

ATTI  
DELLA  
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI  
ANNO CCC.  
1903

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XII.

2° SEMESTRE.



ROMA  
TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1903

Fisiologia. — *I movimenti riflessi dell'orecchio esterno delle cavie nell'aria rarefatta: e la sensibilità auditiva dell'uomo nella depressione barometrica* (1). Nota II del dott. ALBERTO AGGAZZOTTI, presentata dal Socio A. Mosso.

Werner Rosenthal (2), in questo stesso laboratorio intraprese una serie di ricerche sulle rane per studiare nei muscoli della gamba l'influenza dell'aria rarefatta sulla curva della fatica. Le sue conclusioni furono che la depressione barometrica non esercita alcuna azione sul muscolo, nè sul sistema nervoso; e che le variazioni che fanno allontanare la curva della fatica dalla linea normale, dipendevano dall'evaporazione e dal raffreddamento del muscolo. Questi risultati, come accenna Rosenthal nel suo lavoro, erano contrari a quelli ottenuti da Aldini, Creve e Fowler, i quali trovarono che l'eccitabilità sotto alla campana pneumatica diminuisce e scompare prima che nell'aria normale, ma che anche nell'aria rarefatta essa si conserva per parecchie ore. La causa di questa divergenza, secondo Rosenthal, dipenderebbe dal modo con cui veniva condotta l'esperienza. Tuttavia i risultati ottenuti da questo autore mi parvero in contraddizione con molte osservazioni fatte da alpinisti e aereonauti. Gli esperimenti sull'uomo e sugli animali, mi avevano convinto che il sistema nervoso ed i muscoli debbano alterarsi quando la pressione dell'aria diminuisce oltre un certo limite.

Dietro consiglio del prof. Mosso, ho studiato l'influenza dell'aria rarefatta sul riflesso del padiglione che ho descritto nella nota precedente sulle cavie. (3). Con questo metodo mi servivo anch'io della contrazione muscolare come indice dell'eccitabilità nervosa, ma il muscolo rimaneva in sito; e non si alteravano le condizioni della circolazione, della temperatura e dell'evaporazione; e poichè il muscolo veniva eccitato non con stimoli elettrici, ma per via riflessa con stimoli acustici, la sostanza muscolare non subiva alcuna influenza dall'eccitamento stesso.

A tale scopo mettevo sotto una grande campana pneumatica, una cavia fissata su un piccolo tavolo di contenzione e registravo i movimenti riflessi dei due padiglioni su un cilindro affumicato fatto girare sotto alla campana stessa. Gli stimoli acustici venivano prodotti direttamente sotto alla campana, col metodo che ho descritto nella memoria precedente sul riflesso del padiglione.

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

(2) W. Rosenthal, *Hat die Verminderung des Luftdruckes einen Einfluss auf die Muskeln und das Nervensystem des Frosches?* Arch. f. Anat. und Phys. 1895 (Physiologische Abteilung).

(3) A. Aggazzotti, *I movimenti riflessi che produconsi per mezzo dei suoni nell'orecchio esterno delle cavie.* Rend. R. Accad. dei Lincei, fasc. 5<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> sem., 1903.

Il corpo sonoro era mantenuto da un apposito sostegno a pochi centimetri dalle orecchie dell'animale, per diminuire il più possibile lo strato d'aria interposto. Lo stimolo che veniva così prodotto era ultra massimale e provocava perciò il massimo dell'escursione riflessa.

Durante l'esperienza l'aria si conservava normale, sia per la grande capacità della campana, sia per il forte potere aspirante della pompa che permetteva un'abbondante ventilazione. Ciò controllai con l'analisi dell'aria tolta direttamente dalla campana in diversi momenti. Anche la temperatura per la forte ventilazione rimaneva quasi costante.

*La fatica dei riflessi nell'aria rarefatta.*

I tracciati dei riflessi del padiglione auricolare sono molto diversi nell'aria normale ed in quella rarefatta. La diversità nella eccitabilità dei centri

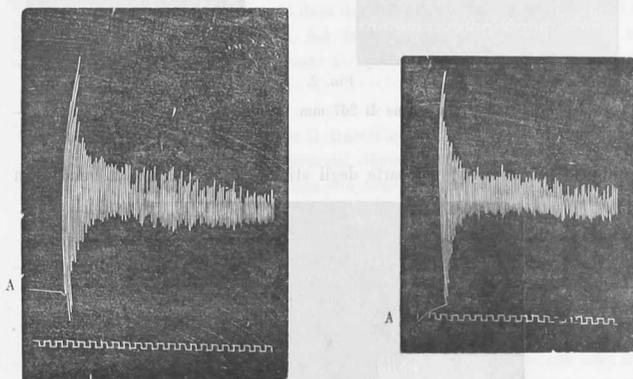


FIG. 1.

Due tracciati del riflesso del padiglione alla pressione di 752 mm. — Frequenza degli stimoli acustici 3 al secondo. — Tempo = 2".

nervosi, quando diminuisce la pressione barometrica appare evidente dal fatto che nell'aria rarefatta per ottenere un tracciato in cui le contrazioni riflesse sieno sempre uguali, occorrono degli stimoli più lenti che non nella pressione normale. Gli eccitamenti fatti ogni 2 o 3 secondi sono spesso già troppo rapidi, ed invece alla pressione barometrica normale una eccitazione che si ripeta una volta al secondo può dare un tracciato uniforme e costante.

Gli stimoli di media frequenza (quelli cioè che si ripetono 2 o 5 volte al secondo) i quali alla pressione barometrica normale provocano un riflesso che dopo il primo indebolimento si continua nella fase costante per lunghissimo tempo, nell'aria rarefatta danno un riflesso che fin dall'inizio va indebolendosi, e presto si esaurisce. Nella fig. 1 si vedono due tracciati del riflesso

fatto sotto alla campana pneumatica, prima di rarefare l'aria e con stimoli di 3 al secondo; in essi è evidente la rapida diminuzione delle contrazioni

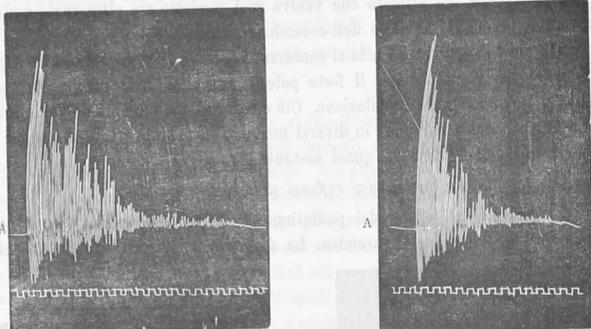


FIG. 2.

Riflesso del padiglione alla pressione di 267 mm. — Tre stimoli acustici al secondo. — Tempo = 2".

sull'inizio per la fusione in parte degli stimoli e per l'azione accomodativa

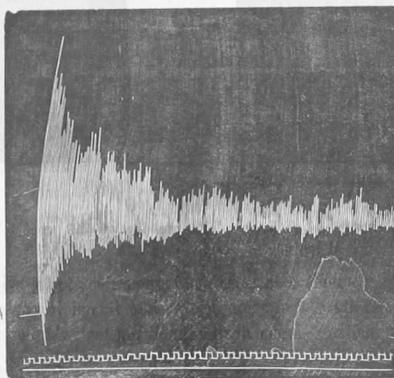


FIG. 3.

Riflesso del padiglione dopo che la pressione è ritornata normale. — Stimoli acustici ogni 3 secondi. — Tempo = 2".

della membrana del timpano; inoltre vi si vede un tratto della fase costante che si sarebbe protratta per lungo tempo se non avessi interrotto gli stimoli

per non stancare l'animale. I due tracciati furono scritti alla distanza di 5 minuti l'uno dall'altro.

Nella fig. 2 il riflesso fu scritto alla pressione di 267 mm. di mercurio; l'animale già da 10' si trovava a questa pressione. In questi due tracciati è evidente la diminuzione dell'intensità del riflesso e la grande esauribilità per la mancanza della fase costante; inoltre si nota un più rapido rilasciamento dei muscoli, per cui dopo ogni contrazione la penna ritorna alla linea di partenza.

Ritornati alla pressione di 752 mm. il riflesso riprende l'ampiezza e la resistenza che aveva prima, come si vede nella fig. 3, che riproduce il tracciato del riflesso dopo 10' che la pressione è ritornata normale. In questo a differenza degli altri si nota una certa irregolarità, la quale dipende dal sistema nervoso, che nell'aria rarefatta funziona meno bene nei suoi centri motori; questa interpretazione fu data dal Mosso (<sup>1</sup>), alla irregolarità degli ergogrammi fatti sul monte Rosa, ma in parte dipende anche dal fatto che l'animale stanco di rimanere fissato si agita producendo delle piccole oscillazioni nella penna.

Questi caratteri che assume il tracciato nell'aria rarefatta, non si possono attribuire ad un affaticamento del riflesso, perchè ritornati alla pressione normale il riflesso riacquistò il tipo che aveva prima, poi perchè fra un tracciato e l'altro passava tempo sufficiente per riposarsi completamente; inoltre la fatica renderebbe più lunga la durata della contrazione e non l'abbrevierebbe, come succede nell'aria rarefatta.

#### *Intensità del riflesso nell'aria rarefatta.*

Messa una cavia sotto la campana pneumatica, mentre procede la rarefazione, se si provoca di tratto in tratto un riflesso, si vede che esso dapprima evidentissimo, va gradatamente indebolendosi, e quasi scompare quando l'animale è preso dalle convulsioni.

Si comprende che le esperienze nella campana pneumatica siano fatte in condizioni meno favorevoli: le aspirazioni e scatti della pompa producono un rumore ed un'azione meccanica sulla membrana del timpano. Infatti, quando il riflesso è quasi scomparso, se si ferma la pompa e si fa cessare per un momento la ventilazione, il riflesso apparisce più forte. Sono le oscillazioni causate dalla pompa che producendo delle variazioni nella tensione della membrana del timpano e nella pressione dell'orecchio medio, rendono minore la sensazione dello stimolo. Se queste oscillazioni nella pressione ambiente sono più forti e rapide, il riflesso subisce delle variazioni anche più marcate; basta cessare d'un tratto la rarefazione e lasciare entrare aria,

(<sup>1</sup>) A. Mosso, *La fisiologia dell'uomo sulle Alpi*. Treves, Milano 1898.

perchè l'aumento di pressione che succede faccia scomparire del tutto il riflesso. Ciò perchè non ristabilendosi istantaneamente l'equilibrio fra la pressione dell'orecchio medio e l'esterno, la membrana del timpano è fortemente tesa all'indentro e le onde sonore vengono in massima parte riflesse.

Se mentre si fa questa ricomprensione, cioè mentre il riflesso è completamente scomparso, chiudo il tubo di accesso dell'aria, in modo da rendere stazionaria la pressione dentro la campana, dopo circa mezzo minuto il riflesso ricomparisce. Questo tempo trascorso è l'intervallo necessario perchè la pressione nell'orecchio medio si sia proporzionata coll'esterno e la membrana del timpano si metta a posto.

Che l'aria possa più facilmente uscire dalla cavità timpanica per la tromba che non entrare, lo vidi già per l'orecchio degli uccelli (!); in essi dimostrai come già fosse la causa delle emorragie che si formano per la rarefazione nelle ossa pneumatiche della testa.

Questo fatto ci spiega che l'aria dell'orecchio medio dilatandosi nella rarefazione può abbastanza facilmente uscire all'esterno per la tromba senza tendere molto la membrana del timpano. Nella ricomprensione invece l'aria dovrebbe entrare nella cassa, ma ciò non potendo avvenire che lentamente, la membrana del timpano viene con forza spinta verso l'interno.

Come era facile prevedere, queste oscillazioni della pressione non hanno più alcuna azione sulla intensità del riflesso, se all'animale si pratica in precedenza la perforazione della membrana del timpano. Quest'atto operativo rende il riflesso meno evidente anche in condizioni normali.

Per evitare l'indebolimento del riflesso prodotto da queste oscillazioni di pressioni e per non giudicare erroneamente della eccitabilità dell'animale, avevo riguardo ogni qualvolta volevo provocare il riflesso di osservare che la pressione sotto alla campana fosse perfettamente stazionaria e lo desumevo dall'immobilità del barometro.

Un'altra avvertenza avevo ed era quella di lasciare trascorrere circa un minuto primo dopo che la pressione era divenuta stazionaria, prima di provocare il riflesso.

Ma il riflesso auricolare nell'aria rarefatta è minore anche perchè diminuisce l'intensità dello stimolo, la velocità di trasmissione di un suono e la sua intensità essendo proporzionali alla radice quadrata della densità del mezzo ambiente. Questo è un errore inevitabile a cui in parte veniva rimediato rendendo lo stimolo acustico ultra massimale, per cui anche se ne diminuiva l'intensità, fino ad un certo limite il riflesso non se ne risentiva. Il fatto poi che l'indebolimento del riflesso il quale si verifica sotto alla campana, persiste un certo tempo dopo che la pressione è ritornata normale, è una prova

(!) A. Aggazzotti, *La causa delle emorragie nelle ossa pneumatiche degli uccelli dopo forti rarefazioni*. Giorn. Accad. di Medicina di Torino, 1903.

evidente che l'indebolimento del riflesso non dipende esclusivamente dall'aria rarefatta, ma anche dalla diminuita eccitabilità dell'animale.

Per farsi un'idea di questa diminuzione dell'eccitabilità basta riferire un esempio.

Una cavia alla pressione barometrica di mm. 750 reagiva allo stimolo acustico del martellino, con un riflesso il cui tracciato era alto mm. 30, diminuita la pressione a mm. 285 e lasciatovi l'animale per 15 minuti, il riflesso era divenuto di appena mm. 19, ritornati alla pressione normale dopo 3' era di mm. 24, e solo dopo un tempo maggiore si ripristinò completamente. Onde possiamo concludere che l'intensità del riflesso diminuisce notevolmente nell'aria rarefatta.

La diminuzione del riflesso nell'aria rarefatta non è solo proporzionale al grado di rarefazione, ma anche al tempo che l'animale rimane nell'aria rarefatta. Questo fatto mi pare sia una nuova prova che l'aria rarefatta ha un'azione deprimente sul riflesso.

*Influenza che ha la diminuzione dell'ossigeno nell'aria respirata sul riflesso dell'orecchio esterno nelle cavie.*

Per vedere se l'aria rarefatta esercita la sua azione deprimente per la bassa pressione, o per la poca tensione dell'ossigeno in essa contenuto, ho intrapreso delle ricerche nelle quali veniva diminuita la quantità dell'ossigeno senza mutamenti di pressione barometrica.

A questo scopo preparai dei miscugli d'aria e di idrogeno in varia proporzione, in modo che rimanendo costante la pressione, l'animale respirasse la stessa quantità di ossigeno che aveva nell'aria rarefatta. A tal fine comprimevo in appositi cilindri dei miscugli d'idrogeno e di aria comune poi con un tubo di gomma, dopo fatta l'analisi del miscuglio per conoscerne esattamente la composizione, facevo passare quest'aria artificiale sotto alla campana in cui si trovavano le cavie. Quando tutta l'aria prima esistente era stata cacciata dalla campana, producendo gli stimoli acustici, vidi:

- 1.° Che i riflessi dell'orecchio esterno andavano indebolendosi più rapidamente che nell'aria normale;
- 2.° Che manca il periodo del lavoro costante;
- 3.° Che i muscoli si rilasciano maggiormente.

Questi fenomeni sono chiaramente rappresentati nei tracciati riprodotti nelle figure 4 e 5.

Però diminuendo l'ossigeno per mezzo dei miscugli, l'azione deprimente è minore che diminuendolo colla rarefazione. Dopo un po' di tempo che l'animale è ritornato nell'aria normale il riflesso, come nelle altre esperienze si ripristina completamente.

Una grandissima difficoltà fu per me rendermi conto di quanta parte spettasse ai muscoli, e quanta al sistema nervoso nelle alterazioni riscontrate.

Si trattava della stessa forza esteriore (stimolo acustico) determinante la reazione di due tessuti irritabili il nervoso e il muscolare, ma che si manifestava a noi con un unico atto riflesso.

Rosenthal, come già accennai, volle togliere ogni importanza al fattore muscolare; invece Broca e Rischet <sup>(1)</sup> studiando come variava la eccitabilità nei muscoli della gamba e della lingua dei cani a cui diminuivano la quantità dell'ossigeno inspirato con una parziale chiusura della trachea, trovarono che la contrattilità in tal modo è diminuita.

Per la grande relazione riscontrata fra le alterazioni del riflesso nell'aria rarefatta e nei miscugli con ossigeno a bassa tensione, credo possiamo ammettere che la minor contrattilità dei muscoli trovata da Broca e Rischet nella contrazione anaerobia, si debba verificare anche nell'aria rarefatta; solo che in questa sarà anche maggiore, perchè oltre la deficienza dell'ossigeno abbiamo anche la bassa pressione. Noi abbiamo infatti veduto che le alterazioni del riflesso sono maggiori nell'aria rarefatta che allorquando viene solo diminuito proporzionalmente l'ossigeno.

Ma la minore contrattilità muscolare non è sufficiente per spiegare le gravi alterazioni del riflesso nell'aria rarefatta, la diminuita eccitabilità nervosa ne deve essere la causa principale.

Le alterazioni del riflesso credo saranno maggiori nelle cavie che nelle rane studiate da Rosenthal, perchè come ha dimostrato Mosso <sup>(2)</sup>, quanto più un animale ha il sistema nervoso sviluppato altrettanto sente più l'azione dell'aria rarefatta, ed io trovai che anche la razza più evoluta di una medesima specie è più

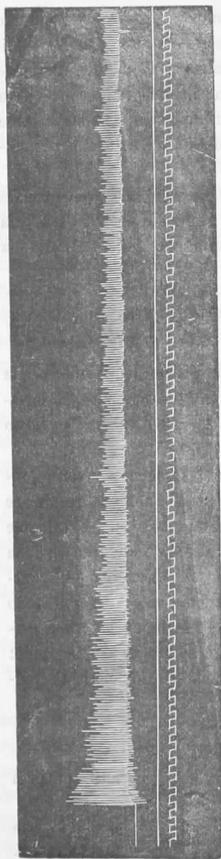


Fig. 4.  
Riflesso del padiglione nell'aria normale. — Stimoli acustici 3 ogni secondo. — Tempo = 2".

<sup>(1)</sup> Broca e Ch. Rischet, *De la contraction musculaire anaerobie*. Archives de Physiologie normale et pathologique, 1896.

<sup>(2)</sup> A. Mosso, loc. cit.

resistente (1). Il ragionamento fatto da Rosenthal, che siccome non v'ha differenza essenziale fra i muscoli e i nervi della rana e quelli dei mammiferi, le differenze di pressione alle quali noi possiamo sottomettere le rane senza ucciderle non agendo direttamente sul sistema nervoso di queste, non agiranno nemmeno su quello dei mammiferi, non mi pare molto giusto.

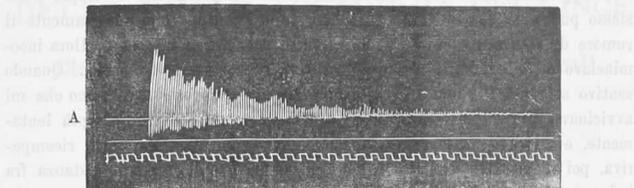


FIG. 5.

Riflesso del padiglione nell'aria col 5% di ossigeno. — Stimoli 3 al secondo. — Tempo = 2".

*Sensibilità uditiva dell'uomo nell'aria rarefatta.*

P. Bert (2) aveva notato che nelle rapide ascensioni al primo periodo di eccitamento intellettuale, fanno seguito la sonnolenza, la spossatezza e disturbi uditivi e visivi: così pure A. Mosso dice che le sensazioni diminuiscono nell'aria rarefatta e ne attribuisce la causa alla fatica.

Dopo l'indebolimento del sistema nervoso che abbiamo dimostrato sperimentalmente nelle cavie, con maggior probabilità possiamo ammettere che tutti i nostri sensi specifici diventino più ottusi nell'aria rarefatta.

Per l'udito ciò l'ho potuto constatare in parecchie esperienze che ho fatto su di me stesso, dentro ad una grande camera pneumatica che esiste nel laboratorio di fisiologia e fu descritta nel Libro *Fisiologia dell'uomo sulle Alpi* (3).

Il metodo usato per saggiare la soglia uditiva nell'aria rarefatta, fu quello del telefono; due pile Daniell sviluppavano una corrente di 2,5 amp. nel circuito erano intercalate il rocchetto induttore di una slitta di Du-Bois Reymond, graduata secondo il metodo di Kronecker, un metronomo che interrompeva ogni 2' e una cassetta di resistenza. Dal rocchetto indotto della slitta partivano due fili che finivano all'apparecchio telefonico.

Pile, metronomo, cassetta di resistenze, interruttore venivano messi su un tavolo lontani dalla campana pneumatica, in modo che quando vi si era

(1) A. Aggazzotti, *Influenza della razza sulla resistenza dei colombi alle depressioni barometriche*. Arch. ital. de Biologie, t. 36, 1901.

(2) P. Bert, *La pression barometrique*. Paris, 1877.

(3) Fig. 56, pag. 317.

era dentro colla slitta e il telefono non si sentisse direttamente il rumore del metronomo. Le resistenze della cassetta eran regolate in modo che la soglia oscillasse entro i limiti della slitta, senza bisogno di allontanare troppo i due rocchetti, il che non avrei nemmeno potuto fare sotto alla campana pneumatica.

Applicando il telefono fortemente contro il padiglione e sempre nello stesso punto, io sentivo (se i rocchetti erano molto vicini), nettamente il rumore di apertura e chiusura del circuito fatto dal metronomo; allora incominciavo ad allontanarli senza seguire coll'occhio gli spostamenti. Quando sentivo solo più il rumore di apertura (che è il più forte), era segno che mi avvicinavo alla soglia. Continuavo ad allontanare i rocchetti, ma più lentamente, e arrivava un momento in cui la sensazione scompariva poi ricomparsi, poi scompariva di nuovo; allora mi fermavo e leggevo la distanza fra i due rocchetti. Dopo un po' ripeteva l'esperienza: ma cominciavo da tale distanza che non si sentisse nulla e avvicinavo poco a poco i rocchetti, fin che io arrivassi di nuovo alla soglia che in questo caso era sempre a un limite inferiore. Ripeteva così l'esperimento 4 o 5 volte poi incominciavo la rarefazione dell'aria. Essendo la campana della capacità di circa due metri cubi, e volendo mantenere una buona ventilazione, occorrevano 10 o 15 minuti per arrivare ad una pressione di 400 mm. circa. Giuntovi, non determinavo subito la mia soglia, ma regolavo l'entrata dell'aria in modo che la pressione rimanesse costante per 10', poi fermavo la pompa e chiudevo l'entrata all'aria, così che venivano tolte le oscillazioni delle due pompe aspiranti, quindi rifacevo come sopra 4 o 5 determinazioni della soglia.

Cinque esperienze che feci in diversi giorni e in diverse ore, diedero sempre risultati eguali, cioè, una minore sensibilità uditiva nell'aria rarefatta; così per esempio, mentre prima della depressione barometrica la soglia oscillava intorno a una media di 20 cm. di distanza dei rocchetti della slitta, nell'aria rarefatta alla pressione di 420 bisognava avvicinare i rocchetti fino a 17 centim., perchè si sentisse nello stesso modo l'apertura della corrente.

Ritornato lentamente alla pressione normale, ho sempre riscontrato il ripristinarsi quasi totale dell'acuità uditiva, anzi alcune volte ho avuto un limite maggiore di quello che era prima della esperienza. In questa esperienza essendo il telefono fortemente applicato contro il padiglione, lo strato d'aria che intercedeva fra la membrana del timpano, o meglio della finestra rotonda e quella del telefono, era molto piccola; in altre esperienze ho determinato la soglia anche per mezzo della trasmissione ossea applicando il telefono sulla volta craniana, in questi casi naturalmente dovevo togliere delle resistenze, perchè la soglia era molto inferiore a quella di prima. Anche in queste esperienze ottenni lo stesso risultato quantunque meno evidente.

Quello che avviene per l'udito è probabile succeda anche negli altri sensi, e mi occuperò di questo studio con ulteriori ricerche.