

Serie "Applicazioni della Fisioterapia Respiratoria in Pneumologia"
a cura di Simone Salvitti

Valutazione di forza e resistenza della muscolatura respiratoria nella BPCO

Assessment of respiratory muscle strength and endurance in patients with COPD

Simone Salvitti¹, Diego Poddighe²

¹SOC Pneumologia e Fisiopatologia Respiratoria, Azienda Sanitaria Universitaria Friuli Centrale, Udine; ²PhD student - KU Leuven, Department of Rehabilitation Sciences, Research Group for Rehabilitation in Internal Disorders, Leuven, Belgium

Riassunto

La disfunzione dei muscoli respiratori è una condizione comune nei pazienti con BPCO, specialmente durante l'esercizio. Le principali cause di questa condizione sono lo sviluppo di iperinsufflazione dinamica e la associata pressione alveolare positiva intrinseca di fine espirazione (PEEPi). In tale condizione, il diaframma è posto in svantaggio biomeccanico per via del progressivo accorciamento delle fibre muscolari, e la sua capacità di generare forza è compromessa. Come risultato il normale rapporto "capacità di lavoro/carico respiratorio" è alterato ed associato a dispnea e ridotta tolleranza all'esercizio. È importante per un fisioterapista respiratorio monitorare questi parametri al fine di associarli a possibili obiettivi da raggiungere (come la riduzione dei sintomi respiratori limitanti durante l'esercizio) con un intervento fisioterapico specifico, come l'allenamento della forza e della resistenza dei muscoli inspiratori. Tale monitoraggio avrà il fine anche di rivalutare l'efficacia di tali interventi.

Parole chiave: valutazione dei muscoli respiratori, BPCO, forza, resistenza

Summary

Respiratory muscle dysfunction is a common finding in patients with COPD, especially during exercise. The main cause of this dysfunction in COPD patients is the development of dynamic hyperinflation and associated intrinsic positive end-expiratory pressure (PEEPi). In this condition, the diaphragm is subjected to a mechanical disadvantage due to the progressive shortening of its muscle fibers, and its force generation capacity is compromised. As a result, the normal balance of inspiratory muscles capacity/load is altered and this is associated with dyspnea and reduced exercise tolerance. It is important for a respiratory physiotherapist to monitor the respiratory muscle strength and endurance of the patients, in order to associate the results with possible objectives to work on (like reduction of respiratory limiting symptoms during exercise) with specific physiotherapy intervention, like strength and endurance inspiratory muscle training. Such monitoring will also have the purpose to verify the effectiveness of such interventions.

Key words: respiratory muscle assessment, COPD, strength, endurance

Introduzione

Nella pratica clinica la valutazione della funzione risulta essere fondamentale in quanto rappresenta la base del processo decisionale che porta alla definizione degli obiettivi e all'individuazione degli interventi e delle relative strategie di approccio al problema. Sono trascorse due decadi dalla pubblicazione della dichiarazione ATS/ERS sulla valutazione dei muscoli respiratori¹ e in questi anni la ricerca scientifica ha fornito sostanziali novità nel

Ricevuto il 19-9-2021
Accettato il 4-10-2021

Corrispondenza

Simone Salvitti

SOC Pneumologia e Fisiopatologia Respiratoria,
Azienda Sanitaria Universitaria Friuli Centrale
via Pozzuolo 330, 33100 Udine
simonesalvitti@gmail.com

Conflitto di interessi

Gli autori dichiarano di non avere nessun conflitto di interesse con l'argomento trattato nell'articolo.

Come citare questo articolo: Salvitti S, Poddighe D. Valutazione della forza e resistenza della muscolatura respiratoria nella BPCO. Rassegna di Patologia dell'Apparato Respiratorio 2021;36:154-157. <https://doi.org/10.36166/2531-4920-A074>

© Copyright by Associazione Italiana Pneumologi Ospedalieri – Italian Thoracic Society (AIPO – ITS)



OPEN ACCESS

L'articolo è open access e divulgato sulla base della licenza CC-BY-NC-ND (Creative Commons Attribuzione – Non commerciale – Non opere derivate 4.0 Internazionale). L'articolo può essere usato indicando la menzione di paternità adeguata e la licenza; solo a scopi non commerciali; solo in originale. Per ulteriori informazioni: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.it>

campo della meccanica respiratoria, della neurofisiologia della muscolatura respiratoria (elettromiografia, elettroencefalografia, stimolazione elettrica transcranica) e dell'*imaging* (ecografia, pletismografia optoelettronica, pletismografia a luce strutturata) tali da rendere necessaria una nuova revisione dei test a disposizione per la loro valutazione funzionale a riposo e sotto sforzo ².

La disfunzione dei muscoli respiratori è una condizione comune nei pazienti con BPCO, specialmente durante l'attività fisica e l'esercizio ³. La compromissione della funzione diaframmatica nelle patologie polmonari ostruttive può dipendere da diversi fattori ⁴, primi tra tutti l'iperinsufflazione polmonare statica e dinamica ³. L'iperinsufflazione polmonare rappresenta una delle conseguenze della limitazione del flusso aereo espiratorio (ostruzione) ed è caratterizzata dall'aumento della capacità funzionale residua per aumento principalmente del volume residuo (con associata PEEP intrinseca). Questo meccanismo crea condizioni di svantaggio biomeccanico del sistema toraco-polmonare tali da far lavorare il diaframma in costante accorciamento compromettendo la sua capacità di generare forza ^{3,5-7}. In pazienti con BPCO, l'aumentato lavoro respiratorio a riposo è principalmente determinato dall'aumentato spazio morto alveolare e dalle aumentate resistenze al flusso inspiratorio, che a sua volta porta ad un incremento delle necessità ventilatorie ⁸. Questo evidente stato di squilibrio energetico tra riduzione della capacità di lavoro della pompa muscolare e aumento del carico respiratorio, può, in condizioni di riposo ed entro certi limiti, essere compensato dall'adattamento biomeccanico del diaframma che permette agli altri muscoli respiratori di adeguare le loro capacità di sostenere l'aumento del lavoro imposto ⁴. Tuttavia, quando si verifica un'iperinsufflazione dinamica durante l'esercizio, i muscoli respiratori non sono in grado di adattare la loro capacità di generare pressione al carico crescente che devono sostenere ³.

Quindi, durante l'esercizio, il fatto che i muscoli respiratori utilizzino una porzione maggiore della pressione massima che sono in grado di generare (a causa dell'aumento del carico meccanico) unito al fatto che questo livello aumentato di pressioni debba essere generato e garantito per un tempo prolungato dovuto all'aumento della ventilazione minuto sotto sforzo, possono portare all'affaticamento dei muscoli respiratori e alla sensazione di dispnea ³.

Questo modello di contrazione dei muscoli respiratori biomeccanicamente svantaggioso e progressivamente estenuante può contribuire a indurre l'affaticamento dei muscoli delle gambe attraverso il cosiddetto "respiratory muscle metaboreflex" ^{3,9}. Infatti, l'aumento delle richieste metaboliche potrebbe causare una ridistribuzione del flusso sanguigno verso muscoli respiratori a

spese dei muscoli locomotori ^{3,10}. La compromissione della funzione dei muscoli respiratori, intesa sia in termini di forza che resistenza, è anche associata all'intensità della percezione della dispnea da sforzo, che è un sintomo comune che limita l'esercizio nella BPCO ¹¹. In condizioni di iperinsufflazione dinamica, al fine di ripristinare l'equilibrio tra capacità di lavoro dei muscoli respiratori e carico respiratorio, è possibile ricorrere ad alcuni interventi che mirano alla riduzione di quest'ultimo: broncodilatazione, esercizi respiratori che favoriscano la fase espiratoria e ventilazione non invasiva ³.

La valutazione della forza dei muscoli respiratori potrebbe permettere ai fisioterapisti di identificare quei soggetti che sono più inclini a rispondere a interventi volti a migliorare la capacità dei muscoli respiratori di generare pressioni inspiratorie (forza) e di sostenerne la produzione durante l'esercizio (resistenza).

La forza dei muscoli respiratori viene solitamente valutata misurando alla bocca la massima pressione inspiratoria (MIP) che il paziente è in grado di generare a riposo. La resistenza dei muscoli respiratori è definita come la capacità di questi ultimi di sostenere un determinato livello di ventilazione o di carico nel tempo. La forza e la resistenza dei muscoli respiratori hanno bisogno di valutazioni separate ed è quello che ci proponiamo di descrivere concisamente nelle sezioni seguenti.

Valutazione della MIP (forza)

Le misurazioni MIP sono clinicamente utilizzate per valutare la forza globale dei muscoli inspiratori. Il test è volitivo e richiede la piena cooperazione del paziente. Come interfacce per connettere il manometro (da preferire uno strumento digitale a uno analogico) alla bocca del paziente si possono usare boccagli (rigidi o di gomma con o senza flangia) o, in casi particolari, una maschera oronasale. Per misure in ambito clinico, boccagli con flangia sono raccomandati, anche se possono determinare una sottostima dei valori di MIP ^{1,2}. È fondamentale che non si verifichi alcuna perdita durante le misurazioni né dal naso (è possibile utilizzare una pinza per tapparlo) né dall'interfaccia poiché queste porterebbero ad una sottostima del valore di MIP reale. L'unica perdita permessa è quella propria del sistema (in alcuni casi è presente un piccolo orifizio di circa 2 mm) atta a prevenire la chiusura glottica durante la manovra massimale ^{1,2}. Il paziente è di solito comodo in posizione seduta e, dopo aver spiegato l'esecuzione della manovra, si chiede dapprima di respirare normalmente e poi di espirare completamente (raggiungendo il volume residuo). A questo punto si occlude la via inspiratoria e si richiede una inspirazione forzata massimale per 1 o 2 secondi circa. Si registra il miglior valore di MIP sostenuta per un secondo su tre manovre che

variano di meno del 10%. Il valore di MIP sostenuta per un secondo è di solito riferito come valore di "plateau". Questo è più basso (ma considerato essere più riproducibile) del valore di picco, che rappresenta il massimo valore assoluto di MIP raggiunto durante la misurazione (ma non sostenuto per almeno un secondo)¹. Ai fini del calcolo del valore di *plateau*, è raccomandabile utilizzare trasduttori di pressione che possano essere connessi ad un computer². In tal modo, il paziente otterrà un *feedback* visivo della misurazione stessa (anch'esso raccomandato)². L'affidabilità della misurazione della MIP è considerata buona dopo 5 tentativi². Inoltre, si stima che valori di picco della MIP riproducibili in pazienti che non abbiano avuto precedente esperienza con tale misurazione siano raggiunti dopo 9 tentativi¹². Il numero di ripetizioni della misurazione della MIP deve essere quindi considerato tra i fattori che ne influenzano il risultato¹. Per interpretare i risultati delle nostre valutazioni, si possono utilizzare le seguenti Tabelle I e II che sono incluse in Laveneziana et al.² e che riassumono i dati di Sclausser Pessoa et al.¹³ e Rodrigues et al.¹⁴. È importante eseguire la rivalutazione del paziente con le stesse interfacce e strumenti utilizzati in precedenza. Infatti l'utilizzo di boccagli di gomma con o senza flangia, o variazioni di perdita del sistema (determinate dal diametro dell'orifizio), possono influenzare il risultato delle misurazioni^{1,15}.

Valutazione dell'endurance dei muscoli respiratori (resistenza)

Sono disponibili diverse modalità di valutazione della resistenza dei muscoli respiratori. Il test a carico incrementale e il test di carico costante sono le modalità più facili da applicare nella pratica clinica. I carichi esterni, e cioè le resistenze (o pressioni) che il paziente deve vincere ad ogni inspirazione, possono essere di carattere resistivo (la pressione richiesta dipende dalla resistenza imposta al flusso), a carico soglia (c'è un limite di pressione richiesta, detto *threshold*, per aprire la valvola inspiratoria che è indipendente da flusso e volume)

o carico ibrido detto "tapered flow resistive load" (la pressione richiesta è adattata durante ogni singolo atto inspiratorio in modo tale da mantenere la pressione alla stessa intensità relativa in ciascun punto della curva pressione-volume dei muscoli respiratori)^{2,16}. La tecnica più comunemente usata è quella del carico soglia che, di norma, si imposta su percentuali definite della MIP. Durante il test a carico incrementale il paziente respirerà contro resistenze crescenti utilizzando un dispositivo a carico resistivo o *threshold*. Un protocollo proposto è quello di partire dal 30-40% della MIP (opportunamente misurata in precedenza) e di aumentare le resistenze a intervalli regolari pari al 5-10% della MIP ogni 1 o 2 minuti finché l'aumento del carico non viene più tollerato per il tempo minimo richiesto². Il valore di pressione dell'ultimo intervallo completo di 1 o 2 minuti è considerato la pressione di picco (Ppeak)².

Il test a carico costante, invece, viene eseguito utilizzando una singola resistenza fino ad esaurimento ed è per questo motivo un test tempo dipendente (Tlim). Il carico utilizzato è submassimale, in modo tale che la durata del test si attesti attorno ai 5-10 minuti^{2,17,18}. Inizialmente si può provare ad utilizzare resistenze pari al 50-60% della MIP¹⁸, ma se il paziente impiegasse più di 10 o meno di 5 minuti per eseguire il compito respiratorio assegnato, la resistenza contro cui inspira dovrebbe essere rispettivamente incrementata o ridotta e il test ripetuto^{2,16}. Questo adattamento del carico garantirà che il test eseguito ai fini di rivalutazione post-trattamento sia abbastanza impegnativo da poter nuovamente testare l'endurance del paziente evitando il raggiungimento del cosiddetto "effetto tetto" e senza che la durata del test superi i 15-20 minuti^{2,17,18}. In sede di rivalutazione post-trattamento, il test deve essere ripetuto con le stesse modalità utilizzate durante la valutazione funzionale iniziale fornendo le medesime indicazioni e utilizzando lo stesso carico². Differenze pre-post trattamento riguardanti il tempo di insorgenza dell'esaurimento e/o del lavoro respiratorio totale possono quindi essere considerate come *outcome* del test

Tabella I. Valori di riferimento per le misure di MIP ottenute partendo da volume residuo per diversi gruppi di età¹³.

Età (anni)	Uomini		Donne	
	Studi (n)/Campione (n)	MIP (cmH ₂ O) media [95% CI]	Studi (n)/Campione (n)	MIP (cmH ₂ O) media [95% CI]
18-29	6/96	128 [116,3-139,5]	6/92	97 [88,6-105,4]
30-39	6/96	128,5 [118,3-138,7]	6/66	89 [84,5-93,5]
40-49	6/72	117,1 [104,9-129,2]	6/71	92,9 [78,4-107,4]
50-59	5/61	108,1 [98,7-117,6]	5/60	79,7 [74,9-84,9]
60-69	5/65	92,7 [84,6-100,8]	5/66	75,1 [67,3-82,9]
70-83	5/63	76,2 [66,1-86,4]	5/59	65,3 [57,8-72,7]

Tabella II. Valori assoluti di MIP ottenuti partendo da volume residuo considerati limite inferiore di normalità poiché associati a una “maggiore” probabilità di debolezza dei muscoli inspiratori ¹⁴.

Età (anni)	Uomini		Donne	
	Campione (n)	MIP (cmH ₂ O)	Campione (n)	MIP (cmH ₂ O)
< 40	164	63	140	58
40-60	302	55	293	50
61-80	365	47	387	43
> 80	35	42	43	38

di *endurance* ². È altresì importante, seppur molto complesso, considerare il *pattern* respiratorio con il quale il paziente esegue il test: a parità di carico, soggetti differenti possono generare diversi volumi e flussi inspiratori. Esistono però dei dispositivi elettronici portatili validati su pazienti BPCO in grado di registrare in continuo volumi, flussi e pressioni generati durante il test e di fornire delle valide misurazioni del lavoro respiratorio ¹⁸. Le misurazioni della forza e della resistenza dei muscoli inspiratori devono essere integrate nella valutazione funzionale dei pazienti e non prese isolatamente. È importante per un fisioterapista respiratorio monitorare questi parametri al fine di associarli a possibili obiettivi da raggiungere (come la riduzione dei sintomi respiratori limitanti durante l'esercizio) con un intervento fisioterapico specifico, come l'allenamento della forza e della resistenza dei muscoli inspiratori.

Bibliografia

- 1 ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. *Am J Respir Crit Care Med* 2002;166:518-624. <https://doi.org/10.1164/rccm.166.4.518>
- 2 Laveneziana P, Albuquerque A, Aliverti A, et al. ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise. *Eur Respir J* 2019;53:1801214. <https://doi.org/10.1183/13993003.01214-2018>
- 3 Charusisin N, Dacha S, Gosselink R, et al. Respiratory muscle function and exercise limitation in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a review. *Expert Rev Respir Med* 2018;12:67-79. <https://doi.org/10.1080/17476348.2018.1398084>
- 4 Gea J, Agusti A, Roca J. Pathophysiology of muscle dysfunction in COPD. *J Appl Physiol* (1985) 2013;114:1222-1234. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00981.2012>
- 5 Gorman RB, McKenzie DK, Pride NB, et al. Diaphragm length during tidal breathing in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 2002;166:1461-1469. <https://doi.org/10.1164/rccm.200111-087OC>
- 6 Roussos C. Function and fatigue of respiratory muscles. *Chest* 1985;88(2 Suppl):1245-1325. https://doi.org/10.1378/chest.88.2_Supplement.1245
- 7 Moxham J, Jolley C. Breathlessness, fatigue and the respiratory muscles. *Clin Med (Lond)* 2009;9:448-452. <https://doi.org/10.7861/clinmedicine.9-5-448>
- 8 Loring SH, Garcia-Jacques M, Malhotra A. Pulmonary characteristics in COPD and mechanisms of increased work of breathing. *J Appl Physiol* (1985) 2009;107:309-314. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00008.2009>
- 9 Sheel AW, Derchak PA, Morgan BJ, et al. Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex reduction in resting leg blood flow in humans. *J Physiol* 2001;537(Pt 1):277-289. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.0277k.x>
- 10 Derchak PA, Sheel AW, Morgan BJ, Dempsey JA. Effects of expiratory muscle work on muscle sympathetic nerve activity. *J Appl Physiol* (1985) 2002;92:1539-1552. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00790.2001>
- 11 Killian KJ, Jones NL. Respiratory muscles and dyspnea. *Clin Chest Med* 1988;9:237-248.
- 12 Fiz JA, Montserrat JM, Picado C, et al. How many manoeuvres should be done to measure maximal inspiratory mouth pressure in patients with chronic airflow obstruction? *Thorax* 1989;44:419-421. <https://doi.org/10.1136/thx.44.5.419>
- 13 Sclausser Pessoa IMB, Franco Parreira V, Fregonezi GA, et al. Reference values for maximal inspiratory pressure: a systematic review. *Can Respir J* 2014;21:43-50. <https://doi.org/10.1155/2014/982374>
- 14 Rodrigues A, Da Silva ML, Berton DC, et al. Maximal inspiratory pressure: does the choice of reference values actually matter? *Chest* 2017;152:32-39. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2016.11.045>
- 15 Mayos M, Giner J, Casan P, Sanchis J. Measurement of maximal static respiratory pressures at the mouth with different air leaks. *Chest* 1991;100:364-366. <https://doi.org/10.1378/chest.100.2.364>
- 16 Langer D, Charusisin N, Jácome C, et al. Efficacy of a novel method for inspiratory muscle training in people with chronic obstructive pulmonary disease. *Phys Ther* 2015;95:1264-1273. <https://doi.org/10.2522/ptj.20140245>
- 17 Hill K, Jenkins SC, Philippe DL, et al. Comparison of incremental and constant load tests of inspiratory muscle endurance in COPD. *Eur Respir J* 2007;30:479-486. <https://doi.org/10.1183/09031936.00095406>
- 18 Langer D, Jácome C, Charusisin N, et al. Measurement validity of an electronic inspiratory loading device during a loaded breathing task in patients with COPD. *Respir Med* 2013;107:633-635. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2013.01.020>