

Diplomarbeit

**Manuelle versus maschinelle Reanimation – Sind
Unterschiede im neurologischen Outcome festzustellen?**

eingereicht von

Marc-Antón Dietrich

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor(in) der gesamten Heilkunde

(Drⁱⁿ. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

**Klinischen Abteilung für Anästhesiologie und Intensivmedizin des
Klinikums Klagenfurt am Wörthersee**

unter der Anleitung von

Dr. med. univ. Markus Köstenberger, MBA

Ao. Univ.-Prof. Dr. med. univ. Andreas Sandner-Kiesling

Eidesstattliche Erklärung

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

Des Weiteren erkläre ich hiermit, dass, sofern bei der Erstellung dieser Arbeit Künstliche Intelligenz (KI) Werkzeuge zur Generierung und/oder Korrektur bestimmter Textpassagen verwendet wurden, dieser Einsatz unter Einhaltung ethischer Grundsätze, akademischer Integrität und den Vorgaben meiner Universität erfolgte, sowie in Folge dies transparent gemacht und in angemessener Weise gekennzeichnet wurde.

Graz, am 6. Mai 2026

Marc-Antón Dietrich eh.

Danksagungen

Ich möchte mich bei meinen beiden Betreuern für ihre Unterstützung bei der Erstellung dieser Diplomarbeit bedanken. Sie haben mich von der Themenfindung über die Datenerfassung bis hin zur Ausarbeitung der Arbeit mit ihrer fachlichen Expertise, ihrer Geduld und ihrem wertvollen Feedback begleitet.

Ein besonderer Dank gilt meiner Frau, die nicht nur bei der Erstellung dieser Arbeit, sondern auch während meines gesamten Studiums mir mit unermüdlicher Unterstützung zur Seite stand. Du hast mich gerade in den schwierigsten Phasen immer wieder motiviert weiterzumachen und mir die Kraft gegeben, zusätzlich zum Familienleben und Arbeit mein Studium nicht aus den Augen zu verlieren. Ohne deinen Rückhalt, dein Verständnis und deine Geduld wäre dieser Weg für mich nicht möglich gewesen. Auch meinem Sohn möchte ich von Herzen danken, der mir stets Freude und Kraft gegeben hat.

Ebenso gilt mein aufrichtiger Dank meinen Eltern. Durch ihre Unterstützung, ihr Vertrauen und ihre ständige Ermutigung wurde es mir überhaupt erst möglich, meinen Traum vom Medizinstudium zu verwirklichen. Auch wenn mein Weg nicht immer gerade war und von einigen Umwegen begleitet wurde, haben sie mich stets darin bestärkt, an meinen Zielen festzuhalten, ohne mich jemals unter Druck zu setzen. Für diesen Rückhalt bin ich ihnen unendlich dankbar.

Auch meinen Freunden möchte ich von Herzen danken. Sie haben mich besonders in der herausfordernden Phase des Aufnahmetests, aber auch während des gesamten Studiums auf vielfältige Weise unterstützt. Mit Zuspruch, Aufmunterung, ehrlichem Interesse und vielen wertvollen Gesprächen waren sie eine wichtige Stütze für mich. Gerade in stressigen und belastenden Zeiten haben sie mir gezeigt, wie wichtig echte Freundschaft ist. Für ihre Treue, ihre Geduld und die gemeinsamen Momente bin ich sehr dankbar.

Zu guter Letzt möchte ich mich auch bei meinen Studienkolleg*innen bedanken. Für die zahlreichen Tipps und Tricks, die hilfreichen Hinweise zu Prüfungen, die ausgearbeiteten Skripten und die vielen gemeinsamen Lernstunden bin ich ihnen sehr dankbar. Gemeinsam haben wir schwierige Phasen durchgestanden, uns gegenseitig motiviert und einander immer

wieder unterstützt. Ich blicke mit großer Wertschätzung auf diese Zeit zurück und freue mich darauf, sie im Arbeitsleben wiederzutreffen.

Zusammenfassung in Deutsch

Hintergrund

Die kardiopulmonale Reanimation (CPR) ist essenziell für das Überleben eines Herzkreislaufstillstands. Qualitativ hochwertige Thoraxkompressionen sind aufgrund verschiedener Umstände, insbesondere im präklinischen Bereich, jedoch nicht durchgehend verfügbar. Mechanische Thoraxkompressionsgeräte können theoretisch eine qualitativ hochwertige CPR sicherstellen und somit einen hohen und konstanten Blutfluss während des Herzkreislaufstillstands aufrechterhalten. Aktuelle Studien zeigen jedoch widersprüchliche Ergebnisse hinsichtlich der Überlebensraten beim Einsatz dieser Geräte, sodass eine genauere Untersuchung sinnvoll erscheint, um das Outcome zu verbessern.

Ziel

Die Studie analysiert die unterschiedlichen Outcomes manueller versus mechanischer CPR in Form von Sterblichkeit bis zur Entlassung aus der stationären Behandlung, gutem neurologischem Outcome und dem Auftreten von reanimationsbedingten Verletzungen.

Methodik

Die Studie ist retrospektiv angelegt und analysiert sämtliche Patient*innen, die einen außerklinischen Herzkreislaufstillstand (OHCA) erlitten und zur Weiterbehandlung an das Klinikum Klagenfurt am Wörthersee eingeliefert wurden. Der betrachtete Zeitraum erstreckt sich von September 2014 bis September 2024.

Ergebnis

Das Odds Ratio für die Sterblichkeit bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus betrug bei Patient*innen mit mechanischer Reanimation 7,72 (95%-CI 3,78–15,80) im Vergleich zur manuellen Reanimation. Ein signifikanter Unterschied hinsichtlich des neurologischen Outcomes war nicht erkennbar. Patient*innen der mechanischen CPR-Kohorte wiesen im Vergleich zur manuellen CPR-Kohorte ein Odds Ratio von 3,304 (95%-CI 2,164–5,045) für das Auftreten reanimationsbedingter Verletzungen auf.

Konklusion

Die mechanische weist gegenüber der manuellen CPR eine höhere Sterblichkeits- sowie Verletzungsrate auf. Folglich sollte eine mechanische CPR nur in Betracht gezogen werden,

wenn eine qualitativ hochwertige manuelle kardiopulmonale Reanimation nicht konsistent sicherzustellen ist.

Abstract in English

Background

Cardiopulmonary resuscitation (CPR) is key to surviving a cardiac arrest. Yet, high quality CPR is not always available due to circumstances, especially in out of hospital cardiac arrests (OHCA). Mechanical chest compression devices can be used to secure and maintain a high blood flow during cardiac arrest in theory. Current studies show controversial outcomes concerning survival rates with those devices underlining the need for further investigation to improve neurological outcome.

Objective

The study analyses the outcome comparison of manual and mechanical chest compression in the form of mortality, good neurological outcome as well as injuries obtained during resuscitation following OHCA.

Methods

This retrospective study analyzed all patients that suffered an OHCA and were transported to Klinikum Klagenfurt am Wörthersee for further treatment during September 2014 and September 2024.

Results

The Odds-Ratio for mortality to hospital discharge for patients that underwent mechanical chest compressions is 7.72 (95%-CI 3,78–15,80) compared to manual chest compressions. There was no significant difference concerning good neurological outcome. Patients, of the mechanical CPR cohort had an Odds-Ratio of 3,304 (95%-CI 2,164–5,045) for injuries obtained during resuscitation compared to the manual CPR cohort.

Conclusion

Mechanical chest compressions are linked to a higher rate of mortality and CPR-related injuries than manual chest compressions. Mechanical chest compressions should therefore only be considered when high-quality manual chest compressions cannot be consistently provided.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen und deren Erklärung.....	9
Abbildungsverzeichnis	10
Tabellenverzeichnis	11
Einleitung.....	12
Ziele dieser Diplomarbeit	12
1. Allgemeiner Teil.....	13
1.1 Manuelle Reanimation.....	13
1.1.1 Thoraxkompressionen	13
1.1.2 Defibrillation	14
1.1.3 Atemweg.....	15
1.1.4 Beatmung.....	16
1.1.5 Medikamentengabe.....	16
1.1.6 Point-of-Care Ultraschalluntersuchung	17
1.1.7 Kapnografie	17
1.2 Maschinelle Thoraxkompressionen	18
1.2.1 LUCAS®-2.....	18
1.2.2 Corpuls® CPR.....	20
1.2.3 Indikationen der maschinellen Thoraxkompressionen	22
1.3 Neurologisches Outcome.....	23
1.3.1 CPC-Skala	23
1.3.2 Inzidenzen.....	24
1.3.3 Outcome-relevante Faktoren	25
1.3.4 NSE-Wert	25
2. Material und Methoden	26
2.1 Studiendesign und Rahmen	26
2.2 Studienteilnehmer	26
2.3 Variablen	27
2.4 Datenquellen	27
2.5 Statistische Methoden.....	28
2.6 KI-basierte Sprachoptimierung.....	29
3. Ergebnisse.....	30
3.1 Studienpopulation und deskriptive Statistik	30
3.2 Primärer Endpunkt: Krankenhausmortalität.....	32
3.3 Sekundärer Endpunkt: Neurologisches Outcome.....	33
3.4 Reanimationsbedingte Verletzungen	34
3.5 Gender-spezifische Analyse des Outcomes Krankenhausmortalität	35
4. Diskussion	37
4.1 Krankenhausmortalität.....	37
4.2 Neurologisches Outcome.....	38
4.3 Reanimationsbedingte Verletzungen	38
4.4 Genderspezifische Subgruppenanalyse	40
4.5 Limitationen und Stärken	41
5. Konklusion.....	44
Literaturverzeichnis	45

Abkürzungen und deren Erklärung

°C	<i>Grad Celsius</i>	mg	<i>Milligramm</i>
ACE	<i>Angiotensin konvertierendes Enzym</i>	min	<i>Minuten</i>
ALS	<i>Advanced Life Support</i>	mm	<i>Millimeter</i>
BLS	<i>Basic Life Support</i>	mmol	<i>Millimol</i>
CaCl ₂	<i>Kaliumchlorid</i>	Na ⁺	<i>Natrium</i>
cm	<i>Zentimeter</i>	NSAR	<i>Nichtsteriodales Antirheumatikum</i>
COPD	<i>Chronisch obstruktive Lungenerkrankung</i>	NSE	<i>Neuronenspezifische Enolase</i>
CPC	<i>Cerebral Performance Category Scale</i>	O ₂	<i>Molekularer Sauerstoff</i>
CPR	<i>Kardiopulmonale Reanimation</i>	OHCA	<i>Außerklinischer Herzkreislaufstillstand</i>
DMAP	<i>4-Dimethylaminophenol</i>	PAE	<i>Pulmonalarterien Embolie</i>
ECLS	<i>Extracorporeal life support</i>	PCI	<i>Perkutane Koronarintervention</i>
EKG	<i>Elektrokardiogramm</i>	PEA	<i>Pulslose elektrische Aktivität</i>
ERC	<i>European Resuscitation Council</i>	PEEP	<i>Positive end expiratory pressure</i>
EtCO ₂	<i>Endtidaler Kohlenstoffdioxid Gehalt</i>	POCUS	<i>Point-of-care-Ultraschall</i>
g	<i>Gramm</i>	PSM	<i>Propensity score matching</i>
ggf.	<i>Gegebenenfalls</i>	pVT	<i>Pulslose ventrikuläre Tachykardie</i>
Hg	<i>Quecksilber</i>	QRS	<i>Kammerkomplex Elektrokardiogramm</i>
i.v.	<i>Intravenös</i>	RAAS	<i>Renin-Angiotensin-Aldosteron System</i>
ICR	<i>Interkostalraum</i>	REBOA	<i>Rescuciative Endovascular Ballon Occlusion of the Aorta</i>
IHCA	<i>Innerklinischer Herzkreislaufstillstand</i>	ROSC	<i>Return of spontaneous circulation</i>
J	<i>Joule</i>	STEMI	<i>Myokardinfarkt mit ST-Segment Hebung</i>
L	<i>Liter</i>	v. a.	<i>vor allem/ Verdacht auf</i>
MDMA	<i>3,4-Methylenedioxy-N-methylamphetamin</i>	VF	<i>Kammerflimmern</i>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Korrekter Positionierung der Rücken.- und Druckplatte von LUCAS®-2 [130].....	19
Abbildung 2: Inkorrekte Positionierung der Rücken.- und Druckplatte von LUCAS®-2 [130].....	19
Abbildung 3: Fixierung des Stabilisierungsgurtes von LUCAS®-2 [130]	19
Abbildung 4: Fixierung der Arme an LUCAS®-2 [130]	20
Abbildung 5: Corpuls® CPR mit RECBOARD [132].....	21
Abbildung 6: Korrekte Positionierung von Corpuls® CPR [132]	22
Abbildung 7: Studienpopulation.....	30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: CPC-Skala (Übersetzt aus dem Englischen von Stiell et al. (2009))	24
Tabelle 2: Charakteristika der Studienteilnehmer*innen (Rohdaten) *nicht normalverteilter Parameter: Angabe des Medians (IQR).....	31
Tabelle 3: Charakteristika der Studienteilnehmer*innen (PSM) *nicht normalverteilter Parameter: Angabe des Medians (IQR).....	32
Tabelle 4: Odds-Ratio Krankenhausmortalität	33
Tabelle 5: Neurologisches Outcome *Chi-Quadrat-Test **Fischers exakter Test	34
Tabelle 6: Auftreten reanimationsbedingter Verletzungen	35
Tabelle 7: Krankenhausmortalität nach Geschlecht und Art der Reanimation *Chi-Quadrat- Test **Fischers exakter Test	36

Einleitung

Der plötzliche Herzstillstand stellt in Europa die dritthäufigste Todesursache dar (1,2) und tritt überwiegend im außerklinischen Setting auf (3). Trotz intensiver Forschung ist die Mortalität beim außerklinischen Herzstillstand weiterhin hoch (2,4). Ein wesentlicher Faktor hierfür ist, dass der Herzstillstand häufig unbeobachtet erfolgt, wodurch es zu Verzögerungen bis zum Beginn der Reanimationsmaßnahmen kommt.

Die qualitativ hochwertige Durchführung der Herzdruckmassage stellt ein zentrales Element in der Versorgung dieser Patient*innen dar (5). Unter präklinischen Bedingungen ist eine konstant hohe Qualität jedoch nicht immer gewährleistet und stellt somit eine Schwachstelle innerhalb der Rettungskette dar. Insbesondere bei prolongierten Reanimationen kommt es infolge körperlicher Ermüdung des medizinischen Personals zu einer Abnahme der Qualität der Thoraxkompressionen (6). Auch der Transport unter laufender Reanimation im Rettungsfahrzeug wirkt sich negativ auf die Kompressionsqualität aus (7). Zudem kann die Sicherheit des beteiligten Personals während solcher Transporte nicht ausreichend gewährleistet werden.

Vor diesem Hintergrund haben sich in den vergangenen Jahren mechanische Reanimationshilfen etabliert, bei denen die Thoraxkompressionen durch ein Gerät durchgeführt werden. Diese ermöglichen eine gleichbleibende Kompressionstiefe und -frequenz auf konstant hohem Niveau. Der klinische Nutzen dieser Systeme ist jedoch bislang nicht eindeutig belegt. Trotz der technischen Vorteile der mechanischen kardiopulmonalen Reanimation und der damit verbundenen verbesserten Kompressionsqualität zeigt sich kein konsistenter Vorteil hinsichtlich Überlebensrate oder neurologischem Outcome. Aktuelle Studien weisen zudem eine erhebliche Variabilität der Ergebnisse in Abhängigkeit vom Studienort auf. Für den Großraum Klagenfurt am Wörthersee liegen bislang keine entsprechenden Daten vor.

Ziele dieser Diplomarbeit

Die vorliegende Arbeit soll sich mit der Frage auseinandersetzen, ob die Überlebensrate mit gutem neurologischem Outcome bei Patient*innen mit außerklinischem Herzkreislaufstillstand steigt, wenn sie maschinell statt manuell reanimiert wurden. Hierzu wurden die Daten von Patient*innen, welche im Klinikum Klagenfurt am Wörthersee in Kärnten behandelt wurden, retrospektiv analysiert.

1. Allgemeiner Teil

1.1 Manuelle Reanimation

Zunächst soll die manuelle Reanimation betrachtet werden. Die vorliegenden Leitlinien der ERC (5,8) unterscheiden hierbei nach medizinischem Erfahrungsgrad des Anwenders. Der medizinische Laie führt BLS-Maßnahmen durch, währenddessen medizinisches Fachpersonal ALS-Maßnahmen anwendet. Im Kontext dieser Studie soll sich auf den Bereich des ALS bezogen werden. Die Maßnahmen sind überdies nach ihrer Priorität geordnet.

1.1.1 Thoraxkompressionen

Thoraxkompressionen sind im Rahmen eines HerzKreislaufstillstands die einzige Möglichkeit, einen künstlichen Blutfluss im Körper der*des Patient*in zu erzeugen und somit lebenswichtige Organe mit sauerstoffangereichertem Blut zu versorgen. Sie stellen damit die wichtigste Maßnahme dar und sind sofort bei Feststellung eines HerzKreislauf-Stillstandes zu initiieren.

Kleidungsstücke der Patient*innen sollten nur entfernt werden, wenn sie weitere Interventionen behindern (9). Der Druckpunkt liegt auf der unteren Hälfte des Brustbeins, in der Mitte der Brust (10,11). Der Handballen der dominanten Hand wird auf dem Druckpunkt platziert. Die andere Hand wird darübergelegt und die Finger werden verschränkt (12). Die Arme sollen durchgestreckt werden, die Schultern senkrecht über dem Brustbein der*des Patient*in stehen und der Druck senkrecht von oben erfolgen (12). Die Druckfrequenz liegt bei 100 - 120 pro Minute (13–15) mit einer angestrebten Drucktiefe von mindestens 5cm bis maximal 6cm (16–18).

Allgemein ist eine Minimierung der Unterbrechungen (19,20), die vollständige Entlastung des Brustkorbs nach der Kompression sowie eine bevorzugt harte Unterlage bei der Reanimation (21) anzustreben. Ein Helferwechsel sollte aufgrund der Abnahme der Qualität der Thoraxkompressionen, insbesondere der Tiefe, nach maximal zwei Minuten und während der Rhythmusanalyse erfolgen (22).

Bis zur Etablierung eines sicheren Atemweges, sind die Thoraxkompressionen im Rhythmus 30:2 (30 Kompressionen, 2 Beatmungen) durchzuführen. Sobald eine Sicherung des

Atemwegs mittels supraglottischer Atemwegshilfe oder endotrachealem Tubus stattgefunden hat, sind kontinuierliche Thoraxkompressionen durchzuführen (23).

1.1.2 Defibrillation

Die Defibrillation erfolgt zum frühestmöglich Zeitpunkt nach Verfügbarkeit eines Gerätes, da die Effektivität mit der Dauer des Kammerflimmerns abnimmt (8).

Die Pads werden hierbei anterolateral angebracht, wobei die sternale Elektrode rechts vom Sternum, unterhalb des Schlüsselbeins und die apikale Elektrode in der mittleren axillären Linie auf Höhe V6 an den*die Patient*in geklebt werden. Alternativ ist die biaxilläre oder anterior-posteriore Padposition möglich (24–29). Bei der Padpositionierung ist darüber hinaus auf eine kranio-kaudale Ausrichtung zur Verminderung der Thoraximpedanz zu achten (30). Die Platzierung der Pads auf Brustgewebe ist ebenfalls zu vermeiden (31). Bei Patient*innen, welche Träger eines Herzschrittmachers oder Kardioverters sind, ist ein minimaler Abstand von 8cm zum Device empfohlen (32). Die Verwendung von Paddels wird nicht mehr empfohlen (33).

Weiterhin sei auf ausreichend Hautkontakt der Pads zu achten. Gegebenenfalls ist eine Rasur durchzuführen oder eine alternative Padposition zu erwägen (34). Zusätzlich sollte der PEEP nach Möglichkeit während der Schockabgabe minimiert werden, da ein hoher PEEP die transthorakale Impedanz erhöht (35).

Es wird die Verwendung eines manuellen Defibrillators empfohlen, insofern das Personal ausreichend mit der Rhythmuserkennung vertraut ist (36–38). Bei Vorliegen eines defibrillierbaren Rhythmus (pulslose ventrikuläre Tachykardie (pVT) oder Kammerflimmern (VF)), wird die Abgabe eines einzelnen biphasischen Schocks mit mindestens 150 J empfohlen (39–42).

Während des Ladevorgangs des Defibrillators muss die zuvor beschriebene Thoraxkompression fortgeführt werden (43). Alternativ kann ein vorausschauendes Laden vor der Analyse erfolgen, sodass nach Analyse gegebenenfalls umgehend ein Schock abgegeben werden kann (29). Während des gesamten Vorgangs von Analyse bis Schockabgabe sollen die Thoraxkompressionen für weniger als 5 Sekunden pausiert sein (44,45). Nach Schockabgabe werden die Thoraxkompressionen umgehend fortgeführt.

Rhythmusanalysen sind im Intervall von 2 Minuten durchzuführen (46). Bei Persistenz eines schockbaren Rhythmus ist die Schockenergie zu steigern (47,48). Bei refraktärem Kammerflimmern, sprich Persistenz des Kammerflimmerns nach drei oder mehr Schocks, wird maximale Energie sowie das Überprüfen der Padposition bzw. eine alternative Platzierung empfohlen (8).

Um die Brandgefahr zu minimieren, sind Sauerstoffnasenbrillen bzw. Masken während der Schockabgabe zu entfernen. Beatmungsbeutel bzw. -schlauch bleiben hingegen konnektiert (49,50).

Bei beobachtetem Kreislaufstillstand und vorliegender VF/pVT, können drei Schocks, mit dazwischenliegenden kurzen Analysepausen, hintereinander abgegeben werden – diese zählen im weiteren ALS-Algorithmus als ein Schock (29).

Es liegt keine Empfehlung für eine „Hands-on“-Defibrillation vor, aufgrund der fehlenden Evidenz für Vorteile der kontinuierlichen Thoraxkompressionen während der Defibrillation und des gleichzeitig erhöhten gesundheitlichen Risikos für das Personal (51).

1.1.3 Atemweg

Durch die Überstreckung des Kopfes oder die Anwendung eines Esmarch-Handgriffes wird die Freimachung des Atemweges initial sichergestellt. Insofern Fremdkörper vorhanden sind, können diese mit einer Magill-Zange unter einer Laryngoskopie entfernt werden (52). Es folgt schrittweise eine Eskalation der Atemwegssicherung, welche initiiert wird mit einer Beutel-Masken-Beatmung über supraglottische Atemwegshilfen bis hin zur endotrachealen Intubation, je nach Erfahrungslevel (53–57). Die Beutel-Masken-Beatmung kann gegebenenfalls durch Zuhilfenahme eines Guedel- bzw. Wendl-Tubus unterstützt werden.

Eine endotracheale Intubation ist ausschließlich bei hoher Anwender*innensicherheit zu erwägen (First-Pass-Intubationsrate über 95% bei 2 Intubationen) (58). Die Unterbrechung der Thoraxkompressionen für die endotracheale Intubation sollte fünf Sekunden nicht überschreiten (8). Der Einsatz eines Videolaryngoskopes oder einer direkten Laryngoskopie kann zur Erhöhung der First-Pass-Rate führen (59,60). Die Anwendung des Krikoiddrucks

wird nicht empfohlen (61). Zur Lagekontrolle des Tubus ist die Kapnografie einzusetzen (62–64).

Eine Koniotomie kann angewendet werden, insofern alle anderen Formen der Atemwegssicherung fehlgeschlagen sind oder spezielle Konstellationen wie beispielsweise Gesichtsschädelverletzungen, Ödeme oder Fremdkörperverlegungen des Kehlkopfes eine andere Art der Atemwegssicherung unmöglich machen (65).

1.1.4 Beatmung

Laut der ERC-Leitlinie (8) ist stetig die höchstmögliche O₂ - Flussrate bis Return Of Spontaneous Circulation (ROSC) zu verabreichen. Die Beatmungen sollen zunächst im unter 1.1.1. beschriebenen 30:2 Rhythmus (66), mit einer Inspirationsdauer von circa einer Sekunde (8) durchgeführt werden. Hierbei ist ausreichend Beatmungsvolumen zu verabreichen, sodass eine sichtbare Atemexkursion stattfindet. Insofern die Etablierung eines supraglottischen Atemwegtools (ausgenommen Larynxmaske) erreicht wird, erfolgt eine kontinuierliche Beatmung mit einer Frequenz von 10 Beatmungen pro Minute (67). Neuere Studiendaten zeigen, dass eine höhere Beatmungsfrequenz von 12 - 26 Beatmungen pro Minute mit einer höheren ROSC-Rate verbunden sein kann (68). Sollten im Verlauf größere Leckagen auftreten, so soll zu der beschriebenen 30:2 Methode rückkonvertiert werden.

1.1.5 Medikamentengabe

Die Medikamentenapplikation ist primär über einen intravenösen Gefäßzugang zu applizieren. Alternativ kann die Medikamentengabe über einen intraossären Zugang erfolgen (69–71).

Vasopressoren sind nach Etablierung eines Applikationsweges und bei nicht-schockbarem Rhythmus zum frühestmöglichen Zeitpunkt zu verabreichen. Die Dosis beträgt 1 mg Adrenalin. Bei schockbarem Rhythmus wird 1mg Adrenalin hingegen erst nach dem dritten Schock appliziert. Es erfolgt eine repetitive Gabe alle 3–5 Minuten bis zum Ende der ALS-Maßnahmen (72–74).

Der Einsatz von Antiarrhythmika erfolgt bei schockbaren Rhythmen mit 300 mg Amiodaron nach dem dritten Schock sowie 150mg nach dem fünften Schock. Alternativ können 100 mg bzw. 50 mg Lidocain analog zum Amiodaron verabreicht werden (75).

Thrombolytika können bei vermuteter oder bestätigter PAE eingesetzt werden, jedoch muss die CPR anschließend für 60–90 Minuten fortgesetzt werden (76,77). Eine routinemäßige Gabe von Infusionen ist nur bei einem Kreislaufstillstand aufgrund von Hypovolämie indiziert. Auch eine präklinische Kryotherapie mit größeren Mengen gekühlter Infusionslösung ist nicht empfohlen (78).

1.1.6 Point-of-Care Ultraschalluntersuchung

Der Point-of-Care-Ultraschall, also die ortsungebundene Ultraschalluntersuchung mithilfe eines mobilen Ultraschallgerätes (kurz: POCUS), sollte grundsätzlich nur von geschulten Anwender*innen und ohne Unterbrechung der CPR-Maßnahmen durchgeführt werden (8). POCUS kann zur Diagnostik reversibler Ursachen, etwa eines Pneumothorax oder einer Perikardtamponade, herangezogen werden (79–81). Aufgrund zu geringer Sensitivität wird von den Leitlinien abgeraten POCUS als Entscheidungsgrundlage für die Beendigung der CPR-Maßnahmen zu nutzen (82). Auch zur Diagnose einer Rechtsherzbelastung (bei PAE) darf die Untersuchung nicht herangezogen werden, da die Dilatation des rechten Ventrikels ein Normalbefund bei einem Herzkreislaufstillstand darstellt (83,84).

1.1.7 Kapnografie

Die Kapnografie ist ein Tool zur Messung des endtidalen Kohlenstoffdioxid-Gehalts (EtCO₂). Sie kann während des ALS, zusätzlich zur pulmonalen Auskultation, zur Lageüberprüfung des endotrachealen Tubus herangezogen werden. Ein kontinuierlicher Anstieg der EtCO₂-Werte Post-Intubation bestätigt die korrekte Lage des Tubus in der Trachea (85,86). Weiterhin ist die Kapnografie ein Indikator für die Qualität der Thoraxkompressionen. Qualitativ hochwertige Thoraxkompressionen haben höhere EtCO₂-Werte zur Folge (87). Während einer laufenden CPR sollte ein EtCO₂-Wert von mindestens 20 mmHg angestrebt werden. Werte darunter sind mit einem schlechteren Outcome assoziiert (87–89).

Im Falle eines ROSC steigt der EtCO₂-Wert um das Dreifache. Jedoch ist eine vorzeitige Unterbrechung der Thoraxkompressionen nur auf Basis der EtCO₂-Werte nicht empfohlen (90,91).

1.2 Maschinelle Thoraxkompressionen

Im folgenden Abschnitt sollen die Indikationen der maschinellen Thoraxkompressionen sowie die Funktionsart und der Aufbau der Geräte, welche im Rettungsdienst Kärnten zum Einsatz kommen, erläutert werden. Während des Studienzeitraums kamen zwei verschiedene Geräte, LUCAS®-2 sowie Corpuls® CPR, zum Einsatz.

1.2.1 LUCAS®-2

LUCAS®-2 ist ein akkubetriebenes Gerät zur maschinellen Thoraxkompression der Firma JOLIFE AB aus Schweden. Die Thoraxkompressionen werden durch einen auf- und abwandernden, mechanisch angetriebenen Kolben ausgeführt, welche über eine Druckplatte bzw. eine Saugglocke mit dem Thorax der*des Patient*in verbunden ist. Dadurch erfolgt auch eine aktive Thorax Dekompression (ACD-CPR). LUCAS®-2 führt dies mit einer Kompressionstiefe von 40 bis 53 mm, mit einer Abweichung von +/- 2mm, und einer Frequenz von 102/min, mit +/- 2 min, durch. Dies geschieht entweder im kontinuierlichen Modus oder im 30:2 Modus, je nach Wahl des*der Anwender*in (92).

Das Gerät kann bei Patient*innen mit einer Brustbeinhöhe von 170 – 303mm sowie einer maximalen Brustkorbbreite von 449mm angewendet werden. Zur Sicherung der Position der Saugglocke wird das Gerät mithilfe zweier seitlich angebrachten Arme auf einer Rückenplatte befestigt, die unter dem*der Patient*in liegt (92).

Die korrekte Positionierung dieser Rückenplatte ist hierbei essenziell für die richtige Druckposition über dem unteren Drittel des Sternums (Vergleich Abbildung 1 und Abbildung 2). Eine weitere Sicherung der Position des Geräts kann durch die Anbringung eines Stabilisierungsgurts erfolgen. Dieser wird um den Nacken des*der Patient*in gelegt und beidseitig mit den Haltearmen des Geräts verbunden (92) (Abbildung 3). Die Arme werden zusätzlich an den beiden Seiten des Gerätes fixiert (Abbildung 4).

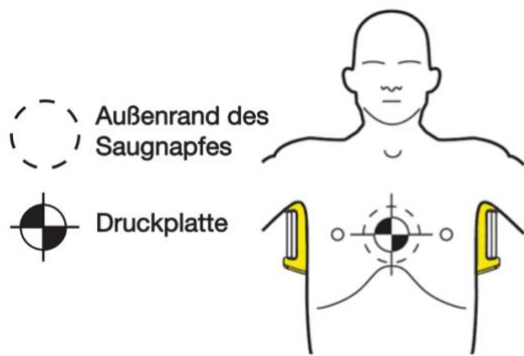


Abbildung 1: Korrekter Positionierung der Rücken.- und Druckplatte von LUCAS®-2 (92)

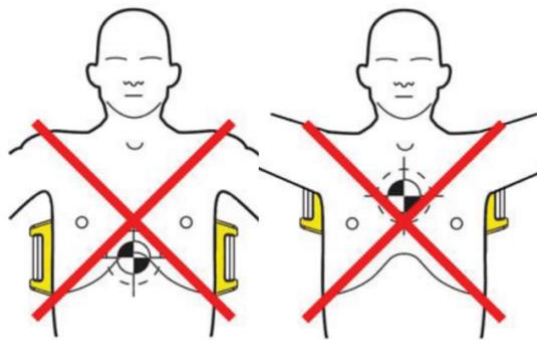


Abbildung 2: Inkorrekte Positionierung der Rücken.- und Druckplatte von LUCAS®-2 (92)

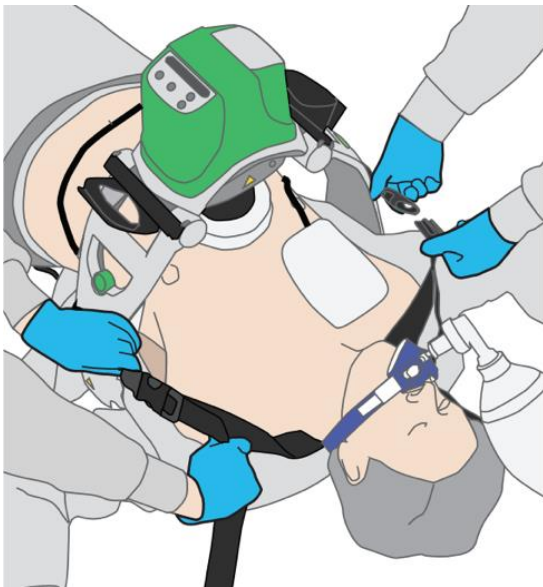


Abbildung 3: Fixierung des Stabilisierungsgurtes von LUCAS®-2 (92)

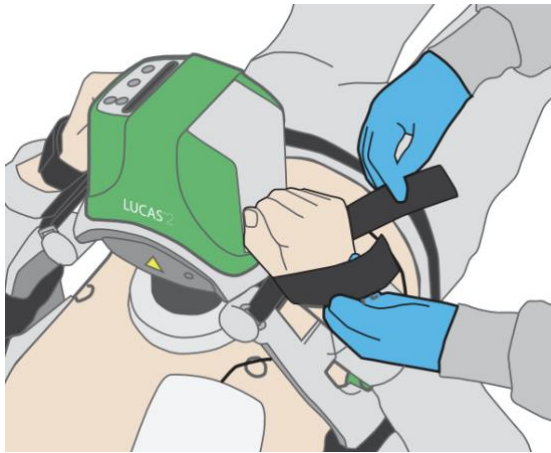


Abbildung 4: Fixierung der Arme an LUCAS®-2 (92)

Es sei hervorzuheben, dass für die Positionierung der Rückenplatte sowie die Befestigung des Geräts auf derselben, die Reanimation unterbrochen werden muss. Bei geübten Anwender*innen beträgt die no-flow Zeit 9,8 Sekunden, mit einer Abweichung von $\pm 3,3$ Sekunden (93).

Sobald das Gerät in der korrekten Position ist, müssen die Thoraxkompressionen nur für eine initiale Umlagerung, wie beispielsweise vom Boden auf die Trage, und ggf. für Beatmungspausen, unterbrochen werden. Während einer Umlagerung mittels Boards, oder auch während der Defibrillation, kann LUCAS®-2 die Thoraxkompressionen fortführen. Dabei sei lediglich auf die richtige Positionierung der Druckplatte nach der jeweiligen Intervention zu achten.

1.2.2 Corpuls® CPR

Der Corpuls® CPR ist ein akkubetriebenes Gerät zur maschinellen Thoraxkompression der Firma GS Elektromedizinische Geräte G. Stemple GmbH aus Deutschland (Abbildung 5). Die Thoraxkompressionen werden durch einen auf- und abwandernden, mechanisch angetriebenen Kolben ausgeführt, welcher über eine Druckplatte mit dem mit dem Thorax der*des Patient*in verbunden ist. Die Kompressionstiefe beträgt 2-6cm und ist je nach Bedarf in 0,1cm Schritten einstellbar. Die Frequenz beträgt 80-120/min und ist mit Schritten von 1/min individuell anpassbar. Die Frequenz kann entweder kontinuierlich, im 30:2 oder im 15:2 Modus, je nach Wahl des*der Anwender*in, ausgewählt werden.

Angewendet werden kann das Gerät bei Patient*innen mit einer Thoraxhöhe von 14 bis 34cm. Bezüglich des Patient*innengewichts und der Thoraxbreite gibt es keine Einschränkungen (94).

Zur Sicherung der Position der Druckplatte wird das Gerät durch den angebrachten Arm auf einem von drei möglichen Reanimationsboards befestigt. Das Board muss hierbei in keiner bestimmten Position unter dem Thorax der*des Patient*in liegen, da die genaue Druckposition der Druckplatte mithilfe des schwenkbaren Arms eingestellt wird. Abhängig von dem gewählten Reanimationsboard sind Sicherheitsgurte vorhanden, welche das Verrutschen des Gerätes während eines Transports verhindern sollen (94) (Abbildung 6).



Abbildung 5: Corpuls® CPR mit RECBOARD (94)

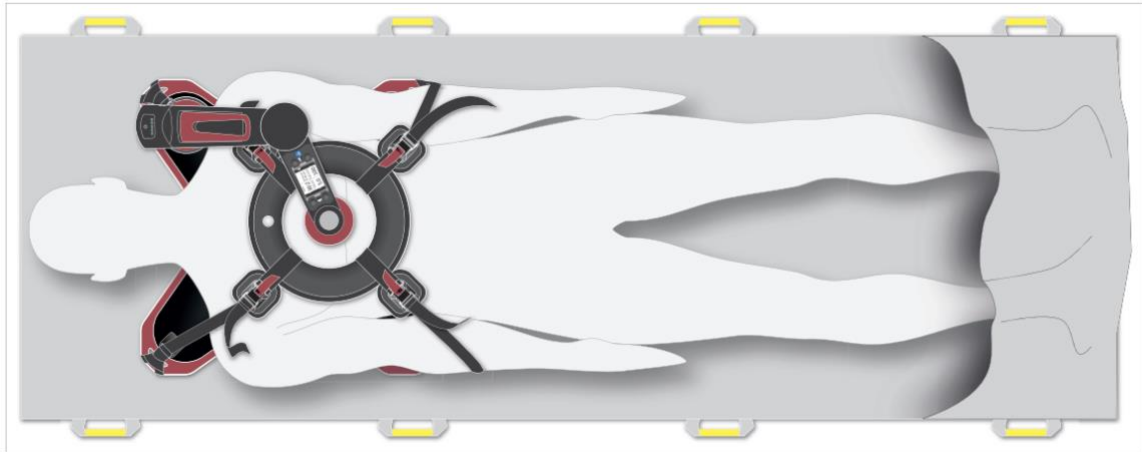


Abbildung 6: Korrekte Positionierung von Corpuls® CPR (94)

Wichtig ist, dass bei der Positionierung des Reanimationsboards und beim Einschwenken des Gerätearms die Thoraxkompression unterbrochen werden muss. Die no-flow Zeit dauert im Durchschnitt 7,2 Sekunden, mit einer möglichen Abweichung von ± 2 Sekunden (95). Laut Hersteller sind die Thoraxkompressionen zu pausieren, wenn eine Umlagerung der*des Patient*in oder eine Schockabgabe stattfindet. Zudem sei vor dem Start der Thoraxkompressionen die korrekte Position der Druckplatte zu überprüfen und bei Bedarf zu korrigieren.

Insofern der Corpuls® CPR mit dem Corpuls®3 Defibrillator verwendet wird, können beide Geräte mittels Bluetooth synchronisiert werden. Dies ist vorteilhaft, da laut Hersteller die Hands-off-Zeit um bis zu 16,08% verringert werden kann. Dieser Vorteil zeige sich besonders während der Perishock-Pause. Synchronisiert dauert diese Unterbrechung 2 Sekunden, $\pm 0,32$ Sekunden, während bei der getrennten Nutzung 3,24 Sekunden, $\pm 0,71$ Sekunden Pause sind (96).

1.2.3 Indikationen der maschinellen Thoraxkompressionen

Laut aktuellen Guidelines gibt es keine generelle Empfehlung zur routinemäßigen Anwendung von Geräten zur maschinellen Thoraxkompression (5). Der Einsatz ist lediglich in speziellen Situationen empfohlen, in denen keine qualitativ hochwertigen Thoraxkompressionen durchgeführt werden können oder manuelle Thoraxkompressionen für das Personal bzw. den*die Patient*in zu hohe gesundheitliche Risiken bürden würden. So kann der Einsatz von maschinellen Geräten zur Thoraxkompression während der Patient*innenbergung, dem Transport zum Rettungswagen und während des RTW-Transportes erwogen werden (97). Weiterhin sei der Einsatz während des RTH-Transportes,

aufgrund von Platzmangel sinnvoll, beim Mangel an Personal, wegen der abnehmenden Qualität bei längeren Thoraxkompressionen (98,99), länger andauernde Thoraxkompressionen im Rahmen einer Lysetherapie sowie während einer Herzkatheter-Untersuchungen und ECMO-Kanülierung (100).

Das primäre Problem der Nutzung der Geräte für eine maschinelle Thoraxkompression ist die Verzögerung der Kompressionen aufgrund der notwendigen Installation des Gerätes. Sollte sich dazu entschlossen werden, ein Gerät zur maschinellen Thoraxkompression anzuwenden, so sollte der Deployment Zeitpunkt nicht um den Zeitpunkt der Defibrillation erfolgen (101). Der Einsatz sollte nur durch erfahrenes Personal mit regelmäßigem Training in Supervision erfolgen (102).

1.3 Neurologisches Outcome

Nun soll allgemein das neurologische Outcome nach Herzkreislaufstillstand mit erfolgter kardiopulmonaler Reanimation betrachtet werden. Die CPC-Skala als gängigste Methode der Beschreibung des Outcomes nach Reanimation, Outcome-relevante Faktoren sowie die Aussagekraft des NSE-Wertes werden erläutert.

1.3.1 CPC-Skala

Die CPC-Skala (Cerebral Performance Category) stellt die gängigste Methode zur Beschreibung des neurologischen Outcomes bei Patient*innen nach erfolgter CPR dar. Die Ordinalskala besitzt insgesamt fünf Stufen, von erhaltener bzw. guter zerebraler Funktionsfähigkeit (Stufe 1) bis Hirntod (Stufe 5). Die Tabelle 1 listet alle Stufen mit den entsprechenden Eigenschaften auf (103). Ein gutes neurologisches Outcome wird als CPC 1-2 definiert (104).

Tabelle 1: CPC-Skala (Übersetzt aus dem Englischen von Stiell et al. (2009))

	Beschreibung
CPC 1	Gute zerebrale Leistung: Bei Bewusstsein, wach und zu einem normalen Leben fähig. Normale Hirnfunktion. Kann geringfügige psychologische oder neurologische Defizite aufweisen, die die zerebrale oder körperliche Funktion nicht wesentlich beeinträchtigen (Milde Dysphasie, nicht einschränkende Hemiparesen, milde Hirnnervenabnormalitäten).
CPC 2	Moderate zerebrale Behinderung: Bei Bewusstsein, wach, ausreichende Hirnfunktion für Teilzeitarbeit in geschützter Umgebung oder selbstständige Aktivitäten des täglichen Lebens (z.B. sich anziehen, öffentliche Verkehrsmittel nutzen, Essen zubereiten). Kann Hemiplegie, Krampfanfälle, Ataxie, Dysarthrie, Dysphasie oder dauerhafte Gedächtnis- oder psychische Veränderungen aufweisen.
CPC 3	Schwere zerebrale Behinderung: Bei Bewusstsein. Abhängig von anderen für die tägliche Lebensunterstützung (d.h. Unterbringung in Pflegeeinrichtung oder zu Hause mit erheblicher familiärer Unterstützung). Weist zumindest verminderte geistige Kognition auf. Umfasst Personen mit einem breiten Spektrum zerebraler Abnormalitäten, von gehfähigen Patient*innen mit schweren Gedächtnisstörungen oder Demenz bis hin zu gelähmten Patient*innen, die nur mit den Augen kommunizieren können (z.B. Locked-in-Syndrom).
CPC 4	Koma oder vegetativer Zustand: Nicht bei Bewusstsein, keine Wahrnehmung der Umgebung, keine Kognition. Keine verbale oder psychologische Interaktion mit der Umwelt.
CPC 5	Zertifizierter Hirntod oder für Tod erklärt nach gängigen Kriterien

1.3.2 Inzidenzen

Die Inzidenz des OHCA in Europa liegt bei 89 pro 100.000 Einwohner*innen (1). Die Gesamtüberlebensrate variiert hier, abhängig vom Register, zwischen 3,1 bis 20,4% (2). Ein gutes neurologisches Outcome, sprich CPC 1 oder 2, variiert wiederum von 2,8 bis 18,2% laut Kiguchi et al. (2020). Aufgrund des Mangels eines nationalen Registers für Herzkreislaufstillstände, gibt es für Österreich nur punktuell Daten bezüglich der Gesamtüberlebensrate bzw. des neurologischen Outcomes. Für den Großraum Wien werden Daten zu OHCA im Vienna Cardiac Arrest Registry (VICAR) nach den Utstein-Kriterien erfasst. Laut den Studienautor*innen liegt die Inzidenz bei 77,1 pro 100.000

Einwohner*innen, mit einer Gesamtüberlebensrate von 9,3% und einer CPC 1 oder 2 von 6,8% zum Zeitpunkt der Entlassung aus dem Krankenhaus (105). Für den Großraum Innsbruck wird eine Gesamtüberlebensrate von 16% nach 30 Tagen und ein gutes neurologisches Outcome (CPC 1 oder 2) von 13% beschrieben (106).

1.3.3 Outcome-relevante Faktoren

Die Faktoren, welche vermehrt zum Überleben eines OHCA beitragen, sind ein jüngerer Patient*innenalter von durchschnittlich gleich bzw. unter 73 Jahren, initialer Rhythmus VF, eine frühzeitige und qualitativ hochwertige CPR und ein schnelles Eintreffen des Rettungsmittels am Einsatzort, mit gleich bzw. unter durchschnittlich 6 Minuten. Weiterhin ist förderlich, wenn der Ort des OHCA außerhalb des Zuhauses liegt, Zeugen vor Ort sind und eine Laien-Reanimation durchgeführt wurde (107,108). Mondal et al. (2024) hebt zusätzlich hervor, dass je länger die Reanimationsdauer ist, desto schlechter ist das neurologische Outcome. Außerdem begünstigt ein Kaliumwert zwischen 4,0 bis 4,5 mmol/L die Überlebensrate (109).

1.3.4 NSE-Wert

Bei der neuronenspezifischen Enolase (NSE) handelt es sich um ein Enzym der Glykolyse, welches innerhalb von zentralen und peripheren Neuronen sowie, zu einem kleinen Teil, in Zellen des diffusen neuroendokrinen Systems vorkommt (110). Es wird aufgrund der Gewebsspezifität für die Neuroprognostizierung bei komatösen Patient*innen nach erfolgter CPR herangezogen (111). NSE wird bei neuronaler Schädigung freigesetzt und gelangt ins Blut. Die Serumkonzentration korreliert mit dem Ausmaß der Hirnschädigung (112).

Ein hoher NSE-Wert 48 bzw. 72 Stunden nach dem OHCA (113–119) oder der Anstieg der NSE zwischen 24-48h bzw. 48-72h ist ein klarer Prädiktor für ein schlechtes neurologisches Outcome (120).

Der genannte NSE-Wert hat eine große Spanne des Schwellwertes von, je nach Studie, 33 bis 120µg/L, innerhalb der ersten 72 Stunden nach dem OHCA (109). Dabei nimmt der NSE-Wert nach 24 Stunden bei einer*inem Patient*in mit einem guten neurologischen Outcome ab und steigt bei Patient*innen mit einem schlechten Outcome an. Bei letzterem liegt der Höhepunkt zwischen 48 und 96 Stunden. Allerdings gibt es einen lediglich geringen Aussagewert nach 24 Stunden. Der optimale Messzeitpunkt liegt zwischen 48 bis 72 Stunden.

2. Material und Methoden

2.1 Studiendesign und Rahmen

Es wurde eine retrospektive Kohortenstudie mit Daten aus dem Zeitraum von September 2014 bis September 2024 (10 Jahre) durchgeführt, um Effekte der maschinellen Reanimation auf das Überleben der Patient*innen im Vergleich zur manuellen Reanimation darzustellen. In die Studie eingeschlossen wurden hierbei alle Patient*innen mit außerklinischem Herzstillstand, welche den Notarztdienst eingebunden haben und primär ins Klinikum Klagenfurt am Wörthersee zur weiteren Behandlung transferiert wurden. Die Studie wurde von der Ethikkommission Kärnten freigegeben (S2024-19).

2.2 Studienteilnehmer

Die Rekrutierung der Studienteilnehmer*innen erfolgte durch Ausgabe aller Fallnummer mit ICD 10 Code I46 im krankhausinternen Informationssystem Orbis® (Dedalus HealthCare Konrad-Zuse-Platz 1-3, 53227 Bonn) des KABEG Klinikum Klagenfurt am Wörthersee (Maximalversorger, Zentralklinik für die Region Kärnten). Im Anschluss wurden die Fallnummern auf das Vorliegen des Einschlusskriteriums (OHCA mit Transport unter Notarztbegleitung ins KABEG Klinikum Klagenfurt am Wörthersee) überprüft. Die Ausschlusskriterien umfassten:

- Reanimation erfolgte nicht durch Rettungsdienstfachpersonal oder medizinisches Fachpersonal
- Trauma als Ursache des Herzkreislaufstillstandes ist nicht auszuschließen
- Patient*in ist zum Zeitpunkt der Reanimation schwanger
- Überstellung aus einem anderen Krankenhaus, welches die Primärversorgung übernommen hat
- doppelt gelistete*r Patient*in
- IHCA
- Patient*innenalter < 18 Jahre
- CPR-Dauer unter 1 Minute
- Ereignis liegt außerhalb des Betrachtungszeitraumes
- fehlende Daten (drei oder mehr der unter 2.3 angegebenen Variablen fehlen im Dokumentationssystem)
- Transfer der*des Patient*in an ein anderes Krankenhaus vor Abschluss der Behandlung

- keine Reanimation dokumentiert

2.3 Variablen

Den primären Endpunkt stellt das Überleben des Herzkreislaufstillstands bis zur Entlassung aus der stationären Behandlung (Krankenhausmortalität) dar. Als sekundären Endpunkt wurde der neurologische Zustand zum Zeitpunkt der Entlassung aus der stationären Behandlung anhand der CPC-Skala definiert. Die Exposition stellte die Anwendung eines mechanischen CPR-Geräts (LUCAS®-2 / Corpuls® CPR) im Verlauf der Behandlung dar. Genaue Anforderungen bezüglich des Deploymentzeitpunktes wurden nicht gestellt. Mögliche Confounder umfassen laut aktueller Studienlage Alter, Geschlecht, Verzögerung der Reanimationsmaßnahmen (Delay) über 5 Minuten, stattgefundene Laienreanimation, initialer Herzrhythmus, Dauer der Reanimation und Schweregrad der metabolischen Entgleisung (121).

Folgende Variablen wurden für die Studie erhoben: Art der Reanimation (maschinell/manuell), Geschlecht, Laienreanimation (Ja/Nein), Geburtsdatum, Datum der Reanimation, Dauer bis zum Eintreffen des Notarztfahrzeugs bzw. des Rettungshubschraubers in Minuten, Verzögerung der Reanimationsmaßnahmen über 5 Minuten (Ja/Nein), initialer Herzrhythmus, Dauer der Reanimation in Minuten, jemals ROSC (Ja/Nein), reanimationsbedingte Verletzungen (Ja/Nein), Art der reanimationsbedingte Verletzung, Laborparameter der ersten Blutabnahme (pH-Wert, Hb, Kalium, Laktat), erster verfügbarer NSE-Wert, Todeseintritt vor Entlassung aus dem Krankenhaus (Ja/Nein) und ggf. CPC-Wert zum Zeitpunkt der Entlassung aus dem Krankenhaus.

2.4 Datenquellen

Die für die Studie erhobenen Daten stammen aus den Patient*innenakten des krankenhausinternen Informationssystems Orbis®. Die jeweilige CPR-Methode sowie die Dauer der CPR wurden aus dem Notarzt- oder Schockraumprotokoll entnommen. Datum der Reanimation, Dauer bis zum Eintreffen des Notarztfahrzeugs bzw. des Rettungshubschraubers, durchgeführte Laienreanimation, Verzögerung der Reanimationsmaßnahmen über fünf Minuten, initialer Herzrhythmus sowie Eintritt eines ROSC im präklinischen Bereich wurden aus dem Notarztprotokoll entnommen. Reanimationsbedingte Verletzungen wurden aus CT-Befunden, Arztbriefen oder, im Fall

eines Todes, aus dem Obduktionsbericht entnommen. Die Laborparameter (pH, Hb, Kalium, Laktat, NSE-Wert) wurden aus den Laborbefunden übernommen. Das Überleben des Herz-Kreislaufstillstands bis zur Entlassung aus der stationären Behandlung wurde aus dem Entlassbrief entnommen. Im Fall des Überlebens wurde der neurologische Zustand der*des Patient*in zum Zeitpunkt der Entlassung aus der stationären Behandlung anhand der CPC-Skala aus dem Entlassbrief entnommen oder, falls nicht angegeben, anhand des Pflegedekurses abgeleitet.

2.5 Statistische Methoden

Die Daten wurden mittels Microsoft Excel® Version 16.105.2 (Microsoft Corporation, One Microsoft Way, Redmond, WA 98052-6399, USA) gesammelt. Hierbei wurden die Patient*innen durch eine Nummer codiert, sodass ein direkter Personenbezug nicht ersichtlich ist. Die statistische Auswertung fand mittels IBM SPSS Statistics Version 30.0.0.0 (International Business Machines Corporation, 1 New Orchard Road, Armonk, New York 10504-1722, United States) statt. Das Propensity Score Matching wurde in R Studio (Version 4.5.2; R Core Team, 2008; <https://www.R-project.org/>) unter Verwendung des Pakets „MatchIt“ durchgeführt.

Zunächst erfolgte eine deskriptive Auswertung der Daten. Qualitative Variablen wurden als absolute und relative Häufigkeiten (n, %) dargestellt und mittels Chi-Quadrat-Test verglichen. Quantitative Variablen wurden abhängig von Skalenniveau und Verteilung entweder als Mittelwert $\pm$ Standardabweichung (bei Normalverteilung) oder als Median mit Quartilen (bei Nicht-Normalverteilung) angegeben. Zur Überprüfung der Normalverteilung wurde der Shapiro-Wilk-Test verwendet.

Die Quantitative Variablen wurden – je nach Verteilungsannahme – mit parametrischen Tests (t-Test) oder nichtparametrischen Verfahren (Mann-Whitney-U-Test) zwischen den beiden Gruppen verglichen. Für alle Analysen wurde ein Signifikanzniveau von 5% festgelegt.

Der Propensity Score wurde mittels binär logistischer Regression unter Einschluss der Co-Variablen Geschlecht, Alter, initialer Rhythmus und Delay berechnet und die Daten anschließend in R Studio übertragen.

Hier wurden die Daten zunächst getrimmt. Insgesamt wurden 65 von 442 Patient*innen ausgeschlossen (zwei aufgrund fehlendem Common support, 63 aufgrund fehlendem Propensity Score). Im Anschluss erfolgte die Überprüfung der standardisierten Mittelwertdifferenzen. Vor dem Matching betrug die standardisierte Mittelwertdifferenz des Propensity Scores 0,2994. Es erfolgte ein 1:1 Nearest-Neighbor-Matching mit Caliper 0,2. Dadurch sank die standardisierte Mittelwertdifferenz auf 0,0165 zwischen den beiden Gruppen. Insgesamt befanden sich 377 Patient*innen im Common-Support-Bereich (111 maschinell reanimierte, 266 manuell reanimierte), wovon je 110 Patient*innen pro Behandlungsgruppe in die gematchte Analyse eingingen. Die restlichen 157 Patient*innen (156 manuell reanimierte, 1 maschinell reanimierter) verblieben ohne Match und wurden nicht in die anschließenden Analysen einbezogen.

Nachfolgend wurde das Odds-Ratio mittels binär logistischer Regression für das Eintreten des primären und sekundären Endpunktes sowie das Auftreten von reanimationsbedingten Verletzungen in SPSS berechnet.

2.6 KI-basierte Sprachoptimierung

Zur sprachlichen Optimierung des Textes wurde folgendes Tool verwendet: Perplexity Pro (powered by Grok 4.1), Anbieter Perplexity AI, <https://www.perplexity.ai>. Die Generierung der Inhalte erfolgte dabei im Zeitraum von Januar 2025 bis April 2026.

3. Ergebnisse

3.1 Studienpopulation und deskriptive Statistik

Im Zeitraum vom 1. September 2014 bis 1. September 2024 wurden insgesamt 1729 Fallnummern mit dem ICD-10-Code I46 im krankenhausinternen Dokumentationssystem ORBIS® identifiziert. Davon entfielen 1296 Fallnummern auf einen außerklinischen Herzstillstand. 976 Fallnummern erfüllten hierbei die Einschlusskriterien. Aufgrund fehlender Daten (drei oder mehr fehlende Informationen) wurden 534 Fallnummern ausgeschlossen. In die Datenauswertung eingeschlossen wurden schließlich 442 Fallnummern. Diese teilten sich in 309 Patient*innen, welche manuell reanimiert wurden, und 133 Patient*innen, welche maschinell reanimiert wurden, auf (**Error! Reference source not found.**).

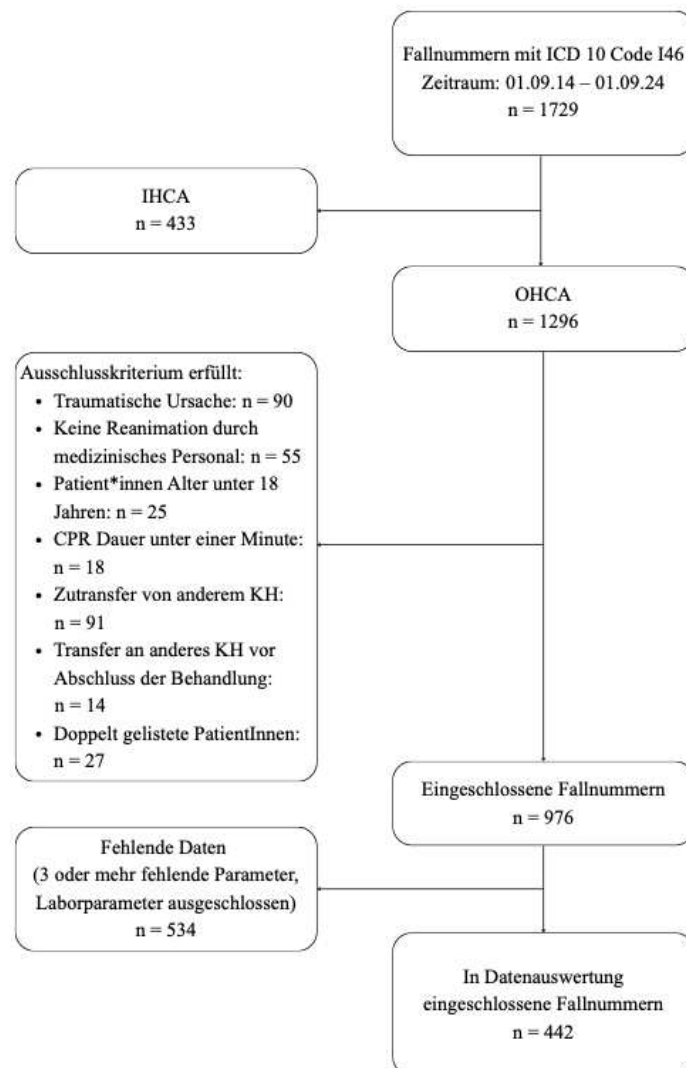


Abbildung 7: Studienpopulation

Die Charakteristika der Studienteilnehmer*innen der Rohdaten, aufgeteilt nach erhaltener Behandlung, sind der Tabelle 2 zu entnehmen. Es zeigten sich signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den beiden Behandlungsgruppen bezüglich des Alters zum Zeitpunkt der Reanimation, der CPR-Dauer, der ROSC-Rate, des pH-Wertes, des Kalium-Wertes sowie des Laktat-Wertes (Tabelle 2).

Nach Propensity-Score Matching stellten sich die Charakteristika der Studienteilnehmer*innen entsprechend der Tabelle 3 dar. In dieser Subgruppe zeigte sich ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den beiden Behandlungsgruppen bezüglich der CPR-Dauer, der ROSC-Rate, des pH-Wertes, des Kalium-Wertes sowie des Laktat-Wertes (Tabelle 3).

	Manuelle CPR (n=309)		Maschinelle CPR (n= 133)		p-Wert
		Keine Angaben		Keine Angaben	
Geschlecht					0,097
männlich	193 (62,5%)	0 (0%)	94 (70,7%)	0 (0%)	
weiblich	116 (37,5%)	0 (0%)	39 (29,3%)	0 (0%)	
Laienreanimation durchgeführt	232 (75,1%)	23 (7,4%)	82 (61,6%)	23 (17,3%)	0,148
Delay <5 Minuten	222 (71,9%)	23 (7,4%)	84 (63,1%)	17 (12,8%)	0,267
Schockbarer Initialrhythmus	133 (43,0%)	24 (7,8%)	57 (42,9%)	5 (3,8%)	0,687
Reanimationsbedingte Verletzungen	103 (33,4%)	1 (0,3%)	83 (62,4%)	0 (0%)	<0,001
Alter zum Zeitpunkt der Reanimation in Jahren*	68 (58-76)	0 (0%)	63 (53-75)	0 (0%)	0,036
Eintreffzeit des NA in Minuten*	9 (5-12,5)	140 (45,3%)	8 (5-10,75)	41 (30,8%)	0,115
CPR-Dauer in Minuten*	20 (13,5-30)	61 (19,7%)	60 (45-78,5)	17 (12,8%)	<0,001
Jemals ROSC	308 (99,7%)	0 (0%)	71 (53,4%)	0 (0%)	<0,001
Laborwerte					
pH-Wert*	7,12 (7,02-7,22)	8 (2,6%)	6,93 (6,81-7,07)	25 (18,8%)	<0,001
Hämoglobin in g/dL*	12,8 (10,8 - 14,5)	8 (2,6%)	13,3 (11,1-14,5)	26 (19,5%)	0,356
Kalium in mmol/L*	4 (3,5-4,5)	8 (2,6%)	4,35 (3,8-5,1)	25 (18,8%)	<0,001
Laktat in mmol/L*	7 (4,4-9,95)	8 (2,6%)	11,5 (7,6-16)	26 (19,5%)	<0,001
NSE in µg/L*	38,25 (22,85-91,82)	81 (26,2%)	58,25 (30,62-86,4)	103 (77,4%)	0,218

Tabelle 2: Charakteristika der Studienteilnehmer*innen (Rohdaten)

*nicht normalverteilter Parameter: Angabe des Medians (IQR)

	Manuelle CPR (n=110)		Maschinelle CPR (n=110)		p-Wert
		Keine Angaben		Keine Angaben	
Geschlecht					0,880
männlich	80 (72,7%)	0 (0%)	79 (71,8%)	0 (0%)	
weiblich	30 (27,3%)	0 (0%)	31 (28,2%)	0 (0%)	
Laienreanimation durchgeführt	87 (79,1%)	4 (3,6%)	77 (70,0%)	13 (11,8%)	0,626
Delay <5 Minuten	85 (77,3%)	0 (0%)	81 (73,6%)	0 (0%)	0,531
Schockbarer Initialrhythmus	44 (40,0%)	0 (0%)	50 (45,5%)	0 (0%)	0,669
Reanimationsbedingte Verletzungen	34 (30,9%)	0 (0%)	67 (60,9%)	0 (0%)	<0,001
Alter zum Zeitpunkt der Reanimation in Jahren*	67,5 (54-75,25)	0 (0%)	63,5 (53,75-75)	0 (0%)	0,648
Eintreffzeit des NA in Minuten*	10 (7-14)	47 (42,7%)	8 (6-11,5)	33 (30,0%)	0,083
CPR-Dauer in Minuten*	20 (15-30)	19 (17,3%)	60 (45-79)	15 (13,6%)	<0,001
Jemals ROSC	110 (100,0%)	0 (0%)	62 (56,4%)	0 (0%)	<0,001
Laborwerte					
pH-Wert	7,12 (0,14)	28 (25,5%)	7,07 (0,16)	84 (76,4%)	<0,001
Hämoglobin in g/dL*	13,15 (11,95 - 14,93)	28 (25,5%)	13,25 (11,63-14,78)	84 (76,4%)	0,733
Kalium in mmol/L*	4 (3,6-4,6)	28 (25,5%)	3,95 (3,65-4,95)	84 (76,4%)	0,011
Laktat in mmol/L*	6,95 (4,6-9,6)	28 (25,5%)	6,75 (5,43-9,48)	84 (76,4%)	<0,001
NSE in µg/L*	37,3 (21,05-81,78)	28 (25,5%)	53,35 (28,85-100,95)	84 (76,4%)	0,239

Tabelle 3: Charakteristika der Studienteilnehmer*innen (PSM)

*nicht normalverteilter Parameter: Angabe des Medians (IQR)

3.2 Primärer Endpunkt: Krankenhausmortalität

Unter Verwendung der Rohdaten überlebten 111 (35,9%) Patient*innen in der manuell reanimierten Gruppe einen außerklinischen Herzstillstand und neun (6,8%) Patient*innen in der maschinell reanimierten Gruppe. Im Propensity-Score gematchten Kollektiv überlebten 39 (35,5%) Patient*innen in der manuell reanimierten bzw. acht (7,3%) Patient*innen in der maschinell reanimierten Gruppe. Es zeigte sich sowohl unter Verwendung der Rohdaten ($\chi^2 = 39.61$; $p < 0.0001$) als auch im Propensity-Score gematchten Kollektiv ($\chi^2 = 26.00$; $p < 0.0001$), ein hochsignifikanter Zusammenhang zwischen Art der Reanimation und Überleben bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus.

Die binär logistische Regression ergab für die Rohdaten eine signifikant höhere Assoziation zwischen dem Eintritt des Todes und der Behandlung mittels maschineller Reanimation im Vergleich zur manuell reanimierten Kohorte [OR = 7,72 (95%-KI: 3,78–15,80); $p < 0,001$]. Auch das Propensity-Score gematchte Kollektiv zeigte eine signifikant höhere Assoziation [OR 7,00; 95%-KI 3,09–15,88; $p < 0,001$] (Tabelle 4).

	Rohdaten (n=442)	PSM (n=220)
OR	7,72	7,00
95%-KI	3,78–15,80	3,09–15,88
p-Wert	<0,001	<0,001
Nagelkerke R ²	0,148	0,184

Tabelle 4: Odds-Ratio Krankenhausmortalität

3.3 Sekundärer Endpunkt: Neurologisches Outcome

In der Subgruppe der überlebenden Patient*innen, welche manuell reanimierten wurden (n=111, 35,9%), wiesen 90 (81,1%) Patient*innen ein gutes neurologisches Outcome (CPC 1-2) auf. 16 (14,4%) Patient*innen wiesen nach Abschluss der Behandlung schwere Behinderungen auf (CPC 3) und 5 (4,5%) Patient*innen wurden als bewusstlos (CPC 4) eingestuft. Von den überlebenden maschinell reanimierten Patient*innen (n=9, 6,8%), wiesen 7 (77,8%) der Patient*innen ein gutes neurologisches Outcome (CPC 1-2) auf. 1 (11,1%) Patient*in wies nach Abschluss der Behandlung schwere Behinderungen auf (CPC 3) und 1 (11,1%) Patient*in wurde als bewusstlos (CPC 4) eingestuft.

Die Rohdaten zeigte sowohl für die Gruppe der manuell als auch für die Gruppe der maschinell reanimierten Patient*innen den gleichen Median von 1 für die CPC (IQR 1-2 bzw. 1-2,5). Durch den Mann-Whitney-U-Test wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Behandlungskohorten festgestellt ($p=0,338 > 0,05$). Das berechnete Odds-Ratio zwischen den beiden Behandlungsgruppen für ein gutes neurologisches Outcome (CPC1-2) betrug unter Verwendung der Rohdaten [OR 0,817; 95%-KI 0,158–4,217; $p = 0,809$]. Die Aufteilung der CPC-Werte nach Behandlungsgruppe sowie deren zugehörige p-Werte des Chi-Quadrat Tests bzw. Fishers exakter Test sind der Tabelle 5 zu entnehmen.

	Gesamt (n=120)	Manuelle CPR (n=111)	Maschinelle CPR (n=9)	p-Wert
Gutes neurologisches Outcome (CPC 1-2)	97 (80,8%)	90 (81,1%)	7 (77,8%)	0,809*
Aufteilung nach CPC				
1	85 (70,8%)	80 (72,1%)	5 (55,6%)	0,445**
2	12 (10,0%)	10 (9,0%)	2 (22,2%)	0,222**
3	17 (14,2%)	16 (14,4%)	1 (11,1%)	1,000**
4	6 (5,0%)	5 (4,5%)	1 (11,1%)	0,380**

Tabelle 5: Neurologisches Outcome

*Chi-Quadrat-Test

**Fischers exakter Test

3.4 Reanimationsbedingte Verletzungen

Angaben zu der Häufigkeit und der Art der Verletzung war in den Daten für 442 (99,8%) Patient*innen verfügbar. Unter Verwendung der Rohdaten kam es im Gesamtkollektiv bei 101 (22,9%) Patient*innen zu reanimationsbedingten Verletzungen, davon entfielen 34 (30,9%) Patient*innen auf die Gruppe der manuellen Reanimation und 67 (60,9%) Patient*innen auf die Gruppe der maschinellen Reanimation. Der Chi-Quadratwert zwischen Art der Reanimation und dem Auftreten reanimationsbedingter Verletzungen wurde mit $\chi^2 = 31.95$; $p < 0.001$ berechnet.

Bei 140 (31,7%) Patient*innen trat eine Rippenserienfraktur auf. Der Chi-Quadrat-Wert zwischen den beiden Behandlungsgruppen wurde mit $\chi^2 = 38.61$; $p < 0.001$ berechnet. Die Fraktur des Sternums trat bei 129 (29,2%) Patient*innen auf. Hier wurde das Auftreten zwischen den beiden Behandlungsgruppen mit $\chi^2 = 50.60$; $p < 0.001$ berechnet. Weitere dokumentierte Verletzungen umfassten wie folgt: die Fraktur einer Rippe (25, 5,7%), den Pneumothorax (8, 1,8%), den Hämatothorax (3, 0,7%), die Verletzung des Pankreas (2, 0,5%), die Verletzung der Milz (1, 0,2%), die Herzbeuteltamponade (1, 0,2%), den Perikarderguss (1, 0,2%) sowie die Ruptur des linken Ventrikels (1, 0,2%). Die Aufteilungen der Verletzungen nach Behandlungsgruppe sowie deren zugehörige p-Werte des Chi-Quadrat-Tests bzw. Fishers exakter Test sind der Tabelle 6 zu entnehmen. Das berechnete Odds-Ratio für das Auftreten reanimationsbedingter Verletzungen in der Gruppe der maschinellen Reanimation im Vergleich zur manuellen Reanimation betrug [OR 3,304; 95%-KI 2,164–5,045; $p < 0,001$].

	Gesamtkollektiv (n=442)	Manuelle CPR (n=309)	Maschinelle CPR (n=133)	p-Wert
Reanimationsbedingte Verletzungen	101 (22,9%)	34 (30,9%)	67 (60,9%)	<0,001*
Art der Verletzung				
Rippenserienfraktur	140 (31,7%)	70 (22,7%)	70 (52,6%)	<0,001*
Fraktur des Sternums	129 (29,2%)	59 (19,1%)	70 (52,6%)	<0,001*
Fraktur einer Rippe	25 (5,7%)	16 (5,2%)	9 (6,8%)	0,507*
Pneumothorax	8 (1,8%)	7 (2,3%)	1 (0,8%)	0,445**
Hämatothorax	3 (0,7%)	3 (1,0%)	0 (0%)	0,557**
Herzbeuteltamponade	1 (0,2%)	0 (0%)	1 (0,8%)	0,301**
Verletzung des Pankreas	2 (0,5%)	2 (0,6%)	0 (0%)	1,000**
Verletzung der Milz	1 (0,2%)	1 (0,3%)	0 (0%)	1,000**
Perikarderguss	1 (0,2%)	0 (0%)	1 (0,8%)	0,301**
Ruptur des linken Ventrikels	1 (0,2%)	0 (0%)	1 (0,8%)	0,301**

Tabelle 6: Auftreten reanimationsbedingter Verletzungen

3.5 Gender-spezifische Analyse des Outcomes Krankenhausmortalität

Es wurden Subgruppen-Analysen durchgeführt, in welcher die Krankenhausmortalität stratifiziert nach Art der Reanimation unter den beiden biologischen Geschlechtern miteinander verglichen wurden. In der Subgruppe der manuellen Reanimation verstarben 72,4% (n=116) der weiblichen Patientinnen versus 59,1% (n=193) der männlichen Patienten. Der Chi-Quadrat-Wert betrug $\chi^2 = 5.607$; $p < 0.018$ zwischen den beiden biologischen Geschlechtern. In der Subgruppe der maschinellen Reanimation verstarben 89,7% (n=39) der weiblichen Patientinnen versus 94,7% (n=94) der männlichen Patienten. Hier betrug der p-Wert nach Fishers exaktem Test $p=0,448$. (siehe Tabelle 7 **Error! Reference source not found.**).

Die binär logistische Regression ergab für die Subgruppe der manuellen Reanimation ein Odds-Ratio von 1,819 (95%-KI: 1,105–2,993; $p=0,019$) für den Vergleich der Krankenhausmortalität zwischen den verschiedenen biologischen Geschlechtern. In der Subgruppe der maschinellen Reanimation wurde das Odds-Ratio mit 0,492 (95%-KI: 0,125–1,938; $p=0,310$) berechnet.

	Frauen manuell n=116; maschinell n=39	Männer manuell n=193; maschinell n=94	p-Wert
Krankenhausmortalität			
Manuelle Reanimation	84 (72,4%)	114 (59,1%)	0,018 *
Maschinelle Reanimation	35 (89,7%)	89 (94,7%)	0,448**

Tabelle 7: Krankenhausmortalität nach Geschlecht und Art der Reanimation

*Chi-Quadrat-Test

**Fischers exakter Test

4. Diskussion

4.1 Krankenhausmortalität

Die vorliegende Studie zeigt entgegen der initialen Hypothese eine klare Überlegenheit der manuellen Reanimation hinsichtlich der Krankenhausmortalität im Vergleich zur mechanischen Reanimation. Patient*innen, die manuell reanimiert wurden, überlebten den OHCA bis zur Krankenhausentlassung signifikant häufiger als jene mit mechanischer Reanimation. Das Odds Ratio für das Sterben an einem OHCA lag in der Gruppe der mechanisch reanimierten Patient*innen nahezu achtmal höher als in der Gruppe der manuell reanimierten Patient*innen. Auch nach Anwendung des Propensity-Score Matching bestätigte sich ein etwa siebenfach höheres Odds Ratio für die mechanische Reanimation.

Die publizierte Literatur zu diesem Thema zeigt heterogene Ergebnisse bezüglich der Outcomes nach OHCA und des Vergleichs zwischen manueller und mechanischer Reanimation. Zwei Meta-Analysen aus dem Jahr 2024 von Larik et al. (122) und Zhu und Fu et al. (123) (mit jeweils 111.681 bzw. 162.088 Patient*innen) fanden keinen signifikanten Unterschied in der Krankenhausmortalität zwischen beiden Reanimationsmethoden. Darin eingeschlossen waren sechs Studien (124–129), die ein erhöhtes Odds Ratio für die mechanische Reanimation berichteten; fünf Studien (130–134) zeigten ein reduziertes Odds Ratio und 20 Studien (135–154) ein neutrales Odds Ratio.

Die hohe Mortalität in der Gruppe der mechanisch reanimierten Patient*innen lässt sich vermutlich durch die Beachtung der ERC-Richtlinien (wie in Kapitel 1.2.3 beschrieben) erklären, wonach mechanische Reanimation lediglich als ultima ratio eingesetzt wird. Wahrscheinlich waren die Patient*innen dieser Gruppe deutlich schwerer erkrankt, erhielten möglicherweise eine präklinische Lysetherapie, erzielten präklinisch keinen Return of Spontaneous Circulation (ROSC) und mussten daher unter fortlaufender Reanimation ins Klinikum transportiert werden – allesamt ungünstige Prognosefaktoren für das Überleben nach OHCA. Zusätzlich könnte die durch die Anbringung des Geräts bedingte Verlängerung der No-Flow-Zeit zur hohen Mortalität beigetragen haben. Die ERC-Richtlinien betonen, dass die Dauer der No-Flow-Zeit maßgeblich das Outcome reanimierten Patient*innen beeinflusst (5).

4.2 Neurologisches Outcome

Das neurologische Outcome wies, aufgrund der geringen Anzahl an Überlebenden in der maschinell reanimierten Kohorte, keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den beiden Behandlungsgruppen auf. Wurde der OHCA überlebt, so wies der Großteil der Patient*innen ein gutes neurologisches Outcome auf. Nur ein kleiner Teil der Überlebenden in beiden Behandlungsgruppen wies ein schlechtes neurologisches Outcome zum Zeitpunkt der Entlassung aus dem Krankenhaus auf.

Die Meta-Analyse von Larik et al. (2024) umfasste ebenfalls den Vergleich des neurologischen Outcomes zwischen manuell und maschinell reanimierten Patient*innen. Hier konnte eine signifikante Überlegenheit für ein gutes neurologisches Outcome in der Gruppe der manuell reanimierten Patient*innen gezeigt werden [OR = 1.41 (95%-KI: 1.07–1.84); $p=0,01$]. Es findet sich insgesamt eine Studie (155), welche ein höheres Odds-Ratio für ein gutes neurologisches Outcome (CPC 1-2) bei mechanischer Reanimation berechnet hat. Fünf Studien (126,127,141,151,156), welche ein schlechteres neurologisches Outcome bei maschineller Reanimation berichten, sowie sechs Studien (130,136,142,143,148,157), welche einen neutralen Effekt auf ein gutes neurologisches Outcome zwischen den beiden Behandlungsgruppen berichten.

4.3 Reanimationsbedingte Verletzungen

Ein statistisch signifikanter Unterschied konnte bei der Rate der reanimationsbedingten Verletzungen zwischen den beiden Behandlungsgruppen aufgezeigt werden. Patient*innen, welche maschinell reanimiert wurden, wiesen signifikant häufiger reanimationsbedingte Verletzungen auf als jene, die manuell reanimiert wurden. Die häufigsten Verletzungen stellten über beide Behandlungsgruppen hinweg jeweils die Rippenserienfraktur sowie die Fraktur des Sternums dar. In der Subgruppenanalyse unter Patient*innen, welche reanimationsbedingte Verletzungen erlitten, wies die Gruppe der maschinell reanimierten Patient*innen eine statistisch signifikante Häufung dieser beiden Verletzungen im Vergleich zur Gruppe der manuell reanimierten Patient*innen auf. Schwere Verletzungen, wie ein Hämatothorax, eine Verletzung des Pankreas oder der Milz, ein Perikarderguss, eine Herzbeuteltamponade oder auch eine Ruptur des linken Ventrikels wurden nur sehr selten berichtet. Bezüglich dieser Verletzungen gab es keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Behandlungsgruppen.

Bezüglich der Rate an Verletzungen in den beiden Behandlungsgruppen, zeigt die aktuelle Studienlage einen Trend zu einer höheren Verletzungsrate in der Gruppe der maschinell reanimierten Patient*innen. Gao et al. (2021) berechnet in seiner 2,818 Patient*innen umfassenden Meta-Analyse ein Odds-Ratio von 1.29 (95% CI, 1.19–1.41; I², 21.83%) bezüglich des generellen Auftretens von Verletzungen in der Gruppe der maschinellen Reanimation (158). Diese Behandlungsgruppe weist außerdem höhere Odds-Ratios für das Auftreten von Sternum Frakturen [OR = 1.63 (95%-KI: 1.25–2.15); I², 67.63%], Rippenserienfrakturen [OR, 1.45; 95% CI, 1.13–1.87; I², 62.36%], Rippenfrakturen [OR, 1.23; 95% CI, 1.12–1.35; I², 22.35%], Verletzungen des Herzens [OR, 2.17; 95% CI, 1.07–4.39; I², 57.31%] und eines Pneumothorax [OR, 2.05; 95% CI, 1.19–3.54; I², 21.1%] auf. Keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Behandlungsgruppen konnten bei dem Auftreten von Verletzungen im viszeralen Bereich festgestellt werden. Eine weitere Meta-Analyse von Van Wijck et al. (2024), welche 1,208 Patient*innen umfasst, kommt zu ähnlichen Ergebnissen. Das Risk-Ratio für das generelle Auftreten von Verletzungen ist in der Gruppe der maschinell reanimierten Patient*innen höher als in der Gruppe der manuell reanimierten Patient*innen [RR, 1.31; 95% CI, 1.13–1.55] (159). Die Gruppe der maschinell reanimierten Patient*innen weist außerdem ein höheres Risk-Ratio für das Auftreten von Frakturen des Sternums [RR, 1.81; 95% CI, 1.3–2.53], Rippenserienfrakturen [RR, 1.46; 95% CI, 1.12–1.88], Frakturen einzelner Rippen [RR, 1.3; 95% CI, 1.12–1.51] und dem Auftreten eines Hämatothorax [RR, 4.2; 95% CI, 2.04–8,68] auf (159). Keine Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen konnten für das Auftreten eines Pneumothorax, einer Verletzung des Herzens, der Milz oder des Pankreas festgestellt werden (159).

Obwohl die ERC-Richtlinien präzise Parameter für die Thoraxkompression vorgeben (siehe Kapitel 1.1.1), wird bei manueller Reanimation eine stringente Einhaltung dieser Vorgaben in der Praxis selten erreicht. Mechanische Geräte hingegen setzen die definierten Parameter exakt um – unabhängig vom individuellen Thoraxwiderstand – und erreichen bei jeder Kompression die voreingestellte Drucktiefe. Dies erklärt vermutlich die beschriebene höhere Rate an reanimationsbedingten Verletzungen bei mechanischer CPR.

Ein weiterer Ansatz zur Erklärung der höheren Verletzungsrate stellt die anatomische Variabilität der Patient*innen dar. Sie wird bei mechanischer Reanimation nicht berücksichtigt, da eine einheitliche Drucktiefe für alle Körpergrößen verwendet wird. Bei

kleineren Patient*innen führt dies prozentual zu einer stärkeren Thoraxkompression als bei größeren Patient*innen. Im Gegensatz dazu ermöglicht die manuelle Reanimation eine intuitive Anpassung der Drucktiefe an die individuellen Körperproportionen, was die Verletzungsrate senkt.

4.4 Genderspezifische Subgruppenanalyse

In einer Subgruppenanalyse aus den Rohdaten stratifiziert nach Art der Reanimation, zeigte sich ein mit circa 82% deutlich höheres Risiko der Krankenhausmortalität für Frauen im Vergleich zu Männern. Demnach überleben deutlich weniger Frauen als Männer einen Herzkreislaufstillstand mit folgender manueller Reanimation. Ein derartiger Unterschied zwischen den beiden biologischen Geschlechtern konnte in der Subgruppenanalyse der maschinellen Reanimation nicht nachgewiesen werden.

In der Literatur lassen sich zahlreiche Studien finden, welche das Outcome nach OHCA zwischen den verschiedenen biologischen Geschlechtern vergleichen. Ein circa 1,3 Millionen Patient*innen umfassende Meta-Analyse von Lei et al. (2020) zeigt ein signifikant niedrigere Rate an Überlebenden bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus unter Frauen [OR = 0.73, 95%-KI: 0.62-0.86] (160). Studien, welche manuelle und maschinelle Reanimation miteinander vergleichen und geschlechtsspezifische Subgruppenanalysen zur Berechnung des Outcomes nach OHCA durchführen, lassen sich zum Zeitpunkt der Verfassung dieser Studie nicht finden. Dies stellt eine klare Lücke in der Reanimationsforschung dar.

Die höhere Mortalität bei Frauen könnte auf subtilere Symptome der zugrunde liegenden Erkrankungen zurückzuführen sein. Dadurch werden Grunderkrankungen bei Frauen seltener frühzeitig erkannt und therapiert, was zu schwereren Verläufen führt und im Falle eines Herz-Kreislauf-Stillstands die Sterblichkeit weiter erhöht.

Zudem sind Herzkreislaufstillstände bei Männern deutlich häufiger, wodurch die vorhandene Datenlage maßgeblich von männlichen Patienten geprägt ist. Es ist denkbar, dass Frauen spezifische Anpassungen in der Reanimationsbehandlung benötigen, die von denen bei Männern abweichen. Hier besteht eine ausgeprägte Forschungslücke, die zukünftige geschlechtsspezifische Studien adressieren sollten.

4.5 Limitationen und Stärken

Die Studie hat zahlreiche Einschränkungen, welche größtenteils aus dem Design und der Art der Studie hervorgehen. Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine retrospektive Single Center Studie. Sie umfasst demnach ausschließlich Patient*innen, welche in das Klinikum Klagenfurt am Wörthersee zur Behandlung transferiert wurden. Mit seinen 1.128 Betten (161) stellt das Klinikum Klagenfurt etwa 25,9% aller im Bundesland Kärnten verfügbaren stationären Betten (n=4,361, Stand 2023(162)). Außerdem wurden bei kapazitären Engpässen anderer Kliniken, Patient*innen aus angrenzenden Bundesländern primär ins Klinikum Klagenfurt transferiert. Diese Patient*innen wurden in die Auswertung einbezogen. Die Studie lässt somit keinen Rückschluss auf die gesamte Bevölkerung des Bundeslandes Kärnten zu.

Ebenfalls nicht in der Studie erfasst sind Patient*innen, welche am Ort der Einsatzstelle bereits für Tod erklärt wurden oder solche, bei denen die Reanimationsmaßnahmen vor Einlieferung in ein Krankenhaus abgebrochen wurden sind. Somit muss von einer weitaus höheren Rate an verstorbenen Patient*innen ausgegangen werden. Dadurch dürfte auch die hohe Rate an ROSC in der Gruppe der manuellen Reanimation erklärbar sein. Patient*innen, welche hierbei niemals einen ROSC hatten, wurden durch das Rettungsdienstpersonal bereits am Einsatzort für tot erklärt und folglich niemals in das Klinikum Klagenfurt am Wörthersee zur weiteren Behandlung transferiert.

Die Interpretation der Studienergebnisse ist darüber hinaus durch mehrere strukturelle Rahmenbedingungen des Rettungsdienstes eingeschränkt. Das Versorgungssystem beruht in hohem Ausmaß auf freiwilligen Helfer*innen und Zivildienstler*innen, die vor ihrer Tätigkeit im Regelbetrieb häufig nur über geringe bis keine berufliche Erfahrung verfügen und lediglich eine kurze Ausbildung absolvieren (163). Dadurch kann die Qualität der Reanimationsmaßnahmen zwischen den Einsätzen und Teams variieren. Die ERC-Guidelines betonen jedoch, dass Reanimationen möglichst im selben Team regelmäßig geübt werden sollen und dass Teamkompetenz, strukturierte Kommunikation und wiederholtes Training eine wesentliche Voraussetzungen für eine hochwertige Reanimation darstellen (164).

Zusätzlich kann es im präklinischen Einsatz vorkommen, dass zunächst lediglich ein Rettungswagen alarmiert wird und ein*e Notärzt*in erst im Verlauf nachgefordert werden muss. Dieser Ablauf ist in den vorhandenen NEF-Protokollen nicht nachvollziehbar, wodurch sich relevante Zeitverzögerungen bis zur erweiterten ärztlichen Versorgung nicht präzise erfassen lassen. Gerade in der Reanimation können solche Verzögerungen jedoch die Prognose und insbesondere das neurologische Outcome beeinflussen.

Des Weiteren hängt die Qualität der Daten aus dem präklinischen Bereich maßgeblich von der Dokumentationsqualität der verschiedenen Notärzt*innen ab. Wenig oder ungenau dokumentierte Einsatzprotokolle führen zu einer schlechteren Datenqualität, was die Analyse von Reanimationsparametern und dem Outcome erschwert. Dies kann zu Information Bias führen und die Vergleichbarkeit zwischen manueller und maschineller Reanimation beeinträchtigen. Die Variabilität durch unterschiedliche Notärzt*innen erhöht das Risiko systematischer Fehler in den Daten.

Eine weitere Limitation der Studie ist, dass verschiedene Ätiologien des OHCA – mit Ausnahme von Trauma, das explizit ausgeschlossen wurde – nicht erfasst und in der Analyse berücksichtigt wurden. Je nach Ursache bestehen unterschiedliche Prognosen für das neurologische Outcome, was die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen manueller und maschineller Reanimation beeinträchtigt. Dies führt zu einem potenziellen Confounder-Bias, da heterogene Patient*innengruppen ohne Subgruppenanalyse zu verzerrten Schlüssen führen können. Eine stratifizierte Auswertung nach der Ätiologie wäre notwendig, um valide Differenzen im Outcome zu identifizieren.

Eine weitere Limitation der Studie ist, dass maschinelle CPR tendenziell erst später zum Einsatz kommt. Bis zur Positionierung des Geräts wird immer zunächst manuell reanimiert. Der genaue Zeitpunkt der Umstellung auf maschinelle CPR wurde nicht dokumentiert. Eine potenziell schlechte Qualität der initialen manuellen CPR könnte das Überleben bzw. neurologische Outcome beeinflussen. Zudem besteht ein Immortal-Time-Bias, da Patient*innen bis zur Intervention/Anbringung des Geräts nicht sterben können (165). Dies verzerrt den Vergleich zwischen manueller und maschineller Reanimation ungünstig für letztere. Aufgrund der fehlenden Datenlage bezüglich des genauen Interventionszeitpunktes

der maschinellen CPR, konnte keine Adjustierung für den Immortal Time Bias vorgenommen werden.

Zusätzlich kommt laut den aktuellen Guidelines der ERC maschinelle CPR tendenziell bei Patient*innen mit schlechterer Prognose zum Einsatz, i. e. bei prolongierter Reanimation (Vergleich Abschnitt 1.2.3). Die Behandlungs- und Kontrollgruppe sind somit nicht vergleichbar, da sie unterschiedliche Eingangsvoraussetzungen haben, was zu verzerrten Outcomes führt.

Schließlich erfolgte die neurologische Einschätzung der Patient*innen ausschließlich anhand von Dekursen und Ärzt*innenbriefen, was aufgrund mangelhafter Dokumentation zu Fehleinschätzungen führen und somit das Ergebnis des neurologischen Outcomes verzerren kann. Eine standardisierte prospektive Bewertung (z. B. nach CPC-Skala) wäre vorzuziehen, um den Bias zu minimieren.

Trotz der genannten Limitationen weist die vorliegende Studie auch relevante Stärken auf. Besonders hervorzuheben ist die durchgehende Nachverfolgung aller eingeschlossenen Patient*innen über den gesamten Behandlungsverlauf hinweg, von der präklinischen Versorgung bis zur klinischen Behandlung einschließlich des Outcomes. Diese lückenlose Verlaufsbeobachtung ermöglicht eine konsistente und valide Zuordnung der Endpunkte und reduziert potenzielle Verzerrungen durch unvollständige Follow-up-Daten, wodurch die Aussagekraft der Ergebnisse hinsichtlich der untersuchten Outcomes gestärkt wird.

Darüber hinaus erfolgte die Erfassung reanimationsbedingter Verletzungen nahezu vollständig. Dies ist auf die etablierten lokalen Protokolle zurückzuführen, die bei Zustand nach Reanimation regelhaft eine computertomographische Diagnostik beziehungsweise im Todesfall eine Obduktion vorsehen. Dadurch konnte eine hohe Datenqualität in Bezug auf das Auftreten und die Dokumentation von Verletzungen sichergestellt werden.

5. Konklusion

Die vorliegende Studie zeigt eine geringere Krankenhausmortalität bei Patient*innen, die manuell reanimiert wurden, im Vergleich zur mechanischen Reanimation. Geschlechtsspezifisch zeigte sich, dass Frauen insgesamt eine niedrigere Überlebensrate nach manueller Reanimation aufweisen als Männer. Darüber hinaus traten reanimationsbedingte Verletzungen bei manuell reanimierten Patient*innen seltener auf. Aufgrund der geringen Zahl an Überlebenden konnte jedoch keine belastbare Aussage zum neurologischen Outcome im Vergleich beider Reanimationsverfahren getroffen werden.

Die Aussagekraft der Ergebnisse ist durch mehrere Limitationen eingeschränkt, insbesondere durch die geringe Fallzahl sowie das Fehlen relevanter, potenziell Outcome-beeinflussender Variablen. Für eine valide Bewertung der Reanimationsmethoden und deren Übertragbarkeit auf andere Populationen ist die Etablierung eines Reanimationsregisters im Bundesland Kärnten erforderlich, das alle wesentlichen Parameter gemäß den Utstein-Kriterien erfasst. Ein solches Register würde weiterführende Forschung ermöglichen, die internationale Vergleichbarkeit verbessern und zur Identifikation systemischer Schwachstellen in der Versorgung beitragen. Auf dieser Grundlage könnten gezielte Maßnahmen zur Optimierung der Rettungskette implementiert und das Outcome von Patient*innen nachhaltig verbessert werden.

Literaturverzeichnis

1. Gräsner JT, Wnent J, Herlitz J, Perkins GD, Lefering R, Tjelmeland I, et al. Survival after out-of-hospital cardiac arrest in Europe - Results of the EuReCa TWO study. *Resuscitation*. 2020;148:218–26.
2. Kiguchi T, Okubo M, Nishiyama C, Maconochie I, Ong MEH, Kern KB, et al. Out-of-hospital cardiac arrest across the World: First report from the International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR). *Resuscitation*. 2020;152:39–49.
3. Strömsöe A, Herlitz J. Incidence and percentage of survival after cardiac arrest outside and inside hospital: A comparison between two regions in Sweden. *Resusc Plus*. 2024;17:100594.
4. Gräsner JT, Wnent J, Herlitz J, Perkins GD, Lefering R, Tjelmeland I, et al. Survival after out-of-hospital cardiac arrest in Europe - Results of the EuReCa TWO study. *Resuscitation*. 2020;148:218–26.
5. Soar J, Böttiger BW, Carli P, Jiménez FC, Cimpoesu D, Cole G, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2025 Adult Advanced Life Support. *Resuscitation* [Online]. 2025 [zuletzt aufgerufen am 18.02.2026];215. Verfügbar unter: [https://www.resuscitationjournal.com/article/S0300-9572\(25\)00281-3/fulltext](https://www.resuscitationjournal.com/article/S0300-9572(25)00281-3/fulltext).
6. McAlister O, Harvey A, Currie H, McCartney B, Adgey J, Owens P, et al. Temporal analysis of continuous chest compression rate and depth performed by firefighters during out of hospital cardiac arrest. *Resuscitation* [Online]. 2023 [zuletzt aufgerufen am 01.05.2026];185. Verfügbar unter: [https://www.resuscitationjournal.com/article/S0300-9572\(23\)00051-5/abstract](https://www.resuscitationjournal.com/article/S0300-9572(23)00051-5/abstract).
7. Gässler H, Ventzke MM, Lampl L, Helm M. Transport with ongoing resuscitation: a comparison between manual and mechanical compression. *Emerg Med J EMJ*. 2013;30(7):589–92.
8. Soar J, Böttiger BW, Carli P, Couper K, Deakin CD, Djärv T, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Adult advanced life support. *Resuscitation*. 2021;161:115–51.
9. Eisenberg Chavez D, Meischke H, Painter I, Rea TD. Should dispatchers instruct lay bystanders to undress patients before performing CPR? A randomized simulation study. *Resuscitation*. 2013;84(7):979–81.
10. Cha KC, Kim HJ, Shin HJ, Kim H, Lee KH, Hwang SO. Hemodynamic effect of external chest compressions at the lower end of the sternum in cardiac arrest patients. *J Emerg Med*. 2013;44(3):691–7.
11. Saksobhavit N, Phattharapornjaroen P, Suksukon P, Atiksawedparit P, Chalermdamrichai P, Saelee R, et al. Optimal chest compression position for cardiopulmonary resuscitation determined by computed tomography image: retrospective cross-sectional analysis. *Sci Rep*. 2023;13(1):22763.

12. Kleinman ME, Buick JE, Huber N, Idris AH, Levy M, Morgan SG, et al. Part 7: Adult Basic Life Support: 2025 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation*. 2025;152(16_suppl_2):S448–78.
13. Abella BS, Sandbo N, Vassilatos P, Alvarado JP, O’Hearn N, Wigder HN, et al. Chest compression rates during cardiopulmonary resuscitation are suboptimal: a prospective study during in-hospital cardiac arrest. *Circulation*. 2005;111(4):428–34.
14. Idris AH, Guffey D, Pepe PE, Brown SP, Brooks SC, Callaway CW, et al. Chest compression rates and survival following out-of-hospital cardiac arrest. *Crit Care Med*. 2015;43(4):840–8.
15. Kilgannon JH, Kirchhoff M, Pierce L, Aunchman N, Trzeciak S, Roberts BW. Association between chest compression rates and clinical outcomes following in-hospital cardiac arrest at an academic tertiary hospital. *Resuscitation*. 2017;110:154–61.
16. Hellevuo H, Sainio M, Nevalainen R, Huhtala H, Olkkola KT, Tenhunen J, et al. Deeper chest compression - more complications for cardiac arrest patients? *Resuscitation*. 2013;84(6):760–5.
17. Stiell IG, Brown SP, Nichol G, Cheskes S, Vaillancourt C, Callaway CW, et al. What is the optimal chest compression depth during out-of-hospital cardiac arrest resuscitation of adult patients? *Circulation*. 2014;130(22):1962–70.
18. Vadeboncoeur T, Stolz U, Panchal A, Silver A, Venuti M, Tobin J, et al. Chest compression depth and survival in out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 2014;85(2):182–8.
19. Beesems SG, Berdowski J, Hulleman M, Blom MT, Tijssen JGP, Koster RW. Minimizing pre- and post-shock pauses during the use of an automatic external defibrillator by two different voice prompt protocols. A randomized controlled trial of a bundle of measures. *Resuscitation*. 2016;106:1–6.
20. Olasveengen TM, Semeraro F, Bray J, Smyth M, Vaillancourt C, Kudenchuk P, Masterson S, Johnson N, Norii T, Nehme Z, Ristagno G, Perkins GD, Morley PT -on behalf of the International Liaison Committee on Resuscitation Basic Life Support Task Force. Minimizing pauses: Systematic Review [Online]. 2022 [zuletzt aufgerufen am 29.08.2025]. Verfügbar unter: <https://costr.ilcor.org/document/bls-358-minimizing-pauses>.
21. Holt J, Ward A, Mohamed TY, Chukowry P, Grolmusova N, Couper K, et al. The optimal surface for delivery of CPR: A systematic review and meta-analysis. *Resuscitation*. 2020;155:159–64.
22. Sugerman NT, Edelson DP, Leary M, Weidman EK, Herzberg DL, Vanden Hoek TL, et al. Rescuer fatigue during actual in-hospital cardiopulmonary resuscitation with audiovisual feedback: a prospective multicenter study. *Resuscitation*. 2009;80(9):981–4.

23. Wigginton JG, Agarwal S, Bartos JA, Coute RA, Drennan IR, Haamid A, et al. Part 9: Adult Advanced Life Support: 2025 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation*. 2025;152(16_suppl_2):S538–77.
24. Boodhoo L, Mitchell ARJ, Bordoli G, Lloyd G, Patel N, Sulke N. DC cardioversion of persistent atrial fibrillation: a comparison of two protocols. *Int J Cardiol*. 2007;114(1):16–21.
25. Brazdzionyte J, Babarskiene RM, Stanaitiene G. Anterior-posterior versus anterior-lateral electrode position for biphasic cardioversion of atrial fibrillation. *Med Kaunas Lith*. 2006;42(12):994–8.
26. Chen CJ, Guo GBF. External cardioversion in patients with persistent atrial fibrillation: a reappraisal of the effects of electrode pad position and transthoracic impedance on cardioversion success. *Jpn Heart J*. 2003;44(6):921–32.
27. Dodd TEL, Deakin CD, Petley GW, Clewlow F. External defibrillation in the left lateral position--a comparison of manual paddles with self-adhesive pads. *Resuscitation*. 2004;63(3):283–6.
28. Stanaitiene G, Babarskiene RM. [Impact of electrical shock waveform and paddle positions on efficacy of direct current cardioversion for atrial fibrillation]. *Med Kaunas Lith*. 2008;44(9):665–72.
29. Soar J, Berg KM, Andersen LW, Böttiger BW, Cacciola S, Callaway CW, et al. Adult Advanced Life Support: 2020 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science with Treatment Recommendations. *Resuscitation*. 2020;156:A80–119.
30. Deakin CD, Sado DM, Petley GW, Clewlow F. Is the orientation of the apical defibrillation paddle of importance during manual external defibrillation? *Resuscitation*. 2003;56(1):15–8.
31. Pagan-Carlo LA, Spencer KT, Robertson CE, Dengler A, Birkett C, Kerber RE. Transthoracic defibrillation: importance of avoiding electrode placement directly on the female breast. *J Am Coll Cardiol*. 1996;27(2):449–52.
32. Manegold JC, Israel CW, Ehrlich JR, Duray G, Pajitnev D, Wegener FT, et al. External cardioversion of atrial fibrillation in patients with implanted pacemaker or cardioverter-defibrillator systems: a randomized comparison of monophasic and biphasic shock energy application. *Eur Heart J*. 2007;28(14):1731–8.
33. Stults KR, Brown DD, Cooley F, Kerber RE. Self-adhesive monitor/defibrillation pads improve prehospital defibrillation success. *Ann Emerg Med*. 1987;16(8):872–7.
34. Sado DM, Deakin CD, Petley GW, Clewlow F. Comparison of the effects of removal of chest hair with not doing so before external defibrillation on transthoracic impedance. *Am J Cardiol*. 2004;93(1):98–100.

35. Deakin CD, McLaren RM, Petley GW, Clewlow F, Dalrymple-Hay MJ. Effects of positive end-expiratory pressure on transthoracic impedance--implications for defibrillation. *Resuscitation*. 1998;37(1):9–12.
36. Forcina MS, Farhat AY, O'Neil WW, Haines DE. Cardiac arrest survival after implementation of automated external defibrillator technology in the in-hospital setting. *Crit Care Med*. 2009;37(4):1229–36.
37. Pytte M, Pedersen TE, Ottem J, Rokvam AS, Sunde K. Comparison of hands-off time during CPR with manual and semi-automatic defibrillation in a manikin model. *Resuscitation*. 2007;73(1):131–6.
38. Kramer-Johansen J, Edelson DP, Abella BS, Becker LB, Wik L, Steen PA. Pauses in chest compression and inappropriate shocks: a comparison of manual and semi-automatic defibrillation attempts. *Resuscitation*. 2007;73(2):212–20.
39. Schneider T, Martens PR, Paschen H, Kuisma M, Wolcke B, Gliner BE, et al. Multicenter, randomized, controlled trial of 150-J biphasic shocks compared with 200- to 360-J monophasic shocks in the resuscitation of out-of-hospital cardiac arrest victims. Optimized Response to Cardiac Arrest (ORCA) Investigators. *Circulation*. 2000;102(15):1780–7.
40. van Alem AP, Chapman FW, Lank P, Hart AAM, Koster RW. A prospective, randomised and blinded comparison of first shock success of monophasic and biphasic waveforms in out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 2003;58(1):17–24.
41. Carpenter J, Rea TD, Murray JA, Kudenchuk PJ, Eisenberg MS. Defibrillation waveform and post-shock rhythm in out-of-hospital ventricular fibrillation cardiac arrest. *Resuscitation*. 2003;59(2):189–96.
42. Morrison LJ, Dorian P, Long J, Vermeulen M, Schwartz B, Sawadsky B, et al. Out-of-hospital cardiac arrest rectilinear biphasic to monophasic damped sine defibrillation waveforms with advanced life support intervention trial (ORBIT). *Resuscitation*. 2005;66(2):149–57.
43. Perkins GD, Davies RP, Soar J, Thickett DR. The impact of manual defibrillation technique on no-flow time during simulated cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation*. 2007;73(1):109–14.
44. Eftestøl 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(19):2270–3.
45. Edelson DP, Abella BS, Kramer-Johansen J, Wik L, Myklebust H, Barry AM, et al. Effects of compression depth and pre-shock pauses predict defibrillation failure during cardiac arrest. *Resuscitation*. 2006;71(2):137–45.
46. Reynolds JC, Raffay V, Lang E, Morley PT, Nation K. When should chest compressions be paused to analyze the cardiac rhythm? A systematic review and meta-analysis. *Resuscitation*. 2015;97:38–47.

47. Koster RW, Walker RG, Chapman FW. Recurrent ventricular fibrillation during advanced life support care of patients with prehospital cardiac arrest. *Resuscitation*. 2008;78(3):252–7.
48. Stiell IG, Walker RG, Nesbitt LP, Chapman FW, Cousineau D, Christenson J, et al. BIPHASIC Trial: a randomized comparison of fixed lower versus escalating higher energy levels for defibrillation in out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation*. 2007;115(12):1511–7.
49. Robertshaw H, McAnulty G. Ambient oxygen concentrations during simulated cardiopulmonary resuscitation. *Anaesthesia*. 1998;53(7):634–7.
50. Cantello E, Davy TE, Koenig KL. The question of removing a ventilation bag before defibrillation. *J Accid Emerg Med*. 1998;15(4):286.
51. Olsen JA, Brunborg C, Steinberg M, Persse D, Sterz F, Lozano M, et al. Pre-shock chest compression pause effects on termination of ventricular fibrillation/tachycardia and return of organized rhythm within mechanical and manual cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation*. 2015;93:158–63.
52. Couper K, Abu Hassan A, Ohri V, Patterson E, Tang HT, Bingham R, et al. Removal of foreign body airway obstruction: A systematic review of interventions. *Resuscitation*. 2020;156:174–81.
53. Bengert JR, Kirby K, Black S, Brett SJ, Clout M, Lazaroo MJ, et al. Effect of a Strategy of a Supraglottic Airway Device vs Tracheal Intubation During Out-of-Hospital Cardiac Arrest on Functional Outcome: The AIRWAYS-2 Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2018;320(8):779–91.
54. Jabre P, Penaloza A, Pinero D, Duchateau FX, Borron SW, Javaudin F, et al. Effect of Bag-Mask Ventilation vs Endotracheal Intubation During Cardiopulmonary Resuscitation on Neurological Outcome After Out-of-Hospital Cardiorespiratory Arrest: A Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2018;319(8):779–87.
55. Voss S, Rhys M, Coates D, Greenwood R, Nolan JP, Thomas M, et al. How do paramedics manage the airway during out of hospital cardiac arrest? *Resuscitation*. 2014;85(12):1662–6.
56. Andersen LW, Granfeldt A, Callaway CW, Bradley SM, Soar J, Nolan JP, et al. Association Between Tracheal Intubation During Adult In-Hospital Cardiac Arrest and Survival. *JAMA*. 2017;317(5):494–506.
57. Wang HE, Schmicker RH, Daya MR, Stephens SW, Idris AH, Carlson JN, et al. Effect of a Strategy of Initial Laryngeal Tube Insertion vs Endotracheal Intubation on 72-Hour Survival in Adults With Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2018;320(8):769–78.
58. Soar J, Maconochie I, Wyckoff MH, Olasveengen TM, Singletary EM, Greif R, et al. 2019 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations: Summary From the Basic Life Support; Advanced Life Support; Pediatric Life Support; Neonatal Life

Support; Education, Implementation, and Teams; and First Aid Task Forces. *Circulation*. 2019;140(24):e826–80.

59. Lee DH, Han M, An JY, Jung JY, Koh Y, Lim CM, et al. Video laryngoscopy versus direct laryngoscopy for tracheal intubation during in-hospital cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation*. 2015;89:195–9.
60. Park SO, Kim JW, Na JH, Lee KH, Lee KR, Hong DY, et al. Video laryngoscopy improves the first-attempt success in endotracheal intubation during cardiopulmonary resuscitation among novice physicians. *Resuscitation*. 2015;89:188–94.
61. Salem MR, Khorasani A, Zeidan A, Crystal GJ. Cricoid Pressure Controversies: Narrative Review. *Anesthesiology*. 2017;126(4):738–52.
62. Silvestri S, Ralls GA, Krauss B, Thundiyil J, Rothrock SG, Senn A, et al. The effectiveness of out-of-hospital use of continuous end-tidal carbon dioxide monitoring on the rate of unrecognized misplaced intubation within a regional emergency medical services system. *Ann Emerg Med*. 2005;45(5):497–503.
63. Grmec S. Comparison of three different methods to confirm tracheal tube placement in emergency intubation. *Intensive Care Med*. 2002;28(6):701–4.
64. Takeda T, Tanigawa K, Tanaka H, Hayashi Y, Goto E, Tanaka K. The assessment of three methods to verify tracheal tube placement in the emergency setting. *Resuscitation*. 2003;56(2):153–7.
65. Higgs A, McGrath BA, Goddard C, Rangasami J, Suntharalingam G, Gale R, et al. Guidelines for the management of tracheal intubation in critically ill adults. *Br J Anaesth*. 2018;120(2):323–52.
66. Olasveengen TM, de Caen AR, Mancini ME, Maconochie IK, Aickin R, Atkins DL, et al. 2017 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations Summary. *Circulation*. 2017;136(23):e424–40.
67. Vissers G, Soar J, Monsieurs KG. Ventilation rate in adults with a tracheal tube during cardiopulmonary resuscitation: A systematic review. *Resuscitation*. 2017;119:5–12.
68. Jaffe IS, Ren Y, Tran L, Yuriditsky E, Gonzales AM, Patel JK, et al. Higher ventilation rate is associated with increased return of spontaneous circulation in in-hospital cardiac arrest patients with advanced airways. *Resuscitation*. 2026;218:110885.
69. Nolan JP, Deakin CD, Ji C, Gates S, Rosser A, Lall R, et al. Intraosseous versus intravenous administration of adrenaline in patients with out-of-hospital cardiac arrest: a secondary analysis of the PARAMEDIC2 placebo-controlled trial. *Intensive Care Med*. 2020;46(5):954–62.

70. Daya MR, Leroux BG, Dorian P, Rea TD, Newgard CD, Morrison LJ, et al. Survival After Intravenous Versus Intraosseous Amiodarone, Lidocaine, or Placebo in Out-of-Hospital Shock-Refractory Cardiac Arrest. *Circulation*. 2020;141(3):188–98.
71. Granfeldt A, Avis SR, Lind PC, Holmberg MJ, Kleinman M, Maconochie I, et al. Intravenous vs. intraosseous administration of drugs during cardiac arrest: A systematic review. *Resuscitation*. 2020;149:150–7.
72. Holmberg MJ, Issa MS, Moskowitz A, Morley P, Welsford M, Neumar RW, et al. Vasopressors during adult cardiac arrest: A systematic review and meta-analysis. *Resuscitation*. 2019;139:106–21.
73. Perkins GD, Ji C, Deakin CD, Quinn T, Nolan JP, Scomparin C, et al. A Randomized Trial of Epinephrine in Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *N Engl J Med*. 2018;379(8):711–21.
74. Perkins GD, Kenna C, Ji C, Deakin CD, Nolan JP, Quinn T, et al. The effects of adrenaline in out of hospital cardiac arrest with shockable and non-shockable rhythms: Findings from the PACA and PARAMEDIC-2 randomised controlled trials. *Resuscitation*. 2019;140:55–63.
75. Kudenchuk PJ, Brown SP, Daya M, Rea T, Nichol G, Morrison LJ, et al. Amiodarone, Lidocaine, or Placebo in Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *N Engl J Med*. 2016;374(18):1711–22.
76. Javaudin F, Lascarrou JB, Le Bastard Q, Bourry Q, Latour C, De Carvalho H, et al. Thrombolysis During Resuscitation for Out-of-Hospital Cardiac Arrest Caused by Pulmonary Embolism Increases 30-Day Survival: Findings From the French National Cardiac Arrest Registry. *Chest*. 2019;156(6):1167–75.
77. Summers K, Schultheis J, Raiff D, Dahhan T. Evaluation of Rescue Thrombolysis in Cardiac Arrest Secondary to Suspected or Confirmed Pulmonary Embolism. *Ann Pharmacother*. 2019;53(7):711–5.
78. Soar J, Foster J, Breitkreutz R. Fluid infusion during CPR and after ROSC--is it safe? *Resuscitation*. 2009;80(11):1221–2.
79. Chardoli M, Heidari F, Rabiee H, Sharif-Alhoseini M, Shokoohi H, Rahimi-Movaghar V. Echocardiography integrated ACLS protocol versus conventional cardiopulmonary resuscitation in patients with pulseless electrical activity cardiac arrest. *Chin J Traumatol Zhonghua Chuang Shang Za Zhi*. 2012;15(5):284–7.
80. Reynolds JC, Nicholson T, O’Neil B, Drennan IR, Issa M, Welsford M, et al. Diagnostic test accuracy of point-of-care ultrasound during cardiopulmonary resuscitation to indicate the etiology of cardiac arrest: A systematic review. *Resuscitation*. 2022;172:54–63.
81. Soar J, Nolan JP, Böttiger BW, Perkins GD, Lott C, Carli P, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 3. Adult advanced life support. *Resuscitation*. 2015;95:100–47.

82. Reynolds JC, Issa MS, C Nicholson T, Drennan IR, Berg KM, O'Neil BJ, et al. Prognostication with point-of-care echocardiography during cardiac arrest: A systematic review. *Resuscitation*. 2020;152:56–68.
83. Blanco P, Volpicelli G. Common pitfalls in point-of-care ultrasound: a practical guide for emergency and critical care physicians. *Crit Ultrasound J*. 2016;8(1):15.
84. Teran F. Resuscitative Cardiopulmonary Ultrasound and Transesophageal Echocardiography in the Emergency Department. *Emerg Med Clin North Am*. 2019;37(3):409–30.
85. Alenazi A, Alshibani A. Confirmatory methods for endotracheal tube placement in out-of-hospital settings: A systematic review of the literature. *Heliyon*. 2024;10(7):e28479.
86. Silvestri S, Ladde JG, Brown JF, Roa JV, Hunter C, Ralls GA, et al. Endotracheal tube placement confirmation: 100% sensitivity and specificity with sustained four-phase capnographic waveforms in a cadaveric experimental model. *Resuscitation*. 2017;115:192–8.
87. Hamrick JL, Hamrick JT, Lee JK, Lee BH, Koehler RC, Shaffner DH. Efficacy of chest compressions directed by end-tidal CO₂ feedback in a pediatric resuscitation model of basic life support. *J Am Heart Assoc*. 2014;3(2):e000450.
88. Meaney PA, Bobrow BJ, Mancini ME, Christenson J, de Caen AR, Bhanji F, et al. Cardiopulmonary Resuscitation Quality: Improving Cardiac Resuscitation Outcomes Both Inside and Outside the Hospital. *Circulation*. 2013;128(4):417–35.
89. Brinkrolf P, Borowski M, Metelmann C, Lukas RP, Pidde-Küllenberg L, Bohn A. Predicting ROSC in out-of-hospital cardiac arrest using expiratory carbon dioxide concentration: Is trend-detection instead of absolute threshold values the key? *Resuscitation*. 2018;122:19–24.
90. Garnett AR, Ornato JP, Gonzalez ER, Johnson EB. End-tidal carbon dioxide monitoring during cardiopulmonary resuscitation. *JAMA*. 1987;257(4):512–5.
91. Sandroni C, Ristagno G. End-tidal CO₂ to detect recovery of spontaneous circulation during cardiopulmonary resuscitation: We are not ready yet. *Resuscitation*. 2016;104:A5–6.
92. Lucas_2_Instructor_Guidebook.pdf [Online]. [zuletzt aufgerufen am 07.10.2025]. Verfügbar unter: https://www.va.gov/covidtraining/docs/Lucas_2_Instructor_Guidebook.pdf.
93. Gässler H. Einfluss eines strukturierten Trainings auf den Einsatz von mechanischen Thoraxkompressionsgeräten. Gässler H Decken Lampl Helm M Einfluss Eines Strukt Train Auf Den Einsatz Von Mech Thoraxkompressionsgeräten. 2019;(3–2019):104–12.
94. CPR manual.pdf [Online]. [zuletzt aufgerufen am 13.10.2025]. Verfügbar unter: <https://8331374.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/8331374/CPR%20manual.pdf>.

95. Treffer D. Funktionalität und Einsatztauglichkeit von Thoraxkompressions-geräten. Treffer Weißleder Gässler H Decken Hauptkorn M Helm M Funkt Einsatztauglichkeit Von Thoraxkompressions-geräten. 2019;(3–2019):113–21.
96. 250417-corpuls-cpr-de-web.pdf [Online]. [zuletzt aufgerufen am 18.02.2026]. Verfügbar unter: <https://corpuls.world/wAssets/docs/broschueren/250417-corpuls-cpr-de-web.pdf>.
97. Magliocca A, Olivari D, De Giorgio D, Zani D, Manfredi M, Boccardo A, et al. LUCAS Versus Manual Chest Compression During Ambulance Transport: A Hemodynamic Study in a Porcine Model of Cardiac Arrest. *J Am Heart Assoc*. 2019;8(1):e011189.
98. Sugerman NT, Edelson DP, Leary M, Weidman EK, Herzberg DL, Hoek TLV, et al. Rescuer fatigue during actual in-hospital cardiopulmonary resuscitation with audiovisual feedback: A prospective multicenter study. *Resuscitation*. 2009;80(9):981–4.
99. Shin J, Hwang SY, Lee HJ, Park CJ, Kim YJ, Son YJ, et al. Comparison of CPR quality and rescuer fatigue between standard 30:2 CPR and chest compression-only CPR: a randomized crossover manikin trial. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2014;22(1):59.
100. Long B, Gottlieb M. Emergency medicine updates: Cardiopulmonary resuscitation. *Am J Emerg Med*. 2025;93:86–93.
101. Brouwer TF, Walker RG, Chapman FW, Koster RW. Association Between Chest Compression Interruptions and Clinical Outcomes of Ventricular Fibrillation Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *Circulation*. 2015;132(11):1030–7.
102. Ong MEH, Quah JLJ, Annathurai A, Noor NM, Koh ZX, Tan KBK, 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):508–14.
103. Stiell IG, Nesbitt LP, Nichol G, Maloney J, Dreyer J, Beaudoin T, et al. Comparison of the Cerebral Performance Category Score and the Health Utilities Index for Survivors of Cardiac Arrest. *Ann Emerg Med*. 2009;53(2):241-248.e1.
104. Geocadin RG, Callaway CW, Fink EL, Golan E, Greer DM, Ko NU, et al. Standards for Studies of Neurological Prognostication in Comatose Survivors of Cardiac Arrest: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*. 2019;140(9):e517–42.
105. Krammel M, Kornfehl A, Grassmann D, Hamp T, Grubmiller T, Nuernberger A, et al. Incidence, outcome and dynamics of out-of-hospital cardiac arrest in the city of Vienna between 2019 and 2023. *Emerg Med J EMJ*. 2025;emermed-2024-214621.
106. Schwaiger D, Krösbacher A, Eckhardt C, Schausberger L, Baubin M, Rajsic S. Out-of-hospital cardiac arrest: A 10-year analysis of survival and neurological outcomes. *Heart Lung*. 2025;73:1–8.

107. Herlitz J, Engdahl J, Svensson L, Ångquist KA, Young M, Holmberg S. Factors associated with an increased chance of survival among patients suffering from an out-of-hospital cardiac arrest in a national perspective in Sweden. *Am Heart J*. 2005;149(1):61–6.
108. Sasson C, Rogers MAM, Dahl J, Kellermann AL. Predictors of Survival From Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes*. 2010;3(1):63–81.
109. Nolan JP, Sandroni C, Böttiger BW, Cariou A, Cronberg T, Friberg H, et al. Postreanimationsbehandlung: Leitlinien des European Resuscitation Council und der European Society of Intensive Care Medicine 2021. *Notf Rettungsmedizin*. 2021;24(4):524–76.
110. Isgrò MA, Bottoni P, Scatena R. Neuron-Specific Enolase as a Biomarker: Biochemical and Clinical Aspects. *Adv Exp Med Biol*. 2015;867:125–43.
111. Hirsch KG, Amorim E, Coppler PJ, Drennan IR, Elliott A, Gordon AJ, et al. Part 11: Post-Cardiac Arrest Care: 2025 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation* [Online]. 2025 [zuletzt aufgerufen am 05.04.2026];152(16_suppl_2). Verfügbar unter: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIR.0000000000001375>.
112. Rossetti AO, Rabinstein AA, Oddo M. Neurological prognostication of outcome in patients in coma after cardiac arrest. *Lancet Neurol*. 2016;15(6):597–609.
113. Stammet P, Collignon O, Hassager C, Wise MP, Hovdenes J, Åneman A, et al. Neuron-Specific Enolase as a Predictor of Death or Poor Neurological Outcome After Out-of-Hospital Cardiac Arrest and Targeted Temperature Management at 33°C and 36°C. *JACC*. 2015;65(19):2104–14.
114. Oddo M, Rossetti AO. Early Multimodal Outcome Prediction After Cardiac Arrest in Patients Treated With Hypothermia*. *Crit Care Med*. 2014;42(6):1340.
115. Streitberger KJ, Leithner C, Wattenberg M, Tonner PH, Hasslacher J, Joannidis M, et al. Neuron-Specific Enolase Predicts Poor Outcome After Cardiac Arrest and Targeted Temperature Management: A Multicenter Study on 1,053 Patients. *Crit Care Med*. 2017;45(7):1145.
116. Vondrakova D, Kruger A, Janotka M, Malek F, Dudkova V, Neuzil P, et al. Association of neuron-specific enolase values with outcomes in cardiac arrest survivors is dependent on the time of sample collection. *Crit Care*. 2017;21(1):172.
117. Chung-Esaki HM, Mui G, Mlynash M, Eyngorn I, Catabay K, Hirsch KG. The neuron specific enolase (NSE) ratio offers benefits over absolute value thresholds in post-cardiac arrest coma prognosis. *J Clin Neurosci*. 2018;57:99–104.
118. Duez CHV, Grejs AM, Jeppesen AN, Schrøder AD, Søreide E, Nielsen JF, et al. Neuron-specific enolase and S-100b in prolonged targeted temperature management after cardiac arrest: A randomised study. *Resuscitation*. 2018;122:79–86.

119. Jang JH, Park WB, Lim YS, Choi JY, Cho JS, Woo JH, et al. Combination of S100B and procalcitonin improves prognostic performance compared to either alone in patients with cardiac arrest: A prospective observational study. *Medicine (Baltimore)*. 2019;98(6):e14496.
120. Wiberg S, Hassager C, Stammet P, Winther-Jensen M, Thomsen JH, Erlinge D, et al. Single versus Serial Measurements of Neuron-Specific Enolase and Prediction of Poor Neurological Outcome in Persistently Unconscious Patients after Out-Of-Hospital Cardiac Arrest – A TTM-Trial Substudy. *PLOS ONE*. 2017;12(1):e0168894.
121. Myat A, Song KJ, Rea T. Out-of-hospital cardiac arrest: current concepts. *The Lancet*. 2018;391(10124):970–9.
122. Larik MO, Ahmed A, Shiraz MI, Shiraz SA, Anjum MU, Bhattarai P. Comparison of manual chest compression versus mechanical chest compression for out-of-hospital cardiac arrest: A systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2024;103(8):e37294.
123. Zhu X, Fu J. Efficacy of mechanical against manual method in cardiopulmonary resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest: A meta-analysis. *Exp Ther Med*. 2024;28(6):1–15.
124. Ahn JY, Ryoo HW, Moon S, Jung H, Park J, Lee WK, et al. Prehospital factors associated with out-of-hospital cardiac arrest outcomes in a metropolitan city: a 4-year multicenter study. *BMC Emerg Med*. 2023;23(1):125.
125. Axelsson C, Herrera MJ, Fredriksson M, Lindqvist J, Herlitz J. Implementation of mechanical chest compression in out-of-hospital cardiac arrest in an emergency medical service system. *Am J Emerg Med*. 2013;31(8):1196–200.
126. Buckler DG, Burke RV, Naim MY, MacPherson A, Bradley RN, Abella BS, et al. Association of Mechanical Cardiopulmonary Resuscitation Device Use With Cardiac Arrest Outcomes. *Circulation*. 2016;134(25):2131–3.
127. Hallstrom A, Rea TD, Sayre MR, Christenson J, Anton AR, Mosesso VN, et al. Manual Chest Compression vs Use of an Automated Chest Compression Device During Resuscitation Following Out-of-Hospital Cardiac ArrestA Randomized Trial. *JAMA*. 2006;295(22):2620–8.
128. Schmidbauer S, Herlitz J, Karlsson T, Axelsson C, Friberg H. Use of automated chest compression devices after out-of-hospital cardiac arrest in Sweden. *Resuscitation*. 2017;120:95–102.
129. Viniol S, Thomas RP, Gombert S, König AM, Betz S, Mahnken AH. Comparison of different resuscitation methods with regard to injury patterns in cardiac arrest survivors based on computer tomography. *Eur J Radiol [Online]*. 2020 [zuletzt aufgerufen am 07.04.2026];131. Verfügbar unter: [https://www.ejradiology.com/article/S0720-048X\(20\)30433-2/abstract](https://www.ejradiology.com/article/S0720-048X(20)30433-2/abstract).

130. Gao C, Chen Y, Peng H, Chen Y, Zhuang Y, Zhou S. Clinical evaluation of the AutoPulse automated chest compression device for out-of-hospital cardiac arrest in the northern district of Shanghai, China. *Arch Med Sci.* 2016;12(3):563–70.
131. Lu X guang, Kang X, Gong D bo. The clinical efficacy of Thumper modal 1007 cardiopulmonary resuscitation: a prospective randomized control trial. *Zhongguo Wei Zhong Bing Ji Jiu Yi Xue Chin Crit Care Med Zhongguo Weizhongbing Jijiuyixue.* 2010;22(8):496–7.
132. Ong MEH, Ornato JP, Edwards DP, Dhindsa HS, Best AM, Ines CS, et al. Use of an Automated, Load-Distributing Band Chest Compression Device for Out-of-Hospital Cardiac Arrest Resuscitation. *JAMA.* 2006;295(22):2629–37.
133. Hock Ong ME, Fook-Chong S, Annathurai A, Ang SH, Tiah L, Yong KL, et al. Improved neurologically intact survival with the use of an automated, load-distributing band chest compression device for cardiac arrest presenting to the emergency department. *Crit Care.* 2012;16(4):R144.
134. Günaydın YK, Çekmen B, Akıllı NB, Köylü R, Sert ET, Cander B. Comparative effectiveness of standard CPR vs active compression-decompression CPR with CardioPump for treatment of cardiac arrest. *Am J Emerg Med.* 2016;34(3):542–7.
135. Anantharaman V, Ng BLB, Ang SH, Lee CYF, Leong SHB, Ong MEH, et al. Prompt use of mechanical cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest: the MECCA study report. *Singapore Med J.* 2017;58(7):424–31.
136. Axelsson C, Nestin J, Svensson L, Axelsson ÅB, Herlitz J. Clinical consequences of the introduction of mechanical chest compression in the EMS system for treatment of out-of-hospital cardiac arrest—A pilot study. *Resuscitation.* 2006;71(1):47–55.
137. Canakci ME, Bagceci KP, Acar N, Ozakin E, Kaya FB, Kuas C, et al. Computed Tomographic Findings of Injuries After Mechanical and Manual Resuscitation: A Retrospective Study. *Cureus [Online].* 2021 [zuletzt aufgerufen am 07.04.2026];13(5). Verfügbar unter: <https://cureus.com/articles/59353-computed-tomographic-findings-of-injuries-after-mechanical-and-manual-resuscitation-a-retrospective-study>.
138. Hardig BM, Lindgren E, Östlund O, Herlitz J, Karlsten R, Rubertsson S. Outcome among VF/VT patients in the LINC (LUCAS IN cardiac arrest) trial—A randomised, controlled trial. *Resuscitation.* 2017;115:155–62.
139. Jennings PA, Harriss L, Bernard S, Bray J, Walker T, Spelman T, et al. An automated CPR device compared with standard chest compressions for out-of-hospital resuscitation. *BMC Emerg Med.* 2012;12(1):8.
140. Lairet, JR., Lee, M. A comparison of standard manual cardiopulmonary resuscitation versus the Autopulse mechanical cardiopulmonary resuscitation device. 2005;46:114.
141. Newberry R, Redman T, Ross E, Ely R, Saidler C, Arana A, et al. No Benefit in Neurologic Outcomes of Survivors of Out-of-Hospital Cardiac Arrest with Mechanical Compression Device. *Prehosp Emerg Care.* 2018;22(3):338–44.

142. Perkins GD, Lall R, Quinn T, Deakin CD, Cooke MW, Horton J, et al. Mechanical versus manual chest compression for out-of-hospital cardiac arrest (PARAMEDIC): a pragmatic, cluster randomised controlled trial. *The Lancet*. 2015;385(9972):947–55.
143. Rubertsson S, Lindgren E, Smekal D, Östlund O, Silfverstolpe J, Lichtveld RA, et al. Mechanical Chest Compressions and Simultaneous Defibrillation vs Conventional Cardiopulmonary Resuscitation in Out-of-Hospital Cardiac Arrest: The LINC Randomized Trial. *JAMA*. 2014;311(1):53–61.
144. Savastano S, Baldi E, Palo A, Raimondi M, Belliato M, Compagnoni S, et al. Load distributing band device for mechanical chest compressions: An Utstein-categories based analysis of survival to hospital discharge. *Int J Cardiol*. 2019;287:81–5.
145. Smekal D, Johansson J, Huzevka T, Rubertsson S. A pilot study of mechanical chest compressions with the LUCASTM device in cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation*. 2011;82(6):702–6.
146. Steinmetz J, Barnung S, Nielsen SL, Risom M, Rasmussen LS. Improved survival after an out-of-hospital cardiac arrest using new guidelines. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2008;52(7):908–13.
147. Takayama W, Endo A, Morishita K, Otomo Y. Manual Chest Compression versus Automated Chest Compression Device during Day-Time and Night-Time Resuscitation Following Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A Retrospective Historical Control Study. *J Pers Med*. 2023;13(8):1202.
148. Tantarattanapong S, Chantaramanee K. Comparison of Sustained Return of Spontaneous Circulation Rate Between Manual and Mechanical Chest Compression in Adult Cardiac Arrest. *Open Access Emerg Med*. 2022;14:599–608.
149. Truhlar, A., Hejna P, Zabka L, Zátopková L, Černý V. Injuries caused by the AutoPulse and LUCAS II resuscitation systems compared to manual chest compressions. *Resuscitation*. 2010;81.
150. Wik L, Olsen JA, Persse D, Sterz F, Lozano M, Brouwer MA, et al. Manual vs. integrated automatic load-distributing band CPR with equal survival after out of hospital cardiac arrest. The randomized CIRC trial. *Resuscitation*. 2014;85(6):741–8.
151. Zeiner S, Sulzgruber P, Datler P, Keferböck M, Poppe M, Lobmeyr E, et al. Mechanical chest compression does not seem to improve outcome after out-of-hospital cardiac arrest. A single center observational trial. *Resuscitation*. 2015;96:220–5.
152. Hayashida K, Tagami T, Fukuda T, Suzuki M, Yonemoto N, Kondo Y, et al. Mechanical Cardiopulmonary Resuscitation and Hospital Survival Among Adult Patients With Nontraumatic Out-of-Hospital Cardiac Arrest Attending the Emergency Department: A Prospective, Multicenter, Observational Study in Japan (SOS-KANTO [Survey of Survivors after Out-of-Hospital Cardiac Arrest in Kanto Area] 2012 Study). *J Am Heart Assoc*. 2017;6(11):e007420.

153. Jung E, Park JH, Lee SY, Ro YS, Hong KJ, Song KJ, et al. Mechanical Chest Compression Device for Out-Of-Hospital Cardiac Arrest: A Nationwide Observational Study. *J Emerg Med.* 2020;58(3):424–31.
154. Kim HJ, Lee D, Moon HJ, Jeong D, Shin TY, In Hong S, et al. Real-world comparison between mechanical and manual cardiopulmonary resuscitation during the COVID-19 pandemic. *Am J Emerg Med.* 2024;76:217–24.
155. Mistraletti G, Lancioni A, Bassi G, Nespoli F, Umbrello M, Salini S, et al. Mechanical chest compression and extracorporeal life support for out-of-hospital cardiac arrest. A 30-month observational study in the metropolitan area of Milan, Italy. *Resuscitation.* 2023;182:109659.
156. Gonzales L, Oyler BK, Hayes JL, Escott ME, Cabanas JG, Hinchey PR, et al. Out-of-hospital cardiac arrest outcomes with “pit crew” resuscitation and scripted initiation of mechanical CPR. *Am J Emerg Med.* 2019;37(5):913–20.
157. Chen YR, Liao CJ, Huang HC, Tsai CH, Su YS, Liu CH, et al. The Effect of Implementing Mechanical Cardiopulmonary Resuscitation Devices on Out-of-Hospital Cardiac Arrest Patients in an Urban City of Taiwan. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(7):3636.
158. Gao Y, Sun T, Yuan D, Liang H, Wan Y, Yuan B, et al. Safety of mechanical and manual chest compressions in cardiac arrest patients: A systematic review and meta-analysis. *Resuscitation.* 2021;169:124–35.
159. Van Wijck SFM, Prins JTH, Verhofstad MHJ, Wijffels MME, Van Lieshout EMM. Rib fractures and other injuries after cardiopulmonary resuscitation for non-traumatic cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2024;50(4):1331–46.
160. Lei H, Hu J, Liu L, Xu D. Sex differences in survival after out-of-hospital cardiac arrest: a meta-analysis. *Crit Care.* 2020;24(1):613.
161. Geschäftsbericht_2024_web.
162. Knauf K. Anzahl und Statistik der Krankenhäuser in Österreich [Online]. gesundheitsmarkt.de. 2023 [zuletzt aufgerufen am 04.04.2026]. Verfügbar unter: <https://www.gesundheitsmarkt.de/anzahl-statistik-krankenhaeuser-oesterreich/>.
163. Leistungsbericht_2023.pdf [Online]. [zuletzt aufgerufen am 04.04.2026]. Verfügbar unter: https://www.rotekreuz.at/fileadmin/user_upload/LV/KN/PDFs/Leistungsberichte/Leistungsbericht_2023.pdf.
164. Nabecker S, de Raad T, Abelairas-Gomez C, Breckwoldt J, Chakroun-Walha O, Farquharson B, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2025 Education for Resuscitation. *Resuscitation.* 2025;215 Suppl 1:110739.

165. Andersen LW, Grossestreuer AV, Donnino MW. “Resuscitation time bias”—A unique challenge for observational cardiac arrest research. *Resuscitation*. 2018;125:79–82.