
ECMO

Daniel Räpple

ECMO

Ein Manual für die Intensivmedizin



Springer

Daniel Räpple
Internistische Intensivmedizin
Klinikum Stuttgart
Stuttgart, Deutschland

ISBN 978-3-662-66676-0 ISBN 978-3-662-66677-7 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-66677-7>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 2022

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung: Dr. Anna Krätz

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort

Die Entwicklungen im Bereich der extrakorporalen Reanimation (eCPR) und die COVID-Pandemie haben in den letzten Jahren in Deutschland flächendeckend zu einem deutlichen Anstieg von veno-arteriellen und veno-venösen ECMO-Verfahren geführt.

Während jeder ECMO-Therapie, sei sie als Herz-, Lungen-, oder Herz-Lungenersatz konzipiert, wird dem Anwender dabei immer wieder deutlich, wie wichtig es ist, neben den manuellen und technischen Herausforderungen einer ECLS- oder ECMO-Therapie sich auch eingehend mit den physiologischen Grundlagen der Hämodynamik und der Lungenfunktion, sowie deren pathophysiologischen Aspekte im kardiogenen Schock oder im Lungenversagen zu beschäftigen.

Deshalb ist es die Intention des ECMO-Manuals, ein graphisch orientiertes, pragmatisches Handbuch zur Planung, Implantation, Inbetriebnahme und Aufrechterhaltung der verschiedenen ECMO-Verfahren zu sein, zugleich aber auch allen den an einer erfolgreichen ECMO-Therapie beteiligten Berufsgruppen pathophysiologische Grundlagen zum Verständnis und der Steuerung der ECMO-Therapie an die Hand zu geben.

Wenige in den Grenzgebieten der Intensivmedizin angewendete Verfahren sind durch prospektive, randomisierte Studien zweifelsfrei belegt, im Bereich der Intensivmedizin können gar eine oder wenige Studien sozusagen "über Nacht" bisher empirisch etablierte Therapieverfahren als obsolet oder schädlich darstellen. Das Manual orientiert sich neben den aktuellen Leitlinien auf Studien und Reviews, aber es sind auch viele eigenen Erfahrungen aus Anwendung, Simulation und zahlreichen Diskussionen mit anderen ECMO-AnwenderInnen sowohl am Patientenbett, aber auch am Rande von Fortbildungen und Kongressen, mit eingeflossen.

Danken möchte allen Kolleginnen und Kollegen, die mit Rat und Tat in schwierigen Situationen der Anwendung, sowie mit konstruktiver Diskussion über die Hämodynamik und die Pathophysiologie des Schocks zu diesem Manual beigetragen haben. Stellvertretend für alle, die hier nicht genannt werden können, danke ich den Herren Dr. J. Heymer, PD Dr. D. Staudacher und Prof. Dr. T. Wengenmayer.

Mein besonderer Dank gilt meiner Familie, die mit viel Geduld und vor allem viel Zeit zu diesem Manual beigetragen hat.

Dr. med. Daniel Räpple
Stuttgart, im Dezember 2022

Inhaltsverzeichnis

Kapitelübersicht	1
Allgemeine Grundlagen	2
Begriffsklärung ECLS, ECMO, ECCO ₂ R und MCS	2
Physiologisches Funktionsprinzip	2
Typische ECLS/ECMO Konfigurationen	3
Allgemeiner Aufbau	3
Beispiele für gängige peripher implantierbare Konfigurationen	3
Physikalisches Funktionsprinzip	4
Physikalische Abstraktion eines ECLS-Systems	4
Fluss und Druck in einem ECLS-System	4
Das Prinzip der korrespondierenden Röhren	5
Physikalische Grundlagen der Kanülen	6
Die Kirchhoffschen Regeln in einer V-AV Konfiguration	6
Fluss-Druck-Kennlinien ("Pressure Drop")	6
Maastricht Nomenklatur	7
Maastricht Nomenklatur und Dokumentation	7
Grundlagen der Hämodynamik	8
Das integrative Kreislaufmodell	8
Die traditionelle Einteilung der Schockformen	8
Das integrative Kreislaufmodell	8
Missverhältnis zwischen Sauerstoffangebot (DO ₂) und Verbrauch (VO ₂) im Schock	8
Cytopathic Dysoxia	9
Hypothese: Laktat-Anstieg als Ausdruck eines DO ₂ /VO ₂ mismatches	9
Hyperlaktämie und metabolische Azidose	9
Therapierefraktäre Azidose und Cytopathic Dysoxia (Fink)	9
Das Konzept der Limitierungen	10
Phänotyp der Cytopathic Dysoxia (Fink)	10
Täglicher ATP-Umsatz	10
Das Konzept der primären Limitierung am Beispiel des DO ₂	10
Primäre und sekundäre Limitierungen	11
Das Konzept der sekundären Limitierung am Beispiel des Perfusionsdrucks	11
Synthese - Hämooostase	11
Übersicht über die vier primären Limitierungen	11
Die Hierarchie der Limitierungen	12
Hierarchie der Limitierungen	12
Horizontale Eingangszenarien in die Schockspirale	12
Die Schockspirale im integrativen Kreislaufmodell	13
Vertikale Abläufe in der Schockspirale	13
Mögliche Abwärtsspiralen	13

Kardiale Hämodynamik	16
Die Bedeutung des Perfusionsdrucks	16
Metabolische Limitierung infolge der eCPR	16
Die Bewertung des Perfusionsdrucks in der Therapie	16
Unterschied zwischen Pperf und MAD	16
Differenzierung der HZV-Limitierungen	17
Mögliche zugrunde liegende Ursachen einer HZV-Limitierung	17
Der Cardiac Power Output als sekundäre Limitierung	18
PV-Loop: Druck-/Volumenänderungen im LV	19
Vereinfachte Darstellung des linksventrikulären PV-Loops	19
Erweiterte Darstellung des linksventrikulären PV-Loops	19
PV-Loops im kardiogenen Schock	20
Vierfeldertafel nach Forrester	20
PV-Loop bei akuter kardialer HZV-Limitierung	20
PV-Loop nach Hinzunahme eines Vasopressors	20
PV-Loops unter pharmakologischer Therapie	21
PV-Loop nach Hinzunahme eines Inodilatators	21
Kombination Inodilatator + Vasopressor	21
Fluss und Druck im kardiogenen Schock	21
PV-Loop unter ECLS und PVAD	22
PV-Loops unter V-A ECMO	22
PV-Loop bei Hinzunahme eines PVAD	22
Fluss, Druck, Arbeit und Leistung im CS/LCOS	23
Differenzierte Betrachtung von Fluss, Druck, Arbeit und Leistung im CS/LCOS	23
Hämodynamisches Monitoring	25
Übersicht hämodynamisches Monitoring	25
Pulmonalkatheter/PAK: Grundlagen	26
Überlegungen vorab	26
Verlässlichkeit der HZV-Bestimmung	26
Begriffsklärung „Wedge“ vs. PAOP	26
„Overwedging“-Phänomen	26
Invasive ZVD-Messung	26
Pulmonalkatheter/PAK: Vorbereitungen	27
HZV-Messung/Thermodilution	27
Bestimmung Pulmonalvaskulärer Widerstand (PVR)	27
PAK-Schleuse einführen	27
Pulmonalkatheter/PAK: Durchführung	28
PA-Katheter vorbereiten und einschwemmen	28
PA-Katheter korrekt positionieren	28
Nicht-invasive HZV-Bestimmung	29
Überlegungen vorab	29
Echokardiographische HZV-Bestimmung im LVOT	29

Fehlerquellen bei der HZV-Bestimmung	30
Echokardiographische HZV-Bestimmung im RVOT	30
Berechnungsgrundlage und Fehlerquellen	30
Berechnung des systemvaskulären Widerstands	31
Berechnung des Cardiac Output	31
Abschätzung des RAP bzw. des ZVD	31
Erweiterte nicht-invasive Hämodynamik	32
Abschätzung RAP mittels Ultraschalluntersuchung der Vena Cava inferior (VCI)	32
Echokardiographische Abschätzung des pulmonalvaskulären Widerstands (PVR)	32
Abschätzung PCWP mittels TDI des Mitralklappenannulus (Nach Nagueh)	32
Bewertung des Mitralklappeneinstromprofils	33
Entstehung des Mitralklappeneinstromprofils	33
Interpretation des Mitralklappeneinstromprofils	33
Normwerte Hämodynamik	34
Dezelerationszeit (DT)	34
Anmerkungen zu den Normwerten der Hämodynamik	34
Beispielrechnungen zu SVR und CPO	35
Berechnung Systemvaskulärer Widerstand	35
Berechnung Cardiac Power Output (CPO) aus HZV	35
Berechnung CPO aus HZV und SVR	35
CPO unter Reanimation	35
Beispielrechnungen zu DO₂, VO₂ und v-aCO₂	36
Berechnung DO ₂	36
Berechnung VO ₂	36
Störgrößen bei der Betrachtung von S _v O ₂	36
Veno-arterielle CO ₂ Differenz	36
ECLS im kardiogenen Schock	38
Hämodynamische Parameter: Den kardiogenen Schock erkennen	38
Klinik des kardiogenen Schocks	38
SCAI-Klassifikation des kardiogenen Schocks	39
SCAI-Klassifikation Kardiogener Schock und klinische Translation	39
Eskalation auf ECLS/PVAD	39
Entscheidungsfindung im kardiogenen Schock	40
Bewertung des Verlaufs und Eskalation	41
Bewertung der konservativen Therapie im CS/LCOS	41
Indikationen zur Eskalation auf eine ECLS oder ein PVAD	41
Wahl des primären Unterstützungssystems	41
VIS (Vasoactive-Inotropic Score)	41
ECLS in der septischen Kardiomyopathie	44
ECLS im septischen Schock mit septischer Kardiomyopathie	44

eCPR - ECLS in extremis	45
Indikation eCPR	45
Entscheidungsfindung eCPR	45
eCPR in der ERC-Leitline	45
„Risiko-Nutzen-Abwägung“ eCPR vs. konventionelle Reanimation	45
eCPR - Bedeutung der ausserklinischen Performance	46
„The ART“ of eCPR - Bedeutung der außerklinischen Performance	46
„The Golden Hour of eCPR“ beim ausserklinischen Herzkreislaufstillstand (OHCA)	46
eCPR beim innerklinischen Herzkreislaufstillstand (IHCA)	46
Positiv- und Negativkriterien eCPR	47
Informationen aus der Präklinik: „Black Box“ präklinische Reanimation	47
eCPR - Übernahme des Patienten	48
Vorbereitungen vor Eintreffen im Cardiac Arrest Team	48
Übernahme des Patienten vom Notarzt/Rettungsdienst durch das eCPR-Team	48
Cardiac Arrest Team - Aufstellung während der Kanülierung - Mikroteams	48
Bedeutung der innerklinischen Performance	49
Zeit vom Eintreffen bis Reperfusion	49
Zeit von Reperfusion bis PCI/Therapie	49
eCPR - Priorisierung der Bildgebung	50
Trotz eCPR: Rasch diagnostizierbare (eFAST) Ursachen nicht übersehen	50
Priorisierung PCI vs. Bildgebung	50
eCPR - Zugangsmanagement	51
Enge Absprache im eCPR Team bezüglich des Zugangsmanagements	51
Bedeutung einer differenzierten Zugangsplanung	51
V-A ECMO	53
V-A ECMO - Kanülenkunde	53
Arterielle „Single Stage“ und venöse „Multi-Stage“ Kanülen	53
Reihenfolge der Anlage der Kanülen	53
Venöse „Multi-Stage“ und „2-Stage“ Kanülen	53
Klemmen der Kanülen	53
V-A ECMO - Punktion der Leistengefäße	54
Vorbereitung Material zur Punktion	54
Punktion der Leistengefäße	54
V-A Kanülierung - Drähte	55
Anlage der passageren Schleuse	55
Vorschlieben der J-Drähte und Wechsel auf Stiff-Drähte	55
V-A Kanülierung - Schleusen und Dilatatoren	56
Über die Verwendung von Schleusen	56
Dilatation und Korrekte Verwendung der Dilatatoren	56
V-A Kanülierung - arterielle Kanüle	57

Sicherheitsaspekte bei der V-A Kanlierung	59
Sichere Darstellung der Drähte	59
Sicheres Aufschieben der Schläuche auf die Konnektoren	59
Zug- und Führungssicherung	59
Sicherung der Kanülen	60
Sicherung an der Einstichstelle (optional)	60
Sicherung mittels Naht an den Kabelbindern	60
Fixierung mit Halteplatte	60
Y-Konnektor mit Luer-Anschluss ("Y-Konnektor LL Regensburg")	60
Antegrade Beinperfusion	61
Antegrade Schleuse zur ipsilateralen antegraden Beinperfusion	61
NIRS-Monitoring der distalen Perfusion	61
Cross-Over-Bypass zur distalen Beinperfusion	62
Cross-Over-Bypass bei beidseitiger Beinischämie	62
Unmittelbarer Anschluss der V-A ECMO	64
Verwendung vorgeprimter Systeme	64
Bewertung der Kanülenlage nach dem Anschluss	64
Hinweise auf eine korrekte V-A Kanülenlage	64
Troubleshooting nach Anschluss	65
Korrektur Kanülenfehlage nach dem Anschluss	65
CAVE Sweep-Gas-Fluss in der Initialphase	65
Erste Defibrillation nach Reperfusion bei persistierendem Kammerflimmern	65
Maximaler Fluss in der Initialphase	66
Fluss in der Initialphase der ECLS: LV-Nachlast vs. Fluss	66
Die Phasen der ECLS: Initialphase und Stabilisierungsphase	67
Die Phasen der ECLS: Weaningphase und chronische Phase	68
Phasenabhängige Komplikationen	69
ECLS und PVAD-Fluss in den Phasen der ECLS	69
Surrogat-Ziele in der Initialphase der V-A ECMO	70
Oxygenierung und Decarboxylierung mittels Sweepgas	70
Einstellung Sweepgas am Blender	70
Zielgröße initialer Fluss	70
Surrogat-Ziel-Parameter V-A ECMO	70
Katecholamintherapie an der V-A ECMO	71
Rescue-Therapien bei Vasoplegie (individuelle Heilversuche)	71
Inotrope Rescue-Therapien	71
Antikoagulation an der V-A ECMO	73
Antikoagulation mit unfaktorisiertem Heparin	73
Blutentnahmen an der V-A ECMO	74
Antikoagulation bei bekannter HIT Typ II oder HIT Typ II-Diagnose im Verlauf	74
Regelmäßige Blutentnahmen an der ECMO	74
Bedarfsgerechte Blutentnahmen	74
Gerinnungsfaktoren bei Blutung	75

V-A ECMO - Alarme und Dokumentation	76
Alarmgrenzen V-A ECMO	76
Schwerwiegende Alarme	76
Kein Fluss - Fluss-Sensor prüfen	76
Luft-Blasen-Alarm bei kombinierten Fluss-Blasen-Sensoren	76
Dokumentation im PDMS	76
V-A ECMO - Heizung	77
Betrieb Heizung - Heater-(Cooler-)Unit oder Schlauchheizungen	77
Alternativer Zugang zur MAD-Messung	77
Alternativer Zugang A. radialis im Bereich der Tabatiere ("anatomical snuffbox")	77
Venöses Ansaugen	78
Erkennen einer venösen Ansaugproblematik ("Chugging")	78
Vermeiden venöses Ansaugen im Reperfusions-SIRS/„Leaky Bucket“	78
Der „Volumenstatus“ an der ECLS	79
Konnektionen im System zur Volumengabe im Notfall	79
Erweiterungen am ECLS-System während des laufenden Betriebs	79
Abstimmung von ECLS-FLuss und LV-Funktion	80
Abstimmung ECLS-Fluss und Auswurf	80
„Harlekin“-Phänomen (Differential Hypoxia)	81
Pathophysiologie des „Harlekin“-Phänomens (Differential Hypoxia)	81
„Harlekin“-Phänomen (Differential Hypoxia) erkennen	81
Ein „Harlekin“-Phänomen erkennen	82
Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten eines „Harlekin“-Phänomoms	83
Erweiterung von V-A auf V-AV ECMO	83
Indikation V-AV ECMO	83
Allgemeiner Aufbau V-AV ECMO	83
Kirchhoffsche Regeln in der V-AV ECMO	83
Praktische Durchführung V-AV ECMO	84
Erweiterung V-A auf VV-A ECMO	85
Indikation VV-A ECMO	85
VV-A ECMO mit zusätzlicher Pulmonalarterien (PA)-Drainage	85
Praktische Durchführung VV-A ECMO	86
Indikation Erweiterung um ein PVAD	88
Indikation und Timing der Hinzunahme eines PVAD zu LV-Unloading und -Venting	88
Funktionsprinzip PVAD	89
Distale Beinperfusion am PVAD	89
Abstimmung Fluss ECLS und PVAD	90
Antikoagulation beim PVAD	91
PVAD und Antikoagulation	91
Bicarbonat-basierte Purgelösung	91
Weaning der Mikroaxialpumpe und weitere Besonderheiten	91
Interpretation der Druck- und Motorstromkurven	92

V-A ECMO - Auswirkungen der Beatmung	94
Hämodynamik unter Beatmung und im Weaning	94
Beatmung an der V-A ECMO	95
Weaning der V-A ECMO	96
Weaning in Abhängigkeit der ECLS-Phasen	96
Algorithmus Weaning der V-A ECMO	97
Simulation ECMO-Off mittels kontrolliertem Backflow	97
Retransfusion und Abschluss der V-A ECMO	98
Retransfusion vor Abschluss	98
Explantation der Kanülen	98
Hypotonie an der V-A ECMO	100
Ursachen für eine Hypotonie, die nicht aus einer HZV-Limitierung resultieren	100
Hypoxie an der V-A ECMO	101
„Herzstillstand“ an der V-A ECMO	101
Komplikationen erkennen und beheben	102
Regelmäßige Sicht-Kontrollen	102
Blutungen an der Einstichstelle	102
Erschöpfter/thrombosierter Oxygenator	102
Thrombosierte Blutpumpe	102
Luft im System	103
Kanülendislokation +/- fulminante Luftembolie	103
Fulminante Luftembolie (patientenseits)	103
Pneumothorax/Pleuraergüsse während der V-A ECMO	103
Szenarien: geringer oder kein Fluss	104
Handkurbelbetrieb	105
Post Resuscitation Care nach eCPR	106
Prognostische Kriterien direkt nach Reanimation	106
Der NULL-PLEASE Score	106
Einleitende Überlegungen zum Targeted Temperature Management (TTM)	107
Analgesie und Sedierung in der Postreanimationsphase	107
Sedierung nach eCPR	108
Beatmung und Sedativa nach eCPR	108
„Delir-Therapie“ nach eCPR	108
Targeted Temperature Management (TTM)	108
Zeitlicher Ablauf TTM	108
Maßnahmen bei Shivering	108
Wiedererwärmung bei Hypothermie	108
TTM - Praktische Durchführung	109
Heater Unit vs. Heater-Cooler-Unit	109
Zusätzliches Temperaturmanagement nach eCPR: Thermokatheter	109
Implantation Thermokatheter	109
Prognostizierung nach eCPR	110
Ablauf Prognostizierung nach abgeschlossenem TTM	110
Interpretation der zur Prognostizierung erhobenen Befunde	110

GET - Gemeinsam(es) Entscheidung(s-) Treffen	111
Ausgangslage	111
Stufenmodell zur Relevanz von Entscheidungen	111
GET - Gemeinsam(es) Entscheidung(s-) Treffen	112
Ziele eines GET	112
Zeitlich begrenzter Therapieversuch „Time-Limited Trial, TLT“	112
CRM - eCPR Critical Resource Management	113
Critical Resource Management im Rahmen der eCPR	113
Kontinuierliche Verbesserung	114
“Tatsachenentscheidung” eCPR vs. Sicht “ex post”	114
IHA-Diagnostik nach eCPR	115
Der irreversible Hirnfunktionsausfall (IHA) an der V-A ECMO nach eCPR	115
V-V ECMO	118
Übersicht und Funktionsprinzip V-V ECMO	118
Einordnung der V-V ECMO	119
Indikation V-V ECMO	120
Indikation V-V ECMO	120
Indikation V-V ECMO in Anlehnung an die EOLIA-Kriterien	120
Kontraindikationen V-V ECMO	121
Kontraindikationen V-V ECMO in Anlehnung an die EOLIA-Kriterien	121
Abschätzung der Mortalität im ARDS nach der Lung Injury Score (Murray)	121
ECMO im CARDs	121
V-V ECMO im CARDs (COVID-19 associated ARDS)	121
Indikation V-V ECMO im CARDs	121
Indikationsstellung V-V ECMO im CARDs (COVID-19 associated ARDS)	122
Allgemeine Vorbereitungen V-V ECMO	124
Auswahl der Kanülen	124
Implantation einer jugulären, rückführenden Kanüle	124
Femoro-juguläre V-V Konfiguration	125
Implantation der femoralen, drainierenden Kanüle	125
Positionierung der Kanülen	126
Femoro-juguläre Konfiguration	126
Bi-femorale Konfiguration	126
V-V bicavale Dual-Lumen-Kanülen	127
Durchführung	127
Implantation der Dual-Lumen Kanüle beim wachen Patienten „Wach-ECMO“	128
Positionierung der Dual-Lumen Kanülen	129
Implantation der bi-cavalen Dual-Lumen Kanüle mittels TEE	129
Implantation der bi-cavalen Dual-Lumen Kanüle mittels TTE	129
Darstellung der bi-cavalen Dual-Lumen Kanüle im TTE	130
Pressure-Drop Verhalten der Dual-Lumen-Kanülen	130
Sicherung der femoralen Kanülen	131

Sicherung der jugulären Kanülen	132
Sicherung juguläre Single-Stage Kanüle	132
Sicherung juguläre Dual-Lumen Kanüle	132
V-V ECMO Initiierung	134
Einstellung Blender und Sweep-Gas	134
Bewertung der Kanülenlage nach dem Anschluss mittels der Farbe	134
Faktoren, die eine Rezirkulation fördern	134
V-V ECMO Einstellung der Beatmung	135
Beatmungsziele an der V-V ECMO	135
Supportive Therapie	135
V-V ECMO Weaning	136
Weaning von der Oxygenierung	136
Weaning von der Decarboxylierung	136
Antikoagulation an der V-V ECMO	138
Antikoagulation an der V-V ECMO	138
Antikoagulation mit unfractioniertem Heparin	138
Alternative Antikoagulation und Blutentnahmen	139
Antikoagulation bei bekannter HIT Typ II oder HIT Typ II-Diagnose im Verlauf	139
Regelmäßige Blutentnahmen an der V-V ECMO	139
Bedarfsgerechte Blutentnahmen an der V-V ECMO	139
V-V ECMO - Alarme und Dokumentation	141
Alarmgrenzen V-V ECMO	141
Kein Fluss - Fluss-Sensor prüfen	141
Luft-Blasen-Alarm bei kombinierten Fluss-Blasen-Sensoren	141
Dokumentation im PDMS	141
V-V ECMO - Hämodynamisches Monitoring	142
Komplikationen erkennen und beheben	143
Blutungen an der Einstichstelle	143
Erschöpfter/thrombosierter Oxygenator	143
Thrombosierte Blutpumpe	143
Luft im System	144
Kanülenlokation +/- fulminante Luftembolie	144
Fulminante Luftembolie (patientenseits)	144
Pneumothorax/Pleuraergüsse während der V-A ECMO	145
Blutungen nach Zug der Kanüle	145
Für den Notfall griffbereit halten	145
Notfallbetrieb mittels Handkurbel	145
REANIMATION Patient an der V-V ECMO	146
V-V spezifische Aspekte eines GET	147
Retransfusion der V-V ECMO	147

Allgemeine Aspekte ECLS/ECMO	148
ECMO - Systemwechsel	148
Praktische Durchführung	148
Explantation venöse Kanüle	149
Modifizierte „Z“-Naht	149
Femorale „Z“-Naht - Schematische Darstellung	149
Juguläre „Z“-Naht - Schematische Darstellung	149
Analogie Lunge - Oxygenator	150
Analogie zum Horovitz-Index, dem „Post-Oxy-Gas der Lunge“	150
„Prä-Oxy-BGA“	150
Bewertung der Leistung des Oxygenators	151
„Post-Oxy“-BGA	151
Drücke im ECMO-System	151
Optionale Besonderheiten im ECMO-System	152
„Post-Oxy-etCO ₂ “	152
„Isochromer Anschluss“ – CAVE: nur V-V ECMO	152
Sicheres Klemmen im ECMO System	153
Sicheres Klemmen des ECLS-Systems	153
Weitere Anwendungen des Y-Konnektors „Regensburg“	153
Besonderheiten - Integration einer RRT	154
Integration RRT - genereller Aufbau	154
Praktische Durchführung	154
IHA Diagnostik an der ECMO	155
Der irreversible Hirnfunktionsausfall (IHA) an der ECMO	155
Blutgasanalysen zur IHA-Diagnostik an der V-A ECMO	156
Einstellungen am Blender zur IHA-Diagnostik	156
Molekulare Autopsie	156
ECMO-Kreislauf-Infektionen	157
Infektionen und Sepsis an der ECMO	157
Manifeste ECMO Device-Infektionen	158
ECMO spezifische Massnahmen	158
Ernährung an der ECLS/ECMO	159
Kalorienziel in der Akutphase	159
Metabolische Intoleranz	159
Anpassung an eine metabolische oder enterale Intoleranz	160
Prokinetische Massnahmen an der ECLS/ECMO	161
Gängige Ernährungslösungen	161
Selektive Dekontamination des Verdauungstraktes (SDD)	162
Modell zur Translokation von PPM und MRGN-Entwicklung	162
Zusammensetzung der SDD-Präparationen	163
Surveillance	163

Übersicht Beispielformulare	165
Beispiel Anfrageformular V-V ECMO	166
Beispiel-Checkliste eCPR-Leader	167
Beispiel-Checkliste eCPR Position „D“	168
Beispiel-Checkliste eCPR Position „ABD“	169
Beispiel-Checkliste ECMO-Transport	170
Beispielformular Dokumentation außerhalb ITS	171
Beispielformular Asservierung DNA	172
Beispiel eCPR Flyer Präklinik	173
Beispiel Packliste eCPR Wagen	174
Beispielformular CIRS ECLS/ECMO	175

Abkürzungsverzeichnis

1#			L	
3/8"	Innendurchmesser ECLS-Schläuche		LA	Left Atrium, Linker Vorhof
4H/4T	"4Hs & HITS": Reversible Ursachen		LCOS	Low Cardiac Output Syndrom
A			Low-Flow	Zeit unter CPR mit geringem Fluss
ATP/ADP	Adenosin-Tri-Phosphat-Di-Phosphat		Ipm	Liter pro Minute
ARDS	Adult Respiratory Distress Syndrome		LUS	<i>Lung Injury Score</i>
ASR	Atraumatischer Schockraum		LV	Linker Ventrikel
B			LVV	Linksventrikuläres Volumen
BGA	Blutgasanalyse		LVAD	Linksventrikuläres Assist Device
BIVAD	Bi-Ventricular Assist Device,		LVOT	Linksventrikulärer Ausflusstrakt
BZ	Blutzucker		LVP	Linksventrikuläres Volumen
C			M	
CARDS	COVID-assoziiertes ARDS		M&M	Morbidity and Mortality (Konferenz)
C_aO_2	arterieller Sauerstoffgehalt		MAD	Mittlerer Arterieller Druck
CI	Cardiac Index, Herzindex		MCS	Mechanical Circulatory Support
CIRS	Critica Incident Reporting System		N	
CO	Cardiac Output, Herzzeitvolumen		No-Flow	Zeit unter CPR ohne sicheren Fluss
CPI	Cardiac Power Index		NSE	Neuronenspezifische Enolase
CPO	Cardiac Power Output		O	
CPR	Cardiopulmonary Resuscitation		Oxy	Oxygenator
CRRT	Continous Renal Replacement Therapy		P	
CVVH	Kont. venovenöse Hämofiltration		P/F-Ratio	Oxygenierungs- oder Horovitz-Index
D			PAK	Pulmonalkatheter
DO ₂	Delivery of O ₂ , Sauerstoffangbot		p_aO_2	arterieller Sauerstoffpartialdruck
E			p_{art}	Arterieller Abgabedruck der ECMO
ECLS	Extracorporeal Life Support		PAOP	Pulmonary artery occlusion pressure
ECMO	Extracorporeal Membrane Oxygenation		PAP	Pulmonalartierendruck
ECCO ₂ R	Extracorporeal CO ₂ -Removal		PCI	Perkutane Koronarintervention
eCPR	extrakorporael CPR		PCWP	Pulmonary Capillary Wedge Pressure
EF	Ejektionsfraktion		P_{δ}	Druckdifferenz in der Beatmung
eFAST	Sonographie bei Trauma		PIK	Peripheral Insertion Kit
EK	Erythrozytenkonzentrat		P_{perf}	Perfusionsdruck
etCO ₂	endexpiratorisches CO ₂		Purge	Spülösung für das PVAD
F			PVAD	Peripher impl. Unterstützungssystem
FFP	Fresh Frozen Plasma, Frischplasma		pven	Venöser Ansaugdruck/ "Sog"
"F", French	Innenmaß, 1F = 1/3 mmm		PV-Loop	Pressure/Volume Loop
G			PVR	Pulmonalvaskulärer Widerstand
GET	Gemeinsames Entscheidungstreffen		PVZ	Peripherer Venenzugang
H				
HDM	Herzdruckmassage			
HI	Herzindex, HZV auf KÖF indiziert			
HIT	Heparin-induzierte Thrombopenie			
HZV	Herzzeitvolumen			

R

RA	Rechtes Atrium, Rechter Vorhof
RAP	Rechtsatrialer Druck
RD/NA	Rettungsdienst/Notarzt
ROSC	Return of Spontaneous Circulation
rpm	Rounds per Minute
RV	Rechter Ventrikel
RVAD	Rechtsventrikuläres Assist Device
RVEDP	Rechtsventrikulärer enddiast. Druck
RVOT	Rechtsventrikulärer Ausflusstrakt
RRT	Renal Replacement Therapy

S

SCD	Sudden Cardiac Death
S_aO_2	Arterielle Sauerstoffsättigung
S_cVO_2	Zentralvenöse Sättigung
SEP	Somatosensibel Evozierte Potenziale
SLEDD	Slow extended daily dialysis
SV	Schlagvolumen
SVR	Systemvaskulärer Widerstand
S_vO_2	gemischt-venöse Sättigung
SVR	Systemisch vaskulärer Widerstand
Sweep	Spülgasfluss über den Oxygenator

T

TACO	Transfusion rel. acute cardiac overload
TAH	Total Artificial Heart, Kunstherz
TBVT	Tiefe Beinvenenthrombose
TK	Thrombozytenkonzentrat
TEE	Transösophageales Herz-Echo
TTE	Transthorakales Herz-Echo
TTM	Targeted Temperature Management

U

US	Ultraschall
----	-------------

V

VCI	Vena cava inferior
VCS	Vena cava superior
VEL	Vollelektrolytlösung
VF	Kammerflimmern
VO_2	Sauerstoffverbrauch
VT	Ventrikuläre Tachykardie
Vt	Tidalvolumen
VTI	Velocity Time Integral

Z

ZVD	Zentralvenöser Druck
ZVK	Zentraler Venenkatheter

Kapitelübersicht

Allgemeine Grundlagen	2-7
Grundlagen der Hämodynamik	8-15
Kardiale Hämodynamik	16-24
Hämodynamisches Monitoring	25-37
ECLS im kardiogenen Schock	38-44
eCPR - ECLS in extremis	45-52
V-A ECMO	53-117
V-V ECMO	118-147
Allgemeine Aspekte ECLS/ECMO	148-164
Beispielformulare	165-175