

UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF

Aus der Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie
des Zentrums für Anästhesiologie und Intensivmedizin
des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf

Zentrumsleiter: Univ.-Prof. Dr. med. Alwin E. Goetz

Anwendung einer interaktiven Kombination aus Beatmungsgerät und
automatisiertem externen Defibrillator im Rahmen der kardiopulmonalen
Reanimation

Evaluation eines Prototypen in einer Simulationsstudie

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

vorgelegt von:

Mohammad Qalanawi
aus Kabul

Hamburg 2017

**Angenommen von der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am:
19.02.2018**

**Veröffentlicht mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität
Hamburg**

Prüfungsausschuss, der Vorsitzende: PD Dr. Stefan Maisch

Prüfungsausschuss, zweiter Gutachter: PD Dr. Alexander Schwoerer

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung

1.1 Einführung	1
1.2 Überlebenskette	2
1.3 Kardiopulmonale Reanimation	3
1.4 ERC-Leitlinien	4
1.5 Basic Life Support und Advanced Life Support	5
1.6 Rettungsdienst	5
1.7 Das Defikom-System	8
1.8 Mögliche Anwendung des Defikom-Systems	11
1.9 Fragestellung der Studie	11

2. Material und Methode

2.1 Studiendesign und Datenerhebung	12
2.2 Kooperationspartner	12
2.3 Studienteilnehmer und Ein- und Ausschlusskriterien	13
2.4 Unterricht der Probanden	13
2.5 Simulationsszenario	14
2.6 Patientensimulator	15
2.7 Ausrüstung	16
2.7.1 Zusätzliche Ausrüstung der Kontrollgruppe	16
2.7.2 Zusätzliche Ausrüstung der Studiengruppe	17
2.8 Atemwegssicherung	21
2.9 Datenerfassung	22
2.9.1 Fragebogen	23
2.9.2 SkillReporting-System	23
2.9.3 Videoaufzeichnung	23
2.9.4 VentiCollector	23
2.10 Outcomeparameter	24
2.11 Statistische Auswertung	25

3. Ergebnisse

3.1 Beschreibung des Studienkollektivs	27
3.2 Ergebnisse der Studie	28

3.2.1 Hands-off-Zeit	30
3.2.2 Zeitspanne bis zum 1. Helferwechsel	31
3.2.3 Beatmungsvolumina	32
3.2.4 Beatmungsfrequenz pro Minute	34
3.2.5 Thoraxkompression	35
4. Diskussion	
4.1 Eigene Bewertung der Ergebnisse	36
4.1.1 Hands-off-Zeit	37
4.1.2 Zeitspanne bis zum 1. Helferwechsel	37
4.1.3 Beatmungsvolumina	38
4.1.4 Thoraxkompression	38
4.2 Vergleich der Ergebnisse mit anderen Studien	
4.2.1 Hands-off-Zeit	39
4.2.2 Zeitspanne bis zum 1. Helferwechsel	41
4.2.3 Beatmungsvolumina	42
4.2.4 Thoraxkompression	43
4.2.5 Audio-visuelle Anleitung und Feedback-Mechanismus	43
5. Klinische Relevanz	46
6. Limitation der Studie	47
7. Zusammenfassung	48
8. Summary	49
9. Abkürzungsverzeichnis	50
10. Literaturverzeichnis	51
11. Danksagung	60
12. Lebenslauf	61
13. Anlagen	
11.1 Fragebogen für Datenerhebung	62
11.2 Publikation	64
14. Eidesstattliche Erklärung	72

1. Einleitung

1.1 Einführung

Der plötzliche Herztod gehört weltweit zu den häufigsten Todesursachen. Jährlich versterben in Europa und den USA ca. 822.000 Menschen an einem plötzlichen Kreislaufstillstand [6]. Auf 100.000 Einwohner erleiden in Deutschland jedes Jahr ca. 30 bis 90 Personen einen Kreislaufstillstand außerhalb einer Klinik, wie aktuelle Zahlen des Deutschen Reanimationsregisters belegen. Das sind deutschlandweit mindestens 50.000 Menschen pro Jahr [27]. Der häufigste Grund für den plötzlichen Kreislaufstillstand sind einsetzende kardiale Rhythmusstörungen infolge einer akuten Koronarschämie [28].

Es werden vier verschiedene Arten des Kreislaufstillstandes unterschieden:

- **Asystolie:** keine elektrische Herzaktivität
- **pulslose elektrische Aktivität (PEA):** eine regelmäßige elektrische Herzaktivität ohne tastbaren Puls
- **Kammerflimmern (VT):** Herzmuskel mit einer kreisenden elektrische Aktivität ohne Koordination, so dass keine gerichtete Muskelkontraktion mehr möglich ist
- **pulslose Kammertachykardie (pVT):** schnelle Kammererregung mit regelmäßigen verbreiterten QRS-Komplexen gleicher oder wechselnder Form und hoher Amplitude, aber ohne Herzauswurfleistung

Wenn das Kammerflimmern, die pulslose Kammertachykardie und die pulslose elektrische Aktivität nicht zügig behandelt werden, dann münden sie alle immer in eine Asystolie. VT und pVT können mit Hilfe eines Defibrillators effektiv und schnell beendet werden. Bei allen vier Herzrhythmen liegt ein Kreislaufstillstand vor, da keine Pumpfunktion mehr stattfindet und demnach auch kein Blut mehr ausgeworfen wird.

Nach einem Kreislaufstillstand kommt es nach 10 - 15 Sekunden zum Eintreten eines Bewusstseinsverlustes und nach ca. fünf Minuten zu einer Sauerstoffunterversorgung der Gewebe mit Zelltod und in der Folge zu irreversiblen Organschäden [4]. Die Organe mit der geringsten Ischämie-Toleranz sind der Herzmuskel [11, 51] und das zentrale Nervensystem [3, 50, 58]. Deshalb bestimmt die Zeit der Organminderdurchblutung die

Prognose der Patienten nach einem Kreislaufstillstand, wodurch der Zeitfaktor eine herausragende Stellung in der Behandlung der Patienten einnimmt [18, 35, 70, 73].

Bei einem Kreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses sind die Patienten auf Reanimationsmaßnahmen von Ersthelfern angewiesen, da der Rettungsdienst in den meisten Fällen länger als fünf Minuten braucht, um beim Patienten einzutreffen. In städtischen Regionen ist mit einer Zeitspanne zwischen acht und zehn Minuten ab Kreislaufstillstand zurechnen, in ländlichen Regionen mit mehr als doppelt so langen Wartezeiten [31, 69, 71].

1.2 Überlebenskette

Damit Patienten die lebensgefährliche Situation eines Kreislaufstillstands möglichst schnell und effektiv überleben, sollten Hilfeleistungen in Form einer Überlebenskette ablaufen (Abb. 1).



Abbildung 1: Überlebenskette modifiziert nach Nolan et al. [49]

Die Überlebenskette beschreibt alle Maßnahmen zwischen dem plötzlichen Kreislaufstillstand und dem Überleben des Patienten. Hierzu zählen:

- das frühe Erkennen des Notfalls mit Alarmierung des Rettungsdienstes
- die rasche kardiopulmonale Reanimation
- die frühe Defibrillation
- die Postreanimationsphase.

1.3 Kardiopulmonale Reanimation

Nur die zügige und qualitativ hochwertige kardiopulmonale Reanimation ("cardiopulmonary resuscitation", CPR) und die frühzeitige Defibrillation gewährleisten das Überleben des Patienten und verhindern gravierende neurologische Defizite [49, 73]. Mit jeder Minute, die vergeht, ohne dass mit Thoraxkompression und ggf. Defibrillation begonnen wird, sinkt auch die Überlebenschance um 10% [67]. Thoraxkompression und ggf. Defibrillation können potenziell entscheidende Minuten verschaffen und die Erfolgsquote außerhalb des Krankenhauses, speziell bei einem Kreislaufstillstand, steigern.

Durch die manuelle Thoraxkompression wird wieder ein Blutfluss im Gefäßsystem aufgebaut und damit die Oxygenierung der Zellen und gleichzeitig der Abtransport von Stoffwechselprodukten wieder in Gang gesetzt. Paradis et al. konnten in ihrer Studie nachweisen, dass mit nur 15 Thoraxkompressionen in der Minute systolische Blutdrücke von 60-80 mmHg aufrecht erhalten werden können, wodurch zeitweilig die Versorgung von lebenswichtigen Organen mit Sauerstoff gewährleistet wäre [54].

Bei der Thoraxkompression positioniert sich der Helfer neben dem Patienten. Die Finger beider Hände werden ineinander verschränkt und mittig auf dem unteren Teil des Brustbeins aufgelegt. Während der Durchführung der Herzdruckmassage sollten die Arme durchgestreckt und der Körper des Helfers etwa senkrecht über den Händen ausgerichtet sein. Das vereinfacht das Erreichen einer Kompressionstiefe von 5-6 cm. Der Thorax sollte nach jeder erfolgten Kompression vollständig entlastet werden. Die Herzdruckmassage sollte mit einer Frequenzrate von 100-120 pro Minute durchgeführt werden.

Nach 30 Thoraxkompressionen sollten 2 Beatmungen erfolgen. Der Kopf des Patienten wird nach hinten gestreckt und das Kinn nach vorne angehoben. Der Mund des Helfers umschließt dabei den des Patienten und gleichzeitig wird die Nase des Patienten durch seitlichen Druck verschlossen. Jede Beatmung darf nicht länger als 1 Sekunde dauern. Wenn Helfer Bedenken gegenüber der Mund-zu-Mund-Beatmung haben, wird empfohlen die alleinige Thoraxkompression qualitativ hochwertig fortzuführen, um so die Zeit bis zum Eintreffen des Rettungsdienstes zu überbrücken [59]. Eine aktuelle

systematische Übersichtsarbeit von Zhan et al. kommt zu dem Ergebnis, dass Patienten mit einem plötzlichen Kreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses eine höhere Wahrscheinlichkeit haben, das Krankenhaus lebend zu verlassen, wenn Laien durch telefonische Anleitung die Thoraxkompression fortlaufend ohne Unterbrechung für die Beatmung durchführen. Sie beziehen sich hierbei auf vier randomisiert-kontrollierten Studien, die insgesamt 26.742 Patienten mit einschließen [78].

Der Einsatz von Defibrillatoren ist ein wesentlicher Stützpfeiler der Therapie von Kammerflimmern. So kann eine frühzeitige Defibrillation innerhalb von 3-5 Minuten nach Kollaps aufgrund eines Kammerflimmerns zu Überlebensraten von 50-70% führen [55].

Moderne automatische externe Defibrillatoren (AED) leiten den Helfer über eine Sprachfunktion an und geben ihm Anweisungen, wie die Elektroden am Körper des Patienten anzubringen sind. Sie führen eigenständig die Ableitung und die Analyse durch. Bei Vorfinden eines defibrillierbaren Rhythmus wird der Helfer dazu aufgefordert, einen Knopf zu drücken und somit einen Schock auszulösen. Die verabreichte Energiemenge wird vom Gerät selbst ausgewählt. Auf diese Weise ist zum Bedienen von solchen Geräten keine Schulung oder Vorerfahrung notwendig und die Anwendung ist sicher [8].

1.4 ERC-Leitlinien

Die ausführliche Diagnostik und Behandlung des Patienten während eines Kreislaufstillstands basiert auf Leitlinien, die den aktuellen Stand der Wissenschaft in diesem interdisziplinären Fachgebiet darstellen.

Die Leitlinien zur CPR, welche durch das International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) im Fünf-Jahres-Rhythmus festgelegt werden, beschreiben den Ablauf der Reanimation anhand eines Reanimationsalgorithmus. Das ILCOR wurde 1992 gegründet und ist ein Zusammenschluss der weltweit wichtigen Gremien mit Bezug zur CPR. Unter diesem Dachverband sind die American Heart Association (AHA), das European Resuscitation Council (ERC), das Resuscitation Council of Southern Africa (RCSA), die Heart and Stroke Foundation of Canada (HSFC), das Australian and New Zealand Committee on Resuscitation (ANZCOR), die Inter American Heart Foundation (IAHF) und das Resuscitation Council of Asia (RCA) organisiert. Die Reanimationsalgorithmen werden durch die regionalen

Reanimationsgremien übersetzt und als Leitlinien veröffentlicht. In Deutschland ist seit 2007 das German Resuscitation Council (GRC) für die Übersetzung und Umsetzung der ERC-Leitlinien zuständig [26]. Die vorliegende Arbeit basiert auf den im Jahre 2010 erschienenen Leitlinien. Im Oktober 2015 wurden die neuen Leitlinien zur CPR veröffentlicht [59].

1.5 Basic Life Support und Advanced Life Support

Es wird in den Leitlinien zur CPR zwischen den Basisreanimationsmaßnahmen (Basic Life Support, BLS-Maßnahmen) und den erweiterten Reanimationsmaßnahmen durch professionelle Rettungsteams (Advanced Life Support, ALS-Maßnahmen) unterschieden [13, 36].

Zu den BLS-Maßnahmen gehören:

- Überprüfung der Lebenszeichen
- manuelle Thoraxkompression
- Mund-zu-Mund-Beatmung bzw. die Beatmung mit einem Beatmungsbeutel
- Früh-Defibrillation mit einem AED

ALS-Maßnahmen sind an die Verfügbarkeit der technischen Ausrüstung gebunden.

Zu den ALS-Maßnahmen gehören:

- Überprüfung des Pulses des Patienten
- EKG-Analyse und Defibrillation
- Intubation des Patienten
- Medikamentengabe
- Abtransport zum geeigneten Krankenhaus

1.6 Rettungsdienst

Die medizinisch präklinischen Notfallsysteme innerhalb Europas unterscheiden sich sowohl im Aufbau als auch im Ablauf erheblich. In einigen Ländern basieren die Systeme fast vollständig auf Rettungsassistenten, während in anderen Ländern präklinisch tätige Ärzte miteinbezogen werden. Studien, die sich mit der Qualität der unterschiedlichen Notfallsysteme beschäftigen, die sich anhand der Überlebensrate der Patienten messen lässt, kamen zu teils kontroversen Ergebnissen.

So wurde in einigen Studien festgestellt, dass kein Unterschied in der Überlebensrate zwischen Systemen mit nur Rettungsassistenten und Systemen mit Rettungsassistenten und Ärzten als Mitglieder des Notfallteams besteht [39, 52]. Nichol et al. stellten beispielsweise fest, dass gut organisierte Systeme ohne Ärzte, die dafür mit hochqualifizierten Rettungsassistenten ausgestattet sind, ebenfalls hohe Überlebensraten erreichen können [48]. Insgesamt überwiegen jedoch Studien, die aufzeigen, dass die Überlebensrate bei einem Kreislaufstillstand höher ist, wenn erfahrene Ärzte im Rettungssystem implementiert sind [22, 46], als bei Rettungssystemen ohne Ärzte [47]. Eine aktuelle Metaanalyse von Böttiger et al. aus dem Jahr 2016 zeigt, dass die notärztliche Versorgung der rettungsdienstlichen Versorgung ohne Arzt insgesamt überlegen ist. Bei der Metaanalyse wurden 14 Studien einbezogen. Demnach ist die CPR in der notärztlichen Versorgung im Vergleich zur rettungsdienstlichen Versorgung ohne Notarzt mit einer höheren Rate an ROSC (36,2% vs. 23,4%), einer höheren Rate an Patienten, die lebend das Krankenhaus erreichen (30,1% vs. 19,2%) und einer höheren Raten an Patienten, die lebend das Krankenhaus verlassen haben (15,1% vs. 8,4%) verbunden [10].

In Deutschland besteht ein duales Rettungsdienstsystem mit Rettungstransportwagen (RTW) und Notarzteinsatzfahrzeugen (NEF), die jeweils 24 Stunden am Tag besetzt sind. Der RTW ist mit Rettungsassistenten bzw. seit 2015 mit Notfallsanitätern und das NEF mit einem Arzt und einem Rettungsassistenten bzw. Notfallsanitäter besetzt. Die RTW-Besatzung ist häufig zuerst am Einsatzort und behandelt den Patienten so lange bis ein NEF eintrifft. Hier muss das Rettungsteam bei Notfallsituationen, wie zum Beispiel bei einer CPR, lebensrettende ALS-Maßnahmen anwenden bzw. fortführen, wenn diese durch Ersthelfer begonnen wurden, ohne dass es zu Zeitverzögerung kommt.

Der ALS-Anwender muss dafür Beatmung, EKG-Analyse und Defibrillation mit verschiedenen voneinander unabhängigen Geräten unterschiedlicher Hersteller mit unterschiedlichen Bedienphilosophien im Algorithmus durchführen und dieser Ablauf muss häufig und sorgfältig trainiert werden. Da die CPR mit ca. 4% aller Notarzteinsätze eine eher seltene Einsatzindikation darstellt [45], haben die Rettungsteams dementsprechend wenig praktische Erfahrung damit, unter realen Bedingungen ihr theoretisches Wissen am Einsatzort anzuwenden. Dies ist eine

mögliche Ursache dafür, dass die Rettungsteams Schwierigkeiten mit der genauen Einhaltung der ERC-Leitlinien während der CPR beim plötzlichen Kreislaufstillstand innerhalb oder außerhalb des Krankenhauses haben, was wiederum maßgeblich die Überlebensrate beeinflusst [1, 2, 18, 35, 66, 68].

Studien von Abella et al. und Wik et al. zeigen, dass die von professionellen Helfern durchgeführte prä- und innerklinischen CPR in Bezug auf die Drucktiefe und die Frequenz der Thoraxkompressionen, zu häufig vom vorgegebenen Standard abweichen. So wird in beinahe der Hälfte der Reanimationszeit keine Herzdruckmassage durchgeführt [1, 72].

Eine Studie von Maisch et al., in der die Qualität der präklinischen Reanimation im Hamburger Rettungsdienst untersucht wurde, zeigt, dass die Leitlinien in mehr als 90% der Fälle hinsichtlich der zeitlichen Abfolge der Analyse und Defibrillation sowie der verwendeten Schockenergien nicht korrekt umgesetzt wurden [43].

Nicht nur das Einhalten von ERC-Leitlinien erweist sich als schwierig, sondern es stehen Rettungsdienstmitarbeiter vor allem in ländliche Regionen vor ungelösten Problemen. Ausgelöst durch den demographischen Wandel wird in naher Zukunft mit einem Mangel an hochqualifizierten Rettungsdienstmitarbeitern und an Vertragsärzten im ambulanten Bereich befürchtet [57]. In einigen Flächenländern sind trotz ausreichender Anzahl an qualifizierten Notärzten Stellen im bodengebundenen Notarztsystem nicht besetzt. Dies hat verschiedenste Gründe, zu denen ein unattraktives Einkommen und ein Mehrbedarf an Ärzten in weiteren klinischen Aufgabenfeldern zählen [44, 53]. Diese strukturellen Veränderungen führen dazu, dass die Kompetenzen von Rettungsdienstmitarbeitern ausgeweitet werden müssen. Der erste Schritt dazu ist mit der Etablierung des Notfallsanitäters erfolgt. Dieses „neue“ hochqualifizierte Rettungsfachpersonal kann zukünftig auch eine Optimierung des „Notärztlichen Versorgungsteams“ bewirken, da auch hier nur bessere Fertigkeiten und mehr praktische Handlungskompetenz letztlich zu einer Steigerung der Patientensicherheit führen können [17].

Um hier mögliche Optimierungsansätze und Lösungen zu finden, untersuchten wir mit in der Reanimation geschulten Medizinstudenten höherer Fachsemester am Patientensimulator die Qualität der ALS-Reanimationsmaßnahmen mit dem Prototypen eines neuartigen Kombinationsgerätes. Im Rahmen des Studiums haben sich die

Medizinstudenten zwei Wochen lang intensiv mit den ERC-Leitlinien und der Durchführung der CPR beschäftigt. Die CPR wurde durch erfahrene, in der notärztlichen Versorgung tätige Anästhesisten, supervidiert und mehrfach in Fallbeispielen geübt. Die Wahl der Medizinstudenten als Probanden wurde deshalb getroffen, da diese nach der Lerneinheit ein fundiertes theoretisches Wissen besitzen, aber eher wenig praktische Erfahrung mit der CPR haben. Die Rettungsteams besitzen ebenfalls ein fundiertes theoretisches Wissen, aber durch die eher seltene Einsatzindikation der CPR von 4% aller Notarzteinsätze [45], haben die Rettungsteams dementsprechend auch wenig praktische Erfahrung damit, unter realen Bedingungen ihr theoretisches Wissen am Einsatzort anzuwenden. Hiermit wollten wir eine bessere Übertragbarkeit der erhobenen Daten auf die reale Situationen der Rettungsteams im Alltag schaffen.

Der Prototyp unterscheidet sich von den Standardgeräten durch die Integration eines automatisierten externen Defibrillators und eines Beatmungsgerätes in einem Kombinationsgerät. Er besitzt einen Auslösemechanismus an der Beatmungsmaske für einen Beatmungshub von 500 ml (MEDUtrigger, WEINMANN Emergency Medical Technology, Hamburg, Deutschland), Sprachanweisung und Multifunktions-Bedienfelder ähneln einem Navigationsgerät, das den Bediener durch den ALS-Algorithmus nach den ERC-Leitlinien 2010 führt (Defikom: WEINMANN Emergency Medical Technology, Hamburg, Deutschland). Dieser Prototyp wird im Folgenden als Defikom bezeichnet.

1.7 Das Defikom-System

Das Defikom-System führt den ALS-Anwender durch die CPR. Wird das Gerät angeschaltet, erfolgt die erste sprachliche Anweisung:

- Elektroden aufkleben

Wenn dies erfolgt ist, kommt als Nächstes die Ansage:

- Patienten nicht berühren. Herzrhythmus wird analysiert.
- Wenn notwendig, Notarzt alarmieren.

Hierbei wird eine Herzrhythmusanalyse gestartet. Die Software im Defikom-Gerät ist mit einem Algorithmus nach den ERC-Leitlinien 2010 ausgestattet (*Siehe Abb. 2*). Gleichzeitig wird der ALS-Anwender aufgefordert, falls erforderlich den Notarzt zu alarmieren, damit so schnell wie möglich professionelle Hilfe herbeikommt.

Wenn das AED-Gerät beim Patienten eine defibrillierbare Herzrhythmusstörung erkennt, gibt es die Anweisung:

- Schock notwendig. Schock-Taste drücken.

Nach der erfolgreichen Schockauslösung wird ein Teammitglied aufgefordert, mit der Herzdruckmassage zu beginnen. Der ALS-Anwender wird mit Hilfe des Metronoms sowohl visuell als auch akustisch mit einer Herzfrequenz von 100 pro Minute angeleitet (*Siehe Abb. 4*). Nach 30 Thoraxkompressionen müssen 2 Beatmungen mit dem „MEDUtrigger“ erfolgen.

Als nächstes wird der ALS-Anwender aufgefordert, den Atemweg zu sichern. Hierbei kommt die Ansage:

- Intubation vorbereiten.

Vor jedem Intubationsversuch soll immer eine Absaugbereitschaft hergestellt werden, um eventuelle Hindernisse aus dem Mund-Rachenbereich, wie z.B. Sekret oder Essensreste, absaugen zu können. Hierzu soll das Absauggerät eingeschaltet und der Mund-Rachenbereich kurz inspiziert werden.

Nach der Bestätigung erhält der ALS-Anwender die nächste Anweisung:

- Intubation durchführen.

Sobald diese Maßnahme erfolgreich durchgeführt ist und der ALS-Anwender den Beatmungsschlauch am Larynxtubus angeschlossen hat, muss die Intubation bestätigt werden. Hierdurch ändert das Defikom-Gerät die zuvor manuell eingestellten

Beatmungsparameter automatisch auf den maschinellen IPPV-Modus um, d.h. eine Frequenz von 10 Beatmungshüben pro Minute, Inspirations- zu Expirationsverhältnisses (I:E) 1,2 : 4,8 Sekunden, ein Tidalvolumen von 500 ml und einen maximal Druck von 65 mbar ohne PEEP-Einstellung. Bei Erreichen von 65 mbar inspiratorischem Druck im Beatmungssystem während der Thoraxkompressionen wird die Applikation des Tidalvolumens von 500 ml nicht abgebrochen, stattdessen wird dieser Druck von 65 mbar vom Beatmungsgerät aufrechterhalten, um während der Entlastung der Thoraxkompression den Beatmungshub vollständig zu applizieren.

Nachdem der Atemweg mit dem Larynxtubus gesichert ist, wird der ALS-Anwender durch das Defikom-Gerät auf den intravenösen Zugang und die Medikamentengabe aufmerksam gemacht. Zunächst wird dem ALS-Anwender folgende Anweisung gegeben:

- Zugang für Medikamentengabe vorbereiten.

Nach der Bestätigung der Maßnahme wird der ALS-Anwender aufgefordert:

- Zugang für Medikamentengabe legen.

Nachdem der periphere Venenkatheter gelegt ist und dieser auch bestätigt wird, erhält der ALS-Anwender nach dem 3. Zyklus die nächsten Anweisungen in folgender Reihenfolge:

- 1 mg Adrenalin vorbereiten
- 300 mg Amiodaron vorbereiten.
- 1 mg Adrenalin verabreichen.
- 300 mg Amiodaron verabreichen.

Nach jedem 2-Minuten-Zyklus von Herzdruckmassage und Beatmung erfolgt eine Herzrhythmusanalyse. Danach werden die ALS-Anwender vom Defikom-Gerät aufgefordert, einen Helferwechsel durchzuführen.

1.8 Mögliche Anwendung des Defikom-Systems

Eine mögliche Anwendung des Defikom-Systems könnte im Rettungsdienst in ländlichen Regionen Deutschlands erfolgen. Hier ist sowohl der Rettungsdienst als auch die notärztliche Versorgung sehr dünn besiedelt. Die Standortplanung sollte je nach Bundesland eine hochwahrscheinliche Ankunft des Rettungsdienstes zwischen 8 Minuten in städtischen Gebieten und 17 Minuten in ländlichen Gebieten in 90-95% der Fälle sicherstellen [21]. Der Patient wartet in ländlichen Regionen demnach häufig doppelt so lange auf die angeforderte Hilfe. Bis zum Eintreffen eines NEFs vergehen wiederum wertvolle Minuten. Das Defikom-System könnte durch seine Navigationsfunktion den Rettungsdienstmitarbeiter während der CPR unterstützen und somit dazu beitragen, Zeit einzusparen.

Eine weitere Anwendung des Defikom-Systems könnte auch im Bereich des rettungsdienstlichen Ehrenamtes liegen. Dieses ist besonders in ländlichen Regionen vertreten, in denen die vergleichsweise lange Wartezeit bis zum Eintreffen des Rettungsdienstes durch sogenannte First-Responder überbrückt wird. Die ehrenamtlichen Helfer müssen mindestens grundlegende sanitäts- und rettungsdienstliche Kenntnisse vorweisen können und übernehmen die Erstversorgung des Patienten. Der First-Responder könnte mit Hilfe des Defikom-Systems notwendige CPR-Maßnahmen nach ERC-Leitlinien ohne Zeitverzögerung anwenden, welches einen enormen Einfluss auf das Outcome des Patienten haben könnte [49, 73].

1.9 Fragestellung der Studie

Die Fragestellung der vorliegenden Studie lautet: Führt die Verwendung des Studiengerätes Defikom durch wenig geschulte ALS-Anwender in einer Simulationsstudie zu einer höheren Übereinstimmung mit dem Reanimationsalgorithmus der ERC-Leitlinien als die Verwendung einer herkömmlichen Standardausrüstung, bestehend aus einem separaten EKG und Beatmungsgerät?

Die hier eingeschlossenen Probanden sind nicht die Zielgruppe der Anwender eines solchen Gerätes, sondern sie dienen als Beispiel für wenig geschulte ALS-Anwender mit wenig Erfahrung in der CPR.

2. Material und Methode

2.1 Studiendesign und Datenerhebung

Die Reanimationsstudie wurde als monozentrische prospektive Simulationsstudie im cross-over Studiendesign durchgeführt. Dem cross-over Design entsprechend wurde von den Probanden die Reanimation entweder zuerst mit der Standardausrüstung oder mit der Studienausrüstung Defikom durchgeführt, und später in einem zweiten Durchgang mit der jeweils noch nicht eingesetzten Ausrüstung. Die Reihenfolge der eingesetzten Ausrüstung wurde mittels einer maschinell generierten Liste von Nummern (Microsoft Excel Version 11.0.8169, Microsoft Corporation, Redmond, WA) randomisiert.

Die Datenerhebung der Studie wurde zwischen dem 24.10.2012 und dem 05.12.2012 am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf durchgeführt. Vor der Datenerhebung erhielten wir als Antwort auf unsere Nachfrage bei der Ethikkommission der Ärztekammer Hamburg am 26.11.2011 von Frau Dr. rer. nat. Silke Schrum (Geschäftsführung Ethik-Kommission der Ärztekammer Hamburg) die Erklärung, dass kein Ethik-Votum für die Studie notwendig sei.

2.2 Kooperationspartner

Die Reanimationsstudie ist in Zusammenarbeit mit der Herstellerfirma WEINMANN Emergency Medical Technology durchgeführt worden. Die Anforderungsfestlegung an das Studiengerät Defikom erfolgte in den Jahren 2011 und 2012 in gemeinsamen Workshops. Die Firma stellte für die Studie die Standardausrüstung und das Defikomgerät zur Verfügung. Das Projekt ist finanziell durch die Innovationsstiftung Hamburg gefördert worden. Sowohl die Stiftung als auch die Firma WEINMANN Emergency Medical Technology hatten keinen Einfluss auf das Studiendesign und die Datensammlung, -analyse und -interpretation.

2.3 Studienteilnehmer und Ein- und Ausschlusskriterien

Die freiwilligen Studienteilnehmer waren Medizinstudenten im klinischen Abschnitt ihres Studiums. Sie befanden sich zu diesem Zeitpunkt zwischen dem sechsten und elften Semester. Alle gaben ihre schriftliche Zustimmung und unterzeichneten eine Abtritts- und Einverständniserklärung, in der sie sich mit der Verwendung der erhobenen Daten und der Filmaufnahmen für spätere Untersuchungen einverstanden erklärten. Für die Teilnahme an der Studie erhielten alle Probanden eine Aufwandsentschädigung von 20€.

Zu den Einschlusskriterien der Studie gehörten folgende Punkte:

- Immatrikulation am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf
- Freiwillige Teilnahme an der Studie
- Kursteilnahme während der zweiwöchigen Anästhesie-Woche an der BLS/ALS-Schulung (siehe unter 2.4)

Als Ausschlusskriterium galt, dass jeder nur einmal an der Studie teilnehmen durfte. Kein Proband wurde aus der Studie und der Datenanalyse ausgeschlossen.

2.4 Unterricht der Probanden

Die Probanden haben im Rahmen des zweiwöchigen anästhesiologischen Blockpraktikums im Anästhesienotfallkurs während ihres Chirurgie-Blocks als offizielle Lerneinheit des Curriculums eine auf zwei Tage verteilte standardisierte 3-stündige theoretische und praktische BLS-/ALS-Schulung zur CPR erhalten. Hierbei wurde am ersten Tag eine ausführliche Einführung in die ERC-Leitlinien 2010 gegeben und am zweiten Tag die Maskenbeatmung und das Ausführen der korrekten CPR (Thoraxkompression, EKG-Rhythmusanalyse, Defibrillation und Medikamentengabe) gemäß den ERC-Leitlinien von 2010 trainiert. Im Anschluss an das Training des zweiten Tages wurde die Reanimationsstudie durchgeführt. Vorweg haben alle Teilnehmer eine 15-minütige praktische Einführung zu den jeweiligen Studiengeräten erhalten.

2.5 Simulationsszenario

Die Probanden bekamen vorab die Information, dass sie in 2er-Teams zum Notfall „Nichtansprechbare Person“ gerufen werden. Das Team sollte zunächst das Bewusstsein des Patientensimulators mit Hilfe des Algorithmus der ERC-Reanimationsleitlinien beim Erwachsenen (*siehe Abb. 2*) eruieren. Wenn keine Reaktion auf Ansprechen und Schmerzreiz erfolgte, sollte ein Notarzt gerufen und zeitnah die CPR begonnen werden. Die Probanden sollten umgehend eine Herzrhythmus-Analyse mit Hilfe des EKG durchführen. Wenn der Herzrhythmus einem Kammerflimmern entsprach, dann sollte zügig ein Schock ausgelöst werden und anschließend ohne Unterbrechung die CPR fortgeführt werden. Das Team hatte sonst keine weiteren Informationen über die Ursachen des Kreislaufstillstands erhalten. Der dem Kreislaufstillstand zugrunde liegende Herzrhythmus des Patientensimulators war immer ein Kammerflimmern, das nach jeder Herzrhythmusanalyse andauerte.

Jedes Team führte eine Reanimation entweder mit dem Kombinationsgerät Defikom oder einem Set mit den getrennten Standardgeräten (WEINMANN Emergency Medical Technology, Hamburg, Deutschland) am Patientensimulator (Resusci Anne Simulator, Laerdal Medical AS, Stavanger, Norwegen) durch, welcher mitten im Raum auf dem Boden platziert war. Die ALS-Maßnahmen wurden in allen Gruppen bis zum gleichen Endpunkt entweder nach den ERC-Leitlinien 2010 bis zur Applikation von Amiodaron nach drei Schocks [13], oder für maximal 8 Minuten durchgeführt und dann durch den Studienleiter abgebrochen. Zwischen den beiden Reanimationen hatten die Probanden eine 15-minütige Erholungspause, um Ermüdungserscheinungen entgegenzuwirken, die negative Folgen auf die Qualität der CPR hätten haben können.

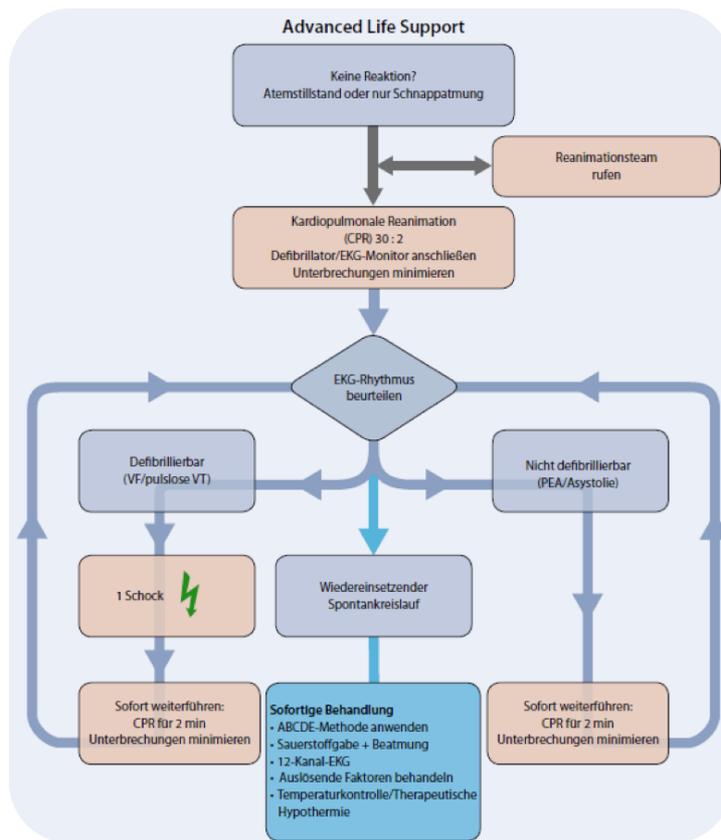


Abb. 2 ALS-Algorithmus der Leitlinien des *European Resuscitation Council 2010*
Abbildung aus Deakin 2010 [13].

2.6 Patientensimulator

Für die Studie wurde der Patientensimulator Resusci Anne Simulator (Laerdal Medical AS, Stavanger, Norwegen) verwendet. Dieser wurde per USB-Kabel an einen Laptop mit Windows Vista Home (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) angekoppelt. Auf dem Laptop lief die Software Laerdal PC SkillReporting System in der Version 2.2.1 (Laerdal Medical AS, Stavanger, Norwegen). In die Software waren die Anforderungen der Leitlinie 2010 integriert. Für die Ermittlung der Beatmung wurde ein zusätzliches Instrument in den Patientensimulator eingebaut (siehe 2.7.4 VentiCollector).

2.7 Ausrüstung

Bei der Simulationsstudie wurden folgende Ausstattungen bei beiden von uns untersuchten Gruppen verwendet:

- Rettungsrucksack mit
 - Ausrüstung zur intravenösen Kanülierung
 - Infusionstherapieutensilien
 - Material zur Atemwegssicherung
 - Material zur Applikation von Notfallmedikamenten
 - Notfallmedikamente: Adrenalin und Amiodaron
- Absauggerät Accuvac Rescue mit Absaugschlauch (WEINMANN Emergency Medical Technology, Hamburg, Deutschland)

2.7.1 Zusätzliche Ausrüstung der Kontrollgruppe

Bei den konventionellen Geräten handelte es sich um einen automatischen externen Defibrillator (AED), MEDUCORE Standard, und die Beatmungseinheit Medumat Standard^a (WEINMANN Emergency Medical Technology, Hamburg, Deutschland). Das AED-Gerät, das Beatmungsgerät und eine 2-Liter-Sauerstoffflasche sind auf einer gemeinsamen Trageplatte befestigt. Des Weiteren befindet sich beim konventionellen Gerät in der Rettungstasche ein Beatmungsbeutel COMBIBAG (WEINMANN Emergency Medical Technology, Hamburg, Deutschland), mit dem der Helfer die Beatmung so lange durchführt, bis die Intubation erfolgt und der Patientensimulator maschinell beatmet werden kann.

Beim Medumat Standard^a muss der Anwender zu Beginn der Beatmung die Sauerstoffflasche aufdrehen, die Beatmungsparameter einstellen und anschließend den intubierten Patientensimulator an das Beatmungsgerät anschließen. Hierbei ist auf die korrekte Frequenz von 10 Beatmungen pro Minute mit einem Atemzugvolumen von 6-7 ml/kg KG und einen Maximaldruck von 60 mbar zu achten. Dem ALS-Anwender wird durch eine Farbcodierung der Einstellknöpfe und ein Pfeilsystem eine schnelle und sichere Parametereinstellung entsprechend der jeweiligen Patientengruppe ermöglicht.

Bei der Herzdruckmassage können, bei gleichzeitiger Thoraxkompression und Beatmung, während der Inspirationsphase hohe Druckspitzen im Lungensystem aufgebaut werden. Der Medumat Standard^a reguliert im Doppelhubverfahren diese hohen Drücke selbstständig, indem er die Beatmung kurzfristig unterbricht, um direkt danach eine zweite Beatmung zu starten. Hierdurch wird gewährleistet, dass direkt nach der Entlastung des Thoraxes eine Beatmung zustande kommt.

Der Medumat Standard^a gibt optische und akustische Alarmer bei Stenose, Diskonnektion, Abfall des Versorgungsdrucks, Unterschreitung der Batteriespannung und Systemausfall. Auf diese Weise wird der ALS-Anwender frühzeitig auf Probleme aufmerksam gemacht, z.B. wenn die O₂-Flasche leer oder nicht aufgedreht ist.

Der Medumat Standard^a und der AED MEDUCORE Standard müssen beide getrennt bedient werden, und es gibt keine elektronische Verbindung zwischen den zwei Geräten. Der AED MEDUCORE Standard hat ein integriertes Metronom, welches visuell und akustisch eine Frequenz von 100 pro Minute vorgibt, um dem Helfer die von den Leitlinien empfohlene Frequenz der Thoraxkompressionen anzuzeigen.

2.7.2 Zusätzliche Ausrüstung der Studiengruppe

Das Defikom-System (WEINMANN Emergency Medical Technology, Hamburg, Deutschland) ist ein kombiniertes Reanimations-Therapiesystem zur Notfallversorgung von Patienten mit einem Herzkreislaufstillstand. Dieses System vereint die Therapien zur Behandlung der Vitalfunktionen Zirkulation und Ventilation. Ziel ist es, die Funktionen Beatmung, EKG-Analyse und Defibrillation in einem System zu integrieren und miteinander kabellos via Bluetooth zu verbinden.

Hierbei befinden sich der AED, die Beatmungseinheit und eine 2L-Sauerstoffflasche genau wie bei der Kontrollausrüstung auf einer gemeinsamen Trageplatte, bei Bedarf können die Geräte aber jeweils einzeln von der Trageplatte abgenommen und zum Einsatzort transportiert werden (*Siehe Abb. 3*).

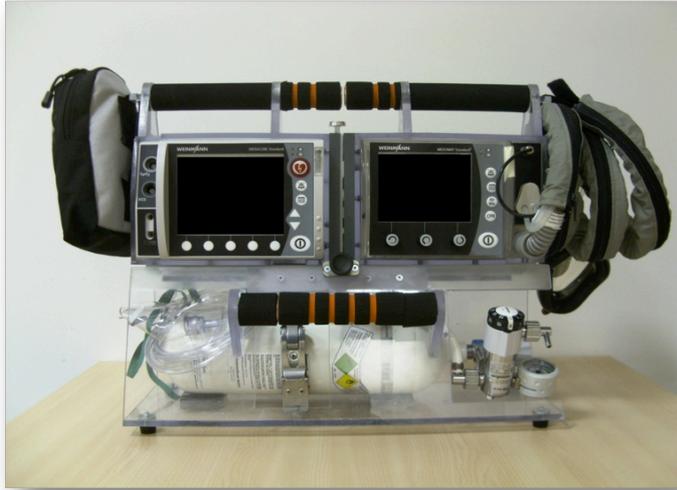


Abb. 3 Defikom-Gerät mit EKG, Beatmungseinheit und 2l-Sauerstoffflasche.

Mit freundlicher Genehmigung der Firma WEINMANN Emergency Medical Technology Hamburg, Deutschland.

Bestandteile des Systems sind ein modifizierter AED, MEDUCORE Standard, und ein Beatmungsgerät. Mithilfe einer neuen Funktion im Gerät wird ein Reanimationsalgorithmus gestartet, der die Arbeit des ALS-Anwenders erleichtern soll, indem die Koordination von Analyse-, Beatmungs-, Schock-, und Herzdruckmassage-Zeiten vom Gerät vorgegeben bzw. abgenommen wird.

Vom Defikom-System werden per Sprachanweisung und visuell auf der Defikom-Monitoreinheit ALS-Maßnahmen nach ERC-Leitlinien 2010 ausgegeben.

Folgende ALS-Maßnahmen werden vom Gerät vorgegeben:

- Schock-Abgabe bei einer defibrillierbaren Herzrhythmusstörung
- Intubation vorbereiten und Patient intubieren
- intravenösen Zugang vorbereiten und legen
- Medikamente (Adrenalin und Amiodaron) vorbereiten und applizieren

Sobald beide Geräte eingeschaltet werden, startet der Reanimationsalgorithmus, die Geräte beginnen via Bluetooth miteinander zu kommunizieren und funktionieren als eine Einheit. So schaltet sich zum Beispiel das Beatmungsgerät aus, wenn das AED-

Gerät eine Herzrhythmusanalyse startet, damit keine Bewegungsartefakte während der Analysephase entstehen.

Alle BLS- und ALS-Maßnahmen werden im Display auf der Defikom-Monitoreinheit visuell und akustisch ausgegeben. Nach jeder ausgeführten BLS- und ALS-Maßnahme muss der ALS-Anwender diese bestätigen, damit neue Maßnahmen im Display erscheinen, andernfalls wiederholt sich die Ansage während der ganzen CPR.

Ein visuelles und akustisches Metronom unterstützt den drückenden Rettungshelfer. Das Metronom gibt dem ALS-Anwender eine Herzdruckmassage-Frequenz von 100 pro Minute vor (Siehe Abb. 4).

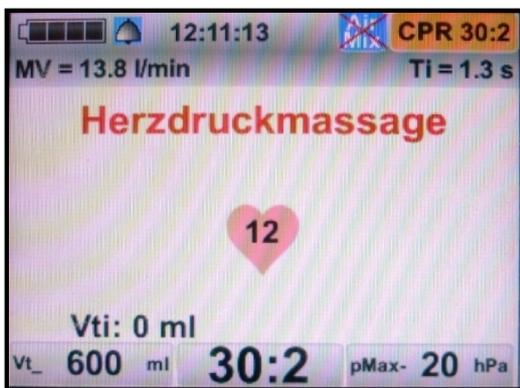


Abb. 4 Metronom-Anzeige während der Herzdruckmassage.

Mit freundlicher Genehmigung der Firma WEINMANN Emergency Medical Technology Hamburg, Deutschland.

Auf dem Display der Defikom-Monitoreinheit sind zusätzlich 5 farblich markierte Balken für den Anwender zu sehen (Siehe Abb. 5).

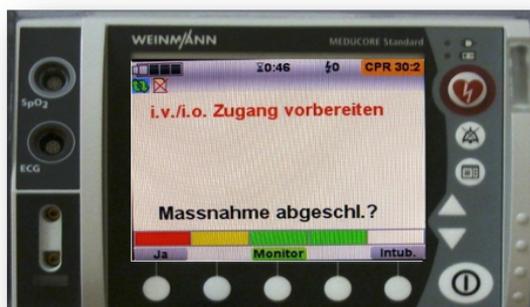


Abb. 5 Farbige Balkenmarkierung und die jeweilige Intervention.

Mit freundlicher Genehmigung der Firma WEINMANN Emergency Medical Technology Hamburg, Deutschland.

Diese Balken dienen dem ALS-Anwender als Fortschrittsanzeige bis zur nächsten Herzrhythmusanalyse. Jeder Balken entspricht 24 Sekunden. Beim letzten Balken ertönt zusätzlich ein Warnsignal, das dem ALS-Anwender die bevorstehende nächste Analyse ankündigt.

Beim Defikom-Gerät wird der Patientensimulator nicht wie beim konventionellen Gerät mit dem Beatmungsbeutel beatmet, sondern über eine patientennahe Atemhubauslösung direkt an der Beatmungsmaske, dem „MEDUtrigger“. Der ALS-Anwender appliziert die 2 Beatmungshübe mit einem Finger über einen Knopf an der Maske. Beide Hände halten die Maske in Form des Doppel-C-Griffs an den Mund des Patientensimulators. Über einen Knopf am „MEDUtrigger“ löst er die Beatmung mit einem Tidalvolumen von 500 ml und einem Druck (Pmax) von 20 mbar aus. Wenn der „MEDUtrigger“ länger als 40 Sekunden nicht benutzt wird, gibt das Gerät ein Alarmsignal (*Siehe Abb. 6*).



Abb. 6 MEDUtrigger mit Beatmungsmaske und Auslöseknopf.

Mit freundlicher Genehmigung der Firma WEINMANN Emergency Medical Technology Hamburg, Deutschland.

2.8 Atemwegssicherung

Für die Atemwegssicherung verwenden unsere Probanden in beiden Versuchsgruppen einen Larynxtrachealtubus mit der Größe 4 (LT, VBM Medizintechnik GmbH, Sulz am Neckar) (Siehe Abb. 7). Der Atemweg wird durch den Tubus direkt nach der ersten Schock-Abgabe gesichert, sodass der Proband nicht mehr an das Kopfende des Patientensimulators gebunden ist und weitere Aufgaben wahrnehmen kann. Zudem sollen anderweitige Unterbrechungen durch den Einsatz des Larynxtrachealtubus während der CPR so gering wie möglich gehalten werden. Eine kürzlich publizierte klinische Studie von Lukas RP et al. belegt, dass die Zeit, in der keine Thoraxkompression durchgeführt wurde, im Reanimationsverlauf deutlich von 12,47 % auf 8,19 % gesenkt werden konnte, indem zu Beginn der CPR ein Larynxtrachealtubus zur Atemsicherung verwendet wurde [40]. Die Masken-Beatmung erfordert eine häufigere Unterbrechung während der Herzdruckmassage, damit die Lungen mit Sauerstoff ventiliert werden können und zusätzlich erhöht sie das Mageninsufflations- und Aspirationsrisiko. Sutton et al. stellen dar, dass ca. 14,6 % der gesamten Pausenzeiten während einer Reanimation durch die Masken-Beatmung entstehen [64]. Die Erkenntnis, dass bereits eine kurze Unterbrechung der Thoraxkompression den Kreislauf zum Stillstand bringt, führte dazu, dass in den ERC-Leitlinien von 2010 eine maximal 3-4 sekundenlange Beatmungszeit festgelegt wurde [13]. Das entspricht 1–2 Sekunden pro Atemzug. Immer noch gilt im deutschen Rettungsdienst die endotracheale Intubation hinsichtlich der Vermeidung pulmonaler Aspirationen und der Möglichkeit einer Beatmung mit hohem endexpiratorischem Druck (PEEP), als Goldstandard zur Sicherung der Atemwege. Aber durch die schlechten Rahmenbedingungen in Notfallsituationen und der unterschiedlich ausgeprägten Erfahrung der Einsatzkräfte ist die Inzidenz der präklinischen Intubationskomplikationen hoch. Obwohl eine aktuelle Analyse von über 24.000 Einsätzen im deutschen Luftrettungsdienst eine geringere Rate ösophagealer Tubusfehlagen von 2,2% zeigt [56], beträgt die Letalität dieser vermeidbaren Komplikation bis zu 70% [65].



Abb. 7 Larynxtubus

Quelle: <http://www.vbm-medical.de/cms/files/larynx-tuben.gif> [Stand: 22.09.15, 10:35]

2.9 Datenerfassung

Die Datenerfassung wurde mit einem Fragebogen (siehe Anhang), der den Teilnehmern der Studie nach der Simulation ausgehändigt wurde, der Auswertungssoftware des Patientensimulators (SkillReporting System, Laerdal Medical AS, Stavanger, Norwegen), der Analyse der parallelen Videoaufzeichnung und der Datenaufzeichnung eines im Patientensimulators eingebauten Messmoduls für Beatmungsdruck, Gasfluss und verabreichtes Beatmungsvolumen (VentiCollector) durchgeführt. Im folgenden Kapitel werden die Werkzeuge der Datenerfassung kurz vorgestellt.

2.9.1 Fragebogen

Mit dem Fragebogen wurden die demografischen Daten der Probanden und ihre Vorkenntnisse, bezogen auf die CPR, ermittelt. Zusätzlich mussten die Probanden Fragen zum Bedienkomfort der beiden Geräte beantworten (siehe Anhang).

2.9.2 SkillReporting-System

Mit der Auswertungssoftware des Patientensimulators (Laerdal PC SkillReporting System Software, Version 2.2.1, Laerdal Medical AS, Stavanger, Norwegen) wurden folgende Parameter erhoben:

- Anzahl der Thoraxkompressionen
- Tiefe der Thoraxkompression
- Frequenz der Thoraxkompression

2.9.3 Videoaufzeichnung

Die Videoaufzeichnung erfolgte mit einem Camcorder der Firma Panasonic (Panasonic Marketing Europe GmbH, Wiesbaden, Deutschland). Die Kameraeinstellung bot freie Sicht auf die Probanden, den Patientensimulator und die Ausrüstung.

2.9.4 VentiCollector

Zur Erfassung der Beatmungsdrücke und -flüsse sowie der Berechnung der Volumina wurde der Patientensimulator von uns mit dem System VentiCollector ausgestattet. Dieses Gerät war für die Studie in den Beatmungstrakt des Patientensimulators zwischen dem Lungenbeutel und dem Atemwegstrakt eingebaut worden.

Der VentiCollector ermittelt den Volumenstrom sowie den Atemwegsdruck an der Stelle, an der die Messstrecke eingebaut worden ist. Dies geschieht über eine Differenzdruckmessung, die regelmäßig über ein Schaltventil abgeglichen wird. Als Messstrecke wird ein Differenzdruckkanal mit variabler Strömungsgeometrie (Flap) der Firma HAMILTON MEDICAL AG, Bonaduz, Schweiz, eingesetzt (*Siehe Abb. 8*).

Die Messdaten wurden in Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA) überführt und danach anhand der Grafik folgende Ventilationsparameter ermittelt:

- Beatmungsdruck
- Beatmungsluftfluss
- verabreichtes Beatmungsvolumen
- Anzahl der Beatmungen



Abb. 8 Hamilton Strömungskanal mit variabler Strömungsgeometrie.

Quelle: <https://www.hamilton-medical.com/.imaging/stk/hamilton-theme/teaser/dam/Images/Products-respiratory-care/Top-images-respiratory-care/Flow-sensor0/jcr:content/Flow-sensor.jpg.2015-01-19-13-52-37.jpg>

[Stand: 22.09.15, 11:30]

Um die Anonymität der Probanden gewährleisten zu können, wurden die Einverständniserklärungen und Fragebögen, die Namen und Unterschrift der Probanden enthielten, gesondert archiviert. Für die Auswertung wurden alle Daten vollkommen anonymisiert verwendet.

2.10 Outcomeparameter

Der primäre Endpunkt der Studie ist die Ermittlung der kumulierten Unterbrechungszeit der Herzdruckmassage für diagnostische und therapeutische Maßnahmen (Hands-off-Zeit). Die Hands-off-Zeit entspricht dem Anteil der gesamten Reanimationszeit ohne Thoraxkompressionen, die auch als „No-Flow-Time“ die Zeit des Sistierens der gesamten Perfusion beschreibt.

Zusätzlich wurden prospektiv vor der Datenerhebung 12 sekundäre Outcomeparameter der CPR festgelegt, die aus den ERC-Leitlinien 2010 hergeleitet wurden und anhand derer die Qualität der CPR in der Simulation überprüft wurde:

- Zeitspanne bis 1. EKG-Analyse
- Zeitspanne bis 1. Defibrillation
- Zeitspanne bis Intubation des Patientensimulators
- Zeitspanne bis 1. Helferwechsel
- Zeitspanne bis 2. Helferwechsel
- Zeitspanne bis Anlage eines intravenösen Zugangs
- Zeitspanne bis 1. Medikamentengabe
- Anteil der Thoraxkompressionen mit korrekter Drücktiefe von 5-6 cm an der gesamten Anzahl der Thoraxkompressionen
- Frequenz der Thoraxkompressionen pro Minute
- Anteil der Ventilationen mit korrektem Tidalvolumen von 400 - 600 ml
- Anteil der Ventilationen mit einem Tidalvolumen unter 400 ml
- Anteil der Ventilationen mit einem Tidalvolumen über 600 ml

2.11 Statistische Auswertung

Vor der Durchführung der Studie wurde die erforderliche Stichprobengröße auf der Basis von bereits veröffentlichten Hands-off-Zeiten anderer Untersuchungen ermittelt [66, 68]. Um mit einer Testpower von 80% und einem Signifikanzniveau von 0,05 eine klinisch relevante Differenz der Hands-off-Zeit von 10% zwischen der Simulation mit der Defikom-Ausrüstung und der Standardausrüstung detektieren zu können, benötigten wir nach der Berechnung 20 Reanimationen mit jeder Ausrüstung.

Bei der statistischen Auswertung erfolgt dann zunächst die Überprüfung auf Normalverteilung der Differenzen der Mittelwerte der Gruppen mit der Defikom- und mit der Standardausrüstung mittels Histogramm und Kolmogorov-Smirnov-Test.

Die Überprüfung auf Unterschiede zwischen den Gruppen erfolgt mithilfe einer Varianzanalyse (ANOVA), die das gewählte Cross-over-Design der Studie mit der Allokation zur Studien- oder Kontrollausrüstung, der Sequenz der Randomisierung und

dem Lerneffekt aus der vorangegangenen CPR bei der zweiten Simulation berücksichtigt und adjustiert für die praktische Vorerfahrung der Probanden. Dies geschieht dann, wenn mindestens einer der zwei Teilnehmer in einer Simulation in der Fragebogenerhebung eine praktische Vorerfahrung in CPR angegeben hat. Ein P-Wert $<0,05$ wird als signifikant betrachtet. In der Darstellung der Ergebnisse gibt das 95%-Konfidenzintervall des Mittelwertes an, zwischen welchen Grenzen der Mittelwert der Grundgesamtheit mit 95%-Wahrscheinlichkeit liegt. Zusätzlich wurden die zuvor festgelegten 12 sekundären Outcomeparameter einer Bonferroni-Korrektur auf Alphafehlerkumulierung unterzogen, die dann ein Signifikanztest-Niveau von 0,0042 für jeden der 12 sekundären Outcomeparameter ergab. Die statistischen Berechnungen wurden im Institut für medizinische Biometrie und Epidemiologie des UKE mit SPSS 19.0 (IBM SPSS Statistics Inc., Chicago, IL, U.S.) und der Programmiersprache R Version 3.1.2 (R Foundation for Statistical Computing, GNU, Boston, MA) durchgeführt.

3. Ergebnisse

3.1 Beschreibung des Studienkollektivs

Vom 24.10.2012 bis zum 05.12.2012 konnten 42 Medizinstudenten als Probanden in 2-er-Teams eingeteilt werden. Da jedes Team jeweils eine Reanimation mit der Defikom-Ausrüstung und eine Reanimation mit der Standardausrüstung durchführte, konnten 21 Reanimationen mit Defikom und 21 Reanimationen mit den Standardgeräten aufgezeichnet und ausgewertet werden.

Die 42 Probanden (25 Frauen und 17 Männer), waren im Durchschnitt 25 Jahre alt. Der älteste Teilnehmer war 33, der jüngste 21 Jahre alt. Im Mittel studierten sie im fünften klinischen Semester. Ein Teilnehmer war im ersten klinischen Semester, zwei im 12. klinischen Semester und der Rest der Teilnehmer lag dazwischen. Sechs Teilnehmer waren beruflich im Rettungsdienst tätig und jeder von ihnen verfügte durchschnittlich über 4,1 Jahre Berufserfahrung. Die Teilnehmer hatten alle innerhalb der vergangenen 10 Jahre einen Kurs „Sofortmaßnahmen am Unfallort“ absolviert. Bis auf drei Teilnehmer verfügten alle über den Kurs „Erste Hilfe“. Vier Teilnehmer hatten die Qualifikation zum Ausbilden in Erster Hilfe. 13 Teilnehmer hatten praktische Erfahrungen in der Reanimation außerhalb von Kursen. *Siehe Tabelle 1.*

Probandenanzahl (n)	42
Geschlecht	25 weiblich 17 männlich
Alter in Jahren (\bar{x})	25 \pm 2.6 (Spannweite 21-33)
Klinische Semester (\bar{x})	5 \pm 5.5 (Spannweite 1-12)
Rettungsdienstmitarbeiter (n)	6
Rettungsdiensterfahrung in Jahren (\bar{x})	4,1 \pm 2.5 (Spannweite 2-8)
Sofortmaßnahmen am Unfallort (n)	42
Kurs 'Erste Hilfe' (n)	39
Ausbilder in Erste Hilfe (n)	4
Praktische Erfahrung in der CPR (n)	13

Tabelle 1: Charakteristische Merkmale der Studienkollektive. Anzahl n, Durchschnitt \bar{x}

3.2. Ergebnisse der Studie

Zwei Werte der Variable „Intubationszeit“ wurden als fehlende Werte behandelt, da der Larynxtrachealintubationstube in zwei Reanimationen (jeweils eine mit Defikom-Ausrüstung und eine mit Standardausrüstung) nicht eingeführt worden war.

Die Ergebnisse der Studie sind in *Tabelle 2* dargestellt und signifikante Ergebnisse werden im Weiteren ausführlich besprochen. Ein $p < 0,05$ wird als signifikanter Unterschied zwischen den beiden Ausrüstungen betrachtet und mit * gekennzeichnet.

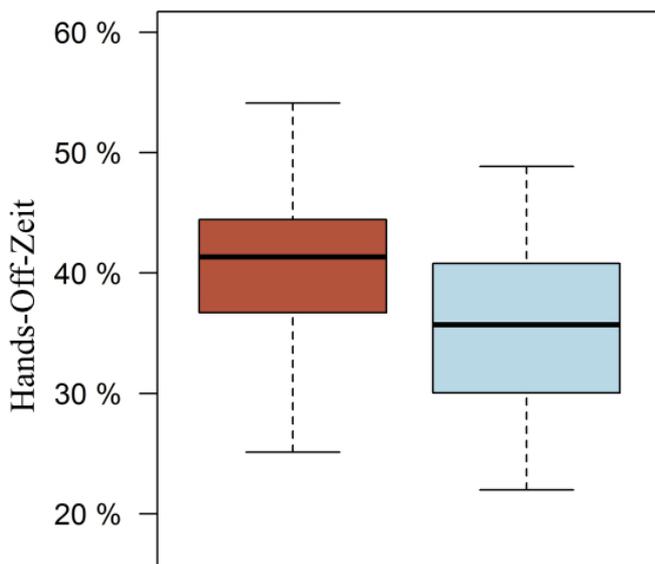
Qualitätsmerkmal einer Reanimation	Defikom-Ausrüstung MW [95%KI] (Min-Max)	Standardausrüstung MW [95%KI] (Min-Max)	Signifikanzniveau p-Wert
Anteil der Zeit der Unterbrechungen der Herzdruckmassage (Hands-off-Zeit) an der gesamten Reanimationszeit [%]	35,5 [32,4 - 38,9] (22,0-48,9)	40,1 [36,9 – 43,4] (25,1-54,1)	0,031 *
Zeitspanne bis zum 1. Helferwechsel [Sek.]	223 [194 – 253] (134-367)	273 [244 – 302] (145-392)	0,001 *
Anteil der Beatmungen mit einem Tidalvolumen zwischen 400 und 600 ml [%]	60,9 [45,6 - 76,2] (0,0-100,0)	34,3 [19,0 - 49,6] (0,0-87,2)	0,018 *
Zeitspanne bis zum 2. Helferwechsel [Sek.]	362 [342 – 381] (227-396)	384 [365 – 403] (269-526)	0,101
Zeitspanne bis zur ersten erfolgten EKG-Rhythmusanalyse [Sek.]	60 [54 – 67] (39-93)	60 [54 – 67] (34-86)	0,995
Zeitspanne bis zur Anlage eines iv-Zugangs [Sek.]	237 [216 – 259] (153-346)	257 [235 – 278] (189-362)	0,085
Zeitspanne bis zur ersten Medikamentengabe [Sek.]	366 [348 – 385] (288-463)	383 [364 – 402] (323-518)	0,115

Frequenz der Beatmungen pro Minute [/min]	6,1 [5,4 - 6,9] (2,3-9,0)	6,5 [5,7 - 7,3] (1,5-10,8)	0,513
Zeitspanne bis zur ersten erfolgten Defibrillation [Sek.]	78 [71 – 85] (57-110)	78 [71 – 85] (47-125)	0,975
Maximal applizierter Beatmungsdruck [mbar]	40,3 [33,5 - 47,0] (0,0-55,1)	36,5 [29,1 - 43,9] (3,8-65,2)	0,471
Frequenz der Thoraxkompressionen pro Minute [/min]	76,9 [72,9 - 81,0] (65,0-100,0)	72,7 [68,6 - 76,8] (54,0-96,0)	0,073
Anteil der Thoraxkompressionen mit einer Tiefe von 5-6cm [%]	28,6 [18,2 -38,9] (0,2-82,9)	31,6 [21,2 - 42,0] (1,2-83,0)	0,469
Zeitspanne bis zur Intubation des Patientensimulators mit dem Larynxtubus [Sek.]	139 [104 – 175] (75-169)	135 [101 – 169] (84-200)	0,864

*Tabelle 2. Dargestellt sind der arithmetische Mittelwert (MW), die Standardabweichung (SD), das Minimum und das Maximum der Werte (Min-Max) und das 95% Konfidenzintervall [95%KI] des Mittelwertes der Messwerte der zwei Studienausrüstungen. Ein $p < 0,05$ wird als signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen betrachtet und mit * gekennzeichnet.*

3.2.1 Hands-off-Zeit

Die Dauer der CPR betrug bei der Standardausrüstung im Durchschnitt 391 Sekunden (95% CI 370-413) und bei der Defikom-Ausrüstung 386 Sekunden (95% CI 368-404; $p=0,578$). Der Anteil der Zeit der Unterbrechungen der Herzdruckmassage (Hands-off-Zeit) lag bei der Standardausrüstung bei 157 Sekunden (95% CI 142-171) und bei der Defikom-Ausrüstung bei 137 Sekunden (95% CI 123-152; $p=0,031$). Der Unterschied ist in Abbildung 9 mit Boxplots graphisch dargestellt. In dieser und in allen weiteren Abbildungen mit Boxplots sind der Median und das obere und untere Quartil (Interquartilsabstand zwischen 25. Und 75. Perzentile) dargestellt. Antennen stellen Extremwerte außerhalb der Boxplots dar. Kreise kennzeichnen Ausreißer außerhalb des 1,5-fachen des Interquartilsabstands.

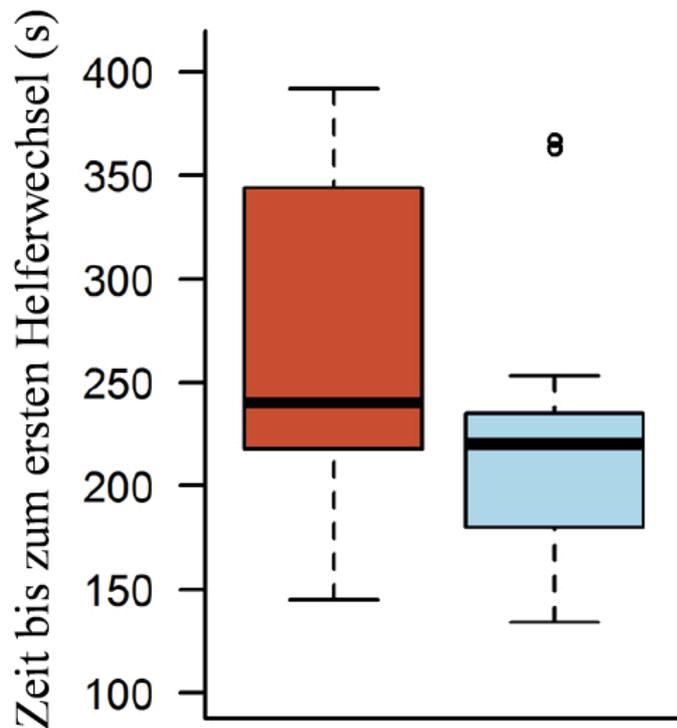


- Standardausrüstung
- Defikom-Ausrüstung

Abb. 9 Hands-off-Zeit (Anteil der Zeit ohne Thoraxkompression an der gesamten Reanimation im Simulationsszenario) Standardausrüstung und Defikom-Ausrüstung in Prozent.

3.2.2 Zeitspanne bis zum 1. Helferwechsel

Die Zeit bis zum ersten Helferwechsel war ebenfalls signifikant kürzer bei der Defikom-Ausrüstung. Sie lag im Durchschnitt bei 223 Sekunden (95% KI: 194-253) vs. 273 Sekunden bei der Standardgruppe (95% KI: 244-302; $p < 0.001$) (Siehe Abb. 10).

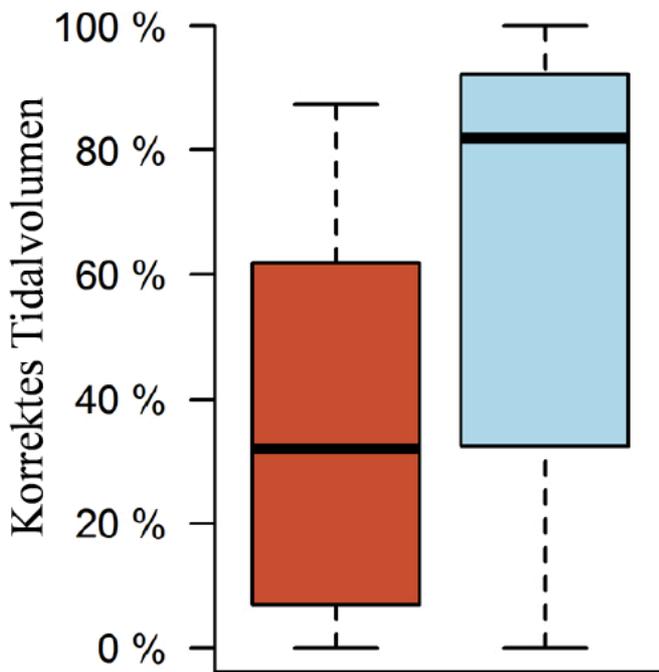


■ Standardausrüstung ■ Defikom-Ausrüstung

Abb. 10 Zeitspanne bis zum ersten Helferwechsel mit der Standardausrüstung und der Defikom-Ausrüstung.

3.2.3 Beatmungsvolumina

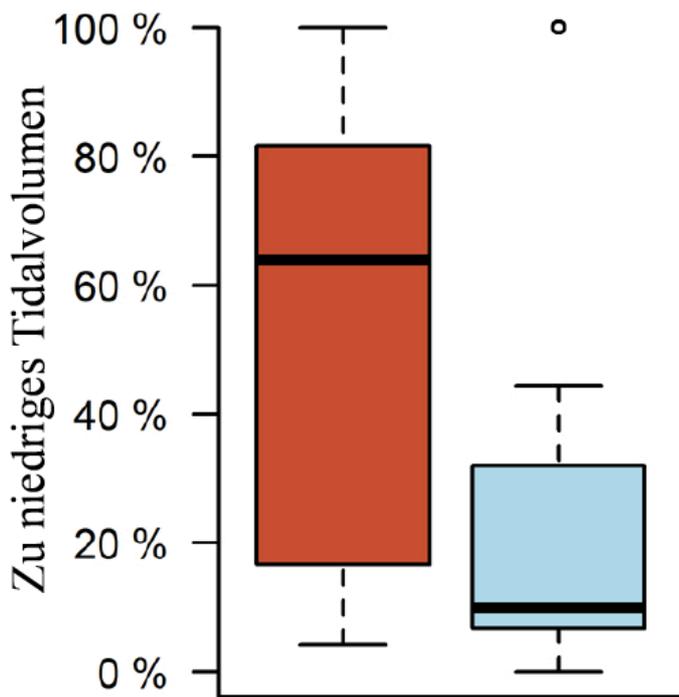
Die Beatmungsvolumina unterschieden sich bei den beiden Ausrüstungen voneinander. Bei der Defikom-Ausrüstung lag der Anteil der korrekten Tidalvolumina (400 - 600 ml) bei 60.9% (95% KI: 45.6-76.2) vs. 34.3% (95% KI: 19.0-49.6; $p=0,018$) bei der Standardausrüstung (Siehe Abb. 11).



- Standardausrüstung
- Defikom-Ausrüstung

Abb. 11 Anteil mit korrektem Beatmungstidalvolumen (V_t 400 - 600 ml) an den Beatmungen in Prozent mit der Standardausrüstung und der Defikom-Ausrüstung.

Die Mehrzahl der nicht korrekt ausgeführten Beatmungen hatte ein Tidalvolumen, das mit weniger als 400 ml nach den ERC-Leitlinien 2010 zu gering war. Beatmungen mit V_t kleiner als 400 ml gab es bei der Standardausrüstung im Durchschnitt bei 53,5% und bei der Defikom-Ausrüstung im Durchschnitt bei 26,3% der Beatmungen ($p=0,0169$) (Siehe Abb. 12).



- Standardausrüstung
- Defikom-Ausrüstung

Abb. 12 Anteil mit zu niedrigem Beatmungstidalvolumen ($V_t < 400$ ml) an den Beatmungen in Prozent mit der Standardausrüstung und der Defikom-Ausrüstung.

Beatmungen mit V_t größer als 600 ml verteilten sich auf beide Ausrüstungen Standard vs. Defikom nahezu gleich (12,3%, 95% CI 3,1-21,5% vs. 12,8%, 95% CI 3,6-22,0%, $p=0,910$). Das durchschnittliche V_t der 454 Beatmungen, die mit der Standardausrüstung ein $V_t < 400$ ml hatten, betrug 220 ± 111 ml. Das durchschnittliche V_t der 207 Beatmungen, die mit der Defikom-Ausrüstung ein $V_t < 400$ ml hatten, betrug 146 ± 144 ml. Das durchschnittliche V_t der 112 Beatmungen, die mit der Standardausrüstung ein $V_t > 600$ ml hatten, betrug 764 ± 130 ml. Das durchschnittliche V_t der 112 Beatmungen, die mit der Defikom-Ausrüstung ein $V_t > 600$ ml hatten, betrug 649 ± 58 ml. In Abbildung 13 ist der Anteil der korrekten, zu hohen und zu niedrigen Tidalvolumina bei der Beatmung in den Simulationsszenarien grafisch dargestellt.

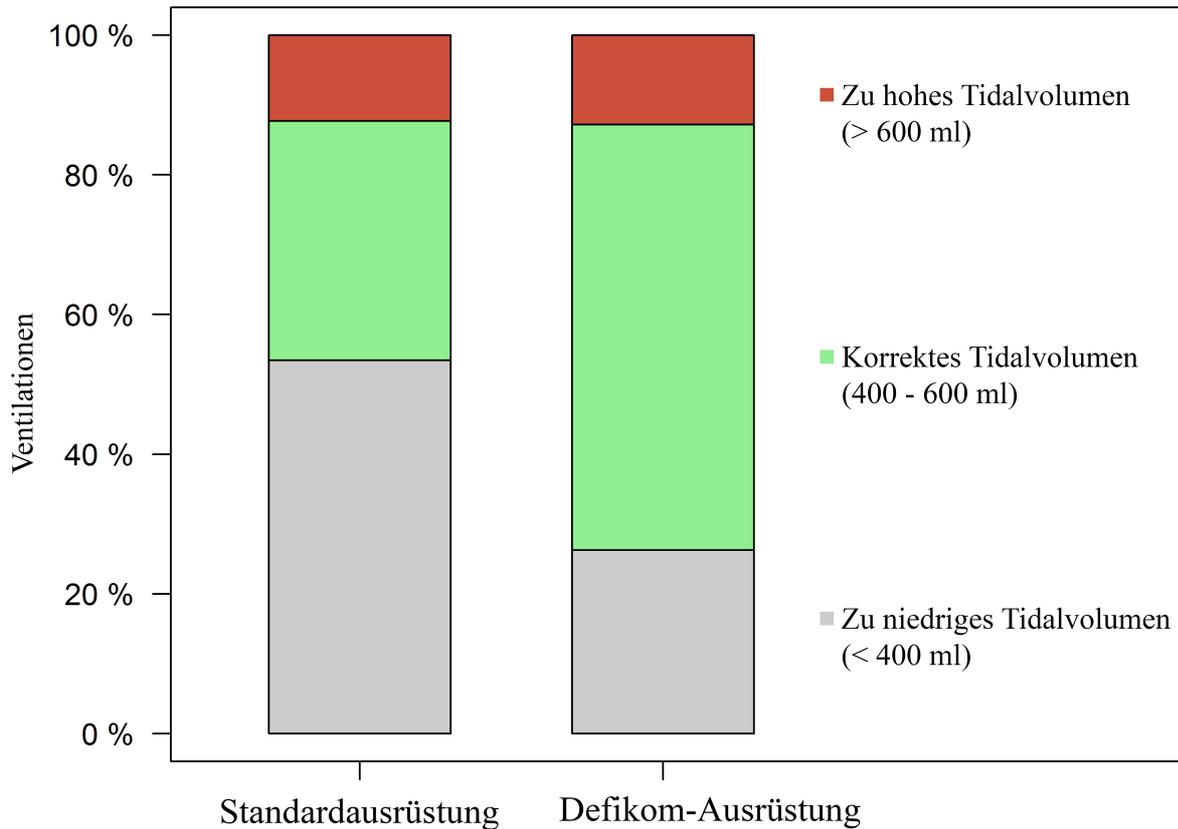


Abb. 13 Anteil der korrekten, zu hohen und zu niedrigen Tidalvolumina bei der Beatmung in den Simulationsszenarien mit der Standardausrüstung und der Defikom-Ausrüstung.

3.2.4 Beatmungsfrequenz pro Minute

Die Beatmungsfrequenz pro Minute war bei beiden Ausrüstungen Standard vs. Defikom nahezu gleich niedrig und unterschieden sich nicht signifikant (6,5/min, 95% CI 5,7 - 7,3 vs. 6,1/min, 95% CI 5,4 - 6,9, $p=0,513$).

3.2.5 Thoraxkompression

Die Prozentzahl der Thoraxkompressionen mit einer korrekten Tiefe von 5-6 cm lag bei der Standardausrüstung bei 31,6% und bei der Defikom-Ausrüstung bei 28,6% ($p=0,469$). Thoraxkompressionen mit nicht korrekter Tiefe waren alle mit einer Kompressionstiefe von weniger als 5 cm. Es wurden keine Thoraxkompressionen tiefer als 6 cm aufgezeichnet. Die Frequenz der Thoraxkompressionen pro Minute lag bei der Standardausrüstung bei 72,7% und bei der Defikom-Ausrüstung bei 76,9% ($p=0,073$) (Siehe Abb. 14).

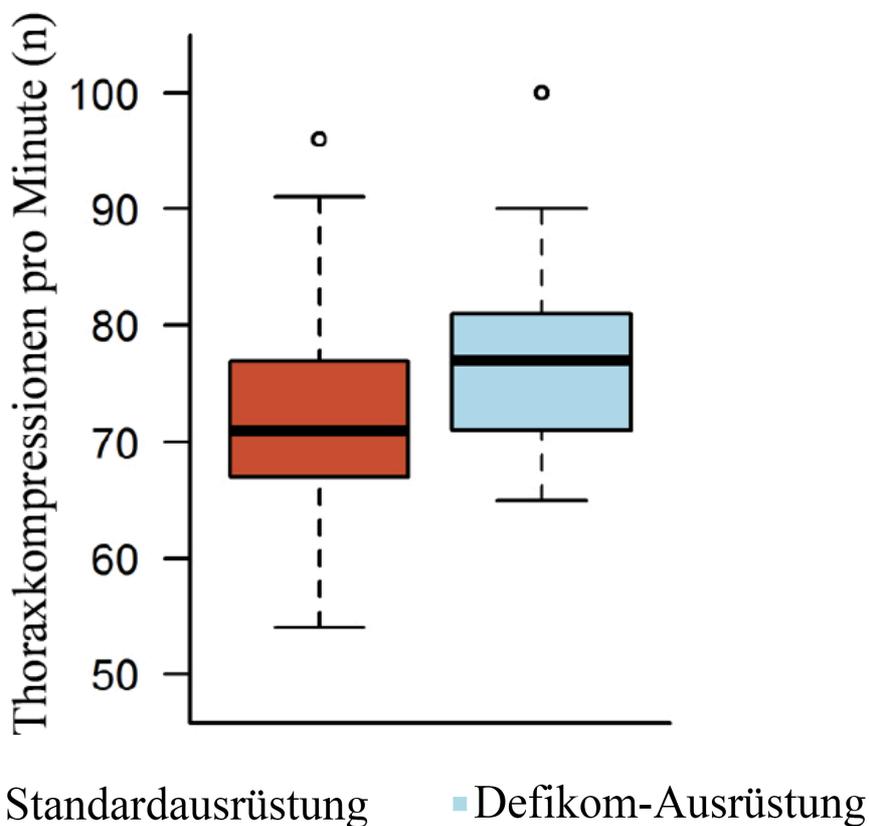


Abb. 14 Vergleich der Thoraxkompressionen pro Minute zwischen der Standardausrüstung und der Defikom-Ausrüstung.

4. Diskussion

4.1 Eigene Bewertung der Ergebnisse

Verschiedene Konzepte und Techniken wurden bisher erprobt, um die Qualität der außerklinischen und innerklinischen Reanimation zu steigern. Hierzu zählen unter anderem [24, 38, 42, 60, 68]:

- Öffentliche Kampagnen, die die Aufmerksamkeit und die Bereitschaft zum Handeln der Mitmenschen bei einem plötzlichen Kreislaufstillstand erhöhen sollen
- Die Einführung von AEDs in vielen öffentlichen Bereichen
- Zusätzliches Training von medizinischem Personal
- Visuelle und akustische Feedback-Systeme, die dem Anwender direkt während der CPR Rückmeldung über seine erbrachte Leistung geben
- Aktive Thorax-Kompression-Dekompression-Geräte
- Monitoring der ALS-Anwender durch Fachdozenten
- Telefonische CPR-Anleitung durch Rettungsleitstellenmitarbeiter

Dennoch zeigen viele Studien, dass die Einhaltung der Leitlinien während der außerklinischen und innerklinischen CPR immer noch ungenügend ist [1, 2, 34, 35, 43, 63, 66, 68, 72].

Die Hypothese dieser Studie ist, dass wenig geschulte ALS-Anwender durch die Anleitung der Defikom-Ausrüstung, einer interaktiven Kombination aus Beatmung und automatisiertem externen Defibrillator, ALS-Maßnahmen mit einer höheren Übereinstimmung mit dem Reanimationsalgorithmus der ERC-Leitlinien von 2010 durchführen können.

Drei der 13 im Vorfeld festgelegten und untersuchten Qualitätsmarker einer CPR haben sich in der prospektiv-kontrollierten CPR-Simulationsstudie signifikant zwischen den beiden Untersuchungsausrüstungen unterschieden und könnten somit zu einer Verbesserung der Qualitätsstandards beitragen.

Bei den auffälligen Qualitätsmarkern handelt es sich um den Anteil der Hands-off-Zeit, um den prozentualen Anteil der Beatmungen mit einem Tidalvolumen zwischen 400 - 600 ml an den insgesamt verabreichten Beatmungen und um die Zeitspanne bis zum ersten Helferwechsel.

4.1.1 Hands-off-Zeit

Die Hands-off-Zeit bei der gesamten Reanimation wurde bei der Standardausrüstung mit durchschnittlich 40,1% und bei der Defikom-Ausrüstung mit durchschnittlich 35,5% gemessen, was eine Reduktion um 4,6 Prozentpunkte bedeutet. Somit konnte bei der Defikom-Ausrüstung eine statistisch signifikante Reduktion der Hands-off-Zeit um 11,5% ($4,6/40,1$) gegenüber der Standardausrüstung gemessen werden.

Diese signifikante Reduktion der Hands-off-Zeit könnte durch die audio-visuelle Anleitung der Defikom-Ausrüstung bewirkt worden sein. Obwohl die meisten unserer Probanden wenig Erfahrung mit der Durchführung der CPR hatten, konnten sie vermutlich mithilfe der Sprachanweisung und der visuellen Darstellung der BLS- und ALS-Maßnahmen auf dem Defikom-Monitor den Anforderungen der ERC-Leitlinien besser gerecht werden.

4.1.2 Zeitspanne bis zum 1. Helferwechsel

Die Zeitspanne bis zum ersten Helferwechsel ist bei der Defikom-Ausrüstung im Durchschnitt signifikant 50 Sekunden kürzer als bei der Standardausrüstung. Dies bedeutet eine Reduktion von 18,3% gegenüber der Standardausrüstung. Durch die audiovisuelle Anweisung der Defikom-Ausrüstung, alle 2 Minuten einen Helferwechsel vorzunehmen, ist vermutlich der frühzeitige Helferwechsel zustande gekommen. Ein frühzeitiger Helferwechsel hat eine außerordentliche Praxisrelevanz, da die physischen Ermüdungserscheinungen bei den Team-Mitgliedern hierdurch reduziert werden [24, 62, 72].

4.1.3 Beatmungsvolumina

Auch bezüglich der Beatmungsvolumina gab es bei den Ausrüstungen deutliche Unterschiede. Bei der Defikom-Ausrüstung lag der Anteil der korrekten Tidalvolumina (400 - 600 ml) bei 60,9% und bei der Standardausrüstung bei 34,3%, $p=0,018$. Zudem sind Beatmungsvolumina, die kleiner als 400 ml waren, mit 53,5% der Beatmungen deutlich häufiger bei der Standardausrüstung aufgetreten als bei der Defikom-Ausrüstung mit 26,3%. Die Beatmungsfrequenz pro Minute war bei beiden Ausrüstungen annähernd gleich klein und hier zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen ihnen.

4.1.4 Thoraxkompression

Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ausrüstungen bei der Thoraxkompression. Die Mehrzahl der Thoraxkompressionen war mit einer Kompressionstiefe von weniger als 5 cm nicht korrekt. Lediglich 31,6% bei der Standardausrüstung und 28,6% bei der Defikom-Ausrüstung waren korrekte Thoraxkompressionen mit einer Tiefe von 5-6 cm.

Die Frequenz der Thoraxkompressionen pro Minute war erstaunlich hoch und lag bei der Standardausrüstung bei 72,7/min und bei der Defikom-Ausrüstung bei 76,9/min. Dafür könnte erstens die Verwendung des Metronoms und zweitens die frühzeitige Intubation mittels Larynxtubus in beiden Studien verantwortlich sein. Durch die frühzeitige Intubation konnte die Thoraxkompression ohne Unterbrechung durchgehend fortgeführt werden.

4.2 Vergleich der Ergebnisse mit anderen Studien

4.2.1 Hands-off-Zeit

Die Hands-off-Zeit konnte bei der Defikom-Ausrüstung um 11,5% gegenüber der Standardausrüstung reduziert werden.

Da die Zeit der Organischämie die Prognose von Patienten mit einem Kreislaufstillstand maßgeblich mitbestimmt [11], werden in den aktuellen internationalen Leitlinien zur CPR von 2010 die Bedeutung des Faktors Zeit bis zur Wiederherstellung einer ausreichenden Durchblutung von Herz und Gehirn nach einem Kreislaufstillstand, und die dazu notwendige, möglichst ununterbrochene, korrekte Durchführung einer Herzdruckmassage ausdrücklich hervorgehoben [36, 49].

Bei einer Unterbrechung der Herzdruckmassage fallen der koronare und der zerebrale Perfusionsdruck sofort ab [7, 12, 54]. Bei erneutem Beginn der Thoraxkompressionen, gibt es in der Regel eine Verzögerung, bis die vorherigen koronaren und zerebralen Perfusionsdrücke wieder erreicht sind [68]. Berg et al. weisen darauf hin, dass bei einer Unterbrechung der CPR etwa 45 Sekunden benötigt werden, um anschließend den zuvor vorhandenen Blutdruck wieder zu erreichen [7].

Unterbrechungen der Herzdruckmassage für Pulsanalyse, EKG-Analysen und Beatmungen wirken sich negativ auf die Überlebenschancen aus. Dies stellten Eftestol et al. in einer Studie zur CPR außerhalb des Krankenhauses fest. Die Gruppe konnte zeigen, dass bereits eine Unterbrechung der Thoraxkompression von 20 Sekunden die Wahrscheinlichkeit für eine erfolgreiche Rückkehr des spontanen Kreislaufs (ROSC) und die Wahrscheinlichkeit für eine erfolgreiche Defibrillation im Mittel um 8-11% senkt [16]. Yu et al. konnten in tierexperimentellen Untersuchungen an Schweinen nachweisen, dass Unterbrechungen von mehr als 15 Sekunden mit schlechterem Ergebnis und schlechterer Herzleistung nach primär erfolgreicher CPR einhergehen [77].

Edelson et al. halten fest, dass sich die Zahl der tatsächlich vollzogenen Herzdruckmassagen pro Minute mit kurzgehaltenen Unterbrechungen positiv auf die

Wiederbelebnungsmaßnahme auswirken kann. Demnach war eine erfolgreiche Defibrillation eher möglich, wenn die Hands-off-Zeit vor dem Schock möglichst kurz war. Jeweils 5 Sekunden Hands-off-Zeit-Verkürzung brachten eine Steigerung der Überlebenschancen um eine Odds-Ratio (OR) von 1,86. Auch hier folgern die Autoren, dass das Befolgen der Leitlinien für die Überlebenschancen maßgeblich ist [15].

Die während unserer Studie ermittelte Hands-off-Zeit, sowohl für die Standardausrüstung mit 40,1% als auch für die Defikom-Ausrüstung mit 35,6%, lag unter der Hands-off-Zeit, die in vielen klinischen Feldstudien unter Realbedingungen ermittelt wurde. Valenzuela et al. konnten in einer tierexperimentellen Untersuchung eine Hands-off-Zeit von 57% erreichen [66]. In einer anderen außerklinischen Studie von van Alem et al. war eine Reduktion der Hands-off-Zeit auf 55% zu verzeichnen [68]. Für die Reduktion der Hands-off-Zeit während unserer Untersuchung könnte, wie bereits oben erwähnt, die Sprachanweisung der Defikom-Ausrüstung verantwortlich sein.

Eine prospektiv randomisierte cross-over Simulationsstudie von Lukas et al. von 2013, in der Medizinstudenten mithilfe eines Echtzeit-Feedback-Systems, bestehend aus audiovisuellem Countdown-Zähler, einem Metronom, einem Display mit Anzeige der Thoraxkompressions-Qualität und Sprachanweisung, durch die CPR geleitet wurden, ähnlich wie bei unserer Studie, konnte ebenfalls zeigen, dass die Probanden während der CPR gemäß der ERC-Leitlinien handelten und im Vergleich mit dem Gerät ohne Echt-Zeit-Feedback-System im Durchschnitt eine signifikant kürzere Hands-off-Zeit, eine höhere Frequenz von Thoraxkompressionen und kürzere Pausen vor und nach einem Defibrillations-Schock erreichten [42].

In einer prospektiven außerklinischen Observationsstudie fanden Christenson et al. durch eine multivariate-lineare Regressionsanalyse heraus, dass durch die Anhebung der Thoraxkompressionsrate um 10% die Wahrscheinlichkeit, einen Kreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses zu überleben, um das 1,11-fache steigt [12]. In unserer Studie konnte mithilfe der Defikom-Ausrüstung eine Reduktion der Hands-off-Zeit um 11,5% erreicht werden. Vor diesem Hintergrund halten wir die signifikante Reduktion der Hands-off-Zeit auch für klinisch relevant.

4.2.2 Zeitspanne bis zum 1 Helferwechsel

Bei der Defikom-Ausrüstung war die Zeitspanne bis zum ersten Helferwechsel signifikant kürzer als bei der Standardausrüstung. Eine innerklinische Reanimationsstudie von Sugerman et al. zeigte, dass die durchschnittliche Tiefe einer Herzdruckmassage selbst während eines Echtzeit-Feedbacks, nach 1,5 - 3 Minuten aufgrund körperlicher Erschöpfung nachlässt [62]. Daher wird in den ERC-Leitlinien von 2010 empfohlen, dass sich Team-Mitglieder circa alle zwei Minuten abwechseln, um einer Verminderung der Druckqualität, verursacht durch Ermüdungserscheinungen, entgegenzuwirken [36]. In einer außerklinischen Reanimationsstudie von Wik et al. konnte zudem gezeigt werden, dass die Drucktiefe mit Fortschreiten der CPR durchschnittlich nur 3,4 cm betrug, was auch nach damals gültigen Leitlinien 2005 zu wenig war [72].

Hightower et al. ließen in einer Simulationsstudie erfahrene Krankenpfleger 5 Minuten lang ohne Unterbrechung an einem Patientensimulator reanimieren. Zusätzlich sollten sie den Zeitpunkt angeben, zu dem sie subjektiv gefühlt ermüdeten, und dieser wurde notiert. Das Resultat war, dass die Qualität der Thoraxkompression nach einer Minute signifikant abnahm und sich mit jeder weiteren Minute im Durchschnitt um 18,6% verschlechterte. Zudem hatten die Probanden eine falsche Einschätzung ihrer Ermüdbarkeit gezeigt und waren deutlich früher erschöpft, als nach ihrer eigenen Wahrnehmung. Die physische Ermüdung war daran zu messen, dass die Drucktiefe kontinuierlich abnahm. Die Autoren gaben die Empfehlung, dass der Teamführer sorgfältig darauf achten solle, dass die Qualität der Thoraxkompression nicht durch die Übermüdung des Personals gefährdet sei [24].

Dass die Drucktiefe für den Erfolg einer CPR maßgeblich war, zeigten Untersuchungen von Kramer-Johansen und Edelson:

Kramer-Johansen et al. konnten in einer außerklinischen Reanimationsstudie durch den Einsatz eines Feedbackgerätes nachweisen, dass die Kompressionsfrequenz und die Drucktiefe signifikant zunahmen. Eine Verbesserung der Drucktiefe war verbunden mit einer erhöhten Überlebensrate (4,3% versus 2,9% in der Intent-to-treat-Analyse) [37].

Edelson et al. fanden bei ihrer prospektiven Multicenter- und Observationsstudie ebenfalls einen Zusammenhang zwischen Erfolg der Defibrillation und Kompressionstiefe der vorangegangenen CPR. Eine erfolgreiche Defibrillation war demnach eher möglich, wenn die Drucktiefe der CPR vor dem Schock möglichst hoch war. Jeweils 5 mm Drucktiefensteigerung brachten eine Steigerung der Überlebenschance um eine Odds-Ratio (OR) von 1,99 [15].

4.2.3 Beatmungsvolumina

In unserer Untersuchung lag bei der Defikom-Ausrüstung der Anteil der Beatmungen mit einem korrekten Tidalvolumen zwischen 400 - 600 ml signifikant höher mit 60,9%, als bei der Standard-Ausrüstung mit 34,3%. Die ERC-Leitlinien 2010 empfehlen ein Atemzugvolumen von annähernd 6–7 ml/kg KG [36]. Da die Maße des Patientensimulators in der Studie etwa die eines 75 kg schweren Patienten waren, entsprechen 6–7 ml/kg KG Tidalvolumen ungefähr 400 - 600 ml Tidalvolumen.

Des Weiteren war die Frequenz der Beatmung pro Minute bei beiden Ausrüstungen annähernd gleich niedrig. Eine Hyperventilation sollte vermieden werden, da durch die konventionellen Überdruckbeatmungen erhöhte intrathorakale Drücke entwickelt werden. Die Erhöhungen haben zur Folge, dass sich sowohl der venöse Rückstrom zum Herzen als auch dessen Auswurfleistung rapide reduzieren [32]. Aufderheide et al. konnten in einer tierexperimentellen Untersuchung an Schweinen zeigen, dass durch die Hyperventilation die koronare Perfusion abnahm und hierdurch sich die Überlebenschance der Schweine während einer CPR verringerte [5].

Mehrere Studien konnten nachweisen, dass ein geringes Atemminutenvolumen (Atemzugvolumen und Atemfrequenz weniger als 6-8 ml/kg KG) während der CPR eine wirksame Sauerstoffaufnahme und Ventilation aufrecht erhalten kann, und zugleich die Gefahr der Mageninsufflation und die daraus resultierende Aspirationsgefahr bei nicht gesichertem Atemweg minimiert [14, 29, 30].

4.2.4 Thoraxkompression

In unserer Untersuchung fanden bei der Standardausrüstung durchschnittlich 72,7 und bei der Defikom-Ausrüstung durchschnittlich 76,9 Thoraxkompressionen pro Minute statt. Die Druckfrequenz (Tempo, mit der die 30 aufeinander aufbauenden Herzdruckmassagen durchgeführt werden) sollte laut ERC-Leitlinien mindestens 100 Thoraxkompressionen pro Minute betragen. Die wirkliche Anzahl der Thoraxkompressionen pro Minute ist jedoch aufgrund von Unterbrechungen sowohl für die EKG-Analyse als auch für die Beatmungen, deutlich niedriger. In den ERC-Leitlinien werden daher bezogen auf die Gesamtdauer der CPR mindestens 60 Herzdruckmassagen pro Minute empfohlen [13].

In einer außerklinischen Reanimationsstudie von Wik et al. erreichten professionelle Rettungshelfer Druckfrequenzen von 100–120 pro Minute, die durchschnittliche Menge an Herzdruckmassagen verringerte sich jedoch, bedingt durch die vielfachen Unterbrechungen, auf 64 pro Minute [72]. Verglichen mit dieser Studie waren unsere Probanden mit wenig praktischer CPR-Erfahrung mit beiden Studienausrüstungen deutlich besser. Die erhöhte Thoraxkompressionsrate kann durch die Anleitung des Metronoms und eventuell auch durch die frühzeitige Intubation zustande gekommen sein.

Die Verwendung eines Metronoms ermöglicht problemlos die ERC-Leitlinien-Empfehlung, eine Thoraxkompressionsrate von 100 pro Minute, einzuhalten. Dies konnte die oben zitierte prospektiv randomisierte cross-over Simulationsstudie von Lukas et al. zeigen. Die Probanden konnten mithilfe eines Metronoms während der CPR signifikant höhere Thoraxkompressionsraten generieren als ohne Metronom [42].

4.2.5 Audio-visuelle Anleitung und Feedback-Mechanismus

In unserer Untersuchung wurden ALS-Maßnahmen den Probanden durch die audio-visuelle Anleitung der Defikom-Ausrüstung in Echtzeit sowohl im Display angezeigt als auch angesagt. Das Metronom gab dem ALS-Anwender eine Herzdruckmassage-Frequenz von 100 pro Minute vor. Der Helfer-Wechsel und die ALS-Maßnahmen wurden per Sprachanweisung vorgegeben.

Lukas et al. konnten in ihrer Studie, in der die Qualität der Thoraxkompressionen bei außerklinischen CPR gemessen und geprüft wurde, zeigen, dass durch den Einsatz eines speziellen Feedback-Systems eine Steigerung der Qualität der Thoraxkompression im Vergleich zu den bisher publizierten Werten erreicht werden konnte. Daher empfehlen sie ebenfalls die Verwendung eines Feedback-Systems (Kombination aus einem akustischen Taktgeber mit Zielfrequenz 100 pro Minute und einem audiovisuellen Feedback der Kompressionstiefe), welches die Einhaltung der korrekten Thoraxkompressionen gemäß den ERC-Leitlinien ermöglicht [41]. Ähnliche Ergebnisse zeigte auch eine randomisierte Simulationsstudie von Wutzler et al., wobei sie die CPR mit audiovisuellem Feedback-System und ohne Feedback-System bei Krankenpflegern untersuchten [75].

Eine prospektive, cluster-randomisierte außerklinische Studie von Hostler et al. ergab, dass die Performance der Rettungsdienstmitarbeiter während der Reanimation weitgehender den ERC-Leitlinien entsprach, wenn sie durch ein audio-visuelles Feedback-Gerät geleitet wurden [25].

Handley et al. untersuchten in ihrer Simulationsstudie die Qualität der Reanimationsleistungen von Krankenhauspersonal. Zunächst wurde eine CPR ohne vorheriges Reanimationstraining durchgeführt, die Qualität der CPR am Patientensimulator erwies sich als schlecht. Daraufhin untersuchten die Autoren den Einfluss eines Defibrillators mit akustischem Feedback zur Korrektur der CPR-Qualität. Das Resultat war, dass die Gruppe, die durch die Sprachanweisung geleitete wurde, schon in den ersten 3 Minuten eine signifikante Verbesserung der Thoraxkompressionstiefe erreichte. Nach dreiminütiger CPR-Zeit wurden auch das Tidalvolumen und die Beatmungsfrequenz in der Feedback-Gruppe deutlich besser [23].

Eine systemische Übersichtsarbeit von Yeung et al. untersuchte die Benutzung von CPR-Feedback-Geräten mit Sprachanweisung während der CPR. Die Studie ergab, dass durch die Benutzung von CPR-Feedback-Geräten die Einhaltung und Umsetzung der ERC-Leitlinien während der CPR vereinfacht wurde. Ob diese Wirkung auch einen Überlebensvorteil für Patienten erzeugt, konnte sie nicht beantworten [76].

Eine prospektive randomisierte außerklinische Studie von Bohn et al. zeigte, dass bereits die Verwendung einfacherer AED-Geräte mit Metronom-Funktion sowie regelmäßiges CPR-Training ausreichen, um qualitativ hochwertigere Herzdruckmassagen während der Reanimation zu gewährleisten. Die zusätzliche

Verwendung von Feedback-Geräten mit Sprachanweisung erbrachten weder eine Verbesserung der CPR-Qualität, noch ein besseres Outcome bei Patienten mit plötzlichem Herz-Kreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses [9].

Dass Feedbackgeräte nicht immer zielführend sind, sondern auch den Anwender ablenken können, zeigt eine Studie von Kramer-Johansen und Kollegen. Sie verglichen in Norwegen 176 außerklinische Reanimationen ohne Feedbackgerät und 108 Reanimationen mit audiovisuellem Feedback durch einen Prototypen. Hier konnte der primäre Endpunkt, die Reduktion der Hands-off-Zeit, nicht erreicht werden. Es wurde von den Autoren spekuliert, dass die Anwender durch unterschiedliche Stimulationen (tonal und sprachliche Anweisung) durch das Feedbackgerät verwirrt wurden [37].

Eine Metaanalyse von Kirkbright et al., in die drei interventionelle klinische Studien und 17 Simulationsstudien eingeschlossen wurden, konnte zeigen, dass durch die Verwendung eines Feedback-Gerätes die Thoraxkompressions-Parameter sowohl in den klinischen Studien als auch in den Simulationsstudien annähernd den Empfehlungen der ERC-Leitlinien entsprachen. Allerdings brachte die Verwendung eines Feedback-Gerätes keinen Überlebensvorteil [33].

5. Klinische Relevanz

Trotz Etablierung und Schulung von CPR, elektrischer Defibrillation und anderer Reanimationstechniken sind die Überlebensraten nach CPR immer noch niedrig. Bei Reanimationen außerhalb des Krankenhauses liegen die Überlebensraten bei 12 % [19]. Das Defikom-System hat das Potenzial, dieser niedrigen Rate entgegen zu wirken. So konnten unsere wenig geschulten ALS-Anwender in der Simulationsstudie mithilfe des Gerätes eine höhere Übereinstimmung mit den ERC-Leitlinien erreichen.

Übertragen auf Rettungsdienstsysteme ohne Notärzte oder Rettungsdienste im ländlichen Raum, wo ein Notarzt nicht in unmittelbarer Nähe ist, könnte das Gerät als ein weiteres praktisches Hilfsmittel sowohl den professionellen Rettungsdienstmitarbeitern als auch den ehrenamtlichen Erst-Helfern mit Sanitätserfahrung dazu verhelfen, die Überlebensrate bei Reanimationen außerhalb des Krankenhauses zu steigern.

Ferner könnten Rettungsdienstmitarbeiter mit wenig Erfahrung in der CPR oder First Responder, die im ländlichen Raum aufgrund der langen Wartezeit auf den Rettungsdienst teilweise die Erstversorgung des Patienten übernehmen, ebenfalls durch die Anleitung des Defikom-Systems profitieren.

Bei vielen Reanimationen, vor allem in der internationalen präklinischen Rettungsmedizin, führen ausgebildete nichtärztliche Rettungsteams die ALS-Maßnahmen durch, solange bis ein Notarzt am Einsatzort eintrifft, oder bis zum Erfolg oder Abbruch der Reanimation ohne Notarzt. Diese Situation tritt in den Rettungsdienstsystemen vieler europäischer Länder regelmäßig ein. Somit könnte das Kombinationsgerät Defikom auch außerhalb von Deutschland als unterstützendes Gerät bei der Reanimation einen besonderen Stellenwert in der nichtärztlichen Rettungsmedizin haben.

6. Limitationen der Studie

Als unvermeidliche Limitation der Studie muss allerdings die nur eingeschränkte Übertragbarkeit der Ergebnisse mit dem Patientensimulator auf den Einsatz am Menschen beachtet werden. Eine Simulation unterliegt immer Einschränkungen bei der Realitätsnähe der Methode, die sich auch mit qualitativ hochwertigen Notfallsimulatoren nicht ausschließen lassen. Bei einer realen Reanimation kommen immer situationsbedingte Einflüsse (örtliche Begebenheiten, besondere Patienteneigenschaften wie Adipositas etc.) hinzu.

Parameterdaten, die in der Simulation mit dem Patientensimulator erhoben wurden, lassen sich dadurch nur eingeschränkt auf die Realsituation übertragen. Gerade die Ergebnisse der untersuchten Parameter „Zeitspanne bis zur erfolgten Anlage eines "iv-Zugangs“ oder die Ventilationsparameter „Anteil der Beatmungen mit einem Tidalvolumen zwischen 400 - 600 ml“ und „Maximal applizierter Beatmungsdruck“ sind vor diesem Hintergrund zu diskutieren.

Die Führung eines ALS-Anwenders durch ein Kombinationsgerät mit Sprachanweisung hat einen besonderen Stellenwert bei der Reanimation durch ein nichtärztliches, aber geschultes Reanimationsteam. Beruhend auf den Erfahrungen von Kramer-Johansen et al. [37] ist kritisch zu diskutieren, ob tonale oder sprachliche Signale oder der Einsatz von beiden sinnvoll sind, bzw. wann ein Zuviel an Anweisungen den Anwender eher verwirrt, als ihm Hilfestellung zu geben.

Eine mögliche Validitätseinschränkung könnte zudem darin liegen, dass der Patientensimulator inmitten eines großen Raumes platziert wurde. Teilnehmer und Material hatten somit die bestmöglichen Platzverhältnisse. In der Studie wurde somit gewährleistet, dass jeder Teilnehmer eine optimale Position für Thoraxkompression, Beatmung und Durchführung der Intubation an dem Patientensimulator einnehmen konnte. Die Voraussetzungen für einen korrekten Druckpunkt, einen exakten Sitz der Beatmungsmaske und der Intubation unter Sicht waren jederzeit gegeben. Insgesamt hat es sich also um ein ideales Umfeld gehandelt, welches im Arbeitsalltag der Rettungskräfte häufig nicht vorzufinden ist.

7. Zusammenfassung

Hintergrund: Bei der kardiopulmonalen Reanimation (CPR) müssen Advanced Life Support-Maßnahmen (ALS-Maßnahmen: der Einsatz von Herzdruckmassage, Beatmung, EKG-Analyse, Defibrillation und Medikamentengabe) aufeinander abgestimmt sein. ALS-Anwender haben oft Schwierigkeiten, die CPR-Richtlinien einzuhalten.

Zielsetzung: Das Ziel dieser Studie ist, Medizinstudenten, die wenig Erfahrung in der Durchführung der CPR haben, durch eine Reanimation zu leiten und dabei ALS-Maßnahmen nach den Vorgaben der ERC-Leitlinien von 2010 anzuwenden.

Methodik: 42 Medizinstudierende führten nach Einführung und praktischer Übung der CPR nach den ERC-Leitlinien 2010 mit der Defikom-Ausrüstung und der Standardausrüstung in randomisierter Reihenfolge eine Zwei-Helfer-Reanimation am Patientensimulator durch.

Ergebnisse: In der vorliegenden Untersuchung konnte die Defikom-Ausrüstung die Zeit ohne Herzdruckmassage während der gesamten Reanimationszeit (Hands-off-Zeit) um 11,5% reduzieren, die Zeitspanne bis zum 1. Helferwechsel signifikant reduzieren (Median 223 vs. 273 Sek.), und den prozentualen Anteil der Beatmungen mit einem Tidalvolumen zwischen 400 - 600 ml an den insgesamt verabreichten Beatmungen signifikant erhöhen (Median 60,9 vs. 34,3%).

Schlussfolgerung: Die Studie hat gezeigt, dass der Einsatz eines interaktiven kombinierten Beatmungs- und Defibrillationsgerätes die Qualität der CPR steigern konnte, indem die Koordination von Analyse-, Beatmungs-, Schock- und Herzdruckmassage-Zeiten vom Gerät vorgegeben bzw. abgenommen wird. Die Durchführung der CPR durch geschulte Medizinstudenten am Patientensimulator geht mithilfe der Defikom-Ausrüstung im Vergleich zur Standardausrüstung mit einer verbesserten Qualität der CPR einher. Das Defikom-System könnte beim Einsatz von Rettungsdienstmitarbeitern mit wenig praktischen Erfahrungen in der CPR zu einer höheren Übereinstimmung mit den ERC-Leitlinien und höheren Überlebensraten bei einer CPR außerhalb des Krankenhauses führen.

8. Summary

Background: Cardiopulmonary resuscitation (CPR) requires Advanced Life Support measures (ALS measures: the use of chest compressions, ventilation, ECG analysis, defibrillation and medication delivery). ALS users often find it difficult to comply with the CPR guidelines.

Objective: The aim of this study is to guide medical students who have little experience in CPR implementation by means of resuscitation, using ALS measures in accordance with the ERC guidelines of 2010.

Methods: After the introduction and practical exercise of the CPR in the ERC guidelines 2010, fortytwo medical students conducted CPR with the Defikom equipment and the standard equipment in a full-scale mannequin simulation study with a randomized crossover study design.

Results: In the present study, the Defikom equipment was able to reduce the time without chest compressions during the entire period (hands-off-time) by 11.5%, significantly reduce the time interval until the first rescue changeover (median 223 vs. 273 sec), and increased the percentage of ventilation with a correct tidal volume of 400 - 600 ml in the total administered respirations significantly (median 60.9 vs. 34.3%).

Conclusions: Performing the CPR by trained medical students on the mannequin simulation study is achieved with the help of the Defikom equipment compared to the standard equipment with an improved quality of the CPR in terms of reduction of the hands-off-time, reduction of the time interval until the first rescue changeover and an increase in the proportion of ventilation with a correct tidal volume.

The Defikom equipment could improve CPR quality and the accordance with CPR guidelines of Emergency Medical Services crew with limited experience or limited frequency of CPR performance. So, it could increase the outcome after cardiac arrest out of hospital.

9. Abkürzungsverzeichnis

AED	Automatisierter Externer Defibrillator
AHA	American Heart Association
ALS	Advanced Life Support
ANZCOR	Australian and New Zealand Committee on Resuscitation
BLS	Basic Life Support
CPR	Kardiopulmonale Reanimation
EKG	Elektrokardiographie
ERC	European Resuscitation Council
Flap	Auftrieb
GRC	German Resuscitation Council
KG	Körpergewicht
HSFC	Heart and Stroke Foundation of Canada
ILCOR	International Liaison Committee on Resuscitation
IAHF	Inter American Heart Foundation
IPPV	Intermittent Positive Pressure Ventilation
iv-Zugang	Intravenöser Zugang
PEA	Pulslose elektrische Aktivität
PEEP	Positive Endexpiratory Pressure
Pmax	Spitzendruck
RCA	Resuscitation Council of Asia
RCSA	Resuscitation Council of Southern Africa
ROSC	Return of spontaneous circulation
VF	Ventrikuläre Fibrillation = Kammerflimmern
VT	Ventrikuläre Tachykardie

10. Literaturverzeichnis

1. Abella BS, Alvarado JP, Myklebust H, et al. (2005) Quality of cardiopulmonary resuscitation during in-hospital cardiac arrest. *JAMA*. 293(3):305–310.
2. Abella BS, Sandbo N, Vassilatos P, et al. (2005) Chest compression rates during cardiopulmonary resuscitation are suboptimal: a prospective study during in-hospital cardiac arrest. *Circulation*. 111(4):428–434.
3. Adrie C, Laurent I, Monchi M, Cariou A, Dhainaou JF, Spaulding C (2004) Postresuscitation disease after cardiac arrest: a sepsis-like syndrome? *Curr Opin Crit Care*. 10(3):208-212.
4. AHA (2000) Guidelines 2000 for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. Part 4: the automated external defibrillator: key link in the chain of survival. The American Heart Association in Collaboration with the International Liaison Committee on Resuscitation. *Circulation*. 102:I60-176.
5. Aufderheide TP, Sigurdsson G, Pirralo RG, et al. (2004) Hyperventilation-induced hypotension during cardiopulmonary resuscitation. *Circulation*. 109(16):1960–1965.
6. Berdowski J, Berg RA, Tijssen JG, et al. (2010) Global incidences of out-of-hospital cardiac arrest and survival rates: systematic review of 67 prospective studies. *Resuscitation*. 81(11):1479-1487.
7. Berg RA, Sanders AB, Kern KB, et al. (2001) Adverse hemodynamic effects of interrupting chest compressions for rescue breathing during cardiopulmonary resuscitation for ventricular fibrillation cardiac arrest. *Circulation*. 104(20):2465-2470.
8. Bertschat, F.L. (1999). Lehrbuch für den Rettungsdienst. De Gruyter, Berlin, New York 329-332.
9. Bohn A, Weber TP, Wecker S, Harding U, Osada N, Van Aken H, et al. (2011) The addition of voice prompts to audiovisual feedback and debriefing does not modify CPR

quality or outcomes out of hospital cardiac arrest - A prospective, randomized trial. *Resuscitation*. 82(3):257-262.

10. Böttiger BW, Bernhard M, Knapp J, Nagele P (2016) Influence of EMS-physician presence on survival after out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation: systematic review and meta-analysis. *Crit Care* 20:4.

11. Castagna J, Weil MH, Shubin H. (1974) Factors determining survival in patients with cardiac arrest. *Chest*. 65(5):527–529.

12. Christenson J, Andrusiek D, Everson-Stewart S, et al. (2009) Chest compression fraction determines survival in patients with out-of-hospital ventricular fibrillation. *Circulation*. 120(13):1241–1247.

13. Deakin CD et al. (2010) European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010. Section 4. Adult advanced life support. *Resuscitation*. 81(10):1277–1292.

14. Dorph E, Wik L, Steen PA (2004) Arterial blood gases with 700 ml tidal volumes during out-of-hospital CPR. *Resuscitation*. 61(1):23–27.

15. Edelson D, Abella B, Kramer-Johansen, et al. (2006) Effects of compression depth and pre-shock pauses predict defibrillation failure during cardiac arrest. *Resuscitation*. 71(2):137-145.

16. Eftestol T, Sunde K, Steen PA, et al. (2002) Effects of interrupting precordial compressions on the calculated probability of defibrillation success during out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation*. 105(19):2270–2273.

17. Flake F, Gliwitzky B, Grusnick HM, et al. (2013) Notfallsanitäter – Chancen und Perspektiven des neuen Berufsbildes. *Notfall+Recht*. 16(8):598-603.

18. Gallagher EJ, Lombardi G, Gennis P (1995) Effectiveness of bystander cardiopulmonary resuscitation and survival following out-of-hospital cardiac arrest.

JAMA. 274(24):1922-1925.

19. Gräsner JT, Wnent J, Seewald S, Brenner S, Jantzen T, Fischer M, Jakisch B, Bohn A und die teilnehmenden Rettungsdienste im Deutschen Reanimationsregister (2017) Jahresbericht Außerklinische Reanimation 2016 des Deutschen Reanimationsregisters. *Anasth Intensivmed* 58: 365-366.

20. Gräsner JT, Seewald S, Bohn A, et al. (2014) Deutsches Reanimationsregister - Wissenschaft und Reanimationsforschung. *Der Anästhesist*. 63(6):470-476.

21. Gretenkort P, Beneker J, Döriges V, Fischer L, Kann D, & Sefrin P (2017). Strukturänderungen in der präklinischen Notfallmedizin-Standortbestimmung 2016. *Intensiv-und Notfallbehandlung*, 42(1), 31.

22. Hagihara A, Hasegawa M, Abe T, Nagata T, Nabeshima Y (2014) Physician Presence in an Ambulance Car Is Associated with Increased Survival in Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A Prospective Cohort Analysis. *PLoS ONE*. 9(1):e84424.

23. Handley AJ, Handley SA (2003) Improving CPR performance using an audible feedback system suitable for incorporation into an automated external defibrillator. *Resuscitation*. 57(1):57–62.

24. Hightower D et al. (1995) Decay in Quality of Closed-Chest Compressions Over Time. *Annals of emergency medicine*. 26(3):300-303.

25. Hostler D, Everson-Stewart S, Rea TD, et al. (2011) Effect of real-time feedback during cardiopulmonary resuscitation outside hospital: prospective, cluster-randomised trial. *BMJ*. 324-d512.

26. <http://www.grc-org.de/verein> [Stand: 29.05.2016].

27. <http://www.reanimationsregister.de> [Stand: 01.07.2017].

28. Huikuri HV, Castellanos A, Myerburg RJ (2001) Sudden death due to cardiac

arrhythmias. *New England Journal of Medicine*. 345(20):1473-1482.

29. Idris A, Gabrielli A, Caruso L (1999) Smaller tidal volume is safe and effective for bag-valve-ventilation, but not for mouth-to-mouth ventilation: an animal model for basic life support. *Circulation*. 100(Suppl 1):I-644.

30. Idris A, Wenzel V, Banner MJ, Melker RJ (1995) Smaller tidal volumes minimize gastric inflation during CPR with an unprotected airway. *Circulation*. 92(8):3653-3653.

31. Karch SB, Graff J, Young S, Ho CH (1998) Response times and outcomes for cardiac arrests in Las Vegas casinos. *Am J Emerg Med*. 16(3):249-253.

32. Kill C, Hahn O, Dietz F, et al. (2014) Mechanical ventilation during cardiopulmonary resuscitation with intermittent positive-pressure ventilation, bilevel ventilation, or chest compression synchronized ventilation in a bag model. *Crit Care Med*. 42(2):e89-e95.

33. Kirkbright S, Judith F, Hideo T, et al. (2014) Audiovisual feedback device use by health care professionals during CPR: A systematic review and meta-analysis of randomised and non-randomised trials. *Resuscitation*. 85(4):460-471.

34. Kirves H, Skrifvars MB, Vähäkuopus M, et al. (2007) Adherence to resuscitation guidelines during prehospital care of cardiac arrest patients. *Eur J Emerg Med*. 14(2):75-81.

35. Ko PC, Chen WJ, Lin CH, Ma MH, Lin FY (2005) Evaluating the quality of prehospital cardiopulmonary resuscitation by reviewing automated external defibrillator records and survival for out-of-hospital witnessed arrests. *Resuscitation*. 64(2):163-169.

36. Koster RW, Baubin MA, Bossaert LL, et al. (2010) European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010, Section 2. Adult basic life support and use of automated external defibrillators, *Resuscitation*. 81(10):1277-1292.

37. Kramer-Johansen J, Myklebust H, Wik L, et al. (2006) Quality of out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation with real time automated feedback; a prospective interventional study. *Resuscitation*. 71(3):283-292.
38. Kramer-Johansen J, Wik L, Steen PA (2006) Advanced cardiac life support before and after tracheal intubation--direct measurements of quality. *Resuscitation*. 68(1):61-69.
39. Lewis RP, Stang JM, Fulkerson PK, Sampson KL, Scoles A, Warren JV (1979) Effectiveness of advanced paramedics in a mobile coronary care system. *JAMA*. 241(18):1902–1904.
40. Lukas RP, Wecker S, Steffler C, et al. (2015) Einsatz des Larynxtubus durch Rettungsassistenten reduziert die Unterbrechung der Reanimation. *Notfall+Rettungsmed*. 18(1):29-34.
41. Lukas RP, Sengelhoff C, Döpker S, et al. (2010) Thoraxkompressionsqualität: Hilft Feedback-Technologie? *Anaesthesist*. 59:135–139.
42. Lukas RP, Engel P, Wecker S, et al. (2013) Cardiopulmonary resuscitation guidance improves medical students' adherence to guidelines in simulated cardiac arrest. *Eur J Anaesthesiol*. 30(12):752-757.
43. Maisch S, Krüger A, Oppermann S, et al. (2010) Verbessertes Überleben durch leitliniengerechte kardiopulmonale Reanimation. Analyse der primären Überlebensrate im Hamburger Rettungsdienst. *Der Anaesthesist*. 59(11): 994-1002.
44. Marung H (2013) Laienreanimation – Telefonische Anleitung von Laien zur Reanimation. *AINS Anesthesiol- Intensivmed- Notfallmed- Schmerztherapie*. 48(9):546–551.
45. Messelken M, Kehrberger E, Dirks B, Fischer M, et al. (2010) The quality of emergency medical care in Baden-Württemberg (Germany): four years in focus. *Dtsch Arztebl Int*. 107(30):523–530.

46. Mikkelsen S, Krüger AJ, Zwisler ST, et al. (2015) Outcome following physician supervised prehospital resuscitation: a retrospective study. *BMJ open*. 5(1): e006167.
47. Mitchell RG, Brady W, Guly UM, Pirralo RG, Robertson CE (1997) Comparison of two emergency response systems and their effect on survival from out of hospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 35(3):225–229.
48. Nichol G, Thomas E, Callaway CW, et al (2008) Regional variation in out-of-hospital cardiac arrest incidence and outcome. *JAMA*. 300(12):1423–1431.
49. Nolan JP, Soar J, Zideman DA, Biarent D, Bossaert LL, Deakin C, Koster RW, Wyllie J, and Böttiger B (2010) European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 Section 1. Executive summary. *Resuscitation*. 81 (10), 1219–1276.
50. Negovsky VA, Gurvitch AM (1995) Post-resuscitation disease--a new nosological entity. Its reality and significance. *Resuscitation*. 30(1):23-27.
51. Neumar RW, Otto CW, Link MS, et al. (2010) Part 8: adult advanced cardiovascular life support: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation*. 122(18 Suppl 3):729–767.
52. Olasveengen TM, Lund-Kordahl I, Steen PA, Sunde K (2009) Out-of hospital advanced life support with or without a physician: effects on quality of CPR and outcome. *Resuscitation*. 80(11):1248–1252.
53. Osterloh F (2010) Ärztlicher Bereitschaftsdienst: Größere Bezirke, weniger Dienste. In: Dtsch Ärztebl. <http://www.aerzteblatt.de/archiv/79058/Aerztlicher-Bereitschaftsdienst-Groessere-Bezirke-weniger-Dienste>. (Zugegriffen: 10.04.2017).
54. Paradis NA, Martin GB, Goetting MG, et al. (1989) Simultaneous aortic, jugular bulb, and right atrial pressures during cardiopulmonary resuscitation in humans. Insights into mechanisms. *Circulation*. 80(2):361-368.

55. Parkins GD, Handley AJ, Koster RW, et al. (2015) Basismaßnahmen zur Wiederbelebung Erwachsener und Verwendung automatisierter externer Defibrillatoren. *Notfall+Rettungsmedizin*. 18(8): 748-769.
56. Reifferscheid F, Braub J et al. (2015) Präklinische Atemwegssicherung bei Erwachsenen - Ergebnisse einer Analyse von 24.668 Einsätzen der Luftrettung in Deutschland. *Kongress Abstract NOSTRA*.
57. Roth K, Baier N, Henschke C, Felgner S, & Busse R (2017). Rechtliche Rahmenbedingungen in der präklinischen Notfallversorgung. *Notfall+ Rettungsmedizin*. 20(3), 237-250.
58. Siegenthaler W, Blum HE. Klinische Pathophysiologie. *Thieme Verlag*, 2006; 9. Auflage.
59. Soar J, Nolan JP, Böttiger BW, Perkins GD, Lott C, Carli P, Sunde K (2015). European resuscitation council guidelines for resuscitation 2015: section 3. Adult advanced life support. *Resuscitation*. 95:100-147.
60. Stokes NA, Scapigliati A, Trammell AR, et al. (2012) The effect of the AED and AED programs on survival of individuals, groups and populations. *Prehosp Disaster Med*. 27(5):419–424.
61. Stroop R, Strickmann B, Horstkötter H, et al (2015). Smartphone-basierte First-Responder-Alarmierung „Mobile Retter“. Implementierung eines qualifizierten Ersthelfer-Systems. *Notarzt* 31:239-245.
62. Sugerman NT, Edelson DP, Leary M, et al. (2009) Rescuer fatigue during actual in-hospital cardiopulmonary resuscitation with audiovisual feedback: a prospective multicenter study. *Resuscitation*. 80(9):981–984.
63. Sunde K, Eftestol T, Askenberg C, et al. (1999) Quality assessment of defibrillation and advanced life support using data from the medical control module of the defibrillator. *Resuscitation*. 41(3):237–247.

64. Sutton RM, Maltese MR, Niles D, et al. (2009) Quantitative analysis of chest compression interruptions during in-hospital resuscitation of older children and adolescents. *Resuscitation*. 80(11):1259–1263.
65. Timmermann A, Russo SG, Eich C et al. (2017) Tea out-of-hospital esophageal and endobronchial intubation performed by emergency physicians. *Anesth Anlag*. 104:619-623.
66. Valenzuela TD, Kern KB, Clark LL, et al. (2005) Interruptions of chest compressions during emergency medical systems resuscitation. *Circulation*. 112(9):1259-1265.
67. Valenzuela TD, Roe DJ, Cretin S, Spaite DW, and Larsen MP (1997) Estimating Effectiveness of Cardiac Arrest Interventions. A Logistic Regression Survival Model. *Circulation*. 96(10):3308–3313.
68. van Alem AP, Sanou BT, Koster RW (2003) Interruption of cardiopulmonary resuscitation with the use of the automated external defibrillator in out-of-hospital cardiac arrest. *Ann Emerg Med*. 42(4):449-457.
69. van Alem AP, Vrenken RH, de Vos R, Tijssen JG, Koster RW (2003) Use of automated external defibrillator by first responders in out of hospital cardiac arrest: Prospective controlled trial. *BMJ*. 327(7427): 312.
70. van Hoyweghen RJ, Bossaert LL, Mullie A, et al. (1993) Quality and efficiency of bystander CPR. Belgian Cerebral Resuscitation Study Group. *Resuscitation*. 26(5):47-52.
71. Wellens JJ, Gorgels AP, de Muter H (2003) Cardiac Arrest Outside of a Hospital: How Can We Improve Results of Resuscitations? *Circulation*. 107:1948-1950.
72. Wik L, Kramer-Johansen J, Myklebust H, et al. (2005) Quality of cardiopulmonary resuscitation during out-of-hospital cardiac arrest. *JAMA*. 293:299–304.

73. Wik L, Steen PA, Bircher NG (1994) Quality of bystander cardiopulmonary resuscitation influences outcome after prehospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 28(3):195-203.
74. Winkler M, Mauritz W, Hackl W, et al. (1998) Effects of half the tidal volume during cardiopulmonary resuscitation on acid-base balance and haemodynamics in pigs. *Eur J Emerg Med*. 5(2):201–206.
75. Wutzler A, Banneher M, von Ulmenstein S, et al. (2014) Performance of chest compressions with the use of a new audio-visual feedback device: A randomized manikin study in health care professionals. *Resuscitation*. 87:81-85.
76. Yeung J, Meeks R, Perkins G, et al. (2009) The use of CPR feedback/prompt devices during training and CPR performance: A systematic review. *Resuscitation*. 80(7):743-751.
77. Yu T, Weil MH, Tang W et al (2002) Adverse outcomes of interrupted precordial compression during automated defibrillation. *Circulation*. 106(3):368–372.
78. Zhan L, Yang LJ, Huang Y, He Q, & Liu GJ. (2017). Continuous chest compression versus interrupted chest compression for cardiopulmonary resuscitation of non-asphyxial out-of-hospital cardiac arrest. *The Cochrane Library*.

11. Danksagung

Mein Dank gilt allen, die mich bei der Entstehung der Doktorarbeit unterstützt haben.

Zu allererst möchte ich mich bei meiner Frau bedanken, die mich stets bestärkt hat, wenn ich an mir gezweifelt habe. Sie hat mir die ganze Zeit den Rücken frei gehalten und daher widme ich ihr diese Arbeit.

Ein besonderes Wort des Dankes möchte ich an meinen Betreuer Herrn PD Dr. med. Rainer Nitzschke richten, ohne den ich niemals ein Licht am Ende der Doktorarbeit gesehen hätte. Auch möchte ich Herrn Dr. Christian Busch danken, der mir mit seinem Fachwissen, seinen konstruktiven Kritik und seinen vielen Ideen immer wieder den nötigen Schwung gegeben hat.

Ein weiterer Dank geht an meinem Doktorvater, Herrn PD Dr. med. Stefan Maisch, denn ohne ihn hätte es diese Studie und letztlich meine Doktorarbeit nicht gegeben.

Ein großer und herzlicher Dank geht an meinen Schwiegervater Herrn Burkhard Schöpf, der gern sämtliche Roh- und Endprodukte meiner Doktorarbeit Korrektur gelesen hat.

Ein Dank geht an alle Teilnehmer der Studie, die sich freiwillig zur Teilnahme bereit erklärt haben und so mithalfen, die Daten für die Studie zu erheben.

Ebenso geht mein Dank an die Mitarbeiter der Firma WEINMANN Emergency Medical Technology, Hamburg, Deutschland, insbesondere an Herrn Norman Scotti, Herrn Tobias Kalwa und Herrn Christian Neuhaus.

Und nicht zuletzt danke ich meinen Eltern, die in jeglicher Hinsicht den Grundstein für meinen Weg gelegt haben.

12. Lebenslauf

Entfällt aus datenschutzrechtlichen Gründen.

13. Anlage

13.1 Fragebogen zur Datenerhebung

Fragebogen zur Defikom-Studie

Angaben zur Person

Gruppe_____

Alter (Jahre)
Geschlecht (männlich/weiblich):
Bei Studierenden: Anzahl klinischer Trimester:
Bei Rettungsdienstmitarbeitern: Anzahl Jahre im Beruf:

Vorkenntnisse

Besuch Kurs „Sofortmaßnahmen am Unfallort“	Wann?	(Jahr)
Besuch Kurs „Erste Hilfe“	Wann?	(Jahr)
Ausbildung zum „Erste-Hilfe-Ausbilder“	Wann?	(Jahr)
Ausbildung zum „Sanitäter“	Wann?	(Jahr)
Ausbildung zum „Rettungshelfer“	Wann?	(Jahr)
Ausbildung zum „Rettungssanitäter“	Wann?	(Jahr)
Ausbildung zum „Rettungsassistenten“	Wann?	(Jahr)
Ausbildung zur/zum „Krankenschwester/-Pfleger“	Wann?	(Jahr)
Sonstige Ausbildung mit Unterricht in kardiopulmonaler Reanimation	Wann?	(Jahr)

Haben Sie praktische Erfahrungen in kardiopulmonaler Reanimation, die Sie außerhalb o.g. Kurse/Ausbildungen erworben haben?

Nein Ja

Wenn ja, wo erworben?

.....

Anzahl der bislang durchgeführten realen kardiopulmonalen Reanimationen (Notfallsituationen)

Anzahl

Bedienkomfort

Gruppe_____

Welches Gerät /welche Geräteeinheit ist leichter zu bedienen?
Warum?.....

.....

Gab es technische Schwierigkeiten? Wenn ja, bei welchem Gerät - und was waren das für Schwierigkeiten?

.....

.....
Was würden Sie an den Geräten besser machen?
.....
.....

Mussten Sie während der Reanimation nachdenken, welcher Schritt als nächstes zu tun ist?

Welche Vorteile hat das Defikom-System aus Ihrer Sicht?

Welche Nachteile hat das Defikom-System?
.....

Welche technische Ausrüstung zur kardiopulmonalen Reanimation bevorzugen Sie?
.....

Defikom-Gerät („zwei in einem“)	()
Defi plus getrenntes Beatmungsgerät	()
Ist mir egal	()

Ich bin damit einverstanden, dass die aufgezeichneten Daten und das aufgezeichnete Filmmaterial anonymisiert ausgewertet werden. Die Daten und das Filmmaterial werden ausschließlich von an der Studie beteiligten Mitarbeitern der Klinik für Anästhesiologie des UKE ausgewertet; diese sorgen dafür, dass das Daten- und Filmmaterial nicht in unbefugte Hände gelangt.

Sobald die Auswertung erfolgt ist, werden die Daten nur noch vollständig anonym archiviert und verwertet.

Vorname und Name _____

_____, den _____

Unterschrift _____

Vielen Dank für Ihre Mithilfe!



Selected Topics: Prehospital Care



PROVIDERS WITH LIMITED EXPERIENCE PERFORM BETTER IN ADVANCED LIFE SUPPORT WITH ASSISTANCE USING AN INTERACTIVE DEVICE WITH AN AUTOMATED EXTERNAL DEFIBRILLATOR LINKED TO A VENTILATOR

Christian Werner Busch, MD,* Mohammed Qalanawi,* Jan Felix Kersten, MSc,†
Tobias Johannes Kalwa, B Eng,‡ Norman Alexander Scotti, BSc,‡ Wikhart Reip, MD,* Christoph Doehn, MD,*
Stefan Maisch, MD,* and Rainer Nitzschke, MD*

*Department of Anesthesiology, Center of Anesthesiology and Intensive Care Medicine, University Hospital Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Germany, †Department of Medical Biometry and Epidemiology of the University Medical Center, Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Germany, and ‡WEINMANN Emergency Medical Technology, Hamburg, Germany

Reprint Address: Rainer Nitzschke, MD, Department of Anesthesiology, Center of Anesthesiology and Intensive Care Medicine, University Hospital Hamburg-Eppendorf, Martinistrasse 52, Hamburg 20246, Germany

Abstract—Background: Medical teams with limited experience in performing advanced life support (ALS) or with a low frequency of cardiopulmonary resuscitation (CPR) while on duty, often have difficulty complying with CPR guidelines. **Objective:** This study evaluated whether the quality of CPR of trained medical students, who served as an example of teams with limited experience in ALS, could be improved with device assistance. The primary outcome was the hands-off time (i.e., the percentage of the entire CPR time without chest compressions). The secondary outcome was seven time intervals, which should be as short as possible, and the quality of ventilations and chest compressions on the mannequin. **Methods:** We compared standard CPR equipment to an interactive device with visual and acoustic instructions for ALS workflow measures to guide briefly trained medical students through the ALS algorithm in a full-scale mannequin simulation study with a randomized crossover study design. The study equipment consisted of an automatic external defibrillator and ventilator that were electronically linked and communicating as a single system. Included were regular medical students in the third to sixth years of medical school of one class who provided written informed consent for voluntary participation and for the analysis of their CPR performance data. No

exclusion criteria were applied. For statistical measures of evaluation we used an analysis of variance for cross-over trials accounting for treatment effect, sequence effect, and carry-over effect, with adjustment for prior practical experience of the participants. **Results:** Forty-two medical students participated in 21 CPR sessions, each using the standard and study equipment. Regarding the primary end point, the study equipment reduced the hands-off time from 40.1% (95% confidence interval [CI] 36.9–43.4%) to 35.6% (95% CI 32.4–38.9%, $p = 0.031$) compared with the standard equipment. Within the prespecified secondary end points, study equipment reduced the time interval until the first rescuer change-over from 273 s (95% CI 244–302 s) to 223 s (95% CI 194–253 s, $p = 0.001$) and increased the percentage of ventilations with a correct tidal volume of 400–600 mL from 34.3% (95% CI 19.0–49.6%) to 60.9% (95% CI 45.6–76.2%, $p = 0.018$). **Conclusions:** The assist device increased the rescuers' CPR quality. CPR providers with limited experience or a limited frequency of CPR performance (i.e., rural Emergency Medical Services crew) may potentially benefit from this assist device. © 2015 Elsevier Inc.

Keywords—heart arrest; cardiopulmonary resuscitation; advanced cardiac life support; equipment and supplies

INTRODUCTION

Rescuers trained to different levels of prehospital resuscitation can provide basic life support (BLS) without an automatic external defibrillator (AED), but advanced life support (ALS) measures depend on the availability of technical equipment (1–3). ALS providers are equipped with multiple ALS devices, including an external defibrillator, a bag-valve-mask device, a portable ventilator, and devices for airway management and medication application. Emergency medical services teams must use these devices according to medical protocols for cardiopulmonary resuscitation (CPR), and they must be well trained to comply with these protocols. However, although the quality of CPR influences the survival rate and outcome of cardiac arrest patients, providers of ALS often have difficulty complying with CPR guidelines during in-hospital and out-of-hospital cardiac arrests (4–9).

The present study evaluated whether the quality of ALS performed by briefly trained medical students could be improved with process assistance using a new prototype device in a full-scale mannequin simulation study. The students served as an example of CPR teams with limited ALS experience or with a low frequency of CPR, which in rural areas, some emergency medical services crews might have. We compared standard equipment against a prototype of an interactive device that integrated an AED and a ventilator linked in a single system with visual and audio instructions to guide the provider through the ALS algorithm.

We hypothesized that using this prototype CPR assist device while performing ALS would improve the participants' CPR quality.

MATERIALS AND METHODS

Study Design and Participants

This randomized crossover simulation study was conducted at a German university hospital, and the regional ethical committee of the Medical Council waived the requirement for ethics approval. The study was financially supported by a grant from the Hamburg Innovation Foundation. The Foundation had no influence on the study design; on the collection, analysis, or interpretation of the data; or on the writing of the manuscript. We included the entire population of regular medical students in the fall/winter class 2012/2013 in emergency medicine with regular medical students in the third to sixth year of medical school attending. Participants were eligible for inclusion if they provided written informed consent for voluntary participation in the study, for video recording, and for the analysis of their CPR

performance data. No exclusion criteria were applied if students agreed to participation in the study.

Study Protocol

The study participants received the standardized CPR training provided to all the students of this medical school as part of the regular curriculum. This training included a theoretical introduction, a demonstration, practical CPR training according to the 2010 American Heart Association (AHA) guidelines for the advanced provider (ALS training) for 120 min on the first day, and practical training with CPR mannequins (Resusci Anne Simulator; Laerdal Medical AS, Stavanger, Norway) for 90 min on the following day. The participants were specifically instructed to minimize the hands-off time during CPR. After the second day of CPR training, the study participants received a brief 15-min introduction to the study devices and performed two sessions of ALS on a full-scale simulator (Resusci Anne Simulator) placed on the floor. The students worked in teams of two rescuers, and each team used the standard equipment in one ALS session and the study equipment in another session. The order of the sessions was randomized using a list of random numbers generated in Microsoft Excel V11.0.8169 (Microsoft Corporation, Redmond, WA) by the principal investigator. In the simulation scenario, the participants were summoned to assist an unconscious out-of-hospital patient by checking for vital signs and by performing ALS on the mannequin according to the AHA guidelines, if necessary. No further information about the cardiac arrest circumstances was provided. The electrocardiogram (ECG) rhythm during cardiac arrest was set to ventricular fibrillation in the mannequin, and this rhythm persisted throughout the simulation period. The participants were instructed to secure the airway using a laryngeal tube after the first defibrillation and to then use a portable ventilator (the type of ventilator used depended on whether the session employed the standard or study equipment). The principal investigator terminated the simulation after 10 min or after amiodarone was administered. The participants rested for at least 15 min between the two CPR sessions using different devices to prevent any diminishment in quality due to exhaustion.

Equipment

Basic equipment. The simulation equipment for both CPR sessions included tools for establishing peripheral venous access, infusion sets, syringes, cannulae, glass ampules of adrenaline (epinephrine) and amiodarone, stethoscopes, a laryngeal tube LTS-D#3 (VBM Medizintechnik GmbH, Sulz, Germany) for airway management, and a portable

suction unit with suction catheters. The laryngeal tube LTS-D is a blindly placed airway similar to Combitube that can be inserted without direct laryngoscopy.

Standard equipment. In addition to the basic equipment, the standard equipment consisted of the MEDUCORE Standard AED (WEINMANN Emergency Medical Technology, Hamburg, Germany) and the MEDUMAT Standard^a ventilator (WEINMANN Emergency Medical Technology), which were both connected to a 2-L oxygen bottle on a portable system. The MEDUCORE Standard AED provided a visual and acoustic metronome of 100 beats/min to assist chest compressions.

During the standard CPR sessions, the MEDUMAT Standard^a was used for ventilation via the inserted laryngeal tube using the ventilation parameters set by the participants. The MEDUMAT Standard^a applied volume-controlled intermittent positive pressure ventilation (IPPV) with a maximum inspiratory pressure (P_{\max}) of 65 mbar without positive end-expiratory pressure. The inspiration-to-expiration ratio was set to 1:1.67. If the P_{\max} was reached during inspiration due to chest compressions, the device switched to the expiration mode for 0.1 ms and immediately applied the preset tidal volume (V_t). The MEDUMAT Standard^a provided visual and acoustic alarms in the case of stenosis, disconnection, decreased supply pressure <2.7 bar, low battery voltage, or system failure. The teams used a bag-valve-mask device (COMBIBAGTM, WEINMANN Emergency Medical Technology) for face-mask ventilations until the laryngeal tube was inserted.

Study equipment (Defikom). The study equipment was a prototype device (DefikomTM, WEINMANN Emergency Medical Technology) that consisted of an AED and a ventilator; the latter provided ventilation via a face mask and a secured airway. The AED and ventilator were electronically linked and connected to a 2-L oxygen bottle on a portable system.

The Defikom device applied two consecutive ventilations via the face mask, with a preset V_t of 500 mL and a P_{\max} of 20 mbar. The participants could trigger inflations via a switch on the face mask (MEDUtrigger), which was connected to the device by a ventilation tube (Figure 1). The participants used the MEDUtrigger for ventilations until the laryngeal tube was inserted. When the insertion of the laryngeal tube was confirmed on the Defikom device, the device automatically began the IPPV with preset parameters (ventilation rate 10/min, inspiratory time 1.2 s, expiratory time 4.8 s, and V_t 500 mL). The participants did not need to set the ventilation parameters. The device applied a tidal volume-controlled IPPV with the P_{\max} set to 65 mbar without positive end-expiratory pressure. The device held the



Figure 1. The prototype device (DefikomTM, WEINMANN Emergency Medical Technology; Hamburg, Germany) with the switch for triggering ventilations via the face mask (MEDUtriggerTM, WEINMANN Emergency Medical Technology) in the foreground.

P_{\max} for the inspiratory time when the P_{\max} had been reached due to chest compressions. Until the participants confirmed the intubation, the Defikom provided visual and acoustic alarms if the MEDUtrigger was idle for more than 40 s. After confirmation of the secured airway, the device provided visual and acoustic alarms in case of a supply pressure <2.7 bar, low battery voltage, or system failure. No stenosis or disconnection alarms were recorded in the study sessions. The Defikom paused ventilations automatically during ECG rhythm analyses and defibrillations to minimize movement artifacts.

The Defikom supplied a visual and acoustic metronome of 100 beats/min to assist chest compressions, and it provided instructions for ALS measurements visually on the screen and via voice announcements. The voice announcements prompted the rescuers to perform ALS measures (according to the 2010 AHA guidelines), such as BLS, AED use, changeover of rescuers' roles and places, airway management, establishment of venous access, and administration of adrenaline and amiodarone. The participants provided feedback to the device by confirming the completion of each indicated measure on the screen.

Methods and Measurements

All the simulation scenarios were digitally recorded, and two independent observers analyzed the implemented CPR measures. The simulator was connected to analysis software (Laerdal PC SkillReporting SystemTM software, version 2.21, Laerdal Medical AS) that measured the quantity and quality of the chest compressions. The ventilation volume, flow, and pressure data were recorded using a differential pressure and flow sensor (Hamilton Medical, Bonaduz, Switzerland) placed between the

mannequin's upper airway and lungs in a differential pressure channel with a variable flow geometry.

Outcome Measures

The teams' compliance with the AHA guidelines was measured with eight time intervals, which should be as short as possible, and with the quality of ventilations and chest compressions on the mannequin (Table 1). The prospectively defined primary outcome was the hands-off time (i.e., the percentage of the entire CPR time without chest compressions). The prospectively defined secondary outcomes were the time intervals until the first rhythm analysis, defibrillation, first and second rescuer changeovers (CPR provider's change of compressor and ventilator roles), intubation with the laryngeal tube, implementation of venous access, and first adrenaline administration. The secondary outcomes also included the frequency of chest compressions and ventilations per minute, the percentage of ventilations with the correct tidal volume (400–600 mL), and the percentage of chest compressions with the correct depth (5–6 cm).

Statistical Analysis

Prior to the performance of the study, the sample size required to detect a mean reduction of the hands-off time of 10% for 80% power and at a significance level of 0.05 was calculated to be 20 resuscitations per group based on the published hands-off time in the prehospital environment (4,9). The data distribution between the standard and study equipment sessions was checked for normality using a histogram and the Kolmogorov-

Smirnov test. The categorical data are presented as counts (percentages), and the continuous data are expressed as the mean with the standard deviation and range or 95% confidence interval (CI) of the mean. The data were analyzed using an analysis of variance for crossover trials accounting for treatment effect, sequence effect, and carry-over effect, with adjustment for prior practical experience of the participants. We adjusted for prior practical experience if at least one of the two CPR-team members had gained some practical experience in CPR prior to the study. A *p*-value below 0.05 was considered significant for the confirmatory factor analysis of the difference in the hands-off time as the prospectively defined primary outcome variable. Bonferroni correction for multiple comparisons was performed for the explorative analysis of the secondary outcome variables, resulting in a test level of 0.0042 for each of the 12 secondary variables. The statistical analysis was performed using the SPSS statistical software package 22 (IBM SPSS Statistics Inc., Chicago, IL) and the R statistical environment, version 3.1.2 (R Foundation for Statistical Computing, GNU, Boston, MA).

RESULTS

Characteristics of the Study Subjects

Forty-two medical students (25 females) were eligible for study participation between October and December of 2012, and no students were excluded from enrollment, participation, or data analysis. The mean age was 25 ± 2.6 (range 21–33) years. All the participants had completed a first aid course 2 to 5 years previously, which

Table 1. Efficacy of CPR Performance Using Study vs. Standard Equipment

Quality Characteristic of the CPR Process	Study Equipment Mean (95% CI)	Standard Equipment Mean (95% CI)	<i>p</i> -Value
Hands-off time (percentage of time without chest compressions during the entire CPR time) (%)	35.6 (32.4–38.9)	40.1 (36.9–43.4)	0.031*
Time interval until the first ECG rhythm analysis (s)	60 (54–67)	60 (54–67)	0.995
Time interval until the first defibrillation (s)	78 (71–85)	78 (71–85)	0.975
Time interval until intubation of the mannequin with the laryngeal tube (s)	139 (104–175)	135 (101–169)	0.864
Time interval until the first rescuer changeover (s)	223 (194–253)	273 (244–302)	0.001†
Time interval until the second rescuer changeover (s)	362 (342–381)	384 (365–403)	0.101
Time interval until the implementation of venous access (s)	237 (216–259)	257 (235–278)	0.085
Time interval until the first epinephrine administration (s)	366 (348–385)	383 (364–402)	0.115
Number of ventilations per minute (n)	6.1 (5.4–6.9)	6.5 (5.7–7.3)	0.513
Percentage of ventilations with the correct tidal volume of 400–600 mL (%)	60.9 (45.6–76.2)	34.3 (19.0–49.6)	0.018
Percentage of ventilations of <400 mL (%)	26.3 (11.1–41.5)	53.5 (38.3–68.6)	0.016
Number of chest compressions per minute (n)	76.9 (72.9–81.0)	72.7 (68.6–76.8)	0.073
Percentage of chest compressions with a correct depth of 5–6 cm (%)	28.6 (18.2–38.9)	31.6 (21.2–42.0)	0.469

CPR = cardiopulmonary resuscitation; CI = confidence interval; ECG = electrocardiogram.

The values shown are marginal means with 95% CI for both groups accounting for crossover trials.

A *p*-value below 0.05 was considered significant for the difference in the hands-off time, as the prospectively defined primary outcome variable and statistical significance is indicated by *.

Bonferroni correction for multiple comparisons was performed for the explorative analysis of the secondary outcome variables resulting in a test level of 0.0042 for each of the 12 secondary variables. Statistical significance is indicated by †.

was a prerequisite for the preliminary medical examination. Thirteen participants (31.0%) had practical experience in CPR performance, and their mean number of CPRs performed within the last 7 years was 6 ± 6 (range 2–20). Prior to attending medical school, six of these students had worked as emergency medical technicians, and one had been a nurse. The mean postqualification work experience was 4.1 ± 2.5 (range 2–8) years. Twenty-nine (69.0%) participants had no CPR experience.

Main Results

The crossover design of the study using two-rescuer teams resulted in 21 CPR sessions using the standard equipment and 21 CPR sessions using the study (Defikom) equipment. There were two missing values of the time interval until intubation because the laryngeal tube was not inserted during one standard CPR session and during one study CPR session.

The duration of the CPR sessions was 391 s (95% CI 370–413) in the standard sessions and 386 s (95% CI 368–404) in the study sessions ($p = 0.578$). In these sessions, the hands-off time was 157 s (95% CI 142–171) in the standard sessions and 137 s (95% CI 123–151) in the study sessions. Thus, the percentage of the hands-off time was 40.1% in the standard equipment sessions and 35.5% in the study equipment sessions, yielding an 11.5% relative reduction ($p = 0.031$) (Figure 2). The time interval until the first rescuer changeover was 273 s in the standard sessions and 223 s in the study sessions (Figure 3). The percentage of ventilations with the correct Vt (400–600 mL) was 34.3% in the standard sessions and 60.9% in the study sessions ($p = 0.018$) (Figure 3).

The majority of incorrect ventilations had a too-low Vt of <400 mL: Ventilations of <400 mL Vt were found in the standard sessions, with a mean of 53.5%, and in the study sessions, with a mean of 26.3% ($p = 0.016$) of ventilations (Figures 3 and 4). By contrast, the percentage of ventilations with more than 600 mL Vt was similarly distributed between the standard and study sessions (12.3%, 95% CI 3.1–21.5% vs. 12.8%, 95% CI 3.6–22.0%, $p = 0.910$) (Figure 4). The mean Vt of the 454 ventilations with <400 mL Vt in the standard sessions was 220 ± 111 mL, and the mean Vt of the 207 ventilations with <400 mL Vt in the study sessions was 146 ± 144 mL. The mean Vt of the 112 ventilations with more than 600 mL in the standard sessions was 764 ± 130 mL, and the mean Vt of the 112 ventilations with more than 600 mL in the study sessions was 649 ± 58 mL.

The percentage of correct depth of chest compressions was 31.6% in the standard sessions and 28.6% in the study sessions ($p = 0.469$). The chest compressions with an incorrect depth all had a compression depth of

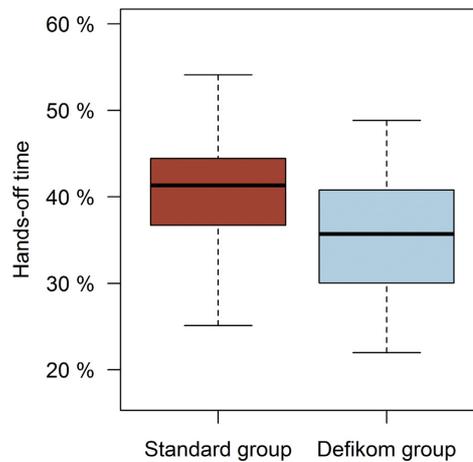


Figure 2. Comparison of the primary outcome variable, the hands-off time, between the standard and study equipment. The figure displays data distribution of the percentage of the hands-off time during the entire performance of cardiopulmonary resuscitation on the mannequin. The data are presented as medians, ranges, and interquartile ranges (25th to 75th percentile).

<5 cm. We found no chest compressions with more than a 6-cm compression depth.

DISCUSSION

In this prospective, controlled simulation study, CPR assistance using a prototype device with an integrated AED and ventilator in a single system with visual and acoustic instructions resulted in a decreased hands-off time, a decreased time to the first rescuer changeover, and an increased percentage of ventilations with the correct tidal volume.

Previous data have shown poor compliance with CPR guidelines for out-of-hospital and in-hospital CPR (4,6–11). Various approaches have been implemented to increase the quality of the CPR process, including awareness campaigns, comprehensive introduction of AEDs, additional training of medical personnel, visible and audible feedback systems during CPR performance, active chest compression-decompression assist devices, instructor supervision of the ALS provider, dispatch-assisted CPR, and a telemedicine network (12–22). The hypothesis of the present study was that CPR quality of inexperienced ALS providers would be improved using a process that incorporated visible and audible instructions for using a respirator with an integrated and synchronized AED.

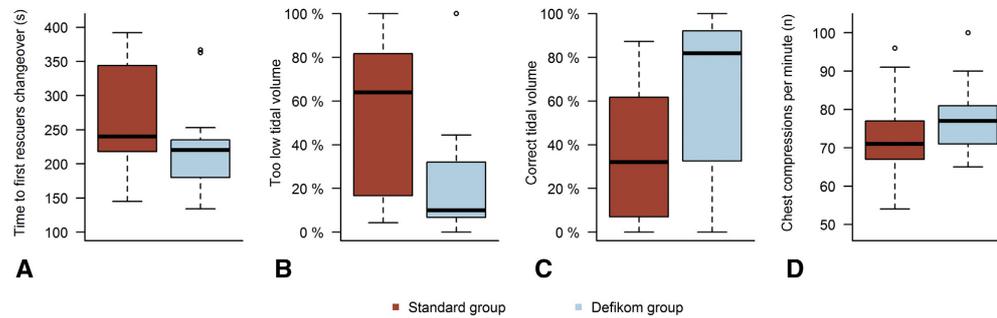


Figure 3. Comparison of different secondary outcome variables of the cardiopulmonary resuscitation performance between the standard and study equipment. The figure displays data distribution of the time to the first rescuers changeover of places (A), data distribution of the percentage of too-low tidal volumes (<400 mL) among the total tidal volumes in the study period (B), data distribution of the percentage of correct tidal volumes (400–600 mL) among the total tidal volumes in the study period (C), and data distribution of the numbers of chest compressions per minute in the study period (D). The data are presented as medians, ranges, and interquartile ranges (25th to 75th percentile); the circles indicate the outlier values in each group.

The hands-off time was the primary end point of the study. The hands-off time during the sessions with the study equipment (Defikom) was reduced by 11.5% (35.5% vs. 40.1%) compared with the standard equipment sessions. The significance of this reduction in the hands-off time is supported by numerous reports demonstrating a correlation between the extent of continuous cardiac massage, the success of defibrillation, and the patient outcome after CPR (4,10,17,23–26). These results emphasize the importance of hands-off time as an indicator of CPR quality. The 2010 AHA guidelines explicitly stress the importance of the time to restore adequate perfusion after a cardiac arrest and the associated need for continuous chest compressions as the highest priority (1,27).

The hands-off times in the present study are lower than previously reported hands-off times for out-of-hospital

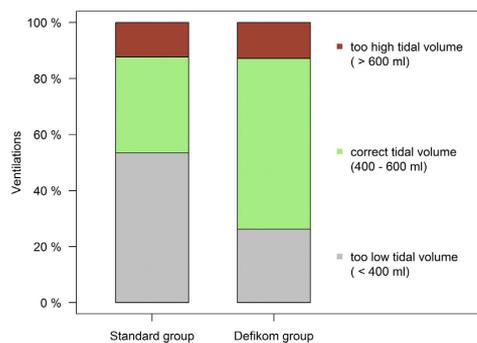


Figure 4. Comparison of the percentage of correct, too-low, and too-high tidal volume between the standard and study equipment.

CPR, such as the 57% hands-off time reported by Valenzuela et al. and the 55% reported by Van Alem et al. (4,9). In an observational study, Kramer-Johansen et al. found hands-off times of 61% prior to patient intubation and 41% after intubation (28). An interventional study by the same group revealed that real-time automated feedback produced no difference in the hands-off times, with $48\% \pm 18\%$ in the control group vs. $45\% \pm 17\%$ in the intervention group (17). Christenson et al. found through a multivariable linear-regression analysis that the effect of a 10% change in the chest compression fraction (hands-on-time) on the odds ratio of survival was 1.11. In the same study, this effect was comparable with the effect of bystander CPR, yielding a survival odds ratio of 1.14 (23). Therefore, the 11.5% reduction in the hands-off time in our simulation study represents a significant improvement in the process quality.

A secondary end point of this study was the time elapsed until the first rescuer changeover. The observed reduction in this time was most likely due to the spoken instructions from the Defikom device. Simulations and clinical resuscitation studies have shown that the average pressure and rate of chest compressions decreases 1.5 to 3 min after the start of resuscitation due to rescuer fatigue, and the number of chest compressions performed per minute and the probability of successful resuscitation are positively correlated (23,29). Therefore, the 2010 AHA guidelines recommend that both lay and experienced rescuers should change compressor and ventilator roles approximately every 2 min to prevent compressor fatigue and deterioration in quality and rate of chest compressions (2).

The quality of ventilation during CPR may also contribute significantly to the probability of survival.

The higher proportion of ventilations with an optimal Vt (400–600 mL) in the present study can be explained by the preset Vt in the automatic MEDUtrigger function. The 2010 AHA guidelines recommend a Vt of approximately 6–7 mL/kg body weight (1). The dimensions of the full-scale simulation mannequin in our study approximated a 75-kg patient; therefore, a Vt of 6–7 mL/kg body weight corresponded to approximately 400–600 mL. An appropriate ventilation volume guarantees oxygenation and ventilation, whereas hyperventilation increases the intrathoracic pressure and decreases the venous return to the heart and the cardiac output (2,30,31). As ALS providers are often not readily available in rural areas, utilizing the MEDUtrigger function on the face mask for BLS measures may be just as useful as having a laryngeal tube in place.

Limitations

One limitation of this study is the performance of CPR on a mannequin. Even with high-quality CPR simulators, the realism of the simulation method is always limited. However, the time to implement the ALS measures and the cumulative hands-off time were evaluated well in this simulation study.

Besides, although the statistical model used accounted for treatment effect, sequence effect, and carry-over effect, the carry-over effect can be a limitation of the study design. A 15-min wash-out period is likely not sufficient for learning that may have occurred in the first session a participant engages in.

A further limitation of our results is the study population of inexperienced medical students, who were not trained health care professionals. Accordingly, the depth of chest compressions was not guideline compliant in the standard and study sessions, with only approximately 30% of chest compressions being the correct depth of 5–6 cm. However, the objective of the study was to evaluate the effect of CPR assistance in trained ALS providers with little experience. Moreover, the rate of chest compressions by the study participants was comparable to that of other ALS providers working with real patients. The rate of chest compressions recommended in the AHA guidelines is at least 100/min, but the actual number of chest compressions per minute is lower due to rescuer fatigue and pauses for ventilation and ECG analyses (1). Interruptions reduced the compression rates from 100–120/min to an average number of actual chest compressions of 64/min in an out-of-hospital study (10). In the present study, the participants achieved a mean of 73.0 and 77.3 respective compressions per minute, and thereby produced higher rates of chest compressions than the paramedics and nurse anesthetists in the out-of-hospital study (10).

CONCLUSION

The Defikom interactive CPR assist device with a communicating AED and ventilator in a single system with visual and acoustic instructions increased the participants' CPR quality in this simulation study. ALS providers with a limited frequency of CPR performance, for example, in rural areas, may potentially benefit from this assist device. Further research in an in vivo setting will be necessary to evaluate the effect of this technique.

Acknowledgments—The authors CWB, MQ, JFK, WR, CD, SM, and RN declare no financial or personal relationships with people or organizations that could influence their work. The authors TJK and NAS are full-time employees on a fixed salary at WEINMANN Emergency Medical Technology, Hamburg, Germany. The prototype and all patent rights are owned by WEINMANN Emergency. None of the authors holds any patent rights on the prototype device and none of the authors is involved in sales profits.

This study was financially supported by a grant from the Hamburg Innovation Foundation (grant number: WT-721.230-002(453)). The Foundation had no influence on the study design; on the collection, analysis or interpretation of the data; or on the writing of the manuscript.

REFERENCES

1. Berg RA, Hemphill R, Abella BS, et al. Part 5: adult basic life support: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation* 2010;122(18 Suppl 3):S685–705.
2. Neumar RW, Otto CW, Link MS, et al. Part 8: adult advanced cardiovascular life support: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation* 2010;122(18 Suppl 3):S729–67.
3. Link MS, Atkins DL, Passman RS, et al. Part 6: electrical therapies: automated external defibrillators, defibrillation, cardioversion, and pacing: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation* 2010;122(18 Suppl 3):S706–19.
4. Valenzuela TD, Kern KB, Clark LL, et al. Interruptions of chest compressions during emergency medical systems resuscitation. *Circulation* 2005;112:1259–65.
5. Gallagher EJ, Lombardi G, Gennis P. Effectiveness of bystander cardiopulmonary resuscitation and survival following out-of-hospital cardiac arrest. *JAMA* 1995;274:1922–5.
6. Ko PC, Chen WJ, Lin CH, et al. Evaluating the quality of prehospital cardiopulmonary resuscitation by reviewing automated external defibrillator records and survival for out-of-hospital witnessed arrests. *Resuscitation* 2005;64:163–9.
7. Abella BS, Alvarado JP, Myklebust H, et al. Quality of cardiopulmonary resuscitation during in-hospital cardiac arrest. *JAMA* 2005;293:305–10.
8. Abella BS, Sandbo N, Vassilatos P, et al. Chest compression rates during cardiopulmonary resuscitation are suboptimal: a prospective study during in-hospital cardiac arrest. *Circulation* 2005;111:428–34.
9. van Alem AP, Sanou BT, Koster RW. Interruption of cardiopulmonary resuscitation with the use of the automated external defibrillator in out-of-hospital cardiac arrest. *Ann Emerg Med* 2003;42:449–57.

10. Wik L, Kramer-Johansen J, Myklebust H, et al. Quality of cardiopulmonary resuscitation during out-of-hospital cardiac arrest. *JAMA* 2005;293:299–304.
11. Sunde K, Eftestol T, Askenberg C, et al. Quality assessment of defibrillation and advanced life support using data from the medical control module of the defibrillator. *Resuscitation* 1999;41:237–47.
12. Stokes NA, Scapigliati A, Trammell AR, et al. The effect of the AED and AED programs on survival of individuals, groups and populations. *Prehosp Disaster Med* 2012;27:419–24.
13. van Alem AP, Vrenken RH, de Vos R, et al. Use of automated external defibrillator by first responders in out of hospital cardiac arrest: prospective controlled trial. *BMJ* 2003;327:1312.
14. Weisfeldt ML, Sitlani CM, Ornato JP, et al. Survival after application of automatic external defibrillators before arrival of the emergency medical system: evaluation in the resuscitation outcomes consortium population of 21 million. *J Am Coll Cardiol* 2010;55:1713–20.
15. Sutton RM, Nadkarni V, Abella BS. "Putting it all together" to improve resuscitation quality. *Emerg Med Clin North Am* 2012;30:105–22.
16. Wik L, Myklebust H, Auestad BH, et al. Twelve-month retention of CPR skills with automatic correcting verbal feedback. *Resuscitation* 2005;66:27–30.
17. Kramer-Johansen J, Myklebust H, Wik L, et al. Quality of out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation with real time automated feedback: a prospective interventional study. *Resuscitation* 2006;71:283–92.
18. Bohn A, Weber TP, Wecker S, et al. The addition of voice prompts to audiovisual feedback and debriefing does not modify CPR quality or outcomes in out of hospital cardiac arrest—a prospective, randomized trial. *Resuscitation* 2011;82:257–62.
19. Hostler D, Everson-Stewart S, Rea TD, et al. Effect of real-time feedback during cardiopulmonary resuscitation outside hospital: prospective, cluster-randomised trial. *BMJ* 2011;342:512.
20. Wik L, Naess PA, Ilebakk A, et al. Simultaneous active compression-decompression and abdominal binding increase carotid blood flow additively during cardiopulmonary resuscitation (CPR) in pigs. *Resuscitation* 1994;28:55–64.
21. Choa M, Park I, Chung HS, et al. The effectiveness of cardiopulmonary resuscitation instruction: animation versus dispatcher through a cellular phone. *Resuscitation* 2008;77:87–94.
22. Vaillancourt C, Verma A, Trickett J, et al. Evaluating the effectiveness of dispatch-assisted cardiopulmonary resuscitation instructions. *Acad Emerg Med* 2007;14:877–83.
23. Christenson J, Andrusiek D, Everson-Stewart S, et al. Chest compression fraction determines survival in patients with out-of-hospital ventricular fibrillation. *Circulation* 2009;120:1241–7.
24. Eftestol T, Sunde K, Steen PA. Effects of interrupting precordial compressions on the calculated probability of defibrillation success during out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 2002;105:2270–3.
25. Edelson DP, Abella BS, Kramer-Johansen J, et al. Effects of compression depth and pre-shock pauses predict defibrillation failure during cardiac arrest. *Resuscitation* 2006;71:137–45.
26. Kellum MJ, Kennedy KW, Ewy GA. Cardiocerebral resuscitation improves survival of patients with out-of-hospital cardiac arrest. *Am J Med* 2006;119:335–40.
27. Field JM, Hazinski MF, Sayre MR, et al. Part 1: executive summary: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation* 2010;122(18 Suppl 3):S640–56.
28. Kramer-Johansen J, Wik L, Steen PA. Advanced cardiac life support before and after tracheal intubation—direct measurements of quality. *Resuscitation* 2006;68:61–9.
29. Sugerman NT, Edelson DP, Leary M, et al. Rescuer fatigue during actual in-hospital cardiopulmonary resuscitation with audiovisual feedback: a prospective multicenter study. *Resuscitation* 2009;80:981–4.
30. Winkler M, Mauritz W, Hackl W, et al. Effects of half the tidal volume during cardiopulmonary resuscitation on acid-base balance and haemodynamics in pigs. *Eur J Emerg Med* 1998;5:201–6.
31. Aufderheide TP, Sigurdsson G, Pirralo RG, et al. Hyperventilation-induced hypotension during cardiopulmonary resuscitation. *Circulation* 2004;109:1960–5.

14. Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Unterschrift: