

Functionality and operational fitness of mechanical chest compression devices

D. Treffer^{1*} · A. Weißleder^{1*} · H. Gäßler¹ · S. Decken² · M. Hauptkorn³ · M. Helm¹

► **Zitierweise:** Treffer D, Weißleder A, Gäßler H, Decken S, Hauptkorn M, Helm M: Funktionalität und Einsatztauglichkeit von Thoraxkompressionsgeräten. Anästh Intensivmed 2019;60:113–121.
DOI: 10.19224/ai2019.113

- 1 Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie, Bundeswehrkrankenhaus Ulm
 - 2 Klinik für Innere Medizin, Bundeswehrzentralkrankenhaus Koblenz
 - 3 Siemens Healthineers MedMuseum, Erlangen
- * Beide Autoren haben gleichermaßen zur Publikation beigetragen

Interessenkonflikt

Die Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Schlüsselwörter

Mechanische Reanimationshilfe – Thoraxkompressionsgerät – kardiopulmonale Reanimation – Wiederbelebung – prähospitaler Herz-Kreislauf-Stillstand

Keywords

Mechanical Resuscitation Device – Mechanical Chest Compression Device – Cardiopulmonary Resuscitation – Reanimation – Out-of-hospital Cardiac Arrest

Zusammenfassung

Hintergrund: Die ERC-Leitlinien von 2015 beschreiben den Stellenwert mechanischer Thoraxkompressionsgeräte dort, wo die manuelle Herzdruckmassage nicht suffizient oder nur mit erhöhtem Risiko für den Helfer durchzuführen ist (z.B. während des Patiententransports). Mittlerweile stehen zahlreiche Modelle mechanischer Thoraxkompressionsgeräte zur Verfügung. Ziel dieser Untersuchung ist es daher, die Funktionalität und Einsatztauglichkeit der verschiedenen Fabrikate zu bewerten.

Material und Methoden: Es wurden 5 Devices (LUCAS® 3, corpuls® cpr, LifeLine ARM, Life-Stat Model 1008 und Siemens Sirepuls O₂ Model 1003 – als historisches Vergleichsgerät) in die Studie eingeschlossen. Die Untersuchung erfolgte in zwei Abschnitten. Zuerst wurde die Anlage der Geräte an Probanden unterschiedlicher Konstitution bewertet. Danach wurden die verschiedenen Produkte an einem Manikin in einem prähospitalen Rettungsszenario mit Transportphase (Treppe, Fußweg, Rettungswagen) getestet. Zielparameter waren die Qualität der Herzdruckmassage und No-Flow-Zeiten als Marker der Funktionalität sowie die Sicherheit für Anwender und Patient als Marker der Einsatztauglichkeit.

Ergebnisse: Im ersten Teil fand sich eine signifikante, schwach positive Korrelation der Gesamtanlagedauer (und überwiegend auch der No-Flow-Zeiten)

Funktionalität und Einsatztauglichkeit von Thoraxkompressionsgeräten

Original Articles

mit dem Thoraxumfang. Die mittlere Gesamt-No-Flow-Zeit überschritt bei keinem Gerät die 10-Sekunden-Marke.

Im prähospitalen Versuch zeigte sich bei allen Geräten, ausgenommen LUCAS® 3, eine Zunahme der Raten an unvollständigen Thoraxentlastungen. Der Life-Stat und die Gruppe der manuellen Herzdruckmassage zeigten eine schlechte Qualität der geleisteten Thoraxkompressionen mit langen No-Flow-Zeiten und hohem Risiko für Anwender und Patient. Der Sirepuls konnte die Qualitätsanforderungen an die HDM ebenfalls nicht erfüllen. LUCAS® 3, corpuls® cpr und Lifeline ARM arbeiteten störungsfrei.

Schlussfolgerung: Die Ergebnisse betonen den Stellenwert mechanischer Thoraxkompressionsgeräte während des Patiententransports. Eine manuelle Thoraxkompression ist unter diesen Bedingungen ineffektiv und gefährlich. Die betrachteten pneumatischen Thoraxkompressionsgeräte sind im Vergleich zu den elektrisch betriebenen als nicht einsatztauglich zu bewerten. Ein zunehmender Thoraxumfang kann bei der Anlage die No-Flow-Zeit verlängern.

Summary

Background: The ERC 2015 guidelines indicate the significance of mechanical chest compression devices whenever manual chest compression is insufficient or dangerous to perform. These devices are therefore used especially in the prehospital setting (e.g. transportation during ongoing resuscitation). A variety of mechanical chest compression de-

vices are currently available. Therefore the aim of this study is to assess the functionality and operational fitness of the various products.

Materials and methods: This study entailed five different mechanical chest compression devices (LUCAS® 3, corpuls® cpr, Lifeline ARM, Life-Stat Model 1008 and Siemens Sirepuls O₂ Model 1003 – as a historic representative). The survey consisted of two parts. First of all, the attachment of the equipment on subjects with different constitutions was reviewed. Afterwards the products were tested on a manikin under perfect conditions and in a prehospital emergency scenario with transportation (stairs, walkway, ambulance). As quantifying parameters, the quality of chest compressions (depth, frequency and decompression rate) and no-flow-time were used as markers of functionality. The operational fitness was specified in terms of safety for operator and patient (mainly defined as failure-free operation).

Results: In the first part of the study, the chest measurement showed a significant weak, positive correlation to the total duration of device-installation (and largely no-flow-times, too). None of the devices caused a mean no-flow-time of more than 10 seconds during attachment. In the second part, the mechanical chest compression was not seen to be superior to manual chest compression under perfect conditions. In the emergency scenario the rate of incomplete chest decompressions rose in all devices, except LUCAS® 3. Life-Stat and the manual chest compression group showed poor quality of chest compressions during patient transportation, as well as long no-flow-times and a high risk for operators and patients due to malfunction or dislocation from the right pressure point. The Sirepuls was also unable to meet the recommended quality criteria for chest compressions, whereas LUCAS® 3, corpuls® cpr and Lifeline ARM showed a failure-free operation without any no-flow-times or dislocation.

Conclusions: The results of this study emphasise the significance of mechanical chest compression devices during

patient transportation. Under these circumstances manual chest compressions are insufficient and dangerous to perform. Lifeline ARM, corpuls® cpr and LUCAS® 3 were superior to manual chest compression in this setting. They ensure safety for patients and rescuers during ongoing resuscitation in patient transportation. The considered pneumatic chest compression devices (Life-Stat and Sirepuls) showed no operational fitness in contrast to the electric driven ones. Further research is needed to evaluate the differences in quality of chest compression by using a physiologic model in a similar transportation scenario. Increasing chest measurements may prolong the no-flow-time during attachment. The definitive impact of this finding needs to be evaluated by continued investigation of the training effect. Manufacturers shall have to provide solutions to the problem of patient fixation during transportation with ongoing mechanical chest compression.

Hinführung

Mechanische Thoraxkompressionsgeräte finden innerklinisch wie prähospital Anwendung. Insbesondere im Bereich der Notfallrettung, wenn manuelle Thoraxkompressionen nur unter erschwerteren Bedingungen durchführbar sind, gewinnen diese Geräte zunehmend an Stellenwert [27]. Der Markt wird daher durch verschiedene Hersteller mit unterschiedlichen Devices bedient. Vergleichende Untersuchungen dieser Produkte hinsichtlich Funktionalität und Einsatztauglichkeit im prähospitalen Umfeld sind rar.

Einleitung

Der frühe Beginn einer qualitativ hochwertigen Herzdruckmassage ist für das Outcome von Patienten mit Herz-Kreislauf-Stillstand essentiell [18,21,27]. Um gleichbleibend qualitativ hochwertige Thoraxkompressionen zu garantieren, wurden hierfür bereits zu Beginn der 1960er Jahre mechanische Thoraxkompressionsgeräte entwickelt (z.B. Thumper – Michigan Instruments, USA) [17].

Diese Geräte fanden jedoch keine breite Anwendung und verschwanden bis zum Ende des 20. Jahrhunderts nahezu gänzlich aus dem medizinischen Alltag, bevor sie zu Beginn des 21. Jahrhunderts, mit der Markteinführung zahlreicher aktueller Modelle, wiederentdeckt wurden. In mehreren wissenschaftlichen Untersuchungen konnte bisher kein Überlebensvorteil bei routinemäßiger Anwendung von mechanischen Thoraxkompressionsgeräten im Vergleich zur manuellen Herzdruckmassage (HDM) gezeigt werden [2,3,5,11,16,26,30]. Eine Registerstudie mit 2.600 Patienten erbrachte ein schlechteres neurologisches Outcome nach Verwendung mechanischer Reanimationshilfen [33].

Ist die manuelle Herzdruckmassage unter besonderen Umständen insuffizient oder für den Helfer gefährlich (z.B. Transport eines Patienten unter Reanimationsmaßnahmen), so ist die Verwendung derartiger Geräte durch die aktuellen Leitlinien des European Resuscitation Council (ERC) von 2015 als geeignete Alternative verankert [27].

Frühere Untersuchungen verglichen bereits Vorgängermodelle [9,10] oder Einzelgeräte [12] in einer Manikinstudie während des Transports in einem Rettungswagen. Vergleichende Studien zu den aktuell vertriebenen Thoraxkompressionsgeräten fehlen. Ob alle diese Devices gleichermaßen für den prähospitalen Einsatz geeignet sind, bleibt somit unklar.

Ziel dieser Studie ist daher, die Funktionalität und Einsatztauglichkeit der aktuell verwendeten Devices zu analysieren. Erstmals wird hierfür die Anlage der Geräte an Probanden sowie das Verhalten der Devices während eines kompletten prähospitalen Rettungsszenarios am Manikin untersucht. In allen Versuchsserien wurde zudem ein historisches Thoraxkompressionsgerät mit betrachtet.

Methodik

Geräte

Mechanische Reanimationshilfen lassen sich anhand der technischen Umsetzung der Thoraxkompression in zwei Typen

unterteilen: Geräte mit Stempeltechnik und Geräte mit semizirkulärer Thoraxkompression mittels Band (aktuell nur ein Gerät: AutoPulse®, ZOLL Medical Corporation, Chelmsford, USA). Da der AutoPulse® zwar ebenfalls häufig eingesetzt wird, sich jedoch aufgrund der Thoraxkompressionstechnik (mit load-distribution-Band) generell außerhalb der Leitlinienempfehlungen des ERC bewegt (Kompressionsfrequenz 80 ± 5 /min, Kompressionstiefe ca. 20% a.p.-Thoraxhöhe) und damit bezüglich objektivierbarer Messwerte kaum ver-

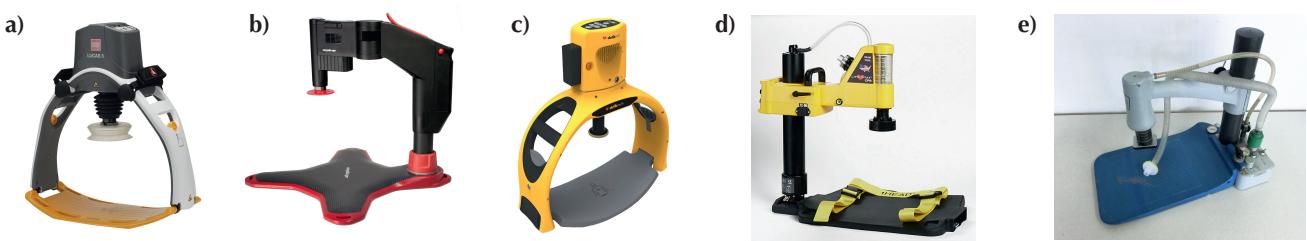
gleichbar wäre, wurden in dieser Studie ausschließlich Thoraxkompressionsgeräte mit Stempeltechnik untersucht:

- Lund University Cardiac Arrest-System: LUCAS® 3 (Jolife AB, Lund, Schweden/Physio-Control Inc., Redmond WA, USA/Stryker® Corporation AG, Kalamazoo MI, USA – Abb. 1a)
- corporus® cpr (GS Elektromedizinische Geräte, Kaufering, Deutschland – Abb. 1b)
- Lifeline ARM (Defibtech® LLC, Guilford CT, USA – Abb. 1c)

- Life-Stat Model 1008 (Michigan Instruments Inc., Grand Rapids MI, USA – Abb. 1d)
- Siemens Sirepuls O₂ Model 1003 (Michigan Instruments Inc., Grand Rapids MI, USA – in Deutschland vertrieben durch die Siemens AG – historisches Vergleichsgerät – Abb. 1e)

Die Geräte wurden durch die jeweiligen Hersteller zur Verfügung gestellt. Die Firma Schiller widersprach der Studienteilnahme mit ihrem Reanimationsgerät, dem EASY PULSE® (SCHILLER AG, Baar,

Abbildung 1



- a) LUCAS® 3, Jolife AB, Lund, Schweden/Physio-Control, Redmond, WA, USA/Stryker® Corporation AG, Kalamazoo MI, USA
 b) corporus® cpr, GS Elektromedizinische Geräte, Kaufering, Deutschland
 c) Lifeline ARM, Defibtech, Guilford CT, USA
 d) Life-Stat Model 1008, Michigan Instruments Inc., Grand Rapids MI, USA
 e) Siemens Sirepuls O₂ Model 1003, Michigan Instruments Inc., Grand Rapids MI, USA – in Deutschland vertrieben durch die Siemens AG – historisches Vergleichsgerät

Tabelle 1

Technische Übersicht – Thoraxkompressionsgeräte (alle Angaben gemäß Herstellerinformationen).

Gerät	Antrieb	Betriebsdauer	Betriebsmodus	Beatmung	Gewicht	Patient	Homepage des Herstellers
LUCAS® 3 Markteinführung 2016	elektrisch	1 Akku≈45 min	M: 30:2/kontinuierlich KF: 102 ± 2 /min KT: 53 ± 2 mm (40–53 mm wenn Sternumhöhe <185 mm)	nein	ca. 8 kg	erwachsene Patienten Thorax ↑ 170–303 mm Thorax ↔ max. 449 mm	www.physio-control.com www.strykeremergencycare.com
corpus® cpr Markteinführung 2016	elektrisch	1 Akku≈90 min	M: 30:2/15:2/ kontinuierlich KF: $80–120 \pm 2$ /min KT: 2–6 cm±5 mm	nein	ca. 7,2 kg	ab 8 Jahren Thorax ↑ 140–340 mm	www.corpus.world
Lifeline ARM Markteinführung 2016	elektrisch	1 Akku≈60 min	M: 30:2/kontinuierlich KF: 101 ± 1 /min KT: 53 ± 3 mm	nein	ca. 7,1 kg	erwachsene Patienten Thorax ↑ 165–300 mm Thorax ↔ max. 457 mm	www.defibtech.de
LifeStat Model 1008 Markteinführung 2008	pneumatisch	max. 44 l O ₂ /min (10 l O ₂ -Druckgasflasche 200 bar ca. 45 min)	M: 30:2/kontinuierlich KF: 102 ± 2 /min KT: ca. 0–8 cm	VCV integriert	ca. 8,9 kg	„Erwachsene“ o.n.A.	www.michigan-instruments.com
Siemens Sirepuls O₂ Model 1003 Markteinführung 1969	pneumatisch	max. 44 l O ₂ /min (10 l O ₂ -Druckgasflasche 200 bar ca. 45 min)	M: 5:1/kontinuierlich KF: $40–120 \pm 5\%$ /min KT: ca. 0–8 cm	VCV integriert	ca. 12 kg	„Erwachsene/Kinder“ o.n.A.	www.michigan-instruments.com

Akku=Akku, **Thorax ↑**=Thoraxhöhe, **Thorax ↔**=Thoraxbreite, **VCV**=Volume Controlled Ventilation, O₂=Sauerstoff, **M**=Modi, **KF**=Kompressionsfrequenz, **KT**=Kompressionstiefe.

Schweiz). Der Siemens Sirepuls O₂ war eine Leihgabe des BRK-Museums Nürnberg und wurde in Zusammenarbeit mit Michigan Instruments (Michigan, USA) und dem Siemens Healthineers MedMuseum (Erlangen, Deutschland) restauriert. Für Detailinformationen zu den Geräten siehe Tabelle 1.

Personal

Um einen Anwenderbias durch unterschiedliche Teams auszuschließen, wurden alle Versuchsreihen durch das gleiche Helferteam (Ärzte der Klinik für Anästhesiologie & Intensivmedizin, ACLS Provider) ausgeführt. Im Vorfeld erfolgte eine detaillierte Herstellereinweisung auf die Geräte mit ausführlichem Anwendertraining.

Übungsphantom

Für einen Teil der Versuchsreihen wurde ein Übungsphantom verwendet (Ambu® Man Wireless, Ambu®, Bad Nauheim, Deutschland). Um das Phantom realitätsnäher zu gestalten, wurde eine von der Firma Ambu® angefertigte Rückenplatte angebracht und mit dünnem Schaumstoff beschichtet. Die Sternumhöhe betrug damit ca. 21 cm. Zudem wurden Gewichte genutzt, um den Rumpf inklusive des Kopfes (50% der Gesamtkörpermasse) auf 32,3 kg zu beschweren. Dies entspricht verhältnismäßig einem Gesamtkörpergewicht von 64,6 kg und bei einer Phantomhöhe von 165 cm somit einem Body-Mass-Index (BMI) von ca. 23,5 (Normalgewicht) [25].

Versuchsreihen

Die Untersuchung wurde in zwei Teile (Phase A und Phase B) gegliedert.

In Phase A wurde der Vorgang der korrekten Platzierung der verschiedenen Thoraxkompressionsgeräte an Patienten nachgestellt. Hierfür wurden gesunde, freiwillige Probanden beider Geschlechter und von unterschiedlicher Konstitution als Modellpatienten herangezogen (Tab. 2). Jedes Gerät wurde zehnmal an jedem Probanden angelegt. Ein Helfer simulierte hierbei die manuelle Herzdruckmassage, während der andere Helfer das Thoraxkompressionsgerät

anlegte. Die Geräte wurden zuvor technisch gegen akzidentielle Inbetriebnahme gesichert. Der Helfer, welcher die manuelle Herzdruckmassage simulierte, stoppte diese immer dann, wenn aufgrund des Anlagevorgangs keine streng vertikale und somit effektive Thoraxkompression möglich war. Als Endpunkte der Phase A wurden pro Gerät die Anlagedauer sowie die „No-Flow-Zeit“ (Zeitabschnitte ohne Herzdruckmassage), und daraus berechnet die No-Flow-Fraktion, als Marker der Funktionalität betrachtet. Die Gesamtduer der einzelnen Durchgänge sowie die „No-Flow-Zeiten“ wurden hierbei in allen Durchgängen manuell durch einen Studienassistenten gestoppt.

In Phase B wurden die bereits am Übungsphantom angebrachten Geräte auf ebenem, festem Boden in zehn Durchläufen für jeweils zwei Minuten in Betrieb genommen. Als Vergleichsgruppe diente die manuelle Herzdruckmassage. So wurde für alle Gruppen die Qualität der Herzdruckmassage (Kompressions-tiefe, -frequenz und Entlastungsfaktion) unter Idealbedingungen zur Beurteilung der Funktionalität untersucht.

Anschließend wurde das Übungsphantom (mit zuvor korrekt angelegtem Thoraxkompressionsgerät bzw. unter manueller HDM) in jeweils 10 Durchgängen durch die Helfer über eine festgelegte Strecke auf einem Spineboard transportiert (Tab. 3). Da der Fokus dieser Untersuchung auf der Qualität der Herzdruckmassage lag, wurde explizit auf die Beatmung verzichtet und die Thoraxkompression kontinuierlich durchgeführt. In der manuellen Gruppe wechselten sich die Helfer spätestens alle 2 Minuten ab. Endpunkte in dieser Versuchsreihe waren zum einen die Beurteilung der Qualität der Herzdruckmassage als Marker für die Funktionalität sowie zum anderen die Beurteilung der Sicherheit für den potentiellen Patienten (Dislokationen, Gerätefehler) und Anwender (interventionsfreier Gerätebetrieb/Nutzbarkeit der Rückhaltesysteme im fahrenden Rettungswagen) als Marker für die Einsatztauglichkeit.

Bei allen Versuchsreihen in Phase B wurde auf eine initial korrekte Anlage des jeweiligen Thoraxkompressionsgeräts geachtet (Position des Druckpunkts, vollständig entlasteter Thorax in

Tabelle 2

Deskription – Probanden.

	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5	Proband 6
Größe (cm)	162	181	187	159	166	182
Körpergewicht (kg)	100,2	70,3	102,4	81,0	60,3	110,3
BMI	38,2	21,5	29,3	32,0	21,9	33,3
Thoraxumfang (cm)	118	90	112	96	86	120
Thoraxhöhe (cm)	26,5	20,5	28,3	23,7	17,8	27,5

BMI = Body Mass Index.

Tabelle 3

Transportabschnitte Phase B.

Treppe	Fußweg	Beladephase	Transport	Entladephase	Umlagerung
Treppe mit 43° Gefälle; 14 Stufen; 2,8 m Höhe; 75 cm Breite	ca. 50 m ebener Fußweg über eine Wiese zum Rettungswagen	Fixieren des Patienten und Gerätes auf der Fahrtrage und Beladung des Rettungswagens	3,5 km; 8 Abbiege-/Bremsmanöver; 1 Rangiermanöver; 1 km 30 km/h; 2,5 km 60 km/h	Entladen der Fahrtrage aus dem Rettungswagen	Lösen der Fixierungen und Umlagerung des Patienten von der Fahrtrage auf die Schockraumliege

„Nullposition“). Die hinsichtlich Kompressionsfrequenz (KF) und -tiefen (KT) programmierbaren Geräte (corpuls® cpr, Life-Stat Model 1008, Siemens Sirepuls O₂ Model 1003) wurden wie folgt eingestellt:

- corpuls® cpr: KF 100/min, KT 5 cm
- Life-Stat Model 1008: KF vorgegeben bei 102/min; KT 20% des a.p.-Thoraxdurchmessers, eingestellt im laufenden Betrieb (visuelle Kontrolle an KT-Skala)
- Siemens Sirepuls O₂ Model 1003: KF 100/min, KT 5 cm, eingestellt im laufenden Betrieb (visuelle Kontrolle an KT-Skala)

Die manuelle Herzdruckmassage wurde ohne Feedback-Sensor durchgeführt. Gemäß der ERC-Leitlinie von 2015 sind diese Hilfsmittel nicht als Einzemaßnahme zur Qualitätssteigerung der Wiederbelebungsmaßnahmen vorgesehen. In Studien konnte bisher kein Überlebensvorteil durch die Anwendung dieser Devices gezeigt werden [21,27].

Statistik

Zur Auswertung der Daten am Phantom wurde eine Software von Ambu® (Ambu® CPR v3.0.0, Ambu®, Bad Nauheim, Deutschland) verwendet. Diese ermöglichte die Beurteilung der Qualität der Thoraxkompressionen (Kompressionstiefe, -frequenz und Entlastungsfraktion) sowie die Bestimmung der „No-Flow-Zeiten“ (Zeitabschnitte ohne Thoraxkompression) am Übungsphantom (Phase B).

Die statistische Weiterverarbeitung aller Daten erfolgte mit dem IBM® SPSS® 21 Statistics Softwarepaket. Die Werte werden als Mittelwerte mit Standardabweichung ($\pm SD$) bzw. als absolute und relative Häufigkeiten angegeben. Für metrische Daten im Mehrfach-Gruppenvergleich wurde der Kruskal-Wallis-Test mit paarweisen Vergleichen (post-hoc-Analyse nach Dunn-Bonferroni) verwendet. Korrelationsanalysen wurden nach Pearson durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde bei $<0,05$ festgelegt.

Ethik

Für die Studie liegt ein positives Votum (402/16) der Ethikkommission der

Universität Ulm vor. Alle Probanden nahmen freiwillig teil und willigten nach Aufklärung schriftlich ein.

Ergebnisse

Phase A

Alle Ergebnisse zu Phase A sind ausführlich in Tabelle 4 und 5 dargestellt. Es konnte eine Variation der mittleren Gesamtanlagedauer von 20,6 s (LUCAS®

3) bis 27,3 s (corpuls® cpr) festgestellt werden. Die Gesamt-No-Flow-Zeit (d.h. die Summe aller Zeitabschnitte ohne Herzdruckmassage während der Anlage) überschritt im Mittel bei keinem der Geräte die Zehn-Sekunden-Marke (5,9 s–10,0 s) (Tab. 4).

Die Gesamtanlagedauer korrelierte bei allen Devices (mit Ausnahme des Sirepuls) schwach positiv, aber signifikant, mit dem BMI und dem Thoraxumfang. Hinsichtlich der No-Flow-Zeit fand

Tabelle 4

Anlagezeiten.

Gesamtanlagedauer (n=60)

	Lifeline ARM (1)	LUCAS® 3 (2)	corpuls® cpr (3)	Life-Stat (4)	Sirepuls (5)
Dauer (s)	26,0±3,7 (2,5)	20,6±3,0 (1,3,4)	27,3±4,4 (2,4,5)	23,4±2,7 (2,3)	22,4±3,5 (1,3)

Gesamt-No-Flow-Zeit (n=60)

	Lifeline ARM (1)	LUCAS® 3 (2)	corpuls® cpr (3)	Life-Stat (4)	Sirepuls (5)
No-Flow-Zeit (s)	10,0±1,2 (3,4,5)	9,0±1,5 (3,4,5)	7,2±2,0 (1,2)	5,9±1,1 (1,2,5)	7,4±1,6 (1,2,4)
No-Flow-Fraktion (%)	38,5 (3,4)	43,7 (3,4,5)	26,4 (1,2,5)	25,2 (1,2,5)	33,0 (2,3,4)

0 Signifikanz.

Tabelle 5

Korrelationsanalyse.

Gesamtanlagedauer

	Lifeline ARM	LUCAS® 3	corpuls® cpr	Life-Stat	Sirepuls
Körpergröße	-0,164	0,053	0,031	0,285*	-0,052
Körpergewicht	0,247	0,274*	0,266*	0,643*	0,089
BMI	0,425*	0,302*	0,299*	0,505*	0,189
Thoraxumfang	0,347*	0,364*	0,347*	0,649*	0,199
Thoraxhöhe	0,265*	0,278*	0,234	0,623*	0,110

No-Flow-Zeit

	Lifeline ARM	LUCAS® 3	corpuls® cpr	Life-Stat	Sirepuls
Körpergröße	-0,008	0,315*	0,059	-0,014	-0,130
Körpergewicht	-0,165	0,354*	0,272*	0,117	0,218
BMI	-0,086	0,182	0,268*	0,176	0,354*
Thoraxumfang	-0,129	0,401*	0,336*	0,158	0,337*
Thoraxhöhe	-0,159	0,335*	0,219	0,114	0,296

BMI=Body Mass Index; Schwache Korrelation $\geq 0,3 < 0,5$; Starke Korrelation $\geq 0,5 < 0,8$;

* Signifikanz.

sich ein signifikanter, schwach positiver Zusammenhang zum Thoraxumfang für den LUCAS® 3, den corporls® cpr und den Sirepuls (Tab. 5).

Phase B

Alle Ergebnisse zu Phase B sind ausführlich in Tabelle 6 dargestellt. Im Ruhebetrieb zeigten je zwei Geräte eine zu geringe Kompressionstiefe (corpusls® cpr – 45 mm, Life-Stat – 48 mm) sowie eine mangelnde Dekompression (Life-line ARM – 4,9%, Sirepuls – 49,1%). Die manuelle Herzdruckmassage war, abgesehen von einer Dislokation, durchwegs leitlinienkonform.

Im prähospitalen Szenario nahmen die Raten an unvollständigen Thoraxentlastungen bei der manuellen HDM und allen Geräten, mit Ausnahme des LUCAS® 3, zu.

Der Life-Stat konnte die Qualitätskri-

terien in keinem Punkt erfüllen und es resultierte – bedingt durch zahlreiche Dislokationen nach kranial und der notwendigen Neupositionierung – die zweithöchste mittlere No-Flow-Zeit von 33 s (No-Flow-Fraktion 7,0%; maximale No-Flow-Zeit/Durchgang 82 s). Zudem traten mehrere Gerätefehlfunktionen (u.a. Unmöglichkeit der Regulierung der Drucktiefe) auf. Diese Ergebnisse führten zum vorzeitigen Abbruch der Versuchsreihe nach fünf Durchgängen wegen mangelnder Sicherheit für Anwender und potentielle Patienten.

Der Sirepuls als historisches Vergleichsgerät und Vorgängermodell des Life-Stat arbeitete zwar mit weniger Gerätefehlfunktionen und -dislokationen, konnte die Qualitätsanforderungen an die HDM jedoch ebenfalls in keinem Punkt erfüllen.

Hinsichtlich der festgestellten Abwei-

chungen der Qualität der Thoraxkompressionen durch die unterschiedlichen Thoraxkompressionsgeräte konnte im prähospitalen Szenario keine gerichtete Verteilung hinsichtlich bestimmter Transportphasen identifiziert werden.

Die Vergleichsgruppe der manuellen Herzdruckmassage zeigte eine schlechte Qualität der geleisteten Thoraxkompressionen mit zu geringer Kompressionstiefe und einer hohen Fraktion mangelnder Thoraxentlastungen. Da die transportbedingten No-Flow-Zeiten mit im Mittel 76 s (No-Flow-Fraktion 15,0%; maximale No-Flow-Zeit/Durchgang 102 s) deutlich über den Empfehlungen der ERC-Leitlinien lagen und die Sicherheit der stehenden Helfer während der Fahrt (trotz abgesperrter Übungsstrecke und verminderter Geschwindigkeit) nicht zu gewährleisten war, wurde die Versuchsreihe ebenfalls nach der Hälfte der geplanten Durchgänge beendet.

Diskussion

Diese Studie untersucht erstmals die Anlage unterschiedlicher mechanischer Thoraxkompressionsgeräte mit Stempeltechnik an Menschen in Bezug auf deren differente Konstitution. Bisherige Arbeiten betrachteten diese Phase entweder nur an Dummys [9,10] oder an unselektierten Patienten, ohne Erfassung der Körpermaße [32]. Zudem wurden die aktuell zur Verfügung stehenden Geräte sowie ein historisches Gerät erstmalig in einem ausführlichen prähospitalen Szenario einander und der manuellen Herzdruckmassage gegenübergestellt.

Phase A

Die maximale Differenz der mittleren No-Flow-Zeit bei der Anlage der unterschiedlichen Devices beträgt 4,1 s, unter der Maßgabe eines optimalen Settings mit geübten Anwendern. Das Training der Helfer hat wesentlichen Einfluss darauf, die No-Flow-Zeit bei Anlage eines Thoraxkompressionsgeräts gering zu halten [20]. Daher kann unter Realbedingungen mit weniger geübten Helfern der Effekt der Verlängerung der No-Flow-Zeit (insbesondere bei zunehmendem Thoraxumfang) relevant werden. Dies wird im Vergleich zur Un-

Tabelle 6

Qualitätsmarker der Thoraxkompressionsgeräte.

Ruhebetrieb				
	Frequenz (1/min)	Tiefe (mm)	unvollständige Dekompression (%)	Dislokationen (n)
1) Lifeline ARM	101*	57	4,9	0
2) LUCAS® 3	102	58	0	0
3) corporls® cpr	100*	45*	0	0
4) Life-Stat	101*	48	0	0
5) Sirepuls	101*	51	49,1*	0
6) manuelle HDM	109	55	0	1
1–6: n=10				

Transport

	Frequenz (1/min)	Tiefe (mm)	unvollständige Dekompression (%)	Dislokationen (n)	No-Flow-Zeit (s)	Gesamtdauer (min:s) / No-Flow-Fraktion (%)
1) Lifeline ARM	101	53	12,9	0	0*	07:50/0*
2) LUCAS® 3	102	56	0	0	0*	08:47/0*
3) corporls® cpr	100*	47	8,5	0	0*	08:46/0*
4) Life-Stat	98	48	48,0	9	33,2	08:23/7,0
5) Sirepuls	87*	45	95,4	4	0,3*	08:28/0,1*
6) manuelle HDM	120	47	16,6	3	76,2	08:27/15,0
1–3,5: n=10; 4,6: n=5						

*=Signifikanter Unterschied zur manuellen HDM; HDM=Herzdruckmassage; Erfüllung der Vorgaben (ERC 2015).

tersuchung von Yost et al. (33 s No-Flow-Zeit mit LUCAS® I) an deutlich kürzeren No-Flow-Zeiten in der vorliegenden Studie deutlich (Tab. 4 und 5) [32].

Phase B

Hier wurde das Augenmerk auf schwierige Teilabschnitte einer Rettung unter Reanimation gelegt (Transport über Treppen, fahrender Rettungswagen). Als Rettungsmittel wurde das Spineboard verwendet, da dies durch die feste Beschaffenheit und weite Verbreitung auch im deutschsprachigem Raum am geeigneten erschien, zumal nicht von einem relevanten Einfluss der Unterlage auf die Qualität der HDM ausgegangen werden muss [23]. Bis zum Studienende standen keine zugelassenen Fixierungssysteme der jeweiligen Hersteller der Thoraxkompressionsgeräte zur Verfügung, um den Patienten mit angebrachtem Device auf Rettungs-/Transportmitteln (z.B. Spineboard oder Fahrtrage) zu fixieren. Dies wurde in der Versuchsreihe daher mit Gurtsystemen improvisiert. Für den corporus® cpr wurde ein vom Hersteller zur Verfügung gestelltes Fixierungssystem, basierend auf einem Spineboard, verwendet (zum Studienzeitpunkt noch ohne Zulassung). Die Zeit zur Anlage der Fixierungen wurde nicht betrachtet, da hierzu kein standardisiertes Vorgehen etabliert ist. Diese spielt jedoch im Real-einsatz eine wesentliche Rolle, insbesondere wenn ein Transport über weitere Strecken und/oder mehrere Stockwerke vorgesehen ist. Um diese Devices insbesondere prähospital sicher nutzen zu können, ist es erforderlich, dass die Hersteller hierfür Fixierungssysteme entwickeln. Da explizit die Qualität der Thoraxkompression analysiert wurde, ist der Einfluss der Beatmung auf das Szenario nicht betrachtet worden. Die Sicherstellung der Ventilation und Oxygenierung ist in diesem Zusammenhang jedoch nicht nur ein logistischer Aspekt, sondern scheint zudem relevant für das Patienten-Outcome zu sein [1].

In der Kontrollgruppe wurden die Kompressionsfrequenz, Drucktiefe, Dekompression und mögliche Dislokationen vom korrekten Druckpunkt im Ruhebetrieb unter standardisierten, kontrollierten Bedingungen erfasst (Tab. 6). Diese

Ergebnisse zeigen, dass die mechanischen Thoraxkompressionsgeräte einer manuellen Herzdruckmassage unter den oben genannten Idealbedingungen nicht überlegen sind. Die geringe Kompressionstiefe des Life-Stat (48 mm) ist durch den Betriebsmodus zu erklären. Der Anwender muss hierbei selbst im laufenden Betrieb die Drucktiefe anhand einer analogen Skala (geeicht auf 20% a.p.-Thoraxdurchmesser) justieren. Dies birgt die Gefahr von Anwenderfehlern und geringer Präzision. Die mangelnde Kompressionstiefe des corporus® cpr (45 mm) liegt innerhalb der angegebenen Toleranzgrenzen des Herstellers (Tab. 1). Der Sirepuls ermöglichte die Adaptation an die aktuellen ERC-Leitlinien hinsichtlich Kompressionstiefe und -frequenz. Die Kompressionstiefe von 5 cm muss, ähnlich zum Life-Stat, im laufenden Betrieb via Analogskala justiert werden, was Anwenderfehler und mangelnde Präzision ebenfalls begünstigt. Im Versuch ist bei diesem Gerät lediglich die Rate fehlender vollständiger Thoraxentlastungen (49,1%) deutlich zu hoch. Dies ist am ehesten durch die fehlende Kompensationsmöglichkeit der höheren Taktfrequenz der Thoraxkompressionen durch den pneumatischen Antrieb zu erklären. Der Lifeline ARM zeigt in einzelnen Versuchsreihen ebenfalls fehlende Thoraxentlastungen.

In der Transportphase sind die Differenzen zwischen den Devices deutlich (Tab. 6). Die manuellen Thoraxkompressionen zeigen im Mittel eine Kompressionsfrequenz von 120/min (Obergrenze der Empfehlungen gemäß ERC 2015) sowie eine nicht ausreichende Drucktiefe und eine relevante Fraktion unvollständiger Dekompressionen [18,21,27]. Insbesondere die mittlere No-Flow-Zeit von 76 Sekunden pro Durchgang (Gesamtdauer im Mittel 08:27 min; No-Flow-Fraktion 15,0%) ist von allen Gruppen am höchsten. Dies ist bedingt durch die fehlende Möglichkeit zur Herzdruckmassage während bestimmter Abschnitte des Transports (Treppe, Umlagerung etc.). Zudem war das Unfallrisiko der Helfer während der Durchführung der Thoraxkompressionen im fahrenden RTW trotz angepasster Fahrweise enorm. So musste diese Versuchsreihe aus Gründen

der mangelnden Sicherheit für den potentiellen Patienten (zunehmende Dislokationsrate) und vor allem für die Helfer (keine Möglichkeit, sich anzuschnallen, hohe Sturzgefahr während der Fahrt) vorzeitig abgebrochen werden. Diese Ergebnisse zur mangelhaften Qualität der manuellen HDM während des Patiententransports sind konkordant mit anderen Untersuchungen [4, 8,10,13,14,19,28,29,31]. Als für die Prälklinik nicht einsatztauglich erwiesen sich der Life-Stat sowie das historische Vergleichsgerät Sirepuls. Nach einer potentiell relevanten Patientengefährdung durch Dislokation und fehlende Bedienbarkeit des Gerätes wurde auch die Versuchsreihe des Life-Stat vorzeitig beendet. Die hier beschriebene Patientengefährdung erforderte wiederholte Interventionen der Anwender, wodurch diese auf die Nutzung von Rückhaltesystemen/Gurten verzichten mussten. Zudem konnten die Vorgaben des ERC von 2015 hinsichtlich der Kompressionsfrequenz, -tiefe und vollständigen Thoraxentlastung von beiden Geräten nicht erfüllt werden [18,21,27]. Die Mitführung von Druckgasflaschen in großen Mengen (Druckgasverbrauch ca. 44 l/min) zeigte sich bei diesen Devices ebenfalls als deutliche Limitation für den prähospitalen Einsatz. Bei den Geräten Lifeline ARM und corporus® cpr ist teilweise eine unvollständige Dekompression beobachtet worden. Eine perfekte Thoraxentlastung zeigte der LUCAS® 3. Hier könnte am Dummy die aktive Dekompression des Devices mittels Saugglocke einen relevanten Einfluss haben. Ein positiver Effekt auf das Überleben nach Kreislaufstillstand durch die Anwendung von active compression-decompression cardiopulmonary resuscitation (ACD-CPR) beim Menschen konnte bisher nicht belegt werden [15].

Sowohl der LUCAS® 3 als auch der Lifeline ARM und der corporus® cpr generierten im gegebenen Szenario keinerlei Dislokationen oder No-Flow-Zeiten und arbeiteten störungsfrei, so dass stets Sicherheit für Patient und Anwender gegeben war. Dieses Ergebnis ist konkordant mit anderen Untersuchungen [8,9,10,22,24].

Limitationen

Einschränkend zu Phase A muss die geringe Fallzahl mit lediglich 6 Probanden angeführt werden. Zudem wurde explizit nur ein professionell geschultes Anwenderteam eingesetzt, so dass die Übertragbarkeit auf weniger trainierte Helfer deutlich eingeschränkt ist. Eine Folgeuntersuchung muss daher mit einer höheren Probandenzahl durchgeführt werden, um hier möglicherweise nur unzureichend erfasste Effekte der Patientenkonstitution aufzudecken. Außerdem müssen sowohl gut trainierte wie weniger gut ausgebildete Anwender verglichen werden, um genauere Aussagen zum notwendigen Übungsaufwand für ein optimales Geräte-Handling treffen zu können.

Die geringe Fallzahl ist ebenfalls in Phase B als Limitation anzufügen. Zudem fanden bei der Beurteilung der Gesamt-No-Flow-Zeit erweiterte Maßnahmen wie Defibrillation oder Atemwegssicherung, welche eine Unterbrechung der Thoraxkompression notwendig machen können, keine Berücksichtigung. Obwohl versucht wurde, den Reanimationsdummy realitätsnäher zu gestalten, ist die Übertragbarkeit auf den Realeinsatz nur eingeschränkt möglich. Am Manikin sind stets nur die äußeren Surrogatparameter einer hochwertigen Reanimation (Kompressionsfrequenz, -tiefe und Dekompression) erfassbar, und auch diese unterliegen einer gewissen Messtoleranz (z.B. Kompressionstiefe – gemäß Fa. Ambu® $\pm 2,5$ mm). Ob die Qualität des resultierenden Minimalkreislaufs hinsichtlich erreichter Blutdrücke und -flüsse zwischen den einzelnen Geräten divergent ist, kann mit dieser Studie nicht beantwortet werden. Erste Untersuchungen deuten jedoch auf einen Unterschied hinsichtlich dieser Parameter bei den einzelnen Devices hin [6,7]. Somit ist in nachfolgenden Forschungsarbeiten nun zu bestimmen, ob hinsichtlich der Zielgrößen wie Blutdruck/-fluss während des Transports unter Reanimation wesentliche Unterschiede zwischen den Geräten bestehen.

Schlussfolgerung

Die Ergebnisse dieser Untersuchung unterstreichen den Stellenwert mechanischer Thoraxkompressionsgeräte während des Patiententransports. In dieser Phase ist die manuelle HDM insuffizient und stellt ein manifestes Sicherheitsrisiko für die Helfer dar.

Bei der Anlage mechanischer Reanimationshilfen scheint ein zunehmender Thoraxumfang die Anlagedauer sowie möglicherweise auch die No-Flow-Zeit zu verlängern. Ob dieser Effekt in der Realität relevant ist und wie sehr das Anwendertraining hier Einfluss nimmt, muss durch eine Folgeuntersuchung geklärt werden.

Interessanterweise konnte das historische Vergleichsgerät (Siemens Sirepuls O₂) unter stationären Bedingungen (abgesehen von der Thoraxentlastung) mit den Leistungen der modernen, elektrisch angetriebenen Geräte Schritt halten. Unter der Belastungssituation des Patiententransports unter Reanimationsbedingungen zeigte sich der Sirepuls ebenso wie sein moderneres Gegenstück, der Life-Stat (beide pneumatisch betrieben), als dysfunktional und untauglich.

Die elektrisch betriebenen Geräte (Life-line ARM, corporls® cpr und LUCAS® 3) arbeiteten störungsfrei und die Sicherheit für Helfer und Patient war durchweg gegeben. Sie sind daher als gleichermaßen einsatztauglich einzustufen. Zur weitergehenden Evaluation der Unterschiede in der Qualität der Thoraxkompressionen müssen an einem physiologischen Modell die Zielparameter (z.B. Blutdrücke und -flüsse) unter den gleichen Transportbedingungen bestimmt werden.

Die Problematik der Patientenfixierung während des Transports mit angelegtem Thoraxkompressionsgerät ist noch endgültig durch die Hersteller zu lösen.

Abkürzungsverzeichnis

ACD:	active compression-decompression
ACLS:	Advanced Cardiac Life Support
BMI:	Body Mass Index
BRK:	Bayerisches Rotes Kreuz
CPR:	cardiopulmonary resuscitation
ERC:	European Resuscitation Council

HDM:	Herzdruckmassage
KF:	Kompressionsfrequenz
KT:	Kompressionstiefe
M:	Modus
RTW:	Rettungswagen
SD:	Standardabweichung

Literatur

1. Bernhard M, Behrens NH, Wnent J et al: Prähospital Atemwegsmanagement während der manuellen oder der mit automatischen Reanimationshilfen durchgeführten kardiopulmonalen Reanimation. Eine Registeranalyse. *Anaesthetist* 2018;67(2):109–117. DOI: 10.1007/s00101-017-0401-6
2. Bonnes JL, Brouwer MA, Navarese EP, et al: Manual Cardiopulmonary Resuscitation Versus CPR Including a Mechanical Chest Compression Device in Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A Comprehensive Meta-analysis From Randomized and Observational Studies. *Ann Emerg Med* 2016;67(3):349–60.e3. DOI: 10.1016/j.annemergmed.2015.09.023
3. Brooks SC, Hassan N, Bigham BL, et al: Mechanical versus manual chest compressions for cardiac arrest. The Cochrane database of systematic reviews(2) 2014: CD007260. DOI: 10.1002/14651858.CD007260.pub3
4. Chung TN, Kim SW, Cho YS, et al: Effect of vehicle speed on the quality of closed-chest compression during ambulance transport. *Resuscitation* 2010;81(7):841–847. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2010.02.024
5. Couper K, Smyth M, Perkins GD: Mechanical devices for chest compression: to use or not to use? *Curr Opin Crit Care* 2015;21(3):188–194. DOI: 10.1097/MCC.0000000000000200
6. Eichhorn S, Mendoza A, Prinzing A, et al: Corporls CPR Generates Higher Mean Arterial Pressure Than LUCAS II in a Pig Model of Cardiac Arrest. *BioMed research international* 2017:1–9. DOI: 10.1155/2017/5470406
7. Eichhorn S, Mendoza Garcia A, Polski M, et al: Corporls cpr resuscitation device generates superior emulated flows and pressures than LUCAS II in a mechanical thorax model. *Australas Phys Eng Sci Med* 2017;40(2):441–447. DOI: 10.1007/s13246-017-0537-3
8. Fox J, Fiechter R, Gerstl P, et al: Mechanical versus manual chest compression CPR under ground

- ambulance transport conditions. *Acute cardiac care* 2013;15(1):1–6. DOI: 10.3109/17482941.2012.735675
9. Gässler H, Kümmerle S, Venzke M-M, et al: Mechanical chest compression: an alternative in helicopter emergency medical services? *Intern Emerg Med* 2015;10(6):715–720. DOI: 10.1007/s11739-015-1238-0
10. Gässler H, Venzke M-M, Lampl L, et al: Transport with ongoing resuscitation: a comparison between manual and mechanical compression. *EMJ* 2013;30(7):589–592. DOI: 10.1136/emermed-2012-201142
11. Gates S, Quinn T, Deakin CD, et al: Mechanical chest compression for out of hospital cardiac arrest. Systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 2015;94:91–97. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2015.07.002
12. Gyory RA, Buchle SE, Rodgers D, et al: The Efficacy of LUCAS in Prehospital Cardiac Arrest Scenarios. A Crossover Mannequin Study. *The western journal of emergency medicine* 2017;18(3):437–445. DOI: 10.5811/westjem.2017.1.32575
13. Kim JA, Vogel D, Guimond G, et al: A randomized, controlled comparison of cardiopulmonary resuscitation performed on the floor and on a moving ambulance stretcher. *Prehosp Emerg Care* 2006;10(1):68–70. DOI: 10.1080/10903120500373108
14. Kim TH, Shin SD, Song KJ, et al: Chest Compression Fraction between Mechanical Compressions on a Reducible Stretcher and Manual Compressions on a Standard Stretcher during Transport in Out-of-Hospital Cardiac Arrests: The Ambulance Stretcher Innovation of Asian Cardiopulmonary Resuscitation (ASIA-CPR) Pilot Trial. *Prehosp Emerg Care* 2017;21(5):636–644. DOI: 10.1080/10903127.2017.1317892
15. Lafuente-Lafuente C, Melero-Bascones M: Active chest compression-decompression for cardiopulmonary resuscitation. *The Cochrane database of systematic reviews* 2013(9): CD002751. DOI: 10.1002/14651858.CD002751.pub3
16. Li H, Wang D, Yu Y, et al: Mechanical versus manual chest compressions for cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine* 2016;24:10. DOI: 10.1186/s13049-016-0202-y
17. Michigan Instruments Michigan Instruments Homepage. <https://www.michiganinstruments.com/about-us/history/> (Zugriffsdatum: 30.08.2017)
18. Monsieurs KG, Nolan JP, Bossaert LL, et al: European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015. Section 1. Executive summary. *Resuscitation* 2015;95:1–80. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2015.07.038
19. Olasveengen TM, Wik L, Steen PA: Quality of cardiopulmonary resuscitation before and during transport in out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 2008;76(2):185–190. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2007.07.001
20. Ong MEH, Quah JLJ, Annathurai A, et al: Improving the quality of cardiopulmonary resuscitation by training dedicated cardiac arrest teams incorporating a mechanical load-distributing device at the emergency department. *Resuscitation* 2013;84(4):508–514. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2012.07.033
21. Perkins GD, Handley AJ, Koster RW, et al: European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 2. Adult basic life support and automated external defibrillation. *Resuscitation* 2015;95:81–99. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2015.07.015
22. Putzer G, Braun P, Zimmermann A, et al: LUCAS compared to manual cardiopulmonary resuscitation is more effective during helicopter rescue—a prospective, randomized, cross-over manikin study. *Am J Emerg Med* 2013;31(2):384–389. DOI: 10.1016/j.ajem.2012.07.018
23. Putzer G, Fiala A, Braun P, et al: Manual versus Mechanical Chest Compressions on Surfaces of Varying Softness with or without Backboards: A Randomized, Crossover Manikin Study. *J Emerg Med* 2016;50(4):594–600.e1. DOI: 10.1016/j.jemermed.2015.10.002
24. Rehatschek G, Muench M, Schenk I, et al: Mechanical LUCAS resuscitation is effective, reduces physical workload and improves mental performance of helicopter teams. *Minerva anestesiologica* 2016;82(4):429–437
25. Richard HA, Kullmer G: Biomechanik. Grundlagen und Anwendungen auf den menschlichen Bewegungsapparat. Studium Technik. Wiesbaden: Springer Vieweg 2013
26. Rubertsson S: Update on mechanical cardiopulmonary resuscitation devices. *Curr Opin Crit Care* 2016;22(3):225–229. DOI: 10.1097/MCC.0000000000000302
27. Soar J, Nolan JP, Böttiger BW, et al: European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015. Section 3. Adult advanced life support. *Resuscitation* 2015;95:100–47. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2015.07.016
28. Stapleton ER: Comparing CPR during ambulance transport. Manual vs. mechanical methods. *JEMS: a journal of emergency medical services* 1991;16(9):63–64,66,68 passim
29. Stone CK, Thomas SH: Can correct closed-chest compressions be performed during prehospital transport? *Prehospital and disaster medicine* 1995;10(2):121–123
30. Tang L, Gu W-J, Wang F: Mechanical versus manual chest compressions for out-of-hospital cardiac arrest: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Scientific reports* 2015;5:15635. DOI: 10.1038/srep15635
31. Wik L, Kramer-Johansen J, Myklebust H, et al: Quality of cardiopulmonary resuscitation during out-of-hospital cardiac arrest. *JAMA* 2005;293(3):299–304. DOI: 10.1001/jama.293.3.299
32. Yost D, Phillips RH, Gonzales L, et al: Assessment of CPR interruptions from transthoracic impedance during use of the LUCAS™ mechanical chest compression system. *Resuscitation* 2012;83(8):961–965. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2012.01.019
33. Youngquist ST, Ockerse P, Hartsell S, et al: Mechanical chest compression devices are associated with poor neurological survival in a statewide registry. A propensity score analysis. *Resuscitation* 2016;106:102–107. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2016.06.039.

Korrespondenz- adresse

Dr. med.
Dominik Treffer



Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie
Bundeswehrkrankenhaus Ulm
Oberer Eselsberg 40
89081 Ulm, Deutschland
E-Mail: dominik.treffer@t-online.de