

Wien klin Mag 2024 · 27:72–79  
<https://doi.org/10.1007/s00740-024-00529-z>  
 Online publiziert: 22. April 2024  
 © Der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an  
 Springer-Verlag GmbH Austria, ein Teil von  
 Springer Nature 2024



# Extrakorporale Reanimation – wenn das Herz nicht mehr funktioniert

Alexander Supady · Tobias Wengenmayer

Interdisziplinäre Medizinische Intensivtherapie (IMIT), Universitätsklinikum Freiburg, Medizinische Fakultät, Universität Freiburg, Freiburg, Deutschland

## Zusammenfassung

Die extrakorporale Reanimation („extracorporeal cardiopulmonary resuscitation“ [ECPR]) ist eine Option zur Wiederherstellung des Kreislaufs bei Patienten mit refraktärem Kreislaufversagen. Unter Fortführung konventioneller Reanimationsmaßnahmen wird bei Patienten im Herz-Kreislauf-Stillstand eine venoarterielle extrakorporale Membranoxygenierung (VA ECMO) etabliert, die als Bypass die Funktionen von Herz und Lunge bis zur Erholung der Organe kompensieren kann. Im Vergleich zur konventionellen Reanimation besteht ein Vorteil für die ECPR am ehesten insbesondere nach längerer Reanimationszeit, jedoch konnte bisher in drei prospektiven randomisierten, kontrollierten Studien kein Vorteil für den allgemeinen Einsatz belegt werden. Aufbau und Betrieb eines ECPR-Systems sind komplex und ressourcenintensiv, daher sollte der Einsatz auf spezialisierte Zentren mit ausreichenden Patientenzahlen begrenzt sein, um eine hohe Expertise der Teams zu gewährleisten.

### Schlüsselwörter

Extrakorporale kardiopulmonale Reanimation/Behandlungsergebnisse · Extrakorporale kardiopulmonale Reanimation/Komplikationen · Extrakorporale kardiopulmonale Reanimation/ethische Aspekte · Extrakorporale Membranoxygenierung · Herz-Kreislauf-Stillstand

Die extrakorporale Reanimation („extracorporeal cardiopulmonary resuscitation“ [ECPR]) ist eine Option zur Wiederherstellung des Kreislaufs bei Patienten mit refraktärem Kreislaufversagen [1]. Einen außerklinischen Kreislaufstillstand („out-of-hospital cardiac arrest“ [OHCA]) überleben etwa 8% der Betroffenen, wobei große Unterschiede zwischen verschiedenen Ländern und Kollektiven bestehen (0–18%; [13]). Nach innerklinischem Kreislaufstillstand („in-hospital cardiac arrest“ [IHCA]) wurden Überlebensraten zwischen 15 und 34% beschrieben [13]. Für das Überleben und die Lebensqualität der Patienten nach Herz-Kreislauf-Stillstand spielt die möglichst rasche Wiederherstellung der Perfusion und Sauerstoffversorgung lebenswichtiger Organe eine entscheidende Rolle [1]. Mit zunehmender Dauer des Kreislaufstillstands nimmt die Überlebenswahrscheinlichkeit innerhalb kurzer Zeit rasch

ab. Bereits nach 15–20 min konventioneller Reanimation („conventional cardiopulmonary resuscitation“ [CCPR]) ist die Wahrscheinlichkeit eines Überlebens mit guter neurologischer Funktion mit etwa 2% äußerst gering [25].

» Mit zunehmender Dauer des Kreislaufstillstands nimmt die Überlebenswahrscheinlichkeit rasch ab

Pathophysiologisch erscheint es also sinnvoll, Patienten mit refraktärem Kreislaufstillstand mit einem extrakorporalen Kreislauf zu unterstützen, um möglichst rasch Perfusion und Sauerstoffversorgung wiederherzustellen, während reversible Ursachen des Kreislaufstillstands behoben werden können [12, 26].

Dieser Beitrag wurde in der Zeitschrift *Die Innere Medizin* 10 · 2023 · 64:913–921 <https://doi.org/10.1007/s00108-023-01587-x> erstveröffentlicht. Zweitpublikation mit freundlicher Genehmigung der Autoren.



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

## Technische Umsetzung der extrakorporalen Reanimation

Für die ECPR wird bei Patienten mit anhaltendem Kreislaufstillstand unter Fortführung konventioneller Reanimationsmaßnahmen eine venoarterielle extrakorporale Membranoxygenierung (VA ECMO) etabliert [30]. Hierfür werden in der Regel über die Leistengefäße des Patienten (V. femoralis communis und A. femoralis communis) großlumige Kanülen eingeführt, deren Enden in der großen Hohlvene (V. cava) und in der Aorta oder in der Iliakalarterie (A. iliaca communis) zu liegen kommen. Die Anlage erfolgt in den meisten Fällen unter sonographischer Kontrolle perkutan in Seldinger-Technik [28]. Wenn möglich, zum Beispiel bei Durchführung des Eingriffs im Herzkatheterlabor, kann die Fluoroskopie zur weiteren Unterstützung eingesetzt werden [38]. Eine offen-chirurgische Anlage ist ebenso möglich. Zur Drainage des venösen Bluts wird eine Kanüle mit 21–25 French Innendurchmesser (7–8,3 mm) idealerweise bis in die obere Hohlvene vorgeschoben. Diese Kanüle hat eine große Öffnung am distalen Ende und zahlreiche seitliche Öffnungen, die das Blut über einen längeren Abschnitt der oberen und unteren Hohlvene sowie aus dem rechten Vorhof des Patienten aufnehmen können.

### » Die VA ECMO funktioniert als Bypass zu Herz und Lunge

Aus der venösen Drainagekanüle wird das Patientenblut über ein Schlauchsystem von einer Pumpe in einen Oxygenator geführt. Im Oxygenator nimmt das Patientenblut über eine Membran entlang des Konzentrationsgradienten Sauerstoff auf und CO<sub>2</sub> wird aus diesem abgegeben [12]. Das sauerstoffreiche Blut gelangt vom Oxygenator in die arterielle Kanüle mit 15–19 French Innendurchmesser (5–6,3 mm) und wird retrograd in den arteriellen Blutkreislauf des Patienten zurückgegeben. Die Implantation nimmt bei geübten Anwendern etwa 10–15 min in Anspruch.

Die VA ECMO funktioniert als Bypass zu Herz und Lunge. Im ECMO-System übernimmt der Oxygenator die Gasaustauschfunktion der Lunge, die Pumpe dient dem

Aufbau eines ausreichenden Blutflusses und Perfusionsdrucks und kompensiert die Pumpfunktion des Herzens. Im ECMO-System können Blutflussraten von in der Regel 4–6 l/min aufgebaut werden. Unterschiedliche Systeme verschiedener Hersteller sind verfügbar und für den Einsatz beim Menschen zugelassen.

## Klinischer Nutzen der extrakorporalen Reanimation

Nach Angaben der Extracorporeal Life Support Organization (ELSO, <https://www.elseo.org>) hat der weltweite Einsatz der ECPR in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen. Für das Jahr 2022 wurden mehr als 2000 ECPR-Fälle in das ELSO-Register eingetragen (<https://www.elseo.org/registry.aspx>). Insbesondere in Japan, einigen Ländern Europas und in Nordamerika ist der Einsatz vielerorts in der klinischen Routine etabliert [15]. Wie bei CCPR besteht auch bei ECPR ein Zusammenhang zwischen Reanimationsdauer und Überlebenswahrscheinlichkeit [36]. Besonders nach langer Reanimationsdauer von mehr als 20–30 min ist die Rückkehr eines Kreislaufs unter CCPR sehr unwahrscheinlich, daher profitieren diese Patienten von einer ECPR besonders [6, 16, 22, 23, 25].

## Daten aus randomisierten Studien

In bisher drei prospektiven, randomisierten, kontrollierten Studien wurden unterschiedliche Strategien für die ECPR-Versorgung von Patienten im refraktären Kreislaufstillstand mit konventioneller Reanimation verglichen [8, 31, 37].

Die ARREST-Studie war eine Single-Center-Studie, in die Patienten mit OHCA und Kammerflimmern, das auch nach 3 Schocks persistierte, eingeschlossen wurden [37]. Als weiteres Einschlusskriterium wurde eine erwartete Transportzeit in das ECPR-Zentrum unter 30 min festgelegt. Bei Ankunft im ECPR-Zentrum wurden die Patienten randomisiert; entweder wurden sie so schnell wie möglich mit ECPR versorgt oder es wurden leitliniengerechte konventionelle erweiterte Reanimationsmaßnahmen („advanced cardiac life support“ [ACLS]) weitergeführt. Die Studie wurde nach Einschluss

von 30 Patienten vorzeitig beendet, da schon dann die Überlegenheit der ECPR-Strategie für dieses Patientenkollektiv nachgewiesen werden konnte. Während in der Kontrollgruppe nur ein Patient (7%) den Krankenhausaufenthalt überlebte, überlebten in der ECPR-Gruppe 6 von 14 Patienten (43%). Nach 6 Monaten lebten weiterhin 6 Patienten aus der Interventionsgruppe und alle Patienten der Kontrollgruppe waren verstorben. Alle Überlebenden hatten ein gutes neurologisches Überleben ohne oder mit nur leichten Einschränkungen (Cerebral-Performance-Category [CPC]-Score 1 oder 2).

In der bisher größten prospektiven, randomisierten, kontrollierten Studie zu ECPR im Vergleich zu CCPR bei OHCA, der Prague-OHCA-Studie, wurden 256 Patienten untersucht [8]. In diese Single-Center-Studie wurden Patienten mit beobachtetem Kollaps und anhaltendem Herz-Kreislauf-Stillstand bei vermuteter kardialer Ursache nach mindestens 5 min CCPR eingeschlossen. Die Patienten wurden vor Ort randomisiert. In der Interventionsgruppe wurden die Patienten gemäß einer Strategie mit raschem Transport in das ECPR-Zentrum sowie dortiger ECPR-Evaluation und -Anlage versorgt, während die Patienten in der Kontrollgruppe vor Ort nach ACLS-Standard behandelt wurden.

Den primären Endpunkt – ein neurologisch gutes Überleben (CPC 1 oder 2) nach 180 Tagen – erreichten in der Interventionsgruppe 39 von 124 Patienten (32%), in der Kontrollgruppe 29 von 132 Patienten (22%), der Unterschied zwischen den beiden Gruppen war jedoch statistisch nicht signifikant. Eine Ursache für den fehlenden Gruppenunterschied war möglicherweise ein „cross-over“ aus der Kontrollgruppe in die Interventionsgruppe. Erreichten Patienten in der Kontrollgruppe unter fortgeführten konventionellen Reanimationsmaßnahmen keinen Kreislauf, konnten die behandelnden Ärzte entscheiden, dass die Patienten dennoch unter Fortführung der Reanimationsmaßnahmen in das ECPR-Zentrum transportiert wurden, um dort eine ECPR zu erhalten. So wurden 10 Patienten in der Kontrollgruppe (8%) mit ECPR versorgt, von denen 5 überlebten. In einer Sekundäranalyse der Studiendaten wurden die Patienten unabhängig vom Randomisie-

rungsergebnis entsprechend der Therapie, die sie tatsächlich erhalten hatten (ECPR vs. CCPR), analysiert (sogenannte As-treated-Analyse im Gegensatz zur Intention-to-treat-Analyse). In dieser Analyse zeigte sich ein statistisch signifikanter Vorteil für die Behandlung mit ECPR [27].

Besonders deutlich war der Überlebensvorteil in der Prague-OHCA-Studie für die Patienten, die auch nach langer Reanimationsdauer (>45 min) keinen Spontankreislauf erreichten. Von 26 Überlebenden waren 20 Patienten in der Interventionsgruppe behandelt worden, und nur 6 in der Kontrollgruppe. Interessanterweise waren 4 dieser 6 Überlebenden in der Kontrollgruppe in die Interventionsgruppe gewechselt und hatten eine ECPR erhalten [8, 27].

Anfang 2023 wurde eine erste prospektive, randomisierte, kontrollierte Multicenterstudie zum Vergleich zwischen ECPR und CCPR vorgelegt – der INCEPTION Trial [31]. In diese Studie wurden Patienten mit beobachtetem Kollaps, Laienreanimation und einer ventrikulären Arrhythmie eingeschlossen, die nach 15 min andauernder Reanimation keinen Spontankreislauf aufbauen konnten. Die Patienten wurden unter leitliniengerechter ACLS-Behandlung rasch in eines der beteiligten ECPR-Zentren transportiert. Die Randomisierung wurde bereits während des Transports durchgeführt; der Einschluss in die Interventions- oder Kontrollgruppe erfolgte nach Eintreffen im ECPR-Zentrum und nach erneuter Kontrolle der Ein- und Ausschlusskriterien. So konnten 160 Patienten randomisiert werden, von denen schließlich 70 Patienten in die Interventionsgruppe und 64 Patienten in die Kontrollgruppe aufgenommen wurden. Patienten in der Interventionsgruppe erhielten zusätzlich zur Standardbehandlung eine ECPR, während Patienten in der Kontrollgruppe nach ACLS-Standard behandelt wurden. Nach 30 Tagen (primärer Endpunkt) lebten in der Interventionsgruppe noch 14 von 70 Patienten (20%) mit gutem neurologischem Status (CPC 1–2), während in der Kontrollgruppe 10 von 62 Patienten (16%) mit einem CPC-Score von 1 oder 2 am Leben waren. Der Unterschied zwischen den Gruppen war nicht signifikant.

Die unterschiedlichen Ergebnisse dieser drei wichtigen Studien – ARREST,

Prague OHCA und INCEPTION – lassen sich durch Unterschiede in den Studienkollektiven und in den untersuchten Strategien erklären (■ Tab. 1).

### » Wird über längere Zeit kein Spontankreislauf erreicht, ist ein Überleben ohne ECPR nahezu ausgeschlossen

In die ARREST-Studie wurden nur Patienten eingeschlossen, die bis zum Eintreffen im Krankenhaus keinen Spontankreislauf entwickelt hatten – die Randomisierung erfolgte erst bei Eintreffen im Krankenhaus. Bis zu diesem Zeitpunkt wurden die meisten Patienten bereits über einen langen Zeitraum reanimiert, ohne dass ein Spontankreislauf wiederhergestellt werden konnte. Wie die Studie bestätigen konnte, ist bei diesen Patienten ein Überleben ohne extrakorporale Kreislaufunterstützung nahezu ausgeschlossen. In die Prague-OHCA-Studie und in den INCEPTION Trial hingegen wurden die Patienten bereits früh nach Kollaps eingeschlossen. So konnten in beiden Studien auch Patienten, die für ECPR vorgesehen waren, einen Spontankreislauf erreichen (Prague OHCA: 34/124 [27%], INCEPTION: 13/70 [19%]).

Bedeutende Unterschiede im Vergleich der Interventionsgruppen der Studien sind die Implantationszeiten und die Dauer vom Kollaps bis zur Initiierung der VA ECMO. Während die Low-flow-Zeit in ARREST und Prague OHCA etwa 60 min betrug, war sie in INCEPTION deutlich länger (74 min). In ■ Tab. 1 sind wichtige Charakteristika der Studien im direkten Vergleich gezeigt.

Eine abschließende Aussage über einen Vorteil der ECPR im Vergleich zur CCPR ist aktuell (noch) nicht möglich. In einer Metaanalyse und einer gepoolten Analyse der individuellen Patientendaten aus ARREST und Prague OHCA zeigten sich Vorteile der ECPR bei IHCA und OHCA, die zunächst in weiteren prospektiven Studien bestätigt werden müssen [9, 20].

Mit der ECPR kann auch nach langer Low-flow-Zeit ein Kreislauf wiederhergestellt werden. Es ist jedoch zu befürchten, dass bis dahin bereits irreversible hypoxische Schädigungen im Gehirn aufgetreten sind, die auch nach Wiederherstellung

eines Spontankreislaufs und gegebenenfalls Erholung der weiteren Organfunktionen persistieren. Registerdaten und die Ergebnisse der beschriebenen randomisierten Studien bestätigen jedoch nicht die Befürchtung, dass die Überlebenden der ECPR in besonders hoher Zahl durch schwere bleibende neurologische Schäden eingeschränkt sind. In einer belgischen Registerstudie, in die 635 Patienten nach Reanimation eingeschlossen wurden (532 Patienten nach CCPR, 112 Patienten nach ECPR), konnte kein Nachteil hinsichtlich eines Überlebens mit guter neurologischer Funktion (CPC 1–2) für Patienten nach ECPR gezeigt werden (CCPR 11%, ECPR 21%;  $p=0,13$ ; [23]). In der ARREST-Studie hatten alle Überlebenden nach 6 Monaten einen CPC-Score  $\leq 2$  [37]. In der Prague-OHCA-Studie hatten nach 180 Tagen von 41 Überlebenden der invasiven Strategie 39 Patienten einen CPC-Score  $\leq 2$  (95%; [8]). Im INCEPTION Trial hatten alle 14 Überlebenden des ECPR-Arms nach 30 Tagen und nach 6 Monaten einen CPC-Score  $\leq 2$  [31].

## Komplikationsmanagement

Neben bekannten Komplikationen, die auch nach konventioneller Reanimation auftreten können, unter anderem Frakturen, Fehlintubationen, Hämato- und Pneumothorax, sind bei ECPR insbesondere kurzfristige, durch die Kanülenanlage verursachte Komplikationen zu erwarten [39]. Im Verlauf sind thrombotische Komplikationen, Hämolyse und Blutungsereignisse zu beachten, bedingt durch Störungen im Gerinnungssystem, die durch den Kontakt des Patientenbluts mit den künstlichen Oberflächen im ECMO-System ausgelöst und verstärkt werden können oder infolge mechanischer Einwirkungen des ECMO-Systems auf Blutbestandteile auftreten (■ Abb. 1; [1]).

## Ischämien

Die arterielle Kanüle kann das Lumen des Gefäßes, in dem sie einliegt, (nahezu) vollständig verschließen, sodass die Perfusion der distal davon liegenden Abschnitte nicht mehr gewährleistet ist. Um ischämische Schädigungen dieses Perfusionsgebiets zu vermeiden, sollte eine weitere

<b>Tab. 1</b> Wichtige Studiencharakteristika der drei wichtigen prospektiven, randomisierten, kontrollierten Studien zum Einsatz der ECPR bei Patienten nach OHCA			
	<b>ARREST</b>	<b>Prague OHCA</b>	<b>INCEPTION</b>
Erstautor/ Korrespondenzautor	D. Yannopoulos	J. Belohlavek	M. Suverein
Publikationsjahr, Journal	2020, <i>The Lancet</i> [37]	2022, <i>JAMA</i> [8]	2023, <i>New England Journal of Medicine</i> [31]
Studiendesign; Ort	Ein Zentrum, randomisierte, kontrollierte Studie; Minnesota, Vereinigte Staaten	Ein Zentrum, randomisierte, kontrollierte Studie; Prag, Tschechien	10 Zentren, randomisierte, kontrollierte Studie; Niederlande
Primärer Endpunkt	Krankenhausüberleben	Neurologisch gutes Überleben (CPC 1 oder 2) nach 180 Tagen	Neurologisch gutes Überleben (CPC 1 oder 2) nach 30 Tagen
Einschlusskriterien	18–75 Jahre	18–65 Jahre	18–70 Jahre
	Kammerflimmern	Vermutete kardiale Ursache	Ventrikuläre Rhythmusstörung
	Erwartete Transportzeit < 30 min	Beobachteter Kollaps	Beobachteter Kollaps + Laien-CPR
	Kein ROSC nach 3 Schocks	Kein ROSC nach 5 min CPR	Kein ROSC nach 15 min
Intervention	ALS mit frühzeitigem Transport in das ECPR-Zentrum zur ECPR-Evaluation/Anlage vs. ALS	ALS mit frühzeitigem Transport in das ECPR-Zentrum zur ECPR-Evaluation/Anlage vs. ALS vor Ort	ALS mit frühzeitigem Transport in das ECPR-Zentrum zur ECPR-Evaluation/Anlage vs. ALS
Eingeschlossene Patienten	30	256	160
Studie vorzeitige beendet	Ja	Ja	Nein
Kollaps bis Eintreffen am ECPR-Zentrum (min)	Nicht berichtet	49 (IQR 44–60)	36 (SD 12)
Kollaps bis Start Kanülierung (min)	49 (SD 21)	49 (IQR 44–60)	58 (SD 13)
Kanülierungsdauer (min)	12 (SD 6)	12 (IQR 9–15)	20 (IQR 11–25)
Low-flow-Zeit (Kollaps bis Start ECPR; min)	59 (SD 26)	61 (IQR 55–70)	74 (IQR 63–87)
Krankenhausüberleben	43 % vs. 7 % (statistisch signifikant)	32 % vs. 23 % (n. s.)	20 % vs. 20 % (n. s.)
CPC 1/2 nach 1 oder 3 Monaten	40 % vs. 0 % (statistisch signifikant)	30 % vs. 18 % (n. s.)	20 % vs. 16 % (n. s.)
CPC 1/2 nach 6 Monaten	40 % vs. 0 % (statistisch signifikant)	32 % vs. 23 % (n. s.)	20 % vs. 16 % (n. s.)
Cross-over (aus der Kontrollgruppe in die Interventionsgruppe)	0 %	11/132 (8 %)	3/64 (5 %)

*ALS* „advanced life support“, *CPC* Cerebral Performance Category, *CPR* kardiopulmonale Reanimation, *ECPR* „extracorporeal cardiopulmonary resuscitation“ (extrakorporale Reanimation), *IQR* „interquartile range“ (Interquartilsabstand), *n. s.* nicht statistisch signifikant, *OHCA* „out-of-hospital cardiac arrest“ (außer-klinischer Kreislaufstillstand), *ROSC* „return of spontaneous circulation“ (Wiederkehr eines Spontankreislaufs), *SD* „standard deviation“ (Standardabweichung)

Kanüle distal der Punktionsstelle der arteriellen Kanüle antegrad in die Femoralarterie (in der Regel A. femoralis communis oder A. femoralis superficialis) eingeführt werden und mit der rückgebenden ECMO-Kanüle verbunden werden [15]. So wird sauerstoffreiches Blut in die peripheren Beinarterien geleitet.

### Selektive Perfusion

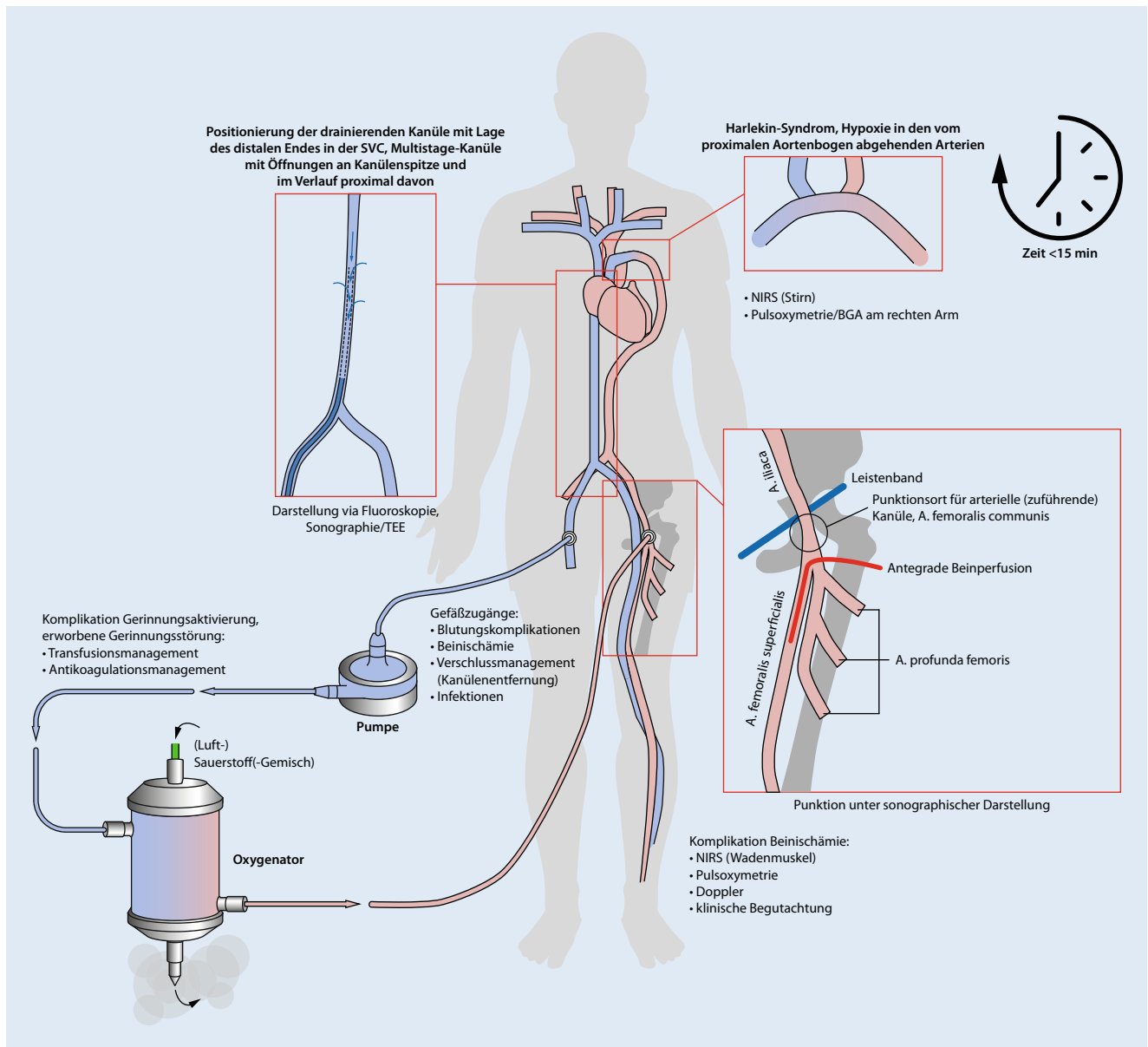
Hinzu kommen Auswirkungen im Patienten, die durch die unphysiologische Umkehr des Blutflusses entstehen. Das Harlekin-Syndrom ist charakterisiert durch eine Hypoxie der oberen Körperhälfte bei suffizienter Oxygenierung der unteren Körperhälfte. Im Rahmen einer VA ECMO-

Unterstützung bei ECPR kann infolge eines Lungenversagens schlecht oxygeniertes Blut aus der Lunge in den linken Ventrikel und von dort in die Aorta gelangen [14]. In schweren Fällen kann die unzureichende Sauerstoffversorgung zu ischämischen Schädigungen im Hirn führen. Die Lage dieser Wasserscheide ist abhängig von Volumenstatus, Auswurfleistung des Herzens und Blutflussrate des ECMO-Systems. Im klinischen Alltag ist die Lage der Wasserscheide oft schwierig zu bestimmen. Zur Überwachung der zerebralen Sauerstoffversorgung muss daher eine Pulsoxymetrie der rechten oberen Extremität erfolgen, um eine Hypoxie des Gehirns auszuschließen. Darüber hinaus kann mittels Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) die

zerebrale Gewebeoxygenierung bestimmt werden, um frühzeitig Hinweise über ein unzureichendes zerebrales Sauerstoffangebot zu erhalten [17].

### Herzfunktion

Die VA ECMO unterstützt den Blutkreislauf, indem Blutflussraten von 2 bis 6 l/min und hohe Drücke aufgebaut werden. Durch venöse Drainage des Bluts vor dem rechten Herz wird die Vorlast deutlich reduziert und das endogene Herzzeitvolumen nimmt ab. Durch hohen Blutfluss und Druck in der Aorta steigt die Nachlast auf physiologische Werte an. Bei kardialen Versagen kann die linksventrikuläre Funktion so eingeschränkt sein, dass unter diesen Be-



**Abb. 1** ▲ Schematische Darstellung charakteristischer Aspekte und Komplikationen beim Einsatz von extrakorporaler Reanimation. BGA Blutgasanalyse, NIRS Nahinfrarotspektroskopie, SVCV. cava superior, TEE transösophageale Echokardiographie

dingungen (reduzierte Vorlast, erhaltene Nachlast) kein ausreichendes Herzzeitvolumen aufrechterhalten werden kann und sich eine pulmonale Stauung entwickelt. Um dieser Entwicklung entgegenzuwirken, können Maßnahmen zur linksventrikulären Entlastung getroffen werden. Am häufigsten werden hierfür die intraaortale Ballonpumpe (IABP) und das Linksherz-Unterstützungssystem Impella (Abiomed, Danvers, MA, USA) eingesetzt [21, 29]. Die Indikationsstellung ist schwierig und es liegen bisher keine sicheren Daten für optimales Timing und Art des Verfahrens

vor, sodass im Einzelfall eine sorgfältige Evaluation erfolgen muss. Im Hinblick auf das oben beschriebene Harlekin-Syndrom kann es in Einzelfällen erforderlich sein, vor Implantation eines Geräts zur linksventrikulären Entlastung das VA ECMO-System auf ein venovenöses System zu erweitern, um eine ausreichende Oxygenierung des Patientenbluts im linken Ventrikel zu gewährleisten.

### Organisation von Systemen für die extrakorporale Reanimation

In den meisten Fällen wird die ECPR im Herzkatheterlabor, im Schockraum, auf einer Intensivstation oder im herzchirurgischen Operationssaal initiiert [28, 32]. Grundsätzlich ist die Implantation jedoch an nahezu jedem Ort, an dem ein Patient reanimiert wird, möglich, daher wurden an einigen Orten Systeme zur präklinischen ECPR etabliert [19, 35]. Darüber hinaus wurde ein Rendezvous-System vorgeschlagen, bei dem Patienten und ECPR-

Teams in einem Initiierungskrankenhaus zusammentreffen und die Patienten nach erfolgreicher ECPR zur weiteren Versorgung in ein spezialisiertes Zentrum verlegt werden [5].

Die ECPR sollte nicht ohne spezifische Planung, Vorbereitung und Training eingeführt werden [34]. Vielmehr zeigen die verfügbaren Daten, dass ein nachhaltiger Vorteil durch die ECPR nur zu erwarten ist, wenn sie in einem spezialisierten Umfeld von sehr erfahrenen Anwendern in eingespielten Teams unter Beachtung klarer Ein- und Ausschlusskriterien eingesetzt wird [18]. Die Fallzahl am ECPR-Zentrum ist ein wichtiger Prädiktor für das Überleben der Patienten, da sie direkten Einfluss auf die Expertise der Anwender hat [20]. Genauso wichtig wie standardisierte und eingespielte Abläufe für die Versorgung der Patienten vom Kollaps bis zur Initiierung der ECPR ist die weitere intensivmedizinische Versorgung der Patienten; sie sollte nur in hierfür spezialisierten Zentren erfolgen, in denen die Behandlung von erfahrenen Teams auf der Grundlage evidenzbasierter Standards durchgeführt wird [4].

## Ethische Erwägungen

Die Versorgung von Patienten nach ECPR ist aufwendig und sehr kosten- und personalintensiv. Die hohe Mortalität nach ECPR kann für die betreuenden Ärzte und Pflegekräfte besonders belastend sein [3]. Auch Belastungen für Angehörige der Patienten sind zu beachten [33].

## Therapieziele

Die ECPR ist (noch) kein Routineverfahren, sondern eine letzte Behandlungsmöglichkeit für ausgewählte Patienten in Situationen, in denen eine ECPR verfügbar ist. In der Regel wird eine ECMO-Therapie zur Überbrückung eingesetzt, wenn eine Erholung des Patienten erhofft oder erwartet wird, oder im Falle eines irreversiblen Organversagens bis zur Organtransplantation oder Implantation eines dauerhaften Linksherzunterstützungsverfahrens („left ventricular assist device“ [LVAD]; [2]). Bei der ECPR liegen in der Regel wenig Informationen über den zu behandelnden Patienten vor; das

angestrebte Therapieziel ist gewöhnlich eine Erholung des Patienten.

Diese Überlegungen müssen bei Indikationsstellung und Implantation berücksichtigt werden. Das Überleben nach ECPR hängt neben der Reanimationsdauer und der Auffindesituation insbesondere vom Alter der Patienten und von vorbestehenden Erkrankungen ab. Daher kommen Patienten im hohen Alter, mit vorbestehenden schweren Organschädigungen oder mit unkontrollierten Tumorerkrankungen in der Regel nicht für eine ECPR infrage.

## Organspende nach extrakorporaler Reanimation

Auch nach ECPR ist bei Hirntod eine Organspende möglich [24]. In einigen Ländern, bisher aber nicht in Deutschland, ist darüber hinaus eine Organspende auch nach permanentem Herz-Kreislauf-Stillstand möglich („donation after cardiocirculatory determination of death“ [DCDD]; [7, 11]). Hier kann die Organentnahme erfolgen, sobald der Kreislaufstillstand nach Beendigung einer lebenserhaltenden ECMO-Unterstützung für einen definierten Zeitraum (in der Regel 5–15 min) persistiert hat [10].

### Fazit für die Praxis

- Die extrakorporale Reanimation („extracorporeal cardiopulmonary resuscitation“ [ECPR]) kann die Überlebenschwindigkeit bei refraktärem Kreislaufstillstand verbessern.
- Das Verfahren ist komplex, ressourcenintensiv und stellt hohe physische und psychische Anforderungen an das Personal.
- Von Vorteil ist die ECPR insbesondere für Patienten, die nach 20–30 min unter konventionellen Reanimationsmaßnahmen keinen Kreislauf aufbauen können. Die Komplexität des Verfahrens hat jedoch zur Folge, dass die Vorteile nur nachhaltig sind, wenn es in sehr erfahrenen und strukturierten Systemen eingesetzt wird.
- Eine Ausbreitung der ECPR über spezialisierte Zentren hinaus führt nicht zu einem verbesserten Überleben, stattdessen sollten spezialisierte Teams in integrierten Systemen, die um ein ECPR-Zentrum herum aufgebaut werden (sogenanntes Hub-and-spoke-Modell; „Nabe und Speichen“), einrichtungsübergreifend agieren.

## Korrespondenzadresse

**PD Dr. Alexander Supady, MPH**

Interdisziplinäre Medizinische Intensivtherapie (IMIT), Universitätsklinikum Freiburg, Medizinische Fakultät, Universität Freiburg Hugstetter Straße 55, 79106 Freiburg, Deutschland  
alexander.supady@uniklinik-freiburg.de

## Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** A. Supady und T. Wengenmayer sind als Referenten für die Firmen Getinge, Fresenius und Resuscitec tätig.

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.

## Literatur

1. Abrams D, Maclaren G, Lorusso R et al (2022) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in adults: evidence and implications. *Intensive Care Med* 48:1–15
2. Abrams DC, Prager K, Blinderman CD et al (2014) Ethical dilemmas encountered with the use of extracorporeal membrane oxygenation in adults. *Chest* 145:876–882
3. Asgari P, Jackson AC, Esmaeili M et al (2022) Nurses' experience of patient care using extracorporeal membrane oxygenation. *Nurs Crit Care* 27:258–266
4. Bartos JA, Carlson K, Carlson C et al (2018) Surviving refractory out-of-hospital ventricular fibrillation cardiac arrest: critical care and extracorporeal membrane oxygenation management. *Resuscitation* 132:47–55
5. Bartos JA, Frascione RJ, Conterato M et al (2020) The Minnesota mobile extracorporeal cardiopulmonary resuscitation consortium for treatment of out-of-hospital refractory ventricular fibrillation: program description, performance, and outcomes. *EclinicalMedicine* 29–30:100632
6. Bartos JA, Grunau B, Carlson C et al (2020) Improved survival with extracorporeal cardiopulmonary resuscitation despite progressive metabolic derangement associated with prolonged resuscitation. *Circulation* 141:877–886
7. Bein T, Combes A, Meyfroidt G (2021) Organ donation after controlled cardiocirculatory death: confidence by clarity. *Intensive Care Med* 47:325–327
8. Belohlavek J, Smalцова J, Rob D et al (2022) Effect of intra-arrest transport, extracorporeal cardiopulmonary resuscitation, and immediate invasive assessment and treatment on functional neurologic outcome in refractory out-of-hospital cardiac arrest: a randomized clinical trial. *JAMA* 327:737–747
9. Belohlavek J, Yannopoulos D, Smalцова J 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. *EclinicalMedicine* 59:101988

10. Dalle Ave AL, Shaw DM, Elger B (2017) Practical considerations in donation after circulatory determination of death in Switzerland. *Prog Transplant* 27:291–294
11. Domínguez-Gil B, Ascher N, Capron AM et al (2021) Expanding controlled donation after the circulatory determination of death: statement from an international collaborative. *Intensive Care Med* 47:265–281
12. Granfeldt A, Holmberg MJ, Andersen LW (2023) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for cardiac arrest. *JAMA* 329:1693–1694
13. Gräsner JT, Herlitz J, Tjelmeland IBM et al (2021) European Resuscitation Council guidelines 2021: epidemiology of cardiac arrest in Europe. *Resuscitation* 161:61–79
14. Hoepfer MM, Tudorache I, Kühn C et al (2014) Extracorporeal membrane oxygenation watershed. *Circulation* 130:864–865
15. Inoue A, Hifumi T, Sakamoto T et al (2020) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest in adult patients. *J Am Heart Assoc* 9:e15291
16. Inoue A, Hifumi T, Sakamoto T et al (2022) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in adult patients with out-of-hospital cardiac arrest: a retrospective large cohort multicenter study in Japan. *Crit Care* 26:129
17. Justice CN, Halperin HR, Vanden Hoek TL et al (2023) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (eCPR) and cerebral perfusion: A narrative review. *Resuscitation* 182:109671
18. Kalra R, Yannopoulos D (2023) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation: not why, but how. *Lancet Respir Med*. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(23\)00150-9](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(23)00150-9)
19. Lamhaut L, Hutin A, Puymirat E et al (2017) A pre-hospital extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (ECPR) strategy for treatment of refractory out hospital cardiac arrest: an observational study and propensity analysis. *Resuscitation* 117:109–117
20. Low CJW, Ramanathan K, Ling RR et al (2023) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation versus conventional cardiopulmonary resuscitation in adults with cardiac arrest: a comparative meta-analysis and trial sequential analysis. *Lancet Respir Med*. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(23\)00137-6](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(23)00137-6)
21. Lüsebrink E, Binzenhöfer L, Kellnar A et al (2023) Venting during venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. *Clin Res Cardiol* 112:464–505
22. Mork SR, Stengaard C, Linde L et al (2021) Mechanical circulatory support for refractory out-of-hospital cardiac arrest: a Danish nationwide multicenter study. *Crit Care* 25:174
23. Patricio D, Peluso L, Brasseur A et al (2019) Comparison of extracorporeal and conventional cardiopulmonary resuscitation: a retrospective propensity score matched study. *Crit Care* 23:27
24. Raphalen JH, Soumagnac T, Blanot S et al (2023) Kidneys recovered from brain dead cardiac arrest patients resuscitated with ECPR show similar one-year graft survival compared to other donors. *Resuscitation*. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2023.109883>
25. Reynolds JC, Frisch A, Rittenberger JC et al (2013) Duration of resuscitation efforts and functional outcome after out-of-hospital cardiac arrest: when should we change to novel therapies? *Circulation* 128:2488–2494
26. Richardson ASC, Tonna JE, Nanjaya V et al (2021) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in adults. Interim guideline consensus statement

## Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation—When the heart no longer functions

Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (ECPR) is an option for restoring blood circulation in patients with refractory circulatory failure. While conventional resuscitation measures are being continued, venoarterial extracorporeal membrane oxygenation (VA ECMO) is established in patients with cardiac arrest. This bypass can compensate for the functions of the heart and lungs until recovery of organ function. The benefit of ECPR compared to conventional resuscitation appears to be evident, especially after a prolonged resuscitation period; however, in three prospective randomized controlled studies an advantage has not yet been conclusively proven for widespread use in clinical routine. ECPR systems are complex and resource-intensive and should therefore be limited to specialized centers where sufficient numbers of patients are treated to ensure a high level of expertise in the teams.

### Keywords

Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation/treatment outcome · Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation/complications · Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation/ethics · Extracorporeal membrane oxygenation · Heart arrest

- from the extracorporeal life support organization. *ASAIO J* 67:221–228
27. Rob D, Smalcova J, Smid O et al (2022) Extracorporeal versus conventional cardiopulmonary resuscitation for refractory out-of-hospital cardiac arrest: a secondary analysis of the Prague OHCA trial. *Crit Care* 26:330
  28. Schmitzberger FF, Haas NL, Coute RA et al (2022) ECPR(2): expert consensus on Percutaneous cannulation for extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 179:214–220
  29. Schrage B, Sundermeyer J, Blankenberg S et al (2023) Timing of active left ventricular unloading in patients on venoarterial extracorporeal membrane oxygenation therapy. *JACC Heart Fail* 11:321–330
  30. Supady A, Wengenmayer T, Bode C et al (2016) Extracorporeal CPR (eCPR). *Notfall Rettungsmed* 19:574–581
  31. Suverein MM, Delnoij TSR, Lorusso R et al (2023) Early extracorporeal CPR for refractory out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 388:299–309
  32. Tonna JE, Selzman CH, Mallin MP et al (2017) Development and implementation of a comprehensive, multidisciplinary emergency department extracorporeal membrane oxygenation program. *Ann Emerg Med* 70:32–40
  33. Tramm R, Ilic D, Murphy K et al (2017) Experience and needs of family members of patients treated with extracorporeal membrane oxygenation. *J Clin Nurs* 26:1657–1668
  34. Ubben JFH, Heuts S, Delnoij TSR et al (2023) ECPR for refractory OHCA—Lessons from 3 randomized controlled trials. The trialists' view. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care*. <https://doi.org/10.1093/ehjacc/zuad071>
  35. Vos IA, Deuring E, Kwant M et al (2023) What is the potential benefit of pre-hospital extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for patients with an out-of-hospital cardiac arrest? A predictive modelling study. *Resuscitation*. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2023.109825>
  36. Wengenmayer T, Rombach S, Ramshorn F et al (2017) Influence of low-flow time on survival after extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (eCPR). *Crit Care* 21:157
  37. Yannopoulos D, Bartos J, Raveendran G et al (2020) Advanced reperfusion strategies for patients with out-of-hospital cardiac arrest and refractory ventricular fibrillation (ARREST): a phase 2, single centre, open-label, randomised controlled trial. *Lancet* 396:1807–1816
  38. Yannopoulos D, Bartos JA, Martin C et al (2016) Minnesota resuscitation consortium's advanced perfusion and reperfusion cardiac life support strategy for out-of-hospital refractory ventricular fibrillation. *J Am Heart Assoc*. <https://doi.org/10.1161/JAHA.116.003732>
  39. Zotzmann V, Rilinger J, Lang CN et al (2020) Early full-body computed tomography in patients after extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (eCPR). *Resuscitation* 146:149–154

Hier steht eine Anzeige.

