
ATTI ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI
CLASSE SCIENZE FISICHE MATEMATICHE NATURALI

RENDICONTI

EMILIO AGOSTONI, PIERO MOGNONI

Componenti toracica ed addominale delle variazioni di volume polmonare

*Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche,
Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. 36 (1964), n.3, p. 423–427.*

Accademia Nazionale dei Lincei

<http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1964_8_36_3_423_0>

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

*Articolo digitalizzato nel quadro del programma
bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)*

SIMAI & UMI

<http://www.bdim.eu/>

Fisiologia. — *Componenti toracica ed addominale delle variazioni di volume polmonare* (*) (**). Nota di EMILIO AGOSTONI e PIERO MOGNONI, presentata (***) dal Socio R. MARGARIA.

La conoscenza delle frazioni dell'aria respiratoria dovute rispettivamente allo spostamento della gabbia toracica ed a quello dell'addome-diaframma permette di eseguire un calcolo più esatto del lavoro respiratorio [1] e un'analisi più completa della statica toracica quale si può ottenere dalle curve volume-pressione della gabbia toracica e dell'addome-diaframma a rilasciamento [2]. Wade [3] ha determinato queste frazioni registrando simultaneamente le variazioni di volume polmonare, le variazioni della circonferenza toracica e gli spostamenti, rilevati radiologicamente, del diaframma. Indicando con ΔV la variazione di volume polmonare, con Δc la variazione di circonferenza toracica, con Δb la variazione di posizione della cupola diaframmatica relativa alla gabbia toracica, con x la variazione di volume polmonare per variazione unitaria di circonferenza toracica e con y la variazione di volume polmonare prodotta da uno spostamento unitario della cupola diaframmatica, $\Delta V = x\Delta c + y\Delta b$. In base a questi dati ottenuti in posizione eretta e supina, Wade ha elaborato e risolto un sistema di due equazioni (posizione eretta e supina) a due incognite (x e y) per la capacità inspiratoria ed un analogo sistema per la riserva espiratoria. Questo metodo presuppone che le incognite del sistema siano pressoché costanti: 1) nell'ambito della capacità inspiratoria, e, rispettivamente, della riserva espiratoria, 2) nella posizione eretta e in quella supina. La condizione 1) è probabilmente soddisfatta con sufficiente approssimazione, più difficile sembra il verificarsi della condizione 2) per il diaframma, data la diversa forma acquisita dal diaframma nelle due posizioni. Non è comunque possibile valutare l'errore che queste approssimazioni comportano.

Si può comunque cercare di determinare la variazione di volume dovuta al movimento della gabbia toracica e quella dovuta al movimento dell'addome-diaframma con un metodo diverso per vedere se i dati concordano. A tale fine e per evitare la complicazione delle determinazioni radiologiche del metodo di Wade, in questa ricerca si è cercato di determinare le variazioni di volume della gabbia toracica, ΔV_{rc} , direttamente dalle sue variazioni di

(*) Dall'Istituto di Fisiologia Umana dell'Università di Milano.

(**) Questa ricerca è stata eseguita con il contributo dell'Aerospace Medical Research Laboratories, MRMPA, tramite l'Ufficio Europeo dell'Aerospace Research, U.S. Air Force, e dell'U.S. Public Health Service, Grant RF 15.

(***) Nella seduta del 14 marzo 1964.

circonferenza, ed ottenere quindi, per differenza dalle variazioni di volume totale, quelle dovute allo spostamento dell'addome-diaframma, $\Delta V(ab + di)$.

Si possono così avere i dati di ΔVrc e $\Delta V(ab + di)$ in funzione del volume polmonare espresso in % della capacità vitale, dati che occorrono per costruire le curve volume-pressione della gabbia toracica e dell'addome-diaframma a rilasciamento. A tal fine le determinazioni sono state eseguite anche in posizione seduta oltre che in quella eretta e supina.

Si sono misurate simultaneamente le variazioni di volume polmonare e di circonferenza toracica come precedentemente descritto [4]. Le misure di circonferenza venivano eseguite alla giuntura sterno-xifoidea ed in 4 soggetti anche 6-8 cm più in alto. Si misurava inoltre la distanza tra la giuntura sterno-xifoidea e l'incisura giugulare. Gli esperimenti sono stati eseguiti sui 9 soggetti sui quali era stata precedentemente determinata la relazione tra volume polmonare e circonferenza toracica [4].

La distanza tra giuntura sterno-xifoidea e incisura giugulare è stata presa come indice dell'altezza media del polmone e cioè dell'altezza di quella zona di gabbia toracica di cui si vuol conoscere l'espansione in senso radiale; ciò comporta un errore, che in base a rilievi radiografici non dovrebbe superare il 10 %. Il valore medio di questa altezza (h) è risultato $16,7 \pm 0,3$ cm.

Se la sezione orizzontale del torace fosse circolare, la sua area, A , espressa in funzione della circonferenza, c , sarebbe: $A = c^2/(4\pi)$, e $dA/dc = c/(2\pi) =$ raggio. Dato che la lunghezza del diametro latero-laterale del torace è, nei soggetti esaminati, circa 1,4 volte circa maggiore di quella del diametro dorso-ventrale, l'area della sezione del torace, espressa in funzione della circonferenza, è probabilmente definita con maggior approssimazione dalla formula di un'ellissi avente l'asse maggiore 1,4 volte quello minore. L'area della sezione orizzontale del torace diventa allora: $A = c^2/(4,22\pi)$.

Se si potessero misurare le circonferenze e le loro variazioni, di cm in cm, lungo tutta l'altezza del solido considerato, la sua variazione di volume sarebbe facilmente misurabile; ma la circonferenza può essere misurata solo fino a 6-8 cm sopra la giuntura sterno-xifoidea, cioè solo fino a quasi metà altezza.

Le massime variazioni di area della sezione orizzontale del torace alla giuntura sterno-xifoidea (livello inferiore) e 6-8 cm più in alto (livello superiore) sono riportate nella Tabella I; i dati sono stati rilevati sia in posizione eretta che seduta. Le differenze tra le variazioni di sezione ai due livelli non sono significative in nessuno dei 4 soggetti. La variazione di circonferenza è maggiore dove la circonferenza è minore (cioè al livello inferiore), e viceversa, perciò, essendo dA/dc proporzionale a c , la variazione di sezione è circa uguale ai due livelli. Questa caratteristica semplifica notevolmente la misura; si può infatti ritenere che la variazione di sezione sia costante dalla base a metà altezza (il livello superiore in cui è stata eseguita la misura è 1-2 cm inferiore a metà altezza, ma in questa zona la variazione di sezione ovviamente non può variare in modo apprezzabile nell'ambito di 1-2 cm).

La variazione di volume della metà superiore del solido considerato non può essere misurata direttamente. D'altra parte l'espansione a livello dell'incisura giugulare è pressoché nulla; la variazione di sezione deve perciò diminuire dal valore rilevato a metà altezza a zero in corrispondenza dell'incisura giugulare. Dal confronto di profili radiografici della gabbia toracica in massima inspirazione ed espirazione si può valutare che la variazione di volume nella metà superiore del solido dovrebbe essere circa $2/3$ di quello rilevato nella metà inferiore. Risulta inoltre da questo confronto che l'errore di questa valutazione indiretta non dovrebbe essere maggiore del 10 %, ciò implica un errore del 4 % nel calcolo della variazione di volume di tutta la gabbia toracica.

TABELLA I.

Variazioni massime dell'area della sezione orizzontale del torace, alla giuntura sterno-xifoidea (ΔA_i) e 6-8 cm cranialmente (ΔA_s).

Posiz.	Soggetti	ΔA_i cm ²	ΔA_s cm ²	$\Delta A_i - \Delta A_s$ cm ²
SEDUTA	P.M.	112,4 ± 1,0	112,8 ± 2,8	- 0,4
	F.S.	124,9 ± 2,8	124,2 ± 3,8	+ 0,7
	G.T.	103,7 ± 3,6	95,8 ± 1,8	+ 7,9
	P.C.	113,3 ± 3,1	114,3 ± 4,1	- 1,0
ERETTA	P.M.	115,2 ± 2,8	116,6 ± 3,8	- 1,4
	F.S.	111,3 ± 4,2	116,9 ± 9,6	- 5,6
	G.T.	98,1 ± 4,7	93,5 ± 2,8	+ 4,6
	P.C.	106,0 ± 5,7	110,9 ± 6,2	- 4,3

Medie ± E.S. di esperimenti eseguiti in 3 giorni.

Ritenendo validi questi presupposti, la variazione di volume prodotta dall'espansione della gabbia toracica può essere quindi approssimativamente calcolata con la seguente formula: $\Delta V_{rc} = 0,063 h (c_1^2 - c_2^2)$, in cui c_1 e c_2 sono le circonferenze, misurate alla giuntura sterno-xifoidea, in corrispondenza di due volumi polmonari. Se gli errori comportati dai presupposti (altezza media, sezione ellittica, espansione della parte superiore della gabbia toracica) e dalla misura della circonferenza fossero tutti nello stesso senso, l'errore massimo sarebbe 20 % circa.

Con la formula suddetta si è calcolato il valore di ΔV_{rc} , in percento della capacità vitale, a diversi valori di circonferenza. Da questi dati e dalla relazione volume polmonare-circonferenza toracica [4] si è ottenuto graficamente il valore di ΔV_{rc} e di $\Delta V (ab + di)$ a diversi valori di capacità vitale. Queste relazioni, in posizione eretta, seduta o supina, sono illustrate nella figura.

I valori di ΔV_{rc} e $\Delta V (ab + di)$ sono in accordo con quelli calcolati dai dati di Wade [3] ottenuti con metodo diverso (ved. Tabella II).

TABELLA II.

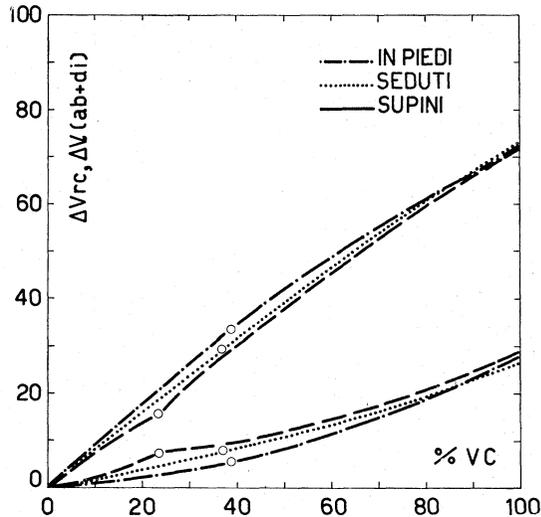
Contributo volumetrico dato dal movimento della gabbia toracica, ΔV_{rc} , e dell'addome-diaframma, $\Delta V (ab + di)$, alla riserva espiratoria, ERV, alla capacità inspiratoria, IC, e alla capacità vitale, VC, in posizione eretta, seduta e supina.

Posiz.	Volume Polm.	ΔV_{rc} % VC	$\Delta V (ab + di)$ % VC
ERETTA	ERV	5,7 ± 0,6 (5,1)	32,9 ± 1,2 (29,5)
	IC	22,5 ± 1,0 (26,7)	38,9 ± 0,9 (38,7)
	VC	28,2 ± 1,0 (31,8)	71,8 ± 1,0 (68,2)
SEDUTA	ERV	8,0 ± 0,7	29,3 ± 1,2
	IC	19,0 ± 0,9	43,7 ± 1,0
	VC	27,0 ± 0,9	73,0 ± 0,9
SUPINA	ERV	7,3 ± 0,6 (6,5)	15,8 ± 0,9 (12,9)
	IC	21,2 ± 1,1 (27,5)	55,7 ± 1,2 (53,1)
	VC	28,5 ± 1,2 (34,0)	71,5 ± 1,2 (66,0)

Media ± E.S. su 9 soggetti. I valori tra parentesi sono stati calcolati dai dati ottenuti da WADE [3] con diverso procedimento.

Le differenze posturali non sono trascurabili: ad esempio (v. figura) in posizione eretta la gabbia toracica fornisce solo il 14,8% della riserva espiratoria, mentre in posizione seduta essa fornisce il 21,3%, ed in posizione supina il 31,6%. Inoltre per un aumento del 10% della capacità vitale al di sopra del volume di riposo, cioè nell'ambito della ventilazione spontanea a riposo, la gabbia toracica aumenta del 3%, 2,5% e 1% della capacità vitale, rispettivamente in posizione eretta, seduta e supina. Come si è già

discusso [4], le differenze tra posizione supina e seduta, al volume polmonare considerato, dipendono dalla diminuzione della distensibilità della gabbia toracica e dall'aumento della distensibilità dell'addome, che si hanno



Variazioni di volume dovute ai movimenti della gabbia toracica (ΔV_{rc} , curve inferiori) e dell'addome-diaframma [$\Delta V(ab + di)$, curve superiori] in funzione del volume totale dei gas nei polmoni in posizione eretta, seduta e supina.

I valori di ordinata e di ascissa sono espressi in percento della capacità vitale (VC). Media di 9 soggetti.

passando alla posizione supina. D'altra parte le differenze tra posizione seduta ed eretta dipendono dalla diversa azione dell'addome sulla gabbia toracica e dal tono dei muscoli antigravitari necessariamente presente quando il soggetto è in piedi.

BIBLIOGRAFIA.

- [1] E. AGOSTONI, « J. Appl. Physiol. », 16, 1055 (1961).
- [2] E. AGOSTONI e J. MEAD, *Statics of the Respiratory System*, in *Handbook of Physiology*, Section 3 Respiration, Volume 1. American Physiological Society, Washington D. C. (1964).
- [3] O. L. WADE, « J. Physiol. », 124, 193 (1954).
- [4] E. AGOSTONI, P. MUGNONI e G. TORRI, « Rend. Acc. Naz. Lincei », in corso di stampa.