

UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF

Klinik für Intensivmedizin

Direktor:

Prof. Dr. med. Stefan Kluge

Durchführbarkeit und Sicherheit von intrahospitalen Transporten bei Patienten unter laufender extrakorporaler Herz-Lungen-Unterstützung

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

vorgelegt von:

Tarek Iko Eiben,
geboren in Hamburg

Hamburg 2015

Angenommen von der

Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 24.03.15

Veröffentlicht mit Genehmigung der

Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: Prof. Dr. S. Kluge

Prüfungsausschuss, der/die zweite Gutachter/-in: Prof. Dr. K. Sydow

Für meine Mutter, meine Schwester
und meinen Vater

Inhaltsverzeichnis

<u>Kapitel</u>	<u>Titel</u>	<u>Seite</u>
1.	Arbeitshypothese und Fragestellung	9

2. Einleitung	10
2.1. Extrakorporale kardiopulmonale Unterstützungsverfahren	11
2.1.1. Entwicklung	11
2.1.2. Indikationen	11
2.1.3. Kontraindikationen	13
2.1.4. Komplikationen	13
2.1.5. Funktionsweise und Konfiguration	15
2.1.5.1. Verfahren zur extrakorporalen Entfernung von Kohlendioxid (ECCO ₂ R)	17
2.1.5.1.1. Arterio-venöse ECCO ₂ R (av-ECCO ₂ R)	17
2.1.5.1.2. Venovenöse ECCO ₂ R (vv-ECCO ₂ R)	19
2.1.5.2. Verfahren zur extrakorporalen Membranoxygenierung (ECMO)	22
2.1.5.2.1. Venovenöse ECMO (vv-ECMO)	22
2.1.5.2.2. Arterio-venöse ECMO (va-ECMO)	23
2.2. Therapie mit ECLS im UKE	24
2.3. Intrahospitaltransporte von kritisch kranken Patienten	25
2.4. Vorbereitung von Intrahospitaltransporten von Intensivpatienten	26
2.4.1. Logistische Vorbereitungen	26
2.4.2. Patientenseitige Vorbereitungen	26
2.4.3. Technische Vorbereitungen	27
2.4.4. Personelle Vorbereitungen für die Transportbegleitung	29
2.5. Besonderheiten bei Intrahospitaltransporten von Patienten mit ECLS	30
2.5.1. Vorbereitung von Intrahospitaltransporten mit ECLS am Beispiel des UKE	30
2.5.2. Transportwege während des ECLS-Intrahospitaltransporte	33
2.5.3. Intensivmedizinische Überwachung während der Intrahospitaltransporte	35
2.5.4. Ablauf des Transportes	36
2.5.5. Abläufe innerhalb des CT-Untersuchungsraumes	38

2.5.6. Ablauf des Rücktransportes	40
2.6. Komplikationen bei Intrahospitaltransporten kritisch kranker Patienten	40
2.7. Transporte in der Klinik für Intensivmedizin im UKE	41
3. Material und Methoden	42
3.1. Studiendesign	42
3.2. Untersuchungszeitraum	42
3.3. Ein- und Ausschlusskriterien	42
3.4. Erhebungsmethodik und -instrumente	42
3.4.1. Identifizierung der Fälle	42
3.4.2. Erhebungsinstrumente	43
3.5. Erhobene Variablen	44
3.5.1. Zielparameter	44
3.5.1.1. Intrahospitaltransportassoziierte unerwünschte Akut-Ereignisse	44
3.5.1.2. Zeitlicher und personeller Ressourcenverbrauch durch IHT	46
3.5.1.3. Art der CT-Untersuchung und klinische Konsequenzen	47
3.5.1.4. Klinische Verlaufsparemeter	47
3.5.2. Einflussfaktoren und Fallcharakteristika	48
3.5.2.1. Demographische und klinische Patientencharakteristika	49
3.5.2.2. Parameter am Tag des Intrahospitaltransportes	49
3.6. Statistische Analyse	50
3.7. Ethikvotum und Datenschutz	51
3.8. Fotografische Dokumentation	51
4. Ergebnisse	52
4.1. Demographie, klinische und diagnostische Variablen	52
4.1.1. Alter und Geschlecht	52
4.1.2. Body-Mass-Index (BMI)	52

4.1.3. Klinische Scores	52
4.2. Verteilung und Dauer des ECLS-Verfahrens insgesamt und zum Zeitpunkt des Intrahospitaltransportes	53
4.3. Diagnosen	54
4.3.1. Diagnosen der ECLS-Behandlung	54
4.3.2. Weitere intensivmedizinische Behandlungsdiagnosen	55
4.4. Variablen zum Intrahospitaltransport	56
4.4.1. Indikationen für die Computertomographie	56
4.4.2. Sedierung während der Intrahospitaltransporte	56
4.4.3. Vigilanz der Patienten	56
4.4.4. Beatmung während der Intrahospitaltransporte	56
4.4.5. Nierenersatztherapie am Untersuchungstag	57
4.5. Transportassoziierte unerwünschte Ereignisse	58
4.5.1. Schwere transportassoziierte unerwünschte Akut-Ereignisse	58
4.5.2. Leichte transportassoziierte unerwünschte Akut-Ereignisse	59
4.5.3. Anzahl der Gesamtkomplikationen	59
4.5.4. Kardiorespiratorische Parameter vor und nach dem Intrahospitaltransport	60
4.6. Zeitlicher und personeller Ressourcenverbrauch	61
4.6.1. Zeitlicher Ressourcenverbrauch	61
4.6.2. Personeller Ressourcenverbrauch	61
4.7. Art und Verteilung der CT-Untersuchungen	62
4.8. CT-Befunde und therapeutische Konsequenzen	63
4.8.1. CT-Befunde	63
4.8.1.1. Gegenüberstellung von Verdachtsdiagnosen und CT-Befunden	64
4.8.2. Therapeutische Konsequenzen	64
4.9. Klinische Folgen	65

4.9.1. Behandlungszeiten	65
4.9.1.1. Dauer der invasiven Beatmung	65
4.9.1.2. Dauer der Nierenersatztherapie	65
4.9.1.3. ECLS-Gesamtbehandlung mit Komplikationen	65
4.9.1.4. Dauer der ICU- und Krankenhausbehandlung	66
4.10. Mortalität	66
5. Diskussion	67
5.1. Unerwünschte Ereignisse	67
5.2. Maßnahmen zur Verbesserung der Qualität und Sicherheit von Intrahospitaltransporten	69
5.3. Sicherheit von Intrahospitaltransporten unter laufender ECLS	72
5.4. Aufwand und Konsequenzen	77
5.5. Limitationen	78
6. Zusammenfassung	79
7. Literaturverzeichnis	80
8. Abbildungsverzeichnis	84
9. Tabellenverzeichnis	85
10. Abkürzungsverzeichnis	86
11. Anhang	89
11.1. Tabelle zur Bestimmung des SOFA-Scores	89
11.2. Glasgow Coma Scale (GCS)	89
11.3. SAPS II Score	90
11.4. Formel zur Bestimmung der Predicted Mortality	91
11.5. Formel zur Berechnung des Body-Mass-Index (BMI)	91

11.6. Ethikvotum der Ärztekammer	92
11.7. SOP Innerklinische Transporte in der KIM	93
11.8. Ausrüstungsempfehlung für den ICU-Transport	94
12. Danksagung	96
13. Eidesstattliche Versicherung	98

1. Arbeitshypothese und Fragestellung

Die vorliegende Arbeit untersucht die Sicherheit und Durchführbarkeit von Transporten von Patienten der Intensivstation mit kardiopulmonalen Unterstützungsverfahren (ECLS = engl.: Extracorporeal Life Support) zu einer computertomographischen (CT) Diagnostik. Die Therapie mit einem extrakorporalen

Unterstützungsverfahren ist eine invasive, hochkomplexe und risikoreiche Behandlung. Auch Intrahospitaltransporte (IHT) von kritisch kranken Patienten der Intensivstation (ICU = engl.: Intensive Care Unit) sind mit Risiken behaftet. Somit kann der Intrahospitaltransport eines Patienten unter laufender extrakorporaler kardiopulmonaler Unterstützung als Hochrisikotransport angesehen werden (Haneya et al. 2009b). Derzeit existieren nur sehr wenige, hauptsächlich aus der pädiatrischen Intensivmedizin stammende Untersuchungen zur Durchführbarkeit und Sicherheit von Intrahospitaltransporten von Patienten mit ECLS (Prodhan et al. 2010). Diese empirische Wissenslücke soll mit der vorliegenden Untersuchung verkleinert werden.

Die Fragestellungen dieser Untersuchung lauten wie folgt:

- Traten bei Intensivpatienten unter laufendem ECLS während des CT-Transportes in einem universitären Zentrum während eines 5-Jahreszeitraums transportassoziierte unerwünschte Ereignisse auf?
- Welche transportassoziierten unerwünschten Ereignisse traten auf?
- Wie hoch war der personelle und zeitliche Ressourcenaufwand für diese speziellen Intrahospitaltransporte?

Nebenfragestellung:

- Welche therapeutischen Konsequenzen haben sich aus den durchgeführten CT-Untersuchungen ergeben?

2. Einleitung

Ein großer Teil der bildgebenden Diagnostik (z.B. Ultraschall, Röntgen-Untersuchungen) kann direkt auf der Intensivstation durchgeführt werden. Einige Untersuchungen jedoch, wie z.B. die Durchführung einer Computertomographie (CT), müssen außerhalb der Intensivstation in den Räumlichkeiten der radiologischen

Abteilung durchgeführt werden, weil diese Untersuchungen auf der ICU nicht möglich sind. Der Transport von kritisch kranken Patienten von der ICU zur CT birgt eigene, und zwar transportassoziierte Risiken. Der Grad dieses Risikos steigt mit der Instabilität und der Komplexität der Therapie (Jepson et al. 2010). Bei schweren Organinsuffizienzen kommen oft maschinelle Unterstützungssysteme zum Einsatz. Während Nieren- oder Leberersatztherapie für den Zeitraum eines Intrahospitaltransportes passager pausiert werden können, ist dies für kardiopulmonale Unterstützungssysteme aus vitalen Gründen nicht möglich. Mit der häufigsten Form der maschinellen Organunterstützung in der Intensivmedizin, der konventionellen Beatmung, werden seit Jahrzehnten regelmäßig und weitgehend problemfrei Intrahospitaltransporte durchgeführt (Weg & Haas 1989). Der zunehmende Einsatz extrakorporaler kardiopulmonaler Organunterstützungssysteme (ECLS) hingegen, bei denen der mechanische Antrieb des Blutstromes und/oder die Oxygenierung bzw. Decarboxylierung über großlumige, perkutan eingelegte Kanülen und Schlauchsysteme konsolengesteuert außerhalb des Patientenkörpers stattfindet, bedeutet eine wesentliche Steigerung der Komplexität apparativer intensivmedizinischer Behandlung. Diese Systeme können je nach Art und Ausmaß der zugrunde liegenden Organinsuffizienz der extrakorporalen Membranoxygenierung (ECMO) und/oder der extrakorporalen CO₂-Eliminierung (ECCO₂R) dienen und je nach Konfiguration der Kanülierung (veno-venös vs. veno-arteriell) zusätzlich eine kardiale Unterstützung leisten.

2.1. Extrakorporale kardiopulmonale Unterstützungsverfahren

2.1.1. Entwicklung

Eine extrakorporale Lungenunterstützung mittels veno-venöser extrakorporaler Membranoxygenierung (vv-ECMO) wurde erstmals 1972 bei einem Patienten mit schwerem posttraumatischem ARDS mit schwerster, therapierefraktärer Hypoxämie angewendet (Zapol et al. 1972). Im Jahr 1980 wurde erstmals die Anwendung einer extrakorporalen Decarboxylierung (ECCO₂R = engl.: Extracorporeal CO₂ Removal) mit niedrigen extrakorporalen Blutflüssen ohne wesentliche Oxygenierung beschrieben, um die Invasivität der Beatmung (Höhe der Beatmungsdrücke und

Tidalvolumina) und damit das Ausmaß der Beatmungsassoziierten mechanischen Lungenschädigung (VILI = engl.: Ventilator Induced Lung Injury) zu reduzieren (Kolobow et al. 1980). Erst im Jahr 2009 konnte im Rahmen der prospektiven randomisierten CESAR-Studie ein Überlebensvorteil für Patienten, die mit schwerem ARDS in ein ECMO-Zentrum verlegt wurden, gezeigt werden (Peek et al. 2009).

Durch die rasante technologische Weiterentwicklung extrakorporaler kardiopulmonaler Unterstützungssysteme mit Verbesserung der Pumpensysteme, Schlauchsysteme, Membranen und Kanülen konnte die Effektivität und Sicherheit dieser Systeme in den vergangenen Jahren deutlich gesteigert werden (Braune & Kluge 2013). Zugleich nimmt auch die Anwendungshäufigkeit dieser Systeme zur Therapie der schweren respiratorischen Insuffizienz zu (Braune & Kluge 2013). Unterscheiden lassen sich die Unterstützungssysteme in zwei grundsätzliche Arten, jene, die primär der Oxygenierung dienen (ECMO), und jene, die primär für eine extrakorporale CO₂-Eliminierung (ECCO₂R) eingesetzt werden. Trotz aller technischen Verbesserungen bleiben die extrakorporalen Verfahren jedoch sehr invasive und potenziell komplikationsträchtige Therapieformen, und in vielen Fällen beeinflussen Auftreten, Art und Häufigkeit von ECLS-assoziierten Komplikationen ebenfalls, die Überlebenswahrscheinlichkeit der Patienten (Paden et al. 2013).

2.1.2. Indikationen

Das Spektrum der Indikationen für eine extrakorporale Lungenunterstützung reicht von der Rescue-Therapie bei schwerster, therapierefraktärer Hypoxämie und/oder Hyperkapnie, bis zur Ermöglichung einer sog. „lungenprotektiven“ oder sogar „ultraprotektiven“ (Tidalvolumen 3-6ml/kgIBW) Beatmung. Zusätzlich liegt die Indikation auch in der Unterstützung eines schnelleren Weanings vom Beatmungsgerät bis hin zur Vermeidung der Intubation und invasiven Beatmung bei ausgewählten Patienten (Braune & Kluge 2013; Müller et al. 2013; Karagiannidis et al. 2013)

Eine weitere Indikation perkutan eingeführter veno-arterieller Systeme (va-ECMO) ist die Behandlung des schweren, therapierefraktären kardiogenen Schocks bis hin zur extrakorporalen kardiopulmonalen Reanimation beim Versagen konventioneller Reanimationsmaßnahmen (Werdan et al. 2014). Eine veno-arterielle ECMO-

Konfiguration geht meist mit einer Steigerung sowohl der Schwere der Grunderkrankungen, als auch der Komplexität der extrakorporalen Therapie einher, weil hierbei sowohl das respiratorische, als auch das kardiozirkulatorische System der Unterstützung bedürfen. Entsprechend höher liegt im Allgemeinen auch das Mortalitätsrisiko bei Patienten mit va-ECMO im Vergleich zu Patienten mit vv-ECMO (Paden et al. 2013).

Eine Therapie mittels ECLS ist eine auf Tage bis wenige Monate zeitlich begrenzte Behandlungsform, bei der das kumulative Komplikationsrisiko mit der Dauer der Behandlung steigt (Kays et al. 2014). Sie dient der überbrückenden Organunterstützung (sogenanntes „bridging“) bis zur Erholung der Grunderkrankung („bridging to recovery“), bis zur Organtransplantation bei terminaler Organinsuffizienz („bridging to candidacy / transplant“), oder bis zum Tode bei ausbleibender Besserung bzw. weiterer klinischer Verschlechterung und/oder mangelnden kurativen Therapieoptionen („bridging to decision / destiny“) (Seidler 2014).

Zusammenfassend lassen sich die Indikationen für die unterschiedlichen Formen extrakorporaler kardiopulmonaler Unterstützungssysteme wie folgt benennen:

- vv-ECMO zur Behandlung einer schweren, therapierefraktären Hypoxämie (ARDS) als Rescue-Therapie
- ECCO₂R zur Behandlung einer schweren, therapierefraktären Hyperkapnie, z.B. bei akuter ventilatorischer Insuffizienz bei chronisch obstruktiver oder restriktiver Lungenerkrankung
- ECCO₂R oder vv-ECMO zur Ermöglichung einer lungenprotektiven Beatmung
- ECCO₂R oder vv-ECMO zur Atemmuskelpumpenentlastung zum schnelleren Weaning von der Beatmung oder sogar zur Vermeidung einer invasiven Beatmung
- va-ECMO zur Behandlung einer respiratorische Insuffizienz bei begleitender Rechtsherz-, Linksherz- oder biventrikulärer Insuffizienz
- va-ECMO zur Behandlung einer primären Rechtsherz-, Linksherz- oder biventrikulären Insuffizienz mit oder ohne begleitende respiratorische Insuffizienz

2.1.3. Kontraindikationen

Für eine ECLS-Therapie gibt es nur wenige absolute Kontraindikationen. Als solche gelten eine irreversible zerebrale Schädigung, das Terminalstadium einer malignen Erkrankung und anatomische Hindernisse einer Platzierung der notwendigen ECLS-Kanülen (Zangrillo et al. 2013; Küstermann et al. 2012). Alle sonstigen Kontraindikationen sind relativ und müssen individuell abgewogen werden. Die Identifikation von Risikofaktoren und von daraus abgeleiteten validen Prognose-Scores ist Gegenstand der derzeitigen ECLS-Forschung. Als relative Kontraindikationen gelten folgende Faktoren: eine schwere, anhaltende bzw. nicht korrigierbare Blutungsneigung, eine intrazerebrale Blutung, sonstige schwere Blutungen, ein fortgeschrittenes, therapierefraktäres Multiorganversagen, ein hohes Lebensalter (Zangrillo et al. 2013).

2.1.4. Komplikationen

Alle ECLS-Therapien sind invasive Behandlungsformen, die mit schwerwiegenden Komplikationen einhergehen können. Die Anlage der Kanülen mit unterschiedlicher Größe und Art je nach Indikation der ECLS-Therapie erfolgt in der Regel perkutan mittels der sogenannten Seldingertechnik (Jackson et al. 1991). Die Wahl des zu punktierenden Gefäßes und die Größe der einzubringenden Kanüle richten sich nach Richtung und Menge des benötigten extrakorporalen Blutflusses.

Schon die Anlage der großlumigen Kanülen kann zu relevanten Gefäßverletzungen mit vital bedrohlicher Blutung und/oder Ischämie führen. Auch eine Dislokation oder Dysfunktion der Kanülen kann zu schweren Blutungen und vital bedrohlichem Funktionsausfall der lebenserhaltenden ECLS-Therapie führen. Daher kommt der adäquaten Fixierung der ECLS-Kanülen und des ECLS-Schlauchsystems, insbesondere bei Lagerungsmaßnahmen des Patienten, eine wichtige präventive Rolle zu.



Abbildung 1: Kanülenfixierung am rechten Oberschenkel

Um die akute Reduktion des extrakorporalen Blutflusses durch funktionelle Schlauchverengungen infolge Abknickungen zu vermeiden, gehört eine intensive Überwachung des gesamten Schlauchsystems und der Blutflussalarme ebenfalls zu den wichtigsten präventiven Maßnahmen bei der ECLS-Behandlung. Durch Schlauchsystemknickung bedingte, niedrige extrakorporale Blutflüsse können nicht nur akut zum reversiblen Funktionsverlust von Oxygenierungs- und/oder Kreislaufunterstützungsleistung führen, sondern fördern Stase-bedingt darüber hinaus auch die akute oder chronische Gerinnselbildung im Schlauchsystem (Esper et al. 2014). Eine solche Gerinnselbildung fördert einerseits den irreversiblen Funktionsverlust des ECLS-Systems und andererseits thrombembolische Ereignisse (Esper et al. 2014)

Generell zählen Blutungskomplikationen, bedingt durch die therapeutische Antikoagulation und durch ECLS-assoziierte Aktivierungen des Gerinnungssystems, zu den häufigsten Komplikationen extrakorporaler kardiopulmonaler Unterstützungssysteme mit einer Häufigkeit von bis zu 33% (Zangrillo et al. 2013); (Küstermann et al. 2012).

Die wesentlichen Komplikationen und Risiken bei der Behandlung mit einem ECLS lassen sich wie folgt kategorisieren (Müller et al. 2013); (Brodie & Bacchetta 2011):

- **Vaskulär:** Blutungen, Gefäßverletzungen sowie Thrombosen und Embolien
- **Mechanisch:** Kanüendislokation, Gerinnselformung im extrakorporalen Kreislauf, Hämolyse im extrakorporalen Kreislauf sowie Kanüleninfektionen mit Sepsis
- **Systemisch:** Blutungen, Heparin-induzierte Thrombozytopenie, extrakorporale Aktivierung einer systemischen Inflammationsreaktion sowie renale und neurologische Schäden

2.1.5. Funktionsweise und Konfiguration

Allen perkutanen ECLS-Systemen (ECCO₂R und ECMO) ist gemeinsam, dass Patientenblut mittels großlumiger Kanülen (13 bis 31 French [Fr] Außendurchmesser) und eines extrakorporalen Schlauchsystems mit 3/8 Zoll Innendurchmesser über eine semipermeable künstliche Membran aus Polymethylpenten mit Membranoberflächen zwischen 1,3-1,9 m² geleitet wird. Auf der Gegenseite der Gasaustauschmembran fließt reiner Sauerstoff oder ein variierbares Sauerstoff-Luft-Gemisch als Membrangas (engl.: „sweep gas“) mit Membrangasflüssen von 1 bis 10 Liter pro Minute (l/min).

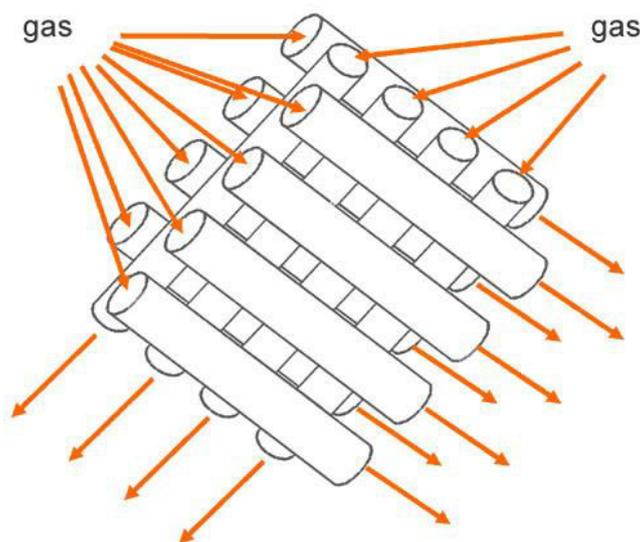


Abbildung 2: Schematische Abbildung einer Membran mit Gasfluss

Im Gegensatz zur extrakorporalen Membranoxygenierung (ECMO), bei der die Oxygenierungsleistung entscheidend vom extrakorporalen Blutfluss abhängt und Blutflüsse ab 50% des Herzzeitvolumens und bis zu 7 l/min erzielt werden müssen (sogenannte „High-Flow“-Systeme). Dagegen reichen bei der ECCO₂R schon Blutflüsse von unter 25% des Herzzeitvolumens mit einem Fluss von 0,5 bis 2,0 l/min für eine effektive Decarboxylierung aus (Karagiannidis et al. 2014; Karagiannidis et al. 2013). In diesem sogenannten „Low-Flow“-Bereich ist die Flussgeschwindigkeit des eingestellten Membrangases entscheidend für die Effektivität der Decarboxylierung (Karagiannidis et al. 2014; Schmidt et al. 2013). Diese unterschiedlichen Mechanismen der Oxygenierung bzw. Decarboxylierung sind bedingt durch die wesentlich bessere physikalische Löslichkeit des Kohlendioxids im Blut im Gegensatz zum Hämoglobin-gebundenen Sauerstoff. Wegen der niedrigeren Blutflüsse sind zur ECCO₂R deutlich kleinere Kanülengrößen ausreichend als für High-Flow-ECMO-Systeme. Bei veno-venösen Systemen können Ausleitung und Rückführung des extrakorporalen Blutes über eine einzige sogenannte Doppellumenkanüle erfolgen. Ansonsten kommen für Aus- und Rückleitung des Blutes getrennte Kanülen zum Einsatz. Der Blutfluss durch den extrakorporalen Kreislauf kann entweder durch den Patientenkreislauf über einen arterio-venösen Shunt angetrieben (av-ECCO₂R) oder aber bei veno-venöser bzw. veno-arterieller Konfiguration (vv-ECCO₂R, vv-ECMO und va-ECMO) durch eine extrakorporale Pumpe unterhalten werden (Braune & Kluge 2013). Trotz der heparinisierten Innenbeschichtung der Schlauchsysteme ist zur Prophylaxe einer Gerinnselbildung im extrakorporalen Kreislauf bei allen ECLS-Systemen eine milde therapeutische systemische Heparinisierung mit einer Ziel-PTT von 40 bis 60 Sekunden notwendig (Görlinger et al. 2012). Eine schematische Übersicht über die einzelnen Bestandteile eines ECLS, in diesem Fall einer vv-ECMO, gibt Abbildung 3

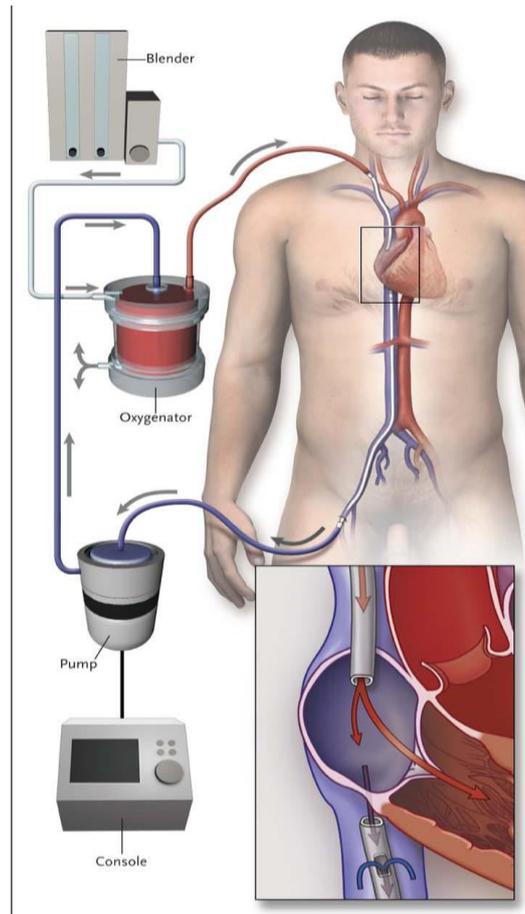


Abbildung 3: Schematischer Aufbau einer vv-ECMO (aus Brodie et al. 2011)

2.1.5.1. Verfahren zur extrakorporalen Entfernung von Kohlendioxid (ECCO₂R)

2.1.5.1.1. Arterio-venöse ECCO₂R (av-ECCO₂R)

Bei dem pumpenlosen Verfahren, dem sogenannten „Interventional Lung Assist“ (iLA[®], Novalung GmbH, Heilbronn, Deutschland) (Bein et al. 2006), fließt arterielles Blut aus einer in der Arteria femoralis einliegenden Ausleitungschanüle durch eine extrakorporale Gasaustauschmembran und über eine Rückführungschanüle in der Vena femoralis zurück zum Patienten.

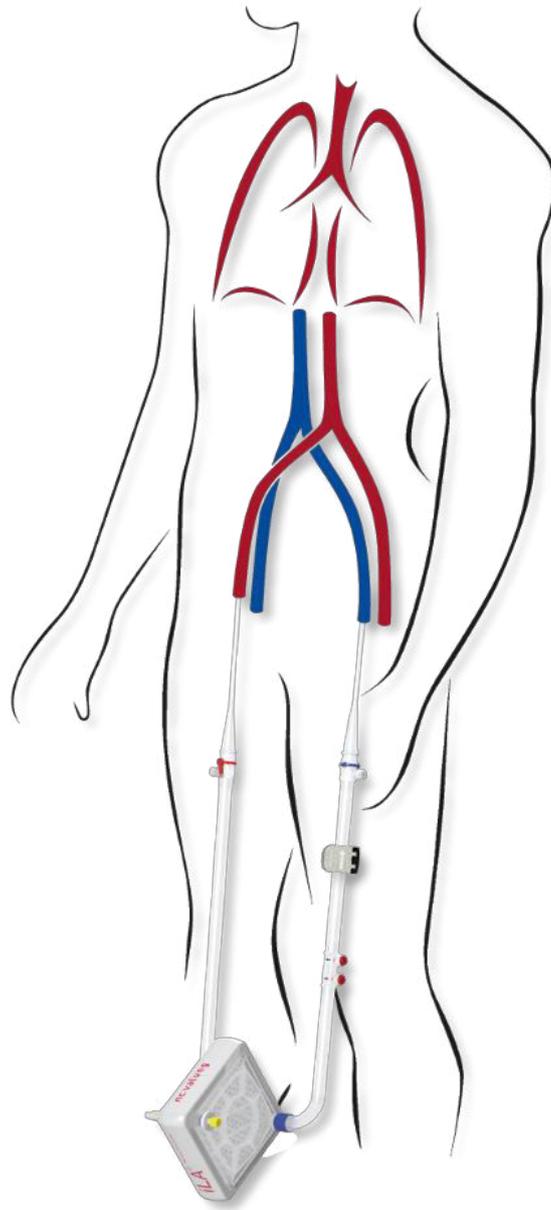


Abbildung 4: Schematische Abbildung iLA (Interventional Lung Assist, iLA[®], Novalung GmbH, Heilbronn)

Auf der anderen Seite der semipermeablen Membran verdrängt das Membrangas mit einem Gasfluss von 1 – 10 l/min Kohlendioxid aus dem Blut. Die treibende Kraft für den Blutfluss durch den extrakorporalen Kreislauf ist der arterio-venöse Druckgradient. Aufgrund der niedrigen Blutflüsse und der arterio-venösen Flussrichtung ist die Oxygenierungsleistung bei av-ECCO₂R klinisch vernachlässigbar. Aufgrund ihrer pumpenlosen Funktionsweise sind für den Einsatz dieser Systeme stabile Kreislaufverhältnisse notwendig und eine relevante periphere

arterielle Verschlusskrankheit ist für die Anlage der arteriellen Kanülen (13 - 15 Fr Außendurchmesser) eine Kontraindikation. Die venöse Kanülen haben einen Außendurchmesser von 15 bis 17 Fr. Abbildung 5 zeigt ein av-ECCO₂R-System, eine genaue Beschreibung des Systems findet sich bei Zimmermann et al. (Zimmermann et al. 2009).



Abbildung 5: iLA-Kanülen mit Membran Ventilator (Interventional Lung Assist, iLA[®], Novalung GmbH, Heilbronn, Deutschland)

2.1.5.1.2. Veno-venöse ECCO₂R (vv-ECCO₂R)

Bei den pumpengetriebenen Systemen zur vv-ECCO₂R wird venöses, kohlendioxidreiches Blut mittels einer extrakorporal gelegenen Pumpe aus der Vena jugularis interna oder Vena femoralis communis durch das Schlauchsystem über die extrakorporale Membran geleitet und nach Decarboxylierung über die Vena jugularis interna oder die Vena femoralis dem Patientenkreislauf zurückgeführt.

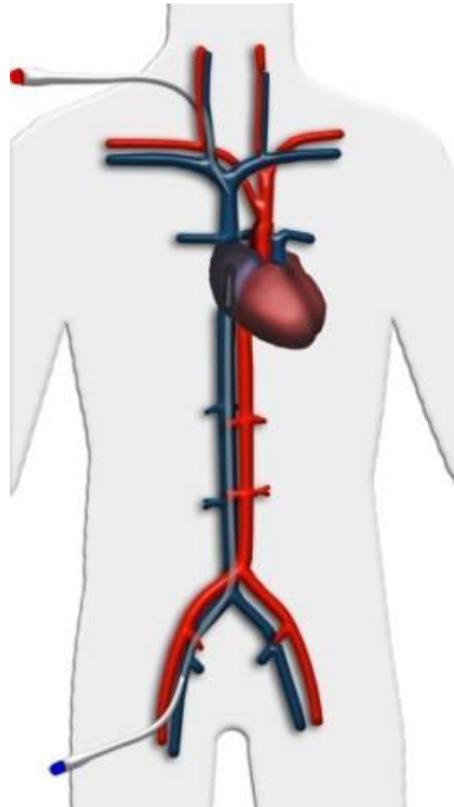


Abbildung 6: Schematische Darstellung eines vv-ECCO₂R

Die Kanülierung kann sowohl mittels einer Doppellumenkanüle (22 – 24 Fr) in einer der oben genannten Venen oder mit zwei getrennten Kanülen (15 – 19 Fr) in unterschiedlichen Venen erfolgen. Für die reine ECCO₂R-Funktion sind in der Regel Blutflüsse von 0,5 bis 2,0 l/min ausreichend. Bei der Passage über die Gasaustauschmembran erfolgt immer auch die Oxygenierung des extrakorporalen Blutes. Wegen des relativ geringen Anteils extrakorporal oxygenierten Blutes in Relation zum Herzzeitvolumen ist der patientenseitige systemische Oxygenierungseffekt zwar in diesem Flussbereich gering, steigt jedoch mit zunehmendem extrakorporalem Blutfluss. Daher ist auch der Übergang von vv-ECCO₂R zu vv-ECMO fließend. Der Aufbau mit Einzelkomponenten eines pumpengetriebenen veno-venösen Lungenunterstützungsverfahrens ist in Abbildung 7 dargestellt.



Abbildung 7: System eines vv-ECCO₂R mit Einzelkomponenten (Novalung GmbH, Heilbronn, Deutschland)

Das im Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf (UKE) während des Untersuchungszeitraumes zum Einsatz gekommene System zur vv-ECCO₂R ist das iLA-active®-System (Novalung GmbH, Heilbronn, Deutschland). Eine Beschreibung findet sich bei Hermann (Hermann et al. 2014). Weitere in Deutschland zugelassene, ECCO2R-Systeme sind das CARDIOHELP®-System (Maquet, Rastatt, Deutschland) und das HEMOLUNG®-RAS-System (ALung Technologies, Inc. Pittsburgh, USA).

2.1.5.2. Verfahren zur extrakorporalen Membranoxygenierung (ECMO)

2.1.5.2.1. Venovenöse ECMO (vv-ECMO)

Aufbau und Konfiguration einer venovenösen ECMO gleichen im Prinzip der vv-ECCO₂R (Abbildung 6). Auch hier wird venöses drainiertes Blut nach extrakorporaler Oxygenierung und Decarboxylierung wieder venös dem rechten Vorhof zugeleitet. Allerdings sind wegen der höheren Blutflüsse von bis zu 7 l/min deutlich größere Kanülen (Ausleitungskanülen bis zu 25 Fr und Rückführungskanülen bis zu 19 Fr Außendurchmesser) sowie eine größere Gasaustauschmembran mit Oberflächen von bis zu 1,9 m² notwendig. In Fällen mit sehr hohem Blutfluss kann eine vv-ECMO den pulmonalen Gasaustausch teilweise sogar weitgehend ersetzen und damit auch als Lungenersatzverfahren bezeichnet werden.

Das schon im Unterkapitel zur vv-ECCO₂R beschriebene iLA-activve[®]-System (Novalung GmbH, Heilbronn, Deutschland) wurde während des Untersuchungszeitraumes in höheren Flussbereichen auch als vv-ECMO eingesetzt. Sowohl zur vv-ECMO als auch zur va-ECMO (siehe unten) wurde am weitesten häufigsten das Rotaflow[®]-System (Maquet, Rastatt, Deutschland) als ECMO-Konsole eingesetzt.



Abbildung 8: Rotaflow[®]-Konsole (ECMO) der Firma Maquet (Maquet GmbH, Rastatt, Deutschland)

Dieses System wurde, im Unterschied zu den Systemen der Firma Novalung, stets durch die Kardiotechnik am UKE (Firma Life System, Mönchengladbach, Deutschland) bereitgestellt und auch während der ECMO-Transporte begleitet. Eine Beschreibung dieses Systems findet sich bei Haneya (Haneya et al. 2009).

Weitere als Ersatz-Konsole der Kardiotechnik zum Einsatz gekommene Systeme waren die Sorin-SCPC[®]-Konsole (Sorin Group, Mailand, Italien) und das Levitronix-CentriMag[®]-System (Thoratec Corp., Pleasanton, USA).

2.1.5.2.2. Arterio-venöse ECMO (va-ECMO)

Arterio-venöse ECMO-Systeme dienen über die extrakorporale Decarboxylierung und Membranoxygenierung hinausgehend der extrakorporalen

Kreislaufunterstützung bei, einer das Lungenversagen begleitenden oder primären schweren Herzinsuffizienz. Bei der va-ECMO wird das desoxygenierte, venös drainierte Blut nach extrakorporaler Membranoxygenierung und Decarboxylierung anders als bei der vv-ECMO nicht venös dem rechten Vorhof zurückgegeben, sondern über die Arteria femoralis und Arteria iliaca unter Umgehung des Herzens und des Pulmonalkreislaufs retrograd in die aortale Strombahn zurückgeleitet. Entsprechend dieser Blutflussrichtung muss im Standardfall jeweils eine venöse und eine arterielle Kanülierung vorgenommen werden um Blutflüsse zwischen 4 und 7 l/min zu generieren. In Einzelfällen sind auch Hybrid-Konfigurationen mit drei Kanülen zur doppelten veno-venösen Ausleitung und einfachen arteriellen Rückführung oder zur einfachen venösen Ausleitung und doppelter veno-arteriellen Rückführung des Blutes möglich. Die venösen Ausleitungskanülen haben wie bei der vv-ECMO Außendurchmesser bis 25 Fr und die femoral-arteriell eingelegten Rückführungskanülen mit einem Außendurchmesser von 17 bis 19 Fr. Um eine durch Kanülenobstruktion verursachte distale arterielle Beinischämie zu vermeiden, werden häufig zusätzliche kleinere Kanülen in die Arteria femoralis gelegt, die einen aus dem ECLS-Rückführungsschlauch abgehenden und das Bein nach distal perfundierenden Bypass schaffen.

2.2. Therapie mit ECLS im UKE

In der Klinik für Intensivmedizin (KIM), die im UKE in Zusammenarbeit mit den jeweils mitbehandelnden Fachdisziplinen alle erwachsenen Intensivpatienten auf insgesamt 11 Intensivstationen interdisziplinär behandelt, werden jährlich über 100 ECLS-Behandlungen mit unterschiedlichen Verfahren und Indikationen durchgeführt. Eine besonders enge Zusammenarbeit bei der Behandlung mit ECLS-Systemen besteht mit der Klinik und Poliklinik für Herz- und Gefäßchirurgie des Universitären Herzzentrums Hamburg (UHZ) und der Firma Life Systems, (Mönchengladbach, Deutschland), die das kardiotechnische Personal in dieser Klinik stellt.

2.3. Intrahospitaltransporte von kritisch kranken Patienten

Patienten auf der Intensivstation sind oft aufgrund ihrer akuten Erkrankung und sowie der Therapie in einem instabilen klinischen Zustand. In vielen Fällen ist zur Sicherung einer Verdachtsdiagnose und/oder zur Optimierung der Therapie eine bildgebende Diagnostik in den Räumlichkeiten der Radiologie nötig, wie etwa zur Durchführung einer CT.



Abbildung 9: Intensivtransport innerhalb des UKE

Dabei bestehen besondere Anforderungen an das den Transport, begleitende Personal, das dazu benötigte Transportmaterial und die den Transport betreffende Logistik. Es muss sichergestellt sein, dass die bestehende, oftmals lebenserhaltende Therapie zu keiner Zeit herabgesetzt oder gar unterbrochen wird. Das den Transport begleitende Personal muss ausreichend qualifiziert sein, um im Falle von klinischen Zustandsverschlechterungen oder Notfällen rasch und adäquat handeln können. Zu dieser Qualifikation gehören auch die genauen Kenntnisse der auf den Transporten verwendeten komplexen intensivmedizinischen Technologien und eine ausreichende Erfahrung damit. Zudem muss die Logistik innerhalb des Krankenhauses gut auf die Besonderheiten solcher Hochrisikotransporte abgestimmt sein (Szem et al. 1995). Daher bedarf jeder Intensivtransport erheblicher personeller und zeitlicher Ressourcen. Bereits bei der Anmeldung einer CT-Untersuchung eines Intensivpatienten muss sichergestellt werden, dass keine unnötigen Wartezeiten außerhalb der ICU auftreten. Vorkehrungen zur Gewährleistung ausreichender Strom-, Sauerstoff- und Medikamentenversorgung fließen in die zeitliche Planung eines Intrahospitaltransportes von kritisch kranken Patienten stets mit ein. Der Transport

eines intensivmedizinisch betreuten Patienten benötigt spezielle materielle Ressourcen, wie etwa ein Notfallkoffer mit den dazugehörigen medizinischen Ausrüstungen (siehe Anhang 11.8.), die zur Sicherstellung des Transportes in ausreichender Quantität und Qualität vorhanden sein bzw. vorbereitet werden müssen (Warren et al. 2004).

2.4. Vorbereitung von Intrahospitaltransporten von Intensivpatienten

Im Rahmen der Planung und Vorbereitung eines Intrahospitaltransportes (IHT) für einen intensivpflichtigen Patienten sind im Allgemeinen folgende Einzelaspekte zu berücksichtigen:

2.4.1. Logistische Vorbereitungen

- Zeitliche Planung und Absprache der CT mit der radiologischen Abteilung
- Zeitliche Absprache des Transportes mit sämtlichen den Transport begleitenden Personal und allen Berufsgruppen
- Auswahl der zum Transport benötigten Medikamente
- Auswahl des Transportweges unter Berücksichtigung von Sicherheits- und Kommunikationsaspekten
- Sicherstellung von Kommunikationsstrukturen während des Transportes

2.4.2. Patientenseitige Vorbereitungen

- Entscheidung über ein Sedierungskonzept (wacher vs. sedierter Patient)
- Lagerung in Rückenlage, zur Vereinfachung der Umlagerung auf die CT-Liege
- Hygienische Patientenverhältnisse
- Kontrolle von EKG-Elektroden und Sauerstoffsättigungsclip
- Sicherung von Schläuchen, Drainagen und Kathetern sowie Infusions- und Perfusionsleitungen für den Transport

2.4.3. Technische Vorbereitungen

- Bereitstellung aller notwendigen laufenden intravenösen Medikamente inklusive einer ausreichenden Reserve
- Umbau der Infusions- und Perfusionsleitungen zum Transport, wie etwa der Einbau von verlängerten Schlauchsystemen
- Sicherstellung mitzuführender Notfallmedikamente
- Kontrolle des Ladezustandes der zum Transport benötigten elektrischen Geräte (Monitor, Perfusoren, Infusomaten, Beatmungsgerät etc.)
- Kontrolle der Funktionsfähigkeit des Transport-Beatmungsgerätes
- Kontrolle der Sauerstoffflaschen und deren ausreichenden Füllungszustandes

- Kontrolle der Funktionsweise und des Inhaltes des bettseitig montierten Transportmoduls, wie etwa Mechanik, Absaugung, Vorhandensein des vollständig gefüllten Notfall-Rucksackes



Abbildung 10: Transportmodul im UKE

- Verbinden des Transportmoduls mit dem Patientenbett zu einer mechanisch funktionierenden Einheit (für eine optimale Steuerbarkeit Patientenbettes)



Abbildung 11: Transportmodul ungekoppelt



Abbildung 12: Transportmodul gekoppelt

- Sicherstellung des Mitführens funktionierender Mobiltelefone

2.4.4. Personelle Vorbereitungen für die Transportbegleitung

- Bereitstellung eines für die Komplexität des kritisch kranken Patienten und der begleitenden Therapie ausreichend qualifizierten Intensivmediziners.
- Bereitstellung einer entsprechend qualifizierten Pflegekraft
- Bereitstellung von Transportbegleitern
- Vorab-Besprechung des Transport-Ablaufs (Routenplanung)

2.5. Besonderheiten bei Intrahospitaltransporten von Patienten mit ECLS

Der Intrahospitaltransport von Intensiv-Patienten unter laufendem ECLS bedarf spezieller Vorbereitungen, um die Sicherstellung des reibungslosen Betriebes der lebenserhaltenden ECLS auch während des Transportes zu gewährleisten (Prodhan et al. 2010; Goodwin et al. 2014). Je nach den logistischen und strukturellen Besonderheiten des behandelnden Krankenhauses sind in die Transportvorbereitung und -durchführung dieser speziellen Patientengruppe weitere Berufsgruppen involviert, wie etwa die Mitarbeiter der Kardiotechnik und/oder der Kardiochirurgie. Im Folgenden werden die logistischen und strukturellen Besonderheiten des UKE beschrieben.

2.5.1. Vorbereitung von Intrahospitaltransporten mit ECLS am Beispiel des UKE

- Je nach Art des ECLS-Verfahrens und der verwendeten ECLS-Konsole erfolgt eine zusätzliche zeitliche und organisatorische Koordinierung zum gemeinsamen Transport mit einem Mitarbeiter der Kardiotechnik. Dies sind Fälle, bei denen die ECMO-Konsolen aus dem Gerätebestand der Kardiotechnik stammen und die Kardiotechnik vom Beginn der ECLS bis zur Beendigung täglich in die Überwachung und Therapieanpassung eingebunden ist.
- Je nach Art des ECLS-Verfahrens und Größe der Konsole erfolgt die Umlagerung des Patienten auf eine spezielle Transportliege für den Transport, um die Passage von Hindernissen oder Engstellen, z.B. Fahrstuhl, zu ermöglichen (siehe auch Abschnitt 2.4.2.).
- Lagerung und Sicherung des Patienten auf der Transportliege (um einen reibungslosen Ablauf dieses Vorgangs zu gewährleisten, erfolgt dies koordiniert mit bis zu sechs Mitarbeitern, der jeweiligen Station).
- Überprüfung der technischen Voraussetzungen des ECLS-Systems inklusive ausreichender Sauerstoff- und Stromversorgung

- Ausrichtung und Sicherung der einzelnen ECLS-Komponenten (ECLS-Kanülen [Abbildung 1 und Abbildung 13], ECLS-Konsole mit Pumpenkopf, Membranoxygenator, Blutflussmessgerät und Sauerstoffversorgungsschlauch [Abbildung 14]) zum Transport



Abbildung 13: Fixierung einer Halskanüle

- Umbau der stationären Strom- und Sauerstoffversorgung des ECLS-Systems in eine mobile Form

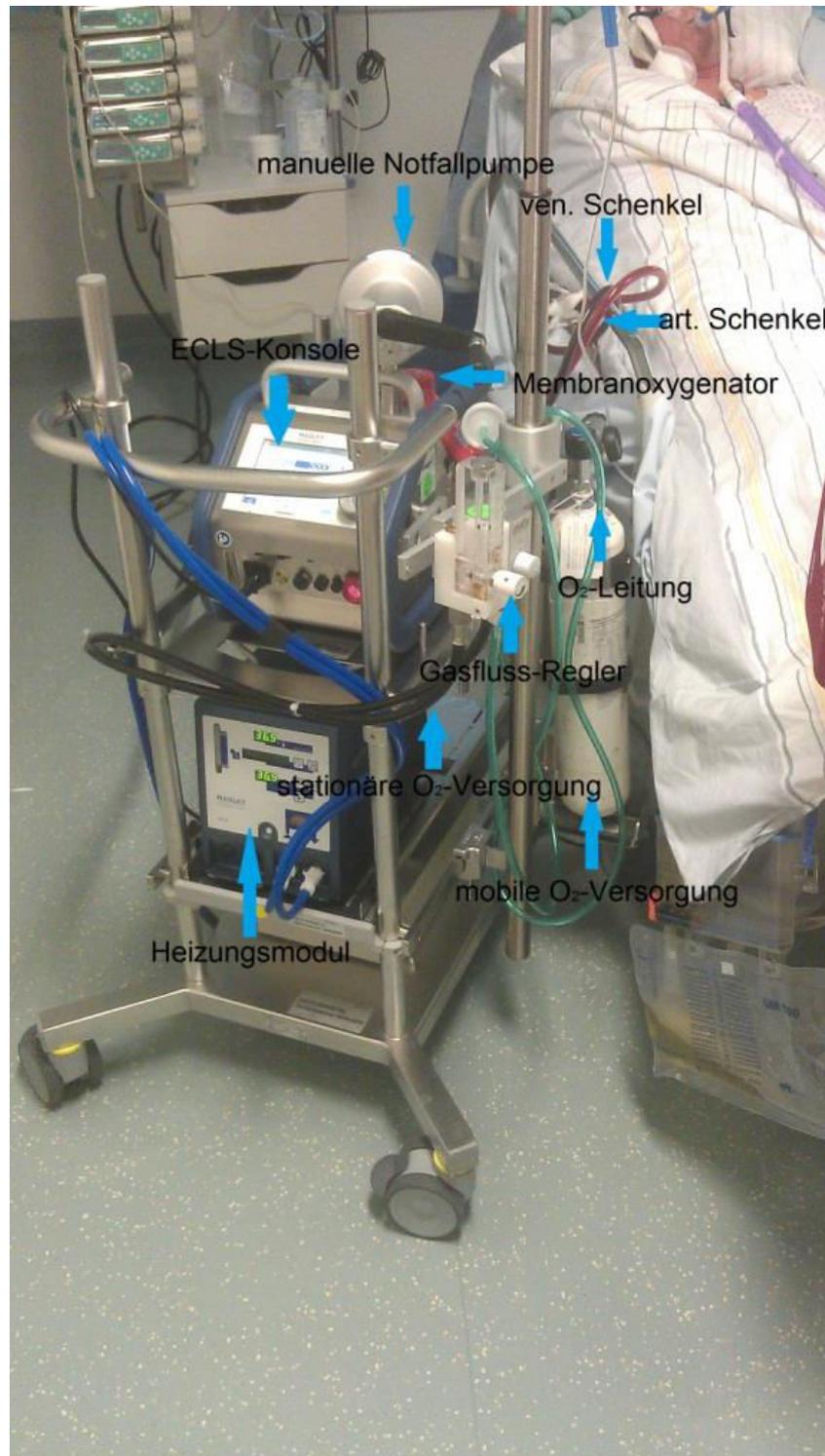


Abbildung 14: Transportkonsole mit Beschriftung der Bestandteile

2.5.2. Transportwege während des ECLS-Intrahospitaltransporte

In Abhängigkeit von den räumlichen Strukturen des behandelnden Krankenhauses können bestimmte Flurabschnitte, Türen und häufig auch Fahrstühle ein relevantes Transporthindernis für die sehr raumeinnehmende Kombination aus Transportliege, eines Transportmoduls für Beatmungsgerät und Monitor sowie einer ECLS-Konsole darstellen.



Abbildung 15: Transportkonvolut, bestehend aus Transportliege, Transportkonsole für Beatmungsgerät und Monitor sowie eine ECLS-Konsole

Manchmal können diese Hindernisse durch Umwege umgangen werden. In vielen Fällen ist es jedoch notwendig, die sonst üblichen Transportmodalitäten eigens für einen ECLS-Intrahospitaltransport zu modifizieren. Im Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf (UKE) passen bei bestimmten Formen der ECLS Intensivbett, Transportbegleitmodul sowie ECLS-Konsole nicht in den zwingend zu benutzenden Fahrstuhl. Der Transport zum CT kann im UKE mit bestimmten ECLS-Konsolen, bedingt durch deren Größe, nur dann erfolgen, wenn der Patient vor Beginn des Transportes auf eine schmalere Transportliege umgelagert wird und so alle Transportbestandteile in den Fahrstuhl passen. Mit der schmaleren Transportliege kann jedoch keine Einheit mit dem im UKE verwendeten Transportbegleitmodul geschlossen werden.



Abbildung 16: Transportliege und Transportmodul ohne Ankoppelbarkeit

Durch diese Modifikationen ist die Lenkbarkeit eines solchen Konvoluts aus Transportliege mit Patient, Transportmodul und ECLS-Konsole eingeschränkt, weil es nicht möglich ist, dieses Transportkonvolut als eine Einheit zu bewegen. Die Bestandteile müssen daher stattdessen einzeln und gleichzeitig bewegt werden. Dies erfordert mehrere Personen, die mit höchster Aufmerksamkeit und in ständiger Kommunikation untereinander den Transport lenken.



Abbildung 17: Transportkonvolut beim Passieren einer Tür

Diese Besonderheiten bei ECLS-Intrahospitaltransporten im UKE erhöhen die Komplexität des Transportes und damit potenziell auch das Risiko transportassoziierter Komplikationen.

2.5.3. Intensivmedizinische Überwachung während der Intrahospitaltransporte

Ebenso wie die Vorbereitung muss auch der Transport mit höchster Sorgfalt, Aufmerksamkeit und Umsicht durchgeführt werden. Um drohende Probleme rechtzeitig zu erkennen ist eine optimale Patientenüberwachung notwendig. Als Minimalanforderungen sollten folgende Überwachungsmöglichkeiten gegeben sein (Warren et al. 2004):

- Elektrokardiographisches Monitoring (Herzfrequenz und Art des Rhythmus)
- Pulsoxymetrie (transkutan gemessene Sauerstoffsättigung)

- Häodynamisches Monitoring (invasiv gemessener Blutdruck)
- Beatmungsmonitoring (Beatmungsdrücke, Tidal- und Minutenvolumen, Atemfrequenz)

Darüber hinaus ist bei Patienten mit ECLS eine Überwachung des ECLS-Blutflusses und der Alarme (Blutfluss, Ansaugdruck, Luft im Schlauchsystem) erforderlich. Hierbei gilt speziell für die großlumigen ECLS-Kanülen und das ECLS-Schlauchsystem eine besondere Überwachungspflicht, weil jegliche Kompromittierung des extrakorporalen Blutflusses durch eine Kanülendislokation oder eine Abknickung des Schlauchsystems eine vital bedrohliche Einschränkung des Gasaustausches und/oder des Kreislaufs nach sich ziehen kann. Die Art und das Ausmaß der vorliegenden Erkrankung des Patienten machen eventuell noch weitere Überwachungsmöglichkeiten notwendig, wie etwa ein spezielles Neuromonitoring mit Hirndruckmessung und/oder EEG.

2.5.4. Ablauf des Transportes

Sind alle oben beschriebenen Faktoren erfüllt bzw. kontrolliert beginnt der Transport. Unmittelbar vor Beginn des Transportes wird noch einmal das CT kontaktiert, um sicherzustellen, dass die Räumlichkeiten frei sind und es nicht zu unnötigen Verzögerungen kommt. Beim Transport selbst werden folgende Dinge beachtet:

- Kontrolle der Vitalzeichen des Patienten
- Kontrolle der korrekten Funktion der ECLS-Konsole
- Gewährleistung der mechanischen und funktionellen Einheit der verschiedenen Module (Patientenliege, ECLS-Konsole, Transportkonsole) durch das Begleitpersonal (Abbildung 18 und 19)



Abbildung 18: Manuelle Fixierung der Module

- Manuelle Fixierung von vulnerablen Teilen des ECLS-Systems

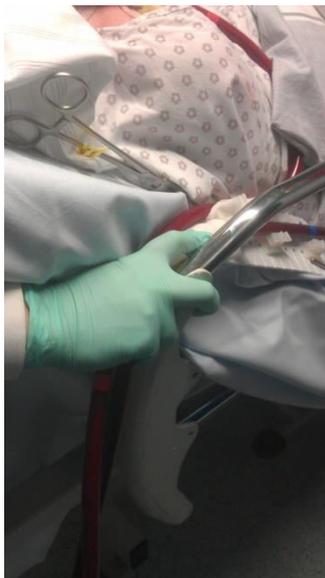


Abbildung 19: Manuelle Fixierung der Blutschläuche

- Beachten von Hindernissen während des Transportes (Türen, Engpässe, Fahrstuhl)
- Ständige Kommunikation des Begleitpersonals über mögliche Gefahrenquellen während des Transportes
- Eventuelles Warten, bis Türen zur Durchfahrt geöffnet worden sind

2.5.5. Abläufe innerhalb des CT-Untersuchungsraumes

Ist der Patient sicher im CT angekommen, muss er zum Zwecke der CT-Untersuchung auf die Liege des CT umgelagert werden. Das Personal des CT ist hier bei der Umlagerung meist zusätzlich behilflich. Für eine sichere Umlagerung des Patienten gilt es, koordiniert folgende Punkte zu beachten:

- Lückenlose Überwachung des Patienten zu jedem Zeitpunkt der Umlagerung
- Überprüfung aller Schlauchleitungen und Tuben, so dass die Gefahr einer Dislokation minimiert wird und eine reibungslose Umlagerung in einer einzigen Aktion erfolgen kann
- Zum Zwecke des Umlagerens des Patienten dient das Laken, auf dem der Patient liegt, als Transporttuch und wird zur Umlagerung genutzt.
- Wenn vorhanden, kann der Patient mithilfe einer Umlagerungshilfe auf die Untersuchungsliege befördert werden, um das Anheben des Patienten zu vermeiden.
- Der ärztliche Transportleiter hat die Verantwortung und das Kommando über alle Schritte des Umlagerens. Zu diesem Zweck befindet er sich am Kopf des Patienten.
- Manuelle Sicherung des Kopfes mit allen liegenden Tuben, Zugängen und Kanülen, vorzugsweise durch den ärztlichen Transportleiter
- Manuelle Sicherung sämtlicher sonstiger Zugänge und Schläuche des Patienten, durch andere Helfer



Abbildung 20: Umlagerung des Patienten im CT

- Auf Kommando des Transportleiters (begleitender Arzt) wird der Patient mit gebührender Vorsicht gleichzeitig vom gesamten Team von der Transportliege auf die CT-Untersuchungsliege mobilisiert.
- Im Anschluss erfolgt die Entfernung der Umlagerungshilfe.
- Zum Zwecke der CT-Untersuchung erfolgt die Ausrichtung und Fixierung des Patienten auf der CT-Liege (möglicherweise mit spezieller Lagerung der Arme).
- Anschluss der sauerstoffabhängigen Geräte an den O₂-Wandanschluss des CT-Raumes
- Eventuell Umstellung der Stromversorgung der Transportmodule auf Netzbetrieb

- Sicherstellung, dass alle für den Patienten wichtigen Schlauchleitungen den Bewegungen der CT-Liege durch den CT-Scanner ohne Einschränkungen folgen können
- Dies wird durch eine Testbewegung überprüft.
- Ausrichtung der Überwachungsmonitore in die Richtung des Überwachungsfensters des CT-Raumes, sodass diese durch das Überwachungsfenster hindurch gesehen werden können
- Ständige lückenlose Kontrolle der Vitalparameter und des ECLS-Blutflusses durch das Überwachungsfenster während der CT-Untersuchung
- Nach Abschluss der Untersuchung erfolgt in umgekehrter Reihenfolge die Rücklagerung des Patienten auf die Transportliege.

2.5.6. Ablauf des Rücktransportes

Unter Berücksichtigung derselben Kriterien wie beim Hintransport wird auch der Rücktransport durchgeführt. Der Transport endet mit der Versorgung aus komplett stationären Ressourcen, so dass Sauerstoff, Strom sowie die Beatmung und auch die Versorgung mit Medikamenten aus stationeigenen Beständen erfolgt.

2.6. Komplikationen bei Intrahospitaltransporten kritisch kranker Patienten

Bei kritisch kranken Patienten ist die Häufigkeit von Zwischenfällen beim Intrahospitaltransport deutlich erhöht im Vergleich zu Patienten, die nicht transportiert werden müssen (Schwebel et al. 2013). Die Zahlen differieren hier stark, aufgrund unterschiedlicher Definitionen einer Komplikation bzw. eines unerwünschten Ereignisses (UE). Verschiedene Studien geben Werte zwischen 0% bis zu 70% an, die in einer Arbeit von (Fanara et al. 2010) zusammengefasst wurden. Zwei große Studien aus dem Jahr 2013 kommen auf Werte von 37,4% und 45,8% (Parmentier-Decrucq et al. 2013; Schwebel et al. 2013)

Die verschiedenen Risiken eines Transportes von kritisch-kranken Patienten lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Verschlechterung des Gesundheitszustandes des Patienten
- Ausfall von Technik
- Ausfall der laufenden Medikamente
- Akzidentelle Entfernung von Zugängen, Schläuchen oder Drainagen
- Therapiefehlscheidungen des begleitenden Personals

Eine klinische Verschlechterung des Patienten kann dabei sowohl unabhängig vom Intrahospitaltransport, Teil der kritischen Grunderkrankung, als auch Folge der oben aufgeführten Punkte 2 bis 5 sein. Für alle diese Punkte ist es wichtig, dass der Transport von qualifiziertem intensivmedizinischem Personal begleitet wird, um erstens jegliches Komplikationsrisiko durch unsachgemäße Handhabung des ECLS-Technik zu minimieren und zweitens im Falle einer Komplikation und/oder klinischen Zustandsverschlechterung rasch und effektiv reagieren zu können.

2.7. Transporte in der Klinik für Intensivmedizin im UKE

In der Klinik für Intensivmedizin des UKE gibt es seit Jahren eine „Standard Operating Procedure“ (SOP) hinsichtlich innerklinischer Transporte in der KIM. Diese wurde in Anlehnung an die Arbeit von Fanara et al. erstellt. Die Durchführung von Transporten orientiert sich an dieser SOP. Zusätzlich zu dieser SOP gibt es eine innerklinische Dienstanweisung, welche die Begleitung durch Pflegepersonal bei kritisch kranken intensivmedizinischen Patienten zwingend vorsieht. Eine überprüfende Erhebung, ob und inwieweit alle Ansprüche der SOP in der klinischen Routinepraxis angewandt wurden, war wegen des retrospektiven Charakters der vorliegenden Untersuchung nicht möglich. Zudem nimmt diese SOP zu den spezifischen Aspekten eines Transportes mit ECLS nicht Stellung (siehe Anhang 11.7.).

3. Material und Methoden

3.1. Studiendesign

Die vorliegende Untersuchung wurde als monozentrische, retrospektive Beobachtungsstudie am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf durchgeführt.

3.2. Untersuchungszeitraum

Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich vom 01.01.2009 bis zum 31.12.2013.

3.3. Ein- und Ausschlusskriterien

Für die untersuchten Behandlungsfälle aus dem oben genannten Untersuchungszeitraum galten folgende Einschlusskriterien:

- Alle erwachsenen Patienten (> 18 Jahre), die im Untersuchungszeitraum in der Klinik für Intensivmedizin (KIM) auf einer der Intensivstationen (ICU) stationär behandelt wurden und
- unter laufender extrakorporaler Herz-/Lungenunterstützung (ECLS)
- für eine Computertomographie (CT) von der ICU zum Computertomographen transportiert wurden.

3.4. Erhebungsmethodik und -instrumente

3.4.1. Identifizierung der Fälle

Die Identifizierung der Behandlungsfälle erfolgte mit Unterstützung des Medizinischen Controllings des UKE. In einem ersten Schritt wurden alle Behandlungsfälle identifiziert, bei denen in dem Untersuchungszeitraum eine ECLS durchgeführt wurde. Dies erfolgte mithilfe der Datenbank des medizinischen

Controllings über die Auswertung der ECLS-spezifischen Zusatzentgelte. Im nächsten Schritt wurden diese Fälle dann mithilfe des elektronischen Patientendatenmanagementsystem (PDMS) der Klinik für Intensivmedizin, dem ICM[®] (Integrated Care Manager[®], Dräger, Lübeck), weiter eingegrenzt. Mittels manueller Durchsicht der elektronischen Patientenakten aller Fälle mit ECLS erfolgte die Identifizierung derjenigen Fälle, bei denen zu irgendeinem Zeitraum während des Intensivaufenthaltes unter ECLS ein CT-Transport durchgeführt wurde.

Die so identifizierten Fälle wurden in die weitere retrospektive Auswertung einbezogen.

3.4.2. Erhebungsinstrumente

Als Erhebungsinstrumente dienten sowohl das elektronische PDMS der Intensivstationen (ICM[®]) als auch das allgemeine elektronische PDMS des UKE (Soarian[®], Siemens, Erlangen). Aus dem ICM[®] wurden die unten aufgeführten Untersuchungsparameter aus folgenden Bereichen innerhalb der elektronischen Patientenakten erhoben:

- Vitalparameter
- Beatmungsparameter
- Parameter der ECLS-Behandlung
- Medikamentenverordnungen und -dosierungen
- Radiologische Befunde
- Laborchemische Befunde
- Ärztliche Verlaufsberichte
- Pflegerische Verlaufsberichte
- Entlassungs- und Verlegungsbriefe

Aus der Soarian[®]-Akte wurden zusätzlich folgende Bereiche mit in die Auswertung einbezogen:

- Radiologische Befunde
- Entlassungs- und Verlegungsbriefe

3.5. Erhobene Variablen

3.5.1. Zielparameter

3.5.1.1. Intrahospitaltransportassoziierte unerwünschte Akut-Ereignisse

Schwere intrahospitaltransportassoziierte unerwünschte Ereignisse wurden wie folgt operationalisiert:

- Hämodynamik
 - Abfall des mittleren arteriellen Blutdruckwertes auf unter 50 mmHg für eine Dauer von mehr als 5 Minuten von Beginn des Transportes bis zur Rückkehr auf die ICU
 - Erhöhung der Noradrenalin-Dosis um mehr als 20 µg/min vom Ausgangswert auf der ICU für eine Dauer von mehr als 5 Minuten von Beginn des Transportes bis zur Rückkehr auf die ICU
 - Herzfrequenzabfall oder -anstieg auf unter 50 bzw. über 160 Schläge pro Minute für eine Dauer von mehr als 5 Minuten von Beginn des Transportes bis zur Rückkehr auf die ICU
 - Ventrikuläre Rhythmusstörungen jeglicher Art von Beginn des Transportes bis zur Rückkehr auf die ICU
 - Anstieg des Laktatwertes um mehr als 4 mmol/l zwischen letzter Blutgasanalyse (BGA) vor Beginn des Transportes und erster BGA nach Rückkehr auf die ICU
- Gasaustausch
 - Peripherer, pulsoxymetrischer Sauerstoffsättigungsabfall auf 80% oder weniger für eine Dauer von mehr als 60 Sekunden von Beginn des Transportes bis zur Rückkehr auf die ICU
 - Abfall der arteriellen Sauerstoffsättigung um mehr als 20% zwischen letzter BGA vor Beginn des Transportes und erster BGA nach Rückkehr auf die ICU
 - Anstieg des PaCO₂ um mehr als 30% des Ausgangswertes vor dem Transport

- Kanülen- und Schlauchsystem-assoziierte Komplikationen während des Zeitraumes von Beginn der Transportvorbereitung bis zur Rückkehr auf die ICU:
 - Abfall des ECLS-Blutflusses für länger als 1 Minute auf unter 2,0 l/min bei vv-/va-ECMO bzw. auf unter 0,5 l/min bei av-/vv-ECCO₂R
 - Dislokation von ECLS-Kanülen
 - Dislokation sonstiger intravaskulärer Zugänge
 - Dislokation des Beatmungstubus während des Zeitraumes von Beginn der Transportvorbereitungen bis zur Rückkehr auf die ICU
- Blutungskomplikationen
 - Abfall des Hämoglobinwertes (Hb-Wert) um mehr als 2 mg/dl zwischen letzter BGA vor Beginn des Transportes und erster BGA nach Rückkehr auf die ICU, sofern sich dieser Abfall nicht durch eine schon vor dem Transport bestehende Blutung erklären lässt
 - Jede während oder unmittelbar nach dem Transport neu aufgetretene Blutung mit Akuttransfusion, unabhängig vom Hb-Wert-Abfall
- Geräte-Fehlfunktionen
 - Jede Fehlfunktion des ECLS oder von sonstigen auf dem Transport mitgeführten medizinischen Geräten von Beginn des Transportes bis zur Rückkehr auf die ICU
- Reanimation
 - Jeder kritische Gesundheitszustand im Sinne eines Herzkreislaufstillstandes der medikamentöse Therapie und/oder Herzmassage benötigt
- Tod
 - Versterben des Patienten auf dem Transport, unabhängig von der Ursache

Leichte intrahospitaltransportassoziierte unerwünschte Ereignisse wurden wie folgt operationalisiert:

- Hämodynamik
 - Abfall des mittleren arteriellen Blutdruckwertes um 15 bis 30 mmHg gegenüber dem Ausgangswert auf der ICU für eine Dauer von mehr als

- 5 Minuten von Beginn des Transportes bis zur Rückkehr auf die ICU und/oder
 - Erhöhung der Noradrenalin-Dosis um 10 bis 20 µg/min vom Ausgangswert auf der ICU für eine Dauer von mehr als 5 Minuten von Beginn des Transportes bis zur Rückkehr auf die ICU
 - Anstieg des Laktatwertes um 2 bis 4 mmol/l zwischen letzter BGA vor Beginn des Transportes und erster BGA nach Rückkehr auf die ICU
- Gasaustausch
 - Peripherer, pulsoxymetrischer Sauerstoffsättigungsabfall auf über 80% bis 90% für eine Dauer von mehr als 60 Sekunden von Beginn des Transportes bis zur Rückkehr auf die ICU
 - Abfall der arteriellen Sauerstoffsättigung um 5% bis 20% zwischen letzter BGA vor Beginn des Transportes und erster BGA nach Rückkehr auf die ICU
- Blutungskomplikationen
 - Abfall des Hämoglobinwertes um 1 bis 2 mg/dl zwischen letzter BGA vor Beginn des Transportes und erster BGA nach Rückkehr auf die ICU ohne Akut-Transfusion, sofern sich dieser Abfall nicht durch eine schon vor dem Transport bestehende Blutung erklären lässt.

3.5.1.2. Zeitlicher und personeller Ressourcenverbrauch durch IHT

Der Ressourcenverbrauch des Personals und die für den Transport benötigte Zeit wurden wie folgt dokumentiert:

- Zeit in Minuten für den Gesamttransport (Zeit: Differenz der Akteneinträge von Transportende und Transportbeginn)
- Ausgewertet wurde die Zusammensetzung des begleitenden Personals in folgenden Gruppen:
 - Facharzt
 - Stationsarzt
 - Pflegekraft
 - Kardiotechniker
 - Transportbegleiter

3.5.1.3. Art der CT-Untersuchung und klinische Konsequenzen

Die Auswertung der Daten die mit dem CT assoziiert sind erfolgte in folgenden Kategorien:

- Art der durchgeführten CT-Untersuchungen
 - Kraniales CT, CT-Thorax, CT-Abdomen, Kombinationen aus diesen Untersuchungen
- Häufigkeit der durchgeführten CT-Untersuchungen
 - Welche CT-Untersuchungen wurden wie oft durchgeführt
- Indikationen bzw. Verdachtsdiagnosen die zur CT-Untersuchung führten, kategorisiert wie folgt:
 - Intrakranielle Blutung
 - Zerebrale Ischämie
 - Pneumonie/Erguss/Empyem
 - Lungenembolie
 - Lungeneinblutung
 - Intrathorakale Einblutung
 - Abdominale Einblutung
 - Unklares Abdomen
 - Abdominale Ischämie
 - Kanülendislokation
 - Sonstiges
- CT-graphische Diagnosen
- Konsequenzen der CT-Untersuchungen

3.5.1.4. Klinische Verlaufsparemeter

Zur Beschreibung der Studienpopulation sowie deren Behandlung wurden folgende Parameter erhoben:

- Klinischer Verlauf und Mortalitätsdaten
- Behandlungsdauer
- ECLS-assoziierte Komplikationen außerhalb des CT-Transportes

Im Einzelnen wurden folgende Parameter erhoben:

- Mortalitäten
 - Krankenhaus-Mortalität
 - ICU-Mortalität
 - 28-Tage-Mortalität
 - 3-Monats-Mortalität
 - 6-Monats-Mortalität
 - 12-Monats-Mortalität
- Behandlungstage auf der Intensivstation (Tage)
- Behandlungstage im Krankenhaus (Tage)
- Dauer der invasiven/nicht-invasiven Beatmungstherapie (Tage)
- Notwendigkeit einer Nierenersatztherapie
- Dauer der Nierenersatztherapie (Tage)
- ECLS-Behandlungsdauer (Tage)
- ECLS-assoziierte Komplikationen auf der ICU
 - Auftreten einer Gerinnselbildung im extrakorporalen Kreislauf mit Funktionseinschränkung oder -ausfall
 - Auftreten einer Heparin-induzierten Thrombozytopenie vom Typ II (HIT 2)
 - Auftreten einer akuten interventionspflichtigen kanülenassoziierten Durchblutungsstörung einer Extremität
 - Auftreten einer Blutung
 - Auftreten einer Kanülendislokation
 - Auftreten einer Schlauchruptur
 - Auftreten von technischen Fehlfunktionen

3.5.2. Einflussfaktoren und Fallcharakteristika

Die Erhebung dieser Variablen erfolgte, um die Kohorte hinsichtlich relevanter Charakteristika beschreiben zu können und Hinweise auf potenzielle Einflussfaktoren für Komplikationen zu erhalten.

3.5.2.1. Demographische und klinische Patientencharakteristika

Folgende epidemiologische und klinische Parameter wurden erhoben:

- Geschlecht
- Lebensalter (Jahre)
- Body-Mass-Index (BMI)
- Hauptdiagnose(n)
- Nebendiagnosen
- Vorhandensein einer chronischen Lungenerkrankung (ja/nein)
- Vorhandensein einer chronischen Herzerkrankung (ja/nein)
- Akute Herzinsuffizienz (ja/nein)
- Chronische Herzinsuffizienz (ja/nein)
- Akutes Koronarsyndrom (ja/nein)
- Indikation für ECLS
- Art des ECLS
- ECLS zur Intubationsvermeidung (ja/nein)
- SOFA-Score am Tag der ICU-Aufnahme
- SOFA-Score am Tag der ECLS-Implantation
- SAPS-II-Score am Tag der ICU-Aufnahme
- SAPS-II-prädiktive Mortalität

3.5.2.2. Parameter am Tag des Intrahospitaltransportes

Folgende Parameter am Tag des Intrahospitaltransportes wurden erhoben:

- SOFA-Score am Tag des Transportes
- Glasgow Coma Scale (GCS)
- Klinische und paraklinische Parameter vor und nach dem Transport zum CT. Bei kontinuierlichen Messwerten oder Einstellungen (Hämodynamik, Beatmung) wurde der Mittelwert jeweils eine Stunde vor und eine Stunde nach Rückkehr von dem Transport erhoben. Bei Blutabnahmen wurde jeweils der letzte Wert vor dem Transport und der erste Wert nach dem Transport erhoben:
 - Beatmung

- Art der Beatmung
- Sauerstoffkonzentration der Beatmung (FiO_2)
- Positiver endexpiratorischer Druck (PEEP) (mmHg)
- Oberer Beatmungsdruck (P_{insp}) (mmHg)
- Hämodynamik
 - Mittlerer arterieller Druck (MAD) (mmHg)
 - Herzfrequenz (Schläge/min)
- Katecholaminbedarf (Noradrenalin, Adrenalin, Dobutamin) ($\mu\text{g}/\text{min}$)
- ECLS-Blutfluss (Liter/min)
- ECLS-Gasfluss (Liter/min)
- Sauerstoffkonzentration des ECLS-Membrangasflusses (FiO_2 ECLS)
- Arterielle O_2 -Sättigung (SaO_2) (%)
- Arterieller O_2 -Partialdruck (PaO_2) (mmHg)
- Arterieller CO_2 -Partialdruck (PaCO_2) (mmHg)
- Arterieller Laktat (mmol/l)
- Hämoglobinkonzentration (Hb) (g/dl)

3.6. Statistische Analyse

Zur deskriptiven Beschreibung der Gesamtstudienpopulation erfolgte bei kategorialen Variablen die Angabe der absoluten Zahlen mit den entsprechenden Prozentangaben in Klammern. Aufgrund der relativ kleinen Studienpopulation erfolgte bei metrischen Variablen die Angabe der Mediane mit Spannweiten in Klammern. Neben der deskriptiven Statistik erfolgte für den Vergleich der respiratorischen, hämodynamischen und hämatologischen Parameter unmittelbar vor und nach dem Intrahospitaltransport ein t-Test für verbundene Stichproben. Nullhypothese war jeweils, dass sich die Parameter vor und nach dem Transport nicht unterscheiden. Als statistisch signifikant wurde ein zweiseitiger p-Wert von maximal 0,05 festgelegt. Die für die Datenauswertung benutzte Software waren Excel[®] Version 2007 (Microsoft[®] Office Excel[®] 2007 SP3 MSO, Microsoft Redmond, WA, USA) und SPSS (Version 20.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

3.7. Ethikvotum und Datenschutz

Das Ethikvotum der Ärztekammer erfolgte im Rahmen des Kommissionsbeschlusses vom 24.02.2014 (siehe Anhang 11.6)

3.8. Fotografische Dokumentation

Für die Fotografische Dokumentation ist das Einverständnis der Patienten im Vorfeld eingeholt worden.

4. Ergebnisse

4.1. Demographie, klinische und diagnostische Variablen

4.1.1. Alter und Geschlecht

Im untersuchten Zeitraume vom 01. Januar 2009 bis 31. Dezember 2013 wurden insgesamt 95 Transporte bei 71 Patienten durchgeführt. Das durchschnittliche Alter betrug 54 Jahre (22 - 81 Jahre). Die Altersverteilung stellt sich wie folgt dar:

Tabelle 1: Altersverteilung

Geschlecht	Patientenanzahl (n = 71)	Altersmaximum	Altersminimum	Durchschnittsalter
weiblich	18 (25,4%)	81 Jahre	22 Jahre	55 Jahre
männlich	53 (74,6%)	72 Jahre	25 Jahre	53 Jahre

4.1.2. Body-Mass-Index (BMI)

Der Body-Mass-Index (BMI) der Patienten betrug im Mittel 26 und stellte sich mit einem Maximum von 42,4 und einem Minimum von 14,6 dar. Dabei wurden 44 (62,0%) Patienten mit einem BMI größer 25 und 3 Patienten (4,2%) mit einem BMI kleiner als 19 erfasst. Somit waren 24 (33,8%) Patienten normgewichtig.

4.1.3. Klinische Scores

Die intensivmedizinischen Scores bei ICU-Aufnahme, zu Beginn der ECLS-Behandlung und am Tag des Intrahospitaltransportes stellen sich wie folgt dar:

Tabelle 2: Klinische Scores

Zeitpunkt	SAPS-II-Score Median (Spannweite)	SOFA-Score Median (Spannweite)
ICU Aufnahmetag	65 (28 - 99)	13 (2 - 21)
Erster Tag der ECLS-Therapie	-	14 (9 - 20)
CT-Transporttag mit ECLS	-	12 (3 - 22)

4.2. Verteilung und Dauer des ECLS-Verfahrens insgesamt und zum Zeitpunkt des Intrahospitaltransportes

Die Verteilung der ECLS und ihre Gesamtbehandlungsdauer, sowie die Behandlungsdauer bis zum Zeitpunkt des CT-Transportes stellen sich wie folgt dar:

Tabelle 3: Verteilung und Dauer der ECLS-Verfahren

Variable	av-ECCO ₂ R Median (Spannweite)	vv-ECCO ₂ R Median (Spannweite)	vv-ECMO Median (Spannweite)	va-ECMO Median (Spannweite)	Alle Median (Spannweite)
Anzahl	24 (33,8%)	3 (4,2%)	22 (31,0%)	22 (31,0%)	71 (100%)
ECLS- Gesamtbehandlungsdauer (Tage)	15 (2 - 34)	19 (3 - 23)	15 (4 - 35)	8 (1 - 84)	12 (1 - 84)

Tabelle 4: Auf die Transporte bezogene Verteilung und Dauer der ECLS-Verfahren

Variable	av-ECCO ₂ R Median (Spannweite)	vv-ECCO ₂ R Median (Spannweite)	vv-ECMO Median (Spannweite)	va-ECMO Median (Spannweite)	Alle Median (Spannweite)
Anzahl	35 (36,9%)	10 (10,5%)	23 (24,2%)	27 (28,4%)	95 (100%)
ECLS-Dauer am CT- Untersuchungstag (Tage)	6 (0 - 47)	9 (9 - 70)	10 (1 - 32)	3 (0 - 15)	5 (0 - 70)

4.3. Diagnosen

4.3.1. Diagnosen der ECLS-Behandlung

Die der ECLS-Behandlung zugrunde liegende Grunderkrankungen sind in Tabelle 5 zusammengefasst:

Tabelle 5: Indikationen für eine ECLS-Behandlung

Variable	av-ECCO ₂ R (n = 24)	vv-ECCO ₂ R (n = 3)	vv-ECMO (n = 22)	va-ECMO (n = 22)	Alle (n = 71)
primäres kardiales Pumpversagen	0	0	0	22 (31,0%)	22 (31,0%)
ARDS/Pneumonie	20 (28,2%)	3 (4,2%)	18 (25,4%)	0	41 (57,7%)
Primäres hyperkapnisches respiratorisches Versagen	4 (5,6%)	0	4 (5,6%)	0	8 (11,3%)

Innerhalb des Gesamtbehandlungszeitraumes wurde bei insgesamt 19 Patienten (26,8%) der 71 Patienten eine Reanimationsbehandlung notwendig, davon bei 7 Patienten (9,9%) vor Beginn der ECLS-Behandlung (4 Patienten mit geplanter va-ECMO, 2 Patienten mit geplanter vv-ECMO und 1 Patient mit geplanter av-ECCO₂R). 12 Patienten (16,9%) wurden unter laufender ECLS-Therapie reanimiert (davon 11 Patienten unter va-ECMO und 1 Patient unter vv-ECMO).

4.3.2. Weitere intensivmedizinische Behandlungsdiagnosen

Wesentliche Behandlungsdiagnosen waren wie folgt verteilt:

Tabelle 6: Darstellung wesentlicher Behandlungsdiagnosen

Erkrankungen	Anzahl	Prozent
Chronische Herzerkrankung/Herzinsuffizienz	49	69,0%
Multiorganversagen (mindestens 2 Organsysteme)	40	56,3%
Akutes Nierenversagen mit Ersatztherapie auf ICU	37	52,1%
Chronische Lungenerkrankung	34	47,9%
Extrapulmonale Sepsis	13	18,3%
Maligne Grunderkrankungen	13	18,3%
Akutes Koronarsyndrom	12	16,9%
Chronische Nierenerkrankung	7	9,9%
Akutes Leberversagen	7	9,9%
Chronische Lebererkrankung	4	5,6%

4.4. Variablen zum Intrahospitaltransport

4.4.1. Indikationen für die Computertomographie

Folgende Indikationen waren Grund für die Durchführung einer CT:

Tabelle 7: Verdachtsdiagnose und CT-Indikation

Verdachtsdiagnosen	Anzahl (n = 95)	Prozent
Lungenblutung	44	46,3%
Intrakranielle Blutung	42	44,2%
Zerebrale Ischämie	33	34,7%
Unklares Abdomen	12	12,6%
Pneumonie/Erguss/Empyem	10	10,5%
Abdominale Ischämie	6	6,3%
Intrathorakale Einblutung	5	5,3%
Abdominale Blutung	5	5,3%
Kanülendislokation	3	3,2%
Sonstiges	3	3,2%
Lungenembolie	2	2,1%

4.4.2. Sedierung während der Intrahospitaltransporte

Insgesamt waren 71 Patienten (74,7%) während der 95 Transporte analgosediert. Bei 66 dieser Patienten (69,5%) bestand schon vor dem Transport eine Sedierung. In 5 Fällen (5,3%) erfolgte speziell für den Transport eine Sedierung. Bei 24 Transporten (25,3%) erfolgte keine Sedierung.

4.4.3. Vigilanz der Patienten

Die Patienten hatten im Mittel einen Wert von 10 auf der Glasgow Coma Scale.

4.4.4. Beatmung während der Intrahospitaltransporte

Insgesamt waren in 86 (90,5%) der 95 Fälle die Patienten während des Transportes invasiv beatmet. Bei den verbleibenden 9 (9,5%) Transporten waren die Patienten

nicht-intubiert, spontanatmend. Eine nicht-invasive Beatmung wurde bei keinem Patienten während des Intrahospitaltransportes durchgeführt.

4.4.5. Nierenersatztherapie am Untersuchungstag

Bei 29 der 95 transportierten Patienten (30,5%) wurde am Untersuchungstag ein Nierenersatzverfahren durchgeführt, welches für die Dauer des CT-Transportes diskonnektiert und pausiert wurde.

4.5. Transportassoziierte unerwünschte Ereignisse

4.5.1. Schwere transportassoziierte unerwünschte Akut-Ereignisse

Während der insgesamt 95 Intrahospitaltransporte unter laufendem ECLS für eine CT-Untersuchung kam es zu 8 (8,4%) schweren unerwünschten Ereignissen.

Tabelle 8: Transportassoziierte schwere unerwünschte Akut-Ereignisse

Schwere Komplikationen des Transportes	Anzahl (n = 95)	Prozent
MAD absolut < 50mmHg	2	2,1%
Herzfrequenzveränderungen auf < 50 bzw. > 160 Schläge/min	2	2,1%
Arterielle Sauerstoffsättigung < 80%	2	2,1%
Laktatwertanstieg > 4mmol/l	1	1,1%
Hämoglobin-Abfall > 2mg/dl <small>Sofern nicht durch eine Prä-Transportblutung bedingt</small>	1	1,1%
Noradrenalin-Dosissteigerung > 20 µg/min	0	0%
Ventrikuläre Rhythmusstörungen	0	0%
Dokumentierte hämodynamische Verschlechterung	0	0%
Abfall des ECLS-Blutflusses für länger als eine Minute	0	0%
Peripherer Sauerstoffsättigungsabfall auf ≤ 80%	0	0%
Anstieg des PaCO ₂ um mehr als 30% des Ausgangswertes	0	0%
Dokumentierte respiratorische Verschlechterung	0	0%
Kanülen-/Tubusdislokationen/Dekanülierungen	0	0%
Dokumentierte relevante Blutung	0	0%
Technische Malfunktionen	0	0%
Reanimation	0	0%
Tod	0	0%
Schwere Komplikationen gesamt	8	8,4%

Keines dieser während des Transportes aufgetretenen Akut-Ereignisse hielt länger als 6 Stunden an, und alle Ereignisse waren ohne klinische Folgen.

4.5.2. Leichte transportassoziierte unerwünschte Akut-Ereignisse

Die Verteilung der leichten transportassoziierten unerwünschten Akut-Ereignisse stellt sich wie folgt dar:

Tabelle 9: Transportassoziierte leichte unerwünschte Akut-Ereignisse

Leichte Komplikationen des Transportes	Anzahl (n = 95)	Prozent
MAD-Blutdruckabfall 15 mmHg bis 30 mmHg oder Noradrenalin-Dosissteigerung 10 bis 20 µg/min	11	11,6%
Abfall der arteriellen Sauerstoffsättigung um 5% bis 20%	7	7,4%
Laktatwertanstieg 2mmol/l bis 4mmol/l	1	1,1%
Peripherer Sauerstoffsättigungsabfall auf 80% bis 90%	0	0%
Hämoglobin-Abfall 1 bis 2mg/dl* <small>Sofern nicht erklärt durch eine Prä-Transportblutung oder Volumengabe</small>	0	0%
Leichte Komplikationen gesamt	19	20%

Auch von den leichten, während des Transportes aufgetretenen unerwünschten Ereignissen hielt keines länger als 6 Stunden an, und alle waren ohne klinische Folgen.

4.5.3. Anzahl der Gesamtkomplikationen

Die Addition der schweren und der leichten unerwünschten Ereignisse ergibt eine Summe von 27 (28,4%) unerwünschten Gesamtereignissen während der 95 Transporte.

4.5.4. Kardiorespiratorische Parameter vor und nach dem Intrahospitaltransport

Die kardiorespiratorischen Parameter vor und nach dem Intrahospitaltransport stellen sich wie folgt dar:

Tabelle 10: Kardiorespiratorische Parameter

Variable (n = 95)	Prä-IHT Median (Spannweite)	Post-IHT Median (Spannweite)	p-Wert
FiO ₂ ECLS (%)	100 (21 - 100)	100 (21 - 100)	0,056
ECLS-Blutfluss (l/min)	3,8 (0,9 - 6,7)	3,9 (0,7 - 7,0)	0,007
ECLS-Membrangasfluss (l/min)	6,0 (1,0 - 12,0)	6,0 (1,0 - 12,0)	0,357
FiO ₂ Ventilator (%)	50 (21 - 100)	50 (21 - 100)	0,123
PEEP (mmHg)	10 (5 - 18)	10 (5 - 19)	0,383
Pinsp (mmHg)	27 (14 - 39)	27 (13 - 45)	0,448
PaCO ₂ (mmHg)	44 (26 - 109)	44 (24 - 124)	0,799
PaO ₂ (mmHg)	77 (30 - 436)	89 (36 - 618)	0,049
O ₂ -Sättigung, art. (%)	96 (62 - 100)	97 (50 - 100)	0,561
Hb-Wert (g/dl)	10,3 (5,9 - 13,3)	9,9 (6,6 - 13,4)	0,002
pH-Wert	7,40 (7,00 - 7,58)	7,40 (7,00 - 7,58)	0,410
Laktat (mmol/l)	1,5 (0,5 - 29,8)	1,3 (0,5 - 30,6)	0,191
Mittlerer arterieller Druck (mmHg)	79 (34 - 120)	79 (32 - 125)	0,962
Herzfrequenz (Schläge/min)	93 (48 - 151)	95 (17 - 150)	0,809
Noradrenalindosis (µg/min)	14 (0 - 289)	12 (0 - 255)	0,100
Adrenalindosis (µg/min)*	2 (0 - 3)	2 (0 - 3)	0,363
Dobutamindosis (µg/min)**	4 (0 - 8)	4 (0 - 8)	1,000

*Adrenalin bei 5 Transporten benutzt, **Dobutamin bei 7 Transporten benutzt

Es zeigt sich ein statistisch signifikanter Unterschied der kardiorespiratorischen Parameter ECLS-Blutfluss, Hb-Wert und PaO₂ im Vergleich zu den anderen Parametern. Eine klinische Relevanz oder therapeutische Konsequenzen konnten aus diesen Veränderungen jedoch nicht abgeleitet werden.

4.6. Zeitlicher und personeller Ressourcenverbrauch

4.6.1. Zeitlicher Ressourcenverbrauch

Die durchschnittliche Dauer der Intrahospitaltransporte unter ECLS lag bei 59 Minuten, mit einer Spannweite von 26 bis 136 Minuten.

Tabelle 11: Zeitlicher Transportaufwand der jeweiligen ECLS-Verfahren

Transporte	(n = 95)	zeitlicher Aufwand in Minuten (Durchschnitt)
av-ECCO ₂ R	(n = 35)	50
vv-ECCO ₂ R	(n = 10)	84
vv-ECMO	(n = 23)	56
va-ECMO	(n = 27)	69

Zu diesem zeitlichen Ressourcenbedarf kommen die durchschnittlichen Vor- und Nachbereitungszeiten hinzu. Diese konnten in der retrospektiven Analyse jedoch nicht eruiert werden. Nach bisher unveröffentlichten eigenen Untersuchungen im UKE betragen die Vorbereitungszeiten zwischen 30 bis 45 Minuten für alle pumpengetriebenen Verfahren sowie zwischen 15 bis 30 Minuten für av-ECCO₂R-Systeme. Für die Nachbereitung eines Transportes werden 15 Minuten für das av-ECCO₂R-System und 30 Minuten für die pumpengetriebenen Verfahren benötigt.*

*Vorläufige Ergebnisse aus einer klinikinternen prospektiven Untersuchung zu Intrahospitaltransporten unter ECLS

4.6.2. Personeller Ressourcenverbrauch

Je nach Art des ECLS-Verfahrens variierte die Personalstärke der Transportbegleitung. Insgesamt haben im Median 4 Personen den ECLS-Transport begleitet, 3 Begleitpersonen bei av-ECCO₂R, 4 Begleitpersonen bei vv-ECCO₂R und 5 Begleitpersonen bei vv- und va-ECMO. Die Begleitung der Patienten mit ECLS in das CT erfolgte immer mit mindestens einem erfahrenen begleitenden Facharzt oder Stationsarzt, einer ICU-Pflegekraft, mit einem oder meist zwei Transportbegleitern, sowie in Abhängigkeit vom ECLS-Verfahren zusätzlich mit einem begleitenden

Kardiotechniker. Die maximale Personalstärke für einen ECLS-Transport betrug 6 Personen. Tabelle 12 stellt den personellen Ressourcenaufwand dar:

Tabelle 12: Personeller Aufwand nach ECLS-Verfahren

Transporte (n= 95)	Personeller Ressourcenaufwand nach Verfahren				
	Facharzt	Stationsarzt	Pflegekraft	Kardiotechniker	Transportbegleiter
av-ECCO ₂ R (n = 35)	1	34	35	0	35
vv-ECCO ₂ R (n = 10)	10	2	10	0	24
vv-ECMO (n = 23)	22	3	23	23	46
va-ECMO (n = 27)	13	15	27	27	54
Gesamtanzahl (n = 95)	46	54	95	50	159
Prozent	48,4%	56,8%	100%	52,6%	100%*

* Mindestens ein Transportbegleiter, überwiegend zwei Transportbegleiter

4.7. Art und Verteilung der CT-Untersuchungen

Die nach Art des CT differenzierte Verteilung der 95 Transporte stellt sich wie folgt dar:

Tabelle 13: Art der durchgeführten CT-Untersuchungen

Transporte (n = 95)	CCT	TCT	ACT
Anzahl	56	67	33
Prozent	58,9%	70,5%	34,7%

Tabelle 14: Kombinierte CT-Untersuchungen

Transporte (n = 95)	CCT&TCT	TCT&ACT	CCT&TCT&ACT
Anzahl	13	10	19
Prozent	13,7%	10,5%	20,0%

4.8. CT-Befunde und therapeutische Konsequenzen

4.8.1. CT-Befunde

Die CT-graphischen Diagnosen der durchgeführten Transporte mit laufendem ECLS-Verfahren stellen sich wie folgt dar:

Tabelle 15: CT-Befunde

CT-graphische Diagnosen	Anzahl (n = 95)	Prozent
Lungeneinblutung	49	51,6%
Zerebrale Ischämie	16	16,8%
Intrakranielle Blutung	15	15,8%
Pneumonie/Erguss/Empyem	14	14,7%
Abdominale Ischämie	8	8,4%
Sonstiges	5	5,3%
Kanülendislokation	4	4,2%
Abdominale Blutung	3	3,2%
Lungenembolie	1	1,1%
Intrathorakale Einblutung	1	1,1%

4.8.1.1. Gegenüberstellung von Verdachtsdiagnosen und CT-Befunden

Die Gegenüberstellung von Verdachtsdiagnosen zu CT-Befunden sieht wie folgt aus:

Tabelle 16: Verdachtsdiagnosen und Rate des Nachweises

Variable	Verdachtsdiagnose	Nachweis der Diagnose
Lungeneinblutung	46,3%	51,6%
Zerebrale Ischämie	34,7%	16,8%
Intrakranielle Blutung	44,2%	15,8%
Pneumonie/Erguss/Empyem	10,5%	14,7%
Abdominale Ischämie	6,3%	8,4%
Sonstiges	3,2%	5,3%
Kanülendislokation	3,2%	4,2%
Abdominale Blutung	5,3%	3,2%
Lungenembolie	2,1%	1,1%
Intrathorakale Einblutung	5,3%	1,1%

4.8.2. Therapeutische Konsequenzen

Art und Häufigkeit therapeutische Konsequenzen aus den CT-Befunden stellen sich wie folgt dar:

Tabelle 17: Therapeutische Konsequenzen

Konsequenzen	Anzahl (Prozent)	Therapie-Limitierung	Thorax-drainage	Operation	Hirndruck-therapie	Sonstiges
Nein	61 (64,2%)	-	-	-	-	-
Ja	34 (35,8%)	16 (16,8%)	3 (3,2%)	7 (7,4%)	4 (4,2%)	4 (4,2%)

4.9. Klinische Folgen

4.9.1. Behandlungszeiten

4.9.1.1. Dauer der invasiven Beatmung

70 (98,6%) von 71 Patienten waren innerhalb unseres Beobachtungszeitraumes intubiert/tracheokanüliert und invasiv beatmet worden. Im Median waren die Patienten 18 Tage beatmet, die Spannweite reichte von 0 bis 138 Tage Beatmung.

4.9.1.2. Dauer der Nierenersatztherapie

Bei 37 (52,1%) der 71 Patienten wurde aufgrund eines Nierenversagens eine Nierenersatztherapie etabliert. Dabei lag der Median der Therapie bei 8 Tagen und das Maximum bei 59 Tagen Nierenersatztherapie.

4.9.1.3. ECLS-Gesamtbehandlung mit Komplikationen

Die Art und Häufigkeit von ECLS-assoziierten Komplikationen während des gesamten ICU-Behandlungszeitraumes stellt sich wie folgt dar:

Tabelle 18: Komplikationen während der gesamten ECLS-Behandlungsdauer

ECLS-Komplikationen	Anzahl (n = 71)	Prozent
Blutung (nach außen)	55	77,5%
Technische Malfunktionen	5	7,0%
Beinischämie	4	5,6%
ECLS-Kanüendislokation	4	5,6%
Akutes Clotting	3	4,2%
HIT 2*	3	4,2%
Schlauchruptur	0	0,0%

*HIT 2 = Heparin-induzierte Thrombozytopenie vom Typ II

4.9.1.4. Dauer der ICU- und Krankenhausbehandlung

Die Verweildauern stellen sich wie folgt dar:

Tabelle 19: Verweildauer auf der ICU und im Krankenhaus

Variable	Mittelwert (SD)	Median (IQU25/75)	Spannweite
Behandlungstage ICU	26 (25)	21 (8/33)	1 - 139
Behandlungstage Krankenhaus	35 (36)	26 (11/39)	1 - 147

Legende: ICU = Intensivstation, SD = Standarddeviation, IQU25/75 = 25. und 75. Quartile

4.10. Mortalität

Die Mortalitäten stellen sich für die Gesamtgruppe folgt dar:

Tabelle 20: Mortalität

Mortalitäten	Gesamtzahl (n = 71)	Prozent
SAPS II Predicted Mortality	-	76,9% (Median)
Krankenhaus-Mortalität	46	64,8%
ICU-Mortalität	45	63,4%
28-Tage-Mortalität*	39	54,9%
3-Monats- Mortalität*	45	63,4%
6-Monats-Mortalität*	46	64,8%
12-Monats-Mortalität*	46	64,8%

*Zeitrechnung für die 28-Tage-, 3-Monats-, 6-Monats- und 12-Monats-Mortalität jeweils ab ICU-Aufnahmedatum

5. Diskussion

5.1. Unerwünschte Ereignisse

Abgesehen von krankheitsassoziierten unerwünschten Ereignissen werden in der Literatur mit unterschiedlichen Grenzwerten folgende Komplikationen beschrieben (Parmentier-Decrucq et al. 2013):

Schwere unerwünschte Ereignisse:

- Desoxygenierung
- Extubation
- Hämodynamische Instabilität
- Erhöhung der Katecholamindosen
- Akzidentelle Entfernung von Beatmungstubus und/oder zentralem Venenkatheter (ZVK)

Leichte unerwünschte Ereignisse:

- Agitationen von Patienten
- Akzidentelle Entfernung der Magensonde
- Akzidentelle Entfernung der invasiven Blutdruckmessung
- Akzidentelle Entfernung eines Blasenkatheters
- Erbrechen
- Diskonnektion des Beatmungstubus und/oder des Beatmungsschlauches

Zusätzlich werden auch technische Komplikationen beschrieben:

- Beatmungsassoziierte Komplikationen (Alarmer, Einstellungen, Batteriestand)
- Komplikationen des Monitorings (Alarmer, Batteriestand)
- Komplikationen mit Infusomaten und Perfusoren (Alarmer, Batteriestand)

Beckmann et al. und Papsen et al. stellten in ihren Untersuchungen technische Ausfälle als die Hauptursache für transportassoziierte UE fest. Diese Studien

benennen für 39% bzw. fast 46% der Transportzwischenfälle eine technische Störung als Ursache (Beckmann et al. 2004; Papson et al. 2007).

Alle genannten Risiken bestehen zwar grundsätzlich auch auf der Intensivstation, steigen aber während eines Patiententransportes potenziell an, weil die Patienten bewegt und umgelagert werden (Schwebel et al. 2013). Nicht nur der Hin- und Rücktransport, sondern auch die Umlagerung des Patienten auf der ICU und im CT bergen das potenzielle Risiko eines Transportzwischenfalls. Insbesondere das Risiko einer Dislokation der ECLS-Kanülen und der Abknickung des ECLS-Schlauchsystems, aber auch die Dislokation zahlreicher sonstiger Katheter, Infusionsleitungen oder des Beatmungstubus sind als wesentliche Gefahren während eines Intrahospitaltransportes von Patienten unter ECLS-Therapie anzusehen. So wurden bei Parmentier-Decrucq et al. auch Katheterdislokationen als schweres unerwünschtes Ereignis beschrieben.

Empirische Untersuchungen zeigen, dass das Risiko für einen transportassoziierten Zwischenfall bei Intensiv-Patienten bei bis zu 70% liegt (Lahner et al. 2007); (Schwebel et al. 2013); (Parmentier-Decrucq et al. 2013). Das Risiko von intrahospitaltransportassoziierten Komplikationen wird bei beatmeten Patienten als besonders hoch beschrieben (Schwebel et al. 2013).

Bei der Dislokation eines zentralen Venenkatheters (ZVK) oder auch eines Beatmungstubus besteht die Gefahr einer Nicht-Versorgung mit lebenswichtigen, z.B. kreislaufstabilisierenden Medikamenten oder mit Sauerstoff (Parmentier-Decrucq et al. 2013). Diese schweren unerwünschten Ereignisse werden in der Arbeit von Parmentier-Decrucq et al. mit einer Häufigkeit von bis zu 17% beschrieben. Die Dislokation von Schläuchen des ECLS stellt in vielen Fällen eine noch größere Lebensgefahr dar, wegen der Gefahr des Verblutens und/oder der schweren Hypoxämie bzw. des Kreislaufstillstandes, abhängig vom ECLS-Verfahren.

Zum Thema Sicherheit von Intrahospitaltransporten unter ECLS-Therapie existieren derzeit nur sehr wenige Publikationen. Prodhan et al. fanden bei intrahospitalen Transporten von pädiatrischen Patienten unter ECLS folgende unerwünschte Ereignisse:

- Patientenassoziierte Probleme
- Technische Probleme des ECLS
- Blutung
- Kanülenprobleme
- Veränderungen des Gasaustausches (pH-Wert, PCO_2 , PO_2 , BE)
- Veränderungen des FiO_2 -Wertes

Einige Studien haben den Zusammenhang von Intrahospitaltransporten (und deren Komplikationen) mit der ICU-Behandlungslänge und/oder der Krankenhausmortalität untersucht. Regressionsanalytisch ließ sich bei Schwebel et al. nach Adjustierung für zahlreiche weitere Risikofaktoren eine Assoziation von Intrahospitaltransporten und einer erhöhten Liegedauer nachweisen (Schwebel et al. 2013). Methodisch bleibt dieser Ansatz jedoch problematisch, weil sich z.B. aus diagnostischen Transporten auch Therapiezieländerungen ergeben können, etwa im Sinne einer die Behandlungsdauer und die Mortalität beeinflussenden Therapielimitierung oder -erweiterung. Hierbei verändert das Ergebnis der Diagnostik diese Parameter ohne Einfluss von Komplikationen des Transportes.

5.2. Maßnahmen zur Verbesserung der Qualität und Sicherheit von Intrahospitaltransporten

In den beiden systematischen Studien zur Sicherheit von Intrahospitaltransporten kritisch kranker Patienten postulieren die Autoren jeweils, dass folgende Faktoren einen potenziellen Beitrag leisten könnten zur Minimierung des Risikos transportassoziierter Komplikationen (Fanara et al. 2010; Warren et al. 2004):

- Regelmäßige Transport-Schulungen der den Intensivtransport durchführenden Mitarbeiter
- Sicherstellung, dass alle transportbegleitenden Mitarbeiter über eine ausreichend hohe medizinische und intensivpflegerische Qualifikation mit gutem klinischem Verständnis für Krankheit und Therapie der zu transportierenden Intensiv-Patienten verfügen

- Gründliche und umfassende Transport-Vorbereitung nach standardisiertem Schema
- Konzentrierte und gewissenhafte Durchführung des Transportes mit lückenlosem Monitoring aller relevanten klinischen Aspekte
- Regelmäßige Nachbesprechung von Transporten, insbesondere bei besonderen Vorkommnissen

Zur Gewährleistung einer höchstmöglichen Qualität von Intrahospitaltransporten wurde von verschiedenen Autoren empfohlen, Checklisten zu verwenden (Fanara et al. 2010; Warren et al. 2004; Schwebel et al. 2013; Jarden & Quirke 2010; Choi et al. 2012)

Warren et al. schreiben in diesem Zusammenhang:

„Although both intra- and interhospital transport must comply with regulations, we believe patient safety is enhanced during transport by establishing an organized efficient process supported by appropriate equipment and personnel“ (Warren et al. 2004).

In ihrer Arbeit haben sie folgende spezifischen Aspekte als wichtig für einen erfolgreichen und sicheren Intrahospitaltransport hervorgehoben (Warren et al. 2004):

- Koordination und Kommunikation vor dem Transport
 - Vorherige Kommunikation mit der Fachabteilung, in die der Patient überführt wird
 - Absprache über den inhaltlichen und zeitlichen Ablauf des Transportes mit den begleitenden Personen
 - Dokumentation der Indikation des Transportes
 - Dokumentation des Patientenzustandes vor, während und nach dem Transport

- Begleitendes Personal
 - Definierte Mindestzahl des begleitenden medizinischen Personals von 2-3 Personen
 - Dem begleitenden Personal sollte die medizinische Vorgeschichte des Patienten bekannt sein
 - Adäquate Qualifikation und Ausbildung des begleitenden Personals entsprechend Art und Schwere der Erkrankung des Patienten
 - Passend dazu Verstärkung durch zusätzliches qualifiziertes Begleitpersonal bei besonderen Therapieverfahren.
 - Hinzufügen von Transportbegleitern je nach Komplexität des Transportes
- Auf dem Transport eingesetztes medizinisches Material
 - Blutdruckmessung (nicht-invasiv/invasiv)
 - Pulsoxymetrie
 - EKG-Monitor (mit Speicherfunktion)
 - Beatmungsgerät
 - Sauerstoff in ausreichender Menge
 - Material für Notfall- und Atemwegsmanagement (sogenannter „Notfallrucksack“)
 - Medikamente für den Fall einer notwendigen Reanimation
 - Eventuell zusätzliche Medikamente zur Sedierung
 - Infusion entweder frei laufend oder über Infusomaten und/oder Perfusoren
 - Sicherstellung ausreichender Batterieladezustände aller mitgeführten Geräte
- Medizinisches Monitoring auf dem Transport
 - Fortsetzung der bereits etablierten medizinischen Überwachung auf dem Transport
 - Mindestens aber Überwachung von EKG, Pulsoxymetrie, Blutdruckmessung, Herz- und Atemfrequenz
 - In Abhängigkeit von Art und Schwere der Erkrankung und Therapie des Patienten zusätzliche Überwachung, mittels Kapnometrie, invasiver Blutdruckmessung, pulmonal-arteriellem Druck und intrakraniellm Druck

Trotz dieser Empfehlung gibt es bislang keine Studien, welche die Sicherheit von Intrahospitaltransporten kritisch kranker Patienten mit und ohne solcher Checklisten vergleichen.

5.3. Sicherheit von Intrahospitaltransporten unter laufender ECLS

Trotz personalintensiver und qualifizierter Transportbegleitung kam es im Rahmen unserer Untersuchung bei insgesamt 28,4% der Transporte zu akuten unerwünschten Ereignissen. Von diesen Zwischenfällen wurden 8,4% definitionsgemäß als schwere und 20% als leichte Ereignisse gewertet. Alle diese kardiopulmonalen klinischen Verschlechterungen waren jedoch rasch und vollständig reversibel. Insgesamt handelte es sich um eine sehr vulnerable und besonders kranke Patientenkohorte mit langer, im Median 35-tägiger ICU-Behandlungsdauer, hohen ICU-Scores und einer damit korrespondierenden hohen Krankenhausmortalität von fast 65%. Vor diesem Hintergrund waren die beobachteten, passageren klinischen Zustandsverschlechterungen während des Intrahospitaltransportes nicht notwendigerweise dem Transport selbst geschuldet, sondern müssen eher im Zusammenhang mit dem sehr instabilen kardiorespiratorischen Krankheitszustand und der daraus resultierenden Notwendigkeit einer ECLS-Behandlung diskutiert werden. Wenngleich ECLS-assoziierte Komplikationen, insbesondere Blutungen (73,3%), während des gesamten ECLS-Behandlungszeitraumes relativ häufig waren, traten jedoch während des Transportes keine akut lebensbedrohlichen Komplikationen im Zusammenhang mit den ECLS-Systemen auf, wie etwa Kanüldenlokationen oder Malfunktionen des extrakorporalen Kreislaufs. Auch sonstige technische oder mechanische Komplikationen, wie etwa der Ausfall eines anderen Medizingerätes oder die versehentliche Entfernung sonstiger Zugänge oder Kanülen, wurden transportassoziiert nicht beobachtet. Es kam im Besonderen zu keinem transportassoziierten Reanimationszwischenfall oder Todesfall.

Ein direkter Vergleich mit intrahospitaltransportassoziierten unerwünschten Ereignissen aus anderen ECLS-Behandlungszentren ist nicht möglich, weil bisher keine Studien zur Sicherheit von *Intrahospitaltransporten* bei *erwachsenen* ECLS-

Patienten publiziert wurden. Die bisher einzige publizierte Untersuchung zur Sicherheit von Intrahospitaltransporten von *pädiatrischen* Patienten in einem pädiatrischen ECMO-Zentrum von Prodhan et al. beschreibt den Zusammenhang zwischen Indikation, Intervention und Effektivität von pädiatrischen Patienten mit ECLS-Therapie, bei denen ein Intrahospitaltransport erforderlich war. Eine vergleichende Aussage zum Auftreten von unerwünschten Ereignissen insgesamt ist nicht möglich, weil sich die Variablen der pädiatrischen Patientenstudie von unseren Parametern unterscheiden. Zu einzelnen transportassoziierten Ereignissen jedoch lässt sich durchaus ein Vergleich herstellen: Z.B. kam es in der Untersuchung von Prodhan et al. ebenfalls zu keiner Kanülendislokation. Blutungskomplikationen wurden mit 7% beschrieben und mechanische Probleme des Kreislaufs, die sich am ehesten auf technische Probleme zurückführen lassen, wurden mit 8,7% beschrieben (Prodhan et al. 2010).

Zum *Interhospitaltransport* von kritisch kranken Patienten unter laufender ECLS sind bisher nur wenige Untersuchungen publiziert worden (Haneya et al. 2009; Cabrera et al. 2011; Bryner et al. 2014). Die Raten unerwünschter Ereignisse, wenngleich auch nur eingeschränkt mit unseren Parametern vergleichbar, lag bei diesen ebenfalls hochkomplexen und damit risikoreichen ECLS-Transporten zwischen 5% und 18% (Bryner et al. 2014; Cabrera et al. 2011; Haneya et al. 2009). Die Hauptkomplikationen waren dabei technisches Versagen in irgendeiner Form, oder Kanülenprobleme des ECLS (Bryner et al. 2014; Haneya et al. 2009). Alle diese Untersuchungen kommen aus Zentren mit großer Erfahrung und Expertise hinsichtlich ECLS-Behandlungen und Intensivtransporten.

Eine Reihe von Studien haben die Durchführbarkeit und Sicherheit von *Intrahospitaltransporten* kritisch kranker, meist beatmeter Patienten *ohne* ECLS in unterschiedlichen klinischen Zusammenhängen untersucht (Waydhas 1999; Beckmann et al. 2004; Grant & Newcombe 2004; Wißuwa & Puchstein 2011; Bercault et al. 2005; Papson et al. 2007; Löw & Jaschinski 2009; Fanara et al. 2010; Parmentier-Decrucq et al. 2013; Schwebel et al. 2013; Gable et al. 2014)

In ihrer Übersichtsarbeit verglichen Fanara et al. alle bis 2009 publizierten Studien zur Sicherheit von Intrahospitaltransporten bei kritisch kranken Patienten und fanden dabei eine große Variabilität der Ereignisraten mit Häufigkeiten von 4% bis 68%. Dabei weisen die schweren unerwünschten Ereignisse eine Häufigkeit von 4,2% bis

8,8% auf (Fanara et al. 2010). Die Vergleichbarkeit der Studien untereinander ist jedoch durch die unterschiedlichen Definitionen von unerwünschten Ereignissen, der Nachbeobachtungszeit und Unterschieden der Behandlungszentren erschwert.

In einer aktuellen prospektiven, monozentrischen Observationsstudie von Parmentier-Decrucq et al. war die Rate an transportassoziierten Zwischenfällen bei insgesamt 262 Transporten kritisch kranker Patienten mit 45,8% vergleichsweise niedrig (Parmentier-Decrucq et al. 2013). Der Anteil an schweren unerwünschten Ereignissen lag hier bei 16,8%, in der Mehrzahl der Episoden waren es passagere Hypoxämien und hämodynamische Instabilitäten.

In anderen Untersuchungen waren Probleme und/oder Dislokationen von Kathetern und/oder Kanülen mit bis zu 19% während der Intrahospitaltransporte eine häufige Ursache transportassoziiertes Zwischenfälle (Choi et al. 2012).

In anderen Studien waren häufig technische Fehler der medizinischen Ausrüstung verantwortlich für unerwünschte Ereignisse. Hier werden ganz unterschiedliche Zahlen diskutiert. So werden 9,4% unerwünschte Ereignisse in einer Arbeit von Choi et al. beschrieben, aber auch 18% in der Arbeit von Bryner et al. (Bryner et al. 2014; Choi et al. 2012). In der Studie von Papson et al. beispielsweise wurde die Häufigkeit des Auftretens eines Transportzwischenfalls infolge technischer Ursachen mit 45,9% beziffert (Papson et al. 2007), während Beckmann et al. über 39% technisch bedingte Zwischenfälle berichten (Beckmann et al. 2004). Die häufigsten technischen Ereignisse werden mit Batterieproblemen beschrieben. Das Auftreten solcher technischer Probleme deckt im weiteren Sinne aber auch komplette Fehlfunktionen von Geräten ab, bis hin zu banalen Problemen einer nicht funktionierenden Trage (Choi et al. 2012; Bryner et al. 2014).

Papson et al. konnten außerdem einen inversen Zusammenhang von leichteren transportassoziierten Zwischenfällen und dem Grad der medizinischen Erfahrung der begleitenden Ärzte nachweisen (Papson et al. 2007).

Die Arbeiten von Wißuwa et al. und Grant et al. konnten eine Assoziation von Adipositas und einem erhöhten zeitlichen und personellen Ressourcenaufwand aufzeigen (Grant & Newcombe 2004); (Wißuwa & Puchstein 2011), und bei Wißuwa et al. wurde Adipositas mit einer erhöhten transportassoziierten Rate an unerwünschten Ereignissen beschrieben (Wißuwa & Puchstein 2011).

Im Rahmen der großen prospektiven, multizentrischen, französischen OUTCOMEREA-Studie mit insgesamt 6242 beatmeten Intensivpatienten haben Schwebel et al. insgesamt 3006 Intrahospitaltransporte mit klinischen Verläufen von 1782 Patienten analysiert und dem jeweiligen Therapieresultat gegenübergestellt. Diese wurden mit der nicht-transportierten Patientenkohorte verglichen (Schwebel et al. 2013). Damit sollten Art und Häufigkeit transportassoziierter unerwünschter Ereignisse und Komplikationen beschrieben sowie der Einfluss des Intrahospitaltransportes auf das Ergebnis untersucht werden. Nach Adjustierung und regressionsanalytischer Auswertung ließ sich ein signifikanter Zusammenhang von Transport und verlängerter Behandlungsdauer auf der ICU nachweisen, jedoch nicht mit einer erhöhten Mortalität.

Vor dem Hintergrund der oben zitierten Evidenz können die im Untersuchungszeitraum durchgeführten Intrahospitaltransporte dieser ECLS-Kohorte rückblickend als relativ sicher eingestuft werden. Dies ist die Kernaussage der vorliegenden Untersuchung.

Die niedrige Häufigkeit von unerwünschten Akut-Ereignissen des hier untersuchten Hochrisikokollektivs, insbesondere die niedrige Rate schwerer Zwischenfälle bzw. das Nicht-Auftreten von vital bedrohlichen Ausfällen des ECLS während des Transportes, lassen sich am ehesten mit der aufwändigen, personalintensiven und qualifizierten Transportvorbereitung und Transportbegleitung an einem Zentrum mit großer Erfahrung und Expertise im Management von ECLS-Behandlungen erklären. Zusätzlich ist die konsequente Umsetzung des klinikinternen Transport-Standards, wenngleich auch nicht explizit für ECLS-Transporte, ein weiterer Faktor für die niedrige Rate direkt transportassoziierter unerwünschter Ereignisse. Diese Erklärungen bleiben allerdings aus methodischen Gründen Hypothesen, die mit dem vorliegenden Studiendesign ohne Kontrollgruppe nicht überprüft werden können.

Im UKE wird eine SOP für den innerklinischen Transport von Patienten in der Klinik für Intensivmedizin verwendet. Diese als detaillierte Checkliste zur Durchführung eines intensivmedizinischen Transportes gedachte klinikinterne Leitlinie orientiert sich an der Arbeit von Fanara et al. Genau wie diese Arbeit schlagen auch andere Arbeiten ebenfalls die Verwendung solcher internen Leitlinien vor und bieten zum

Teil bereits vorgefertigte Checklisten zur Verwendung im klinischen Dienst an (Fanara et al. 2010; Jarden & Quirke 2010; Choi et al. 2012; Warren et al. 2004).

Wenngleich es für die Begleitung von Patienten unter laufender ECLS-Therapie keine spezielle SOP innerhalb der KIM gibt, orientiert sich dieser spezielle Transport an dem bereits etablierten klinikinternen Standard für Intrahospitaltransporte. Zusätzlich werden die bereits spezifischen Vorsichtsmaßnahmen zur Sicherstellung eines effektiven extrakorporalen Kreislaufs berücksichtigt. Im Besonderen ist hier noch mal die klinikinterne Dienstanweisung zu nennen, dass der Transport von kritisch kranken intensivmedizinischen Patienten immer auch von einer intensivmedizinisch erfahrenen Pflegekraft begleitet werden muss.

Ob die lokale Entwicklung und Einführung einer solchen expliziten Checkliste für ECLS-Transporte, wie von einigen Autoren für normale ICU-Patienten gefordert (Warren et al. 2004; Jarden & Quirke 2010; Choi et al. 2012; Fanara et al. 2010), die Rate an transportassoziierten Zwischenfällen im UKE weiter minimieren würde, kann mit dieser Untersuchung nicht beantwortet werden. Diese Fragestellung könnte hypothesengenerierend mittels einer Vorher-Nachher-Studie so wie bei Choi et al. evaluiert werden. Eine Checkliste für Intrahospitaltransporte von Intensivpatienten mit und ohne ECLS könnte zudem die Einarbeitung neuer Mitarbeiter effizienter und transparenter machen, sofern diese auch entsprechend geschult werden (Choi et al. 2012).

5.4. Aufwand und Konsequenzen

Der Intrahospitaltransport zwischen ICU und CT von Patienten mit laufendem ECLS-System war in dieser Untersuchung mit durchschnittlich 59 Minuten Dauer und 4 beteiligten Begleitpersonen ein ressourcenaufwändiger Prozess. Hinzu kommen die retrospektiv nicht erhebbaren Vorbereitungs- und Nachbereitungszeiten, die nach unsystematischer klinikerinterner Beobachtung jeweils weitere 15 bis 45 Minuten (je nach ECLS-Verfahren) betragen und die bei der Kalkulation des Ressourcenbedarfes einberechnet werden müssen.

Ein Teil der zeitlichen und personellen Variabilität in der Gesamtkohorte lässt sich durch die unterschiedlichen ECLS-Verfahren erklären. Pumpengetriebene venovenöse oder veno-arterielle ECLS-Verfahren sind im Gegensatz zur pumpenlosen arterio-venösen iLA[®] technologisch wesentlich komplexer und mit einer zusätzlichen Steuerungskonsole sowie einem längeren extrakorporalen Schlauchsystem ausgestattet, welche gesonderter Aufmerksamkeit und Sicherung bedürfen. Diese unterschiedlichen Konfigurationen erklären den etwas geringeren personellen und zeitlichen Ressourcenverbrauch beim Intrahospitaltransport von Patienten mit av-ECCO₂R mit im Median nur 3 Begleitpersonen und 50 Minuten. Dagegen waren erforderlich 5 Personen bei vv-ECMO/va-ECMO mit 56 Minuten bzw. 69 Minuten Zeitaufwand.

Dem hohen Ressourcenbedarf und erheblichen Transportrisiko bei diesem Hochrisikokollektiv stehen der diagnostische Erkenntnisgewinn und die therapeutischen Handlungskonsequenzen aus den CT-Befunden gegenüber. Therapeutische Konsequenzen aus den CT-Befunden ergaben sich bei insgesamt etwa einem Drittel (35,8%) aller CT-Transporte. In der Mehrzahl dieser Fälle war die Konsequenz eine Therapiezieländerung im Sinne eines Therapierückzuges, meist wegen einer infausten intrazerebralen Blutung oder Ischämie. In 7 Fällen (7,4%) hatte der CT-Befund operative Konsequenzen. Ob und inwieweit die CT-Diagnostik der entscheidende Faktor zu einer Operation war, ist im Nachhinein nicht mehr bestimmbar. Ebenfalls ist retrospektiv nicht eruierbar, inwieweit eine Alternativdiagnostik ohne Transport möglich und gleichwertig gewesen wäre. Allerdings ist, in Anbetracht der Höhe des Aufwandes, sowie des Risikos, eine

leichtfertige Entscheidung zur CT-Diagnostik bei ECLS-Patienten eher unwahrscheinlich.

5.5. Limitationen

Die Interpretation der Ergebnisse dieser Untersuchung wird durch eine Reihe von methodischen Aspekten limitiert. Neben den schon erwähnten retrospektiv aus Routinedaten nicht erhebbaren Vorbereitungs- und Nachbereitungszeiten die zu einer systematischen Unterschätzung der zeitlichen bzw. personellen Ressourcenintensität führen, ist auch eine Unterschätzung der Komplikationsraten durch unvollständige oder lückenhafte Aktendokumentation möglich. Insbesondere leichte, klinisch nicht so relevante unerwünschte Ereignisse können hiervon betroffen gewesen sein. Schwere und lebensbedrohliche Zwischenfälle und Komplikationen sind jedoch aller Wahrscheinlichkeit wegen ihrer klinischen und medikolegalen Relevanz nahezu vollständig dokumentiert und damit auch erhoben worden. Die relativ kleine Gruppengröße schränkt die Aussagekraft hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit des Auftretens seltener Komplikationen ein. Der in der Literatur beschriebene und methodisch schwer nachzuweisende Zusammenhang von Intrahospitaltransporten und vermehrten ventilatorassoziierten Pneumonien (Bercault et al. 2005) ließ sich mit dem retrospektiven Studiendesign nicht untersuchen, zumal viele der zum Untersuchungskollektiv gehörenden Patienten bereits an einem ARDS erkrankt waren.

Wegen der fehlenden Kontrollgruppe lassen sich auch keine Aussagen zum Einfluss der CT-Untersuchungen und dem dafür notwendigen Intrahospitaltransport auf das spätere Patienten-Outcome treffen und auch der Einfluss der Transportroutine von ECLS-Patienten im UKE auf die Sicherheit des Transportes bleibt spekulativ. Vor diesem Hintergrund erscheint die Übertragbarkeit der Ergebnisse aus der Routineversorgung des UKE als einem ausgewiesenen ECLS-Zentrum auf andere weniger erfahrene Einrichtungen limitiert zu sein.

6. Zusammenfassung

Zusammenfassend zeigt die vorliegende Untersuchung, dass Intrahospitaltransporte bei kritisch kranken Patienten mit extrakorporalen kardiopulmonalen Unterstützungsverfahren relativ sicher und ohne anhaltende Folgeschäden durchgeführt werden können, wenn sie in einem mit extrakorporalen kardiopulmonalen Unterstützungssystemen erfahrenen Zentrum durchgeführt werden. Voraussetzung für diese Sicherheit sind die entsprechende fachliche Erfahrung und Kompetenz des begleitenden medizinischen Personals sowie eine ausreichende Personalstärke bei der Durchführung des Transportes. Entsprechend hoch ist der Bedarf an personellen und zeitlichen Ressourcen für solche Hochrisikotransporte. Vor diesem Hintergrund müssen bei der Indikationsstellung für einen solchen Intrahospitaltransport stets Kosten und Nutzen gegeneinander abgewogen werden und bei geplanten CT-Untersuchungen die möglichen therapeutischen Konsequenzen aus den sich potenziell ergebenden Befunden differenziert in Betracht gezogen werden.

Zur Validierung dieser vorläufigen Ergebnisse sind weitere, möglichst prospektive und multizentrische Untersuchungen zur Durchführbarkeit, Sicherheit und Ressourcenabschätzung von Intrahospitaltransporten von Patienten unter laufender ECLS-Behandlung notwendig.

7. Literaturverzeichnis

- 1 Beckmann U, Gillies DM, Berenholtz SM, Wu AW, Pronovost P (2004) Incidents relating to the intra-hospital transfer of critically ill patients. An analysis of the reports submitted to the Australian Incident Monitoring Study in Intensive Care. *Intensive Care Med* 30: 1579–1585.
- 2 Bein T, Weber F, Philipp A, Prasser C, Pfeifer M, Schmid F, Butz B, Birnbaum D, Taeger K, Schlitt HJ (2006) A new pumpless extracorporeal interventional lung assist in critical hypoxemia/hypercapnia. *Critical care medicine* 34: 1372–1377.
- 3 Bercault N, Wolf M, Runge I, Fleury J, Boulain T (2005) Intrahospital transport of critically ill ventilated patients: a risk factor for ventilator-associated pneumonia--a matched cohort study. *Crit Care Med* 33: 2471–2478.
- 4 Braune SA, Kluge S (2013) Extracorporeal lung support in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Minerva anesthesiologica* 79: 934–943.
- 5 Brodie D, Bacchetta M (2011) Extracorporeal membrane oxygenation for ARDS in adults. *The New England journal of medicine* 365: 1905–1914.
- 6 Bryner B, Cooley E, Copenhaver W, Brierley K, Teman N, Landis D, Rycus P, Hemmila M, Napolitano LM, Haft J, Park PK, Bartlett RH (2014) Two decades' experience with interfacility transport on extracorporeal membrane oxygenation. *The Annals of thoracic surgery* 98: 1363–1370.
- 7 Cabrera AG, Prodhan P, Cleves MA, Fiser RT, Schmitz M, Fontenot E, McKamie W, Chipman C, Jaquiss, Robert D B, Imamura M (2011) Interhospital transport of children requiring extracorporeal membrane oxygenation support for cardiac dysfunction. *Congenital heart disease* 6: 202–208.
- 8 Choi HK, Shin SD, Ro YS, Kim DK, Shin SH, Kwak YH (2012) A before- and after-intervention trial for reducing unexpected events during the intrahospital transport of emergency patients. *The American journal of emergency medicine* 30: 1433–1440.
- 9 Esper SA, Levy JH, Waters JH, Welsby IJ (2014) Extracorporeal membrane oxygenation in the adult: a review of anticoagulation monitoring and transfusion. *Anesthesia and analgesia* 118: 731–743.
- 10 Fanara B, Manzon C, Barbot O, Desmettre T, Capellier G (2010) Recommendations for the intra-hospital transport of critically ill patients. *Crit Care* 14: R87.
- 11 Gable BD, Gardner AK, Celik DH, Bhalla MC, Ahmed RA (2014) Improving bariatric patient transport and care with simulation. *West J Emerg Med* 15: 199–204.
- 12 Goodwin SJ, Randle E, Iguchi A, Brown K, Hoskote A, Calder AD (2014) Chest computed tomography in children undergoing extra-corporeal membrane oxygenation: a 9-year single-centre experience. *Pediatr Radiol* 44: 750–760.

- 13 Görlinger K, Bergmann L, Dirkmann D (2012) Coagulation management in patients undergoing mechanical circulatory support. Best practice & research. Clinical anaesthesiology 26: 179–198.
- 14 Grant P, Newcombe M (2004) Emergency management of the morbidly obese. Emerg Med Australas 16: 309–317.
- 15 Haneya A, Philipp A, Diez C, Ried M, Puehler T, Camboni D, Zausig Y, Lehle K, Schmid C (2009) Comparison of two different minimized extracorporeal circulation systems: hematological effects after coronary surgery. ASAIO journal (American Society for Artificial Internal Organs : 1992) 55: 592–597.
- 16 Haneya A, Philipp A, Foltan M, Mueller T, Camboni D, Rupprecht L, Puehler T, Hirt S, Hilker M, Kobuch R, Schmid C, Arlt M (2009) Extracorporeal circulatory systems in the interhospital transfer of critically ill patients: experience of a single institution. Annals of Saudi medicine 29: 110–114.
- 17 Hermann A, Staudinger T, Bojic A, Riss K, Wohlfarth P, Robak O, Sperr WR, Schellongowski P (2014) First experience with a new miniaturized pump-driven venovenous extracorporeal CO2 removal system (iLA Activve): a retrospective data analysis. ASAIO journal (American Society for Artificial Internal Organs : 1992) 60: 342–347.
- 18 Jackson IJ, Choudhry AK, Ryan DW, Matthews HR, Corke CF (1991) Minitracheotomy Seldinger--assessment of a new technique. Anaesthesia 46: 475–477.
- 19 Jarden RJ, Quirke S (2010) Improving safety and documentation in intrahospital transport: development of an intrahospital transport tool for critically ill patients. Intensive & critical care nursing : the official journal of the British Association of Critical Care Nurses 26: 101–107.
- 20 Jepson SL, Harvey C, Entwisle JJ, Peek GJ (2010) Management benefits and safety of computed tomography in patients undergoing extracorporeal membrane oxygenation therapy: experience of a single centre. Clinical Radiology 65: 881–886.
- 21 Karagiannidis C, Kampe KA, Sipmann FS, Larsson A, Hedenstierna G, Windisch W, Mueller T (2014) Veno-venous extracorporeal CO2 removal for the treatment of severe respiratory acidosis: pathophysiological and technical considerations. Critical care (London, England) 18: R124.
- 22 Karagiannidis C, Philipp A, Buchwald D (2013) Extrakorporaler Gasaustausch. Deutsche medizinische Wochenschrift 138: 188–191.
- 23 Kays DW, Islam S, Richards DS, Larson SD, Perkins JM, Talbert JL (2014) Extracorporeal life support in patients with congenital diaphragmatic hernia: how long should we treat? Journal of the American College of Surgeons 218: 808–817.
- 24 Kolobow T, Pesenti A, Solca ME, Gattinoni L (1980) A new approach to the prevention and treatment of acute pulmonary insufficiency. Int J Artif Organs 3: 86–93.

- 25 Küstermann J, Brederlau J, Kranke P, Roewer N, Muellenbach RM (2012) Lungenersatzverfahren - Einsatz und Management extrakorporaler Lungenersatzverfahren. *Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie* : AINS 47: 646–654.
- 26 Lahner D, Nikolic A, Marhofer P, Koinig H, Germann P, Weinstabl C, Krenn CG (2007) Incidence of complications in intrahospital transport of critically ill patients -experience in an Austrian university hospital. *Wien Klin Wochenschr* 119: 412–416.
- 27 Löw M, Jaschinski U (2009) Innerklinischer Transport des kritisch kranken Patienten. *Anaesthesist* 58: 95-105; quiz 106-7.
- 28 Müller T, Bein T, Philipp A, Graf B, Schmid C, Riegger G (2013) Extracorporeal pulmonary support in severe pulmonary failure in adults: a treatment rediscovered. *Deutsches Ärzteblatt international* 110: 159–166.
- 29 Paden ML, Conrad SA, Rycus PT, Thiagarajan RR (2013) Extracorporeal Life Support Organization Registry Report 2012. *ASAIO journal (American Society for Artificial Internal Organs : 1992)* 59: 202–210.
- 30 Papsin J, Russell KL, Taylor DM (2007) Unexpected events during the intrahospital transport of critically ill patients. *Acad Emerg Med* 14: 574–577.
- 31 Parmentier-Decrucq E, Poissy J, Favory R, Nseir S, Onimus T, Guerry M, Durocher A, Mathieu D (2013) Adverse events during intrahospital transport of critically ill patients: incidence and risk factors. *Ann Intensive Care* 3: 10.
- 32 Peek GJ, Mugford M, Tiruvoipati R, Wilson A, Allen E, Thalanany MM, Hibbert CL, Truesdale A, Clemens F, Cooper N, Firmin RK, Elbourne D (2009) Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet* 374: 1351–1363.
- 33 Prodhan P, Fiser RT, Cenac S, Bhutta AT, Fontenot E, Moss M, Schexnayder S, Seib P, Chipman C, Weygandt L, Imamura M, Jaquiss, Robert D. B., Dyamenahalli U (2010) Intrahospital transport of children on extracorporeal membrane oxygenation: Indications, process, interventions, and effectiveness. *Pediatric Critical Care Medicine* 11: 227–233.
- 34 Schmidt M, Tachon G, Devilliers C, Muller G, Hekimian G, Bréchet N, Merceron S, Luyt CE, Trouillet J, Chastre J, Leprince P, Combes A (2013) Blood oxygenation and decarboxylation determinants during venovenous ECMO for respiratory failure in adults. *Intensive care medicine* 39: 838–846.
- 35 Schwebel C, Clec'h C, Magne S, Minet C, Garrouste-Orgeas M, Bonadona A, Dumenil A, Jamali S, Kallel H, Goldgran-Toledano D, Marcotte G, Azoulay E, Darmon M, Ruckly S, Souweine B, Timsit J (2013) Safety of intrahospital transport in ventilated critically ill patients: a multicenter cohort study*. *Crit Care Med* 41: 1919–1928.

- 36 Seidler T (2014) Perkutane mechanische Kreislaufunterstützung. Möglichkeiten und Stellenwert. *Der Internist* 55: 1267–1277.
- 37 Szem JW, Hydo LJ, Fischer E, Kapur S, Klemperer J, Barie PS (1995) High-risk intrahospital transport of critically ill patients: safety and outcome of the necessary "road trip". *Crit. Care Med.* 23: 1660–1666.
- 38 Warren J, Fromm, Robert E Jr, Orr RA, Rotello LC, Horst HM (2004) Guidelines for the inter- and intrahospital transport of critically ill patients. *Crit Care Med* 32: 256–262.
- 39 Waydhas C (1999) Intrahospital transport of critically ill patients. *Crit Care* 3: R83-9.
- 40 Weg JG, Haas CF (1989) Safe intrahospital transport of critically ill ventilator-dependent patients. *Chest* 96: 631–635.
- 41 Werdan K, Gielen S, Ebelt H, Hochman JS (2014) Mechanical circulatory support in cardiogenic shock. *European heart journal* 35: 156–167.
- 42 Wißuwa H, Puchstein C (2011) Nofallrettung XXL. Adipositas-permagna-Patient im Rettungsdienst. *Anaesthesist*: 63–70.
- 43 Zangrillo A, Landoni G, Biondi-Zoccai G, Greco M, Greco T, Frati G, Patroniti N, Antonelli M, Pesenti A, Pappalardo F (2013) A meta-analysis of complications and mortality of extracorporeal membrane oxygenation. *Critical care and resuscitation : journal of the Australasian Academy of Critical Care Medicine* 15: 172–178.
- 44 Zapol W, Pontoppidan H, McCullough N, Schmidt V, Bland J, Kitz R (1972) Clinical membrane lung support for acute respiratory insufficiency. *Transactions - American Society for Artificial Internal Organs* 18: 553-60, 562.
- 45 Zimmermann M, Bein T, Arlt M, Philipp A, Rupprecht L, Mueller T, Lubnow M, Graf BM, Schlitt HJ (2009) Pumpless extracorporeal interventional lung assist in patients with acute respiratory distress syndrome: a prospective pilot study. *Critical care (London, England)* 13: R10.

8. Abbildungsverzeichnis

<u>Abbildung</u>	<u>Titel</u>	<u>Seite</u>
Abbildung 1:	Kanülenfixierung am rechten Oberschenkel	14
Abbildung 2:	Schematische Abbildung einer Membran mit Gasfluss	16
Abbildung 3:	Schematischer Aufbau einer vv-ECMO (aus Brodie et al. 2011)	17
Abbildung 4:	Schematische Abbildung iLA (Interventional Lung Assist, iLA [®] , Novalung GmbH, Heilbronn)	18
Abbildung 5:	iLA-Kanülen mit Membran Ventilator (Interventional Lung Assist, iLA [®] , Novalung GmbH, Heilbronn, Deutschland)	19
Abbildung 6:	Schematisch Darstellung eines vv-ECCO ₂ R	20
Abbildung 7:	System eines vv-ECCO ₂ R mit Einzelkomponenten (Novalung GmbH, Heilbronn, Deutschland)	21
Abbildung 8:	Rotaflow [®] -Konsole (ECMO) der Firma Maquet (Maquet GmbH, Rastatt, Deutschland)	23
Abbildung 9:	Intensivtransport innerhalb des UKE	25
Abbildung 10:	Transportmodul im UKE	28
Abbildung 11:	Transportmodul ungekoppelt	29
Abbildung 12:	Transportmodul gekoppelt	29
Abbildung 13:	Fixierung einer Halskanüle	31
Abbildung 14:	Transportkonsole mit Beschriftung der Bestandteile	32
Abbildung 15:	Transportkonvolut, bestehend aus Transportliege, Transportkonsole für Beatmungsgerät und Monitor sowie eine ECLS-Konsole	33
Abbildung 16:	Transportliege und Transportmodul ohne Ankoppelbarkeit	34
Abbildung 17:	Transportkonvolut beim Passieren einer Tür	35
Abbildung 18:	Manuelle Fixierung der Module	37
Abbildung 19:	Manuelle Fixierung der Blutschläuche	37
Abbildung 20:	Umlagerung des Patienten im CT	39

9. Tabellenverzeichnis

<u>Tabelle</u>	<u>Titel</u>	<u>Seite</u>
Tabelle 1:	Altersverteilung	52
Tabelle 2:	Klinische Scores	52
Tabelle 3:	Verteilung und Dauer der ECLS-Verfahren	53
Tabelle 4:	Auf die Transporte bezogene Verteilung und Dauer der ECLS-Verfahren	53
Tabelle 5:	Indikationen für eine ECLS-Behandlung	54
Tabelle 6:	Darstellung wesentlicher Behandlungsdiagnosen	55
Tabelle 7:	Verdachtsdiagnose und CT-Indikation	56
Tabelle 8:	Transportassoziierte schwere unerwünschte Akut-Ereignisse	58
Tabelle 9:	Transportassoziierte leichte unerwünschte Akut-Ereignisse	59
Tabelle 10:	Kardiorespiratorische Parameter	60
Tabelle 11:	Zeitlicher Transportaufwand der jeweiligen ECLS-Verfahren	61
Tabelle 12:	Personeller Aufwand nach ECLS-Verfahren	62
Tabelle 13:	Art der durchgeführten CT-Untersuchungen	62
Tabelle 14:	Kombinierte CT-Untersuchungen	62
Tabelle 15:	CT-Befunde	63
Tabelle 16:	Verdachtsdiagnosen und Rate des Nachweises	64
Tabelle 17:	Therapeutische Konsequenzen	64
Tabelle 18:	Komplikationen während der gesamten ECLS-Behandlungsdauer	65
Tabelle 19:	Verweildauer auf der ICU und im Krankenhaus	66
Tabelle 20:	Mortalität	66

10. Abkürzungsverzeichnis

ACT	abdominale Computertomographie
ARDS	Acute Respiratory Distress Syndrome (engl.)
av	arterio-venös
BGA	Blutgasanalyse
BMI	Body-Mass-Index
CO ₂	Kohlendioxid
COPD	Chronic Obstructive Pulmonary Disease (engl.)
CT	Computertomographie
CCT	kraniale Computertomographie
dl	Deziliter
ECCO ₂ R	Extracorporeal CO ₂ Removal (engl.)
ECLS	Extracorporeal Lifesupport System (engl.)
ECMO	Extrakorporale Membranoxygenierung
Fr	French (medizinische Maßeinheit)
GCS	Glasgow Coma Scale (engl.)

Hb	Hämoglobinwert
HIT	Heparin-induzierte Thrombozytopenie
ICM [®]	Integrated Care Manager (engl.)
ICU	Intensiv-Care-Unit (engl.)
IHT	Intrahospitaltransporte
iLA [®]	Interventional Lung Assist (engl.) Ein Low-Flow-System der Firma Novalung
iLA active [®]	aktives veno-venöses Mid-Flow-System der Firma Novalung
KG	Körpergewicht
KIM	Klinik für Intensivmedizin
l	Liter
MAD	Mittlerer arterieller Druck
mg	Milligramm
µg	Mikrogramm
min	Minute
mmHg	Einheitsabkürzung für Torr
MO	Membranoxygenator
MRT	Magnetresonanztomographie
O ₂	Sauerstoff

PDMS	Patientendatenmanagementsystem
PEEP	Positive Endexpiratoric Pressure (engl.)
pH	pH-Wert
Pinsp	Oberer Beatmungsdruck
SAPS II	Simplified Acute Physiology Score II (engl.)
SOFA	Sequential Organ Failure Assessment Score (engl.)
SOP	Standard Operating Procedure (engl.)
TCT	thorakale Computertomographie
UE	unerwünschtes Ereignis
UKE	Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf
va	veno-arteriell
vv	veno-venös
ZVK	Zentraler Venenkatheter

11. Anhang

11.1. Tabelle zur Bestimmung des SOFA-Scores

Organ	Parameter	1 Punkt	2 Punkte	3 Punkte	4 Punkte
Lunge	PaO ₂ /FiO ₂ (mmHg)	< 400	< 300	< 200 und/oder Beatmung	< 100 und/oder Beatmung
Niere	Kreatinin (mg/dl) oder Ausfuhrmenge (ml/24h)	1,2 - 1,9	2,0 - 3,4	3,5 - 4,9 <500	> 500 < 200
Leber	Bilirubin (mg/dl)	1,2 - 1,9	2,0 - 5,9	6,0-11,9	> 12
Herz/ Kreislauf	Blutdruck (mmHg) oder Katecholamine (µg/min)	MAP < 70	Dopamin ≤ 5 oder Dobutamin	Dopamin > 5 oder Epi-/ Norepinephrin ≤ 0,1	Dopamin > 5 oder Epi-/ Norepinephrin > 0,1
Blut	Thrombozyten (1000/mm ³)	< 150	< 100	< 50	< 20
ZNS	Glasgow Coma Scale	14 - 13	12 - 10	9 - 6	< 6

11.2. Glasgow Coma Scale (GCS)

Prüfung	Reaktion	Punkte
Augen-Reaktion	Spontanes Öffnen	4
	Öffnen nach Aufforderung	3
	Öffnen auf Schmerzreiz	2
	Keine Reaktion	1
Bewegungs-Reaktion	nach Aufforderung	6
	gezielte Schmerzabwehrreaktion	5
	ungezielte Schmerzabwehrreaktion	4
	Beugebewegung auf Schmerzreiz	3
	Streckbewegung auf Schmerzreiz	2
Verbale Reaktion	keine Reaktion auf Schmerzreiz	1
	orientiert, kommunikationsfähig	5
	verwirrt, kommunikationsfähig	4
	einzelne Wörter	3
	unverständliche Worte/Laute	2
	keine Kommunikationsfähigkeit	1
	Summe	

11.3. SAPS II Score

Scores	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Temperatur, rektal	< 39°C			> 39°C										
syst. RR (mmHg)	100 - 199		>200			79-99								< 70
Herzfrequenz (Schläge/min)	70 - 119		40-69		120 - 159			> 160				< 40		
MV oder CPAP PaO ₂ /FiO ₂ (mmHg)							≥ 200			100 - 199		< 100		
Bikarbonat (mmol/l)	> 20			15 - 19			< 15							
Kalium im Serum (mmol/l)	3 - 4,9			<3 und >5										
Natrium im Serum (mmol/l)	125 - 144	≥ 145				<125								
Harnstoff im Serum (mmol/l)	< 10						10 - 29,9				> 30			
Leukozyten (1000/mm ³)	1 - 19			> 20									< 1	
Bilirubin (mg/dl)	< 4				4 - 5,9					> 6				
Urinbilanz (Liter/24h)	> 1				0,5 - 0,99							< 0,5		
Bicarbonat (mmol/l)	> 20			15 - 19			< 15							
Aufnahmegrund	geplant chir.						medizinisch		ungeplant chir.					
Scores	0				9				10					17
Chronische Erkrankung	keine				met. Carcinom				hämato-logische Malignität					AIDS
Scores	0			5			7			13				26
GCS	14 - 15			11 - 13			9 - 10			6 - 8				< 6
Scores	0			7		12			15			16		18
Alter	< 40			40 - 59		60 - 69			70 - 74			75 - 79		> 80

11.4. Formel zur Bestimmung der Predicted Mortality

Predicted Mortality = Logit =

$$-7,7631+0,0737*(SAPSII)+0,9971*\ln((SAPSII)+1) \text{ PredictedMortality} = e^{(\text{Logit})} / (1+e^{(\text{Logit})})$$

Quelle: Opus 12 Foundation, Inc (2006-2010) SAPS II Calculator. Philadelphia, PA, USA
[Online im Internet] URL:
http://www.opus12.org/SAPS_II.html [Stand: 15.08.2014, 15:15]

11.5. Formel zur Berechnung des Body-Mass-Index (BMI)

$BMI = m / l^2$ m = Körpermasse in kg, l = Körperlänge in Meter

11.6. Ethikvotum der Ärztekammer

Ärztekammer Hamburg - Postfach 76 01 09 - 22051 Hamburg

Herrn
PD Dr. Stefan Kluge
Klinik für Intensivmedizin
UKE
Martinistraße 52
20246 Hamburg



ETHIK-KOMMISSION DER
**ÄRZTEKAMMER
HAMBURG**
Körperschaft des öffentlichen Rechts

24.02.2014

Bearb.-Nr.: WF-002/14
Projekt: Patientencharakteristika und klinischer Verlauf von Intensivpatienten mit extrakorporaler kardiopulmonaler Unterstützungstherapie aus den Jahren 2009 bis 2013 in der Klinik für Intensivmedizin am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf
Ihr Schreiben vom 18.12.2014 (Eingang 03.01.2014)

Sehr geehrter Herr Dr. Kluge,

wir bestätigen den Eingang Ihres o.g. Schreibens nebst Anlagen. Den übersandten Unterlagen haben wir entnommen, dass Sie planen, die vorbezeichnete Untersuchung durchzuführen.

Von Seiten der Ethik-Kommission bestehen dagegen **keine Bedenken**.

Wir weisen darauf hin, dass die Verantwortung des Versuchsleiters für das Vorhaben und seine Durchführung durch dieses Votum nicht berührt wird.

Die Kommission geht davon aus, dass die personenbezogenen Daten der Studienteilnehmer den datenschutzrechtlichen Vorschriften entsprechend behandelt werden.

Sie werden gebeten, die Ethik-Kommission über alle schwerwiegenden oder unerwarteten Ereignisse, die während der Studie auftreten, zu unterrichten.

Mit freundlichen Grüßen

i. A. ausgefertigt:

Prof. Dr. med. Th. Weber
Vorsitzender


Dipl.-Dok. M. Habeck-Heyer
Kommissarische Geschäftsführung

Bankverbindung:
Deutsche Apoth. u. Ärztebank, BLZ 300 606 01, Konto-Nr. 000 1346 113
BIC: DAAEDED0, IBAN: DE71 3006 0601 0001 3461 13

Weidestraße 122 b · 22083 Hamburg
Telefon 040/20 22 99-240 · Fax 040/20 22 99-410
ethik@aekeh.de · www.aerztekammer-hamburg.de

11.7. SOP Innerklinische Transporte in der KIM



Universitätsklinikum
Hamburg-Eppendorf

Klinik für Intensivmedizin
Direktor: Prof. Dr. med. S. Kluge
28.01.15

Innerklinische Transporte in der KIM

2.03.11.01 Anlage 04
Version 3

Prä-Transportkoordination und Kommunikation

- Indikation geprüft und dokumentiert? (FA, OA)
- Pflege informiert?
- Anmeldung übermittelt?
- Genaue Terminplanung mit übernehmender/untersuchender Stelle, Info an Ärzte und Pflege
- Transportweg klar?
- Bereitstellung der Ausrüstung, Funktionsprüfung (Gase? Akkus?)
- Übergabe: Anamnese und aktueller Status, laufende Med., noch zu gebende Med.
- Personal: mind. 1 Arzt mit Intensiv- und Atemwegsmanagementenerfahrung, 1 Pflegeperson (Begleitung bei instabilen Pat. nach ärztlicher Maßgabe, z. B. ECMO, ARDS, Schock, Hirndruck), 2 Transporter

Monitoring, Med.-Geräte

- Transportmonitor mit inv. BD oder NIBD, S_pO_2 , EKG, Defi, ggf. ICP, ggf. P_{aCO_2}
- „Sättigungston“ am Monitor eingestellt?
- Beatmungsgerät (Oxylog-3000), funktionsgeprüft, Cave PEEP!
- Ausreichend O_2 für Transport- und Untersuchungszeitraum plus 30 Min. Reserve
- Geräte und Ausrüstung für Airway-Management (Absauganlage, Tubus, Führungsstab, Laryngoskop, ggf. Larynxmaske, Maske, Ambu-Beutel, Guedel-, Wendl-Tubus), funktionsgeprüft
- Atemweg gesichert?
- „Notfallschale“, frisch aufgezo-gen, überprüft
- kristalloide Infusionen in ausreichender Menge
- Perfusoren (i.d.R. drei: Analgosedierung und Katechol.), Akku-Zustand?
- Thoraxdrainage-Reservoir, ggf. unter Sog! NICHT abklemmen!
- Arterielle/venöse Zugänge gesichert und sichtbar?
- Telefon dabei?

Sonstiges

- ggf. wichtige Unterlagen mitnehmen
- Beatmungseinstellungen zunächst auf das Transportgerät „kopieren“, dann Probebeatmung auf Intensiv, ggf. BGA unter Transportbedingungen
- Pat. mit erhöhtem ICP: zunächst probeweise Flachlagerung und ebenfalls Probebeatmung, ggf. BGA zur Überprüfung
- Rückkehr zur Station telefonisch ankündigen
- Dokumentation: nach Transport kurzer Bericht im ICM (ärztl. Verlauf)

Lit.: Fanara B et al. Recommendations for the intra-hospital transport of critically ill patients. Crit Care 2010, 14

11.8. Ausrüstungsempfehlung für den ICU-Transport

Table 1. Recommended minimum transport equipment

Airway management/oxygenation—adult and pediatric
Adult and pediatric bag-valve systems with oxygen reservoir
Adult and pediatric masks for bag-valve system (multiple sizes as appropriate)
Flexible adaptors to connect bag-valve system to endotracheal/tracheostomy tube
End-tidal carbon dioxide monitors (pediatric and adult)
Infant medium- and high-concentration masks with tubing
MacIntosh laryngoscope blades (#1, #2, #3, #4)
Miller laryngoscope blades (#0, #1, #2)
Endotracheal tube stylets (adult and pediatric)
Magill forceps (adult and pediatric)
Booted hemostat
Cuffed endotracheal tubes (5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0)
Uncuffed endotracheal tubes (2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0)
Laryngoscope handles (adult and pediatric)
Extra laryngoscope batteries and light bulbs
Nasopharyngeal airways (#26, #30)
Oral airways (#0, #1, #2, #3, #4)
Scalpel with blade for cricothyroidotomy
Needle cricothyroidotomy kit
Water-soluble lubricant
Nasal cannulas (adult and pediatric)
Oxygen tubing
PEEP valve (adjustable)
Adhesive tape
Aerosol medication delivery system (nebulizer)
Alcohol swabs
Arm boards (adult and pediatric)
Arterial line tubing
Bone marrow needle (for pediatric infusion)
Blood pressure cuffs (neonatal, infant, child, adult large and small)
Butterfly needles (23-gauge, 25-gauge)
Communications backup (e.g., cellular telephone)
Defibrillator electrolyte pads or jelly
Dextrostix
ECG monitor/defibrillator (preferably with pressure transducer capabilities)
ECG electrodes (infant, pediatric, adult)
Flashlights with extra batteries
Heimlich valve
Infusion pumps
Intravenous fluid administration tubing (adult and pediatric)
Y-blood administration tubing
Extension tubing
Three-way stopcocks
Intravenous catheters, sizes 14- to 24-gauge
Intravenous solutions (plastic bags)
1000 mL, 500 mL of normal saline
1000 mL of Ringers lactate
250 mL of 5% dextrose
Irrigating syringe (60 mL), catheter tip
Kelley clamp
Hypodermic needles, assorted sizes
Hypodermic syringes, assorted sizes
Normal saline for irrigation
Pressure bags for fluid administration
Pulse oximeter with multiple site adhesive or reusable sensors
Salem sump nasogastric tubes, assorted sizes
Soft restraints for upper and lower extremities
Stethoscope
Suction apparatus
Suction catheters (#5, #8, #10, #14, tonsil)
Surgical dressings (sponges, Kling, Kerlix)
Tourniquets for venipuncture/IV access
Trauma scissors
The following are considered as needed
Transcutaneous pacemaker
Neonatal/pediatric isolette
Spinal immobilization device
Transport ventilator

PEEP, positive end-expiratory pressure; ECG, electrocardiogram; IV, intravenous.

Table 2. Recommended minimum transport medications

Adenosine, 6 mg/2 mL
Albuterol, 2.5 mg/2 mL
Amiodarone, 150 mg/3 mL
Atropine, 1 mg/10 mL
Calcium chloride, 1 g/10 mL
Cetacaine/Hurricane spray
Dextrose 25%, 10 mL
Dextrose 50%, 50 mL
Digoxin, 0.5 mg/2 mL
Diltiazem, 25 mg/5 mL
Diphenhydramine, 50 mg/1 mL
Dopamine, 200 mg/5 mL
Epinephrine, 1 mg/10 mL (1:10,000)
Epinephrine, 1 mg/1 mL (1:1000) multiple-dose vial
Fosphenytoin, 750 mg/10 mL (500 PE mg/10 mL)
Furosemide, 100 mg/10 mL
Glucagon, 1 mg vial (powder)
Heparin, 1000 units/1 mL
Isoproterenol, 1 mg/5 mL
Labetalol, 40 mg/8 mL
Lidocaine, 100 mg/10 mL
Lidocaine, 2 g/10 mL
Mannitol, 50 g/50 mL
Magnesium sulfate, 1 g/2 mL
Methylprednisolone, 125 mg/2 mL
Metoprolol, 5 mg/5 mL
Naloxone, 2 mg/2 mL
Nitroglycerin injection, 50 mg/10 mL
Nitroglycerin tablets, 0.4 mg (bottle)
Nitroprusside, 50 mg/2 mL
Normal saline, 30 mL for injection
Phenobarbital, 65 mg/mL or 130 mg/mL
Potassium chloride, 20 mEq/10 mL
Procainamide, 1000 mg/10 mL
Sodium bicarbonate, 5 mEq/10 mL
Sodium bicarbonate, 50 mEq/50 mL
Sterile water, 30 mL for injection
Terbutaline, 1 mg/1 mL
Verapamil, 5 mg/2 mL

The following specialized/controlled medications are added immediately before transport as indicated

Narcotic analgesics (e.g., morphine, fentanyl) (59)

Sedatives/hypnotics (e.g., lorazepam, midazolam, propofol, etomidate, ketamine) (59)

Neuromuscular blocking agents (e.g. succinylcholine, pancuronium, atracurium, rocuronium) (60)

Prostaglandin E1

Pulmonary surfactant

Empfehlung nach: Warren J, Fromm, Robert E Jr, Orr RA, Rotello LC, Horst HM (2004) Guidelines for the inter- and intrahospital transport of critically ill patients. Crit Care Med 32: 256–262.

12. Danksagung

Zunächst gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. med. Stefan Kluge für die freundliche Überlassung des Themas und die Unterstützung dabei.

Mein besonderer Dank gilt Dr. med. Stephan Braune für die unermüdliche Hilfe und die Betreuung bei der Erstellung dieser Dissertation.

Im Rahmen meiner Promotionsbemühungen möchte ich auch meinen Kollegen Stephanie Siedler, Dr. med. Barbara Sensen sowie Dr. med. Axel Nierhaus danken. Zusätzlich gilt mein Dank ebenfalls Birgit Füllekrug sowie Jeanette Matzick für ihre Hilfe.

13. Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Unterschrift: