

---

ECMO

---

Daniel Räpple

# ECMO

Ein Manual für die Intensivmedizin

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 Kratz

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

<b>Kapitelübersicht</b>	<b>1</b>
<b>Allgemeine Grundlagen</b>	<b>2</b>
<b>Begriffsklärung ECLS, ECMO, ECCO<sub>2</sub>R und MCS</b>	<b>2</b>
Physiologisches Funktionsprinzip	2
<b>Typische ECLS/ECMO Konfigurationen</b>	<b>3</b>
Allgemeiner Aufbau	3
Beispiele für gängige peripher implantierbare Konfigurationen	3
<b>Physikalisches Funktionsprinzip</b>	<b>4</b>
Physikalische Abstraktion eines ECLS-Systems	4
Fluss und Druck in einem ECLS-System	4
<b>Das Prinzip der korrespondierenden Röhren</b>	<b>5</b>
<b>Physikalische Grundlagen der Kanülen</b>	<b>6</b>
Die Kirchhoffschen Regeln in einer V-AV Konfiguration	6
Fluss-Druck-Kennlinien ("Pressure Drop")	6
<b>Maastricht Nomenklatur</b>	<b>7</b>
Maastricht Nomenklatur und Dokumentation	7
<b>Grundlagen der Hämodynamik</b>	<b>8</b>
<b>Das integrative Kreislaufmodell</b>	<b>8</b>
Die traditionelle Einteilung der Schockformen	8
Das integrative Kreislaufmodell	8
Missverhältnis zwischen Sauerstoffangebot ( $DO_2$ ) und Verbrauch ( $VO_2$ ) im Schock	8
<b>Cytopathic Dysoxia</b>	<b>9</b>
Hypothese: Laktat-Anstieg als Ausdruck eines $DO_2/VO_2$ mismatches	9
Hyperlaktatämie und metabolische Azidose	9
Therapierefraktäre Azidose und Cytopathic Dysoxia (Fink)	9
<b>Das Konzept der Limitierungen</b>	<b>10</b>
Phänotyp der Cytopathic Dysoxia (Fink)	10
Täglicher ATP-Umsatz	10
Das Konzept der primären Limitierung am Beispiel des $DO_2$	10
<b>Primäre und sekundäre Limitierungen</b>	<b>11</b>
Das Konzept der sekundären Limitierung am Beispiel des Perfusionsdrucks	11
Synthese - Hömoostase	11
Übersicht über die vier primären Limitierungen	11
<b>Die Hierarchie der Limitierungen</b>	<b>12</b>
Hierarchie der Limitierungen	12
Horizontale Eingangsszenarien in die Schockspirale	12
<b>Die Schockspirale im integrativen Kreislaufmodell</b>	<b>13</b>
Vertikale Abläufe in der Schockspirale	13
Mögliche Abwärtsspiralen	13

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

<b>Fehlerquellen bei der HZV-Bestimmung</b>	<b>30</b>
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
<b>Erweiterte nicht-invasive Hämodynamik</b>	<b>32</b>
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
<b>Bewertung des Mitralklappeneinstromprofils</b>	<b>33</b>
Entstehung des Mitralklappeneinstromprofils	33
Interpretation des Mitralklappeneinstromprofils	33
<b>Normwerte Hämodynamik</b>	<b>34</b>
Dezelerationszeit (DT)	34
Anmerkungen zu den Normwerten der Hämodynamik	34
<b>Beispielrechnungen zu SVR und CPO</b>	<b>35</b>
Berechnung Systemvaskulärer Widerstand	35
Berechnung Cardiac Power Output (CPO) aus HZV	35
Berechnung CPO aus HZV und SVR	35
CPO unter Reanimation	35
<b>Beispielrechnungen zu DO<sub>2</sub>, VO<sub>2</sub> und v-aCO<sub>2</sub></b>	<b>36</b>
Berechnung DO <sub>2</sub>	36
Berechnung VO <sub>2</sub>	36
Störgrößen bei der Betrachtung von S <sub>v</sub> O <sub>2</sub>	36
Veno-arterielle CO <sub>2</sub> Differenz	36
 <b>ECLS im kardiogenen Schock</b>	 <b>38</b>
Hämodynamische Parameter: Den kardiogenen Schock erkennen	38
Klinik des kardiogenen Schocks	38
<b>SCAI-Klassifikation des kardiogenen Schocks</b>	<b>39</b>
SCAI-Klassifikation Kardiogener Schock und klinische Translation	39
Eskalation auf ECLS/PVAD	39
<b>Entscheidungsfindung im kardiogenen Schock</b>	<b>40</b>
<b>Bewertung des Verlaufs und Eskalation</b>	<b>41</b>
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
<b>ECLS in der septischen Kardiomyopathie</b>	<b>44</b>
ECLS im septischen Schock mit septischer Kardiomyopathie	44

## eCPR - ECLS in extremis 45

Indikation eCPR	45
Entscheidungsfindung eCPR	45
eCPR in der ERC-Leitlinie	45
„Risiko-Nutzen-Abwägung“ eCPR vs. konventionelle Reanimation	45
<b>eCPR - Bedeutung der ausserklinischen Performance</b>	<b>46</b>
„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
<b>Positiv- und Negativkriterien eCPR</b>	<b>47</b>
Informationen aus der Präklinik: „Black Box“ präklinische Reanimation	47
<b>eCPR - Übernahme des Patienten</b>	<b>48</b>
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
<b>Bedeutung der innerklinischen Performance</b>	<b>49</b>
Zeit vom Eintreffen bis Reperfusion	49
Zeit von Reperfusion bis PCI/Therapie	49
<b>eCPR - Priorisierung der Bildgebung</b>	<b>50</b>
Trotz eCPR: Rasch diagnostizierbare (eFAST) Ursachen nicht übersehen	50
Priorisierung PCI vs. Bildgebung	50
<b>eCPR - Zugangsmanagement</b>	<b>51</b>
Enge Absprache im eCPR Team bezüglich des Zugangsmanagements	51
Bedeutung einer differenzierten Zugangsplanung	51

## V-A ECMO 53

<b>V-A ECMO - Kanülenkunde</b>	<b>53</b>
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
<b>V-A ECMO - Punktion der Leistengefäße</b>	<b>54</b>
Vorbereitung Material zur Punktion	54
Punktion der Leistengefäße	54
<b>V-A Kanülierung - Drähte</b>	<b>55</b>
Anlage der passageren Schleuse	55
Vorschieben der J-Drähte und Wechsel auf Stiff-Drähte	55
<b>V-A Kanülierung - Schleusen und Dilatatoren</b>	<b>56</b>
Über die Verwendung von Schleusen	56
Dilatation und Korrekte Verwendung der Dilatatoren	56
<b>V-A Kanülierung - arterielle Kanüle</b>	<b>57</b>

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

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

<b>V-A ECMO - Auswirkungen der Beatmung</b>	<b>94</b>
Hämodynamik unter Beatmung und im Weaning	94
<b>Beatmung an der V-A ECMO</b>	<b>95</b>
<b>Weaning der V-A ECMO</b>	<b>96</b>
Weaning in Abhängigkeit der ECLS-Phasen	96
<b>Algorithmus Weaning der V-A ECMO</b>	<b>97</b>
Simulation ECMO-Off mittels kontrolliertem Backflow	97
<b>Retransfusion und Abschluss der V-A ECMO</b>	<b>98</b>
Retransfusion vor Abschluss	98
Explantation der Kanülen	98
<b>Hypotonie an der V-A ECMO</b>	<b>100</b>
Ursachen für eine Hypotonie, die nicht aus einer HZV-Limitierung resultieren	100
<b>Hypoxie an der V-A ECMO</b>	<b>101</b>
<b>„Herzstillstand“ an der V-A ECMO</b>	<b>101</b>
<b>Komplikationen erkennen und beheben</b>	<b>102</b>
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
<b>Szenarien: geringer oder kein Fluss</b>	<b>104</b>
<b>Handkurbelbetrieb</b>	<b>105</b>
<b>Post Resuscitation Care nach eCPR</b>	<b>106</b>
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
<b>Sedierung nach eCPR</b>	<b>108</b>
Beatmung und Sedativa nach eCPR	108
„Delir-Therapie“ nach eCPR	108
<b>Targeted Temperature Management (TTM)</b>	<b>108</b>
Zeitlicher Ablauf TTM	108
Maßnahmen bei Shivering	108
Wiedererwärmung bei Hypothermie	108
<b>TTM - Praktische Durchführung</b>	<b>109</b>
Heater Unit vs. Heater-Cooler-Unit	109
Zusätzliches Temperaturmanagement nach eCPR: Thermokatheter	109
Implantation Thermokatheter	109
<b>Prognostizierung nach eCPR</b>	<b>110</b>
Ablauf Prognostizierung nach abgeschlossenem TTM	110
Interpretation der zur Prognostizierung erhobenen Befunde	110

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

<b>Sicherung der jugulären Kanülen</b>	<b>132</b>
Sicherung juguläre Single-Stage Kanüle	132
Sicherung juguläre Dual-Lumen Kanüle	132
<b>V-V ECMO Initiierung</b>	<b>134</b>
Einstellung Blender und Sweep-Gas	134
Bewertung der Kanülenlage nach dem Anschluss mittels der Farbe	134
Faktoren, die eine Rezirkulation fördern	134
<b>V-V ECMO Einstellung der Beatmung</b>	<b>135</b>
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
<b>Antikoagulation an der V-V ECMO</b>	<b>138</b>
Antikoagulation an der V-V ECMO	138
Antikoagulation mit unfractioniertem Heparin	138
<b>Alternative Antikoagulation und Blutentnahmen</b>	<b>139</b>
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
<b>V-V ECMO - Alarme und Dokumentation</b>	<b>141</b>
Alarmgrenzen V-V ECMO	141
Kein Fluss - Fluss-Sensor prüfen	141
Luft-Blasen-Alarm bei kombinierten Fluss-Blasen-Sensoren	141
Dokumentation im PDMS	141
<b>V-V ECMO - Hämodynamisches Monitoring</b>	<b>142</b>
<b>Komplikationen erkennen und beheben</b>	<b>143</b>
Blutungen an der Einstichstelle	143
Erschöpfter/thrombosierter Oxygenator	143
Thrombosierte Blutpumpe	143
Luft im System	144
Kanülendislokation +/- 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
<b>REANIMATION Patient an der V-V ECMO</b>	<b>146</b>
<b>V-V spezifische Aspekte eines GET</b>	<b>147</b>
<b>Retransfusion der V-V ECMO</b>	<b>147</b>

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

<b>Übersicht Beispielformulare</b>	<b>165</b>
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

#			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	lpm	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	Linksvetrikulärer Ausflusstrakt
	BZ	Blutzucker	LVP	Linksventrikuläres Volumen
C			M	
	CARDS	COVID-assoziiertes ARDS	M&M	Morbidity and Mortality (Konferenz)
	C <sub>a</sub> O <sub>2</sub>	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	
	CVH	Kont. venovenöse Hämofiltration	P/F-Ratio	Oxygenierungs- oder Horovitz-Index
D			PAK	Pulmonalkatheter
	DO <sub>2</sub>	Delivery of O <sub>2</sub> , Sauerstoffangebot	p <sub>a</sub> O <sub>2</sub>	arterieller Sauerstoffpartialdruck
E			p <sub>art</sub>	Arterieller Abgabedruck der ECMO
	ECLS	Extracorporeal Life Support	PAOP	Pulmonary artery occlusion pressure
	ECMO	Extracorporeal Membrane Oxygenation	PAP	Pulmonalarteriendruck
	ECCO <sub>2</sub> R	Extracorporeal CO <sub>2</sub> -Removal	PCI	Perkutane Koronarintervention
	eCPR	extrakorporael CPR	PCWP	Pulmonary Capillary Wedge Pressure
	EF	Ejektionsfraktion	P <sub>delta</sub>	Druckdifferenz in der Beatmung
	eFAST	Sonographie bei Trauma	PIK	Peripheral Insertion Kit
	EK	Erythrozytenkonzentrat	P <sub>perf</sub>	Perfusionsdruck
	etCO <sub>2</sub>	endexpiratorisches CO <sub>2</sub>	Purge	Spüllösung für das PVAD
F			PVAD	Peripher impl. Unterstützungssystem
	FFP	Fresh Frozen Plasma, Frischplasma	pven	Venöser Ansaugdruck/ "Sog"
	"F", French	Innenmaß, 1F = 1/3 mm	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 <sub>a</sub> O <sub>2</sub>	Arterielle Sauerstoffsättigung
S <sub>c</sub> VO <sub>2</sub>	Zentralvenöse Sättigung
SEP	Somatosensibel Evozierte Potenziale
SLEDD	Slow extended daily dialysis
SV	Schlagvolumen
SVR	Systemvaskulärer Widerstand
S <sub>v</sub> O <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>	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