

Prof. Dr. med. Guido Michels^{1,23},
 Dr. med. Tobias Wengenmayer^{2,23},
 Prof. Dr. med. Christian Hagl^{3,24},
 Prof. Dr. med. Christian Dohmen^{4,25,26},
 Prof. Dr. med. Bernd W. Böttiger^{5,26-28}, Prof.
 Dr. med. Johann Bauersachs^{6,29},
 Prof. Dr. med. Andreas Markewitz^{7,24,26},
 Adrian Bauer^{8,30}, Prof. Dr. med. Jan-Thorsten
 Gräsner^{9,27,28}, Prof. Dr. med. Roman Pfister¹,
 Prof. Dr. med. Alexander Ghanem¹⁰,
 Prof. Dr. med. Hans-Jörg Busch^{11,23,26,28},
 Prof. Dr. med. Uwe Kreimeier^{12,26,28},
 Dr. med. Andreas Beckmann^{13,24},
 Prof. Dr. med. Matthias Fischer^{14,27},
 Prof. Dr. Clemens Kill^{15,27}, Prof. Dr. med.
 Uwe Janssens^{16,23,26}, Prof. Dr. med. Stefan
 Kluge^{17,23,26}, Frank Born^{3,30}, Prof. Dr. Hans
 Martin Hoffmeister^{18,29}, Priv.-Doz. Dr. med.
 Michael Preusch¹⁹, Prof. Dr. med. Udo
 Boeken²⁰, Prof. Dr. med. Reimer Riessen^{21,23},
 Prof. Dr. med. Holger Thiele^{22,29}

Institute und Fachgesellschaften:

¹Klinik III für Innere Medizin, Herzzentrum,
 Universität zu Köln, Köln;

²Klinik für Kardiologie und Angiologie I,
 Universitäts-Herzzentrum Freiburg –
 Bad Krozingen, Medizinische Fakultät der
 Albert-Ludwigs-Universität Freiburg,
 Freiburg;

³Herzchirurgische Klinik und Poliklinik,
 Klinikum der Universität München,
 Ludwig-Maximilians-Universität, München;

⁴LVR-Klinik Bonn, Bonn;

⁵Klinik für Anästhesiologie und Operative
 Intensivmedizin, Universität zu Köln, Köln;

⁶Klinik für Kardiologie und Angiologie,
 Medizinische Hochschule Hannover,
 Hannover;

⁷Bendorf, Deutschland;

⁸MediClin Herzzentrum Coswig, Coswig;

⁹Institut für Rettungs- und Notfallmedizin,
 Universitätsklinikum Schleswig-Holstein,
 Kiel;

¹⁰Abteilung Kardiologie, II. Medizinische
 Klinik, Asklepios Klinik St. Georg, Hamburg;

¹¹Universitäts-Notfallzentrum,
 Universitätsklinikum Freiburg,
 Medizinische Fakultät der
 Albert-Ludwigs-Universität Freiburg,
 Freiburg;

¹²Klinik für Anästhesiologie, Klinikum der
 Universität München,
 Ludwig-Maximilians-Universität, München;

¹³Evangelisches Krankenhaus Niederrhein,
 Herzzentrum Duisburg, Klinik für Herz- und
 Gefäßchirurgie, Duisburg;

¹⁴Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin,
 Notfallmedizin und Schmerztherapie
 ALB FILS KLINIKEN GmbH,
 Klinik am Eichert, Göppingen;

¹⁵Zentrum für Notfallmedizin,
 Universitätsmedizin Essen, Essen;

¹⁶Klinik für Innere Medizin und Intensiv-
 medizin, St. Antonius Hospital, Eschweiler;

¹⁷Klinik für Intensivmedizin,
 Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf,
 Hamburg;

¹⁸Klinik für Kardiologie und Allgemeine
 Innere Medizin, Städtisches Klinikum
 Solingen gGmbH, Solingen;

Empfehlungen zur extra- korporalen kardiopulmonalen Reanimation (eCPR): Konsensuspapier der DGIIN, DGK, DGTHG, DGfK, DGNI, DGAI, DIVI und GRC

[Recommendations for extracorporeal cardiopulmonary
 resuscitation (eCPR): Consensus statement of DGIIN,
 DGK, DGTHG, DGfK, DGNI, DGAI, DIVI and GRC]

¹⁹Zentrum für Innere Medizin, Klinik für
 Kardiologie, Angiologie und Pneumologie,
 Universitätsklinikum Heidelberg, Heidelberg;

²⁰Klinik für Kardiovaskuläre Chirurgie,
 Universitätsklinikum Düsseldorf, Heinrich
 Heine Universität Düsseldorf, Düsseldorf;

²¹Department für Innere Medizin,
 Internistische Intensivstation,
 Universitätsklinikum Tübingen, Tübingen;

²²Klinik für Innere Medizin/Kardiologie,
 Herzzentrum Leipzig – Universitätsklinik,
 Leipzig;

²³stellvertretend für die Deutsche Gesellschaft
 für Internistische Intensivmedizin und
 Notfallmedizin e.V. (DGIIN);

²⁴stellvertretend für die Deutsche Gesellschaft
 für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie e.V.
 (DGTHG);

²⁵stellvertretend für die Deutsche Gesellschaft
 für Neurointensiv- und Notfallmedizin e.V.
 (DGNI);

²⁶stellvertretend für die Deutsche
 Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv-
 und Notfallmedizin e.V. (DIVI);

²⁷stellvertretend für die Deutsche Gesellschaft
 für Anästhesiologie und Intensivmedizin e.V.
 (DGA);

²⁸stellvertretend für den Deutschen Rat für
 Wiederbelebung – German Resuscitation
 Council (GRC) e.V.;

²⁹stellvertretend für die Deutsche Gesellschaft
 für Kardiologie e.V. (DGK);

³⁰stellvertretend für die Deutsche Gesellschaft
 für Kardiotechnik e.V. (DGfK)

ZUSAMMENFASSUNG

Die extrakorporale kardiopulmonale Reanimation (extracorporeal cardiopulmonary resuscitation, eCPR) kann als Rettungsversuch für hoch selektierte Patienten mit refraktärem Herzkreislaufstillstand und potenziell reversibler Ätiologie erwogen werden. Aktuell fehlen randomisiert-kontrollierte Studien zur eCPR, und es existieren keine validen Prädiktoren für Nutzen und Risiko, die bei der Indikationsstellung hilfreich sein könnten. Die bisherigen Selektionskriterien und Abläufe sind klinikspezifisch und ein (nationaler) standardisierter Algorithmus fehlt. Das vorliegende Konsensuspapier bietet basierend auf einer konsentierten Expertenmeinung den Vorschlag für ein standardisiertes Vorgehen bei eCPR.

SCHLÜSSELWÖRTER

Herzkreislaufstillstand, extrakorporale kardiopulmonale Reanimation, extrakorporale Membranoxygenierung, kardiogener Schock, Wiederbelebung

ABSTRACT

Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (eCPR) may be considered as a rescue attempt for highly selected patients with refractory cardiac arrest and potentially reversible etiology. Currently there are no randomized, controlled studies on the eCPR, and valid predictors of benefit and outcome are lacking, which might guide indication of eCPR. Currently selection criteria and procedures differ across hospitals and standardized algorithms are lacking.

Dieses Konsensuspapier wurde parallel in den Zeitschriften *Medizinische Klinik – Intensivmedizin und Notfallmedizin*, *Der Kardiologe*, *Der Anaesthetist*, *Zeitschrift für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie* und *Anästhesiologie & Intensivmedizin* publiziert.

Based on expert opinion the present consensus statement provides a first standardized treatment algorithm for eCPR.

KEYWORDS

Cardiac arrest, extracorporeal cardiopulmonary resuscitation, extracorporeal membrane oxygenation, cardiogenic shock, resuscitation

EINLEITUNG

Mindestens 275.000 Patienten erleiden jedes Jahr in Europa einen außerklinischen Herzkreislaufstillstand (out-of-hospital cardiac arrest, OHCA) [1]. In den USA ereignen sich ca. 568.500 Herzstillstände pro Jahr. Von diesen treten 359.400 (63%) außerhalb (OHCA) und 209.000 (37%) innerhalb eines Krankenhauses (in-hospital cardiac arrest, IHCA) auf [2]. Eine kardiale Ursache wird mit über 60% als die häufigste Ursache für einen Herzkreislaufstillstand angenommen [3, 4]. In ungefähr 20–30% der Fälle liegt eine nicht-kardiale Genese vor [5, 6]. Trotz einer umgehenden Einleitung der kardiopulmonalen Reanimation (CPR) ist die Überlebensrate mit einem günstigen neurologischen Outcome (leichte bis moderate neurologische Einschränkung, entsprechend einer zerebralen Leistungskategorie [Cerebral Performance Category, CPC] von 1–2) sowohl bei innerklinischem (in-hospital cardiac arrest, IHCA) als auch bei außerklinischem Herzkreislaufstillstand (OHCA) unter konventioneller CPR niedrig (5–10% [OHCA] versus ca. 15% [IHCA]) [7–9]. Die extrakorporale kardiopulmonale Reanimation (extracorporeal cardiopulmonary resuscitation, eCPR) kann als Rettungsversuch für ausgewählte Patienten mit refraktärem Herzkreislaufstillstand aufgrund potenziell reversibler Ursachen erwogen werden (z.B. Myokardinfarkt oder Lungenarterienembolie) [10–12]. Beobachtungsstudien deuten daraufhin, dass die eCPR bei diesen selektierten IHCA- und OHCA-Patienten im Vergleich mit der konventionellen CPR mit einer Zunahme der Überlebensrate von bis zu 30% einhergeht [4, 13–22]. In einer Meta-Analyse zeigte sich eine um 13% verbesserte Überlebenswahrscheinlichkeit im Vergleich zur konventionellen CPR [95% CI 6–20%; $p < 0,001$; number needed to treat 7.7] [23].

In der klinischen Routine werden in größeren Kliniken hochselektierte Patienten (siehe Tab. 1) unter konventioneller oder mechanischer CPR (mCPR mit z.B. LUCAS®- oder AutoPulse®-System) mittels venoarterieller extrakorporaler Herzkreis-

lauf-Unterstützung (VA-ECLS) versorgt, wobei die Selektionskriterien und Abläufe meist Klinik-spezifisch und unterschiedlich sind. Die venoarterielle extrakorporale Membranoxygenierung (VA-ECMO) wird häufig in der Literatur und in diesem Konsensuspapier synonym als Extrakorporales Life Support System (ECLS) definiert [24]. Das vorliegende Konsensuspapier bietet den Vorschlag für einen standardisierten Algorithmus bei eCPR mit Einsatz eines ECLS. Das Konsensuspapier wurde mit Vertretern der Deutschen Gesellschaft für Internistische Intensivmedizin und Notfallmedizin e.V. (DGIIN), der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie e.V. (DGK), der Deutschen Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie e.V. (DGTHG), der Deutschen Gesellschaft für Kardiotechnik e.V. (DGfK), der Deutschen Gesellschaft für Neurointensiv- und Notfallmedizin e.V. (DGNI), der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e.V. (DGAI), der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e.V. (DIVI, Sektionsgruppe Neuromedizin [Studien und Standards in der Neuromedizin], Sektionsgruppe Notfallmedizin [Reanimation und Postreanimationstherapie], Sektionsgruppe Ethik) und des Deutschen Rates für Wiederbelebung - German Resuscitation Council (GRC) e.V. verfasst.

BISHERIGE LEITLINIEN UND EMPFEHLUNGEN

Weder die Leitlinien des europäischen Rats für Reanimation [10] noch die Leitlinien der American Heart Association [8] zur CPR empfehlen einen routinemäßigen Einsatz der eCPR für Patienten mit Herzkreislaufstillstand (Klasse IIb [Nutzen \geq Risiko], Evidenzniveau C-LD [limited data]). Eine separate Leitlinie zur eCPR der „Extracorporeal Life Support Organization (ELSO)“ [25] beschränkt sich lediglich auf allgemeine Aspekte der eCPR.

DISKUSSION DER STUDIENLAGE

Randomisiert-kontrollierte Studien (RCT) zur eCPR fehlen bisher, so dass bis heute keine validierten Kriterien für die Patientenauswahl und die Indikationsstellung einer eCPR vorliegen [26]. Die Definition von Prädiktoren zu Nutzen und Risiko, die bei der Indikationsstellung einer eCPR helfen könnten, stellt derzeit immer noch eine große klinische Herausforderung dar. In einer Metaanalyse von Debaty et al. [19] wurden verschiedene Risikofaktoren in ihrer prognostischen Aussagekraft untersucht, die dem Akutmediziner bei der Be-

handlungsentscheidung bezüglich einer eCPR hilfreich sein können. Das primäre Outcome war bei Vorliegen eines initial defibrillierbaren Herzrhythmus (OR 2,2, 95% CI 1,30–3,72, $p = 0,003$), eines kurzen Zeitintervalls vom Beginn der CPR bis zum Wiederkehren eines Spontankreislaufs, sog. Low-Flow-Zeit (geometrisches Mittelverhältnis 0,90, 95% CI 0,81–0,99, $p = 0,04$), eines höheren pH-Wertes (Δ pH-Wert [arteriell] 0,12, 95% CI 0,03–0,22, $p = 0,01$) und einer niedrigen Serumlaktatkonzentration (Δ -3,52 mmol/L, 95% CI -5,05 bis -1,99, $p < 0,001$) signifikant verbessert.

Abgeleitet von anderen großen Beobachtungsstudien scheint ein initial nachgewiesener defibrillierbarer Herzrhythmus ein wichtiger prognostischer Faktor für Patienten mit OHCA zu sein [19]. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt erscheint es trotzdem nicht gerechtfertigt, die eCPR für Patienten ohne defibrillierbaren Rhythmus kategorisch auszuschließen. Der prognostische Wert der Low-flow-Zeit wurde sowohl für den innerklinischen Kreislaufstillstand als auch den außerklinischen Herzstillstand bereits dokumentiert [19, 27]. Insbesondere der Faktor Zeit scheint eine bedeutende Rolle einzunehmen. In einer japanischen Registerstudie konnte gezeigt werden, dass die strikte Einhaltung der sogenannten „Collapse-to-start eCPR“ <40 Minuten und „Collapse-to-Coronary Reperfusion“ <60 Minuten mit dem besten prognostischen Outcome einherging [28]. Auch in Städten mit einem bereits etablierten eCPR-Programm lag die Low-flow-Zeit bis zur ECLS-Unterstützung bei über 70 Minuten, was es in Zukunft in Analogie zur Behandlung des ST-Streckenhebungsinfarktes zu reduzieren gilt [17, 27]. Ob bei selektierten Patienten durch einen deutlich akzelebrierten CPR-Algorithmus mit Fokus auf einen schnellen Transport nach dem Prinzip „Load-and-Go“ ein Mortalitätsvorteil erzielt werden kann, oder ob ggf. ein ECLS-Team [29] bereits präklinisch aktiv werden sollte, ist Gegenstand laufender und zukünftiger Studien (z.B. CAREECMO-Studie [NCT03352999]). Zumindest sind ein frühzeitiges Eintreffen des Ersthelfers, ein niedriges Serumlaktat, ein höheres etCO₂ vor Ankunft im Herzkatheterlabor und das Vorliegen einer koronaren Herzerkrankung als reversible Ursache mit einer signifikanten höheren Überlebenswahrscheinlichkeit assoziiert [30].

Bezüglich der laborchemisch bestimm- baren Parameter haben sich der pH-Wert und das Serumlaktat vielerorts als „die“

prognostischen Faktoren hervorgerufen [19]. Pathophysiologisch führt jedoch jede prolongierte CPR basierend auf einer metabolischen Dysbalance auf Zellebene zu einem Abweichen des pH-Wertes und des Serumlaktatspiegels. Einmalig erhobene Ist-Werte sind daher mit Vorsicht zu interpretieren, während die Clearance über die Zeit von größerer Bedeutung ist [31, 32]. Gut validierte Cut-Off-Werte für den pH-Wert oder das Serumlaktat, die alleine oder in Kombination für die Entscheidung einer eCPR herangezogen werden, existieren bis heute nicht, so dass diese Werte nie isoliert, sondern nur im klinischen Kontext betrachtet werden dürfen. Der pH-Wert scheint dabei ein viel besserer Prädiktor für das neurologische Outcome als der Laktatspiegel zu sein [33]. Der venöse pH-Wert zeigt eine gute Übereinstimmung mit dem arteriellen pH-Wert [34]. Obwohl z.B. ein pH-Wert von kleiner 6,8 nach bisheriger Lehrbuchmeinung in der Regel nicht mehr mit dem Leben vereinbar sein soll [35], zeigen einige aktuelle Fallberichte auch mit einem tieferen pH-Wert ein gutes neurologisches Outcome (CPC 1-2) [36, 37]. In einer retrospektiven Analyse von prospektiven Registerdaten von OHCA-Patienten konnte jedoch gezeigt werden, dass ein pH-Wert <6,8 nicht mit einem guten neurologischen Outcome assoziiert war [38].

Die Entscheidung zur eCPR sollte daher stets im multiprofessionellen „eCPR-Team“ (siehe Empfehlung 2, unten) und unter Abwägung aller zur Verfügung stehenden Indikatoren individuell erfolgen (Tab. 1). Neben diesen Ereignis-bezogenen Parametern haben auch allgemeine, Patienten-bezogene Parameter prognostische Bedeutung. Diskutiert wird hier oft ein adipöser Körperbau, der möglicherweise die ECLS-Anlage erschwert. In einer retrospektiven Beobachtungsstudie konnte allerdings gezeigt werden, dass der Body-Mass-Index (BMI <18,5 bis ≥30 kg/m²) bei eCPR-Patienten weder mit einer erhöhten Mortalität noch mit einem schlechteren neurologischen Outcome assoziiert war [39]. Andererseits konnte in einer retrospektiven Studie gezeigt werden, dass die 1-Jahres-Überlebensrate bei Patienten mit malignen Erkrankungen signifikant niedriger war als bei nicht-malignen Erkrankungen (1,7% versus 11,4%) [40]. Zudem ist zu berücksichtigen, dass ältere und gebrechliche Patienten mit OHCA eine niedrige Überlebenswahrscheinlichkeit zeigen [41]. Das Alter alleine scheint dennoch die Überlebensrate nicht negativ zu beeinflussen und sollte daher nicht als absolute Kon-

traindikation aufgeführt werden [22, 42, 43]. Zusammenfassend existieren aus Beobachtungsstudien eine Reihe von Parametern mit prognostischer Bedeutung, wobei keiner dieser Marker im Sinne einer „No-go“-Entscheidungshilfe herangezogen werden kann.

Obwohl die eCPR im Vergleich zur konventionellen CPR nach inner- und außerklinischem Herzkreislaufstillstand in Beobachtungsstudien mit einem Überlebensvorteil assoziiert ist, sind RCTs bis heute ausstehend. Einige RCTs wurden dazu vor kurzem initiiert (z.B. INCEPTION-Studie [NCT03101787, voraussichtliches Studienende 2019], EROCA-Studie [NCT03065647, voraussichtliches Studienende 2019], Prague OHCA-Studie [(NCT01511666, voraussichtliches Studienende 2018], ACPAR2-Studie [NCT02527031, voraussichtliches Studie-

nende 2018]), und bis zur Beendigung dieser Studien kann bezüglich klinisch prognostischer Endpunkte derzeit noch keine Aussage getroffen werden.

Neben den medizinischen Aspekten der eCPR müssen auch ethische Aspekte (z.B. Diagnostik des irreversiblen Hirnfunktionsausfalls unter ECLS) und mögliche psychische Belastungen für das Behandlungsteam und Angehörige berücksichtigt werden [44-48].

STUDIENLAGE ZU BEHANDLUNGSPFADEN Außerklinischer Kreislaufstillstand (OHCA)

Ein einheitlich standardisierter Behandlungspfad von Patienten unter CPR ist bisher noch ungeklärt. Selbst bei einem günstigen initialen ventrikulären Rhythmusereignis präsentieren sich über 60%

| Pro | Contra |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • beobachteter Herzkreislaufstillstand • vermutete kardiale Genese, insbesondere defibrillierbarer initialer Herzrhythmus • No-flow-Zeit ≤5 Minuten • geringe Low-flow-Zeit ≤60 Minuten • durchgehend hochwertige Wiederbelebensmaßnahmen (effektive Laienreanimation) • Vorhandensein einer reversiblen Ursache des Kreislaufstillstandes (4 H⁺ und HITS). Hierzu zählen die Hypoxie, die Hypovolämie, die Hypo-/Hyperkaliämie (metabolische Störungen), die akzidentelle Hypothermie, die Herzbeutel tamponade, die Intoxikation, die Thromboembolie (Myokardinfarkt, Lungenarterienembolie) und der Spannungspneumothorax | <ul style="list-style-type: none"> • Lebensalter >75 Jahre „und“ Gebrechlichkeit (frailty) • unbeobachteter Herzkreislaufstillstand • No-flow-Zeit ≥10 Minuten • Klinische Zeichen der schweren irreversiblen Hirnschädigung bzw. zu erwartende ungünstige neurologische Prognose • inadäquate Wiederbelebensmaßnahmen (z.B. fehlende, fragliche oder intermittierende Laienreanimation) • Komorbiditäten mit stark reduzierter Lebenserwartung (z.B. onkologische Grunderkrankung mit palliativem Ansatz, terminale Herzinsuffizienz oder COPD, fortgeschrittene Demenz) • prolongierte CPR von > 20 Minuten bei Asystolie (Ausnahme: akzidentelle Hypothermie, Intoxikationen, Beinahe-Ertrinken [near-drowning] und Verdacht auf Lungenarterienembolie) bzw. von > 120 Minuten bei persistierendem Kammerflimmern/ventrikuläre Tachykardie • niedriger pH-Wert (<6,8) und hohes Laktat (>20 mmol/l) • Ablehnung durch den Patienten (Patientenverfügung, Vorliegen eines Notfallbogens im Sinne eines Advance-Care Planning) • Kontraindikationen zur Vollantikoagulation (z.B. aktive Blutung, schweres Trauma oder Hämatothorax nach CPR) |
| <p>Da die Entscheidung für oder gegen eine eCPR nicht allein auf „einer“ Indikation oder „einer“ Kontraindikation gestellt werden sollte, wurden Begriffe wie absolute oder relative Indikation bzw. Kontraindikation bewusst vermieden. Unter der No-flow-Zeit wird die Zeit vom Kollapsereignis bis zur Initiierung der CPR definiert; unter der Low-flow-Zeit dagegen das Intervall vom Beginn der CPR bis zum Wiederkehren eines Spontankreislaufs.</p> <p>Abkürzungen: COPD, chronisch obstruktive Lungenerkrankung; CPR, kardiopulmonale Reanimation</p> | |

Tab. 1: Mögliche Entscheidungskriterien bezüglich einer eCPR (adaptiert nach [49])

der Patienten mit einem therapierefraktären Kammerflimmern und erreichen nur selten einen Spontankreislauf (ROSC, return of spontaneous circulation), oder versterben, bevor sie ins Krankenhaus eingeliefert werden [50]. In einer prospektiven Studie von Yannopoulos et al. [30] wurde ein Algorithmus für bestimmte Patienten mit therapierefraktärem Kammerflimmern etabliert (Alter 18–75 Jahre, Transferzeit <30 Minuten bis zum Herzkatheterlabor, kein ROSC trotz Amiodarongabe und 3-maliger Defibrillation). Patienten dieser speziellen Gruppe wurden schnell in ein 24 Stunden/7 Tage/365 Tage-Krankenhaus mit Herzkatheterbereitschaft unter mCPR (LUCAS®-Thoraxkompressionssystem) transportiert. Bei Ankunft im Herzkatheterlabor erfolgte bei Nicht-Vorhandensein von bestimmten Ausschlusskriterien (etCO₂ <10 mmHg, p_aO₂ <50 mmHg oder SO₂ <85%, Serum-Laktat >18 mmol/L) umgehend eine ECLS-Anlage. Eine Linksherzkatheteruntersuchung mit ggf. Koronarintervention wurde im Anschluss durchgeführt. Von diesem schnellen Notfalltransport wurden bestimmte Patienten ausgenommen: Vorliegen eines Herzkreislaufstillstandes nicht-kardialer Ätiologie (z. B. Trauma, Blutung), Kontraindikationen für das Anlegen eines LUCAS®-Device, bekannte Schwangerschaft, Pflegeheimpatienten, Vorliegen einer sogenannten „Do-not-resuscitate/Do-not-intubate-Situation“ (z.B. Patientenverfügung), und das Vorliegen einer terminalen Erkrankung (z. B. Krebserkrankung, terminale Herz- oder Niereninsuffizienz). Da 9% der Patienten auf dem Weg ins Herzkatheterlabor einen ROSC aufwiesen, unterzogen sich 91% der eingeschlossenen Patienten (50/55) einer eCPR; 84% erhielten anschließend eine erfolgreiche Koronarintervention. An Komplikationen präsentierten sich im Rahmen der ECLS-Anlage retroperitoneale Blutungen (8%) und andere vaskuläre Komplikationen (6%). Im Vergleich zur Kontrollgruppe überlebten 42,0% versus 15,3% der Patienten mit einem guten neurologischen Status (CPC 1-2). Die Fluoroskopiegeführte Kanülierung der Femoralgefäße unter CPR-Bedingungen ist sicher [51] und führt ohne Zeitverzögerung zu einer Reduktion der Komplikationsrate [52]. Eine randomisiert-kontrollierte oder prospektive Studie zur fluoroskopisch versus sonographisch-gesteuerter ECLS-Anlage ist bisher ausstehend. In einer kleinen retrospektiven Single-center-Beobachtungsstudie wurde die Kanülierungszeit zwischen der anatomischen „Landmark“-basierten

Gefäßpunktion plus Anwendung von konventionellen Drähten mit der Ultraschallgeführten Gefäßpunktion unter Nutzung von steifen Drähten (sog. stiff wire) verglichen [53]. Die Kanülierungszeit betrug im Median 17 (12–26) Minuten (Landmark-Technik) versus 8 (6–12) Minuten (Ultraschall-Technik, p<0,001), was für die Anwendung der Ultraschall-basierten Methode und Nutzung von steifen Drähten spricht. Da zum einen aus interventioneller Sicht die „Stiff-wire-Methode“ generell das bevorzugte Verfahren unabhängig von der Landmark- oder Ultraschall-Technik darstellt und zum anderen die Kanülierung ausschließlich von interventionellen Kardiologen durchgeführt wurde, bleibt weiterhin die Frage nach der optimalen Kanülierungsmethode nur zum Teil beantwortet [53]. Vor dem Hintergrund, dass eine frühe Koronarangiographie bei reanimierten Patienten mit einer niedrigeren Mortalität vergesellschaftet ist [54, 55], sollte – da bisher kein anderer Algorithmus untersucht wurde – der „CPR-Herzkatheterpfad“ bevorzugt werden [30]. Ein direkter Transport von selektierten Patienten mit OHCA in ein Cardiac-arrest-Zentrum mit Herzkatheterbereitschaft sollte angestrebt werden [56, 57]. Kliniken mit einem ECMO/ECLS-Programm sollten in der Lage sein, an verschiedenen Orten in der Klinik (z.B. Schockraum oder Herzkatheterlabor) ein ECLS zu implantieren [57]. So kann gewährleistet werden, dass auch im Falle einer nicht-kardialen Genese (z.B. akzidentelle Hypothermie) im Schockraum eine eCPR durchgeführt werden kann [58].

Innerklinischer Kreislaufstillstand (IHCA)

Die Behandlungspfade innerhalb von Krankenhausabteilungen hängen von den jeweiligen Gegebenheiten und Ressourcen ab und variieren daher stark. Bei innerklinischen Reanimationen kann es unter Umständen sinnvoll sein, den Patienten vor Ort (z.B. auf der Intensivstation) mit einer ECLS zu versorgen, um Transportzeit zu sparen.

Für Krankenhäuser mit fehlenden strukturellen und personellen Voraussetzungen zur ECLS-Anlage empfiehlt sich eine grundsätzliche Absprache mit der nächstgelegenen Klinik mit einem ECMO/ECLS-Programm, ob im Falle einer CPR ohne ROSC ein rascher Transport des Patienten oder ein Ausrücken eines ECLS-Implantationsteams zweckmäßig ist.

ORGANISATORISCHE VORAUSSETZUNGEN UND EMPFEHLUNGEN ZUR eCPR

1. Eine lückenlose eCPR-Bereitschaft setzt eine 24 Stunden/7 Tage/365 Tage-Verfügbarkeit des eCPR-Teams mit entsprechend kurzer Versammlungszeit voraus.
2. Das multiprofessionelle eCPR-Team besteht idealerweise aus einem Arzt/einer Ärztin mit der Zusatzbezeichnung „Notfallmedizin“ oder einem/einer Facharzt/-ärztin mit der Zusatzbezeichnung „Intensivmedizin“ und dem ECLS-Implantationsteam. Das ECLS-Implantationsteam soll Facharztstandards aus wenigstens zwei der drei Fachgebiete Kardiologie, Herzchirurgie und Anästhesiologie repräsentieren sowie aus einem/einer klinischen Perfusionisten/Perfusionistin Kardiotechnik oder – insbesondere in Institutionen, in denen es keine Bereich Kardiotechnik gibt – einer speziell in ECLS-geschulten qualifizierten Fachpflegekraft mit den im nächsten Satz aufgeführten Qualifikationen bestehen. Die bei der ECLS-Implantation und dem Betrieb beteiligten Assistenz- und/oder Pflegekräfte sind ausgebildete Gesundheits- und Krankenpfleger bzw. -pflegerinnen – idealerweise mit der Fachweiterbildung für Intensiv- oder Notfallpflege – und verfügen über Erfahrungen in der Therapie von Patienten mit ECLS. Des Weiteren sei auf die entsprechenden europäischen Empfehlungen verwiesen [29].
3. Das eCPR-Programm sollte idealerweise an einer Klinik mit einer Intensivstation und langjähriger Erfahrung in der Betreuung von ECLS-Patienten sowie der Möglichkeit weiterführender Therapieoptionen (wie Implantation von ventrikulären Unterstützungssystemen bis hin zur Herztransplantation) angebunden sein [29, 59].
4. Da in Deutschland noch nicht die flächendeckende Option bzw. durchgehende Verfügbarkeit portabler ECLS/ECMO-Systeme vorhanden ist, soll die Aufnahme des Patienten über eine kooperierende Klinik mit 24 Stunden/7 Tage/365 Tage-Herzkatheter- und ECLS-Bereitschaft erfolgen. Im Falle eines dennoch notwendigen externen Einsatzes von mobilen extrakorporalen Unterstützungssystemen, z.B. im Rahmen einer massiven Lungenarterienembolie unter CPR, sei auf die Empfehlungen für den Interhospitaltransfer unter ECLS hingewiesen [60-62].

5. Eine telefonische Ankündigung und gemeinsame Checklisten-basierte Indikationsüberprüfung unter Angabe von Alter, möglichen Komorbiditäten, initialem Rhythmus, No-flow-Zeit und ROSC-Status sollte, wenn möglich, innerhalb von 15 Minuten bei weiterhin fehlendem ROSC (*refractory CPR* [20, 29]) mit dem/der verantwortlichen Arzt/Ärztin des ECLS-Implantationsteams erfolgen.
 6. Für die Schnittstellenkommunikation mit dem Rettungsdienst müssen gültige Verfahrensanweisungen implementiert werden, die eine strukturierte Übergabe und Interventionsorte zuverlässig definieren [57].
 7. Nach strukturierter Übergabe (inklusive Team-Time-Out) sollte eine orientierende klinische Untersuchung und eine sofortige fokussierte Sono-/Echokardiographie unter mCPR zum Ausschluss bzw. Nachweis reversibler Ursachen (Pneumothorax, Rechtsherzbelastungszeichen als Hinweis auf eine Lungenarterienembolie, Perikardtamponade, linksventrikuläre Dysfunktion und Hypovolämie) durchgeführt werden [63-65].
 8. Die endgültige Entscheidung bezüglich der Durchführung einer ECLS-Anlage soll nach Abwägung von Pro- und Contra-Kriterien durch das ECLS-Implantationsteam getroffen werden. Bis dahin ist die CPR kontinuierlich und den Leitlinien entsprechend fortzuführen [66-68].
 9. Zum hämodynamischen Monitoring unter CPR und zur Bestimmung von laborchemischen Prognosefaktoren (Serumlaktat, pH-Wert) ist ein arterieller Zugang anzulegen. Idealerweise wird hierfür unmittelbar bei Ankunft des Patienten eine arterielle Schleuse in die A. femoralis communis platziert. Neben der arteriellen Blutgasanalyse und dem invasiven Blutdruckmonitoring kann zusätzlich hierüber nach Entscheidungsfindung die arterielle Kanülierung für das ECLS erfolgen.
 10. Ein separates intensivmedizinisches Team oder Schockraumteam, bestehend aus einem in der intensivmedizinischen Behandlung von reanimierten Patienten erfahrene/r (möglichst > 1 Jahr) Arzt/eine Ärztin und Pflegekraft, soll während der ECLS-Anlage kontinuierlich anwesend sein und die hä-
- modynamische sowie respiratorische Unterstützung / Überwachung des Patienten übernehmen.
 11. Ein „Collapse-to-start-eCPR-Zeitintervall“ von 60 Minuten und [69] eine „Door-to-ECLS-Implantationszeit“ von kleiner 30 Minuten sollte in Abhängigkeit von den lokalen Gegebenheiten eingehalten werden [70].
 12. Die ECLS-Anlage via A. femoralis (15-19 Fr) und V. femoralis (19-23 Fr) sollte idealerweise entweder im Herzkatheterlabor unter Durchleuchtung (ggf. mittels Gefäßsonographie) oder in der Notaufnahme/Schockraum unter Ultraschallkontrolle erfolgen [71, 72].
 13. Nach ECLS-Anlage sollte eine distal gerichtete Gefäßschleuse zur antegraden Beinperfusion unter Ultraschallkontrolle angelegt werden. Bei frustraner Anlage und klinischen oder apparativen Hinweisen auf eine kritische Minderperfusion (z.B. mittels Nahinfrarotspektroskopie am Unterschenkel) ist eine offene chirurgische Anlage anzustreben. Die korrekte Lage und Funktion der nach distal gerichteten Gefäßschleuse ist durch eine geeignete Diagnostik (z.B. Doppler-Gefäß-

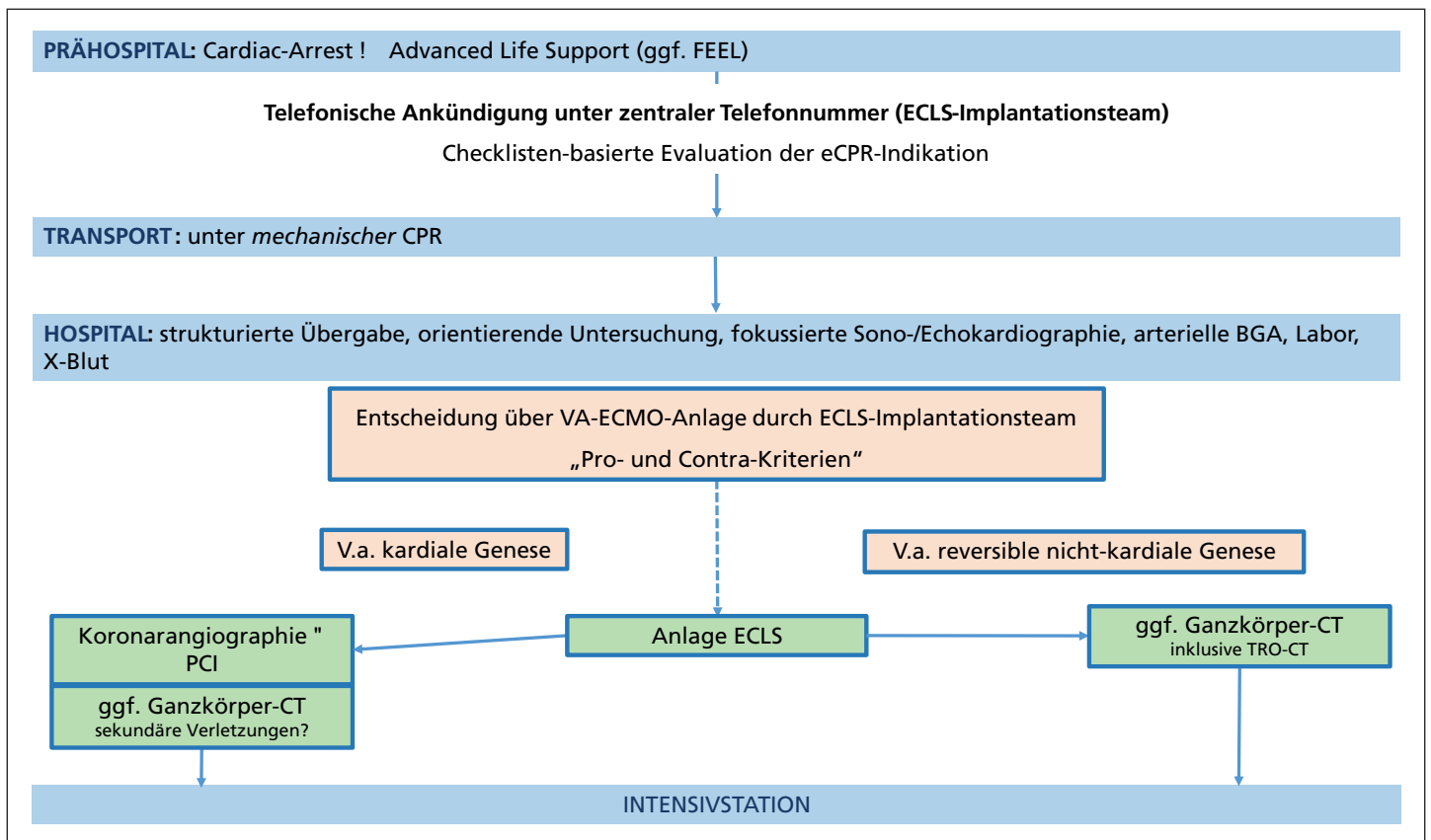


Abb. 1: eCPR-Algorithmus

Abkürzungen und Anmerkungen: BGA, Blutgasanalyse; CPR, kardiopulmonale Reanimation; CT, Computertomographie; ECMO, extrakorporale Membranoxygenierung; ECLS, extrakorporales Life Support System; eCPR, extrakorporale kardiopulmonale Reanimation; FEEL, focused echocardiographic evaluation in life support; PCI, perkutane Koronarintervention; TRO-CT, Triple-rule-out-Computertomographie, um simultan eine koronare Herzerkrankung, eine akute Lungenarterienembolie und eine akute Aortenerkrankung auszuschließen bzw. nachzuweisen; VA, venoarteriell; X-Blut, Kreuzblut.

sonographie oder [CT-]Angiographie) frühzeitig zu evaluieren.

14. Des Weiteren soll niederschwellig in Abhängigkeit von der klinischen Situation nach ECLS-Anlage eine Ganzkörper-CT-Untersuchung erwogen werden, um bisher nicht detektierte Ursachen des Kreislaufstillstandes (insbesondere zentrale Prozesse), sekundäre Verletzungen nach CPR und ECLS-bedingte Komplikationen nach Implantation zu identifizieren [73].
15. Ein leitliniengerechtes Temperaturmanagement (32–36°C konstant über 24 Stunden) sollte unter Berücksichtigung der jeweiligen Gerinnungssituation und von Blutungskomplikationen erfolgen [66, 74].
16. Die zusätzliche Implantation einer linksventrikulären Mikroaxialpumpe (Impella®) kann bei fehlender Pulsatilität oder nur minimaler linksventrikulärer Kontraktilität im Sinne einer linksventrikulären Entlastung als sogenanntes Venting im Verlauf erwogen werden [75, 76].
17. Die Frage der Prognostizierung und insbesondere die Frage, wann eine eCPR bei nicht stabilisier- bzw. entwöhnbaren Patienten beendet werden kann und soll, sollte – bei bisher fehlender wissenschaftlicher Evidenz – unter Berücksichtigung von medizinischen und ethischen Aspekten als patientenindividuelle Entscheidung im interdisziplinären intensivmedizinischen und ECLS-Team erfolgen. Die aktuellen Leitlinien zur Wiederbelebung empfehlen generell eine neurologische Prognoseabschätzung und Therapieentscheidung frühestens 72 Stunden nach ROSC [10].
18. Ein eCPR-Prozessablauf in Form einer standardisierten Vorgehensweise (Standard Operating Procedure, SOP) soll im eCPR-Team etabliert und in regelmäßigen Abständen evaluiert werden (Abb. 1).

QUALITÄTSKRITERIEN

Die Umsetzung einer eCPR setzt neben fachlichen Voraussetzungen auch soziale, ökonomische und medizinethische Kompetenzen voraus [69].

1. Bezüglich der Betreuung von Patienten mit prähospitalen Herzkreislaufstillstand sei auf die Qualitätsindikatoren und strukturellen Voraussetzungen für sog. Cardiac-arrest-Zentren hingewiesen [57].
2. Die praktische Umsetzung der eCPR erfordert erhebliche Ressourcen und setzt

eine sehr gute Kommunikation und Kooperation zwischen allen Mitgliedern des eCPR-Teams, ähnlich regionalen Infarktnetzwerken [77], voraus. Eine enge Absprache und verbindlich strukturierte Zusammenarbeit mit dem örtlichen Rettungsdienst ist daher essentiell, da zum einen die frühzeitige telefonische Ankündigung und die gemeinsame Evaluierung bezüglich einer eCPR im Sinne eines „Rapid-decision-making-Prozessmanagements“ von großer Bedeutung ist, und zum anderen die Wiederbelebungsmaßnahmen mit der Option auf eine eCPR in der Klinik stärker auf einen raschen Transport ausgerichtet sein sollten.

3. Ein multiprofessionelles Training zur Team-fokussierten eCPR sollte unter der Leitung eines qualifizierten Mentors zur Qualitätssicherung beitragen [78].
4. Im Rahmen der regelmäßigen Treffen sollten Qualitätskriterien/-merkmale (z.B. Optimierung der eCPR-SOP), aktuelle Studienergebnisse und eigene Fälle referiert bzw. diskutiert werden. Eine Beteiligung an nationalen und internationalen Multicenter-Studien ist wünschenswert.
5. Da viele unerwünschte Ereignisse und potenzielle Fehler auf der Komplexität der Behandlung, Unsicherheit, fehlendem Teammanagement bzw. Missverständnissen zwischen Mitgliedern des eCPR-Teams in der Ad-hoc-Notfallsituation beruhen, sollten alle Beteiligten des eCPR-Teams entsprechend qualitativ ausgebildet und trainiert werden. Die interdisziplinäre Aufgabenverteilung sollte daher sowohl logistisch als auch medizinisch im Vorfeld eindeutig geregelt und regelmäßig geschult werden.
6. Um eine angemessene Qualität zu ermöglichen, wird ein caseload von mindestens 30 ECLS/ECMO-Anlagen (elektiv plus unter eCPR) pro Jahr und pro Klinik mit einem ECMO/ECLS-Programm gefordert [29, 79].
7. Zur Aufrechterhaltung der Qualität an die aktuellen Empfehlungen und Studienlage ist es das Ziel, das vorliegende Konsensuspapier in einem 5-Jahresrhythmus zu aktualisieren.

EINHALTUNG ETHISCHER RICHTLINIEN

G. Michels ist Mitglied des Wissenschaftlichen Beirats der Deutschen Gesellschaft für internistische Intensiv- und Notfallmedizin e.V. (DGIIN), kommissarischer Sprecher der Arbeitsgruppe Kardiopul-

monale Reanimation der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie e.V. (DGK) sowie Mitglied der Arbeitsgruppe ECMO / eCPR des Deutschen Rates für Wiederbelebung e.V. / German Resuscitation Council (GRC) und erhielt Honorare für Vortragstätigkeiten von Pfizer, Novartis, Servier, Zoll und Orion Pharma. J. Bauersachs ist Sprecher der DFG-geförderten Klinischen Forschergruppe (KFO) 311 „(Prä-) terminale Herz- und Lungeninsuffizienz: Entlastung und Reparatur“ und erhielt Honorare für Vortragstätigkeiten und Forschungsunterstützung von Abiomed sowie Zoll. B. W. Böttiger ist European Resuscitation Council (ERC) Board Director Science and Research, Vorstandsvorsitzender des Deutschen Rates für Wiederbelebung e.V. / German Resuscitation Council (GRC), Mitglied in der „Advanced Cardiac Life Support“ (ALS) Task Force des International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR), Mitglied im Präsidium der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI), Associated Editor des European Journal of Anaesthesiology (EJA), Mitherausgeber der Zeitschrift Resuscitation, Schriftleiter der Zeitschrift Notfall + Rettungsmedizin. Für Vorträge hat er Honorare der folgenden Firmen erhalten; Medupdate, Forum für Medizinische Fortbildung (FoMF), Baxalta, Bayer Vita, Zoll, BARD. A. Ghanem erhielt Honorare für Vortragstätigkeiten von Getinge. A. Markewitz erhielt ein Vortragshonorar vom TÜV Süd, München. J. T. Gräsner ist 1. Sprecher des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Notfallmedizin der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Sprecher des Organisations-Komitees des Deutschen Reanimationsregisters, Chair des European Registry of Cardiac Arrest, Mitglied im Exekutiv-Komitee des Deutschen Rates für Wiederbelebung, Mitglied im Präsidium des Berufsverbandes Deutscher Anästhesisten. U. Kreimeier ist Leiter der Arbeitsgruppe Advanced Life Support im Deutschen Rat für Wiederbelebung e.V. / German Resuscitation Council (GRC). T. Wengenmayer, C. Hagl, C. Dohmen, A. Bauer, R. Pfister, H. J. Busch, A. Beckmann, M. Fischer, C. Kill, U. Janssens, S. Kluge, F. Born, H. M. Hoffmeister, M. Preusch, U. Boeken, R. Riessen und H. Thiele geben ebenfalls an, dass kein Interessenskonflikt besteht.

LITERATUR

- [1] Atwood C, Eisenberg MS, Herlitz J, Rea TD (2005) Incidence of EMS-treated out-of-hospital cardiac arrest in Europe. *Resuscitation* 67(1):75-80
- [2] Go AS, Mozaffarian D, Roger VL et al (2014) Executive summary: heart disease and stroke statistics-2014 update: a report from the American Heart Association. *Circulation* 129(3):399-410
- [3] Hawkes C, Booth S, Ji C et al (2017) Epidemiology and outcomes from out-of-hospital cardiac arrests in England. *Resuscitation* 110:133-140
- [4] Spangenberg T, Schewel J, Dreher A et al (2018) Health related quality of life after extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in refractory cardiac arrest. *Resuscitation* 127:73-78
- [5] Kuisma M, Alaspää A (1997) Out-of-hospital cardiac arrests of non-cardiac origin. Epidemiology and outcome. *Eur Heart J* 18(7):1122-1128
- [6] Hess EP, Campbell RL, White RD (2007) Epidemiology, trends, and outcome of out-of-hospital cardiac arrest of non-cardiac origin. *Resuscitation* 72(2):200-206
- [7] Sandroni C, Nolan J, Cavallaro F, Antonelli M (2007) In-hospital cardiac arrest: Incidence, prognosis and possible measures to improve survival. *Intensive Care Med* 33:237-245
- [8] Link MS, Berkow LC, Kudenchuk PJ et al (2015) Part 7: Advanced Cardiovascular Life Support – 2015 American Heart Association Guidelines Update for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation* 132[Suppl 2]:S444-S464
- [9] Karam N, Marijon E, Dumas F et al (2017) Characteristics and outcomes of out-of-hospital sudden cardiac arrest according to the time of occurrence. *Resuscitation* 116:16-21
- [10] Soar J, Nolan JP, Böttiger BW et al (2015) European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015 Section 3. Adult advanced life support. *Resuscitation* 95:100-147
- [11] Kim SJ, Kim HJ, Lee HY et al (2016) Comparing extracorporeal cardiopulmonary resuscitation with conventional cardiopulmonary resuscitation: A meta-analysis. *Resuscitation* 103:106-116
- [12] Vdovin N, Günther SPW, de Waha S et al (2017) Early Risk Stratification in Patients With Cardiogenic Shock Complicating Acute Myocardial Infarction Treated With Extracorporeal Life Support and Primary Percutaneous Coronary Intervention. *JACC Cardiovasc Interv* 10(23):2469-2471
- [13] Chen YS, Lin JW, Yu HY et al (2008) Cardiopulmonary resuscitation with assisted extracorporeal life support versus conventional cardiopulmonary resuscitation in adults with in-hospital cardiac arrest: an observational study and propensity analysis. *Lancet* 372:554-561
- [14] Wang CH, Chou NK, Becker LB et al (2014) Improved outcome of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest--a comparison with that for extracorporeal rescue for in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 85(9):1219-1224
- [15] Fagnoul D, Combes A, De Backer D (2014) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. *Curr Opin Crit Care* 20(3):259-265
- [16] Blumenstein J, Leick J, Liebetau C et al (2016) Extracorporeal life support in cardiovascular patients with observed refractory in-hospital cardiac arrest is associated with favourable short and long-term outcomes: A propensity-matched analysis. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care* 5(7):13-22
- [17] Spangenberg T, Meincke F, Brooks S et al (2016) "Shock and Go?" extracorporeal cardio-pulmonary resuscitation in the golden-hour of ROSC. *Catheter Cardiovasc Interv* 88(5):691-696
- [18] Combes A, Brodie D, Chen YS et al (2017) The ICM research agenda on extracorporeal life support. *Intensive Care Med* 43(9):1306-1318
- [19] Debatty G, Babaz V, Durand M et al (2017) Prognostic factors for extracorporeal cardiopulmonary resuscitation recipients following out-of-hospital refractory cardiac arrest. A systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 112:1-10
- [20] Conrad SA, Rycus PT (2017) Extracorporeal membrane oxygenation for refractory cardiac arrest. *Ann Card Anaesth* 20(Supplement):S4-S10
- [21] Richardson AS, Schmidt M, Bailey M et al (2017) ECMO Cardio-Pulmonary Resuscitation (ECPR), trends in survival from an international multicentre cohort study over 12-years. *Resuscitation* 112:34-40
- [22] Haas NL, Coute RA, Hsu CH et al (2017) Descriptive analysis of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation following out-of-hospital cardiac arrest-An ELSO registry study. *Resuscitation* 119:56-62
- [23] Ouweeneel DM, Schotborgh JV, Limpens J et al (2016) Extracorporeal life support during cardiac arrest and cardiogenic shock: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med* 42:1922-1934
- [24] Trummer G, Bein B, Buerke M et al (2011) Standardized terminology of mechanical heart, lung and circulatory assist devices: A recommendation of the Section „Heart and Circulation“ of the German Interdisciplinary Association of Critical Care Medicine. *Applied Cardiopulmonary Pathophysiology* 15: 181-182
- [25] ELSO ECPR Supplement to the ELSO General Guidelines (2013) Version 1.3, <https://www.else.org/Portals/0/IGD/Archive/File-Manager/6713186745usersshydocumentsel-soguidelinesforeprcases1.3.pdf>
- [26] Günther S, Born F, Buchholz S et al (2018) Patienten unter Reanimation: Kandidaten für „Extracorporeale Life Support“? *Z Herz-, Thorax-Gefäßschir* 32:133-140
- [27] Wengenmayer T, Rombach S, Ramshorn F et al (2017) Influence of low-flow time on survival after extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (eCPR). *Crit Care* 21(1):157
- [28] Kuroki N, Abe D, Iwama T et al. (2017) Association between delay to coronary reperfusion and outcome in patients with acute coronary syndrome undergoing extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 114:1-6
- [29] Abrams D, Garan AR, Abdelbary A et al (2018) Position paper for the organization of ECMO programs for cardiac failure in adults. *Intensive Care Med*, doi: 10.1007/s00134-018-5064-5 [Epub ahead of print]
- [30] Yannopoulos D, Bartos JA, Raveendran G et al (2017) Coronary Artery Disease in Patients With Out-of-Hospital Refractory Ven-
- tricular Fibrillation Cardiac Arrest. *J Am Coll Cardiol* 70(9):1109-1117
- [31] Hayashida K, Suzuki M, Yonemoto N et al (2017) Early Lactate Clearance Is Associated With Improved Outcomes in Patients With Postcardiac Arrest Syndrome: A Prospective, Multicenter Observational Study (SOS-KANTO 2012 Study). *Crit Care Med* 45(6):e559-e566
- [32] Slottosch I, Liakopoulos O, Kuhn E et al (2017) Lactate and lactate clearance as valuable tool to evaluate ECMO therapy in cardiogenic shock. *J Crit Care* 42:35-41
- [33] Momiyama Y, Yamada W, Miyata K et al (2017) Prognostic values of blood pH and lactate levels in patients resuscitated from out-of-hospital cardiac arrest. *Acute Med Surg* 4(1):25-30
- [34] Zeserson E, Goodgame B, Hess JD et al (2018) Correlation of Venous Blood Gas and Pulse Oximetry With Arterial Blood Gas in the Undifferentiated Critically Ill Patient. *J Intensive Care Med* 33(3):176-181
- [35] Siegenthaler W (2005) *Differentialdiagnose*. 19. Auflage, Thieme-Verlag
- [36] Geisler AC, Söffker G, Breunig F et al (2014) „Der besondere Fall-Optimale Rettungskette, Hamb Arztebl Bd 68, 10:44-46
- [37] Hohmann C, Pfister R, Michels G (2018) [Are the initial pH and the lactate values after cardiopulmonary resuscitation always crucial?] *Med Klin Intensivmed Notfmed*, doi: 10.1007/s00063-018-0432-z
- [38] Shin J, Lim YS, Kim K et al (2017) Initial blood pH during cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest patients: a multicenter observational registry-based study. *Crit Care* 21(1):322
- [39] Gil E, Na SJ, Ryu JA et al (2017) Association of body mass index with clinical outcomes for in-hospital cardiac arrest adult patients following extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. *PLoS One* 12(4):e0176143
- [40] Kang SB, Kim KS, Suh GJ et al. (2017) Long-term survival of out-of-hospital cardiac arrest patients with malignancy. *Am J Emerg Med* 35(10):1457-1461
- [41] Sulzgruber P, Sterz F, Poppe M et al (2017) Age-specific prognostication after out-of-hospital cardiac arrest - The ethical dilemma between 'life-sustaining treatment' and 'the right to die' in the elderly. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care* 6(2):112-120
- [42] Pabst D, El-Banayasy A, Soleimani B, Brehm CE (2018) Predictors of Survival for Nonhighly Selected Patients Undergoing Resuscitation With Extracorporeal Membrane Oxygenation After Cardiac Arrest. *ASAIO J* 64(3):368-374
- [43] Lorusso R, Gelsomino S, Parise O et al (2017) Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation for Refractory Cardiogenic Shock in Elderly Patients: Trends in Application and Outcome From the Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) Registry. *Ann Thorac Surg* 104(1):62-69
- [44] Riggs KR, Becker LB, Sugarman J (2015) Ethics in the use of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in adults. *Resuscitation* 91:73-75
- [45] Mancini ME, Diekema DS, Hoadley TA et al (2015) Part 3: Ethical Issues: 2015 American Heart Association Guidelines Update for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation* 132(18 Suppl 2):S383-396

- [46] Meltzer EC, Ivascu NS, Stark M et al (2016) A Survey of Physicians' Attitudes toward Decision-Making Authority for Initiating and Withdrawing VA-ECMO: Results and Ethical Implications for Shared Decision Making. *J Clin Ethics* 27(4):281-289
- [47] Makdisi T, Makdisi G (2017) Extra-corporeal membrane oxygenation support: ethical dilemmas. *Ann Transl Med* 5(5):112
- [48] Niecke A, Schneider G, Hartog CS, Michels G (2017) [Traumatized relatives of intensive care patients]. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 112(7):612-617
- [49] Michels G, Thiele H, Kluge S, Pfister R (2017) [Are there any prognostic predictors for extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (ECPR) in case of out-of-hospital cardiac arrest?] *Med Klin Intensivmed Notfmed* 112(7):634-636
- [50] Stiell IG, Nichol G, Leroux BG et al (2011) Early versus later rhythm analysis in patients with out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 365(9):787-797
- [51] Goslar T, Knafelj R, Radsel P et al (2016) Emergency percutaneous implantation of veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation in the catheterization laboratory. *Euro-Intervention* 12(12):1465-1472
- [52] Kashiura M, Sugiyama K, Tanabe T, Akashi A, Hamabe Y (2017) Effect of ultrasonography and fluoroscopic guidance on the incidence of complications of cannulation in extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest: a retrospective observational study. *BMC Anesthesiol* 17(1):4
- [53] Voicu S, Henry P, Malissin I et al (2018) Improving cannulation time for extracorporeal life support in refractory cardiac arrest of presumed cardiac cause - Comparison of two percutaneous cannulation techniques in the catheterization laboratory in a center without on-site cardiovascular surgery. *Resuscitation* 122:69-75
- [54] Reynolds JC, Callaway CW, El Khoudary SR et al (2009) Coronary angiography predicts improved outcome following cardiac arrest: propensity-adjusted analysis. *J Intensive Care Med* 24(3):179-186
- [55] Dumas F, Cariou A, Manzo-Silberman S et al (2010) Immediate percutaneous coronary intervention is associated with better survival after out-of-hospital cardiac arrest: insights from the PROCAT (Parisian Region Out of hospital Cardiac Arrest) registry. *Circ Cardiovasc Interv* 3(3):200-207
- [56] Kragholm K, Malta Hansen C, Dupre ME et al (2017) Direct Transport to a Percutaneous Cardiac Intervention Center and Outcomes in Patients With Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes*;10(6). pii: e003414. doi: 10.1161/CIR-COUTCOMES.116.003414
- [57] Scholz KH, Andresen D, Böttiger BW et al (2017) [Quality indicators and structural requirements for Cardiac Arrest Centers-German Resuscitation Council (GRC)]. *Kardiologie* 11: 205-208
- [58] Jarosz A, Darocha T, Kosiński S et al (2017) Profound Accidental Hypothermia: Systematic Approach to Active Recognition and Treatment. *ASAIO J* 63(3):e26-e30
- [59] Beckmann A, Benk C, Beyersdorf F et al (2011) Position article for the use of extracorporeal life support in adult patients. *Eur J Cardiothorac Surg* 40(3):676-680
- [60] Combes A, Brodie D, Bartlett R et al (2014) Position paper for the organization of extracorporeal membrane oxygenation programs for acute respiratory failure in adult patients. *Am J Respir Crit Care Med* 190(5):488-496
- [61] Dirnberger D, Fiser R, Harvey C et al (2015) Extracorporeal Life Support Organization (ELSO), Guidelines for ECMO Transport. <https://www.else.org/resources/guidelines.aspx>
- [62] Broman LM, Frenckner B (2016) Transportation of Critically Ill Patients on Extracorporeal Membrane Oxygenation. *Front Pediatr* 4:63
- [63] Michels G, Zinke H, Möckel M et al (2017) [Recommendations for education in ultrasound in medical intensive care and emergency medicine: position paper of DGIIN, DEGUM and DGK]. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 112(4):314-319
- [64] Zhang Z (2017) Echocardiography for patients undergoing extracorporeal cardiopulmonary resuscitation: a primer for intensive care physicians. *J Intensive Care* 5:15
- [65] Price S, Platz E, Cullen L et al (2017) Expert consensus document: Echocardiography and lung ultrasonography for the assessment and management of acute heart failure. *Nat Rev Cardiol* 14(7):427-440
- [66] Nolan JP, Hazinski MF, Aickin R et al (2015) Part 1: Executive summary: 2015 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science with Treatment Recommendations. *Resuscitation* 95:e1-31
- [67] Olasveengen TM, de Caen AR, Mancini ME et al (2017) 2017 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations Summary. *Circulation* 136(23):e424-e440
- [68] Perkins GD, Olasveengen TM, Maconochie I et al (2018) European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation: 2017 update. *Resuscitation* 123:43-50
- [69] Swol J, Belohlávek J, Haft JW et al (2016) Conditions and procedures for in-hospital extracorporeal life support (ECLS) in cardiopulmonary resuscitation (CPR) of adult patients. *Perfusion* 31(3):182-188
- [70] Leick J, Liebetau C, Szardien S et al (2013) Door-to-implantation time of extracorporeal life support systems predicts mortality in patients with out-of-hospital cardiac arrest. *Clin Res Cardiol* 102(9):661-669
- [71] Nanjaya VB, Murphy D (2015) Ultrasound Guidance for Extra-corporeal Membrane Oxygenation General Guidelines. https://www.else.org/Portals/0/Files/else_Ultrasoundguidance_ecmogeneral_guidelines_May2015.pdf
- [72] Ahn HJ, Lee JW, Joo KH et al (2018) Point-of-Care Ultrasound-Guided Percutaneous Cannulation of Extracorporeal Membrane Oxygenation: Make it Simple. *J Emerg Med* 54(4):507-513
- [73] Beck L, Burg MC, Heindel W, Schülke C (2017) Extracorporeal Membrane Oxygenation in Adults - Variants, Complications during Therapy, and the Role of Radiological Imaging. *Rofo* 189(2):119-127
- [74] Pang PY, Wee GH, Hoo AE et al (2016) Therapeutic hypothermia in adult patients receiving extracorporeal life support: early re-
- sults of a randomized controlled study. *J Cardiothorac Surg* 11:43
- [75] Spartera M, Jabbour RJ, Chiarito M, De Bonis M, Pappalardo F (2017) Stepwise use of circulatory support devices in a patient refractory to cardiopulmonary resuscitation. *Cardiovasc Revasc Med* 18(6):447-449
- [76] Tepper S, Masood MF, Baltazar Garcia M et al. (2017) Left Ventricular Unloading by Impella Device Versus Surgical Vent During Extracorporeal Life Support. *Ann Thorac Surg* 104(3):861-867
- [77] Ibanez B, James S, Agewall S et al (2018) 2017 ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation: The Task Force for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 39(2):119-177
- [78] Johnson B, Runyon M, Weekes A, Pearson D (2017) Team-focused Cardiopulmonary Resuscitation: Prehospital Principles Adapted for Emergency Department Cardiac Arrest Resuscitation. *J Emerg Med* S0736-4679(17)30771-0
- [79] Barbaro RP, Odetola FO, Kidwell KM et al (2015) Association of hospital-level volume of extracorporeal membrane oxygenation cases and mortality. Analysis of the extracorporeal life support organization registry. *Am J Respir Crit Care Med* 191(8):894-901

Prof. Dr. med. Guido Michels
Klinik III für Innere Medizin der Universität zu Köln
Kerpener Str. 62
50937 Köln
Tel.: +49 221/478-32401
Fax: +49 221/478-32400
E-mail: guido.michels@uk-koeln.de