



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE  
FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA

---

Corso di Laurea in Infermieristica

## **Storia della Ventilazione Meccanica**

Relatore: Prof.ssa  
**STEFANIA  
FORTUNA**

Tesi di Laurea di:  
**MARTINA  
DE ANGELIS**

Correlatore: Chiar.mo  
**ABELE DONATI**

A.A. 2019/2020

## **Indice**

<b>Premessa</b>	<b>pag.1</b>
<b>Capitolo 1 – Anatomia del respiro</b>	<b>pag.2</b>
<b>Capitolo 2 – La meccanica della respirazione</b>	<b>pag.5</b>
<b>Capitolo 3 – La filosofia del respiro</b>	<b>pag.8</b>
<b>Capitolo 4 – La storia della ventilazione meccanica</b>	<b>pag.13</b>
<b>Capitolo 5 – La ventilazione meccanica moderna</b>	<b>pag.22</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>pag.27</b>
<b>Sitografia</b>	<b>pag.29</b>
<b>Ringraziamenti</b>	<b>pag.32</b>

## **Premessa**

Dalla vetta che rappresenta il nostro presente, se ci voltiamo indietro, possiamo vedere come le complessità di oggi si sono evolute da radici relativamente semplici. Questa è la storia, che non riguarda soltanto il passato, ma è la chiave per la vera comprensione del presente e una scala che ci guida verso il futuro.

Con questa tesi mi propongo indagare la storia di un dispositivo essenziale per un reparto, quello di *Terapia intensiva*, che rimarrà inciso per sempre nel cuore della me tirocinante. Sicuramente appena messo piede in *Terapia Intensiva*, si nota un rumore diverso da quello che troviamo in tutti gli altri reparti. I pazienti sono per lo più sedati e incoscienti. Regna il silenzio. Certo, lo scalpitare degli zoccoli di gomma è universale, ma in *Terapia Intensiva* il rumore assordante proviene dai monitor, dalle pompe e dai ventilatori. E sono proprio questi l'oggetto della mia ricerca. L'elaborato, suddiviso in capitoli, riprende le conoscenze basilari dell'apparato respiratorio e ne indaga le prime spiegazioni filosofiche e antropologiche, per poi illustrare la storia vera e propria della ventilazione meccanica, fino ad arrivare alla strumentazione moderna.

## Capitolo 1 – Anatomia del respiro

Claude Bernard (1813-1878), nelle sue *Lezioni sui fenomeni della vita*, osservò come il fenomeno respiratorio sia universale, in quanto si trova in tutti gli esseri e in tutte le loro parti; e continuo, non potendo subire alcuna interruzione senza comportare immediatamente la sospensione della vita stessa.

Il corpo umano, che risponde ad un metabolismo aerobico, dipende costantemente dal rifornimento di ossigeno dall'ambiente esterno e necessita di un efficiente allontanamento dell'anidride carbonica derivante dai processi metabolici. Questo scambio di gas costituisce la respirazione, la quale è regolata dall'apparato respiratorio.

L'apparato respiratorio ha molte funzioni, ma la più importante è sicuramente quella dell'ematosi, cioè il processo che ha il fine di permettere l'ossigenazione del sangue e, di conseguenza, il rifornimento di ossigeno a tutti gli organi e tessuti dell'organismo.

La respirazione può essere suddivisa in quattro processi integrati:

- Scambio di aria tra atmosfera e polmoni, noto come ventilazione;
- Scambi gassosi polmonari: diffusione di ossigeno dagli alveoli ai capillari polmonari e, viceversa, di anidride carbonica dai capillari polmonari agli alveoli;
- Trasporto di ossigeno dai polmoni ai tessuti e di anidride carbonica da questi ai polmoni, grazie al sistema circolatorio;
- Regolazione del respiro.

La respirazione richiede perciò il funzionamento coordinato dell'apparato respiratorio e cardiovascolare, dando origine a quello che viene definito apparato cardiopolmonare.

L'apparato respiratorio è costituito da vie aeree e polmoni.

Le vie aeree trasportano, purificano, inumidiscono e riscaldano l'aria inspirata e sono sede degli organi della fonazione. Tali strutture originano dalle cavità nasali e terminano negli alveoli. Qui, lo scambio dei gas avviene per mezzo della diffusione, attraverso un processo di variazione del volume polmonare, definito ventilazione.

Topograficamente le vie aeree si distinguono in superiori e inferiori. Le prime sono composte dalla cavità nasale, dalla faringe e dalla laringe; mentre le seconde dalla trachea e dal sistema bronchiale polmonare.

L'aria entra nel tratto respiratorio superiore dalla bocca e dal naso e passa nella faringe. Dalla faringe, l'aria fluisce attraverso la laringe per raggiungere la trachea. La laringe contiene le corde vocali, bande di tessuto connettivo che si tendono per generare suoni durante il passaggio dell'aria. La trachea è un tubo semi-flessibile costituito da 20 anelli cartilaginei a forma di "c". Essa si estende nella cavità toracica, dove si ramifica in una coppia di bronchi primari, uno per ogni polmone, costituiti ugualmente da tessuto cartilagineo.

All'interno dei polmoni le vie aeree formano un intricato sistema di arborizzazione: i bronchi si ramificano ripetutamente in maniera dicotomica diventando sempre più piccoli fino a trasformarsi in bronchioli, ossia piccole vie di passaggio comprimibili con pareti di tessuto liscio. I bronchioli continuano a ramificarsi fino ai bronchioli terminali che confluiscono a livello dell'epitelio di scambio polmonare.

I polmoni sono organi a forma conica che occupano quasi completamente la cavità toracica; con l'ampia base concava poggiano sul diaframma mentre l'apice smussato sporge leggermente al di sopra della clavicola. Questi sono collegati alla trachea dai bronchi.

Ogni polmone è all'interno di un sacco pleurico, formato da due foglietti pleurici: uno viscerale, più sottile e trasparente, che riveste la superficie esterna del polmone, e l'altro parietale, più robusto e ricco di fibre elastiche, che riveste l'interno della cavità toracica. Le membrane pleuriche, o pleure, sono costituite da diversi strati di tessuto connettivo elastico, formato da un intreccio di fibre di collagene ed elastina, e numerosi capillari. I due foglietti sono tenuti insieme da un sottile strato di liquido pleurico il cui volume ammonta a pochi millilitri.

Il liquido pleurico che si trova intorno alle pleure serve a diversi scopi:

- creare una superficie umida e scivolosa tale per cui i due foglietti possono scorrere l'uno sull'altro durante il movimento dei polmoni nella cavità toracica;

- mantiene i polmoni a stretto contatto con le pareti toraciche sfruttando la proprietà di coesione dell'acqua fungendo quasi come da adesivo.

Ogni polmone è quindi una massa spugnosa con circa 150 milioni di piccole sacche, gli alveoli, che forniscono circa 70 m<sup>2</sup> di superficie per gli scambi gassosi. La funzione primaria degli alveoli è lo scambio di gas tra l'aria entrata nei polmoni e il sangue.

Ogni alveolo è costituito da un sottile strato di epitelio di scambio delle dimensioni di 0,5 µm, in cui sono presenti due tipi di cellule:

- Le cellule alveolari di tipo I (pneumociti I), grandi e molto sottili, permettono ai gas di diffondersi rapidamente attraverso di esse. In gran parte della superficie di scambio uno strato di lamina basale congiunge l'epitelio alveolare all'endotelio capillare. Tali cellule rappresentano il 90% della superficie alveolare.
- Le cellule alveolari di tipo II (pneumociti II), piccole e spesse, sintetizzano e secernono una sostanza chimica detta surfactante, un agente tensioattivo, che si mescola con il sottile liquido di rivestimento alveolare per facilitare l'espansione polmonare durante la ventilazione. Esse rappresentano il 7% della superficie alveolare.

Negli alveoli sono presenti anche sporadiche cellule del sistema immunitario, i macrofagi alveolari, che vagano tra il lume degli alveoli e il tessuto connettivo. Queste cellule spazzine sono deputate all'eliminazione di tutte quelle sostanze potenzialmente dannose, come pulviscolo atmosferico, batteri e particelle inquinanti.

Le pareti alveolari non hanno tessuto muscolare, perché questo potrebbe ostacolare lo scambio gassoso impedendo ai polmoni di contrarsi. Il tessuto connettivo presente tra le cellule epiteliali alveolari, tuttavia, presenta molte fibre elastiche che contribuiscono alla capacità di ritorno dei polmoni quando questi vengono stirati. Un'estesa rete di capillari copre l'80-90% della superficie alveolare, formando una lamina quasi continua di sangue in stretto contatto con l'aria che riempie gli alveoli. La vicinanza tra il capillare e l'aria alveolare è fondamentale affinché ci sia un rapido scambio gassoso.

## Capitolo 2 – La meccanica della respirazione

La respirazione è una successione di inspirazione ed espirazione che il corpo esegue grazie all'azione coordinata dei muscoli respiratori.

L'atto respiratorio consta di due fasi: l'inspirazione e l'espirazione.

L'inspirazione è la fase della dinamica inspiratoria in cui l'aria ricca di O<sub>2</sub> entra attivamente nei polmoni grazie alla contrazione del diaframma, che perdendo la sua forma a cupola, si abbassa verso l'addome di circa 1,5 cm: questo movimento aumenta il volume della cavità toracica contribuendo al 60-75% della variazione del volume polmonare. Il restante 25-40% della variazione del volume polmonare è dovuto al movimento della cassa toracica ad opera dei muscoli intercostali esterni, degli scaleni e sternocleidomastoidei, che contraendosi esercitano una trazione sulle coste verso l'alto e verso l'esterno. La combinazione di questi due movimenti allarga la cassa toracica in tutte le direzioni e permette all'aria di fluire all'interno dei polmoni.

Con l'espirazione l'aria povera di O<sub>2</sub> e ricca di CO<sub>2</sub> viene espulsa passivamente nel momento in cui i muscoli respiratori si rilasciano, determinando una costrizione della gabbia toracica e dei polmoni.

Ogni atto respiratorio è sempre suddivisibile in quattro fasi:

- apnea: situazione di equilibrio tra ambiente interno ed esterno;
- ispirazione: momento di lavoro respiratorio;
- pausa espiratoria (o plateau espiratorio);
- espirazione: avviene per passività, data l'elastanza del parenchima polmonare.

A questo punto un ciclo ventilatorio ha termine ed inizia il successivo.

Normalmente durante una eupnea, ovvero una respirazione tranquilla, si ha un atto respiratorio ogni 4 secondi, con la fase espiratoria lunga circa il doppio della fase inspiratoria. In un adulto sano, possiamo quindi contare circa 12-20 atti respiratori al minuto.

La quantità d'aria spostata durante la ventilazione può essere suddivisa in quattro volumi polmonari:

- volume corrente (VC): è il volume d'aria che si sposta normalmente durante una singola inspirazione o espirazione ed ammonta a circa 500 ml.
- volume di riserva inspiratoria (VRI): è il volume aggiuntivo inspirato oltre al volume corrente ed ammonta a circa 3000 ml, sei volte maggiore al volume corrente nominale.
- volume di riserva espiratoria (VRE): è il volume d'aria eliminato forzatamente dopo la fine di un'espirazione tranquilla ed ammonta a circa 1100 ml.
- volume residuo (VR): è il volume d'aria che rimane nelle vie aeree dopo un'espirazione massimale ed ammonta a circa 1200 ml. La maggior parte del volume residuo è dovuta al fatto che il polmone viene tenuto stirato contro la parete toracica a opera del liquido pleurico. Se tale liquido venisse meno, i polmoni collasserebbero su sé stessi e si giungerebbe velocemente all'asfissia.

Tali volumi polmonari variano in funzione dell'età, del sesso e dell'altezza.

La somma di due o più volumi polmonari è detta capacità.

- La capacità vitale (CV) è la somma del volume di riserva inspiratoria, del volume di riserva espiratoria e del volume corrente, e rappresenta il massimo volume d'aria che può essere volontariamente spostata dentro e fuori l'apparato respiratorio durante un atto ventilatorio. Essa diminuisce fortemente con l'età.
- La capacità polmonare totale (CPT) è la somma di capacità vitale e volume residuo.
- La capacità inspiratoria (CI) è la somma di volume corrente e volume di riserva inspiratoria.
- La capacità funzionale residua (CFR) è la somma di volume di riserva espiratoria e volume residuo.

La ventilazione polmonare totale, detta anche volume minuto, è il volume d'aria spostato dentro e fuori dai polmoni al minuto. In un soggetto adulto, il volume minuto è di circa 6 L/min. Tuttavia, non tutta l'aria che entra ed esce dai polmoni viene a contatto con la superficie alveolare. Infatti, una quota d'aria non raggiunge gli alveoli perché resta nelle



vie aree di conduzione, cioè nella trachea e nei bronchi che vengono definiti spazio morto anatomico, in quanto in essi non è possibile scambiare gas con il sangue. Tale spazio ha un volume di circa 150 ml. Ad ogni atto respiratorio, quindi, giungono agli alveoli solo 350 ml di aria nuova, ossia il volume corrente diminuito dei 150 ml di aria che rimane nello spazio morto anatomico.

### Capitolo 3 – La filosofia del respiro

Da sempre l'uomo ha riposto nel respiro la potenza della vita.

Nella *Bibbia* Dio dona la vita con un respiro, sigillando nel petto dell'uomo quella che noi definiamo anima.

*“...allora il Signore Dio plasmò l'uomo con polvere del suolo e soffiò nelle sue narici un alito di vita e l'uomo divenne un essere vivente.”*

*Genesi 2, 7*

Il termine anima, dal latino *anima* (aria, fiato, respiro), corrisponde al termine greco *psychè* (ψυχή) che ha il significato di soffio, respiro, alito.

Per l'uomo contemporaneo il termine anima indica la dimora della nostra individualità, coscienza e intimità, elementi su cui si deve far luce se ci si vuole conoscere a fondo. La concezione personalistica dell'anima, lungi dall'essere approdata ad una elaborazione definitiva, continua a subire modifiche e ad evolversi in risposta ai mutamenti della nostra società.

In questo percorso di evoluzione del concetto, il mondo greco ha giocato un ruolo fondamentale. Senofane nei suoi *Silloi* afferma che “tutti i Greci hanno imparato da Omero” (fr. B9 D-K), ed è proprio dal pensiero omerico che la mia ricerca ha inizio.

Analizzando i poemi omerici è facile notare l'assenza di ciò che noi chiameremmo, con termine unitario, anima e corpo. Omero non ha una parola riassuntiva che indichi queste due dimensioni, che prendono forma solo con la morte del soggetto. Esiste infatti una parola per indicare il cadavere (σῶμα, corpo), a differenza del concetto di corpo vivente, che non ha una parola a rappresentarlo. Al suo posto infatti vengono utilizzati termini come *chrós* (χρῶς, pelle), oppure si fa riferimento alle “membra”, non pensate come una struttura ordinata, ma come insieme di organi legati ad azioni specifiche.

Il corpo sembra quindi acquisire una sua unità solo quando non è più legato alla vita e dunque all'agire. Quando con la morte l'energia vitale (θυμός) che risiede nei tessuti si disperde, la *psychè*, si separa dal corpo, diventando un'ombra, un fantasma inconsistente

che rimpiange in eterno la vita. Parlare di *psychè* significa quindi parlare dell'ultimo respiro, di ciò che resta dell'uomo dopo la morte.

*ἀλλὰ τὰ μὲν τε πυρὸς κρατερὸν μένος αἰθομένοιο  
δαμνᾷ, ἐπεὶ κε πρῶτα λίπη λεύκ' ὀστέα θυμός,  
ψυχὴ δ' ἤϋτ' ὄνειρος ἀποπταμένη πεπότηται*

*“ma la furia impetuosa del fuoco ardente  
li disfa non appena θυμός abbandoni le bianche ossa  
e la ψυχὴ come un'immagine di sogno vola via.”*

*Odissea XI, 220*

Con il passare del tempo però, la *psychè* finì con l'assumere ed inglobare i caratteri dello *thymòs*, dell'energia vitale, e ben presto il corpo divenne gabbia dell'anima. Per cercare quindi di tornare liberi, nacquero svariati movimenti religiosi misterici il cui scopo era quello di avvicinare l'uomo al divino grazie alla follia (μανία), un'alterazione dello stato psichico individuale indotta attraverso una ritualità votata alla danza, all'orgasmo, al consumo di vino, che permetteva di dilatare l'essere individuale fino a farlo sentire parte del mondo superiore. Man mano che questa esaltazione degli istinti vitali più reconditi prendeva piede, ad essa si accompagnava una sempre più forte convinzione della straordinaria potenzialità dell'anima separata dal corpo.

Forse è proprio nelle manifestazioni dionisiache ed orfiche che possiamo trovare la chiave di volta per comprendere l'esordio della filosofia, disciplina che indaga il cosmo, compresa l'anima.

Il principio generale che dà origine e muove il cosmo è per i primi filosofi l'*archè*. Anassimene, ultimo rappresentante della Scuola di Mileto, individua l'*archè* nell'aria (o *pneuma*), una sostanza infinita, in continuo movimento e principio della vita. Secondo Anassimene, dall'aria derivano tutte le cose e nell'aria tutte le cose si dissolvono.

*"Come la nostra anima, che è aria, sorregge noi, così lo spirito e l'aria circondano tutto il cosmo".*

Anassimene, *Sulla natura*, fr DK13B2

Con la nascita della filosofia si cerca quindi di indagare e definire la reale ubicazione dell'anima nel corpo umano.

L'anatomia interna degli uomini e delle bestie era familiare a chiunque già dall'epoca antica per via delle battaglie e dei sacrifici, ma le effettive funzioni degli organi non erano note.

Centinaia di anni prima, Omero aveva collocato il *thymòs* all'interno delle *phrénes* (φρένες), cioè i polmoni o la regione toracica, descrivendoli come un fitto intreccio di canali (πόρος), in perfetta corrispondenza con l'organizzazione anatomica dell'organo e dando origine al brillante collegamento tra anima e respiro.

Qualche secolo dopo, Platone (428/427 a.C.-348/347 a.C.) definì l'anima come l'essenza della persona e la divise in tre parti per collocarla in diversi organi o regioni. A suo avviso l'anima era razionale, emotiva e desiderativa. La parte emotiva, responsabile di sentimenti come rabbia, coraggio e speranza, si trovava nella cavità toracica, più precisamente nel cuore. La parte desiderativa, che controlla le passioni e l'inconscio, si trovava vicino all'ombelico, nella cavità addominale. Infine, la parte razionale dell'anima, immortale e divina, era invece collocata nel cervello, sede di tutte le facoltà razionali.

La visione tripartita di Platone, che dava preminenza al cervello, si scontrò ben presto con quella cardiocentrica sostenuta da Aristotele (384 a.C.-322 a.C.), suo allievo, che in ultimo si rifaceva ad Omero e aveva già avuto molte adesioni tra i filosofi precedenti, tra cui Empedocle di Agrigento (V se. a.C.). Aristotele nel *De anima* provò ad unificare tra loro le diverse funzioni e attività psicofisiche dell'anima, riconducendole ad un unico referente, il cuore.

Nel terzo secolo, Erofilo ed Erasistrato (IV-III sec. a.C.), furono i primi anatomisti ad eseguire dissezioni e vivisezioni sui corpi di condannati a morte. Grazie a queste pratiche scoprirono molti nuovi aspetti del corpo umano, in particolare del cervello. Entrambi pensavano che l'anima fosse posta nel cervello, in particolare nei ventricoli, le quattro cavità all'interno dell'organo. Nelle loro dissezioni scoprirono anche le differenze nei nervi, sensori e motori, che hanno origine nel cervello, e nei vasi sanguigni, vene e arterie, che avrebbero origine dal fegato e dal cuore.

L'anatomo-fisiologia fu però sistematizzata da Galeno (129-216). Lo scopo dei suoi studi fu quello di ricostruire le funzioni delle parti osservate, compiendo un'ampia sperimentazione su cavie animali, tra cui scimmie e maiali. Sebbene Galeno dichiarò di essere all'oscuro della natura dell'anima, ne distingue tre facoltà riprendendo Platone: razionale, con sede nel cervello, emotiva, con sede nel cuore, e desiderativa, con sede nel fegato. Anche per lui il principio fondamentale della vita è rappresentato dall'aria, *pneuma*.

Secondo il suo sistema fisiologico (*Fig.1*), Galeno sostiene che il cibo viene assimilato dal corpo sotto forma di chilo (prodotto della digestione) e giunge al fegato per mezzo della vena porta; qui viene trasformato in sangue venoso, che ha il compito di nutrire tutto l'organismo attraverso le vene, per assorbimento. Una parte del sangue prodotto dal fegato arriva al cuore attraverso la vena cava, nella parte destra del cuore. Da qui, una parte di sangue venoso continua la sua circolazione giungendo ai polmoni per nutrirla; mentre un'altra raggiunge la parte sinistra del cuore attraversando fori invisibili, miscelandosi con l'aria esterna che arriva dalla bocca e dalla trachea, rigenerandosi e arricchendosi di spirito vitale. Questo viene poi diffuso in tutto l'organismo grazie all'intricato dedalo di arterie.

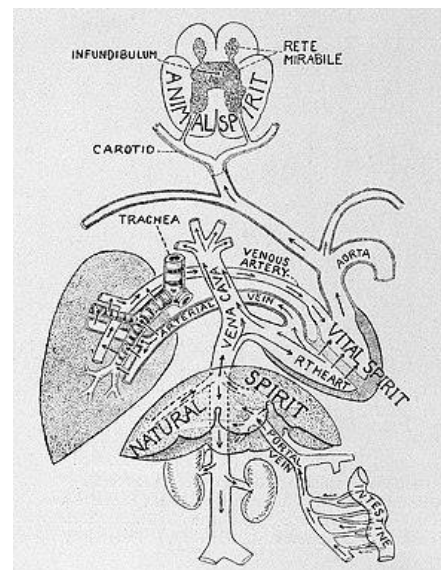


Figura 1 - Schema della fisiologia umana secondo Galeno

Inoltre, una piccola parte del sangue in uscita dal ventricolo sinistro giunge al cervello attraverso l'albero arterioso, generando pneuma psichico alla base del cervello, filtrandosi nella zona fittamente vascolarizzata che Galeno chiamava rete mirabile e che aveva osservato nel cervello dei bovini. Lo pneuma psichico, che si arricchisce anche con l'aria ispirata dall'esterno attraverso il naso, garantisce il funzionamento della parte più nobile dell'anima, permettendo la realizzazione delle funzioni cerebrali indispensabili per la vita dell'organismo. Si distribuisce inoltre in tutti gli organi attraverso i nervi garantendo sensibilità e movimento.

Per Galeno lo spirito psichico nel cervello e nei nervi controlla il movimento, la percezione e i sensi; il sangue, ricco di spirito vitali, nel cuore e nelle arterie controlla tutte le funzioni vitali e involontarie del corpo, compresa la temperatura; mentre il sangue venoso nel fegato e nelle vene regola l'alimentazione e il metabolismo.

Per secoli l'*ipse dixit* di Galeno ha dominato nella mente degli studiosi che, anche quando alcuni iniziarono a sezionare i cadaveri e a osservare il corpo umano più da vicino, non osarono mai contraddire totalmente la sua dottrina.

L'unico che ebbe il coraggio di rompere con il passato fu Andrea Vesalio (1514-1564), anatomista e medico fiammingo del XVI secolo, attivo a Padova, il quale si dedicò alla completa revisione delle conoscenze anatomiche e mediche dell'epoca, in vista di descrivere correttamente le parti del corpo umano per comprenderne il funzionamento, cosa che tuttavia avrebbe impegnato le generazioni successive e ancora oggi impegna gli scienziati, soprattutto per quanto concerne il cervello.

## Capitolo 4 – La storia della ventilazione meccanica

I ventilatori sono sofisticati strumenti utilizzati quando l'attività respiratoria spontanea non è in grado di sostenere un'adeguata ventilazione alveolare. Questi supportano, integrano o sostituiscono la ventilazione spontanea, fornendo l'energia necessaria ad assicurare un adeguato flusso, pressione e volume di gas negli alveoli durante l'inspirazione.

I macchinari che oggi abbiamo a nostra disposizione sono l'evoluzione di strumenti imperfetti nati nella seconda metà dell'Ottocento, maturati da un lungo percorso di sperimentazione e brillanti intuizioni, che sollevarono la scienza dalle nebbie del medioevo.

Pioniere della rivoluzione in questione fu Andrea Vesalio (1514-1564) (Fig.2), il quale studiò a Lovanio, Parigi, per poi diventare professore di anatomia all'Università di Padova a soli 23 anni. Considerato il fondatore della moderna anatomia, portò ad un primo superamento dell'antica medicina galenica, correggendo la descrizione di diversi organi attraverso lo studio autoptico del corpo umano e la pratica della dissezione dei cadaveri.

Nel 1543 pubblicò il brillante trattato di anatomia *De humani corporis fabrica*, perfetta sintesi di rigore scientifico e bellezza artistica. Il testo, arricchito da una variegata rassegna di disegni e illustrazioni del corpo umano, rappresenta il primo riferimento definitivo alla ventilazione a pressione positiva come la conosciamo oggi.

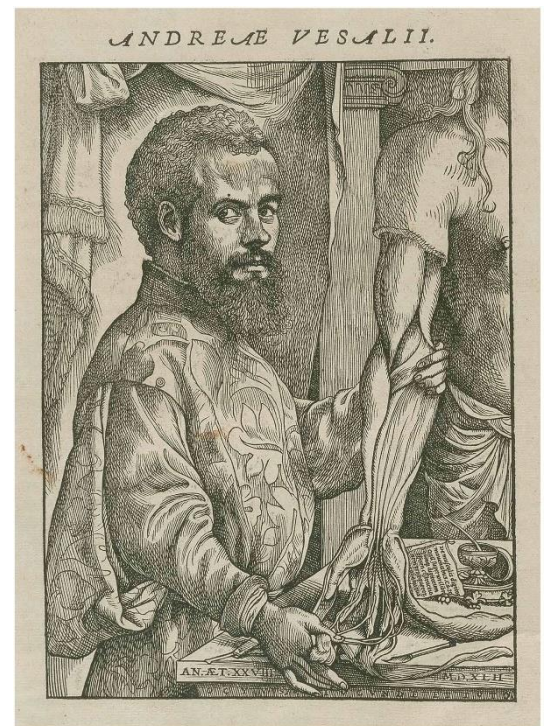


Figura 2 - Andrea Vesalio, ritratto dal "Fabrica"

*“Ut vero vita animali quodammodo  
restituatur, foramen in asperate arteriae  
caudice taitandum est, cui canalis ex  
calamo aut arudine indetur; isque  
inflabitur, ut pulmo assurgat, ac ipsum  
animali quodammodo aerern ducat.”*

*“Ma affinché all'animale possa essere  
restituita la vita, bisogna tentare  
un'apertura della trachea, e dalla fessura  
inserire una canna; allora si soffierà  
dentro, in modo che il polmone possa  
rialzarsi e prendere aria.”*

*De humani corporis fabrica VII 19, p. 658*

Questo passo descrive essenzialmente quanto anche oggi si fa in un qualsiasi reparto di terapia intensiva durante l'esecuzione di una tracheotomia: un tubo endotracheale viene inserito in trachea per mezzo di una soluzione di continuo, effettuata chirurgicamente con lo scopo di ventilare il paziente.

Bisogna tuttavia aspettare l'attività della Royal Society, fondata a Londra nel 1660, affinché l'affermazione di Vesalio abbia un seguito. Robert Hook (1635-1703), scienziato dai molteplici interessi, primo dipendente della Royal Society con il compito di preparare esperimenti, ne eseguì uno ingegnoso nel 1667, che confermava quanto Vesalio aveva suggerito. Dimostrò che era possibile mantenere in vita un cane insufflando all'interno dei suoi polmoni aria con dei mantici, attraverso incisioni praticate nella parete toracica, fino alle pleure.



“Il cane. . . giaceva immobile, come prima, con gli occhi sempre molto veloci e il cuore che batteva molto regolarmente: ma, dopo aver cessato questa raffica, vuotando i polmoni, il cane cadeva immediatamente in crisi convulsive morenti; veniva però rianimato una volta rinnovata la pienezza dei suoi polmoni con il costante soffio di aria fresca.”

*An account of an experiment made by Mr Hook of preserving animals*

*alive by blowing through their lungs with bellows, Philosophical Transactions 1667;2:539-540*

Durante il XVII secolo vennero utilizzati diversi approcci per rianimare i pazienti, purtroppo tutti poco illuminati e senza risultati positivi. All’epoca non era ancora chiaro perché si respirasse o si smettesse improvvisamente di respirare. Si credeva semplicemente che le persone diventassero incoscienti a causa della mancanza di stimoli. Questa ipotesi portò a una serie di trattamenti insoliti il cui obiettivo era quello di provocare stimoli per riattivare la respirazione: rotolare i pazienti dentro dei barili, flagellarli, lanciarli da cavalli al trotto, appenderli a testa in giù, sottoporli a bagni in acqua ghiacciata o pompare del fumo nel loro retto attraverso l’utilizzo di un fumigatore (Fig.3).

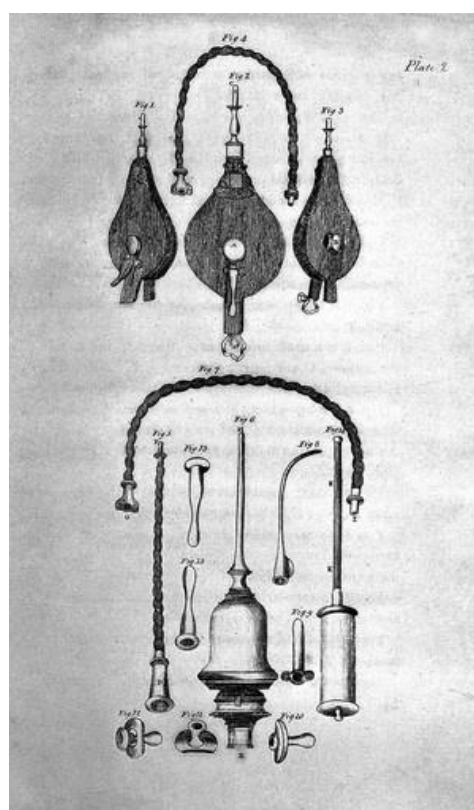


Figura 3 - Mantici per insufflazioni rettali di tabacco

Nel 1774, Joseph Priestly (1733-1804) e Wilhelm Scheele (1742-1786) scoprirono indipendentemente l'ossigeno, permettendo a Lavoisier (1743-1794) di comprenderne l'importanza e la funzione nella respirazione. Ironia della sorte, questa scoperta ostacolò temporaneamente il ricorso ad una rianimazione efficace, quella bocca a bocca, utilizzata già di rado. Questa fu in gran parte interrotta perché si credeva che l'aria espirata fosse priva di ossigeno e quindi non utile per rianimare persone apparentemente morte.

Furono piuttosto prodotti degli strumenti simili a mantici o soffietti che, collegati a dei tubi flessibili, permettevano al medico di insufflare aria ambiente, fumo o vapore, nei polmoni del malcapitato (solitamente soggetti con sindrome di annegamento). Purtroppo, non sempre si riusciva a raggiungere l'intento.

Nel 1829 Leroy D'Etiolles (1798-1860) dimostrò, attraverso un esperimento condotto su animali, che le insufflazioni che in genere si praticavano provocavano pneumotorace e collasso del polmone, portando il paziente alla morte. Presto l'Accademia Francese delle Scienze e la Royal Society di Londra condannarono l'uso del mantice. Così la ventilazione a pressione positiva venne proibita per più di 120 anni.

Alla fine del XIX secolo, furono sviluppati ventilatori basati in gran parte su principi fisiologici accettati, sfruttando la capacità della pressione atmosferica erogata intorno al corpo del paziente per sostituire o aumentare il lavoro svolto dai muscoli respiratori. Nel 1864, Alfred Jones di Lexington, Kentucky, brevettò l'antenato del polmone d'acciaio (Fig.4), dove il paziente sedeva in una scatola che racchiudeva completamente il suo corpo dal collo in giù, e attraverso uno stantuffo veniva diminuita o aumentata la pressione nella scatola. Il presidio prometteva di curare paralisi, nevralgia, debolezza seminale, asma, bronchite, dispepsia e sordità.

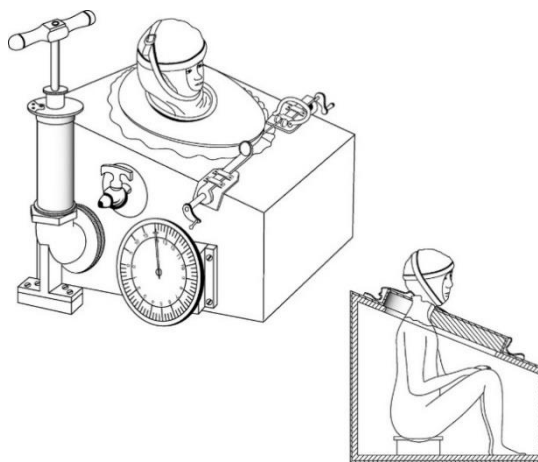


Figura 4 - Primo prototipo del polmone d'acciaio

Nel 1876 Eugène Woillez (1811-1882) costruì il primo rudimentale polmone d'acciaio funzionante, che chiamò "spiroforo" (Fig.5). Questo venne utilizzato principalmente per soccorrere coloro che annegavano nella Senna.

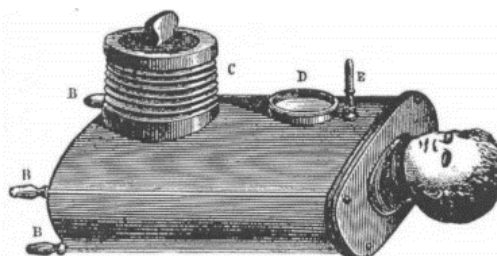


Figura 5 - Spiroforo

La problematica maggiore di questi dispositivi era rappresentata dalla difficoltà d'accesso al corpo del paziente. Per ovviare al problema, Peter Lord di Worcester, Massachusetts, brevettò un'intera stanza in cui il paziente giaceva con la testa fuori, mentre enormi pistoni generavano cambiamenti di pressione, che facevano entrare e uscire l'aria dai polmoni (Fig.6). La stanza aveva poi una porta in modo che il personale medico potesse entrare nel ventilatore per assistere il paziente. Ovviamente questi ventilatori erano estremamente costosi, ecco perché James L. Wilson sviluppò una stanza di ventilazione in cui potevano essere trattati più pazienti contemporaneamente. Una di queste stanze, situata al

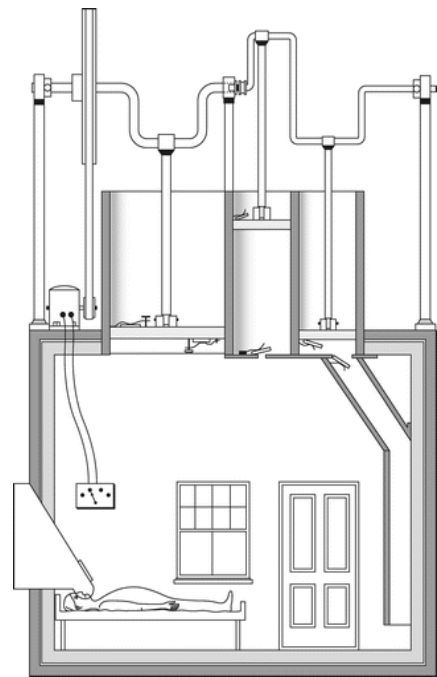


Figura 6 - Camera respiratoria

Children's Hospital di Boston, venne utilizzata per assistere molte persone durante svariate epidemie.

Nei decenni i ventilatori a pressione negativa si sono evoluti alla luce del sole, ma l'idea della possibilità di utilizzare la tecnica della ventilazione a pressione positiva non fu mai del tutto abbandonata.

Nel 1907, durante un viaggio all'estero, l'imprenditore Johanna Heinrich Dräger (1847-1917) assistette al salvataggio di un giovane che stava affogando nel Tamigi. Tornato in Germania, utilizzò la sua azienda e il suo estro di inventore per creare un dispositivo in grado di "pompate aria fresca oppure ossigeno nei polmoni". Nacque quindi il *Pulmotor* (Fig.7), un dispositivo in grado di creare alternativamente pressione positiva e negativa grazie all'aiuto di una piccola bombola di ossigeno pressurizzato.

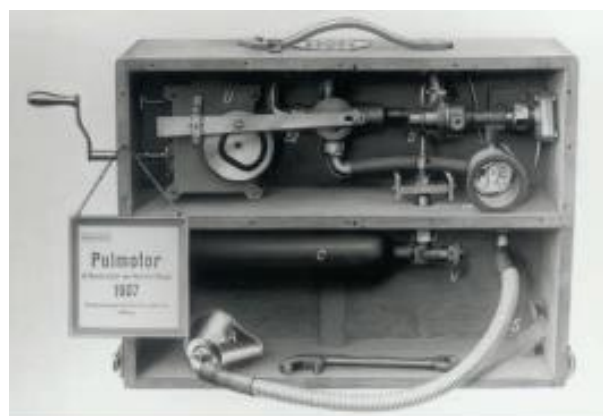


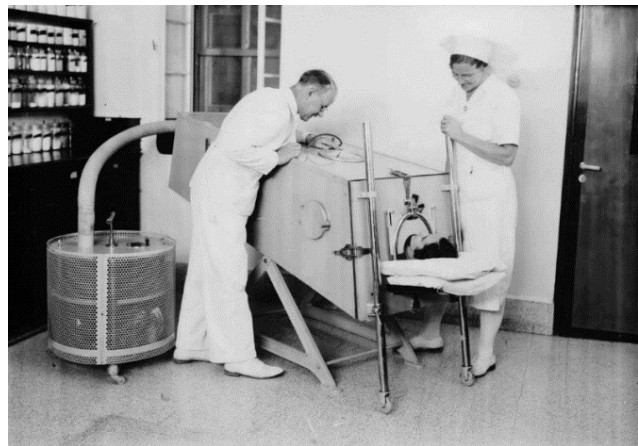
Figura 7 - Pulmotor

Presto questo rivoluzionario marchingegno divenne il prodotto di punta della giovane

azienda, rendendo possibile per la prima volta rianimare sul posto coloro che hanno perso coscienza per mancanza d'ossigeno. Inizialmente venne utilizzato per soccorrere i lavoratori rimasti intrappolati nelle miniere in seguito a dei crolli, ma ben presto questa tecnologia pionieristica venne utilizzata nei più disparati campi. Vennero creati dispositivi simili al *Pulmotor*, ma più leggeri ed indossabili, per i pompieri; oppure in grado di permettere all'uomo di avere fino a 40 minuti d'autonomia sott'acqua, senza tubi che li legavano alla nave base, per permettergli di intraprendere le prime spedizioni subacquee.

L'idea dello spiroforo non venne comunque accantonata, e grazie all'impegno di Philip Drinker (1894-1972), professore presso l'Harvard School of Public Health, e del suo collaboratore Louis Agassiz Shaw (1886-1940), nel 1928 nacque il primo polmone d'acciaio. Drinker pensò di poter simulare la respirazione attraverso delle variazioni di pressione; per questo paralizzò i muscoli respiratori del gatto e pompò aria manualmente dentro e fuori la scatola provocando un cambiamento di pressione all'interno. Ciò permise al torace del gatto di contrarsi ed espandersi facendolo respirare.

Il passo successivo fu quello di creare una macchina "a dimensione umana" basata sullo stesso principio del primo esperimento (*Fig.8*). Il modello prevedeva un cilindro stagno collegato ad una pompa, nel quale veniva ospitato il paziente sdraiato supino con la testa fuori e bloccata da un collare di gomma, che impediva il passaggio di aria. Azionata la pompa,



*Figura 8- Uno dei primi polmoni d'acciaio*

l'aria viene delicatamente aspirata fuori creando così un vuoto parziale all'interno del respiratore. L'aria, quindi, tenta di colmare il vuoto entrando dalle uniche aperture che riesce a trovare: narici e bocca. In questo modo il paziente riesce a inspirare grazie a un'espansione indotta della gabbia toracica. Questa fase viene chiamata a pressione negativa. Nella fase contraria, ossia a pressione positiva, la pompa permette all'aria di rientrare nel polmone d'acciaio. Questo aumento di pressione fa sì che la gabbia toracica

si contragga permettendo al paziente di espirare. Quindi, alternando periodicamente la pressione, il polmone d'acciaio simula la respirazione fisiologica.

Il respiratore fu utilizzato per la prima volta il 12 ottobre 1928 su una bambina di otto anni ricoverata presso il Children's Hospital di Boston, malata di polio e ormai in fin di vita. La bambina morì tre giorni dopo di polmonite, esito non insolito per i pazienti trattati con respiratore a causa dell'impossibilità di ricevere sufficienti cure igieniche. Nonostante ciò, l'efficacia curativa del polmone d'acciaio era ormai evidente e si avviava verso un continuo miglioramento.

Fu la recrudescenza della poliomielite a fungere da spartiacque nella storia della ventilazione meccanica. Prima di allora, si credeva che la ventilazione meccanica avesse una certa utilità, ma non era ampiamente utilizzata. In seguito, i vantaggi della ventilazione furono evidenti, e questa nuova tecnica si diffuse in tutto il mondo.

Nel 1951 ci fu una conferenza internazionale sulla polio a Copenaghen, alla quale parteciparono la maggior parte degli esperti mondiali di polio. L'estate successiva, Copenaghen sperimentò una terribile epidemia di polio, probabilmente innescata dal trasporto del virus da parte degli inconsapevoli ricercatori giunti in città per la conferenza dell'anno precedente. Al culmine dell'epidemia, 50 pazienti al giorno venivano ricoverati al Blegdams Infectious Disease Hospital, molti dei quali completamente paralizzati. È inutile dire che la mortalità di questi pazienti era estremamente alta (> 80%).

Nelle prime tre settimane di epidemia, 31 pazienti vennero sottoposti alla ventilazione a pressione negativa, ma il 90% di questi morì ugualmente.

Ecco perché Henry Lassen (1861-1919), medico a capo del Blegdams Infectious Disease Hospital, si rivolse a Bjørn Ibsen (1915-2007), un giovane anestesista danese formatosi a Boston, che avrebbe dato un contributo fondamentale nella storia della medicina. Lunedì 25 agosto del 1952 i due si incontrarono all'Blegdams per discutere della drammatica situazione.

A quel tempo, la maggior parte dei medici, compreso Lassen, riteneva che i pazienti morissero di insufficienza renale causata da una schiacciante viremia sistemica; questa conclusione si basava solo sui sintomi terminali dei pazienti, quali: sudorazione

eccessiva, ipertensione e aumento della CO<sub>2</sub> nel sangue. Ibsen, invece, ipotizzò che questi sintomi non erano causati da insufficienza renale, ma da insufficienza respiratoria. Pertanto, formulò un nuovo approccio al paziente, raccomandando tracheotomia e ventilazione a pressione positiva.

Da una parte abbiamo un anestesista trentacinquenne che non aveva mai visto un paziente con polio prima d'ora (Ibsen); dall'altra un esperto in materia, un clinico, di quindici anni più grande (Lassen): due medici molto diversi per formazione ed esperienza.

Lassen inizialmente rifiutò questo nuovo approccio, ma presto cedette quando Ibsen gli dimostrò la sua efficacia. Mercoledì 27 agosto 1952, Ibsen scelse la dodicenne Vivi Ebert che, a causa della variante bulbare dell'infezione da poliomielite, oltre alla paralisi, aveva sviluppato una compromissione ai centri di controllo del tronco cerebrale per la deglutizione. La giovane stava morendo soffocata dalle sue stesse secrezioni, proprio davanti a loro.

Durante gli anni di specializzazione a Boston, Ibsen aveva appreso l'arte del *bagging*: un sacchetto di gomma, collegato ad un tubo posizionato nella trachea del paziente, veniva schiacciato a mano per permettergli di continuare a respirare anche sotto anestesia durante l'intervento chirurgico. Decise quindi di sfruttare la sua esperienza e tentare di salvare la giovane ragazza con una delle pratiche più vecchie e dimenticate della medicina: la ventilazione a pressione positiva.

Alle 11:15, sotto la direzione di Ibsen, un chirurgo inserì una cannula tracheostomica nella trachea di Vivi per permettergli di ventilarla a mano. Purtroppo, le sue condizioni non sembravano affatto migliorare. L'aria le riempiva i polmoni a ogni pressione della sacca, ma, agitata e piena di muco, contrastava involontariamente le insufflazioni del giovane anestesista. Alle 13:17, in preda alla disperazione, Ibsen le somministrò una grande dose di sodio tiopentale, oggi conosciuto con il nome commerciale di Pentotal) per calmarla. Gli spettatori riuniti lasciarono poco dopo la stanza, immaginando che la dimostrazione fosse culminata in un'overdose di barbiturico semi-intenzionale e letale. Tuttavia, quando il sedativo prese piede, il rantolo di Vivi cessò. I suoi muscoli in difficoltà si rilassarono, permettendo a Ibsen di ventilarla correttamente. Secondo la sua cartella clinica, Vivi Ebert necessitò di ventilazione meccanica continua fino al gennaio

del 1953. Quadriplegica, ma viva, lasciò Blegdam nel 1959 dopo una convalescenza di sette anni.

Quel pomeriggio segnò la storia della medicina e la vita di molti malati di polio (Fig.9). Dall'oggi al domani, la mortalità diminuì drasticamente, dall'90% al 25%. Fornire assistenza a tutti questi pazienti però, portò alla luce un grosso problema: tutti dovevano essere ventilati a mano. Ecco perché Ibsen arruolò 1.500 studenti di medicina e odontoiatria per ventilare manualmente tutti i pazienti, per un totale di 165.000 ore continue di ventilazione manuale. Inconsapevolmente Ibsen aveva creato il primo reparto di terapia intensiva della storia.



Figura 9 - Ibsen e Vivi Ebert

## Capitolo 5 – La ventilazione meccanica moderna

La ventilazione artificiale, nota anche come ventilazione meccanica, sostituisce, integra o supporta la ventilazione spontanea, permettendo al soggetto di mantenere scambi gassosi soddisfacenti grazie all'ausilio di apparecchi speciali, chiamati ventilatori polmonari.

Le finalità della ventilazione meccanica sono:

- migliorare gli scambi gassosi, incrementando la PaO<sub>2</sub> (pressione parziale di O<sub>2</sub> nel sangue) e riducendo la PaCO<sub>2</sub> (pressione parziale di anidride carbonica) con conseguente correzione dell'acidosi respiratoria (condizione caratterizzata da un aumento dell'acidità del sangue);
- mettere a riposo i muscoli respiratori con conseguente riduzione del consumo di ossigeno per ogni atto respiratorio;
- prevenire o risolvere un'atelettasia, cioè un collasso totale o parziale di un polmone, dovuto allo sgonfiamento degli alveoli polmonari;
- miglioramento della qualità di vita (nel caso della ventilazione domiciliare).

I parametri da impostare nella ventilazione meccanica controllata sono di solito i seguenti:

- Frequenza respiratoria: è il numero di atti respiratori impostati sul ventilatore. Una persona compie di norma tra i 12 e 20 atti/min. All'aumentare della frequenza respiratoria, si associa normalmente una ventilazione poco efficace, in quanto i polmoni non riescono a svuotarsi completamente.
- FiO<sub>2</sub>: è la frazione inspirata di ossigeno, ovvero la quantità di O<sub>2</sub> inspirata da un paziente; si esprime in percentuale. La FiO<sub>2</sub> ambientale è al 21%.
- Volume corrente: è la quantità di aria che entra ed esce dai polmoni ad ogni atto respiratorio. Normalmente è stimato tra i 7-8 ml/kg di peso corporeo.
- PEEP (pressione positiva di fine espirazione): è la pressione che il ventilatore applica durante le pause tra la fine dell'espirazione e l'inizio dell'inspirazione successiva, impedendo il ritorno della pressione al livello atmosferico. La PEEP è utilizzata per migliorare l'ossigenazione dei pazienti che non



rispondono agli incrementi di FiO<sub>2</sub> e per evitare l'atelettasia polmonare (ovvero il collasso degli alveoli).

- VM (volume/minuto): è la quantità di gas inspirata ed espirata ogni minuto. Si calcola moltiplicando la frequenza respiratoria e il volume corrente.
- trigger inspiratorio: è una funzionalità del VM utilizzata quando il ventilatore è in modalità assistita: permette al paziente di dare inizio ad un atto inspiratorio che viene poi supportato dalla macchina, migliorando la sincronizzazione tra macchina e paziente.

Oggi giorno la ventilazione meccanica applicata nelle Terapie Intensive è quella a pressione positiva, mentre quella a pressione negativa fa parte ormai della storia.

I ventilatori a pressione negativa erano costituiti da un contenitore metallico nel quale il paziente era chiuso fino al collo con la testa che sporgeva e le vie aeree in diretto contatto con l'aria dell'ambiente. Attraverso un mantice veniva generata una depressione all'interno del contenitore, affinché la cassa toracica si espandesse e determinasse una depressione all'interno delle vie aeree del paziente. L'aria ambiente, per differenza di pressione, entrava nelle vie aeree e giungeva nei polmoni. Annullando la depressione all'interno del contenitore, si aveva il ritorno della gabbia toracica alla posizione di riposo, con conseguente svuotamento passivo del polmone. Il polmone d'acciaio riproduceva quindi la normale meccanica respiratoria che si avrebbe se i muscoli respiratori non fossero danneggiati. In passato uno dei grossi problemi era rappresentato dal fatto che, poiché anche l'addome si trovava nella cisterna, anch'esso si espandeva durante l'azione del mantice, raccogliendo sangue in addome e impedendo il corretto riempimento cardiaco. Ecco perché attualmente, dove possibile, vengono preferite soluzioni come “la corazza” (Fig.10) o “il poncho” (Fig.11), in grado di lasciare più libertà al paziente.

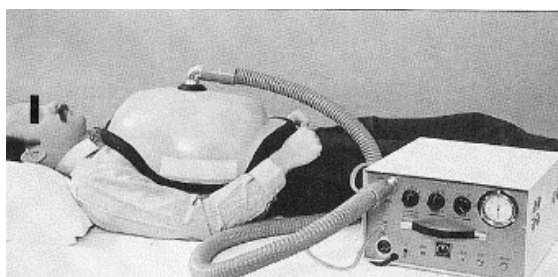


Figura 10 – Corazza

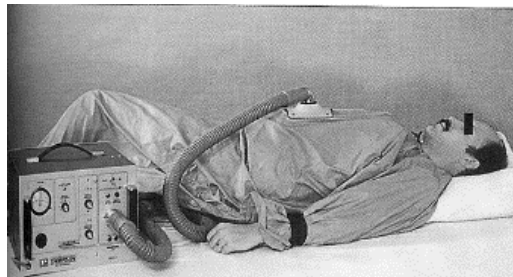


Figura 11 - Poncho

I ventilatori a pressione positiva, invece, rappresentano la moderna metodica di supporto alla respirazione spontanea. Questo ventilatore è un dispositivo che pompa aria nelle vie respiratorie del paziente a intervalli regolari, mimando a tutti gli effetti gli atti respiratori fisiologici.

Esistono due metodiche di ventilazione a pressione positiva: invasiva e non invasiva.

La ventilazione non invasiva, chiamata anche NIV, è un sistema ventilatorio non cruento che si sostituisce all'utente durante gli atti respiratori. I dispositivi che permettono alla macchina di entrare in comunicazione con il paziente possono essere la maschera nasale, la maschera facciale, la maschera total-face o lo scafandro (casco).

La ventilazione invasiva prevede necessariamente che il paziente abbia in sede un tubo orotracheale, naso tracheale o una cannula tracheostomica. Questa tipologia di ventilazione si avvale di ventilatori che richiedono solitamente alimentazione diretta dalla rete elettrica, anche se tutti sono muniti di batteria per garantire il trasporto del paziente all'interno dell'ospedale o per rimanere operativi durante un possibile blackout. Questi dispositivi sono molto complessi e permettono il controllo di molti parametri ventilatori contemporaneamente.

Il ventilatore a pressione positiva può essere impostato, in base alle necessità, in modalità pressometrica o volumetrica. La tipologia di ventilazione viene scelta sulla base di quanto il paziente è autonomo dal punto di vista ventilatorio, dal grado di sedazione e sulla base di quanto il ventilatore deve sostituirsi allo sforzo muscolare del paziente.

In modalità pressometrica, il ventilatore eroga sempre le stesse pressioni positive scelte dall'operatore, a prescindere dal volume corrente che sarà poi sviluppato dal paziente.

In modalità volumetrica, il ventilatore ha l'obiettivo di far sì che il paziente mantenga un volume corrente costante stabilito

Fanno parte della modalità volumetrica:

- La ventilazione a volume controllato (CV) → invasiva;
- La ventilazione a volume assistito-controllato (AC) → invasiva;
- La ventilazione sincronizzata obbligatoria intermittente (SIMV) → invasiva.

Con la ventilazione controllata il ventilatore non rileva gli sforzi respiratori del paziente ed eroga gli atti respiratori secondo una frequenza al minuto stabilita. Viene stabilito un volume corrente per ogni atto respiratorio e il ventilatore continua ad insufflare aria fino al raggiungimento di quel valore, dopodiché si interrompe l'insufflazione e si apre la valvola per consentire la fuoriuscita di aria, ovvero l'atto espiratorio.

Nella ventilazione a volume assistito, invece, il ventilatore fornisce un atto respiratorio ogni volta che il paziente inizia a respirare. Il ventilatore, infatti, percepisce una pressione negativa data dallo sforzo inspiratorio ed eroga un atto respiratorio secondo il volume corrente impostato.

Differente è la ventilazione sincronizzata obbligata intermittente. Gli atti erogati dal respiratore si sincronizzano con l'inspirazione del paziente. Se il paziente non dà inizio ad un atto respiratorio spontaneo, il ventilatore interviene erogando un atto respiratorio. Il volume corrente varia in base agli sforzi del paziente, ma il ventilatore garantisce che il paziente effettui un numero minimo prestabilito di atti al minuto.

Fanno parte della modalità volumetrica:

- La ventilazione a pressione controllata (PCV) → invasiva e non invasiva;
- La ventilazione con supporto pressorio (PSV) → invasiva e non invasiva;
- Ventilazione meccanica a pressione positiva continua (C-PAP) → non invasiva.

Con la ventilazione a pressione controllata è il ventilatore che determina il tempo di inspirazione, senza che vi sia la partecipazione del paziente. Viene programmata una pressione di picco inspiratorio (PIP) e il ventilatore insuffla aria fino al raggiungimento del valore di pressione impostato. Raggiunto il limite, il ventilatore interrompe l'insufflazione e apre la valvola che consente la fuoriuscita dell'aria e quindi la fase espiratoria.

La ventilazione con supporto pressorio è la modalità utilizzata quando il paziente respira spontaneamente, ma non è ancora pronto per essere estubato. Ogni atto respiratorio è iniziato e sostenuto dal paziente. Il ventilatore applica una pressione costante nelle vie aeree durante tutta l'inspirazione, che si sincronizza con lo sforzo inspiratorio del paziente.

Tutte e due le modalità di ventilazione sopradescritte possono essere applicate anche in modalità non invasiva tramite maschera.

Con la ventilazione meccanica a pressione positiva continua (CPAP), non c'è bisogno del ventilatore ma di un flussimetro particolare che somministra al paziente una pressione elevata continua che si sovrappone alla ventilazione spontanea del paziente, migliorando l'ossigenazione e riducendo lo sforzo ventilatorio e il lavoro cardiaco.

## **Bibliografia**

### **Capitolo 1**

Larsen R. e Ziegenfuss T., *La respirazione artificiale – basi e pratica*, Springer, Berlino 2011.

Saladin K. S., *Anatomia Umana*, terza edizione, Piccin–Nuova Libreria, Padova, 2017.

### **Capitolo 2**

Larsen R. e Ziegenfuss T., *La respirazione artificiale – basi e pratica*, Springer, Berlino 2011.

Menotti M., *Compendio di fisiologia umana*, Piccin-Nuova Libreria, Padova, 2012.

### **Capitolo 3**

Manzoni T., *Il cervello secondo Galeno*, Il lavoro editoriale, 2001.

Novara E., *La psicologia prima della psicologia. Paradigmi filosofici dell'anima nel mondo greco*, Dasein, 7, 2018.

Onians R. B., *Le origini de pensiero europeo*, Adelphi, 1998.

Santoro G., Wood M. D., Merlo L., Anastasi G. P., Tommasello F., Fermanò A., *The anatomic location of the soul from the heart, through the brain, to the whole body, and beyond: a journey through Western history, science, and philosophy*, Neurosurgery, 2009 Oct; 65(4):633-43; discussion643. Doi: 10.1227/01.NEU.0000349750.22332.6A.

Sarri F., *Socrate e la nascita del concetto occidentale di anima*, Vita e Pensiero, Milano, 1997.

Sini C., *Raccontare il mondo – filosofia e cosmologia*, Libreria CUEM, Milano, 2001.

Snell B., *La cultura greca e le origini del pensiero europeo*, Piccola Biblioteca Einaudi, 1971.

Urso C., *Riferimenti anatomici nell'Iliade di Omero*, Pathologica, 89, 26-30, 1997.

## Capitolo 4

James M. W., Corbridge T. C., Singer B. D., *Invasive Mechanical Ventilation*, South Med J. 2018 Dec;111(12):746-753. doi: 10.14423/SMJ.0000000000000905.

Kacmarek R. M., *The Mechanical Ventilator: Past, Present, and Future*, Respir Care 2011 Aug;56(8):1170-80. doi: 10.4187/respcare.01420.

Nuland S. B., *I figli di Ippocrate – storia della medicina, dagli antichi greci ai trapianti di organo*, Mondadori, Milano, 1994.

Pham T., Brochard L. J., Slutsky A. S., *Mechanical Ventilation: State of the Art*, Mayo Clin Proc 2017 Sep;92(9):1382-1400. doi: 10.1016/j.mayocp.2017.05.004.

Slutsky A. S., *History of Mechanical Ventilation. From Vesalius to Ventilator-induced Lung Injury*, Am J Respir Crit Care Med 2015 May 15;191(10):1106-15. doi: 10.1164/rccm.201503-0421PP.

Szmuk P., Ezri T., Evron S., Roth Y., Katz J., *A Brief History of Tracheostomy and Tracheal Intubation, From the Bronze Age to the Space Age*, Intensive Care, Med 2008 Feb;34(2):222-8. doi: 10.1007/s00134-007-0931-5. Epub 2007 Nov 13.

Tobin M. J., *ATS Centenary: Four-Century Prologue to a Century of Progress*, Am J Respir Crit Care Med 2004 Apr 15;169(8):891-3. doi: 10.1164/rccm.2402027.

Vesalio A., *De humani corporis fabrica*, 1543

Woollam C. H. M., *The Development of Apparatus for Intermittent Negative Pressure Respiration*, Anesthesia, 1976, Volume 31, p. 537-547.

## Capitolo 5

Chiaranda M., *Urgenze ed emergenze – Istruzioni*, quarta edizione, Piccin-Nuova Libreria, 2016.

## Sitografia

### Capitolo 1

Griguolo A., *Apparato respiratorio*, <https://www.my-personaltrainer.it/salute-benessere/apparato-respiratorio.html> (consultato il 14/12/20)

### Capitolo 2

Calabrese M., *Semeiotica del respiro in pills*, <https://www.nursetimes.org/semeiotica-del-respiro-pills/17719> (consultato il 14/12/20)

### Capitolo 3

*Anassimene di Mileto*, Wikipedia, [https://it.wikipedia.org/wiki/Anassimene\\_di\\_Mileto](https://it.wikipedia.org/wiki/Anassimene_di_Mileto) (consultato il 15/02/21)

*Anima*, Wikipedia, <https://it.wikipedia.org/wiki/Anima> (consultato il 11/02/21)

*Archè*, Wikipedia, <https://it.wikipedia.org/wiki/Arch%C3%A8> (consultato il 11/02/21)

Cimarelli A., *L'immortalità dell'anima origine della filosofia*, <http://ritirifilosofici.it/limmortalita-dellanima-come-origine-della-filosofia/> (consultato il 10/02/21)

*Dizionario Greco Antico Olivetti*, <https://www.grecoantico.com/> (consultato il 10/02/21)

*Dizionario Latino Olivetti*, <https://www.dizionario-latino.com/dizionario-latino-italiano.php> (consultato il 10/02/21)

*La Sacra Bibbia*, [https://www.laparola.net/testo.php?versioni\[\]=C.E.I.&riferimento=](https://www.laparola.net/testo.php?versioni[]=C.E.I.&riferimento=) (consultato il 10/12/21)

*Orfismo*, Wikipedia, <https://it.wikipedia.org/wiki/Orfismo> (consultato il 21/02/21)

*Psychè*, Wikipedia, <https://it.wikipedia.org/wiki/Psych%C3%A9> (consultato il 10/02/21)

Senofane, *Frammenti*, [https://www.filosofico.net/Antologia\\_file/AntologiaS/senofane1.htm](https://www.filosofico.net/Antologia_file/AntologiaS/senofane1.htm) (consultato il 14/02/21)

Serino N., *Anassimene di Mileto, il filosofo dell'aria*, [https://www.eroicafenice.com/salotto-culturale/anassimene-di-mileto-il-filosofo-dellaria/#:~:text=Eroica\(mentis\)-,Anassimene%20di%20Mileto%2C%20il%20filosofo%20dell'aria,di%20Mileto%2C%20nella%20Ionia%20Minore.](https://www.eroicafenice.com/salotto-culturale/anassimene-di-mileto-il-filosofo-dellaria/#:~:text=Eroica(mentis)-,Anassimene%20di%20Mileto%2C%20il%20filosofo%20dell'aria,di%20Mileto%2C%20nella%20Ionia%20Minore.) (consultato il 16/02/21)

*Storia dell'ubicazione dell'anima*, Wikipedia, [https://it.wikipedia.org/wiki/Storia\\_dell%27ubicazione\\_dell%27anima](https://it.wikipedia.org/wiki/Storia_dell%27ubicazione_dell%27anima) (consultato il 09/03/21)

Umberto Galimberti, *L'anima, un concetto di derivazione platonica*, <https://www.raicultura.it/filosofia/articoli/2019/02/Umberto-Galimberti-Lanima---7d7861a6-4ca2-4dcd-9296-bd1da4c113ff.html> (consultato il 22/02/21)

#### **Capitolo 4**

*Asthma History, 1907: The First Mechanical Ventilator: The Pulmotor*, <http://astmahistory.blogspot.com/2017/04/1907-first-mechanical-ventilator.html> (consultato il 23/10/20)

De La Garza A., *The Surprisingly Long History of the Ventilator, the Machine You Never Want to Need*, <https://time.com/5815499/ventilator-history/> (consultato il 20/10/20)

Wertheim B. M., *How a Polio Outbreak in Copenhagen Led to the Invention of the Ventilator*, <https://www.smithsonianmag.com/innovation/how-polio-outbreak-copenhagen-led-to-invention-ventilator-180975045/> (consultato il 03/11/20)

*Andrea Vesalio*, Wikipedia, [https://it.wikipedia.org/wiki/Andrea\\_Vesalio](https://it.wikipedia.org/wiki/Andrea_Vesalio) (consultato il 19/10/20)

*Galeno*, Wikipedia, <https://it.wikipedia.org/wiki/Galeno> (consultato il 19/10/20)

*Polmone d'acciaio*, Wikipedia, [https://it.wikipedia.org/wiki/Polmone\\_d%27acciaio](https://it.wikipedia.org/wiki/Polmone_d%27acciaio) (consultato il 28/10/20)

#### **Capitolo 5**

*Ventilatore meccanico*, Wikipedia, [https://it.wikipedia.org/wiki/Ventilatore\\_meccanico](https://it.wikipedia.org/wiki/Ventilatore_meccanico) (consultato il 16/12/20)



Vannini C., *Le caratteristiche della ventilazione meccanica*, <https://www.nurse24.it/studenti/risorse-studenti/le-caratteristiche-della-ventilazione-meccanica.html> (consultato il 20/12/20)

Patel B. K., *Panoramica sulla ventilazione meccanica*, <https://www.msmanuals.com/it-it/professionale/medicina-di-terapia-intensiva/insufficienza-respiratoria-e-ventilazione-meccanica/panoramica-sulla-ventilazione-meccanica>, consultato il 18/12/20

Griguolo A., *Ventilazione Meccanica*, <https://www.mypersonaltrainer.it/salute/ventilazione-meccanica.html> (consultato il 16/12/20)

Gianfrancesco F., *Gestione infermieristica NIV, monitoraggio e indicazioni*, <https://www.nurse24.it/specializzazioni/gestione-infermieristica-niv.html> (consultato il 16/12/20)

## **Ringraziamenti**

Inizio con il ringraziare la mia relatrice, la Professoressa Stefania Fortuna, che ha creduto nell'idea fin da subito e mi ha assistito come penso nessun'altro avrebbe potuto fare.

Un grazie va anche al mio correlatore, il Dottor Abele Donati, che in emergenza sanitaria si è comunque reso disponibile a collaborare al progetto.

Tutto il mio cuore va ai miei genitori e alla mia sorellina, che in questi anni non hanno mai dubitato delle mie capacità e continuano a spronarmi e a non mollare mai. Grazie mamma, grazie papà, grazie Irene: vi voglio bene.

Ringrazio anche Alex, il mio amorino, che ha silenziosamente accettato il mio matrimonio con una facoltà che ti rapisce (nel senso letterale del termine) “finché 1800 h di tirocinio non vi separino”.

Ringrazio Nonna Amina e Nonno Oscar, perché hanno sempre creduto in me e se sono qui è anche grazie ai piccoli incentivi dati da “Il tariffario dei bei voti”.

Un grazie va a Nonna Lidia, che fin da subito ha visto in questo impegno qualcosa di speciale.

Grazie a Zia Lella, che già dopo il primo semestre (anche se ero solo capace di fare gli angoli e di prendere la pressione) era sicura sarei diventata l'unica infermiera in grado di prenderle una vena.

Un abbraccio a tutto il parentado umbro: so che siete qui vicino a me.

L'ultimo ringraziamento lo dedico alle due persone con cui ho condiviso questo percorso e che hanno fatto sembrare tutto meno faticoso, perché sono sempre rimaste al mio fianco (anche quando prendevo per tutte e tre il posto in prima fila): Anna ed Annika, siete state uniche...anzi, atomiche.