21 February 2013
© Société Internationale de Chirurgie 2013

Abstract

Background Fatal trauma is one of the leading causes of death in Western industrialized countries. The aim of the present study was to determine the preventability of traumatic deaths, analyze the medical measures related to preventable deaths, detect management failures, and reveal specific injury patterns in order to avoid traumatic deaths in Berlin.

Materials and methods In this prospective observational study all autopsied, direct trauma fatalities in Berlin in 2010 were included with systematic data acquisition, including police files, medical records, death certificates, and autopsy records. An interdisciplinary expert board judged the preventability of traumatic death according to the classification of non-preventable (NP), potentially preventable (PP), and definitively preventable (DP) fatalities.

Results Of the fatalities recorded, 84.9 % ($n = 224$) were classified as NP, 9.8 % ($n = 26$) as PP, and 5.3 % ($n = 14$) as DP. The incidence of severe traumatic brain injury (sTBI) was significantly lower in PP/DP than in NP, and

the incidence of fatal exsanguinations was significantly higher. Most PP and NP deaths occurred in the prehospital setting. Notably, no PP or DP was recorded for fatalities treated by a HEMS crew. Causes of DP deaths consisted of tension pneumothorax, unrecognized trauma, exsanguinations, asphyxia, and occult bleeding with a false negative computed tomography scan.

Conclusions The trauma mortality in Berlin, compared to worldwide published data, is low. Nevertheless, 15.2 % ($n = 40$) of traumatic deaths were classified as preventable. Compulsory training in trauma management might further reduce trauma-related mortality. The main focus should remain on prevention programs, as the majority of the fatalities occurred as a result of non-survivable injuries.

Abbreviations

A+	Autopsy performed
A-	No autopsy performed
AAST	American Association for the Surgery of Trauma
AIS	Abbreviated injury severity score
CPR	Cardiopulmonary resuscitation
CT	Computer tomography
DP	Definitely preventable death
ED	Emergency department
EMT	Emergency medical technician
HEMS	Helicopter emergency medical service
ICU	Intensive care unit
i.v.	Intra-Venous
NAW	Emergency physician and paramedic staffed ambulance
NP	Non-Preventable death
OR	Operation room
PP	Preventable death
sTBI	Severe traumatic brain injury
tCPR	Traumatic cardio-pulmonary resuscitation

C. Kleber (✉) · M. T. Giesecke · N. P. Haas
Center for Musculoskeletal Surgery, AG Polytrauma,
Charité-Universitätsmedizin Berlin, Augustenburger Platz 1,
13353 Berlin, Germany
e-mail: christian.kleber@charite.de

C. Kleber
Berlin-Brandenburg Center for Regenerative Therapies,
Charité-Universitätsmedizin Berlin, Augustenburger Platz 1,
13353 Berlin, Germany

M. Tsokos · C. T. Buschmann
Institute of Legal Medicine and Forensic Sciences,
Charité-Universitätsmedizin Berlin, Turmstrasse 21 (Haus N),
10559 Berlin, Germany

Introduction

Trauma is still the leading cause of death among people ≤ 44 years of age, and it represents the third most common cause of death for all ages in the industrialized world [1]. Additionally, trauma is postulated by the World Health Organization to be the leading cause of losing years of life worldwide by 2020. Zollinger et al. stated in 1955 that traffic injuries are major surgical problems, prompting German trauma surgeons to initiate the establishment of trauma systems in which specially trained emergency physicians are deployed at the scene of the injury in an attempt to provide a higher level of emergency care before the patient's arrival at the hospital [2–6]. Continuous advances and innovations in pre-hospital and in-hospital critical care and surgical trauma management combine with the above-mentioned philosophy to “bring the hospital to the trauma patient.” This has significantly lowered trauma mortality in Germany and has made the German rescue system famous throughout the world [4, 7]. Despite the socioeconomic importance of successful trauma treatment and prevention programs, no systematic analysis of prehospital traumatic deaths had been performed in Germany until 2010.

In that study we investigated primarily all trauma deaths in the German capital of Berlin, examining the prehospital setting and the intensive care unit (ICU) as the two major “hotspots” of trauma management. In our study 59 % of the fatalities occurred before admission to a hospital and 33 % occurred in the ICU [8].

That nearly two-thirds of all traumatic deaths occurred in the prehospital setting, highlights the value of prehospital emergency medicine and trauma prevention programs to reduce traumatic deaths in the future [8, 9]. A Norwegian study in 2011 demonstrated that over 70 % of all trauma victims in rural areas died prior to the arrival of medical personnel, underscoring the need for trauma prevention [10].

A recent study of our working group indicates a change from the “golden hour of trauma” concept to a more injury-adapted prehospital management of trauma patients with the necessity of invasive, time-consuming prehospital measures, e.g., intubation in sTBI and chest decompression in (tension) pneumothorax [4].

We aimed to determine the preventability of traumatic deaths, analyze the medical measures related to preventable deaths, detect management failures, and reveal specific injury patterns to avoid traumatic deaths in Berlin. Furthermore, we compare the Berlin data of traumatic death with already published international data. To our knowledge this is the first German study since the hallmark publication of Wagoner et al. [11] in 1961 dealing with the topic of preventability of traumatic deaths.

Materials and methods

We performed a prospective observational study investigating all trauma-related deaths in Berlin from 1 January 2010 to 31 December 2010. Because of the epidemiologic and descriptive nature of this study no ethics committee approval was required.

The German capital, Berlin, sustains 3.4 million inhabitants in an urban area of 892 km² (<http://www.berlin.de>) and is served by 39 hospitals with emergency departments; five of these can be classified as level I trauma centers. Emergency medical service is provided by the Berlin fire department with 38 fire stations, 40 ambulance stations housing 101 ambulances, 18 emergency physician staffed ambulances [12], and 2 rescue helicopters on call 24 h a day. The central dispatch center is activated by calling 112 (<http://www.berliner-feuerwehr.de>). Emergency physicians in Germany are physicians with at least 2 years of clinical practice (6 months ICU, 6 months Emergency Department [ED], 1 year ward) in different specializations (internal medicine, surgery, general medicine, anesthesiology), who obtained theoretical and practical training in emergency medicine through special courses. Helicopter emergency medical services emergency physicians are usually more experienced and must have graduated in their specialization. All severely injured patients without certain signs of death were seen or treated by an emergency physician before being transported to the hospital, or, in case of death, to a morgue. German law requires that every death must be classified by a physician as either “natural,” “unnatural,” or “unclear” as soon as possible. “Unnatural” or “unclear” cases of death must be reported to the police and, subsequently, to the public prosecutor, who initiates further police investigation and orders an autopsy, depending on the individual circumstances of each case. Thus, all traumatic deaths listed in terms of an “unnatural manner of death” are recorded by the public prosecutor's office with subsequent police investigation files, or at least a death certificate.

Inclusion criteria were all deaths following trauma from 1 January to 31 December in 2010 in Berlin with or without subsequent autopsy ordered by the public prosecutor's office ($n = 440$). Fatalities from strangulation, burns, drowning, and death following pre-existing illnesses or complications not primarily associated with trauma (e.g., chronic obstructive pulmonary disease, heart attack) and trauma casualties without autopsy were excluded.

Data were acquired via the public prosecutor's office of Berlin where complete police investigation files, including medical records, death certificates, and autopsy protocols were accessible. Medical records, death certificates with date and time of death, and autopsy protocols were evaluated. Medical diagnoses were annotated based on medical

records and death certificates, and autopsy diagnoses were annotated based on autopsy reports. Demographic data including age, gender, trauma mechanism (blunt, penetrating, or both), survival time, and cause of death were recorded.

Preventability of traumatic deaths

To determine the preventability of traumatic deaths, only casualties undergoing autopsy ($n = 264$) were considered for analysis of anonymized data by an interdisciplinary expert board (trauma surgeons, forensic pathologist, and emergency physician). Assessment was made as to the preventability of traumatic death and also to the appropriateness of medical measures with regard to the injury pattern.

Preventability of death was judged based on the following three criteria, according to the recommendations of MacKenzie et al. and Shackford et al. [13, 14]:

Non-preventable (NP)

Anatomical organ/tissue destruction non-survivable under perfect circumstances and perfect resuscitation.

Potentially preventable (PP)

Severe anatomical injuries potentially survivable under perfect circumstances and perfect resuscitation and/or conscious patients with the ability to act at the scene and/or patients with signs of life at the scene and absence of anatomical non-survivable injuries.

Definitely preventable (DP)

Moderate anatomical injuries (pathological classified organ injury according to the American Association for the Surgery of Trauma (AAST) classification with Abbreviated Injury Severity Score (AIS) ≤ 3) with revisable live threat (e.g., isolated tension pneumothorax, severe external bleeding, non-fatal sTBI-induced upper airway obstruction).

The criteria of NP, PP, and DP, together with an anonymized case presentation of all 264 casualties, were presented to the expert board via the structured Delphi-method. In the first round every expert had to judge independently the preventability of death for the presented cases. Agreements were achieved in 88 % after the first round. For the remaining 12 % ($n = 31$) the experts had to explain their decision. In the second round the explanations were sent to all members of the committee and the experts were asked to re-judge the remaining 31 cases based on the explanations. After the second round, agreement for all cases was achieved.

Statistical analysis was performed with PASW 20.0. The median and interquartile range (IQR) for age and number

of prehospital measures were calculated. For descriptive statistical evaluation, the nonparametric Mann–Whitney *U*-test for independent group comparison was used; p values < 0.05 were regarded as statistically significant.

Results

Characteristics of trauma casualties

From 1 January to 31 December, 440 trauma casualties were recorded. In 60 % of death cases an autopsy was performed ($n = 264$). Table 1 presents the characteristics of trauma casualties with and without autopsy.

Fatalities with subsequent autopsy (A+) were significantly younger ($p = 0.001$) and male ($p = 0.003$) when compared to victims without autopsy [15]. The incidence of traumatic cardiopulmonary resuscitation (tCPR) ($p = 0.03$), penetrating trauma ($p = 0.001$) and fatal exsanguination was significantly higher in A+. More casualties of A+ group died in the prehospital setting when compared to A– ($p = 0.001$). No statistically significant differences were detected for the cause of traumatic deaths in both groups. The following analysis is exclusively based on trauma fatalities with subsequent autopsy (A+).

Trauma mechanisms

In 30.7 % the trauma mechanism was a fall from a height >3 meters, 19.3 % falls from a standing height, 18.2 % traffic accident, 17.8 % crime-associated injury (shot, stabbed), and 9.1 % struck by a train. Records indicate that 29.9 % ($n = 79$) of the casualties were transported to the hospital; in 17.7 % ($n = 14$), by rescue helicopter. Another 13.9 % were able to act at the accident site, with a mean survival time of 18.4 h. Severe traumatic brain injury (sTBI) occurred in 67.8 % of all casualties, whereas isolated sTBI was detected in 29.5 % of cases. Thoracic

Table 1 Characteristics of autopsy± group; Autopsy+ group contains more prehospital deaths, penetrating trauma and fatalities from exsanguination

	Autopsy	No autopsy	Units
<i>N</i>	264	176	
Age	53 ± 22	66 ± 21	years
Male sex	69,7	55,7	%
Prehospital death	70,1	41,5	%
Death on ICU	22,7	48,9	%
tCPR	26,5	17,6	%
Penetrating trauma	27,7	12	%
Exsanguination	12,9	4,5	%

tCPR traumatic CPR, IQR inter quartile range

injuries were seen in 35.2 % of all casualties, with 1.9 % isolated pneumothorax, 12.1 % hemothorax, and 21.2 % combined pneumo-hemothorax. The majority of fatalities suffered from blunt trauma mechanisms (72.7 %). The minority of penetrating trauma predominantly involved the chest (34.7 %; $n = 25$). In 60 % ($n = 15$) of penetrating chest injuries, an isolated cardiac injury occurred in 9 cases and was combined in 6 patients with thoracic vascular injuries. Tracheobronchial injury was observed only in 10 % ($n = 27$) of all fatalities. In 41 % ($n = 11$) it was associated with penetrating trauma.

Preventability of traumatic deaths

Some 84.9 % ($n = 224$) of fatalities were judged as non-preventable (NP) and 15.2 % ($n = 40$) as potentially (PP) or definitely preventable (DP). In 9.8 % ($n = 26$) PP and 5.3 % ($n = 14$) DP was observed (Fig. 1).

Localization of the scene of traumatic deaths

The localization of traumatic deaths and their distribution relating to their preventability is shown in Fig. 2. The localization of traumatic death is not automatically equal to the origin of management failures—e.g., patient died in ER with prehospital management failure (trauma management failures).

Some 69.7 % of NP deaths occurred in the prehospital setting, followed by 24.1 % in the intensive care unit (ICU). In addition, 92.4 % of all PP casualties died before admission to a hospital, 3.8 % in the operating room (OR) and in the ICU, respectively. Definitely preventable deaths occurred predominantly in the prehospital setting and ICU (35.7 %), followed by the emergency department (ED), 14.4 %, and 7.1 % in the OR and on the ward.



Fig. 1 Preventability of traumatic deaths in Berlin 2010; NP non-preventable, PP potentially preventable, DP definitely preventable

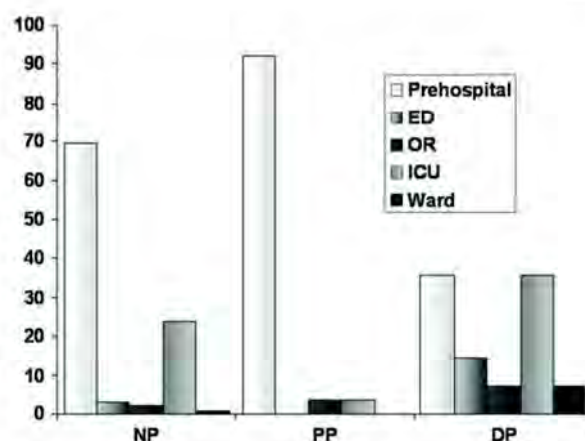


Fig. 2 Localization of death in relation to the preventability of traumatic death. ED emergency department, OR operating room, ICU intensive care unit

Potentially preventable deaths

Twenty-six trauma victims fulfilled the criteria of potentially preventable deaths. In 73.1 % of all potentially preventable deaths exsanguination was the cause of death, followed by 11.5 % with thoracic trauma.

In 84.6 % ($n = 22$) of patients with unwitnessed trauma, delayed resuscitation was the reason for a potentially preventable death. Of these, 57.7 % ($n = 15$) were suicides with simple external bleeding due to sharp force injury. Four casualties died from simple soft tissue lacerations or open fracture, combined with anticoagulant therapy (phenprocoumon) after a fall from a standing height. In 15.4 % ($n = 4$) of cases prehospital thoracotomy (2 pericardial tamponade, 2 hemothorax) might have saved their lives.

Definitely preventable deaths

Fourteen casualties were judged as definitely preventable traumatic deaths. In total, 57.1 % of DP cases died from exsanguination, followed by polytrauma in 21.4 % of cases (definition [8]).

Trauma management failures

Prehospital trauma management failure

In four fatalities the cause of death was isolated tension pneumothorax due to non- ($n = 3$) or insufficient ($n = 1$) chest decompression in the prehospital setting after penetrating chest trauma. In four fatalities underlying trauma as the cause of the emergency call was not recognized by the emergency service personnel, and therefore, no trauma therapy was performed. Three patients had unstable pelvic fractures, and one

victim was found unconscious after a fall from a height >3 meters, but was considered to have suffered a myocardial infarction with subsequent cardiac arrest. Thus, no trauma-related therapy was performed. Two patients bled to death from stab wounds to the external femoral artery; no or insufficient external bleeding control measures—e.g., local pressure, tourniquet, or arterial clamp—were carried out. In one case there was insufficient bleeding control, and in the one case the bleeding source went unrecognized. One patient trapped in his car after an accident died from asphyxia because upper airway management was not maintained in the prehospital situation even though there was access to the thorax and skull. An alternative airway tool like a combitube or a laryngeal tube was not inserted, nor was a surgical airway established.

Clinical trauma management failure

Three trauma victims were initially admitted to the ER, and then transferred to hospital wards. In these three cases there was a missed or delayed diagnosis of bleeding. All patients received full-body computed tomography (CT) scans without identification of contrast extravasation. The bleeding sources were unrecognized and included an untreated pelvic fracture ($n = 1$), rib fractures ($n = 1$), and abdominal injury ($n = 1$). In two cases there was a history of anticoagulant therapy. Surgical bleeding control was attempted in only one case.

Preventable deaths and sTBI

Knowing that sTBI is basically influencing survival after trauma, a sub-analysis for the preventability of traumatic deaths with (sTBI+; $n = 179$) and without sTBI (sTBI-; $n = 85$) and isolated sTBI (isTBI+; $n = 78$, is TBI-; $n = 186$) was performed.

That test showed that 96.1 % ($n = 172$) of sTBI+ were NP, 2.2 % were PP ($n = 4$), and 1.7 % were DP ($n = 3$) compared to 25.9 % PP ($n = 22$) and 12.9 % ($n = 11$) DP in the sTBI- group. For the isolated sTBI+ 96.2 % of traumatic deaths were NP with 3.8 % ($n = 3$) PP deaths and no DP deaths.

The incidence of PP or DP traumatic deaths was significantly lower in the group with sTBI ($p = 0.001$) and isolated sTBI ($p = 0.03$; 0.01).

Preventable deaths and penetrating trauma

In this series, 174 fatalities suffered from blunt trauma and 72 suffered from penetrating trauma mechanisms. In the penetrating trauma group, there were significantly ($p = 0.001$) more PP (25 %; $n = 18$) and DP (5.6 %; $n = 4$) deaths as compared to blunt trauma (4.2 %; $n = 8$ /5.2 %; $n = 10$).

Preventable deaths and prehospital measures

In total, any type of advanced prehospital measure (intravenous access, endotracheal intubation, application of chest drains, cardiopulmonary resuscitation) was performed in 41.3 % ($n = 109$) of all trauma fatalities, with a median of 2 and an IQR of 1 prehospital invasive measure.

In the DP death group significantly more frequent invasive prehospital measures were performed when compared to the NP death group (71.4 versus 42.9 %; $p = 0.02$). The incidence of specific invasive prehospital measures in the NP, PP, and DP groups are given in Table 2.

The highest incidence of traumatic cardiopulmonary resuscitation (tCPR) was seen in the DP group (35.7 %), as compared to the PP group (11.5 %) and the NP group (27.7). In all three groups a high rate of intravenous (i.v.) access and endotracheal intubation in PP and DP group was found. Notably, despite a high rate of CPR after (recognized) traumatic cardiac arrest, no chest drain or other chest decompression measures were performed in the DP group.

Preventable deaths and rescue helicopter

Some 29.9 % ($n = 79$) of all fatalities reached the hospital alive. In 17.7 % ($n = 14$) of cases the HEMS crew, consisting of a pilot, an emergency physician, and a paramedic with special qualifications, treated the patients and transported them to a hospital [16]. In 82.3 % of cases, treatment and transport were carried out by NAW ("Notarztwagen": an ambulance staffed by an emergency physician and a paramedic). The HEMS crew performed significantly more invasive prehospital measures (median 2, IQR 0.25; $p = 0.04$) than the NAW crew (median 2, IQR 1), especially for the incidence of endotracheal intubation (HEMS 100 % versus NAW 71.9 %; $p = 0.03$) and chest drain (HEMS 21.4 % versus NAW 3.5 %; $p = 0.02$). The rate of tCPR was higher in the HEMS group (35.7 %) when compared to NAW group (18.5 %), but without statistical significance ($p = 0.1$). Furthermore, no PP or NP deaths were recorded for the HEMS crew (Table 3).

Table 2 Incidence of invasive prehospital measures

	NP	PP	DP
i.v. access (%)	95.8	100.0	100.0
Intubation (%)	74.0	100.0	90.0
Chest drain (%)	8.3	100.0	0

NP non-preventable, PP potentially preventable, DP definitely preventable

Table 3 Incidence of PP and DP traumatic deaths in relation to the rescue team

	DP	PP
NAW	13.8	3.1
HEMS crew	0	0

NAW ambulance staffed by emergency physician and paramedic, HEMS Helicopter emergency medical service

Discussion

We present for the first time a systematic analysis of potentially and definitely preventable traumatic deaths in Berlin, Germany. Data analysis evaluating PP and DP deaths are based only on fatalities referred for autopsy (group A+). Notably, there are significant differences between groups A± (Table 1). Based on the results of our epidemiologic study for traumatic deaths in Berlin that revealed the prehospital setting as the “major problem” of trauma management, we focused especially on prehospital PP and DP traumatic deaths [8]. Therefore, group A+, with 70 % of prehospital deaths was appropriate compared to group A– with an incidence of 42 % to analyse especially prehospital traumatic deaths.

Exsanguination as the leading potentially preventable cause of death was nearly threefold higher in group A+. In contrast to prehospital deaths, in only 30 % of clinical traumatic deaths was an autopsy performed, this being considered as a gold standard quality measure. Therefore, the number of potentially or definitely preventable clinical deaths is underrepresented when compared to prehospital deaths, and there might be a high number of unreported DP clinical deaths. Older people are rarely autopsied and specific complications from co-morbidities like anticoagulant therapy, i.e., iatrogenic coagulopathy, and secondary exsanguination might be underrepresented in our study. Therefore, to improve clinical and prehospital trauma management and regularly evaluate it in morbidity-mortality conferences, we recommend the routine use of autopsy in trauma patients, with the simultaneous close cooperation of forensic scientists, trauma surgeons, anesthesiologists, prehospital personnel, and all other specialties involved in trauma [17]. The autopsy rate of 60 % appears low, but it is outstandingly high when compared to average autopsy rates of 2–5 % of all deaths in Germany. Nevertheless, some differences between our group A+ and a total Berlin-wide collective or even a German population must be considered for the interpretation of our results.

In our study group, we considered 15.2 % ($n = 40$) of the investigated trauma fatalities as PP or DP. Comparing this number to the literature since 1953 with a mean preventability of 21.7 % regardless of the year of investigation, infrastructural differences, socioeconomic background, or

differences in rescue system (emergency physician, paramedic), our results appear quite acceptable [18–27]. Going into detail and focusing on publications of the twenty-first century from the industrialized world, rates of traumatic death preventability from 4.5 to 6.7 % were published, revealing the potential of trauma management in Berlin in the future [28, 29].

Confirming previous studies, victims without sTBI had up to a tenfold higher incidence of DP/PP and consequently a higher potential of preventable death than sTBI-trauma patients [30]. In summary, trauma victims without sTBI have a greater possibility for trauma management improvement, although it is possible that other simple (bleeding control) or invasive measures (chest drain) might be underrepresented when compared to i.v. access or intubation. This hypothesis is proven by the finding that there were no cases of PP or DP traumatic death in casualties treated by rescue helicopter crew in Germany, known to be well equipped and trained [31].

More than 90 % of the PP deaths and one-third of the DP deaths occurred in the prehospital setting. This result stands in contrast to previous publications stating that most of the inappropriate care happens in the emergency department [29, 32, 33]. Our belief is that this discrepancy reflects the different rescue systems. In Germany the emergency medicine philosophy is “to bring the resuscitation room to the patient,” and emergency physicians begin to invasively treat trauma patients at the site of the traumatic incident. Nevertheless, most of the studies dealing with the topic of preventability of traumatic deaths have neglected the prehospital situation, focusing on in-hospital treatment. Additionally, the level of experience and training in trauma management, in our opinion, is crucial for the effective and appropriate management of prehospital trauma patients. For example, in our study no potentially or definitely preventable traumatic deaths occurred in the group treated by HEMS crew. Usually the experience and grade of qualification of HEMS emergency physicians is higher than those on NAW. Despite the fact that trauma emergencies are seldom missions in Germany, the incidence of trauma emergency calls on a rescue helicopter is much higher than on NAW, indicating a higher level of experience and routine in management of trauma patients. Thus it is clear that we need nationwide experienced and well-equipped rescue teams for our trauma patients, e.g., specialized trauma rescue helicopters or trauma NAW.

The effectiveness of the Berlin rescue system and prevention program is accepted and reflected by the very low trauma mortality (13/100,000 inhabitants) for 2010 in Berlin [7, 8, 34]. Nevertheless, 5.3 % of traumatic deaths were definitely preventable. According to our expert board, 14 lives could have been saved. Assuming that our

collective is roughly representative for Germany (80 million inhabitants), it might be possible to save more than 297 lives annually.

Furthermore, we detected a statistically significant association between the cause of death “exsanguination” and the preventability of death for PP and DP. Analogous to other publications, hemorrhage was the most frequent cause of DP or PP deaths, supported by the fact that hemorrhage control is known to be the major management error in hospitals [29]. Furthermore, the detailed analysis of our PP deaths highlights the issue of unwitnessed trauma incidents—in our collective, unmated elderly people suffered from minor injuries leading to death from exsanguination. Another known reversible cause of traumatic cardiac arrest is pericardial tamponade; four casualties in Berlin 2010 might have benefitted from comprehensive resuscitation with performance of an emergency thoracotomy even in the prehospital setting [35]. The practicability, economy, and efficiency of introducing emergency thoracotomy in the prehospital situation with an incidence of four cases per year in an urban area seem hard to justify, given the lack of supporting data. In contrast to that, a high potential for saving lives was pointed out by analysis of DP and PP deaths by simple and practical prehospital measures, e.g., sufficient bleeding control by tourniquets, arterial clamps, or insertion of a Foley catheter into a stab wound. Four patients might have been saved by decompression of their tension pneumothorax. A systematic body check to detect unstable thoracic or pelvic injuries and therefore recognize the underlying trauma might also have saved the lives of 4 patients. The lack of absolute basics in trauma management, like clinical examination and disregard of the ABC-rule should be politically changed by making ATLS (Advanced Trauma Life Support), PHTLS (prehospital Trauma Life Support), ITLS (international Trauma Life Support), or Trauma-Management compulsory for all medical personal involved in pre-/clinical trauma management in Germany. Furthermore, mortality-morbidity conferences for prehospital and clinical personnel should be established and should take place on a regular basis, at least four times a year.

Besides the prehospital setting, the major clinical problems were unrecognized/occult bleeding in patients with initial false negative contrast CT scans (no contrast extravasation), and patients with iatrogenic coagulopathy who died from exsanguinations in the ward.

Conclusions

The trauma mortality in Berlin, compared to worldwide published data, is low. Nevertheless, 15.2 % ($n = 40$) of traumatic deaths were classified as preventable. Most of the

management failures occurred in the prehospital setting, with none of these fatalities treated by rescue helicopter teams. Therefore, compulsory training in trauma management might further reduce the trauma mortality. Close cooperation between forensic pathologists and trauma surgeons can be effective in improving trauma management in the future. The main focus should, however, remain on prevention programs, since the majority of fatalities occurred from primarily non-preventable injuries.

Acknowledgments Contributions were made possible by DFG funding through the Berlin-Brandenburg School for Regenerative Therapies GSC 203. The authors are grateful to Dr. Paul Bedford for his contribution to the manuscript.

References

- Pfeifer R, Tarkin IS, Rocos B et al (2009) Patterns of mortality and causes of death in polytrauma patients—has anything changed? *Injury* 40:907–911
- Ottosson A, Krantz P (1984) Traffic fatalities in a system with decentralized trauma care. A study with special reference to potentially salvageable casualties. *JAMA* 251:2668–2671
- Zollinger RW (1955) Traffic injuries; a surgical problem. *AMA Arch Surg* 70:694–700
- Kleber C, Lefering R, Kleber AJ et al (2012) Rettungszeit und Überleben von Schwerverletzten in Deutschland. *Unfallchirurg*. doi:10.1007/s00113-011-2132-5
- Arnold JL (1999) International emergency medicine and the recent development of emergency medicine worldwide. *Ann Emerg Med* 33:97–103
- Dick WF (2003) Anglo-American vs. Franco-German emergency medical services system. *Prehosp disaster med* 18:29–35 discussion 35–27
- Probst C, Pape HC, Hildebrand F et al (2009) 30 years of polytrauma care: an analysis of the change in strategies and results of 4849 cases treated at a single institution. *Injury* 40:77–83
- Kleber C, Giesecke MT, Tsokos M et al (2012) Overall distribution of trauma-related deaths in Berlin 2010: advancement or stagnation of German trauma management? *World J Surg* 36:2125–2130. doi:10.1007/s00268-012-1650-9
- Mock C, Quansah R, Krishnan R et al (2004) Strengthening the prevention and care of injuries worldwide. *Lancet* 363(9427): 2172–2179
- Bakke HK, Wisborg T (2011) Rural high north: a high rate of fatal injury and prehospital death. *World J Surg* 35:1615–1620. doi:10.1007/s00268-011-1102-y
- Van Wagoner FH (1961) A three year study of deaths following trauma. *J Trauma* 1:401–408
- Chen XP, Losman JA, Cowan S et al (2002) Pim serine/threonine kinases regulate the stability of Socs-1 protein. *Proc Natl Acad Sci U S A* 99:2175–2180
- MacKenzie EJ, Steinwachs DM, Bone LR et al (1992) Inter-rater reliability of preventable death judgments. The Preventable Death Study Group. *J Trauma* 33:292–302 discussion 302–303
- Shackford SR, Hollingsworth-Fridlund P, McArdle M et al (1987) Assuring quality in a trauma system—the Medical Audit Committee: composition, cost, and results. *J Trauma* 27:866–875
- Mock CN, Jurkovich GJ, Amon-Kotei D et al (1998) Trauma mortality patterns in three nations at different economic levels: implications for global trauma system development. *J Trauma* 44(5):804–812 discussion 812–814

16. Roy MS, Gosselin J, Hanna N et al (2004) Influence of the state of alertness on the pattern visual evoked potentials (PVEP) in very young infant. *Brain Dev* 26:197–202
17. Buschmann CT, Gahr P, Tsokos M et al (2010) Clinical diagnosis versus autopsy findings in polytrauma fatalities. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 18:55
18. Jat AA, Khan MR, Zafar H et al (2004) Peer review audit of trauma deaths in a developing country. *Asian J Surg* 27:58–64
19. Limb D, McGowan A, Fairfield JE et al (1996) Prehospital deaths in the Yorkshire Health Region. *J Accid Emerg Med* 13:248–250
20. Papadopoulos IN, Bukis D, Karalas E et al (1996) Preventable prehospital trauma deaths in a Hellenic urban health region: an audit of prehospital trauma care. *J Trauma* 41:864–869
21. West JG, Trunkey DD, Lim RC (1979) Systems of trauma care. A study of two counties. *Arch Surg* 114:455–460
22. Draaisma JM, de Haan AF, Goris RJ (1989) Preventable trauma deaths in The Netherlands—a prospective multicenter study. *J Trauma* 29:1552–1557
23. Stocchetti N, Pagliarini G, Gennari M et al (1994) Trauma care in Italy: evidence of in-hospital preventable deaths. *J Trauma* 36:401–405
24. Shackford SR, Hollingworth-Fridlund P, Cooper GF et al (1986) The effect of regionalization upon the quality of trauma care as assessed by concurrent audit before and after institution of a trauma system: a preliminary report. *J Trauma* 26:812–820
25. McDermott FT, Cooper GJ, Hogan PL et al (2005) Evaluation of the prehospital management of road traffic fatalities in Victoria, Australia. *Prehosp Disaster Med* 20:219–227
26. McDermott FT, Corder SM, Tremayne AB (1996) Evaluation of the medical management and preventability of death in 137 road traffic fatalities in Victoria, Australia: an overview. Consultative Committee on Road Traffic Fatalities in Victoria. *J Trauma* 40:520–533 discussion 533–525
27. Davis JW, Hoyt DB, McArdle MS et al (1992) An analysis of errors causing morbidity and mortality in a trauma system: a guide for quality improvement. *J Trauma* 32:660–665 discussion 665–666
28. Ashour A, Cameron P, Bernard S et al (2007) Could bystander first-aid prevent trauma deaths at the scene of injury? *Emerg Med Australas* 19:163–168
29. Sanddal TL, Esposito TJ, Whitney JR et al (2011) Analysis of preventable trauma deaths and opportunities for trauma care improvement in Utah. *J Trauma* 70:970–977
30. Anderson ID, Woodford M, de Dombal FT et al (1988) Retrospective study of 1,000 deaths from injury in England and Wales. *Br Med J (Clin Res Ed)* 296(6632):1305–1308
31. Frink M, Probst C, Hildebrand F et al (2007) The influence of transportation mode on mortality in polytraumatized patients. An analysis based on the German Trauma Registry. *Unfallchirurg* 110:334–340
32. Esposito TJ, Sanddal ND, Hansen JD et al (1995) Analysis of preventable trauma deaths and inappropriate trauma care in a rural state. *J Trauma* 39:955–962
33. Maio RF, Burney RE, Gregor MA et al (1996) A study of preventable trauma mortality in rural Michigan. *J Trauma* 41:83–90
34. Haas NP, Hoffmann RF, Mauch C et al (1995) The management of polytraumatized patients in Germany. *Clin Orthop Relat Res* 318:25–35
35. Davies GE, Lockey DJ (2011) Thirteen survivors of prehospital thoracotomy for penetrating trauma: a prehospital physician-performed resuscitation procedure that can yield good results. *J Trauma* 70:E75–E78

3.7. Kleber C, Giesecke MT, Lindner T, Haas NP, Buschmann C (2014) Requirement for a structured algorithm in cardiac arrest following major trauma: Epidemiology, management errors, and preventability of traumatic deaths in Berlin. Resuscitation 85:405-10* und Diskussion

Einfach durchzuführende und potentiell lebensrettende Sofortmaßnahmen zur Dekompression eines Spannungspneumothorax, der mechanischen Stabilisierung instabiler Beckenfrakturen und zur externen Blutstillung sind als Kritikpunkte in der präklinischen Polytrauma-Versorgung identifiziert worden, welche in der notfallmedizinischen Versorgung schwer verletzter Patienten aktuell nicht regelhaft durchgeführt werden. In Deutschland erreichen – bei vorsichtiger Schätzung und nach entsprechender Hochrechnung – möglicherweise mehr als die Hälfte aller traumatisch Verstorbenen ein Krankenhaus nicht lebend, die präklinische Beckenstabilisierung zur Hämorrhagie-Prophylaxe wird nicht regelhaft praktiziert, eine obligat durchgeführte Thoraxentlastung vor Abbruch einer traumatisch bedingten Reanimation bietet einen Überlebensvorteil [56], und in retrospektiv als vermeidbar eingeschätzten Trauma-Todesfällen kommt dem Vorliegen eines nicht entlasteten Spannungspneumothorax eine relevante Bedeutung zu. Die Erfahrungen aus der täglichen Praxis zeigen dennoch wie geschildert, dass verunfallte Patienten mit Herzkreislaufstillstand aktuell präklinisch analog zu Patienten mit krankheitsbedingtem Herzkreislaufstillstand behandelt werden [57]. Angesichts von möglicherweise hochgerechnet ca. 300 vermeidbaren Trauma-Todesfällen pro Jahr in der Bundesrepublik Deutschland (s. o.) besteht hier erheblicher Handlungsbedarf hinsichtlich invasiver ärztlicher Maßnahmen in der Wiederbelebungssituation, insbesondere nach Trauma. Nachfolgend wird eine Untersuchung zum Outcome nach traumatisch bedingter Reanimation vorgestellt [58].

*Forschungspreis 2014 der Deutschen Rettungsflugwacht (DRF)



Clinical Paper

Requirement for a structured algorithm in cardiac arrest following major trauma: Epidemiology, management errors, and preventability of traumatic deaths in Berlin[☆]

C. Kleber^{a,b,*}, M.T. Giesecke^a, T. Lindner^c, N.P. Haas^a, C.T. Buschmann^d^a Center for Musculoskeletal Surgery, AG Polytrauma, Charité – Universitätsmedizin, Berlin, Augustenburger Platz 1, 13353 Berlin, Germany^b Berlin-Brandenburg Center for Regenerative Therapies, Charité – Universitätsmedizin, Berlin, Augustenburger Platz 1, 13353 Berlin, Germany^c Department for Emergency Medicine, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Augustenburger Platz 1, 13353 Berlin, Germany^d Institute of Legal Medicine and Forensic Sciences, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Turmstrasse 21 (Building N), 10559 Berlin, Germany

ARTICLE INFO

Article history:

Received 3 June 2013

Received in revised form 28 July 2013

Accepted 7 November 2013

Keywords:

Trauma

Cardiopulmonary resuscitation

Survival

Preventability

Management errors

Algorithm

ABSTRACT

Background: Despite continuous innovation in trauma care, fatal trauma remains a significant medical and socioeconomic problem. Traumatic cardiac arrest (tCA) is still considered a hopeless situation, whereas management errors and preventability of death are neglected. We analyzed clinical and autopsy data from tCA patients in an emergency-physician-based rescue system in order to reveal epidemiologic data and current problems in the successful treatment of tCA.

Material and methods: Epidemiological and autopsy data of all unsuccessful tCPR cases in a one-year-period in Berlin, Germany ($n = 101$, Group I) and clinical data of all cases of tCPR in a level 1 trauma centre in an 6-year period ($n = 52$, Group II) were evaluated. Preventability of traumatic deaths in autopsy cases ($n = 22$) and trauma-management failures were prospectively assessed.

Results: In 2010, 23% of all traumatic deaths in Berlin received tCPR. Death after tCPR occurred predominantly prehospital (PH; 74%) and only 26% of these patients were hospitalized. Of 52 patients (Group II), 46% required tCPR already PH and 81% in the emergency department (ED). In 79% ROSC was established PH and 53% in the ED. The survival rate after tCPR was 29% with 27% good neurological outcome. Management errors occurred in 73% PH; 4 cases were judged as potentially or definitive preventable death.

Conclusion: Trauma CPR is beyond routine with the need for a tCPR-algorithm, including chest/pericardial decompression, external pelvic stabilization and external bleeding control. The prehospital trauma management has the highest potential to improve tCPR and survival. Therefore, we suggested a pilot prehospital tCPR-algorithm.

© 2013 Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.

Abbreviations: ASYS, asystole; CA, cardiac arrest; CPR, cardiopulmonary resuscitation; DP, definitely preventable; ED, emergency department; FAST, focused assessment with sonography for trauma; GCS, Glasgow come scale; GOS, Glasgow outcome score; h, hours; HEMS, helicopter medical service; ICU, intensive care unit; ISS, Injury Severity Score; m, meter; min, minutes; NP, non-preventable; OR, operation room; PEA, pulseless electric activity; PP, potentially preventable; PH, prehospital; PTS, Hanover Polytrauma Score; ROSC, return of spontaneous circulation; sTBI, severe traumatic brain injury; tCA, traumatic cardiac arrest; tCPR, traumatic cardiopulmonary resuscitation; VF, ventricular fibrillation.

[☆] A Spanish translated version of the summary of this article appears as Appendix in the final online version at <http://dx.doi.org/10.1016/j.resuscitation.2013.11.009>.

* Corresponding author at: Center for Musculoskeletal Surgery, AG Polytrauma, Charité – Universitätsmedizin, Berlin, Augustenburger Platz 1, 13353 Berlin, Germany.

E-mail address: christian.kleber@charite.de (C. Kleber).

0300-9572/\$ – see front matter © 2013 Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.resuscitation.2013.11.009>

1. Introduction

Trauma is the leading cause of death in young adults.^{1,2} However, cardiac arrest after major trauma (tCA) is a rare emergency situation when compared to causes of CA from internal aetiology (e.g. myocardial infarction). The mortality after tCA is up to 93%.^{3–5}

The majority of fatal trauma cases are considered to be non-preventable traumatic deaths.¹ Despite continuous medical advancement of prehospital (PH) and in-hospital trauma management, even in high standard PH trauma care, preventable deaths do occur from definitely or potentially reversible causes of tCA.¹ Although Huber–Wagner demonstrated in 2007 an increased probability of survival after tCPR from PH application of bilateral chest tubes.⁶ Besides this simple therapeutic option, PH emergency thoracotomy has also been identified to improve survival after tCA, particularly in cases of pericardial tamponade due to penetrating chest trauma.⁷

Besides such invasive medical measures, the time range from injury to arrival of emergency medical service on the scene of the traumatic incident is influencing the outcome after tCA,⁵ whereas the overall rescue time (time range from injury to hospital admission) itself has no influence on survival after severe trauma in Germany.^{5,8} These data underscore the need for excellent PH medical care in severe trauma patients, especially in tCA patients – more than 60% of all trauma fatalities occur prior to hospital admission.³ In addition to neglected PH treatment of tCA, indications for tCPR are still subject to controversial discussions.^{5,9}

So the question arises: is fatal trauma really a fate, or do management errors contribute to bad outcome and survival rates?

In continuation of recent studies on epidemiology and preventability of traumatic deaths^{1,3} we investigated the epidemiology of tCA and tried to reveal specific tasks concerning successful tCPR by answering the following questions in two different subgroups:

- (1) How often is tCPR performed in patients dying from trauma?
- (2) How many patients with initially started tCPR on-scene are transferred to hospital?
- (3) What are the causes for tCA in our collective, and where does tCA occur?
- (4) What is the survival rate and outcome after tCPR?
- (5) Are there management errors while performing tCPR? If so, what kind of errors and where do they occur?
- (6) What are the causes of traumatic death?

2. Materials and methods

2.1. Rescue system and hospitals in Berlin

The emergency medical service is run by the Berlin fire department (<http://www.berliner-feuerwehr.de>).¹ All severely injured patients are treated by an emergency physician.

2.2. Group allocation

We separated the collective into two different study groups:

Group I: All traumatic deaths from January 1st to December 31st, 2010, in the city of Berlin, Germany, were analyzed regarding the incidence of tCPR to address questions 1–2. We annotated the localization of tCA, incidence of tCPR and hospitalization via the public prosecutor's office of Berlin, where complete police investigation files (death certificates, autopsy records) were accessible.³

Group II: Group II was selected to address questions 3–6. We conducted a prospective observational study of all tCPR cases between 1st April 2007 and 31st January 2013 in the Center for Musculoskeletal Surgery (CMSC), Charité – Universitätsmedizin Berlin.

We included

- all tCPR cases admitted to our centre after either successful PH tCPR or under ongoing tCPR and
- all tCPR cases performed in our resuscitation room, during emergency operation, or in the intensive care unit (ICU).

We excluded two tCPR cases that occurred within the hospital from unobserved suicidal falls from a height (>3 m).

Beside demographic data including age and gender, the type of trauma (penetrating, blunt) and trauma mechanisms (fall from a height >3 m, fall from standing height, overrun trauma, traffic accidents with entrapment, traffic accidents as vehicle occupant, motor-/cyclist, or pedestrian) were recorded. Furthermore, injury severity as calculated by the Injury Severity Score (ISS) and the

Hanover Polytrauma Score (PTS), survival, CPR-relevant parameters like rescue time, initially recorded cardiac rhythm, re-entry of spontaneous circulation (ROSC), time from tCA until ROSC, location of tCA and outcome as classified by the Glasgow outcome scale (GOS).^{10–12}

2.3. Cause of traumatic cardiac arrest

The causes for tCA were judged and classified by an interdisciplinary expert committee (forensic pathologist, emergency physician, trauma surgeon) according to physiologic parameters, PH and clinical course and autopsy results. The causes for tCA were allocated to hypothermia, hypoxia, hypovolemia, electrolyte imbalance, intoxication, tension pneumothorax, pulmonary embolism and pericardial tamponade, based on the ATLS guideline.¹³ In cases without a distinguishable cause of tCA or in cases of no interdisciplinary consent after a Delphi mode, no cause of tCA was allocated.

2.4. Management errors

Management errors were judged and classified by the interdisciplinary expert board according to recent guidelines (ERC-guideline, S3-Guideline on treatment of patients with severe and multiple injuries; AWMF-Registry No. 012/019).¹⁴ In a first round all members of the expert committee analyzed the data (anonymous) and gave their vote. In cases of disagreement, every expert explained their decision, and at the end a definitive vote was achieved (Delphi mode). Only management errors with consent in the 1st or 2nd round were considered for further analysis.

2.5. Cause of death

The definitive cause of death was annotated in the autopsy records and was accessible in 42% ($n=22$) of cases. The clinical management, diagnoses, interventions and clinical course were prospectively recorded and annotated based on hospital charts. As clinical diagnoses and autopsy findings concerning the cause of death in trauma fatalities vary significantly, especially in cases of tCPR and limited diagnostics,¹⁵ cause of death was solely accessed via the subsequent autopsy protocol. The following causes of traumatic death were defined:

- Polytrauma: Coincidental blunt and/or penetrating severe injuries to various organs or organ systems, which were primarily lethal due to destruction or dysfunctions of vital structures without haemorrhagic shock as the leading cause of death.
- Exsanguination: Coincidental/singular blunt and/or penetrating severe injury/injuries to various organ/-s or organ systems, which were primarily lethal due to haemorrhagic shock without destruction/dysfunctions of vital structures as the leading cause of death.
- Isolated severe traumatic brain injury (STBI): Destruction of brain tissue, midline shift, intracranial bleedings and absence of other severe injuries.
- Thoracic trauma: Coincidental severe injuries to chest wall and inner thoracic anatomical structures, which were primarily lethal due to destruction/dysfunction, absence of other severe injuries or signs of exsanguination (lung contusion, pneumothorax and pericardial tamponade).
- Others: Injuries patterns not covered by the above-mentioned definitions.

2.6. Preventability of death

The preventability of death after tCPR was only determined for fatalities with subsequent autopsy ($n=22$). Assessment of the

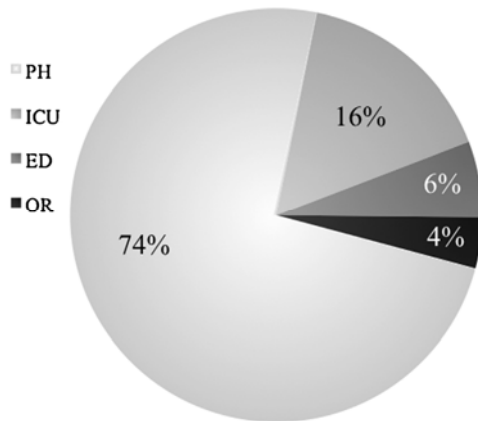


Fig. 1. Localization of death after tCPR. 74% die before reaching a hospital. After hospital admission, ICU is the predominant localization of death, PH=prehospital ($n=75$), ICU=intensive care unit ($n=16$), ED=emergency department ($n=6$), OR=operating room ($n=4$).

preventability of traumatic death (non- (NP), potentially- (PP), definitely preventable (DP)) was allocated analogue to our previous publication.^{1,16,17} The criteria of NP, PP and DP together with an anonymized case presentation of all 22 casualties were presented to the expert board via structured Delphi-method. In the first round every expert had to judge independently the preventability of death in the presented cases. Agreements were achieved in 88% of cases after the first round. For the remaining 12% ($n=6$) the experts had to explain their decision. In the second round the explanations were sent to all members of the committee and were then asked to re-judge the remaining 6 cases based on the explanations. After the second round agreement in all cases was achieved.

2.7. Statistic

Statistical analysis was performed with SPSS 21.0 (IBM, USA). Normal-distributed data is presented in mean and standard deviation (\pm), non-normal distributed data (age, ISS, PTS) in median and inter quartile range (IQR). For descriptive statistic evaluation, the non-parametric Mann-Whitney U test for independent group comparison was used. P -values of <0.05 were considered to be statistically significant.

3. Results

3.1. Incidence of tCPR in all traumatic deaths in Berlin in 2010 (Group I)

In Group I, 440 fatalities, 282 male (64%) and with a median age of 60 years (IQR = 38) were included. Traumatic CPR was performed in 101 trauma casualties in Berlin in 2010 (23%).

3.2. Localization of death in tCPR (Group I)

The predominant localization of death in trauma casualties with tCPR was the PH-setting ($n=75$; 74%), followed by ICU ($N=16$; 16%), ED ($n=6$) and OR ($n=4$; Fig. 1).

The minority of patients with fatal tCA was admitted to hospital (26%).

The following analysis is based only on the data of Group II:

The data of 52 patients with tCA were recorded and analyzed (age 44 years (IQR = 35), 81% male ($n=42$), ISS = 50points/IQR = 25, PTS = 45points/IQR = 34). The leading trauma mechanism was in 34% a fall from a height of >3 m ($n=18$) and 22% an overrun trauma

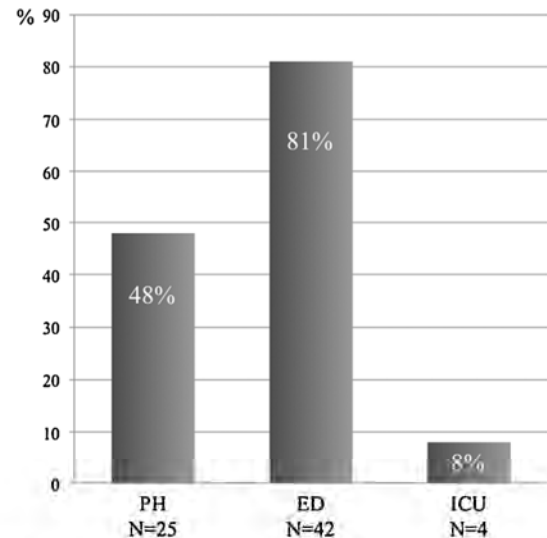


Fig. 2. Localization of tCA for patients admitted to hospital: 81% of tCA was observed in emergency department (ED; $n=42$), 48% prehospital (PH; $n=25$) and 8% on intensive care unit (ICU; $n=4$).

($n=12$). In 23% ($n=12$), a penetrating trauma was responsible for tCA.

3.3. Localization of tCA (group II)

In total 25 patients acquired PH-tCA (48%), 42 patients underwent tCPR in the emergency department (ED; 81%) and 4 patients in ICU (8%). In 15 patients (29%) the PH started tCPR was continued in the ED, in one case (2%) tCPR was performed PH, in the ED and ICU and in one case in the ED and ICU (2%; Fig. 2).

In 19 out of 24 patients with PH-tCA ROSC was established (79%) and in 21 out of 40 patients in the ED (53%). Mean time from CA until ROSC PH was 12 ± 9 min, mean rescue-time was 56 ± 17 min without significant differences between blunt (56 ± 13 min) and penetrating (54 ± 30 min) trauma ($p=0.14$). No significant differences were detected with regard to the rescue time in patients with tCPR (56 ± 22 min; CPR+) and patients without tCPR (56 ± 11 min; CPR-).

3.4. Causes of traumatic cardiac arrest and initial heart rhythm (Group II)

In patients with PH-tCA, the initially monitored heart rhythm was pulse-less electric activity (PEA) in 66% ($n=16$), 30% asystole (ASYS; $n=7$) and 1 case ventricular fibrillation (VF; 4%). The initially recorded heart rhythm in the ED was in 60% PEA ($n=29$), 20% sinus rhythm ($n=10$), 14% ASYS ($n=7$), 3 cases of VF (6%) and 2 cases without recorded rhythm. No statistical significant association between the type of heart rhythm and incidence of ROSC was observed ($p=0.7$).

After reviewing the individual trauma mechanism, initial heart rhythm, anatomical injury pattern, clinical diagnostics and autopsy protocol (if available), the following causes of tCA were found:

- 25 hypovolemia (48%)
- 7 tension pneumothorax (13%)
- 7 hypoxia (13%)
- 5 pericardial tamponade (10%)
- 1 pulmonary embolism
- 1 contusion cordis with arrhythmia
- 6 no distinguishable cause of tCA (12%)

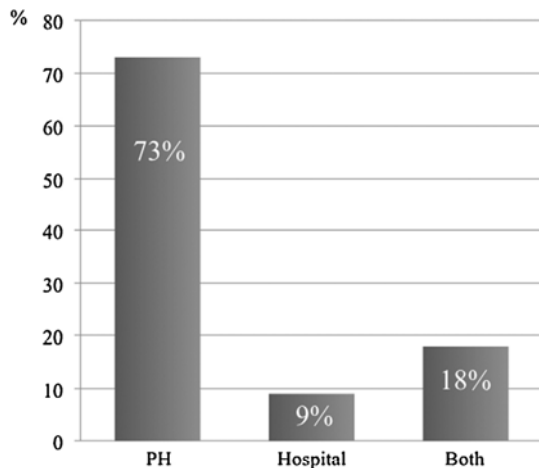


Fig. 3. Distribution of management errors according to the organizational structure where it happened: 73% occurred prehospital (PH; $n=24$), 9% in hospital ($n=3$) and 18% in both organizational structures ($n=6$).

3.5. Survival rate and outcome of tCA (Group II)

In 15 of cases tCPR patients survived (29%). Patients with tCPR on ICU survived in 100% ($n=2$), PH in 63% ($n=5$), ED in 24% ($n=6$) and PH + ED in 13% ($n=2$). One patient with tCPR PH in the ED and in ICU died.

5 Patients out of 12 with penetrating trauma survived tCPR in 42% and 10 patients out of 40 with blunt trauma (25%), without statistical significance ($p=0.3$). Survivors had significantly shorter time periods to ROSC (6 ± 3 min) when compared to non-survivors (20 ± 9 min; $p=0.006$).

The mean Glasgow outcome scale for the 15 survivors was 3.3 ± 0.7 points. One patient is still in a persistent vegetative state (GOS=2), 10 patients suffer from severe disability (GOS=3). Three patients showed moderate disability (GOS=4) and 1 patient low disability (GOS=5). In 27% of cases the survivors have good neurological outcome (GOS=4/5).

3.6. Management errors in tCPR (Group II)

In 64% ($n=33$) of all tCA patients management errors were detected. In 73% the management errors occurred in the PH setting ($n=24$), 9% in-hospital ($n=3$) and 18% in both organizational structures ($n=6$; Fig. 3).

3.7. Airway management

All patients with tCA and 97% ($n=32$) with PH GCS <9 were intubated. Only one patient with subdural haematoma and tension-pneumothorax was not intubated in the PH, despite initial GCS of 8 points. In 6 cases adjustment of the PH secured upper airways was necessary in ED. In 4 cases laryngeal tube was changed into an oro-tracheal tube and in 2 cases the cuff of the PH applied tube was defective.

3.8. Chest decompression

In 4 cases (8%) a chest tube was applied PH while in 32 patients (62%) a chest tube would have been indicated PH and was belatedly applied in ED. In 49% of PH tCPR a chest tube was necessary ($n=16$) but inserted in only 13% ($n=2$) of the cases. In 19 patients with PH

tension-pneumothorax, none or insufficient chest decompression was performed (37%).

3.9. External pelvic stabilization

20 unstable pelvic injuries were observed (39%). No PH external stabilization was performed in 19 out of 20 patients (95%) with unstable pelvic injuries.

3.10. External bleeding control

Three cases of external bleeding (2 amputation injuries lower extremity; 1 penetrating trauma groin) were not controlled either by manual compression or tourniquet because the bleeding source was not recognized.

3.11. Cause and preventability of death after tCA

In 42% ($n=22$) of cases an autopsy was performed. In 35% sTBI ($n=7$), 30% haemorrhagic shock ($n=6$), 20% penetrating heart injury ($n=4$), 1 case of tension pneumothorax, polytrauma and hypoxic brain damage, respectively, were responsible for traumatic death.

3.12. Potentially preventable deaths

In 3 cases (6%) patients with penetrating chest injury and pericardial tamponade were judged as potentially preventable traumatic deaths. In all cases no PH decompression of pericardial tamponade was performed during continued CPR. All patients died despite emergency thoracotomy, two due to hypoxic brain oedema and one due to multiple organ failure.

3.13. Definitive preventable death

One patient (2%) with penetrating cardiac injury (parasternal stab with right ventricular perforation) was initially admitted to a level 2 trauma centre without expertise in thoracic surgery. During FAST and transthoracic echocardiography, fluid in the pericardial sack was misinterpreted as being irrelevant. The patient continued to deteriorate and was transferred 3 h after admission to our trauma centre. On admission the patient received tCPR during PEA. Despite primary successful emergency thoracotomy, decompression of pericardial tamponade, suturing of right ventricular stab wound, the patient died secondary due to prolonged shock with irreversible hyperkalaemia due to reperfusion.

4. Discussion

The present study deals with the epidemiology of tCA in an urban setting and emergency physician-based rescue system. Traumatic CPR was performed in nearly a quarter of all traumatic deaths in Berlin in 2010 (Group I). Only 26% of these patients were hospitalized, 74% died at the accident site, emphasizing the outstanding impact of a sufficient emergency system on survival in tCA. We revealed a very high ROSC rate of nearly 80% (19 out of 24 patients with PH-tCA) in the PH-setting with mean resuscitation time of 12 min, compared to already published rates of less than 30% ROSC.⁵ This shows that 20% of patients with tCA where transported while CPR was performed. This can explain lower in-hospital ROSC rates (53%) despite optimal conditions and invasive therapeutic options.

We found a unique high survival rate of 29% when compared to international data (0–17%).^{5,14,18–20} Besides that, 27% of the survivors had good neurological outcome (GOS=4/5) when compared

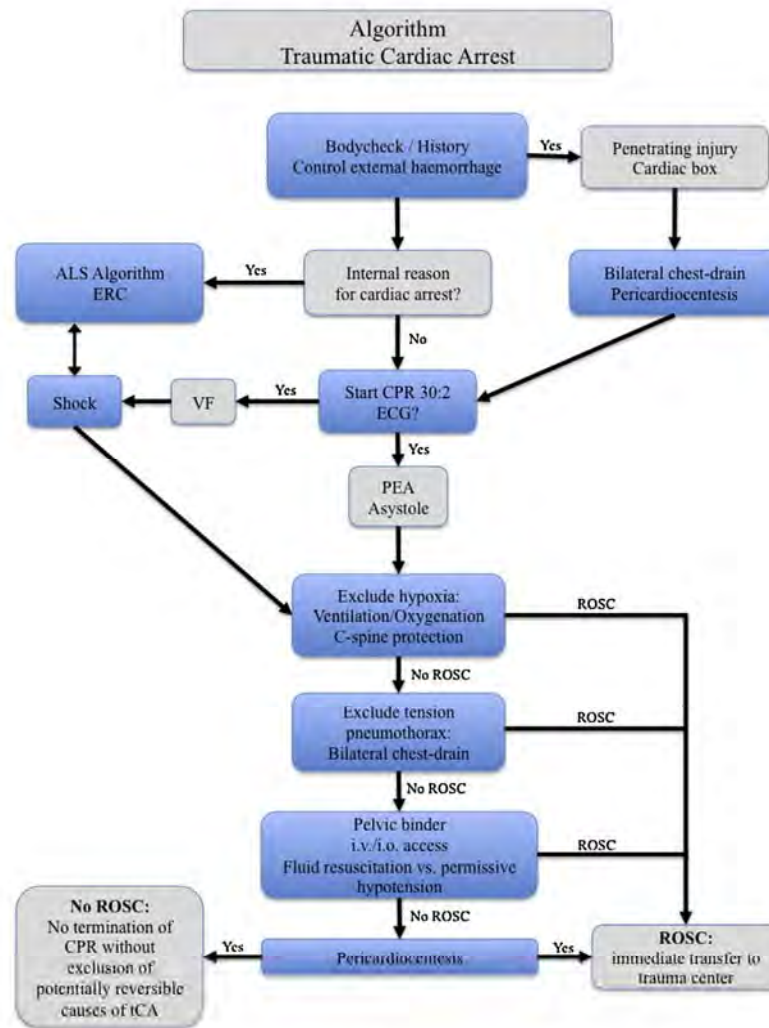


Fig. 4. Suggested algorithm for traumatic cardiac arrest: hierarchic algorithm (adapted to ATLS – guidelines) to management traumatic cardiac arrest, exclude all potentially reversible reasons for traumatic cardiac arrest and prevent management errors, potentially and definitely preventable deaths. 30:2:30 chest compression followed by 2 ventilations; CPR: cardiopulmonary resuscitation; ECG: electrocardiography; PEA: pulseless electric activity; ROSC: return of spontaneous circulation; VF: ventricular fibrillation. Due to limited audit data and lack of prospective evaluation this tCPR-algorithm stands for a starting point to develop a robust protocol in multicentre prospective study.

to 2% reported in the ERC guidelines.¹⁴ In contrast to previous studies, we did not detect a significant higher survival rate for penetrating in comparison to blunt trauma, whereas the incidence of penetrating trauma (25% group II) was exclusively more common in tCA patients (25 vs. 5%) compared to the data of the German trauma registry. Furthermore, only penetrating trauma was responsible for PP deaths ($n=3$; 6%). All patients had pericardial tamponade due to penetrating chest trauma without attempt of pericardiocentesis (needle/thoracotomy). We consider needle-decompression as a feasible and potentially successful method to temporarily stabilize patients with pericardial tamponade in the PH setting. Despite promising results from London,⁸ the in-hospital gold standard of emergency thoracotomy, is not considered by the authors to be a cost-effective and feasible method to secure nationwide medical aid in the German PH-setting yet. In fact the most common management error while tCA is non-decompression of tension/pneumothorax despite evidence for improved survival rates.^{6,21} Therefore, we recommend at least application of unilateral thoracotomy while tCA.

In order to achieve further reduction of trauma mortality in future, we recommend focusing on the education and training of emergency medicine staff and encourage bystander CPR due to an incidence of management errors of 64%; we previously revealed the PH-management as the weakest link in the chain of survival.^{3,22} Easy external bleeding control for example was part of a management error in 3 cases of PH-tCPR.

Yet there is no mandatory trauma-specific CPR-algorithm in our trauma "bibles", e.g. ATLS and DSTC manual and emergency personnel is not specifically trained on how to process tCA. How can we improve the survival of trauma patients when we do not respond to these problems?

We need a universal tCPR-algorithm according to the ERC-guidelines with clear involvement and structuring of also invasive medical measures to exclude or treat all potentially reversible causes of tCA.¹⁴ The rate of 64% management errors and 8% ($n=4$) preventable deaths in Group II highlights the need for consequent education and establishment of a simple and effective tCPR-algorithm independently of the specialization.⁹ Compatible

with our previous study for preventable traumatic deaths, PH-treatment has the highest potential to improve quality of tCPR – 73% of all management errors in trauma care occurred prior to hospital admission.¹ “Hot spots” in processing tCPR are missed injuries and invasive emergency medical measures like decompression of tension pneumothorax and pericardial tamponade, provisional external pelvic stabilization and sufficient external bleeding control.

Therefore, we adapted the more clinical tCPR-algorithm recommended from Lockey et al.²³ according to our observed management errors and PP/DP deaths focussed on the PH-setting with clear hierarchic management (adapted to ATLS-guidelines) of potentially reversible causes of tCA (Fig. 4). Due to limited audit data and lack of prospective evaluation of the tCPR-algorithm, it stands for a starting point to develop a robust protocol in multicentre prospective study.

5. Conclusion

Traumatic cardiac arrest is not a hopeless situation with survival rates of 27% and with 27% good neurological outcome. Nevertheless, trauma CPR is beyond prehospital and clinical routine with over 60% management errors and preventable deaths. We need a universal trauma CPR-algorithm. This algorithm should raise the awareness of the underlying reasons in tCA. Algorithm training and education has to involve methods, which help to recognize these reasons and provide the techniques to successfully resolve them (e.g. decompression of tension pneumothorax or pericardial tamponade and control of external bleeding control by application of external pelvic stabilization).

Conflict of interest statement

There is no conflict of interest. The corresponding author affirms that he has no relationships with a company whose product is mentioned in the article or with one that sells a competitive product. The presentation is impartial and the content is independent of commercial influence.

Acknowledgements

Contributions were made possible by DFG funding through the Berlin-Brandenburg School for Regenerative Therapies GSC 203. We thank Dr. René Gapert, UCD School of Medicine and Medical Science, Dublin/Ireland, for his contribution to the work.

References

- Kleber C, Giesecke MT, Tsokos M, Haas NP, Buschmann CT. Trauma-related preventable deaths in Berlin 2010: need to change Prehospital Management Strategies and Trauma Management Education. *World J Surg* 2013;37:1154–61.
- Pfeifer R, Tarkin IS, Rocos B, Pape HC. Patterns of mortality and causes of death in polytrauma patients – has anything changed. *Injury* 2009;40:907–11.
- Kleber C, Giesecke MT, Tsokos M, et al. Overall distribution of trauma-related deaths in Berlin 2010: advancement or stagnation of trauma management? *World J Surg* 2013;37:475.
- Kleber C, Schaser KD, Haas NP. Surgical intensive care unit – the trauma surgery perspective. *Langenbecks Arch Surg* 2011;396:429–46.
- Grasner JT, Whent J, Seewald S, et al. Cardiopulmonary resuscitation traumatic cardiac arrest – there are survivors. An analysis of two national emergency registries. *Crit Care* 2011;15:R276.
- Huber-Wagner S, Lefering R, Qvick M, et al. Outcome in 757 severely injured patients with traumatic cardiorespiratory arrest. *Resuscitation* 2007;75:276–85.
- 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* 2011;70:E75–8.
- Kleber C, Lefering R, Kleber AJ, et al. Rescue time and survival of severely injured patients in Germany. *Unfallchirurg* 2013;116:345–50.
- Grasner JT, Meybohm P, Lefering R, et al. ROSC after cardiac arrest – the RACA score to predict outcome after out-of-hospital cardiac arrest. *Eur Heart J* 2011;32:1649–56.
- Baker SP, O'Neill B, Haddon Jr W, Long WB. The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care. *J Trauma* 1974;14:187–96.
- Regel G, Pape HC, Pohlemann T, Seekamp A, Bosch U, Tscherner H. Scores as decision aids. *Unfallchirurg* 1994;97:211–6.
- Jennett B, Bond M. Assessment of outcome after severe brain damage. *Lancet* 1975;1:480–4.
- Surgeons ACo. ATLS. Advanced Trauma Life Support for Doctors 2012.
- Nolan JP, Soar J, Zideman DA, et al. European resuscitation council guidelines for resuscitation 2010 section 1. *Exec Summ Resusc* 2010;81:1219–76.
- Buschmann CT, Gahr P, Tsokos M, Ertel W, Fakler JK. Clinical diagnosis versus autopsy findings in polytrauma fatalities. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2010;18:55.
- MacKenzie EJ, Steinwachs DM, Bone LR, Floccare DJ, Ramzy AI. Inter-rater reliability of preventable death judgments. The Preventable Death Study Group. *J Trauma* 1992;33:292–302 [discussion-3].
- Shackford SR, Hollingsworth-Fridlund P, McArdle M, Eastman AB. Assuring quality in a trauma system – the Medical Audit Committee: composition, cost, and results. *J Trauma* 1987;27:866–75.
- Engdahl J, Bang A, Karlson BW, Lindqvist J, Herlitz J. Characteristics and outcome among patients suffering from out of hospital cardiac arrest of non-cardiac aetiology. *Resuscitation* 2003;57:33–41.
- Toledo FO, Gonzalez MM, Sebbag I, et al. Outcomes of patients with trauma and intraoperative cardiac arrest. *Resuscitation* 2013;84:635–8.
- Deasy C, Bray J, Smith K, et al. Traumatic out-of-hospital cardiac arrests in Melbourne, Australia. *Resuscitation* 2012;83:465–70.
- Buschmann C, Kleber C. No more tension pneumothorax in unsuccessfully resuscitated patients with penetrating chest trauma at autopsy! *Injury* 2013;44:1659–60.
- Kleber C, Giesecke M, Buschmann C. Overall distribution of trauma-related deaths in Berlin 2010: the weakest links of the chain of survival are emergency medicine and critical care: reply. *World J Surg* 2013;37:475.
- Lockey DJ, Lyon RM, Davies GE. Development of a simple algorithm to guide the effective management of traumatic cardiac arrest. *Resuscitation* 2013;84:738–42.



Letter to the Editor

Tactical Combat Casualty Care rules applied to civilian traumatic cardiopulmonary resuscitation


Sir,

We read with great interest the study by Kleber et al. investigating the epidemiology of traumatic cardiac arrest (tCA) and trying to reveal specific tasks concerning successful traumatic cardiopulmonary resuscitation (tCPR).¹ The study demonstrated unique high survival rates of 29% and with 27% good neurological outcome. However the authors also acknowledged that tCPR was beyond prehospital and clinical routine with over 60% management errors and preventable deaths: 73% of all management errors occurred prior to hospital admission. We totally agree with the authors when they state that "in order to achieve further reduction of trauma mortality in future, we recommend focusing on the education and training of emergency medicine staff and encourage bystander CPR". Nevertheless we would like to go further into the debate and wonder if the extensive experience accumulated in military trauma settings over the last decade in Iraq and Afghanistan could be useful to the authors for the creation of their tCPR management model. Actually, in the mid-1990s, a Special Operations medical research project was undertaken with the goal of improving combat trauma outcomes through optimization of the care rendered in the tactical prehospital environment. This research effort developed a new concept called Tactical Combat Casualty Care (TCCC). The core principles of TCCC are to avoid preventable deaths and to combine good medicine with good tactics. In concordance with the analysis of Kleber et al. a military study was performed to have a comprehensive perspective of battlefield death, concentrating on deaths that occurred in the premedical treatment facility environment.² For the study interval between October 2001 and June 2011, 4596 battlefield fatalities in Operation Iraqi Freedom and Operation Enduring Freedom were reviewed and analyzed. 24.3% ($n = 976$) were deemed potentially survivable (PS). The injury/physiologic focus of PS acute mortality was largely associated with hemorrhage (90.9%) and airways compromise (8.0%). This analysis highlighted the importance of TCCC to impact the outcome of combat casualties with PS injury, including strategies developed to mitigate hemorrhage on the battlefield, optimize airway management, and decrease the time from point of injury to surgical intervention. Furthermore, also illustrated in the study of Kleber et al. some of the concepts and successes noted in TCCC are gaining increasing acceptance in civilian trauma care systems, including tourniquets, hemostatic agents, intraosseous devices and hypotensive resuscitation.³ A unique subset of civilian users is

the civilian Tactical Emergency Medical Support community.⁴ This group also has to care for trauma victims in nonmilitary setting. Finally, some aspects of TCCC (the use of tourniquets to control extremity hemorrhage, the use of hemostatic agents to control external non-extremity bleeding, needle decompression of tension pneumothoraces, use of intraosseous techniques when vascular access is not available or difficult to obtain, training with scenarios based on real situations) have clear application in civilian trauma care, while other aspects of TCCC may not. Much depends on which specific civilian trauma context is being considered (urban EMS, tactical EMS, rural EMS, wilderness medicine). To conclude, we would like to know if the authors could provide their opinion regarding the feasible applications of TCCC policies in their daily practice of trauma and in the development of their tCPR-algorithm, especially in blunt traumas.

Conflict of interest statement

No conflicts of interest to declare.

References

1. Kleber C, Giesecke MT, Lindner T, Haas NP, Buschmann CT. Requirement for a structured algorithm in cardiac arrest following major trauma: epidemiology, management errors, and preventability of traumatic deaths in Berlin. *Resuscitation* 2014;85(Suppl. 3):405–10.
2. Eastridge BJ, Mabry RL, Seguin P, et al. Death on the battlefield (2001–2011): implications for the future of combat casualty care. *J Trauma Acute Care Surg* 2012;73(6 Suppl. 5):S431–7.
3. Butler Jr FK, Blackbourne LH. Battlefield trauma care then and now: a decade of Tactical Combat Casualty Care. *J Trauma Acute Care Surg* 2012;73(6 Suppl. 5):S395–402.
4. Schwartz RB, McManus Jr JG, Croushorn J, et al. Tactical medicine – competency-based guidelines. *Prehosp Emerg Care* 2011;15(Suppl. 1):67–82. 1.

Nicolas Carbonnel
Pierre Pasquier*
Mourad Bensalah
Clément Dubost
Stéphane Mérat

Intensive Care Unit, Bégin Military Teaching Hospital, 69, avenue de Paris, 94163 Saint-Mandé cedex, France

* Corresponding author at: Bégin Military Teaching Hospital, Saint-Mandé, France.
E-mail address: pasquier9606@yahoo.fr
(P. Pasquier)

2 January 2014



Reply to Letter to the Editor

Reply to Letter: Tactical combat casualty care rules applied to civilian traumatic cardiopulmonary resuscitation
Synergism of civilian and military trauma management



Sir,

We are pleased to receive such a great response and vivid scientific discussion since we published the article "Requirement for a structured algorithm in cardiac arrest following major trauma: Epidemiology, management errors, and preventability of traumatic deaths in Berlin" in this journal.

Pasquier et al. wrote a letter to the editor comparing military with our civilian results and asked for a statement on beneficial effects of military and civilian emergency medicine as well as the feasibility of tactical combat casualty care (TCCC) in civilian trauma management.¹

First of all, to us modern trauma care means an individual trauma management tailored to the patient's needs, immediate life-threats, pathophysiology, preconditions, available resources and environment. Major goals are the prevention of second hits, adverse clinical events and preventable traumatic deaths to substantially improve survival and outcome.² In several preliminary studies we revealed pre-hospital trauma management as the crucial factor to further improve the survival of trauma patients, as hospital trauma management has substantially improved over the last decades, shifting trauma mortality from the clinic to the pre-hospital phase.^{3,4} Furthermore, we revealed tension pneumothorax, exsanguination from external bleeding sources, pericardial tamponade and even not recognized trauma as potentially or definitive preventable causes of traumatic death.² In consequence of our study results we started to systematically educate emergency medical staff in trauma resuscitation courses (<http://www.ag-polytrauma.de/veranstaltungen/trauma-workshop>) and established the first civilian pre-hospital trauma resuscitation algorithm.

Second, military trauma management has always significantly influenced and improved civilian trauma care, e.g. the tool of triage, use of tourniquets, haemostatic agents, chest-seal devices, intraosseous devices and hypotensive resuscitation. Interestingly, independent of the environment and predominant trauma mechanisms, the major problem remains the same. Most of our trauma victims die before reaching a surgeon or sufficient trauma care.⁵ But there are major differences between military and civilian trauma care referring the environment, care-under-fire, reachability of trauma center (MedEvac), trauma mechanism (blunt vs. penetrating), education of first responders or emergency medical personnel, basically influencing trauma management algorithms and pre-hospital trauma care. Blunt trauma has a completely different pathophysiology compared to penetrating trauma. Therefore, neither civilian nor military algorithm can be copy-pasted and expect

to work. Specific differences must be considered and algorithms adapted to the specific needs. Both systems have their expertise leading to synergistic effects for global trauma care. In the German trauma society as well as in our polytrauma study group we traditionally perform a close cooperation of military and civilian trauma surgeons that influences our national and regional trauma management and algorithms.

To conclude, the life-threatening injuries and preventable deaths in military and civilian trauma systems are the same, but trauma mechanism, environment and emergency setting is completely different. Therefore, trauma resuscitation algorithms must address the same issues, being adapted on the situation and environment of trauma, available resources and education of the medical personnel.

Conflict of interest statement

There is no conflict of interest. The corresponding author affirms that he has no relationships with a company whose product is mentioned in the article or with one that sells a competitive product. The presentation is impartial and the content is independent of commercial influence.

References

- Butler FK. Tactical combat casualty care: update 2009. *J Trauma* 2010;69(Suppl. 1):S10–3.
- Kleber C, Giesecke MT, Tsokos M, Haas NP, Buschmann CT. Trauma-related preventable deaths in Berlin 2010: need to change prehospital management strategies and trauma management education. *World J Surg* 2013;37:1154–61.
- Kleber C, Giesecke MT, Tsokos M, et al. Overall distribution of trauma-related deaths in Berlin 2010: advancement or stagnation of German Trauma Management? *World J Surg* 2012;36:2125–30, <http://dx.doi.org/10.1007/s00268-012-1650-9>.
- Kleber C, Lefering R, Kleber AJ, et al. Rescue time and survival of severely injured patients in Germany. *Unfallchirurg* 2013;116:345–50, <http://dx.doi.org/10.1007/s00113-011-2132-5>.
- Eastridge BJ, Mabry RL, Seguin P, et al. Death on the battlefield (2001–2011): implications for the future of combat casualty care. *J Trauma Acute Care Surg* 2012;73:S431–7.

C. Kleber*

M.T. Giesecke

Center for Musculoskeletal Surgery, AG Polytrauma,
Charité – Universitätsmedizin Berlin, Augustenburger
Platz 1, 13353 Berlin, Germany

G. Kollow

Department of Emergency Medicine,
Bundeswehrkrankenhaus Berlin, Scharnhorststrasse
13, 10115 Berlin, Germany

N.P. Haas

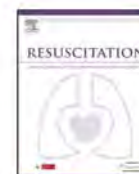
Center for Musculoskeletal Surgery, AG Polytrauma,
Charité – Universitätsmedizin Berlin, Augustenburger
Platz 1, 13353 Berlin, Germany

C.T. Buschmann
Institute of Legal Medicine and Forensic Sciences,
Charité – Universitätsmedizin Berlin, Turnstrasse 21,
Building N, 10559 Berlin, Germany

for Regenerative Therapies, Augustenburger Platz
1, 13353 Berlin, Germany.
E-mail address: christian.kleber@charite.de
(C. Kleber)

* Corresponding author at: Center for
Musculoskeletal Surgery, AG Polytrauma, Charité –
Universitätsmedizin, Berlin-Brandenburg Center

27 January 2014



Letter to the Editor

Reply to Letter: Requirement for a structured algorithm in cardiac arrest following major trauma: Epidemiology, management errors, and preventability of traumatic deaths in Berlin


Sir,

It was with great interest we read the paper by Kleber et al. presenting an algorithm in cardiac arrests following major trauma.¹ We would like to thank the research group for demonstrating the usefulness of treatment of traumatic cardiac arrest (tCA) and for the presentation of data supporting this statement. Their investigation of causes of cardiac arrest gives insight into underlying clinical disease and possible treatment options. There are a number of details that we feel should be discussed.

In the article, the majority of patients with fatal tCA had treatment stopped in the prehospital setting before presentation to the Emergency Department. This is understandable if prehospital care and treatment options are similar to those in the hospital setting and when no meaningful treatment options remain to save the patient. On-scene availability of diagnostic tools like portable ultrasound devices can simplify and speed up diagnosing treatable causes of cardiac arrest and guide therapeutic interventions e.g., pericardial drainage in case of tamponade.² The suggested needle decompression of cardiac tamponade is not without risks and demands training and skills.³ Even when the needle is in the correct position, it is debatable if the cumulated clotted blood can be aspirated adequately. Needle pericardiocentesis provides no definitive treatment unlike clot removal by thoracotomy.⁴ The use for this procedure in tCA in our opinion is therefore limited especially for an experienced physician staffed prehospital emergency service.

In the case of severe hypovolaemic shock, the algorithm suggests bleeding control and the use of a pelvic binder in combination with fluid resuscitation and permissive hypotension. If hypovolaemia is the (probable) cause of a tCA the possibility to administer type O negative blood and plasma, if available, can be considered. In our prehospital setting blood can be obtained from local hospitals. This is transported to the accident location or is given during transport to a trauma center.⁵ In the future, freeze dried plasma or (artificial) oxygen carriers may become available for these patients.

The authors have demonstrated that more patients could survive if one is able to diagnose and treat a tension pneumothorax as the cause of tCA. In these cases, point-of-care ultrasound may

contribute to early decision making. When time is of the essence, as it is in every CPR setting, the suggested bilateral chest drain insertion may be simplified by performing bilateral thoracostomies. This efficiently deflates intra thoracic overpressure on the affected side of the thorax and is a lot quicker to perform than chest tube insertion.

We agree with the authors that tCA is not a hopeless situation. Indeed, to further improve diagnosis and treatment to consequently improve patient survival and quality of life, further research is warranted. If a multicenter study starts in a European prehospital context, we suggest that the widespread use of ultrasound machines should be an integral part of the protocol.

Conflict of interest statement

We hereby state that all the listed authors, contributed substantially to this letter as stated in your "Guide for authors". There are no conflicts of interest.

References

1. Kleber C, Giesecke MT, Lindner T, et al. Requirement for a structured algorithm in cardiac arrest following major trauma: epidemiology, management errors, and preventability of traumatic deaths in Berlin. *Resuscitation* 2014;85:405–10.
2. Ketelaars R, Hoogerwerf N, Scheffer GJ. Prehospital chest ultrasound by a Dutch helicopter emergency medical service. *J Emerg Med* 2013;44:811–7.
3. Loukas M, Walters A, Boon JM, et al. Pericardiocentesis: a clinical anatomy review. *Clin Anat* 2012;25:872–81.
4. Lee TH, Queller JF, Cook M, et al. Pericardiocentesis in trauma: a systematic review. *J Trauma Acute Care Surg* 2013;75:543–9.
5. Barkana Y, Stein M, Maor R, et al. Prehospital blood transfusion in prolonged evacuation. *J Trauma* 1999;46:176–80.

Joost H. Peters*

Jan Biert

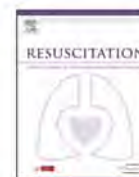
Rein Ketelaars

Radboud University Medical Center, Helicopter
Emergency Medical Service, Geert Grooteplein Zuid
10, 6525GA Nijmegen, Netherlands

* Corresponding author.

E-mail addresses: j.peters@chir.umcn.nl
(J.H. Peters), Rein.Ketelaars@radboudumc.nl
(R. Ketelaars).

1 March 2014



Reply to Letter to the Editor

Reply to letter: Requirement for a structured algorithm in cardiac arrest following major trauma: Epidemiology, management errors, and preventability of traumatic deaths in Berlin


Sir,

We are pleased to receive such a great response and vivid scientific discussion since we published our article.¹

In response to Peters et al. we consider pre-hospital treatment possibilities significantly different from hospital settings. Presenting data of pre-hospital traumatic deaths with highest incidence of preventable deaths, we recommended focusing on improvement of pre-hospital trauma management^{2,3}; nonetheless, we do not recommend resuscitating casualties with non-survivable injuries or transportation of every traumatic cardiac arrest (tCA) patient to hospital. Pre-hospital decision-making is the crucial factor, and anatomical injuries may mislead or be misinterpreted resulting in wrong decisions. Therefore, an algorithm including all potentially reversible reasons of tCA as well as further devices for enabling diagnosis of e.g. tension-pneumothorax or pericardial tamponade, is necessary

Portable ultrasound devices are useful tools in the hand of experts. Emergency physicians not routinely using the portable ultrasound might be more confused in a tCA setting than benefit from the devices. Even resuscitation itself might be prolonged due to extended investigation times,⁴ with limited pre-hospital investigation conditions (less than 55%). Furthermore, we deal with the evident problem of misleading false-negative ultrasound in trauma. To our mind, pre-hospital ultrasound to assist in deciding to which hospital severe trauma patients should be transported is not mandatory. Patients with suspected internal bleeding are a time-critical mission. We need a more pragmatic way: every trauma patients should be admitted to a highly experienced level I trauma center. Furthermore, the use of pre-hospital ultrasound might lead to unnecessary delay or default of life saving procedures. We also strive for feasible techniques like Pneumocan[®] to improve pre-hospital diagnostics, especially for most frequent definitely preventable cause of traumatic death, the tension pneumothorax.^{3,5} We totally agree that chest decompression via thoracostomy with or without chest tube insertion is the life-saving procedure. Bilateral chest decompression and pericardiocentesis should be performed always prior to termination of tCPR, also without pre-hospital ultrasound techniques – there is nothing to lose, but possibly a life at stake.

As trauma surgeons we prefer emergency thoracotomy in pericardial tamponade rather than needle pericardiocentesis with all its potential problems, but comprehensive use and training of appropriate pre-hospital emergency thoracotomy, except for highly specialized trauma rescue helicopters (as in the Netherlands or London), is currently not practicable. We extensively discussed

this issue with reviewers and colleagues and confirmed the compromise that pre-hospital emergency thoracotomy in pericardial tamponade is gold standard, but, however, recently not daily practice, and that we need to provide a less invasive, potentially feasible alternative: the pre-hospital needle pericardiocentesis. As in all other subspecialties of medicine, emergency trauma care is subject to innovative pressures from the fields of science, practical medicine and industry, particularly concerning invasive techniques. In the light of maximum invasive measures such as use of portable extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) in pre-hospital cardiopulmonary failure,⁶ we feel that needle pericardiocentesis should at least be considered in the pre-hospital situation of tCA, especially prior to termination of tCPR.

The use of permissive hypotension in exsanguinating trauma victims without neuro-trauma is a standard procedure and recommended in several guidelines. We agree to Peters et al. that in future early blood or coagulation factor substitutions should be integrated in trauma algorithms. The field of pre-hospital traumatic coagulopathy treatment is currently in its childhood but will substantially change pre-hospital trauma management in the near future, e.g. use of tranexamic acid in severe trauma patients.

To conclude, we are glad about the professional input for further advancement of our suggested pre-hospital traumatic CPR algorithm. We strive for an international meeting of all experts recently contacted us and all interested persons to improve the algorithm and set up a multicenter study to gain further evidence on traumatic cardiac arrest.

Conflict of interest statement

There is no conflict of interest. The corresponding author affirms that he has no relationships with a company whose product is mentioned in the article or with one that sells a competitive product. The presentation is impartial and the content is independent of commercial influence.

References

1. Kleber C, Giesecke MT, Lindner T, Haas NP, Buschmann CT. Requirement for a structured algorithm in cardiac arrest following major trauma: epidemiology, management errors, and preventability of traumatic deaths in Berlin. *Resuscitation* 2013.
2. Kleber C, Giesecke M, Buschmann C. Overall distribution of trauma-related deaths in Berlin 2010: the weakest links of the chain of survival are emergency medicine and critical care: reply. *World J Surg* 2013;37:475.
3. Kleber C, Giesecke MT, Tsokos M, Haas NP, Buschmann CT. Trauma-related preventable deaths in Berlin 2010: need to change prehospital management strategies and trauma management education. *World J Surg* 2013.
4. Ketelaars R, Hoogerwerf N, Scheffer GJ. Prehospital chest ultrasound by a Dutch helicopter emergency medical service. *J Emerg Med* 2013;44:811–7.
5. Lindner T, Conze M, Albers CE, Leidel BA, Levy P, Kleber C, et al. Does radar technology support the diagnosis of pneumothorax? PneumoScan—a diagnostic point-of-care tool. *Emerg Med Int* 2013;2013:489056.
6. Arlt M, Philipp A, Zimmermann M, et al. Emergency use of extracorporeal membrane oxygenation in cardiopulmonary failure. *Artif Organs* 2009;33:696–703.

C. Kleber*
M.T. Giesecke
N.P. Haas

*Center for Musculoskeletal Surgery, AG Polytrauma,
Charité – Universitätsmedizin Berlin, Augustenburger
Platz 1, 13353 Berlin, Germany*

C.T. Buschmann
*Institute of Legal Medicine and Forensic Sciences,
Charité – Universitätsmedizin Berlin, Turmstrasse 21
(Building N), 10559 Berlin, Germany*

* Corresponding author at: Center for
Musculoskeletal Surgery, AG Polytrauma, Charité –
Universitätsmedizin, Berlin-Brandenburg Center
for Regenerative Therapies, Augustenburger Platz
1, 13353 Berlin, Germany.
E-mail address: christian.kleber@charite.de
(C. Kleber)

30 March 2014

4. Diskussion

„Notfallmedizin“ beinhaltet die (Wieder-)Herstellung bzw. Aufrechterhaltung einer suffizienten systemischen Oxygenierung, einer ausreichenden Zirkulation mit Verhinderung eines Schockgeschehens sowie die Reduktion von Schmerzen und Stress. Zu diesem Zweck stehen etablierte und neue Techniken und Werkzeuge zur Verfügung. Diese müssen bei Leichenschau und Obduktion hinsichtlich ihrer Anwendung und Indikation erkannt und beurteilt werden. Neben Leichenschau und Obduktion sind insbesondere postmortale bildgebende Verfahren geeignet, Luftansammlungen, Blutungen und/oder Verschattungen, vor allem aber die korrekte/inkorrekte Lage der jeweiligen Gerätschaft zu dokumentieren [59]. Wenn rettungsdienstliche Artefakte nicht oder nur indirekt/eingeschränkt feststellbar und dokumentiert sind, wird die rechtsmedizinische Beweisführung unnötig erschwert bzw. unmöglich gemacht.

Hierzu ist zunächst anzumerken, dass nach frustraner Reanimation notfallmedizinische Geräte (Tuben, Venenverweilkatheter, Infusionen, intraossäre Zugänge, Elektroden, Thoraxdrainagen etc.) prinzipiell zur Rekonstruktion am/im Leichnam belassen werden müssen [60]. Gemäß Bestattungsgesetz(en) dürfen insbesondere bei (auch nur vermuteter) nicht-natürlicher oder ungeklärter Todesart am Leichnam nach Todesfeststellung bzw. Beendigung der Reanimationsmaßnahmen keine Veränderungen mehr vorgenommen werden [beispielhaft 61,62]. Das in der rettungsdienstlichen Praxis gültige Prinzip „Lebensrettung vor Spurenrettung“ gilt nach Todesfeststellung nicht mehr. Die tägliche rechtsmedizinische Praxis zeigt allerdings, dass die Entfernung notfallmedizinischer Verbrauchsmaterialien vom Leichnam nach frustraner Reanimation unterschiedlich gehandhabt wird bzw. regelhaft in vollständiger oder unvollständiger Weise geschieht. Ganz offensichtlich besteht diesbezüglich eine größere Unsicherheit seitens der im Rettungsdienst tätigen Personen. Konkrete Handlungsanweisungen existieren teils in rechtsmedizinischen Kapiteln rettungsdienstlicher Lehrbücher [63,64], diese werden aber nur unterschiedlich konsequent in die rettungsdienstliche Praxis umgesetzt. Als Beispiel sei der Nachweis der korrekt durchgeführten endotrachealen Intubation angeführt, welcher regelhaft präparatorisch bei der Obduktion geschieht. Nach Extubation eines erfolglos reanimierten Patienten durch den Rettungsdienst kann der Obduzent bestenfalls ein blockungsbedingtes tracheales Schleimhauthämatom bzw. einen entsprechenden Abdruck zum indirekten Nachweis der korrekten endotrachealen Tubuslage oberhalb der Carina feststellen; in unterschiedlichen Sachverhaltskonstellationen wären hier auch andere Ursachen denkbar. Auch können durch den Obduzenten

notfallmedizinische Artefakte nach Entfernung entsprechender Gerätschaften gelegentlich gänzlich falsch eingeschätzt werden [65].

Weiter ist eine sorgfältige notärztliche Dokumentation aller durchgeführten Maßnahmen zu fordern, um nach notfallmedizinischen Maßnahmen wieder entfernte Fremdkörper hinsichtlich der entstandenen Artefakte (beispielsweise nicht-rettungsdienstlich gesetzte Nadeleinstichstellen, zur Atemwegssicherung entfernte Boli oder Schnittlegungen für Drainagen) im Gesamtkontext des jeweiligen Falles beurteilen zu können. Die notfallmedizinische Arbeit kann nur hinsichtlich ihrer korrekten Durchführung evaluiert und dokumentiert werden, wenn durch den Rettungsdienst eine suffiziente Dokumentation sämtlicher Maßnahmen erfolgt ist, diese mit den erhobenen Befunden und Materialien am Leichnam verglichen werden können und Übereinstimmung besteht. Die sorgfältige rechtsmedizinische Untersuchung eines trotz notfallmedizinischer Behandlung Verstorbenen wird durch eine suffiziente Dokumentation aller durchgeführten Maßnahmen deutlich erleichtert bzw. erst ermöglicht. Nur so kann auch für den behandelnden (Not-)Arzt Rechtssicherheit bezüglich der Korrektheit der durchgeführten Maßnahmen hergestellt werden.

Ferner kann die retrospektive Einordnung eines zuvor notfallmedizinisch „bearbeiteten“ Todesfalls nur gelingen, wenn der/die Leichenschauende zumindest fundierte theoretische Kenntnisse der permanent sich fortentwickelnden Notfallmedizin besitzt. Zielsetzung ist regelmäßig hierbei neben der eventuell juristisch relevanten Analyse der Maßnahmen im Einzelfall auch die Verbesserung der notfallmedizinischen Versorgung. Anforderungen an die rechtsmedizinische Untersuchung eines zuvor notfallmedizinisch behandelten Verstorbenen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Notfallmedizin	Rechtsmedizin
Suffiziente Dokumentation der vorgefundenen Situation	Kenntnis der polizeilichen Ermittlungsakte
Suffiziente Dokumentation sämtlicher durchgeführten Maßnahmen	Theoretische Kenntnisse in der Notfallmedizin
Belassen notfallmedizinischer Verbrauchsmaterialien nach frustraner Reanimation am/im Leichnam	Postmortale Bildgebung, wenn möglich
Todesfeststellung, Leichenschau	Leichenschau, Obduktion

Tab. 1: Anforderungen an die rechtsmedizinische Evaluation eines zuvor notfallmedizinisch bearbeiteten Todesfalles

Wie ausgeführt können nicht nur die Durchführung notfallmedizinischer Maßnahmen (mit eventuellen medizinischen Komplikationen), sondern vor allem das Unterlassen notfallmedizinischer Maßnahmen für den (Not-)Arzt von juristischer Bedeutung sein [27]. Insbesondere bei traumatisch Verstorbenen besteht ein Mangel an invasiven

notfallmedizinischen Maßnahmen [55]. Neben der Beurteilung von iatrogenen Verletzungen/Artefakten am Leichnam muss bei Leichenschau und Obduktion also auch die Nicht-Durchführung einer indizierten notfallmedizinischen Maßnahme zur weiteren Bewertung des einzelnen (Trauma-) Todesfalles hinterfragt werden – beispielhaft sei hier nochmals auf den nicht-entlasteten Spannungspneumothorax verwiesen. Die rechtsmedizinische Einschätzung der Vermeidbarkeit des jeweiligen Todesfalles kann jedoch grundsätzlich nur in Kenntnis der individuellen Fallkonstellation erfolgen (Tab. 2).

Relevante Informationen	Beispiele
Trauma-Mechanismus	Sturz aus der Höhe, Verkehrsunfall (Fußgänger, PKW), stumpfe / scharfe Gewalt, Bahnüberfahung
Verletzungsmuster	Polytrauma, isolierte Schädel-Hirn-, Thorax, Becken-, Extremitätenverletzung
Vorbestehende Erkrankungen	Koronare Herzerkrankung, arterieller Hypertonus, chronisch-obstruktive Lungenerkrankung
Zeitlicher Ablauf	Augen- / Ohrenzeugen, ggf. (initiale) Handlungsfähigkeit
Durchgeführte notfallmedizinische Maßnahmen	Airway management, Blutstillung, Thoraxdekompression, Reanimation

Tab. 2: Ausgewählte Individualfaktoren bezüglich der potentiellen Vermeidbarkeit eines traumatischen Todesfalles

Die eingeleitete notfallmedizinische Therapie resultiert beim Trauma-Patienten aus dem festgestellten Verletzungsmuster. Die notärztliche Einschätzung der Verletzungsschwere ist Gegenstand zahlreicher Untersuchungen und scheint teils erheblich fehlerbehaftet zu sein, was zu bedeutenden therapeutischen Konsequenzen führen kann [66,67,68]. Insbesondere hinsichtlich der Einleitung von Reanimationsbemühungen nach Trauma ist von einer signifikanten präklinischen Irrtumshäufigkeit im Sinne einer Überschätzung der Verletzungsschwere (mit entsprechendem Unterlassen von Wiederbelebungsversuchen) auszugehen [69]. Medico-legale Bedeutung erlangt aber vor allem das Unterlassen von Reanimationsbemühungen ohne das Vorliegen mindestens eines der drei sicheren Todeszeichen Livor mortis, Rigor mortis oder Leichenfäulnis bzw. die Falschbeurteilung von unsicheren Todeszeichen (Tab. 4). Generell werden falsch-positive Todesfeststellungen sowohl aus der Laien- wie auch aus der Fachpresse immer wieder unter dem Begriff „Lazarus-Phänomen“ bekannt [70].

Sichere Todeszeichen	Unsichere Todeszeichen, z. B.
Totenflecke (Livor mortis)	Atemstillstand
Totenstarre (Rigor mortis)	Pulslosigkeit
Fäulnis	Atonie
(Nicht-überlebende Verletzung - s. Text)	("Leichen-)Blässe
	Hypothermie ("Nobody is dead until WARM and dead")

Tab. 3: Sichere und unsichere Todeszeichen

Die äußerlich sichtbare „nicht überlebende Verletzung“ (z. B. Dekapitation, komplette quere Durchtrennung oder Fragmentation des Körpers) erfordert selbstverständlich keine Reanimationsbemühungen. Allerdings gilt es differentialdiagnostisch stets zu bedenken, dass auch Verletzungen und Verletzungsmuster, die äußerlich nicht sichtbar sind, den unmittelbaren Todeseintritt zur Folge haben können, insbesondere nach erlittenem stumpfem Trauma, beispielsweise einem Sturz aus der Höhe (z. B. traumatische Aortenruptur, massive kardiale Verletzungen). Die Tatsache, dass tödliche Verletzungsmuster bei der initialen Ganzkörperuntersuchung („Bodycheck“) bzw. der äußeren Leichenschau nicht nur leicht übersehen werden können, sondern teils äußerlich überhaupt nicht erkennbar sind, ist bekannt [71,72,73]. Umgekehrt können äußerlich sichtbare schwerste Verletzungsmuster, die initial als „nicht-überlebend“ eingeschätzt werden, bei adäquater Behandlung prinzipiell durchaus überlebt werden (Beispiel: schwere Brandverletzungen, offenes Stirnhirntrauma).

Insgesamt ereignen sich möglicherweise in Deutschland, jedenfalls aber in Berlin, mehr als die Hälfte aller traumatisch bedingten Todesfälle präklinisch und damit im Zuständigkeitsbereich des Rettungsdienstes [54]. Als Ursache hierfür ist neben schwersten, medizinisch nicht beherrschbaren Verletzungsmustern die insuffiziente bzw. Nicht-Durchführung invasiver Maßnahmen nach Trauma, aber auch die notärztliche Fehlbewertung der Verletzungsschwere (mit entsprechendem Unterbleiben von Reanimationsbemühungen) denkbar. Hierzu sind weitere, ggf. multizentrische Studien erforderlich, auch um möglichen regionalen Unterschieden und Gegebenheiten Rechnung zu tragen. Die „nicht-überlebende Verletzung“ ist als sicheres Todeszeichen *per se* ungeeignet [74]. Bei Fehlen eines der drei sicheren Todeszeichen müssen bedarfsadaptiert an den jeweiligen Fall gegebenenfalls invasive Notfallmaßnahmen ergriffen werden.

Ein „Mehr“ an Invasivität insbesondere beim polytraumatisierten Patienten dürfte zur weiteren Verringerung insbesondere der präklinischen Traumaletalität führen und ist zu fordern. Im Falle einer traumatisch bedingten, erfolglos verlaufenen Reanimation ist –

wie in den vorstehenden Arbeiten dargestellt – insbesondere bei Leichenschau und Obduktion auf die in Tabelle 4 aufgeführten Besonderheiten zu achten.

Fragestellung	Potentiell resultierende Komplikation(en)	Potentiell vermeidbare Todesursache
Wurde der Körper vollständig entkleidet?	Übersehen gravierender Verletzungen	Insuffiziente / keine Therapie
Wurde bei Vorliegen eines Weichteilemphysems / vor Abbruch der Reanimation eine beidseitige Thoraxdekompression durchgeführt? Wenn ja, wie?	(Persistierender) Spannungspneumothorax	Spannungspneumothorax
Wurde bei Vorliegen einer klinisch instabilen Beckenfraktur präklinisch eine provisorische Beckenstabilisierung durchgeführt? Wenn ja, wie?	Persistierende Blutung	Hämorrhagischer Schock
Wurde bei Vorliegen einer klinisch instabilen Beckenfraktur präklinisch ausschließlich mit intraossären Zugängen an den unteren Extremitäten gearbeitet?	Ausschließliche Infundierung in Bauchraum / Retroperitoneum	Insuffiziente / keine Therapie
Wurde bei relevantem Blutverlust nach außen eine Blutstillung unternommen? Wenn ja, wie?	Persistierende Blutung	Hämorrhagischer Schock

Tab. 4: Checkliste für die rechtsmedizinische Evaluation eines zuvor notfallmedizinisch bearbeiteten Trauma-Todesfalles bei Leichenschau und Obduktion

Insbesondere die beidseitige Thoraxdekompression vor frustriertem Abbruch einer traumatisch bedingten Reanimation wird zwar empfohlen [56], hat jedoch bis heute nur sporadisch Einzug in die Behandlung des traumatisch bedingten Herzkreislaufstillstandes gefunden. Von rechtsmedizinischer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Thoraxentlastung durch Mini-Thorakotomie (ohne Einbringen entsprechender Drainagen), wie sie in der aktuellen S3-Leitlinie zur Polytraumaversorgung vorgesehen ist [75]. Derartige Thoraxverletzungen dürfen nach erfolgloser Reanimation nicht mit anderweitigen penetrierenden Thoraxtraumata verwechselt werden [76]. Gleiches gilt differentialdiagnostisch für weitere Reanimationsartefakte [46,77].

Die Notwendigkeit, bestehende notfallmedizinische Algorithmen und Abläufe kontinuierlich zu evaluieren und fortzuentwickeln, ist – wie in jedem anderen Teilgebiet der Medizin – auch angesichts der hier vorgestellten Daten offensichtlich. Die notfallmedizinische Forschung unterliegt allerdings aufgrund der Besonderheiten und Akuität der individuellen Notfallsituation und auch des heterogenen Patientenkollektivs besonderen Bedingungen und Erschwernissen; so werden Notfallpatienten beispielsweise generell als nicht-einwilligungsfähig angesehen [78]. Die Tatsache, dass die notfallmedizinische Datenlage entsprechend spärlicher ist als beispielsweise klinische Verlaufsbeobachtungen unter kontrollierten Bedingungen, Verstorbene nach notfallmedizinischer Behandlung aber häufig einer rechtsmedizinischen Untersuchung zugeführt werden, bietet in dieser Hinsicht erhebliches Potenzial.

Der Goldstandard der notfallmedizinischen Qualitätskontrolle im Todesfall ist die Obduktion; bildgebende postmortale Verfahren können ergänzend sinnvoll eingesetzt werden, wenngleich nicht abzusehen ist, dass diese eine Obduktion ersetzen [79]. Es wäre beispielsweise – in Absprache mit der ermittlungsführenden Staatsanwaltschaft – eine retrospektive Evaluation (präklinischer) traumatisch bedingter Todesfälle im Rahmen von interdisziplinären Fallkonferenzen oder auch die Vernetzung rechtsmedizinischer Obduktionsergebnisse mit klinischen Datenbanken (z. B. TraumaRegister® der DGU) nicht nur denkbar, sondern wünschenswert. Als Perspektive in der notfallmedizinischen Forschung werden Studiennetzwerke zukünftig an Bedeutung gewinnen [80]. Eine entsprechende Kooperation zwischen Notfall- und Rechtsmedizin zur Evaluierung und Verbesserung der notfallmedizinischen Versorgung ist anzustreben.

Während der Notfallmediziner in forensisch relevanten Fällen zur rechtsmedizinischen Rekonstruktion zwar wichtige Informationen beisteuert, kann der Rechtsmediziner von notfallmedizinischen Kenntnissen nicht nur retrospektiv bei Leichenschau und Obduktion, sondern auch aktiv im Rahmen des eigenen ärztlichen Handelns profitieren. Beispielhaft sei in diesem Kontext auf rechts- und notfallmedizinische Aspekte bei Beurteilung der Verhandlungsfähigkeit im schriftlichen Gutachten und in der Hauptverhandlung verwiesen [81,82,83].

Die vorliegende Arbeit macht deutlich, dass zwischen Notfall- und Rechtsmedizin zwar erhebliche Unterschiede in der Herangehensweise an den jeweilig zu bearbeitenden Fall bestehen (kurativ-therapeutisch vs. retrospektiv-rekonstruktiv), allerdings auch erhebliche Gemeinsamkeiten und Schnittmengen erkennbar sind. Die dauerhafte interdisziplinäre Kooperation zwischen Notfall- und Rechtsmedizin weist nicht nur ein deutliches notfallmedizinisches Fortbildungspotential bezüglich des jeweiligen Einzelfalles auf, sondern auch insgesamt ein erhebliches forschendes Innovationspotential bezüglich insbesondere der retrospektiven Evaluation präklinischer Notfallmaßnahmen und Algorithmen. Aktuell bilden derartige Kooperationen in Deutschland allerdings (noch) die Ausnahme.

5. Zusammenfassung

Zur Befundinterpretation ist es für den leichenschauenden Arzt nicht nur zwingend erforderlich, dass durch medizinische Notfallmaßnahmen hervorgerufene Artefakte am erfolglos reanimierten Patienten als solche erkannt und diese bezüglich Indikation und Durchführung beurteilt werden – auch die Nicht-Realisierung notfallmedizinischer Maßnahmen muss hinsichtlich möglicher Indikationen beurteilt werden und kann medizinische, ggf. auch forensische Relevanz erlangen. Insbesondere beim frustran reanimierten Trauma-Patienten ist bei Leichenschau und Obduktion regelmäßig trotz entsprechender Indikation die Nicht-Durchführung invasiver notfallmedizinischer Maßnahmen anzutreffen. Im Falle einer traumatisch bedingten Reanimation ist am Leichnam insbesondere festzustellen und zu dokumentieren, ob dieser vollständig durch Rettungskräfte entkleidet wurde, ob und wie bei Vorliegen eines Weichteilemphysems oder vor Abbruch von Reanimationsbemühungen eine beidseitige Thoraxdekompression durchgeführt wurde, ob und wie bei Vorliegen einer klinisch instabilen Beckenfraktur eine präklinische Beckenstabilisierung durchgeführt wurde bzw. ob ausschließlich mit intraossären Zugängen an den unteren Extremitäten gearbeitet wurde. Die rechtsmedizinische Einschätzung der Vermeidbarkeit des jeweiligen Todesfalles kann grundsätzlich nur in Kenntnis der gesamten individuellen Fallkonstellation erfolgen. Der Goldstandard der notfallmedizinischen Qualitätskontrolle im Todesfall ist die Obduktion.

Die Notwendigkeit, bestehende notfallmedizinische Algorithmen und Abläufe kontinuierlich zu evaluieren und fortzuentwickeln, ist insbesondere für die traumatisch bedingte Reanimationssituation evident. Durch eine interdisziplinäre Kooperation zwischen Notfallmedizin und Rechtsmedizin kann diesem Anliegen Rechnung getragen werden. Der rechtsmedizinisch tätige Arzt kann von notfallmedizinischen Kenntnissen jedoch nicht nur retrospektiv bei Leichenschau und Obduktion, sondern auch aktiv im Rahmen des eigenen ärztlichen Handelns profitieren, beispielsweise existieren rechts-, aber auch notfallmedizinische Aspekte bei der Beurteilung der Verhandlungsfähigkeit im schriftlichen Gutachten und in der Hauptverhandlung. Zwischen Notfallmedizin und Rechtsmedizin bestehen erhebliche Gemeinsamkeiten und Schnittmengen.

6. Literaturverzeichnis

1. Pollak S, Auwärter V, Große Perdekamp M, et al. (2012) Mit Geschichtsbewusstsein in die Zukunft. Rechtsmedizin 22:229-36
2. Schneider V (2004) Geleitwort. In: Madea B, Preuß J (Hrsg.) 100 Jahre Deutsche Gesellschaft für Rechtsmedizin: Entwicklung und wissenschaftliche Schwerpunkte. Shaker Verlag, Aachen/Herzogenrath, pp VII-IX
3. Eisenmenger W (2004) Geleitwort. In: Madea B, Preuß J (Hrsg.) 100 Jahre Deutsche Gesellschaft für Rechtsmedizin: Entwicklung und wissenschaftliche Schwerpunkte. Shaker Verlag, Aachen/Herzogenrath, pp V-VI
4. Strauch H, Wirth I, Klug E (1992) Über die Gerichtliche Medizin in Berlin. Schrift der Medizinischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin und der Freien Universität Berlin
5. Wirth I, Strauch H, Radam G (1986) Das Berliner Leichenschauhaus und das Institut für Gerichtliche Medizin 1886-1986. Wissenschaftliche Schriftenreihe der Humboldt-Universität zu Berlin
6. Historie des Institut für Rechtsmedizin der Charité – Universitätsmedizin Berlin. <http://remed.charite.de/institut/historie>, zuletzt aufgerufen am 24. Juni 2014
7. Fischer F, Graw M, Eisenmenger W (2004) Rechtsmedizin in der Bundesrepublik Deutschland und nach der Wiedervereinigung. In: Madea B, Preuß J (Hrsg.) 100 Jahre Deutsche Gesellschaft für Rechtsmedizin: Entwicklung und wissenschaftliche Schwerpunkte. Shaker Verlag, Aachen/Herzogenrath, p 97 ff
8. Brandt L (2012) Historische Einführung. In: Scholz J, Sefrin P, Böttiger BW, et al. (Hrsg.) Notfallmedizin (2. Auflage). Georg Thieme Verlag, Stuttgart, pp 4-11
9. Tscherne H, Regel G (Hrsg.) Trauma-Management (Tscherne Unfallchirurgie), Springer Verlag 1997, Berlin/Heidelberg/New York/Tokio
10. Sefrin P (2012) Nichtärztliches Personal. In: Scholz J, Sefrin P, Böttiger BW, et al. (Hrsg.) Notfallmedizin (2. Auflage). Georg Thieme Verlag, Stuttgart, pp 470-2
11. http://www.bmg.bund.de/fileadmin/dateien/Downloads/Gesetze_und_Verordnungen/Laufende_Verfahren/N/Notfallsanitaeter/120530_Entwurf_eines_Gesetzes_ueber_den_Beruf_der_Notfallsanitaeterin_und_des_Notfallsanitaeters_sowie_zur_Aenderung_des_Hebbammengesetzes.pdf, zuletzt aufgerufen am 24. Juni 2014
12. Kirschner M (1938) Die fahrbare chirurgische Klinik. Der Chirurg 10:713-5
13. Kessel N (2008) Geschichte des Rettungsdienstes 1945-1990. Vom „Volk von Lebensrettern“ zum Berufsbild „Rettungsassistent/in“. Peter Lang Verlag, Frankfurt/Main
14. Sefrin P, Stratmann D (2012) Nichtärztliches Personal. In: Scholz J, Sefrin P, Böttiger BW, et al. (Hrsg.) Notfallmedizin (2. Auflage). Georg Thieme Verlag, Stuttgart, pp 473-9
15. Gries A, Arntz HR, Lackner CK, et al. (2010) Facharzt für Notfallmedizin – Pro und Kontra. Notfall Rettungsmed 13:469-74

16. Kersting A, Schulz F, Kontokollias JS (1995) Komplikationen bei der präklinischen Reanimation. Dtsch Med Wochenschr 120:1475-8
17. Heide S, Romanowski U, Kleiber M (2004) Notarzteinsatz mit fataler Folge. Rechtsmedizin 14:37-9
18. Doberentz E, Unkrig S, Madea B (2008) Ersticken nach misslungener Anlage eines zentralen Venenkatheters. Rechtsmedizin 18:445-50
19. Tien H, Chu PTY, Brenneman F (2004) Causes of death following multiple trauma. Curr Orth 18:304-10
20. Gräsner JT, Wnent J, Gräsner I, et al. (2012) Einfluss der Basisreanimationsmaßnahmen durch Laien auf das Überleben nach plötzlichem Herztod. Notfall Rettungsmed 15:593-9
21. Buschmann C, Zechmeister E, Schulz F (2009) Myokardperforation durch Kalkplaques nach primär erfolgreicher Reanimation. Notfall Rettungsmed 13:52-7
22. Buschmann C, Stenzel W, Martin H, et al. (2013) Calcified myocardial necrosis in pediatric patients after cardiopulmonary resuscitation. Forensic Sci Med Pathol 9:543-50
23. Gottschalk A, Burmeister MA, Blanc I, et al. (2003) Trachealruptur – eine seltene Komplikation. Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 38: 59-61
24. Buschmann C, Tsokos M (2008) Iatrogene Traumata nach frustraner Reanimation. Der Notarzt 24:197-202
25. Buschmann C, Tsokos M (2009) Frequent and rare complications of resuscitation attempts. Intensive Care Med 35:397-404
26. Buschmann C, Kleber C (2014) Spannungspneumothorax als internistischer Notfall: Reanimation bei infektexazerbierter COPD. Der Notarzt 30:16-20
27. Buschmann C, Tsokos M, Peters M, et al. (2012) Obduktionsbefunde und Interpretation nach frustraner Reanimation. Der Notarzt 28:149-61
28. Buschmann C, Gahr P, Tsokos M, et al. (2010) Clinical diagnosis versus autopsy findings in polytrauma fatalities. Scand J Trauma Resusc Emerg Med 18:55
29. Maio RF, Burney RE, Gregor MA, et al. (1996) A Study of Preventable Trauma Mortality in Rural Michigan. J Trauma 41:83-90
30. Krug EG, Mercy JA, Dahlberg LL, et al. (2002) The world report on violence and health. Lancet 360:1083-8
31. Kamski L, Frank E, Wenzel V (2012) Suizidalität von Medizinstudierenden. Der Anästhesist 61:984-8
32. Große Perdekamp M, Pollak S, Thierauf A (2010) Medicolegal evaluation of suicidal deaths exemplified by the situation in Germany. Forensic Sci Med Pathol 6:58-70
33. Berzewski H, Pajonk FGB (2012) Suizid – Suizidversuch – Suizidalität. Notfall Rettungsmed 15:586-92
34. Schmidtke A, Sell R, Wohner J, et al. (2005) Epidemiologie von Suizid und Suizidversuch in Deutschland. Suizidprophylaxe 32:87-93

35. Fiedler G (2002) Suizide, Suizidversuche und Suizidalität in Deutschland – Daten und Fakten <http://www.suicidology.de/online-text/daten.pdf>, zuletzt aufgerufen am 24. Juni 2014
36. Diekstra RFW (1996) The epidemiology of suicide and parasuicide. *Arch Suicide Res* 2:1-29
37. Buschmann C, Guddat SS, Tsokos M (2010) Der besondere Fall im Bild – Abschiedsbrief auf dem Körper nach genitaler Selbstbeschädigung. *Rechtsmedizin* 20:419-22
38. Buschmann C, Herre S, Koch A, et al. (2009) Suizidale WC-Reiniger-Intoxikation. *Rechtsmedizin* 19:297-8
39. Hayashi T, Buschmann C, Riesselmann B, et al. (2013) Circumstantial and toxicological features of deaths from self-administered intravenous anesthetic/narcotic agents. *Forensic Sci Med Pathol* 9:138-44
40. Šidlo J, Valko S, Valent D (2009) Suizid durch ein ungewöhnliches Hiebinstrument. *Rechtsmedizin* 19:165-7
41. Schneider V, Rothschild MA (2003) Leichenschau am Tatort. In: Brinkmann B, Madea B (Hrsg.) *Handbuch gerichtliche Medizin 1*. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, p 52 ff
42. Dobson J (1951) Cardiac action after “death” by hanging. *Lancet* 261:1222-4
43. Schulz F, Schäfer HJ, Püschel K, et al. (2011) Bowel wall hemorrhage after death by hanging. *Int J Legal Med* 125:403-10
44. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010. www.erc.edu, zuletzt aufgerufen am 24. Juni 2014
45. Püschel K, Schulz F, Darrmann I, et al. (1999) Macromorphology and histology of intramuscular hemorrhages in cases of drowning. *Int J Legal Med* 112:101-6
46. Schulz F*, Buschmann C*, Braun C, et al. (2011) Haemorrhages into the back and auxiliary breathing muscles after death by hanging. *Int J Legal Med* 125:863-71
47. Solhi H, Pazoki S, Mehrpour O, et al. (2012) Epidemiology and prognostic factors in cases of near hanging presenting to a referral hospital in Arak, Iran. *J Emerg Med* 43:599-604
48. Gunnell D, Bennewith O, Hawton K, et al. (2005) The epidemiology and prevention of suicide by hanging: a systematic review. *Int J Epidemiol* 34:433-42
49. Wee JH, Park KN, Oh SH, et al. (2012) Outcome analysis of cardiac arrest due to hanging injury. *Am J Emerg Med* 30:690-4
50. Baker SP, O’Neill B, Haddon W, et al (1974) The Injury Severity Score. A method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care. *J Trauma* 14:187-96
51. Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) TraumaRegister Jahresbericht 2012. http://www.traumaregister.de/images/stories/downloads/jahresberichte/tr-dgu-jahresbericht_2012.pdf, zuletzt aufgerufen am 24. Juni 2014

52. Hoitz J, Lampl L (2004) Polytrauma: Präklinische Versorgung. Notfall Rettungsmed 7:589-603
53. Kleber C, Lefering R, Kleber AJ, et al. (2013) Rettungszeit und Überleben von Schwerverletzten in Deutschland. Der Unfallchirurg 116:345-50
54. Kleber C, Giesecke MT, Tsokos M, et al. (2012) Overall Distribution of Trauma-related Deaths in Berlin 2010: Advancement or Stagnation of German Trauma Management? World J Surg 36:2125-30
55. Kleber C, Giesecke MT, Tsokos M, et al. (2013) Trauma-related Preventable Deaths in Berlin 2010: Need to Change Prehospital Management Strategies and Trauma Management Education. World J Surg 37:1154-61
56. Huber-Wagner S, Lefering R, Qvick M, et al. (2007) Outcome in 757 severely injured patients with traumatic cardiorespiratory arrest. Resuscitation 75:276-85
57. Buschmann C, Kleber C (2013) No more tension pneumothorax in unsuccessfully resuscitated patients with penetrating chest trauma at autopsy! Injury 44:1659-60
58. Kleber C, Giesecke MT, Lindner T, et al. (2014) Requirement for a structured algorithm in cardiac arrest following major trauma: Epidemiology, management errors, and preventability of traumatic deaths in Berlin. Resuscitation 85:405-10
59. Buschmann C, Kleber C, Schulz T, et al. (2012) Notfallmedizin aktuell – Obduktionsbefunde. Rechtsmedizin 22:197-216
60. Buschmann C, Kleber C (2013) Entfernung notfallmedizinischer Verbrauchsmaterialien vom Leichnam nach frustraner Reanimation. Rettungsdienst 36(1):77-9
61. Berliner Gesetz über das Leichen- und Bestattungswesen in der Fassung vom 02.11.1973 (GVBl. 5. 1830), geändert durch die Gesetze vom 05.03.1987, 09.12.1988, 08.02.1994 und 21.09.1995 (GVBl. 5. 998, 2263, 71, 608), § 6 (2). <http://www.postmortal.de/Recht/Bestattungsrecht-BRD/Bestattungsrecht-Laender/Berlin/berlin.html#bestag>, zuletzt aufgerufen am 24. Juni 2014
62. Brandenburgisches Bestattungsgesetz (BbgBestG) in der Fassung vom 7. November 2001 (GVBl.I/01 S.226), § 6(3). <http://www.postmortal.de/Recht/Bestattungsrecht-BRD/Bestattungsrecht-Laender/Brandenburg/brandenburg.html>, zuletzt aufgerufen am 24. Juni 2014
63. Ahne T, Ahne S, Bohnert M (2010) Rechtsmedizinische Aspekte der Notfallmedizin. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, p 51
64. Püschel K, Schneider M, Buschmann C (2014) Sterben und Tod. In: Kühn D, Luxem J, Runggaldier K (Hrsg) Rettungsdienst (6. Auflage). Urban & Fischer Verlag, München/Berlin (*im Druck*)
65. Schröder AS, Püschel K, Anders S (2010) Stichbeibringung an den Beinen? Fallstricke bei der äußeren Leichenschau nach notärztlicher Behandlung. Rechtsmedizin 20:515-8
66. Aufmkolk M, Ruchholtz S, Hering M, et al. (2003) Wertigkeit der subjektiven Einschätzung der Thoraxverletzungsschwere durch den Notarzt. Der Unfallchirurg 106:746-53

67. Matthes G, Schmucker U, Frank M, et al. (2013) Notärztliche Einschätzung der Verletzungsschwere am Unfallort. *Der Unfallchirurg* 116:825-30
68. Muhm M, Danko T, Madler C, et al. (2011) Präklinische Einschätzung der Verletzungsschwere durch Notärzte. *Der Anästhesist* 60:534-40
69. Pickens JJ, Copass MK, Bulger EM (2005) Trauma Patients Receiving CPR: Predictors of Survival. *J Trauma* 58:951-8
70. Herff H, Loosen SJ, Paal P, et al. (2010) Falsch-positive Todesfeststellungen – Erklärt das Lazarus-Phänomen teilweise falsch-positive Todesfeststellungen im Rettungsdienst in Deutschland, Österreich und der Schweiz? *Der Anästhesist* 59:342-6
71. Schulz F, Hildebrand E (1992) Ungewöhnliche Todesfälle durch Glassplitterverletzung. *Arch Kriminol* 189:145-52
72. Byard RW (2012) How reliable is external examination in identifying internal injuries – Casper's sign revisited. *J Forensic Legal Med* 19:419-21
73. Große Perdekamp M, Pollak S, Bohnert M, et al. (2009) Äußere Leichenschau – Untersuchung mit begrenzten Erkenntnismöglichkeiten. *Rechtsmedizin* 19:413-7
74. Buschmann C, Kleber C, Thamm OC, et al. (2013) „Mit dem Leben nicht vereinbare Verletzung“ – ein sicheres Todeszeichen? *Rettungsdienst* 36(6):32-4
75. Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie (Hrsg, federführend) et al. S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung. AWMF online http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-019I_S3_Polytrauma_Schwerverletzten-Behandlung_2011-07_01.pdf zuletzt aufgerufen am 24. Juni 2014
76. Buschmann C, Schulz T, Tsokos M, et al. (2013) Emergency medicine techniques and the forensic autopsy. *Forensic Sci Med Pathol* 9:48-67
77. Hammer U, Büttner A (2012) Distinction between forensic evidence and post-mortem changes of the skin. *Forensic Sci Med Pathol* 8:330-3
78. Köhler M (2002) Medizinische Forschung in der Behandlung des Notfallpatienten. *NJW* 12: 853-7
79. Oberladstaetter D, Braun P, Freund MC, et al. (2012) Autopsy is more sensitive than computed tomography in detection of LUCAS-CPR related non-dislocated chest fractures. *Resuscitation* 83:e89-90
80. Spöhr F, Wenzel V, Böttiger B (2012) Forschung in der Notfallmedizin. In: Scholz J, Sefrin P, Böttiger BW, et al. (Hrsg.) *Notfallmedizin* (2. Auflage). Georg Thieme Verlag, Stuttgart, pp 14-7
81. Buschmann C (2011) Rechts- und notfallmedizinische Aspekte bei Beurteilung der Verhandlungsfähigkeit im schriftlichen Gutachten und in der Hauptverhandlung. In: Paul B, Peters M, Ekkernkamp A (Hrsg.) *Kompodium der medizinischen Begutachtung – effektiv und rechtssicher*. Spitta Verlag, Balingen, pp II-12.1 – II-12.7

82. Buschmann C, Peters M (2011) Der kranke Angeklagte: Rechts- und notfallmedizinische Aspekte in der Hauptverhandlung. Arch Kriminol 228:160-70
83. Buschmann C, Peters M (2013) How sick is the defendant? Forensic and emergency medical aspects at trial. Legal Med (Tokyo) 15:38-42

7. Danksagung

Ich möchte mich bei den nachfolgenden Personen für die vielfältige Unterstützung bedanken, ohne welche die Erstellung der vorliegenden Habilitationsschrift nicht möglich gewesen wäre:

- Prof. Dr. med. Michael Tsokos
(Direktor des Institutes für Rechtsmedizin der Charité – Universitätsmedizin Berlin),
- dem gesamten Team der Forensischen Pathologie des Institutes für Rechtsmedizin der Charité – Universitätsmedizin Berlin (Direktor: Prof. Dr. med. Michael Tsokos), insbesondere aber Oberarzt Dr. med. Andreas Correns,
- Dr. med. Christian Kleber (Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie – Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité – Universitätsmedizin Berlin, Campus Virchow [Direktor: Prof. Dr. med. Dr. h. c. N. P. Haas]),
- dem gesamten Team der AG Polytrauma des Centrums für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité – Universitätsmedizin Berlin, Campus Virchow (Leitung: Dr. med. C. Kleber),
- PD Dr. med. Hajo Reissmann, MBA
(Facharzt für Anästhesiologie – Leitung der Stabsstelle Medizinischer Sachbedarf des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein),
- Dr. med. Oliver C. Thamm
(Funktionsoberarzt, Facharzt für Plastische und Ästhetische Chirurgie – Klinik für Plastische Chirurgie, Krankenhaus Köln-Merheim [Chefarzt: Prof. Dr. med. P. Fuchs]),
- Dr. med. Friedrich Schulz
(Facharzt für Rechtsmedizin – vormals Leiter des Forensisch-Medizinischen Dienstes am Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf [Direktor: Prof. Dr. med. K. Püschel]),
- meiner Ehefrau Corinna,
- meinen Eltern und Geschwistern.

8. Erklärung

§ 4 Abs. 3 (k) der HabO der Charité – Universitätsmedizin Berlin

Hiermit erkläre ich, dass

- weder früher noch gleichzeitig ein Habilitationsverfahren durchgeführt oder angemeldet wurde,

- die vorgelegte Habilitationsschrift ohne fremde Hilfe verfasst, die beschriebenen Ergebnisse selbst gewonnen sowie die verwendeten Hilfsmittel, die Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftlern/Wissenschaftlerinnen und mit technischen Hilfskräften sowie die verwendete Literatur vollständig in der Habilitationsschrift angegeben wurden, und

- mir die geltende Habilitationsordnung bekannt ist.

Berlin, im Juni 2014

(Dr. med. Claas T. Buschmann)