

*A Jones,
che offrì la faccia al vento
la gola al vino e mai un pensiero
non al denaro, non all'amore né al cielo.*

Sommario

Introduzione	1
CAPITOLO 1: ASPETTI CLINICI DELL'EMOGASANALISI	2
1.1 Definizione ed utilità dell'EGA	2
1.2 Lettura di un referto EGA: i parametri rilevabili	3
1.3 Le principali alterazioni dell'equilibrio acido-base.....	7
CAPITOLO 2: LE COMPETENZE INFERMIERISTICHE	14
2.1 Indicazioni alla puntura arteriosa	14
2.2 La corretta procedura per il prelievo di sangue arterioso (EGA)	15
2.3 I punti di reperi per il prelievo arterioso: il Test di Allen	17
2.4 Controindicazioni assolute e relative alla puntura arteriosa	19
2.5 Le possibili complicanze della puntura arteriosa	20
2.6 Lo stato dell'arte ad oggi circa la responsabilità infermieristica alla procedura	22
CAPITOLO 3: REVISIONE DELLA LETTERATURA	25
3.1 Introduzione	25
3.2 Obiettivi.....	25
3.3 Materiali e metodi	26
3.3.1 Disegno di studio.....	26
3.3.2 Strategie di ricerca.....	26
3.3.3 Criteri di inclusione ed esclusione.....	27
3.3.4 Screening degli articoli	27
3.3.5 Flow Chart	28
3.3.6 Sintesi dei dati	28
3.4 Risultati.....	28
3.4.1 Caratteristiche degli studi inclusi	37
3.5 Discussioni.....	39
3.6 Conclusioni	42
3.7 Implicazioni alla pratica clinica	43
BIBLIOGRAFIA	44
RINGRAZIAMENTI	50

Introduzione

L'emogasanalisi arteriosa è uno dei principali test di valutazione delle pressioni parziali dei gas arteriosi e dell'equilibrio acido-base, mediante il prelievo di sangue arterioso. L'esecuzione di un prelievo arterioso con successiva emogasanalisi è parte integrante della gestione di un paziente di terapia intensiva e l'infermiere è adibito all'esecuzione della procedura, alla conservazione del campione e all'interpretazione dei risultati [Wiwanitkit V, 2001].

Quest'analisi fu sfruttata per la prima volta nel 1952 da Poul Bjørndahl Astrup, in associazione all'azienda danese *Radiometer*, durante un'epidemia di Poliomielite in Danimarca. Il medico era direttore del laboratorio dell'ospedale *Blegdamshospitalet* di Copenaghen, un centro di competenza medica ed epidemiologica nelle malattie infettive. Durante le prime 3 settimane dell'epidemia, erano ricoverati 31 pazienti con paralisi respiratoria da poliomielite ed erano ventilati con le macchine respiratorie allora disponibili. Ventisette dei 31 pazienti morirono entro 72 ore con un tasso di mortalità del 90%. Il medico, in associazione ad altri collaboratori, pensò che il modo migliore per valutare l'efficienza della respirazione fosse misurare il livello di ossigenazione e il rapporto acido-base del sangue con conseguente modifica dei migliori parametri ventilatori da applicare. Successivamente, infatti, il tasso di mortalità dei pazienti ventilati scese al 25% e negli anni seguenti il monitoraggio dell'adeguatezza della ventilazione si rivelò cruciale. Poco dopo l'epidemia a Copenaghen, Astrup completò il lavoro e, in associazione con Radiometer, iniziò a produrre strumenti che furono presto utilizzati in tutto il mondo per misurare il pH, PaO₂ e la PaCO₂ [Fiddian RG, 1995]. Il nuovo metodo servì non solo per i malati di poliomielite, ma venne esteso anche per la valutazione dei pazienti con problemi respiratori di qualsiasi causa, malattie polmonari, overdose di farmaci, compromissione centrale del sistema nervoso, etc [Hansen J, 1953].

L'implemento dell'emogasanalisi in emergenza preospedaliera è da considerare essenziale in quanto una grave acidosi metabolica si sviluppa in seguito a periodi prolungati di arresto cardiopolmonare (CPA) e gli ioni idrogeno eccessivi causano una marcata iperkaliemia nella maggior parte dei pazienti con CPA; una tempestiva analisi di questi valori tramite puntura arteriosa porterebbe ad un trattamento immediato delle cause [Inamasu J. Et al, 2002]

CAPITOLO 1: ASPETTI CLINICI DELL'EMOGASANALISI

1.1 Definizione ed utilità dell'EGA

L'emogasanalisi consiste nell'analisi di un campione di sangue arterioso per il controllo ematochimico della funzionalità respiratoria e dell'assetto metabolico. Il sangue arterioso è trasportato verso tutti gli organi del nostro corpo al fine di soddisfare le richieste metaboliche e la sua composizione è uniforme lungo tutto l'organismo. Attraverso l'emogasanalisi si ottengono tre misurazioni fondamentali: il valore del pH ematico, il valore della pressione parziale di anidride carbonica (PaCO_2) e il valore della pressione parziale di ossigeno (PaO_2) [Trulock EP, 1990].

L'ossigeno e l'anidride carbonica sono i più importanti gas respiratori e le loro pressioni nel sangue arterioso riflettono l'adeguatezza dello scambio di gas all'interno dell'organismo umano. Inoltre anche altre importanti variabili sono calcolate attraverso l'emogasanalisi, come ad esempio la concentrazione di bicarbonati plasmatici, l'eccesso di basi, la saturazione di ossigeno, il valore di elettroliti sierici (il sodio, maggior responsabile del mantenimento di una corretta osmolarità e del volume dei fluidi; il potassio, che regola la contrazione muscolare e la frequenza cardiaca; il cloro, che contribuisce al mantenimento dell'adeguatezza dell'osmolarità; il calcio, implicato nei processi enzimatici, nella coagulazione, nella crescita cellulare, nella contrazione muscolare e nella conduzione nervosa) e il valore dei metaboliti (la concentrazione di glucosio e di acido lattico) [Stocchero M. et al, 2001]. Vista la notevole quantità di informazioni che si possono ottenere con l'emogasanalisi, la tipologia di pazienti per cui è indicato il prelievo di sangue arterioso comprende i soggetti con patologie cardio-respiratorie, quelli con disordini metabolici, quelli con possibili alterazioni dell'equilibrio acido-base, quelli che presentano intossicazione da anidride carbonica e quelli con alterazioni delle componenti ematiche. [Cucchi A. et al, 2011]

L'emogasanalisi è uno strumento di fondamentale importanza soprattutto in Area Critica, poiché fornisce informazioni relativamente all'ossigenazione, alla ventilazione e allo stato acido-base [Davis MD et al, 2013] e poiché sui risultati ottenuti si fondano spesso le successive decisioni cliniche e terapeutiche. In terapia intensiva, l'interpretazione accurata e tempestiva dei dati dell'emogasanalisi può rappresentare un fattore chiave per il successo del processo clinico decisionale. [Doig AK. et al, 2011]

1.2 Lettura di un referto EGA: i parametri rilevabili

Gli scambi gassosi fra gli alveoli ed il sangue e fra questi ed i tessuti sono dovuti ai gradienti di pressione parziale dei singoli gas, per cui essi si spostano verso le zone con minor pressione, oltre che alla solubilità dei gas ed alla permeabilità delle membrane che essi devono attraversare. Durante la respirazione d'aria ambiente a livello del mare (PBar = 760 mmHg), l'aria inspirata contiene una quantità trascurabile di CO₂ (PCO₂ = 0.3 mmHg), 21% di ossigeno (FiO₂ = 0.21; PO₂ = 160 mmHg) e, per i rimanenti 600 mmHg di pressione, contiene azoto più una piccola quota di vapor acqueo (PN₂ = 596 mmHg e PH₂O = 4 mmHg, variabili).

Nell'alveolo, la presenza di vapor acqueo saturo (PH₂O = 47 mmHg a 37°C) e della CO₂ prodotta (PACO₂ = 40 mmHg) fa sì che la PO₂ alveolare (PAO₂) si avvicini al valore di 100 mmHg.

Questa relazione è espressa con l'equazione dell'aria alveolare:

$$PAO_2 = (PBar - PH_2O) \times FiO_2 - PACO_2 \times [FiO_2 + (1-FiO_2) / QR]$$

Semplificabile, se si assume un Quoziente Respiratorio (QR) di 0.8, una PH₂O di 47 mmHg e la PACO₂ uguale alla PaCO₂, data la sua diffusibilità:

$$PAO_2 = 713 \times FiO_2 - PaCO_2 \times [FiO_2 + (1-FiO_2) / 0.8]$$

Ed ulteriormente semplificabile, se il soggetto respira ossigeno al 100%:

$$PAO_2 = 713 - PaCO_2$$

Dall'alveolo l'ossigeno diffonde verso il sangue dall'arteria polmonare, che ha una PvO₂ di circa 40 mmHg, e ne risulta una **PaO₂** il cui valore normale per soggetti di età compresa tra 20 e 30 anni, durante ventilazione in aria ambiente ed a livello del mare, è pari a 84-108 mmHg. Il range di normalità della PaO₂ varia fisiologicamente in rapporto con l'età del soggetto (ad es., da 71 a 91 mmHg tra 60 e 70 anni), la pressione atmosferica (ad es., sull'Everest la PBar è di soli 250 mmHg e pertanto la PO₂ nell'aria è vicina a 50 mmHg) e la percentuale di ossigeno ispirato.

La conoscenza della percentuale di ossigeno nella miscela gassosa inspirata (**FiO₂**) è di fondamentale importanza per giudicare se il valore rilevato di PaO₂ si discosta dal valore atteso, e di quanto. Ad es., se un soggetto respira O₂ al 40% e la sua PaO₂ è 95 mmHg

invece dei 140-150 mmHg che dovrebbe avere, egli ha un'alterazione degli scambi gassosi, anche se in valore assoluto non è ipossiemico: presenta cioè una "ipossiemia relativa".

Un **rapporto $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 200$** caratterizza l'*Acute Respiratory Distress Syndrome* (ARDS), mentre un valore compreso tra 200 e 300 contraddistingue la pneumopatia ipossiemizante con minor grado di severità (Acute Lung Injury, ALI), in tali evenienze può essere utile il test con O_2 al 100% il quale prevede, in caso di insufficienza respiratoria ipossiemizante senza ipercapnia, l'effettuazione dell'EGA arterioso in due tempi: durante respirazione in aria ambiente e dopo respirazione con O_2 al 100% per almeno 10 minuti.

Se l'ipossiemia è corretta dalla somministrazione di ossigeno è probabilmente causata da una decurtazione del circolo polmonare (embolia) con aumento dello spazio morto; il sangue bagna alveoli che contengono una quantità di O_2 che è quella normale, ma che in questi casi diventa insufficiente ad ossigenare tutto il sangue che arriva loro. Se invece l'ipossiemia non viene corretta, o lo è solo parzialmente, si è in presenza di alveoli poco o per niente ventilati (edema, atelettasia) che continuano ad essere perfusi nonostante il riflesso di vasocostrizione ipossica locale: all'atrio sinistro ritorna dal circolo polmonare sangue arterializzato mescolato a sangue ancora venoso (shunt a-v, commistione venosa).

La **PaCO_2** è compresa tra 32 e 48 mmHg (maschi 35-48 mmHg, femmine 32-45 mmHg); poiché il gas diffonde rapidamente attraverso le membrane, la PCO_2 riflette direttamente l'adeguatezza della ventilazione alveolare e gli aumenti o le diminuzioni della PCO_2 definiscono una condizione di acidosi o di alcalosi respiratoria. Gli effetti della CO_2 sull'organismo sono alquanto complessi e non del tutto chiariti. Infatti, l'ipercapnia durante la ventilazione in aria causa ipossiemia, in accordo con l'equazione dell'aria alveolare, ma, contemporaneamente, sposta a destra la curva di dissociazione dell'Hb e induce vasodilatazione con aumento della gettata cardiaca, facilitando così la cessione d'ossigeno ai tessuti. L'ipocapnia, al contrario, facilita l'ossigenazione del sangue, ma determina vasocostrizione, specialmente a carico del circolo cerebrale, e aumenta l'affinità dell'Hb per l'ossigeno, diminuendo la disponibilità per l'organismo e per il cervello in particolare.

Il valore normale del **pH** è compreso fra 7.35 e 7.45. Le fluttuazioni della concentrazione del pH sono smorzate da diversi sistemi tampone, fra i quali il principale è costituito dal sistema bicarbonato/acido carbonico. Gli aumenti o le diminuzioni dei bicarbonati plasmatici (v.n.: 22-31 mmol/L) definiscono una condizione di acidosi o di alcalosi metabolica. Se i bicarbonati vengono misurati anche dopo aver tonometrato il campione a PCO_2 40 mmHg e PO_2 100 mmHg, in tal modo si ottiene la misura dei **bicarbonati standard (SBC)**; v.n. 21-27 mmol/L), eliminando ogni modificazione di carattere respiratorio su un loro aumento o su una loro diminuzione per cause metaboliche. Se a PO_2 , PCO_2 , e pH del sangue arterioso si associa anche la misura dei parametri ossimetrici, può essere valutata l'effettiva disponibilità di ossigeno per i tessuti. La PaO_2 da sola, infatti, consente di misurare correttamente solo l'ossigeno disciolto nel plasma, che è una parte esigua del contenuto totale nel sangue. Infatti, nel calcolo del contenuto di ossigeno nel sangue arterioso (CaO_2) si evidenzia che, in presenza di PaO_2 100 mmHg e 15 g/dl di Hb satura al 100%, l' O_2 legato all'emoglobina è pari a 20.4 ml/dl, mentre quello disciolto nel plasma è di soli 0.3 ml/dl.

Ma una normale concentrazione d'emoglobina non garantisce un normale trasporto di ossigeno, in quanto una parte anche cospicua del totale può essere costituita da carbossemoglobina (COHb, normalmente inferiore al 2% dell'Hb totale) o metaemoglobina (MetHb, normalmente inferiore all'1.5% dell'Hb totale). Nei neonati in generale e nei bambini e adulti con particolari emopatia (ad es. talassemia ed alcune forme di leucemia) può essere di rilevante interesse anche la misura della frazione di emoglobina fetale.

Note la PaO_2 e la saturazione emoglobinica, può essere calcolata la **P_{50}** cioè il parametro che descrive la posizione della curva di dissociazione dell'emoglobina, quindi l'affinità dell'Hb per l'ossigeno (v.n.: 24-28 mmHg). I fattori fisico-chimici che influenzano la P_{50} sono in primo luogo il pH, oltre alla temperatura, la PCO_2 etc. Il controllo della P_{50} consente di verificare l'effetto di trattamenti che possono modificare la posizione della curva di dissociazione (ad es. correzione di pH, PCO_2 o temperatura). Come regola generale, va tenuto presente che uno spostamento a destra della curva di dissociazione dell'emoglobina, causato ad es. da acidosi, diminuisce l'affinità dell'Hb per l'ossigeno, facilitando in tal modo la cessione dell' O_2 a livello periferico, ma ostacolando nel contempo la sua assunzione a livello polmonare (ossigenoterapia). Uno spostamento a

sinistra, all'opposto, facilita l'ossigenazione del sangue in caso di ipossia, ma ostacola il rilascio di O₂. Se all'analisi del sangue arterioso si associa anche quella di un campione di sangue venoso misto prelevato dall'arteria polmonare, la misura della saturazione (SvO₂) e del contenuto in O₂ (CvO₂) consentono di analizzare altri importanti parametri. [Chiaranda M, 2016]

Variabile valutata	Range di normalità
Pressione parziale di anidride carbonica (pCO ₂)	32-48 mmHg
Pressione parziale di ossigeno (pO ₂)	83-108 mmHg
pH	7,35-7,45
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	22-28 mEq/L
Eccesso di basi (BE)	Da -2 a +2 mmol/L
Saturazione di ossigeno (SaO ₂)	94-100%
Cloro (Cl ⁻)	98-107 mEq/L
Sodio (Na ⁺)	135-145 mEq/L
Potassio (K ⁺)	3,5-5,0 mEq/L
Calcio (Ca ²⁺)	8,5-10,5 mg/dL
Glucosio	60-115 mg/dL
Lattati	0.3-1.3 mEq/L

Tabella I. Range di normalità dei valori dell'emogasanalisi nell'adulto

1.3 Le principali alterazioni dell'equilibrio acido-base

Per mantenere l'omeostasi, il corpo umano impiega molti adattamenti fisiologici. Uno di questi è il mantenimento dell'equilibrio acido-base. In assenza di stati patologici, il pH del corpo umano varia tra 7,35 e 7,45, con una media di 7,40. Un pH a questo livello è ideale per molti processi biologici, uno dei più importanti è l'ossigenazione del sangue; un pH inferiore a 7,35 è un'acidemia e un pH superiore a 7,45 è un'alcalemia. A causa dell'importanza di mantenere un livello di pH nell'intervallo ristretto necessario, il corpo umano contiene meccanismi di compensazione [Hopkins E. et al, 2022]. Ogni sistema biologico possiede un sistema tampone (acido debole e base coniugata o base debole ed acido coniugato) per mantenere l'equilibrio acido-base a un pH specifico, da cui le nostre vite dipendono. Un sistema tampone è una soluzione che resiste a una variazione del pH quando vengono aggiunti acidi o basi forti in piccole quantità [Surber C, 2018].

Il corpo umano presenta quattro tipi principali di disturbi a base acida: acidosi metabolica, alcalosi metabolica, acidosi respiratoria e alcalosi respiratoria. Se si verifica una di queste condizioni, il corpo umano dovrebbe indurre un contrappeso sotto forma di una condizione opposta. Ad esempio, se una persona sta vivendo un'acidemia metabolica, il suo corpo tenterà di indurre un'alcalosi respiratoria per compensare. È raro che la compensazione renda il pH completamente normale a 7,4. Quando si usa il termine acidemia o alcalemia, si indica che nel complesso il pH è rispettivamente acido o alcalotico. Sebbene non sia necessario, può essere utile utilizzare questa terminologia per distinguere tra processi individuali e lo stato generale del pH del paziente poiché possono verificarsi più squilibri contemporaneamente [Castro D. et al, 2021]. Una comprensione di base della respirazione a livello cellulare è importante per comprendere l'equilibrio acido-base nel corpo umano. La respirazione cellulare aerobica è necessaria per la vita umana in quanto gli esseri umani sono aerobi obbligati, mentre le singole cellule possono eseguire la respirazione anaerobica per sostenere la vita. Uno dei sottoprodotti della respirazione cellulare aerobica è l'anidride carbonica. L'equazione chimica semplificata che denota la respirazione cellulare aerobica è:

- $C_6H_{12}O_6$ (glucosio) + $6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{energia}$ (38 molecole di ATP e calore)

Il primo stadio della respirazione cellulare è la glicolisi, che prende un glucosio a sei atomi di carbonio e lo scompone in due molecole di piruvato che contengono tre atomi di carbonio ciascuna. La glicolisi utilizza due ATP e crea quattro ATP, il che significa che genera due ATP netti. Questo processo non ha bisogno di ossigeno per avvenire. Poiché i pazienti sono spesso carenti, vale la pena notare che il magnesio è un cofattore per due reazioni nella glicolisi. Alla fine, le molecole di piruvato vengono ossidate ed entrano nel ciclo TCA. Il ciclo TCA genera NADH da NAD⁺, FADH₂ da FAD e due molecole di ATP. È un processo aerobico e richiede ossigeno. Il piruvato viene portato nei mitocondri e forma acetil-CoA con la perdita di anidride carbonica. Questa anidride carbonica in eccesso viene quindi esalata durante il processo di espirazione.

L'ultimo passaggio della respirazione cellulare aerobica è la catena di trasporto degli elettroni (ETC). L'ETC produce la maggior parte dell'ATP creato nella respirazione cellulare con la creazione di 34 molecole di ATP. Perché avvenga la reazione ETC, è necessario ossigeno. Se non c'è abbastanza ossigeno presente, i prodotti della glicolisi procedono a una reazione chiamata fermentazione per produrre ATP. Il sottoprodotto della fermentazione è l'acido lattico. Durante la glicolisi e il ciclo TCA, NAD⁺ viene ridotto a NADH e FAD viene ridotto a FADH₂. La riduzione è caratterizzata da un guadagno di elettroni. Questo è ciò che guida l'ETC. Per ogni singola molecola di glucosio, dieci molecole di NAD⁺ vengono convertite in molecole di NADH, che producono tre molecole di ATP per pezzo nell'ETC.

Questo processo di respirazione cellulare aerobica caratterizza il motivo per cui gli esseri umani hanno bisogno di ossigeno. La respirazione anaerobica consente al corpo di produrre un po' di ATP quando non c'è abbastanza ossigeno presente; tuttavia, il processo genera solo due ATP rispetto ai 38 ATP prodotti con la respirazione aerobica. Le due molecole di ATP per reazione non sono sufficienti per sostenere la vita.

Come notato sopra, l'anidride carbonica viene prodotta come sottoprodotto del ciclo TCA. Questa anidride carbonica è determinante per l'equilibrio acido-base nel corpo che viene dimostrato con la seguente reazione:



L'anidride carbonica formata durante la respirazione cellulare si combina con l'acqua per creare acido carbonico. L'acido carbonico si dissocia quindi in bicarbonato e uno ione idrogeno. Questa reazione è uno dei tanti sistemi tampone nel corpo umano; resiste ai cambiamenti drammatici del pH per consentire a una persona di rimanere all'interno del ristretto intervallo di pH fisiologico. Questo sistema tampone è in equilibrio, cioè tutti i componenti della reazione esistono in tutto il corpo e sono spostati sul lato dell'equazione appropriato per l'ambiente. Questa reazione può e si verifica senza un enzima; tuttavia, l'anidrasi carbonica è un enzima che aiuta in questo processo. Catalizza la prima reazione sopra per formare acido carbonico che può quindi dissociarsi liberamente in bicarbonato e uno ione idrogeno. L'anidrasi carbonica si trova nei globuli rossi, nei tubuli renali, nella mucosa gastrica,

Altri sistemi tampone nel corpo umano includono il sistema tampone fosfato, le proteine e l'emoglobina. Tutti questi contengono basi che accettano ioni idrogeno che impediscono al pH di precipitare. Il sistema tampone fosfato, sebbene presente a livello globale, è importante per la regolazione del pH urinario. Le proteine aiutano con la regolazione del pH intracellulare. I globuli rossi usano la reazione sopra per aiutare a tamponare l'emoglobina; l'anidride carbonica può diffondersi attraverso i globuli rossi e combinarsi con l'acqua. Questo da solo causerebbe un aumento degli ioni idrogeno; tuttavia, l'emoglobina può legare ioni idrogeno. L'emoglobina può anche legare l'anidride carbonica senza questa reazione. Questo dipende dalla quantità di ossigeno che è legato all'emoglobina. Questo è chiamato effetto Haldane e effetto Bohr. Quando l'emoglobina è satura di ossigeno [Patel S, 2021; Brinkman JE, 2021].

Il campionamento dell'emogasanalisi (Arterial Blood Gas, ABG) è un test spesso eseguito per valutare lo stato acido-base di un paziente; il sangue viene analizzato per determinare parametri come pH, pCO₂, pO₂, HCO₃, saturazione di ossigeno e altro. Ciò consente al medico di comprendere meglio lo stato del paziente. Gli ABG sono particolarmente importanti nei malati critici. Sono lo strumento principale utilizzato per adattarsi alle esigenze di un paziente su un ventilatore. I seguenti sono i valori normali più importanti su un ABG:

- pH = da 7,35 a 7,45
- pCO₂ = da 35 a 45 mmHg

- pO_2 = da 75 a 100 mmHg
- HCO_3^- = da 22 a 26 mEq/L
- O_2 = maggiore del 95%

La capacità di leggere in modo rapido ed efficiente un ABG, soprattutto in riferimento alla medicina ospedaliera, è fondamentale per un'assistenza di qualità al paziente.

1. Guarda il pH
2. Decidi se è acido, alcalotico o all'interno del range fisiologico
3. Il livello di $PaCO_2$ determina il contributo respiratorio; un livello alto significa che il sistema respiratorio sta abbassando il pH e viceversa.
4. Il livello di HCO_3^- indica l'effetto metabolico/renale. Un elevato HCO_3^- sta alzando il pH e viceversa.
5. Se il pH è acidotico, cerca il numero che corrisponde a un pH più basso. Se si tratta di un'acidosi respiratoria, la CO_2 dovrebbe essere alta. Se il paziente sta compensando metabolicamente, anche l' HCO_3^- dovrebbe essere alto. Verrà rappresentata un'acidosi metabolica con un HCO_3^- basso.
6. Se il pH è alcalotico, di nuovo, determinare quale valore lo sta causando. Un'alcalosi respiratoria significherà che la CO_2 è bassa; un'alcalosi metabolica dovrebbe fornire un HCO_3^- che è alto. La compensazione con entrambi i sistemi si rifletterà in modo opposto; per un'alcalosi respiratoria la risposta metabolica dovrebbe essere un basso HCO_3^- e per un'alcalosi metabolica, la risposta respiratoria dovrebbe essere un alto CO_2 .
7. Se il livello di pH rientra nell'intervallo fisiologico ma la $PaCO_2$ e/o il bicarbonato non rientrano nei limiti normali, è probabile che vi sia un disturbo misto. Inoltre, la compensazione non si verifica sempre; questo è quando l'informazione clinica diventa fondamentale.

Altri test importanti da eseguire quando si analizza lo stato acido-base di un paziente includono quelli che misurano i livelli di elettroliti e la funzione renale. Questo aiuta il medico a raccogliere informazioni che possono essere utilizzate per determinare l'esatto

meccanismo dello squilibrio acido-base, nonché i fattori che contribuiscono ai disturbi [Rajkumar P, 2018].

Aumento dell'acidosi metabolica del gap anionico

Un'acidosi metabolica primaria, cioè un disturbo acido-base primario, ha molte cause. Questi sono separati in quelli che causano un gap anionico elevato e quelli che non lo fanno. Il gap anionico plasmatico è un modo per aiutare i medici a determinare la causa di un'acidosi metabolica. Quando è presente un'acidosi metabolica, vengono misurati alcuni ioni nel sangue che aiutano a determinare l'eziologia di un'acidemia. Il gap anionico aumenta ogni volta che il bicarbonato viene perso a causa della sua combinazione con uno ione idrogeno che era precedentemente attaccato a una base coniugata. Quando il bicarbonato si combina con uno ione idrogeno, il risultato è acido carbonico (H_2CO_3). La base coniugata può essere qualsiasi ione caricato negativamente che non sia un bicarbonato o un cloruro. La formula per il gap anionico è:

- $[Na] - ([Cl] + [HCO_3])$

Gli esseri umani sono elettricamente neutri, ma tutti i cationi e gli anioni non vengono misurati. Il normale gap anionico è pari a 8 ± 4 . La maggior parte di questo numero è dovuto all'albumina; questo anione non è considerato nella formula, motivo per cui il divario non è più vicino a zero. L'albumina è normalmente di 4 mg/dl. A causa del grande effetto dell'albumina sul gap anionico, se il livello di albumina di un paziente è anormale, il gap anionico previsto non sarà accurato. Questo può essere corretto usando la matematica semplice. Il gap anionico normale e il livello di albumina differiscono di un fattore tre (gap anionico normale di 12, albumina normale di 4 mg/dL). Se un paziente ha un gap anionico di 24, significa che sono presenti 12 unità della base coniugata che normalmente non sarebbero dovute alla combinazione di ioni idrogeno con bicarbonato. Se questo stesso paziente ha un livello di albumina di 3 mg/dl [Burger MK, 2021]

Acidosi metabolica a gap anionico stretto

Se l'acidosi comporta un gap anionico normale, c'è una perdita di bicarbonato piuttosto che un aumento della quantità di ioni idrogeno, con un concomitante aumento di ioni cloruro. Per mantenere uno stato fisiologico neutro, gli ioni cloruro migrano fuori dalle

cellule e nello spazio extracellulare. Ciò fa aumentare il cloruro sierico del paziente e mantiene il gap anionico a un livello normale. Ciò significa che un'acidosi metabolica senza un gap anionico anormale è anche un'acidosi metabolica ipercloremica. Un'acidosi metabolica senza un aumento del gap anionico deriva da molti processi tra cui diarrea grave, acidosi tubulare renale di tipo I (RTA), uso a lungo termine di inibitori dell'anidrasi carbonica e aspirazione del contenuto gastrico. Quando un paziente ha un'acidosi ipercloremica con gap ionico stretto. Quella che segue è l'equazione per il gap anionico nelle urine dove Na è sodio, K è potassio e Cl è cloruro:

- $(Na + K) - Cl$

Il sistema renale tenta di migliorare gli effetti dell'acidosi metabolica patologica espellendo ammonio (NH_4^+) nelle urine. Un UAG compreso tra 20 e 90 mEq/L denota una secrezione di NH_4^+ bassa o normale. Uno tra -20 mEq/L e -50 mEq/L suggerisce che la causa principale dell'acidosi metabolica sia una grave diarrea prolungata.

Un'altra formula importante da utilizzare con l'acidosi metabolica è la formula Winter. Questa equazione fornisce al medico il valore di PCO_2 atteso. Questo è importante perché potrebbe essere presente un altro disturbo acido-base. La formula è:

- $PCO_2 \text{ previsto} = (1,5 * HCO_3) + 8 +/- 2$

Se il valore della PCO_2 rientra nell'intervallo della PCO_2 attesa, non vi è alcun disturbo misto, solo compensazione respiratoria. Quando il valore è inferiore o superiore al previsto, si ha un disturbo misto; più basso significherebbe un'alcalosi respiratoria e più alto un'acidosi respiratoria. Una scorciatoia per la formula Winter è che le ultime due cifre del pH +/- 2 sono circa uguali alla PCO_2 prevista [Berend K, 2017].

Acidosi respiratoria

Durante l'espiazione, l'anidride carbonica prodotta dalla respirazione cellulare viene proiettata nell'ambiente. Nel corpo umano, l'anidride carbonica si combina con l'acqua tramite l'anidrasi carbonica e forma acido carbonico che si dissocia in uno ione idrogeno e bicarbonato. Questo è il motivo per cui una frequenza respiratoria ridotta porterà ad una diminuzione del pH; più anidride carbonica viene espirata, minore è l'anidride carbonica presente per questa reazione. L'acidosi respiratoria come disturbo primario è spesso causata dall'ipoventilazione. Ciò può essere dovuto a molteplici cause, tra cui

broncopneumopatia cronica ostruttiva, abuso/overdose di oppiacei, grave obesità e lesioni cerebrali. Quando si verifica acidosi respiratoria, la risposta metabolica dovrebbe consistere nell'aumentare la quantità di bicarbonato attraverso il sistema renale. Ciò non si verifica sempre e la patologia renale può facilmente ostacolare l'appropriata risposta fisiologica, aumentando il pericolo per il paziente [Raphael KL, 2018].

Alcalosi metabolica

L'alcalosi metabolica può anche essere suddivisa in due categorie principali che aiutano ad accertare la causa: responsiva al cloro vs. non reattiva al cloro. Nell'alcalosi metabolica non responsiva al cloro, il cloruro nelle urine è <20 mEq/L. Alcune cause includono vomito, ipovolemia e uso di diuretici [Raphael KL, 2018].

Alcalosi respiratoria

Qualsiasi patologia che porti all'aumento dell'espiazione di anidride carbonica può provocare alcalosi respiratoria. Quando l'eccesso di CO₂ è scaduto, il pH del corpo umano aumenta a causa della minore produzione di acido carbonico. Fisiologicamente, la compensazione appropriata è una ridotta quantità di bicarbonato creata dal sistema renale. Alcune cause di alcalosi respiratoria includono attacchi di panico con iperventilazione, embolia polmonare, polmonite e intossicazione da salicilati [Raphael KL, 2018].

CAPITOLO 2: LE COMPETENZE INFERMIERISTICHE

2.1 Indicazioni alla puntura arteriosa

Prima di eseguire il prelievo di sangue arterioso, è raccomandato controllare che il paziente non sia in terapia anticoagulante e non abbia problemi di coagulazione o traumi locali e posizionarlo, se possibile, seduto in posizione semifowler o in alternativa supino con il braccio su una superficie piatta e il polso iperesteso a 60° [Di Giulio P, 2012]. Dopo aver eseguito il lavaggio sociale delle mani e aver indossato i guanti e i dispositivi di protezione individuale, in caso di puntura dell'arteria radiale, si identifica tramite palpazione il decorso dell'arteria a livello prossimale e distale rispetto alla sede di puntura e si pratica il test di Allen [Dhingra N. et al, 2010] che è utilizzato per valutare il flusso sanguigno collaterale all'interno delle mani, in particolare per verificare la presenza di un arco palmare completo [Bartella AK. et al, 2019]. La siringa è sottovuoto e quindi va preparata e mantenuta con lo stantuffo in fase d'aspirazione [Stocchero M. et al, 2001].

Una volta determinato il decorso dell'arteria, si esegue la disinfezione del sito di puntura; quando il disinfettante si è asciugato si spostano le dita prossimalmente di circa 2 cm e si esegue la puntura a livello distale oppure si allontanano di 3-4 cm e si esegue la puntura nello spazio tra le due dita. La siringa va tenuta come se si tenesse una matita con la parte smussa dell'ago verso l'alto; l'ago va inserito con un angolo di 35-40° rispetto alla superficie cutanea. Quando il sangue comincia a defluire si deve arrestare la progressione dell'ago e tenere la siringa ferma finché non si è ottenuto il campione necessario, solitamente 2-3 ml [Trulock EP, 1990]. Si deve lasciare che il sangue fluisca liberamente all'interno della siringa senza aspirare, per evitare emolisi che determinerebbe un importante incremento del potassio ed una diminuzione del calcio ionizzato [Stocchero M. et al, 2001].

Quando è presente una linea endovascolare arteriosa i campioni di sangue arterioso vanno tratti da questa e non mediante la puntura dell'arteria [Flenley DC, 1980]. In caso di prelievo da accesso arterioso con sistema aperto, dopo aver eseguito il lavaggio sociale delle mani e dopo aver indossato i guanti e i D.P.I., si disinfetta la via di accesso. Si connette quindi la siringa sterile da 5 mL alla porta di accesso del tre vie, si apre la via e si aspira in modo da scartare il sangue contaminato dalla soluzione di lavaggio. Si chiude la via ruotando il rubinetto, si rimuove e si smaltisce nei rifiuti la siringa con lo scarto. Si

connette la siringa da emogas e si riapre la linea arteriosa; si attende che la siringa si riempia adeguatamente, quindi si chiude la via e si rimuove la siringa. Infondere circa 1-1,5 mL di soluzione di irrigazione nel catetere per assicurare che venga liberato dal sangue. In caso di sistema chiuso dopo il lavaggio delle mani e dopo aver indossato i guanti e i D.P.I., si aspira il campione di scarto con l'ausilio del reservoir del circuito e si chiude la via di lavaggio. Si disinfetta la via di accesso e si connette la siringa da emogas attendendo che si riempia adeguatamente; si rimuove perciò la siringa [Cucchi A et al, 2011].

2.2 La corretta procedura per il prelievo di sangue arterioso (EGA)

1. Procurarsi tutto il materiale necessario previo controllo della data di scadenza:
 - Kit per emogasanalisi o siringa eparinata da 10 ml con ago da 22 G
 - Tappino per siringa da emogasanalisi
 - Garze sterili
 - Cerotto adesivo
 - Tampone per disinfezione con Clorexidina al 2%
 - Guanti non sterili
 - Altri DPI (se indicato)
 - Supporto cilindrico per polso
2. Controllare la prescrizione per l'esecuzione dell'emogasanalisi, informare e spiegare al paziente la procedura da effettuare e raccogliere il suo consenso.
3. Eseguire l'igiene antisettica delle mani e indossare i dispositivi per la protezione individuale, identificare il paziente e confermare la sua identità. Garantire la privacy.
4. Mettere un contenitore per i rifiuti a portata di mano. Se il paziente è a letto bisogna chiedergli di mettersi supino con la testa leggermente sollevata e con le braccia lungo i fianchi. Al paziente ambulatoriale bisogna chiedere di sedersi su una sedia e di appoggiare il braccio sopra ad un poggia braccio o sopra un tavolo. Mettere un supporto cilindrico sotto il polso come ausilio all'iperestensione.

5. Localizzare l'arteria radiale, palpanola leggermente per avvertire un polso forte. Pulire il sito con tampone antimicrobico. Se si usa la clorexidina frizionare delicatamente per circa 30 secondi. Lasciare asciugare la cute. Dopo la disinfezione il sito non deve essere palpato a meno che non si indossino guanti sterili.
6. Stabilizzare la mano con il polso esteso e con il palmo rivolto verso l'alto. Palpare l'arteria sopra il sito della puntura con l'indice e il medio della mano non dominante, mentre si tiene la siringa con la mano dominante sopra il sito della puntura. Non toccare direttamente l'area che deve essere punta.
7. Tenere l'ugatura dell'ago verso l'alto con un angolo di 45-60 gradi rispetto al sito del massimo battito radiale, con la siringa parallela al decorso dell'arteria.
8. Pungere la cute e l'arteria contemporaneamente. Osservare il reflusso di sangue nella siringa. Il sangue pulsante refluirà nella siringa. Non tirare lo stantuffo. Riempire la siringa fino a 5 ml.
9. Dopo aver effettuato il prelievo bisogna ritirare la siringa mentre la mano non dominante si inizia a comprimere il punto della puntura arteriosa con la garza. Comprimere fortemente fino a che il flusso di sangue si ferma o per almeno cinque minuti. Se il paziente è in terapia anticoagulante o ha una discrasia sanguigna applicare la pressione per 10-15 minuti. Se necessario, chiedere ad un assistente di supporto di tenere le garze in situ mentre si prepara il campione per trasportarlo all'emogasanalizzatore ma non chiedere mai al paziente di tenere le garze.
10. Quando il sanguinamento si arresta ed è passato un congruo lasso di tempo, applicare un bendaggio adesivo o una piccola medicazione compressiva.
11. Inserire la protezione per l'ago. Mettere il cappuccio a tenuta d'aria sulla punta della siringa. Ruotare delicatamente la siringa per assicurare una buona distribuzione dell'eparina. Non agitare. Smaltire l'ago nel contenitore per gli oggetti taglienti ed eseguire l'igiene delle mani. [Lynn P, 2016]

2.3 I punti di reperi per il prelievo arterioso: il Test di Allen

Diverse arterie possono essere utilizzate per il prelievo di sangue per emogasanalisi ma l'unica che l'infermiere può utilizzare è la radiale: questa è un'arteria di piccole dimensioni e pertanto richiede manualità nel reperirla; tuttavia è l'arteria più facile da isolare grazie all'iperestensione del polso che ne permette la superficializzazione e la stabilizzazione [Di Giulio P, 2012]. Le arterie brachiale e femorale rispetto alla radiale presentano svantaggi notevoli di utilizzo: sono meno superficiali, più difficili da localizzare, hanno circoli collaterali più poveri e sono circondate da strutture che potrebbero essere danneggiate da una tecnica di prelievo difettosa [Dhingra N. et al, 2010]; inoltre la femorale presenta un maggior rischio di infezioni, è spesso imbarazzante per il paziente (poiché presuppone che la zona inguinale sia scoperta) ed è usuale l'accidentale prelievo di sangue venoso. [Flenley DC. et al, 1980]

Una volta localizzata l'arteria radiale, prima di effettuare il prelievo, è raccomandata l'esecuzione del *Test di Allen*: il test di Allen (AT) viene utilizzato per valutare il flusso sanguigno collaterale all'interno delle mani, in particolare per verificare la presenza di un arco palmare completo [Bartella AK. et al, 2019]. Edgar Van Nuys Allen descrisse per la prima volta il test nel 1929 [Allen EV, 1942]. Il dottor Allen era professore di medicina presso la Mayo Clinic di Rochester, Minnesota, dove ha studiato malattie vascolari periferiche. Ha servito come colonnello nel corpo medico dell'esercito degli Stati Uniti durante la seconda guerra mondiale e ha condotto una carriera illustre che includeva la presidenza dell'American Heart Association e il ricevimento del Lasker Award nel 1960. Nel 1952, Irving Wright descrisse una versione modificata del test di Allen che da allora ha ampiamente soppiantato il metodo originale. È indicato come il test di Allen modificato (MAT). Il MAT esamina una mano alla volta, in contrasto con la versione di Allen, e può essere utilizzato per valutare il flusso arterioso radiale o ulnare [Romeu-Bordas O. et al, 2017].

L'afflusso di sangue alle braccia è trasportato dalle arterie succlavie sinistra e destra, che derivano dall'arco dell'aorta, la sinistra direttamente e la destra attraverso l'arteria brachiocefalica, o anonima. Le arterie succlavie scorrono quindi sotto la clavicola e diventano le arterie ascellari mentre superano i margini laterali delle prime costole. Da lì, le arterie ascellari diventano le arterie brachiali dopo aver superato i muscoli grandi del

rotondo; quindi forniscono sangue alla parte superiore del braccio, proseguendo distalmente alla fossa antecubitale dove si dividono nelle arterie radiale e ulnare. Le arterie radiale e ulnare forniscono il flusso sanguigno all'avambraccio e infine alla mano. L'arteria radiale corre lungo la faccia laterale dell'avambraccio tra i muscoli brachioradiale e flessore radiale del carpo. Appena distale al polso, si divide in rami palmari superficiali e profondi. L'arteria ulnare corre lungo l'aspetto mediale dell'avambraccio e al polso attraversa il canale di Guyon, dove si divide nei suoi rami palmari profondi e superficiali. Questi archi costituiscono la base del flusso sanguigno collaterale alle mani [Lahiri A. et al, 2020]. L'arco palmare profondo è classicamente descritto come originato dall'arteria radiale, con o senza contributi dell'arteria ulnare. L'arco superficiale è prevalentemente fornito dall'arteria ulnare [Gokhroo R. et al, 2016]. L'arco profondo della mano è più comunemente anatomicamente completo; quindi, è più probabile che l'arteria radiale fornisca l'afflusso di sangue dominante, sebbene l'arteria ulnare sia sufficiente per perfondere la mano nel 97% dei casi [Patsalis T. et al, 1997].

La necessità di questo test sorge nei casi in cui si sta prendendo in considerazione una procedura che potrebbe compromettere la pervietà dell'arteria radiale che se deve essere incanalata o cateterizzata e c'è un rischio di trombosi, il test di Allen può aiutare a confermare che la mano manterrà un flusso sanguigno adeguato attraverso l'arteria ulnare e i collaterali nel caso in cui l'arteria radiale si occluda [Moretti C. et al, 2011]. Un test di Allen positivo significa che il paziente potrebbe non avere un adeguato doppio apporto di sangue alla mano, il che sarebbe una controindicazione per il cateterismo o qualsiasi procedura che potrebbe causare l'occlusione del vaso [Bertrand OF. et al, 2014]

Il test di Allen (AT) può essere eseguito solo con le mani di un medico, anche se in alcuni casi può essere utile una sonda Doppler posizionata sull'eminanza tenare o un pulsossimetro posizionato sul pollice, in particolare se un paziente presenta il fenomeno di Reynaud con mani fredde e pallide. Il test originale viene eseguito chiedendo al paziente di elevare entrambe le braccia sopra la testa per trenta secondi in modo da dissanguare le mani. Successivamente, il paziente stringe le mani in pugni stretti e l'esaminatore occlude l'arteria radiale contemporaneamente su entrambe le mani. Il paziente apre quindi entrambe le mani rapidamente e l'esaminatore confronta il colore dei palmi. Il pallore iniziale deve essere sostituito con il colore normale delle mani poiché le

arterie ulnari ripristinano la perfusione. Il test viene quindi ripetuto occludendo le arterie ulnari anziché le arterie radiali. Il tempo necessario per il ritorno del colore normale dovrebbe indicare il grado di flusso sanguigno collaterale. Il test è negativo quando c'è un ritorno del colore normale a entrambe le mani durante l'occlusione di una sola arteria. Il test di Allen Modificato (MAT) differisce dal test di Allen originale principalmente esaminando le arterie radiali e/o ulnari in una mano e poi ripetendo sull'altro lato, se necessario. Tradizionalmente, viene eseguita prima avendo il braccio del paziente flesso all'altezza del gomito con il pugno serrato strettamente per dissanguare la mano. Le arterie ulnare e radiale vengono quindi compresse simultaneamente dai pollici dell'esaminatore. Il gomito è esteso a non più di 180 gradi, evitando una sovraestensione in quanto ciò potrebbe portare a un test falso positivo. Il pugno viene successivamente aperto e il palmo dovrebbe apparire bianco. La compressione viene quindi rilasciata dall'arteria ulnare mantenendo la pressione sull'arteria radiale. Una volta rilasciata la compressione, il colore dovrebbe tornare al palmo, di solito entro 10 secondi. Sebbene non ci siano complicazioni che potrebbero verificarsi dall'uso di questa semplice manovra di esame fisico, la più temuta che può essere evitata eseguendo un AT o un MAT è l'ischemia catastrofica della mano e la successiva perdita di tessuto se l'arteria radiale viene interrotta e l'arteria ulnare è insufficiente per mantenere la perfusione della mano. Nel caso in cui l'interruzione iatrogena del flusso sanguigno arterioso radiale porti a ischemia della mano, potrebbe essere necessario ricostruire l'arteria con anastomosi primaria o con un innesto venoso [Habib J. et al, 2012].

2.4 Controindicazioni assolute e relative alla puntura arteriosa

L'emogasanalisi è un esame frequentemente usato nella pratica clinica per la valutazione di diverse patologie. Le indicazioni più comuni includono malattie gravi con cambiamenti fisiopatologici che alterano l'equilibrio degli scambi gassosi e/o acido-base. Tale analisi è comunemente usata per la valutazione dei pazienti critici; tuttavia ciò non significa necessariamente che essa sia fondamentale nell'assistenza di tutti i pazienti critici. Una caratteristica delle terapie intensive è il sovra utilizzo dell'emogasanalisi anche in casi in cui vi è ampia evidenza che la frequenza dei controlli potrebbe essere ridotta senza apparenti effetti negativi [Baird G, 2013].

Le indicazioni per l'emogasanalisi includono la necessità di:

- valutare la ventilazione del paziente, lo stato acido-base, l'ossigenazione, la capacità di trasporto dell'ossigeno e lo scambio di gas intrapolmonare
- verificare la risposta del paziente ad interventi terapeutici
- monitorare la gravità e la progressione di un processo patologico
- valutare l'inadeguatezza della risposta circolatoria [Davis MD, 2103]

Nei pazienti in terapia intensiva, l'emogasanalisi è spesso usato per la gestione dei soggetti in ventilazione meccanica al fine di valutarne l'ossigenazione, la ventilazione e l'adattamento al ventilatore. Una pratica clinica comune tra i medici di terapia intensiva è la richiesta ogni mattina di un'emogasanalisi per i pazienti intubati e la richiesta del test dopo eventuali modifiche dei parametri di ventilazione e ogni qualvolta il personale medico lo giudichi necessario sulla base di altri parametri clinici. L'ossimetria non invasiva e la capnometria sono solitamente usate per il monitoraggio continuo del paziente ma non sono considerate validi sostituti all'emogasanalisi il quale è preferito per la valutazione definitiva della ventilazione e dell'ossigenazione [Baird G, 2013].

Tra le controindicazioni all'esecuzione di un'emogasanalisi vi sono:

- diatesi emorragica con conta di piastrine inferiore a 30000/mm³ [Trulock EP, 1990].
- disturbi dei fattori di coagulazione o overdose da anticoagulanti (come l'eparina) [Flenley DC, 1980].
- campione di sangue mantenuto a temperatura ambiente per più di 30 minuti; campione non adeguatamente etichettato, riportante dati incompleti o con mancata indicazione della data e ora di campionamento [Davis MD, 2013].
- presenza di infiammazione, infezione o assenza di integrità cutanea nel sito di prelievo selezionato; inoltre il prelievo dall'arteria radiale è controindicato nel caso di *Test di Allen* anomalo [Davis MD, 2013].

2.5 Le possibili complicanze della puntura arteriosa

La puntura arteriosa può determinare delle potenziali complicanze severe; le più frequenti sono:

- *Arteriospasma*. Per prevenire ciò il paziente va aiutato a rilassarsi, va posizionato in modo confortevole e va spiegata la procedura;

- *Ematoma o sanguinamento eccessivo.* Per prevenirli bisogna evitare di inserire l'ago pungendo un punto lontano dal vaso sanguineo e bisogna applicare una compressiva simultaneamente alla rimozione dell'ago; il rischio maggiore si ha nei pazienti in terapia anticoagulante, con alterazioni piastriniche, emofilici, con insufficienza epatica e con deficit di vitamina K. Dopo aver eseguito la puntura su questi pazienti e dopo aver lasciato in sede la medicazione compressiva per almeno 10 minuti è raccomandato di verificare se fuoriesce del sangue dal sito di prelievo. In tal caso il paziente è a rischio di sviluppare ematomi e per questo bisogna lasciare in sede la medicazione per almeno altri 10 minuti;
- *Danni ai nervi.* Possono essere causati da lesioni delle terminazioni nervosi prossimali alle arterie; per evitarli scegliere con attenzione il sito di puntura e non riposizionare l'ago una volta che lo si è inserito;
- *Episodi vasovagali.* Problemi legati alla stimolazione del nervo vago possono determinare un calo della pressione sanguinea e un collasso; per evitare ciò è necessario posizionare il paziente supino con le gambe leggermente sollevate rispetto alla testa;
- *Infezioni.* Sono evitabili mantenendo una corretta preparazione della sede di puntura, una adeguata asepsi durante la manovra e seguendo le raccomandazioni sulla tecnica di puntura;
- *Occlusione del vaso.* È una complicanza meno prevedibile; per evitarla si raccomanda il corretto inserimento dell'ago e di ridurre la manipolazione dell'ago una volta inserito;
- *Lacerazione del vaso.* Per prevenirla evitare l'eccessiva manipolazione dell'ago quando la parte smussata è al di sotto della superficie cutanea. La lacerazione va sospettata quando vi è un'emorragia che non si arresta con la compressione [Di Giulio P. et al, 2012].

2.6 Lo stato dell'arte ad oggi circa la responsabilità infermieristica alla procedura

La puntura arteriosa costituisce una procedura che viene eseguita frequentemente nella pratica clinica, quindi come tale, ogni operatore si pone domande sul corretto svolgimento e sulle conseguenze in termini di obiettivi per il paziente. Per comprendere le responsabilità dell'infermiere nell'esecuzione della puntura arteriosa bisogna partire dal D.M. n.739 del 14 settembre 19943 dove l'infermiere entra a far parte delle professioni sanitarie e, come tale, risponde di responsabilità proprie. Nel 1999 con la legge n°42 venne abrogato il "mansionario" e divenne necessario istituire il campo proprio delle attività e responsabilità dell'infermiere riconducibili a:

- Profilo professionale
- Ordinamento didattico del rispettivo corso laurea e formazione post base
- Codice Deontologico

Dalla suddetta legge si evince che la responsabilità dell'infermiere è determinata dal livello di competenza raggiunto e dalla capacità di riconoscere i limiti delle proprie competenze, declinando la responsabilità qualora ritenga di non poter agire in sicurezza. Inoltre ha il dovere e il diritto di chiedere formazione e supervisione per le nuove pratiche e/o tecniche sulle quali non ha sufficiente esperienza [Di Santo S, 2016].

Vista l'assenza di confini ben definiti riguardo alla responsabilità infermieristica sul prelievo arterioso e il progredire delle competenze professionali infermieristiche in linea con il progresso della medicina, è stato necessario fare chiarezza facendo riferimento al parere espresso dalla Sessione XLV del Consiglio Superiore di Sanità del 23 giugno 2005 grazie al quale si è potuto definire che la tecnica del prelievo arterioso dall'arteria radiale per emogasanalisi è:

1. Illustrata allo studente infermiere per la sola osservazione, in quanto ritenuta tecnica avanzata da apprendersi nella formazione post laurea;
2. Appresa dall'infermiere nell'esercizio dalla propria attività, dopo il conseguimento dell'abilitazione alla professione e sul campo, negli specifici reparti, dove questa tecnica è praticata in forma routinaria;

3. Praticata dall'infermiere indifferentemente anche a livello femorale o brachiale, fino ad acquisirne una appropriata manualità, a seguito di adeguato addestramento;
4. Possa configurarsi come atto non esclusivamente medico ma anche di competenza dell'infermiere;
5. Relativamente semplice e di grande utilità e, tuttavia, non è scevra da rischi e complicanze;
6. Sia stata acquisita dall'infermiere con completa competenza, secondo le modalità definite dalle vigenti normative in materia di profilo ed attività professionali, ordinamenti didattici e deontologia;
7. Sia regolamentata sempre, per le correlate implicazioni sia mediche che infermieristiche, dall'esistenza nell'U.O. o nella struttura sanitaria di riferimento di un protocollo operativo correttamente redatto, condiviso ed approvato, che sia in grado di:
 - assicurare la buona pratica di tecnica del prelievo arterioso dall'arteria radiale per emogasanalisi;
 - garantire l'adozione di ogni utile misura di prevenzione delle complicanze e del necessario trattamento nonché la tempestiva gestione dei rischi connessi [Consiglio Superiore di Sanità, 2005].

L'esercizio abusivo della professione medica da parte degli infermieri si verifica laddove vengano compiuti atti da considerarsi tipici ed esclusivi della professione medica. Sull'esecuzione del prelievo arterioso, il 23 Gennaio 2005, il Consiglio Superiore di Sanità del Ministero della Salute, ha espresso il proprio parere favorevole in merito, ponendo due condizioni vincolanti all'espletamento della specifica attività assistenziale:

- L'infermiere deve avere acquisito la completa competenza, secondo normativa vigente (L.42/1999 art. 1 punto 2 comma 2).
- Nella struttura di riferimento deve essere presente un protocollo operativo condiviso ed approvato che sia in grado di assicurare la buona pratica di tecnica del prelievo arterioso dall'arteria radiale per emogasanalisi e che garantisca l'adozione di ogni

utile misura di prevenzione delle complicanze e del necessario trattamento, nonché la tempestiva gestione dei rischi connessi.

Definire l'abuso di professione medica da parte degli infermieri, è difficile, la casistica giurisprudenziale è limitata e paradossale e per questo il caso va valutato di volta in volta. Né in dottrina, né in giurisprudenza esistono definizioni di atto medico; la soluzione va quindi cercata nel disposto dell'interpretazione della legge 42/1999 che costringe ad interpretare in maniera puntuale il termine "competenza", da intendersi come complesso di conoscenze e capacità più che come compito o pertinenza. Un'attività quindi risulta essere di competenza esclusivamente medica laddove il sapere e le esperienze di questa professione sono in grado di svolgere una determinata attività e/o di risolvere un particolare problema di salute di una persona [Benci L, 2019].

CAPITOLO 3: REVISIONE DELLA LETTERATURA

3.1 Introduzione

L'analisi point-of-care è sempre più applicata nella scena preospedaliera. Ottenere un elettrocardiogramma e iniziare la trombolisi è ormai una parte consolidata del trattamento preospedaliero nell'occlusione coronarica [M.C. Peterson et al, 2012]. Sempre più spesso, l'ecografia viene applicata in fase preospedaliera [B.P. Nelson et al, 2015] e la tomografia computerizzata preospedaliera della testa e la conseguente trombolisi in caso di ictus si sta probabilmente avvicinando come modalità di trattamento [M.R. Hov et al, 2015]. L'analisi preospedaliera dei campioni di sangue per parametri selezionati è già applicata in alcune circostanze, in particolare la misurazione della glicemia, ma anche la troponina e il lattato vengono misurati in fase preospedaliera [C. Stengaard et al, 2013]. Tuttavia, l'emogasanalisi completa nei servizi pre-ospedalieri richiede una configurazione più ampia di quella descritta in precedenza; è, quindi, una delle tante nuove iniziative che si aggiungono agli strumenti diagnostici preospedalieri [Soren Mikkelsen et al, 2015].

3.2 Obiettivi

L'obiettivo del presente studio è quello di revisionare gli studi pubblicati relativi al possibile implemento dell'emogasanalizzatore in emergenza pre-ospedaliera, con l'obiettivo di migliorare sensibilmente l'assistenza al paziente attraverso l'identificazione preventiva della patologia.

Per effettuare un quesito di ricerca adeguato è stato utilizzato il metodo **P.I.C.O.** il quale risponde alla seguente domanda: *l'implemento dell'emogasanalisi in ambito pre-ospedaliero può migliorare sensibilmente l'assistenza in emergenza?*

- **P (paziente):** paziente in emergenza pre-ospedaliera
- **I (intervento):** migliorare l'assistenza in emergenza
- **C (confronto):** /
- **O (outcome):** assistenza sensibilmente migliorata in emergenza pre-ospedaliera

3.3 Materiali e metodi

3.3.1 Disegno di studio

È stata effettuata una revisione narrativa della letteratura degli studi primari indicizzati.

3.3.2 Strategie di ricerca

Per la strategia di ricerca è stato interrogato il database MEDLINE (attraverso PubMed e Cinahl) e GOOGLE SCHOLAR; i termini utilizzati per la ricerca sono stati: **Blood Gas Analysis, Emergency, Ambulance, Prehospital blood gas analysis, Diagnostic aids on the prehospital scene**

Tali termini sono stati utilizzati sia per la ricerca libera che per termini MeSH, sia singolarmente che in combinazione con l'operatore booleano "AND" per formulare le seguenti stringhe di ricerca:

- Blood Gas Analysis AND Emergency
- Blood Gas Analysis AND Ambulance
- Prehospital blood gas analysis AND Diagnostic aids on the prehospital scene

BANCHE DATI	STRINGA DI RICERCA	RISULTATI OTTENUTI
PubMed	Blood Gas Analysis AND Emergency	32
PubMed	Blood Gas Analysis AND Ambulance	42
Cinahl	Blood Gas Analysis AND Emergency	11
Cinahl	Blood Gas Analysis AND Ambulance	7

Google Scholar	Prehospital blood gas analysis AND Diagnostic aids on the prehospital scene	104
----------------	---	-----

Tabella II. Risultati ottenuti dalla ricerca mediante stringhe di ricerca

3.3.3 Criteri di inclusione ed esclusione

I criteri di inclusione degli studi sono stati i seguenti:

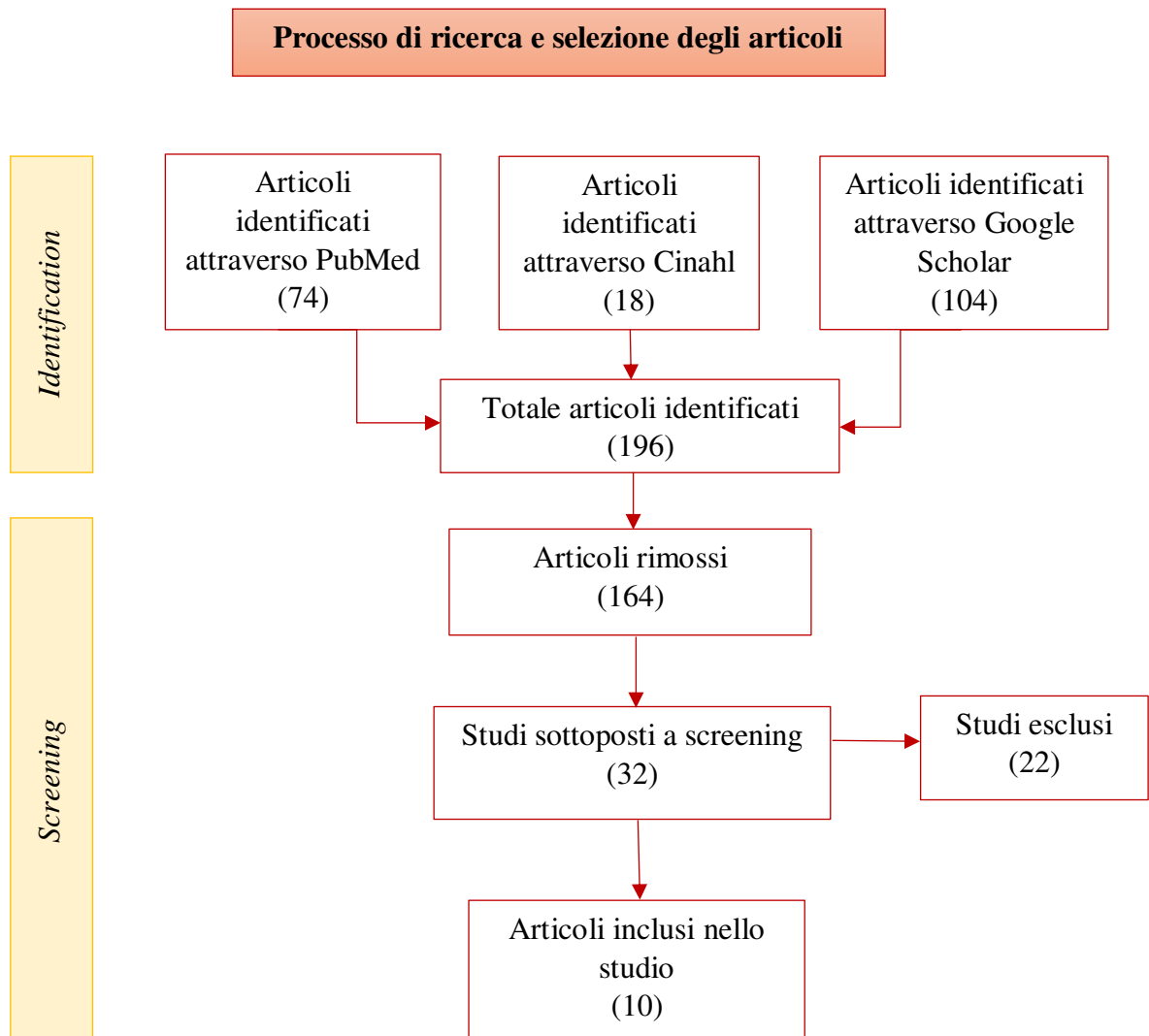
- Campioni che includono esclusivamente pazienti in emergenza pre-ospedaliera
- Campioni che includono esclusivamente pazienti sottoposti ad emogasanalisi

Sono stati esclusi invece dallo studio i pazienti sottoposti ad emogasanalisi in ricovero ospedaliero ordinario ed i pazienti in emergenza pre-ospedaliera che non necessitano di emogasanalisi.

3.3.4 Screening degli articoli

La selezione degli studi è stata condotta attraverso uno screening iniziale dei titoli e degli abstract, al fine di identificare i potenziali articoli rilevanti. Successivamente, è stato effettuato uno screening di tutti gli articoli in full text identificati come rilevanti dalla selezione iniziale. La scelta degli articoli per la revisione è emersa dagli abstract e dai titoli di 196 studi totali; di essi 10 studi hanno rispecchiato le caratteristiche di inclusione.

3.3.5 Flow Chart



3.3.6 Sintesi dei dati

Le caratteristiche degli articoli sono state inserite in unica tabella, prima di presentare i risultati attinenti lo scopo del presente studio, al fine di esplicitare: titolo, autore/i, anno di pubblicazione, disegno di studio, campione/setting di studio e risultati principali.

3.4 Risultati

Dai titoli e dagli abstract dei 196 studi selezionati 32 articoli sono stati considerati eleggibili per la revisione, in quanto conformi ai criteri di inclusione. Con la successiva consultazione in full text, ne sono stati eliminati 22, poiché non rispondevano alla

domanda guida del presente studio e non erano, quindi, concordi con i criteri di inclusione; pertanto sono stati inclusi 10 articoli; tutti gli studi sono in lingua inglese.

TITOLO, AUTORE, ANNO e DISEGNO DI STUDIO	OBIETTIVO	SETTING DI STUDIO	RISULTATI
<p>“Implementation of the ABL-90 blood gas analyzer in a ground-based mobile emergency care unit”</p> <p>Søren Mikkelsen et al, 2015</p> <p>Studio osservazionale</p>	<p>La capacità di eseguire un'emogasanalisi arteriosa rapida e accurata sul posto ha notevolmente migliorato le possibilità diagnostiche dell'unità mobile di emergenza, poiché è stata così resa possibile la diagnosi di diverse condizioni in cui una diagnosi rapida e una successiva terapia è vitale.</p>	<p>Cittadini di Odense, in Danimarca, per un periodo di 18 mesi.</p>	<p>Nei pazienti con presunto shock settico o setticemia, l'analisi del lattato e del pH in molti casi ha consentito di stabilire la diagnosi in fase preospedaliera; in diversi casi, i pazienti sospettati di esposizione ad avvelenamento da monossido di carbonio sono stati rilasciati sulla scena, ovviando così al ricovero in ospedale; nei pazienti con esacerbazione della broncopneumopatia cronica ostruttiva, l'emogasanalisi ha aiutato il medico sul posto a indirizzare meglio la terapia del paziente.</p>
<p>“Diagnostic value of prehospital arterial blood gas measurements - a</p>	<p>Lo scopo di questo studio era di stabilire se l'accesso all'emogasanalisi arteriosa</p>	<p>Sono stati confrontati due gruppi di pazienti adulti pre-ospedalieri con</p>	<p>Un totale di 102 pazienti è stato analizzato nel gruppo emogasanalisi (gruppo ABG), mentre 120 pazienti sono stati analizzati nel</p>

<p>randomised controlled trial”</p> <p>Stine T. Zwisler et al, 2019</p> <p>Studio randomizzato controllato</p>	<p>aumentasse l'accuratezza diagnostica preospedaliera degli anestesisti preospedalieri. Inoltre, abbiamo studiato se l'emogasanalisi preospedaliera ha portato a interventi terapeutici che non sarebbero stati effettuati se l'emogasanalizzatore arterioso non fosse stato disponibile.</p>	<p>malattia critica acuta. Tutti i pazienti hanno ricevuto cure preospedaliere standard. Nel gruppo di intervento, un campione di emogasanalisi è stato analizzato in fase preospedaliera. Un totale di 310 pazienti sono stati inclusi nello studio.</p>	<p>gruppo di terapia standard (gruppo noABG). In 78 dei 102 pazienti nel gruppo ABG, il medico preospedaliero ha riferito che l'analisi ABG ha aumentato la precisione diagnostica percepita. In 81 casi nel gruppo noABG, la mancanza di emogasanalisi è stata percepita come una ridotta accuratezza diagnostica. L'affermazione che l'analisi dell'emogasanalisi aumentasse l'accuratezza diagnostica, tuttavia, non poteva essere motivata in quanto non vi era alcuna differenza nel numero di diagnosi non specifiche tra i gruppi.</p>
<p>“Laboratories on the Move: Blood Gas Analysis”</p> <p>Virginia Randolph et al, 2000</p> <p>Studio osservazionale</p>	<p>Abbiamo valutato le prestazioni di uno strumento portatile per la misurazione di pH, PCO₂ e PO₂ durante il trasporto terrestre e aereo di pazienti in terapia intensiva. Abbiamo</p>	<p>Università di Alabama, Birmingham.</p>	<p>I dati di controllo hanno mostrato che lo strumento ha funzionato altrettanto bene su un'ambulanza in movimento e su un aereo a reazione come se fosse in posizione stazionaria a terra. I risultati duplicati dei campioni dei pazienti hanno mostrato una buona</p>

	<p>determinato l'accuratezza e la precisione analizzando i materiali di controllo con valori noti ed eseguendo analisi duplicate dei campioni dei pazienti.</p>		<p>correlazione. La precisione era leggermente inferiore nei veicoli in movimento rispetto a quella a terra, ma sembrava adeguata per le decisioni mediche. I nostri risultati indicano che questo analizzatore produce risultati accettabili di emogasanalisi nei veicoli in movimento.</p>
<p>“Preclinical blood gas analysis; the value of preclinical blood gas analysis”</p> <p>G. Prause et al, 1998</p> <p>Studio prospettico osservazionale</p>	<p>L'emogasanalisi preospedaliera è un nuovo metodo nell'assistenza di emergenza extraospedaliera. Questo studio vuole valutare la fattibilità della compensazione preospedaliera dell'acidosi grave basandosi su diversi sistemi di monitoraggio per valutare rispettivamente l'ossigeno, l'anidride carbonica o lo stato acido-base dei pazienti.</p>	<p>Durante il periodo di osservazione sono state effettuate 26 emogasanalisi di pazienti sottoposti a rianimazione extraospedaliera per arresto cardiaco.</p>	<p>L'emogasanalisi si è rivelata utile nella gestione ottimale dell'arresto cardiaco extraospedaliero. L'incidenza di acidosi grave nei pazienti sottoposti a rianimazione cardiopolmonare è stata dell'80%. È stato riscontrato che la probabilità di sviluppare acidosi aumenta leggermente a seconda del tempo trascorso dall'inizio della RCP. La gestione dell'arresto cardiaco preospedaliero potrebbe essere ottimizzata mediante l'uso di routine dell'emogasanalisi.</p>

<p>“The role of pre-hospital blood gas analysis in trauma resuscitation”</p> <p>Milla Jousi et al, 2010</p> <p>Studio prospettico randomizzato</p>	<p>Questo studio ha lo scopo di valutare se le misurazioni dei gas nel sangue arterioso durante la rianimazione con shock pre-ospedaliero di un paziente traumatizzato forniscano informazioni utili sulla risposta emodinamica alla rianimazione con fluidi, confrontando le variabili emodinamiche e di gas nel sangue nei pazienti sottoposti a due diversi regimi di rianimazione con fluidi.</p>	<p>In uno studio prospettico randomizzato su 37 pazienti traumatizzati a rischio di grave ipovolemia, i valori dell'emogasanalisi sono stati analizzati sul luogo dell'incidente e al momento del ricovero in ospedale. I pazienti sono stati randomizzati a ricevere la fluidoterapia convenzionale o 300 ml di soluzione salina ipertonica. I gruppi sono stati confrontati per variabili demografiche, gravità delle lesioni, fisiologiche e di esito.</p>	<p>Sono stati inclusi 37 pazienti. Il punteggio medio (DS) del trauma rivisto (RTS) era 7,3427 (0,98) e il punteggio di gravità dell'infortunio (ISS) 15,1 (11,7). Diciassette (46%) pazienti hanno ricevuto la rianimazione con fluidi ipertonici e venti (54%) hanno ricevuto la fluidoterapia convenzionale, senza differenze significative tra i gruppi per quanto riguarda i dati demografici o l'esito. L'uso pre-ospedaliero della rianimazione di piccoli volumi ha portato a una diminuzione significativamente maggiore dei valori di BE e pH. Un emogasanalizzatore portatile è risultato essere uno strumento utile nel monitoraggio pre-ospedaliero per la rianimazione di traumi.</p>
---	---	---	---

<p>“Validation of a Portable Blood Gas Analyzer for Use in Challenging Field Conditions at High Altitude”</p> <p>Janek Nawrocki et al, 2021</p> <p>Studio randomizzato controllato</p>	<p>I nuovi emogasanalizzatori (BGA) portatili possono servire come strumenti essenziali per il point-of-care in regioni remote, durante i viaggi aerei o nei servizi di ambulanza, ma non sono stati ampiamente convalidati. Abbiamo confrontato l'accuratezza di un BGA portatile con un dispositivo stazionario convalidato.</p>	<p>In individui sani e pazienti con broncopneumopatia cronica ostruttiva che hanno partecipato a studi clinici sul campo a diverse altitudini, sono stati prelevati campioni di sangue arterioso a riposo e durante l'esercizio in un ospedale a 760 m e in una clinica d'alta quota a 3100 m. Sono state eseguite misurazioni accoppiate mediante un BGA portatile (EPOC, Siemens Healthcare) e un BGA stazionario (Rapidpoint500, Siemens Healthcare) per calcolare il bias (differenza media) e i limiti di</p>	<p>Di 105 individui, sono stati analizzati 248 campioni di sangue arterioso, 108 a 760 metri, 140 a 3100 metri. Il BGA portatile è stato maneggiato facilmente e ha funzionato in modo affidabile. La precisione dell'emogasanalisi con il BGA portatile rispetto al BGA di riferimento era adeguata per l'uso clinico. Grazie alla portabilità e alla facilità di utilizzo, i BGA portatili sono preziosi strumenti diagnostici da utilizzare nella pratica quotidiana e in condizioni difficili sul campo.</p>
---	--	--	--

		concordanza (IC al 95% del bias).	
<p>“Arterial line in prehospital emergency settings. A feasibility study in four physician-staffed emergency medical systems”</p> <p>Gernot Wildner et al, 2011</p> <p>Studio prospettico osservazionale</p>	<p>Le linee arteriose sono ampiamente utilizzate nelle sale operatorie, nei reparti di terapia intensiva e di emergenza. Sebbene il monitoraggio invasivo della pressione arteriosa e l'emogasanalisi siano disponibili in fase preospedaliera, l'uso delle linee arteriose sul campo rimane un'eccezione. Questo studio valuta la fattibilità, le indicazioni e le conseguenze terapeutiche dell'inserimento di una linea arteriosa preospedaliera.</p>	<p>Lo studio osservazionale prospettico si è svolto in quattro sistemi di assistenza medica di emergenza con personale medico nella provincia della Stiria, in Austria. Tre sistemi sono a terra mentre uno è alimentato da elicotteri con un'area di servizio di 120 km di diametro.</p>	<p>Durante il periodo di osservazione di un anno, il posizionamento della linea arteriosa è riuscito in 115 (83,9%) dei 137 pazienti. Le principali indicazioni erano la rianimazione cardiopolmonare (36,5%), l'assistenza post-rianimazione (16,8%), l'insufficienza respiratoria (24,1%) e lo stato di incoscienza (22,6%). Le conseguenze terapeutiche dipendevano dal fatto che il SGA fosse dotato o meno di emogasanalizzatore e sono state, complessivamente, riportate nel 51,3% dei pazienti: terapia fluida, vasoattiva o antiipertensiva, correzione della ventilazione o acidosi. Non si sono verificate complicazioni durante la fase preospedaliera.</p>
<p>“Arterial Blood Gases and Arterial Lines in the Prehospital</p>	<p>Le linee guida pre-ospedaliere affermano che il monitoraggio</p>	<p>È stata condotta una revisione sistematica della letteratura per le</p>	<p>Da 1.028 risultati, sono stati inclusi 13 studi (10 emogasanalisi e 3 linee arteriose), dimostrando che</p>

<p>Setting: A Systematic Literature Review and Survey of Current United Kingdom Helicopter Emergency Medical Services”</p> <p>Sarah Morton et al, 2022</p> <p>Studio randomizzato controllato</p>	<p>dovrebbe corrispondere agli standard ospedalieri, ma il consenso sull'uso di emogasanalisi e linee arteriose rimane poco chiaro. L'obiettivo era quello di eseguire una revisione sistematica della letteratura e un'indagine sull'uso e la percezione dei servizi medici di emergenza in elicottero del Regno Unito (HEMS) degli ABG e delle linee arteriose.</p>	<p>linee arteriose e per l'emogasanalisi e per l'assistenza preospedaliera. Inoltre, sono stati distribuiti due questionari a tutti gli HEMS del Regno Unito.</p>	<p>è possibile ottenere emogasanalisi e posizionare linee arteriose in ambito preospedaliero. C'erano preoccupazioni per le difficoltà pratiche per l'emogasanalisi e il tempo impiegato per le linee arteriose. Le risposte al sondaggio sono state ottenute da tutti gli HEMS del Regno Unito (N=22). Sei servizi trasportano attrezzature per l'esecuzione di ABG e nove servizi per le linee arteriose.</p>
<p>“Prehospital point of care testing of blood gases and electrolytes; an evaluation of IRMA”</p> <p>Gerhard Prause et al, 1997</p>	<p>Questo studio ha valutato la fattibilità dell'emogasanalisi e delle misurazioni degli elettroliti durante il trasporto di emergenza prima del ricovero in ospedale con il sistema di analisi del sangue IRMA</p>	<p>Durante il periodo di osservazione (da aprile a settembre 1996) sono state tentate 32 analisi su 25 pazienti nel reparto di emergenza dell'Università di Graz, Austria.</p>	<p>Abbiamo concluso che la conoscenza del pH, pCO₂ e pO₂ dei pazienti in situazioni pericolose per la vita fornisce informazioni più obiettive rispetto alla pulsossimetria e/o alla sola capnometria. Inoltre, consente ai medici di correggere l'ipokaliemia grave o l'ipocalcemia in</p>

<p>Studio randomizzato controllato</p>	<p>(DIAMETRICS, ChemoMedica-Austria, Vienna, Austria), un analizzatore del sangue portatile alimentato a batteria disponibile dall'aprile 1996 nell'ambito di un'emergenza preospedaliera sistema medico.</p>		<p>caso di insufficienza cardiaca o aritmia maligna. In 18 dei 25 casi le misurazioni sono state utili per la diagnosi e hanno portato a conseguenze terapeutiche in 13 pazienti. In molti casi la conoscenza dei parametri degli elettroliti o dei gas nel sangue è stata utile, ma ha indicato che non era necessaria alcuna terapia. Questo nuovo analizzatore di sangue trasportabile, il sistema di analisi del sangue IRMA, apre importanti opportunità nell'assistenza di emergenza preospedaliera.</p>
<p>“Portable Blood Gas Analyzer in a Helicopter Emergency Medical Service” Patrick Schober et al, 2019 Studio osservazionale</p>	<p>Nei servizi di emergenza medica in elicottero preospedaliero (HEMS), l'équipe medica gestisce spesso i pazienti critici con solo opzioni di monitoraggio limitate e non invasive. Per</p>	<p>Questa valutazione preospedaliera è stata eseguita sull'HEMS Lifeliner1 olandese, che serve una regione di circa 4,5 milioni di abitanti per il trattamento e il trasporto di traumi gravi e non</p>	<p>Il BGA preospedaliero si è dimostrato fattibile nei nostri HEMS; tuttavia, sono state identificate anche diverse limitazioni come il limitato intervallo di temperatura ambientale dell'analizzatore. La nostra valutazione preospedaliera mostra che il sistema i-Stat testato è sufficientemente portatile ed ergonomico per</p>

	<p>ottenere una visione più approfondita della patologia del paziente e per monitorare gli effetti del trattamento preospedaliero, un emogasanalizzatore sembra auspicabile anche in HEMS. Pertanto, abbiamo ipotizzato che l'emogasanalisi preospedaliera sia fattibile nell'impostazione HEMS.</p>	<p>traumatici. La maggior parte degli analizzatori BGA commerciali sono troppo ingombranti per l'uso preospedaliero HEMS; pertanto, è stata eseguita una ricerca di mercato. Esplorando i pochi dispositivi BGA portatili disponibili, abbiamo identificato i-Stat 1 (Abbot, Paesi Bassi) come un candidato promettente.</p>	<p>eseguire BGA nell'ambiente HEMS durante il volo o sulla scena. In conclusione, l'analisi BGA preospedaliera si è dimostrata fattibile nell'impostazione HEMS, nonostante le limitazioni qui contenute. L'esperienza e gli studi futuri dovranno mostrare come gli emogasanalizzatori portatili possano in definitiva aiutare a migliorare l'esito del paziente.</p>
--	--	--	--

Tabella III. Caratteristiche degli studi inclusi

3.4.1 Caratteristiche degli studi inclusi

Gli studi inclusi sono riassunti nella tabella III; di questi n. 3 sono studi osservazionali [Søren Mikkelsen et al, 2015; Virginia Randolph et al, 2000; Patrick Schober et al, 2019], n. 1 è uno studio prospettico randomizzato [Milla Jousi et al, 2010], n. 2 sono studi prospettici osservazionali [Gernot Wildner et al, 2011; G. Prause et al, 1998] e n. 4 sono studi randomizzati controllati [Gerhard Prause et al, 1997; Sarah Morton et al, 2022; Janek Nawrocki et al, 2021; Stine T. Zwisler et al, 2019].

Gli studi descritti vanno ad indagare:

- La capacità di eseguire un'emogasanalisi arteriosa rapida e accurata nell'unità mobile di emergenza, poiché è così resa possibile la diagnosi di diverse condizioni in cui una diagnosi rapida e una successiva terapia è vitale [Søren Mikkelsen et al, 2015];
- Se l'accesso all'emogasanalisi arteriosa aumentasse l'accuratezza diagnostica pre-ospedaliera e se l'emogasanalisi pre-ospedaliera portasse ad interventi terapeutici che non potrebbero essere effettuati se l'emogasanalizzatore arterioso non fosse stato disponibile [Stine T. Zwisler et al, 2019];
- Le prestazioni di uno strumento portatile per la misurazione di pH, PCO₂ e PO₂ durante il trasporto terrestre e aereo di pazienti in terapia intensiva [Virginia Randolph et al, 2000];
- La fattibilità della compensazione pre-ospedaliera dell'acidosi grave basandosi su diversi sistemi di monitoraggio per valutare rispettivamente l'ossigeno, l'anidride carbonica o lo stato acido-base dei pazienti [G. Prause et al, 1998];
- Se le misurazioni dei gas nel sangue arterioso durante la rianimazione con shock pre-ospedaliero di un paziente traumatizzato forniscano informazioni utili sulla risposta emodinamica alla rianimazione con fluidi [Milla Jousi et al, 2010];
- L'accuratezza di un BGA portatile confrontato con un dispositivo stazionario convalidato [Janek Nawrocki et al, 2021];
- La fattibilità, le indicazioni e le conseguenze terapeutiche dell'inserimento di una linea arteriosa pre-ospedaliera [Gernot Wildner et al, 2011];
- L'uso e la percezione dei servizi medici di emergenza in elicottero del Regno Unito (HEMS) degli ABG e delle linee arteriose [Sarah Morton et al, 2022];
- La fattibilità dell'emogasanalisi e delle misurazioni degli elettroliti durante il trasporto di emergenza prima del ricovero in ospedale con il sistema di analisi del sangue IRMA [Gerhard Prause et al, 1997];
- L'eventuale implemento dell'emogasanalisi preospedaliera nell'impostazione HEMS [Patrick Schober et al, 2019].

Gli studi sono stati condotti in diverse aree geografiche, infatti sono stati intrapresi in: Regno Unito, Danimarca, Paesi Bassi e Austria.

La pubblicazione degli studi inclusi copre un periodo che va dal 1997 al 2022.

I risultati delle ricerche ci forniscono informazioni riguardo:

- La capacità di eseguire un'emogasanalisi arteriosa rapida e accurata nell'unità mobile di emergenza, in modo da rendere possibile una diagnosi rapida e una successiva terapia;
- L'accuratezza di un emogasanalizzatore portatile, messo in confronto con un dispositivo stazionario convalidato nell'unità operativa al fine di valutarne le prestazioni;
- La fattibilità, le indicazioni e le conseguenze terapeutiche dell'inserimento di una linea arteriosa preospedaliera;
- L'eventuale implemento dell'emogasanalisi preospedaliera che andrebbe ad aumentare l'accuratezza diagnostica e porterebbe ad interventi terapeutici che non potrebbero essere effettuati nel caso in cui l'emogasanalizzatore arterioso non fosse stato disponibile in unità mobile.

3.5 Discussioni

Lo studio di Søren Mikkelsen et al del 2015 ha dimostrato la capacità di eseguire un'emogasanalisi arteriosa rapida e accurata nell'unità mobile di emergenza, in modo da rendere possibile la diagnosi di diverse condizioni in cui una diagnosi rapida e una successiva terapia è vitale. Nei pazienti con presunto shock settico o setticemia, l'analisi del lattato e del pH in molti casi ha consentito di stabilire la diagnosi in fase preospedaliera; in diversi casi, i pazienti sospettati di esposizione ad avvelenamento da monossido di carbonio sono stati rilasciati sulla scena, ovviando così al ricovero in ospedale; nei pazienti con esacerbazione della broncopneumopatia cronica ostruttiva, l'emogasanalisi ha aiutato il medico sul posto a indirizzare meglio la terapia del paziente.

Lo scopo dello studio di Stine T. Zwisler et al del 2019 era di stabilire se l'accesso all'emogasanalisi arteriosa aumentasse l'accuratezza diagnostica preospedaliera e se portasse, poi, a interventi terapeutici che non sarebbero stati effettuati se

l'emogasanalizzatore arterioso non fosse stato disponibile. Sono stati confrontati due gruppi di pazienti adulti pre-ospedalieri con malattia critica acuta. In 78 dei 102 pazienti il medico preospedaliero ha riferito che l'analisi ABG ha aumentato la precisione diagnostica percepita.

Lo studio di Virginia Randolph et al del 2000 ha valutato le prestazioni di uno strumento portatile per la misurazione di pH, PCO₂ e PO₂ durante il trasporto terrestre e aereo di pazienti in terapia intensiva. I dati di controllo hanno mostrato che lo strumento ha funzionato altrettanto bene su un'ambulanza in movimento e su un aereo a reazione come se fosse in posizione stazionaria a terra; i risultati duplicati dei campioni, infatti, hanno mostrato una buona correlazione.

Nello studio di G. Prause et al del 1998 si evidenzia come l'emogasanalisi preospedaliera sia un nuovo metodo nell'assistenza di emergenza extraospedaliera. Questo studio vuole valutare la fattibilità della compensazione preospedaliera dell'acidosi grave basandosi su diversi sistemi di monitoraggio per valutare rispettivamente l'ossigeno, l'anidride carbonica o lo stato acido-base dei pazienti. Questa analisi si è rivelata utile nella gestione ottimale dell'arresto cardiaco extraospedaliero e l'incidenza di acidosi grave nei pazienti sottoposti a rianimazione cardiopolmonare è stata dell'80%. La gestione dell'arresto cardiaco preospedaliero potrebbe essere ottimizzata mediante l'uso di routine dell'emogasanalisi.

Lo studio di Milla Jousi et al del 2010 ha lo scopo di valutare se le misurazioni dei gas nel sangue arterioso durante la rianimazione con shock pre-ospedaliero di un paziente traumatizzato forniscano informazioni utili sulla risposta emodinamica alla rianimazione con fluidi, convenzionale o con soluzione salina ipertonica. Confrontando le variabili emodinamiche e di gas nel sangue nei pazienti sottoposti ai due diversi regimi di rianimazione, si evince che l'uso preospedaliero della rianimazione di piccoli volumi ha portato a una diminuzione significativamente maggiore dei valori di BE e pH. Un emogasanalizzatore portatile è risultato essere, quindi, uno strumento utile nel monitoraggio preospedaliero per la rianimazione di traumi.

Nello studio di Janek Nawrocki et al del 2021 si evince che i nuovi emogasanalizzatori (BGA) portatili possono servire come strumenti essenziali per il point-of-care in regioni remote, durante i viaggi aerei o nei servizi di ambulanza, ma non sono stati ampiamente convalidati. Questo studio ha, quindi, confrontato l'accuratezza di un BGA portatile con un dispositivo stazionario convalidato. I risultati sono stati molto soddisfacenti in quanto il BGA portatile è stato maneggiato facilmente e ha funzionato in modo affidabile e la precisione dell'emogasanalisi era adeguata per l'uso clinico. Grazie alla portabilità e alla facilità di utilizzo, i BGA portatili sono preziosi strumenti diagnostici da utilizzare nella pratica quotidiana e in condizioni difficili sul campo.

Gernot Wildner et al, nel 2011, ha confutato la fattibilità, le indicazioni e le conseguenze terapeutiche dell'inserimento di una linea arteriosa preospedaliera. Lo studio si è svolto in quattro sistemi di assistenza in emergenza e durante il periodo di osservazione di un anno, il posizionamento della linea arteriosa è riuscito in 115 (83,9%) dei 137 pazienti. Le principali indicazioni erano la rianimazione cardiopolmonare (36,5%), l'assistenza post-rianimazione (16,8%), l'insufficienza respiratoria (24,1%) e lo stato di incoscienza (22,6%). Questo studio ha dimostrato la completa fattibilità dell'inserimento delle vie arteriose in emergenza.

L'obiettivo dello studio di Sarah Morton et al del 2022 era quello di eseguire un'indagine sull'uso degli ABG e delle linee arteriose durante le emergenze in elicottero, nel Regno Unito (HEMS). È stato, quindi, dimostrato che è possibile ottenere emogasanalisi e posizionare linee arteriose in ambito preospedaliero, senza controindicazioni.

Lo studio di Gerhard Prause et al del 1997 ha valutato la fattibilità dell'emogasanalisi e delle misurazioni degli elettroliti durante il trasporto di emergenza prima del ricovero in ospedale con il sistema di analisi del sangue IRMA, un analizzatore del sangue portatile alimentato a batteria disponibile dall'aprile 1996 nell'ambito dell'emergenza preospedaliera. Dai risultati si evince che la conoscenza del pH, pCO₂ e pO₂ dei pazienti in situazioni pericolose per la vita fornisce informazioni più obiettive rispetto alla pulsossimetria e/o alla sola capnometria. Inoltre, consente ai medici di correggere l'ipokaliemia grave o l'ipocalcemia in caso di insufficienza cardiaca o aritmia maligna. Questo nuovo analizzatore di sangue trasportabile, il sistema di analisi del sangue IRMA, apre importanti opportunità nell'assistenza di emergenza preospedaliera.

Nello studio di Patrick Schober et al del 2019 si evince che nei servizi di emergenza in elicottero preospedaliero (HEMS), l'équipe gestisce spesso i pazienti critici con sole opzioni di monitoraggio limitate e non invasive. Per ottenere una visione più approfondita della patologia del paziente e per monitorare gli effetti del trattamento preospedaliero, un emogasanalizzatore sembra auspicabile anche in HEMS. Il BGA preospedaliero si è dimostrato fattibile nei nostri HEMS, anche se con qualche limitazione. L'esperienza e gli studi futuri dovranno mostrare come gli emogasanalizzatori portatili possano in definitiva aiutare a migliorare l'esito del paziente.

3.6 Conclusioni

Questo studio ha cercato, quindi, di rispondere alla domanda “l'implemento dell'emogasanalisi in ambito preospedaliero può migliorare sensibilmente l'assistenza in emergenza?”; a tal fine è stata condotta una revisione della letteratura che, seppure sia ancora ai suoi albori, ha portato incredibili risultati. È emerso, infatti, l'essenzialità e la fattibilità dell'analisi dei gas del sangue in emergenza preospedaliera per una successiva terapia immediata ed accurata, riducendo ospedalizzazioni non necessarie e velocizzando terapie vitali.

Nello studio condotto, infatti, sono emersi cambiamenti radicali là dove si è reso possibile l'implemento di un emogasanalizzatore nel preospedaliero, arrivando addirittura ad effettuare interventi terapeutici che non potrebbero essere effettuati nel caso in cui l'emogasanalizzatore arterioso non fosse stato disponibile in unità mobile.

In conclusione, stando agli studi effettuati, possiamo dire con certezza che l'implemento di un emogasanalizzatore in emergenza preospedaliera migliorerebbe sensibilmente l'assistenza erogata in emergenza.

3.7 Implicazioni alla pratica clinica

L'emergenza preospedaliera necessita di continui aggiornamenti in quanto è il primo approccio ad un paziente in potenziale pericolo di vita; l'analisi point-of-care è sempre più applicata nella scena e con le tecnologie attuali è facile ed intuitivo ottenere, ad esempio, un elettrocardiogramma e iniziare la successiva terapia [M.C. Peterson et al, 2012]. L'analisi preospedaliera di campioni di sangue per parametri selezionati è già applicata in alcune circostanze, ma l'emogasanalisi completa nei servizi preospedalieri richiede una configurazione più ampia. Dagli studi selezionati si evince la completa fattibilità sia per quanto riguarda l'inserimenti di una linea arteriosa che per quanto concerne l'analisi dei gas del sangue [G. Wildner et al, 2011].

Si evince, poi, l'accuratezza di un emogasanalizzatore portatile previo confronto con un dispositivo stazionario convalidato che evidenzia, quindi, la completa capacità di eseguire un'emogasanalisi in emergenza, in modo da rendere possibile la diagnosi rapidamente, arrivando ad avere, così, una terapia efficace ed efficiente in tempi molto più ristretti, dimezzando costi di ospedalizzazione ed aumentando le possibilità di vita per i pazienti [Søren Mikkelsen et al, 2015].

Si auspica pertanto che in un futuro prossimo venga implementato l'emogasanalizzatore in emergenza preospedaliera anche nelle nostre realtà, in quanto il dispendio economico del dispositivo e di quello che concerne la sua applicazione in emergenza preospedaliera, diventerebbe un guadagno in termini di minor affluenza sia nelle unità operative di Pronto Soccorso che nei ricoveri ordinari, riducendo il tasso di ospedalizzazione ad aumentando notevolmente la qualità dell'assistenza ospedaliera percepita ed erogata.

BIBLIOGRAFIA

Allen EV. Trombo-angioite obliterante. Bull NY Acad Med. 1942 marzo;

Bartella AK, Flick N, Kamal M, Steegmann J, Kloss-Brandstätter A, Teichmann J, Hölzle F, Lethaus B. Hand Perfusion in Patients with Physiological o Pathological Allen's Tests. J Reconstr Microsurg. 2019 marzo;

Berend K. Revisione della valutazione diagnostica dell'acidosi metabolica del gap anionico normale. Rene Dis (Basilea). dicembre 2017;

Bertrand OF, Carey PC, Gilchrist IC. Allen o non Allen: questo è il dilemma! J Am Coll Cardiol. 13 maggio 2014;

Biondi-Zoccai G, Moretti C, Zuffi A, Agostoni P, Romagnoli E, Sangiorgi G. Accesso transradiale senza test preliminare di Allen--lettera di commento su Rhyne et al. Catetere Cardiovasc Interv. 01 ottobre 2011;

Brinkman JE, Sharma S. StatPearls [Internet]. Editoria StatPearls; Treasure Island (FL): 22 luglio 2021. Fisiologia, Alcalosi metabolica;

Burger MK, Schaller DJ. StatPearls. Editoria StatPearls; Treasure Island (FL): 26 luglio 2021. Acidosi metabolica;

Castro D, Patil SM, Keenaghan M. StatPearls [Internet]. Editoria StatPearls; Treasure Island (FL): 20 settembre 2021. Emogasanalisi;

Chiaranda M. Urgenze ed emergenze – istruzioni. Piccin edizione, 2007;

Codice Deontologico dell'Infermiere: Approvato dal Comitato Centrale della Federazione Nazionale Collegi Infermieri con deliberazione n.1/09 del 10 Gennaio 2009 e dal Consiglio Nazionale dei Collegi Ispasvi riunito a Roma nella seduta del 17 Gennaio 2009;

Collection of arterial blood for laboratory analysis. Critical care medicine department; critical care therapy and respiratory care section. Disponibile all'indirizzo: http://clinicalcenter.nih.gov/ccmd/cctrcs/pdf_docs/Diagnostics/02Collectionof%20Art.Blood.pdf

Consiglio Superiore di Sanità, Sessione XLV – Seduta del 23 giugno 2005 – Il Consiglio Superiore di Sanità, Sezione II;

Cucchi A, Falcetelli M, Giambartolomei A, Mercuri M, Bellagamba S, Lauretani E et al. Prelievo arterioso per emogasanalisi. Azienda o – u “Ospedali riuniti Umberto I – Lancisi – Salesi”; Ancona. 2011;

Dalton, Limmer, Mistovich, Werman. AMLS. Advanced medical life support. Editore Elsevier, 2012;

Davis MD, Walsh BK, Sitting SE, Restrepo RD. AARC clinical practice guideline: blood gas analysis and hemoximetri: 2013. Respiratory care; october 2013, vol 58 no 10;

Depto. de Medicinas, Hospital Infantil de México Federico Gómez, 1990 febbraio; <https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.ezproxy.cad.univpm.it/2110810/>

Dhingra N, Diepart M, Dziekan G, Khamassi S, Otaiza F, Wilburn S, et al. WHO guidelines on drawing blood: best practices in phlebotomy. World Health Organization 2010;

Di Giulio P. Puntura arteriosa. Tratto da nursingfad ipasvi MI-LO-MB “Quesiti clinico-assistenziali”. Evidence based nursing n 3/2012, p 56-61;

Di Santo Sara. L'emogasanalisi arteriosa (EGA). Pubblicato in data 18/08/2016 ed aggiornato in data 28/11/2016. Ultima visita 25/02/2017;

Doig AK, Albert RW, Syroid ND, Moon S, Agutter JA. Graphical arterial blood gas visualization tool supports rapid and accurate data interpretation. CIN: computers, informatics, nursing & vol. 29, no 4, april 2011;

EP. Arterial Blood Gases. Clinical methods: the history physical and laboratory examinations. 3rd edition. Boston: Butterworths; 1990. Chapter 49;

Erin Hopkins, Terrence Sanvictores, Sandeep Sharma. StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 gennaio;

Fiddian-Green, R. G. (1995). Gastric intramucosal pH, tissue oxygenation and acid-base balance. Br. J. Anaesth. 74:591–606;

Flenley DC. Arterial puncture: procedures in practice. British medical journal; 12 luglio 1980;

G. Preanalytical consideration in blood gas analysis. Review. Biochemia Medica. Department of laboratory medicine, university of Washington, Seattle, USA. Novembre 2013;

Gernot Wildner, Nina Pauker, Sylvia Archan, Geza Gemes, Marcel Rigaud, Mirjam Pocivalnik, Gerhard Prause, Arterial line in prehospital emergency settings – A feasibility study in four physician-staffed emergency medical systems, Resuscitation, Volume 82, Issue 9, 2011, Pages 1198-1201, ISSN 0300-9572, <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2011.05.002>

Giona Zisquit, James Velasquez, Nicola Nedeff in: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 30 aprile 2022. <https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.ezproxy.cad.univpm.it/29939593/>

Gokhroo R, Bisht D, Gupta S, Kishor K, Ranwa B. Palmar arch anatomy: Ajmer Working Group classification. Vascular. 2016 Feb;24(1):31-6;

Habib J, Baetz L, Satiani B. Valutazione della circolazione collaterale alla mano prima del prelievo dell'arteria radiale. Vasc Med. 2012 ottobre;

Hansen, J. (1953). Den økonomiske baggrund for poliobekæmpelsen;

Hov MR, Nome T, Zakariassen E, Russell D, Røislien J, Lossius HM, Lund CG. Valutazione degli esami TC cerebrali dell'ictus acuto da parte degli anestesisti. Acta anesthesiologica Scand. 2015;

Jousi, M., Reitala, J., Lund, V., Katila, A., & Leppäniemi, A. (2010). The role of pre-hospital blood gas analysis in trauma resuscitation. World journal of emergency surgery: WJES, 5, 10. <https://doi.org/10.1186/1749-7922-5-10>

Lynn P. (2016) Manuale di tecniche e procedure infermieristiche di Taylor. Un approccio al processo di Nursing. IV edizione, Padova: PICCIN Editore;

M, Pozzo E, Rossetti GL, Urbani D, Urbani L, Zerbato F. Linee guida per la misurazione del pH e determinazione dei gas nel sangue. Laboratorio di chimica clinica ed ematologia, ospedale "San Bortolo", Vicenza. Riv med lab JLM, vol 2, 2001;

Maurizio Chiaranda, Urgenze ed Emergenze, casa editrice Piccin, 2016;

Nawrocki, J., Furian, M., Buergin, A., Mayer, L., Schneider, S., Mademilov, M., Bloch, M. S., Sooronbaev, T. M., Ulrich, S., & Bloch, K. E. (2021). Validation of a Portable Blood Gas Analyzer for Use in Challenging Field Conditions at High Altitude. *Frontiers in physiology*, 11, 600551. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.600551>

Nelson BP, Sanghvi A. Ecografia del punto di cura extraospedaliero: modelli di utilizzo attuali e direzioni future. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2015;

Patel S, Sharma S. StatPearls [Internet]. Editoria StatPearls; Treasure Island (FL): 24 giugno 2021. Acidosi respiratoria;

Patrick Schober, Sebastiaan M. Bossers, Ralf Krage, Marcel A. De Leeuw, Lothar A. Schwarte, Portable Blood (Gas) Analyzer in a Helicopter Emergency Medical Service, *Air Medical Journal*, Volume 38, Issue 4, 2019, Pages 302-304, ISSN 1067-991X, <https://doi.org/10.1016/j.amj.2019.04.006>.

Patsalis T, Hoffmeister HE, Seboldt H. [Arterial dominance of the hand]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*. 1997 Sep;

Peterson MC, Syndergaard T, Bowler J, Doxey R. Una revisione sistematica dei fattori che predicano il tempo porta al palloncino nell'infarto miocardico con sopraslivellamento del segmento ST trattato con intervento percutaneo. *Int J Cardiol*. 2012;

Prause G, Hetz H, Doppler R. [Preclinical blood gas analysis. 1. The value of preclinical blood gas analysis]. *Der Anaesthesist*. 1998 May;47(5):400-405. DOI: 10.1007/s001010050576. PMID: 9645280.

Prause, G., Ratzenhofer-Komenda, B., Offner, A. et al. Prehospital point of care testing of blood gases and electrolytes — an evaluation of IRMA. *Crit Care* 1, 79 (1997). <https://doi.org/10.1186/cc108>

Rajkumar P, Pluznick JL. Regolazione acido-base nei tubuli prossimali renali: utilizzo di nuovi sensori di pH per mantenere l'omeostasi. *Am J Physiol Renal Physiol*. 01 novembre 2018;

Raphael KL, IX JH. Correlazione tra ammonio urinario e gap osmolale urinario nei trapiantati di rene. *Clin J Am Soc Nephrol*. 06 aprile 2018;

Romeu-Bordas Ó, Ballesteros-Peña S. [Affidabilità e validità del test di Allen modificato: una revisione sistematica e una metaanalisi]. *2017 Abr Emergencias*. 29 (2):126-135;

Sarah Morton, Pascale Avery, Jessie Payne, Matthew OMeara, Arterial Blood Gases and Arterial Lines in the Prehospital Setting: A Systematic Literature Review and Survey of Current United Kingdom Helicopter Emergency Medical Services, *Air Medical Journal*, Volume 41, Issue 2, 2022, Pages 201-208, ISSN 1067-991X, <https://doi.org/10.1016/j.amj.2021.11.008>.

Søren Mikkelsen, Jonathan Wolsing-Hansen, Mads Nybo, Christian Ulrik Maegaard, and Søren Jepsen; Published online 2015 Jul 30. doi: 10.1186/s13049-015-0134-y; *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2015; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov.ezproxy.cad.univpm.it/pmc/articles/PMC4520278/>

Stengaard C, Sørensen JT, Ladefoged SA, Christensen EF, Lassen JF, Bøtker HE, Terkelsen CJ, Thygesen K. Misurazione quantitativa della troponina T point-of-care per la diagnosi e la prognosi in pazienti con sospetto infarto miocardico acuto. *Sono J Cardiol*. 2013; 112 (9);

Stocchero M, Pozzo E, Rossetini GL, Urbani D, Urbani L, Zerbato F. Linee guida per la misurazione del pH e determinazione dei gas nel sangue. Laboratorio di chimica clinica ed ematologia, ospedale "San Bortolo", Vicenza. *Riv med lab JLM*, vol 2, 2001;

Surber C, Abels C, Maibach H (a cura di): pH della pelle: problemi e sfide. *Dermatolo Curr Probl*. Basilea, Karger, 2018, vol 54;

Tan RES, Lahiri A. Vascular Anatomy of the Hand in Relation to Flaps. *Hand Clin*. 2020 Feb;

Trulock EP. Arterial Blood Gases. Clinical methods: the history physical and laboratory examinations. 3rd edition. Boston: Butterworths; 1990. Chapter 49;

Ugeskr. Lager. 115:471–473;

Virginia Randolph, MA, MT(ASCP), Diane Kahler, RRT, Carol Howard, MPH, MT(ASCP), Glen Hortin, MD, PhD, Laboratories on the Move: Blood Gas Analysis, Laboratory Medicine, Volume 31, Issue 1, January 2000, Pages 45–48, <https://doi.org/10.1309/G4DM-MX72-5J56-BQFD>

Wiwanitkit V. (2001). Types and frequency of preanalytical mistakes in the first Thai ISO 9002:1994 certified clinical laboratory, a 6-month monitoring. BMC Clin Pathol;

Zwisler, S. T., Zincuk, Y., Bering, C. B., Zincuk, A., Nybo, M., & Mikkelsen, S. (2019). Diagnostic value of prehospital arterial blood gas measurements - a randomised controlled trial. Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine, 27(1), 32. <https://doi-org.ezproxy.cad.univpm.it/10.1186/s13049-019-0612-8>;

RINGRAZIAMENTI

Arrivata alla fine di questo mio percorso, non senza ostacoli ed imprevisti, ma pieno di sogni e soddisfazioni, voglio prendere un po' del mio spazio per ringraziare quelle persone che, con affetto, mi hanno accompagnata lungo il mio cammino.

Ringrazio in primis la mia relatrice, la dottoressa Marida Andreucci, per avermi guidato con pazienza e dedizione nella fase più importante del mio percorso accademico. Grazie per avermi spronata a dare il massimo, specialmente nei momenti più fragili. Ha saputo tirar fuori il meglio di me, con professionalità e dedizione. Spero con tutto il cuore che gli sforzi fatti possano essere ripagati dai sorrisi di questo giorno.

Ringrazio mia madre e mio padre per il loro costante sostegno e per i loro insegnamenti, senza i quali oggi non sarei ciò che sono; che i miei traguardi possano ricambiare tutti i sacrifici fatti per me. Un grazie ancora più speciale va a mia sorella Angelica e mio fratello Alessio, per avermi sempre supportata e difesa, sdrammatizzando sempre con un sorriso anche i momenti più duri. Abbiamo affrontato sempre tutto insieme, mettendo la famiglia al centro; senza di voi, tutto questo non sarebbe stato possibile.

Ringrazio la mia grande famiglia, zie, zii, nonne... per aver sempre trovato una parola di conforto, anche nei periodi più difficili; ringrazio in special modo i miei cugini, che sono stati, indiscutibilmente, miei primi migliori amici.

Un ringraziamento speciale, poi, va a mia nonna Giuseppina. Grazie perché sei da sempre la mia fan numero uno, sempre presente con qualche saggio insegnamento in ogni mia sconfitta o traguardo, con la stessa sincera gioia. Una nonna, una confidente, un'amica.

Ringrazio la mia spalla destra Alessia, la prima persona conosciuta sui banchi dell'università, che sarebbero presto diventati luogo di appunti presi male, di pause caffè infinite e di risate sincere. Grazie, perché non sei stata solo un'ottima compagna di banco da cui attingere penne mai riconsegnate, ma un'amica autentica, una sorella. Grazie perché con la tua dolcezza e spontaneità, hai portato il sole anche nei giorni più scuri, con un sorriso sincero ed un Gin Tonic in mano. Sei stata sempre presente in questi brevi ma intensi anni, pregni di ricordi indelebili che porterò sempre con me... ricordi raggiunti, poi, da Valentina; grazie Vale, perché mi hai voluto bene sin da subito, ho sempre potuto contare su di te, che sia per una risata, per sfogarmi, per le nostre serate... o per i panini con la mortadella, direi fondamentali; facendoci forza a vicenda, tra una risata e qualche esaurimento, siamo arrivate tutte e tre al nostro primo traguardo, insieme! Ringrazio anche Martina e Francesca, per essere state delle amiche genuine e delle colleghe dolcissime. Grazie a tutte voi, perché mi avete fatto capire che nessun ostacolo è impossibile da superare, basta fare l'aperitivo giusto!

Un ringraziamento prezioso va alla mia amica Elisabetta che, sin dall'inizio, ha creduto in me e mi ha insegnato che nessun sogno è impossibile da realizzare. Sei una forza della natura, grazie di cuore per esserti presa cura di me con affetto incondizionato.

Ringrazio Ludovica, amica sin dai tempi dell'asilo, e tutti gli amici, vicini e lontani, che mi sono stati accanto e che hanno sempre avuto una parola di conforto in ogni occasione, specialmente il gruppo della Rosa; grazie perché mi avete accolta tra voi con tutto l'affetto del mondo, siete delle persone genuine ma con quel pizzico di follia che vi rende sostanzialmente unici.

Ringrazio, poi, con tutto il cuore Lucia che, seppur lontana, rimane la mia definizione di casa.

Per ultimi, ma non meno importanti, ringrazio le pietre miliari della mia vita: i miei amici, il mio gruppo da sempre; da quelli storici, con cui ho condiviso i primi banchi di scuola ed i ricordi più belli, a quelli che ho incontrato durante il mio cammino. Ringrazio “La Squadra”, Martina e Francesco, per essere stati un qualcosa che non si può descrivere a parole; grazie perché siete riusciti a tirare fuori la parte migliore di me, in ogni occasione, non lasciandomi mai sola, nonostante tutto; mi avete insegnato, tra risate e piccoli litigi, cos’è la pazienza e la dedizione e cosa vuol dire voler bene a qualcuno, incondizionatamente; una parte di me sarà sempre vostra, soprattutto il mio sorriso storto.

Grazie poi a tutti i “Bruah”: Marco, mio fedele compagno di avventure in giro per il mondo, grazie perché mi sopporti e supporti ogni giorno con quell’affetto che solo tu sai dare, dimostrandomi che con la perseveranza posso raggiungere qualunque obiettivo; Lorenzo, per essere l’esatta definizione di un amico, la spalla su cui fare affidamento, che sia per una risata, per raccontarti la mia giornata o per cercare di conquistare un Nobel; Andrea, grazie per tutte le storie pazzesche che mi hai regalato ma che, purtroppo, non posso dire in pubblico; Alessandro, per riuscire a far tornare a tutti il sorriso in ogni occasione; Riccardo, il mio collega di montagne e di video di gatti strani, grazie perché sei stato presente continuamente con quella tua dolcezza e quel sorriso che ti caratterizzano da sempre; Serena, amiche sin dai tempi di ArgoZè, che nonostante la distanza trova sempre un modo per esserci; grazie a Maria Elisa, Elena e Alice, perché mi avete dato, sin da subito, un affetto sincero, come se ci conoscessimo da sempre, in particolar modo ringrazio Maria Elisa per essersi sorbita i miei esaurimenti nello scrivere questa tesi.

Grazie a tutti, perché ognuno di voi, seppur in modi, caratteri e tempi diversi, mi ha lasciato qualcosa di prezioso. Grazie, perché più che semplici amici siete dei fratelli, leali e presenti sia nei momenti più felici che in quelli meno; una spalla su cui piangere ed un sorriso su cui contare, sempre. Si dice che ognuno ha degli amici in ogni fase della propria vita, ma solo i veri fortunati hanno, in ogni momento, gli stessi vicini; dai vecchi tempi ai tempi in cui saremo vecchi, è l’augurio più bello che possiamo farci. Vedervi oggi qui, per me, rende questo giorno ancora più speciale; questo traguardo è anche vostro, sperando che non vi possa mai servire il mio aiuto professionale!

