

Università degli Studi di Padova
Scuola di Medicina e Chirurgia
Dipartimento di Medicina

Corso di Laurea in Infermieristica

Tesi di laurea

**La gestione infermieristica di un salvavita:
l'Ossigenazione Extra Corporea a Membrana in
un paziente Covid-19 positivo**

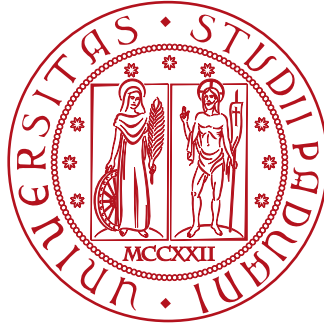
Revisione della letteratura

Relatore: Prof. Giuseppe Gagliardi

Laureanda: Ilham Touhami

(Matricola: 1238313)

Anno Accademico 2022-2023



Università degli Studi di Padova
Scuola di Medicina e Chirurgia
Dipartimento di Medicina

Corso di Laurea in Infermieristica

Tesi di laurea

**La gestione infermieristica di un salvavita:
l'Ossigenazione Extra Corporea a Membrana in
un paziente Covid-19 positivo**

Revisione della letteratura

Relatore: Prof. Giuseppe Gagliardi

Laureanda: Ilham Touhami

(Matricola: 1238313)

Anno Accademico 2022-2023

<< la costante attenzione di una buona infermiera può essere altrettanto importante della delicata operazione di un chirurgo >>

(Dag Hammarskjöld)

ABSTRACT

Introduzione: la diffusione globale del virus SARS-coV-19 nel dicembre 2019, segnò l'inizio della pandemia che ha cambiato il mondo per sempre.

La malattia conosciuta come COVID-19 si manifesta con sintomatologia prevalentemente influenzale nei casi più lievi e comporta patologie respiratorie nei casi più severi.

La "fame d'aria", può essere causa di decesso, perciò, si inizia con la semplice somministrazione di ossigeno fino ad arrivare all'utilizzo di presidi che respirano al posto del paziente. Tuttavia, nei casi più severi, quando si è di fronte ad un polmone non funzionante, dunque, una inefficace ossigenazione in grado di garantire la sopravvivenza del paziente, entra in ruolo l'utilizzo di un sistema che fa da "polmone artificiale" al paziente, detto Ossigenazione Extracorporea a Membrana (ECMO).

L'ECMO è una tecnica che supporta le funzioni vitali mediante la circolazione extracorporea, aumentando l'ossigenazione del sangue, riducendo i valori ematici di anidride carbonica e mettendo a riposo i polmoni e il cuore garantendo una funzionalità ventilatoria e di pompa.

L'ECMO in un paziente con insufficienza cardiopolmonare è una procedura altamente invasiva, di lunga durata, associata ad un tasso di mortalità pari al 50% che necessita di un infermiere di area critica, ben formato, ricco di esperienza in ambiti lavorativi diversi e con delle competenze avanzate per garantire una corretta gestione del presidio e del paziente riducendo rischi e complicanze.

Obiettivi dello studio: l'obiettivo della tesi è analizzare e confrontare i diversi articoli scientifici inerenti all'assistenza infermieristica del paziente affetto da covid sottoposto a ECMO, identificare le principali sfide e complicanze che emergono durante il processo di assistenza, e individuare quali siano gli interventi migliori da attuare per migliorare e garantire un'assistenza adeguata sia al paziente sia ai familiari.

Materiali e Metodi: la revisione della letteratura è stata effettuata analizzando i quattro elementi del PICO.

Il processo di valutazione e sintesi delle evidenze scientifiche è stato attuato consultando la banca dati di PubMed.

Risultati e conclusioni: Attraverso questa revisione della letteratura si è visto come l'infermiere che gestisce i pazienti Covid sottoposti a ECMO, affronta una serie di difficoltà e ostacoli quotidiani che riguardano sia gli aspetti tecnici sia quelli emotivi, derivanti dalla natura complessa della terapia e dalle sfide specifiche della pandemia Covid-19.

L'assistenza infermieristica in terapia intensiva a questo tipo di paziente implica l'uso di dispositivi di protezione individuale per molte ore comportando un ulteriore sforzo sia energetico che mentale.

La gestione globale del paziente, del circuito ECMO, delle varie complicanze e relative conseguenze richiede un infermiere con capacità avanzate, con una formazione specifica e continuamente aggiornata, comprendente anche la conoscenza delle linee guida e dei protocolli di cura associati.

Inoltre, oltre all'assistenza dei bisogni basilari del paziente, un infermiere "avanzato" è in grado di monitorare e interpretare i parametri vitali del paziente, gestire la connessione dei tubi e il flusso di sangue attraverso l'ECMO ed è in grado di assistere il medico durante i cambiamenti di configurazione o durante le procedure di accesso vascolare.

In conclusione, l'infermiere che gestisce questa tipologia di pazienti, deve essere ben addestrato e formato, capace di ridurre i rischi, prevenire le complicanze e fornire un supporto e un sostegno emotivo ai familiari.

Key words: extracorporeal circulation or ECMO, covid-19, nursing management, complications, mortality.

Parole chiave: circolazione extracorporea o ECMO, covid-19, gestione infermieristica, complicanze, mortalità.

INDICE

INTRODUZIONE.....	3
1. LA MALATTIA DEL COVID-19.....	7
1.1 Il nuovo SARS-CoV 2.....	7
1.2 Struttura e meccanismo d'azione del SARS-CoV-2.....	8
1.3 Eziologia.....	12
1.4 Patogenesi: manifestazioni cliniche.....	14
2. OSSIGENAZIONE EXTRACORPOREA A MEMBRANA.....	19
2.1 Caratteristiche generali e meccanismo di funzionamento del sistema.....	19
2.2 Indicazioni e controindicazioni all'uso dell'ECMO.....	23
2.3 Durata della terapia con ECMO, rischi e complicanze.....	25
2.4 Gestione infermieristica del paziente COVID con ARDS sottoposto a trattamento ECMO.....	29
3. MATERIALI E METODI.....	41
4. RISULTATI DELLA RICERCA.....	43
5. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI.....	45

BIBLIOGRAFIA

INTRODUZIONE

Il Covid-19 è stato identificato per la prima volta nel dicembre 2019 nella città cinese di Wuhan. Tuttavia, la sua diffusione su larga scala e la sua classificazione come pandemia da parte dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) sono avvenute nel marzo 2020.

La malattia del COVID-19 si trasmette principalmente da persona a persona attraverso le goccioline respiratorie prodotte quando una persona infetta tossisce, starnutisce, parla, canta o respira pesantemente.

Queste goccioline chiamate droplets vengono inalate da persone vicine, entro 1 metro di distanza causando l'infezione delle vie respiratorie.

La malattia del Covid-19 ha una sintomatologia prevalentemente influenzale nella maggior parte dei casi, ed è caratterizzata da: febbre, tosse secca, affaticamento, difficoltà respiratorie, mal di gola, congestione nasale, perdita del gusto o dell'olfatto, mal di testa e diarrea.

È importante sottolineare che questi sintomi possono variare da persona a persona e che alcuni individui possono essere in un numero minore soggetti alla forma più grave della malattia con infezione severa a carico delle vie respiratorie causando polmoniti, bronchiti, insufficienza respiratoria acuta ed altre complicanze, tutte potenzialmente mortali per il paziente.

Un paziente covid critico, necessita di un'alta complessità assistenziale che richiede il ricovero in terapia intensiva, dove viene fornita un'assistenza avanzata e specifica.

Questo tipo di paziente può essere soggetto o meno alla ventilazione meccanica, inoltre viene sottoposto a terapia farmacologica prevalentemente composta da corticosteroidi. Questi metodi terapeutici standard a volte falliscono in certi pazienti sviluppando un quadro di ipossiemia refrattaria; perciò, l'OMS consiglia l'utilizzo dell'Ossigenazione Extracorporea a Membrana vista la sua efficacia nel passato nel trattare l'insufficienza respiratoria acuta.

Le due configurazioni più utilizzate del sistema ECMO sono la veno-arteriosa, che supporta la funzionalità polmonare e quella cardiaca e agisce sull'emodinamica, invece, la veno-venosa fornisce supporto polmonare, ed è quella più utilizzata nei pazienti con insufficienza respiratoria acuta, agendo sull'ipossiemia refrattaria del paziente.

L'assistenza infermieristica a questa tipologia di paziente con una serie di rischi e complicanze, in trattamento con un sistema abbastanza complesso e con un'infezione altamente contagiosa, richiede un infermiere ben preparato e formato in grado di garantire l'assistenza di base e un'assistenza specializzata ed avanzata.

L'infermiere prende carico del paziente globalmente eseguendo l'igiene e la cura della persona, previene le lesioni da decubito, esegue una corretta medicazione delle cannule, gestisce il circuito ECMO, previene l'infezione da COVID-19 adottando le linee guida, usa e sa gestire i dispositivi individuali di sicurezza (DPI) ed è in grado di identificare e intervenire precocemente sulle varie complicanze legate al paziente e al sistema ECMO.

Oltre al prendersi cura del paziente, l'infermiere prende cura emotivamente anche dei suoi familiari che stanno subendo un momento difficile e stressante, di conseguenza, l'insieme comporta per l'infermiere un ulteriore carico a livello fisico ed emotivo.

Questo elaborato ha come obiettivo principale l'evidenziare quanto sia importante il ruolo della figura professionale dell'infermiere specializzato, nell'assistenza di un malato Covid in trattamento con ECMO, facendo focus principalmente sulle diverse sfide quotidiane a cui l'infermiere va incontro nell'assistere questa tipologia di pazienti e al modo in cui interviene per prevenire le complicanze promuovendo il benessere e la sopravvivenza del paziente e garantendo sostegno psicologico ai familiari.

Inoltre, lo scopo è anche quello di identificare quali interventi siano i migliori per garantire una migliore assistenza al paziente e i suoi familiari e quali siano quelli, invece, per ridurre il carico eccessivo a livello fisico e mentale nell'infermiere.

Personalmente, ciò che mi ha spronato ad eseguire questo studio è il mio interesse per l'area critica e per l'importanza assistenziale e il ruolo che copre l'infermiere.

Inoltre, lo studio di una pandemia recente come il covid, una pandemia che ha coinvolto tutti noi e ha lasciato una traccia nel nostro stile di vita, ha generato in me l'interesse di eseguire un ulteriore approfondimento di ricerca.

1. La malattia del COVID-19

1.1 Il nuovo SARS-CoV-2

Nel dicembre 2019, precisamente a Wuhan in Cina, è apparso per la prima volta l'agente infettivo SARS-CoV-2, responsabile della Sindrome Respiratoria Acuta Severa.

L'11 marzo 2020, a causa della rapida diffusione del patogeno a livello mondiale, l'OMS dichiara ufficialmente l'inizio della pandemia, una vera e propria emergenza sanitaria globale che ha portato all'affollamento dei sistemi sanitari in tutto il mondo e a importantissime perdite economiche. L'affollamento dei sistemi sanitari durante la pandemia di COVID-19 è stato un problema diffuso in molti paesi.

A causa della rapida diffusione del virus e del numero elevato di persone che richiedevano cure ospedaliere, molte strutture sanitarie sono diventate sovraccariche e hanno avuto difficoltà a gestire l'afflusso di pazienti. L'affollamento può portare a diversi problemi, inclusi tempi di attesa più lunghi per l'accesso alle cure, carenze di personale sanitario e risorse limitate.

In alcuni casi, i pazienti sono stati trasferiti in ospedali o strutture fuori dalla loro area di residenza per gestire l'afflusso di casi di COVID-19.

Per affrontare l'affollamento, molti paesi hanno adottato misure come la creazione di ospedali da campo temporanei, l'implementazione di protocolli di triage per determinare la priorità di trattamento dei pazienti e l'implementazione di restrizioni per ridurre la diffusione del virus e quindi il numero di pazienti che richiedono cure ospedaliere.

L'affollamento dei sistemi sanitari dovuto alla pandemia ha evidenziato la necessità di rafforzare le infrastrutture sanitarie, aumentare il personale sanitario e migliorare la capacità di risposta alle emergenze sanitarie. Inoltre, ha posto l'accento sull'importanza delle misure preventive per ridurre la diffusione del virus e limitare i casi che richiedono cure ospedaliere.

1.2 Struttura e meccanismo d'azione del SARS-CoV-2

Il SARS-CoV-2 è membro dell'ampia famiglia dei coronavirus (CoV), comuni in specie animali come i pipistrelli e i cammelli, capaci di infettare altri molteplici specie di uccelli e mammiferi, uomo compreso.

Il coronavirus ha una struttura simile ad una corona, da cui deriva il suo nome, è un virus a RNA, con una forma sferica o ellittica e una dimensione di circa 125 nanometri.

La sua struttura è composta da una membrana lipidica che avvolge il materiale genetico del virus formando una capsula protettiva, invece, sulla superficie della membrana sono presenti delle proteine a forma di picche, chiamate spike proteine, che conferiscono al virus l'aspetto di una corona.

Queste spike proteine sono fondamentali per l'ingresso del virus nelle cellule umane, in quanto si legano ad un recettore chiamato ACE2, presente sulla superficie delle cellule respiratorie.

Una volta entrato nella cellula ospite, il virus può replicarsi e diffondersi nel corpo, causando i sintomi della malattia. Partendo dall'interno verso l'esterno del virione abbiamo i diversi componenti strutturali, ciascuno con una funzione specifica:

- Proteina N: ospita il genoma dell'RNA, a polarità positiva, indispensabile nella morfogenesi durante la formazione del virione in quanto ne aumenta la stabilità.
- Envelope: l'involucro protettivo del virus, composto da una membrana estratta dalla cellula ospite dopo averla infettata.
- Proteina E: aiuta la glicoproteina S, dunque il virione ad attaccarsi alla membrana della cellula bersaglio.
- Dimero emoagglutinina- esterasi (HE): proteina del rivestimento, che contribuisce a sua volta al rilascio del virus all'interno della cellula bersaglio.
- Proteina M: attraversa l'envelope interagendo all'interno del virus con il complesso RNA-proteina.

- Glicoproteina SPIKE: responsabile della formazione della particolare struttura appuntita a forma di corona presente sulla superficie del virus, ottenuta dall'unione con altre due glicoproteine S formando il cosiddetto trimero.

La glicoproteina SPIKE ha una grandissima affinità con i recettori dell'enzima 2 di conversione dell'angiotensina (ACE2) delle cellule umane e le utilizza come porta d'ingresso.

La glicoproteina SPIKE è composta da due subunità:

- S1; responsabile dell'interazione con il recettore ACE2 e di conseguenza dell'infezione della cellula.
- S2; contribuisce affinché in un secondo momento, il virus entri nella cellula.

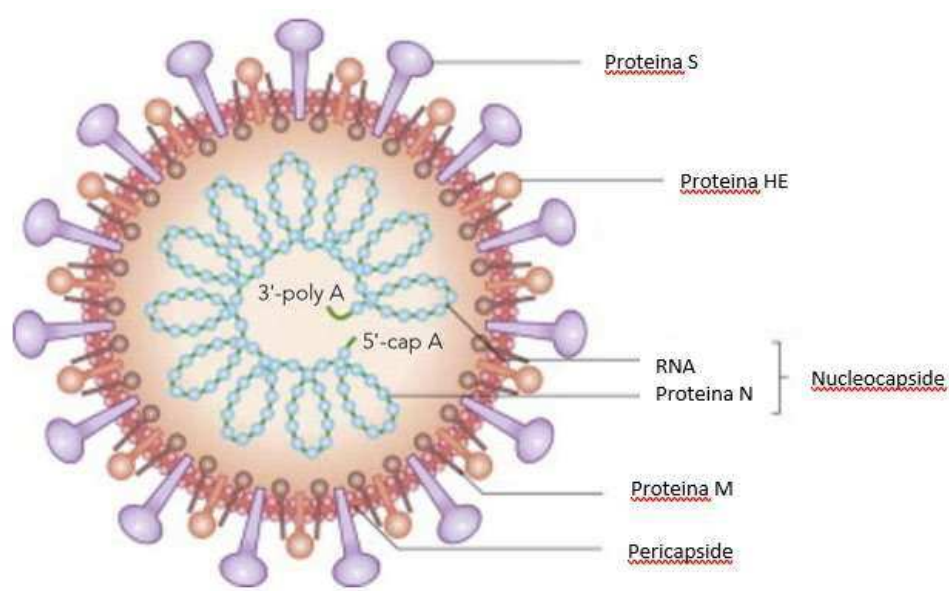


Figura 1: le proteine principali del coronavirus

Tratto da: *Virology*. Stephen J.J. Korsman, Gert U. van Zyl, Louise Nutt, et al. Human coronaviruses. Pag. 94-95. Copyright 2012, con il permesso di Elsevier.

Ricapitolando, SARS-CoV ha un ciclo vitale molto complesso ed articolato, viene assorbito per endocitosi, il suo ciclo vitale inizia tramite il legame virione-recettore ACE 2 mediato dalla proteina SPIKE penetrando le cellule umane

attraverso il recettore-enzima ACE2, un elemento metabolico importante per la regolazione dell'infiammazione, pressione arteriosa, per l'azione protettiva sul cuore e polmoni.

La proteina S modifica quindi la propria conformazione per agevolare la fusione della membrana endosomiale e permettere il rilascio del genoma dell'RNA nel citosol della cellula bersaglio.

Dopo i processi di traduzione e trascrizioni, le proteine virali e l'RNA genomico vengono assemblate e vanno a costituire i nuovi virioni. Essi vengono infine trasportati, attraverso apposite vescicole, e poi rilasciati dalla cellula bersaglio, replicandosi così nell'organismo.

L'ACE2 è presente in molti tessuti come cuore, reni, e pneumociti di tipo II degli alveoli polmonari, una sua mancanza e scorretta regolazione comporta un peggioramento della patologia polmonare e dell'attivazione di una serie di complicanze.

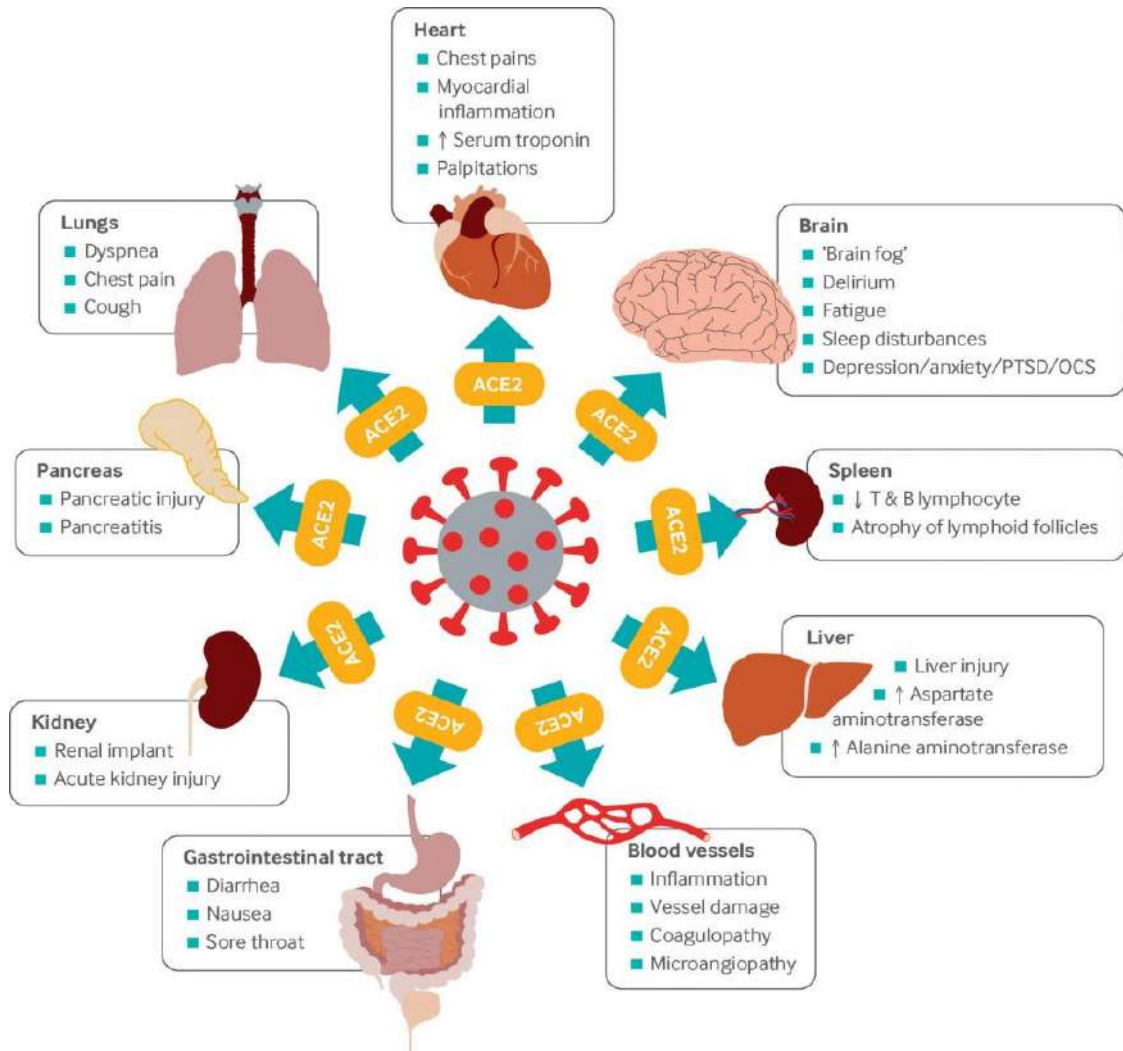


Figura 2: Panoramica dei principali sistemi ed apparati coinvolti e relativa sintomatologia

Tratto da: Clinical Review. Long covid- mechanisms, risk factors, and management, BMJ 2021;374: n1648, published 26 July 2021

1.3 Eziologia

L'eziologia esatta di come l'infezione sia stata trasmessa agli esseri umani non è ancora completamente nota, ma si ritiene che il virus sia stato originariamente trasmesso agli esseri umani da animali infetti in un mercato di frutti di mare a Wuhan. Alcuni studi sull'eziologia del virus suggeriscono che i pipistrelli potrebbero essere il serbatoio naturale del virus, poiché i coronavirus simili sono stati trovati in pipistrelli. Tuttavia, è probabile che un altro animale ospite abbia trasmesso il virus agli esseri umani, poiché i coronavirus non possono infettare direttamente gli esseri umani. La malattia del COVID-19, in ogni caso, è considerata di origine zoonotica, ma al febbraio 2020 la modalità di trasmissione prevalente è ritenuta quella tra uomo e uomo a causa di uno stretto contatto con la persona infetta entro il raggio di 1-2 metri, mediante l'inspirazione di goccioline respiratorie (droplets) emesse con lo starnuto, tosse o semplicemente parlando. La trasmissione può avvenire anche toccando una superficie o un oggetto contaminato dal virus e portarlo verso bocca, naso e occhi.

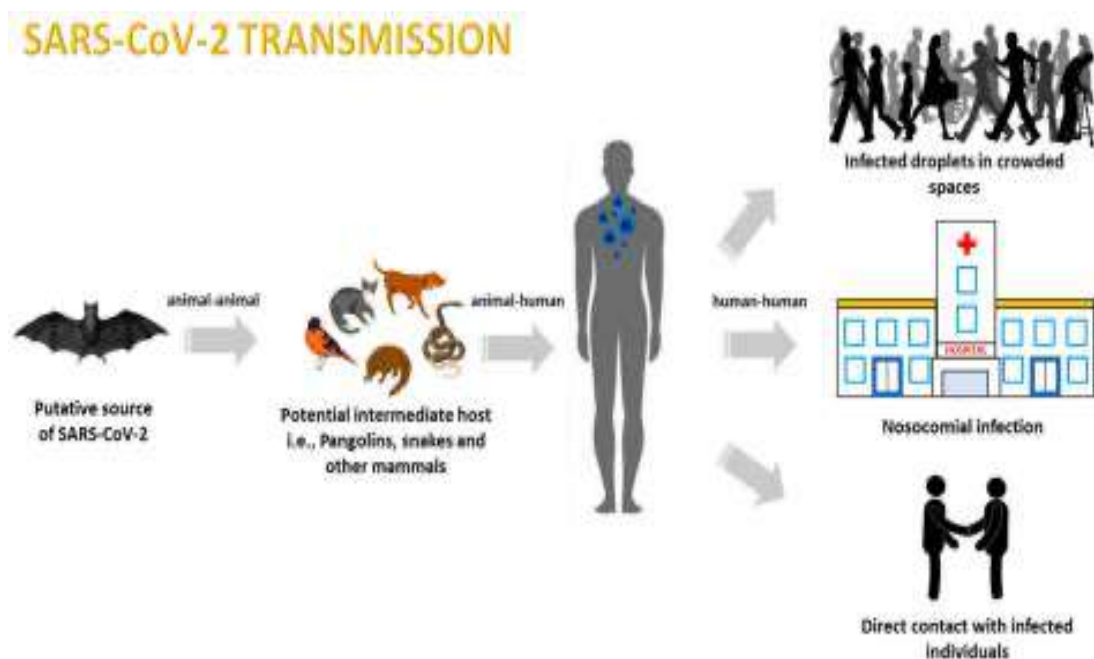


Figura 3: le modalità di trasmissione del SARS-CoV 19

Tratto da: "A Review on the Novel Coronavirus Disease Evolution, Transmission, Detection, Control and Prevention", 2021 Jan 29

Alcuni studi hanno evidenziato che il virus può rimanere in aria in particelle più piccole, note come aerosol, per un certo periodo di tempo, specialmente in ambienti chiusi e poco ventilati. Questo potrebbe portare ad una possibile trasmissione del virus tramite l'inquinamento dell'aria, anche a distanze maggiori di 1 metro dalla persona infetta. Un altro modo possibile di trasmissione del COVID-19 è quello attraverso le feci, ma sembra essere un metodo meno comune rispetto alla trasmissione attraverso le goccioline respiratorie. Secondo alcuni studi, è stato trovato il materiale genetico del virus nelle feci di persone infette, ma non è chiaro se questo possa realmente causare la trasmissione del virus ad altre persone. Sebbene sia possibile che le feci possano contenere il virus, l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) afferma che finora non vi sono prove che dimostrino la trasmissione del COVID-19 attraverso le feci. La principale via di trasmissione del virus rimane attraverso le goccioline respiratorie.

Le norme dettate dall'OMS per la prevenzione dell'infezione da COVID-19, consiste nell'adozione di misure di igiene personale, come il lavaggio delle mani frequente, l'uso di mascherine e il distanziamento fisico. Inoltre, sono stati sviluppati vaccini che sono stati somministrati in tutto il mondo per ridurre la diffusione del virus e prevenire gravi complicanze.

1.4 Patogenesi: manifestazioni cliniche

La patogenesi del COVID-19 può presentare variazioni significative da individuo a individuo. Alcune persone possono essere asintomatiche o avere sintomi lievi, mentre altre possono sviluppare forme gravi della malattia.

Il periodo di incubazione, ovvero il tempo che passa dal contagio alla comparsa dei sintomi varia tra i vari individui infetti, però mediamente una persona impiega 5-6 giorni fino ad un massimo di 14 giorni.

Fattori come l'età, le condizioni di salute preesistenti e la risposta immunitaria possono influenzare la gravità e la progressione dell'infezione.

La malattia del COVID-19 si manifesta nella maggior parte degli individui infetti in modo asintomatico o si manifesta, come abbiamo visto nelle pagine precedenti, con sintomi lievi quali: tosse, febbre, mal di gola, congestione nasale, diarrea (soprattutto nei bambini), cefalea, ageusia, disgeusia, anosmia, mialgia, astenia.

Nei casi severi, la replicazione del SARS-CoV-2 si manifesta con sintomi più gravi come la polmonite e difficoltà respiratorie fino ad arrivare a gravi malattie come la Sindrome Respiratoria Mediorientale (MERS-CoV), la Sindrome Respiratoria Acuta Grave (SARS-CoV), shock settico, acidosi metabolica refrattaria, coagulopatia, sindrome da disfunzione multiorgano (MODS) e persino morte.

Il virus penetra nell'organismo umano principalmente attraverso le vie respiratorie, infettando le cellule dell'epitelio respiratorio, si lega al recettore dell'enzima di conversione dell'angiotensina 2 (ACE2) presente sulla superficie delle cellule bersaglio.

Successivamente, il virus inizia a replicarsi all'interno delle cellule infettate, portando alla produzione di nuove particelle virali.

Durante la fase iniziale dell'infezione, il sistema immunitario dell'individuo risponde attivando una serie di risposte immunologiche, tra cui l'infiammazione e la produzione di citochine pro-infiammatorie determinando danno all'endotelio vascolare e alveolare.

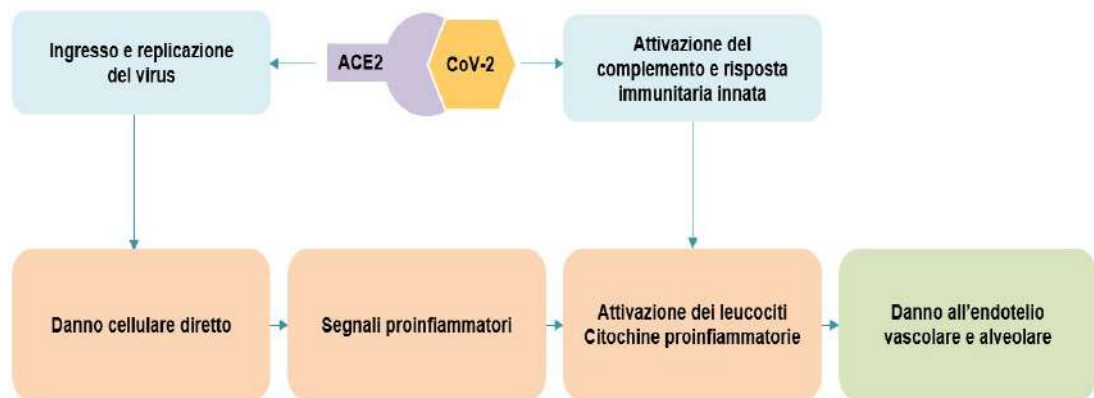


Figura 4: cascata di eventi che portano al danno all'endotelio vascolare e alveolare.

[Basato su: Ciceri et al., Am J Respir Crit Care Med. 2020]

La grave infezione disseminata o polmonite determina una condizione che porta a una cascata di eventi dominati da un'eccessiva risposta infiammatoria dell'ospite con una tempesta di citochine con conseguente stato iperinflammatorio che può evolversi con conseguenze locali e sistemiche severe quali vasculopatia arteriosa, venosa con trombizzazione dei piccoli vasi ed evoluzione verso lesioni polmonari severe come la fibrosi generando ARDS ovvero Sindrome da Distress Respiratorio Acuto.

Questa grave fase della malattia è caratterizzata da alterazioni morfo-funzionali a causa degli effetti citopatici del virus e della risposta immunitaria del paziente, difatti, In questa fase, si è osservata un'alterazione progressiva di alcuni parametri infiammatori quali PCR, ferritina, e citochine proinfiammatorie (IL2, IL6, IL7, IL10, GSCF, IP10, MCP1, MIP1A e TNF α) e coagulativi quali aumentati livelli dei prodotti di degradazione della fibrina come il D-dimero, consumo di fattori della coagulazione, trombocitopenia.

L'ARDS è una condizione polmonare pericolosa per la vita che impedisce all'ossigeno di raggiungere i polmoni e di entrare in circolazione nel flusso sanguigno, provocando morte o lesioni polmonari acute.

Questa condizione può provocare una viremia secondaria con la conseguente infezione estesa agli organi come cuore, reni, tratto gastrointestinale e il vasto sistema vascolare. La diffusione del virus porta ad un peggioramento del quadro clinico con conseguente disfunzione d'organo e morte (MODS).

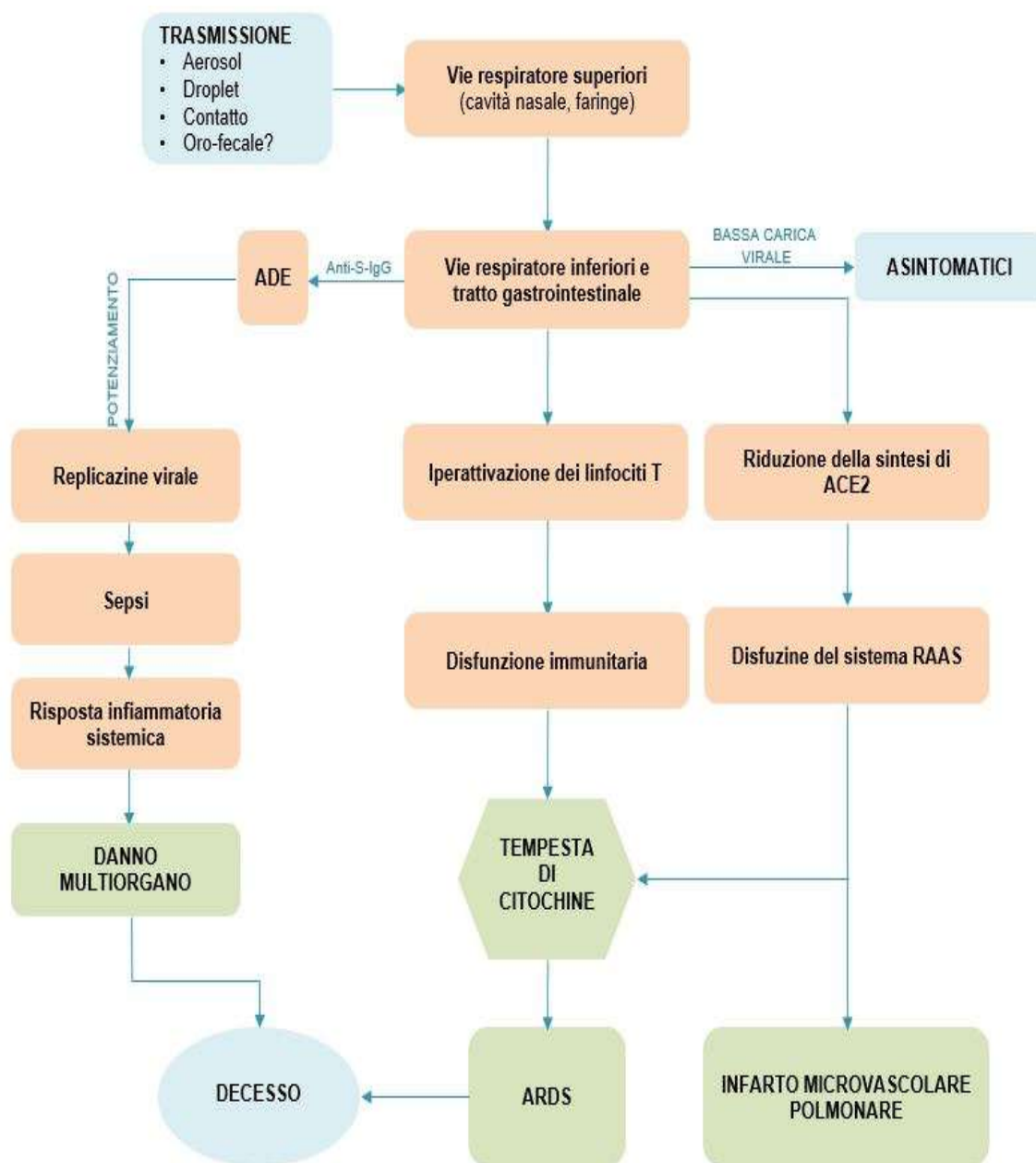


Figura 4: Schema che riassume le manifestazioni cliniche del COVID-19 e la cascata di eventi che portano alla sindrome da distress respiratorio acuto e MODS.

[Basato su: Ciceri et al., Am J Respir Crit Care Med. 2020]

Persone con comorbidità quali diabete, obesità, ipertensione arteriosa, malattie respiratorie croniche, malattie cardiovascolari, cancro, i pazienti immunodepressi e pazienti con età avanzata sono più soggetti a sviluppare un ARDS e ad avere un esito letale.

I maschi sono prevalentemente i più colpiti e rappresentano circa il 60% dei casi di morti, mentre il tasso di mortalità per infezione globale (IFR) è stimato intorno allo 0,68%, ma l'IFR specifico varia a seconda del paese.

Tuttavia, è importante sottolineare che questi dati possono variare a seconda delle caratteristiche specifiche di ciascuno studio e della popolazione studiata. Un'altra variabile che può influenzare la mortalità associata all'ARDS è la disponibilità di cure intensive e ventilazione meccanica nei pazienti più gravi, infatti, in alcuni paesi, la capacità di fornire cure intensive potrebbe essere limitata, il che può influire sulla mortalità complessiva.

Tuttavia, il tasso di mortalità può essere ridotto con un trattamento tempestivo, supporto ventilatorio adeguato e l'uso di terapie innovative come la terapia con l'Ossigenazione Extracorporea a Membrana (ECMO).

2. Ossigenazione Extracorporea a Membrana

2.1 Caratteristiche generali e meccanismo di funzionamento del sistema

Il COVID-19, come visto nel capitolo precedente, è responsabile della sindrome clinica ARDS, caratterizzata da ipossiemia refrattaria nei malati critici.

Questa condizione è ulteriormente complicata dall'insufficienza respiratoria e circolatoria e per riuscire a gestirla occorre utilizzare l'ossigenazione extracorporea a membrana per mantenere la funzionalità polmonare e cardiaca.

L'ECMO ha come obiettivo risolvere l'ipossiemia e ottimizzare la perfusione sanguigna guadagnando tempo prezioso per il recupero del sistema cardiopolmonare o per il trapianto di organi, dunque rappresenta un bypass cardiopolmonare, una specie di "organo artificiale", un sistema invasivo, complesso, sofisticato e costoso.

Il complesso ECMO è costituito da una pompa, un ossigenatore, un riscaldatore di sangue, mentre la tecnica di circolazione extracorporea avviene mediante l'incannulazione di vene centrali (giugulare interna o femorale) e arteria.

Un circuito ECMO standard è costituito da diversi elementi base:

- scambiatore di gas o ossigenatore a membrana: svolge il ruolo del "polmone artificiale" ossigenando il sangue eliminando anidride carbonica;
- pompa rotativa centrifuga a sensore di flusso: vicaria la funzionalità cardiaca generando energia che spinge il sangue a fluire lungo il tubo e fuoriuscire o fluire nel corpo umano. Le pompe adoperate oggi giorno nell'ECMO sono di due tipi pompe a rulli e pompe centrifughe entrambi capaci di generare pressione negativa e flusso sanguigno mediante il motore o il rullo;

- unità di riscaldamento e scambiatore di calore: è indispensabile nel mantenimento di una temperatura adeguata durante il passaggio del sangue nel circuito evitando la perdita di calore;
- cannule arteriose e venose;
- linee di drenaggio e reinfusione;
- miscelatore aria/ossigeno e linee gas;
- unità di controllo centrale (console) e drive secondario (di back-up o di emergenza).

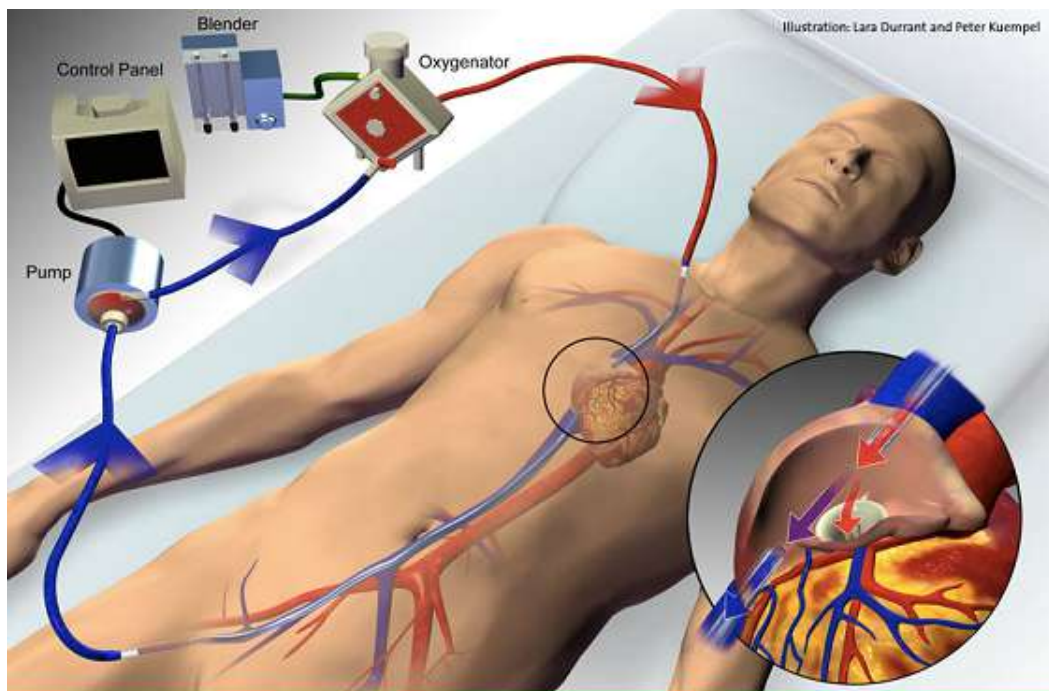


Figura 5: rappresentazione dei principali componenti del circuito ECMO

In base ai vasi dai quali viene drenato o iniettato il sangue, le modalità vengono classificate in VA (venoso arterioso) -ECMO, che preleva il sangue dalle vene e lo reimmette nelle arterie, VV (venoso-venoso) -ECMO, che preleva il sangue e lo reimmette nelle vene.

Queste due configurazioni di ECMO sono considerate quelle fondamentali e quelle più utilizzate;

L'ECMO-VV (veno-venosa), Viene eseguita mediante accessi vascolari in vena giugulare interna ed in vena femorale.

Viene utilizzata principalmente in pazienti con insufficienza respiratoria grave, come nell'insufficienza respiratoria acuta o nella ARDS, ma può essere anche utilizzata come supporto temporaneo durante interventi chirurgici complessi ai polmoni o al cuore.

Questo sistema è il più diffuso grazie al suo effetto cardiopolmonare protettivo, utile nel trattamento di malattie polmonari reversibili con insufficienza respiratoria quando i metodi tradizionali non danno risultati, come nel caso del paziente con insufficienza respiratoria severa dovuta all'infezione da SARS-CoV-2.

Il sangue venoso viene drenato dalla vena femorale e reimpresso attraverso la vena giugulare interna, l'apporto di ossigeno proviene tramite l'ossigenatore extracorporeo e dalla circolazione polmonare autologa alleviando il carico sui polmoni e migliorando l'afflusso di sangue al cuore.

Il sangue ricco di ossigeno entra nell'arteria polmonare per partecipare alla circolazione, riducendo la resistenza della circolazione polmonare e il post carico ventricolare destro.

ECMO-VA (veno-arteriosa), supporta inoltre la funzionalità di pompa cardiaca, inoltre grazie agli accessi in vena ed arteria femorale agisce direttamente sul circolo, sull'emodinamica, agendo sull'output cardiaco e, quindi sulla pressione arteriosa.

Questo sistema viene utilizzato molto nella gestione di severi quadri di ipoperfusione sistemica e nella rianimazione cardiopolmonare.

Il VA-ECMO garantisce una importantissima quantità di ossigeno al corpo, riducendo al massimo lo sforzo polmonare e cardiaco grazie alla rinfusione dell'80% di sangue venoso ossigenato mediante l'arteria femorale.

La VA-ECMO permette di guadagnare tempo prezioso per il recupero da shock cardiogeni come l'infarto miocardico acuto e miocardite fulminante e da insufficienza cardiaca acuta causata da congelamento, annegamento e avvelenamento da farmaci.

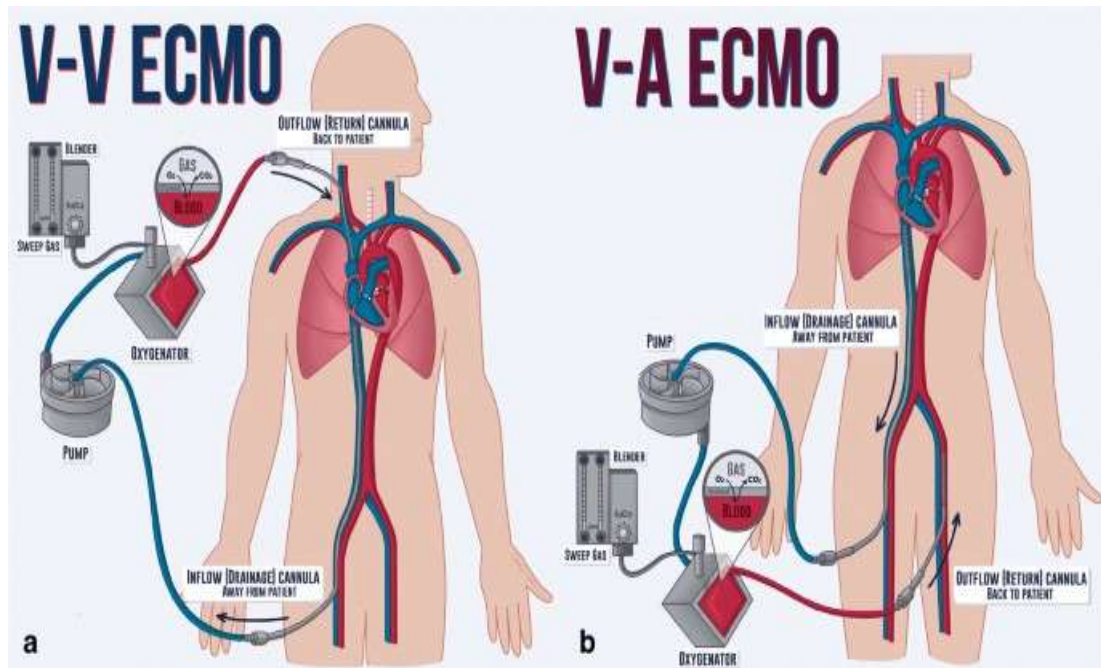


FIGURA 6: meccanismo di funzionamento ECMO V-V ED ECMO V-A
Tratto dall' articolo "Evaluation, treatment, and impact of neurologic injury in Adult Patients on Extracorporeal Membrane Oxygenation: a review", Marzo 2021

2.2 Indicazioni e controindicazioni all'uso dell'ECMO

L'ECMO non rappresenta la soluzione terapeutica della patologia di base che ha provocato la severa compromissione emodinamica e/o respiratoria, ma fa da ponte per il mantenimento e il sostegno delle funzioni vitali in attesa che altre terapie possano agire.

Questa procedura rimane comunque una procedura invasiva che viene presa in considerazione solo dopo il fallimento delle convenzionali terapie massimali. Prima di decidere se praticare l'ossigenazione extracorporea a membrana in un paziente, occorre valutare le indicazioni e controindicazioni per prevedere se il paziente trarrà beneficio da questa procedura o meno, questa decisione spesso decide la vita o la morte del paziente.

Il rischio di morte di ciascun paziente viene valutato e stimato in base alla patologia di base utilizzando score specifici, e si decide di praticare l'ECMO solo quando il rischio di morte stimato è superiore al 50% e trova piena indicazione quando il rischio di mortalità supera l'80% in assenza di controindicazioni al suo utilizzo.

L'ECMO è **decisamente indicato** quando:

- il sistema cardio-respiratorio risulta altamente compromesso ed insufficiente con ipossia refrattaria al trattamento medico massimale (P/F<100; PH <7.2);
- trattamento pazienti con ARDS da COVID-19;
- arresto cardiaco refrattario;
- embolia polmonare massiva con quadro di shock e/o controindicazione alla terapia riperfusiva mediante agente trombolitico;
- quadri di shock cardiogeno conseguenti ad estesi infarti miocardici o a complicanze di interventi cardiocirurgici
- aritmie ventricolari refrattarie
- severa ipotermia inferiore a 32°C
- intossicazione da farmaci cardioattivi

L'uso dell'ECMO **non è assolutamente indicato** nei pazienti con scarsa aspettativa di vita conseguente a processi patologici irreversibili come patologie croniche in fase avanzata, neoplastiche allo stadio terminale, danni neurologici irreversibili, insufficienza multiorgano non polmonare o sepsi allo stadio finale.

Ogni paziente ha una storia personale e il rapporto rischio/beneficio va valutato singolarmente perciò non esistono delle controindicazioni assolute ma relative quali;

- presenza di emorragia cerebrale recente o in peggioramento
- presenza di comorbidità importanti come l'emorragia cerebrale estesa o patologie neoplastiche in fase terminale con scarsa aspettativa di vita
- presenza di immunosoppressione farmacologica maggiore (conta assoluta neutrofili $<400/\text{mm}^3$)
- ventilazione meccanica aggressiva ($\text{FiO}_2 > 90$, $\text{P-plat} > 30$) da più di 7 giorni

2.3 Durata della terapia con ECMO, rischi e complicanze

I pazienti trattati con ECMO possono essere assistiti per un lungo periodo di tempo che va da alcuni giorni fino a diverse settimane.

L'invasività e la lunga durata di questo trattamento favoriscono fattori di rischio che possono comportare una serie di possibili complicanze più o meno gravi. Le complicanze possono essere legate al malfunzionamento, dunque, alla meccanica dei diversi componenti del sistema ECMO e al loro utilizzo o al paziente stesso.

Le complicanze principali più comuni sono prevalentemente di tipo infettivo o ematologico come il sanguinamento e la trombosi, specialmente nei pazienti con coagulopatia.

La trombosi è una condizione caratterizzata dalla formazione di un trombo, ovvero un coagulo di sangue, all'interno di un vaso sanguigno bloccando parzialmente o completamente il flusso di sangue nel vaso colpito, causando danni ai tessuti circostanti.

La trombosi può essere pericolosa e causare complicazioni gravi, come embolia polmonare (quando un trombo raggiunge i polmoni), ictus (quando un trombo raggiunge il cervello) o infarto miocardico (quando un trombo blocca un'arteria coronaria).

La formazione di trombi durante il trattamento ECMO è dovuto al contatto del sangue con le superficie non endoteliali che compongono le diverse parti del circuito provocando l'attivazione della coagulazione e della via fibrinolitica e una risposta infiammatoria, perciò, si cerca di ridurre al minimo le superficie non endoteliali che entrano a contatto con il flusso ematico.

Per prevenire il deposito di coaguli nel circuito, quindi per non incorrere ad un malfunzionamento del circuito e a tromboembolismo occorre ispezionare e verificare quotidianamente l'ossigenatore e tutto il circuito, inoltre includere l'utilizzo di farmaci anticoagulanti per prevenire la formazione di nuovi trombi e per sciogliere quelli già presenti.

Le linee guida ELSO (Extracorporeal Life Support Organization), raccomandano l'utilizzo di eparina continua durante tutto il trattamento con ECMO per l'anticoagulazione con una dose variabile da paziente a paziente in base ai dati di laboratorio di PTT e/o ACT.

La somministrazione di eparina rende il sangue più fluido permettendo all'ossigenatore di funzionare correttamente, però può provocare sanguinamento in diversi siti quali:

- sito inserzione cannule
- accessi vascolari presenti
- incisioni chirurgiche recenti
- organi interni

Tra le emorragie che interessano gli organi interni, il sanguinamento cerebrale è quello più pericoloso poiché contribuisce all'incremento della PIC (pressione intracranica), creando una situazione di pericolo per il cervello, che se non viene trattata prontamente, può causare danni cerebrali irreversibili o persino la morte.

Un evento emorragico oltre a rappresentare un problema per il paziente rappresenta un problema anche per il circuito, di fatti la riduzione della volemia e del flusso di sangue nel circuito favorisce l'incremento dei giri al minuto con probabile rischio di emolisi.

Gli eventi emorragici e trombotici aumentano in maniera importante il tasso di mortalità nel paziente sottoposto a ECMO, perciò, è di notevole importanza la prevenzione.

Un altro fattore di rischio che può comportare gravi complicanze a livello cerebrale, periferico o polmonare e la presenza di emboli gassosi.

Gli emboli gassosi sono bolle di aria che possono formarsi nel circuito ECMO e/o nel sistema vascolare e rappresentano un fattore di rischio in quanto possono causare ostruzioni del flusso sanguigno causando infarti cerebrali, periferici o polmonari.

Per prevenire gli emboli gassosi, è importante adottare precauzioni durante l'incannulazione di vene e arterie e la loro manipolazione e attraverso il monitoraggio anche solo visivo del circuito durante il trattamento.

Nel caso in cui si sospetti la presenza di emboli gassosi, il paziente deve essere immediatamente sottoposto a trattamento per rimuovere le bolle di aria dal sistema circolatori includendo l'utilizzo di filtri per catturare le bolle o tecniche di decompressione.

Oltre alle complicanze di tipo ematologico, le complicanze infettive nosocomiali sono comuni nel paziente critico e sono considerati una terribile complicanza ancora di più nel paziente in trattamento con ECMO poiché possono diffondersi nel torrente ematico creando una condizione di setticemia. Lo sviluppo delle infezioni è determinato in maniera significativa da diversi fattori di rischio quali l'età del paziente, le diverse patologie che lo caratterizzano, di fatti un paziente critico, con diverse patologie, specialmente un anziano è più soggetto a sviluppare le infezioni, a causa di un sistema immunitario inefficace correlato all'invecchiamento fisiologico.

Altri fattori di rischio per le infezioni riguardano la configurazione del circuito, la sua gestione, le tecniche di cannulazione e la durata del trattamento.

Tuttavia, l'incidenza delle infezioni può variare a seconda del tipo di ECMO utilizzato.

Di fatti, i pazienti sottoposti a ECMO più esposti a processi infettivi sono i soggetti sottoposti a circolazione veno-arteriosa, soprattutto con accessi vascolari centrali.

Gli accessi vascolari centrali, come cateteri venosi centrali o cateteri arteriosi possono essere il sito di potenziali infezioni, in quanto possono facilitare l'ingresso di batteri o altri patogeni nel sistema circolatorio.

L'incannulazione centrale può richiedere un intervento chirurgico invasivo, compreso l'apertura del torace in alcuni casi, che espone il paziente a un maggior rischio di infezioni causate da patogeni e agenti infettivi presenti nell'ambiente o introdotti durante l'intervento chirurgico.

Tuttavia, a causa del paziente che è già compromesso dal suo stato di salute, il rischio di complicanze infettive può essere maggiore rispetto ad altri pazienti che si sottopongono ad interventi chirurgici meno invasivi.

Il posizionamento di una cannula a livello femorale aumenta il rischio di infezione poiché vi è il rischio di entrare facilmente a contatto con liquidi biologici considerati potenziali fonte di proliferazione batterica. Inoltre, la pelle nella zona femorale è più sottile rispetto ad altre aree del corpo, il che significa che le vie di ingresso per i batteri sono più facili da raggiungere. L'incannulazione giugulare a doppio lume si è dimostrata la tecnica di incannulazione che può invece ridurre il rischio di complicanze infettive come la contaminazione del sito di incannulazione e la diffusione di patogeni nel flusso sanguigno.

Questa tecnica prevede l'inserimento di due cannule nella vena giugulare interna, consentendo l'accesso a un lume per l'infusione di fluidi e farmaci e il secondo lume per il prelievo di sangue.

Tuttavia, è importante notare che ogni tecnica di incannulazione comporta dei rischi potenziali e che l'efficacia di una particolare tecnica può variare a seconda delle circostanze individuali. Pertanto, è fondamentale valutare attentamente quale tecnica sia la più appropriata per il singolo paziente in base alle sue necessità.

La durata del trattamento ECMO è un altro fattore che può influenzare il rischio di infezione, poiché maggiore è la durata del trattamento, maggiore è il rischio di sviluppare infezioni, a causa di una compromissione del sistema immunitario del paziente che lo rende più suscettibile alle infezioni. Di fatti, è riportata una maggiore incidenza di episodi infettivi in trattamenti ECMO prolungati oltre i 30 giorni.

2.4 Gestione infermieristica del paziente COVID con ARDS sottoposto a trattamento ECMO

L'ARDS da COVID-19 ha reso la gestione della malattia particolarmente complessa per i professionisti sanitari e sistemi sanitari di tutta l'Europa e del mondo intero.

La necessità di fornire un'adeguata assistenza respiratoria ai pazienti con ARDS ha richiesto l'utilizzo di ventilatori meccanici e altri dispositivi di supporto respiratorio.

I professionisti sanitari hanno dovuto adottare misure per ridurre l'infiammazione polmonare e prevenire il danno ai polmoni, inoltre sono stati condotti molti studi per valutare l'efficacia di farmaci antinfiammatori e di altre terapie per ridurre l'infiammazione polmonare e migliorare i risultati per i pazienti con ARDS.

Il trattamento convenzionale dell'ARDS prevede la somministrazione di ossigeno attraverso maschere o ventilazione a pressione positiva.

Tuttavia, in alcuni casi, queste strategie possono non essere sufficienti a migliorare in modo significativo l'ipossiemia e il distress respiratorio, dunque, possono essere considerati trattamenti più avanzati come la ventilazione a pressione positiva in presenza di livelli di ossigeno elevati (PPHN) o l'ossigenazione extracorporea a membrana.

Questi approcci terapeutici forniscono un supporto respiratorio più aggressivo e possono essere utilizzati in pazienti selezionati per aumentare le possibilità di sopravvivenza.

L'ECMO è stato utilizzato con successo come terapia di supporto per i pazienti con ipossiemia refrattaria durante le pandemie di MERS-CoV e influenza H1N1, infatti, l'OMS suggerisce il suo utilizzo come opzione per il trattamento dell'ipossiemia refrattaria, quando nonostante l'ossigenoterapia intensiva, il paziente continua a peggiorare.

Tuttavia, visto che l'ECMO non è una terapia senza rischi, le linee guida ELSO (Extracorporeal Life Support Organization) suggeriscono che il suo utilizzo non debba essere avviato fino a quando non siano state testate tutte le terapie standard per l'ARDS.

Questo perché, il posizionamento dell'ECMO, come abbiamo visto nel capitolo precedente, può comportare complicazioni che potrebbero compromettere ulteriormente la stabilità del paziente e aumentare il rischio di mortalità e morbilità.

Le Linee guida ELSO forniscono dei criteri che possono essere presi in considerazione per valutare se un paziente con ARDS può essere trattato con ECMO. Questi criteri sono:

- gravità dell'ARDS: Il paziente deve presentare un'ARDS grave, solitamente definita come grave ipossiemia refrattaria nonostante la terapia di supporto massima.
- ipossiemia refrattaria: Il paziente deve avere una pressione parziale di ossigeno arteriosa (PaO₂) inferiore a 50 mmHg (o una saturazione di ossigeno bassa) con una frazione inspirata di ossigeno (FiO₂) del 90% o superiore per almeno 6 ore nonostante l'ossigenoterapia e la ventilazione meccanica migliore.
- inadeguato sollievo del lavoro respiratorio: Il paziente deve avere un lavoro respiratorio eccessivo o gravoso nonostante la ventilazione meccanica, indicato da una pressione inspiratoria media (mPpart) superiore a 25 cmH₂O o un lavoro del sistema respiratorio superiore a 15 J/min.
- diagnosi specifica: Il paziente deve aver ricevuto una diagnosi di ARDS secondo i criteri clinici e radiologici definiti dalle linee guida internazionali, ad esempio, il rapporto tra la pressione parziale di ossigeno arteriosa e la frazione inspirata di ossigeno (PaO₂/FiO₂) inferiore a 150 mmHg.

La decisione di iniziare il trattamento con ECMO dovrebbe essere presa in modo collaborativo, coinvolgendo specialisti di ECMO, pneumologi, anestesisti e chirurghi cardio-toracici.

L'infermiere che si occupa dell'assistenza infermieristica di questa tipologia di pazienti deve essere altamente specializzato e preparato, in quanto si trova quotidianamente di fronte ad un'elevata complessità assistenziale, tecnologica e multidisciplinare.

L'assistenza infermieristica, quindi, richiede un'elevata competenza tecnica e una grande capacità di adattamento, in quanto le condizioni del paziente possono cambiare rapidamente e richiedere decisioni immediate e tempestive. L'infermiere deve fornire un'assistenza di tipo globale che prevede la familiarizzazione con l'uso del circuito ECMO, i sistemi di monitoraggio e di ossigenazione del sangue, il saper interpretare i dati ottenuti da questi strumenti ed la contenzione della diffusione del Covid e infine il sostegno ai familiari dell'assistito.

dunque, oltre alla gestione della complessità del circuito ECMO e l'instabilità e la criticità della situazione; deve fornire un supporto di base, che riguarda i bisogni basilari del paziente come l'igiene e la prevenzione dalle lesioni da decubito.

L'igiene e la cura della persona sono componenti fondamentali dell'assistenza infermieristica di base, difatti, l'infermiere si occupa di garantire che i pazienti abbiano una buona igiene personale, includendo il lavaggio e la cura del corpo, il controllo della temperatura corporea e la gestione delle funzioni fisiologiche quotidiane, come l'alimentazione e l'eliminazione.

La prevenzione dell'integrità cutanea e delle lesioni da pressione è un'altra componente importante dell'assistenza infermieristica di base con lo scopo di prevenire le lesioni della pelle, come le ulcere da pressione, che possono svilupparsi facilmente nel paziente alettato.

I pazienti sottoposti a supporto ECMO hanno spesso una bassa mobilità a causa dell'instabilità emodinamica e della scarsa perfusione, questo significa che devono rimanere immobili per lunghi periodi di tempo, aumentando ulteriormente il rischio di sviluppare ulcere da pressione.

Gli infermieri devono esaminare regolarmente la pelle dei pazienti per individuare eventuali segni di lesioni imminenti e adottare misure preventive e l'uso di dispositivi per ridurre la pressione su aree particolarmente vulnerabili. Il posizionamento di placche di idrocolloide e rotazione regolare del paziente possono prevenire le lesioni lungo i punti critici come prominenze ossee e i punti maggiormente esposti alla pressione delle cannule del circuito ECMO, del catetere vescicale e dei drenaggi se presenti.

La prevenzione dell'integrità cutanea e delle lesioni da pressione evita il dolore e il disagio associati a queste lesioni e ne riduce il costo e l'impatto sulla salute del paziente.

Durante queste procedure è fondamentale il monitoraggio dei parametri vitali del paziente come l'aumento della frequenza cardiaca e della pressione arteriosa, la riduzione della saturazione e l'aumento nel consumo di ossigeno causati dalla desaturazione e da alterazioni del flusso ECMO legati ai movimenti di mobilizzazione, al fine di identificare tempestivamente eventuali alterazioni e intervenire di conseguenza.

È importante considerare la stabilità dell'ECMO durante la mobilizzazione, poiché, il flusso di sangue attraverso l'ECMO può essere influenzato dalla posizione del paziente; quindi, è necessario assicurarsi che la mobilizzazione non crei ostacoli al flusso e non comprometta l'efficacia dell'ECMO.

È inoltre, importante la valutazione del livello di sedazione sia prima che dopo la procedura di igiene, aumentando al bisogno il livello di sedazione durante la mobilizzazione.

Per garantire la sicurezza e la stabilità del sistema ECMO, l'infermiere deve adottare alcune precauzioni durante le manovre di mobilizzazione del paziente per non incorrere in situazioni complesse come le decanulazioni accidentali, che possono portare al decesso del paziente in pochi istanti se non trattati tempestivamente.

Le precauzioni da adottare sono:

- Assicurarsi che tutte le connessioni dell'ECMO e i dispositivi di decanulazione siano saldamente fissati e ben posizionati sul paziente.
- Evitare movimenti bruschi o improvvisi del paziente che potrebbero causare una decanulazione accidentale.
- Mantenere una costante osservazione del paziente durante la mobilizzazione, rilevando eventuali segni di instabilità o allentamento dei dispositivi.
- Utilizzare adeguatamente i dispositivi di contenimento, come fasce o cuscini, per tenere il paziente nella posizione desiderata senza mettere a rischio l'ECMO.
- Coinvolgere un team di assistenza durante le manovre di mobilizzazione per garantire il supporto necessario nel caso di eventuali difficoltà o emergenze.

Il fatto che il catetere ECMO possa accidentalmente staccarsi o essere rimosso dal paziente rappresenta una preoccupazione significativa per il personale infermieristico perché può causare una grave instabilità emodinamica, difatti è fondamentale agire prontamente per minimizzare la perdita di sangue e difendere la vita del paziente, richiamando il supporto del team medico e avviando le procedure di emergenza previste per affrontare tale situazione.

Tutti questi fattori combinati rendono il personale infermieristico più riluttante a mobilizzare i pazienti sottoposti a supporto ECMO rispetto ad altri pazienti critici con il rischio di sviluppare ulcere da pressione.

L'infermiere, inoltre dovrà occuparsi dell'igiene del cavo orale per la prevenzione della polmonite da ventilazione meccanica (VAP).

Difatti, La pulizia regolare del cavo orale, compresa la pulizia dei denti, delle gengive e della lingua, può ridurre la quantità di batteri presenti nella bocca e prevenire la loro sedimentazione nei polmoni durante la ventilazione meccanica.

Molti ospedali e unità di terapia intensiva implementano protocolli per l'igiene orale nei pazienti intubati al fine di ridurre il rischio di VAP.

Questi protocolli includono l'uso di spazzolini da denti morbidi per evitare traumatismi della mucosa orale, soluzioni antibatteriche per sciacquare la bocca e il posizionamento di tubi ortodontici per facilitare la pulizia.

L'aspirazione durante la manovra di igiene comporta un elevato rischio di sanguinamento che può essere associato a diversi fattori:

- in primo luogo, le vie respiratorie superiori possono essere delicate e facilmente danneggiate se l'aspirazione viene eseguita in modo sbagliato o aggressivo.
- anche una pressione eccessiva o una posizione errata del catetere di aspirazione possono causare danni ai delicati tessuti delle vie aeree, portando al sanguinamento. Per questo è importante valutare la pressione di aspirazione e ridurla per evitare lesioni delle mucose; infatti, nei pazienti ad alto rischio di sanguinamenti attivi del cavo orale la pressione deve essere ridotta da -150mmHg a -50mmHg.

Nei pazienti soggetti ad elevato rischio di emorragia invece, è suggerito evitare sia la manovra di pulizia con setole morbide sia l'aspirazione e limitarsi all'irrigazione del cavo orale soltanto con clorexidina.

L'infermiere, oltre a gestire i bisogni di base del paziente sopra descritti, esegue monitoraggio emodinamico, respiratorio, si occupa della cura e medicazione delle cannule e controlla lo stato di sedazione e stato di coagulazione del paziente.

La medicazione e la cura del sito di inserzione delle cannule ECMO è uno dei momenti più importanti dell'assistenza infermieristica, in quanto una scorretta gestione può comportare molteplici rischi.

Per evitare questi rischi, è fondamentale seguire una serie di procedure standardizzate e prendere tutte le precauzioni necessarie.

Innanzitutto, l'infermiere deve;

- indossare guanti sterili e adottare una tecnica asettica durante la procedura;
- prima di procedere con la medicazione, è importante controllare l'integrità del sito di inserzione della cannula e verificare la presenza di eventuali segni di infezione o sanguinamento attivo ed in caso di

problemi, è necessario coinvolgere immediatamente il medico responsabile dell'ECMO;

- dopodiché, si prosegue con la rimozione della medicazione evitando di rimuovere i coaguli presenti in corrispondenza del sito di inserzione delle cannule per prevenire sanguinamenti;
- successivamente, per prevenire l'infezione del sito, la pelle viene irrigata con della soluzione fisiologica e della clorexidina al 2% sulla pelle circostante il sito di inserzione e viene lasciata asciugare;
- applicare una medicazione che consiste nell'utilizzo di garze sterili o appositi cerotti trasparenti per coprire il sito di inserzione. La medicazione deve essere cambiata regolarmente secondo le linee guida del reparto e in caso di contaminazione o perdite.

Durante la medicazione, è fondamentale effettuare movimenti lenti e delicati per evitare la decannulazione accidentale e se il paziente mostra segni di disagio o dolore durante la procedura, è importante interrompere e valutare la causa.

Nella configurazione ECMO V-V è importantissimo monitorare gli scambi gassosi attraverso l'esecuzione di un emogas arterioso per avere un quadro generale della situazione del paziente.

Un'emogasanalisi ci permette di comprendere la risposta metabolica e respiratoria dell'interazione tra ECMO e paziente.

Si vanno a valutare parametri in particolar modo di pO₂, pCO₂, pH, HCO₃⁻ e BE.

L'EGA fornisce informazioni su altri valori fondamentali come i lattati, che riflettono il metabolismo anaerobio, emoglobina, che ci permette di identificare condizioni come ipovolemia; glicemia ed elettroliti.

Altrettanto fondamentale è il monitoraggio emodinamico; nell'ECMO V-V esso è composto dalla saturimetria sia venosa sia mista, la NIRS (Near infrared Spectroscopy) e dal monitoraggio continuo mediante un catetere arterioso della gittata cardiaca.

Grazie al monitoraggio e la valutazione volemica, possiamo identificare preventivamente uno stato di ipovolemia, dunque insufficiente ossigenazione dei tessuti con conseguenti danni.

Nei pazienti a rischio di coagulazione, è necessario monitorare lo stato coagulativo attraverso dei test, quali;

- il tempo di coagulazione attivato (ACT),
- il tempo di attivazione piastrinica (aPTT),
- l'analisi dei fattori della coagulazione (D-dimero, fibrinogeno, antitrombina III, pT)
- il tromboelastogramma (TEG)

il test più utilizzato per un monitoraggio veloce della coagulazione è l'ACT, riflette una visione globale del tempo necessario per un campione di sangue ad attivare la cascata della coagulazione e la formazione del coagulo.

Tuttavia, in genere, il range terapeutico dell'ACT è compreso tra 180 e 220 secondi;

- valore inferiore indica un rischio di formazioni trombotiche
- valore superiore indica uno stato di anticoagulazione.

Oltre ai diversi monitoraggi, nel paziente sottoposto al sistema ECMO, bisogna valutare anche l'adeguatezza dei dispositivi medici, perciò è raccomandato l'esame testa-piedi.

Si comincia dal distretto testa-collo attraverso;

- valutazione dello stato di coscienza e/o il grado di sedazione attraverso una scala validata, la RAAS: il grado di sedazione deve essere adatto al paziente in modo da ridurre al minimo i movimenti evitando spostamenti accidentali delle cannule promuovendo il confort del paziente.
- osservazione delle vie aeree per verificare la presenza di eventuali sanguinamenti delle mucose, per verificare l'ancoraggio del tubo endotracheale, del sondino naso gastrico (SNG) e di altri eventuali dispositivi come la cannula giugulare.

Successivamente si valuta il torace attraverso un esame obiettivo per capire la dinamica respiratoria e per rilevare stati di ecchimosi o cianosi centrale.

Questo esame comprende;

- palpazione
- osservazione
- auscultazione

Inoltre, è compito dell'infermiere monitorare la funzionalità dei drenaggi toracici, come il drenaggio pleurico per la rimozione di fluidi o aria dalla cavità pleurica. L'infermiere deve garantire che il drenaggio sia correttamente posizionato e funzionante, monitorando il volume e l'aspetto del liquido drenato.

Nel caso di ferite a livello toracico, l'infermiere deve valutare l'aspetto della ferita, controllare la presenza di eventuali infezioni e tenere traccia della quantità di drenaggio o essudato.

Per quanto riguarda l'analisi del ritmo cardiaco, l'infermiere deve monitorare l'ECG (elettrocardiogramma) per individuare eventuali anomalie o disturbi del ritmo, come la fibrillazione atriale o le aritmie. L'infermiere deve essere in grado di riconoscere i segni di un'eventuale ischemia cardiaca o infarto miocardico e di agire di conseguenza.

La valutazione della temperatura corporea centrale è un'altra responsabilità dell'infermiere e va rilevata utilizzando termometri elettronici o termometri a infrarossi auricolari.

Una temperatura corporea centrale elevata può essere un segno di infezione o infiammazione a livello toracico.

L'infermiere deve monitorare e rilevare anche le pressioni invasive, come la pressione arteriosa o la pressione venosa centrale, se richieste, poiché queste misurazioni forniscono informazioni importanti sulle condizioni cardiache e circolatorie del paziente, consentendo di valutare l'efficacia del trattamento e di apportare eventuali correzioni.

L'infermiere valuta attentamente il distretto addome-pelvi;

Controlla la presenza di dolore addominale, che può indicare una possibile emorragia interna, valuta la presenza di tensione addominale e la presenza di distensione in caso di accumulo di liquido, monitora la diuresi per valutare la perfusione renale e l'efficienza della circolazione ematica.

Un'ipoperfusione può ridurre la produzione di urine o portare a una diminuzione significativa della diuresi, manifestandosi come oligo-anuria.

L'oligo-anuria può essere un segno di grave compromissione emodinamica e richiede un'attenzione immediata, infatti, l'infermiere deve riferire tempestivamente ai medici per un intervento immediato al fine di stabilizzare la perfusione dell'organismo e prevenire danni ai reni e ad altri organi.

L'infermiere deve osservare attentamente le estremità sia superiori che inferiori del paziente, particolarmente gli arti inferiori, soprattutto l'arto interessato dalla cannulazione ECMO, poiché possono manifestare danni ipoperfusivi.

L'obiettivo principale è individuare precocemente i segni di ipoperfusione, che possono includere pallore, cianosi ed algidità e agire prontamente per garantire una corretta circolazione sanguigna agli arti inferiori come l'applicazione di terapie specifiche, come l'aggiunta di calore alle estremità, l'aggiustamento delle impostazioni dell'ECMO o il contatto con il medico responsabile per ulteriori valutazioni e interventi necessari.

Eseguito l'esame testa-piedi si passa all'ispezione del circuito ECMO; è importante verificare che le cannule siano correttamente inserite e posizionate attraverso l'ispezione visiva delle connessioni, alla ricerca di eventuali perdite o malfunzionamenti.

È inoltre necessario controllare;

- l'ossigenatore, assicurandosi che sia pulito e funzionante correttamente;
- la console ECMO, accertandosi che sia collegata ad una presa di gas dedicata e collegata al generatore di emergenza;
- i gas collegati sia a muro che sul device

L'infermiere deve quindi:

- verificare attentamente le cannule di drenaggio e di infusione alla ricerca di segni di sanguinamento o infiammazione;
- controllare il circuito per assicurarsi che i dispositivi siano correttamente collegati tra loro e al paziente e verificare la presenza di coaguli, bolle d'aria o accumuli di fibrina attraverso una semplice pila o qualsiasi fonte luminosa;
- osservare attentamente il circuito, soprattutto nei punti di connessione delle diverse strutture e nei punti di accesso, per garantire l'assenza di perdite;
- assicurarsi che le cannule rimangano libere e senza ostacoli durante le attività di cura in modo da non creare compressione che potrebbe causare dolore o lesioni al paziente;
- monitorare costantemente il flusso ematico attraverso le cannule. Se nota un'interruzione o un rallentamento del flusso, deve intervenire immediatamente per garantire che il paziente riceva un'adeguata ossigenazione e perfusione;
- Infine, accertarsi che le cannule siano sempre ben visibili per facilitare le operazioni di controllo e manutenzione. Nascondere le cannule con lenzuola o coperte potrebbe rendere difficile riconoscere eventuali problemi o effettuare interventi rapidi in caso di necessità

Per quanto riguarda i parametri, il loro monitoraggio e mantenimento sono principalmente a carico del perfusionista cardiovascolare e del medico.

Durante la pandemia, le visite ai pazienti sono state limitate o addirittura vietate per ridurre al minimo il rischio di trasmissione del virus rendendo ancora più critico il ruolo dell'infermiere nell'assicurare la comunicazione tra i pazienti e i loro familiari.

L'infermiere deve adottare una comunicazione chiara e accurata, poiché rappresenta il punto di riferimento per i familiari, inoltre, è fondamentale che adotti un comportamento empatico verso i loro sentimenti offrendo loro sostegno e incoraggiamento.

Ciò richiede abilità di comunicazione efficaci, come l'ascolto attivo, la chiarificazione dei concetti complessi e la capacità di adattarsi a diversi stili di comunicazione.

È importante anche coinvolgere i familiari nel processo decisionale, consentendo loro di fornire informazioni sulle preferenze del paziente e tenendo conto delle loro preoccupazioni e desideri.

La comunicazione con le famiglie durante una malattia grave o terminale è un aspetto fondamentale e richiede l'uso di elementi come la verità, la coerenza e la gradualità. Ciò permette ai familiari di essere informati sulla condizione del paziente e di esprimere le proprie emozioni, favorendo così un miglior sostegno e coinvolgimento durante tutto il percorso di cura.

3. MATERIALI E METODI

Lo scopo di questo elaborato è fare focus sull'importanza della figura professionale dell'infermiere nella gestione del paziente critico, covid positivo, in trattamento con la circolazione extracorporea, soggetto quotidianamente a diversi rischi e complicanze.

Il quesito posto per condurre questa revisione della letteratura è: quanto sia importante e allo stesso tempo impegnativo fisicamente e mentalmente il ruolo che svolge l'infermiere di area critica per fare fronte a tutte le possibili complicanze che possono insorgere in questa tipologia di pazienti, e a come gestirle promuovendone la sopravvivenza.

Il metodo utilizzato nel campo della ricerca per formulare la domanda di ricerca e guidarla è il PICO analizzandone i quattro elementi componenti, come descritto nella tabella seguente:

tabella 1: PICO

P	Paziente Covid sottoposto a ECMO
I	Gestione infermieristica
C	/
O	Ridurre rischi e complicanze

Le parole chiave utilizzate per la ricerca sono: covid-19, nursing management, ECMO or Extracorporeal circulation, complications, mortality.

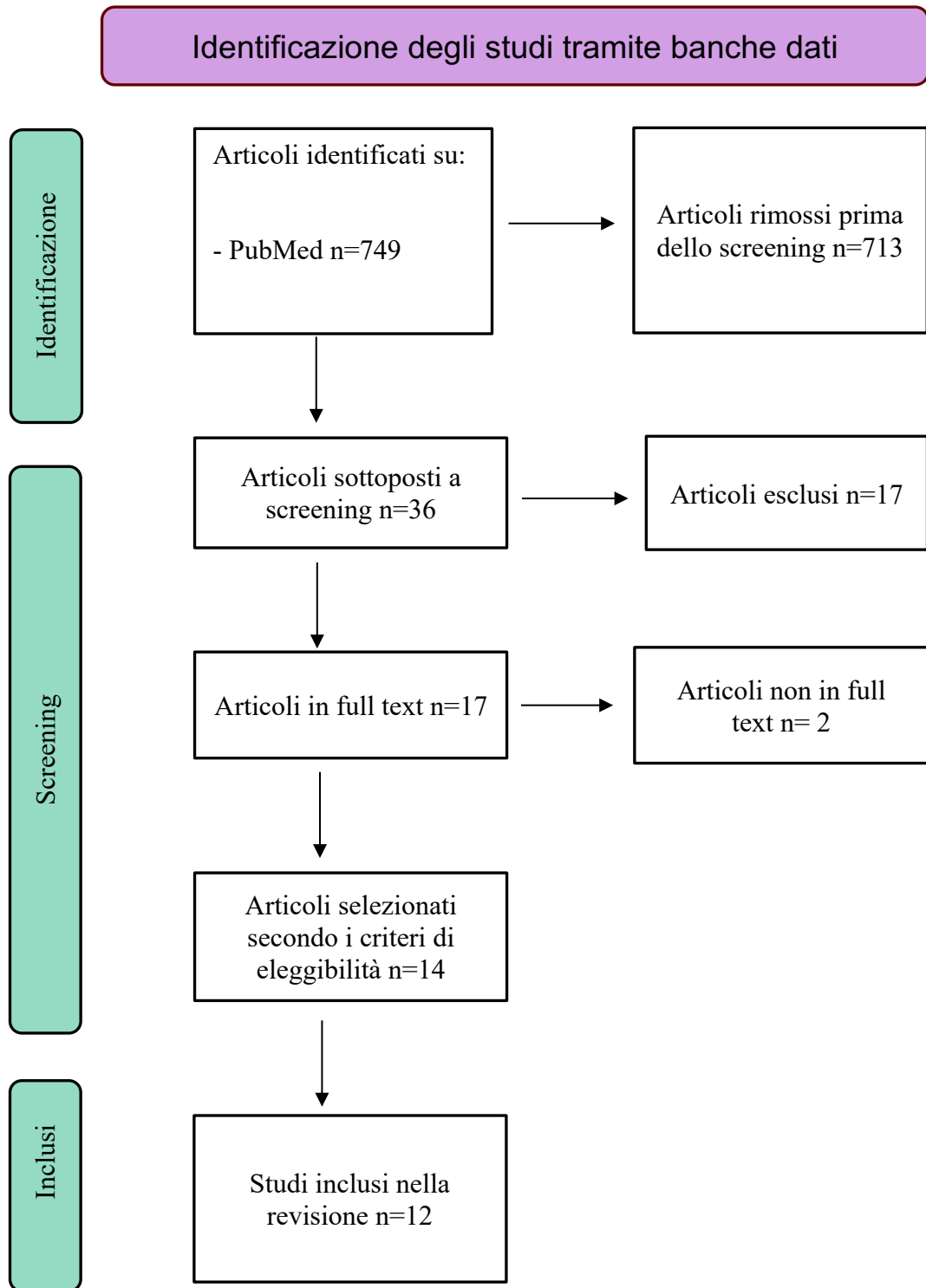
La revisione della letteratura è stata attuata consultando i diversi articoli scientifici reperiti nella banca dati internazionale di PUBMED.

Gli articoli reperiti mediante le parole chiavi erano in lingua inglese, disponibili di full text.

Sono stati utilizzati dei filtri di esclusione per riuscire a individuare solamente informazioni pertinenti al quesito di ricerca. Non sono stati utilizzati filtri temporali visto che l'argomento trattato è abbastanza recente, difatti i documenti più vecchi risalgono al 2020.

4. RISULTATI DELLA RICERCA

Tabella 2: Prisma Flow Chart



5. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Secondo lo studio condotto, l'assistenza infermieristica ai pazienti affetti da Covid-19 e sottoposti a circolazione extracorporea presenta diverse sfide e complessità quotidianamente.

I principali ostacoli riscontrati riguardano l'assistenza durante la pronazione del paziente e la necessità di monitorare attentamente e prevenire precocemente le complicanze come infezioni, sanguinamenti e trombosi, inoltre riflette quanto sia scomodo ma allo stesso tempo indispensabile e obbligatorio per l'infermiere l'uso prolungato di dispositivi di protezione individuali per la prevenzione dal contagio e la contenzione del virus SARS-CoV-2.

I risultati dello studio sono stati ricavati da articoli scientifici sulla pratica infermieristica con l'obiettivo che possano essere sviluppate in un domani soluzioni e condizioni che agevolino il lavoro degli infermieri in questa tipologia di assistenza, al fine di rendere il lavoro meno pesante e promuovere e aumentare anche il livello e la qualità dell'assistenza fornita.

Anche se non si conosce ancora la durata esatta del Covid e delle infezioni che richiedono trattamenti intensivi, è fondamentale affrontare questa situazione nell'ottica del futuro.

Dobbiamo essere pronti ad affrontare eventuali altre emergenze sanitarie simili e lavorare per migliorare i protocolli e le terapie disponibili, al fine di garantire una migliore assistenza ai pazienti e ridurre al minimo gli effetti negativi sulla società e sul sistema sanitario.

Dunque, è di necessaria importanza l'investimento nella ricerca e nello sviluppo di nuove tecnologie e terapie per il trattamento intensivo.

Per riuscire a risolvere una buona parte delle problematiche che incontrano gli infermieri in questo contesto e per garantire un'ottima assistenza è necessario:

- assumere più infermieri in modo da offrire un'assistenza personalizzata con un rapporto infermiere-paziente 1:1, ciò consentirebbe una maggiore attenzione individuale e un rapporto più stretto tra infermiere e paziente;

- offrire una formazione specializzata: una formazione specifica al personale infermieristico sull'assistenza personalizzata per questa tipologia di utenti. Ciò potrebbe includere la formazione su apparecchiature come l'ECMO, su tecniche di comunicazione efficaci, gestione dei sintomi e delle necessità specifiche di questi pazienti.
- rotazione degli infermieri: Organizzare un sistema di rotazione degli infermieri in modo che ogni infermiere possa dedicare un periodo di tempo adeguato a ciascun paziente. Questo consentirebbe un'interazione costante tra infermiere e paziente, mantenendo il rapporto 1:1.
- collaborazione interdisciplinare: Lavorare in collaborazione con altri professionisti sanitari, come medici, terapisti e assistenti sociali, per creare un team multidisciplinare in grado di fornire un'assistenza completa e personalizzata ai pazienti.
- Pianificazione delle risorse: Pianificare adeguatamente il personale infermieristico in modo da garantire che sia disponibile il numero necessario di infermieri per coprire i turni e soddisfare le esigenze dei pazienti.
- Utilizzo di tecnologie sanitarie: Sfruttare le tecnologie sanitarie per migliorare l'efficienza e la comunicazione con i pazienti, ad esempio attraverso l'uso di sistemi di telemedicina o applicazioni mobili che consentono ai pazienti di interagire in modo diretto con gli infermieri.
- Valutazione continua e miglioramento: Effettuare regolarmente valutazioni dell'assistenza infermieristica fornita ai pazienti e raccogliere i feedback dei pazienti stessi. Utilizzare queste informazioni per apportare modifiche e migliorare continuamente l'assistenza fornita.

In generale, l'obiettivo è creare un ambiente di cura che sappia rispondere in modo adeguato alle esigenze dei pazienti, garantendo l'attenzione individuale e il supporto necessario per il loro benessere.

L'infermiere, inoltre, non si trova soltanto a gestire le difficoltà fisiche e di gestione ma deve anche saper gestire l'aspetto psicologico e offrire un sostegno emotivo ai familiari, che spesso si trovano a fronteggiare una

situazione emotivamente intensa e stressante, accompagnata da ansia e preoccupazione per la salute del loro caro. Difatti, l'assenza delle visite a causa delle restrizioni legate al COVID-19 può rendere questa esperienza ancora più negativa e fonte di stress per i familiari, dunque un'adeguata formazione in assistenza psicologica permette all'infermiere di sviluppare le competenze necessarie per stabilire una comunicazione empatica e rassicurante con i membri della famiglia e aiutarli nella gestione di ansia, stress e conflitti familiari, migliorando la qualità dell'assistenza e promuovendo la collaborazione tra il personale sanitario e i familiari.

Migliorare l'aspetto psicologico dell'assistenza infermieristica può portare a un miglioramento complessivo dell'esperienza del paziente e della sua famiglia, contribuendo a una maggiore soddisfazione e ad un migliore adattamento alle difficoltà che possono incontrare nel corso della malattia.

L'infermiere insieme al medico responsabile deve coordinarsi per fornire tutte le informazioni e le conseguenze relative alla circolazione extracorporea.

Inoltre, devono fornire aggiornamenti regolari e mantenere un canale di comunicazione aperto con i familiari informando loro sulle condizioni di salute del proprio caro creando una relazione di fiducia che riduce l'ansia e la sfiducia che possono derivare dalla mancanza di informazioni.

L'analisi dei bisogni familiari e il supporto emotivo sono aspetti chiave del lavoro dell'infermiere, difatti, se l'infermiere si rende conto di non essere in grado di gestire adeguatamente la situazione o di fornire il supporto necessario ai familiari, è importante che attivi i sistemi di supporto disponibili.

Questo può significare coinvolgere il personale medico o infermieristico specializzato in consulenza familiare o psicologica con l'obiettivo è di offrire alle famiglie il supporto di cui hanno bisogno per far fronte alla situazione nel modo migliore possibile.

In conclusione, durante l'analisi dei diversi articoli scientifici, un ulteriore limite dello studio è stato la mancanza di articoli specifici su pazienti covid positivi sottoposti a ECMO; infatti, la maggior parte degli articoli trattava in generale l'assistenza infermieristica al paziente critico in trattamento on ECMO, dunque non affetto da Covid.

Questo è causato dal fatto che il covid-19 è un virus molto nuovo, ci sono ancora molti aspetti da scoprire e molte domande aperte su cui la ricerca si sta concentrando.

Questo fattore rende difficile identificare e condividere le migliori strategie di assistenza infermieristica per migliorare i risultati clinici, l'assenza di linee guida specifiche per l'assistenza infermieristica a pazienti covid sottoposti a ECMO può portare a una variabilità nell'approccio e nella cura, con possibili conseguenze negative sulla qualità dell'assistenza fornita. Pertanto, è necessaria una maggiore ricerca e condivisione di esperienze sulle complessità dell'assistenza infermieristica ai pazienti covid sottoposti a ECMO al fine di migliorare la pratica clinica e i risultati per questi pazienti critici.

Concludendo questa tesi, non si può negare che l'utilizzo dell'ECMO nel trattamento dei pazienti affetti da Covid-19 presenti delle criticità e problematiche. Tuttavia, nonostante ciò, l'infermiere deve continuare a impegnarsi nel fornire assistenza di qualità e prendersi cura del paziente e dei suoi familiari.

L'infermiere ha acquisito nel corso del tempo delle abilità sociali e delle competenze professionali, che lo rendono in grado di gestire le situazioni complesse e di mettere in atto soluzioni efficaci.

Nonostante le difficoltà e la delicatezza della situazione, l'infermiere deve mantenere una mentalità resiliente e non farsi sopraffare dalla sfida. Come affermato da Seneca, *“le difficoltà rafforzano la mente e il lavoro costante e impegnativo irrobustisce il corpo”*.

Nonostante le complessità e le criticità, l'infermiere può affrontare questa sfida con resilienza e determinazione.

BIBLIOGRAFIA

1. *Barbara I. Nel cuore della tempesta.* Istituto di Biologia e Patologia Molecolari, Consiglio Nazionale delle Ricerche (IBPM-CNR), c/o Dipartimento di Biologia e Biotecnologie "Charles Darwin", Sapienza Università di Roma: Zanichelli, 23 agosto 2020.
2. Biffi S, Di Bella S, Scaravilli V, Peri AM, Grasselli G, Alagna L, Pesenti A, Gori A. Infections during extracorporeal membrane oxygenation: epidemiology, risk factors, pathogenesis and prevention. *Int J Antimicrob Agents.* 2017 Jul;50(1):9-16. doi: 10.1016/j.ijantimicag.2017.02.025. Epub 2017 May 18. Review. PubMed PMID: 28528989
3. Cavayas YA, Del Sorbo L, Fan E. Intracranial hemorrhage in adults on ECMO. *Perfusion.* 2018 May;33(1_suppl):42-50. doi: 10.1177/0267659118766435. Review. PubMed PMID: 29788836
4. Combes A, Price S, Slutsky AS, Brodie D. Temporary circulatory support for cardiogenic shock. *Lancet.* 2020 Jul 18;396(10245):199-212. doi: 10.1016/S0140-6736(20)31047-3. Review. PubMed [citation] PMID: 32682486
5. Guglin M, Zucker MJ, Bazan VM, Bozkurt B, El Banayosy A, Estep JD, Gurley J, Nelson K, Malyala R, Panjra GS, Zwischenberger JB, Pinney SP. Venous ECMO for Adults: JACC Scientific Expert Panel. *J Am Coll Cardiol.* 2019 Feb 19;73(6):698-716. doi: 10.1016/j.jacc.2018.11.038. Review. PubMed PMID: 30765037
6. Harnisch LO, Moerer O. Contraindications to the Initiation of Venous-Venous ECMO for Severe Acute Respiratory Failure in Adults: A Systematic Review and Practical Approach Based on the Current Literature. *Membranes (Basel).* 2021 Jul 30;11(8). pii: 584. doi: 10.3390/membranes11080584. Review. PubMed PMID: 34436348, PMCID: PMC8400963
7. Hidalgo P, Valdés M, González RA. Molecular biology of coronaviruses: an overview of virus-host interactions and pathogenesis. *Bol Med Hosp Infant Mex.* 2021;78(1):41-58. doi: 10.24875/BMHIM.20000249. Review. PubMed PMID: 33661875
8. Hu B, Guo H, Zhou P, Shi ZL. Characteristics of SARS-CoV-2 and COVID-19. *Nat Rev Microbiol.* 2021 Mar;19(3):141-154. doi: 10.1038/s41579-02000459-7. Epub 2020 Oct 6. Review. Erratum in: *Nat Rev Microbiol.* 2022 May;20(5):315. PubMed PMID: 33024307, PMCID: PMC7537588

9. Li X, Wang L, Wang H, Hou X. Outcome and Clinical Characteristics of Nosocomial Infection in Adult Patients Undergoing Extracorporeal Membrane Oxygenation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Public Health*. 2022 Jun 24;10:857873. doi: 10.3389/fpubh.2022.857873. eCollection 2022. Review. PubMed PMID: 35812481, PMCID: PMC9268548
10. Liu Q, Wei S. Nursing management for COVID-19 patients with ECMO treatment. *J Card Surg*. 2021 Sep;36(9):3461-3462. doi: 10.1111/jocs.15721. Epub 2021 Jun 15. PubMed PMID: 34131950, PMCID: PMC8447166
11. Ma X, Liang M, Ding M, Liu W, Ma H, Zhou X, Ren H. Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO) in Critically Ill Patients with Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pneumonia and Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS). *Med Sci Monit*. 2020 Aug 6;26:e925364. doi: 10.12659/MSM.925364. Review. PubMed PMID: 32759887, PMCID: PMC7430351
12. Martínez-Martínez M, Nuvials FX, Riera J. Nosocomial infections during extracorporeal membrane oxygenation. *Curr Opin Crit Care*. 2022 Oct 1;28(5):480-485. doi: 10.1097/MCC.0000000000000976. Epub 2022 Aug 10. Review. PubMed PMID: 35950717
13. Millar JE, Fanning JP, McDonald CI, McAuley DF, Fraser JF. The inflammatory response to extracorporeal membrane oxygenation (ECMO): a review of the pathophysiology. *Crit Care*. 2016 Nov 28;20(1):387. Review. PubMed PMID: 27890016, PMCID: PMC5125043
14. Mohamadian M, Chiti H, Shoghli A, Biglari S, Parsamanesh N, Esmaeilzadeh A. COVID-19: Virology, biology and novel laboratory diagnosis. *J Gene Med*. 2021 Feb;23(2):e3303. doi: 10.1002/jgm.3303. Epub 2021 Jan 6. Review. PubMed PMID: 33305456, PMCID: PMC7883242
15. Murphy DA, Hockings LE, Andrews RK, Aubron C, Gardiner EE, Pellegrino VA, Davis AK. Extracorporeal membrane oxygenation-hemostatic complications. *Transfus Med Rev*. 2015 Apr;29(2):90-101. doi: 10.1016/j.tmr.2014.12.001. Epub 2014 Dec 18. Review. PubMed PMID: 25595476
16. Ochani R, Asad A, Yasmin F, Shaikh S, Khalid H, Batra S, Sohail MR, Mahmood SF, Ochani R, Hussham Arshad M, Kumar A, Surani S. COVID-19 pandemic: from origins to outcomes. A comprehensive review of viral pathogenesis, clinical manifestations, diagnostic evaluation, and management. *Infez Med*. 2021 Mar 1;29(1):20-36. Review. PubMed PMID: 33664170
18. Rabah H, Rabah A. Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO): What We Need to Know. *Cureus*. 2022 Jul 11;14(7):e26735. doi: 10.7759/cureus.26735. eCollection 2022 Jul. Review. PubMed PMID: 35967165, PMCID: PMC9363689

19. COVID-19: A Review on the Novel Coronavirus Disease Evolution, Transmission, Detection, Control and Prevention. Sharma A, Ahmad Farouk I, Lal SK. *Viruses*. 2021 Jan 29; 13(2): 202 PMC [article] PMID: 33572857, DOI: 10.3390/v13020202
20. Swol J, Brodie D, Napolitano L, Park PK, Thiagarajan R, Barbaro RP, Lorusso R, McMullan D, Cavarocchi N, Hssain AA, Rycus P, Zonies D; Extracorporeal Life Support Organization (ELSO).. Indications and outcomes of extracorporeal life support in trauma patients. *J Trauma Acute Care Surg*. 2018 Jun;84(6):831-837. doi: 10.1097/TA.0000000000001895. PubMed PMID: 29538235
21. Thomas J, Kostousov V, Teruya J. Bleeding and Thrombotic Complications in the Use of Extracorporeal Membrane Oxygenation. *Semin Thromb Hemost*. 2018 Feb;44(1):20-29. doi: 10.1055/s-0037-1606179. Epub 2017 Sep 12. Review. PubMed PMID: 28898902
22. Tsangaris A, Alexy T, Kalra R, Kosmopoulos M, Elliott A, Bartos JA, Yannopoulos D. Overview of Venous-Arterial Extracorporeal Membrane Oxygenation (VA-ECMO) Support for the Management of Cardiogenic Shock. *Front Cardiovasc Med*. 2021 Jul 7;8:686558. doi: 10.3389/fcvm.2021.686558. eCollection 2021. Review. PubMed PMID: 34307500, PMID: PMC8292640
23. Umeda A, Sugiki Y. Nursing care for patients with COVID-19 on extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) support. *Glob Health Med*. 2020 Apr 30;2(2):127-130. doi: 10.35772/ghm.2020.01018. PubMed PMID: 33330790, PMID: PMC7731187
24. Upchurch C, Blumenberg A, Brodie D, MacLaren G, Zakhary B, Hendrickson RG. Extracorporeal membrane oxygenation use in poisoning: a narrative review with clinical recommendations. *Clin Toxicol (Phila)*. 2021 Oct;59(10):877-887. doi: 10.1080/15563650.2021.1945082. Epub 2021 Aug 16. PubMed [citation] PMID: 34396873

