

Diplomarbeit

**Erfassung von Qualitätsmerkmalen der
Wiederbelebungsmaßnahmen bei prähospitalem,
adultem Herz-Kreislauf-Stillstand in großen
klinischen Reanimationsstudien**

Ein Literaturreview

eingereicht von
Daniel Felber

zur Erlangung des akademischen Grades

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

an der
Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der
Universitätsklinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin

unter der Anleitung von
Dr. med. univ. Simon Orlob
Assoz.-Prof.ⁱⁿ Priv.-Doz.ⁱⁿ Dr.ⁱⁿ med. univ. Andrea Kurz

Graz, am 13.05.2026

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 13.05.2026

Daniel Felber eh.

Danksagungen

Zuallererst möchte ich mich bei meinem Betreuer Univ. FA Dr.med.univ Simon Orlob bedanken, der sich zur Betreuung meiner Arbeit bereit erklärt hat, jederzeit bei Problemen ansprechbar war, sowie mir den Grundstock wissenschaftlichen Arbeitens meinerseits gelegt hat. Weiters gilt auch Dank an Frau Assoz.-Prof.ⁱⁿ Priv.-Dozⁱⁿ. Drⁱⁿ.med.univ. Andrea Kurz für die Zweitbetreuung meiner Arbeit.

Weiters möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mir in all meinen Vorhaben immer ohne Ausnahme zur Seite gestanden sind und jederzeit ein offenes Ohr für mich hatten. Sie gaben mir erst die Möglichkeit, dieses Studium anzutreten und durch ihre Unterstützung konnte ich mich auf diese Ausbildung konzentrieren. Dieser akademische Grad ist zu einem großen Anteil euer Werk.

Meiner Freundin Sarah spreche ich meine Bewunderung aus, immer wieder Geduld und Nachsicht aufzubringen, wenn es bei mir nicht optimal läuft und meine Schwächen zum Vorschein kommen. Ich danke dir, dass jedes schöne Erlebnis mit dir doppelt schön ist und jedes Problem nur halb so groß erscheint.

Meinen Freunden Christian, David, Florian und Georg möchte ich meinen Dank ausrichten, dass sie immer wieder für die notwendige Ablenkung und den freizeitlichen Ausgleich für mich sorgen.

Dem Grazer Medizinercorps möchte ich für die Ausbildung zum Rettungsmediziner danken, für die unzähligen Stunden, die in mich investiert wurden, um mich im Bereich der Notfallmedizin zu verbessern und die vielen großartigen Persönlichkeiten, die ich in diesem Rahmen kennenlernen durfte.

Zuletzt möchte ich meinen Studienkolleginnen und Studienkollegen danken, die meinen Weg begleitet haben. Namentlich hervorheben würde ich gerne Ahmed und Alexander, mit denen jedes Seminar viel mehr Spaß gemacht hat, David, mit dem ich die Zeit in meiner ersten eigenen Wohnung erlebt habe und Philipp, der mich durch eine Zeit mit großem Prüfungsstress durchgeholfen hat.

Zusammenfassung

Einleitung

Die Qualität der kardiopulmonalen Wiederbelebung (CPR) stellt einen entscheidenden Einflussfaktor auf das Überleben und das neurologische Outcome nach außerklinischem Herz-Kreislauf-Stillstand (OHCA) dar. Darüber hinaus könnte sie als potenzieller Confounder und Effektmodifikator in klinischen Studien wirken. Zur Standardisierung der Datenerhebung wurden neben Erwähnungen in etablierten Leitlinien auch Expert*innenempfehlungen zur Erfassung von CPR-Qualitätsparametern erstellt. Ziel dieser Arbeit war es, zu untersuchen, in welchem Ausmaß diese Parameter in Reanimationsstudien, veröffentlicht in renommierten Journalen, erfasst, berichtet und eingeordnet werden.

Methodik

Es wurde eine strukturierte Literaturrecherche mit systematischen Aspekten in der Datenbank PubMed/MEDLINE durchgeführt. Eingeschlossen wurden Studien zu prähospitalem Herz-Kreislauf-Stillstand bei Erwachsenen, die zwischen 2010 und 2022 in Journalen mit einem Journal Impact Factor (JIF) ≥ 10 publiziert wurden. Als Suchstrategie wurde der MeSH-Term „out-of-hospital cardiac arrest“ verwendet. Die Studien wurden anhand vordefinierter Ein- und Ausschlusskriterien selektiert und hinsichtlich der Erfassung empfohlener CPR-Qualitätsparameter analysiert.

Resultate

Von den eingeschlossenen Studien berichteten nur 24 von 125 Studien (19,2%) eine Erfassung von CPR-Qualitätsparametern, während 101 Studien (80,8%) keine entsprechende Datenerhebung durchführten.

Von den 24 Studien mit Qualitätserfassung berichteten 8 Studien (33,3%) mindestens drei der sechs empfohlenen Kernparameter, was 6,4% aller eingeschlossenen Studien entspricht. Die übrigen 16 Studien erhoben weniger als die Hälfte der Kernparameter.

Darüber hinaus zeigte sich eine erhebliche Heterogenität hinsichtlich des Anteils der Patient*innen mit erfasster CPR-Qualität (3,57% bis 100%) sowie des Messzeitraums (von wenigen Minuten bis zur gesamten Reanimationsdauer).

Die CPR-Qualität wurde nur in etwa einem Drittel der Studien als Limitation thematisiert. Interventionsstudien erfassten Qualitätsparameter deutlich häufiger als Observationsstudien (42,9% vs. 12,4%).

Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass die CPR-Qualität in der aktuellen Studienlage zum OHCA nur unzureichend und nicht standardisiert erfasst wird. Trotz ihrer bekannten Bedeutung für das Patient*innenoutcome wird sie häufig weder systematisch erfasst, noch konsequent als Limitation der Studienvolidität berücksichtigt. Dies stellt eine relevante methodische Schwäche dar, da Unterschiede in der CPR-Qualität als Confounder oder Effektmodifikator die Studienergebnisse beeinflussen können. Zukünftige Studien sollten daher eine standardisierte Erfassung und Veröffentlichung von CPR-Qualitätsparametern implementieren, um die Robustheit wissenschaftlicher Erkenntnisse und die klinische Versorgung nachhaltig zu verbessern.

Abstract

Introduction

The quality of cardiopulmonary resuscitation (CPR) is a key determinant of survival and neurological outcome following out-of-hospital cardiac arrest (OHCA). In addition, it may act as a potential confounder and effect modifier in clinical studies. To standardize data collection, expert recommendations for the assessment of CPR quality parameters have been developed in addition to their mention in established guidelines. The aim of this study was to evaluate to what extent these parameters are assessed, reported, and interpreted in resuscitation studies published in high-impact journals.

Methods

A structured literature review with systematic aspects was conducted using the PubMed/MEDLINE database. Studies on adult out-of-hospital cardiac arrest published between 2010 and 2022 in journals with a journal impact factor (JIF) ≥ 10 were included. The search strategy was based on the MeSH term “out-of-hospital cardiac arrest.” Studies were selected according to predefined inclusion and exclusion criteria and analyzed with regard to the assessment of recommended CPR quality parameters.

Results

Among the included studies, only 24 out of 125 (19.2%) reported the assessment of CPR quality parameters, while 101 studies (80.8%) did not report any such data collection.

Of the 24 studies that assessed CPR quality, only 8 studies (33.3%) reported at least three of the six recommended core parameters, corresponding to 6.4% of all included studies. The remaining 16 studies assessed fewer than half of the core parameters.

Furthermore, substantial heterogeneity was observed regarding the proportion of patients with recorded CPR quality data (3.57% to 100%) and the duration of measurement (ranging from a few minutes to the entire resuscitation period).

CPR quality was mentioned as a limitation in only about one-third of the studies. Interventional studies assessed CPR quality parameters more frequently than observational studies (42.9% vs. 12.4%).

Discussion

The results demonstrate that CPR quality is insufficiently and inconsistently assessed in the current state of OHCA research. Despite its well-established importance for patient outcomes, it is often neither systematically measured nor consistently considered as a limitation affecting study validity. This represents a relevant methodological weakness, as differences in CPR quality may influence study results as confounding or effect-modifying factors. Future studies should implement standardized assessment and reporting of CPR quality parameters to improve the robustness of scientific evidence and to sustainably enhance clinical care.

Inhaltsverzeichnis

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	II
DANKSAGUNGEN	III
ABKÜRZUNGEN UND DEREN ERKLÄRUNG	X
1. EINLEITUNG	1
1.1. BEGRIFFLICHE GRUNDLAGEN DES HERZ-KREISLAUF-STILLSTANDS.....	1
1.2. EPIDEMIOLOGIE	5
1.3. ÄTIOLOGIE UND PATHOGENESE	7
1.4. KLINIK UND SYMPTOME	11
1.5. THERAPIE	13
1.6. BEATMUNGEN, HERZDRUCKMASSAGE UND DEFIBRILLATION	17
1.6.1. BEATMUNGEN	18
1.6.1.1. GESCHICHTE	18
1.6.1.2. DURCHFÜHRUNG	19
1.6.2. HERZDRUCKMASSAGE	19
1.6.2.1. GESCHICHTE	20
1.6.2.2. DURCHFÜHRUNG	21
1.6.3. DEFIBRILLATION	22
1.6.3.1. GESCHICHTE	22
1.6.3.2. DURCHFÜHRUNG	23
1.7. QUALITÄTSMERKMALE IN GROßEN STUDIEN	24
1.8. PROBLEMSTELLUNG, FRAGESTELLUNG UND ZIELSETZUNG	26
2. MATERIAL UND METHODEN.....	29
2.1. DIPLOMARBEITSDSIGN.....	29
2.2. SUCHSTRATEGIE.....	29
2.3. METHODEN.....	30
2.3.1. LITERATURRECHERCHE	30
2.3.2. DATENVERARBEITUNG.....	32
2.3.3. STATISTIK.....	33
2.4. HYPOTHESEN UND ZIELGRÖßEN	33
2.4.1. HAUPTZIELGRÖßEN	34
2.4.2. NEBENZIELPARAMETER.....	34
3. ERGEBNISSE / RESULTATE MIT GRAPHISCHEN DARSTELLUNGEN	36
4. DISKUSSION.....	42
4.1. ANTWORTEN AUF DIE FORSCHUNGSFRAGEN.....	42
4.2. VERGLEICHENDE ERLÄUTERUNGEN	43

4.3.	SCHLUSSFOLGERUNGEN	44
4.4.	STÄRKEN UND LIMITATIONEN	45
4.4.1.	STÄRKEN	45
4.4.2.	LIMITATIONEN	47
4.5.	IMPLIKATIONEN FÜR THEORIE UND PRAXIS.....	49
4.5.1.	THEORIE.....	49
4.5.2.	PRAXIS.....	49
4.6.	AUSBLICK UND ANREGUNGEN FÜR WEITERFÜHRENDE ARBEITEN.....	51
LITERATURVERZEICHNIS.....		54
ANHANG		69

Abkürzungen und deren Erklärung

AHA	American Heart Association
ALS	advanced life support, erweiterte Wiederbelebensmaßnahmen
ARAS	aufsteigendes retikuläres aktivierendes System
ARC	Australian Resuscitation Council
CA	cardiac arrest, Herz-Kreislauf-Stillstand
CPR	cardiopulmonary resuscitation, kardiopulmonale Wiederbelebung
DNR	Patient*in nicht wiederbeleben
DO ₂	Sauerstofftransportangebot
EKG	Elektrokardiogramm
EMS	emergency medical services, Rettungs- und Notfalldienst
ERC	European Resuscitation Council
et al.	et aliae, und andere
FiO ₂	Inspiratorische Sauerstoffkonzentration
GRC	German Resuscitation Council
ICD	implantierbarer Kardioverter-Defibrillator
IHCA	In-hospital cardiac arrest
ILCOR	International Liaison Committee on Resuscitation
JIF	Journal Impact Faktor
MeSH	Medical Subject Headings
OHCA	out-of-hospital cardiac arrest
PCI	perkutane Koronarangiographie
PEA	pulslose elektrische Aktivität
REBOA	Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta, endovaskuläre, aortale Ballonokklusion
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses, Bevorzugte Berichtselemente für systematische Übersichtsarbeiten und Metaanalysen (1)
pVT	pulslose ventrikuläre Tachykardie
ROB	Risk-of-Bias
RCT	randomized controlled trials, randomisierte kontrollierte Studien
ROSC	Wiedererlangen eines Spontankreislaufs
SCA	sudden cardiac arrest, plötzlicher Herz-Kreislauf-Stillstand

SCD	sudden cardiac death, plötzlicher Herztod
SHT	Schädel-Hirn-Trauma
TCA	traumatic cardiac arrest, traumatisch bedingter Herz-Kreislauf-Stillstand
VO ₂	Sauerstoffverbrauch
z.B.:	zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: SYMBOLISCHE DARSTELLUNG DER DRUCKVERHÄLTNISSE IN AORTA UND LINKEN VENTRIKEL MIT EINFLUSS AUF DIE ORGAN- UND MYOKARDIALE PERFUSION (NACH HARRIS ET AL.)	4
ABBILDUNG 2: GEGENÜBERSTELLUNG DER 4 ELEKTROKARDIOGRAFISCH ZU UNTERSCHIEDENDEN REANIMATIONSALGORITHMEN	9
ABBILDUNG 3: HOCH-QUALITATIVE CPR (VOM AMERIKANISCHEN ROTEN KREUZ)	14
ABBILDUNG 4: ERWEITERTE WIEDERBELEBUNGSMAßNAHMEN, LEITLINIE DER ERC 2021 (GRC-VERSION)	16
ABBILDUNG 5: EINFLUSS DER THORAXKOMPRESSIONRATE AUF DAS ÜBERLEBEN BIS KRANKENHAUSENTLASSUNG (LINKS, NACH HARRIS ET AL.)	21
ABBILDUNG 6: EINFLUSS DER THORAXKOMPRESSIONSTIEFE AUF DAS ÜBERLEBEN BIS KRANKENHAUSENTLASSUNG (RECHTS, NACH HARRIS ET AL.)	21
ABBILDUNG 7: EINFLUSS VON PAUSEN AUF DAS PATIENT*INNENOUTCOME (NACH HARRIS ET AL.)	24
ABBILDUNG 8: EMPFOHLENE QUALITÄTSPARAMETER (NACH KRAMER-JOHANSEN ET AL.)	26
ABBILDUNG 9: PRISMA-FLUSSDIAGRAMM DER STUDIENSELEKTION	36

Tabellenverzeichnis

DIAGRAMM 1: TORTENDIAGRAMM HINSICHTLICH ERFASSTER CPR-QUALITÄT 38

DIAGRAMM 2: TORTENDIAGRAMM HINSICHTLICH DER ERFASSUNG VON DREI ODER MEHR EMPFOHLENE
KERNPARAMETERN 39

DIAGRAMM 3: TORTENDIAGRAMM HINSICHTLICH DER ERWÄHNUNG DER CPR-QUALITÄT ALS STUDIENLIMITATION . 40

DIAGRAMM 4: TORTENDIAGRAMM HINSICHTLICH DER ERWÄHNUNG DER CPR-QUALITÄT ALS STUDIENLIMITATION,
GEGENÜBERSTELLUNG ZWISCHEN STUDIEN MIT UND OHNE QUALITÄTSPARAMETERERFASSUNG 41

1. Einleitung

1.1. Begriffliche Grundlagen des Herz-Kreislauf-Stillstands

Ein Herz-Kreislauf-Stillstand ist der Ausfall einer effektiven mechanischen Herzfunktion mit konsekutivem Zusammenbruch der systemischen Zirkulation. In der Folge bricht die zerebrale Perfusion zusammen, was innerhalb von Sekunden zu einer Hypoxie des neuronalen Gewebes mit Funktionsverlust führt. Dies äußert sich klinisch rasch in einem Bewusstseinsverlust und Atemstillstand. Ohne umgehende Interventionen drohen irreversible Hirnschäden, multiples Organversagen und das Versterben. Aufgrund der geringen Ischämietoleranz des zentralen Nervensystems ist eine sofortige Wiederherstellung der Kreislauffunktion entscheidend, um das Gewebe rasch wieder mit ausreichend Sauerstoff zu versorgen, lebenswichtige Funktionen zu erhalten und den irreversiblen Gewebsuntergang bestmöglich zu verhindern (2).

Beim Verdacht auf das Vorliegen eines Herz-Kreislauf-Stillstandes erfolgt die Beurteilung je nach Ausbildungsstand unterschiedlich. Medizinische Laie*innen und Rettungssanitäter*innen in Österreich beurteilen aufgrund der Schwierigkeit und der interindividuellen Varianz der Pulsdiagnostik hierbei primär die Atmung, um einen Herz-Kreislauf-Stillstand zu erkennen (3). Dies stützt sich auf die Grundlage, dass bei fehlendem oder agonalem Atemmuster ohne gesetzte Interventionen ein Kreislaufversagen eine nächste, unausweichliche Konsequenz darstellt. Medizinisches Fachpersonal hingegen orientiert sich zusätzlich an der fehlenden Tastbarkeit des Karotispulses, um den Verdacht zu bestätigen und die Diagnose des Herz-Kreislauf-Stillstandes von der eines Atemstillstands zu differenzieren (4).

Herz-Kreislauf-Stillstände lassen sich nach verschiedenen Aspekten kategorisieren. Eine altersbezogene Einteilung unterscheidet zwischen dem neonatalen, unmittelbar nach der Geburt als Folge einer postpartalen Adaptionsstörung, dem pädiatrischen, welcher den Zeitraum zwischen erfolgter postpartaler Adaption und dem Auftreten von Pubertätszeichen umspannt, und dem adulten, ab der Pubertät eingetretenen, Herz-Kreislauf-Stillstand (4-6). Ätiologisch erfolgt die Differenzierung

primär zwischen atraumatisch und traumatisch bedingten Ursachen. Darüber hinaus kann die Ursache weiter unterteilt werden in arrhythmogene versus non-arrhythmogene sowie in kardiale gegenüber non-kardialen Auslösern. Diese Kategorisierungen sind wesentlich für die Auswahl des jeweils anzuwendenden Reanimationsalgorithmus und haben direkten Einfluss auf die initialen Behandlungsstrategien bis zum Eintreten eines wiederkehrenden Spontankreislaufs (4, 7).

Ein weiterer zentraler Aspekt in der Klassifikation von Herz-Kreislauf-Stillständen ist der Ort des Ereignisses. Grundsätzlich kann man zwischen dem intrahospitalen Herz-Kreislauf-Stillstand (In-Hospital Cardiac Arrest, IHCA) in Gesundheitseinrichtungen und dem außerklinischen Herz-Kreislauf-Stillstand (Out-of-Hospital Cardiac Arrest, OHCA) unterscheiden (4, 7, 8). Diese beiden Formen unterscheiden sich in mehreren wesentlichen Punkten, insbesondere hinsichtlich der Ausgangsbedingungen und der prognostischen Faktoren. Beim OHCA spielen Aspekte wie das frühzeitige Erkennen des Stillstands, häufig durch medizinische Laien*innen, die sofortige Alarmierung des Rettungsdienstes, die Durchführung von Laien*innenreanimation sowie die strukturierte Rettungskette bis hin zur Auswahl eines geeigneten Zielkrankenhauses eine entscheidende Rolle für das Patient*innen-Outcome. Im Gegensatz dazu kann beim IHCA meist auf eine unmittelbare medizinische Versorgung durch fachlich geschultes Personal und die vorhandene technische Infrastruktur zurückgegriffen werden (3, 4, 7-10).

Als weitere fundamentale Begriffe im Bereich der Reanimatologie gelten der „Sudden Cardiac Arrest“ (SCA) und der „Sudden Cardiac Death“ (SCD). Der plötzliche Herztod (SCD) liegt definitionsgemäß vor, wenn eine Person unerwartet innerhalb einer Stunde nach Symptombeginn oder innerhalb von 24 Stunden nach dem letzten symptomfreien Zustand aufgrund einer vermuteten kardialen Ursache verstirbt. Davon abzugrenzen ist der Sudden Cardiac Arrest (SCA), bei dem ein mutmaßlich kardialer Herz-Kreislauf-Stillstand eintritt, der jedoch potenziell durch sofortige Wiederbelebensmaßnahmen, wie Herzdruckmassage, Defibrillation und Beatmung, potenziell reversibel ist. In diesem Zustand besteht gegebenenfalls die

Möglichkeit, die Herzfunktion wiederherzustellen und den sonst unausweichlichen Tod zu verhindern (11).

Bei der Einteilung von Herz-Kreislauf-Stillständen wird häufig der traumatisch bedingte Herz-Kreislauf-Stillstand (TCA) als eigene Krankheitsentität betrachtet. Dieser Umstand kommt daher, dass der Ursachenkreis für den Herz-Kreislauf-Stillstand im Vergleich zu internistisch-neurologisch bedingten Krankheitsbildern eingeschränkt ist. Zusätzlich weicht der Behandlungsalgorithmus teilweise deutlich von jenem des Standard-ALS-Protokolls ab und erfordert die Durchführung spezifischer traumabezogener Interventionen (7).

Die kardiopulmonale Reanimation (CPR, cardiopulmonary resuscitation) stellt den zentralen therapeutischen Grundpfeiler bei Herz-Kreislauf-Stillständen dar. Ziel der CPR ist es, während der no-flow-Phase, dem völligen Ausfall der Spontanzirkulation, durch externe Maßnahmen eine sogenannte low-flow-Phase zu erzeugen, in der zumindest ein minimales Maß an Blutzirkulation mit zerebraler Perfusion sichergestellt wird (3, 4).

Im engeren Sinne umfasst CPR zwei Hauptkomponenten: die Herzdruckmassage und die Beatmung (3, 4). Bei der Herzdruckmassage wird das Herz durch rhythmische Kompressionen des Thorax von außen mechanisch komprimiert, wodurch Blut ausgeworfen und ein geringer Perfusionsdruck erzeugt wird. Diese Maßnahme ist allerdings deutlich weniger effektiv als der physiologische Auswurf durch die eigene Herzaktivität, unter anderem in Tiermodellen nachgewiesen (12). In Abbildung 1 wird der Einfluss von externen Thoraxkompressionen auf die Druckverhältnisse in Aorta und linken Ventrikel und ihren Einfluss auf Organ und myokardiale Perfusion visualisiert (13). Die vollständige Entlastung zwischen den Kompressionen ermöglicht die Ausbildung einer diastolischen Herzphase und hat direkten Einfluss auf die Blutversorgung des linken Ventrikels. Zusätzlich beeinflusst sie über die venöse Rückstromsteigerung die kardiale Vorlast und den damit durch Thoraxkompressionen erzeugbaren Auswurf (13, 14).

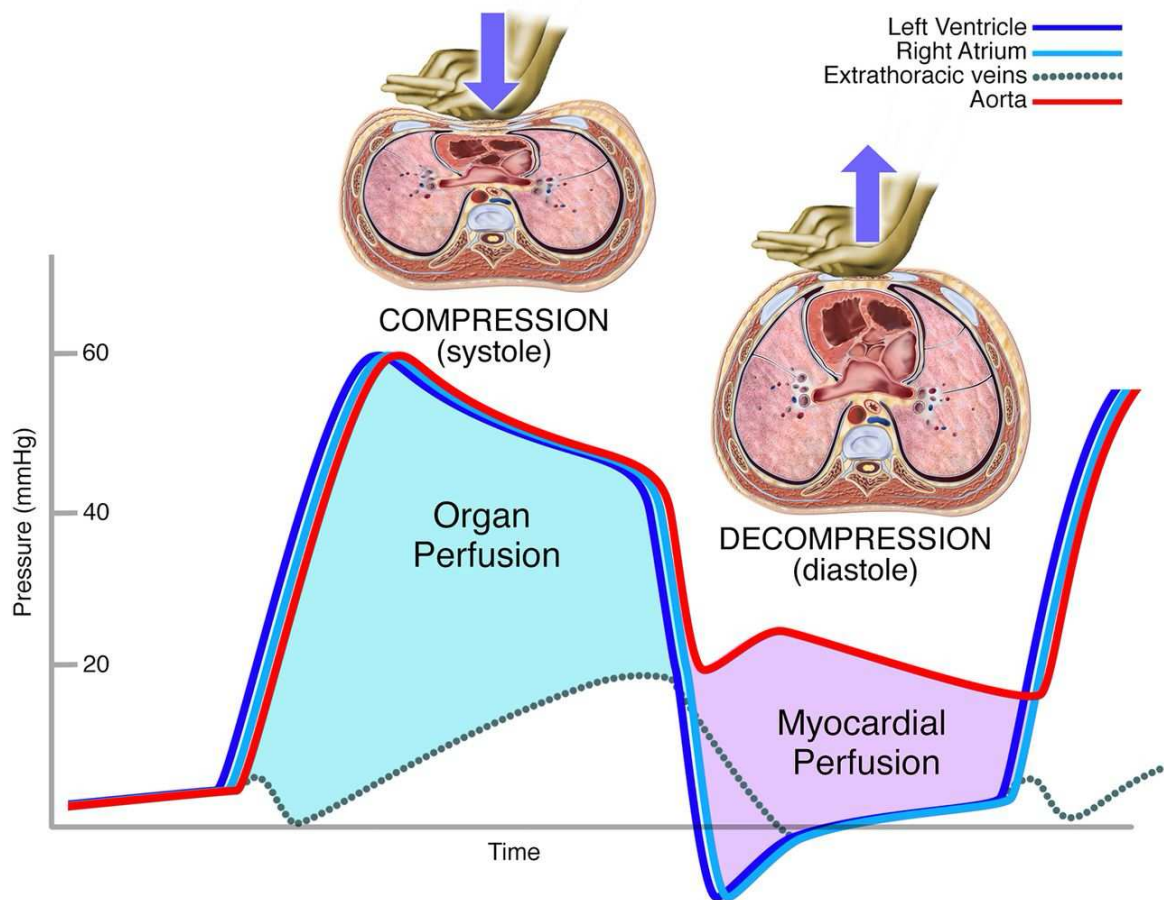


Abbildung 1: symbolische Darstellung der Druckverhältnisse in Aorta und linken Ventrikel mit Einfluss auf die Organ- und myokardiale Perfusion (nach Harris et al.)

Die zweite Säule der CPR ist die Beatmung. Bei Laie*innenreanimation oder fehlender Ausrüstung erfolgt diese oft als Mund-zu-Mund- oder, insbesondere bei Säuglingen und Kleinkindern, als Mund-zu-Nase-Beatmung (3, 6). Dabei wird die Ausatemluft des Retters, die noch etwa 16–17 % Sauerstoff enthält, in die Lunge des Patienten eingebracht. Der inspiratorische Sauerstoffanteil (FiO_2), der Prozentsatz an Sauerstoff in der Einatemluft, ist hierbei jedoch geringer als bei der Spontanatmung oder der maschinellen Beatmung (15). Sollten Laie*innen nicht in Mund-zu-Mund-Beatmungen trainiert sein, oder diese nicht durchführen wollen oder können, soll bis zum Eintreffen des Rettungsdienstes eine chest-compression-only CPR ausgeführt werden (3).

Bei professioneller Reanimation, etwa durch den Rettungsdienst oder im Krankenhaus kommt bevorzugt ein Beatmungsbeutel mit Reservoir und

Sauerstoffanschluss zum Einsatz, wodurch deutlich höhere FiO_2 -Werte erreicht werden können (16).

Neben der Aufrechterhaltung eines minimalen Kreislaufs (low-flow-Zustand) und der Oxygenierung des Blutes, trägt die Kombination aus Herzdruckmassage und Beatmungen dazu bei, die Effektivität von Therapiemaßnahmen wie Defibrillationen oder die Wirksamkeit von Medikamenten, zu erhöhen. Dadurch kommt der CPR neben dem Verzögern von zunehmender Organschädigung auch ein weiterer, additiv positiver Effekt für den Therapieerfolg durch Erzielen eines ROSCs zu (17-19).

Die Qualität der Wiederbelebensmaßnahmen stellt für den Erfolg einer Reanimation einen entscheidenden Faktor dar. Wegen des Einflusses auf das Patient*innenoutcome findet die CPR-Qualität aufgrund von Studienergebnissen auch Einzug in aktuelle Wiederbelebensleitlinien (4, 17, 19).

1.2. Epidemiologie

Grundlage für die Datenerhebung im Bereich der Herz-Kreislauf-Stillstandsforschung bietet der erstmals 1991 veröffentlichte „Utstein-Style“, ein festgelegter Standard einer Task Force, zusammengeslossen aus großen Wiederbelebensorganisationen weltweit, darunter die amerikanische „American Heart Association, (AHA)“, der europäische „European Resuscitation Council, (ERC)“, die „Heart and Stroke Foundation“ in Kanada, sowie der australischen „Australian Resuscitation Council, (ARC)“. Dieser Dokumentationsstandard wird seit seiner Veröffentlichung durch die „International Liaison Committee on Resuscitation, (ILCOR)“, welche auf der Grundlage der Zusammenarbeit im Rahmen der Utstein-Kriterien etabliert wurde, regelmäßig überarbeitet, zuletzt 2024 (20-22).

Die Epidemiologie des IHCA wird in dieser Arbeit, welche den Fokus auf den OHCA legt, ergänzend angeschnitten:

Eine genaue IHCA-Inzidenz ist schwierig zu erheben, da Studien oft an einem Zentrum stattfinden und damit nur eingeschränkt generalisierbar sind, es

international unterschiedliche Ansätze in Bezug auf do-not-resuscitate (DNR) oder Definitionsprobleme, ob zum Beispiel Kammerflimmern während einer Koronarangiographie (PCI) als IHCA zu werten ist, bestehen. Inzidenzen in Europa variieren zwischen 1,5 und 2,8 IHCA pro 1 000 Krankenhausaufnahmen. Das Wiedererlangen des Kreislaufes, ROSC, gelingt in etwa 36%-54%, das 1-Jahres-Überleben liegt bei 13,4%, Patient*innen mit kardialer Arrestursache weisen im Durchschnitt eine bessere Prognose auf (8, 23).

Die genaue Inzidenz des OHCA ist bislang nur eingeschränkt vergleichbar. Regionale Unterschiede in Bezug auf eine Etablierung der kardiopulmonalen Reanimation führen zu einer dichotomen Einteilbarkeit von OHCA, jene bei denen die Wiederbelebung etabliert wurde und jene, wo es zu keinen Wiederbelebungsversuchen gekommen ist. Dieser Umstand führt zu einer inhomogenen Datenlage mit der Gefahr des Unterschätzens der wahren Inzidenz des OHCA (8).

Auch auf europäischer Ebene zeigen sich teils große regionale Unterschiede in Bezug auf die Inzidenz OHCA, sowie eingeleitete Reanimationsmaßnahmen. Die als Projekte des ERCs gelaufene „EuReCa“-Studien dienen bis dato als umfassende Grundlage zum Abschätzen europaweiter epidemiologischer Gesichtspunkte der OHCA-Forschung. „EuReCa One“ wurde multizentrisch in 27 Ländern über einen Monat durchgeführt; von 10 682 bestätigten OHCA wurden in etwa zwei Drittel der Fälle eine CPR etabliert, in einem Viertel der Fälle wurde ein ROSC bei Krankenseintreffen erreicht, jede*r zehnte Patient*in überlebte 30 Tage oder bis Krankenseintlassung (welcher Umstand früher eintrifft). Die Inzidenz von CPR variierte zwischen 19 und 104 pro 100 000 Einwohner*innen. Bei „EuReCa Two“ wurde der Datenerhebungszeitraum auf drei Monate ausgeweitet, bei 37 054 Patient*innen variierte die Rate von Laie*innen-CPR zwischen 13% und 82% zwischen unterschiedlichen Ländern. Das Überleben bis Krankenseintlassung war bei Laie*innen-CPR besser, wenn Beatmungen zur Herzdruckmassage ergänzend durchgeführt wurden, 14% zu 8% (24, 25).

Die globale Datenlage hinsichtlich des Auftretens von außerklinischen Herz-Kreislauf-Stillständen (OHCA) gestaltet sich nach wie vor als schwer zugänglich und heterogen. Ein umfassender systematischer Review von Berdowski et al., der 178 440 OHCA analysierte, zeigt teils erhebliche Unterschiede in der Inzidenz zwischen den verschiedenen Kontinenten. In Asien lag die Inzidenz von OHCA mit Einbindung des Rettungsdienstes, dem EMS, bei 52,5 pro 100 000 Einwohner*innen und damit deutlich unter den Werten anderer Kontinente, etwa Nordamerika (98,1) und Australien (112,9). Auch hinsichtlich der vermuteten kardialen Genese bestehen interkontinentale Unterschiede: In Nordamerika wurde in 54,6 % der Fälle eine kardiale Ursache angenommen, in Asien nur in 28,3 % und in Australien in 44,0 %. Die Häufigkeit von OHCA mit dokumentiertem Kammerflimmern variiert ebenfalls erheblich. So lag die Inzidenz in Asien bei lediglich 3,2 pro 100 000 Einwohner*innen, während in Australien, Europa und Nordamerika deutlich höhere Werte verzeichnet wurden (14,9; 12,8 bzw. 14,0 pro 100 000 Einwohner*innen) (26).

1.3. Ätiologie und Pathogenese

Je nach Altersgruppe unterscheiden sich die Häufigkeiten der Ursachen für den Herz-Kreislauf-Stillstand, Neugeborene und Kinder werden ergänzend in dieser Arbeit angeführt:

Im Bereich der Neugeborenenversorgung wird oftmals von Adaptionstörungen im Zuge der Kreislaufumstellung unmittelbar postpartal gesprochen. Diese Störungen bei der Umstellung im Zuge der Anpassung an die neue Lebenssituation lassen sich in maternale, kindliche und peripartale Faktoren einteilen. Auf Seite der maternalen Ursachen stehen Infektionen, schwere Grund- und Begleiterkrankungen oder Schwangerschaftskomplikationen wie (Prae-)Eklampsie oder HELLP-Syndrom, auf kindlicher Seite Fehlbildungen, Übertragungen oder Frühgeburtlichkeit mit mangelnder Reife, weiters auch kindliche Infekte. Unter der Geburt können Komplikationen wie Schulterdystokie, vorzeitige Plazentalösung oder auch geburtsunmögliche Lagen zu Adaptionsproblemen bis zur Reanimationspflicht führen (27). Bei kindlichem Herz-Kreislauf-Stillstand sind respiratorische Probleme wie Infektion, Atemwegsverlegungen, Ertrinken oder Asthma, der überwiegende

Auslöser. Weitere Ursachen stellen Traumata, Intoxikationen oder primär nicht-respiratorische Infektionen wie Meningitiden dar. Kardiale Ursachen sind insgesamt seltener und sind häufig auf angeborene strukturelle oder elektrisch-arrhythmogene Krankheitsbilder zurückzuführen (28, 29).

Im Setting des adulten Herz-Kreislauf-Stillstands, welcher das Hauptthema dieser Arbeit darstellt, lassen sich die Ursachen primär in kardiale und extrakardiale Ursachen einteilen. Zu den kardialen Ursachen zählen unter anderem ischämisch bedingte Herzschädigung, Arrhythmiesyndrome und Channelopathien wie das Wolff-Parkinson-White-Syndrom oder das Brugada-Syndrom, sowie die Gruppe der Kardiomyopathien. Extrakardiale Ursachen stellen weiters beispielsweise starke Blutungen jeglicher Art, traumatisch bedingte Verletzungen, Asphyxie und Hypoxie, Hypothermie, Intoxikationen oder Malignom-bedingt dar. Bei nicht sicher festzustellender Arrestursache wird bei Erwachsenen oftmals vorbehaltlich aufgrund der hohen kardialen Vortestwahrscheinlichkeit von einer herzassoziierten Arrestursache ausgegangen (2, 4, 8, 25).

Pathogenetisch lassen sich zwei verschiedene Zweige des Herz-Kreislauf-Stillstands unterscheiden:

Beim ersten Zweig liegen maligne Arrhythmien vor, bei denen die physiologisch geordneten Abläufe aus Systole mit Anspannungs- und Austreibungsphase und Diastole mit Erschlaffungs- und Füllungsphase aus dem Gleichgewicht gebracht werden. Diese Arrhythmien werden häufig durch das Einfallen von Extrasystolen in die vulnerable Phase des Kammermyokards ausgelöst, bei denen Teile des Myokards erregbar, andere jedoch refraktär sind, elektrokardiographisch als R auf T-Phänomen ersichtlich. Hierdurch können kreisende, nicht selbstlimitierende Erregungsströme über das Kammermyokard ausgelöst werden, mit dem Zusammenbruch des physiologischen Reizbildungs- und Reizleitungssystems. Es liegen sowohl eine systolische und diastolische Dysfunktion vor, bei der zum einen die Füllung der Ventrikel aufgrund der fehlenden globalventrikulären Entspannung gehemmt wird, zum anderen aufgrund der unkoordinierten Muskelkontraktionen kein gerichteter Volumenstrom in Richtung des linksventrikulären Ausflusstrakts

zustande kommt. Zu dieser Form zählen das Kammerflimmern und die pulslose ventrikuläre Tachykardie (pVT) (2, 30).

Im nicht-schockbaren Zweig des Herz-Kreislauf-Stillstandes werden zwei verschiedene Entitäten unterschieden. Die pulslose elektrische Aktivität (PEA) ist gekennzeichnet durch das Auftreten von elektrischer Erregung, welche mittels EKGs dargestellt werden kann (als Ausnahmen zählen die schockbaren Rhythmen), diese jedoch nicht mit ausreichender zerebraler Perfusion und ohne palpabel feststellbaren Puls und fehlender Atmung einhergeht. Als Unterformen der pulslosen elektrischen Aktivität bestehen die komplette elektromechanische Entkoppelung, bei der elektrische Aktivität nicht zu einer mechanischen Reaktion führt, sowie die „Pseudo-PEA“, bei der die mechanische Antwort zu gering ist, um einen Puls und eine ausreichende zerebrale Perfusion zu erzeugen, gegebenenfalls auch als schwerster Schock anzusehen. Die Asystolie ist gekennzeichnet durch das vollständige Fehlen von elektrischer und mechanischer Aktivität, ersichtlich durch eine ausschlagsfreie Nulllinie im EKG (2, 31, 32).

Die 4 grundsätzlich elektrokardiografisch zu unterscheidenden Reanimationsalgorithmen sind unten grafisch dargestellt (33).

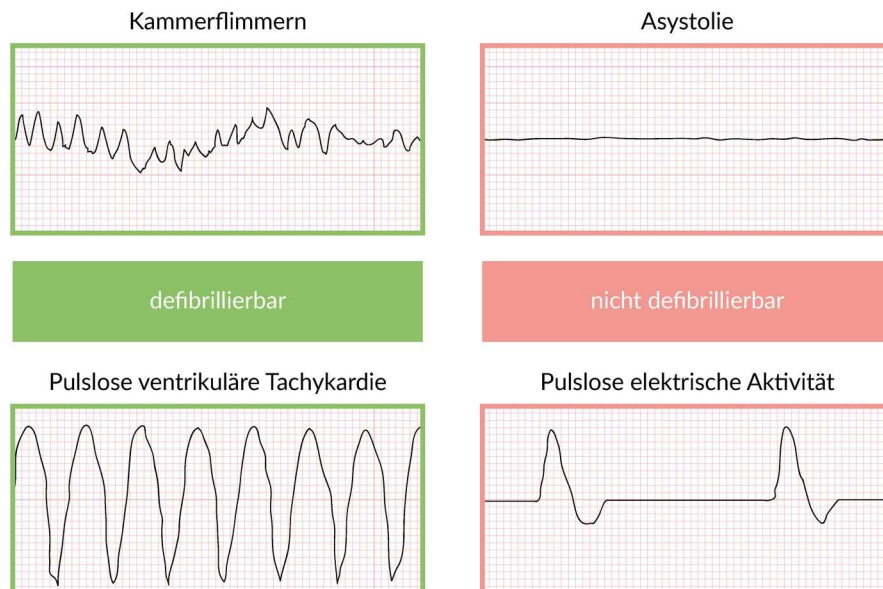


Abbildung 2: Gegenüberstellung der 4 elektrokardiografisch zu unterscheidenden Reanimationsalgorithmen

Im Rahmen der Akutversorgung eines Herz-Kreislauf-Stillstands, insbesondere im präklinischen Setting eines außerklinischen Herz-Kreislauf-Stillstands (OHCA), gestaltet sich die Situationsbewältigung für die*den Reanimationsteamleader*in in Österreich häufig als äußerst komplex. In diesen Szenarien ist meist nur ein*e Ärztin*Arzt vor Ort, die*der für die Durchführung sämtlicher Interventionen sowie für die Einhaltung eines leitliniengerechten Reanimationsablaufs, einschließlich zeitabhängiger Maßnahmen wie Rhythmusanalysen, Koordination von Wechseln des Herzdruckmassagedurchführenden oder Medikamentengaben verantwortlich ist. Dies erfordert ein hohes Maß an klinischer Erfahrung, Multitaskingfähigkeit und kognitiver Flexibilität. Zudem ist das Team samt Ausbildungen und Fähigkeiten nicht bekannt und Kommunikationskonzepte und vorab-Rollenverteilungen häufig nicht festlegbar (4).

Um in dieser hochdynamischen Notfallsituation rasch eine differenzialdiagnostische Einschätzung möglicher reversibler Ursachen, mit anschließender individuell zugeschnittener Therapie vornehmen zu können, werden häufig Mnemotechniken verwendet. Als bewährtes Hilfsmittel haben sich dabei die sogenannten „4 Hs und 4 HITS“ etabliert, siehe auch Abbildung 4. Diese stehen für potenziell behandelbare Ursachen eines Kreislaufstillstands (4):

Die 4 „Hs“ umfassen:

- Hypoxie
- Hypovolämie
- Hypo- bzw. Hyperthermie
- Hypo- bzw. Hyperkaliämie (einschließlich schwerer Blutzuckerentgleisungen und weiterer Elektrolytstörungen)

Die 4 „HITS“ beinhalten:

- Herzbeuteltamponade
- Intoxikationen
- Thromboembolische Ereignisse (hervorzuheben insbesondere Myokardinfarkt und Lungenembolie)
- Spannungspneumothorax

Ergänzend zu erwähnen gilt, dass im englischsprachigen Raum die 4 Punkte der HITS durch die 4 Ts ersetzt werden, diese stehen jedoch für dieselben 4 potenziell

reversiblen Krankheitsentitäten (34). Diese Akronyme dienen dem Reanimationsteam als kognitive Gedächtnisstütze, um in der hochbelastenden Akutsituation keine potenziell reversiblen Ursachen zu übersehen. So kann, ergänzend zum standardisierten ALS-Algorithmus, eine gezielte, strukturierte und ursachenorientierte Therapie eingeleitet werden, um die Überlebenschancen der Patient*innen zu verbessern (35).

Auf die Ursachen des traumatischen Herz-Kreislauf-Stillstandes wird in dieser Arbeit nur überblicksartig eingegangen. Bei traumatisch bedingten Herz-Kreislauf-Stillständen wird der Umfang der potenziell reversiblen Ursachen im Vergleich nicht-traumatischer Stillstände eingegrenzt. Hierzu zählen auf Seiten der „Hs“ die Hypoxie, ausgelöst beispielsweise durch eine Atemwegsverlegung oder eine traumatisch bedingte Schädigung des Atemzentrums im Hirnstamm, sowie die Hypovolämie infolge traumabedingter externer oder interner Blutungen. Weitere relevante Ursachen sind auf Seite der „HITS“ die Herzbeuteltamponade durch Einblutungen in das Perikard mit konsekutiver Kompression und Funktionseinschränkung des Herzens sowie der traumatisch bedingte Spannungspneumothorax oder Hämatothorax mit akutem Druckanstieg im Thoraxraum (7).

1.4. Klinik und Symptome

Zur Beschreibung des sequenziellen Ablaufs der Symptome ist eine klare Abgrenzung von primären, kardialen Ursachen für einen Herz-Kreislauf-Stillstand von sekundären Ursachen essenziell (36).

Primär kardiale Herz-Kreislauf-Stillstände resultieren aus einer kardiogenen Ursache, die zu einer abrupten zerebralen Minderperfusion führt. Hierzu zählen beispielsweise maligne Arrhythmien oder ein primäres Pumpversagen. Das erste klinische Zeichen ist in der Regel das Fehlen eines tastbaren Karotispulses, was auf den Verlust einer suffizienten Kreislauffunktion hinweist. Aufgrund der geringen Ischämietoleranz des zerebralen Gewebes tritt innerhalb von vier bis zehn Sekunden ein vollständiger Bewusstseinsverlust ein. Dieser wird durch die Hypoxie im aufsteigenden retikulären aktivierenden System (ARAS) der *Formatio reticularis*

im Hirnstamm verursacht und geht mit einer fehlenden Reaktion auf äußere Reize einher (37, 38). In weiterer Folge kommt es infolge des zellulären Energieversagens zum Funktionsverlust des Atemzentrums, das sich überwiegend in der Medulla oblongata befindet, was zum Ausfall einer suffizienten Spontanatmung führt (37). Klinisch manifestieren sich häufig primär agonale, ineffektive Atemanstrengungen, welche rasch in den vollständigen Ausfall der Atembemühungen degenerieren (39).

Bei sekundären, nicht-kardialen Ursachen des Herz-Kreislauf-Stillstands ist oftmals eine Hypoxämie, etwa infolge einer Atemwegsverlegung oder Intoxikation, der auslösende Faktor (36). Bei diesen Formen des Kreislaufstillstands kann der Funktionsverlust lebenswichtiger Vitalparameter wie Bewusstsein und Atmung bereits vor dem eigentlichen Zusammenbruch des Herz-Kreislauf-Systems eintreten. So ist beispielsweise beim schweren Schädel-Hirn-Trauma (SHT) das Bewusstsein typischerweise die erste verlorene Vitalfunktion. Der Ausfall der Spontanatmung folgt entweder unmittelbar oder verzögert, bedingt durch eine Funktionsstörung des Atemzentrums oder eine traumatisch bzw. vigilanzbedingte Obstruktion der Atemwege. Erst in weiterer Folge tritt das Versagen des Herz-Kreislauf-Systems ein (7). Ein vergleichbares klinisches Bild zeigt sich bei intoxikationsassoziierten Kreislaufstillständen. Zentralsedierende Substanzen können zu einem Verlust von Bewusstsein und Atmung führen, während das Herz-Kreislauf-System initial unbeeinträchtigt bleibt. Bleibt eine Intervention zur Atemwegssicherung aus und persistiert die Apnoe durch fehlende Beatmungsbemühungen, resultiert sekundär ein Herz-Kreislauf-Stillstand infolge prolongierter Hypoxie (40).

Neben den drei diagnostisch zentralen Kardinalsymptomen des Herz-Kreislauf-Stillstands – dem plötzlichen Bewusstseinsverlust, dem Fehlen einer suffizienten Spontanatmung (agonale Atmung bis Atemstillstand) sowie dem Ausbleiben eines tastbaren Pulses an der Arteria carotis – können eine Reihe weiterer klinischer Zeichen beobachtet werden, die pathophysiologisch aus dem abrupten Verlust zentraler neuronaler Steuerungsmechanismen sowie der zerebralen Hypoxie resultieren. Im Laufe von Reanimationen kann es durch externe Thoraxkompressionen in Kombination mit der zentralnervösen Ausschaltung der

ösophagealen Sphinkterkontrolle zu einer Regurgitation von Mageninhalt kommen. Diese geht mit einem erheblichen Risiko einer Aspiration einher, insbesondere da Schutzreflexe des oberen Atemtrakts (z. B. Hustenreflex, Schluckreflex) bereits erloschen sind. In vielen Fällen ist zudem ein kollabierter Pharynx zu beobachten, verursacht durch den vollständigen Verlust des Muskeltonus der pharyngealen Muskulatur, mit Verlegung des Atemwegs (41, 42). Ein frühes Zeichen zerebraler Hypoxie sind häufig krampfartige, myokloniforme oder tonisch-klonische Bewegungen, die klinisch mit epileptischen Anfällen verwechselt werden können. Diese motorischen Entäußerungen sind in der Regel von kurzer Dauer und gehen rasch in einen Zustand völliger Areflexie und generalisierter muskulärer Schlaffheit über (43). Im Verlauf des Kreislaufstillstands kommt es infolge des Funktionsverlusts des dritten Hirnnervs (Nervus oculomotorius) vielfach zur Entwicklung einer bilateralen Mydriasis. Diese ist typischerweise lichtstarr und reflektiert den zunehmenden Ausfall der Mittelhirnfunktion (44). Auch die Haut kann deutliche äußere Zeichen des zirkulatorischen und respiratorischen Versagens aufweisen. Sie erscheint initial blass und kühl durch die zentrale Blutumverteilung und den peripheren Vasokonstriktionsreflex. Im weiteren Verlauf entstehen typische Marmorierungsmuster durch lokale Mikrozirkulationsstörungen sowie eine zunehmende zyanotische bis livide Verfärbung, insbesondere an den Akren (45). Durch den Wegfall zentraler neuronaler Kontrolle kommt es schließlich auch zur Enthemmung vegetativer Reflexe. Die Sphinktere der Harn- und Darmentleerung können in der Folge erschlaffen, was zu einem unwillkürlichen Abgang von Urin (Harninkontinenz) und Stuhl (Stuhlinkontinenz) führen kann (46).

1.5. Therapie

Als Grundlage des Reanimationsalgorithmus gilt das Zusammenspiel suffizient durchgeführter Thoraxkompressionen und einer adäquaten Sauerstoffbereitstellung durch Beatmungen. Diese Basismaßnahmen der Wiederbelebung ermöglichen den Übergang von einer No-Flow-Phase in eine Low-Flow-Phase des Kreislaufs und gewährleisten bei Effektivität zumindest eine minimale Organperfusion. Dadurch wird die Zeitspanne bis zum Eintritt irreversibler Gewebeschäden, insbesondere im zentralen Nervensystem, verlängert und somit der Zeitraum vergrößert, in dem

ursachenorientierte, reversible Maßnahmen eingeleitet werden können. Weitere Details zu Herzdruckmassage und Beatmung werden in Kapitel 1.6 gesondert und ausführlich erläutert (3).

Neben der Durchführung der Wiederbelebensmaßnahmen nimmt auch die Qualität der Wiederbelebensmaßnahmen eine entscheidende Rolle für den Gesamterfolg einer Reanimation ein (4, 19). Beispielsweise kann eine Minimierung von Pausen während der Defibrillation das Patient*innenoutcome signifikant verbessern (17). Abbildung 3 zeigt zentrale Qualitätsparameter der CPR für eine hochqualitative Reanimation. Beschrieben werden die richtige Rate zwischen 100 und 120 Kompressionen pro Minute, eine Tiefe von zumindest 5 cm, vollständige Entlastungen, das Minimieren von Pausen und das Vermeiden Hyperventilation (47).

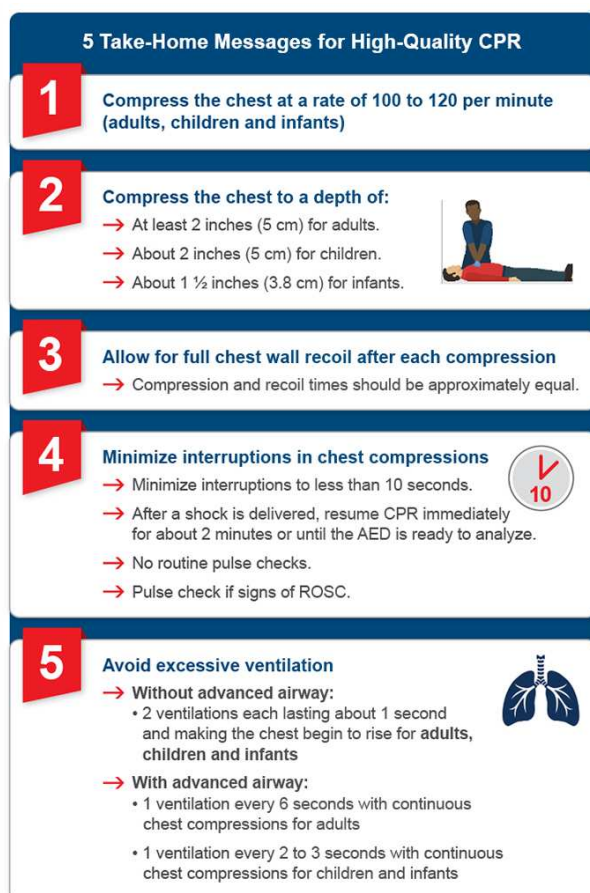


Abbildung 3: Hoch-qualitative CPR (vom amerikanischen Roten Kreuz)

Für die Behandlung von Herz-Kreislauf-Stillständen wurden international gültige Guidelines festgelegt (4, 34). Wie bereits in Kapitel 1.3 Ätiologie und Pathogenese

angeführt, ist für das Einschlagen der Therapie die Unterscheidung zwischen schockbaren vom nicht-schockbaren Zweig essenziell: Als wichtigste Therapieoption für arrhythmogene Reanimationssituationen gilt das Durchführen einer raschen, effektiv durchgeführten Defibrillation. Bei Einsatz von manuellen Defibrillatoren sollte die peri-Schock-Pause möglichst minimiert werden und die Analyse und Schockdurchführung durch klare Anweisungen angeleitet werden; die Sicherheit aller beteiligten Personen muss jederzeit gewährleistet sein. Als gängigste Elektrodenpositionen gelten sternal-apikal und anterior-posterior, bei implantierten Geräten wie Herzschrittmachern und ICDs ist ein Mindestabstand von 8 cm zu berücksichtigen. Bei schockrefraktärem Kammerflimmern kann eine Umpositionierung der Elektroden sinnvoll sein, um die Effektivität der Schockabgabe zu verbessern. Die Defibrillation sollte, wenn möglich, mit biphasischen Geräten erfolgen. Die initiale Energie beträgt mindestens 150 Joule; bei weiteren Schocks kann eine schrittweise Energieerhöhung erforderlich sein. Rhythmusanalysen und indizierte Schockabgaben sollen im Regelfall in einem Zwei-Minuten-Intervall durchgeführt werden. Ab dem dritten Schock sollte die Effektivität der Schockabgabe durch die Medikamente Adrenalin, Amiodaron oder Lidocain unterstützt werden. Bei beobachteten Stillständen mit präkonnektierten Defibrillationselektroden kann eine 3-Schock-Strategie mit intermittierenden Rhythmus- und ROSC-Checks durchgeführt werden (4).

Nicht-schockbare Reanimationszustände können entweder primär auftreten, oder sich im Verlauf aus arrhythmogenen Situationen in einen nicht-schockbaren Rhythmus degenerieren, wodurch Defibrillationen mangels Erfolgsaussicht nicht indiziert sind. In diesem Fall gilt, eine ehestmögliche Applikation von Adrenalin durchzuführen (4). Über seine α_1 -adrenerge Wirkung bewirkt Adrenalin eine periphere Vasokonstriktion mit Anstieg des Blutdrucks, insbesondere des diastolischen Blutdrucks. Dadurch wird die Koronardurchblutung während der Herzdruckmassage verbessert, da der koronare Perfusionsdruck steigt. Nach aktuellen Leitlinien soll Adrenalin bei nicht-schockbaren Rhythmen in einem Intervall von 3 bis 5 Minuten verabreicht werden. Ziel ist die Konversion in einen schockbaren Rhythmus oder idealerweise die Wiedererlangung eines spontanen Kreislaufs (ROSC) (4, 34).

Bei sogenannten Pseudo-PEAs kann Adrenalin durch seine inotrope Wirkung zusätzlich zu seiner vasopressorischen Potenz möglicherweise den Aufbau eines ausreichenden Herzzeitvolumens mit tastbarem Puls ermöglichen. Auf der anderen Seite ist jedoch auch die potenziell arrhythmogene Wirkung von Adrenalin zu berücksichtigen, die sich negativ auf Patient*innen auswirken kann. Ob Pseudo-PEAs als Maximalausprägung eines Schockzustands (48, 49) mit erhaltenem, wenn auch minimalem Auswurf und einem ausgeprägten Missverhältnis zwischen Sauerstoffangebot (DO_2) und Sauerstoffverbrauch (VO_2) im Rahmen von Herz-Kreislauf-Stillständen gesondert betrachtet werden sollten, mit einer entsprechenden Anpassung des Medikamenten- und Therapieregimes, ist derzeit Gegenstand wissenschaftlicher Diskussionen (50, 51).

Abbildung 4 zeigt eine grafische Darstellung der 2021 geltenden Empfehlungen des advanced life supports von Erwachsenen des ERCs (4), übersetzt durch den German Resuscitation Council, GRC (52).

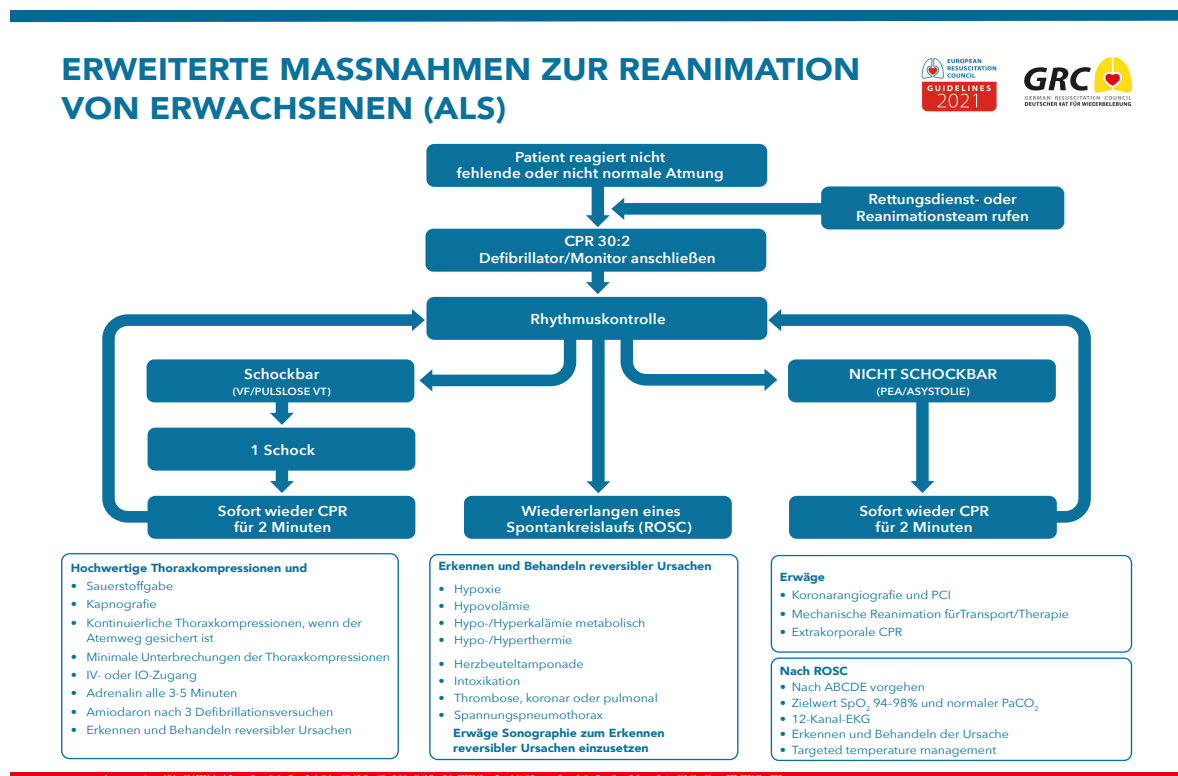


Abbildung 4: erweiterte Wiederbelebensmaßnahmen, Leitlinie der ERC 2021 (GRC-Version)
Die spezifische Therapie des traumatischen Herz-Kreislauf-Stillstandes (TCA) wird in dieser Arbeit am Rande angeführt. Bei Verdacht auf traumatisch bedingte

Arrestursachen zeigt sich eine Adaption des Standardtherapiealgorithmus dahingehend erforderlich, da der Stellenwert der Herzdruckmassage im Vergleich zum atraumatischen Herz-Kreislauf-Stillstand deutlich herabgesetzt ist. Die in Kapitel 1.3 angeführten Ursachen des traumatischen Herz-Kreislauf-Stillstands, einengendem Blutsaum um das Herz sowie der Spannungspneu- oder Spannungshämothorax mit Kompression des venösen Rückstroms führen oftmals dazu, dass selbst bei suffizienter Durchführung der Thoraxkompressionen oftmals kein ausreichender kardialer Auswurf und damit Organperfusion erzeugt werden kann. Somit gilt, dass lebensrettende Maßnahmen zur Behebung dieser Ursachen, nicht durch die Durchführung einer Herzdruckmassage verzögert werden dürfen und diese nur bei ausreichender Personalressource vor Ort parallel durchgeführt werden sollte.

Folgende sieben Maßnahmen sind zu setzen: (7)

- Blutungskontrolle
 - Stillung starker Blutungen
 - Anlage eines Beckengurtes
 - Transfusion von Blutprodukten
- Atemwegsmanagement
 - Sicherung der Atemwege und kontrollierte Beatmung mit Optimierung der Oxygenierung
- Invasive Maßnahmen
 - Bilaterale Thorakostomien zur Entlastung von Spannungspneu- und Hämatothoraces
 - Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta (REBOA), eine endovaskuläre Ballonokklusion der Aorta zur Blutungskontrolle und Kreislaufzentralisierung
 - Clamshell-Thorakotomie, zur manuellen Aortenkompression oder Entlastung einer Herzbeuteltamponade

1.6. Beatmungen, Herzdruckmassage und Defibrillation

Bereits 1792 wurde von James Curry die Unterscheidung zwischen reversiblen und nicht-reversiblen Tod beschrieben. Beobachtungen wie diese stellen die Basis für

das Durchführen von Wiederbelebensmaßnahmen bei Personen mit rezentem vollständigem Ausfall der Vitalfunktionen, mit potenziellem Wiederherstellen dieser dar (53).

1.6.1. Beatmungen

Als Ergänzung zur Herzdruckmassage dienen Beatmungen zur Oxygenierung des Blutes sowie CO₂-Elimination und dienen somit als Pfeiler der modernen Wiederbelebung.

1.6.1.1. Geschichte

Bereits im 18. Jahrhundert wurde die Mund-zu-Mund Technik als Möglichkeit zur Übernahme der Atmung bei Notfallpatienten beschrieben. Diese Methode wurde somit schon früh als einfache und sichere Möglichkeit zum externen Lufttransport definiert. Die Beatmungen wurden früh durch den Einsatz von Blasebälgen als erste Idee eines „Beatmungsbeutels“ modifiziert. Zudem wurde die Effektivität dieser Maßnahmen durch anatomische Überlegungen wie zusätzliche externe Armbewegungen unterstützt (54).

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts kam es zu Versuchen mit externer Kraftanwendung mittels sternaler Kompressionen mit einer Rate im Bereich der physiologischen Atemfrequenz eines Erwachsenen, etwa 12 Kompressionen pro Minute, mit dem Ziel, durch die sich verändernden Volumensverhältnisse im Thorax über den physikalischen Zusammenhang zwischen Volumen und Druck, dem Boyle-Mariotte-Gesetz, Luftströme mit pulmonaler Ventilation zu erzeugen (54, 55).

Die Idee der externen Thoraxkompressionen als Ventilationsmöglichkeit wurde mit zunehmendem Verständnis der Herzdruckmassage zum vorübergehenden Aufrechterhalten eines low-flow-Kreislaufes verworfen und mit Beginn der modernen Reanimationsforschung durch Wiederaufgreifen der Mund-zur-Mund-Beatmung zusätzlich zu externen Thoraxkompressionen ersetzt (54).

In den 80er und 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurde die Relevanz der Beatmungen bezüglich der Wiederbelebensmaßnahmen hinterfragt und das Konzept der chest-compression-only CPR aufgeworfen (56, 57). Aufgrund des ähnlichen Outcomes und der potenziellen Verbesserung der Laie*innen-CPR-Raten

find diese Variante auch noch in den 2020 und 2021 veröffentlichten Leitlinien Einzug (3, 34, 58).

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden zunehmend Atemwegshilfen zur Erleichterung der Ventilation auch in der Reanimation etabliert. Hierzu zählen vor allem die endotracheale Intubation, sowie unterschiedliche laryngeale oder ösophageale Atemwegshilfen. Zusätzlich wurden Hilfsmittel wie der Guedeltubus zur Erleichterung der Beutel-Masken-Ventilation empfohlen (59, 60).

1.6.1.2. Durchführung

Beim Advanced Life Support (ALS) wird die Durchführung von Beatmungen mittels selbstaufblasenden Beatmungsbeutel, konnektiert an eine dicht sitzende Maske oder an eine erweiterte Atemwegshilfe, vorgegeben. Gängige Praxis ist, dass Beatmungshübe, mit einer Dauer von etwa einer Sekunde, in einem Verhältnis von 30:2 zu Thoraxkompressionen bei ungesichertem Atemweg und kontinuierlich mit einer Frequenz von zehn Hüben pro Minute bei liegender Atemwegshilfe in der Erwachsenenreanimation durchgeführt werden (4).

Als Goldstandard des Atemwegsmanagements in Rahmen von Reanimationen ist die endotracheale Intubation anzusehen. Aufgrund von potenziell negativen Effekten auf die Qualität der Wiederbelebensmaßnahmen wie unerkannte Fehlintubation, längeren Pausen der Herzdruckmassage während der Intubation und verlängerten Zyklen über die empfohlenen zwei Minuten hinaus, sollte diese Maßnahme nur erfahrenen Anwender*innen vorbehalten sein (4, 61). Bei nicht geübten Anwender*innen mit geringer endotrachealer Intubationsrate kann auf eine supraglottische Atemwegshilfe zurückgegriffen werden. Hierzu zählen unter anderem der Larynxtubus und die Larynxmaske, die sich vor allem durch die leichtere Handhabung während des Platzierens auszeichnen, mit möglichem Vorteil auf Beatmungserfolg hinsichtlich Larynxmaske (4, 62, 63).

1.6.2. Herzdruckmassage

Als Grundstock jeder modernen Reanimation gilt das Durchführen von Thoraxkompressionen.

1.6.2.1. Geschichte

Die ersten Experimente mit externem thorakalem Druck entstanden Mitte des 19. Jahrhunderts. Diese Konzepte waren jedoch wie unter Kapitel 1.6.1.1 beschrieben darauf ausgelegt, über Veränderungen der Druckverhältnisse einen Luftstrom zu erzeugen und weniger darauf, einen Kreislauf wiederherzustellen (54, 64).

Die Idee interner kardialer Kompressionen entstand im Zuge von Operationen. Durch Moritz Schiff wurde als Therapieoption des Herz-Kreislauf-Stillstands schon 1874 interne rhythmische Herzkompressionen bei offenem Thorax als mögliches Mittel zur vorübergehenden Etablierung eines Kreislaufes, bis kardiale Kontraktionen spontan erneut mit einem Kreislauf einhergehen, beschrieben (54, 64, 65).

Friedrich Maas gilt als Vorreiter der Einführung der Herzdruckmassage zusätzlich zu den bereits bekannten Beatmungsversuchen. 1891 wurden von ihm zwei Fälle von erfolgreicher Herzdruckmassage zum Etablieren eines Pulses beschrieben. Hervorzuheben ist, dass Maas bereits zu diesem Zeitpunkt eine Kompressionsrate über der Rate der Ventilationen als vorteilhaft erkannt hat, sowie dass sich externe Thoraxkompressionen, ohne das obligate Eröffnen des Brustkorbes als zielführend präsentieren können (54, 64, 66).

Aufgrund von mangelndem physiologischen Verständnis und herrschendem Misstrauen gegenüber neuen Erkenntnissen im Vergleich zu etablierten Methoden wurden die Ideen externer Thoraxkompressionen und deutlich nach oben hin abweichender Kompressions- im Vergleich zur Ventilationsrate lange nicht berücksichtigt. Erst in der Nachkriegsphase des zweiten Weltkrieges kam es zum Anstieg des Forschungsinteresses in der Reanimationsforschung mit dem Wiederentdecken beschriebener Ideen. In den 60er Jahren des vergangenen Jahrhunderts kamen erste Empfehlungen zur Kombination aus externen Thoraxkompressionen und sowie Beatmungen durch die Veröffentlichung von „Closed-chest cardiac massage“ durch Kouwenhoven et al. auf (54, 64, 67).

1.6.2.2. Durchführung

Dieses Grundkonzept wurde bei zunehmend besser werdender Forschungsmöglichkeiten und umfangreicherer Erkenntnisse von den im Jahr 1966 (68) veröffentlichten Guidelines von einer empfohlenen Tiefe der Kompressionen unter 5cm, einer Rate von 60 1/min oder von Verhältnissen mit 5:1 und 15:2 auf die anschließend in diesem Kapitel näher beschriebenen Kompressionstiefe von 5-6 cm oder ein Drittel des Thorax, einer Rate von 100-120 1/min und einem Verhältnis im erwachsenen Herz-Kreis-Stillstand von 30:2 adaptiert (4, 69).

Der Einfluss der Leitlinienreue in Bezug auf Rate der Thoraxkompressionen und der erreichten Tiefe zeigt sich direkt in Bezug auf das Patient*innenoutcome. In den Abbildung 5 und Abbildung 6 werden Kompressionsrate beziehungsweise Kompressionstiefe dem Überleben bis zur Krankenhausentlassung gegenübergestellt, mit den höchsten Überlebensraten im Bereich der Leitlinienempfehlungen (13).

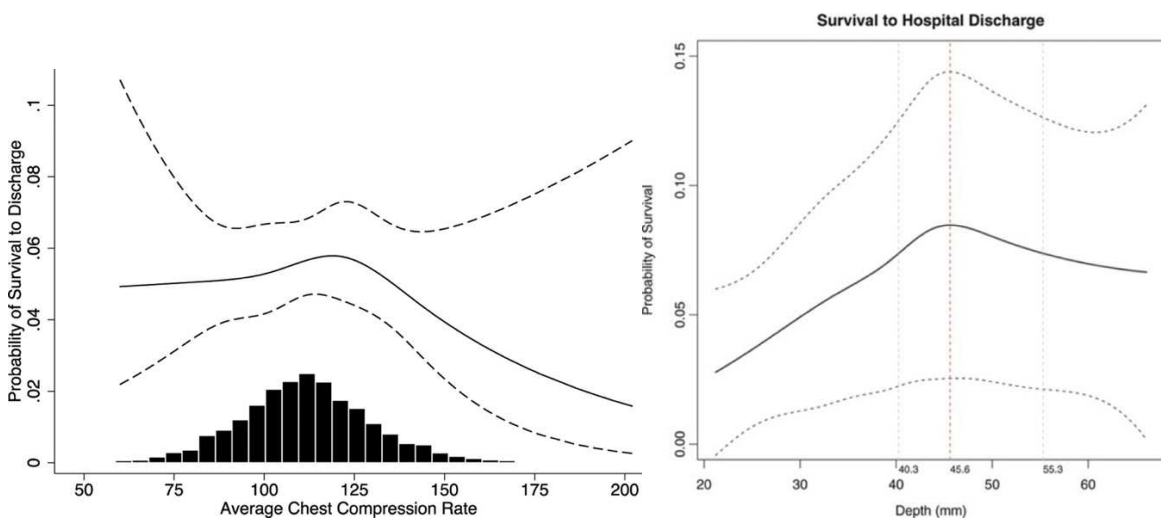


Abbildung 5: Einfluss der Thoraxkompressionsrate auf das Überleben bis Krankenhausentlassung (links, nach Harris et al.)

Abbildung 6: Einfluss der Thoraxkompressionstiefe auf das Überleben bis Krankenhausentlassung (rechts, nach Harris et al.)

Analog zu 1.6.1.2 lieferte die Gründung der ILCOR den Übergang von nationalen und regionalen Konzepten in der Reanimationsforschung und der Reanimationsleitlinien und damit auch einen allgemeinen Konsensus in Bezug auf Empfehlungen zur Durchführung von Thoraxkompressionen (70).

Nach den im Jahr 2021 veröffentlichten Leitlinien des ERC zur Wiederbelebung bei Erwachsenen gelten folgende Empfehlungen:

Es sollte nach dem Feststellen eines Herz-Kreislauf-Stillstandes möglichst früh mit Thoraxkompressionen begonnen werden. Diese sind in der Mitte des Brustkorbes mit einer Frequenz von 100-120 1/min und einer Tiefe von 5-6 cm durchzuführen, auf eine vollständige Entlastung des Brustkorbes zwischen den Kompressionen ist zu achten. Die Thoraxkompressionen sollten auf einer möglichst flachen, harten Unterlage durchgeführt werden, wenn die Möglichkeit von Beatmungen besteht, im Verhältnis 30:2, alternativ durchgehend, abgesehen von Beatmungen und einer Defibrillation sollten Pausen möglichst minimiert werden. Wurde endotracheal intubiert, oder eine supraglottische Atemwegshilfe mit effektiver Ventilation unter Thoraxkompression eingesetzt, kann auf Unterbrechungen während der Herzdruckmassage für die Beatmungen verzichtet werden. Um diese Parameter sicherstellen zu können, sollte die Person, welche die Thoraxkompressionen durchführt, alle zwei Minuten zur Prävention von Ermüdung, wenn möglich, getauscht werden (3, 71).

1.6.3. Defibrillation

Die Defibrillation ergänzt die CPR-Maßnahmen als wichtigen Grundstein und wird meist als Basis-Maßnahme definiert. Rein definitionsgemäß werden jedoch nur Herzdruckmassage und Beatmungen unter CPR zusammengefasst. Aufgrund der durchzuführenden Unterbrechungen der Thoraxkompressionen und der damit zu koordinierenden Pause wird in dieser Arbeit dennoch darauf eingegangen (3).

1.6.3.1. Geschichte

Die Geschichte der Defibrillation geht in das 18. Jahrhundert zurück. Hier wurden erste Tierversuche mit der Applikation eines statischen Schocks mit der Auswirkung auf das tierische Herzuntersuchung. Die anfänglichen Untersuchungen waren eher darauf ausgelegt, das Herz in eine kardiale Arrestsituation zu bringen, als dieses aus einem schockbaren Rhythmus ohne Auswurf wieder in einen Sinusrhythmus überzuführen (54).

Erst Mitte des 20. Jahrhundert kam es zu einem Aufschwung der Defibrillationsforschung als Kausaltherapie von elektrokardial-induzierten Herz-Kreislauf-Stillständen. Eine erste erfolgreiche Defibrillation am offenen Herzen bei einem Menschen konnte 1947 durchgeführt werden, rund zehn Jahre später kam es auch zu den ersten erfolgreichen Defibrillation mit externer Schockapplikation (54, 64).

Diese Grundprinzipien wurden zu den heute gängigen Standards angepasst. Einerseits wurden automatische und halbautomatische Defibrillatoren der öffentlichen Bevölkerung zugänglich gemacht, um frühzeitige Schockabgaben bereits während der Laie*innen-CPR vor Eintreffen des EMS zu ermöglichen. Andererseits wurden kurze peri-Schock-Pausen, Prinzipien wie die 3 Schockstrategie oder der Wechsel der Elektrodenpositionierung, sowie Empfehlungen hinsichtlich der Art und Energie der Defibrillation und etwaige Eskalierungsregimen empfohlen und eingeführt (3, 4).

1.6.3.2. Durchführung

Im ALS ist meist die manuelle Defibrillation, also das selbstständige Erkennen des Rhythmus und die Ausführung der Schockabgabe Mittel der Wahl. Die Rhythmusanalysen sind alle zwei Minuten durchzuführen, mit Koordination der Unterbrechung der Herzdruckmassage. Von einer Hands-on-Defibrillation ist aus dem Aspekt der Eigensicherheit abzusehen. Die Schockabgabe sollte biphasisch mit ausreichender Energie stattfinden, mit zumindest 120-150 Joule und mit fortlaufenden Schocks bis zur Maximalstufe des Gerätes erhöht werden. Auf ausreichend Abstand zu implantierten Geräten und Sauerstoff, welcher nicht an eine Atemwegshilfe konnektiert ist, ist zu achten (4).

Eine Minimierung der peri-Schock-Pausen ist aufgrund des direkten Einflusses auf das Patient*innenoutcomes essenziell (13, 17). Wie in Abbildung 7 ersichtlich zeigen peri-Schock-Pausen, aber auch sonstige Pausen einen deutlichen Einfluss auf die Überlebensrate (13).

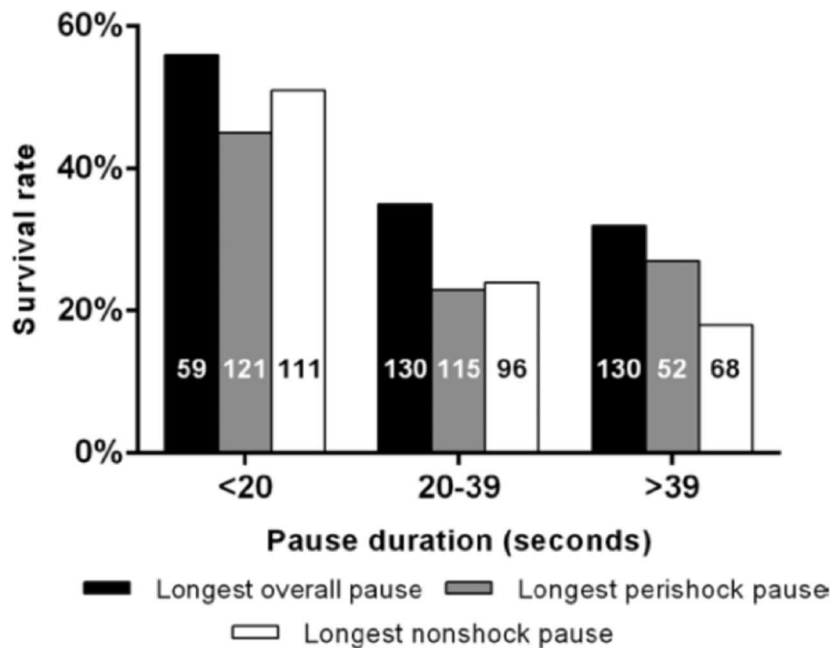


Abbildung 7: Einfluss von Pausen auf das Patient*innenoutcome (nach Harris et al.)

1.7. Qualitätsmerkmale in großen Studien

Als Grundlage dieser Diplomarbeit dient ein veröffentlichter Expert*innenkonsensus aus dem Jahr 2007, welcher sich mit dem Thema CPR-Qualität in Studien im Bereich der Reanimatologie beschäftigt (72).

Trotz bestehender Guidelines mit exakten Vorgaben zum Ablauf einer Reanimation kommt es teilweise selbst bei medizinisch geschultem Personal unter regelmäßigem Training zu deutlichen Qualitätsunterschieden bei den Reanimationsmaßnahmen (73). Das real-time-Feedback von Parametern der Wiederbelebensmaßnahmen während des Herz-Kreislauf-Stillstands bietet zum einen die Möglichkeit, einen Qualitätsabfall der Herzdruckmassage und der Beatmungsfrequenz zu erkennen und wieder auf Leitlinienempfehlung zu heben, zum anderen im Rahmen von Debriefingsituationen zur Qualitätsverbesserung im Team und bei systematischer Erhebung, im System genutzt werden zu können.

Weiters stellt ein Nichterfassen der CPR-Qualität bei Reanimationsstudien, welche Patient*innen-Outcome-Parametern als primäre Endpunkte erfassen, eine mögliche wichtige Haupteinflussgröße auf das Studienergebnis dar. Da potenziell erhebliche Unterschiede in der CPR-Qualität zwischen unterschiedlichen Studien unentdeckt

vorliegen können, schmälert das Nichterfassen die externe Validität von Studien (4, 74-76).

Häufig wird ein fehlendes Messen der CPR-Parameter zwar als Limitation genannt, diese aber oft relativiert, dass sich Schwankungen über die Studienpopulationen ausgleichen und somit keinen Einfluss auf das Ergebnis der Studie ausüben. Jedoch könnte die CPR-Qualität vor allem in Studien, welche sich mit anderen Maßnahmen wie Atemwegsmanagement, alternative Defibrillationsregime, Reanimationsmedikamente oder intra-Arrest-cooling im Vergleich zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe leiden, was ohne Erfassen der Qualitätsparameter unentdeckt bleiben würde (75, 77).

Die vom Expert*innenkonsensus empfohlenen Parameter lassen sich grundsätzlich in drei Gruppen aufteilen (72):

- Herzdruckmassage:
 - Tiefe
 - Frequenz
 - Inkomplette Entlastung
 - Zyklus
 - Totale Kompressionen
- Ventilation:
 - Frequenz
 - Charakteristika
- Pausen:
 - Schock-assoziierte Pausen
 - Sonstige Pausen
 - No-flow Zeit

Weiters wird in der Arbeit des Expert*innenkonsensus unterschieden zwischen Kerndaten, welche für Debriefing, Qualitätsanalysen des Reanimationskonzepts und klinische Studien immer gemessen werden sollten, und erweiterten Parametern, welche abhängig vom Reanimationssystem und Studienfragestellung

sind. Genauer zu den Parametern und der Unterscheidung ist der Abbildung 8 zu entnehmen (72).

Table 1 Recommended reporting of CPR variables

	Quality improvement	Clinical trials
Episode duration	●	●
Compression depth		
Episode mean $\pm$ S.D.	●	●
Fraction of minutes with compression depth <38 mm	●	○
Compression incomplete release		
Percentage of total number of compressions	●	○
Compression duty cycle		
Episode mean $\pm$ S.D.	○	○
Compression rate ^a		
Episode mean $\pm$ S.D.	●	●
Fraction of minutes with compression rate <90 or >120 min ⁻¹	●	○
Compressions delivered per minute ^a		
Episode mean $\pm$ S.D.	●	●
No flow time (pauses)		
Mean no flow time (in seconds) $\pm$ S.D.	●	●
Mean no flow fraction $\pm$ S.D.	●	●
No flow time per 1 min segments	●	○
Median pre-shock pause	●	○
Median post-shock pause	●	○
Median remaining pause	○	○
Ventilation rate		
Episode mean $\pm$ S.D.	●	●
Fraction of minutes with >15 min ⁻¹	●	○
Fraction of minutes without ventilation	●	○
Ventilation characteristics ^b	○	○

In the table, a filled circle (●) marks core data, which means that this variable fulfilled the criteria and should be included in standard reports for debriefing, system quality assurance or reporting from clinical trials as indicated. The open circle (○) marks supplementary data points, where the needs and capabilities in that specific emergency medicine system or the specific aims of that clinical trial must decide whether this variable will be measured and reported (see text for discussion).

^a Compression rate is the reciprocal of the time interval between two sequential chest compressions when this time interval is less than 1.5 s, and compressions delivered per minute is the actual number of chest compressions divided by the episode length (see text and Figure 2).

^b Ventilation characteristics may include airway pressures, inflation times, and volumes.

Abbildung 8: empfohlene Qualitätsparameter (nach Kramer-Johansen et al.)

1.8. Problemstellung, Fragestellung und Zielsetzung

Die Hypothese dieser Diplomarbeit lautet, dass die empfohlenen zu erfassenden Qualitätsparameter von Reanimationen des Expert*innenkonsensus (72) nicht, nur unvollständig oder nicht standardisiert in großen klinischen Reanimationsstudien erfasst und berichtet werden. Somit ergibt sich die Annahme, dass Unterschiede in der Qualität von Wiederbelebensmaßnahmen zumindest als Effektmodifikator, möglicherweise auch als Confounder, einen bislang unzureichend berücksichtigten

Einfluss auf Studienergebnisse, deren beschriebene Effektgrößen und die interne und externe Validität der Studien einnehmen könnte.

Hinsichtlich dieser genannten Empfehlungen fokussiert sich die vorliegende Arbeit auf Publikationen, welche in hochrangigen, methodologisch anspruchsvollen Journalen veröffentlicht wurden. Dieser Ansatz basiert auf der Annahme, dass in solchen Journalen hohe Anforderungen an methodische Qualität an veröffentlichte Studien gestellt werden. Sollte die CPR-Qualität als potenzielle Störgröße, zumindest aber als Effektmodifikator allgemein anerkannt sein, ist zu erwarten, dass entsprechende Qualitätsparameter in diesen Publikationen entweder systematisch erfasst oder bei fehlender Erfassung als Studienlimitation in der Diskussion genannt werden.

Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass, sofern selbst in großen methodisch hochwertig konzipierten und in hochrangigen, renommierten medizinischen Journalen publizierten Reanimationsstudien die Erfassung von CPR-Qualitätsparametern nicht konsequent erfolgt, diese Form der Datenakquirierung in kleineren Studien, im klinischen Debriefing, als real-time-Feedback sowie im Rahmen der systematischen Qualitätssteuerung von Notfallsystemen noch seltener implementiert und etabliert ist. Dies könnte zu einer strukturellen Unterschätzung der Bedeutung der CPR-Qualität sowohl in Forschung als auch in klinischer Praxis führen.

Bislang fehlen ausführliche systematische Analysen, die diese Problematik umfassend untersuchen und quantifizieren. Zwar wurde in der Literatur bereits mehrfach auf diese Wissenslücke hingewiesen (35, 78), eine systematische Aufarbeitung der Frage, in welchem Ausmaß und mit welcher Vollständigkeit Qualitätsparameter der Reanimation in klinischen Studien erfasst und berichtet werden, liegt derzeit jedoch nicht vor. Somit bleibt unklar, wie verbreitet diese mögliche Limitation der Reanimationsforschung tatsächlich ist und welche Auswirkungen sie auf die Interpretation bestehender Evidenz haben könnte.

Ziel dieser Arbeit ist es deshalb, Reanimationsstudien systematisch hinsichtlich der Erfassung von Parametern zur Qualität der Wiederbelebungsmaßnahmen zu untersuchen und zu analysieren. Durch diese strukturierte Untersuchung soll die suszipierte Wissenslücke sichtbar gemacht und das Ausmaß der fehlenden oder unzureichenden Datenerfassung quantifiziert und kritisch eingeordnet werden.

2. Material und Methoden

2.1. Diplomarbeitsdesign

Die Literaturrecherche dieser Arbeit orientierte sich methodologisch an einer systematischen Übersichtsarbeit. Aufgrund der Abweichung von etablierten Standards wie der Durchführung der Literaturextraktion durch einen einzelnen Bearbeiter sowie das Zurückgreifen auf eine alleinige Datenbank wurde auf die Bezeichnung einer systematischen Literaturrecherche für diese Arbeit bewusst verzichtet, dennoch wurde die PRISMA Leitlinie für das Erstellen von systematischen Übersichtsarbeiten als Grundstruktur zur Etablierung eines ausreichenden Qualitätsstandards herangezogen (79).

Nach Abschluss des Verschriftlichen dieser Diplomarbeit wurde das Manuskript mit der PRISMA 2020 Checkliste abgeglichen, um die Übereinstimmung mit etablierten Qualitätsstandards sicherzustellen, aufgrund des abgewandelten Literaturrecherchedesigns wurden Abweichungen deskriptiv begründet, Näheres siehe Anhang 1 (79).

2.2. Suchstrategie

Die Suchstrategie dieser Arbeit zielte auf eine möglichst breit und offen angelegte Suche ab, mit dem Ziel einer möglichst umfassenden Sensitivität (Recall). Der Verlust der Präzision (Precision) wurde dabei notwendigerweise in Kauf genommen.

Als Suchstrategie wurde eine journalspezifische Selektion gewählt. Hierfür wurden alle Journale mit einem Journal Impact Factor (JIF) ≥ 10 als Suchparameter definiert und namentlich in die Suchabfrage integriert, in Kombination mit dem Medical Subject Headings (MeSH)-Term „out-of-hospital cardiac arrest“. Der Suchzeitraum umfasst die Einführung des MeSH-Terms im Jahr 2011 bis zum 31.12.2022, unter Einschluss von Publikationen ab dem 01.01.2010.

Der Journal Impact Faktor (JIF) ergibt sich aus der Anzahl der durchschnittlichen Zitationen eines in diesem Journal publizierten Artikels in einem festgelegten Jahr,

durch die Anzahl der zitierbaren Artikel. Hierfür genutzt werden Artikel aus den vorangehenden zwei Jahren, zum Beispiel 2020 und 2021 für die Impact Faktor-Kalkulation aus dem Jahr 2022 (80).

Als Grundlage für den JIF, welcher in dieser Arbeit für die einzelnen Journals herangezogen wurde, wird auf eine Journalliste aus dem Jahr 2021 verwiesen, welche von der Bibliothek der Medizinischen Universität Graz zur Verfügung gestellt wurde, siehe Anhang 2. Es wurde die Annahme getroffen, dass es im Bereich der höchstzitierten Journals zu wenigen Schwankungen kommt und der JIF relativ stabil in seiner Größe bleibt, auf eine jährliche Adaption über die die Literaturrecherche betreffenden Jahre somit verzichtet werden konnte.

Die Suche wurde ausschließlich mit PubMed/MEDLINE durchgeführt. Diese Auswahl wurde getroffen, aufgrund der breiten und umfangreichen Bereitstellung medizinischer Literatur, welche sich als relevant für diese Forschungsfrage präsentierte (81, 82).

Die letzte Durchführung der Suche erfolgte am 21. März 2023. Die finale Analyse basiert auf den zu diesem Zeitpunkt identifizierten Treffern.

Die vollständige Suchsyntax, welche verwendet wurde, ist unter Anhang 3 dargestellt.

2.3. Methoden

2.3.1. Literaturrecherche

Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden vorab definiert und für das Screening sowie in der Volltextanalyse angewandt:

- Einschlusskriterien:
 - Primärpublikation (Interventions- und Observationsstudien)
 - Erwachsenen Patient*innenkollektiv, definiert mit einem Alter ≥ 14 Jahre

- Ausschließliche Betrachtung von präklinischen Herz-Kreislauf-Stillständen (OHCA)
- Publikation in einem Journal mit einem JIF ≥ 10
- Veröffentlichungszeitraum zwischen 01.01.2010 und dem 31.12.2022
- Ausschlusskriterien:
 - Kein primärer Fokus auf Herz-Kreislauf-Stillstand
 - Keine Betrachtung der Reanimation durch EMS
 - Ausschließlich mechanisch-durchgeführte CPR
 - Kein Patient*innenoutcome als Endpunkt
 - Pädiatrische Herz-Kreislauf-Stillstände
 - Videoanalysen von Reanimationen
 - Konzeptionelle oder theoretische Arbeiten
 - Fehlender Zugriff der Studien über den Zugang der Medizinischen Universität Graz

Alle Treffer der vordefinierten Suchstrategie wurden hinsichtlich potenziell einzuschließender Studien identifiziert und nach Screening der Zusammenfassungen vorausgewählt. Anschließend wurde nach Lesen des Volltextes die Eignung für den Einschluss in die Recherche festgestellt und unter Berücksichtigung aller Ausschlusskriterien inkludiert. Die Literaturrecherche samt Anwendung der Einschluss- und Ausschlusskriterien sowie die Datenextraktion wurde von einer Person durchgeführt. Zur Sicherung der Datenqualität wurde im weiteren Verlauf der Arbeit eine Stichprobe von 25 eingeschlossenen Studien erneut herangezogen, um die Qualität der Datenerhebung zu überprüfen. Diese Stichprobe wurde mithilfe des Online-Zufallszahlengenerators Random.org erstellt (83). Insgesamt wurde eine Studie der Stichprobe ausgeschlossen, während alle erfassten Aspekte zur CPR-Qualität übereinstimmten, womit von einer adäquaten Datenqualität ausgegangen wurde.

Der Prozess von Erfassung der Gesamttrefferanzahl über Anwendung der Ein- und Ausschlusskriterien bis zur endgültigen Anzahl der berücksichtigten Studien wurde mittels Flussdiagramm visualisiert und aufbereitet, siehe Abbildung 9. Im Rahmen

des Selektionsprozesses wurde zwischen Studien, welche die Einschlusskriterien nicht erfüllten („nicht inkludiert“), und Studien, die Ausschlusskriterien nicht erfüllten („exkludiert“) unterschieden.

2.3.2. Datenverarbeitung

Für die Datenerhebung der relevanten Studienmerkmale wurde auf eine Microsoft Excel-Tabelle (Version 16.107.2, Microsoft Corporation, Redmond, USA) zurückgegriffen, bei der vordefinierte Felder zur standardisierten Erfassung relevanter Aspekte genutzt wurden. Diese gliedern sich zum einen in Allgemeinmerkmale der Studien, Merkmale nach dem PICO-Schema (84), sowie Merkmale bezüglich den empfohlenen Qualitätsmerkmalen der Wiederbelebungsmaßnahmen (72). Folgende Merkmale der Publikationen wurden erfasst:

- Allgemeinmerkmale:
 - Titel der Studie
 - Autor*innen der Studie
 - E-Mail-Adresse der*des korrespondierenden Autorin*Autors
 - URL zur Originalveröffentlichung
 - Journal
 - Veröffentlichungsdatum
 - Abrufdatum
 - OHCA/IHCA
 - Studientyp
- PICO-Schema: (84)
 - Patientenpopulation
 - Intervention
 - Vergleich (Control)
 - Outcome
- Qualitätsparameter
 - Parametererfassung vorhanden?
 - Welche der Hauptparameter werden angeführt?
 - Sonstige gemessene Parameter
 - In welcher Form werden diese Parameter erfasst?

- Limitation
 - Erwähnung der CPR-Qualität als Limitation
- Ein- und Ausschlusskriterien
 - Ob die Studie einzuschließen ist oder aus der Literaturrecherche auszuschließen ist
 - Grund für etwaigen Ein- oder Ausschluss

2.3.3. Statistik

Alle statistischen Analysen wurden mit Microsoft Excel (Version 16.107.2, Microsoft Corporation, Redmond, USA) durchgeführt.

Aufgrund des explorativen Studiendesigns und der primär deskriptiven Fragestellung lag der Fokus der statistischen Auswertung auf der Darstellung von Häufigkeiten und Anteilen bezogen auf die Gesamtzahl der eingeschlossenen Studien. Aufgrund der Fragestellungen mit binären Ergebnissen wurde auf Darstellung mittels Mittelwerts oder Median verzichtet.

Aufgrund der ausgeprägten inhaltlichen und methodischen Heterogenität der Studien in Bezug auf Studiendesign, zeitliche Datenverarbeitung, Fragestellung oder Regionalität wurde auf die statistische Berechnung von numerischen Heterogenitätswerten wie I^2 bei Annahme einer hohen Heterogenität verzichtet. Eine solche Analyse setzt das Vorliegen von vergleichbaren Effektgrößen voraus, welche nicht das Ziel dieser Arbeit darstellen. Stattdessen erfolgte die Beschreibung der Heterogenität deskriptiv.

Für die Auswertung der Hauptzielgrößen wurde die Fraktion der Thoraxkompressionen als Surrogatparameter für die durchschnittliche no-flow-Zeit herangezogen, da zwischen den beiden Größen eine direkte inverse Beziehung zueinander besteht.

2.4. Hypothesen und Zielgrößen

Die Arbeitshypothese lautet, dass die Erfassung von Qualitätsparametern zu den Wiederbelebungsmaßnahmen nicht oder nur ungenügend in großen

Reanimationsstudien systematisch erfasst wird. Die Nullhypothese wurde definiert, dass diese Erfassung in ausreichendem Maße Beachtung in den großen Reanimationsstudien findet. Als Parameter hierfür wurde der Prozentsatz an Studien, welche Parameter zur Qualität der Herzdruckmassage und der Beatmungen gemessen und veröffentlicht haben, herangezogen.

2.4.1. Hauptzielgrößen

- Prozentsatz der Studien, bei denen Parameter zur Qualität der Herzdruckmassage und der Beatmung gemessen und verschriftlicht wurden.
- Prozentsatz der Studien, welche mindestens die Hälfte der empfohlenen Kernparameter gemessen haben. (Messung von zumindest drei der sechs empfohlenen Hauptparameter): [6]
 - Durchschnittliche Tiefe der Thoraxkompressionen
 - Durchschnittliche Rate der Thoraxkompressionen
 - Durchschnittliche Kompressionen pro Minute
 - Durchschnittliche no-flow-Zeit
 - Durchschnittliche no-flow-Fraktion
 - Durchschnittliche Ventilationsrate
- Messzeitraum der CPR-Qualitätserfassung und relativer Anteil der Patient*innen bei denen Qualitätserfassung durchgeführt wurde, in Bezug auf die Gesamtpatient*innen.
- Prozentsatz aller Studien, welche die CPR-Qualität als Limitation genannt haben, sowie Prozentsatz der Studien ohne CPR-Messung, welche die CPR-Qualität als Limitation genannt haben

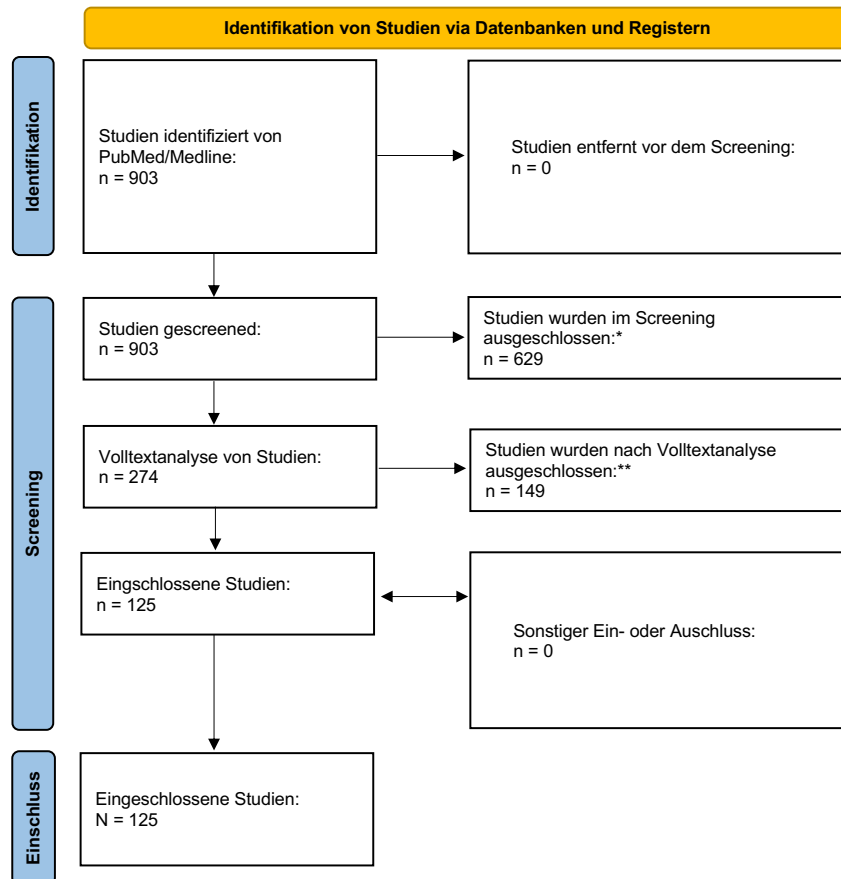
2.4.2. Nebenzielparameter

- Aufstellung, welche Parameter am häufigsten, welche am seltensten gemessen wurden
- Betrachtung der erweiterten Parameterliste: [6]
 - Fraktion der Minuten mit einer Tiefe der Thoraxkompressionen von unter 38mm
 - Anteil der Kompressionen mit inkompletter Entlastung an den Gesamtkompressionen

- Durchschnittlicher Arbeitszyklus (zwischen zwei Rhythmusanalysen)
- Fraktion der Minuten mit einer Rate der Thoraxkompressionen von unter 90 oder über 120 pro Minute
- No-flow-Zeit pro 1-Minute-Segmente
- Durchschnittliche prä-Schock-Pause
- Durchschnittliche post-Schock-Pause
- Durchschnittliche weitere Pausen
- Fraktion der Minuten mit einer Ventilationsfrequenz über 15 pro Minute
- Fraktion der Minuten mit fehlender Ventilation
- Ventilationsparameter (Volumen, Druck, Dauer, Atemwegsmanagement)

3. Ergebnisse / Resultate mit graphischen Darstellungen

PRISMA 2020 Flussdiagramm für neue systematische Literaturrecherchen mit ausschließlicher Suche in Datenbanken und Registern



- * 563 Studien wurden nicht inkludiert, weil sie keine Primärstudie (Interventions- oder Observationsstudie) waren.
 42 Studien wurden nicht inkludiert, weil sie IHCA's berücksichtigen, oder sich nicht mit dem OHCA als Hauptfragestellung der Studie beschäftigen.
 19 Studien wurden nicht inkludiert, da sie sich teilweise, überwiegend oder vollständig mit dem pädiatrischen CA beschäftigen.
 2 Studien wurden nicht inkludiert, da sie sich mit Tiermodellen befassen.
 3 Studien wurden nicht inkludiert aufgrund fehlender Zugriffsmöglichkeit.
- ** 102 Studien wurden exkludiert, aufgrund von Einschlusszeitpunkten nach ROSC bzw. außerhalb der Reanimationsphase.
 3 Studien wurden exkludiert, aufgrund eines fehlenden Bezugs der CPR-Qualität als Studienvariable.
 1 Studie wurde exkludiert, aufgrund der fehlenden Relevanz der CPR-Qualität auf das Studienergebnis.
 16 Studien wurden exkludiert, aufgrund eines epidemiologischen Studiendesigns.
 25 Studien wurden exkludiert, aufgrund der fehlenden Betrachtung des Patient*innenoutcomes als Studienergebnis.
 2 Studien wurden exkludiert, da es sich um Videoanalysen oder theoretische Modelle handelt.

Quelle: Page MJ, et al. BMJ 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71.

Diese Arbeit ist lizenziert unter CC BY 4.0. Für eine Kopie dieser Lizenz, besuchen Sie <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Abbildung 9: PRISMA-Flussdiagramm der Studienselektion

Der Prozess der Studienselektion ist in Abbildung 9 dargestellt. Insgesamt wurden 903 Studien identifiziert und im Rahmen eines Titel- und Abstract-Screenings beurteilt. Davon erfüllten 274 die vordefinierten Voraussetzungen und wurden einer Volltextanalyse unterzogen.

Im Zuge der Volltextanalyse wurden die Ausschlusskriterien angewandt, wodurch 149 Studien von der weiteren Analyse exkludiert wurden. Die genaue Aufschlüsselung der Gründe für fehlenden Einschluss beziehungsweise Ausschluss sind ebenfalls in Abbildung 9 dargestellt.

Insgesamt wurden 125 Studien in die qualitative und quantitative Literaturanalyse eingeschlossen, diese umfassen eine Gesamtstudienpopulation von 7 787 988 Patient*innen. Alle inkludierten Studien, sowie sämtliche Studientreffer der Suchmaschinenrecherche sind im Anhang 4 aufgeführt (17, 85-208).

Die Journale mit den meisten eingeschlossenen Studien waren *Circulation* mit 30 Studien und *Critical Care* mit 22 der insgesamt eingeschlossenen 125 Studien. Insgesamt wurden Studien aus 25 verschiedenen Journalen inkludiert.

Die eingeschlossenen Studien zeigten eine ausgeprägte Heterogenität. Eingeschlossen wurden randomisierte, kontrollierte Studien (RCTs) bis hin zu großen Observationsstudien basierend auf Reanimationsregistern, mit Studienpopulationen variierend von 30 bis 816 385 Patient*innen. Weiters gab es keine regionalen Restriktionen mit unterschiedlichen nationalen Leitlinien und Behandlungskonzepten, Publikationszeiträume von 2011 bis 2023 und Unterschiede in der Datenerfassung beziehungsweise -Beurteilung.

In 24 der 125 eingeschlossenen Studien wurde eine Messung von Parametern zur Qualität der kardiopulmonalen Reanimation durchgeführt, was einem Anteil von 19,2% entspricht.

Der überwiegende Anteil dieser Studien (n =21) berichtete die erhobenen CPR-Qualitätsparameter im Haupttext der Publikation, während in drei Studien die

entsprechenden Daten ausschließlich in ergänzenden Materialien (Supplement/Anhang) angeführt wurden.

Demgegenüber wurde in der Mehrzahl der eingeschlossenen Studien ($n = 101$; 80,8%) keine systematische Erfassung von CPR-Qualitätsparametern berichtet.

Diagramm 1 zeigt die Gegenüberstellung der Studien mit ($n = 24$, davon 21 im Haupttext und 3 in Anhänge) und ohne ($n = 101$) erfasster CPR-Qualität.

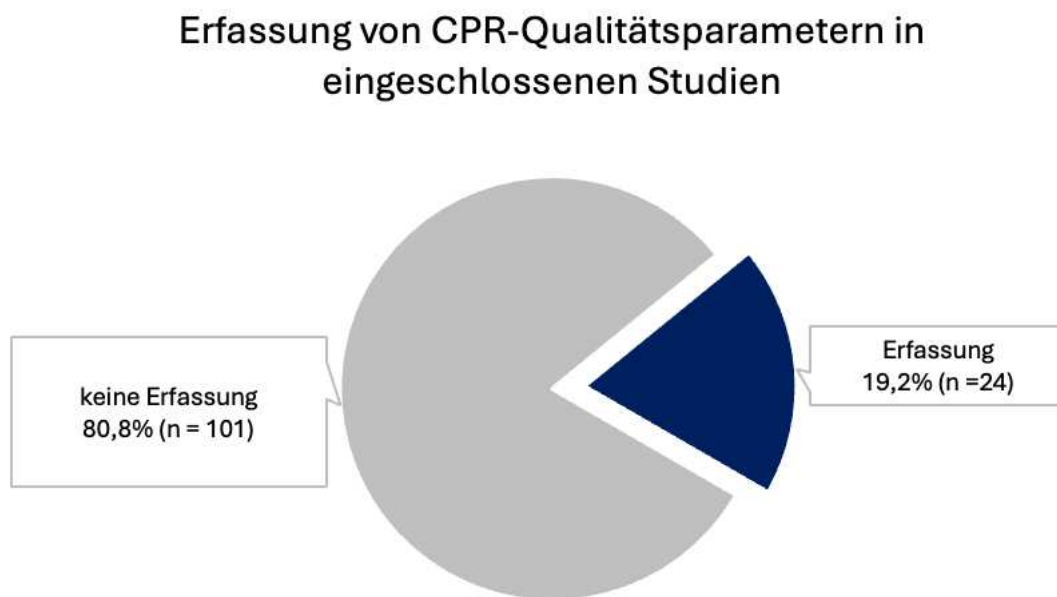


Diagramm 1: Tortendiagramm hinsichtlich erfasster CPR-Qualität

Von den 24 Studien, in denen eine Erfassung der CPR-Qualität in irgendeiner Form angegeben oder durchgeführt wurde, erfassten unter Berücksichtigung der Thoraxkompressionsfraktion als Surrogatparameter der no-flow-Zeit insgesamt acht Studien mindestens drei oder mehr der empfohlenen Kernparameter des Expert*innenkonsensus. Dies entspricht einem Anteil von 33,3% der Studien mit CPR-Qualitätserfassung beziehungsweise 6,4% aller eingeschlossenen Studien. In den verbleibenden 16 der 24 Studien wurde weniger als die Hälfte der definierten Kernparameter erfasst.

Diagramm 2 zeigt die Gegenüberstellung der Studien mit (n = 8) und ohne (n = 16) Erfassung 50% oder mehr Prozent der empfohlenen 6 Kernparameter zur CPR-Qualität.

Erfassung von 3 oder mehr Kernparametern der CPR Qualität

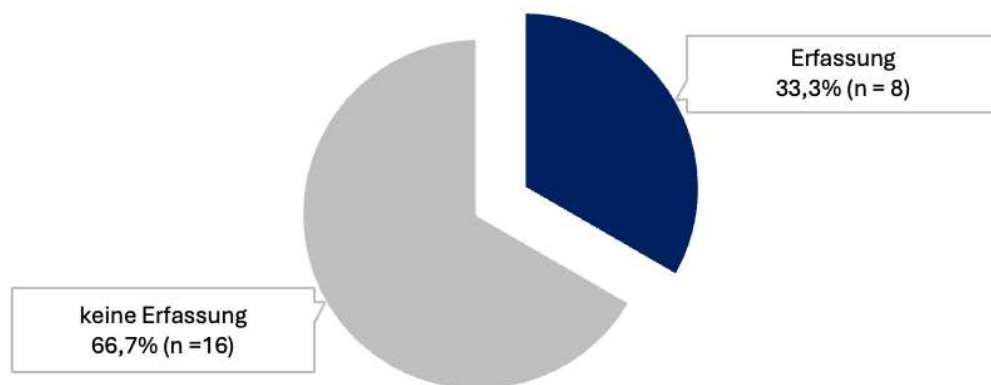


Diagramm 2: Tortendiagramm hinsichtlich der Erfassung von drei oder mehr empfohlenen Kernparametern

Der Messzeitraum der CPR-Qualitätserfassung sowie der relative Anteil der Patient*innen, bei denen eine entsprechende Datenerhebung durchgeführt wurde, zeigten eine ausgeprägte Heterogenität zwischen den eingeschlossenen Studien.

Der Anteil der Patient*innen mit erfasster CPR-Qualität variierte bei Angaben in Publikation und Anhang zwischen 3,57% und 100% der Gesamtpatient*innenpopulation. Ebenso zeigte sich eine breite Spannweite hinsichtlich des Zeitraums der Datenerfassung, der von wenigen Minuten (z.B.: die ersten 4-5 Minuten einer Reanimation) bis hin zu kontinuierlicher Erfassung über die gesamte Reanimationsdauer reichte.

Zusammenfassend zeigten sich ausgeprägte Unterschiede in beiden Dimensionen:

- Anteil der erfassten Patient*innen: 3,57 bis 100%
- Messzeitraum der Datenerhebung: von vier Minuten bis zum gesamten Reanimationszeitraum

Eine detaillierte Aufschlüsselung der studienspezifischen Erfassungscharakteristika ist deskriptiv im Anhang 5 dargestellt.

In 42 der 125 eingeschlossenen Publikationen wurde im Diskussions- oder Limitationsabschnitt des Volltextes eine fehlende vollständige oder teilweise Erfassung von CPR-Qualitätsparametern als limitierenden Aspekt der Studie angegeben, das entspricht einem Anteil von 33,6% aller inkludierten Studien. In den weiteren Studien fand eine fehlende Messung der CPR-Qualität an sich, oder einzelner Parameter keine Erwähnung in der Publikation.

In 16,67% der 42 Studien ($n = 7$), welche die CPR-Qualität als Limitation der Studie erwähnen, wurden Qualitätsparameter der Reanimationsmaßnahmen angegeben, hier wird vor allem auf weitere Parameter beziehungsweise fehlende Vollständigkeit verwiesen. In den restlichen 35 Studien fanden keine Angaben zur CPR-Qualität statt.

Diagramm 3 zeigt die Gegenüberstellung der Studien mit ($n = 42$) und ohne ($n = 83$) Erwähnung der CPR-Qualität als Studienlimitation. Diagramm 4 zeigt die Aufschlüsselung zwischen Studien mit ($n = 7$) und ohne ($n = 35$) Erfassung der CPR-Qualität, bei Nennung der CPR-Qualität als Studienlimitation.

Erwähnung der CPR-Qualität als Studienlimitation

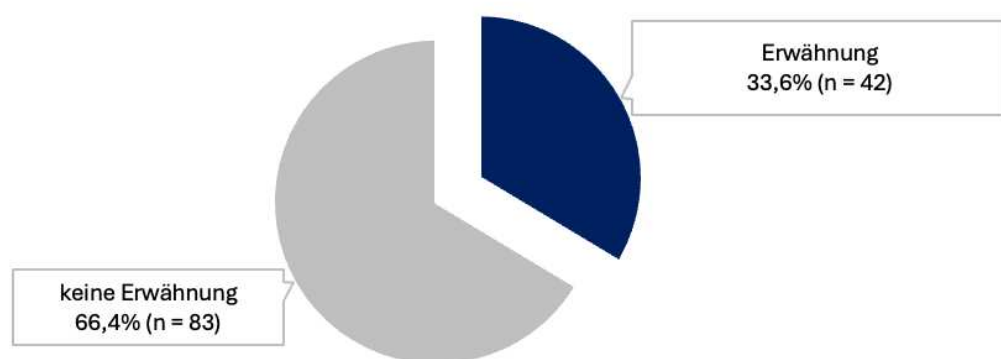


Diagramm 3: Tortendiagramm hinsichtlich der Erwähnung der CPR-Qualität als Studienlimitation

Erwähnung der CPR-Qualität als Studienlimitation, Studien mit und ohne Qualitätsparametererfassung

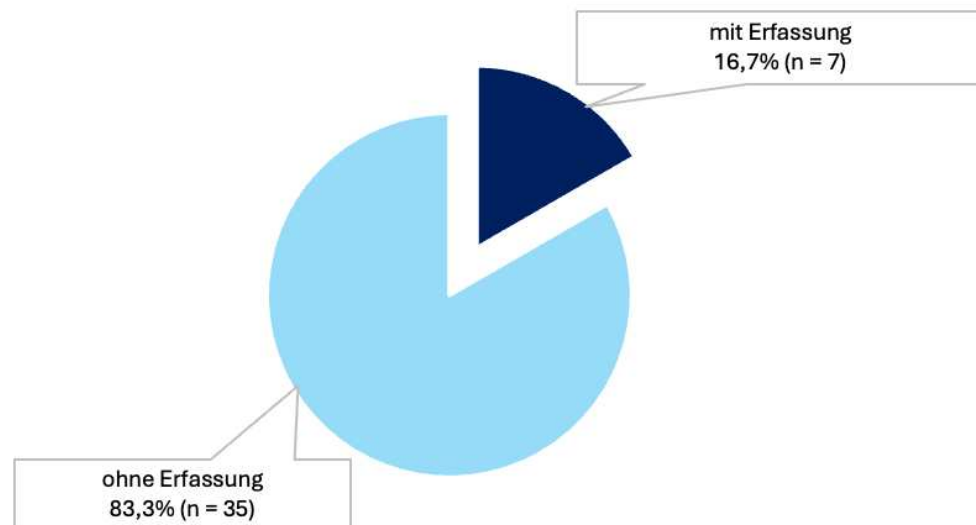


Diagramm 4: Tortendiagramm hinsichtlich der Erwähnung der CPR-Qualität als Studienlimitation, Gegenüberstellung zwischen Studien mit und ohne Qualitätsparametererfassung

Als Subgruppenanalyse wurde auf Studiendesignebene eine Unterteilung in Interventions- und Observationsstudien vorgenommen. Zwölf der 28 Interventionsstudien haben CPR-Qualitätsparameter gemessen, das entspricht einem Prozentsatz von 42,9%. Neun Interventionsstudien nannten eine fehlende oder unvollständige Erfassung der CPR-Qualitätsparameter als Limitation der Studie an (32,1%). Im Vergleich wurden ebenfalls in zwölf der 97 Observationsstudien Parameter zur CPR-Qualität erfasst, mit einem geringeren Prozentsatz von 12,4%. Ein fehlendes Monitoring der CPR-Qualität wurde in 33 der 97 Observationsstudien genannt, ein Anteil von 34% der inkludierten Observationsstudien.

4. Diskussion

4.1. Antworten auf die Forschungsfragen

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass in rezenter Literatur in einem vergleichsweise geringen Anteil an Studien zum prähospitalen Herz-Kreislauf-Stillstand eine fehlende Erfassung der CPR-Qualität als Studienlimitation thematisiert wird (33,4%). Gleichzeitig erfolgt in nur 19,2% aller eingeschlossenen Studien überhaupt eine systematische Erhebung von Qualitätsparametern.

Wenn Qualitätsparameter erfasst werden, konzentrieren sich die Studien überwiegend auf einfach zugängliche Messgrößen, insbesondere die Fraktion der Thoraxkompressionen. Ähnlich häufig werden verwandte Parameter wie die Kompressionsrate oder bereits in geringerem Ausmaß, die Dauer von Unterbrechungen (no-flow-Phasen) berichtet.

Demgegenüber wird die Thoraxkompressionstiefe deutlich seltener erhoben. Dies dürfte unter anderem auf den erhöhten technischen Aufwand zurückzuführen sein, da für eine valide Messung spezielle Geräte, wie beispielsweise Akzelerometer, erforderlich sind. Auffällig ist zudem, dass die vollständige Thoraxentlastung, ein weiterer zentraler Qualitätsparameter zur Füllung des Herzens in der Reanimation, in den analysierten Studien nicht berichtet wurde.

Darüber hinaus zeigten die eingeschlossenen Studien eine heterogene Vorgehensweise bei der Erfassung der CPR-Qualität zum Confounderausschluss. Teilweise werden nur Stichproben analysiert, um Aussagen über die Gesamtqualität der Reanimation in der Studie zu treffen. Dabei werden entweder zeitlich begrenzte Abschnitte, beispielsweise die initialen Minuten der Reanimation, als repräsentativ aufgefasst, unter der Annahme fehlender grober zeitlicher Schwankungen, oder die Messung erfolgte nur in einem Teil der Studienpopulation mit anschließender Generalisierung auf das Gesamtpatient*innenkollektiv.

Der Vergleich nach Studiendesign zwischen Interventions- und Observationsstudien zeigt, dass eine Nennung einer fehlenden Erfassung von CPR-Qualitätsparametern als Limitation in einem ähnlichen Anteil der Studien stattfindet (32,1% versus 34%), jedoch deutliche Unterschiede in der Häufigkeit des Monitorings der Wiederbelebungsmaßnahmen innerhalb der Studie bestehen, mit deutlich häufigerer Erfassung im Rahmen von Interventionsstudien (42,9% versus 12,4%).

4.2. Vergleichende Erläuterungen

Die Ergebnisse dieser Arbeit stehen im Einklang mit der bestehenden Literatur, die seit mehreren Jahren auf eine unzureichende Erfassung und Standardisierung von CPR-Qualitätsparametern hinweist.

Bereits früh wurde in der wissenschaftlichen Grundlagenpublikation beschrieben, dass die Messung und Beschreibung dieser Parameter nicht standardisiert erfolgt und häufig unterbleibt (72). Diese bereits Mitte der 2000er Jahre festgestellte Forschungs- beziehungsweise Methodiklücke (73) besteht anhand der Resultaten dieser Arbeit nach auch mehr als 15 Jahre später weiterhin. Auch ein im Jahr 2013 gerichteter Appell zur Sicherstellung einer hochqualitativen CPR mittels Monitorings während des Arrests zur leichteren Identifikation von prognostischen Outcomefaktoren und Hypothesengenerierung in Reanimationsdaten, unter Ausschluss des Einflusses der CPR-Qualität, konnte diesen Umstand nicht beheben (209).

Weitere Arbeiten zeigen zwar die technischen Möglichkeiten zur Erfassung von CPR-Qualitätsparametern, sowie aktuelle und künftige Entwicklungen hinsichtlich neuem, physiologiegestütztem Monitoring der Qualität von Reanimationen, diese Technologie wird jedoch nur selten angewandt (210).

Insgesamt verdeutlichen diese Befunde eine persistierende, seit Jahren bekannte Diskrepanz zwischen theoretisch verfügbaren Möglichkeiten zur Erfassung der CPR-Qualität und deren tatsächlicher Umsetzung in klinischen Studien und im Rahmen der EMS-Qualitätssicherung.

4.3. Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse dieser Arbeit bestätigen die zugrunde liegende Hypothese, dass der CPR-Qualität in der aktuellen Studienlage zum prähospitalen Herz-Kreislauf-Stillstand nur begrenzte Aufmerksamkeit zukommt.

Nur etwa ein Drittel der eingeschlossenen Publikationen benennt das Fehlen einer objektiven Vergleichbarkeit der CPR-Qualität zwischen Studiengruppen als Limitation der Studie. Gleichzeitig wird eine systematische Erfassung von CPR-Qualitätsparametern in einem noch geringeren Anteil der Studien durchgeführt. In diesem Bereich zeigt sich ein Missverhältnis zwischen der Wahrnehmung der CPR-Qualität als Limitation und ihrer tatsächlichen Erfassung in Studien.

Diese Resultate der Arbeit deuten darauf hin, dass die Qualität der Wiederbelebensmaßnahmen in vielen rezenten wissenschaftlichen Arbeiten nicht systematisch berücksichtigt wird, weder durch Messung noch als Einordnung als Studienlimitation, obwohl sie einen potenziell relevanten Einflussfaktor auf das Patient*innenoutcome darstellt.

Mögliche Gründe hierfür könnten in methodischen Herausforderungen, fehlender standardisierter Erhebung sowie im erhöhten technischen und logistischen Aufwand der Datenerfassung liegen. Ein weiteres Indiz für eine zu aufwändige Datenerfassung zeigt, dass Faktoren wie die Fraktion oder Rate der Thoraxkompressionen, sowie die Pausen öfter erfasst und beschrieben werden, Parameter, welche ohne zusätzliche Installation direkt über Defibrillationspads aufgezeichnet werden können. Dem gegenüber stehen Aspekte wie die Tiefe der Thoraxkompression oder unvollständige Entlastungen, die deutlich seltener in Arbeiten berichtet werden, deren Aufzeichnung jedoch auch mit einem zusätzlichen Aufwand wie die Nutzung weiterer Geräte verbunden ist.

Die Ergebnisse zeigen zudem, dass keine standardisierte Vorgehensweise zur Erfassung der CPR-Qualität besteht. Unterschiedliche Studien verwenden verschiedene Parameter, uneinheitliche Messmethoden oder heterogene Stichprobenkonzepte, was die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zusätzlich

erschwert. Zudem sind aufgrund der verschiedenen Messkonzepte gleiche Parameter oft dennoch nicht vollständig übereinstimmend.

Der Unterschied der Häufigkeit der Erfassung der CPR-Qualität zwischen Interventions- und Observationsstudien bei ähnlicher Berücksichtigung als Limitation legt nahe, dass methodische Strenge und höherer Planungsgrad bei höherem Evidenzanspruch von Interventionsstudien mit einer häufigeren Berücksichtigung der CPR-Qualität assoziiert sein könnten.

Insgesamt lässt sich die CPR-Qualität weiterhin als ein bislang unterrepräsentierter Aspekt in der Studienlandschaft des prähospitalen Herz-Kreislauf-Stillstand beschreiben. Weitere Forschung ist in diesem Gebiet notwendig, um die Einordnung der CPR-Qualität als Confounder oder Mediator sicherzustellen, sowie die Relevanz für eine hohe methodische Studiengüte zu ermitteln.

4.4. Stärken und Limitationen

4.4.1. Stärken

Diese Arbeit bringt einige Stärken mit sich. Eine wesentliche Stärke liegt in der strukturierten Planung der Literaturrecherche. Bereits in der Frühphase dieses Projekts wurde ein Studienprotokoll erstellt, welches sich methodisch an klinischen Primärstudien orientiert. Dadurch konnten vorab zentrale methodische Aspekte transparent definiert werden, was zu einer höheren Nachvollziehbarkeit und Systematik der anschließenden Analyse beiträgt.

Eine weitere Stärke dieser Arbeit liegt im konsequent systematischen Vorgehen während der Literaturanalyse. Durch die Verwendung Boolescher Operatoren wurde eine reproduzierbare Suchstrategie entwickelt, die eine konsistente Identifikation relevanter Studien ermöglicht, für Suchsyntax und Ergebnisse siehe Anhang 3 und 4. Ergänzend wurden klar definierte Ein- und Ausschlusskriterien angewandt, wodurch eine strukturierte und nachvollziehbare Selektion der Literatur erfolgte und potenzielle Selektionsverzerrungen reduziert werden konnten. Darüber hinaus wurde durch die frühzeitige Festlegung der zu erhebenden Parameter eine

standardisierte Datenextraktion gewährleistet, was die Qualität und Konsistenz der erhobenen Daten verbessert.

Ebenfalls als Stärke anzusehen ist der große Umfang an betrachtenden Studien, sowie die Breite der analysierten Studien. Mit über 900 identifizierten Publikationen und mehr als 120 eingeschlossenen Studien konnte ein umfassender Überblick über die bestehende Literatur im Feld der Reanimationsforschung gewonnen werden. Die hohe Anzahl eingeschlossener Studien führt zwar zu einer erhöhten inhaltlichen und methodischen Heterogenität, ermöglicht jedoch gleichzeitig eine breite Abbildung unterschiedlicher Studiendesigns. Dadurch wird die Generalisierbarkeit der Ergebnisse gestärkt und eine bessere Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf die aktuelle Studienlandschaft erreicht.

Weiters als Stärke anzusehen, ist die Anlehnung an etablierten methodologischen Standards, insbesondere im Bereich systematischer Reviews. Neben dem zuvor erwähnten Studienprotokoll wurden PRISMA-Leitlinien als strukturgebender Rahmen herangezogen, um eine transparente und nachvollziehbare Durchführung der Literaturrecherche nach internationalen Standards zu gewährleisten. Das PRISMA-Flussdiagramm ermöglicht eine standardisierte Darstellung des Selektionsprozesses der Suchmaschinenergebnisse, während die PRISMA-Checkliste dazu beiträgt, alle relevanten methodologischen und inhaltlichen Aspekte vollständig im Manuskript abzubilden. Abweichungen von etablierten Standards wurden bewusst vorgenommen und entsprechend begründet, um die methodische Transparenz der Arbeit weiter zu erhöhen, siehe Anhang 1.

Eine wesentliche Stärke dieser Arbeit liegt in der fundierten theoretischen Grundlage durch einen etablierten Expert*innenkonsensus im Bereich der Reanimationsforschung (72). Der zugrunde liegende Positionsartikel bietet eine klar strukturierte und international anerkannte Definition relevanter Qualitätsparameter der Wiederbelebung mit hoher klinischer Relevanz. Auf dieser Basis wird in der vorliegenden Arbeit die systematische Umsetzung und das Ausmaß dieser empfohlenen Parameter in aktueller klinischer Literatur erfasst und berichtet.

4.4.2. Limitationen

Die Methodik dieser Arbeit weist mehrere Limitationen auf. Die Literaturrecherche basiert ausschließlich auf den Suchergebnissen einer einzelnen wissenschaftlichen Datenbank (PubMed/Medline). Obwohl PubMed eine breite Abdeckung medizinischer Literatur bietet, stellt die ausschließliche Nutzung einer singulären Datenbank eine Abweichung von etablierten Protokollen systematischer Literaturrecherchen dar, bei denen in der Regel mehrere Datenbanken kombiniert werden. Ein Selektionsbias kann nicht ausgeschlossen werden, vor allem hinsichtlich einer Überrepräsentation vorwiegend englischsprachiger Publikationen.

Weiteres wurde die Datenextraktion der Literaturrecherche von einer einzelnen Person durchgeführt. Auch wenn im Zuge von Diplomarbeiten eine eigenständige, alleinige Vorgehensweise vorgeschrieben und damit dieses Vorgehen in Abschlussarbeiten nicht unüblich ist, führen diese Vorgaben zum methodischen Abweichen von Standards in systematischen Reviews, bei denen eine Bewertung durch mehrere, unabhängige Begutachter*innen stattfindet. Ein Single-Reviewer*in-Vorgehen führt zum Risiko eines Selektionsbias, sowie einer erhöhten Fehleranfälligkeit in der Datenextraktion. Um diesen Verzerrungen entgegenzuwirken, wurde aufgrund des breiten Einschlusses und klaren Ein- und Ausschlusskriterien eine übermäßige Entscheidungsfreiheit minimiert. Zusätzlich wurde zur Qualitätssicherung eine Stichprobenkontrolle der extrahierten Informationen durchgeführt, die eine adäquate Datenqualität ergab.

Eine weitere Limitation ergibt sich aus der Verwendung des Journal Impact Factors als Proxyparameter für die methodologische Qualität von wissenschaftlichen Publikationsplattformen. Der Impact Factor erlaubt keine direkten Rückschlüsse auf die methodischen Standards einzelner Journale und ist daher nur begrenzt zur Qualitätsbewertung der darin veröffentlichten Studien geeignet. Zudem führt die Festlegung eines JIF-Schwellenwerts zum potenziellen Ausschluss thematisch relevanter Literatur, die eine hohe inhaltliche Übereinstimmung mit der Fragestellung aufweisen könnten. Ein direkter Rückschluss auf die Qualität einzelner Studien innerhalb des Journals ist ebenfalls nicht durchführbar. Die Wahl dieses Selektionskriteriums erfolgte dennoch bewusst, um einen numerischen

Parameter mit geringem Interpretationsspielraum zu verwenden und den Fokus auf methodisch anspruchsvolle, hochrangig publizierte Studien zu legen. Unter der Annahme, dass Studien mit hohem methodischem Anspruch bevorzugt in Journale mit hohem Impact Factor veröffentlicht werden, könnte durch diese Vorgehensweise ein Einfluss von Publikationsbias teilweise reduziert werden.

Zudem wurde keine formale Risk-of-Bias-Analyse durchgeführt. Aufgrund der ausgeprägten Studienheterogenität hinsichtlich Design, Zielsetzungen und untersuchter Interventionen/Observationen wurde eine standardisierte Bewertung des Verzerrungsrisikos als methodisch schwierig und nur eingeschränkt beurteilbar angesehen. Zudem lag der Fokus dieser Arbeit primär auf der Erfassung und Berichterstattung von CPR-Qualitätsparametern und nicht auf der Bewertung von Effektgrößen oder Interventionseffekten, wodurch der zusätzliche interpretative Mehrwert einer ROB-Analyse als begrenzt eingeschätzt wurde. Ebenso wurde auf die Durchführung einer Meta-Analyse verzichtet. Aufgrund der überwiegend deskriptiven statistischen Herangehensweise sowie der Heterogenität der eingeschlossenen Studien war eine quantitative Zusammenführung der Ergebnisse methodisch nicht sinnvoll.

Zusätzlich zeigt sich eine fraglich eingeschränkte Aussagekraft von Observationsstudien im Kontext der Fragestellung. Ein Großteil der eingeschlossenen Observationsstudien basiert auf Registerdaten mit vordefinierter Datenerfassung, wodurch keine Möglichkeit besteht, nicht erhobene CPR-Qualitätsparameter nachträglich zu erfassen. Dies kann dazu führen, dass fehlende Daten eher strukturell sind als das Ergebnis einer bewussten Nicht-Berücksichtigung durch die Studienautor*innen. Im Gegensatz hierzu bieten Interventionsstudien aufgrund ihres prospektiven, eigens geplanten Designs und gezielter Datenerfassung bessere Voraussetzungen für eine systematische Erfassung von Qualitätsparametern. Aus diesem Grund wurde ergänzend eine Subgruppenanalyse von Interventionsstudien durchgeführt, um potenzielle Unterschiede in der Datenerfassung festzustellen und Gesamtergebnisse besser auf Studienarten umlegen zu können.

4.5. Implikationen für Theorie und Praxis

4.5.1. Theorie

Die Ergebnisse dieser Arbeit bestätigen den bestehenden Verdacht, dass die Qualität der Reanimationsmaßnahmen in der aktuellen Literatur unzureichend berücksichtigt wird. Die vorhandene Evidenz liefert nur begrenzt Informationen über die tatsächliche Qualität der Wiederbelebungsmaßnahmen innerhalb einzelner Studien, im Vergleich zwischen Studiengruppen und als Zusammenfassung über mehrere Publikationen.

Dies hat potenziell erhebliche Auswirkungen auf die Validität der Studienergebnisse. Eine unzureichende oder variierende CPR-Qualität kann sowohl zu einer Verwässerung tatsächlicher Gruppenunterschiede führen als auch artifizielle Effekte erzeugen. Obwohl eine leitliniengerechte Durchführung der Reanimationsmaßnahmen häufig angenommen wird, lässt sich diese auf Basis der vorliegenden Daten nicht zuverlässig bestätigen.

Außerdem erschwert das unheitliche Vorgehen die Vergleichbarkeit zwischen einzelnen Studien, da bei unterschiedlicher Vorgehensweise die Heterogenität der Daten keine direkte Gegenüberstellung der Messgrößen zulässt. Weiters beeinträchtigt die fehlende Standardisierung in der Datenerhebung der CPR-Qualitätsparameter die Zusammenfassung der Erkenntnisse und Gesamteffekte in Reviews und Meta-Analysen, wodurch das Schaffen klarerer Evidenzniveaus verhindert wird.

4.5.2. Praxis

Die Studienplanung im Bereich der Reanimatologie berücksichtigt derzeit den objektiven Nachweis einer hochqualitativen Durchführung der Wiederbelebungsmaßnahmen nur unzureichend. Eine mögliche Ursache hierfür könnte ein fehlender methodischer Druck seitens der wissenschaftlichen Gemeinschaft sein. Aktuell stellt die fehlende Erfassung der CPR-Qualität in Interventionsstudien offenbar kein zentrales Publikationshindernis in hochrangigen Journals dar. Editorial Boards und Reviewer*innen könnten in diesem Bereich eine

wichtige Rolle einnehmen, indem sie zumindest die konsequente Diskussion der CPR-Qualität als potenzielle Limitation einfordern. Dies würde zu einer erhöhten Sichtbarkeit der Problematik beitragen und langfristig eine methodische Anpassung in Bezug auf diesen Aspekt fördern.

Für Reanimationsregister ergibt sich die Möglichkeit, insbesondere in notarztgestützten Systemen, eine systematische Erfassung der Reanimationsqualität zu implementieren. Bereits durch die Ausstattung von (Notarzt-)Einsatzfahrzeugen mit geeigneter Hard- und Software zur Datenerhebung könnte mit moderatem Aufwand ein erheblicher Mehrwert generiert werden. Eine frühzeitige Standardisierung mit erhöhten Datenakquirierungsmöglichkeiten hätte auch die Möglichkeit, retrospektiv relevante Daten zu gewinnen. Dies hätte das Potenzial, die Qualität von Observationsstudien zu verbessern und die Entwicklung neuer Forschungshypothesen zu unterstützen.

Auch für Rettungsdienstorganisationen bietet die systematische Erfassung der CPR-Qualität vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. Die Analyse von Reanimationsdaten kommt aktuell zur Qualitätssicherung auf Systemebene zu kurz. In diesem Bereich wird mögliches Potential auch hinsichtlich einer evidenzbasierten Anpassung von Ausbildungs- und Trainingskonzepten nicht ausgeschöpft. Das fehlende Echtzeit-Feedback während der Reanimationssituation wird nur ungenügend zur Verbesserung der Intraarrest-Leitlinienadhärenz eingesetzt, auch die Möglichkeit für objektives Feedback in strukturierten Debriefings zur nachhaltigen Verbesserung der Teamleistung wird bei fehlender Erfassung der Qualitätsparameter der Wiederbelebungsmaßnahmen zu selten genutzt.

Insgesamt unterstreichen die Ergebnisse dieser Arbeit die Notwendigkeit, das Potenzial einer umfassenden Datenerfassung in Reanimationen auszuschöpfen und die Qualität der Wiederbelebungsmaßnahmen nicht nur als theoretisches Konzept, sondern als integralen Bestandteil der klinischen Praxis zu etablieren.

4.6. Ausblick und Anregungen für weiterführende Arbeiten

Die unzureichende Berücksichtigung der CPR-Qualität in großen Reanimationsstudien wirft die Frage auf, warum ein zentraler Bestandteil jeder Wiederbelebung in wissenschaftlichen Publikationen wenig bis keine Betrachtung findet, obwohl sie

- einen direkten Einfluss auf das Patient*innenoutcome liefert (13, 17, 75),
- ein klarer Expert*innenkonsensus zur Erfassung entsprechender Parameter vorliegt (72),
- sowie internationale Leitlinien konkrete Rahmenbedingungen zur Durchführung der Wiederbelebungsmaßnahmen definieren (4, 34).

Eine mögliche Erklärung hierfür stellt der vermehrte Aufwand hinsichtlich der Datenerfassung dar. In registerbasierten Observationsstudien ist eine flächendeckende Erfassung der CPR-Qualität bislang nicht etabliert, wodurch fehlende Parameter nicht retrospektiv erfasst werden können und eine strukturelle Lücke in der Literatur entsteht. Auch in prospektiv geplanten Interventions- und Observationsstudien könnte die Erhebung entsprechender Qualitätsparameter aufgrund

- eines ungünstigen Nutzen-Aufwand-Verhältnisses,
- oder der Annahme, dass sich die CPR-Qualität über große Studienpopulationen ausgleicht,

vernachlässigt worden sein. Diese Annahme erscheint jedoch bei hoher Variabilität der Reanimationsqualität, selbst bei medizinisch geschultem Personal, nicht haltbar (73).

Hinsichtlich eines erhöhten Aufwands zeigt sich jedoch, dass ein Großteil der Qualitätsparameter technisch erfassbar ist. Viele dieser Parameter lassen sich über die Messung der Thoraximpedanz ableiten, welche kontinuierlich über standardmäßig eingesetzte Defibrillationspads erfasst werden kann (211, 212). Einschränkungen, insbesondere die Bestimmung der Kompressionstiefe sowie die Beurteilung vollständiger Entlastungen können durch die Nutzung von Akzelerometern, in Pads integriert oder als externes Gerät mit Monitoranschluss, kompensiert werden (213).

Um die Relevanz der CPR-Qualität weiter zu untersuchen und methodisch besser abzubilden, ergeben sich mehrere Ansätze für zukünftige Forschungsarbeiten:

- Implementierung von flächendeckender Impedanzsoftware in Defibrillatoren: Über die ohnehin anzubringenden Defibrillationspads entsteht kein zusätzlicher Aufwand in der Überlastungsphase einer Reanimation, die kontinuierliche Datenerfassung ermöglicht jedoch umgehend Feedback zu Kompressionsfrequenz, Ventilation und Pausen. Kombiniert mit Akzelerometern können zusätzlich Kompressionstiefe und Entlastungen ergänzt werden. Dies erlaubt sowohl eine unmittelbare Qualitätsverbesserung während der Reanimation als auch eine objektive Auswertung im Rahmen von Debriefings.
- Erhebung von Erfahrungen im prähospitalen Setting: Umfragen unter EMS-Personal könnten Aufschluss geben, inwiefern Feedbacksysteme die Leitlinienadhärenz und die Sicherheit in der Durchführung von Wiederbelebungsmaßnahmen beeinflussen.
- Untersuchung von Confoundern und Mediatoren: Aufgrund der nachgewiesenen Variabilität der CPR-Qualität sollten zukünftige Studien klären, ab und in welchem Ausmaß diese als relevante Confounder wirkt. Mögliche Ansätze reichen von internationalen Vergleichsstudien über nationale Registeranalysen bis hin zu Untersuchungen zwischen einzelnen EMS-Teams.
- Integration von Qualitätsparametern in Reanimationsregistern: Bereits mit geringem bis moderatem Mehraufwand könnte die Datenerhebung erweitert werden. Die dadurch zusätzlich generierten Informationen würden eine differenziertere Analyse ermöglichen, insbesondere hinsichtlich der Stratifizierung von Studienpopulationen und der Erstellung neuer Hypothesen.
- Verbesserung der methodischen Qualität von Interventionsstudien: Die Stratifizierung nach CPR-Qualitätsparametern minimiert deren Einfluss auf Effektgrößen, wodurch die Validität der Publikationen deutlich zunehmen kann.
- Echtzeit-Feedback könnte dazu beitragen, vergleichbare Bedingungen zwischen Interventions- und Kontrollgruppen herzustellen. Gleichzeitig

könnten Unterschiede in der Reanimationsqualität sichtbar gemacht und in Subgruppenanalysen berücksichtigt werden.

Studien in der Reanimationsforschung sind aufgrund des hohen Zeitdrucks und erheblichen psychischen und physischen Belastung besonderen Herausforderungen unterworfen. Insbesondere im prähospitalen Bereich kommt es häufig zur Zusammenarbeit uneingespielter Teams, die in der Reanimation gemeinsam ihre Leistung abrufen müssen. Das erschwert die methodisch saubere Durchführung von Studien, wodurch Einfluss auf die Aussagekraft dieser genommen werden kann. Die systematische Erfassung von CPR-Qualitätsparametern könnte einen entscheidenden Beitrag zur Verbesserung der methodischen Qualität zukünftiger Studien leisten, die Leistungen von prähospitalen Reanimationsteams im Arrest und langfristig zu verbessern und neue Erkenntnisse in der Reanimationsforschung ermöglichen. Die Messung der Qualität einer Reanimation darf kein optionaler Faktor für Wiederbelebungsstudien darstellen und muss sich zum klinischen Standard entwickeln.

Literaturverzeichnis

1. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372:n71.
2. Koppenburg J. Herz-Kreislauf-Stillstand. Berlin: De Gruyter; 2021. Available from: <https://www-1pschyrembel-1de-10013b4kt17cd.han.medunigraz.at/Herz-Kreislauf-Stillstand/K09QK>.
3. Olasveengen TM, Semeraro F, Ristagno G, Castren M, Handley A, Kuzovlev A, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Basic Life Support. *Resuscitation*. 2021;161:98-114.
4. Soar J, Bottiger BW, Carli P, Couper K, Deakin CD, Djarv T, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Adult advanced life support. *Resuscitation*. 2021;161:115-51.
5. Madar J, Roeher CC, Ainsworth S, Ersdal H, Morley C, Rudiger M, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Newborn resuscitation and support of transition of infants at birth. *Resuscitation*. 2021;161:291-326.
6. Van de Voorde P, Turner NM, Djakow J, de Lucas N, Martinez-Mejias A, Biarent D, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Paediatric Life Support. *Resuscitation*. 2021;161:327-87.
7. Lott C, Truhlar A, Alfonzo A, Barelli A, Gonzalez-Salvado V, Hinkelbein J, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Cardiac arrest in special circumstances. *Resuscitation*. 2021;161:152-219.
8. Grasner JT, Herlitz J, Tjelmeland IBM, Wnent J, Masterson S, Lilja G, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Epidemiology of cardiac arrest in Europe. *Resuscitation*. 2021;161:61-79.
9. Horriar L, Rott N, Bottiger BW. Improving survival after cardiac arrest in Europe: The synergetic effect of rescue chain strategies. *Resusc Plus*. 2024;17:100533.
10. Semeraro F, Greif R, Bottiger BW, Burkart R, Cimpoesu D, Georgiou M, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Systems saving lives. *Resuscitation*. 2021;161:80-97.
11. Jazayeri MA, Emert MP. Sudden Cardiac Death: Who Is at Risk? *Med Clin North Am*. 2019;103(5):913-30.
12. Nilsen JH, Valkov S, Mohyuddin R, Schanche T, Kondratiev TV, Naesheim T, et al. Study of the Effects of 3 h of Continuous Cardiopulmonary Resuscitation at 27 degrees C on Global Oxygen Transport and Organ Blood Flow. *Front Physiol*. 2020;11:213.
13. Harris AW, Kudenchuk PJ. Cardiopulmonary resuscitation: the science behind the hands. *Heart*. 2018;104(13):1056-61.
14. Krause U. Vorlast. Berlin: De Gruyter; 2025. Available from: <https://www-1pschyrembel-1de-10013b4qw1712.han.medunigraz.at/Vorlast/K0NWB/doc/>.
15. Oczenski W. Atmen - Atemhilfen: Thieme; 2017. 580 p.
16. Ernstmeyer K, Christman E. Table 11.3a, Settings of Oxygenation Devices. *Nursing Skills [Internet]*. Eau Claire (WI): Chippewa Valley Technical College; 2021.
17. Cheskes S, Schmicker RH, Christenson J, Salcido DD, Rea T, Powell J, et al. Perishock pause: an independent predictor of survival from out-of-hospital shockable cardiac arrest. *Circulation*. 2011;124(1):58-66.

18. Eftestol T, Wik L, Sunde K, Steen PA. Effects of cardiopulmonary resuscitation on predictors of ventricular fibrillation defibrillation success during out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation*. 2004;110(1):10-5.
19. Idris AH, Guffey D, Aufderheide TP, Brown S, Morrison LJ, Nichols P, et al. Relationship between chest compression rates and outcomes from cardiac arrest. *Circulation*. 2012;125(24):3004-12.
20. Cummins RO, Chamberlain DA, Abramson NS, Allen M, Baskett PJ, Becker L, et al. Recommended guidelines for uniform reporting of data from out-of-hospital cardiac arrest: the Utstein Style. A statement for health professionals from a task force of the American Heart Association, the European Resuscitation Council, the Heart and Stroke Foundation of Canada, and the Australian Resuscitation Council. *Circulation*. 1991;84(2):960-75.
21. Grasner JT, Bray JE, Nolan JP, Iwami T, Ong MEH, Finn J, et al. Cardiac arrest and cardiopulmonary resuscitation outcome reports: 2024 update of the Utstein Out-of-Hospital Cardiac Arrest Registry template. *Resuscitation*. 2024;201:110288.
22. Chamberlain D, Founding Members of the International Liaison Committee on R. The International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR)-past and present: compiled by the Founding Members of the International Liaison Committee on Resuscitation. *Resuscitation*. 2005;67(2-3):157-61.
23. Schluep M, Gravesteijn BY, Stolker RJ, Endeman H, Hoeks SE. One-year survival after in-hospital cardiac arrest: A systematic review and meta-analysis. *Resuscitation*. 2018;132:90-100.
24. Grasner JT, Lefering R, Koster RW, Masterson S, Bottiger BW, Herlitz J, et al. EuReCa ONE-27 Nations, ONE Europe, ONE Registry: A prospective one month analysis of out-of-hospital cardiac arrest outcomes in 27 countries in Europe. *Resuscitation*. 2016;105:188-95.
25. Grasner 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.
26. Berdowski J, Berg RA, Tijssen JG, Koster RW. Global incidences of out-of-hospital cardiac arrest and survival rates: Systematic review of 67 prospective studies. *Resuscitation*. 2010;81(11):1479-87.
27. Balest AL. Neugeborenen-Reanimation [Website]. MSD Manuel: Merck & Co.; 2023 [updated 11.2023. Available from: https://www.msdmanuals.com/de/profi/pädiatrie/probleme-der-perinatalperiode/neugeborenen-reanimation#Reanimation_v44228599_de.
28. Campbell R, Berger S, Ackermann MJ. Pediatric Sudden Cardiac Arrest. *AMERICAN ACADEMY OF PEDIATRICS*. 2012;129(4).
29. Vega RM, Kaur H, Sasaki J, Edemekong PF. Cardiopulmonary Arrest in Children. *StatPearls*. Treasure Island (FL)2025.
30. Herold G. Innere Medizin: Selbstverlag; 2022. 1003 p.
31. Gaspari R, Weekes A, Adhikari S, Noble V, Nomura JT, Theodoro D, et al. A retrospective study of pulseless electrical activity, bedside ultrasound identifies interventions during resuscitation associated with improved survival to hospital admission. A REASON Study. *Resuscitation*. 2017;120:103-7.
32. Elhalwagy O, Singer B, Grier G, Wong A. Contextualizing Pseudo-Pulseless Electrical Activity in Cardiac Arrest: A Meta-Analysis and Systematic Review. *Air Med J*. 2025;44(1):83-92.

33. AMBOSS. Grundlagen der Reanimation Berlin: AMBOSS GmbH; 2026 [updated 20.02.2026. Available from: <https://next.amboss.com/de/article/kN0mYg?q=grundlagen+der+reanimaiton>.
34. Panchal AR, Bartos JA, Cabanas JG, Donnino MW, Drennan IR, Hirsch KG, et al. Part 3: Adult Basic and Advanced Life Support: 2020 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation*. 2020;142(16_suppl_2):S366-S468.
35. Meaney PA, Bobrow BJ, Mancini ME, Christenson J, de Caen AR, Bhanji F, et al. Cardiopulmonary resuscitation quality: [corrected] improving cardiac resuscitation outcomes both inside and outside the hospital: a consensus statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2013;128(4):417-35.
36. Wetsch WA, Hinkelbein J, Fabian S. Kurzlehrbuch Anästhesie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie. In: Auflage a, editor. Stuttgart: Thieme; 2018. p. 211.
37. AMBOSS. Hirnstamm Berlin: AMBOSS GmbH; 2024 [updated 07.04.2024. Available from: <https://next.amboss.com/de/article/yo0deS>.
38. Sandroni C, Cronberg T, Sekhon M. Brain injury after cardiac arrest: pathophysiology, treatment, and prognosis. *Intensive Care Med*. 2021;47(12):1393-414.
39. Rea TD. Agonal respirations during cardiac arrest. *Curr Opin Crit Care*. 2005;11(3):188-91.
40. Sankari A. Overview of Respiratory Arrest Rahway, NJ: Merck & Co., Inc.; 2024 [updated 07.2024. Available from: https://www.merckmanuals.com/professional/critical-care-medicine/respiratory-arrest/overview-of-respiratory-arrest?utm_source=chatgpt.com.
41. Lin LW, DuCanto J, Hsu CY, Su YC, Huang CC, Hung SW. Compromised cardiopulmonary resuscitation quality due to regurgitation during endotracheal intubation: a randomised crossover manikin simulation study. *BMC Emerg Med*. 2022;22(1):124.
42. UK RC. Chapter 7: Non-Technical Skills London: Resuscitation Council UK; [o. J.] [Available from: https://lms.resus.org.uk/modules/m65-non-technical-skills/resources/chapter_7.pdf.
43. Wieling W, Thijs RD, van Dijk N, Wilde AA, Benditt DG, van Dijk JG. Symptoms and signs of syncope: a review of the link between physiology and clinical clues. *Brain*. 2009;132(Pt 10):2630-42.
44. Zhao D, Weil MH, Tang W, Klouche K, Wann SR. Pupil diameter and light reaction during cardiac arrest and resuscitation. *Crit Care Med*. 2001;29(4):825-8.
45. Kosaraju A, Pendela VS, Hai O. Cardiogenic Shock Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 [updated 07.04.2023. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482255/>.
46. Schellino R, Boido M, Vercelli A. The Dual Nature of Onuf's Nucleus: Neuroanatomical Features and Peculiarities, in Health and Disease. *Front Neuroanat*. 2020;14:572013.
47. American Red Cross. CPR Techniques and Process 2023 [Available from: <https://guidelines.redcross.org/guidelines-database/cpr-techniques-and-sequence/>.
48. AMBOSS. Schock Berlin: AMBOSS GmbH; 2025 [updated 20.03.2025. Available from: <https://next.amboss.com/de/article/kO0msT>.
49. Herold G, Mitarbeiter u. Schock. Berlin: De Gruyter; 2024. Available from: <https://www.pschyrembel.de/schock/L0HJ3/doc/>.

50. Helman A, Simard R, Weingart S. PEA Arrest, PseudoPEA and PREM [Internet]. Toronto: Emergency Medicine Cases; 2019 [cited 08.07.2025]. Podcast. Available from: <https://emergencymedicinecases.com/pea-arrest-pseudopea-prem>
51. Rezaie S. REBEL Cast Ep 54 – What the Heck is Pseudo-PEA? [Internet]. San Antonio, TX: REBEL EM; 2018 [cited 10.07.2025]. Podcast. Available from: <https://rebelem.com/rebel-cast-ep-54-what-the-heck-is-pseudo-pea/>
52. German Resuscitation Council (GRC). ALS-Algorithmus für die Erwachsenenreanimation 2022 [Available from: <https://www.grc.org.de/downloads/ALS%20Algo%20GRC%2015.08.2022.pdf>.
53. Curry J. Popular observations on apparent death from drowning, suffocation, &c : with an account of the means to be employed for recovery ; drawn up at the desire of the Northamptonshire Preservative Society. Northampton: Dicey, T.; 1792.
54. Downing M, Sakarcan E, Quinn K. The History of Cardiopulmonary Resuscitation and Where We Are Today. *Hearts*. 2025;6(1).
55. Redaktion P. Boyle-Mariotte-Gesetz. Berlin: De Gruyter; 2018. Available from: <https://www-1pschyrembel-1de-10013b48j1377.han.medunigraz.at/Boyle-Mariotte-Gesetz/K0435/doc/>.
56. Hallstrom A, Cobb L, Johnson E, Copass M. Cardiopulmonary resuscitation by chest compression alone or with mouth-to-mouth ventilation. *N Engl J Med*. 2000;342(21):1546-53.
57. Berg RA, Kern KB, Sanders AB, Otto CW, Hilwig RW, Ewy GA. Bystander cardiopulmonary resuscitation. Is ventilation necessary? *Circulation*. 1993;88(4 Pt 1):1907-15.
58. Bielski K, Smereka J, Chmielewski J, Pruc M, Chirico F, Gasecka A, et al. Meta-analysis of chest compression-only versus conventional cardiopulmonary resuscitation by bystanders for adult with out-of-hospital cardiac arrest. *Cardiol J*. 2023;30(4):606-13.
59. Baskett PJF, Bossaert L, Carli P. Guidelines for the advanced management of the airway and ventilation during resuscitation. A statement by the Airway and Ventilation Management of the Working Group of the European Resuscitation Council. *Resuscitation*. 1996;31(3):201-30.
60. Chamberlain D, Bossaert L, Carli P. Guidelines for advanced life support. A statement by the Advanced Life Support Working Party of the European Resuscitation Council, 1992. *Resuscitation*. 1992;24(2):111-21.
61. Bernhard M, Mohr S, Weigand MA, Martin E, Walther A. Developing the skill of endotracheal intubation: implication for emergency medicine. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2012;56(2):164-71.
62. Lonvik MP, Elden OE, Lunde MJ, Nordseth T, Bakkelund KE, Uleberg O. A prospective observational study comparing two supraglottic airway devices in out-of-hospital cardiac arrest. *BMC Emerg Med*. 2021;21(1):51.
63. Benger JR, Kirby K, Black S, Brett SJ, Clout M, Lazaroo MJ, et al. Supraglottic airway device versus tracheal intubation in the initial airway management of out-of-hospital cardiac arrest: the AIRWAYS-2 cluster RCT. *Health Technol Assess*. 2022;26(21):1-158.
64. Association AH. History of CPR Dallas (TX): American Heart Association; [o. J.] [updated 16.08.2025. Available from: <https://cpr.heart.org/en/resources/history-of-cpr#8>.

65. Vallejo-Manzur F, Varon J, Fromm R, Jr., Baskett P. Moritz Schiff and the history of open-chest cardiac massage. *Resuscitation*. 2002;53(1):3-5.
66. Taw RL, Jr. Dr. Friedrich Maass: 100th anniversary of "new" CPR. *Clin Cardiol*. 1991;14(12):1000-2.
67. Kouwenhoven WB, Jude JR, Knickerbocker GG. Closed-chest cardiac massage. *JAMA*. 1960;173:1064-7.
68. Cardiopulmonary resuscitation. *JAMA*. 1966;198(4):372-9.
69. Hwang SO. Cardiopulmonary resuscitation—From the past into the future. *Journal of Acute Medicine*. 2013;3(3).
70. Perkins GD, Neumar R, Monsieurs KG, Lim SH, Castren M, Nolan JP, et al. The International Liaison Committee on Resuscitation-Review of the last 25 years and vision for the future. *Resuscitation*. 2017;121:104-16.
71. Perkins GD, Graesner JT, Semeraro F, Olasveengen T, Soar J, Lott C, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Executive summary. *Resuscitation*. 2021;161:1-60.
72. Kramer-Johansen J, Edelson DP, Losert H, Kohler K, Abella BS. Uniform reporting of measured quality of cardiopulmonary resuscitation (CPR). *Resuscitation*. 2007;74(3):406-17.
73. 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.
74. Waalewijn RA, de Vos R, Tijssen JG, Koster RW. Survival models for out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation from the perspectives of the bystander, the first responder, and the paramedic. *Resuscitation*. 2001;51(2):113-22.
75. Yannopoulos D, Aufderheide TP, Abella BS, Duval S, Frascone RJ, Goodloe JM, et al. Quality of CPR: An important effect modifier in cardiac arrest clinical outcomes and intervention effectiveness trials. *Resuscitation*. 2015;94:106-13.
76. Abella BS, Alvarado JP, Myklebust H, Edelson DP, Barry A, O'Hearn N, et al. Quality of cardiopulmonary resuscitation during in-hospital cardiac arrest. *JAMA*. 2005;293(3):305-10.
77. Deakin CD, Nolan JP, Ji C, Fothergill RT, Quinn T, Rosser A, et al. The effect of airway management on CPR quality in the PARAMEDIC2 randomised controlled trial. *Resuscitation*. 2021;158:8-13.
78. Talikowska M, Tohira H, Finn J. Cardiopulmonary resuscitation quality and patient survival outcome in cardiac arrest: A systematic review and meta-analysis. *Resuscitation*. 2015;96:66-77.
79. Statement P. PRISMA 2020 Checklist London: PRISMA Group; 2020 [Available from: <https://www.prisma-statement.org/prisma-2020-checklist>].
80. Chicago UoI. Measuring Your Impact: Impact Factor, Citation Analysis, and other Metrics: Journal Impact Factor (IF) [Website]. Chicago (IL), USA: UIC Library; 2024 [updated 22.11.2024. Available from: <https://researchguides.uic.edu/if/impact>].
81. van Enst WA, Scholten RJ, Whiting P, Zwinderman AH, Hooft L. Meta-epidemiologic analysis indicates that MEDLINE searches are sufficient for diagnostic test accuracy systematic reviews. *J Clin Epidemiol*. 2014;67(11):1192-9.
82. Rice DB, Kloda LA, Levis B, Qi B, Kingsland E, Thombs BD. Are MEDLINE searches sufficient for systematic reviews and meta-analyses of the diagnostic

accuracy of depression screening tools? A review of meta-analyses. *J Psychosom Res.* 2016;87:7-13.

83. RANDOM.ORG. True Random Number Generator 2026 [Available from: <https://www.random.org>].

84. (NLM) USNLoM. Using PICO to Frame Clinical Questions [Website]. Bethesda (MD), USA: National Library of Medicine, National Institutes of Health; [Available from: https://www.nlm.nih.gov/oet/ed/pubmed/pubmed_in_ebp/02-100.html].

85. Kitamura T, Iwami T, Nichol G, Nishiuchi T, Hayashi Y, Nishiyama C, et al. Reduction in incidence and fatality of out-of-hospital cardiac arrest in females of the reproductive age. *Eur Heart J.* 2010;31(11):1365-72.

86. Yasunaga H, Horiguchi H, Tanabe S, Akahane M, Ogawa T, Koike S, et al. Collaborative effects of bystander-initiated cardiopulmonary resuscitation and prehospital advanced cardiac life support by physicians on survival of out-of-hospital cardiac arrest: a nationwide population-based observational study. *Crit Care.* 2010;14(6):R199.

87. Aufderheide TP, Frascone RJ, Wayne MA, Mahoney BD, Swor RA, Domeier RM, et al. Standard cardiopulmonary resuscitation versus active compression-decompression cardiopulmonary resuscitation with augmentation of negative intrathoracic pressure for out-of-hospital cardiac arrest: a randomised trial. *Lancet.* 2011;377(9762):301-11.

88. Aufderheide TP, Nichol G, Rea TD, Brown SP, Leroux BG, Pepe PE, et al. A trial of an impedance threshold device in out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med.* 2011;365(9):798-806.

89. Berdowski J, Blom MT, Bardai A, Tan HL, Tijssen JG, Koster RW. Impact of onsite or dispatched automated external defibrillator use on survival after out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation.* 2011;124(20):2225-32.

90. Grasner JT, Meybohm P, Lefering R, Wnent J, Bahr J, Messelken M, et al. ROSC after cardiac arrest--the RACA score to predict outcome after out-of-hospital cardiac arrest. *Eur Heart J.* 2011;32(13):1649-56.

91. Kajino K, Iwami T, Kitamura T, Daya M, Ong ME, Nishiuchi T, et al. Comparison of supraglottic airway versus endotracheal intubation for the pre-hospital treatment of out-of-hospital cardiac arrest. *Crit Care.* 2011;15(5):R236.

92. Koike S, Ogawa T, Tanabe S, Matsumoto S, Akahane M, Yasunaga H, et al. Collapse-to-emergency medical service cardiopulmonary resuscitation interval and outcomes of out-of-hospital cardiopulmonary arrest: a nationwide observational study. *Crit Care.* 2011;15(3):R120.

93. Lah K, Krizmaric M, Grmec S. The dynamic pattern of end-tidal carbon dioxide during cardiopulmonary resuscitation: difference between asphyxial cardiac arrest and ventricular fibrillation/pulseless ventricular tachycardia cardiac arrest. *Crit Care.* 2011;15(1):R13.

94. Neukamm J, Grasner JT, Schewe JC, Breil M, Bahr J, Heister U, et al. The impact of response time reliability on CPR incidence and resuscitation success: a benchmark study from the German Resuscitation Registry. *Crit Care.* 2011;15(6):R282.

95. Stiell IG, Nichol G, Leroux BG, Rea TD, Ornato JP, Powell J, et al. Early versus later rhythm analysis in patients with out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med.* 2011;365(9):787-97.

96. Hagihara A, Hasegawa M, Abe T, Nagata T, Wakata Y, Miyazaki S. Prehospital epinephrine use and survival among patients with out-of-hospital cardiac arrest. *JAMA*. 2012;307(11):1161-8.
97. Iwami T, Kitamura T, Kawamura T, Mitamura H, Nagao K, Takayama M, et al. Chest compression-only cardiopulmonary resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest with public-access defibrillation: a nationwide cohort study. *Circulation*. 2012;126(24):2844-51.
98. Kitamura T, Iwami T, Kawamura T, Nitta M, Nagao K, Nonogi H, et al. Nationwide improvements in survival from out-of-hospital cardiac arrest in Japan. *Circulation*. 2012;126(24):2834-43.
99. Kudenchuk PJ, Redshaw JD, Stubbs BA, Fahrenbruch CE, Dumas F, Phelps R, et al. Impact of changes in resuscitation practice on survival and neurological outcome after out-of-hospital cardiac arrest resulting from nonshockable arrhythmias. *Circulation*. 2012;125(14):1787-94.
100. Wnent J, Seewald S, Heringlake M, Lemke H, Brauer K, Lefering R, et al. Choice of hospital after out-of-hospital cardiac arrest--a decision with far-reaching consequences: a study in a large German city. *Crit Care*. 2012;16(5):R164.
101. Bagai A, McNally BF, Al-Khatib SM, Myers JB, Kim S, Karlsson L, et al. Temporal differences in out-of-hospital cardiac arrest incidence and survival. *Circulation*. 2013;128(24):2595-602.
102. Beesems SG, Wijmans L, Tijssen JG, Koster RW. Duration of ventilations during cardiopulmonary resuscitation by lay rescuers and first responders: relationship between delivering chest compressions and outcomes. *Circulation*. 2013;127(15):1585-90.
103. Berdowski J, de Beus MF, Blom M, Bardai A, Bots ML, Doevendans PA, et al. Exercise-related out-of-hospital cardiac arrest in the general population: incidence and prognosis. *Eur Heart J*. 2013;34(47):3616-23.
104. Drezner JA, Toresdahl BG, Rao AL, Huszti E, Harmon KG. Outcomes from sudden cardiac arrest in US high schools: a 2-year prospective study from the National Registry for AED Use in Sports. *Br J Sports Med*. 2013;47(18):1179-83.
105. Freese JP, Jorgenson DB, Liu PY, Innes J, Matallana L, Nammi K, et al. Waveform analysis-guided treatment versus a standard shock-first protocol for the treatment of out-of-hospital cardiac arrest presenting in ventricular fibrillation: results of an international randomized, controlled trial. *Circulation*. 2013;128(9):995-1002.
106. Goto Y, Maeda T, Goto Y. Decision-tree model for predicting outcomes after out-of-hospital cardiac arrest in the emergency department. *Crit Care*. 2013;17(4):R133.
107. Goto Y, Maeda T, Goto Y. Effects of prehospital epinephrine during out-of-hospital cardiac arrest with initial non-shockable rhythm: an observational cohort study. *Crit Care*. 2013;17(5):R188.
108. Goto Y, Maeda T, Nakatsu-Goto Y. Neurological outcomes in patients transported to hospital without a prehospital return of spontaneous circulation after cardiac arrest. *Crit Care*. 2013;17(6):R274.
109. Hagihara A, Hasegawa M, Abe T, Wakata Y, Nagata T, Nabeshima Y. Prehospital lactated ringer's solution treatment and survival in out-of-hospital cardiac arrest: a prospective cohort analysis. *PLoS Med*. 2013;10(2):e1001394.
110. Hasegawa K, Hiraide A, Chang Y, Brown DF. Association of prehospital advanced airway management with neurologic outcome and survival in patients with out-of-hospital cardiac arrest. *JAMA*. 2013;309(3):257-66.

111. Lewis M, Stubbs BA, Eisenberg MS. Dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation: time to identify cardiac arrest and deliver chest compression instructions. *Circulation*. 2013;128(14):1522-30.
112. Marijon E, Bougouin W, Celermajer DS, Perier MC, Benameur N, Lamhaut L, et al. Major regional disparities in outcomes after sudden cardiac arrest during sports. *Eur Heart J*. 2013;34(47):3632-40.
113. Nakahara S, Tomio J, Takahashi H, Ichikawa M, Nishida M, Morimura N, et al. Evaluation of pre-hospital administration of adrenaline (epinephrine) by emergency medical services for patients with out of hospital cardiac arrest in Japan: controlled propensity matched retrospective cohort study. *BMJ*. 2013;347:f6829.
114. Page RL, Husain S, White LY, Rea TD, Fahrenbruch C, Yin L, et al. Cardiac arrest at exercise facilities: implications for placement of automated external defibrillators. *J Am Coll Cardiol*. 2013;62(22):2102-9.
115. Reynolds JC, Frisch A, Rittenberger JC, Callaway CW. Duration of resuscitation efforts and functional outcome after out-of-hospital cardiac arrest: when should we change to novel therapies? *Circulation*. 2013;128(23):2488-94.
116. Wallace SK, Abella BS, Shofer FS, Leary M, Agarwal AK, Mechem CC, et al. Effect of time of day on prehospital care and outcomes after out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation*. 2013;127(15):1591-6.
117. Wissenberg M, Lippert FK, Folke F, Weeke P, Hansen CM, Christensen EF, et al. Association of national initiatives to improve cardiac arrest management with rates of bystander intervention and patient survival after out-of-hospital cardiac arrest. *JAMA*. 2013;310(13):1377-84.
118. Blom MT, Beesems SG, Homma PC, Zijlstra JA, Hulleman M, van Hoeijen DA, et al. Improved survival after out-of-hospital cardiac arrest and use of automated external defibrillators. *Circulation*. 2014;130(21):1868-75.
119. Bougouin W, Lamhaut L, Marijon E, Jost D, Dumas F, Deye N, et al. Characteristics and prognosis of sudden cardiac death in Greater Paris: population-based approach from the Paris Sudden Death Expertise Center (Paris-SDEC). *Intensive Care Med*. 2014;40(6):846-54.
120. Chan PS, McNally B, Tang F, Kellermann A, Group CS. Recent trends in survival from out-of-hospital cardiac arrest in the United States. *Circulation*. 2014;130(21):1876-82.
121. Debaty G, Maignan M, Savary D, Koch FX, Ruckly S, Durand M, et al. Impact of intra-arrest therapeutic hypothermia in outcomes of prehospital cardiac arrest: a randomized controlled trial. *Intensive Care Med*. 2014;40(12):1832-42.
122. Dumas F, Bougouin W, Geri G, Lamhaut L, Bougle A, Daviaud F, et al. Is epinephrine during cardiac arrest associated with worse outcomes in resuscitated patients? *J Am Coll Cardiol*. 2014;64(22):2360-7.
123. Goto Y, Maeda T, Nakatsu-Goto Y. Prognostic implications of conversion from nonshockable to shockable rhythms in out-of-hospital cardiac arrest. *Crit Care*. 2014;18(5):528.
124. Indik JH, Conover Z, McGovern M, Silver AE, Spaite DW, Bobrow BJ, et al. Association of amplitude spectral area of the ventricular fibrillation waveform with survival of out-of-hospital ventricular fibrillation cardiac arrest. *J Am Coll Cardiol*. 2014;64(13):1362-9.
125. Nehme Z, Andrew E, Cameron PA, Bray JE, Bernard SA, Meredith IT, et al. Population density predicts outcome from out-of-hospital cardiac arrest in Victoria, Australia. *Med J Aust*. 2014;200(8):471-5.

126. Rubertsson S, Lindgren E, Smekal D, Ostlund 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.
127. 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.
128. Genbrugge C, Meex I, Boer W, Jans F, Heylen R, Ferdinande B, et al. Increase in cerebral oxygenation during advanced life support in out-of-hospital patients is associated with return of spontaneous circulation. *Crit Care*. 2015;19(1):112.
129. Hasselqvist-Ax I, Riva G, Herlitz J, Rosenqvist M, Hollenberg J, Nordberg P, et al. Early cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med*. 2015;372(24):2307-15.
130. Iwami T, Kitamura T, Kiyohara K, Kawamura T. Dissemination of Chest Compression-Only Cardiopulmonary Resuscitation and Survival After Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *Circulation*. 2015;132(5):415-22.
131. Kragholm K, Wissenberg M, Mortensen RN, Fonager K, Jensen SE, Rajan S, et al. Return to Work in Out-of-Hospital Cardiac Arrest Survivors: A Nationwide Register-Based Follow-Up Study. *Circulation*. 2015;131(19):1682-90.
132. Malta Hansen C, Kragholm K, Pearson DA, Tyson C, Monk L, Myers B, et al. Association of Bystander and First-Responder Intervention With Survival After Out-of-Hospital Cardiac Arrest in North Carolina, 2010-2013. *JAMA*. 2015;314(3):255-64.
133. Marijon E, Uy-Evanado A, Reinier K, Teodorescu C, Narayanan K, Jouven X, et al. Sudden cardiac arrest during sports activity in middle age. *Circulation*. 2015;131(16):1384-91.
134. Nakahara S, Tomio J, Ichikawa M, Nakamura F, Nishida M, Takahashi H, et al. Association of Bystander Interventions With Neurologically Intact Survival Among Patients With Bystander-Witnessed Out-of-Hospital Cardiac Arrest in Japan. *JAMA*. 2015;314(3):247-54.
135. Nichol G, Leroux B, Wang H, Callaway CW, Sopko G, Weisfeldt M, et al. Trial of Continuous or Interrupted Chest Compressions during CPR. *N Engl J Med*. 2015;373(23):2203-14.
136. 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. *Lancet*. 2015;385(9972):947-55.
137. Ringh M, Rosenqvist M, Hollenberg J, Jonsson M, Fredman D, Nordberg P, et al. Mobile-phone dispatch of laypersons for CPR in out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med*. 2015;372(24):2316-25.
138. Sanghavi P, Jena AB, Newhouse JP, Zaslavsky AM. Outcomes after out-of-hospital cardiac arrest treated by basic vs advanced life support. *JAMA Intern Med*. 2015;175(2):196-204.
139. Stromsoe A, Svensson L, Axelsson AB, Claesson A, Goransson KE, Nordberg P, et al. Improved outcome in Sweden after out-of-hospital cardiac arrest and possible association with improvements in every link in the chain of survival. *Eur Heart J*. 2015;36(14):863-71.
140. Wissenberg M, Folke F, Hansen CM, Lippert FK, Kragholm K, Risgaard B, et al. Survival After Out-of-Hospital Cardiac Arrest in Relation to Age and Early

- Identification of Patients With Minimal Chance of Long-Term Survival. *Circulation*. 2015;131(18):1536-45.
141. Argaud L, Cour M, Dubien PY, Giraud F, Jossan C, Riche B, et al. Effect of Cyclosporine in Nonshockable Out-of-Hospital Cardiac Arrest: The CYRUS Randomized Clinical Trial. *JAMA Cardiol*. 2016;1(5):557-65.
 142. Bengner J, Coates D, Davies S, Greenwood R, Nolan J, Rhys M, et al. Randomised comparison of the effectiveness of the laryngeal mask airway supreme, i-gel and current practice in the initial airway management of out of hospital cardiac arrest: a feasibility study. *Br J Anaesth*. 2016;116(2):262-8.
 143. Bernard SA, Smith K, Finn J, Hein C, Grantham H, Bray JE, et al. Induction of Therapeutic Hypothermia During Out-of-Hospital Cardiac Arrest Using a Rapid Infusion of Cold Saline: The RINSE Trial (Rapid Infusion of Cold Normal Saline). *Circulation*. 2016;134(11):797-805.
 144. Bobrow BJ, Spaite DW, Vadeboncoeur TF, Hu C, Mullins T, Tormala W, et al. Implementation of a Regional Telephone Cardiopulmonary Resuscitation Program and Outcomes After Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *JAMA Cardiol*. 2016;1(3):294-302.
 145. 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: A Population-Based Study Using the CARES Registry (Cardiac Arrest Registry to Enhance Survival). *Circulation*. 2016;134(25):2131-3.
 146. Girotra S, van Diepen S, Nallamothu BK, Carrel M, Vellano K, Anderson ML, et al. Regional Variation in Out-of-Hospital Cardiac Arrest Survival in the United States. *Circulation*. 2016;133(22):2159-68.
 147. Kitamura T, Kiyohara K, Sakai T, Matsuyama T, Hatakeyama T, Shimamoto T, et al. Public-Access Defibrillation and Out-of-Hospital Cardiac Arrest in Japan. *N Engl J Med*. 2016;375(17):1649-59.
 148. 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.
 149. Nagao K, Nonogi H, Yonemoto N, Gaieski DF, Ito N, Takayama M, et al. Duration of Prehospital Resuscitation Efforts After Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *Circulation*. 2016;133(14):1386-96.
 150. Rajan S, Wissenberg M, Folke F, Hansen SM, Gerds TA, Kragholm K, et al. Association of Bystander Cardiopulmonary Resuscitation and Survival According to Ambulance Response Times After Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *Circulation*. 2016;134(25):2095-104.
 151. Fordyce CB, Hansen CM, Kragholm K, Dupre ME, Jollis JG, Roettig ML, et al. Association of Public Health Initiatives With Outcomes for Out-of-Hospital Cardiac Arrest at Home and in Public Locations. *JAMA Cardiol*. 2017;2(11):1226-35.
 152. Hansen SM, Hansen CM, Folke F, Rajan S, Kragholm K, Ejlskov L, et al. Bystander Defibrillation for Out-of-Hospital Cardiac Arrest in Public vs Residential Locations. *JAMA Cardiol*. 2017;2(5):507-14.
 153. Kudenchuk PJ, Leroux BG, Daya M, Rea T, Vaillancourt C, Morrison LJ, et al. Antiarrhythmic Drugs for Nonshockable-Turned-Shockable Out-of-Hospital Cardiac Arrest: The ALPS Study (Amiodarone, Lidocaine, or Placebo). *Circulation*. 2017;136(22):2119-31.
 154. Lin YN, Chang SS, Wang LM, Chi HT, Ueng KC, Tsai CF, et al. Prehospital Predictors of Initial Shockable Rhythm in Out-of-Hospital Cardiac Arrest: Findings

- From the Taichung Sudden Unexpected Death Registry (THUNDER). *Mayo Clin Proc.* 2017;92(3):347-59.
155. Nehme Z, Andrew E, Bernard S, Patsamanis H, Cameron P, Bray JE, et al. Impact of a public awareness campaign on out-of-hospital cardiac arrest incidence and mortality rates. *Eur Heart J.* 2017;38(21):1666-73.
156. Shin J, Lim YS, Kim K, Lee HJ, Lee SJ, Jung E, et al. Initial blood pH during cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest patients: a multicenter observational registry-based study. *Crit Care.* 2017;21(1):322.
157. Starks MA, Schmicker RH, Peterson ED, May S, Buick JE, Kudenchuk PJ, et al. Association of Neighborhood Demographics With Out-of-Hospital Cardiac Arrest Treatment and Outcomes: Where You Live May Matter. *JAMA Cardiol.* 2017;2(10):1110-8.
158. Tranberg T, Lippert FK, Christensen EF, Stengaard C, Hjort J, Lassen JF, et al. Distance to invasive heart centre, performance of acute coronary angiography, and angioplasty and associated outcome in out-of-hospital cardiac arrest: a nationwide study. *Eur Heart J.* 2017;38(21):1645-52.
159. Benger 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.
160. Fukuda T, Ohashi-Fukuda N, Kondo Y, Hayashida K, Kukita I. Association of Prehospital Advanced Life Support by Physician With Survival After Out-of-Hospital Cardiac Arrest With Blunt Trauma Following Traffic Collisions: Japanese Registry-Based Study. *JAMA Surg.* 2018;153(6):e180674.
161. Gregers E, Kjaergaard J, Lippert F, Thomsen JH, Kober L, Wanscher M, et al. Refractory out-of-hospital cardiac arrest with ongoing cardiopulmonary resuscitation at hospital arrival - survival and neurological outcome without extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. *Crit Care.* 2018;22(1):242.
162. Hansen M, Schmicker RH, Newgard CD, Grunau B, Scheuermeyer F, Cheskes S, et al. Time to Epinephrine Administration and Survival From Nonshockable Out-of-Hospital Cardiac Arrest Among Children and Adults. *Circulation.* 2018;137(19):2032-40.
163. 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.
164. Jayaraman R, Reinier K, Nair S, Aro AL, Uy-Evanado A, Rusinaru C, et al. Risk Factors of Sudden Cardiac Death in the Young: Multiple-Year Community-Wide Assessment. *Circulation.* 2018;137(15):1561-70.
165. Mathiesen WT, Bjorshol CA, Kvaloy JT, Soreide E. Effects of modifiable prehospital factors on survival after out-of-hospital cardiac arrest in rural versus urban areas. *Crit Care.* 2018;22(1):99.
166. Okubo M, Schmicker RH, Wallace DJ, Idris AH, Nichol G, Austin MA, et al. Variation in Survival After Out-of-Hospital Cardiac Arrest Between Emergency Medical Services Agencies. *JAMA Cardiol.* 2018;3(10):989-99.
167. 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.
168. Pollack RA, Brown SP, Rea T, Aufderheide T, Barbic D, Buick JE, et al. Impact of Bystander Automated External Defibrillator Use on Survival and

- Functional Outcomes in Shockable Observed Public Cardiac Arrests. *Circulation*. 2018;137(20):2104-13.
169. 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.
170. Blom MT, Oving I, Berdowski J, van Valkengoed IGM, Bardai A, Tan HL. Women have lower chances than men to be resuscitated and survive out-of-hospital cardiac arrest. *Eur Heart J*. 2019;40(47):3824-34.
171. Chocron R, Loeb T, Lamhaut L, Jost D, Adnet F, Lecarpentier E, et al. Ambulance Density and Outcomes After Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *Circulation*. 2019;139(10):1262-71.
172. Duval S, Pepe PE, Aufderheide TP, Goodloe JM, Debaty G, Labarere J, et al. Optimal Combination of Compression Rate and Depth During Cardiopulmonary Resuscitation for Functionally Favorable Survival. *JAMA Cardiol*. 2019;4(9):900-8.
173. Goto Y, Funada A, Maeda T, Okada H, Goto Y. Sex-specific differences in survival after out-of-hospital cardiac arrest: a nationwide, population-based observational study. *Crit Care*. 2019;23(1):263.
174. Grieco DL, L JB, Drouet A, Telias I, Delisle S, Bronchti G, et al. Intrathoracic Airway Closure Impacts CO(2) Signal and Delivered Ventilation during Cardiopulmonary Resuscitation. *Am J Respir Crit Care Med*. 2019;199(6):728-37.
175. Izawa J, Komukai S, Gibo K, Okubo M, Kiyohara K, Nishiyama C, et al. Pre-hospital advanced airway management for adults with out-of-hospital cardiac arrest: nationwide cohort study. *BMJ*. 2019;364:l430.
176. Nakashima T, Noguchi T, Tahara Y, Nishimura K, Yasuda S, Onozuka D, et al. Public-access defibrillation and neurological outcomes in patients with out-of-hospital cardiac arrest in Japan: a population-based cohort study. *Lancet*. 2019;394(10216):2255-62.
177. Nordberg P, Taccone FS, Truhlar A, Forsberg S, Hollenberg J, Jonsson M, et al. Effect of Trans-Nasal Evaporative Intra-arrest Cooling on Functional Neurologic Outcome in Out-of-Hospital Cardiac Arrest: The PRINCESS Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2019;321(17):1677-85.
178. Okabayashi S, Matsuyama T, Kitamura T, Kiyohara K, Kiguchi T, Nishiyama C, et al. Outcomes of Patients 65 Years or Older After Out-of-Hospital Cardiac Arrest Based on Location of Cardiac Arrest in Japan. *JAMA Netw Open*. 2019;2(3):e191011.
179. Skulec R, Vojtisek P, Cerny V. Correlation between end-tidal carbon dioxide and the degree of compression of heart cavities measured by transthoracic echocardiography during cardiopulmonary resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest. *Crit Care*. 2019;23(1):334.
180. Sondergaard KB, Wissenberg M, Gerds TA, Rajan S, Karlsson L, Kragholm K, et al. Bystander cardiopulmonary resuscitation and long-term outcomes in out-of-hospital cardiac arrest according to location of arrest. *Eur Heart J*. 2019;40(3):309-18.
181. Blewer AL, Ho AFW, Shahidah N, White AE, Pek PP, Ng YY, et al. Impact of bystander-focused public health interventions on cardiopulmonary resuscitation and survival: a cohort study. *Lancet Public Health*. 2020;5(8):e428-e36.
182. Blewer AL, Schmicker RH, Morrison LJ, Aufderheide TP, Daya M, Starks MA, et al. Variation in Bystander Cardiopulmonary Resuscitation Delivery and

- Subsequent Survival From Out-of-Hospital Cardiac Arrest Based on Neighborhood-Level Ethnic Characteristics. *Circulation*. 2020;141(1):34-41.
183. Bougouin W, Dumas F, Lamhaut L, Marijon E, Carli P, Combes A, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest: a registry study. *Eur Heart J*. 2020;41(21):1961-71.
184. Corral Torres E, Hernandez-Tejedor A, Suarez Bustamante R, de Elias Hernandez R, Casado Florez I, San Juan Linares A. Prognostic value of venous blood analysis at the start of CPR in non-traumatic out-of-hospital cardiac arrest: association with ROSC and the neurological outcome. *Crit Care*. 2020;24(1):60.
185. Grabmaier U, Rizas KD, Massberg S, Weckbach L, Fischer M, German Resuscitation Registry Study G. Association of prehospital acetylsalicylic acid and heparin administration with favorable neurological outcome after out-of-hospital cardiac arrest: a matched cohort analysis of the German Resuscitation Registry. *Intensive Care Med*. 2020;46(10):1934-6.
186. Grunau B, Kime N, Leroux B, Rea T, Van Belle G, Menegazzi JJ, et al. Association of Intra-arrest Transport vs Continued On-Scene Resuscitation With Survival to Hospital Discharge Among Patients With Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *JAMA*. 2020;324(11):1058-67.
187. Lai PH, Lancet EA, Weiden MD, Webber MP, Zeig-Owens R, Hall CB, et al. Characteristics Associated With Out-of-Hospital Cardiac Arrests and Resuscitations During the Novel Coronavirus Disease 2019 Pandemic in New York City. *JAMA Cardiol*. 2020;5(10):1154-63.
188. Marijon E, Karam N, Jost D, Perrot D, Frattini B, Derkenne C, et al. Out-of-hospital cardiac arrest during the COVID-19 pandemic in Paris, France: a population-based, observational study. *Lancet Public Health*. 2020;5(8):e437-e43.
189. Yannopoulos D, Bartos J, Raveendran G, Walser E, Connett J, Murray TA, et al. Advanced reperfusion strategies for patients with out-of-hospital cardiac arrest and refractory ventricular fibrillation (ARREST): a phase 2, single centre, open-label, randomised controlled trial. *Lancet*. 2020;396(10265):1807-16.
190. Aarsetoy R, Ten Cate H, Spronk H, Van Oerle R, Aarsetoy H, Staines H, et al. Activated factor XI-antithrombin complex presenting as an independent predictor of 30-days mortality in out-of-hospital cardiac arrest patients. *Thromb Res*. 2021;204:1-8.
191. Azeli Y, Bardaji A, Barberia E, Lopez-Madrid V, Blade-Creixenti J, Fernandez-Sender L, et al. Clinical outcomes and safety of passive leg raising in out-of-hospital cardiac arrest: a randomized controlled trial. *Crit Care*. 2021;25(1):176.
192. Chan PS, Girotra S, Tang Y, Al-Araji R, Nallamothu BK, McNally B. Outcomes for Out-of-Hospital Cardiac Arrest in the United States During the Coronavirus Disease 2019 Pandemic. *JAMA Cardiol*. 2021;6(3):296-303.
193. Do SN, Luong CQ, Pham DT, Nguyen CV, Ton TT, Pham TT, et al. Survival after out-of-hospital cardiac arrest, Viet Nam: multicentre prospective cohort study. *Bull World Health Organ*. 2021;99(1):50-61.
194. Goto Y, Funada A, Maeda T, Goto Y. Dispatcher instructions for bystander cardiopulmonary resuscitation and neurologically intact survival after bystander-witnessed out-of-hospital cardiac arrests: a nationwide, population-based observational study. *Crit Care*. 2021;25(1):408.
195. Haskins B, Nehme Z, Cameron PA, Smith K. Cardiac arrests in general practice clinics or witnessed by emergency medical services: a 20-year retrospective study. *Med J Aust*. 2021;215(5):222-7.

196. Jonsson M, Harkonen J, Ljungman P, Nordberg P, Ringh M, Hirlekar G, et al. Inequalities in Income and Education Are Associated With Survival Differences After Out-of-Hospital Cardiac Arrest: Nationwide Observational Study. *Circulation*. 2021;144(24):1915-25.
197. Kim F, Maynard C, Dezfulian C, Sayre M, Kudenchuk P, Rea T, et al. Effect of Out-of-Hospital Sodium Nitrite on Survival to Hospital Admission After Cardiac Arrest: A Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2021;325(2):138-45.
198. Okubo M, Komukai S, Callaway CW, Izawa J. Association of Timing of Epinephrine Administration With Outcomes in Adults With Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *JAMA Netw Open*. 2021;4(8):e2120176.
199. Sielski J, Kazirod-Wolski K, Jozwiak MA, Jozwiak M. The influence of air pollution by PM2.5, PM10 and associated heavy metals on the parameters of out-of-hospital cardiac arrest. *Sci Total Environ*. 2021;788:147541.
200. Vallentin MF, Granfeldt A, Meilandt C, Povlsen AL, Sindberg B, Holmberg MJ, et al. Effect of Intravenous or Intraosseous Calcium vs Saline on Return of Spontaneous Circulation in Adults With Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2021;326(22):2268-76.
201. Belohlavek J, Smalcova J, Rob D, Franek O, Smid O, Pokorna M, et al. Effect of Intra-arrest Transport, Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation, and Immediate Invasive Assessment and Treatment on Functional Neurologic Outcome in Refractory Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2022;327(8):737-47.
202. Cheskes S, Verbeek PR, Drennan IR, McLeod SL, Turner L, Pinto R, et al. Defibrillation Strategies for Refractory Ventricular Fibrillation. *N Engl J Med*. 2022;387(21):1947-56.
203. Goto Y, Funada A, Maeda T, Goto Y. Termination-of-resuscitation rule in the emergency department for patients with refractory out-of-hospital cardiac arrest: a nationwide, population-based observational study. *Crit Care*. 2022;26(1):137.
204. Lee AF, Chien YC, Lee BC, Yang WS, Wang YC, Lin HY, et al. Effect of Placement of a Supraglottic Airway Device vs Endotracheal Intubation on Return of Spontaneous Circulation in Adults With Out-of-Hospital Cardiac Arrest in Taipei, Taiwan: A Cluster Randomized Clinical Trial. *JAMA Netw Open*. 2022;5(2):e2148871.
205. Matsuyama T, Kiyohara K, Kitamura T, Nishiyama C, Kiguchi T, Iwami T. Public-access defibrillation and favorable neurological outcome after out-of-hospital cardiac arrest during the COVID-19 pandemic in Japan. *Crit Care*. 2022;26(1):335.
206. Matsuyama T, Komukai S, Izawa J, Gibo K, Okubo M, Kiyohara K, et al. Epinephrine administration for adult out-of-hospital cardiac arrest patients with refractory shockable rhythm: time-dependent propensity score-sequential matching analysis from a nationwide population-based registry. *Eur Heart J Cardiovasc Pharmacother*. 2022;8(3):263-71.
207. Matsuyama T, Ohta B, Kiyohara K, Kitamura T. Cardiopulmonary resuscitation duration and favorable neurological outcome after out-of-hospital cardiac arrest: a nationwide multicenter observational study in Japan (the JAAM-OHCA registry). *Crit Care*. 2022;26(1):120.
208. Stieglis R, Zijlstra JA, Riedijk F, Smeekes M, van der Worp WE, Tijssen JGP, et al. Alert system-supported lay defibrillation and basic life-support for cardiac arrest at home. *Eur Heart J*. 2022;43(15):1465-74.

209. Hazinski MF. Measuring what matters: CPR quality and resuscitation outcomes. *J Am Heart Assoc.* 2014;3(6):e001557.
210. Genbrugge C, Eertmans W, Salcido DD. Monitor the quality of cardiopulmonary resuscitation in 2020. *Curr Opin Crit Care.* 2020;26(3):219-27.
211. Stecher FS, Olsen JA, Stickney RE, Wik L. Transthoracic impedance used to evaluate performance of cardiopulmonary resuscitation during out of hospital cardiac arrest. *Resuscitation.* 2008;79(3):432-7.
212. Alonso E, Ruiz J, Aramendi E, Gonzalez-Otero D, Ruiz de Gauna S, Ayala U, et al. Reliability and accuracy of the thoracic impedance signal for measuring cardiopulmonary resuscitation quality metrics. *Resuscitation.* 2015;88:28-34.
213. Hostler D, Everson-Stewart S, Rea TD, Stiell IG, Callaway CW, Kudenchuk PJ, et al. Effect of real-time feedback during cardiopulmonary resuscitation outside hospital: prospective, cluster-randomised trial. *BMJ.* 2011;342:d512.

Anhang

Anhang 1: PRISMA-Checkliste

Anhang 2: JIF-Übersichtsdokument

Anhang 3: Suchsyntax

Anhang 4: Suchergebnisse

Anhang 5: Literaturliste

Zur sprachlichen Optimierung des Textes wurde verwendet:
ChatGPT (GPT-5.3), OpenAI, laufende Nutzung 2025 bis April 2026,
<https://chat.openai.com>