

INDICE

1. INTRODUZIONE
2. OBIETTIVO
3. MATERIALI E METODI
4. RISULTATI
5. LA MOLECOLA DI OSSIGENO
 - 1.1 definizione di ossigeno e la sua importanza per la vita
6. OSSIGENOTERAPIA
 - 2.1 definizione di ossigenoterapia
 - 2.2 principali dispositivi di somministrazione dell'ossigeno
7. PREMESSA
8. IPEROSSIA
 - 3.1 che cosa è l'iperossia?
 - 3.2 attività pro-infiammatoria e danno polmonare – studio clinico
 - 3.4 fisiopatologia stress ossidativo
 - 3.4 effetti emodinamici e sul microcircolo
9. ECCESSIVA SOMMINISTRAZIONE DI OSSIGENO IN TERAPIA INTENSIVA E OUTCOME (MORTALITA')
 - 4.1 Iperossia nel paziente critico
 - 4.2 Iperossia nel paziente post arresto cardiaco
 - 4.3 Iperossia nei pazienti con ictus
 - 4.4 Iperossia in pazienti con ARDS
 - 4.5 Iperossia in pazienti con shock settico
 - 4.6 Lesione cerebrale acuta e iperossia
 - 4.7 Ossigenoterapia conservativa contro ossigenoterapia liberale
10. CONCLUSIONI
11. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

INTRODUZIONE

In questo elaborato andrò a trattare la problematica dell'iperossia, definirò che cosa vuol dire iperossia, quali sono le cause che portano a questa problematica e come le evidenze scientifiche ci indicano di comportarci per evitarne le possibili complicanze.

L'iperossia è causata dalla somministrazione eccessiva di ossigeno, negli ambienti sanitari, intraospedalieri ed extraospedalieri. Questo accade perché l'ossigeno è percepito come un elemento innocuo, cioè non in grado di causare effetti collaterali, mentre sono ben noti i danni indotti da una condizione di ipossiemia (poco ossigeno nel sangue). Per questo motivo, spesso i clinici tendono a somministrare ossigeno in quantità eccessive e non necessarie, sottovalutando ciò che può causare un'esposizione all'iperossia.

Quali sono le indicazioni alla somministrazione di ossigeno come farmaco?

Ha effetti collaterali il suo sovradosaggio? Che cosa fa?

Per quale motivo viene utilizzato? A che scopo? In quali circostanze?

Queste sono alcune domande che dovremmo porci, vista la frequenza elevata con cui viene somministrato ossigeno ai pazienti.

Descriveremo i possibili effetti avversi legati all'utilizzo di una dose eccessiva in queste tipologie di pazienti:

- Popolazione generale di pazienti critici
- Shock settico
- Post arresto cardiaco
- ARDS
- Trauma cranico
- Ictus cerebrale

Tratterò l'ossigeno come molecola essenziale per la vita umana ed animale, le motivazioni per cui essendo un farmaco va dosato adeguatamente ed utilizzato in condizioni di necessità, le criticità del sovradosaggio ed i suoi effetti collaterali.

Tra questi prenderò in esame in particolare:

- Reazioni infiammatorie ai tessuti polmonari dovute al fatto, che l'ossigeno ha un'azione ossidante.
- Riduzione del surfactante polmonare con induzione di atelettasie polmonari
- In pazienti con ictus e pazienti con infarto acuto del miocardio può causare vasocostrizione coronarica e a livello del sistema nervoso centrale, portando ad una ulteriore riduzione dell'apporto di ossigeno.

Definiremo quindi quali accortezze si dovrebbero usare nella somministrazione dell'ossigenoterapia, al fine di evitare effetti deleteri per il paziente.

OBIETTIVO

L'obiettivo di questo elaborato è saper conoscere l'importanza dell'ossigeno, i suoi utilizzi, le conseguenze ed i rischi associati ad esso, ferma restando l'importanza di evitare l'insorgenza dell'ipossiemia, condizione mortale nel paziente. Tuttavia, sottolineeremo il concetto dell'iperossiemia come condizione potenzialmente tossica per l'assistito, e l'importanza quindi di evitare una non necessaria esposizione a concentrazioni troppo alte o per troppo tempo.

In particolar modo analizzeremo le conoscenze che un professionista sanitario deve avere per poter agire in modo consapevole, responsabile e nella maniera più idonea possibile, al fine di prevenire l'insorgenza di complicanze a lungo termine.

Obiettivo secondario è analizzare studi clinici che si basano su pazienti critici per comprendere il rapporto che si instaura tra l'eccessiva somministrazione di ossigeno, la patologia da cui è affetto il paziente e l'eventuale rischio di mortalità.

MATERIALI E METODI

Per la stesura di questo elaborato è stata eseguita una revisione della letteratura scientifica. La raccolta dati è stata condotta attraverso la consultazione di banche dati come PubMed con l'utilizzo di parole chiave quali "Hyperoxia", "critically ill patients" "oxidative stress", "pulmonary injury".

L'analisi è stata effettuata principalmente su alcuni tipi di pazienti critici e sui danni che l'ossigeno potrebbe causare su di essi. L'inizio di questo elaborato si è concentrato su che cosa è l'ossigeno, sulla sua importanza, come viene sfruttato in natura, per poi concentrarsi sulla terapia che ne deriva da esso e sul suo impiego in ambito intensivo e l'outcome.

RISULTATI

I risultati di questo elaborato hanno l'obiettivo, mediante i vari studi clinici che sono stati analizzati sui vari tipi di pazienti critici (post arresto cardiaco, trauma cranico, shock settico, ARDS), di far capire la rilevanza dell'ossigenoterapia e che è importante avere esperienza e conoscenze per poter riuscire a leggere in maniera corretta i valori riferibili ad una idonea respirazione e ossigenazione. Gli studi clinici sono riusciti a

comparare i risultati che si ottengono a diversi dosaggi di ossigenoterapia al fine di potersi dare una risposta alla domanda “di quanto ossigeno hanno davvero bisogno i pazienti critici?”

Infine, sottolineare l'importanza di evitare una inutile esposizione ad una eccessiva quantità di ossigeno.

I risultati di diversi studi, tra cui alcuni hanno incluso pazienti critici post arresto cardiaco o con ictus cerebrale, hanno evidenziato una associazione tra l'esposizione all'iperossia e la mortalità, mentre una ossigenoterapia più restrittiva o conservativa sembrerebbe associata ad un outcome migliore rispetto ad una ossigenoterapia liberale.

Nei pazienti con ARDS i dati presenti in letteratura sono più contrastanti. In questa particolare categoria di pazienti, l'ipossia rappresenta il problema principale. La domanda da porsi in questo caso è se valga la pena accontentarsi di livelli di ossigeno nel sangue leggermente inferiori rispetto al range di normalità piuttosto che rischiare di esporre i pazienti a concentrazioni di ossigeno eccessive. Alcuni studi suggeriscono infatti che una “ipossia permissiva” potrebbe essere presa in considerazione, tuttavia la reale efficacia di un approccio simile deve essere ancora dimostrata.

I risultati emersi nella relazione tra iperossia e shock settico è stato il seguente:

l'iperossia è stata associata ad una maggiore mortalità e elevate concentrazioni di lattato nel sangue, perciò si pensa che lo stress ossidativo causato dall'ossigeno abbia peggiorato l'outcome in questi pazienti già critici.

Gli studi nei pazienti che hanno subito traumi cranici sono stati discordanti, è stato evidenziato che l'effetto vasocostrittore dell'ossigeno possa aver aiutato nella diminuzione della pressione intracranica, altri studi hanno posto l'accento sul fatto che l'esposizione ad iperossia abbia aumentato la possibilità di danno secondario al trauma cranico e altri ancora non hanno rilevato un nesso tra iperossia e mortalità intraospedaliera.

Questa tesi mira a mettere in luce la somministrazione dell'ossigeno come trattamento, sottolineando l'importanza della sua dose, pur rimarcando il fatto che il paziente non debba mai arrivare ad una condizione di ipossia, grave per la salute e talvolta letale.

Nonostante questo dobbiamo evolverci e capire che anche una dose sopranormale, ha può avere le sue conseguenze deleterie e che dobbiamo riuscire a cambiare approccio, introducendo quella che viene chiamata la somministrazione conservativa di ossigeno, dove al paziente viene monitorata la sua SpO2 e controllando che non sia massima, ma che sia in una percentuale idonea per la sua condizione che lo aiuti nella ripresa.

Questo metodo di somministrazione è stato osservato e analizzato ed è emerso che questo apporto di ossigeno più controllato, aiuti il paziente nella ripresa limitando i danni dello stress ossidativo, della vasocostrizione, dei radicali liberi e della ridotta perfusione del microcircolo causata dall'esposizione a livelli sovra fisiologici.

LA MOLECOLA DI OSSIGENO

1.1 definizione di ossigeno e la sua importanza per la vita

L'aria è una soluzione gassosa che si trova dispersa nell'ambiente che ci circonda, è essenziale per la vita umana e per tutto l'ecosistema terrestre.

Essa è composta da Ossigeno per il 21 %, Azoto 78%, Anidride carbonica 0,03% e Argon 0,9%, questo ci fa comprendere che quello che noi respiriamo non è ossigeno puro, si parla infatti di F_iO_2 ovvero la disponibilità dell'ossigeno che in questa soluzione si trova al 21%.

Perché è essenziale per la nostra vita e per tutto l'ecosistema?

Per le piante l'ossigeno è fondamentale, perché il suo assorbimento fa sì che la pianta riesca a trarre energia dal glucosio, producendo il nutrimento per farla crescere ed espellendo CO_2 , invece quando utilizza la luce solare, avviene la fotosintesi clorofilliana quindi le piante trasformano prendendo dall'ambiente CO_2 e acqua generando fonte di ossigeno. Per gli esseri animali ed umani è importante allo stesso modo.

È un elemento che ci compone, lo inspiriamo ogni volta e ci serve per la vita.

L'ossigeno scorre nel nostro sangue, nelle nostre vene, arterie e capillari, la sua mancanza per noi sarebbe la fine.

Esso viene introdotto dall'atmosfera, nei nostri polmoni attraverso la respirazione, questo passaggio avviene grazie alla differenza di pressione tra l'ambiente esterno e le pleure polmonari, in tal modo l'ossigeno compie tutto il tragitto che va dalla cavità orale e nasale arrivando agli alveoli polmonari deputati allo scambio gassoso, introducendo O_2 nel circolo sanguigno ed eliminando CO_2 attraverso l'espiazione.

Nel sangue umano viene misurata la SpO_2 , tramite un pulsiossimetro, la quale ci indica in modo approssimativo la percentuale di O_2 legato all'emoglobina. Un metodo maggiormente accurato è il prelievo arterioso del paziente (emogasanalisi).

Non serve solo per la nostra respirazione, ma anche alle cellule che ci compongono, utilizzandolo per poter svolgere le loro reazioni metaboliche.

Queste attività sono fondamentali per il nostro corpo, una di queste, è chiamata Ciclo di Krebs, esso è un ciclo aerobio perché prevede la presenza di ossigeno per generare reazioni che fanno reagire sostanze per produrne altre fondamentali per la vita di ogni cellula, un esempio è la reazione in cui la cellula produce energia chiamata ATP (adenosina trifosfato) utilizzando il glucosio che noi ingeriamo con la dieta, decomponendolo e generando da ciò acqua e anidride carbonica.

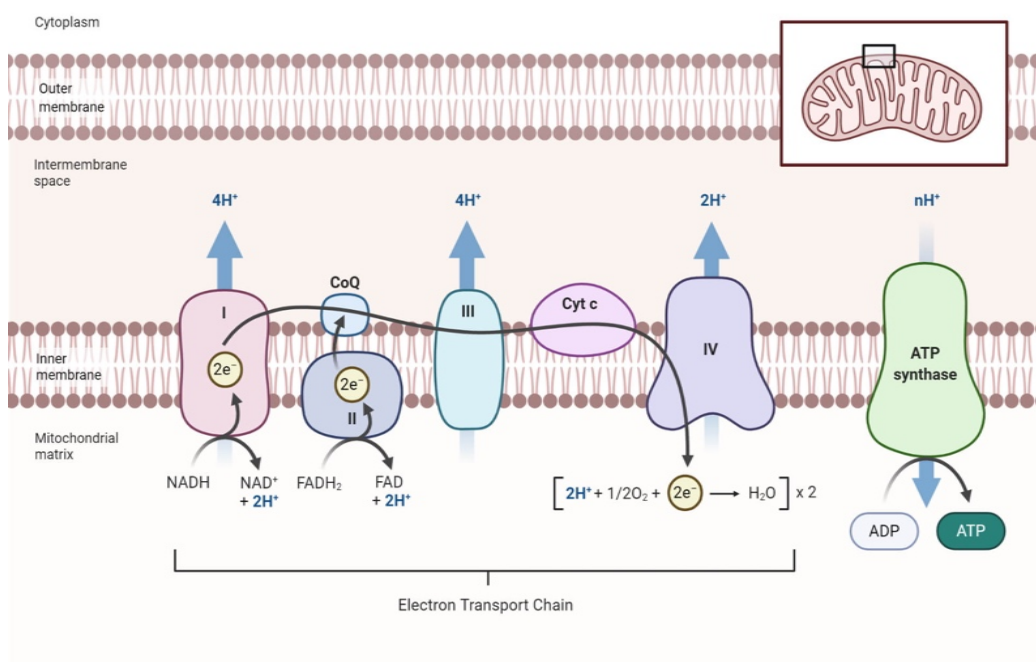
Il ciclo di Krebs tramite le sue reazioni genera $3 \text{ NADH} + \text{H}^+$ e 1 FAD H_2 , due molecole che trasportano gli elettroni quindi energia. Queste non possono essere usate così come sono ma devono essere trasformate in ATP che è la moneta di scambio per generare energia e l'ossigeno ha un ruolo fondamentale perché funge da accettore di questi elettroni prodotti e fa in modo che si crei l'energia nei mitocondri, che poi la cellula utilizzerà per sintetizzare proteine e svolgere le proprie attività.

Un altro processo fondamentale in cui concorre l'ossigeno è la fosforilazione ossidativa, una reazione metabolica che attuano le nostre cellule in contemporanea del ciclo di Krebs, che avviene nella membrana mitocondriale interna, qui i prodotti dalle reazioni del ciclo nominato precedentemente ossia $3 \text{ NADH} + \text{H}^+$ e FAD H_2 vengono utilizzati per creare ATP facendo sì che perdano una coppia di elettroni e che questi vengano trasportati lungo delle catene proteiche fino a rientrare e ad incontrarsi con l'ossigeno formando H_2O e qui l'ossigeno svolgerà la sua funzione da accettore di elettroni (energia), nel frattempo che accade questo vengono liberati dei protoni che passeranno per gli stessi canali proteici però attraversando completamente la membrana mitocondriale interna, arrivando all'intermembrana mitocondriale.

In questo modo avremo una concentrazione molto elevata di protoni H^+ , tantoché tenderebbero a rientrare per forza elettrostatica solo grazie ad una proteina specifica chiamata ATP sintasi che farà entrare un protone nella matrice, l' H^+ entrando all'interno della proteina rilascerà energia, la quale verrà conservata e utilizzata per unire un gruppo fosfato ad una molecola di ADP (adenosina di fosfato), modificandola in ATP, quindi aggiungendo il fosfato mancante.

Questo processo vale ugualmente per la molecola di FADH_2 .

Grazie a queste reazioni metaboliche molto importanti le nostre cellule producono all'incirca 36 molecole di ATP.



¹ figura 1

¹ autore dottoressa Giusy Smeralda, (04/10/2022) estratto da: <https://einumm.org/it/la-respirazione-cellulare-fonte-di-produzione-di-vitale-energia/>.

OSSIGENOTERAPIA

2.1 definizione di ossigenoterapia

L'ossigeno è definito un farmaco, e come tale, il suo dosaggio è fondamentale, pertanto abbiamo bisogno di misurare i suoi livelli nel nostro sangue, quando non ci sentiamo bene, perché come ogni farmaco, una concentrazione elevata o ridotta nel sangue è causa di notevoli problemi.

Perché un elemento così fondamentale se alterato può causarci dei danni? Quando l'ossigeno viene alterato nel nostro corpo?

Come abbiamo detto in precedenza, una carenza di ossigeno fa sì che il nostro corpo cerchi di compensare la frequenza respiratoria (gli atti respiratori in un minuto) e la frequenza cardiaca in modo da mantenere una adeguata disponibilità di ossigeno per tutte le regioni del nostro corpo.

In caso di ipossiemia, definita come una SpO₂ <90% e/o una PaO₂ <60 mmHg, è indicata l'ossigenoterapia, ovvero la somministrazione di ossigeno supplementare. Essa è un trattamento fondamentale per il paziente critico in situazioni di immediato pericolo e di emergenza, perché questa tipologia di paziente non è in grado di supportare la respirazione in modo autonomo e quindi ha bisogno di una fonte di aiuto dall'esterno.

Il risultato atteso è proprio quello di migliorare la concentrazione e saturazione di ossigeno nel sangue del paziente, facendo sì che l'aiuto erogato dall'esterno sia in grado di sopperire ai bisogni fisiologici e permettere l'ossigenazione di organi vitali come cuore e cervello.

2.2 principali dispositivi di somministrazione dell'ossigeno

La somministrazione dell'ossigeno può variare in base alle condizioni del paziente critico ed è attuabile con vari presidi:

- **Occhialini nasali o maschere:** il flusso di ossigeno è regolabile, infatti, in base alle condizioni del paziente possiamo erogare bassi (0,5-5 l/minuto), medi (5-8l/minuto) e alti (maggiore di 8 l/minuto) flussi di ossigeno.
- **C-PAP:** “continuous positive airway pressure”, ossigenoterapia a pressione positiva, ha lo scopo di reclutare zone polmonari non adeguatamente areate e garantire un migliore scambio di ossigeno a livello della membrane alveolo-capillare
- **Ventilazione meccanica:** quando il paziente non è in grado di respirare adeguatamente in modo autonomo e ha bisogno di un ventilatore meccanico che svolga il lavoro respiratorio al suo posto o che lo supporti parzialmente.
Esistono due tipologie di ventilazione meccanica:
 - **non invasiva:** si predilige questa tipologia perché comporta meno rischi clinici per il paziente, riduce il tempo di degenza, è effettuata anche a domicilio, la terapia viene somministrata ad una pressione positiva inspiratoria mediante maschere facciali, full face, nasali e oronasali o mediante casco. Si parla di: NIV;
 - **invasiva:** è la manovra contenente più rischi, sia clinici che per la ripresa del paziente, avviene attraverso l'intubazione oro-tracheale, naso-tracheale o tracheotomia, questo verrà collegato ad un ventilatore meccanico che svolge la funzione inspiratoria ed espiratoria del paziente.
- **Camera iperbarica:** è una strategia utilizzata in determinate occasioni, questa terapia si effettua in delle camere con macchinari che erogano massima concentrazione di ossigeno a pressione 2 o 3 volte superiore a quella atmosferica.
Si parla anche di ossigenoterapia iperbarica in cui l'erogazione di ossigeno avviene mediante caschi o maschere.

Viene effettuata ad esempio nelle intossicazioni da monossido di carbonio, dove esso si è legato all'emoglobina del paziente essendo più affine dell'ossigeno e la cura più efficace per riossigenare il sangue del paziente è proprio l'iperbarica.

Alcune condizioni cliniche che necessitano di questi tipi di terapia sono broncopneumopatia cronico ostruttiva, intossicazione, arresto cardiaco, insufficienza respiratoria.

La terapia non termina una volta corretta l'ipossiemia, ma perdura per tutto il tempo finché il paziente si stabilizzi e la funzione respiratoria torna nella norma. Per questa ragione è rilevante continuare a monitorizzare il paziente, i suoi parametri vitali, anche al fine di evitare iperossia, cioè una eccessiva esposizione dell'ossigeno.

La FIO₂, indica quanta percentuale di ossigeno stiamo erogando al paziente, va titolata avendo come obiettivo quello di normalizzare la sua PaO₂ (concentrazione di ossigeno in arteria del paziente). Questo parametro ha un range di riferimento tra da 80mmHg e 100 mmHg in condizioni di salute, un alterazione di questo valore richiede una terapia per normalizzarlo.

Nei reparti la tendenza è quella di avere un paziente che non vada mai al di sotto di 80 mmHg perché segno di desaturazione e di insufficienza respiratoria. Tuttavia, si tende a sottovalutare i possibili rischi legati all'iperossiemia, una condizione caratterizzata da una PaO₂ >100 mmHg, dovuta alla somministrazione di eccessive concentrazioni di ossigeno. L'ossigeno è infatti percepito come un elemento innocuo, privo di effetti collaterali.

PREMESSA

Il risultato che dobbiamo raggiungere è quello di migliorare la risposta del paziente critico, l'obiettivo dei professionisti è quello di evitare di incorrere in una ipossia, grave e mortale per il paziente ragion per cui va somministrata una FiO₂ adeguata per aiutare il paziente a sostenere le sue funzioni vitali.

La tendenza che si ha nei reparti è quella di considerare solo l'ipossiemia e sottovalutare l'iperossiemia.

È il momento opportuno di iniziare a considerare anche la tossicità di un'elevata esposizione ad ossigeno, iniziando a trovare delle contromisure per prevenire situazioni pericolose accertandoci che i pazienti critici non si trovino senza ossigeno, ma anche che non debbano poi subire eventuali tossicità dovute ad un'elevata esposizione, che può essere associata ad effetti deleteri e outcome peggiore.

Al tale riguardo, nei pazienti sottoposti ad ossigenoterapia sarebbe opportuno che gli allarmi del monitor venissero settati in modo tale da suonare non solamente in caso di desaturazione, ma anche qualora la SpO₂ superi un valore del 98%, ad esempio. In questo modo, l'infermiere o il medico sarebbero allertati del fatto che il paziente sta correndo il rischio di essere esposto a concentrazioni di ossigeno eccessive per la sua condizione attuale, e verrebbero indotti a ridurre eventualmente la FiO₂. È strettamente necessario cambiare modo di ragionare, di intervenire e di considerare entrambe le situazioni, ipossiemia e iperossiemia, cercando di prevenirle entrambe.

IPEROSSIA

3.1 Che cos'è l'iperossia?

È una condizione patologica nella quale il paziente che è stato esposto a fonti elevate o non necessarie di ossigeno, sviluppa un'anormale ed elevata concentrazione di ossigeno nel sangue. Un eccesso di ossigeno può avere effetti tossici, che includono:

- stress ossidativo
- attività pro-infiammatoria
- danno polmonare
- effetti emodinamici
- effetti negativi sul microcircolo

3.2 attività pro-infiammatoria e danno polmonare

² L'ossigeno è terapeutico ma ad alte concentrazioni causa infiammazione ai tessuti polmonari.

Al riguardo di ciò è stato effettuato uno studio sperimentale avente l'obiettivo di esaminare gli effetti infiammatori dovuti alla condizione iperossica.

Sono stati analizzati dei topi sani da laboratorio e l'effetto deleterio ad una prolungata esposizione tempo e dosaggio dipendente ad alte e basse concentrazioni di ossigeno.

Questi topi, sono stati tracheotomizzati e collegati ad un supporto di ventilazione meccanica, dividendoli in diversi gruppi, in base alla FiO₂ (disponibilità di ossigeno) impostata nel ventilatore e in base alle ore in cui venivano ventilati (8-12 ore).

La conclusione di questo studio, è stata che per tutta la durata della ventilazione, tutti i topi sono rimasti in vita, ma una volta esaminati i polmoni sono risultate presenti citochine infiammatorie, da cui si è ottenuta una elevata percentuale di neutrofilii nei polmoni, aumentando il rischio di sviluppare infezioni, polmonite e disfunzione multi-organo.

³ L'ossido nitrico (NO) generato dalla risposta infiammatoria causata dallo stress ossidativo, in condizione di iperossia ha fatto sì che reagisse con il superossido (sostanza tossica per i tessuti), provocando lesioni polmonari, inducendo morte cellulare, compromissione del surfattante tensioattivo, instabilità alveolare e diminuzione della compliance polmonare.

L'iperossia nei topi esaminati ha aumentato l'indice di mortalità, inoltre ha favorito nei topi che sono stati esposti ad iperossia per più tempo, un'associazione di rischio di contrarre una polmonite associata alla ventilazione.

² estratto da: <https://www.researchgate.net/publication/317590282>. Helmerhorst et al. Intensive Care Medicine Experimental (2017) 5:27 DOI 10.1186/s40635-017-0142-5 Hendrik J. F. Helmerhorst^{1,2,3*}, Laura R. A. Schouten^{3,4}, Gerry T. M. Wagenaar⁵, Nicole P. Juffermans^{3,4}, Joris J. T. H. Roelofs⁶, Marcus J. Schultz^{3,4}, Evert de Jonge¹ and David J. van Westerloo¹

³ Pubmed; parole chiave: Hyperoxia pulmonary injury visitato il 07/10/2023 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29334496/>. Autori: Damiani E, Donati A, Girardis M. Oxygen in the critically ill: friend or foe? Curr Opin Anaesthesiol. 2018 Apr;31(2):129-135. doi: 10.1097/ACO.0000000000000559. PMID: 29334496.

3.3 fisiopatologia stress ossidativo

⁴ Il nostro corpo utilizza l'ossigeno per produrre energia, attraverso le reazioni sopra elencate (respirazione cellulare), durante questi processi vengono prodotte le specie reattive dell'ossigeno, chiamate ROS, radicali liberi, i quali risultano essere molto reattivi perché tendono ad agire con altre molecole (anione superossido e perossido di idrogeno); Queste reazioni possono danneggiare cellule e tessuti.

Lo stress ossidativo è causato dai radicali liberi, in condizioni normali, sono neutralizzati dagli anti-ossidanti che produce il nostro corpo come meccanismo di difesa, ma quando abbiamo alte concentrazioni di ossigeno, superiori a quelle ambientali (0,21%), può superare la capacità di difesa del nostro organismo, generando uno squilibrio pro-ossidante che induce :

- Danneggiamento cellulare: compromettendo cellule, tessuti, lipidi, proteine e acidi nucleici.
- Scatenare una risposta infiammatoria nuocendo principalmente i polmoni, ma che può anche coinvolgere l'intero organismo.
- Alterazioni genetiche, interagendo con il DNA, esso può essere danneggiato, causando mutazioni genetiche dannose.

L'O₂ influenza il sistema di risposta ossidante, in ipossia e in iperossia causa una risposta pro-infiammatoria o anti-infiammatoria, come l'utilizzo dell'ossigeno iperbarico usato per la terapia delle ferite difficili.

⁴ fonte pubmed; parole chiave: Hyperoxia pulmonary injury visitato il 07/10/2023 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29334496/>. Autori: Damiani E, Donati A, Girardis M. Oxygen in the critically ill: friend or foe? *Curr Opin Anaesthesiol.* 2018 Apr;31(2):129-135. doi: 10.1097/ACO.0000000000000559. PMID: 29334496.

3.4 effetti emodinamici e del microcircolo.

⁵ L'iperossia causa vasocostrizione, aumenta la resistenza vascolare in tutto il sistema circolatorio diminuendo il flusso sanguigno nei vasi (arterie, vene e capillari) e apporta una minore quantità ossigeno al muscolo cardiaco, ciò è dovuto da una minore concentrazione di ossido nitrico (NO), un vasodilatatore.

Inoltre essa riduce la densità dei piccoli vasi sanguigni (microcircolo) ed influenza negativamente la circolazione.

Ulteriori ricerche utilizzando la video-microscopia sublinguale hanno dimostrato che l'ossigeno puro è associato a questa riduzione di densità dei piccoli vasi e della loro perfusione, ossia la circolazione di sangue all'interno di essi.

Alterazioni simili sono state riscontrate in pazienti dopo un intervento di bypass coronarico, dove il pazienti erano stati esposti ad iperossia, rilevando vasocostrizione e quindi diminuendo l'apporto d'ossigeno e nutrimento di cui il cuore avrebbe necessità.

Tutta via non è chiara a quale dose di ossigeno si manifesti questo effetto. In situazioni di emergenza, come nello shock emorragico, l'ossigenoterapia contribuisce alla stabilizzazione delle funzioni vitali del paziente e all'ossigenazione degli organi vitali.

⁵ Pubmed; parole chiave: Hyperoxia pulmonary injury visitato il 07/10/2023 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29334496/>. Autori: Damiani E, Donati A, Girardis M. Oxygen in the critically ill: friend or foe? *Curr Opin Anaesthesiol.* 2018 Apr;31(2):129-135. doi: 10.1097/ACO.0000000000000559. PMID: 29334496.

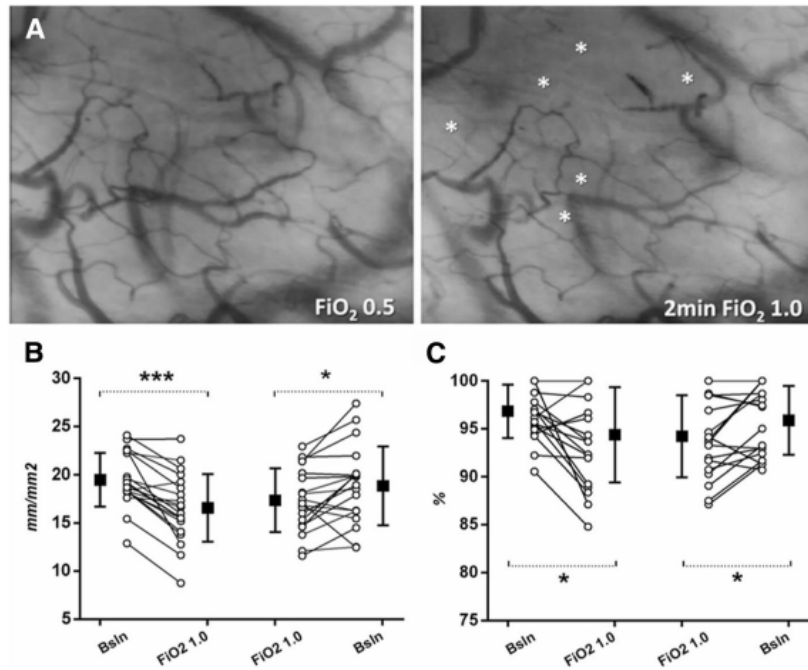


Fig. 1 Early microcirculatory response to acute variations in the FiO_2 . **a**: Sidestream Dark Field imaging of the same site of sublingual microcirculation in one patient before (FiO_2 0.5) and after 2 min of exposure to hyperoxia (2 min FiO_2 1.0). Stars indicate regions of microvascular de-recruitment. **b** and **c**: Individual and mean (SD) changes in perfused vessel density (**b**) and proportion of perfused vessels (**c**) during acute variations in the FiO_2 in the hyperoxia group ($n = 20$). The same region of the sublingual mucosa was assessed continuously at each time point (start hyperoxia and end hyperoxia) for at least 2 min. * $p < 0.05$, *** $p < 0.001$, paired t-test

⁶ figura 2

⁶ Donati et al. BMC Anesthesiology (2017) 17:49 DOI 10.1186/s12871-017-0342-2
 Autori: Abele Donati^{1*}, Elisa Damiani¹, Samuele Zuccari¹, Roberta Domizi¹, Claudia Scorce¹, Massimo Girardis², Alessia Giulietti³, Arianna Vignini³, Erica Adrario¹, Rocco Romano¹, Laura Mazzanti³, Paolo Pelaia¹ and Mervyn Singer⁴. Page 5 of 10.

ECCESSIVA SOMMINISTRAZIONE DI OSSIGENO IN TERAPIA INTENSIVA E OUTCOME (MORTALITA')

4.1 il paziente critico

Nelle situazioni di emergenza il paziente critico viene sottoposto ad ossigenoterapia, che rappresenta nella maggior parte dei casi una misura salva vita.

La somministrazione di ossigeno è una terapia comune nei pazienti critici, è il primo approccio farmacologico che adoperano infermieri e medici ed è essenziale per il loro recupero, evitando di incorrere all'ipossiemia, condizione letale, in quanto il sangue non ossigenato non nutrirà correttamente i tessuti e gli organi.

Vi è la tendenza di tenere in considerazione solo l'ipossiemia e sottovalutare l'iperossiemia, a cui non viene data la giusta importanza trascurandone la potenziale tossicità.

L'esposizione ad alte concentrazioni di O₂ è sicura nei pazienti critici?

Esaminerò questo aspetto descrivendo la relazione tra iperossia e mortalità in diverse categorie di paziente critico in terapia intensiva.

4.2 il paziente post – arresto cardiaco

⁷ L'ossigeno è un farmaco salvavita in situazioni di emergenza, in caso di arresto cardiaco il paziente perde ogni attività fisiologica, dalla perdita di coscienza alla compromissione respiratoria, per compensare a questa condizione è necessario sostituire e supportare le funzioni fisiologiche della persona, somministrando ossigeno dall'esterno e facendo le manovre di rianimazione cardiocircolatorie (compressioni toraciche).

Quanto è importante l'ossigeno in questa manovra d'emergenza? A che disponibilità va somministrato? Una iperossia può aiutare o nuocere le condizioni di ripresa del paziente?

L'ossigeno in situazioni di arresto cardiocircolatorio viene somministrato ad alte concentrazioni per aumentare la disponibilità di ossigeno nei tessuti.

Talvolta la sua tossicità conseguente ad iperossia genera radicali liberi e vasocostrizione, danneggiando la ripresa del paziente.

In diversi studi eseguiti è stata trovata un'associazione tra iperossia e mortalità post arresto cardiaco e risultati neurologici sfavorevoli.

A favore di questa tesi vi sono i numerosi studi effettuati su animali da laboratorio i quali mediante la somministrazione di ossigeno pari al 100% di saturazione hanno evidenziato risultati neurologici critici rispetto ad una concentrazione minore dove l'ossigeno viene erogato ad una modalità più bassa e conservativa.

Questo perché la vasocostrizione dovuta ai radicali liberi prodotti da ossigeno provoca una paradossale riduzione nella effettiva quantità di ossigeno che arriva ai tessuti, a causa di una bassa perfusione microcircolatoria.

Uno studio randomizzato pilota ha dimostrato che in 24 ore vi è un aumento dei marcatori di lesioni neuronali (risultati neurologici sfavorevoli) nei pazienti ventilati con FiO₂ al 100% di ossigeno rispetto a quelli ventilati con FiO₂ al 30% post arresto cardiaco.

⁷ Estratto da pubmed: Oxygen in the critically ill: friend or foe? Damiani E, Donati A, Girardis M. Oxygen in the critically ill: friend or foe? Curr Opin Anaesthesiol. 2018 Apr;31(2):129-135. doi: 10.1097/ACO.0000000000000559. PMID: 29334496.

⁹Un altro studio che ha esaminato sempre il paziente post arresto cardiaco è il seguente.

Si tratta di uno studio retrospettivo che ha considerato dati raccolti in un registro in modo prospettico, monocentrico, che ha esaminato pazienti sopravvissuti ad arresto cardiaco e incluso pazienti che oltre ad essere sopravvissuti sono stati ventilati meccanicamente ≥ 24 ore dopo l'arresto.

La PaO₂ è stata controllata ogni ora per 24 ore classificando i pazienti in:

- iperossia grave = >300 mmHg
- iperossia moderata = 101-299 mmHg
- normossia = 60-100 mmHg
- ipossia = <60 mmHg .

Lo studio ha utilizzato una scala per testare l'associazione tra esposizione all'ossigeno con esito neurologico, calcolando il punteggio SOFA a 24 ore.

I risultati ottenuti, sui 184 pazienti analizzati, sono stati:

- Il 36% è stato esposto a grave iperossia con associazione di mortalità del 54%.
L'iperossia grave è stata associata ad una diminuzione della sopravvivenza con esito di non dimissione ospedaliera 0,83 per ora di esposizione con $=0.04$;
- L'iperossia moderata è stata associata ad un miglioramento del punteggio SOFA nelle 24 ore (0,92 P $< 0,01$)

La conclusione di questo studio è stata che l'iperossia grave era associata a una ridotta sopravvivenza, mentre l'iperossia moderata è stata associata ad un miglioramento d'organo a 24 ore.

Oxygen exposure category	Overall		Survivors	Non-survivors
	Mean \pm SD	Range	Mean \pm SD	Mean \pm SD
Severe hyperoxia	1.4 \pm 2.2	0–12.5	0.93 \pm 1.7	1.7 \pm 2.5
Moderate or probable hyperoxia	9.5 \pm 6.6	0–24	9.7 \pm 6.9	9.4 \pm 6.3
Normoxia	12.9 \pm 6.9	0–24	13.3 \pm 6.9	12.6 \pm 6.9
Hypoxia	0.2 \pm 0.7	0–5.0	0.1 \pm 0.6	0.3 \pm 0.9

⁸ Table 2 Duration of arterial oxygen exposure in the first 24 h after return of spontaneous circulation in a cohort of cardiac arrest survivors

⁹ Elmer, J., Scutella, M., Pullalarevu, R. *et al.* The association between hyperoxia and patient outcomes after cardiac arrest: analysis of a high-resolution database. *Intensive Care Med* **41**, 49–57 (2015). <https://doi.org/10.1007/s00134-014-3555-6>

4.3 Iperossia e pazienti con ictus

¹⁰ In uno studio di coorte retrospettivo multicentrico, è stato preso in analisi il ricovero di 2894 pazienti ventilati con ictus cerebrale ischemico acuto, emorragia subaracnoidea ed intracerebrale, per monitorare lo stato della PaO₂. L'obiettivo di questa indagine è stata identificare un'associazione tra iperossia e mortalità intraospedaliera nei pazienti con ictus in terapia intensiva.

È stato eseguito un prelievo arterioso entro le 24 ore dal ricovero nel reparto, analizzando i dati di 84 reparti di terapia intensiva degli Stati Uniti tra il 2003 e 2008.

La suddivisione dei pazienti è stata casuale, in 3 gruppi di esposizione, definiti:

- iperossia PaO₂/FiO₂ ≥ 300 mm Hg
- ipossia PaO₂ < 60 mmHg
- normossia PaO₂/FiO₂ ≤ 300

L'outcome principale era la mortalità intraospedaliera.

Il risultato ha identificato in 5 anni di studio: 19% di pazienti con ictus ischemico acuto, 32% con emorragia subaracnoidea, 49% con emorragia intracerebrale, di cui il 38% erano normossici, il 46% ipossici e il 16% erano iperossici, la relazione più alta di mortalità è stata rilevata nel gruppo di pazienti iperossici con un odds ratio di 1,7 p < 0,0001, i gruppi con ipossia odds ratio di 1,3.

La conclusione ha evidenziato che nei pazienti ricoverati in terapia intensiva per ictus l'iperossia era associata a maggior rischio di morte intraospedaliera, sottolineando l'importanza di una controllata ossigenazione ridurre l'esposizione non necessaria all'ossigeno.

¹⁰ Rincon, Fred MD, MSc, MBE, FACP, FCCP, FCCM 1,2 ; Kang, Joon MD 1 ; Maltenfort, Mitchell PhD 3 ; Vibbert, Matteo MD 1,2 ; Urtecho, Jacqueline MD 1,2 ; Athar, M. Kamran MD 2,4 ; Jallo, Jack MD, PhD, FACS 2 ; Pineda, Carissa C. MD 1,5 ; Tzeng, Diana MD 1,5 ; McBride, William MD 1,5 ; Bell, Rodney MD, FAHA 1,2,5 .Associazione tra iperossia e mortalità dopo ictus: Uno studio di coorte multicentrico*. Critical Care Medicine 42(2):p 387-396, febbraio 2014. |DOI: 10.1097/CCM.0b013e3182a2773

4.4 Iperossia in pazienti con ARDS

¹¹ L'ARDS è una condizione grave dei polmoni che causa dispnea al paziente, è determinata da vari fattori tra cui infezioni e infiammazioni polmonari. I polmoni diventano rigidi e incapaci di svolgere la loro attività di respirazione, riducendo la quantità ossigeno in circolo nel sangue.

La gestione di questa condizione richiede il supporto ventilatorio meccanico ed il trattamento delle cause sottostanti.

Perciò è molto importante capire i rischi dell'iperossia in questa condizione.

Tuttavia, il nesso tra iperossia e ARDS è complesso, in quanto la gravità dell'ipossiemia prevale nel quadro clinico. Inoltre, la gestione dell'ossigenoterapia nei pazienti con distress respiratorio può variare, non avendo linee guida che suggeriscono obiettivi specifici di saturazione dell'ossigeno o pressione parziale di ossigeno. La tendenza è quella di evitare l'ipossiemia ritenuta più grave e visto che in un paziente con ARDS è difficile raggiungere l'iperossia si tende ad esporlo ad una concentrazione elevata.

La domanda che ci si è posti è se possa valere la pena di accettare livelli di PaO₂ leggermente inferiori al normale, piuttosto che somministrare eccessive quantità di ossigeno allo scopo di forzare il livelli di paO₂ entro il range di normalità. L'uso eccessivo di ossigeno può influenzare negativamente la risposta immunitaria, e potrebbe aggravare il danno polmonare in corso di ARDS a causa della produzione di radicali liberi.

Nello studio osservazionale "lung safe" è risultato che il livello eccessivo di ossigeno nei tessuti e l'uso eccessivo di FiO₂ nei pazienti con ARDS fosse comune.

Alcuni studi hanno esaminato l'effetto dell'ossigenoterapia in pazienti con ARDS, i risultati sono stati eterogenei, alcuni suggerivano una terapia conservativa con ossigeno, che non causando eccessive tossicità, poteva essere più vantaggiosa per la ripresa del paziente, mentre altri non riscontravano differenze.

Questo rapporto tra iperossia nei pazienti con ARDS va chiarito ulteriormente con altre ricerche a causa dell'incertezza ed eterogeneità dei risultati ottenuti finora.

4.5 Iperossia in pazienti con shock settico

¹² L'iperossiemia, è stata studiata in pazienti settici, che presentano spesso problemi di ossigenazione. Si pensava che l'iperossiemia poteva essere utile nei pazienti settici, poiché la vasocostrizione indotta dall'iperossia potrebbe contrastare lo stato di shock distributivo, e per l'azione antibatterica dell'ossigeno stesso. Tuttavia, studi hanno mostrato che l'iperossiemia non ha migliorato l'outcome dei pazienti con shock settico.

In alcuni casi, è stata osservata una maggior incidenza di effetti avversi nei pazienti con iperossiemia. Inoltre, un'analisi post-hoc ha suggerito un aumento della mortalità nei pazienti con livelli elevati di lattato nel sangue associati all'iperossiemia.

Gli studiosi ritengono che l'iperossiemia possa aver portato a una produzione eccessiva di radicali liberi nei tessuti, causando danni correlati allo stress ossidativo, e danno d'organo, già indotto dalla sepsi.

Questi risultati suggeriscono che è importante monitorare attentamente i livelli di ossigeno nei pazienti settici e che l'iperossiemia potrebbe comportare rischi, specialmente quando associata a livelli elevati di lattato nel sangue. Pertanto, la gestione conservativa dei livelli di ossigeno potrebbe essere cruciale per garantire il benessere dei pazienti settici.

¹¹; ¹² <https://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13054-021-03815-y>. Singer, M., Young, P.J., Laffey, J.G. *et al.* Dangers of hyperoxia. *Crit Care* **25**, 440 (2021). <https://doi.org/10.1186/s13054-021-03815-y>

4.6 lesione cerebrale acuta e iperossia

¹³ Nel contesto dei traumi cranici (TBI), l'uso dell'iperossia è stato considerato per migliorare l'apporto di ossigeno al cervello e la sua perfusione, in quanto l'iperossiemia potrebbe ridurre la pressione intracranica attraverso la vasocostrizione. La terapia iperbarica con ossigeno è stata addirittura studiata come un possibile trattamento vantaggioso in questa situazione. Uno studio di fase II ha dimostrato che la combinazione di terapia iperbarica e normobarica con ossigeno ha portato a un migliore apporto di ossigeno e metabolismo cerebrale, una diminuzione della pressione intracranica e una riduzione del tasso di mortalità. Tuttavia, l'uso di concentrazioni elevate di ossigeno può comportare rischi, come l'iperossiemia, che potrebbe peggiorare il danno cerebrale secondario. Alcune analisi dei dati hanno evidenziato un'associazione tra l'iperossiemia e un aumento della mortalità, anche se i risultati tra gli studi sono stati discordanti. In un recente studio chiamato "brainoxy" su pazienti con trauma cranico, non è emerso alcun legame tra l'ossigeno somministrato entro le prime 24 ore e il tasso di mortalità. È necessario condurre ulteriori studi clinici per determinare se l'iperossia rappresenti un beneficio o un rischio in questa condizione specifica.

¹³ Estratto da pubmed **Oxygen in the critically ill: friend or foe?** Damiani E, Donati A, Girardis M. Oxygen in the critically ill: friend or foe? *Curr Opin Anaesthesiol*. 2018 Apr;31(2):129-135. doi: 10.1097/ACO.0000000000000559. PMID: 29334496.

4.7 Modalità conservativa contro modalità liberale

¹⁴ Uno studio clinico randomizzato è stato condotto al fine di determinare se una ossigenoterapia conservativa, volta a mantenere la PaO₂ strettamente entro i limiti fisiologici, potesse migliorare l'outcome nei pazienti critici in terapia intensiva. I pazienti sono stati randomizzati in due gruppi. Nel primo gruppo (ossigenoterapia liberale), l'ossigenoterapia somministrata ai pazienti andava da un minimo di 40% FiO₂ per ottenere una PaO₂ fino a 150 mmHg e una saturazione compresa tra 97% e 100%; se il valore della saturazione scendeva oltre il 95% la FiO₂ veniva incrementata per raggiungere i valori concordati.

Nel secondo gruppo (ossigenoterapia conservativa) l'ossigeno è stato somministrato al più basso valore possibile di FiO₂ per mantenere la PaO₂ tra 70 e 100 mmHg con saturazione compresa tra il 94% e il 98%.

L'outcome primario era la mortalità, gli outcome secondari includevano insufficienza d'organo di nuova insorgenza definita con punteggio SOFA ≥ 3 .

L'uso di un protocollo conservativo per l'ossigenoterapia anziché una terapia liberale ha portato a una riduzione della mortalità in terapia intensiva (11,6% contro 20,2%), inoltre il gruppo con approccio conservativo ha presentato minore incidenza di shock, insufficienza epatica e minor rischio di infezione.

In un'analisi post-hoc, la modalità conservativa è risultata associata ad un minor rischio di mortalità e degenza più breve nei pazienti ventilati meccanicamente aventi un'insufficienza respiratoria.

	Ossigenoterapia, No. (%)		Differenza di rischio assoluto (IC 95%)	Valore P
	Conservatore (n = 216)	Convenzionale (n = 218)		
Esito primario				
Mortalità in terapia intensiva	25 (11.6)	44 (20.2)	0,086 (da 0,017 a 0,150)	.01
Risultati secondari				
Mortalità ospedaliera	52 (24.2)	74 (33.9)	0,099 (da 0,013 a 0,182)	.03
Nuova insufficienza d'organo durante la degenza in terapia intensiva	41 (19.0)	56 (25.7)	0,067 (da -0,012 a 0,145)	.09
Insufficienza respiratoria	14 (6.5)	14 (6.4)	-0,126 (da -0,189 a -0,064)	.98
Scioccare	8 (3.7)	23 (10.6)	0,068 (da 0,020 a 0,120)	.006
Insufficienza epatica	4 (1.9)	14 (6.4)	0,046 (da 0,008 a 0,088)	.02
Insufficienza renale	26 (12.0)	21 (9.6)	-0,024 (da -0,084 a 0,035)	.42
Nuove infezioni durante la degenza in terapia intensiva	39 (18.1)	50 (22.9)	0,049 (da -0,027 a 0,124)	.21
Respiratorio	30 (13.9)	37 (17.0)	0,031 (da -0,038 a 0,099)	.37
Bacteremia	11 (5.1)	22 (10.1)	0,050 (da 0,000 a 0,090)	.049
Sito chirurgico ^a	10 (7.2)	12 (9.1)	0,019 (da -0,048 a 0,088)	.68
Revisione chirurgica ^a	18 (12.9)	16 (12.1)	-0,008 (da -0,088 a 0,073)	.84
Ore senza ventilazione meccanica, mediana (IQR)	72 (da 35 a 110)	48 (da 24 a 96)	24 (0 - 46)	.02
Durata della degenza in terapia intensiva, mediana (IQR), d	6 (da 4 a 10)	6 (da 4 a 11)	0 (da 0 a 2)	.33
Durata della degenza ospedaliera, mediana (IQR), d	21 (da 13 a 38)	21 (da 12 a 34)	0 (da -5 a 1)	.21

¹⁵ Figure 2. Probability of Survival From Study Inclusion (Day 0) Through Day 60 for Patients in the Conservative and Conventional Oxygen Strategy Groups

¹⁴; ¹⁵ Estratto da pubmed: Girardis M, Busani S, Damiani E, Donati A, Rinaldi L, Marudi A, Morelli A, Antonelli M, Singer M. Effect of Conservative vs Conventional Oxygen Therapy on Mortality Among Patients in an Intensive Care Unit: The Oxygen-ICU Randomized Clinical Trial. JAMA. 2016 Oct 18;316(15):1583-1589. doi: 10.1001/jama.2016.11993. PMID: 27706466.

CONCLUSIONE

L'obiettivo a cui bisogna ambire è il benessere e l'outcome del paziente, occorre evitare che nel paziente critico insorga l'ipossiemia, che è una causa di morte certa.

L'O₂ supplementare nei pazienti che non presentano insufficienza respiratoria, dispnea o desaturazione, porta a un aumento della concentrazione di ossigeno nel sangue, generando gravi effetti collaterali come infiammazione tissutali, stress ossidativo, diminuzione di perfusione nel microcircolo, vasocostrizione. Una ossigenoterapia più conservativa sembra essere più sicura nei pazienti critici e sembra associarsi in generale ad un miglior outcome.

L'esposizione non necessaria all'iperossiemia deve essere evitata o ridotta al minimo, perciò bisogna trovare un equilibrio per non portare all'ipossiemia che va trovata definendo la condizione con cui abbiamo a che fare, la quale genererà una risposta terapeutica differente in base ai diversi casi. Possibili soluzioni:

- Bisogna controllare i range di PaO₂ del paziente, se nella norma, valutare costantemente il dosaggio di FiO₂ del paziente cercando di abbassarla non appena possibile.
- In caso di pazienti che ricevono ossigenoterapia, sarebbe opportuno definire degli allarmi per la SpO₂ al monitor in modo tale che l'allarme si attivi non solo per valori inferiori a 90%, ma anche per valori superiori al 98%, in modo da poter ridurre la quantità di ossigeno supplementare non appena possibile.
- Ulteriori studi nei pazienti con ARDS dovrebbero valutare l'efficacia e la sicurezza di un approccio volto a tollerare livelli di PaO₂ leggermente inferiori alla norma (ipossiemia permissiva) al fine di limitare la quantità di ossigeno somministrata.
- Valutare in quale caso specifico l'esposizione a iperossia possa essere più o meno deleteria e quando possa essere permissiva. Ad esempio, esporre un paziente giovane ad iperossia in intervento chirurgico, può essere meno deleterio rispetto a quello di esporre un paziente in età avanzata con patologie pregresse oncologiche e cardiache a iperossia.

Tuttavia l'efficacia di queste strategie va verificata in studi futuri. Per il momento, vista la mancanza di dati a favore e considerato il rischio di effetti deleteri, una inutile esposizione a dosi eccessive di ossigeno andrebbe in generale evitata.

L'infermiere ha un ruolo molto importante nel saper gestire questa condizione, evitando che il paziente critico venga esposto a concentrazioni di ossigeno deleterie e che non vada incontro all'evento avverso contrario ipossia.

Deve possedere le conoscenze, abilità, capacità di giudizio ed occhio clinico per poter riconoscere segni clinici, parametri vitali disfunzionali, capacità di gestione dei presidi necessari e per la gestione terapeutica.

Inoltre in collaborazione con il medico, imposta la FiO₂ da somministrare al paziente, valuta, in base ai risultati e alle concentrazioni presenti nel circolo arterioso, se il paziente si trova in condizioni di ripresa, o in condizioni più gravi dove appunto bisogna modificare le impostazioni del ventilatore meccanico.

Sa riconoscere i segni e sintomi avversi delle situazioni potenzialmente fatali e collabora per evitare che accadano, preparando, somministrando e controllando i farmaci da infusione, collocati nelle macchine multiparametriche di infusione.

- **Monitoraggio costante e valutazione clinica:** rileva la SpO₂, la pressione parziale di ossigeno e di anidride carbonica mediante emogasanalisi; il paziente rimane costantemente monitorato, sa riconoscere precocemente segni e sintomi che sono sinonimo di alterazione (cianosi, dispnea, tachipnea e confusione mentale).
- **Somministrazione controllata:** l'infermiere somministra farmaci come ossigeno, sotto prescrizione medica ed ha la capacità di valutare l'immediata necessità di un farmaco e sa gestire i presidi necessari per la ventilazione (maschere, ventilatori meccanici).
- **Capacità di comunicazione con equipe multidisciplinare**
- **Educazione al paziente e caregiver:** educazione terapeutica sull'importanza dell'ossigenoterapia, come gestirla a domicilio, come riconoscere i segni e sintomi avversi.

Una saturazione pari al 100% dovrebbe metterci preoccupazione, quanto una saturazione <90?

La saturazione non è un parametro di riferimento preciso, ma un parametro di cui ci avvaliamo per confermare lo stato di un paziente, che in base alle sue patologie può variare. Ad ogni modo, una saturazione pari al 100% in un paziente ventilato meccanicamente indica sicuramente uno stato di esposizione ad un quantitativo eccessivo di ossigeno. Dall'altro lato, una SpO₂ <90% configura sicuramente una situazione di ipossiemia.

Queste due saturazioni sono da monitorare, poiché sia la prima condizione (iperossiemia) che la seconda (ipossiemia) se non inquadrata con occhio clinico, portano un danno potenziale per il paziente.

BIBLIOGRAFIA

1. autore dottoressa Giusy Smeralda, (04/10/2022) estratto da:
<https://einum.org/it/la-respirazione-cellulare-fonte-di-produzione-di-vitale-energia/>.
2. Donati et al. BMC Anesthesiology (2017) 17:49 DOI 10.1186/s12871-017-0342-2
Autori: Abele Donati^{1*}, Elisa Damiani¹, Samuele Zuccari¹, Roberta Domizi¹,
Claudia Scorcella¹, Massimo Girardis², Alessia Giulietti³, Arianna Vignini³, Erica
Adrario¹, Rocco Romano¹, Laura Mazzanti³, Paolo Pelaia¹ and Mervyn Singer⁴.
Page 5 of 10.
3. Estratto da pubmed **Oxygen in the critically ill: friend or foe?** Damiani E,
Donati A, Girardis M. Oxygen in the critically ill: friend or foe? Curr Opin
Anaesthesiol. 2018 Apr;31(2):129-135. doi: 10.1097/ACO.0000000000000559.
PMID: 29334496.
4. Estratto da pubmed: Girardis M, Busani S, Damiani E, Donati A, Rinaldi L,
Marudi A, Morelli A, Antonelli M, Singer M. Effect of Conservative vs
Conventional Oxygen Therapy on Mortality Among Patients in an Intensive
Care Unit: The Oxygen-ICU Randomized Clinical Trial. JAMA. 2016 Oct
18;316(15):1583-1589. doi: 10.1001/jama.2016.11993. PMID: 27706466.
5. estratto da: <https://www.researchgate.net/publication/317590282>. Helmerhorst
et al. Intensive Care Medicine Experimental (2017) 5:27 DOI 10.1186/s40635-
017-0142-5 Hendrik J. F. Helmerhorst^{1,2,3*}, Laura R. A. Schouten^{3,4}, Gerry
T. M. Wagenaar⁵, Nicole P. Juffermans^{3,4}, Joris J. T. H. Roelofs⁶, Marcus J.
Schultz^{3,4}, Evert de Jongel and David J. van Westerloo¹
6. <https://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13054-021-03815-y>.
Singer, M., Young, P.J., Laffey, J.G. et al. Dangers of hyperoxia. Crit Care 25,
440 (2021). <https://doi.org/10.1186/s13054-021-03815-y>.
7. Pubmed parole chiave: Hyperoxia pulmonary injury visitato il 07/10/2023
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29334496/>. Autori: Damiani E, Donati A, Girardis
M. Oxygen in the critically ill: friend or foe? Curr Opin Anaesthesiol. 2018
Apr;31(2):129-135. doi: 10.1097/ACO.0000000000000559. PMID: 29334496.
8. Pubmed; parole chiave: Hyperoxia pulmonary injury visitato il 07/10/2023
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29334496/>. Autori: Damiani E, Donati A, Girardis

M. Oxygen in the critically ill: friend or foe? *Curr Opin Anaesthesiol.* 2018
Apr;31(2):129-135. doi: 10.1097/ACO.0000000000000559. PMID: 29334496.

9. Pubmed; parole chiave: Hyperoxia pulmonary injury visitato il 07/10/2023

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29334496/>. Autori: Damiani E, Donati A, Girardis

M. Oxygen in the critically ill: friend or foe? *Curr Opin Anaesthesiol.* 2018
Apr;31(2):129-135. doi: 10.1097/ACO.0000000000000559. PMID: 29334496.