

Diplomarbeit

Präklinische extrakorporale CPR

Präklinische eCPR beim Herz-Kreislauf-Stillstand in der Schweiz?



Sven Pfander, RS 18-21

Eingereicht an der Höheren Fachschule
;medi | Zentrum für medizinische Bildung | Rettungssanität HF

Praktikumsbetrieb: Schutz und Rettung Bern

Bern, 07. Januar 2021

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort.....	4
1.1. Vorstellung des Autors	4
1.2. Verdankung.....	4
1.3. Gender-Hinweis	4
1.4. Abstract.....	4
2. Einleitung.....	5
2.1. Ausgangslage	5
2.2. Motivation der Themenwahl	5
3. Ziele und Fragestellung.....	6
4. Methodik und Material	6
4.1. Suchstrategie	6
4.2. Aufbau der Arbeit	6
4.3. Abgrenzung.....	6
5. Ergebnisse und Resultate	7
5.1. Begriffsdefinition ECMO, ECLS und eCPR.....	7
5.2. Geschichte der ECMO	8
5.3. Einsatzgebiet von ECMO / ECLS.....	8
5.3.1. Komponenten der ECMO / ECLS	9
5.3.2. Venö-Venöse ECMO (VV-ECMO)	10
5.3.3. Venö-Arterielle ECLS (VA-ECMO/ ECLS)	10
5.3.4. Arterio-venöse ECMO (AV-ECMO / pECLA)	11
5.4. Funktionsprinzip ECLS.....	11
5.4.1. Ziel der ECLS.....	12
5.5. ECLS in der Präklinik	13
5.5.1. Studienlage zu eCPR.....	14
5.5.2. Patientenauswahl.....	14
5.5.3. Vorteile der präklinischen eCPR	15
5.5.4. Nachteile der präklinischen eCPR	15
5.5.5. Personelle Voraussetzungen	16
5.5.6. Strukturelle Voraussetzungen	16
5.5.7. Kosten	17
5.5.8. Vorgehen der präklinischen eCPR.....	17
5.5.9. Transport unter ECMO.....	18
5.6. Situation in der Schweiz.....	19
5.6.1. Reanimationsregister Swiss Reca	20
5.6.2. Wie viele Leute qualifizieren sich?	20
5.6.3. Präklinisches eCPR-System für die Schweiz.....	21
6. Diskussion und Schlussfolgerung	23
6.1. Beantwortung der Fragestellung und Schlussfolgerung	23
6.1.1. Ethische Aspekte	23
6.2. Fazit und persönliche Stellungnahme	23
6.2.1. Ausblick.....	24
7. Quellenverzeichnisse	24
7.1. Literaturverzeichnis	24
7.2. Abbildungsverzeichnis	26

7.3. Videoverzeichnis	26
8. Anhänge	27
8.1. Selbstständigkeitserklärung	27
8.2. Glossar	28

1. Vorwort

1.1. Vorstellung des Autors

Mein Name ist Sven Pfander. Ich bin am 19. September 1996 in Solothurn geboren. Nach der obligatorischen Schulzeit absolvierte ich eine Berufslehre zum Fachmann Gesundheit EFZ. Kurz darauf durfte ich mich während knapp zwei Jahren als Offizier eines Sanitätszuges in Airolo beweisen. Die Zeit im Militär hat mich in meinen Kindheitsträumen vom Rettungssanitäter bestätigt und ich wusste von da an, dass ich diesen Beruf erlernen möchte.

Im Januar 2018 durfte ich schliesslich die Ausbildung zum Rettungssanitäter HF bei der Sanitätspolizei Bern starten. Ein Beruf, der mich jeden Tag aufs Neue fasziniert. Ich freue mich, meinem Ziel von einem kompetenten und verantwortungsbewussten Rettungssanitäter näher zu kommen und in Zukunft auch viele Erfahrungen sammeln zu dürfen.

1.2. Verdankung

Ich danke all jenen, die mich beim Verfassen dieser Diplomarbeit fachlich und persönlich unterstützt haben. Namentlich sind dies:

- Peter Oppliger, Mentor ;medi
- Dr. med. Tobias Fehr, ärztliche Leitung bei der Sanitätspolizei Bern
- Dr. med. Parick Schwab, ärztliche Leitung bei der Sanitätspolizei Bern
- Dr. med Gian Cajöri, Facharzt Anästhesiologie, Dozent ;medi
- Roman Burkart, Geschäftsführer Interverband für Rettungswesen (IVR)
- Dr. med Thomas Rielage, Facharzt Anästhesiologie

Weiter möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, welche mich während meiner gesamten Ausbildungszeit stets unterstützt haben.

1.3. Gender-Hinweis

Personenbezeichnungen beziehen sich auf alle Geschlechter.

1.4. Abstract

In Europa erleiden jährlich ca. 350'000 Patienten einen ausserklinischen Herz-Kreislauf-Stillstand (OHCA). In vielen Nationen ist es bereits gang und gäbe, präklinische extrakorporale kardiopulmonale Reanimation (eCPR) anzuwenden, wogegen in der Schweiz ein solches System noch weit entfernt ist.

Methodik

Es wurden Informationen von Fachpersonen aus Gesprächen eingeholt. Unter den Suchbegriffen: «ECMO», «präklinische eCPR», «ECLS» wurden Artikel und Fachzeitschriften für die Informationsbeschaffung verwendet.

Ergebnisse

Die «low-flow»-Zeit von mehr als 60 Minuten geht mit einem massiv schlechteren neurologischen Outcome hervor. Der Entscheid zum schnellstmöglichen Transport in die Zielklinik, bestenfalls Zentrumsspital mit Möglichkeit von eCPR, ist im Moment die bestmögliche Wahl, um einen guten Outcome anzustreben.

Diskussion

Im Moment sind noch sehr wenige Daten zum Thema, bezogen auf die Präklinik, vorhanden. Diverse Studien sind im Gange, welche in den nächsten Jahren ausgewertet werden. Momentan ist nach wie vor ein rascher Transport in die Klinik anzustreben, um dort allenfalls mit einem extrakorporalen Life Support zu beginnen. Der Verfasser geht davon aus, dass in den nächsten fünf Jahren ein präklinisches System, adaptiert für die Schweiz, getestet und allenfalls spezifisch eingesetzt wird.

Keywords: «Präklinische eCPR», «ECMO», «ECLS»

2. Einleitung

2.1. Ausgangslage

Jährlich erleiden in der Schweiz mehr als 8'000, und im gesamten europäischen Raum mehr als 350'000 Patienten einen ausserklinischen Herz-Kreislauf-Stillstand (OHCA). Eine kardiale Ursache wird mit mehr als 60% als die häufigste Ursache für einen Herz-Kreislauf-Stillstand angenommen. Selbst bei optimal funktionierender Rettungskette ist die Überlebensrate mit einem guten neurologischen Outcome, sowohl beim innerklinischen als auch beim ausserklinischen Herz-Kreislauf-Stillstand unter konventioneller kardiopulmonaler Reanimationsmassnahmen (CPR) sehr niedrig. Nur jeder zehnte Patient überlebt die Akutbehandlung eines ausserklinischen Kreislaufstillstandes. Von diesen Überlebenden kann sich nach Abschluss der Rehabilitation nur noch die Hälfte selbstständig versorgen.

Schon seit geraumer Zeit werden mechanische Reanimationshilfen im Rettungsdienst eingesetzt, wobei jedoch Studien gezeigt haben, dass sie die Prognosen für den Patienten nicht verbessern. Die Blutversorgung des Herzens und der lebenswichtigen Organe ist auch unter einer hochwertigen Herzdruckmassage längst nicht so effektiv, wie vor dem Herz-Kreislauf-Stillstand. Dass es dabei Handlungsbedarf gibt, ist einfach abzuleiten. (Supady, Wengenmayer, Bode, & Staudacher, 2016)

2.2. Motivation der Themenwahl

In der Schule sind uns während einer Lernsequenz mit einem Kardiotechniker diverse Herzunterstützungssysteme und insbesondere die extrakorporale Membranoxygenation (ECMO) näher gebracht worden. Meine Faszination galt von diesem Tag an dieser besonderen Therapiemethode und diesem Gerät.

Schon seit ein paar Jahren verfolgt die Universitätsklinik Bern in Korrelation mit den Rettungsdiensten ein innerklinisches System der extrakorporalen kardiopulmonalen Reanimation (eCPR). Es geht darum, Patienten mit Herz-Kreislauf-Stillstand, welche gewisse Kriterien erfüllen, möglichst rasch in das entsprechende Spital zu transportieren, um dort mit extrakorporalem Life Support (ECLS) weiter zu therapieren, sprich den Patienten an ein ECMO-Gerät anzuschliessen, um somit Zeit zu gewinnen.

Es dauerte nicht lange bis das Schicksal mich einholte. Ich wurde zu einem Einsatz eingesetzt, der mein Denken komplett verändert hat. Es ging um einen Herz-Kreislauf-Stillstand eines jungen Mannes. Die Chancen für den Patienten standen trotz optimaler Gegebenheiten nicht besonders gut, da wir ja wissen, dass nur ungefähr jeder zehnte Patient mit Herz-Kreislauf-Stillstand die Klinik wieder verlässt. Er wurde durch Laien suffizient reanimiert und der Einsatzort war auch nur knapp 500 Meter vom Inselspital entfernt. Dank einem schnellen Einsatz mit dem Ziel, extrakorporale kardiopulmonale Reanimation (eCPR) anzustreben, konnte dem Patienten schliesslich, durch die Überbrückung mit eCPR, die entsprechenden Gefässe wieder reperfundiert werden. Der Patient wohnt jetzt bei gutem Allgemeinzustand wieder zu Hause.

Wäre der Outcome für den selben Patienten, jedoch mit Einsatzort im Berner Oberland, gleich gewesen? Hat nicht jeder Patient Anspruch auf eine solche Therapie?

Im nahen Ausland, unter anderem Deutschland und Frankreich wird mittlerweile schon fast routinemässig, bei ausserklinischen Herz-Kreislauf-Stillständen (OHCA), auf die Therapie nach eCPR gesetzt und gemäss Aussagen der Kliniken mit Erfolg. Wieso ist das Thema präklinische eCPR in der Schweiz noch kein Thema? Studien zeigen auf, dass eine möglichst rasche Reperfusion eines verschlossenen Gefässes die bestmögliche Chance für einen guten neurologischen Outcome bietet. Meines Wissens wird mit einer frühzeitigen ECMO-Einlage genau dies angestrebt.

3. Ziele und Fragestellung

In dieser Arbeit wird aufgezeigt, was eine extrakorporale Membranoxygenation (ECMO) ist und wie extrakorporaler Life Support (ECLS) bei Patienten mit Herz-Kreislauf-Stillstand angewendet wird. Es wird eine genaue Nomenklatur durchgeführt. Der Verfasser möchte die Kosten und den Aufwand einer präklinischen eCPR analysieren und dabei herausfinden, ob sich ein solches System in der Schweiz etablieren könnte. Zudem möchte er aufzeigen, welche Patienten sich für die präklinische eCPR qualifizieren würden. Daraus möchte er Lösungsvarianten für den Einsatz eines schweizweiten präklinischen eCPR-System ausarbeiten.

4. Methodik und Material

4.1. Suchstrategie

Für das Verfassen der Arbeit wurden Informationen von Fachpersonen aus Gesprächen eingeholt. Weiter hat der Verfasser unter den Suchbegriffen: «ECMO», «präklinische eCPR», «ECLS» Artikel und Fachzeitschriften für die Informationsbeschaffung verwendet.

4.2. Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit ist eine Facharbeit für medizinisches Personal und beinhaltet daher Fachbegriffe, die in diesem Jargon verwendet werden.

Die extrakorporale Membranoxygenation (ECMO), Extrakorporaler Life Support (ECLS) und extrakorporale kardiopulmonale Reanimation (eCPR) sind in der Präklinik noch keine weit verbreiteten Begriffe. Der Verfasser will zu Beginn die Geschichte, die Anwendungsgebiete und die groben die Funktionen der ECMO erläutern. Anschliessend will er auf die Anwendung in der Präklinik (eCPR) eingehen. Als Hauptaspekt und zur Beantwortung der Fragestellung will er die Vorteile und Nachteile eines Einsatzes mit ECLS aufzeigen und dabei den Aufwand und die Kosten aufführen. Danach wird der Verfasser auf die aktuellen Statistiken des Schweizerischen Reanimationsregister (SWISS-RECA) eingehen und analysieren, wie viele Patienten von einem etablierten ECLS-System in der Schweiz profitieren würden. Daraus sollen schliesslich mögliche Anwendungsvarianten resultieren.

4.3. Abgrenzung

Grundlegend wird der Verfasser der Diplomarbeit auf das Einsatzgebiet der extrakorporalen Membranoxygenation bei therapierefraktärem Herz-Kreislauf-Stillstand eingehen. Auf folgende Themen wird nicht weiter eingegangen, da dies den Rahmen der Arbeit überschreiten würde:

- Einsatz der ECMO beim Lungenversagen
- ECMO-Einsatz bei Traumapatienten
- ECMO-Einsatz bei Hypothermie

5. Ergebnisse und Resultate

5.1. Begriffsdefinition ECMO, ECLS und eCPR

Wenn man von einer extrakorporalen Membranoxygenation (ECMO) spricht, handelt es sich um eine Art Herz-Lungen-Maschine, die eine Methode des extrakorporalen Organersatzes darstellt. Je nach Kanülierung kann die pulmonale Funktion und/oder die kardiale Funktion teilweise oder auch komplett übernommen werden. Die Nomenklatur der extrakorporalen

Unterstützungssysteme sind leider noch nicht vereinheitlicht. Gemäss der deutschen Gesellschaft für Kardiotechnik wird bei der pulmonalen Unterstützung, also egal wie auch das Gerät genannt wird, von extrakorporalen Membranoxygenation (ECMO) gesprochen.

Die Unterstützung oder Übernahme der kardialen Funktion wird als extrakorporaler-Life-support (ECLS) definiert. Die Hauptziele der Systeme beinhalten dasselbe, nämlich dem Patienten ein ausreichendes Herzzeitvolumen (HZV), sowie einen kompletten Gasaustausch ausserhalb des Körpers zu ermöglichen.

Die ECMO und ECLS sind heutzutage in der modernen Intensivtherapie etablierte Verfahren, die mittlerweile auch ausserhalb des herzchirurgischen Operationssaales einen Stellenwert bekommen haben. Ich spreche dabei vom Einsatz während Reanimationsversuchen. Wird eine ECLS während fortlaufender kardiopulmonaler Reanimation implantiert, wird dies als extrakorporale kardiopulmonale Reanimation (eCPR) definiert. Darauf wird in der Arbeit noch eingegangen. Das folgende Bild zeigt ein ECMO-Gerät, welches für eine eCPR benötigt wird. (Bauer, kein Datum)



Abb. 1 ECMO-Gerät (CardioHelp®) für den präklinischen Einsatz (Getinge.com)

Low-Flow-Zeit

Die Low-Flow-Zeit definiert die geringe Durchflussrate einer normalen mechanischen Reanimation. Eine Studie ergab, dass die Überlebensrate bei einer Low-Flow-Zeit von unter 60 Minuten bei maximal 40% liegt. Bei über 60 Minuten liegt sie nur noch bei maximal 20%. Die No-Flow-Zeit hingegen ist der Zeitrahmen, in der keine mechanischen Reanimationsmassnahmen getroffen werden.

(Singer, Reynolds, Lockey, & O'Brien, 2018)

5.2. Geschichte der ECMO

Die ersten Einsätze der extrakorporalen Membranoxygenation erfolgten in den 70er Jahren in den USA. Indikator hierzu war das akute Lungenversagen oder auch «acute respiratory distress syndrome» (ARDS).

Nach zunächst erfolglosen Studien, bedeutet keine Erfolgsnachweise, konnte letztendlich beim ARDS ein Benefit der ECMO nachgewiesen werden. Die ersten erfolgreichen Anwendungen in Deutschland wurden bei akuten Lungenversagen von Erwachsenen in den 70er und 80er Jahren an der Universität Düsseldorf, sowie bei Verbrennungen erstmals 1975 von Rommelstein und Birtel an der Klinik für Anästhesiologie der Universität Bonn durchgeführt. Die extrakorporale Membranoxygenierung (ECMO) wurde dann routinemässig in den 90er Jahren innerklinisch eingeführt, um bei Patienten mit schweren akuten Lungenerkrankungen die Oxygenierung und Decarboxygenierung des Körpers zu ermöglichen, wenn dies mit konventionellen Beatmungstechniken nicht mehr erreicht werden konnte. (Johann & Hoitz, 2018) (Extrakorporale Membranoxygenierung, kein Datum)

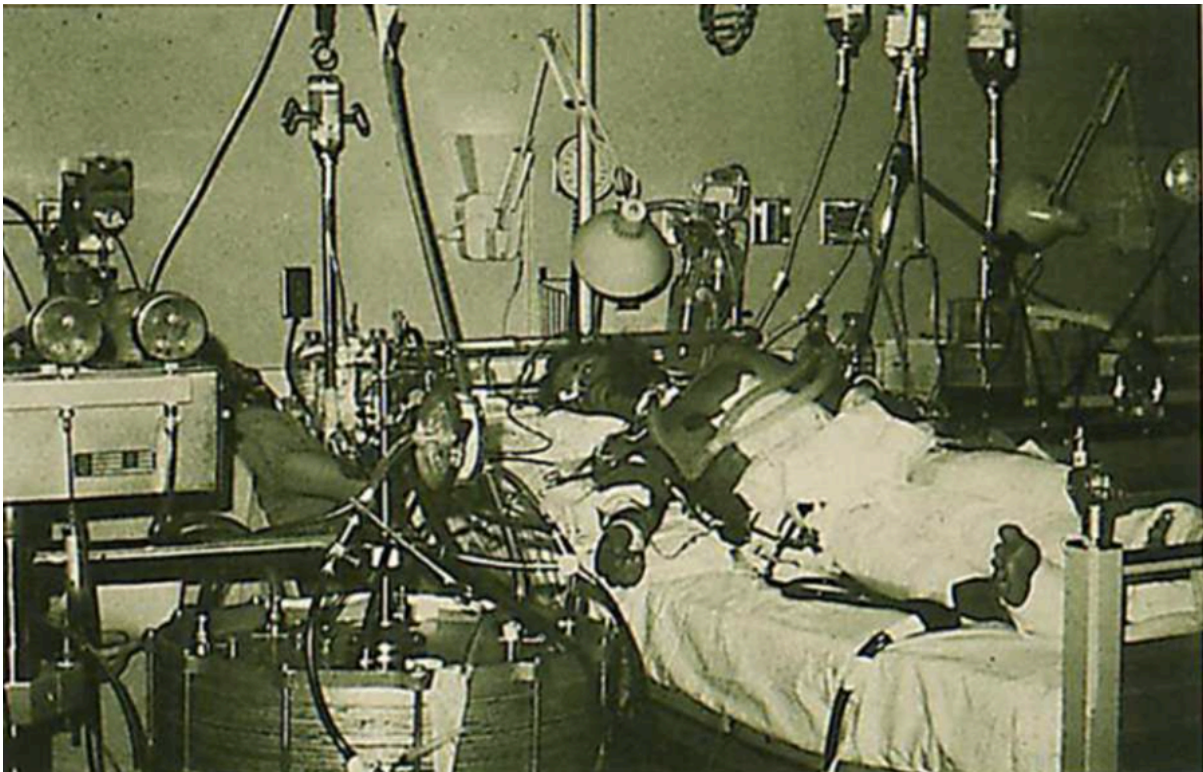


Abb. 2 ein junger Motorradfahrer erleidet ein stumpfes Trauma. Donald Hill und sein Team setzten 1971 erstmals erfolgreich einen Membranoxygenator für ECLS über drei Tage ein (Benk, 2014)

5.3. Einsatzgebiet von ECMO / ECLS

Auf dem Markt gibt es verschiedene Systeme für die Herz- und Lungenunterstützung. Markführer sind dabei SCPC®, Life Bridge® und Cardio Help®, siehe Abb. 1, welche aber alle samt nach dem gleichen Prinzip arbeiten. Bei den Herzunterstützungssystemen können noch zwei weitere Systeme, die Intra-aortale-Ballon-Pumpe (IABP) oder das Ventricular assist device (VAD) eingesetzt werden. Auf diese wird aber in der Arbeit nicht weiter eingegangen.

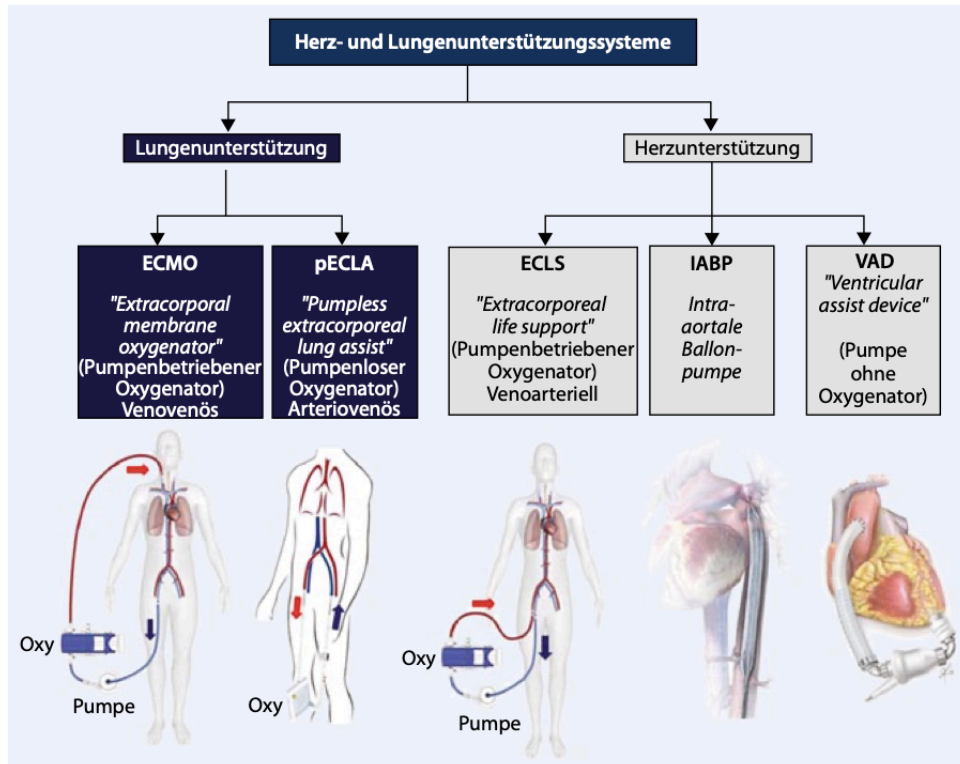


Abb. 3 Übersicht Herz- und Lungenunterstützungssysteme (Pilarczyk, Trummer, Jakob, Dusse, & Marggraf, 2013)

5.3.1. Komponenten der ECMO / ECLS

Um einen Einsatz des extrakorporalen Membranoxygenators zu etablieren sind vier essentielle Komponente vorausgesetzt: (Pilarczyk, Trummer, Jakob, Dusse, & Marggraf, 2013)

- Gefäßzugang - Kanülierung (zwei Kanülen für ECLS, eine venöse- und eine arterielle Kanüle)
- Membranoxygenator
- Zentrifugalpumpe
- Schlauchsystem

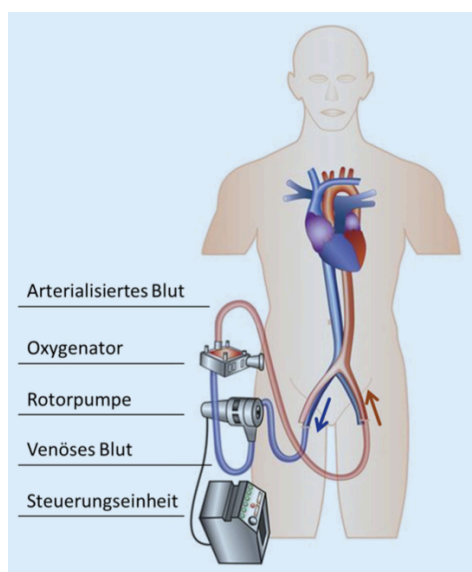


Abb. 4 Schematischer Aufbau der ECLS (Supady, Wengenmayer, Bode, & Staudacher, 2016)

5.3.2. Veno-Venöse ECMO (VV-ECMO)

Als klassische ECMO-Therapie wird die veno-venös angeschlossene Unterstützungsform bezeichnet. Diese zeichnet sich durch eine Oxygenierung sowie CO₂-Elimination aus dem venösen Blut aus und wird zur Therapie von konservativ nicht behandelbarem Lungenversagen, insbesondere dem acute respiratory distress syndrome (ARDS) eingesetzt. Bei veno-venöser Form erfolgt der Abfluss des desoxygenierten Blutes sowie die Zufuhr des oxygenierten Blutes in der Regel über eine grosslumige Vene. Häufig erfolgt hierbei der Zugang über die Vena femoralis und die Vena jugularis. Es werden jedoch schon seit einer Weile Doppellumenkatheter verwendet, welche durch die Vena jugularis interna und die Vena cava inferior auf Höhe vom rechten Atrium platziert werden. Der Vorteil liegt dabei bei einer besseren Mobilisation des Patienten. (Beck, Burg, Heindel, & Schülke, 2016) Dabei wird aber nur die Funktion der Lunge übernommen, eine Kreislaufunterstützung ist mit diesem Unterstützungsverfahren aufgrund der Kanülierung nicht möglich. Blutdruck sowie Blutfluss müssen weiterhin vom Herzen selber gewährleistet sein. Die Zeit für die Unterstützung kann zwischen wenigen Tagen bis hin zu mehreren Wochen betragen. (Klüss, 2012)

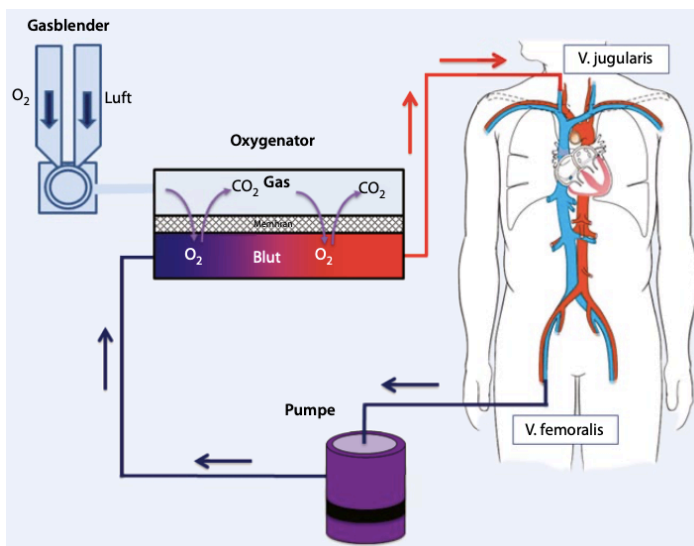


Abb. 5 Veno-venöses System (V. femoralis und V. jugularis) (Pilarczyk, Trummer, Jakob, Dusse, & Marggraf, 2013)

5.3.3. Veno-Arterielle ECLS (VA-ECMO/ ECLS)

Für Patienten mit fortgeschrittener Herz- und/oder Kreislaufinsuffizienz besteht die Möglichkeit einer venös-arteriellen ECLS. Es ist somit das bevorzugte Unterstützungssystem beim isolierten therapierefraktären Herz-Kreislauf-Versagen oder beim kombinierten Herz-Lungen-Versagen. Der Aufbau eines extrakorporalen life supports entspricht prinzipiell dem ECMO, lediglich die Kanülierungen unterscheiden sich voneinander.

Bei einer ECLS als Herz- oder Herz-Lungen-Ersatz wird venöses Blut aus der Vena cava inferior entnommen, decarboxyliert und oxygeniert und arteriell wieder zurückgeführt. Dabei werden die beiden grossen Inguinalgefässe, Vena femoralis und Arteria femoralis bevorzugt. Alternativ können aber auch Vena- und Arteria subclavia verwendet werden. (Pilarczyk, Trummer, Jakob, Dusse, & Marggraf, 2013)

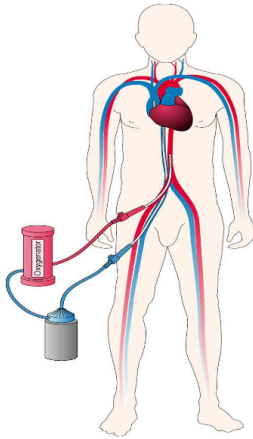


Abb. 6 Veno-arterielles System / ECLS (Benk, 2014)

Das Einsatzgebiet der ECLS ist vielfältig, da es nicht nur den Gasaustausch verbessert, sondern auch den Kreislauf mit bis zu 100% des Herzzeitvolumens (HZV) unterstützen kann. Es entsteht ein paralleles Kreislaufsystem. Es wird häufig eingesetzt bei Postkardiotomieversagen, Links- und/oder Rechtsherzversagen, nach Lungentransplantationen, während oder nach Reanimationsmassnahmen oder zur Wiedererwärmung nach Unterkühlung. (Pilarczyk, Trummer, Jakob, Dusse, & Marggraf, 2013)

5.3.4. Arterio-Venöse ECMO (AV-ECMO / pECLA)

Man spricht hier vom «pumpless extracorporeal lung assist» kurz pECLA. Dies ist ein arteriovenös angeschlossenes, nicht pumpenbetriebenes Lungenunterstützungssystem, das aufgrund der Blutdruckdifferenz und damit abhängig von Herzzeitvolumen des Patienten eine suffiziente Decarboxylierung, jedoch keine ausreichende Oxygenierung gewährleistet. Das Kohlendioxid wird durch den eigenen Blutfluss abgetragen. Diese Methode wird ausschliesslich zur ultraprotektiven Beatmung eingesetzt und primär beim hyperkapnischen Lungenversagen angewandt. Dabei erfolgt in der Regel die Ableitung über die Arteria femoralis und der Zufluss über die Vena femoralis. (Pilarczyk, Trummer, Jakob, Dusse, & Marggraf, 2013)

5.4. Funktionsprinzip ECLS

Wenn das Gerät für ECLS eingesetzt wird, wird über die ansaugende (venöse) Kanüle das Patientenblut in der Regel über ein grosses Leistengefäss, typischerweise die Vena femoralis communis, angesaugt. Die venöse Kanüle hat einen grossen Durchmesser und ist je nach Grösse bis zu 50 cm lang. Damit das Ansaugen des venösen Blutes erleichtert werden kann, haben die Kanülen nebst der grossen Öffnung am Kanülenende mehrere Seitenlöcher. Das venöse Blut (CO_2 -reich und O_2 -arm) wird über einen 1 cm dicken Schlauch von der Rotorenpumpe angesaugt. Hier entstehen negative Drücke bis unter -150 mmHg. Das venöse Blut wird nun durch den Oxygenator geleitet. Im Oxygenator wird über ein Gegenstromprinzip dem Blut in hauchdünnen künstlichen Kapillaren das CO_2 herausgefiltert (decarboxyliert) und zugleich mit Sauerstoff angereichert (oxygeniert). Dabei werden Blutwerte von pO_2 400 mmHg und pCO_2 35 mmHg angestrebt.

Das nun oxygenierte und decarboxylierte Blut wird über ein weiteres Schlauchsystem über die arterielle Kanüle an den Patienten, in der Regel die Arteria femoralis communis, retransfuriert. Die arteriellen Kanülen sind deutlich kürzer, mit weniger Durchmesser gegenüber der Venösen und haben im Gegensatz auch nur eine Öffnung am Kanülenende. (Supady, Wengenmayer, Bode, & Staudacher, 2016)

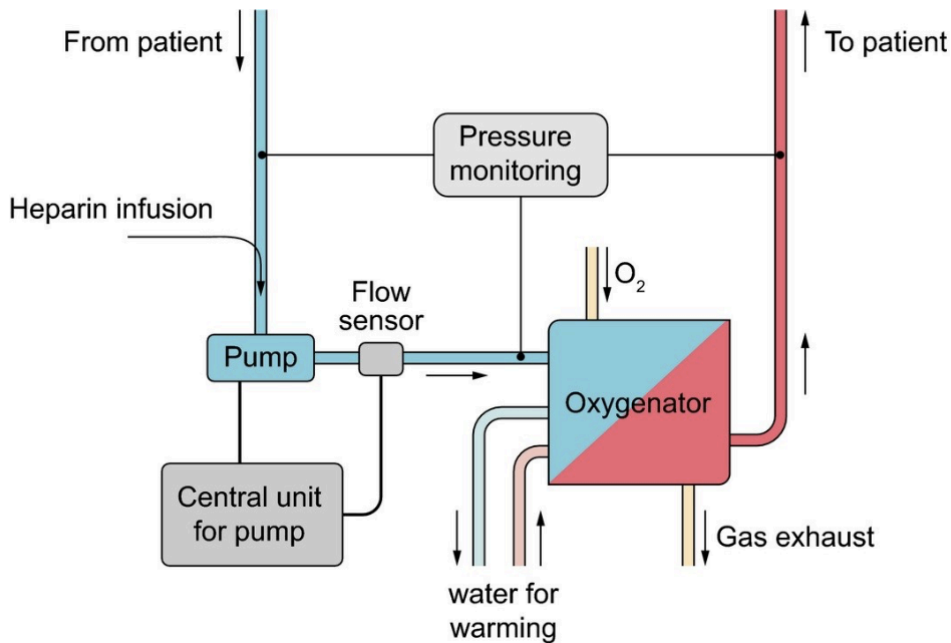


Abb. 7 Verfahren der ECMO allgemein (Jurnal of internal medicin, 2015)

Vereinfacht gesagt wird der Kreislauf also mit einer Pumpe erzeugt und das Sauerstoffangebot bzw. die Eliminierung von CO_2 durch den Oxygenator beeinflusst. Der Blutfluss beträgt 4 – 5 l / min womit durch dieses Verfahren der Gasaustausch der Lunge und die Pumpleistung des Herzens über mehrere Tage ersetzt werden kann.

Entsprechend muss die zugrundeliegende Erkrankung reversibel sein, wie das beispielsweise beim Herzinfarkt der Fall ist. Ausnahme ist, wenn die ECMO zur Überbrückung für eine geplante Organtransplantation eingesetzt wird. (Supady, Wengenmayer, Bode, & Staudacher, 2016)

5.4.1. Ziel der ECLS

Die ECLS-Therapie wird aufgrund ihrer Zielsetzung in vier Kategorien klassifiziert: (Pilarczyk, Trummer, Jakob, Dusse, & Marggraf, 2013)

«Bridge to recovery»:

Überbrückung bis zur Erholung der myokardialen Funktionen. Kommt vorwiegend bei Myokarditispatienten vor.

«Bridge to decision»:

In Akutsituationen sind Entscheidungen für eine eskalierende, weiterführende Therapie oft sehr schwierig, zum Beispiel bei unklarem neurologischen Status nach Reanimation. Die ECLS bietet die Möglichkeit der Stabilisierung der Akutphase, um Zeit für die weitere Therapieplanung zu gewinnen. Z.B. die Einlage eines «left-ventricle-assistent-device», kurz LVAD.

«Bridge to bridge»:

Überbrückung zur Implantation eines kardialen Assistenzgerätes (LVAD), um dann eine Herztransplantation anzustreben.

«Bridge to transplantation»:

Überbrückung zur Herztransplantation

5.5. ECLS in der Präklinik

Grundsätzlich bestehen zwei Optionen für die Anwendung der eCPR. Entweder erfolgt der Transport unter mechanischer Reanimationshilfe (mCPR) in eine geeignete Zielklinik, um dann im Schockraum oder direkt im Herzkatheter Labor die eCPR einzusetzen. Dies wird bis dato bereits in der Schweiz an den Standorten Bern, Genf und St. Gallen angewendet.

Die Alternative ist, das eCPR-Team direkt zum Notfallort zu bringen und die eCPR direkt vor Ort zu etablieren. Dabei wird bei der notfallmässigen eCPR Variante eine Kanüle in der Vena femoralis und Arteria femoralis eingelegt, damit immer noch genügend Platz besteht, um die anhaltenden Reanimationsmassnahmen nicht zu beeinträchtigen (Zolliner, Fodor, Behr, Wenger, & Genoni, 2019)



Abb. 8 ECMO at the Louvre (ED ECMO, 2014)

ECPR ist das letzte Mittel einer Reanimation, um weitere Zeit zu gewinnen. Der Kreislauf kann durch eine sofortige Reperfusion nach Einlage stabilisiert werden. (Zacher, 2013) Ein frühes Aufgebot und dessen Einlage bestimmt über Nutzen der Massnahme und Outcome des Patienten.

ECPR ist ein hochtechnisches und sehr invasives Verfahren und sehr invasiv und birgt deshalb auch ein grosses Risiko. Es ist auch organisatorisch nicht einfach, da die Bedingungen nicht einem Operationssaal-Standard entsprechen. Präklinisch werden die Systeme in Patientenwohnungen oder in öffentlichen Räumen eingelegt (siehe Abb. 8 und Titelbild). Die Witterungsverhältnisse spielen dabei auch eine wesentliche Rolle und es muss entsprechend mit unsterilen Verhältnissen gerechnet werden. Zusätzlich sind in der Regel keine genauen Informationen über den Patienten und seine Vorgeschichte bekannt, was die Situation noch einmal erschwert.

All diese Erkenntnisse erfordern eine genaue Indikationsstellung. Soll oder muss die eCPR vor Ort begonnen werden, oder soll ein Transport unter laufender Reanimation in die Klinik erfolgen, um dort eine innerklinische eCPR zu etablieren. Diese Entscheidung ist natürlich abhängig von verschiedenen Faktoren. Dabei spielen personelle und strukturelle Ressourcen die grösste Rolle. Besteht die Möglichkeit innerhalb der nötigen Frist in einem entsprechenden Spital zu sein? Gibt es die Möglichkeit eines präklinischen Systems für die Einlage vor Ort? Auf dem Bild (Abb. 9) werden die zeitlichen Abfolgen der beiden möglichen Varianten von extrakorporalem Life Support aufgezeigt. (Zacher, 2013)

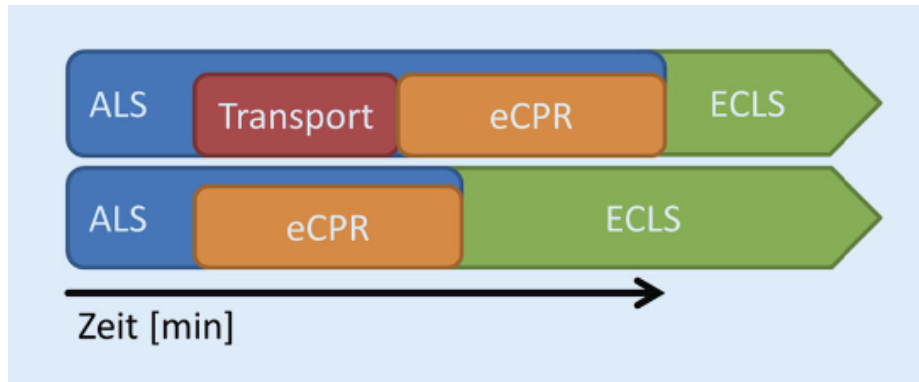


Abb. 9 ECLS klinisch vs. Präklinisch (Supady, Wengenmayer, Bode, & Staudacher, 2016)

5.5.1. Studienlage zu eCPR

Die grossen Organisationen wie die American Heart Association (AHA), European Resuscitation Council (ERC) sowie die Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) empfehlen keinen routinemässigen Einsatz von extrakorporaler kardiopulmonaler Reanimation. Es liegen keine randomisierten und kontrollierten Studien zu eCPR vor. (Arbor, 2017) Aus diversen Fachartikeln kann man herausnehmen, dass ein initial nachgewiesener defibrillierbarer Herzrhythmus und eine geringe Low-Flow-Time wichtig für eine erfolgreiche Anwendung von eCPR sind. Die Einlage des ECMO sollte innerhalb von 60 Minuten, nach Kreislaufstillstand erfolgen. Städte mit einem bereits etablierten innerklinischen eCPR Modell erreichen einen Durchschnitt von 45 – 65 Minuten zwischen Kreislaufstillstand und Beginn ECLS. Eine Studie hat gezeigt, dass gut 30%, dies entspricht in Zahlen 63 Personen, von einer eCPR profitieren würden. (Kilner, Stanton, & Mazur, 2019)

Der Überlebensfaktor ist abhängig von einem niedrigem Serumlaktat und einem höherem endtidalem Kohlenstoffdioxid (etCO₂).

In den Studien wurde ersichtlich, dass alte, gebrechliche Patienten nur eine minimale Chance haben, die Massnahmen zu überleben. Dieses Kriterium wird jedoch nicht als Kontraindikation aufgeführt, sofern nicht Krankheiten mit begrenzter Überlebensrate vorliegen.

Es fehlen im Moment noch verwertbare Daten über den routinemässigen Einsatz der eCPR, jedoch wird ein Überlebensvorteil gegenüber der konventionellen Therapiemassnahmen vorausgesagt. (Michels, et al., 2018) Aus dem ELSO Register ist zu entnehmen, dass im Rahmen einer Studie rund 7'000 Personen eine eCPR angewendet wurde. Dabei haben rund 2'900 (40%) Patienten überlebt und rund 2'100 Patienten (30%) hatten einen guten neurologischen Status. (Arbor, 2017)

5.5.2. Patientenauswahl

Im Moment kann aufgrund der schlecht gesättigten Datenlage noch nicht gesagt werden, welche oder wie viele Patienten von einer eCPR profitieren können. Es sollte jedoch bei Patienten, bei denen eine potenziell beherrschbare Ursache des Herz-Kreislauf-Stillstandes vorliegt und keine Hoffnung auf Wiedereinsetzen des Kreislaufes besteht, an eine eCPR gedacht werden. (Rielage, 2020)

Die Universitätsklinik Bern hat bereits ein Konzept mit Kriterien für eine innerklinische eCPR erarbeitet, welches auch auf einen präklinischen Einsatz angepasst werden könnte. Folgende Kriterien müssen Patienten erfüllen, um für eine Behandlung nach eCPR in Frage zu kommen:

- **Kein Kreislauf nach 10 Minuten Reanimation**
- **Initialer Rhythmus Kammertachykardie oder Kammerflimmern**

- **Alter $\leq$ als 70 Jahre**
- **Downtime $\leq$ 5 Minuten (Kreislaufstillstand bis CPR-Beginn)**
- **Endtidales Kohlenstoffdioxid (etCO₂) initial und akutell $\geq$ 15mmHg**
- **Suffiziente Laienreanimation $\leq$ 15 Minuten**

5.5.3. Vorteile der präklinischen eCPR

Um die Vorteile der extrakorporalen CPR zu verstehen, müssen zuerst die Hauptprobleme der herkömmlichen Reanimation verstanden werden (Dr. Lunz, 2019):

- Die Qualität der herkömmlichen CPR
→ schlechte mechanische Leistung für ein suffizientes Herz-Zeit-Volumen, sowie eine erschwerte Oxygenierung.
- Das Zeitmanagement
→ Der neurologische Outcome verschlechtert sich mit jeder Minute «low-flow» oder «no-flow-time».
- Transportschäden und Gefahr für die Rettungskräfte
→ Eine suffiziente Reanimation während dem Transport stellt sich als sehr schwierig heraus und stellt eine grosse Gefahr für die Rettungskräfte dar; Fahrt unter Sondersignal, keine Sicherung möglich.

Beim ECLS kann hingegen davon ausgegangen werden, dass es das «potenteste Medikament» ist, um eine ausreichende Zirkulation und Oxygenierung zu etablieren (Dr. Lunz, 2019). Diese Aussage kann mit mehreren Argumenten begründet werden:

- Die Reperfusion sowie die Metabolik kann kontrolliert erfolgen.
- Bei Hypothermie-bedingtem Kreislauf-Stillstand bietet die eCPR die bestmöglichen Erfolgschancen.
- Die Koronarperfusion sowie rechtsventrikuläre Entlastung kann gesteigert werden.
- Die mechanischen Reanimationsbemühungen können gestoppt werden.

5.5.4. Nachteile der präklinischen eCPR

Eine eCPR ist ein hochinvasives und hochtechnisches Verfahren, das mit verschiedenen Risiken und möglichen Komplikationen einhergeht. In über der Hälfte der Einlagen (62%) kommen lokale Verletzungen und Blutungen vor, welche bei der Kanülierung der Gefässe verursacht werden. Diese lassen sich aber meist durch Bluttransfusionen kontrollieren. (Supady, Wengenmayer, Bode, & Staudacher, 2016)

Jedoch können auch schwerwiegendere Komplikationen auftreten. Eine davon ist die Perforation von grossen Gefässen oder des Herzens. Eine Studie an 25 Patienten hat gezeigt, dass zwei Patienten an einer nicht beherrschbaren Blutung verstarben. Weiter wird beschrieben, dass in einem Siebtel der Einlagen thromboembolische Ereignisse provoziert werden, am meisten resultiert daraus ein Schlaganfall. Bei einem Viertel der Fälle wurde die Durchblutung der Beine kritisch gestört, insbesondere wenn eine peripher arterielle Verschlusskrankheit vorlag. Man hat beobachtet, dass aufgrund des hohen Aufgebotes, Basissmassnahmen der Reanimation wie manuelle CPR vernachlässigt wurden. Es ist dabei elementar, dass eine Abwägung von Fahren unter Reanimation zu präklinischer ECMO-Einlage gemacht wird.

Studien zeigen, dass beim Vorliegen von folgenden Kriterien ein guter Outcome nach dem Herz-Kreislauf-Stillstand praktisch unmöglich ist:

- Lebensalter über 70 Jahre
- Unbeobachteter Herz-Kreislauf-Stillstand
- Down time, sprich No-flow-time, > 10min
- Akute Aortendissektion

5.5.5. Personelle Voraussetzungen

Damit eine sichere und schnelle Implantation einer ECMO unter laufender CPR gewährleistet werden kann, ist ein erfahrenes, mehrköpfiges Team notwendig. Dies sollte sich aus mindestens sechs Personen zusammensetzen:

zwei Ärzte (ein Gefäßchirurg und ein Kardiolog) für die Punktion der Leistengefäße, ein Arzt (Intensivmediziner) für die Ultraschallkontrolle zur Lage der Führungsdrähte.

Ein Kardiotechniker für die Bedienung des ECMO-Gerätes und

zwei Rettungskräfte für die Etablierung des ACLS und den anschliessenden Transport.

Damit ein Einsatz einwandfrei ablaufen kann, sind klar gegliederte Aufgabenbereiche essentiell.

Dies bedarf auch regelmässiges Training und Simulationen. Andere Quellen beschreiben sogar den Einsatz eines 13-köpfigen Teams für die Einlage einer ECMO-Pumpe für ECLS in der Präklinik. Es bedarf somit einer grossen Menge an personellen Ressourcen. Eine bindende Empfehlung zur erfolgreichen Expertise eines eCPR-Teams besteht im Moment noch nicht, dies wird sich aber in den nächsten Jahren sicherlich ändern. (Supady, Wengenmayer, Bode, & Staudacher, 2016)

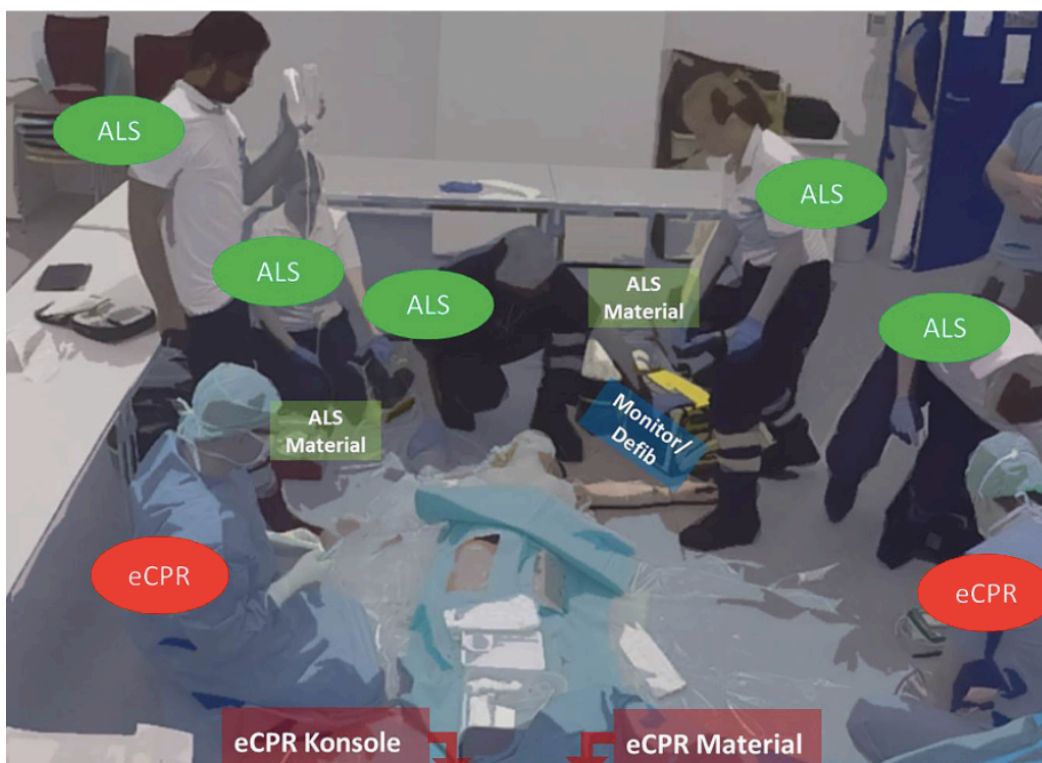


Abb. 10 mögliche Arbeitsorganisation präklinische eCPR (Damjanovic, Gliwitzky, Deppe, Benk, & Trummer, 2019)

5.5.6. Strukturelle Voraussetzungen

Eine ECMO-Einlage muss unter sterilen Bedingungen erfolgen. Eine von möglichst allen Seiten zugängliche Trage oder noch besser ein OPS-Tisch wäre optimal. Für die schnelle und möglichst sichere Implantation ist ein Ultraschallgerät zur Gefässpunktion notwendig. (Supady, Wengenmayer, Bode, & Staudacher, 2016)

5.5.7. Kosten

Die extrakorporale kardiopulmonale Wiederbelebung (eCPR) ist aufgrund ihres immensen personellen sowie materiellen Aufwandes eine sehr kostenaufwendige Therapieoption. Wenn man jedoch untersucht, welchen Nutzen dieses Instrument für den einzelnen Patienten bringt, rücken die Kosten in den Hintergrund. Um dies aufzuzeigen, werden sogenannte Quality Adjusted Life Years (QUALY) verwendet. Mit diesen können Ergebnisse von medizinischen Leistungen gemessen und verglichen werden. Es werden sowohl die Verlängerung der Lebenszeit des Patienten durch eine Therapie als auch die Lebensqualität berücksichtigt. Die Lebensqualität wird anhand eines Nutzwertfaktor bewertet, der zwischen null für die denkbar schlechteste und eins für die bestmögliche Lebensqualität liegt. Der QALY errechnet sich aus verbleibenden Lebensjahren multipliziert mit dem Nutzwertfaktor. Dies ergibt eine Zahl, welche man als QUALY definiert.

Das britische nationale Institut für Exzellenz in Gesundheit und Pflege (NICE) hat dies bewertet und definiert eine Therapie oder Arznei die mehr als 35'000 Euro pro QUALY kostet als nicht mehr kosteneffektiv. (Aerzteblatt.de, 2010)

Eine japanische Studie, die zwischen Dezember 2008 und September 2011 erhoben wurde hat nach den oben aufgeführten Kriterien aufgezeigt, dass sich eCPR für Patienten mit initial Kammerflimmern oder pulsloser Kammertachykardie als kostengünstig und Patienten mit initial Asystolie oder pulsloser elektrischer Aktivität als grenzwertig kostengünstig erweist.

Zahlen zeigen, dass sich die gesamten Kosten für einen eCPR Einsatz für unter 50-Jährige auf rund 55'000 US-Dollar und den Einsatz an unter 40-Jährigen auf rund 40'000 Dollar für die gesamte Einsatzdauer belaufen. Aktuellere Zahlen sind im Moment keine vorhanden. (Zmudzki, et al., 2019)

Bei einem Gespräch mit einem Kardiologen stellte sich heraus, dass sich die Kosten für eine ECMO-Maschine auf 100'000 Franken belaufen. Dazu werden als Verbrauchsmaterial der Oxygenator und das dazugehörige Schlauchsystem benötigt, diese Kosten belaufen sich auf rund 8'000 Franken. Die Kanülen, von denen zwei benötigt werden, kosten je 750 Franken. (Gespräch Kardiologe Inselspital)

5.5.8. Vorgehen der präklinischen eCPR

Wenn die Indikationsstellung zur eCPR erfüllt ist, erfolgt über den femoralen Zugang die Gefäßpunktion. Es müssen beide Leisten freigemacht, desinfiziert und steril abgedeckt werden, während weiterhin eine Zugänglichkeit zu Brustkorb und Oberbauch gewährleistet sein muss, um den ACLS durchzuführen. Dieser wird während der kompletten Einlage fortlaufend aufrechterhalten. Unter folgendem QR-Code findet man ein Video von einer realen Patientensituation, in dem eine innerklinische eCPR unter laufender Reanimation eingesetzt wird.



Video 1 Innerklinische eCPR-Anwendung am echten Patienten (ECPR Extracorporeal CardioPulmonary Resuscitation, 2017)

Mittels Ultraschalls werden die Zielgefässe für die Kanülierung (A. und V. femoralis) identifiziert, was sich bei einem Herz-Kreislauf-Stillstand als eine Schwierigkeit darstellt.

Der Abfluss des Blutes erfolgt über eine venöse Kanüle. In der sogenannten Bladder-Box erfolgt die Antikoagulation, meistens durch Beigabe von Heparin aus einem Perfusor. Dies verhindert eine Koagulation des Blutes in den Schläuchen und Teilen der Maschine und bewahrt den Patienten vor lebensgefährlichen, thromboembolischen Ereignissen. Anschliessend wird dem Blut im Oxygenator Kohlendioxid entzogen und Sauerstoff zugeführt. Dies entspricht dem Vorgang der Oxygenierung. Im weiteren Verlauf wird das Blut, je nach Bedürfnis, im Wärmeaustauscher erwärmt oder gekühlt. An den Orten, wo präklinische eCPR bereits praktiziert wird, wird dies auf diese Weise durchgeführt. (Supady, Wengenmayer, Bode, & Staudacher, 2016)

5.5.9. Transport unter ECMO

Patienten unter eCPR sind in der Regel intubiert und benötigen eine kontinuierliche Gabe von kreislaufunterstützenden und sedierenden Medikamenten. In der Schweiz sind bodengebundene sowie luftgebundene Transporte möglich. Die Wahl des Transportmittels ist von verschiedenen Massnahmen abhängig. Dabei spielen unter anderem die Verfügbarkeit, Transportstrecke, Wetterbedingungen, Halterungen für das Equipment sowie Teamgrösse eine entscheidende Rolle. Diese Massnahmen während einem Transport unter eCPR stellen hohe Anforderungen an das Personal und das Transportmittel. Für einen reibungslosen Transport ist eine enge Abstimmung zwischen dem Rettungsdienst und eCPR-Team im Vorfeld erforderlich, um in Ausnahmesituationen ein optimales Zusammenspiel zu ermöglichen. (Supady, Wengenmayer, Bode, & Staudacher, 2016)

In einer retrospektiven Analyse von rund 320 ECLS-Transporten (60% luftgebunden) in Schweden wurde eine Komplexitätsrate von rund 25 % beschrieben. Davon waren die meisten Komplikationen patientenbedingt, wobei Blutungen (rund 3%) die häufigsten Zwischenfälle waren. Nur in rund 5% der Fälle kam es zu technischen Problemen der ECLS, wobei Thromben und dekonnectierte Teile die Hauptursachen waren. Es wurde jedoch nicht von tödlichen Zwischenfällen berichtet.



Abb. 11 Fahrzeughalterung ECMO Intensivtransportwagen Schutz und Rettung Bern (Pfander, 2020)

5.6. Situation in der Schweiz

Wie in den bisherigen Zeilen zu entnehmen, wird die präklinische eCPR in unseren Nachbarsländern bereits seit einigen Jahren angewendet. Alleine in Regensburg liegt die Zahl für präklinische ECMO-Einsätze bei 200 ECMO-Anwendungen. Darunter fallen jedoch auch 70 – 90 Interhospitaltransporte unter ECMO. Die Etablierung des Programmes der präklinischen eCPR hat sich über zwei bis drei Jahre hingezogen, darunter gab es viele politische Hürden zu überwinden. (Alois Philip, UKR, Mail)

In der Schweiz gibt es bisher noch keine Pilotprojekte, welche das Ziel einer präklinischen eCPR verfolgen. Die Ansätze dafür sind jedoch bereits gegeben, schon seit mehreren Jahren bestehen Algorithmen für eine innerklinische eCPR. Bereits bei der Ersteinschätzung des Patienten mit Herz-Kreislauf-Stillstand muss man früh an eCPR denken. Dabei sind folgende Kriterien, siehe Abb. 12, für oder gegen eCPR zu beachten. Die Sanitätspolizei Bern arbeitet seit 2019 zusammen mit der Universitätsklinik Bern an einem Projekt namens eCPR.

eCPR (erweiterte CPR)

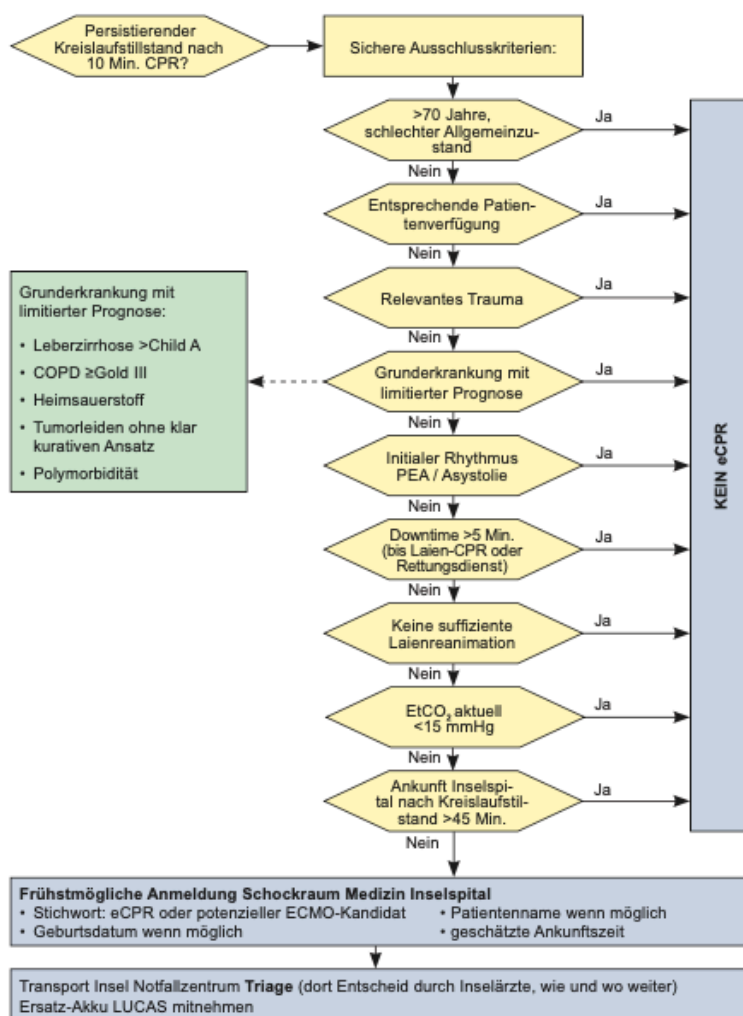


Abb. 12 Algorithmus erweiterte CPR Sanitätspolizei Bern (Schwab & Fehr, 2020)

Nach dem Wissensstand des Verfassers wird das Ziel einer präklinischen eCPR im Moment nicht weiterverfolgt. Die Inselgruppe hat nach einer genauen Prüfung weitere Forschung vorerst verabschiedet. (Gespräch, Tobias Fehr)

5.6.1. Reanimationsregister Swiss Reca

Das schweizerische Online Reanimationsregister Swiss Reca hat das Ziel, das System der Rettungskette auf kantonaler Ebene zu messen und auf nationaler Ebene vergleichbar zu machen. Hierfür werden Einsätze mit Herz-Kreislauf-Stillstand in der Schweiz erfasst. Mit Hilfe dieser Daten wird nicht nur die qualitative medizinische Versorgung gemessen, sondern auch eine wichtige Grundlage für die Forschung geschaffen. Mit den Ergebnissen soll die Überlebenschance von Patienten mit Herz-Kreislauf-Stillstand weiter verbessert werden. Hierfür gilt auch in der Evaluierung der Einsätze eine enge Zusammenarbeit zwischen Notrufzentralen, Rettungsdiensten und Spitälern. Seitens der Rettungsdienste ist Swiss RECA die Lösung, um die gesetzlich verpflichtete Erfassung solcher Einsätze zu erleichtern und schnell abzuschliessen. (Swiss, Reca, 2017)

5.6.2. Wie viele Leute qualifizieren sich?

Bei der Frage, wie viele Patienten sich effektiv für eCPR in der Schweiz qualifizieren wurde auf Daten vom schweizerischen Reanimationsregister (Swiss Reca) zurückgegriffen und ausgewertet. Es wurde nach folgenden Kriterien gesucht:

- Alter **<= 70 Jahre**
- Downtime (Zeitpunkt Kollaps bis Beginn Reanimationsmassnahmen) **< 5 Minuten**
- Ursache Herz-Kreislauf-Stillstand **nicht traumatisch**
- Initialer Herzrhythmus bei Ankunft Rettungsdienst: **pulslose Kammertachykardie (VT) oder Kammerflimmern (VF)**
- **Kein ROSC vor 10 Minuten**
- **Keine** entsprechende **Patientenverfügung vorhanden**

Ergebnisse:

Von den im Jahr 2019 insgesamt 5'572 out of hospital cardiac arrests (OHCA) Registrierungen bei Swiss Reca, resultierten 220 potenzielle Fälle, dies entspricht 3,94%, wo man rückblickend eine eCPR hätte erwägen können. Es ist erwähnenswert, dass relevante Grund- sowie Vorerkrankungen in die Statistik nicht einfließen konnten, da diese nicht explizit erhoben wurden. Es resultiert daraus, dass das Resultat nach unten korrigiert werden muss. Es ist anzunehmen, dass mindestens bei der Hälfte der Patienten mit einer relevanten Grunderkrankung zu rechnen ist. (Roman Burkart, Swiss Reca) In Zahlen wären dies schlussendlich um die 110 Patienten (1,79%) die effektiv von einer eCPR profitieren würden.



Abb. 13 Diagramm Ausserklinische Herz-Kreislaufstillstände Schweiz 2019 (Daten Swiss Reca)

Auf alle Kantone gesehen sind dies nur noch gerade eine Hand voll Patienten, die sich 2019 qualifiziert hätten, ohne die relevanten Vorerkrankungen zu berücksichtigen.

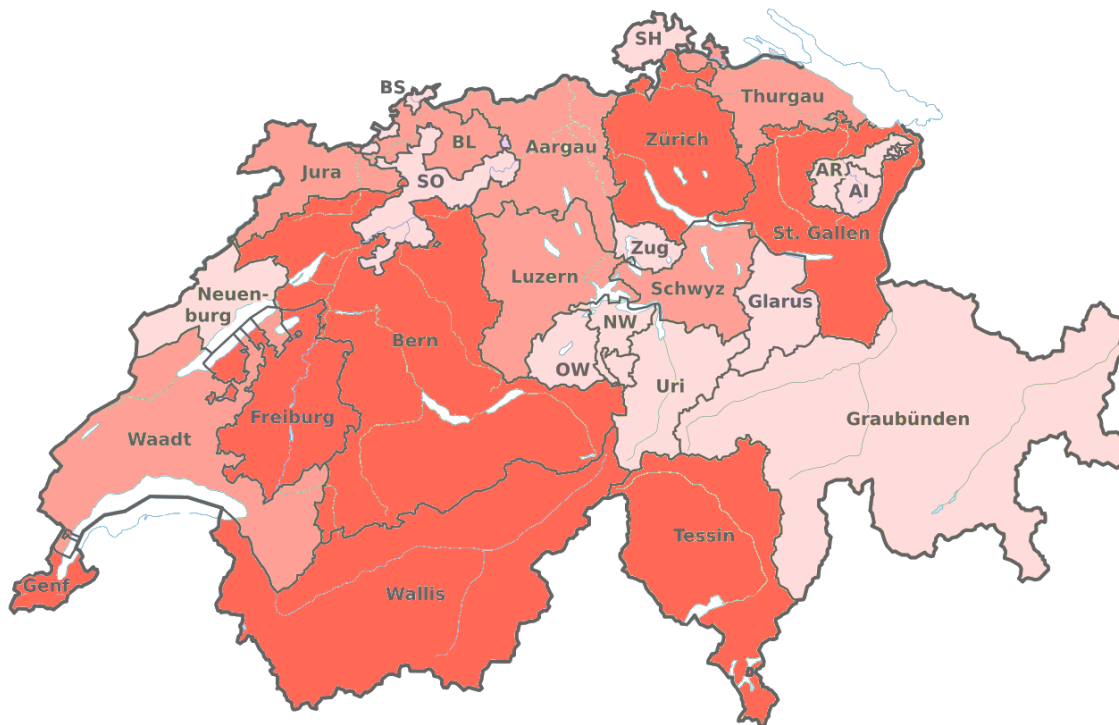
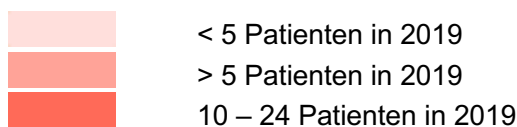


Abb. 14 Fälle die eCPR Kriterien erfüllen nach Kantonen, primär durch Ersthelfer reanimiert (Daten Swiss Reca, 2019)



Kanton	AI	GL	NW	SH	AR	NE	SO	ZG	BS	GR	BL	VD	JU	LU	TG	SZ	AG
Fälle	1	1	1	1	2	2	2	3	4	4	5	5	6	6	6	7	9
Kanton	TI	FR	SG	VS	BE	GE	ZH										
Fälle	10	11	11	12	13	13	24										

Abb. 15 Fälle nach Kantonen, primär durch Ersthelfer reanimiert (Swiss Reca, 2019)

Wenn man nun die Zahlen betrachtet, kann man sagen, dass die Spitzenreiter was Fallzahlen anbelangt, namentlich Zürich, Genf und Bern, Kantone sind, welche von den Spitälern her, ein innerklinisches eCPR etablieren können oder schon etabliert haben. Alle Kantone hell und leicht abgedunkelt können von einer präklinischen eCPR nicht profitieren. Die Fallzahlen sind zu gering, um eine Routine zu erlangen, geschweige denn die nötige klinische Infrastruktur und geschultes Personal zur Verfügung zu stellen.

5.6.3. Präklinisches eCPR-System für die Schweiz

Aus den Erkenntnissen der bisher erhobenen Daten zur präklinischen eCPR, resultieren einige wenige Varianten, um ein präklinisches eCPR-System in der Schweiz einzuführen. Folgende Varianten sind Gedanken und Spekulationen, welche aber nicht weiter geprüft worden sind.

Variante 1 – eCPR aus peripheren Spitälern

Eine Möglichkeit präklinisches eCPR einzuführen wäre, flächendeckend Kliniken mit Kardiotechnikern sowie Herzchirurgen im Pikettsystem arbeiten zu lassen. Diese würden im Turnusbetrieb in den entsprechenden «eCPR-Kliniken» Dienste leisten, um dort für allfällige präklinische ECMO-Einlagen auf Bereitschaft zu sein. Nebenbei kann ein Kardiotechniker als Anästhesiepfleger im OPS tätig sein und ein Herzgefässchirurg oder Intensivmediziner auf der IPS der jeweiligen Kliniken aushelfen. Wenn sich dann ein möglicher Patient ergibt, übergeben diese ihre Arbeit und fahren mittels eines mit ECMO ausgerüsteten Fahrzeuges, dies kann die örtliche Ambulanz oder ein speziell angefertigtes Fahrzeug sein, um an den Einsatzort zu gelangen. Sobald die ECMO implantiert ist, können dann entsprechende Zielspitäler angefahren werden, welche über die nötigen Kompetenzen verfügen, um den Patienten weiter zu betreuen.

Vorteile:

Die Möglichkeit präklinisch eCPR zu betreiben, wäre mit kurzen Anfahrtsfristen möglich.

Nachteile:

Es werden viele personelle Ressourcen benötigt. Die Spitäler müssten schweizweit mehr zusammenarbeiten, damit die entsprechenden Dienste in den Spitälern abgedeckt werden können. Es braucht zusätzlich eine immense Menge an Material. Nach den Einschätzungen des Verfassers wären mindestens 40 Standorte mit entsprechend 40 ECMO-Systemen über die gesamte Schweiz verteilt nötig, um dies zu erreichen. Wenn ein Team bereits auf Einsatz ist, ist kein anderes Team in nötiger Frist abkömmlich.

Variante 2 – eCPR zentral aus der Luft

Eine weitere Möglichkeit, um eine flächendeckende eCPR einzusetzen wäre, ungefähr im Zentrum der Schweiz (konkret Spital Luzern) einen Helikopter in Bereitschaft zu halten, der für allfällige Einsätze schweizweit zum Einsatz kommt. Ein Helikopterstart dauert offiziell 80 Sekunden nach dem Start der zweiten Turbine. Das bedeutet, dass ein Team ab Alarm innerhalb von drei Minuten in der Luft sein kann. Im Durchschnitt sind es zwischen 5 – 6 Minuten. Die maximale Geschwindigkeit auf «cruising altitude» ist ungefähr 220 – 250 km/h. In 45 Minuten Flugzeit kommt ein Helikopter ca. 150km weit. Die Landung und der Start sind darin inbegriffen. (Gespräch, Paramedic Air Zermatt, 2020)

Vorteile:

Der Helikopter kann innert kürzester Zeit weite Strecken zurücklegen. Es wären im Gegensatz zu Variante 1 nur geringe personelle sowie materielle Ressourcen notwendig.

Nachteile:

Ob ein Einsatz mit dem Helikopter möglich ist, wird vor allem durch das Wetter bestimmt. Ein Helikopter, der ausschliesslich für diesen einen Zweck auszustatten ist, ist sehr kostspielig. Möglich wäre eine Kooperation mit der Rettungsflugwache. Dies würde sich dann jedoch wieder beim Faktor Zeit bemerkbar machen, welche den Outcome des Patienten verschlechtert.

6. Diskussion und Schlussfolgerung

6.1. Beantwortung der Fragestellung und Schlussfolgerung

Nach dem zusammentragen aller Fakten kann man sagen, dass bei Patienten mit therapierefraktärem Herz-Kreislauf-Stillstand eine gute Chance besteht, um einen guten neurologischen Outcome zu erlangen. Bis heute liegen aber leider noch keine randomisierten, kontrollierten Studien zur präklinischen eCPR vor, die eine Aussage über einen möglichen Überlebensvorteil mit gutem neurologischen Outcome machen. Das Hauptziel der präklinischen eCPR ist, die Low-Flow-Time, die Zeit, in der man den Patienten mechanisch reanimiert, möglichst gering zu halten. Treffen die Qualifikationspunkte des Kapitels 5.6.2. nicht zu, so ist kaum ein Therapieerfolg zu erwarten. Die Alarmierung des eCPR-Team sollte bereits sehr früh oder gar beim Eingehen des Notrufes erfolgen. Die Bildung eines ganzen Netzwerkes und falls möglich die Einbindung der Luftrettung könnten in Zukunft helfen, um die entsprechenden Teams zeitnah zu den Patienten zu bekommen. Auf die Fragestellung der Arbeit bezogen, ist die Einführung eines eCPR-Systems flächendeckend über die Schweiz eher unrealistisch. Die Schweiz verfügt über eine andere Topographie und Spitälerdichte gegenüber dem Ausland, was eine Übernahme eines bereits bestehenden eCPR unmöglich macht. Es wäre in den grösseren Städten mit Zugang an ein Zentrumsspital durchaus möglich ein präklinisches System zu testen, um Erfahrungen zu sammeln.

6.1.1. Ethische Aspekte

Mit der Möglichkeit, Patienten künstlich am Leben zu erhalten, rückt das Thema Ethik in den Vordergrund. Wie viel ein einzelnes Leben wert ist, ist ein abwägen der ethischen Prinzipien und können wir mit dieser Arbeit nicht klären.

Man müsste eine Diskussion über Grenzen der Wiederbelebung führen, denn längst wurde begonnen, mit Herzersatzverfahren ausserhalb der Klinik zu arbeiten. Dies wirft die eben genannte Frage, wie viel ein einzelnes Leben wert ist, zunehmend ins Scheinwerferlicht.

6.2. Fazit und persönliche Stellungnahme

Als ich das Thema für meine Diplomarbeit ausgesucht habe, habe ich primär die positiven Eigenschaften eines eCPR-Systems gesehen. Ich habe mich gefragt, wieso ein präklinisches eCPR bereits über dem ganzen Globus verteilt ist, dies jedoch in der Schweiz noch nicht etabliert wurde. Was ein eCPR-System alles für Risiken und Aufwände mit sich bringt, wurde von mir zuerst zu wenig Beachtung geschenkt. Abschliessend kann ich nach dem Bearbeiten dieser Arbeit sagen, dass bei Patienten mit therapierefraktärem Herz-Kreislauf-Versagen und mit klar behebbaren Ursachen, sowie guten Rahmenbedingungen (beobachteter HKS, Laien-CPR, frühes Eintreffen von Rettungsteam), die Möglichkeit einer eCPR erwogen werden soll. Es wäre möglich, ein präklinisches System in der Schweiz zu betreiben, dies würde aber massive Aufwände mit sich bringen, wobei die Erfolgschancen nur marginal sind.

Es gibt zwei Kriterien, die zu einem erfolgreichen Gelingen einer eCPR wichtig sind:

Einerseits muss die Patientenselektion ganz genau getätigt werden. Andererseits ist der Faktor Zeit sehr entscheidend für einen möglichst guten Outcome. Ab einer Stunde Reanimation ohne eCPR, sind die Erfolgschancen verschwindend klein. Dies erfordert ein gut organisiertes Alarmierungssystem.

Ich bin der Meinung, dass sich ein präklinisches eCPR-Modell in der Schweiz kaum durchsetzen wird, da es die ausgeprägte Schweizer Berglandschaft nicht zulässt. Der Hauptaspekt wird das Thema Personal sein. Es ist praktisch unmöglich, das nötige Personal, welches nur in wenigen Schweizer Spitälern zu Verfügung steht, für ein schweizweit deckendes System zu mobilisieren.

Es macht jedoch Sinn, dass die Reichweite des innerklinischen eCPR-Betriebes schweizweit weiter ausgebaut und vorangetrieben wird. Im Moment wird das innerklinische eCPR nur in Bern, Genf und St. Gallen betrieben. Alle befragten Gesprächspartner raten, mit den Patienten unter Reanimation in ein ECMO-Zentrum zu fahren und dort mit eCPR zu beginnen. Klinische und sterile Bedingungen sind fast unumgänglich, um dieses hochinvasive Verfahren mit einem möglichst kleinen Komplikationsrisiko anzuwenden.

6.2.1. Ausblick

Zum Thema eCPR besteht noch viel Forschungsbedarf. Es wäre eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Notrufzentralen, Fachärzten und den jeweiligen Rettungsdiensten nötig, um ein flächendeckendes, einheitliches Konzept zu erstellen. ECPR ist sicherlich eine gute Ergänzung (Rielage, 2020)

7. Quellenverzeichnisse

7.1. Literaturverzeichnis

- Aerzteblatt.de*. (2010). Abgerufen am 2020 von <https://www.aerzteblatt.de/archiv/70329/Was-ist-ein-Qaly>
- Arbor, A. (2017). *www.elso.org*. Von Guidelines for Cardiopulmonary Extracorporeal Life Support: https://www.elso.org/Portals/0/ELSO%20Guidelines%20General%20All%20ECLS%20Version%201_4.pdf abgerufen
- Bauer, A. (kein Datum). *e.V., Deutsche Gesellschaft für Kardiotechnik*. Abgerufen am 2020 von <https://dgfkt.de/technik/ecmo-ecls/>
- Beck, L., Burg, M., Heindel, W., & Schülke, C. (2016). Extrakorporale Membranoxygenierung bei Erwachsenen – Varianten, Komplikationen unter Therapie und die Rolle der radiologischen Diagnostik. <http://dx.doi.org/10.1055/s-0042-118885>.
- Benk, C. D.-I. (2014). Extrakorporale Membranoxygenierung (ECMO) Extracorporeal Life Support (ECLS). Freiburg.
- Damjanovic, D., Gliwitzky, B., Deppe, M., Benk, C., & Trummer, G. (2019). eCPR bei prähospitaler therapierefraktärem Herz-Kreislauf-Stillstand. 124-135. <https://doi.org/10.1007/s10049-019-0568-2>. Von <https://doi.org/10.1007/s10049-019-0568-2> abgerufen
- Dr. Lunz, D. (2019). *ECMO und extrakorporale CPR (ECPR) bereits prähospital ?* (K. d. Regensburg, Produzent) Von ukr.de abgerufen
- ECPR Extracorporeal CardioPulmonary Resuscitation*. (2017). Abgerufen am 11 2020 von YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=UK0yBWypCrg>
- ED ECMO*. (2014). Abgerufen am 2020 von <https://edecmo.org/?s=louvre>
- Extrakorporale Membranoxygenierung*. (kein Datum). Abgerufen am November 2020 von Wikipedia: https://de.wikipedia.org/wiki/Extrakorporale_Membranoxygenierung
- Insel Spital Bern. (2020). Mittwochsscurriculum eCPR.
- Johann, M., & Hoitz, J. (2018). ECMO in der Einsatzmedizin - nützliches Hilfsmittel oder aufwändiges High-Tech Tool. <https://wehrmed.de/article/3363-ecmo-in-der-einsatzmedizin-nuetzliches-hilfsmittel-oder-aufwaendiges-high-tech-tool.html>.
- Kilner, T., Stanton, B., & Mazur, S. (Dezember 2019). *PubMed.gov*. Von Prehospital extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest: A retrospective eligibility study: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31264379/> abgerufen

- Klüss, C. (2012). Extrakorporale Membran Oxygenierung (ECMO) und Extrakorporales Life Support System (ECLS).
https://www.dhm.mhn.de/shared/data/pdf/in42012_artikel_ecmo.pdf.
- Michels, G., & Böttiger, B. (2018). Extrakorporale kardiopulmonale Reanimation (eCPR). *Notfall + Rettungsmedizin*.
- Michels, G., Hagl, C., Dohmen, C., Böttiger, B., Bauersachs, J., Merkewitz, A., . . . Preu, (2018). Empfehlung zur extrakorporalen kardiopulmonalen Reanimation (eCPR). *Medizinische Klinik - Intensivmedizin und Notfallmedizin*, 478 - 486.
- Pfander, S. (2020). Fahrzeughalterung ECMO Intensivtransportwagen.
- philippzoidl. (2015). Die Zukunft der Reanimation: E-CPR? <https://foamina.blog/2015/08/02/die-zukunft-der-reanimation-e-cpr/>.
- Pilarczyk, K., Trummer, G., Jakob, H.-G., Dusse, F., & Marggraf, G. (2013). Extrakorporale Herz- und Lungenersatzverfahren. *Zeitschrift für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie*, 37-48.
- Rielage, T. (2020). Präklinische eCPR-Anwendung: Ein Lösungsansatz für Probleme der klassischen Reanimation?
- Schwab, P., & Fehr, T. (2020). Algorithmus eCPR Sanitätspolizei Bern.
- Singer, B., Reynolds, J., Lockey, D., & O'Brien, B. (2018). PubMed.gov. *Pre-hospital extracorporeal cardiopulmonary resuscitation*. Von <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29587810/> abgerufen
- Supady, A., Wengenmayer, T., Bode, C., & Staudacher, D. (2016). Extrakorporale CPR (eCPR). *Notfall + Rettungsmedizin*, 574-581.
- Zacher, R. (2013). *Venoarterielle Extrakorporale Membranoxygenierung bei kardialem und pulmonalem Organversagen*. Abgerufen am 10.2020 von https://epub.uni-regensburg.de/289821/Doktorarbeit_dez_12.pdf
- Zmudzki, F., Dennis, M., Burns, B., Scott, S., Gattas, D., Reynolds, C., . . . Forrest, P. (2019). Cost effectiveness and quality of life analysis of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (ECPR) for refractory cardiac arrest. Von <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300957219300899> abgerufen
- Zollner, A., Fodor, P., Behr, R., Wenger, S., & Genoni, N. (2019). Gesamtspitalweisung, Extrakorporale Unterstützung auf der Intensivstation.

7.2. Abbildungsverzeichnis

Titelbild	Universitätsklinik Regensburg, Impressionen – präklinische eCPR 2019 (Lunz, D.)
Abb. 1	ECMO-Gerät (CardioHelp®) für den präklinischen Einsatz, Abgerufen von https://www.getinge.com/de/losungen/akutversorgung/ecls/die-vorteile-von-cardiohelp/ am 22.10.2020
Abb. 2	erster Einsatz Membranoxygenator in 1971, Abgerufen von https://www.herzzentrum.de/fileadmin/mediapool/02_herz-und-gefaesschirurgie/pdf/4_ECMO_ECLS.pdf Seite 4 am 22.10.2020
Abb. 3	Pilarczyk, K., Trummer, G., Jakob, H.-G., Dusse, F., & Marggraf, G. (2013). Extrakorporale Herz- und Lungenersatzverfahren. <i>Zeitschrift für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie</i> , Seite 38
Abb. 4	Supady, A., Wengenmayer, T., Bode, C., & Staudacher, D. (2016). Extrakorporale CPR (eCPR). <i>Notfall + Rettungsmedizin</i> , Seite 575
Abb. 5	Pilarczyk, K., Trummer, G., Jakob, H.-G., Dusse, F., & Marggraf, G. (2013). Extrakorporale Herz- und Lungenersatzverfahren. <i>Zeitschrift für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie</i> , Seite 38
Abb. 6	Grafische Darstellung ECLS , Benk CH, 2013 Abgerufen von https://www.herzzentrum.de/fileadmin/mediapool/02_herz-und-gefaesschirurgie/pdf/Vorlesung/5_ECMO_ECLS_LSS_SS2013.pdf Seite 9 am 22.10.2020
Abb. 7	Frenckner, B. 2015 Abgerufen von https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/joim.12436 am 22.10.2020
Abb. 8	ECMO-Einlage in Louvre, 2014 Abgerufen von https://edecmo.org/edecmo-17-reanimateur-lionel-lamhaut-pre-hospital-ecpr/louvre/ am 22.10.2020
Abb. 9	Supady, A., Wengenmayer, T., Bode, C., & Staudacher, D. (2016). Extrakorporale CPR (eCPR). <i>Notfall + Rettungsmedizin</i> , Seite 579
Abb. 10	Damjanovic, D., Gliwitzky, B., Deppe, M., Benk, C., & Trummer, G. (2019). eCPR bei prähospitalem therapierefraktärem Herz-Kreislauf-Stillstand. Seite 127. Abgerufen von https://doi.org/10.1007/s10049-019-0568-2 abgerufen am 22.10.2020
Abb. 11	Pfander, S. (2020). Fahrzeughalterung ECMO Intensivtransportwagen Sanitätspolizei Bern: Eigene Abbildung
Abb. 12	Schwab & Fehr (2020). Algorithmus eCPR Sanitätspolizei Bern
Abb. 13	Pfander, S. (2020). Diagramm Ausserklinische Herz-Kreislaufstillstände Schweiz 2019 (Daten von Swiss-Reca 2019)
Abb. 14	Pfander, S. (2020) Fälle die eCPR-Kriterien erfüllen nach Kantonen (Daten von Swiss-Reca 2019)
Abb. 15	Pfander, S. (2020) Fälle nach Kanton (Daten von Swiss Reca 2020)

7.3. Videoverzeichnis

Video 1	Innerklinische eCPR Etablierung am echten Patienten abgerufen von https://www.youtube.com/watch?v=UK0yBWypCrg am 22.10.2020
---------	---

8. Anhänge

8.1. Selbstständigkeitserklärung



Selbstständigkeitserklärung Einzelarbeit

Name, Vorname: Pfander Sven

Kurs/ Klasse: 18-21B

Ich erkläre hiermit, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen, als die hier angegebenen Quellen benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich zitiert oder sinngemäss aus den Quellen entnommen wurden, habe ich als solche kenntlich gemacht.

Ebenfalls versichere ich, dass ich nur die von mir definierte und im Vorwort beschriebene Unterstützung beansprucht habe.

Ort, Datum: BERN, 22.12.20

Originalunterschrift: S. Harder

Genehmigt von der GL: 2. Juni 2016

8.2. Glossar

AHA	American Heart Association
ARDS	acute respiratory distress syndrom
AV-ECMO	arterio-venöse extrakorporale Membranoxygenation
CHF	Schweizer Franken
CPR	cardiopulmonary rescutation
ECLS	Extracorporeal Life Support
ECMO	extracorporeal membran oxygenation
eCPR	extracorporeal cardiopulmonary rescutation
ELSO	Extracorporeal Life Support Organization
ERC	European Resuscitation Council
etCO ₂	endtidales Kohlenstoffdioxid
HKS	Herz-Kreislauf-Stillstand
HZV	Herz-Zeit-Volumen
IABP	Intra-aortale-Ballon-Pumpe
LVAD	left ventricular assist device
mCPR	mechnische cardiopulmonale Reanimation
NICE	nationale Institut für Exzellenz in Gesundheit und Pflege
pECLA	pumpless extracorporeal lung assist
ROSC	return of spontaneous circulation
Swiss-Reca	Schweizerisches Reanimationsregister
VA-ECMO	venoarterielle extracorporeal membran oxygenation
VAD	ventricular assist device
VV-ECMO	venovenöse extracorporeal membran oxygenation
QUALY	Qualitiy Adjusted Life Years