Extrakorporale kardiopulmonale Reanimation (ECPR)

Konsensuspapier der DGK, DGTHG, DGAI, DGPTM, DIVI, GRC, DRG, ALKK und DGIIN

G. Michels · D. L. Staudacher · R. M. Muellenbach · U. Boeken · I. Ahrens · A. Bauer · J. Dutzmann · S. Ensminger · C. Jung · A. Linke · M. Sander · T. Müller · M. Oezkur · K. Müller-Peltzer · K. Pilarczyk · S. Schmidt · B. Schrage · T. Grübl · H. Thiele · T. Wengenmayer

▶ **Zitierweise:** Michels G, Staudacher DL, Muellenbach RM, Boeken U, Ahrens I, Bauer A et al: Extrakorporale kardiopulmonale Reanimation (ECPR). Anästh Intensivmed 2027;68:X1–X20. DOI: 10.19224/ai2027.X001

Zusammenfassung

Die extrakorporale kardiopulmonale Reanimation („extracorporeal cardiopulmonary resuscitation" [ECPR]) kann bei hochselektierten Patient*innen mit refraktärem Kreislaufstillstand und potenziell reversibler Ursache des Kreislaufstillstands als Rettungsstrategie erwogen werden. Sowohl die ECPR selbst als auch die anschließende Therapie unter ECLS („extracorporeal life support") sind komplex und ressourcenintensiv. Eine robuste Evidenz für eine Überlegenheit der ECPR gegenüber der konventionellen kardiopulmonalen Reanimation fehlt bislang. Die Implementierung und Aufrechterhaltung eines leistungsfähigen ECPR-Programms erfordert im Sinne der Qualitätssicherung klar strukturierte Prozesse, definierte Kommunikationswege und eine belastbare institutionelle Infrastruktur. Die Gewährleistung einer flächendeckenden und intersektoralen Versorgungsqualität setzt eine kooperative Zusammenarbeit vieler notwendiger Fachdisziplinen voraus. Das vorliegende Konsensuspapier aktualisiert das 2018 publizierte Dokument und definiert ein gemeinsames Rahmenkonzept zentraler struktureller, prozessualer und klinischer Anforderungen.

Abstract

Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (ECPR) can be considered as a rescue strategy in highly selected patients with refractory cardiac arrest and a potentially reversible cause of cardiac arrest. Both ECPR itself and the subsequent treatment under extracorporeal life support (ECLS) are complex and resource intensive. There is currently no robust evidence for the superiority of ECPR over conventional cardiopulmonary resuscitation. The implementation and maintenance of an effective ECPR program requires clearly structured processes, defined communication channels and robust institutional infrastructure for quality assurance. Ensuring comprehensive and intersectoral quality of care requires the cooperative collaboration of many necessary disciplines. This consensus paper updates the document published in 2018 and defines a common framework of central structural, procedural and clinical requirements.

Einleitung

Ungefähr 55 pro 100.000 Einwohner erleiden jedes Jahr in Europa einen außerklinischen Kreislaufstillstand („out-of-hospital cardiac arrest" [OHCA]) [1]. Die Überlebensrate nach konventioneller kardiopulmonaler Reanimation (CPR) ist mit 7,5 % weiterhin niedrig [1]. Die extrakorporale kardiopulmonale Reanimation („extracorporeal cardiopulmonary resuscitation" [ECPR]) kann als Rettungsversuch für ausgewählte Patient*innen mit refraktärem Kreislaufstillstand erwogen werden, wenn die konventionelle CPR nicht zur Wiederherstellung eines Spontankreislaufs führt.

Konsensuspapiere

„Empfehlungen zur extrakorporalen kardiopulmonalen Reanimation (eCPR). Konsensuspapier der DGIIN, DGK, DGTHG, DGfK, DGNI, DGAI, DIVI und GRC".

Das Konsensuspapier wurde 2018 parallel in den Zeitschriften Medizinische Klinik – Intensivmedizin und Notfallmedizin [2], Der Kardiologe [89], Der Anaesthesist [90] sowie Zeitschrift für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie [91] und 2019 in der Zeitschrift Anästhesiologie & Intensivmedizin [92] publiziert.

Dieses Konsensuspapier wird parallel in den Zeitschriften Die Kardiologie (Open Access), Medizinische Klinik – Intensivmedizin und Notfallmedizin, Die Anaesthesiologie, Zeitschrift für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie und Anästhesiologie & Intensivmedizin publiziert.

G. Michels und D. Staudacher teilen sich die Erstautorenschaft

H. Thiele und T. Wengenmayer teilen sich die Letztautorenschaft

Schlüsselwörter
Refraktärer Kreislaufstillstand – Extrakorporale kardiopulmonale Reanimation – Extrakorporale Membranoxygenierung – Extracorporeal life support – Kardiogener Schock – Wiederbelebung

Keywords
Refractory cardiac arrest – Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation – Extracorporeal membrane oxygenation – Extracorporeal life support – Cardiogenic shock – Resuscitation

Das vorliegende Konsensuspapier empfiehlt einen standardisierten nationalen ECPR-Algorithmus für erwachsene Patient*innen [2]. Die Aktualisierung des Konsensuspapiers wurde mit Vertreter*innen der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung e. V. (DGK), der Deutschen Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie e. V. (DGTHG), der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e. V. (DGAI), der Deutschen Gesellschaft für Perfusiologie und Technische Medizin e. V. (DGPTM), der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e. V. (DIVI), des Deutschen Rates für Wiederbelebung – German Resuscitation Council (GRC) e. V., der Deutschen Röntgengesellschaft e. V. (DRG), der Arbeitsgemeinschaft Leitende Kardiologische Krankenhausärzte e. V. (ALKK) und der Deutschen Gesellschaft für Internistische Intensivmedizin und Notfallmedizin e. V. (DGIIN) verfasst. Die DGK und die DGIIN sind dabei die federführenden Fachgesellschaften, die anderen Fachgesellschaften sind in der Konsentierung gleichberechtigt eingebunden.

Definitionen und Terminologie

IHCA („in-hospital cardiac arrest“) und **OHCA** („out-of-hospital cardiac arrest“) kennzeichnen den Ort des Beginns eines Kreislaufstillstands. Sowohl Ursache des Kreislaufstillstands als auch Logistik, Therapieoptionen und Hintergrundinformationen unterscheiden sich typischerweise deutlich. Alle 3 bisher publizierten randomisierten ECPR-Studien untersuchten ECPR nur im Kontext des OHCAs [3–5].

Refraktärer Kreislaufstillstand

Eine einheitliche Definition fehlt in der Literatur. ECPR-Studien definieren einen Kreislaufstillstand als refraktär, wenn zwischen 5 und 30 min nach Beginn der CPR keine Rückkehr des spontanen Kreislaufs („return of spontaneous circulation“ [ROSC]) erreicht wurde oder nach dem dritten erfolglosen Schock kein ROSC eintritt [6]. Ein praktikabler Kompromiss sind 15 min CPR, um sowohl schockbare als auch nicht schockbare Herzrhythmen abzubilden.

ECLS/VA-ECMO

Der Oberbegriff ECLS („extracorporeal life support“) umfasst alle Konfigurationen der ECMO („extracorporeal membrane oxygenation“): venovenös (VV, Lungenersatz) und venoarteriell (VA, Herz-Lungen-Ersatz). In der Literatur werden VA-ECMO und ECLS häufig synonym verwendet [7,8], in diesem Manuskript ist unter ECLS immer die VA-ECMO-Konfiguration gemeint.

No-flow- und Low-flow-Zeiten

Beim Kreislaufstillstand kommt es definitionsgemäß zum Erliegen der Zirkulation (No-flow). Diese No-flow-Zeit dauert bis zum Beginn effektiver Thoraxkompressionen. Die Zeit unter Reanimation wird als Low-flow-Zeit bezeichnet und dauert bis zum Wiedererlangen des ROSC oder bis zum Anschluss an eine VA-ECMO. Sowohl No-flow- als auch Low-flow-Dauer sind entscheidende Determinanten für das Überleben [9].

ECPR bezeichnet die Anlage einer VA-ECMO bei Patient*innen im refraktären Kreislaufstillstand ohne ROSC oder bei Patient*innen mit instabilem ROSC. Per Definition ist ein ROSC frühestens nach 20 min stabil, sodass eine VA-ECMO-Implantation innerhalb von 20 min nach ROSC immer als ECPR zu definieren ist. Das Zeitfenster des instabilen ROSC wird in der Literatur teils ausgeweitet [10]. Entscheidend für die ECPR ist letztlich die Intention, die VA-ECMO zur Stabilisierung eines instabilen ROSC zu etablieren.

Die Implantationsdauer bei ECPR ist ein zentraler Qualitätsmarker und muss bei jeder Implantation minutengenau dokumentiert werden. Sie beginnt mit dem Erstkontakt des ECPR-Teams mit dem/der Patient*in und inkludiert Vorbereitung, Umlagerung, sterile Abdeckung, Kanülierung und den Anschluss an das VA-ECMO-System und endet mit dem Erreichen eines suffizienten VA-ECMO-Blutflusses. Erfahrene Zentren berichten mediane Implantationsdauern von 12 min [3,4].

Outcome

Ein häufig verwendeter Score für die Abschätzung des Erfolgs nach ECPR ist die CPC (Cerebral Performance Category) nach Glasgow-Pittsburgh [4,5,11, 12]. Diese ist für jede(n) Patient*in nach ECPR bei Entlassung (und optimalerweise nach 30 und 180 Tagen) zu erheben.

Studienlage und Leitlinien

Drei wichtige ECPR-Studien liegen aktuell vor. Die im Jahr 2020 publizierte ARREST-Studie randomisiert monozentrisch 30 Patient*innen mit OHCA und refraktärem Kammerflimmern. Die Studie wurde nach positiver Zwischenevaluation vorzeitig abgebrochen; die Ergebnisse zeigten einen signifikanten Überlebensvorteil zugunsten der ECPR [3].

Die 2022 veröffentlichte PRAGUE-OHCA-Studie randomisierte monozentrisch 256 OHCA-Patient*innen mit und ohne Kammerflimmern. Auch diese Studie wurde nach Einschluss von 256 Patient*innen vom Datensicherheitskomitee abgebrochen. In dieser Studie zeigte sich für ECPR ein signifikant besseres Outcome nach 30 Tagen. Im primären Endpunkt nach 180 Tagen konnte dieser Vorteil jedoch nicht bestätigt werden [13]. Weiterhin ist zu beachten, dass in dieser Studie nicht alle Patient*innen im ECPR-Arm eine VA-ECMO erhalten haben. Darüber hinaus wurden mehrere Patient*innen mit einer VA-ECMO behandelt, die zur konservativen Vergleichsgruppe gehörten.

Die 2023 publizierte INCEPTION-Studie ist die bislang einzige multizentrische Untersuchung. Hier wurden 134 Patient*innen, überwiegend mit refraktärem Kammerflimmern, randomisiert; ein signifikanter Überlebensvorteil ließ sich nicht nachweisen [11].

Insgesamt ergibt sich ein heterogenes Bild hinsichtlich der Effektivität der ECPR. Differenzen in Studiendesign, Ein- und Ausschlusskriterien, Endpunkten, ECPR-Erfahrung und Zeiten bis zur VA-ECMO-Anlage sind zu berücksichtigen. Die ARREST-Studie illustriert die Anwendung der VA-ECMO unter optimalen

Bedingungen: Ein kleines, erfahrenes Ärzteteam gewährleistet eine kontinuierliche Verfügbarkeit, fest integriert in die prähospitale Rettungskette. Die mittlere Low-flow-Zeit betrug 59 min [3]. Die PRAGUE-OHCA-Studie übertrug dieses Konzept in die reguläre Versorgung, jedoch ebenfalls mit einem erfahrenen Ärzteteam und festem prähospitalem Ablauf. Die mittlere Low-flow-Zeit betrug 61 min, die Implantationsdauer 12 min [13]. Die INCEPTION-Studie zeigte ein abweichendes Bild: mehrere teilnehmende Zentren verfügten über eine eher geringere ECPR-Erfahrung und teils fehlende standardisierte Abläufe, insbesondere hinsichtlich der Verknüpfung prähospitaler und innerklinischer Prozesse. Dies führte zu einer Verlängerung der Low-flow- und VA-ECMO-Implantationszeiten (Low-flow 74 min, davon 38 min ab Krankenhausaufnahme) [11].

Die Low-flow-Zeit ist ein zentraler Prädiktor für Überleben [14]. Eine gepoolte Analyse der ARREST- und PRAGUE-OHCA-Daten zeigen einen signifikanten Überlebensvorteil für die ECPR [12], während die INCEPTION-Studie bei längerer Low-flow-Zeit keinen Vorteil für die ECPR zeigen konnte. Aufgrund der vergleichbaren Bevölkerungsstruktur und der ähnlichen infrastrukturellen Voraussetzungen erscheint eine Übertragbarkeit der Ergebnisse der INCEPTION-Studie auf Deutschland plausibel. Zukünftige randomisierte Studien, wie z. B. die OSIRIS ECPR-Studie (NCT06805344), welche als multizentrische, internationale, randomisierte Folgestudie zur PRAGUE-OHCA-Studie konzipiert ist, werden weitere Erkenntnisse liefern.

Aktuelle Leitlinien äußern sich zur ECPR wie folgt (Tab. 1). Bewusst wurden die Empfehlungen nicht übersetzt, um den Originalton nicht zu verändern.

Tabelle 1
Kernempfehlungen internationaler Leitlinien.

Leitlinie	Hauptstatements
AHA 2025 [15]	It is reasonable that centers with ECPR programs develop and frequently reassess patient selection criteria to maximize cardiac arrest survival, ensure equitable access, and limit futility
	It is reasonable that clinicians performing adult peripheral ECPR cannulation be experienced in percutaneous technique
	A regionalized approach to ECPR is reasonable to optimize outcomes and resource utilization
	Rapid intra-arrest transport for ECPRmay be considered for limited, highly selected adult OHCA patients
ERC 2025 [16]	ECPR may be considered as a rescue therapy for selected adults with IHCA and OHCA when conventional CPR is failing to restore spontaneous circulation, in settings in which this can be implemented
ELSO 2021 [17]	Limited to selected patients (< 70 years), short No-flow time (< 5 min) and Low-flow time (< 60 min)
	Early cannulation (within 10–20 min) after unsuccessful conventional CPR in hospital. Out-of hospital ECPR reserved for exceptional cases
	Femoral cannulation preferred with ultrasound
	Early post-cannulation management (confirmation of positioning, distal limb perfusion, LV unloading)
NICE 2025 [18]	ECPR can be used for OHCA/IHCA with shockable rhythm or reversible cause
	ECPR for OHCA/IHCA with non-shockable rhythm only within clinical trials
	3. Healthcare professions should record data on ECPR runs

AHA American Heart Association, **ECMO** extrakorporale Membranoxygenierung, **ECPR** extrakorporale kardiopulmonale Reanimation, **ELSO** Extracorporeal Life Support Organization, **ERC** European Resuscitation Council, **ESICM** European Society of Intensive Care Medicine, **IHCA** In-Hospital Cardiac Arrest, **LV** linker Ventrikel, **NICE** National Institute for Health and Care Excellence, **OHCA** „out-of-hospital cardiac arrest"

Empfehlungen

- Die Evidenz aus randomisierten Studien ist heterogen, sodass eine unkritische Übertragung monozentrischer Ergebnisse auf die Regelversorgung vermieden werden **sollte**.
- Zukünftige multizentrische, randomisierte Studien mit standardisierten Behandlungsprotokollen und klar definierten Zeitintervallen **sollten** durchgeführt werden, um die Effektivität der ECPR unter realistischen Versorgungsbedingungen valide zu bewerten.
- Eine generelle Empfehlung zur ECPR **sollte** derzeit zurückhaltend erfolgen; bei nichtschockbarem Rhythmus **sollte** die Indikation zur ECPR unter Berücksichtigung des individuellen Risiko-Nutzen-Profils restriktiv gestellt werden.

Patient*innenselektion

Die Überlebensrate bei refraktärem Kreislaufstillstand ist trotz ECPR weiterhin gering [19]. Prädiktoren, die mit einer höheren Überlebenswahrscheinlichkeit nach ECPR einhergehen, beinhalten bekannte Prädiktoren für positives Outcome der CPR, wie z. B. beobachteter Kreislaufstillstand, umgehende und effektive Laienreanimation sowie ein schockbarer Initialrhythmus. ECPR-spezifische Faktoren sind beispielsweise eine kurze Low-flow-Zeit [9] sowie die Vermeidung VA-ECMO-assoziierter Komplikationen. Randomisierte Studien [3–5] und Leitlinien [16,17,20,21] definieren die Indikation zur ECPR unterschiedlich.

Eine strengere Indikationsstellung erhöht zwar die Überlebensrate innerhalb der Kohorte, führt aber zwangsläufig dazu, dass Patient*innen ausgeschlossen werden, die potenziell von einer ECPR profitieren könnten [22]. In einem Gesundheitssystems mit begrenzten Ressourcen (u. a. Personal, Finanzierung, Geräte, Behandlungsplätze, Blutprodukte, Operationskapazitäten) muss die Allokation dieser ressourcenintensiven Technik an

Tabelle 2
Checkliste – ECPR-Indikationsstellung.

	Kriterium	Zur Beantwortung heranzuziehende Parameter
1	**Beobachteter Kollaps**	[ja/nein]; Ziel: beobachteter Kreislaufstillstand
2	**No-flow-Zeit**	[min]; Ziel: < 5 min
3	**Erster Rhythmus**	[schockbar/PEA/Asystolie]; Ziel: schockbar
4	**Qualität der CPR**	[ausreichend/insuffizient]; Summe aus: Lebenszeichen unter CPR, klinische Einschätzung und Erfahrung des CPR-Teams, Anatomie der Patient*in für effektive CPR geeignet, EKG unter Reanimation schockbar, PEA oder Asystolie, $etCO_2$, NIRS, pH-Wert, Laktatwert, Pupillen; Ziel: durchgehend hochwertige Wiederbelebungsmaßnahmen (effektive CPR)
5	**Patienten-spezifika**	[pro/contra ECPR]; Summe aus: Patientenwille, hohes Patientenalter als Surrogat für Gebrechlichkeit, limitierende Vorerkrankungen, Anatomie für ECPR zugänglich; Ziel: guter ECPR-Kandidat
6	**Ursache potenziell behebbar**	[ja/nein]; Summe aus: vermutete Ursache des Kreislaufstillstands (kardial/rhythmogen, ggf. thrombembolisch/LAE, hypotherm, Hypo-/Hyperkaliämie, Intoxikation); Ziel: potenziell reversible Ätiologie
7	**Erwartete Lowflow-´Zeit**	[min]; Summe aus: Zeit vom Kollaps bis zum Zeitpunkt der Indikationsstellung + Dauer Indikationsstellung + erwartete Implantationsdauer + erwartete Dauer bis zum Anschluss an die VA-ECMO mit Erreichen eines suffizienten VAECMO-Blutflusses; Ziel: Kollaps bis suffizienter VA-ECMO-Blutfluss < 60 min

CPR kardiopulmonale Reanimation, **ECMO** extrakorporale Membranoxygenierung, **ECPR** extrakorporale kardiopulmonale Reanimation, **EKG** Elektrokardiogramm, **$etCO_2$** endtidales Kohlendioxid, **LAE** Lungenarterienembolie, min Minuten; **NIRS** Nahinfrarotspektroskopie, **PEA** pulslose elektrische Aktivität, **pH** potentia hydrogenii, **VA-ECMO** venoarterielle extrakorporale Membranoxygenierung.

Fälle ohne realistische Therapieoption („futile care“) vermieden werden. Die Abb. 1 gibt eine Auflistung von Kriterien, auf die sich eine möglichst objektive Indikationsstellung für oder gegen die ECPR stützen lässt (Abb. 1, modifiziert nach [6]).

In der Praxis sind zum Zeitpunkt der Indikationsstellung zur ECPR häufig nicht alle Pro-Con-STOP-Kriterien bekannt. Die Indikation zur ECPR ist deshalb maßgeblich durch die Abwesenheit von Con-STOP-Kriterien gekennzeichnet.

Die Indikationsstellung sollte im Median nicht mehr als 1–2 min dauern. Ein pragmatischer Checklisten-basierter Algorithmus mit 7 Minimalkriterien für die Indikationsstellung zur ECPR, die für jede Patient*in erhoben und dokumentiert werden sollen, wird in Tab. 2 wiedergegeben. Dieser Katalog basiert auf den Empfehlungen in Abb. 1, ist aber am Prozess orientiert. Jedes Kriterium kann aus einzelnen Parametern zusammengesetzt sein (Tab. 2).

Jedes ECPR-Team sollte seine Implantationszeiten erfassen, evaluieren und unter Berücksichtigung der lokalen Versorgungsrealität vergleichen. In weniger optimierten Settings ist davon auszugehen, dass nur ein geringerer Anteil der Patient*innen als geeignete ECPR-Kandidat*innen infrage kommt.

Auf die in randomisiert kontrollierten Studien (RCT) untersuchte Patientengruppe (18 bis 70 Jahre, refraktärer Kreislaufstillstand, beobachteter Kollaps, schockbarer Rhythmus und umgehende CPR, Kollaps bis zum suffizienten VA-ECMO-Blutfluss < 60 min realistisch) [3–5] sollten sich die ECPR-Bemühungen primär fokussieren. Ausnahmen könnten Patient*innen mit speziellen Umständen wie akzidenteller Hypothermie oder Lungenarterienembolie sein. Besonders Kliniken, die sich in den ersten Jahren nach Beginn eines ECPR-Programms befinden, sollten die Indikationsqualität streng prüfen sowie eine Kooperation mit einem ECPR-Zentrum anstreben.

Spezielle Umstände der ECPR

IHCA

IHCA-Patient*innen sollten analog zu OHCA-Patient*innen bezüglich der Indikation zur ECPR evaluiert werden [6, 20]. Die Umstände einer IHCA-ECPR unterscheiden sich meist deutlich von denen bei OHCA. Dies betrifft den Ort der Implantation, die beteiligten Akteure und die verfügbaren Hintergrundinformationen sowie die Ursache des Kreislaufstillstands. Folglich müssen die Strukturen für Patient*innen sowohl nach IHCA als auch OHCA separat optimiert und trainiert werden, um in beiden Settings optimale Ergebnisse zu generieren.

Hypothermie

Patient*innen mit Kreislaufstillstand und erniedrigter Körperkerntemperatur haben auch nach längeren No-flow- und Low-flow-Zeiten ein besseres Überleben im Vergleich zu Patient*innen ohne primäre Hypothermie [23,24]. Einen Stellenwert hat die VA-ECMO nicht nur bei Patient*innen mit Kreislaufstillstand im Rahmen einer ECPR, sondern auch zum Wiedererwärmen bei schwerer Hypothermie [23]. Aktuelle Leitlinien empfehlen deshalb den Transport von Patient*innen mit schwerer Hypothermie in VA-ECMO-fähige Krankenhäuser [23, 25]. Eine wichtige Differenzialdiagnose zur akzidentellen Hypothermie ist eine sekundäre Hypothermie bei anderer Ursache des Kreislaufstillstands (z. B. Hypoxie). Diese Patient*innen haben kein besseres Überleben im Vergleich zu normothermen Patient*innen.

Schwangerschaft

Der Kreislaufstillstand in der Schwangerschaft ist ein sehr seltenes Ereignis. Fallberichte und Kohortenstudien legen nahe, dass Schwangerschaft keine Kontraindikation zur VA-ECMO generell oder zur ECPR im Speziellen darstellt [20,26]. Wegen der Komplexität der mütterlichen Physiologie in der Schwangerschaft sollte eine Behandlung dieser Patientinnen an einem ECPR-Zentrum mit geburtshilflicher und neonatologischer Expertise angestrebt werden.

Abbildung 1

PRO	CON	STOP
Beobachteter Kreislaufstillstand	Unbeobachteter Kreislaufstillstand (aber wahrscheinlich kurz)	Unbeobachteter Kollaps und keine Laienreanimation
Keine No-flow Zeit		No-flow Zeit > 10 Minuten
Effektive Laienreanimation	$etCO_2$ < 10 mmHg; NIRS < 16 %	
Alter < 65 Jahre	Alter > 75 Jahre	Gebrechliche, ältere Personen
Initial schockbarer Rhythmus	Initial nicht-schockbarer Rhythmus	
Lebenszeichen während der Reanimation	Arterielle Blutgasanalyse: pH-Wert < 6,7 und/ oder Laktat > 20 mmol/L (>180mg/dl)	
Geschätzte Zeit bis zum suffizienten VA-ECMO-Fluss (Low-flow Zeit) < 60 Minuten	Geschätzte Zeit bis zum suffizienten VA-ECMO-Fluss (Low-flow Zeit) > 60 Minuten	Länger andauernde globale Hypoxämie vor Kreislaufstillstand (z. B. paO_2 < 40 mmHg für ≥ 2 Stunden)
Keine akuten Komorbiditäten oder behandelbare akute Komorbiditäten†	Akute Hochrisiko-Komorbiditäten§	
Keine chronischen Komorbiditäten oder chronische Komorbiditäten ohne wesentliche Beeinträchtigung der Lebensqualität oder mittelfristigen Lebenserwartung‡	Chronische Komorbiditäten mit wesentlicher Beeinträchtigung der Lebensqualität oder der Lebenserwartung¶	Schwere terminale Komorbiditäten**
Akzidentelle Hypothermie		Patientenwille (bekannt oder vermutet) gegen CPR oder ECPR
Teamentscheidung für oder gegen ECPR††		**Keine ECPR, wenn ein STOP-Kriterium vorliegt**

Pro-Con-STOP-Kriterien für die ECPR. (Mod. nach [6]). Katalog für die ECPR-Indikationsstellung. **PRO-Kriterien** beschreiben Situationen, die mit einer angemessenen Chance auf ein neurologisch günstiges Überleben verbunden sind. **CON-Kriterien** beschreiben Situationen, die wesentlich zum Mortalitätsrisiko oder zu einem neurologisch ungünstigen Überleben beitragen. Daher sollte die Indikation für eine ECPR sehr kritisch und nur in Einzelfällen gestellt werden. **STOP-Kriterien** spiegeln Situationen wider, in denen keine angemessene Chance auf ein sinnvolles Überleben besteht. Daher sollte eine ECPR nicht angeboten werden, wenn eines dieser Kriterien vorliegt. **CPR** kardiopulmonale Reanimation, **ECPR** extrakorporale kardiopulmonale Reanimation, **$etCO_2$** endtidales Kohlendioxid, **mmHg** Millimeter-Quecksilbersäule, **NIRS** Nahinfrarotspektroskopie, **paO_2** arterieller Sauerstoffpartialdruck, **pH** potentia hydrogenii, **VA-ECMO** venoarterielle extrakorporale Membranoxygenierung, **†** z. B. akutes Nierenversagen, **‡** z. B. Diabetes mellitus, Adipositas, arterielle Hypertonie oder chronische Herzerkrankungen, **§** z. B. schweres Leberversagen, mesenteriale Ischämie, Aortendissektion, schwere Blutungen oder schwere Traumata, **¶** z. B. chronische Dialyse, Herzinsuffizienz im fortgeschrittenen Stadium, stabilemaligne Erkrankungen und chronische Remission, ** z. B. Langzeitsauerstofftherapie, palliative Malignität oder terminale Herzinsuffizienz, **††** Indikation für ECPR stellt das ECPR-Team. Der/die behandelnde Arzt/Ärztin hat ein Vetorecht gegen ECPR.

Lungenarterienembolie

Die Indikationsstellung zur ECPR bei vermuteter oder nachgewiesener Lungenarterienembolie ist aus mehreren Gründen komplex. Erstens präsentieren sich Patient*innen mit Lungenembolie meist ohne schockbaren Herzrhythmus (Contra-Kriterium). Zweitens ist eine Rechtsherzbelastung unter CPR oft nicht adäquat diagnostizierbar. Drittens ist das Blutungsrisiko bei Patient*innen mit vorausgegangener Lysetherapie und ECPR möglicherweise erhöht. Daten zur ECPR bei Lungenembolie sind uneindeutig [27, 28]. Zusammengefasst können Patient*innen mit Lungenarterienembolie nach heutigem Wissensstand ECPR-Kandidat*innen darstellen, wenn die Lysetherapie kontraindiziert oder nicht erfolgreich ist.

Empfehlungen

- Die Indikation zur ECPR **soll** auf einer strukturierten, möglichst objektiven Pro-/Con-/STOP-Kriterien-basierten Bewertung beruhen; bei Vorliegen eines STOP-Kriteriums **soll** keine ECPR angeboten werden.
- Für die ECPR-Indikationsstellung **sollten** insbesondere Faktoren berücksichtigt werden, die ein günstiges neurologisches Outcome wahrscheinlicher machen: beobachteter Kreislaufstillstand, No-flow-Zeit < 5 min, Low-flow-Zeit < 60 min, initial schockbarer Rhythmus und kontinuierlich hochwertige CPR sowie reversible Ursachen für einen Kreislaufstillstand.
- Kliniken **sollen** die ECPR-Indikationsqualität streng überwachen.
- Kliniken mit begrenzter ECPR-Erfahrung **sollten** eine strukturierte Kooperation mit einem ECPR-Zentrum etablieren.
- Die Implantationszeiten **sollen** systematisch erfasst und dokumentiert werden.

Qualitätskriterien

Der klinische Nutzen der ECPR hängt von der Qualität der strukturellen Implementierung, insbesondere von kurzen Low-flow- und Implantationszeiten, ab. Außerdem sind ausreichende Erfahrung und Fallzahlen erforderlich [29,30]. Eine optimale Qualitätssicherung sollte durchgehend sichergestellt werden,

weswegen die in Tab. 3 definierten Qualitätsdimensionen berücksichtigt werden sollten (Tab. 3).

Dokumentation und Register

Jede(r) Patient*in, die im Rahmen eines refraktären Kreislaufstillstands für eine ECPR evaluiert wird, soll in einem Register – idealerweise mit Dokumentation von 90- und 180-Tage-Überleben sowie von funktionellen Outcomes – dokumentiert werden. Die derzeit fragmentierte Dokumentation in mehreren Registern (u. a. Register der Extracorporeal Life Support Organization [ELSO], German Cardiac Arrest Registry [G-CAR], Deutsches Reanimationsregister, VA-ECMO-Register Deutschland [VERGE]) erschwert eine systematische Qualitätsbewertung und Strukturentwicklung.

Tabelle 3
Kriterien für ECPR-Initiierungskliniken und ECPR-Zentren.

	ECPR-Initiierungsklinik	ECPR-Zentrum
	Die ECPR wird in struktureller Absprache mit dem ECPR-Zentrum durch das Team der ECPR-Initiierungsklinik begonnen	Referenzzentrum und Knoten für ECPR-Initiierungskliniken
Indikationsqualität		
Indikationsstellung	Strenge Indikationsstellung in Absprache mit dem ECPR-Zentrum	Interdisziplinär und strukturiert gemäß aktueller Leitlinien und lokaler/regionaler SOPs
Aufgabe	Initiierung und Bereitstellung der ECPR-Verfügbarkeit, obligate Kooperationsvereinbarung mit einem ECPR-Zentrum	Wie ECPR-Initiierungsklinik, zusätzlich Weiterbehandlung, regionale und überregionale Versorgung, organisiert regionale Netzwerkstruktur und vereinbart Kooperationen (Ziel: ECPR-Netzwerk)
Strukturqualität		
Notfallstufe	Erweiterte Notfallversorgung	Umfassende Notfallversorgung
Intensivmedizinische Versorgung	Leistungsgruppe Intensivmedizin, DIVI Stufe erweitert II	Leistungsgruppe Intensivmedizin, DIVI Stufe umfassend III
Case-Load	–	Case -Load ≥ 25 ECPR/Jahr
Zertifizierungen	–	Cardiac Arrest Center (CAC)
Vorhaltung von Mindest-Fachdisziplinen	Allgemeinchirurgie	Allgemeinchirurgie
	Anästhesiologie	Anästhesiologie
	Gefäßchirurgie	Gefäßchirurgie
	Innere Medizin	Innere Medizin
	Interventionelle Kardiologie	Interventionelle Kardiologie
	Radiologie (inklusive 24/7 Computertomographie)	Radiologie (inklusive 24/7 Computertomographie)
		Neurologie
		Herzchirurgie oder Kooperation
		Psychosoziales Unterstützungsteam (PSU)
		Zentrallabor und Blutbank
ECMO-Interhospitaltransport	–	Ja (24/7)
Prozessqualität		
Standardisierungen	Lokale Standardisierungen (SOPs) sollen mit dem ECPR-Zentrum abgestimmt werden	Übergreifende Standardisierungen (SOPs)
Prozessmonitoring/-evaluation, Schnittstellenmanagement	Jährlicher Qualitätszirkel mit ECPR-Zentrum und regionalem Rettungsdienst	Jährlicher Qualitätszirkel mit allen internen und externen Schnittstellenpartnern (insbesondere mit den kooperierenden ECPR-Initiierungskliniken)
Ergebnisqualität		
Ergebnisdarstellung des Behandlungsprozesses	Teilnahme an einem Register (identisch zu dem des ECPR-Zentrums)	Teilnahme an einem überregionalen Register

DIVI Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e. V., **ECPR** extrakorporale kardiopulmonale Reanimation, **SOP** „standard operating procedure"

Anmerkung: Die dargestellten Krankenhaustypen (ECPR-Initiierungskrankenhaus und ECPR-Zentrum) sind als prototypische Strukturmodelle zu verstehen. Die konkrete Ausgestaltung hat sich an den regionalen Versorgungsstrukturen und verfügbaren Ressourcen zu orientieren. In begründeten Fällen können einzelne Kliniken definierte Aufgaben eines ECPR-Zentrums, etwa die Weiterbehandlung von VA-ECMO-Patient*innen, übernehmen. Eine verbindliche strukturelle und prozessuale Anbindung an ein ECPR-Zentrum bleibt dabei obligat.

Ausbildung und Kompetenz

ECPR ist eine komplexe, interdisziplinäre und interprofessionelle Therapieform, deren sichere Anwendung eine strukturierte Ausbildung und regelmäßiges Training erfordert (z. B. Ausbildungsmodul Extrakorporaler Life Support [ECLS; 31]). Die Anforderungen für ECPR-Teams beinhalten, aber erschöpfen sich nicht in den publizierten VA-ECMO-Teamanforderungen.

Versorgungsstruktur und Netzwerke

Für eine qualitätsgesicherte Anwendung sind regionale ECPR-Netzwerke (Kooperationen) mit definierten Selektions-, Transport- und Implantationspfaden sowie ausreichender Zentrumserfahrung anzustreben.

Empfehlungen

- Die ECPR-Versorgung **sollte** in regionalen ECPR-Netzwerken mit klar definierten Selektions-, Transport- und Implantationspfaden organisiert werden.
- Die Implementierung eines ECPR-Programms **sollte** an klar definierten Qualitätsdimensionen ausgerichtet werden und strukturierte Anforderungen an Indikations-, Struktur-, Prozess- und Ergebnisqualität erfüllen.

Durchführung

Die ECPR muss als frühzeitige Eskalationsoption innerhalb eines strukturierten CPR-Algorithmus gesehen werden (Abb. 2). Zentrales Ziel ist eine Minimierung der Low-flow-Zeit [3–5].

Rechtzeitiges Erwägen der ECPR

Die Entscheidung für eine ECPR muss aktiv, explizit und frühzeitig und ohne Beeinträchtigung der Qualität der Reanimation erfolgen. Praktisch sollte daher im Advanced Life Support(ALS)-Algorithmus ein fest definierter Entscheidungszeitpunkt verankert werden, an dem ECPR als Option geprüft wird. In vielen Programmen und Studienprotokollen wird der refraktäre Kreislaufstillstand früh operationalisiert. Die ECPR-Indikation sollte im Rahmen eines kurzen strukturierten Team-Time-outs unter fortgesetzter Reanimation erfolgen und klar kommuniziert werden („Weiter ALS“ vs. „Eskalation mit ECPR-Option“ vs. „Einstellen ALS und Exitus vor Ort“). Mit dieser Entscheidung geht unmittelbar eine frühe Aktivierung der ECPR-Strukturen einher. Bei etablierten Strukturen erfolgt dies bereits prähospital und vor dem Time-out, beispielsweise über Leitstellen-gestützte oder telemedizinische Konzepte, die potenzielle Kandidat*innen identifizieren und das Zielkrankenhaus bzw. das ECPR-Team frühzeitig informieren.

Logistik

Randomisierte Studien zur ECPR basieren auf strukturierten Transportkonzepten mit innerklinischer Kanülierung der Patient*in und unmittelbarer invasiver Diagnostik und Therapie [3–5]. Beobachtungsdaten zeigen, dass eine prähospitale ECPR in hoch spezialisierten Systemen eine Reduktion der Low-flow-Zeit ermöglichen kann [32]. Der aktuelle Evidenzstand erlaubt keine generelle Empfehlung für einen standardisierten Ort der Kanülierung. Sowohl transportbasierte Konzepte mit innerklinischer ECPR als auch prähospitale Ansätze können erfolgreich sein, sofern sie eine kurze Low-flow-Zeit ermöglichen und sicher umgesetzt werden [33]. Unabhängig davon können weitere Kräfte (z. B. weiterer Krankentransport-/Rettungswagen) hinzugezogen werden, um den ALS unter Sicherstellung einer bestmöglichen Qualität bis zur ECPR zu akzelerieren.

Implantation

Die Implantation der VA-ECMO sollte nach klar definierten prozeduralen Prinzipien erfolgen [6,34,35]. Bewährt hat sich ein Zwei-Team-Konzept, bei dem das bestehende ALS-Team weiterhin für die Gesamtkoordination der Reanimationssituation verantwortlich bleibt, während ein spezialisiertes ECPR-Team hinzutritt. Die Gesamtverantwortung für die Situation verbleibt beim ALS-Teamleader. Das ECPR-Team übernimmt örtlich abgegrenzte Aufgabenbereiche und kommuniziert diese klar und deutlich, beispielsweise „Alles kaudal des Bauchnabels“. Diese klare Rollenaufteilung reduziert Kommunikationsfehler und Parallelitätskonflikte. Während der gesamten Implantation ist auf die Aufrechterhaltung einer qualitativ hochwertigen CPR und einer stabilen Organisation des Arbeitsraums zu achten.

Die ultraschallgestützte Gefäßpunktion ist Standard. Bei eingeschränkten Schallbedingungen kann eine ipsilaterale Kanülierung technisch einfacher sein, da die Gefäße besser differenzierbar sind; retrospektive Registerdaten deuten jedoch auf geringere Blutungskomplikationen bei bilateraler Kanülierung hin [36]. Die Option eines „cut-downs“ sollte vorhanden sein, aber nur in Ausnahmefällen erfolgen. Bezüglich der Kanülengröße werden via A. femoralis 15- bis 19-French- und via V. femoralis 19- bis 25-French-Kanülen empfohlen.

In vielen ECPR-Programmen erfolgt vor der Kanülierung eine Schleusenanlage. Mittels transösophagealer Echokardiographie (TEE), transthorakaler Echokardiographie (TTE) und/oder Sonographie der Gefäße (A. und V. femoralis communis oder abdominelle Aorta) kann eine Kontrolle der Drahtlagen erwogen werden, sollte keine Röntgendurchleuchtung zur Verfügung stehen. Die echokardiographischen oder sonographischen Verfahren können auch zur Anlage der Kanülen hilfreich sein. In diesem Setting kann ein kurzes Team-Time-out erwogen werden, um die Situation erneut zu bewerten, potenzielle Komplikationen frühzeitig zu erkennen und die Entscheidung zur finalen Kanülierung bewusst zu bestätigen. Die Blutgasanalyse sollte frühzeitig angestrebt werden, um ausgeprägte metabolische Entgleisungen (z. B. erhöhte Laktatwerte oder sehr niedrige Oxygenierung) zu erfassen und diese im Sinne möglicher Abbruchkriterien zu berücksichtigen. Zu diesem Zeitpunkt können auch weitere Kontextfaktoren berücksichtigt werden (s. Kapitel „Patientenselektion“).

Unmittelbar nach erfolgter Kanülierung und Beginn der VA-ECMO sollte eine visuelle Kontrolle des Farbumschlags der Schläuche (Drainagekanüle dunkelrot, Rückgabekanüle hellrot) erfolgen, was eine Fehlkanülierung oder eine

fehlende Sauerstoffzufuhr zum Oxygenator detektieren kann. Anschließend ist eine sichere Fixierung der VA-ECMO-Kanülen (Fixierungsnaht) obligat. Die Implantationszeit muss dokumentiert werden (s. Kapitel „Patientenselektion").

Transport, Hilfsmittel und Zielort

Zur Umsetzung der gewählten Strategie kommen unterstützende Hilfsmittel zum Einsatz. Mechanische CPR-Systeme (mCPR) stellen oftmals ein wichtiges Werkzeug dar, um Transport, Kanülierung oder invasive Maßnahmen unter laufender Reanimation sicher durchführen zu können. Der Einsatz von mCPR kann jedoch zu signifikanten Verletzungen im Thorax und/oder Abdomen führen. Die sichere Fixierung der VA-ECMO, der Kanülen und der Schläuche während des Transports ist vor dem Hintergrund der gravierenden Folgen einer akzidentellen Dislokation unbedingt zu gewährleisten.

Patient*innen mit refraktärem Kreislaufstillstand sollten bevorzugt in ein ECPR-Zentrum transportiert werden, welches auch als Cardiac Arrest Center (CAC) zertifiziert ist. Diese speziellen Zentren gewährleisten eine kontinuierliche Verfügbarkeit der notwendigen Infrastruktur, insbesondere eine 24-h-Bereitschaft zur Koronarangiographie und perkutanen Koronarintervention (PCI) mit kurzer Door-to-Balloon-Zeit sowie strukturierte intensivmedizinische Versorgungsprozesse.

Bei klinischen und/oder elektrokardiographischen Hinweisen für einen ST-Streckenhebungsinfarkt sollte der Transport der Patient*in unter mCPR oder bei prähospitaler ECPR unter stabil laufender VA-ECMO direkt in das Herzkatheterlabor erfolgen, um die Zeit zur Intervention so kurz wie möglich zu halten [21,37]. Bei unklarer Ätiologie des Kreislaufstillstands ist eine Aufnahme über den Schockraum der Notaufnahme und Möglichkeit zur radiologischen Diagnostik (Computertomographie, z. B. bei Verdacht auf Lungenarterienembolie) oder auf Intensivstation mit strukturierter Diagnostik sinnvoll [38].

Frühe Stabilisierungsphase

Mit dem Erreichen eines suffizienten VA-ECMO-Blutflusses endet die Reanimationsphase, und es beginnt eine frühe Stabilisierungsphase. Als pragmatisches Ziel kann ein zirkulierender Blutfluss (VA-ECMO-Blutfluss plus Herzzeitvolumen) von etwa 60 ml/kg Idealgewicht/min herangezogen werden, was bei 70 kg Körpergewicht einem Blutfluss von 4,2 l/min entspricht. Evidenzbasierte Mindest-Flow-Grenzen für ECPR existieren bislang nicht; Ziel bleibt die rasche Beendigung der globalen Ischämie und Organminderperfusion bei gleichzeitiger Vermeidung von Hyper- oder Hypoperfusion. Die Anlage einer invasiven arteriellen Druckmessung sollte daher frühzeitig erfolgen. Empfohlen wird die Anlage der invasiven arteriellen Druckmessung rechts radial, um bei femorofemoralem Setup die herznahe Oxygenierung im Sinne einer möglichen dualen Zirkulation („dual circulation" oder differenzielle Hypoxämie) abzubilden und frühzeitig zu erkennen [39]. Eine initiale vasopressorbasierte Stabilisierung kann erforderlich sein und erfolgt häufig pragmatisch. Eine initiale „blinde" Vasopressortherapie sollte nach Etablierung eines invasiven Monitorings umgehend individuell angepasst werden.

Bei klinischen Hinweisen auf Volumenbedarf können balancierte, kristalloide Lösungen eingesetzt werden [37,40]. Aufgrund der bislang fehlenden spezifischen Evidenz im ECPR-Setting werden diese Empfehlungen derzeit aus der Evidenz zur konventionellen Kreislaufstabilisierung abgeleitet. Differenzialdiagnostisch sollte bei unzureichendem extrakorporalem Fluss immer an eine suboptimale oder Fehllage der Kanülen oder an intrakorporale Blutungen gedacht werden. Unabhängig von der hämodynamischen Stabilisierung der Patient*in durch die extrakorporale Zirkulation findet sich bei ECPR-Patient*innen oft ein Postreanimationssyndrom (s. Kapitel „Postreanimationsbehandlung").

Wichtige Stellgrößen in der Stabilisierungsphase betreffen die Oxygenierung über die VA-ECMO und die eigene Lunge. In der Akutsituation wird häufig initial eine Sauerstofffraktion von 1,0 am Respirator und über den Sweep-Gas-Fluss am Oxygenator (Oxygenator-FO_2) eingestellt. Allerdings legen Beobachtungsdaten nahe, dass eine Hyperoxie schädlich ist [41]; ob dies bei der ECPR relevant ist, ist ungeklärt [42]. Vor diesem Hintergrund erscheint ein pragmatisches Vorgehen sinnvoll: initiale Sicherung der Oxygenierung, gefolgt von einer frühzeitigen Titration von Ventilator- und Oxygenator-FO_2 (s. Kapitel „Postreanimationsbehandlung").

Grundsätzlich sollte eine antegrade Beinperfusion (6- bis 7-French-Schleuse) angelegt werden, um das Risiko einer distalen Extremitätenischämie zu minimieren. Die Extremitätendurchblutung kann mittels Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) überwacht werden. Kliniken, die ECPR initiieren und durchführen, sollten die strukturellen und personellen Voraussetzungen für eine chirurgische Anlage der antegraden Beinperfusion jederzeit vorhalten. Die korrekte Lage und Funktion der nach distal gerichteten Gefäßschleuse ist durch eine geeignete Diagnostik, z. B. Sonographie oder Angiographie, sowie klinische Beurteilung sicherzustellen.

Komplikationen der ECPR – frühe Diagnostik und Therapie

Die ECPR ist mit einer hohen Rate an reanimations- und interventionsassoziierten Komplikationen verbunden, die frühzeitig erkannt und adressiert werden müssen. Zu den häufigsten vaskulären Komplikationen zählen Fehlpunktionen, Gefäßdissektionen, hämodynamisch relevante Blutungen sowie Extremitätenischämien. Eine frühe Ganzkörper-Computertomographie (CT) unmittelbar nach ECPR hat einen hohen diagnostischen Informationswert und signifikanten Einfluss auf weitere therapeutische Entscheidungen [43]. Bei gesichertem STEMI bleibt die unmittelbare Koronarangiographie gefolgt von der bildgebenden Diagnostik das bevorzugte Vorgehen, vorausgesetzt, die VA-ECMO funktioniert stabil [44]. Aufgrund der bislang fehlenden spezifischen Evidenz im ECPR-Setting werden diese Empfehlungen derzeit aus der Evidenz zur konventionellen kardiopulmonalen Reanimation abgeleitet.

Empfehlungen

- Die ECPR **sollte** als frühzeitige Eskalationsoption in einen strukturierten ALS-Algorithmus integriert werden; ein definierter Entscheidungszeitpunkt zur Prüfung der ECPR-Option **sollte** verbindlich verankert werden.
- Die Entscheidung zur ECPR **sollte** aktiv, explizit und ohne Unterbrechung einer qualitativ hochwertigen ALS erfolgen; sie **sollte** im Rahmen eines kurzen, strukturierten Team-Time-outs getroffen und unmittelbar mit der Aktivierung der ECPR-Strukturen verknüpft werden.
- Die Implantation der VA-ECMO **sollte** nach klar definierten prozeduralen Prinzipien erfolgen, vorzugsweise im Zwei-Team-Konzept – ALS-Team und VA-ECMO-Implantationsteam – mit eindeutiger Rollenverteilung; eine ultraschall- und echokardiographisch gestützte femorofemorale Kanülierung mit Dokumentation der Implantationszeit **sollte** Standard sein.
- Komplikationen der ECPR **sollten** frühzeitig aktiv gesucht und systematisch diagnostiziert werden.

Unloading

Die links- und rechtsventrikuläre myokardiale Pumpfunktion ist nach (infarktbedingtem) Kreislaufstillstand und ECPR häufig hochgradig eingeschränkt. Zusätzlich kann es aufgrund der normalisierten Nachlast unter VA-ECMO zu einer Erhöhung des LVEDP und LVEDV („left ventricular end-diastolic pressure“ und „left ventricular end-diastolic volume“) kommen.

Der Begriff „Unloading“ bezeichnet im engeren Sinn die aktive mechanische Druck- und Volumenentlastung des linken Ventrikels und in der Folge eine Reduktion der myokardialen Wandspannung. Dies führt zu einer Senkung des myokardialen Sauerstoffverbrauchs und Verbesserung der koronaren Perfusion [45–48]. Im weiteren Sinn kann unter Unloading auch eine Optimierung des Volumenstatus bzw. eine aktive Nachlastsenkung verstanden werden, welche das Herz zwar nicht aktiv entlastet, aber optimierte Bedingungen für dessen Funktion schafft [49]. Ziel ist es, die Druck- und Volumenbelastung des funktionseingeschränkten linken Ventrikels so weit zu reduzieren, dass eine Stase des Blutes oder sogar eine fehlende Öffnung der Aortenklappe mit konsekutiver pulmonalvenöser Aufstauung und ggf. Thrombenbildung verhindert wird. Experimentelle und retrospektive klinische Daten deuten darauf hin, dass ein frühzeitiges linksventrikuläres aktives Unloading im Rahmen eines kardiogenen Schocks infolge eines akuten Myokardinfarkts mit einer verbesserten Überlebensrate assoziiert sein kann [50]. Der zeitliche Beginn der mechanischen Entlastung vor oder frühzeitig nach der Reperfusion könnte hierbei eine prognostische Rolle spielen [51]. Jüngere Untersuchungen zeigen im Gegensatz dazu, dass auch höhere VA-ECMO-Blutflüsse unter Kontrolle der Nachlast zu niedrigeren LVEDP und LVEDV-Werten führen können [52]. Dies zeigt das komplexe Zusammenspiel zwischen rechts- und linkventrikulärer Funktion unter VA-ECMO und bedarf einer individuellen Beurteilung bzw. Risiko-Nutzen-basierten Einzelfallentscheidung. Randomisierte Daten sind in den kommenden Jahren zu erwarten [53].

Ein Device-basiertes Unloading kann über die intraaortale Ballongegenpulsation (IABP), die Anwendung eines linksventrikulären Unloadings mittels Mikroaxialpumpe, einem Venting aus dem linken Vorhof mittels Atrioseptostomie [54] oder einer transseptalen Kanüle [55] erfolgen. Die Verfahren unterscheiden sich im Hinblick auf die Invasivität und Komplikationen, sodass eine strenge Indikationsstellung erfolgen sollte (Tab. 4). Unter aktivem Unloading sind schwere Komplikationen, wie z. B. „major bleeding“ und periphere Ischämien, signifikant häufiger [56]. Darum sollten dem aktiven Unloading stets eine Optimierung des Volumenstatus, der linksventrikulären Nachlast und die Diskussion einer positiv-inotropen Therapie vorausgehen. Letztere erzeugt jedoch einen erhöhten myokardialen Sauerstoffverbrauch mit potenzieller Aggravierung der Myokardischämie.

Die internationale Leitlinie der EACTS/STS/AATS empfiehlt, eine frühzeitige linksventrikuläre Entlastung nach Reanimationen in Betracht zu ziehen. Darüber hinaus empfiehlt die Leitlinie, für ein aktives Unloading Full-support-Mikroaxialpumpen zu verwenden, da diese zu geringeren Komplikationen führen als Alternativmethoden [57]. Zusammenfassend sollte nach erfolgreicher ECPR ein engmaschiges Monitoring erfolgen [58], um den Zeitpunkt für ein frühes und suffizientes Unloading nicht zu verpassen [52].

Tabelle 4

Pro- und Kontra-Kriterien für ein aktives Unloading.

Pro-Kriterien	Kontra-Kriterien
Geringe bis keine Aortenklappenöffnung	Erhaltene linksventrikuläre Pumpfunktion
Hohe LV-Füllungsdrücke (LVEDP) oder Volumina (LVEDV)	Wahrscheinlich schnelles Weaning von der VA-ECMO möglich
„Smoke“ im linken Ventrikel	Niedrige Füllungsdrücke
Längeres Bridging bzw. längere Dauer bis Recovery wahrscheinlich	Schlechte Gesamtprognose der Patient*in wahrscheinlich
Kardiale Genese des Kollapses	Ursache des Kreislaufstillstandes ist weiterhin unklar oder nicht reversibel

VA-ECMO venoarterielle extrakorporale Membranoxygenierung, **LVEDP** linksventrikulärer enddiastolischer Druck, **LVEDV** linksventrikuläres enddiastolisches Volumen.

Empfehlungen

- Nach erfolgreicher ECPR **sollte** eine strukturierte echokardiographische und hämodynamische Beurteilung der links- und rechtsventrikulären Funktion erfolgen, um eine relevante Druck- und Volumenbelastung der Ventrikel frühzeitig zu erkennen.
- Vor Einleitung eines Device-basierten Unloadings **sollten** Vorlast bzw. Volumenstatus, Nachlast und ggf. eine positiv-inotrope Therapie optimiert werden.
- Die Wahl des Device-basierten Unloading-Verfahrens (z. B. intraaortale Ballonpumpe, Mikroaxialpumpe, linksatriales Venting) **sollte** individuell unter Abwägung von Invasivität, Erfahrung des ECPR-Zentrums, Komplikationsrisiko und hämodynamischem Ziel erfolgen.

Postreanimationsmanagement

Die Therapie nach ECPR stellt eine intensivmedizinische Herausforderung dar und erfordert ein eng abgestimmtes interdisziplinäres Vorgehen [59]. Die folgende Übersicht konzentriert sich auf ausgewählte Themenkomplexe mit besonderer klinischer Relevanz nach ECPR.

Transfusionen

Randomisierte Daten zu optimalen Transfusionstriggern nach ECPR fehlen [60]. Bei stabilen, nicht blutenden Patient*innen an der VV-ECMO wird eine Transfusionsschwelle von 7–8 g/dl empfohlen [61, 62]. Ein höherer Zielwert kann individuell angestrebt werden. Außerdem wird bei akut blutenden Patient*innen ein Hämatokrit von >30 % empfohlen (z. B. Axialflussphänomen). Die Thrombozytenkonzentration sollte patientenindividuell gesteuert werden. Eine Untergrenze von 50×109/l gilt den Autor*innen als plausibel. Bei klinischer Blutungsneigung oder bei invasiven Eingriffen sollte ein höherer Thrombozytenzielwert angestrebt werden, typischerweise zwischen 50 und 100×109/l [61]. Angesichts der hohen Transfusionsfrequenz während VA-ECMO ist eine enge Zusammenarbeit mit der Blutbank unerlässlich. Blutprodukte und ein Zentrallabor zur Bestimmung relevanter Gerinnungsparameter müssen jederzeit verfügbar sein. Jedes ECPR-Zentrum sollte 24/7 über die Möglichkeit zur Massentransfusion verfügen.

Antikoagulation

Eine Antikoagulation wird bei laufender VA-ECMO empfohlen, um das Risiko einer Thrombosierung im VA-ECMO-Kreislauf und systemische thromboembolische Komplikationen zu verringern [61]. Die meisten Zentren verwenden unfraktioniertes Heparin. Vorteile sind die breite Erfahrung mit diesem Antikoagulans sowie die Antagonisierbarkeit. Nachteile bestehen in der schwierigen Steuerbarkeit und dem Risiko einer heparininduzierten Thrombozytopenie (HIT). Obwohl nach den ELSO Adult and Pediatric Anticoagulation Guidelines ein Zielbereich der aktivierten partiellen Thromboplastinzeit (aPTT) von etwa 60–70 s (entsprechend 1,5- bis 2,5-mal Basiswert) empfohlen wird, ist ein aPTT-Zielbereich von 50–60 s in der klinischen Praxis meistens ausreichend. Die ELSO empfiehlt die Steuerung über Anti-Faktor Xa in Kombination mit der aPTT, da die aPTT bei kritisch kranken Patient*innen unzuverlässig sein kann (Anti-Faktor-Xa-Zielbereich: 0,3–0,5 IU/ml). Die Antikoagulation sollte alle 6–12 h kontrolliert werden. Bei aktiver Blutung kann eine vorübergehende Reduktion oder Pausierung der Antikoagulation vertretbar sein, insbesondere in den ersten Stunden nach ECPR.

Postreanimationsbehandlung

Ein zielgerichtetes Temperaturmanagement („target temperature management" [TTM]) wird in den aktuellen Leitlinien des European Resuscitation Council (ERC) nach CPR nicht mehr empfohlen [37]; stattdessen wird der Begriff „temperature control" verwendet und beschreibt eine konsequente Fiebervermeidung für mindestens 72 h nach ROSC. Eine Gastroparese ist häufig, daher sollten essenzielle Medikamente intravenös verabreicht werden. Hyperoxämie und Hypokapnie sind unbedingt zu vermeiden, wobei insbesondere auf die korrekte Einstellung der Post-Oxygenator-Blutgasanalyse (BGA) zu achten ist [34,41,42]. Grundsätzlich gelten die allgemeinen Empfehlungen für Patient*innen nach Reanimation mit ROSC [44]. Die Inzidenz der nichtokklusiven Mesenterialischämie (NOMI) infolge eines Ischämie-Reperfusionsschadens nach Kreislaufstillstand und ECPR beträgt ersten Daten zufolge im ECPR-Kollektiv bis zu 40 %, und diese Komplikation sollte daher frühzeitig ausgeschlossen werden [63].

Neuroprognostizierung

Bei CPR und ECPR sind hypoxisch-ischämische Hirnschäden häufig [64]. Eine strukturierte Beurteilung liefert die Grundlage für Therapieentscheidungen und Gespräche mit An-/Zugehörigen, sollte aber analog zu Patient*innen ohne VA-ECMO nicht zu früh (72 h nach ECPR) erfolgen [65]. Für die Neuroprognostizierung bilden interdisziplinär abgestimmte Standardanweisungen (SOPs), welche in Abstimmung mit der Neurologie/Neurointensivmedizin erstellt werden sollten, die Grundlage. Vor jeder Beurteilung müssen beeinflussende Faktoren wie Sedierung, Hypothermie oder Elektrolytstörungen ausgeschlossen werden. Pupillen- und Kornealreflexe besitzen nach der Initialphase hohe prognostische Relevanz. Die endgültige Neuroprognostizierung erfordert einen multimodalen, interdisziplinären Ansatz unter Einbeziehung der Neurologie und einer Kombination aus klinischem Befund, Elektrophysiologie, Biomarkern sowie zerebraler Bildgebung. Viele der etablierten Kriterien für eine schlechte Prognose sind für VA-ECMO-Patient*innen nicht validiert. So kann die Neuronen-spezifische Enolase (NSE) unter VA-ECMO durch Hämolyse erhöht sein. Bei Schlaganfall oder intrazerebraler Blutung unter VA-ECMO ist die Prognoseabschätzung noch unsicherer. Entscheidungen über Therapiezieländerung erfordern interdisziplinäre Abwägung und Einbeziehung des Patientenwillens [65].

Hirntoddiagnostik

Die Hirntoddiagnostik bei Patient*innen unter VA-ECMO unterscheidet sich deutlich von Patient*innen ohne VA-ECMO [66]. Der Apnoe-Test wird durch den Sweep-Gas-Fluss der VA-ECMO erschwert, da dieser bei der VA-ECMO nicht vollständig auf null reduziert werden darf (Hypoxierisiko). Zudem ist zu beachten, dass zerebrale Perfusionsmessungen unter VA-ECMO problematisch sind und daher nicht für eine apparative Hirntoddiagnostik angewendet werden können [67]. Eine Hirntoddiagnostik ist aber möglich, was durch die dokumentierten Spenden nach ECPR verdeutlicht wird [68,69].

Monitoring

Ziel der VA-ECMO ist die Sicherstellung einer adäquaten Organ- (Makro)- und Gewebe-(Mikro-)Perfusion durch ein ausreichendes Herzzeitvolumen [70], was ein engmaschiges Monitoring voraussetzt. Wichtige Parameter sind die arterielle Blutdruckmessung, Pulsdruck und die zentralvenöse Sauerstoffsättigung. Der Pulsdruck zeigt die Restfunktion des linken Ventrikels (LV) an. Fehlt er, besteht Verdacht auf unzureichende LV-Entlastung oder fehlende Aortenklappenöffnung. Bei schwacher Pulsatilität kann die Pulsoxymetrie unzuverlässig sein – hier sind häufigere arterielle Blutgasanalysen erforderlich. Ein Pulmonalarterienkatheter (PAC) kann helfen, hohe linksatriale Füllungsdrücke zu erkennen und so rechtzeitig LV-Entlastungsmaßnahmen einzuleiten. Die Messung des Herzzeitvolumens kann näherungsweise über PAC mittels kontinuierlicher Wärmeabgabe erfolgen (Dilutionstechniken sind unsicher) [71]. Zudem kann das endtidale CO_2 zur Beurteilung der Lungenperfusion herangezogen werden. Unverzichtbar ist die tägliche Echokardiographie (transthorakal oder transösophageal) – sowohl zur initialen Diagnostik und Kontrolle der Kanülen als auch zur Beurteilung der links-/rechtsventrikulären Funktion, Flussverteilung und Entwöhnbarkeit bei kardialer Erholung im Verlauf. Eine kontinuierliche EKG-Überwachung ist obligat [72]. Die meisten Patient*innen benötigen eine invasive Beatmung. Obwohl Daten speziell für VA-ECMO limitiert sind, wird eine lungenprotektive Beatmung empfohlen [73,74].

Empfehlungen

- Die Postreanimationsbehandlung nach ECPR **sollte** interdisziplinär strukturiert und eng abgestimmt erfolgen unter Berücksichtigung von hämodynamischer Stabilisierung und Organperfusion.
- Hyperoxämie und Hypokapnie **sollten** vermieden werden. Die Neuroprognostik **soll** multimodal, interdisziplinär abgestimmt und frühestens ab 72 h nach ECPR erfolgen.
- Ein engmaschiges Monitoring der VA-ECMO-Patient*innen ist erforderlich, einschließlich invasiver Blutdruckmessung, zentralvenöser Sauerstoffsättigung, Pulsoxymetrie, Echokardiographie und EKG-Kontrolle.
- Die Beatmung **sollte** nach den Kriterien der lungenprotektiven Beatmung erfolgen.

CT-Bildgebung

Die Computertomographie (CT) ist ein relevanter Baustein der Postreanimationsbehandlung [1,37]. Sie dient der Klärung möglicher Reanimationsursachen sowie von Reanimationsfolgen und der Beurteilung der Kanülenpositionierung sowie der distalen Beinperfusion. Um eine standardisierte, effiziente und sichere Bildgebung bei ECPR zu ermöglichen, sollte ein ECPR-CT-Protokoll am CT-Scanner abgespeichert werden.

Für einen sicheren Ablauf und eine hohe diagnostische Aussagekraft sind einige Punkte für die Durchführung der Untersuchung und die Interpretation der Bilder zu beachten, die im Folgenden erläutert werden.

Patientenlagerung

Bei femoraler Kanülierung ist eine Head-first-Lagerung anzustreben, die VA-ECMO-Konsole sollte möglichst nah an der Gantry positioniert werden. Sofern die Patient*in einen eigenen Auswurf hat, soll eine EKG-Ableitung erfolgen. Vor dem Scan soll eine Probefahrt durchgeführt werden, die den geplanten Scanbereich abdeckt. Für den Scan von Kopf und ggf. Halswirbelsäule werden die Arme nach unten gelagert. Sofern möglich, werden die Arme für den Scan von Thorax und Abdomen nach oben über den Kopf gelagert. Extrakorporales Fremdmaterial sollte bestmöglich außerhalb des Scanbereichs gelagert positioniert werden.

CT-Protokoll

Ohne vorangegangene Koronarangiographie erfolgt die Schädelbildgebung als Spiral-CT. Schließt sich die CT-Bildgebung an eine Koronarangiographie an, sollte die Schädelbildgebung als Spektralbildgebungsverfahren (Dual-Energy) durchgeführt werden, sofern verfügbar, und nicht durch Photon-Counting oder Dual-layer-CT bereits verfügbar. Dies ermöglicht die sichere Diagnose einer Pseudosubarachnoidalblutung sowie die Differenzierung zwischen Schrankenstörung und intraparenchymaler Blutung. Sollte kein Spektralbildgebungsverfahren (Dual-Energy) möglich sein, erfolgt die Bildgebung des Schädels in konventioneller Technik, meist als Spiral-CT. Zur Differenzierung zwischen Kontrastmittel und Blut ist eine Verlaufsbildgebung nach 24–48 h sinnvoll. Ein Scan der Halswirbelsäule soll bei unklarer Auffindesituation sowie bei vermutetem oder beobachtetem Sturz erfolgen. Für die sichere Diagnostik von Blutungskomplikationen und Ischämien sollen Thorax und Abdomen mindestens in arterieller und venöser Kontrastierung gescannt werden. Ein Nativscan kann zusätzlich vorab durchgeführt werden. Der Scan des Thorax in arterieller Kontrastierung sollte EKG-synchronisiert erfolgen, um Herz und herznahe Gefäße artefaktfrei darzustellen. Ein High-Pitch-Modus sollte nur dann verwendet werden, wenn die Tischbewegung sicher ohne Zug an den Kanülen erfolgen kann. Ansonsten sollte der Scan des Thorax in Step-and-shoot-Technik erfolgen. Der Scan des Abdomens in arterieller Kontrastierung kann als Spiral-CT, der Scan in venöser Kontrastierung von Thorax und

Abdomen kann in Dual-Energy-Technik oder als Standard-Spiral-CT erfolgen. In Fällen mit sehr stark verzögerter Perfusion oder fehlendem Eigenauswurf kann das Ergänzen eines späten Scans sinnvoll sein, um Artefakte wie Pseudofüllungsdefekte oder Pseudomembranen sicher von pathologischen Befunden zu differenzieren. Die Indikation für einen ergänzenden Scan soll durch die betreuenden Radiolog*innen nach erster Durchsicht der Bilddaten direkt am Scanner gestellt werden.

Kontrastmittelprotokoll

Eine Kontrastmittelgabe in das VA-ECMO-System kann durchgeführt werden, ist jedoch keine zwingende Voraussetzung für eine optimale Kontrastierung [75,76]. Das Kontrastmittel soll als langer Bolus appliziert werden, um eine simultane Kontrastierung des pulmonalarteriellen und arteriellen Systems zu ermöglichen. In Abhängigkeit des Patientengewichtes sollten zwischen 100 und 120 ml unverdünntes Kontrastmittel mit einem Fluss von 4 ml/s und anschließendem Saline(NaCl)-Chaser appliziert werden. Die Höhe des Premonitorings sollte so gewählt werden, dass Truncus pulmonalis, Aorta ascendens und Aorta descendens zur Darstellung kommen. Die Region-of-Interest (ROI) für das Bolus-Tracking sollte extrakorporal in die Luft gesetzt werden und der Scan auf Sicht gestartet werden, so können Kontrastierungsartefakte wie Durchmischungsartefakte, Pseudofüllungsdefekte oder Pseudomembran verhindert werden. Das Scan-Delay für den Scan in arterieller Kontrastierung sollte so gering wie technisch möglich und ohne Atemkommando gewählt werden. Der anschließende venöse Scan sollte 75–80 s nach Beginn der Kontrastmittelgabe erfolgen.

Vor Kontrastmittelgabe sollen sich die betreuenden Radiolog*innen mit der Hämodynamik der Patient*innen vertraut machen (Kanülierungsstellen, zusätzliche Versorgung mit Mikroaxialpumpe, Eigenauswurf, VA-ECMO-Blutfluss, Zugang für Kontrastmittelgabe). Eine Reduktion des VA-ECMO-Blutflusses während des Scans ist nicht notwendig, um eine optimale Kontrastierung zu erhalten, eine Flussreduktion kann hierfür sogar hinderlich sein. Im Falle eines hohen VA-ECMO-Blutflusses und fehlenden Eigenauswurfs erfolgt die Kontrastierung des arteriellen Systems retrograd. Die Kontrastierung des pulmonalarteriellen Systems wird dann oftmals erst im „second pass“ des Kontrastmittels erreicht und ist für den Ausschluss einer hämodynamisch relevanten Lungenarterienembolie bis auf Lappenebene in der Regel ausreichend.

Bildinterpretation

Die betreuenden Radiolog*innen sollen mit hämodynamischen Besonderheiten dieser Patient*innen, Kanülierungsvarianten, möglichen Komplikationen erfolgter Interventionen, Ursachen und Folgen der Reanimation sowie Artefakten der Bildgebung bei ECPR vertraut sein. Im Folgenden sind die wichtigsten Artefakte, die im Rahmen der CT-Bildgebung bei ECPR auftreten können, sowie diagnostische Lösungsansätze genannt:

- Pseudofüllungsdefekte: Laminare Strömungen zwischen kontrastmittelhaltigem und nicht kontrastiertem Blut können Thromben oder Gefäßverschlüsse imitieren. Hier sollten Scans in arterieller und venöser Phase verglichen werden. Tritt der Pseudofüllungsdefekt im venös kontrastierten Scan auf, sollte ein weiterer Scan mit späterer Kontrastierung ergänzt werden [77–80].
- Wasserscheidenzone („dual circulation“): bei erhaltenem, kardialem Auswurf treffen antegrade und retrograde Blutsäulen aufeinander, die unterschiedlich kontrastiert sein können [39]. Hierdurch kann die Beurteilbarkeit von Gefäßen insbesondere in arterieller Kontrastierung eingeschränkt sein. Ein Scan in späterer Kontrastierung oder ein Scan mit verändertem Ort der Kontrastmittelapplikation oder verändertem VA-ECMO-Blutfluss kann hier helfen [77–80].
- Pseudomembran: Durch die veränderte Hämodynamik kann es zur Schichtung von nicht kontrastiertem und kontrastiertem Blut kommen, sodass eine Pseudomembran entsteht, die eine Dissektion imitieren kann. Hier sollten Scans in arterieller und venöser Phase verglichen werden. Tritt der Pseudofüllungsdefekt im venös kontrastierten Scan auf, sollte ein weiterer Scan mit späterer Kontrastierung ergänzt werden [77–80].

Empfehlungen

- Unter Berücksichtigung der hämodynamischen Besonderheiten dieses Patientenkollektivs **sollte** ein ECPR-CT-Protokoll am CT-Scanner abgespeichert werden.
- Die Patientenlagerung und Bildakquisition erfolgen in enger Zusammenarbeit der Radiologie mit den übrigen, betreuenden Fachdisziplinen. Lagerung und Scanmodus **sollen** so erfolgen und gewählt werden, dass ein Zug an den VA-ECMO-Kanülen sicher verhindert wird. Eine optimale Kontrastierung kann ohne Reduktion des VA-ECMO-Blutflusses und durch peripher- oder zentralvenöse Kontrastmittelapplikation erreicht werden.
- Die betreuende Radiolog*in **soll** sich mit den hämodynamischen Besonderheiten sowie möglichen Artefakten unter VA-ECMO vertraut machen.

Ethische Aspekte

Normativer Rahmen

Der Einsatz der ECPR ist mit spezifischen ethischen Herausforderungen verbunden, die sich aus ihrem Gebrauch in einer akuten Reanimationssituation unter extremem Zeitdruck, erheblicher prognostischer Unsicherheit und regelmäßig fehlender Einwilligungsfähigkeit der betroffenen Person ergeben. Entscheidungen über Initiierung, Fortführung oder Beendigung der ECPR müssen häufig getroffen werden, bevor belastbare Aussagen zum neurologischen Outcome oder zum (mutmaßlichen) Patientenwillen möglich sind.

Im Unterschied zu anderen extrakorporalen Organersatzverfahren ist die ECPR ethisch nicht primär als prolongierte Organersatztherapie, sondern als zeitkritische Erweiterung der Reanimation zu verstehen. Ihre normative Legitimation gründet sich ausschließlich auf der realistischen Möglichkeit der unmittelbaren Lebensrettung mit Aussicht auf ein selbstbestimmtes Leben bei akzeptabler neurologischer Funktion. Die Entscheidung zur Initiierung erfolgt unter erheblicher epistemischer Unsicherheit, da Ausmaß und Reversibilität hypoxisch-ischämischer Hirnschädigungen initial nicht zuverlässig beurteilt werden können. Gleichwohl kann die akute Lebensbedrohung in Kombination mit einer potenziell reversiblen Ursache eine initiale Eskalation rechtfertigen, sofern keine klaren medizinischen Ausschlusskriterien vorliegen [34,81,82]. Dabei überträgt die ethische Einordnung der ECPR als zeitkritische Reanimationsmaßnahme etablierte ethische Grundprinzipien der extrakorporalen Kreislaufunterstützung auf eine Akutsituation mit deutlich eingeschränkten Entscheidungs-, Prognose- und Reevaluationsmöglichkeiten [83].

Patientenwille und Autonomie unter Reanimationsbedingungen

In der Reanimationssituation ist eine informierte Einwilligung regelhaft nicht möglich. Reanimationsmaßnahmen einschließlich der ECPR folgen daher zunächst dem Prinzip des mutmaßlichen Willens, der im Zweifel auf Lebenserhalt ausgerichtet ist („in dubio pro vita"). Dieses Vorgehen ist ethisch gerechtfertigt, begründet jedoch insbesondere bei fehlender hinreichender Erfolgsaussicht keine Verpflichtung zur unbegrenzten Eskalation therapeutischer Maßnahmen [82].

Vorliegende Vorausverfügungen, dokumentierte Therapiebegrenzungen oder bekannte Behandlungsziele sind auch unter Zeitdruck zu berücksichtigen. Fehlen solche Informationen, kann die ECPR ethisch gerechtfertigt initiiert werden. Sie ist jedoch nicht als offene Behandlung ohne Zieldefinition zu verstehen, sondern als therapeutische Maßnahme, die insbesondere der frühzeitigen Kreislaufstabilisierung dient, um Zeit zu gewinnen, die zugrunde liegende Ursache des Kreislaufstillstandes adäquat behandeln zu können. Spätestens nach Erreichen einer relativen Stabilisierung ist der mutmaßliche Wille aktiv zu klären und in die weitere Therapieplanung einzubeziehen. Eine Anpassung der Behandlungsziele kann dabei sowohl eine Begrenzung als auch ein Beenden der Therapie einschließen [34,82].

End-of-life-Entscheidungen und Therapiebegrenzung

Die ECPR führt nicht selten zu Situationen, in denen trotz erfolgreicher Kreislaufstabilisierung keine realistische Aussicht auf neurologische Erholung besteht. Internationale Register- und Kohortendaten zeigen, dass Entscheidungen zur Begrenzung oder zum Beenden lebenserhaltender Maßnahmen nach ECPR häufig früh erfolgen und überwiegend auf einer als ungünstig eingeschätzten neurologischen Prognose beruhen [84].

Ethisch besteht kein Unterschied zwischen Nicht-Initiierung, Nicht-Eskalation und Beenden einer begonnenen Therapie; maßgeblich ist allein, ob eine medizinische Indikation besteht und die Maßnahme dem (mutmaßlichen) Willen der betroffenen Person entspricht. Eine begonnene ECPR begründet keine moralische Verpflichtung zu ihrer Fortführung, wenn sich im Verlauf ein Missverhältnis zwischen Nutzen und Belastung oder Schaden abzeichnet, die Indikation zur Fortführung also entfällt. Therapiezieländerungen sind in diesem Kontext ethisch geboten und Ausdruck verantwortlicher, patientenzentrierter Medizin [34]. Auch bei einer Beendigung der ECPR in der akuten Reanimationssituation umfasst die ethische Verantwortung die Sicherstellung eines würdigen Umgangs mit der sterbenden oder verstorbenen Person sowie die Berücksichtigung palliativer und unterstützender Aspekte.

Rolle der An- und Zugehörigen

An- und Zugehörige nehmen in der Reanimationssituation eine besondere Rolle ein. Sie sind häufig Zeug*innen eines hochdynamischen, technisch geprägten Geschehens und zugleich wichtige Quellen zur Rekonstruktion des mutmaßlichen Patientenwillens. Ihre Funktion ist dabei nicht die eines formalen Entscheidungsträgers, sondern die der Vermittlung von Werten, Präferenzen und Lebenszielen der betroffenen Person [82]. Die ECPR legitimiert sich durch 2 Voraussetzungen: das Vorliegen einer medizinischen Indikation und die informierte Zustimmung der Patient*in oder ihres Vertretenden zur ECPR (sog. „Zwei-Säulen-Modell") [83]. Liegt keine medizinische Indikation vor, besteht keine Grundlage für eine Entscheidung des Vertretenden der Patient*in über die Initiierung der ECPR.

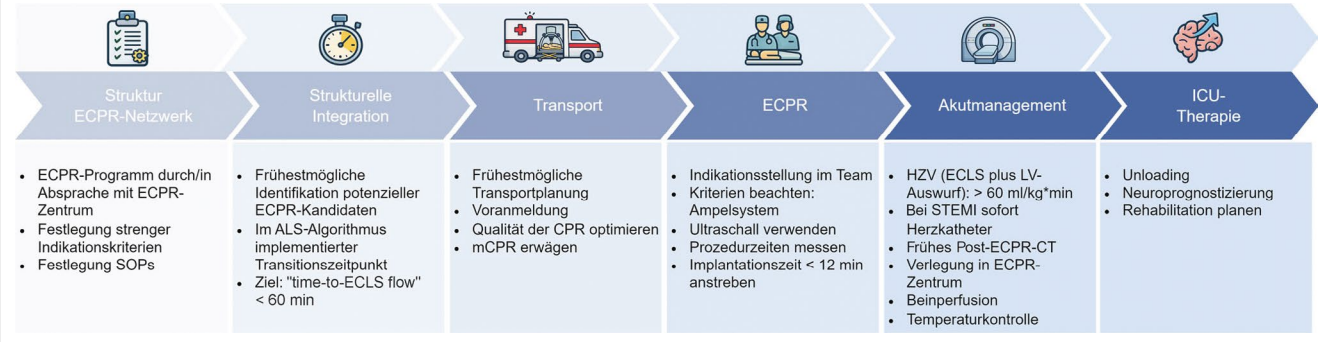
Eine frühzeitige, transparente und fortlaufende Kommunikation über Zielsetzung, Unsicherheiten und mögliche Grenzen der ECPR ist ethisch geboten. Auch wenn der Ausgang ungünstig ist, kann die ECPR An- und Zugehörigen Zeit für Orientierung, Abschied und Verarbeitung eröffnen. Diese Aspekte dürfen jedoch nicht zur Rechtfertigung oder ethischen Begründung der ECPR herangezogen werden [85]. Unabhängig davon sind palliative Begleitung, der würdige Umgang mit dem Verstorbenen sowie spirituelle oder kulturelle Bedürfnisse der An- und Zugehörigen in jedem Fall zu berücksichtigen. Dabei kann – insbesondere zur Begleitung der An- und Zugehörigen und zur Entlastung des Behandlungsteams – auch die frühzeitige Einbindung seelsorgerischer Angebote sinnvoll sein.

Organspende und ECPR

Die Diskussion um Organspende im Kontext der ECPR erfordert eine klare ethische Grenzziehung. In Deutschland stellt der Tod nach Zirkulationsstillstand derzeit kein legitimes Spenderkriterium dar; maßgeblich bleibt die Feststellung des irreversiblen Hirnfunktionsausfalls. Vor diesem Hintergrund ist eine strikte Trennung zwischen lebensrettender Reanimation und Organspende zwingend erforderlich [86].

Die Indikationsstellung zur ECPR darf ausschließlich auf die Aussicht auf Lebensrettung gestützt werden. Erwägungen zur Organspende dürfen erst nach rechtssicherer Todesfeststellung erfolgen. Internationale Konzepte, die

Abbildung 3



ECPR-Flowchart. Dargestellt ist die in den randomisierten ECPR-Studien untersuchte Strategie mit sekundärem Transport von Patient*innen mit OHCA in ein ECPR-Zentrum. Ob alternative ECPR-Konzepte, insbesondere die präklinische ECMO-Implantation am Einsatzort („ECPR on the scene"), die klinischen Ergebnisse verbessern können, ist bislang nicht durch randomisierte Studien belegt. **ALS** „advanced life support", **CPR** kardiopulmonale Reanimation, **CT** Computertomographie, **ECLS** „extracorporeal life support", **ECPR** extrakorporale kardiopulmonale Reanimation, **HZV** Herzzeitvolumen, **ICU** „intensive care unit", **kg** Kilogramm, **LV** linker Ventrikel, **mCPR** mechanische kardiopulmonale Reanimation, **min** Minuten, **ml** Milliliter, **SOP** „standard operating procedure", **STEMI** ST-Streckenhebungsinfarkt.

ECPR systematisch mit Verfahren der Organerhaltung verknüpfen, sind auf das deutsche Rechtssystem aktuell nicht übertragbar und können erhebliche Risiken für Vertrauen und gesellschaftliche Akzeptanz bergen [87,88].

Verteilungsgerechtigkeit und Ressourcenallokation

Die ECPR ist eine hochkomplexe und ressourcenintensive Intervention, die erhebliche personelle, logistische und finanzielle Voraussetzungen erfordert. Fragen der Verteilungsgerechtigkeit ergeben sich daher primär auf der Ebene der Versorgungsstrukturen und Gesundheitssysteme, nicht durch die situative Abwägung konkurrierender Patient*innen in der konkreten Reanimationssituation selbst [83].

Empfehlung

- ECPR **soll** ausschließlich zur unmittelbaren Lebensrettung eingesetzt werden; Erwägungen jenseits dieses Ziels dürfen die Indikationsstellung nicht beeinflussen.
- Wurde eine ECPR auf Grundlage des Prinzips „in dubio pro vita" initiiert, **sollen** nach Erreichen einer relativen Stabilisierung Patientenwille, Prognose und Behandlungsziele aktiv reevaluiert werden.
- Entscheidungen zur Fortführung oder Beendigung der ECPR **sollen** interprofessionell, prognosebasiert und transparent getroffen und dokumentiert werden.

Förderung

Für diese Arbeit wurde keine Förderung erhalten.

Datenverfügbarkeit

Alle dieser Arbeit zugrunde liegenden Daten können auf begründete Anfrage beim Korrespondenzautor angefordert werden.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt

G. Michels ist Sprecher der Arbeitsgruppe Rettungs- und Notfallmedizin (AG45) der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie e. V. (DGK); Sprecher der Arbeitsgruppe Digitale Medizin und künstliche Intelligenz in der Akut-, Notfall- und Intensivmedizin der Deutschen Gesellschaft für Internistische Intensivmedizin und Notfallmedizin e. V. (DGIIN) und Sprecher der Arbeitsgruppe SCAN – Sonographie in der Akut- und Notfallmedizin der Deutschen Gesellschaft für interdisziplinäre Notfall- und Akutmedizin e. V. (DGINA), Hauptschriftleiter der Intensiv- und Notfallbehandlung (Dustri-Verlag) sowie berufenes Mitglied im Fachausschuss Medizin der Deutschen Krankenhausgesellschaft e. V. (DKG); er erhielt Drittmittel von der Kardiologischen Versorgungsforschung der DGK e. V. (DGK-ZfKVF). Die genannten Interessenkonflikte stehen in keinem Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit. D.L. Staudacher ist Mitglied des Nukleus der Arbeitsgruppe 42 der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung e. V. (DGK). Er erhielt Vortragshonorare sowie Reiseunterstützungen von Abiomed/Johnson & Johnson, AstraZeneca, Getinge und Medtronic. Die genannten Interessenkonflikte stehen in keinem Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit. M. Sander ist Schriftführer des Arbeitskreis Kardioanästhesie und stellvertretender Landesvorsitzender Hessen der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e. V. (DGAI) sowie Mitglied der Sektion Herz-Kreislauf der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e. V. (DIVI). Darüber hinaus ist er Delegierter des European Board of Anesthesiology für Deutschland, Präsident des Multidisziplinären Komitees für Intensivmedizin der UEMS,

Repräsentant für Deutschland und Mitglied des ESAIC-Council der European Society of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine (ESAIC). Die genannten Interessenkonflikte stehen in keinem Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit. U. Boeken ist stellvertretender Sprecher der Arbeitsgruppe 42 der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung e. V. (DGK) und Sprecher der Arbeitsgruppe „EKZ/MKU" der Deutschen Gesellschaft für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie e. V. (DGTHG). Er erhielt Honorare für Vortragstätigkeiten von Astellas, Biotest AG und Abiomed/Johnson & Johnson. Die genannten Interessenkonflikte stehen in keinem Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit. I. Ahrens gibt keine Interessenkonflikte an. A. Bauer gibt keine Interessenkonflikte an. J. Dutzmann ist Sprecher der Projektgruppe „Ethik in der Kardiologie" der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung e. V. (DGK) sowie der Sektion Ethik der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e. V. (DIVI). Er erhielt Drittmittel von der Europäischen Union im Rahmen des EU-HORIZON2020-Programms für seine Beteiligung an der Studie Enhancing Palliative Care in Intensive Care Units (EPIC). Er erhielt zudem Vortrags- und Beraterhonorare von Bayer, AstraZeneca, Pfizer, Bristol Myers Squibb, Daiichi Sankyō und Novo Nordisk. Die genannten Interessenkonflikte stehen in keinem Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit. S. Ensminger gibt keine Interessenkonflikte an. C. Jung ist Sprecher des Clusters Intensiv- und Notfallmedizin der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung e. V. (DGK). In Bezug auf das vorliegende Dokument ergeben sich keine Interessenkonflikte. A. Linke erhielt Vortragshonorare oder fungierte als Berater für folgende Firmen: Edwards Lifesciences, Boston Scientific, Abiomed, Novartis, Pfizer, AstraZeneca, Boehringer, Abbott, MSD, Corvia, Daiichi und Meril, außerdem erhielt er Forschungsunterstützung von Edwards Lifesciences sowie Novartis und besitzt Aktienoptionen von Transverse Medical, Picardia und Filterlex. Die genannten Interessenkonflikte stehen in keinem Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit. R.M. Muellenbach ist Mitglied der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie e. V. (DGAI), der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e. V. (DIVI). Er erhielt Vortragshonorare sowie Reiseunterstützungen für die Firma CSL Behringer und Getinge. Die genannten Interessenkonflikte stehen in keinem Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit. T. Müller ist Board Member der Extracorporeal Life Support Organization (ELSO). M. Oezkur ist Mitglied der Arbeitsgruppen 17 und 42 der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung e. V. (DGK) sowie stellvertretender Leiter der Arbeitsgruppe Mechanische Kreislaufunterstützung der Deutschen Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie e. V. (DGTHG). Er erhielt Vortragshonorare sowie Reiseunterstützungen von Abiomed/Johnson & Johnson und Abbott. Die genannten Interessenkonflikte stehen in keinem Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit. K. Müller-Peltzer gibt keine Interessenkonflikte an. K. Pilarczyk gibt keine Interessenkonflikte an. S. Schmidt gibt keine Interessenkonflikte an. B. Schrage hat Vortrags- oder Beraterhonorare von AstraZeneca, Abiomed, Boston Scientific und Inari erhalten sowie Forschungsförderung von Abiomed/Johnson & Johnson und Novo Nordisk. Die genannten Interessenkonflikte stehen in keinem Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit. T. Grübl ist Mitglied des Kurskomitees für Advanced-Life-Support Experienced Provider Kurse des Deutschen Rates für Wiederbelebung. Er erhielt Vortragshonorar von Siemens Healthineers. Die genannten Interessenkonflikte stehen in keinem Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit. H. Thiele ist der Past Präsident der DGK. Weitere Interessenkonflikte ergeben sich nicht. T. Wengenmayer ist Sprecher der Arbeitsgruppe 42 der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie e. V. (DGK). Er erhielt Vortragshonorare von Johnson & Johnson, AstraZeneca, Boston Scientific und Abbott. Die genannten Interessenkonflikte stehen in keinem Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit.

Für diesen Beitrag wurden von den Autor*innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Open Access

Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung – Nicht kommerziell – Keine Bearbeitung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die nicht-kommerzielle Nutzung, Vervielfältigung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Die Lizenz gibt Ihnen nicht das Recht, bearbeitete oder sonst wie umgestaltete Fassungen dieses Werkes zu verbreiten oder öffentlich wiederzugeben.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

Literatur

1. Baldi E, Wnent J, Caputo ML, Haywood KL, Lilja G, Masterson S, Nehme Z, Perkins GD, Rosell-Ortiz F, Strömsöe A et al (2025) European Resuscitation Council Guidelines 2025 Epidemiology in Resuscitation. Resuscitation215(Suppl 1):110733
2. Michels G, Wengenmayer T, Hagl C, Dohmen C, Bottiger BW, Bauersachs

J, Markewitz A, Bauer A, Grasner JT, Pfister Ret al (2018) Recommendations for extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (eCPR) : Consensus statement of DGIIN, DGK, DGTHG, DGfK, DGNI, DGAI, DIVI and GRC. Med Klin Intensivmed Notfmed 113(6):478–486

3. Yannopoulos D, Bartos J, Raveendran G,Walser E, Connett J, Murray TA, Collins G, Zhang L, Kalra R, Kosmopoulos M et al (2020) Advanced reperfusion strategies for patients with out-ofhospital cardiac arrest and refractory ventricular fibrillation (ARREST): a phase 2, single centre, open-label, randomised controlled trial. Lancet (London, England) 396(10265):1807–1816
4. Belohlavek J, Smalcova J, Rob D, Franek O, Smid O, Pokorna M, Horák J, Mrazek V, Kovarnik T, Zemanek D et al (2022) Effect of Intra-arrest Transport, Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation, and Immediate Invasive Assessment and Treatmenton Functional Neurologic Outcome in Refractory Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A Randomized Clinical Trial. Jama 327(8):737–747
5. Suverein MM, Delnoij TSR, Lorusso R, Brandon Bravo Bruinsma GJ, Otterspoor L, Elzo Kraemer CV, Vlaar APJ, vander Heijden JJ, Scholten E, den Uil C et al (2023) Early Extracorporeal CPR for Refractory Out-of-Hospital Cardiac Arrest. The New England journal of medicine 388(4):299–309
6. Supady A, Bělohlávek J, Combes A, Hutin A, Lorusso R, MacLaren G, Magnet I, van de Poll M, Price S, Staudacher DL et al (2025) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for refractory cardiac arrest. The Lancet Respiratory medicine 13(9):843–856
7. Broman LM, Taccone FS, Lorusso R, Malfertheiner MV, Pappalardo F, Di Nardo M, Belliato M, Bembea MM, Barbaro RP, Diaz R et al (2019) The ELSO Maastricht Treaty for ECLS Nomenclature: abbreviations for cannulation configuration in extracorporeal life support - apositionpaperof the Extracorporeal Life Support Organization. Critical care (London, England)23(1):36
8. Trummer G, Bein B, Buerke M, Ebelt H, Groesdonk H, Haake N, Habicher M, Heringlake M, Marggraf G, Stingele R (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. Appl Cardiopulm Pathophysiol 15:181–182
9. Wengenmayer T, Rombach S, Ramshorn F, Biever P, Bode C, Duerschmied D, Staudacher DL (2017) Influence of low-flow time on survival after extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (eCPR).Critical care (London, England) 21(1):157
10. Kosmopoulos M, Koukousaki D, Yannopoulou E, Sebastian PS, Monti CE, Kalra R, Burnett A, Bruen C, Tanghe P, Peterson B et al (2025) The Association of Time to Reperfusion With VA-ECMO With Survival of Patients Who Experience Refractory Out-of-Hospital Cardiac Arrest. Circulation 152(12):902–904
11. Suverein MM, Lorusso R, van de Poll MCG (2023) Extracorporeal CPR for Out-of-Hospital Cardiac Arrest. Reply. The New England journal of medicine 388(20):1916–1917
12. Belohlavek J, Yannopoulos D, Smalcova J, Rob D, Bartos J, Huptych M, Kavalkova P, Kalra R, Grunau B, Taccone FS et al (2023) Intraarrest transport, extracorporeal cardiopulmonary resuscitation, and early invasive management in refractory out-of-hospital cardiac arrest: an individual patient data pooled analysis of two randomised trials. EClinicalMedicine59:101988
13. Belohlavek J, Rob D, Smalcova J (2022) Effect of Intra-arrest Transport and Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation on Functional Neurologic Outcome in Refractory Out-of-Hospital Cardiac Arrest-Reply. Jama 327(23):2357–2357
14. Grunau B, Reynolds JC, Scheuermeyer FX, Stenstrom R, Pennington S, Cheung C, Li J, Habibi M, Ramanathan K, Barbic D et al (2016) Comparing the prognosis of those with initial shockable and non-shockable rhythms with increasing durations of CPR: Informing minimum durations of resuscitation. Resuscitation 101:50–56
15. Del Rios M, Bartos JA, Panchal AR, Atkins DL, Cabañas JG, Cao D, Dainty KN, Dezfulian C, Donoghue AJ, Drennan IR et al (2025) Part 1: Executive Summary: 2025 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. Circulation 152(16_suppl_2):S284–S312
16. Soar J, Böttiger BW, Carli P, Jiménez FC, Cimpoesu D, Cole G, Couper K, D’Arrigo S, Deakin CD, Ek JE et al (2025) European Resuscitation Council Guidelines 2025 Adult Advanced Life Support. Resuscitation 215(Suppl 1):110769
17. Richardson ASC, Tonna JE, Nanjayya V, Nixon P, Abrams DC, Raman L, Bernard S, Finney SJ, Grunau B, Youngquist ST et al (2021) Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation in Adults. Interim Guideline Consensus Statement From the Extracorporeal Life Support Organization. ASAIO journal (American Society for Artificial Internal Organs: 1992)67(3):221–228
18. National Institute for H, Care E (2025) VA ECMO for extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (ECPR) in adults with refractory cardiac arrest. In: NICE HealthTech guidance. National Institute for Healthand Care Excellence, London, UK
19. Tonna JE, Boonstra PS, MacLaren G, Paden M, Brodie D, Anders M, Hoskote A, Ramanathan K, Hyslop R, Fanning JJ et al (2024) Extracorporeal Life Support Organization Registry International Report 2022: 100,000 Survivors. ASAIO journal (American Society for Artificial Internal Organs : 1992)70(2):131–143
20. Greif R, Bray JE, Djärv T, Drennan IR, Liley HG, NgKC, Cheng A, Douma MJ, Scholefield BR, Smyth M et al (2024) 2024 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations: Summary From the Basic Life Support; Advanced Life Support; Pediatric Life Support; Neonatal Life Support; Education, Implementation, and Teams; and First Aid Task Forces. Circulation 150(24):e580–e687
21. Perman SM, Elmer J, Maciel CB, Uzendu A, May T, Mumma BE, Bartos JA, Rodriguez AJ, Kurz MC, Panchal AR et al (2024) 2023 American Heart Association Focused Update on Adult Advanced Cardiovascular Life Support: An Update to the American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. Circulation 149(5):e254–e273
22. Diehl A, Read AC, Southwood T, Buscher H, Dennis M, Nanjayya VB, Burrell AJC (2023) The effect of restrictive versus liberal selection criteria on survival in ECPR: a retrospective analysis of amultiregional dataset. Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine 31(1):89–89
23. Lott C, Karageorgos V, Abelairas-Gomez C, Alfonzo A, Bierens J, Cantellow S, Debaty G, Einav S, Fischer M,

Gonzalez-Salvado V et al (2025) European Resuscitation Council Guidelines 2025 Special Circumstances in Resuscitation. Resuscitation 215(Suppl 1):110753

24. Frei C, Darocha T, Debaty G, Dami F, Blancher M, Carron PN, Oddo M, Pasquier M (2019) Clinical characteristics and outcomes of witnessed hypothermic cardiac arrest: Asystematic reviewon rescue collapse. Resuscitation 137:41–48
25. Lott C, Truhlář A, Alfonzo A, Barelli A, González-Salvado V, Hinkelbein J, Nolan JP, Paal P, Perkins GD, Thies KC et al (2021) European Resuscitation Council Guidelines 2021: Cardiac arrest in special circumstances.Resuscitation 161:152–219
26. van den Bosch OFC, Chaudhry R, Wicker J, Mubashir T, Limb D, Jogendran R, Munshi L, Balki M (2022) Predictors and Hospital Outcomes in Pregnant Patients Undergoing Extracorporeal Membrane Oxygenation: A Nationwide Study. Anesthesia and analgesia 135(6):1172–1179
27. Pudil J, Rob D, Smalcova J, Smid O, Huptych M, Vesela M, Kovarnik T, Belohlavek J (2023) Pulmonary embolism-related refractory out-of-hospital cardiac arrest and extracorporeal cardiopulmonary resuscitation: Prague OHCA study post hoc analysis. European heart journal Acute cardiovascular care 12(8):507–512
28. Abdulaziz SM, Kakar V, Kumar PG, Hassan IF, Combes A, Brodie D, Barrett NA, Tan J, Al Ali SF (2025) Mechanical Circulatory Support for Massive Pulmonary Embolism. Journal of the American Heart Association14(1):e036101
29. Abumayyaleh M, Zeymer U, Rassaf T, Mahabadi AA, Lehmann R, Eitel I, Thevathasan T, Skurk C, Clemmensen P, Hennersdorf M et al.: Mechanical circulatory support center volume and outcomes in infarct-related cardiogenic shock: the ECLS-SHOCK trial. Eur Heart J 2026.
30. Dettling A, Kellner C, Sundermeyer J, Beer BN, Besch L, Kriz M, Kluge S, Kirchhof P, Blankenberg S, Schrage B (2025) Higher hospital volume is associated with lowermortality for patients with cardiogenic shock and mechanical circulatory support. Eur J Heart Fail 27(11):2074–2083
31. Trummer G, Muller T, Muellenbach RM, Markewitz A, Pilarczyk K, Bittner S, Boeken U, Benk C, Baumgartel M, Bauer A et al (2021) Training module extracorporeal life support (ECLS): consensus statement of the DIVI, DGTHG, DGfK, DGAI, DGIIN, DGF, GRC and DGK. Med Klin Intensivmed Notfmed 116(7):605–608
32. Leroux L, Dennis-Benford NB, Bergeron A, Lamhaut L, Cournoyer A, Grunau B, Cavayas YA (2025) Impact of prehospital extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest on survival with good neurological function: a systematic review and meta-analysis. Resusc Plus 24:100974
33. Wengenmayer T, Tigges E, Staudacher DL (2023) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in 2023. Intensive Care Med Exp 11(1):74–74
34. Abrams D, MacLaren G, Lorusso R, Price S, Yannopoulos D, Vercaemst L, Bělohlávek J, Taccone FS, Aissaoui N, Shekar K et al (2022) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in adults: evidence and implications. Intensive Care Med 48(1):1–15
35. Magnet I, Poppe M (2022) Extracorporeal resuscitation-criteria, prerequisites, outcome : A reality check. Med Klin Intensivmed Notfmed 117(5):325–332
36. Simons J, Di Mauro M, Mariani S, Ravaux J, van der Horst ICC, Driessen RGH, Sels JW, Delnoij T, Brodie D, Abrams D et al (2024) Bilateral Femoral Cannulation Is Associated With Reduced Severe Limb Ischemia-Related Complications Compared With Unilateral Femoral Cannulation in Adult Peripheral Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation: Results Fromthe Extracorporeal Life Support Registry. Crit Care Med 52(1):80–91
37. Nolan JP, Sandroni C, Cariou A, Cronberg T, D'Arrigo S, Haywood K, Hoedemaekers A, Lilja G, Nikolaou N, Olasveengen TM et al (2025) European Resuscitation Council and European Society of Intensive Care Medicine guidelines 2025: post-resuscitation care. Intensive Care Med 51(12):2213–2288
38. Busch HJ, Schmid B, Kron J, Fink K, Busche C, Danner T, Veits O, Gottlieb D, Benk C, Trummer G et al (2020) Freiburg Cardiac Arrest Receiving Team (CART) : Interdisciplinary solution for the acute management of non-traumatic out-of-hospital cardiac arrest. Med Klin Intensivmed Notfmed 115(4):292–299
39. Badulak J, Abrams D, Luks AM, Zakhary B, Conrad SA, Bartlett R, MacLaren G, Vercaemst L, Lorusso R, Broman LM et al (2024) Position paper on the physiology and nomenclature of dual circulation during venoarterial ECMO in adults. Intensive Care Med 50(12):1994–2004
40. Intensivmedizin DGfAu: S3-Leitlinie: Intravasale Volumentherapie bei Erwachsenen. AWMF Leitlinienregister 2020,001–020.
41. Kilgannon JH, Jones AE, Parrillo JE, Dellinger RP, Milcarek B, Hunter K, Shapiro NI, Trzeciak S, Emergency Medicine Shock Research Network I (2011) Relationship between supranormal oxygen tension and outcome after resuscitation from cardiacarrest. Circulation 123(23):2717–2722
42. Burrell A, Bailey MJ, Bellomo R, Buscher H, Eastwood G, Forrest P, Fraser JF, Fulcher B, Gattas D, Higgins AM et al (2024) Conservative or liberal oxygen targets in patients on venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. Intensive Care Med 50(9):1470–1483
43. Zotzmann V, Rilinger J, Lang CN, Duerschmied D, Benk C, Bode C, Wengenmayer T, Staudacher DL (2020) Early full-body computed tomography in patients after extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (eCPR). Resuscitation 146:149–154
44. Nolan JP, Sandroni C, Cariou A, Cronberg T, D'Arrigo S, Haywood K, Hoedemaekers A, Lilja G, Nikolaou N, Olasveengen TM et al (2025) European Resuscitation Council and European Society of Intensive Care Medicine Guidelines 2025 Post-Resuscitation Care. Resuscitation 215(Suppl 1):110809
45. Nix C, Ishikawa K, Meyns B, Yasuda S, Adriaenssens T, Barth S, Zayat R, Leprince P, Lebreton G (2020) Comparison of Hemodynamic Support by Impella vs. Peripheral Extra-Corporeal Membrane Oxygenation: A Porcine Model of Acute Myocardial Infarction. Front Cardiovasc Med 7:99
46. Briceno N, Annamalai SK, Reyelt L, Crowley P, Qiao X, Swain L, Pedicini R, Foroutanjazi S, Jorde L, Yesodharan G et al (2019) Left Ventricular Unloading Increases the Coronary Collateral Flow Index Before Reperfusion and Reduces Infarct Size in a Swine Model of Acute Myocardial Infarction. Journal of the American Heart Association 8(22):e013586
47. Saku K, Kakino T, Arimura T, Sunagawa G, Nishikawa T, Sakamoto T, Kishi T, Tsutsui H, Sunagawa K (2018) Left Ventricular Mechanical Unloading by Total Support of Impella in Myocardial Infarction Reduces Infarct Size, Preserves Left Ventricular Function, and Prevents

Subsequent Heart Failure in Dogs. Circ Heart Fail 11(5):e004397
48. Kapur NK, Alkhouli MA, DeMartini TJ, Faraz H, George ZH, Goodwin MJ, Hernandez-Montfort JA, Iyer VS, Josephy N, Kalra S et al (2019) Unloading the Left Ventricle Before Reperfusion in Patients With Anterior ST-Segment-Elevation Myocardial Infarction. Circulation 139(3):337–346
49. Boeken U, Assmann A, Beckmann A, Schmid C, Werdan K, Michels G, Miera O, Schmidt F, Klotz S, Starck C et al (2021) S3 Guideline of Extracorporeal Circulation (ECLS/ECMO) for Cardiocirculatory Failure. Thorac Cardiovasc Surg 69(S04):S121–s212
50. Schrage B, Becher PM, Bernhardt A, Bezerra H, Blankenberg S, Brunner S, Colson P, Cudemus Deseda G, Dabboura S, Eckner D et al (2020) Left Ventricular Unloading Is Associated With Lower Mortality in Patients With Cardiogenic Shock Treated With Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation: Results From an International, Multicenter Cohort Study. Circulation 142(22):2095–2106
51. Schrage B, Sundermeyer J, Blankenberg S, Colson P, Eckner D, Eden M, Eitel I, Frank D, Frey N, Graf T et al (2023) Timing of Active Left Ventricular Unloading in Patients on Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation Therapy. JACC Heart Fail 11(3):321–330
52. Kalra R, Gaisendrees C, Alexy T, Kosmopoulos M, Voicu S, Bartos JA, Gurevich SG, Raveendran G, Jaeger D, Koukousaki D et al (2025) Left ventricular energetics in patients receiving venoarterial extracorporeal membrane oxygenation for extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. Resuscitation 207:110475
53. Westermann D, B. S: UNLOAD ECMO - Left Ventricular Unloading to Improve Outcome in Cardiogenic Shock Patients on VA-ECMO - a Prospective, Randomized, Controlled, Multicenter Trial. In.; 2022.
54. Bernhardt AM, Schrage B, Westermann D, Reichenspurner H (2021) Extracorporeal membrane oxygenation evolution: Left ventricular unloading strategies. JTCVS Open 8:85–89
55. Kim MC, Lim Y, Lee SH, Shin Y, Ahn JH, Hyun DY, Cho KH, SimDS, Hong YJ, Kim JH et al (2023) Early Left Ventricular Unloading or Conventional Approach After Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation: The EARLY-UNLOAD Randomized Clinical Trial. Circulation 148(20):1570–1581
56. Thevathasan T, Fureder L, Fechtner M, Mork SR, Schrage B, Westermann D, Linde L, Gregers E, Andreasen JB, Gaisendrees C et al (2024) Left-Ventricular Unloading With Impella During Refractory Cardiac Arrest Treated With Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation: A Systematic Review and Meta-Analysis.Crit Care Med 52(3):464–474
57. Potapov EV, Whitman G, John R, Lanmuller P, Tucanova Z, Arora RC, Atluri P, de Waal EEC, Faerber G, Loforte A et al.: EACTS/STS/AATS Guidelines on temporary mechanical circulatory support in adult cardiac surgery. J Thorac Cardiovasc Surg 2025.
58. Jung C, Janssens U, Weyand S, Michels G, Schulze C, Hennersdorf M, Fürnau G: Hämodynamisches Monitoring in der internistischen Intensivmedizin – DGK-Empfehlung. Die Kardiologie 2026.
59. Dennis M, Supady A, Abrams D, Bartos J, Jung JS, Kruit N, Ling S, Rosenberg A, Sackley M, Scquizzato T et al (2026) Recommendations in Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation Post Resuscitation Care Via An International, Modified Delphi Approach. Journal of the American Heart Association 15(4):e047548
60. Bundesärztekammer W (2020) Querschnitts-Leitlinien zur Therapie mit Blutkomponenten und Plasmaderivaten, Gesamtnovelle 2020 – Herausgegeben von der Bundesärztekammer auf Empfehlung ihres Wissenschaftlichen Beirats, überarbeitete Auflage. Aufl. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln
61. McMichael ABV, Ryerson LM, Ratano D, Fan E, Faraoni D, Annich GM (2022) 2021 ELSO Adult and Pediatric Anticoagulation Guidelines. ASAIO journal 68(3):303–310 (American Society for Artificial InternalOrgans : 1992)
62. Ramanathan K, Peek G, Martucci G, Al Foudri H, Nair P, Kattan J, Thiagarajan R, Fan BE, Agerstand C, MacLaren G et al (2024) Blood Transfusion During Extracorporeal Membrane Oxygenation: An ELSO Position Statement. ASAIO Journal 70(9):719–720
63. Sieben L, Bettinger D, Supady A, group Is: Early colonoscopy for detection of colon ischemia after extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. Intensive Care Med 2026.
64. Bender A, Böttiger B, Bühler R, Hamann G, Hansen H, Jox R: S1-Leitlinie Hypoxisch-ischämische Enzephalopathie im Erwachsenenalter. Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie 2018.
65. Cho SM, HwangJ , Chiarini G, Amer M, Antonini MV, Barrett N, Belohlavek J, Brodie D, Dalton HJ, Diaz R et al (2024) Neurological monitoring and management for adult extracorporeal membrane oxygenation patients: Extracorporeal Life Support Organization consensus guidelines. Critical care (London, England) 28(1):296
66. Bein T, Müller T, Citerio G (2019) Determination of brain death under extracorporeal life support. Intensive Care Medicine 45(3):364–366
67. Tautz E, Lambeck J, Lücking KM, Bettinger D, Zinner M, Supady A, Michels G, Staudacher DL (2025) Besondere Aspekte von Patienten mit va-ECMO auf dem Weg zur Organspende. Die Anaesthesiologie 74(7):453–459
68. Bonizzoni MA, Scquizzato T, Pieri M, Delrio S, Nardelli P, Ortalda A, Dell'Acqua A, Scandroglio AM, Collaborators EC (2024) Organ donation after extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for refractory out-of-hospital cardiac arrest in a metropolitan cardiac arrest centre in Milan, Italy. Resuscitation 200:110214
69. Smalcova J, Havranek S, Pokorna E, Franek O, Huptych M, Kavalkova P, Pudil J, Rob D, Dusik M, Belohlavek J (2023) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation-based approach to refractory out-of-hospital cardiac arrest: A focus on organ donation, a secondary analysis of a Prague OHCA randomizedstudy. Resuscitation 193:109993
70. Merkle J, Azizov F, Fatullayev J, Weber C, Maier J, Eghbalzadeh K, Sabashnikov A, Pfister R, Wahlers T, Michels G (2019) Monitoring of adult patient on venoarterial extracorporeal membrane oxygenation in intensive care medicine. J Thorac Dis 11(Suppl 6):S946–S956
71. Levy B, Taccone FS, Guarracino F (2015) Recent developments in the management of persistent hypoxemia under veno-venous ECMO. Intensive Care Med 41(3):508–510
72. Lorusso R, Shekar K, MacLaren G, Schmidt M, Pellegrino V, Meyns B, Haft J, Vercaemst L, Pappalardo F, Bermudez C et al (2021) ELSO Interim Guidelines for Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation in Adult Cardiac Patients. ASAIO Journal 67(8):827–844
73. Fichtner F, Mörer O, Laudi S, Weber-Carstens S, Nothacker M, Kaisers U (2018) Beatmungstherapie und Extrakorporalverfahren bei akuter respiratorischer Insuffizienz. Dtsch Arztebl Int 115(50):840–847

74. Fichtner F, Moerer O, Grundeis F, Bunger V, Laudi S, Sander M, Guideline Group on Mechanical V, Extracorporeal Membrane Oxygenation in Acute Respiratory I: Clinical Practice Guideline: Mechanical Ventilation and Extracorporeal Membrane Oxygenation in Acute Respiratory Insufficiency. Dtsch Arztebl Int 2026 (Forthcoming).
75. Diehl A, Coughlin B, Moriarty H, Joseph T, Kavnoudias H, Udy A (2024) A Guide to Contrast-Enhanced Computed Tomography in Adult Patients Supported With Extracorporeal Membrane Oxygenation. ASAIO journal (American Society for Artificial InternalOrgans : 1992)70(12):e182–e187
76. Lambert L, Grus T, Balik M, Fichtl J, Kavan J, Belohlavek J (2017) Hemodynamic changes in patients with extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) demonstrated by contrast-enhanced CT examinations-implications for image acquisition technique. Perfusion 32(3):220–225
77. Yang KJ, Wang CH, Huang YC, Tseng LJ, Chen YS, Yu HY (2020) Clinical experience of whole-body computed tomography as the initial evaluation tool after extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in patients of out-of-hospital cardiac arrest. Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine 28(1):54–54
78. Liu KL, Wang YF, Chang YC, Huang SC, Chen SJ, Tsang YM, Chang CC (2014) Multislice CT scans in patients on extracorporeal membrane oxygenation: emphasis on hemodynamic changes and imaging pitfalls. Korean J Radiol 15(3):322–329
79. Lee S, Chaturvedi A (2014) Imaging adults on extracorporeal membrane oxygenation (ECMO). Insights Imaging 5(6):731–742
80. Shen J, Tse JR, Chan F, Fleischmann D (2022) CT Angiography of Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation. Radiographics 42(1):23–37
81. Riggs KR, Becker LB, Sugarman J (2015) Ethics in the use of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in adults. Resuscitation 91:73–75
82. Raffay V, Wittig J, Bossaert L, Djakow J, Djärv T, Estella Á, Lulic I, Mentzelopoulos SD, Monsieurs KG, de Voorde PV et al (2025) European Resuscitation Council Guidelines 2025 Ethics in Resuscitation. Resuscitation 215(Suppl 1):110734
83. Dutzmann J, Grahn H, Boeken U, Jung C, Michalsen A, Duttge G, Muellenbach R, Schulze PC, Eckardt L, Trummer G et al (2024) Ethical aspects in the context of extracorporeal life support systems (ECLS): consensus paper of the DGK, DGTHG and DGAI. Anaesthesiologie 73(9):591–598
84. Naito H, Sakuraya M, Hongo T, Takada H, Yumoto T, Yorifuji T, Hifumi T, Inoue A, Sakamoto T, Kuroda Y et al (2023) Prevalence, reasons, and timing of decisions to withhold/withdraw lifesustaining therapy for out-of-hospital cardiac arrest patients with extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. Critical care (London, England) 27(1):252
85. Rajsic S, Treml B, Breitkopf R, Lederer W (2025) Ethical Considerations for Patients Requiring Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation. J Cardiothorac Vasc Anesth 39(12):3541–3550
86. Dalle Ave AL, Bernat JL (2018) Uncontrolled Donation After Circulatory Determination of Death: A Systematic Ethical Analysis. J Intensive Care Med 33(11):624–634
87. Schiff T, Koziatek C, Pomerantz E, Bosson N, Montgomery R, Parent B,Wall SP (2023) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation dissemination and integration with organ preservation in the USA: ethical and logistical considerations. Critical care (London, England) 27(1):144
88. Pionnier Y, Darius T, Penaloza A, Steenebruggen F, Dupriez F, Neyrinck A, Genbrugge C (2024) Solid organ transplantation originating from uncontrolled donation after circulatory death in Europe: a narrative review. Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergencymedicine 32(1):130
89. Michels G, Wengenmayer T, Hagl C et al (2018) Empfehlungen zur extrakorporalen kardiopulmonalen Reanimation (eCPR). Kardiologe 12:332–341.
90. Michels G, Wengenmayer T, Hagl C et al (2018) Empfehlungen zur extrakorporalen kardiopulmonalen Reanimation (eCPR). Anaesthesiologie 67:607–616.
91. Michels G, Wengenmayer T, Hagl C et al (2019) Empfehlungen zur extrakorporalen kardiopulmonalen Reanimation (eCPR). Z Herz- Thorax-Gefäßchir 33:190–198.
92. Michels G, Wengenmayer T, Hagl C et al Empfehlungen zur extrakorporalen kardiopulmonalen Reanimation (eCPR). Anästh Intensivmed 2024;65:X16–X23.

Korrespondenzadresse



Prof. Dr. med. Guido Michels

Krankenhaus der Barmherzigen Brüder Trier, Medizincampus Trier der Universitätsmedizin Mainz, Notfallzentrum
Nordallee 1
54292 Trier, Deutschland

E-Mail: g.michels@bbtgruppe.de

ORCID-ID: 0000-0002-5063-5157

An der Erstellung des Beitrags „Extrakorporale kardiopulmonale Reanimation (ECPR)“ haben maßgeblich mitgewirkt:

Guido Michels für DGK
Krankenhaus der Barmherzigen Brüder Trier, Medizincampus Trier der Universitätsmedizin Mainz, Notfallzentrum, Trier, Deutschland

Dawid L. Staudacher für DGIIN
InterdisziplinäreMedizinische Intensivtherapie (IMIT), Universitätsklinikum Freiburg, Medizinische Fakultät, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg i.Br, Deutschland

Ralf M. Muellenbach für DGAI
Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie, ECMO-Zentrum, Klinikum Kassel, Kassel, Deutschland /
Gießen & Marburg GmbH, Justus-Liebig Universität Gießen, Gießen, Deutschland

Udo Boeken für DGTHG
Klinik für Herzchirurgie, Universitätsklinikum Düsseldorf, Düsseldorf, Deutschland

Ingo Ahrens für ALKK
Kardiologie und internistische Intensivmedizin, Krankenhaus der Augustinerinnen, Köln, Deutschland

Adrian Bauer für DGPTM
MediClin Herzzentrum Coswig, Coswig, Deutschland

Jochen Dutzmann für DGK
Klinik für Innere Medizin III (Kardiologie, Angiologie und Internistische Intensivmedizin), Universitätsklinikum Halle (Saale), Halle (Saale), Deutschland

Stephan Ensminger für DGTHG
Klinik für Herz- und thorakale Gefäßchirurgie, Universitäres Herzzentrum Lübeck, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Lübeck, Lübeck, Deutschland

Christian Jung für DGK
Klinik für Kardiologie, Pneumologie und Angiologie des Universitätsklinikums Düsseldorf, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Düsseldorf, Deutschland

Axel Linke für DGK
Klinik für Innere Medizin und Kardiologie, Herzzentrum Dresden, Universitätsklinik an der TU Dresden, Dresden, Deutschland /
Kommission für Klinische Praxis und Leitlinien, Deutsche Gesellschaft für Kardiologie, Düsseldorf, Deutschland

Michael Sander für DGAI
Klinik für Anästhesiologie, operative Intensivmedizin und Schmerztherapie, Universitätsklinikum Gießen, UKGM GmbH, Justus-Liebig Universität Gießen, Gießen, Deutschland

Thomas Müller für DIVI
Klinik und Poliklinik für Innere Medizin II, Universitätsklinikum Regensburg, Regensburg, Deutschland

Mehmet Oezkur für DGTHG
Klinik und Poliklinik für Herz- und Gefäßchirurgie, Universitätsmedizin, Johannes Gutenberg-UniversitätMainz, Mainz, Deutschland

Katharina Müller-Peltzer für DRG
Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Universitätsklinikum Freiburg, Medizinische Fakultät,Universität Freiburg, Freiburg, Deutschland

Kevin Pilarczyk für DIVI
Standort Karolinen-Hospital, Kliniken für Intensiv- und Notfallmedizin am Klinikum Hochsauerland, Arnsberg-Hüsten, Deutschland

Sebastian Schmidt für DGPTM
Kerckhoff-Klinik GmbH, Bad Nauheim, Deutschland

Benedikt Schrage für DGIIN
Abteilung für Kardiologie, Universitäres Herz- und Gefäßzentrum Hamburg, Hamburg, Deutschland

Tobias Grübl für GRC
Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie, Bundeswehrzentralkrankenhaus, Koblenz, Deutschland /
Klinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin, Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH, Marburg, Deutschland

Holger Thiele für DGK
Herzzentrum Leipzig – Universitätsklinik für Kardiologie, Leipzig, Deutschland

Tobias Wengenmayer für DGIIN
Interdisziplinäre Medizinische Intensivtherapie (IMIT), Universitätsklinikum Freiburg, Medizinische Fakultät, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg i.Br, Deutschland