

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCII.

1905

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XIV.

2° SEMESTRE.



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVICCI

1905

Fisiologia. — *Esperienze fatte sull'uomo respirando contemporaneamente CO₂ e O₂ alla pressione barometrica di 122^{mm} corrispondente all'altitudine di 14,582 metri.* Nota del dott. A. AGGAZZOTTI ⁽¹⁾ presentata dal Socio A. Mosso.

Nelle grandi ascensioni aereostatiche, ed in quelle sulle alte montagne i sintomi di malessere prodotti dalla rarefazione dell'aria sono press'a poco gli stessi che si hanno sotto alla campana pneumatica: perchè dipendono in entrambi i casi dall'anossia e dall'acapnia.

P. Bert ⁽²⁾, considerando l'asfissia come unica causa del malessere, consigliava di aumentare la tensione parziale dell'ossigeno quando diminuiva la pressione barometrica; nelle nostre esperienze sull'orang-utan questo mezzo si è mostrato insufficiente, e vedemmo che secondo la dottrina del Mosso ⁽³⁾ fu necessario aggiungere l'anidride carbonica all'aria respirata per combattere i fenomeni dell'acapnia.

Respirando una miscela di aria contenente il 67,51% di ossigeno e l'11,60% di anidride carbonica, una scimmia poté raggiungere, senza alcun disturbo, la pressione di 96 mm. equivalenti ad un'altezza sul livello del mare di 16,500 metri. Col solo ossigeno non si poté superare l'altezza di 14,331 metri.

Non superando gli aereonauti e tanto meno gli alpinisti un'altezza di 16,500 metri, sarà loro sufficiente una miscela che contenga il 70% di O₂ e il 12% di CO₂ per scongiurare ogni pericolo.

Ho voluto provare sopra me stesso, con una serie di esperienze, la dottrina dell'acapnia, sottoponendomi nella campana pneumatica alle più forti depressioni barometriche che siansi fino ad ora sopportate dall'uomo. Ricorderò che nel 1875, Croce-Spinelli e Sivel, morirono nella navicella di un pallone aereostatico dopo aver raggiunto l'altezza di 8,600 metri; che Süring e Berson nel 1901 perdettero entrambi la coscienza in un'ascensione aereostatica, nella quale erano abbondantemente provveduti di ossigeno, quando toccarono 10,800 metri. Il professore Mosso giunse senza inconvenienti nella campana pneumatica fino all'altezza di 11,650 metri. Servendomi dell'anidride carbonica e dell'ossigeno, giunsi nella medesima campana fino ad una depressione che corrisponde all'altezza di 14,589 metri.

⁽¹⁾ Lavoro eseguito nell'Istituto di fisiologia della R. Università di Torino.

⁽²⁾ P. Bert, *La Pression Barométrique*, Paris, 1878, pag. 746.

⁽³⁾ Mosso, *Fisiologia dell'uomo sulle Alpi*, pag. 389, Treves, Milano, 1898; Mosso, *L'anidride carbonica come rimedio nel male di montagna*. R. Acc. dei Lincei, 1° sem. 1905, pag. 308.

Riferisco adesso le esperienze che feci sopra me stesso nella grande campana di ferro dell'Istituto fisiologico di Torino alta m. 1,85 e larga m. 0,80, nella quale io potevo stare comodamente in piedi o seduto. La campana aveva lateralmente una finestra, chiusa da un vetro molto spesso, che dava luce nell'interno.

La rarefazione dell'aria veniva fatta da due grosse pompe che funzionano per mezzo di un motore elettrico. L'apparecchio è descritto minutamente e rappresentato nella *Fisiologia dell' Uomo sulle Alpi* di Mosso a pag. 316.

Essendo le due pompe molto potenti, la rarefazione sotto alla campana sarebbe stata troppo rapida, se contemporaneamente non si fosse lasciato entrare una corrente d'aria attraverso una chiave: bastava regolare questa per far progredire la rarefazione a nostro piacimento. Un manometro a mercurio nell'interno della campana serviva per conoscere la pressione.

Nella prima esperienza la miscela d'aria che avevo preparato conteneva 67,07 % di ossigeno e 12,70 %, di CO₂, di essa ne tenevo 500 litri entro un gasometro ad acqua. Avrei potuto come feci nelle esperienze sull'orang-utan, mettere in comunicazione la campana pneumatica col gasometro e, mentre avveniva la rarefazione, lasciare rinnovare l'aria della campana con quella della miscela. La depressione nell'interno si sarebbe medesimamente prodotta, pur di lasciar entrare minor aria di quella che ne veniva aspirata dalle pompe. In questo modo, però, essendo grande la capacità della campana, sarebbe stato necessario un tempo molto lungo ed una quantità molto maggiore di 500 litri di aria artificiale per cambiare quella della campana, e per mantenere una buona ventilazione. Modificai perciò l'esperienza in modo da non respirare l'aria della campana, ma da poter respirare direttamente l'aria della miscela proveniente dal gasometro. A tale scopo, durante la rarefazione, lasciavo entrare attraverso un rubinetto applicato alla parete di ferro della campana, la miscela d'aria del gasometro e la raccoglievo nell'interno della campana entro un sacco di membrana animale della capacità di 50 litri circa. Pel disquilibrio di pressione fra l'interno della campana e l'interno, il sacco si riempiva rapidamente e sarebbe anche scoppiato se, quando era pieno, non si fosse chiuso il rubinetto. Durante la rarefazione io respiravo direttamente quest'aria raccolta nel sacco. A questo scopo mi applicavo sulla faccia una maschera di guttaperca, modellata espressamente e che aderiva in modo esatto alla pelle per mezzo di un bordo di mastice da vetrai: la maschera con un pezzo di tubo di gomma era messa in comunicazione con due valvole di Müller. Queste davano all'aria respirata una corrente costante ed essendo la valvola che si apriva nell'inspirazione in comunicazione col sacco, veniva introdotta nei polmoni la pura aria artificiale che vi era raccolta. L'aria espirata veniva emessa direttamente nella campana.

Con questo metodo non avevo più la preoccupazione che la ventilazione fosse sufficientemente attiva per mantenere pura l'aria nella campana. Per arrivare ai massimi gradi di rarefazione, potevo togliere anche completamente la ventilazione e lasciare che nella campana entrasse solo quel tanto di aria artificiale che respiravo.

Nella prima esperienza volli studiare oltre l'azione simultanea dell'O₂ e del CO₂ sul malessere, anche le modificazioni che avvenivano nella meccanica respiratoria alle diverse pressioni. Avevo perciò intercalato fra le valvole di Müller e il pallone di membrana animale, un contatore ad acqua che misurava la quantità di aria introdotta nei polmoni ad ogni inspirazione. La resistenza che si aveva respirando attraverso le valvole e il contatore era piccola, essendo quest'ultimo sensibilissimo: essa non superava due centimetri d'acqua. Il quadrante del contatore era rivolto verso la finestra della campana, in modo che dall'esterno un inserviente poteva vedere e leggere gli spostamenti della sfera ad ogni atto respiratorio; con un cronometro poi determinava quanti atti respiratori faceva al minuto, contando gli spostamenti della sfera.

In questa esperienza non cominciai a respirar l'aria della miscela subito al principio della rarefazione, ma soltanto quando erano comparsi i primi sintomi di malessere, perchè volli vedere sull'uomo, come avevo già fatto sull'orang-utan, come agiva la miscela di CO₂ e O₂ sul malessere, quando questo si era già manifestato. Per non affaticarmi feci l'esperienza stando seduto; il contatore e le valvole di Müller li tenevo su un piccolo tavolino all'altezza del mio viso.

La quantità d'aria respirata in un minuto primo ed il numero degli atti respiratori rappresentano i valori medii di parecchie determinazioni.

Alle ore 16 andai sotto alla campana e incominciai l'esperienza; prima però di fare la rarefazione determinai la quantità d'aria che respiravo al minuto e la frequenza del respiro alla pressione normale.

Ore 16. Pressione 740^{mm}. Respiro l. 7,400 al m'; frequenza del respiro 13 al m', per ogni atto respiratorio introduco nei polmoni cc. 569 di aria.

Ore 16 5'. Pressione 740. Incomincia la rarefazione, la temperatura sotto la campana è di 16° cent.

Ore 16 10'. Pressione 640. Respiro l. 6,911 al m', frequenza 13½ al m', aria introdotta nei polmoni ogni atto respiratorio 531 cc.

Ore 16 20'. Pressione 540. Aria respirata al m' l. 7,029, ogni atto respiratorio cc. 543, frequenza 13 al m'. Sto benissimo.

Ore 16 31'. Pressione 440. Aria respirata in un minuto l. 8,391, ogni atto respiratorio cc. 599, frequenza 14 al minuto. Non provo alcun sintomo di malessere, non sento fatica nel respirare attraverso il contatore.

Ore 16 40'. Pressione 360. Quasi improvvisamente mi sento stanco e spossato, faccio fatica a sorvegliare l'esperienza, ho il capo pesante che mi

duole. Le mani sono fredde e coperte di sudore, mentre alla faccia provo un senso di grande calore.

Metto in comunicazione il contatore col sacco di membrana animale e comincio a respirare l'aria della miscela (essa contiene 67,07 di ossigeno e 12,70 % di CO_2).

Ne provo subito un grandissimo sollievo, un benessere generale, in pochi minuti ritorno nelle condizioni in cui ero al principio dell'esperienza, solo la respirazione è più attiva: al m' respiro l. 12,968, ogni atto respiratorio 518 cc., la frequenza è di 25 atti al m'.

Ore 17. Pressione 340. Aria respirata al m' l. 13,978, ogni atto respiratorio cc. 582, frequenza 24 al m'. Sto sempre bene.

Ore 17 10'. Pressione 260. Aria respirata al m' l. 13,012, ogni atto respiratorio cc. 608, frequenza 23 al m'. Nessuna sensazione di malessere.

Ore 17 18'. Pressione 166. Respiro litri 11,655 al m', ogni atto respiratorio cc. 529, frequenza 22 atti al m'. La forte rarefazione non mi dà nessun disturbo, la mente è lucida, scrivo su un pezzo di carta di aumentare liberamente la rarefazione perchè sto bene e lo faccio leggere all'inservente attraverso il vetro della finestra.

Ore 17 22'. Pressione 140. In un minuto respiro litri 12,411, ogni atto respiratorio cc. 528, frequenza $23 \frac{1}{4}$ al m'. Vorrei ancora aumentare la rarefazione, ma l'inservente mi fa segno che vi è poca aria ancora nel gasometro; per non rimanere senza, incomincio la ricompressione. Alla pressione di 140^{mm} equivalenti ad un'altezza di 13,491 m. io non provavo nessun sintomo di malessere, potevo stare attento all'esperienza, le forze erano normali, non avevo palpitazione di cuore, solo le labbra tremavano ad ogni inspirazione. Sul principio della ricompressione respirai l'aria della miscela, poi aria atmosferica pura. Alle ore 17,40 la pressione era ritornata normale, ed escii dalla campana senza risentirmi menomamente della forte rarefazione raggiunta.

Respirando aria atmosferica normale ho provato i primi sintomi di malessere alla pressione di 360mm, quando la tensione parziale dell'ossigeno era scesa da 154,6mm. a 75,2mm di Hg. Per aver questa rarefazione bisogna sollevarsi nell'aria a 5,959 m. sul livello del mare. Respirando l'aria artificiale col 67,07 di O_2 e 12,70 di CO_2 , il malessere scomparve completamente e potei arrivare e rimanere parecchi minuti alla pressione di 140 mm. corrispondente ad un'altezza di m. 13,491 m. senza risentirmene. La tensione parziale dell'ossigeno era di 93,89 mm di Hg., e quella dell'anidride carbonica 17,78 mm.

La quantità d'aria respirata in un minuto primo rimase press'a poco normale fino alla pressione di 490 mm., la frequenza del respiro non cambiò affatto. Solo oltre questa rarefazione la quantità d'aria respirata e la frequenza incominciarono ad aumentare, esse diventarono tanto più forti quanto

più noi ci avvicinavamo alla pressione alla quale si sono manifestati i sintomi di malessere.

Abbiamo veduto nelle esperienze sull'orang-utan che la reazione dei centri respiratori segna l'inizio dell'anossia e dell'acipnia prodotte dalla rarefazione, e che questa reazione può in parte essere un compenso all'una e all'altra. Quando incominciai a sentirmi male la reazione dei centri respiratori era divenuta molto forte; ma non ho potuto determinare la quantità d'aria respirata in un minuto e la frequenza, perchè preoccupato dallo stato di depressione e intontimento in cui mi trovavo e dal dolore al capo che andava rapidamente crescendo, incominciai a respirare subito l'aria della miscela, senza prima determinare di quanto era aumentata la ventilazione polmonare. Respirando l'aria della miscela, la profondità e la frequenza si mantennero superiori al normale; ciò dipende dalla forte tensione parziale del CO_2 nell'aria inspirata, che è di 45.72 mm. di Hg. Col diminuire della pressione noi vediamo infatti che il respiro diventa meno intenso.

§ 2.

Nella seconda esperienza che ora descriverò, respirando una miscela di anidride carbonica e ossigeno, ho raggiunto una rarefazione ancora più forte. In questa esperienza ho studiato se avvenivano modificazioni nella pressione sanguigna e nella frequenza del polso.

La tecnica che ho seguito è quella stessa dell'esperienza precedente; solo che non volendo misurare l'aria respirata, non adoperai il contatore e per mezzo delle valvole di Müller respiravo direttamente l'aria della miscela contenuta nel pallone di membrana animale: la resistenza così era minore.

Per valutare la pressione del sangue usai lo sfigmomanometro di Riva-Rocci: questo apparecchio era quello che meglio mi poteva servire, perchè occupava poco spazio e perchè con esso potevo da solo fare le determinazioni della pressione. Avevo applicato l'anello cavo di gomma sul terzo medio del braccio sinistro, e colla mano destra manovrando l'insufflatore a doppia palla aumentavo la pressione nel bracciale fino che la colonna di mercurio mi segnasse un valore superiore alla pressione sanguigna; poi colla stessa mano, mentre la pressione lentamente diminuiva, determinavo il momento in cui ricompariva il polso radiale sinistro. Il braccio che portava l'anello di gomma era tenuto semi-flesso ed appoggiato su un piccolo tavolo, i muscoli erano completamente rilasciati.

Avevo preparato nel gasometro 500 litri di aria che contenevano 67,86 % di ossigeno e 13,39 % di anidride carbonica. Non incominciai subito a respirare quest'aria al principio dell'esperienza, perchè la tensione parziale del CO_2 sarebbe stata troppo forte; solo alla pressione di 442 mm. misi in comunicazione le valvole di Müller col sacco di membrana animale e incominciai a respirare l'aria della miscela.

Ore 15 55'. Vado sotto alla campana pneumatica, la pressione normale è 742 mm. la temperatura 18,5°. Prima di incominciare la rarefazione, determino la pressione sanguigna e trovo 148 mm. 155 mm. 147 mm. Il polso è 88 il respiro 15 al m'.

Ore 16. Incomincio la rarefazione.

Ore 16 6'. Pressione 642^{mm}. Aumento la ventilazione in modo che la pressione rimanga costante, poi faccio una nuova determinazione della pressione sanguigna: trovo 158, 158, 153, 154 mm. Il polso è 90 e il respiro 16.

Ore 16 15'. Pressione 542. La pressione sanguigna è 155, 154, 155 mm. Il polso 92, la frequenza del respiro 16 al m'.

Ore 16 22'. Pressione 442. Lo sfigmomanometro mi dà i seguenti valori: 154, 153, 156, 154 mm. Il polso è ancora 92, la frequenza del respiro 17. Non provo nessun sintomo di malessere.

A questa pressione incomincio a respirare l'aria della miscela, la tensione parziale del CO₂ è ancora molto alta, 59,18 mm., e la respirazione diventa molto profonda e frequente. Sento il sapore acre dell'acido.

Faccio una nuova determinazione della pressione del sangue e trovo 168, 168, 175; il polso è sempre 92, il respiro è 23 al minuto.

Ore 16 41'. Pressione 342. Non sento più il sapore acre del CO₂, non provo alcun sintomo di malessere, la respirazione è sempre molto profonda. La pressione del sangue è 164, 168, 167 mm.; il polso 100, la frequenza del respiro 22 al minuto.

Ore 16 54'. Pressione 242. La respirazione è meno profonda; la pressione del sangue 163, 158, 158 mm.; il polso 104, la frequenza del respiro 22 al minuto.

Ore 17 8'. Pressione 162. La rarefazione si compie ora molto lentamente, la temperatura è 20,4°; non ho alcun malessere, essendo diminuita la tensione parziale di CO₂ e non essendo più tanto forte lo stimolo a respirare, mi sento meglio di quanto ho incominciato a respirare la miscela. La pressione del sangue è 158, 150, 156 mm., il polso 110, la frequenza del respiro 20 al minuto.

Ore 17 14'. Pressione 142. Non mi risento affatto della diminuita pressione; la pressione del sangue è 156, 164, 165 mm., il polso 106, la frequenza del respiro 18 al minuto.

Ore 17 18'. Pressione 122. L'insergente mi fa leggere un biglietto dove ha scritto che nel gasometro v'è ancora poca aria e che bisogna fare l'ultima determinazione della pressione. La pressione del sangue è 160, 154, il polso 116: la frequenza del respiro 17.

Avrei potuto resistere ad una rarefazione più forte perchè io stavo ancora benissimo, la mente lucida, la vista normale, i movimenti sicuri, non avevo tremiti alle labbra come l'esperienza precedente, non provavo alcuna sensazione di calore al viso.

La temperatura era arrivata a 21°.

Alle ore 17,25 apro un rubinetto e lascio entrare aria sotto alla campana, la pressione aumenta gradatamente. Continuo a respirare l'aria della miscela fino alla pressione di 342 mm.; poi, levatomi la maschera, respiro l'aria della campana. Mentre la pressione aumenta, il capo incomincia a dolermi. In 22 minuti la pressione ritorna normale, prima di uscire dalla campana misuro la pressione del sangue ed ho questi valori: 140, 143, 142, 143 mm., il polso è 82, la frequenza del respiro 16 al minuto.

La rarefazione raggiunta in questa esperienza corrisponde ad un'altezza di 14.589 m., rarefazione non ancora raggiunta da alcuno. Essa si è mostrata perfettamente innocua, giacchè una mezz'ora dopo che ero uscito dalla campana era svanito anche il male al capo che mi era venuto durante la ricompressione; alla sera mangiai col solito appetito.

Dalle determinazioni fatte collo sfignomanometro risulta che la pressione sanguigna rimase press'a poco normale durante tutta l'esperienza, essa ha gli stessi valori quando la pressione è 742 mm. e quando è 122 mm. Un leggero aumento della pressione si è osservato quando incominciai a respirare l'aria della miscela, ma i valori gradatamente ritornarono normali. Ciò concorda coi risultati ottenuti dalla maggior parte di ricercatori che ammettono che la pressione del sangue, sotto l'azione della diminuita pressione barometrica, non subisce cambiamenti se essa non arriva ai limiti incompatibili colla vita.

Una leggera diminuzione della pressione sanguigna si sarebbe osservata non appena la pressione era ritornata normale, ma la differenza fu di pochi millimetri. La frequenza del polso andò gradatamente crescendo col progredire della rarefazione, fino ad arrivare ad un massimo di 116 pulsazioni al minuto. La frequenza del respiro al minuto, che era salita da 17 a 23 quando incominciai a respirare l'aria della miscela, diminuisce a mano a mano che la tensione parziale del CO_2 diventa più piccola.

Dopo i risultati delle numerose esperienze sull'orang-utan e di queste sull'uomo, non può rimanere alcun dubbio che gli accidenti della decompressione barometrica si possono evitare respirando una miscela di anidride carbonica e di ossigeno. La diminuzione della pressione barometrica non esercita un'azione meccanica sensibile sulle funzioni dell'organismo umano; l'effetto nocivo dell'aria rarefatta dipende esclusivamente dall'acapnia e dall'anossiemia. La miscela di O_2 e CO_2 respirata durante la rarefazione, impedisce appunto la diminuzione della tensione parziale dell'ossigeno oltre un certo limite, ed impedisce all'organismo di impoverirsi in anidride carbonica.

Si capisce facilmente come l'ossigeno impiegato possa agire in questo senso; più complesso è il meccanismo di azione dell'anidride carbonica. Poichè una miscela di O_2 e CO_2 ha un'azione curativa e preventiva sui sintomi del malessere prodotto dalla rarefazione dell'aria, dobbiamo ammettere che il CO_2 inspirato possa togliere lo stato di acapnia ed impedire che esso si manifesti.

L'azione eccitante dell'anidride carbonica sul sistema nervoso venne provata dal prof. Mosso mettendo in evidenza l'azione deprimente che si manifesta quando si fa diminuire la quantità dell'anidride carbonica nel sangue per mezzo dell'acapnia. Queste esperienze vennero confermate dalla scoperta che fece il Bohr, riguardo all'influenza che la tensione dell'anidride carbonica nel sangue esercita sulla combinazione dell'ossigeno colla emoglobina (1).

Dalle osservazioni sovraesposte risulta che quando per azione dell'aria rarefatta mi sentivo stanco, spossato ed intontito, scompariva ogni malessere appena cominciavo a respirare aria ricca di ossigeno e di anidride carbonica. L'impressione che si prova è quella di un eccitamento benefico del sistema nervoso, effetto il quale non si ottiene respirando semplicemente l'aria sovraossigenata. Onde conchiudo che la presenza di una certa quantità di anidride carbonica nell'aria che si respira, è necessaria per impedire i sintomi di malessere durante la diminuzione fortissima della pressione atmosferica.

Il consiglio dato dal Mosso agli aereonauti di aggiungere anidride carbonica all'ossigeno compresso è pienamente giustificato. Basta il 13% di anidride carbonica col 67% di O₂ perchè l'uomo possa arrivare ad un'altezza di 14,500 m. senza il minimo disturbo.

(1) Bohr, Centralblatt für Physiologie.