

Extrakorporale Membranoxygenierung bei Erwachsenen – Varianten, Komplikationen unter Therapie und die Rolle der radiologischen Diagnostik

Extracorporeal Membrane Oxygenation in Adults – Variants, Complications during Therapy, and the Role of Radiological Imaging

Autoren

Laura Beck, Matthias C. Burg, Walter Heindel, Christoph Schülke

Institut

Department of Clinical Radiology, University of Münster, Germany

Key words

ExtraCorporeal Membrane Oxygenation (ECMO), ExtraCorporeal Life Support (ECLS), cardiopulmonary bypass, CT angiography, imaging pitfalls

eingereicht 11.4.2016

akzeptiert 12.9.2016

Bibliografie

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0042-118885>

Online-Publikation: 29.12.2016 | Fortschr Röntgenstr 2016; 188:

119–128

© Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York

ISSN 1438-9029

Korrespondenzadresse

Dr. Laura Beck

Institut für Klinische Radiologie, Universitätsklinikum Münster

Albert-Schweitzer-Campus 1

48149 Munster

Germany

Tel.: ++49/251/8347310

laura.beck@uni-muenster.de

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund Die extrakorporale Membranoxygenierung etabliert sich zunehmend in der Intensivmedizin zur Behandlung von Patienten mit pulmonalem und/oder kardialen Versagen. Prinzipbasiert wird zwischen pulmonal-unterstützenden, venösen Systemen (Extracorporeal Membrane Oxygenation, ECMO) und kardiozirkulatorisch-unterstützenden, venoarteriellen Systemen (Extracorporeal Life Support, ECLS) unterschieden, die je nach Ort der Kanülierung zu Veränderungen der Hämodynamik führen. In dieser Arbeit wird auf die verschiedenen Varianten der ECMO- und ECLS-Systeme, deren typische Lage und häufige Komplikationen unter Therapie eingegangen. Die bildgebenden Modalitäten, die zur Abklärung geeignet sind, werden vorgestellt und hämodynamische Fallstricke im Rahmen der kontrastmittelgestützten computertomografischen und angiografischen Diagnostik beleuchtet.

Methode Dieser Artikel beruht auf einer Literaturrecherche in PubMed mit den Stichwörtern „ECMO“ und/oder „extracorporeal life support“ und/oder „imaging“ und/oder „complications“. Statistische Da-

ten wurden dem ECMO-Register der „Extracorporeal Life Support Organization (ELSO)“ entnommen.

Ergebnisse und Schlussfolgerung Erkrankungs- und therapieassoziierte Komplikationen sind aufgrund der kritischen Gesamtkonstellation der Patienten häufig, sodass die bildgebende Diagnostik mittels Computertomografie und ggf. Angiografie zunehmend an Bedeutung gewinnt. Bei der venösen ECMO wird der antegrade Blutfluss beibehalten, sodass bei Wahl des richtigen Untersuchungszeitpunkts und eines adäquaten Kontrastmittelvolumens keine Kontrastierungsphänomene auftreten. Unter venoarterieller ECLS kann es in Abhängigkeit der Kanülierung, des extrakorporalen Flusses und der linksventrikulären Restfunktion zu Kontrastierungsphänomenen mit einem arteriellen Pseudofüllungsdefekt, einer arteriellen Pseudomembran oder einem Kontrastierungsdefekt des Herzens und der Pulmonalstrombahn kommen, welche bei der Bildinterpretation berücksichtigt werden müssen.

Kernaussagen

- Die Lagedokumentation von ECMO- und ECLS-Systemen erfolgt meist projektionsradiografisch.
- Die Computertomografie ist bei unklaren Lageverhältnissen und zur Abklärung eventueller Komplikationen indiziert.
- Bei der venösen ECMO treten i. d. R. keine Kontrastierungsphänomene auf.
- Die venoarterielle ECLS kann zu Pseudofüllungsdefekten, Pseudomembranen und Kontrastierungsdefekten der Lungenstrombahn führen.

Zitierweise

- Beck L, Burg MC, Heindel W et al. Extracorporeal Membrane Oxygenation in Adults – Variants, Complications during Therapy, and the Role of Radiological Imaging. Fortschr Röntgenstr 2016; 188: 119–128

ABSTRACT

Background Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) and extracorporeal life support (ECLS) as respiratory and circulatory assist therapies are gaining in importance in the treatment of critically ill patients. Depending on the place of cannulation – veno-venous for ECMO and veno-arterial for ECLS – distinct changes in hemodynamics will occur. In this review we describe the different types of ECMO and ECLS systems, the typical cannula placement and frequent complications under therapy. The most suitable imaging modalities will be presented and typical hemodynamic pitfalls in contrast-enhanced computed tomography or angiography will be elucidated.

Methods The review is based on a literature search in PubMed with the terms “ECMO” and/or “ECLS” and/or “extracorporeal life support” and/or “imaging” and/or “complications”. Statistical data was taken

from the ECMO register of the “Extracorporeal Life Support Organization (ELSO)”.

Results Critical illness- and therapy-associated complications are common so that imaging, particularly computed tomography, becomes increasingly important. Following veno-venous cannulation in ECMO, the normal sequential blood flow is preserved, so that no con-

trast enhancement irregularities should be expected when the right timing and an adequate amount of contrast agent are selected. After veno-arterial cannulation in ECLS, different artifacts like pseudo-filling defects, pseudomembranes and irregular/low contrast enhancement of heart and pulmonary vessels can be found, depending on the site of cannulation and the residual cardiac function.

Einleitung

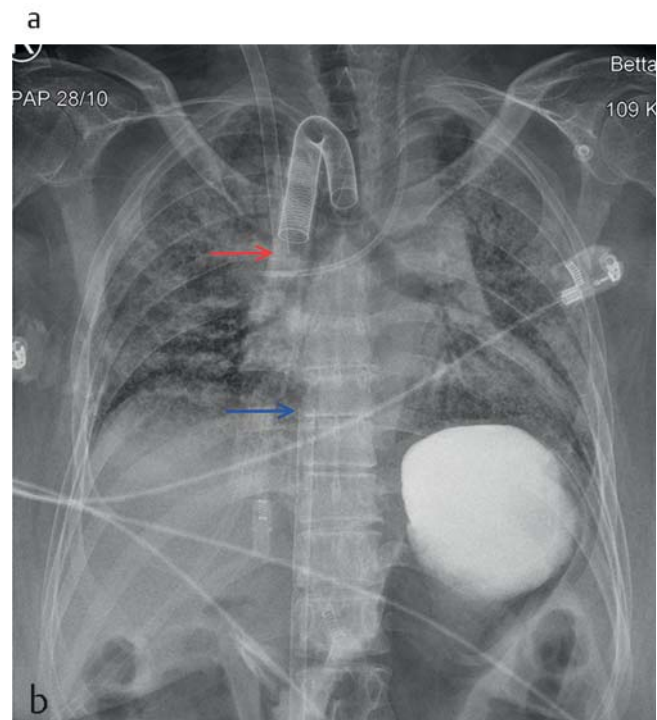
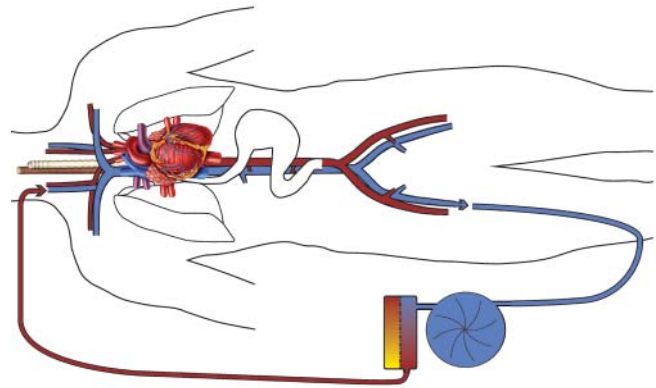
Die extrakorporale Membranoxygenierung etabliert sich zunehmend als Notfalltherapie bei Patienten mit schwerem akuten Lungenversagen (ARDS) und/oder Herz-Kreislauf-Versagen. Je nach Kanülierung wird dabei die Unterstützung des Gasaustausches und somit die pulmonale Funktion (ECMO = Extracorporeal Membrane Oxygenation) und/oder zur Kreislaufunterstützung die kardiale Funktion (ECLS = Extracorporeal Life Support) partiell oder komplett übernommen.

Die Entwicklung der extrakorporalen Membranoxygenierung geht auf die 70er-Jahre zurück [1]. Ein deutlicher Anstieg der ECMO-Therapien wurde u. a. durch den Nachweis eines Überlebensvorteils im Rahmen der CESAR-Studie (conventional ventilatory support versus ECMO for severe adult respiratory failure) [2] und durch die H1N1-Virus-Pandemie 2009 ausgelöst [3]. Weltweit wurden der Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) im Jahr 2014 über 14 000 erwachsene Patienten an 251 Zentren zur ECLS-Therapie gemeldet; in den letzten 10 Jahren ist mehr als eine Verdopplung der Zahlen zu sehen. Die Überlebensraten lagen bei solitärem respiratorischem Versagen bei 65% und bei kardialem Versagen bei 56%, nach Reanimation lag die Überlebensrate bei 39% [4].

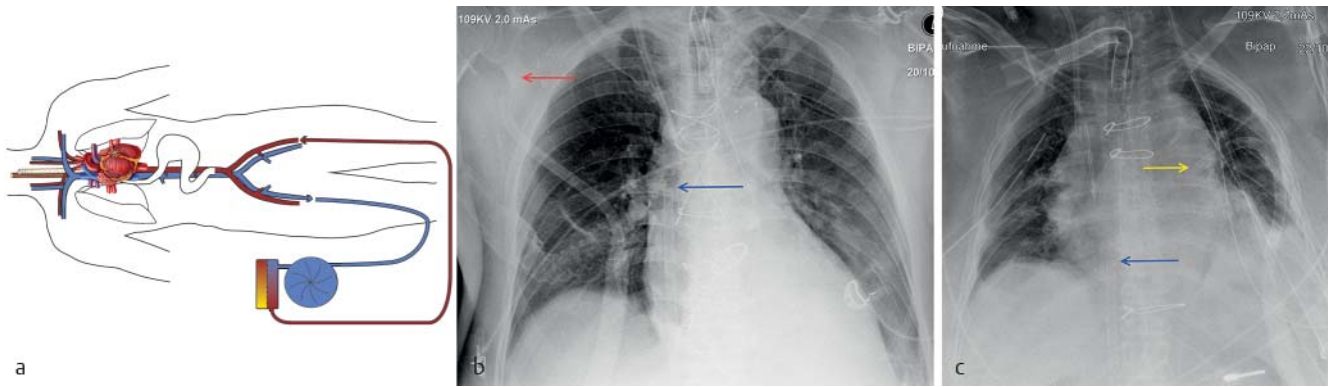
Da die ECMO-/ECLS-Therapie und auch die zur Therapie führenden Grunderkrankungen eine hohe Komplikationsrate aufweisen, erfolgt im Rahmen des Intensivaufenthaltes oftmals eine bildgebende Diagnostik. Der Radiologe kann mit dieser Fragestellung sowohl am Patientenbett auf Intensivstation in Form der Sonografie und der Projektionsradiografie als auch in der Computertomografie (CT) und seltener in der Angiografie konfrontiert werden. Die Kenntnis der verwendeten ECMO-/ECLS-Systeme sowie der hämodynamischen Veränderungen durch den extrakorporalen Kreislauf und mögliche artifizielle Kontrastierungsphänomene sind zur Untersuchungsplanung und Bildinterpretation daher essenziell.

ECMO- und ECLS-Systeme: Aufbau und Varianten

Der Aufbau eines ECMO- bzw. ECLS-Systems besteht prinzipiell aus einem extrakorporalen Blutkreislauf mit venöser Entnahme- und venöser bzw. arterieller Rückgabekanüle. Das desoxygenierte Blut wird dabei mit einer Zentrifugalpumpe durch einen Membranoxygenator gepumpt und hierbei mit Sauerstoff angereichert, zugleich wird Kohlenstoffdioxid eliminiert. Das oxygenierte Blut gelangt über die Rückgabekanüle zurück in den Körperkreislauf [5–9]. Es werden definitionsgemäß je nach Kanülierung zwei Formen unterschieden [10, 11]:



► **Abb. 1** Femoroatriale Kanülierung der ECMO mit venöser Entnahmekanüle in der V. cava inferior und Rückleitung über die V. cava superior in den rechten Vorhof, schematische Abbildung **A** und projektionsradiografische Korrelation **B**. Nebenbefundlich Kontrastmittel im Magenfundus nach prokinetisch intenzierter Gabe. Bronchopneumogramm links bei Pneumonie.



► **Abb. 2** Schematische Darstellung des femorofemorale Anschlusses der peripheren ECLS **A.** Periphere ECLS mit arterieller Kanülierung der A. axillaris (roter Pfeil) und venöser Drainagekanüle in der V. cava superior (blauer Pfeil) **B.** Zentrale ECLS mit venöser Kanüle im rechten Vorhof (blauer Pfeil) und arterieller Kanüle in der Aorta ascendens (gelber Pfeil); die Endstrecke der arteriellen Kanüle besteht aus einer Dacron-Prothese und ist dementsprechend nicht röntgendicht **C.**

► **Tab. 1** Zusammenstellung klinisch relevanter Information von ECMO und ECLS-Systemen.

	Entnahmekanüle		Rückgabekanüle		Funktion
	Punktionsort	Kanülenspitze	Punktionsort	Kanülenspitze	
ECMO (syn. VV-ECMO)	V. femoralis	V. cava inferior	V. jugularis V. femoralis	V. cava superior rechter Vorhof	Gasaustausch
ECLS (syn. VA-ECMO)	V. femoralis	V. cava inferior V. cava superior	A. axillaris/subclavia A. carotis communis A. femoralis thorakaler Bypass	Aorta thoracalis	Gasaustausch Kreislauf-Unterstützung

Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO)

Das venovenöse Unterstützungssystem dient bei isoliertem schweren hypoxämischen respiratorischen Versagen zur Sicherung des vitalen Gasaustausches und wird als „klassische“ ECMO-Therapie bezeichnet (syn.: vv-ECMO) [12, 13]. Das venös entnommene und extrakorporal oxygenierte sowie decarboxylierte Blut wird dabei in das venöse System bzw. den rechten Vorhof zurückgeleitet. Der systemische Blutfluss und Blutdruck wird weiterhin durch die Herzfunktion gewährleistet, unabhängig vom extrakorporalen Fluss, sodass eine suffiziente kardiale Pumpfunktion Voraussetzung ist [5–8, 14, 15].

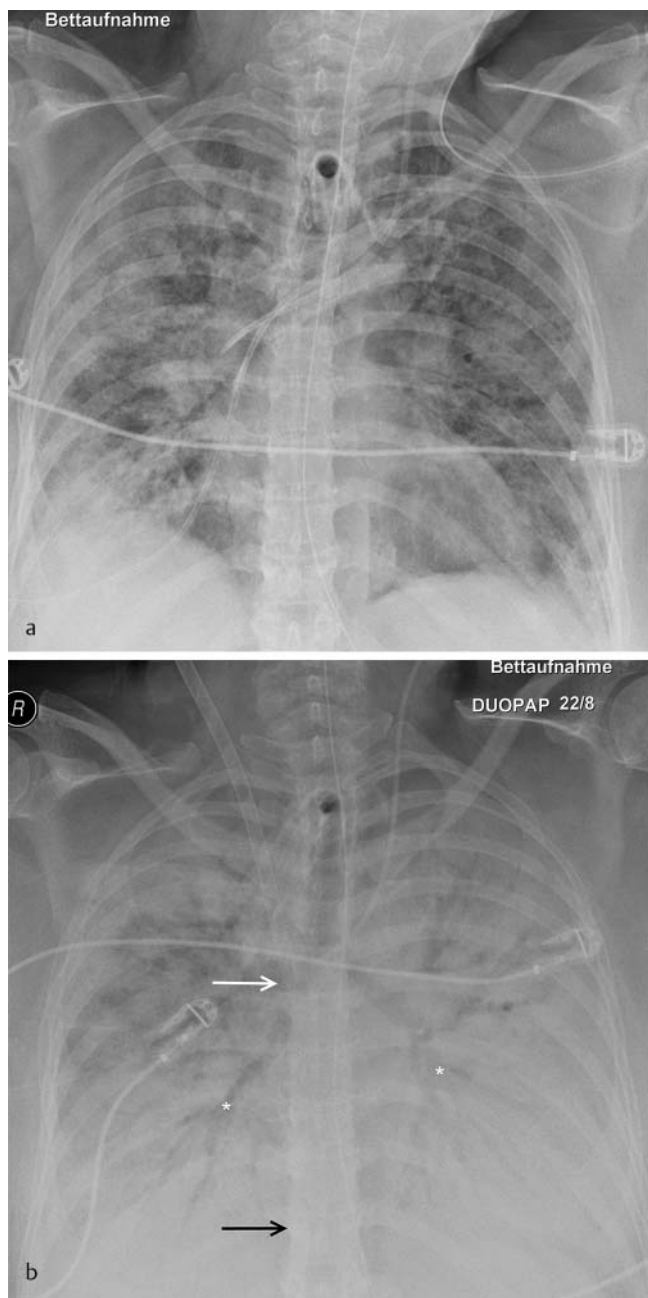
Die venöse Entnahmekanüle wird bei der femoroatrialen ECMO transfemorale in der Vena cava inferior idealerweise unterhalb der Einmündung der Lebervenen positioniert. Ihr Durchmesser – bei Erwachsenen meist zwischen 21 und 29 French – bestimmt die maximal erreichbare Flussrate, die üblicherweise um 60 ml/kg KG/min (Kinder um 80 ml/kg KG/min, Neugeborene um 100 ml/kg KG/min) beträgt. Die Rückleitung erfolgt über die Vena cava superior in den rechten Vorhof. Bei der femorofemorale Variante wird die Entnahmekanüle in der distalen Vena cava inferior positioniert. Die Rückleitung erfolgt über die ipsi- oder kontralaterale Vena femoralis in den rechten Vorhof. Bei beiden Varianten ist darauf zu achten, dass die Spitze der Rückleitungskanüle in Richtung der Trikuspidalklappe zeigt, sodass eine Rezirkulation des Blutes

über den extrakorporalen Kreislauf minimiert wird (► **Abb. 1**). Alternativ ist die Verwendung einer Doppellumenkanüle (13–31 Fr) möglich, welche über die Vena jugularis interna und den rechten Vorhof mit der Spitze in der Vena cava inferior positioniert wird [6, 12, 13, 16, 17].

Extracorporeal Life Support (ECLS)

Bei therapierefraktärem kardialem Versagen oder kombiniertem Herz-Lungen-Versagen wird die venoarterielle Unterstützungssystemform zur Aufrechterhaltung der Systemperfusion angewendet; diese wird als ECLS-Therapie bezeichnet [10, 12, 13]. Als Synonym wird sowohl in der klinischen Routine als auch in der Literatur oft der Begriff der venoarteriellen ECMO-Therapie verwendet (va-ECMO).

Das venös drainierte, extrakorporal oxygenierte Blut wird unter Umgehung des Lungenkreislaufes in die Aorta zurückgeleitet. Der systemische Blutfluss setzt sich somit aus dem extrakorporalen ECLS-Volumen und der Auswurffraktion des linken Ventrikels zusammen [5, 6]. Bei schlechter pulmonaler und kardialer Funktion wird das Sauerstoffangebot im Aortenbogen, den Koronararterien und den supraaortalen Gefäßästen eingeschränkt und kann durch eine Erhöhung der ECLS-Flussrate optimiert werden. Aufgrund des erhöhten aortalen Widerstandes kann es jedoch hierdurch zu

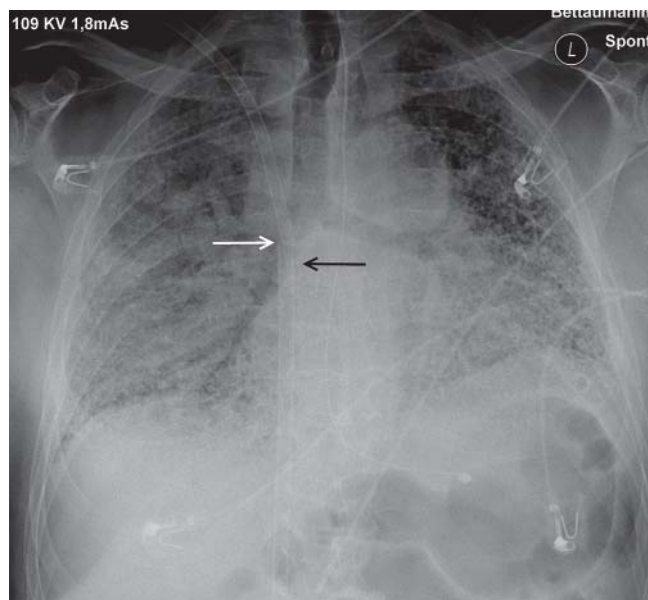


► **Abb. 3** Initiale Verschlechterung der pulmonalen Funktion nach ECMO-Anlage mit Ausbildung einer „White Lung“ **B**; Rückführungskanüle – weißer Pfeil, Entnahmekanüle – schwarzer Pfeil.

einer zunehmenden Beeinträchtigung der linksventrikulären Funktion kommen [1, 14].

Die ECLS kann sowohl peripher als auch zentral angeschlossen werden [7, 10, 12, 13, 16]:

Bei der peripheren ECLS erfolgt die venöse Entnahme aus der Vena cava inferior oder der Vena cava superior. Die Rückleitung des Blutes erfolgt in die Aorta, in der Regel retrograd über die Arteria femoralis mit Kanülenpositionierung in der Aorta thoracalis descendens; alternativ auch über die Arteria subclavia oder die Arteria axillaris. Geläufige Durchmesser der Rückleitungskanülen liegen zwischen 18 und 24 French.



► **Abb. 4** Femoroatriale ECMO mit Rezirkulation des Blutes bei Fehllage beider Kanülen im rechten Vorhof; Rückführungskanüle – weißer Pfeil, Entnahmekanüle – schwarzer Pfeil.

Bei der zentralen ECLS erfolgt die direkte operative Kanülenpositionierung im rechten Vorhof und der Aorta nach Thorakotomie; sie ist dementsprechend komplikationsträchtiger, führt aber zu einer maximalen kardialen Unterstützung (► **Abb. 2**).

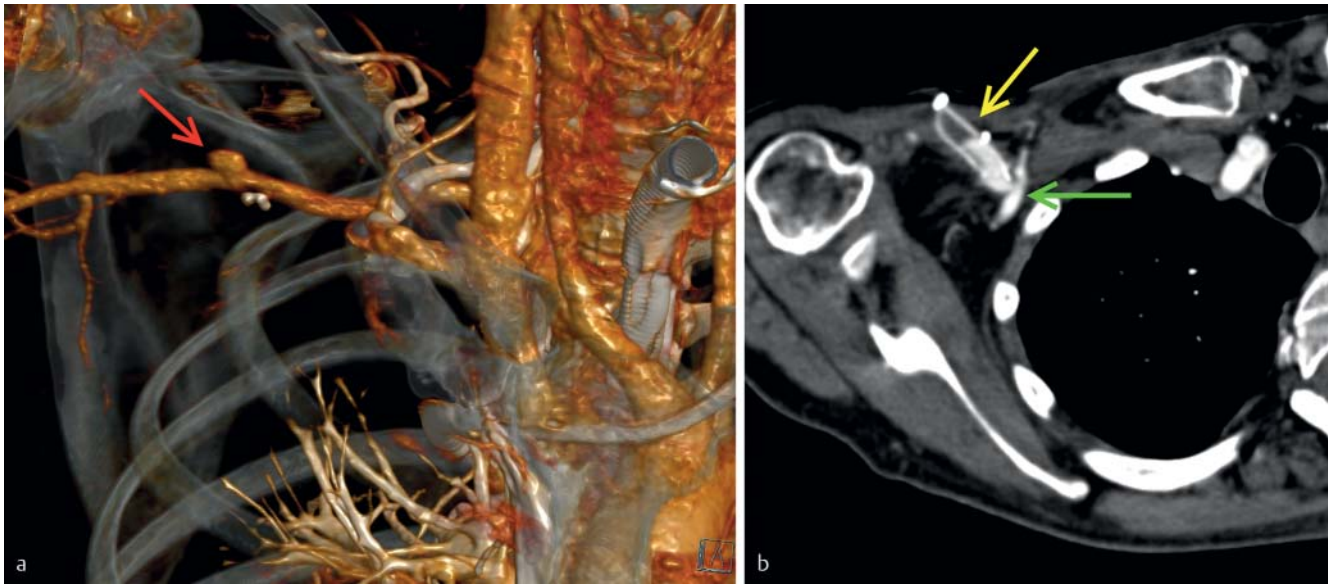
► **Tab. 1** fasst die klinisch relevanten Informationen von ECMO- und ECLS-Systemen zusammen.

Komplikationen

Die ECMO-/ECLS-Therapie ist mit einer hohen Mortalität vergesellschaftet, die in einer Metaanalyse zwischen 47 und 61 % angegeben wird [18]. Ob und in welchem Ausmaß diese auf den Allgemeinzustand des Patienten und dessen Komorbiditäten oder aber auf die technischen und therapieassoziierten Prozeduren zurückzuführen sind, bleibt unklar.

Systemische Reaktion auf die extrakorporalen Fremdoberflächen

In den ersten Tagen nach Anschluss der ECMO/ECLS kommt es aufgrund der kritischen Erkrankung des Patienten und des Kontaktes des Blutes mit der großen, nicht endothelialen Fremdoberfläche des extrakorporalen Systems zu einer systemischen komplementvermittelten inflammatorischen Reaktion und Aktivierung der Koagulation und Fibrinolyse [6, 7]. Dies kann sich in einer vermehrten Vasodilatation mit Pleuraergussbildung, Aszites und Anarsaka sowie einer Verschlechterung des akuten Lungenversagens äußern. Eine restriktive Flüssigkeitstherapie in den ersten Tagen verbessert die pulmonale Funktion. Projektionsradiografische Übersichtsaufnahmen des Thorax zeigen die initiale Verschlechterung der pulmonalen Funktion mit zunehmendem interstitiell-alveolärem Lungenödem bis zum Komplettbild der „White Lung“ (► **Abb. 3**); die klinische Untersuchung sowie eine



► **Abb. 5** Postoperative Komplikationen nach Entfernung der ECLS: Ausbildung eines Pseudoaneurysmas der A. subclavia (roter Pfeil) **A**; verbliebener, abgerissener arterieller Kanülenrest (gelber Pfeil) mit persistierender arterieller Fistel zur A. subclavia (grüner Pfeil) **B**.

Sonografie des Abdomens bestätigen Anasarka und Aszites [9, 19].

Bei den folgenden weiteren Risiken werden technische und patientenbedingte systemische Komplikationen unterschieden [9, 20].

Kanülenpositionierung

Bei Anlage der ECMO-/ECLS-Kanülen kann es zu einer Gefäßverletzung mit Dissektion oder Blutung kommen; lokale punktionsbedingte Komplikationen können in der Regel bettseitig sonografisch geklärt werden.

Kanülenlage

Die korrekte Lage der Kanülen wird projektionsradiografisch kontrolliert, sodass je nach Kanülierungsort sowohl Röntgen-Thorax als auch Abdomenübersichtsaufnahmen angefertigt werden müssen [16, 19].

Liegen bei der venovenösen ECMO beide Kanülen mit den Spitzen zu nah beieinander, fließt das Blut hauptsächlich über den extrakorporalen Kreislauf von einer Kanüle zur nächsten, sodass aufgrund der Rezirkulation der Lungenkreislauf überwiegend gering oxygeniertes Blut erhält und damit auch der Systemkreislauf [5, 13, 16, 17] (► **Abb. 4**).

Wird die arterielle Kanüle bei der ECLS in der Aorta ascendens positioniert, wird die Nachlast erhöht, sodass es zu einem linksventrikulären Pumpversagen kommen kann. Bei zu distaler Lage der arteriellen Kanüle in der Aorta descendens kann jedoch das Sauerstoffangebot der Koronararterien und der extra- und intrakraniellen Arterien reduziert sein [5]. Jede Änderung der Lageposition der kutan fixierten Kanülen in der Projektionsradiografie ist suspekt auf eine komplizierende Kanüendislokation [11, 16].

Nach erfolgreicher Therapie und Ausbau der ECLS-Systeme kann es komplizierend zu einer Pseudoaneurysmabildung im Bereich der ehemaligen arteriellen Punktionsstelle kommen. Als ä-

berst seltene Komplikation können abgerissene Schlauchanteile *in situ* verbleiben (► **Abb. 5**).

Thrombenbildungen im extrakorporalen System

Die häufigste mechanische Komplikation stellt die Thrombenbildung im extrakorporalen Kreislauf dar. Thromben bilden sich vor allem am Oxygenator oder an den Verbindungsstellen der Schläuche aus, insbesondere bei kontraindizierter systemischer Antikoagulation [5]. Durch die Thromben kann es zu einer Dysfunktion des Oxygenators kommen, die Thromben können jedoch auch in den System- oder Pulmonalkreislauf abgespült werden.

Seltene technische Komplikationen

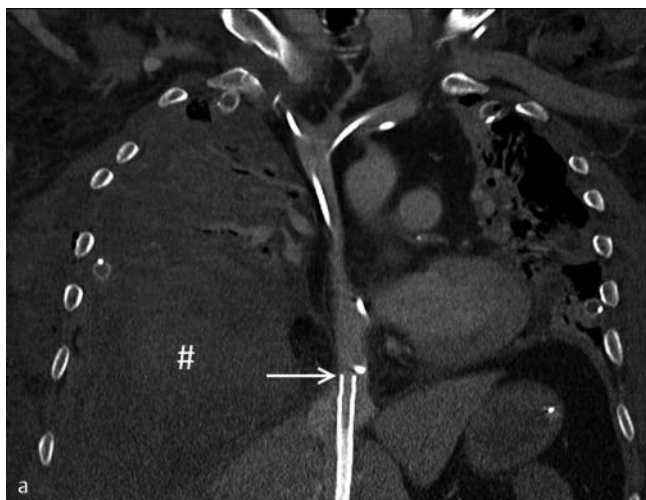
Ein technisches Versagen des Membranoxygenators bei zunehmender Thrombosierung oder der Pumpe können insbesondere bei langer Therapiedauer auftreten, sodass ein Komponentenaustausch notfallmäßig erfolgen muss [5, 20].

Extremitätenischämie

In Abhängigkeit des Durchmessers der implantierten arteriellen Kanüle kann es zu einer Ischämie der abhängigen Extremitätenabschnitte kommen; zur Prophylaxe kann eine zusätzliche arterielle Kanüle zur Perfusion der distalen Abschnitte eingebracht werden [5, 19]. Zudem ist das Risiko eines arteriellen Gefäßverschlusses mit zunehmendem Appositionsthrombus insbesondere auf dem Boden einer vorbestehenden Arteriosklerose erhöht. In einer Metaanalyse werden vaskuläre Komplikationen mit Extremitätenischämien in bis zu 17 % der Patienten beschrieben [21].

Blutungen

Blutungskomplikationen stellen die häufigsten Komplikationen bei einer ECMO-/ECLS-Therapie dar [9, 11, 15]. Die Ursachen sind dabei multifaktorieller Genese. Intensivpatienten an sich weisen ein Ungleichgewicht zwischen pro- und antikoagulatorischen Fak-



► **Abb. 6** Blutungskomplikationen mit Hämatothorax (#) **A** sowie retroperitonealem Hämatom (*) unter ECMO- bzw. ECLS-Therapie **B**; Entnahmekanüle – weißer Pfeil.

toren auf, so kommt es z. B. zum Vorliegen einer Thrombozytopenie. Der angeschlossene extrakorporale Kreislauf führt zu einer Thrombozytenaktivierung, einer inflammatorischen Reaktion sowie zu einem Verbrauch der Gerinnungsfaktoren und kann in einer disseminierten intravasculären Gerinnung (DIC) enden; komplizierend ist auch eine Hämolyse möglich. Zur Vermeidung von Embolien ist eine systemische Antikoagulation erforderlich. Die implantierten venösen und/oder arteriellen Gefäßzugänge weisen zudem einen großen Durchmesser auf [7]. Kanülenassoziierte Blutungen können einen Hinweis auf Lockerung oder Dislokation der Kanülen geben; häufig treten Sickerblutungen aus Kutan- oder Subkutangefäßen auf [15].

Primär erfolgt eine sonografische Abklärung auf der Intensivstation. Fatale Blutungen können ubiquitär auftreten. Ein gehäuftes Auftreten postoperativer Blutungen, insbesondere nach Thorakotomie, wird beobachtet [15]. Intrazerebrale Blutungen sind in der Regel ausgedehnt, sodass notfallmäßige neurochirurgische Operationen erforderlich werden. Spontane Einblutungen in pa-



► **Abb. 7** Bilaterale Pulmonalarterienembolien (weiße Pfeile) unter ECMO-Therapie.

renchymatöse Organe, Thorax oder Peritoneum werden beobachtet (► **Abb. 6**). Gastrointestinale Blutungen treten bei Ösophagitis, Gastritis oder gastroduodenalen Ulzera auf, sodass eine Stressprophylaxe auf Intensivstation wichtig ist. Schleimhautverletzungen im Rahmen der Intensivtherapie, z. B. bei Anlage einer Ernährungssonde oder Trachealkanüle, können Blutungen verursachen. Häufig ist zur Abklärung der Blutungskomplikationen eine Computertomografie erforderlich und eine absolute Notfallindikation [7].

Venöse Thrombembolien

Das Risiko der Thrombenbildung ist unter ECMO-/ECLS-Therapie aufgrund der oben geschilderten inflammatorischen Reaktion mit Aktivierung der Gerinnungskaskade erhöht [7]. Thromben können sich im extrakorporalen Kreislauf bilden (s. o.), eine Thrombenbildung im venösen Gefäßsystem wird in bis zu 10% der Patienten beschrieben [18]. Das Abspülen der Thromben in den Systemkreislauf kann zu komplizierenden Pulmonalarterienembolien oder einem Schlaganfall führen (► **Abb. 7**). Die primäre Abklärung peripherer Thrombenbildungen erfolgt sonografisch. Zur Abklärung verschleppter Thromben in die Peripherie bzw. in die supraaortalen Gefäße wird die Computertomografie erforderlich. Die Therapie, z. B. eines ischämischen Schlaganfalls kann je nach betroffenem Gefäßabschnitt primär neuroradiologisch-interventionell mittels Thrombektomie erfolgen.

Linksherzinsuffizienz und aortale Stase

Bei eingeschränkter Linksherzfunktion kann es zu einer Stase des arteriellen Blutes im linken Ventrikel, dem linksventrikulären Ausflusstrakt und der Aorta ascendens kommen [22]. Ein echokardiografischer Ausschluss von Thromben ist aufgrund des oft postoperativ eingeschränkten Schallfensters erschwert, sodass eine Computertomografie zur weiteren Abklärung erforderlich ist. Aufgrund des möglichen Ausbleibens der Kontrastierung des linken Herzens kann jedoch auch der computertomografische Nachweis von Thromben erschwert sein.



► **Abb. 8** Pseudofüllungsdefekt der rechten A. subclavia (*) und der A. carotis bei arterieller ECLS-Kanüle in der A. subclavia rechts (roter Pfeil) (A – CT-Angiografie, B – konventionelle Angiografie), artifizell bedingte Minderperfusion der rechten Hemisphäre mit reduziertem CBF C.

Neurologische Komplikationen

Komplizierende neurologische Komplikationen treten gehäuft unter ECMO-/ECLS-Therapie auf, wobei die Inzidenz in der Literatur stark schwankt (8 – 50 %) [18, 23]. Das Langzeitergebnis für den Patienten wird durch die neurologischen Folgen eingeschränkt [23].

Aufgrund der systemischen Antikoagulation besteht ein erhöhtes Risiko für zerebrale Blutungen unter ECMO-/ECLS-Therapie. Zerebrale Infarkte entstehen auf dem Boden von thrombotischen oder Luftmikroembolien oder aber territorial aufgrund großer Thromben. Infolge einer schlechten kardialen Auswurfleistung oder einer therapiassoziierten Azidose ist die Entwicklung hypoxischer Hirnschäden möglich. Die weiterführende Abklärung mittels CT-Angiografie und CT-Perfusion kann in Abhängigkeit von der Kanülenlage bei der ECLS erschwert sein.

Organversagen

Eine häufige Komplikation stellt ein dialysepflichtiges Nierenversagen dar, welches mit bis zu 52 % angegeben wird [18]. Dies ist bei der intravenösen Kontrastmittelapplikation bei erforderlicher CT zu berücksichtigen. Ein komplizierendes Leberversagen wird bei bis zu 16 % der Patienten beobachtet.

Infektionen

Das Infektionsrisiko mit Ausbildung bakterieller Pneumonien (33 %) oder einer Sepsis (26 %) ist aufgrund der Gesamtsituation der oft schwer erkrankten Patienten unter Respiratortherapie erhöht [18].

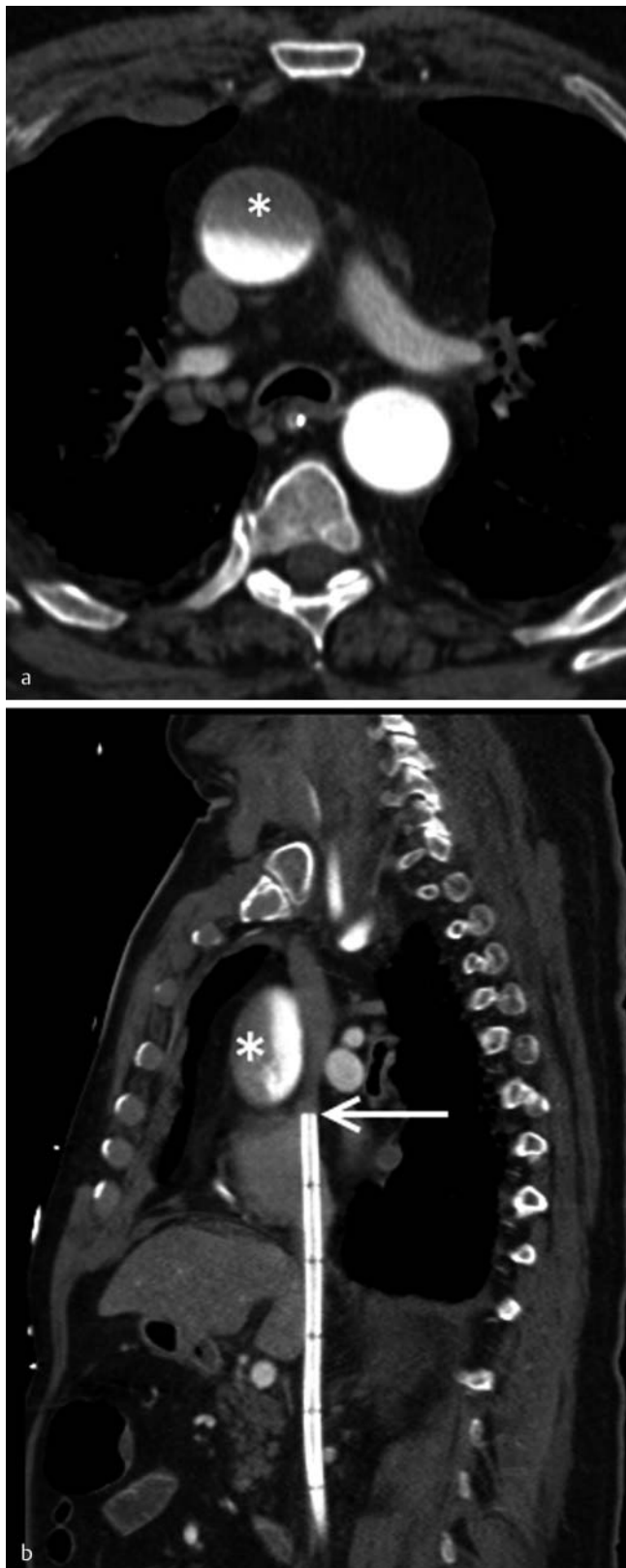
Bildgebung

Die initiale Kanülierung erfolgt bei venöser Kanülierung i. d. R. interventionell unter sonografischer Kontrolle, die periphere arterielle Kanülierung kann sowohl interventionell als auch chirurgisch erfolgen [18]. Die zentrale ECLS wird operativ im Rahmen einer Thorakotomie angeschlossen. Im weiteren Verlauf stellen Echo-kardiografie/Sonografie und Projektionsradiografie die Methoden der Wahl dar um die Kanülenpositionierung und kanülenassoziierte Komplikationen auf der Intensivstation abzuklären.

Bei der Computertomografie muss auf hämodynamische Veränderungen durch den extrakorporalen Kreislauf geachtet werden. Eine peripherenöse Kontrastmittelgabe im Abflussgebiet der venösen Entnahmekanüle sollte vermieden werden um Verdünnungseffekte durch Passage des ECMO- bzw. ECLS-Systems zu reduzieren. In der Regel erfolgt die Kontrastmittelinjektion bei Intensivpatienten daher über einen zentralvenösen Zugang.

Bei der venovenösen ECMO wird das oxygenierte Blut über den extrakorporalen Kreislauf antegrad in den rechten Vorhof geleitet und vermischt sich dort mit dem zentralvenös injizierten Kontrastmittel. Dieser unkontrastierte „Konkurrenzfluss“ kann durch eine Erhöhung des Kontrastmittelvolumens und der Kontrastmittelflussrate oder durch eine temporäre Reduktion der ECMO-Flussrate ausgeglichen werden. Um Unsicherheiten des Kontrastmitteltimings zu umgehen, ist ergänzend die Verwendung eines Bolus-Tracking-Mechanismus in der zu untersuchenden Körperregion möglich. Dabei sollte jedoch ein eventuell erforderlicher manueller Untersuchungsstart bei Nichterreichen des vorher definierten Schwellenwertes einkalkuliert werden [11, 14, 25, 26].

Unter Anwendung der venoarteriellen ECLS hängt die Gefäßkontrastierung von der erhaltenen kardialen Pumpfunktion ab [25 – 27]. Das oxygenierte Blut aus dem extrakorporalen Kreislauf wird in die Aorta zurückgeleitet. Das zentralvenös injizierte Kontrastmittel passiert bei noch (partiell) erhaltener kardialer Pumpfunktion hingegen den Lungenkreislauf und gelangt antegrad in die Aorta, sodass es zur Durchmischung zwischen kontrastiertem „venösem“ antegradem Blut und nicht kontrastiertem zurückgeleitetem extrakorporalem arteriellem Blut kommt. Ist die kardiale Pumpleistung jedoch soweit eingeschränkt, dass das Kontrastmittel bereits retrograd über die venösen Drainagekanülen in den extrakorporalen Kreislauf geleitet wird, bleibt eine Kontrastierung der distalen Pulmonalstrombahn sowie des linken Herzens aus. Das Kontrastmittel wird dann über den extrakorporalen Kreislauf direkt in das arterielle System geleitet. In der arteriellen CT-Phase können somit zusammengefasst folgende Kontrastierungsphänomene auftreten:



► **Abb. 9** Arterielle Pseudomembran mit Sedimentationsphänomenen (*) in der Aorta ascendens in der arteriellen Phase bei ECLS mit transfemorale arterielle Kanüle (weißer Pfeil) **A, B**.

Arterieller Pseudofüllungsdefekt

Bei erhaltener kardialer Pumpfunktion wird durch die retrograde Rückleitung des nicht kontrastierten arteriellen Blutes aus dem extrakorporalen Kreislauf die entsprechende Arterie komplett hypodens dargestellt, sodass ein Gefäßverschluss vorgetäuscht werden kann. Dies ist insbesondere bei Verdacht auf einen Schlaganfall zu berücksichtigen, da – z. B. bei Rückleitung in die rechte Arteria axillaris – u. U. ein Gefäßverschluss der Arteria carotis communis und Arteria vertebralis sowie in der CT-Perfusion ein Perfusionsdefizit vorgetäuscht werden können (► **Abb. 8**).

Arterielle Pseudomembran

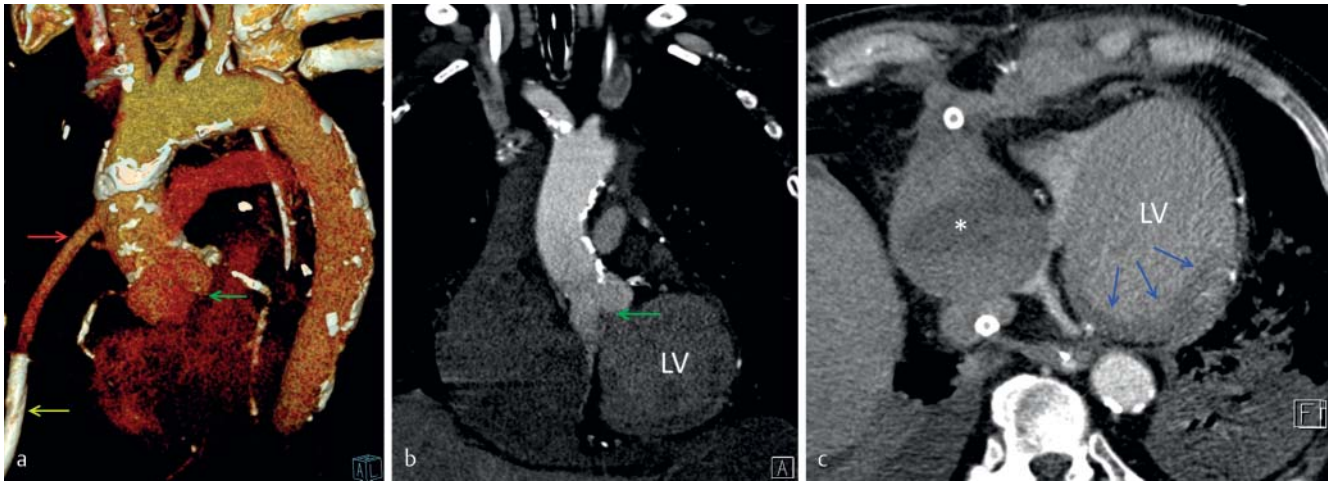
Wird der CT-Scan bei der peripheren ECLS gestartet bevor eine komplette Kontrastierung der linken Herzkammern erfolgt ist, kann es aufgrund der unterschiedlichen Dichte zwischen nicht kontrastiertem und kontrastiertem Blut zu einem Sedimentationsphänomen in der Aorta kommen, sodass eine Dissektionsmembran oder ein intramurales Hämatom vorgetäuscht wird [27]. Dieses Phänomen tritt speziell bei Rückleitung des Blutes in die Aorta descendens mit konsekutivem retrogradem Fluss in der Aorta ascendens auf (► **Abb. 9**). Dies ist somit insbesondere bei eingeschränkter kardialer Pumpfunktion und Bolustracking mit Lage der Region of Interest (ROI) in der Aorta thoracalis descendens zu berücksichtigen. In der venösen bzw. „späten“ Phase wird dieses Phänomen in Folge der Rezirkulation und Homogenisierung der Kontrastierung aufgehoben [11, 14, 27].

Kontrastierungsdefekt des linken Herzens und der Pulmonalstrombahn

Bei stark kompromittierter Herzfunktion muss ein hoher extrakorporaler venoarterieller Fluss die Systemperfusion aufrechterhalten. Aufgrund des hohen (retrograden) aortalen Widerstandes bleibt eine Kontrastierung des linken Herzens und gegebenenfalls auch der Pulmonalstrombahn aus (► **Abb. 10**). Das Kontrastmittel wird dabei mit dem venösen Blut über die Vena cava drainiert und direkt in die Aorta zurückgeleitet, sodass u. a. ein Pulmonalarterienembolieausschluss erschwert wird [11, 24 – 26].

Zur Vermeidung der arteriellen Kontrastierungsphänomene kann eine Reduktion des ECLS-Flusses der Pumpe oder eine komplette Pausierung durch den Kardiotechniker beitragen [9, 18, 25], sofern der klinische Zustand des Patienten dies für die Dauer der Untersuchung zulässt. Alternativ besteht die Möglichkeit das intravaskuläre Kontrastmittel direkt in die arterielle ECLS-Kanüle anschließend an den Membranoxygenator zu injizieren; aufgrund potenzieller Risiken wie z. B. Luftembolien ist dies nicht unkritisch zu sehen [11, 19]. Oftmals kann auch eine ergänzende Spätphase mit zwar schwächerer, aber homogener Kontrastierung die vorgenannten Phänomene als artifiziell entlarven; die hierbei höhere Strahlenexposition tritt gegenüber den Risiken der Akutsituation meist in den Hintergrund [14]. Darüber hinaus kann eine ergänzende Sonografie u. U. zur Klärung zwischen einem Artefakt oder einem Thrombus beitragen.

In seltenen Fällen kann eine diagnostische und therapeutische Angiografie zur weiteren Abklärung und Behandlung indiziert sein, wie z. B. im Rahmen der Schlaganfalldiagnostik und -therapie. Dabei kann es in Abhängigkeit von der Kanülierung ebenfalls



► **Abb. 10** Kontrastierungsdefekt des linken Herzens (grüner Pfeil) bei retrograder Kontrastierung der Aorta ascendens unter ECLS-Therapie **A, B** mit hohem extrakorporalem Fluss. Zudem komplizierendes perikardiales Hämatom mit Kompression des rechten Vorhofs und Ventrikels (*) sowie Myokardinfarkt (blaue Pfeile) **C**; Rückleitungs Kanüle – gelber und roter Pfeil.

zu Flussartefakten kommen, sodass auch hier ein arterieller Pseudofüllungsdefekt beobachtet werden kann und nicht als Gefäßverschluss fehlgedeutet werden sollte. Bei therapeutischen Eingriffen wird u. a. das Einbringen von Stents entgegen des arteriellen Flusses durch das extrakorporale System aufgrund der Gegenströmung erschwert, ein unbeabsichtigtes Abschwemmen des Devices muss vermieden werden.

Zusammenfassung

Durch die zunehmende Anzahl der ECMO-/ECLS-Therapien und den damit verbundenen Komplikationen wird die radiologisch-diagnostische Abklärung mittels Sonografie, Projektionsradiografie und Computertomografie an Bedeutung gewinnen. Dabei ist die Kenntnis der verschiedenen Kanülierungen und hämodynamischen Veränderungen für den Intensivmediziner, Kardiotechniker und Radiologen essenziell, um die Untersuchung interdisziplinär optimal zu planen und zu interpretieren.

Literatur

- [1] Hill JD, O'Brien TG, Murray JJ et al. Prolonged extracorporeal oxygenation for acute post-traumatic respiratory failure (shock-lung syndrome). Use of the Bramson membrane lung. *N Engl J Med* 1972; 286: 629–634
- [2] Peek GJ, Mugford M, Tiruvoipati R et al. Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet* 2009. DOI: 10.1016/S0140-6736(09)61069-2
- [3] Davies A, Jones D, Bailey M, Australia and New Zealand Extracorporeal Membrane Oxygenation (ANZ ECMO) Influenza Investigators et al. Extracorporeal Membrane Oxygenation for 2009 Influenza A(H1N1) Acute Respiratory Distress Syndrome. *JAMA* 2009. DOI: 10.1001/jama.2009.1535
- [4] ECMO Registry of the Extracorporeal Life Support Organization (ELSO). Ann Arbor, Michigan; January 2015
- [5] Allen S, Holena D, McCunn M et al. A review of the fundamental principles and evidence base in the use of extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) in critically ill adult patients. *J Intensive Care Med* 2011. DOI: 10.1177/0885066610384061
- [6] Sidebotham D, McGeorge A, McGuinness S et al. Extracorporeal membrane oxygenation for treating severe cardiac and respiratory failure in adults: Part 2 – Technical considerations. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2010. DOI: 10.1053/j.jvca.2009.08.002
- [7] Murphy DA, Hockings LE, Andrews RK et al. Extracorporeal Membrane Oxygenation – Hemostatic Complications. *Transfus Med Rev* 2014. DOI: 10.1016/j.tmr.2014.12.001
- [8] Brodie D, Bacchetta M. Extracorporeal Membrane Oxygenation for ARDS in Adults. *N Engl J Med* 2011. DOI: 10.1056/NEJMct1103720
- [9] Jepson SL, Harvey C, Entwisle JJ et al. Management benefits and safety of computed tomography in patients undergoing extracorporeal membrane oxygenation therapy: experience of a single centre. *Clin Radiol* 2010. DOI: 10.1016/j.crad.2010.05.007
- [10] Beckmann A, Benk C, Beyersdorf F et al. Position article for the use of extracorporeal life support in adult patients. *Eur J Cardiothorac Surg* 2011. DOI: 10.1016/j.ejcts.2011.05.011
- [11] Hosmane SR, Barrow T, Ashworth A et al. Extracorporeal membrane oxygenation: a radiologist' guide to who, what and where. *Clin Radiol* 2015; 70: DOI: 10.1016/j.crad.2015.01.006
- [12] Klüß C. Extrakorporale Membran Oxygenierung (ECMO) und Extrakorporales Life Support System (ECLS). *Intensiv-news* 2012; 4: 26–30
- [13] Dreizin D, Menaker J, Scalea TM. Extracorporeal membranous oxygenation (ECMO) in polytrauma: what the radiologist needs to know. *Emerg Radiol* 2015. DOI: 10.1007/s10140-015-1324-7
- [14] Liu KL, Wang YF, Chang YC et al. Multislice CT scans in patients on extracorporeal membrane oxygenation: emphasis on hemodynamic changes and imaging pitfalls. *Korean J Radiol* 2014. DOI: 10.3348/kjr.2014.15.3.322
- [15] Extracorporeal life Support Organisation. ELSO Guidelines General. 2013 <https://www.elseo.org/Portals/0/IGD/Archive/FileManager/929122ae88cusersshydocumentselsoguidelinesgeneralalleclsversi-on1.3.pdf>
- [16] Lee S, Chaturvedi A. Imaging adults on extracorporeal membrane oxygenation (ECMO). *Insights Imaging* 2014. DOI: 10.1007/s13244-014-0357-x

- [17] Abrams D, Bacchetta M, Brodie D. Recirculation in venovenous extracorporeal membrane oxygenation. *ASAIO J* 2015. DOI: 10.1097/MAT.000000000000179
- [18] Zangrillo A, Landoni G, Biondi-Zoccai G et al. A meta-analysis of complications and mortality of extracorporeal membrane oxygenation. *Crit Care Resusc* 2013; 15: 172–178
- [19] Lidegran MK, Ringertz HG, Frenckner BP et al. Chest and abdominal CT during extracorporeal membrane oxygenation: clinical benefits in diagnosis and treatment. *Acad Radiol* 2005; 12: 276–285
- [20] Müller T, Bein T, Philipp A et al. Extrakorporale Lungenunterstützung bei schwerem Lungenversagen des Erwachsenen. *Deutsches Ärzteblatt* 2013; 110: 159–166
- [21] Cheng R, Hachamovitch R, Kittleson M et al. Complications of extracorporeal membrane oxygenation for treatment of cardiogenic shock and cardiac arrest: a meta-analysis of 1866 adult patients. *Ann Thorac Surg* 2014. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2013.09.008
- [22] Hajj-Chahine J, Tomasi J, Languetot H et al. Ascending aortic thrombosis in a patient on extra-corporeal membrane oxygenation. *Eur J Cardiothorac Surg* 2010. DOI: 10.1016/j.ejcts.2009.10.006
- [23] Mateen FJ, Muralidharan R, Shinohara RT et al. Neurological injury in adults treated with extracorporeal membrane oxygenation. *Arch Neurol* 2011. DOI: 10.1001/archneurol.2011.209
- [24] Mehta A, Ibsen LM. Neurologic complications and neurodevelopmental outcome with extracorporeal life support. *World J Crit Care Med* 2013. DOI: 10.5492/wjccm.v2.i4.40
- [25] Auzinger G, Best T, Vercueil A et al. Computed tomographic imaging in peripheral VA-ECMO: where has all the contrast gone? *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2014. DOI: 10.1053/j.jvca.2013.06.027
- [26] Al-Ogaili Z, Foulner D, Passage J et al. CT pulmonary angiography during veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation in an adult. *J Med Imaging Radiat Oncol* 2013. DOI: 10.1111/j.1754-9485.2012.02413.x
- [27] Goslar T, Stankovic M, Ksela J. Contrast layering artefact mimicking aortic dissection in a patient on veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation undergoing computed tomography scan. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2015. DOI: 10.1093/icvts/ivv366