

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCX.

1913

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XXII.

2° SEMESTRE.



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1913

Fisiologia. — *La respirazione cutanea in alta montagna.*
Nota del dott. ALBERTO AGGAZZOTTI ⁽¹⁾, presentata dal Socio PIO FOÀ ⁽²⁾.

All'ultimo Congresso internazionale di fisiologia, tenutosi a Vienna nel settembre 1910, comunicai il risultato di alcune esperienze che avevo fatto sulla respirazione cutanea in alta montagna (Colle d'Oleon, m. 3000 s. m.). In queste esperienze, la mano e l'avambraccio venivano introdotti in un cilindro di vetro chiuso da un manicotto di gomma, e dopo due ore si faceva l'esame dell'aria, contenuta nel cilindro, con l'apparecchio volumetrico di Grandis. Secondo i risultati di queste analisi, in alta montagna si aveva un aumento del ricambio respiratorio cutaneo sia per l'anidride, sia per l'ossigeno.

Ma i valori piuttosto alti, ottenuti in queste esperienze, dipendevano in parte dal fatto che, per poter avere un ricambio respiratorio più forte, il manicotto di vetro in cui era chiuso il braccio, durante l'esperimento veniva esposto direttamente ai raggi solari, o riscaldato entro una vasca con acqua; perciò la temperatura nell'interno del cilindro saliva a 20°-25° C., mentre la persona in esperimento veniva a trovarsi ad una temperatura assai più bassa, 10°-12°. In tali condizioni non è improbabile che la temperatura più elevata sul solo braccio in esperimento facesse affluire in esso una grande quantità di sangue e conseguentemente determinasse una respirazione cutanea molto più attiva, di quello che si avesse a Torino dove tutto il corpo della persona in esperimento e non solo il braccio si trovava in un ambiente riscaldato.

Perciò ho creduto opportuno di fare una nuova serie di esperienze, nelle quali si teneva calcolo della temperatura ambiente e non soltanto della temperatura entro il cilindro di vetro. Queste nuove esperienze furono fatte durante l'estate 1912 nei Laboratori scientifici « A. Mosso » sul monte Rosa e, nell'inverno successivo, a Torino (240 m. s. m.), sopra me e sopra il dott. G. Viale, al quale esprimo qui ringraziamenti sentiti per l'aiuto datomi. In esse ho determinato l'anidride carbonica eliminata dalla pelle della mano e dell'avambraccio, quando tutto il corpo si trova alla stessa temperatura in un ambiente freddo e in un ambiente riscaldato. In queste esperienze, invece di dosare il CO₂ con un apparecchio volumetrico, la cui sen-

⁽¹⁾ Lavoro eseguito nel R. Istituto di fisiologia di Torino e nel Laboratorio scientifico « A. Mosso » sul monte Rosa.

⁽²⁾ Pervenuta all'Accademia il 9 luglio 1913.

sibilità non è spesso sufficiente per mettere in evidenza le piccole differenze nel contenuto di CO_2 dell'aria, ho fatto le determinazioni di questo gas per pesata.

Come nelle altre esperienze, l'avambraccio della persona in esperimento veniva introdotto in un cilindro di vetro chiuso vicino al gomito da un manicotto di gomma, che, adattandosi bene alla forma del braccio, rendeva la chiusura perfetta, senza comprimere i vasi sanguigni e lasciava normale anche la circolazione venosa superficiale. Il calibro del cilindro era poco superiore alla grossezza del braccio: perciò questo nella sua parte più grossa, vicino al gomito, riempiva quasi completamente il cilindro e non si poteva avere una diffusione dell'anidride carbonica a traverso la gomma del manicotto di chiusura.

Facendo la determinazione del CO_2 eliminato per pesata, non era necessario mantenere a contatto col braccio in esperimento sempre la stessa aria, come si faceva nelle altre esperienze, e come hanno fatto altri autori per diminuire l'errore dell'analisi volumetrica; ma nel cilindro di vetro, in cui era chiuso il braccio, si faceva circolare continuamente aria pura. In media passavano 10 litri all'ora: e poichè la capacità del cilindro di vetro dopo l'introduzione del braccio era di 800-900 cc., la corrente di aria era sufficiente per impedire un accumulo di anidride carbonica e un impoverimento di ossigeno nell'aria a contatto con la pelle del braccio in esperimento.

L'aria usciva dal cilindro aspirata meccanicamente e filtrava dapprima a traverso tre tubi con cloruro di calcio e uno con anidride fosforica, nei quali veniva essiccata; indi passava per due tubi con calce sodata, nei quali era fissato tutto il CO_2 . L'acqua che si metteva in libertà dalla calce sodata, durante l'assorbimento del CO_2 , era pure fissata con cloruro di calcio e determinata per pesata. Finito l'esperimento, prima di estrarre il braccio dal cilindro, si cacciava tutta l'aria in esso contenuta con una soluzione satura di cloruro sodico.

Le esperienze vennero fatte generalmente al pomeriggio, due ore dopo il pranzo del mezzogiorno; solo le esperienze nn. 1, 3, 7, 11 e 12 furono fatte al mattino fra le 9 e le 11, alcune ore dopo la prima colazione. Tutte le esperienze sono fatte nel riposo più completo. I risultati sono riuniti nella tavola seguente, nella quale le esperienze sono ordinate secondo la temperatura ambiente, incominciando per ogni gruppo da quelle in cui la temperatura era più bassa.

Nell'ultima colonna a destra è calcolata la produzione dell'anidride carbonica che si avrebbe da tutto il corpo nelle 24 ore, ammettendo, secondo i dati di Hecker⁽¹⁾, che la superficie delle mani sia eguale al 5,21 %.

⁽¹⁾ Hecker, *Entwicklung der Körperoberfläche in ihrer Beziehung zur Wärmeproduktion*, Zeitschr. f. Veterinärkunde, 1894-97, cit. da Franchini e Preti, pag. 449.

della superficie di tutto il corpo e che la superficie degli avambracci sia uguale al 6,75 %. Poichè nelle nostre esperienze non tutta la pelle dell'avambraccio respirava entro il cilindro, ma soltanto $\frac{7}{10}$ circa, ho calcolato che complessivamente la superficie di una mano e del tratto di avambraccio in esperimento fosse 4,97 % di tutta la superficie del corpo. Il calcolo, però, non può essere che molto approssimativo, anche perchè non tutte le parti del corpo respirano con eguale intensità: Aubert (1), facendo le esperienze sulla respirazione della pelle della mano, trova una secrezione di CO₂, che, riferita a tutto il corpo e alle 24 ore, è di gr. 1,25; mentre, sperimentando su tutto il corpo, lo stesso autore trova valori assai maggiori: gr. 4, in media. Se si considera che il valore trovato da Reinhard (2), sperimentando sul braccio, fu di gr. 2,23 di CO₂ secreti in 24 ore per tutto il corpo, si può ritenere che la respirazione del braccio sia intermedia fra quella della mano e quella di tutto il corpo. Anche Franchini e Preti (3) hanno trovato che la respirazione della pelle del braccio è meno intensa di quella della rimanente pelle del corpo.

I valori ottenuti nelle due serie di esperienze al Colle d'Olen e a Torino non si possono confrontare con facilità, perchè hanno forti oscillazioni e perchè sono ottenuti a temperature diverse. Per essere il più possibile nelle stesse condizioni di esperimento, a Torino le esperienze vennero fatte durante l'inverno; tuttavia la temperatura interna della stanza del laboratorio non era così bassa come al Colle d'Olen: perciò le prime esperienze fatte al Colle d'Olen su A. con 5°-7° rimangono senza confronto con quelle fatte a Torino.

L'intensità della respirazione cutanea si è mostrata diversa sia a Torino sia al Colle d'Olen nei due soggetti sperimentali: in V. l'eliminazione del CO₂ è maggiore che in A., e tale differenza si mantiene costante per tutte le temperature sperimentate. Bisogna osservare che il braccio di V. era più grosso e aveva una maggiore superficie di quello di A.; infatti lo spazio libero lasciato nel cilindro di vetro dopo l'introduzione del braccio di V. era di cc. 800-850, mentre che lo stesso spazio dopo l'introduzione del braccio di A. era cc. 850-900.

Un'altra differenza anche abbastanza evidente si osserva fra i valori ottenuti nelle esperienze fatte al Colle d'Olen e quelle fatte a Torino, nel senso che *in alta montagna la secrezione del CO₂ è maggiore che non al piano*; ed è questo il fatto che noi prenderemo ora più dettagliatamente in considerazione. La differenza fra le due serie di esperimenti in montagna e al piano

(1) H. Aubert, *Untersuhungen über die Menge der durch di Haut des Menschen ausgeschiedenen Kohlensäure*, Pfüger's Arch., 1872, pag. 539.

(2) Reinhard, cit. da Aubert, loc. cit., pag. 552.

(3) Franchini G. und Preti L., *Ueber Hautatmung-Biochemische*, Zeitschrift, IX, 442 (1908)

è specialmente evidente quando la temperatura ambiente è bassa. Infatti nelle esperienze nn. 1-4 fatte su V. al Colle d'Olen con una temperatura di 5°,8-6°,5 si ebbe una secrezione di CO₂ di gr. 2,929, mentre a Torino nell'esper. 15, con una temperatura superiore (8°,5), la quantità di CO₂ eliminata è stata solo gr. 2,357. Nelle esperienze nn. 11 e 12 fatte al Colle di Olen sopra A. ad una temperatura di 8°,8 e 10° l'eliminazione del CO₂ è di gr. 2,486 e 2,929, mentre a Torino, con 9° e 9°,5 di temperatura, il peso del CO₂ emesso è di gr. 2,275 e 1,753. Quando la temperatura ambiente è più elevata per riscaldamento dell'ambiente, i valori nelle due serie di esperienze non presentano alcuna differenza costante: a 15°, per esempio, in A. al colle d'Olen si ha un'eliminazione di gr. 3,8 in media di CO₂; a Torino, alla stessa temperatura, gr. 4,1, mentre in un'altra esperienza, a 20°,5, gr. 3,3.

Quando l'ambiente non era riscaldato, l'individuo in esperimento aveva un forte senso di freddo al braccio chiuso nel cilindro, con orripilazione intensa, sebbene la temperatura interna del cilindro fosse sempre circa due gradi superiore alla temperatura esterna. Nell'ambiente riscaldato fra 15° e 21° non si avevano sensazioni di freddo, nè secrezione di sudore. L'acqua perspirata dalla pelle della mano e dell'avambraccio era in queste esperienze superiore di molto a quella eliminata nelle esperienze a bassa temperatura. Essendo la temperatura ambiente più bassa della temperatura interna del cilindro, la maggior parte del vapor d'acqua eliminato dalla pelle si condensava sulla parete interna del manicotto e si raccoglieva poi nella parte più bassa.

Si ammette generalmente che l'acqua eliminata dalla pelle aumenti continuamente e proporzionatamente colla temperatura, mentre il CO₂ eliminato sarebbe entro certi limiti indipendente da essa. Schierbech⁽¹⁾, Willebrand⁽²⁾, ammettono che l'anidride carbonica secreta dalla pelle sia presso a poco indipendente dalla temperatura, e che solo quando questa raggiunge il punto critico (33°), al quale incomincia la vera secrezione del sudore, il CO₂ eliminato aumenti 3 o 4 volte.

Franchini e Preti, determinando il CO₂ emesso dalla mano e dal braccio chiusi in un manicotto di vetro ripieno di ossigeno, trovarono che a 36°, 38° e 40°, la produzione non cambiava, mentre l'ossigeno assorbito cresceva con la temperatura; ma le piccole differenze nella secrezione del CO₂ potevano facilmente sfuggire a questi autori che dosavano il CO₂ nell'aria del cilindro con un apparecchio, volumetrico e prolungavano l'esperimento solo

⁽¹⁾ Schierbech, *Die Kohlensäure und Wasserausscheidung der Haut bei Temperaturen zwischen 30° und 39°*, Arch. f. (Anat.) u. Physiol, 1893, S. 116.

⁽²⁾ Willebrand E. A., *Ueber die Kohlensäure und Wasserausscheidung durch die Haut des Menschen*, Skandin. Arch., Bd. 13, S. 337.

per un'ora: il per cento del CO₂ nell'aria del cilindro, alla fine di certe esperienze, risultava, all'analisi, poco superiore a quello che si aveva all'inizio.

Se il CO₂ eliminato dal corpo è indipendente dalla temperatura quando questa è nei limiti sperimentati dagli autori su citati, pare invece che *la respirazione cutanea del CO₂ sia proporzionale alla temperatura quando questa è molto bassa*; ciò abbiamo veduto nelle esperienze fatte al Colle d'Olen e a Torino, sia su V., sia su A.; nelle quali, passando da 5° a 20°, l'eliminazione dell'anidride carbonica aumenta quasi del doppio.

I valori del CO₂ eliminato nelle 24 ore al Colle d'Olen e a Torino non si possono confrontare con quelli ottenuti dagli altri autori citati, perchè essi sperimentarono con temperature superiori e ottennero perciò una produzione di anidride carbonica sempre superiore a quella ottenuta da noi. Aubert, fra 29° e 33°, ottenne in media una eliminazione, da tutto il corpo, di gr. 7,546 di CO₂ nelle 24 ore; Schierbeck, fra 29° e 33°, gr. 8; Willebrand, fra 20° e 33°, 7-8 gr.; Franchini e Preti, a 36°-40°, in media gr. 9,433. La massima produzione di CO₂ nelle nostre esperienze fu di gr. 5,033 nelle 24 ore e riferita a tutto il corpo: essa si ebbe a Torino, in A., con la più alta temperatura sperimentata (21° nell'ambiente, 25° nel cilindro).

Zuelzer⁽¹⁾ sperimentando, alla temperatura ambiente ottenne dalla mano e dall'avambraccio una secrezione di gr. 0,00497 all'ora, che per intensità si avvicina a quella ottenuta nelle nostre esperienze: ma a 42° i valori erano molto superiori (gr. 0,02404 all'ora).

Generalmente si ammette che la secrezione dell'anidride carbonica dalla pelle sia governata da leggi fisiche e che dipenda dalla differente tensione che questo gas ha nel sangue e nell'aria ambiente; essa dipenderebbe anche dalla permeabilità della pelle. Si tratterebbe, in altre parole, di una diffusione dell'anidride carbonica per la parete dei capillari sanguigni e per l'epidermide cutanea. Una vera produzione di CO₂ nella cute si avrebbe solo quando le ghiandole sudorifere incominciano a funzionare e a secernere sudore. In alta montagna la tensione dell'anidride carbonica nel sangue è minore che non al piano (Mosso e Marro)⁽²⁾, specialmente per la penetrazione in circolo di

⁽¹⁾ Zuelzer, *Die Sauerstoffaufnahme durch die Haut*-Zeitschr. f. Klin. Med. 53 Cit. da Franchini, pag. 444.

⁽²⁾ Mosso A. e Marro G., *Le variazioni che succedono nei gas del sangue sulla vetta del monte Rosa*, Rend. Accad. Lincei, 1903, fasc. 12, e Arch. ital. de biol. tom. XXXIX, pag. 402; Id. id., *La respiration des chiens et la polypnée thermique sur le sommet du Mont Rosa: analyse des gaz du sang après un long séjour à 4560 mètres d'altitude*, Giornale della R. Accademia di medicina di Torino, vol. X, fasc. 1°, e Laboratoire scientifique international du Mont Rosa, vol. I, pag. 115.

rilevanti quantità di acidi organici, prodotti dalla deficiente ossigenazione, che ne fanno variare la reazione [Galeotti (1), Aggazzotti (2), Barcroft e Orbelli (3), Barcroft e Gamis (4)]; perciò la differenza fra la tensione della nitrato carbonica nei capillari cutanei e nell'atmosfera è minore che non al piano. In tali condizioni si sarebbe dovuto trovare in alta montagna una minor eliminazione cutanea di CO₂; invece, come abbiamo veduto, quando la temperatura è bassa, l'eliminazione è, se non maggiore, almeno uguale, al Colle d'Olen e a Torino. Credo si possa interpretare questa apparente contraddizione ammettendo che al Colle d'Olen l'organismo delle persone in esperimento fosse più acclimatizzato al freddo che non a Torino; perchè già da parecchie settimane esse si trovavano in alta montagna, e la temperatura media era intorno ai 4° C. A Torino, anche durante l'inverno, il nostro corpo è abituato ad ambienti ben riscaldati, e raramente ci si espone per molte ore alle intemperie e al vento freddo e impetuoso, come succede in alta montagna. È probabile che, per questa acclimatazione, ad eguale temperatura, i vasi cutanei siano più contratti al piano che non in alta montagna. A Torino si è infatti constatato che la persona in esperimento provava una sensazione di freddo molto più intenso nel restare due ore immobile durante l'esperimento con 9°-10°, di quello che non provasse all'Olen con una temperatura di soli 5-6 gradi. È anche noto che la pelle, nell'aria rarefatta, ha spesso un colore cianotico per iperemia passiva. Quando l'individuo si trova in un ambiente riscaldato, la circolazione si riattiva probabilmente con uguale intensità nell'uno e nell'altro luogo. In tali condizioni abbiamo veduto che la secrezione cutanea del CO₂ era in certe esperienze maggiore a Torino che al Colle d'Olen.

Anche dai polmoni l'uomo e gli animali eliminano in alta montagna una quantità maggiore di CO₂ che non al piano, e non sappiamo se ciò dipenda, pure in parte, dalla bassa temperatura. Sta di fatto che, in alta montagna, tanto la respirazione polmonare quanto quella cutanea contribuiscono a impedire di anidride carbonica l'organismo.

Le nostre esperienze furono fatte al Colle d'Olen a 3000 metri circa sul livello del mare: a quest'altezza si può dire che l'organismo appena in-

(1) Galeotti G., *Le variazioni dell'alcalinità del sangue sulla vetta del Monte Rosa*, Rend. della R. Accad. dei Lincei, vol. XII, 1903 e Laboratoire scientifique international du Mont Rosa, vol. I, pag. 1.

(2) Aggazzotti A., *La reazione del sangue nell'aria rarefatta, determinata col metodo titolometrico ed elettrometrico*, Rend. R. Accad. dei Lincei, vol. XV, fasc. 7 e 8, 1906 e Laboratoire scientifique international du Mont Rosa, vol. II, pag. 177.

(3) Barcroft I. and Orbelli S., *Influence of lactic acid upon dissociation curve of blood*, Journ. of physiology, 41, 355, (1900).

(4) Barcroft J., and Camis M., *Dissociation of hemoglobin in the blood*, Journ. of physiology, 39, 118, (1909).

comincia a sentire gli effetti del clima dell'alta montagna; perciò sarà necessario di ripetere le esperienze sulla respirazione cutanea anche ad un'altezza maggiore.

CONCLUSIONI.

1°) In alta montagna la respirazione cutanea dell'anidride carbonica è, contrariamente alle previsioni teoriche, uguale o leggermente maggiore che al piano: tale fatto dipende probabilmente da una acclimatazione al freddo, per cui, quando la temperatura è egualmente bassa in alta montagna e al piano, qui i vasi sanguigni periferici sono più contratti e la pelle è più anemica. Quando si riscaldi artificialmente l'ambiente, la secrezione cutanea del CO₂ al piano, diventa, in certi casi, anche maggiore che in alta montagna.

2°) Tanto in alta montagna quanto al piano, fra 5° e 21° la eliminazione del CO₂ cresce progressivamente con la temperatura.

RESPIRAZIONE CUTANEA DEL CO₂

Colle D' Olen, 2900 m. s. m.

Num. dell'esperienza	DATA	Temperatura		CO ₂ elim. in gr.		Osservazioni
		Nell'ambiente	Nel cilindro	In un'ora dal braccio	In 24 ore dal corpo	
1	13-VIII-12	5.8	7.5	0.0059	2.890	Esperienze fatte su G. Viale ambiente riscaldato
2	22-VIII-12	6.0	7.0	0.0053	2.594	
3	23-VIII-12	6.0	11.0	0.0055	2.662	
4	9-VIII-12	6.5	11.0	0.0074	3.601	
5	23-VIII-12	17.5	24.0	0.0095	4.617	
6	24-VIII-12	19.0	21.5	0.0099	4.791	
8	23-VIII-12	5.5	7.0	0.0037	1.791	Esperienze fatte su A. Agazzotti ambiente riscaldato
9	31-VIII-12	7.0	8.5	0.0032	1.888	
10	16-VIII-12	7.0	9.0	0.0044	2.130	
11	12-VIII-12	8.8	12.0	0.0058	2.807	
12	1- IX -12	10.0	13.0	0.0064	3.119	
13	2- IX -12	15.0	17.0	0.0082	3.992	
14	30-VIII-12	15.2	17.5	0.0075	3.649	

Torino, 240 m. s. m.

Num. del- l'esperienza	DATA	Temperatura		CO ₂ elim. in gr.		Osservazioni
		Nell'ambiente	Nel cilindro	In un'ora dal braccio	In 24 ore dal corpo	
15	29- I -13	8.5	12.0	0.0055	2.662	
16	1-III-13	12.0	15.0	0.0074	3.582	ambiente riscaldato
17	7-III-13	12.2	15.5	0.0084	4.065	
18	21- I -13	9.0	11.0	0.0053	2.569	
19	16- I -13	9.5	10.5	0.0041	1.980	
20	3- II -13	15.0	18.8	0.0082	3.969	ambiente riscaldato
21	9-III-13	15.5	18.0	0.0089	4.308	
22	1- II -13	20.5	21.8	0.0068	3.319	" "
23	31- I -13	21.0	25.0	0.0104	5.033	" "

ELEZIONI DI SOCI

Colle norme stabilite dallo Statuto e dal Regolamento si procedette alle elezioni di Soci e Corrispondenti dell'Accademia. Le elezioni diedero i risultati seguenti per la Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali:

Furono eletti Corrispondenti:

Nella Categoria I, per la *Matematica*: BAGNERA GIUSEPPE.

Nella Categoria II, per la *Cristallografia e Mineralogia*: MILLOSEVICH FEDERICO.

Furono eletti Soci stranieri:

Nella Categoria I, per la *Matematica*: HURWITZ ADOLFO e FREDHOLM IVAR; per la *Meccanica*: HILL GEORGE WILLIAM; per la *Geografia matematica e fisica*: BASSOT J. A. LÉON.

Nella Categoria II, per la *Cristallografia e Mineralogia*: BRÖGGER WALDEMAR CRISTOFER.

L'esito delle votazioni venne proclamato dal Presidente con Circolare dell'11 luglio 1913; le elezioni dei Soci stranieri furono sottoposte all'approvazione di S. M. il Re.

E. M.