

La spirometria nella pratica clinica: cosa deve sapere il Pediatra

La spirometria è un test estremamente versatile e informativo, che permette di orientare la diagnosi nell'ambito delle diverse pneumopatie, di monitorare la risposta terapeutica e di effettuare un adeguato follow-up anche in pazienti con coinvolgimento polmonare secondario ad altre patologie.

Beatrice Andrenacci¹, Stefano Forestieri², Giulia Milano³, Giulia Roberto¹, Amelia Licari⁴

¹ Scuola di Specializzazione in Pediatria, Università degli Studi di Pavia

² Scuola di Specializzazione in Pediatria, Università degli Studi di Cagliari

³ Scuola di Specializzazione in Pediatria, Università degli Studi di Novara

⁴ Dipartimento di Scienze Clinico-Chirurgiche, Diagnostiche e Pediatriche, Università degli Studi di Pavia, Fondazione IRCCS Policlinico San Matteo, Pavia

La spirometria è un test di funzionalità respiratoria fondato sulla misurazione del massimo volume di aria mobilizzabile a seguito di manovre di inspirazione ed espirazione forzate, rappresentata in termini di curve volume/tempo e flusso/volume (1).

Tale test è (salvo poche eccezioni discusse di seguito) sicuro, non invasivo, oggettivo, relativamente rapido e – grazie all'avvento degli spirometri portatili USB – facilmente eseguibile in diversi *setting*, purché in presenza di personale addestrato e di pazienti complianti in grado di seguire le istruzioni dell'operatore e di effettuare manovre respiratorie forzate (circostanza che in età pediatrica si verifica a partire dai 6 o più raramente dai 5 anni di età) (1).

La spirometria richiede l'utilizzo di un boccaglio monouso connesso a un sensore di flusso tramite cui il paziente respira dalla bocca, mantenendo le narici chiuse tramite una molletta stringi-naso. Il test può essere effettuato a paziente seduto o preferibilmente in stazione eretta (2).

Per una corretta esecuzione della procedura, il paziente deve compiere qualche atto respiratorio in eupnea, seguito da una inspirazione forzata fino al raggiungimento del massimo volume di aria che l'apparato respiratorio può contenere in inspirazione (ovvero la capacità polmonare totale, TLC) e una conseguente espirazione forzata massimale, rapida, esplosiva, e protratta (almeno 3 secondi nel bambino in età scolare e almeno 6 secondi nell'adolescente), che permetta il raggiungimento della minima quantità d'aria ospiabile nell'apparato respiratorio (il cosiddetto volume residuo, RV). A seguito di tale espirazione forzata, la manovra completa si conclude con una conseguente ulteriore inspirazione forzata (1,2).

Compito dell'operatore è assicurare la sterilità della procedura (attraverso l'utilizzo di dispositivi monouso e l'adeguato lavaggio delle mani), illustrare la corretta modalità di esecuzione della prova, incentivare adeguatamente il paziente durante lo svolgimento del test e attuare eventuali strategie correttive, verificando ad

esempio la corretta postura del paziente o l'aderenza della bocca al boccaglio o istruendo il paziente a non chiudere precocemente la glottide durante l'esecuzione (2-4).

Il test richiede, oltre alla collaborazione del paziente, pochi accorgimenti in preparazione allo stesso, come riportato in Tabella 1: sostanzialmente, è necessario evitare tutte le condizioni che possono promuovere il broncospasmo o ostacolare una corretta e piena espansione della gabbia toracica, avendo cura di sospendere inoltre per tempo le terapie inalatorie di fondo per evitare sovrastime della funzionalità respiratoria (4).

Così eseguita, la spirometria basale permette di valutare la totalità dei flussi e dei volumi polmonari statici ad eccezione di RV e della capacità funzionale residua (FRC), che rappresenta la quantità d'aria presente nell'apparato respiratorio al termine di un'espirazione eupnoica. Tali risultati vengono restituiti dal software sia in valore numerico che in termini percentuali rispetto al cosiddetto "predetto", ovvero il valore che uno specifico volume o flusso ha in un soggetto sano di pari sesso, età, peso, altezza, etnia e tendenze tabagiche rispetto al paziente in studio (1). È proprio il confronto tra i parametri di funzionalità respiratoria registrati nel paziente e l'*optimum* rappresentato dal predetto a permettere l'identificazione di quadri patologici di funzionalità respiratoria. Al fine di ottenere misure consistenti, come da raccomandazioni ERS è necessario effettuare almeno tre prove spirometriche di cui almeno due caratterizzate da valori e morfologia sovrapponibili, scartando le prove non riproducibili o non attendibili per errori di esecuzione (1). È inoltre consigliato non effettuare più di otto prove consecutive, dopo le quali l'eccessivo sforzo del paziente rende molto poco attendibili le misurazioni successive (1).

La combinazione dei flussi e dei volumi così registrati permette di identificare rapidamente affezioni primariamente interessanti il parenchima polmonare o le vie aeree con anche una precisa localizzazione del danno lungo le stesse, a carico delle alte vie aeree, dei bronchi di più ampio calibro o delle piccole vie aeree. Inoltre, la spirometria consente di identificare anche patologie a carico della gabbia toracica, che possono interessare indifferentemente l'apparato scheletrico, i muscoli o un punto qualunque della trasmissione dell'impul-

so nervoso ai muscoli respiratori, dal sistema nervoso centrale fino alla sinapsi neuro-muscolare (4).

Nella pratica clinica di tutti i giorni, i parametri di flusso e volume più frequentemente valutati includono:

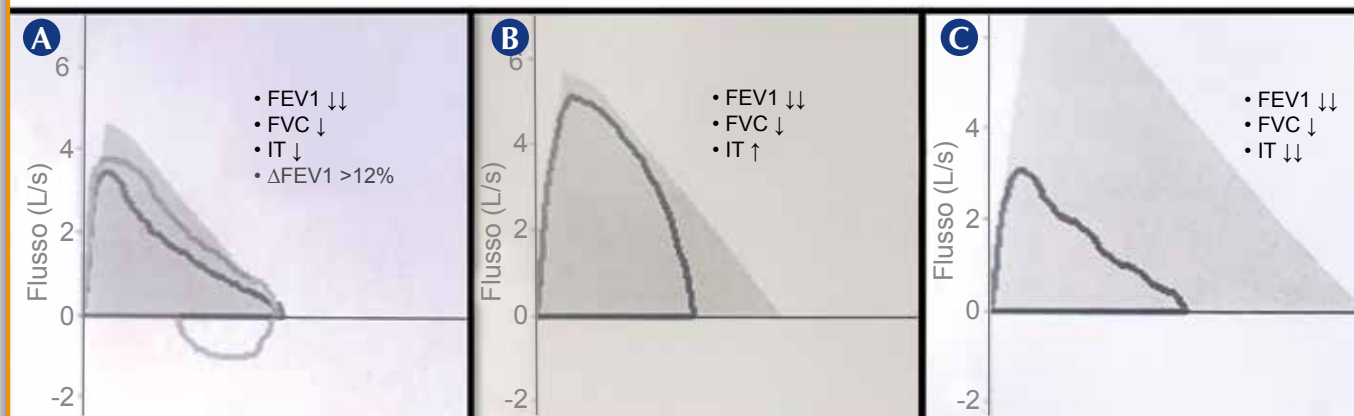
- il *picco di flusso espiratorio* (PEF), ovvero il flusso massimo raggiunto nei primi 100-200 millisecondi di espirazione forzata, utile per valutare l'adeguatezza della prova effettuata dal paziente (pazienti poco collaboranti o con affezioni della gabbia toracica non produrranno un adeguato PEF)
- Il *flusso espiratorio forzato al primo secondo* (FEV1 o VEMS), che rappresenta il volume di aria espirato nel 1° secondo dell'espiazione forzata
- la *capacità vitale forzata* (FVC), che rappresenta, a seguito di un'inspirazione forzata, il massimo volume di aria mobilizzato nella susseguente espiazione forzata fino al raggiungimento di RV
- il rapporto tra FEV1 e FVC, detto indice di Tiffenau (IT), utile per discriminare i diversi tipi di deficit ventilatori
- il *flusso espiratorio forzato tra il 25 e il 75% della FVC* (FEF25/75), che descrive lo stato di salute delle piccole vie aeree. Tale parametro è il primo ad alterarsi a seguito dell'esposizione ambientale a noxae patogene quali fumo attivo e passivo o inquinanti ambientali o allergeni.

Per tutti i sopracitati parametri la norma è identificata da valori percentuali superiori all'80% del predetto (con l'eccezione del FEF25/75, considerato normale per valori >70% del predetto). Tuttavia, in Pediatria è raccomandato e incentivato la valutazione di tali parametri in termini di z-score, identificando alterazioni significative per valori di z-score < -1,645 (1). Le alterazioni sono definite lievi per valori di z-score tra -1,65 e -2,5, moderate per valori compresi tra -2,5 e -4, e gravi per valori < -4.

La combinazione dei parametri sopra descritti permette facilmente di destreggiarsi tra le tre principali categorie di deficit ventilatori entro cui ricadono la totalità delle pneumopatie:

- i *deficit ventilatori ostruttivi* (Figura 1A), come l'asma bronchiale, le bronchiectasie o la fibrosi cistica, caratterizzati da una FVC normale o ridotta (< 80%), un FEV1 ridotto (< 80%), un IT ridotto (<

Tre principali categorie di deficit ventilatorio: esempi morfologici



Esempi morfologici di spirometrie suggestive per deficit ventilatorio ostruttivo con test di broncodilatazione positivo (A), deficit ventilatorio restrittivo (B) e deficit ventilatorio misto (C). Curva basale: nero. Curva post-broncodilatazione: grigio.

FEV1: flusso espiratorio forzato al primo secondo; FVC: capacità vitale forzata; IT: indice di Tiffenau; Δ FEV1: modifica percentuale di FEV1 dopo broncodilatazione farmacologica

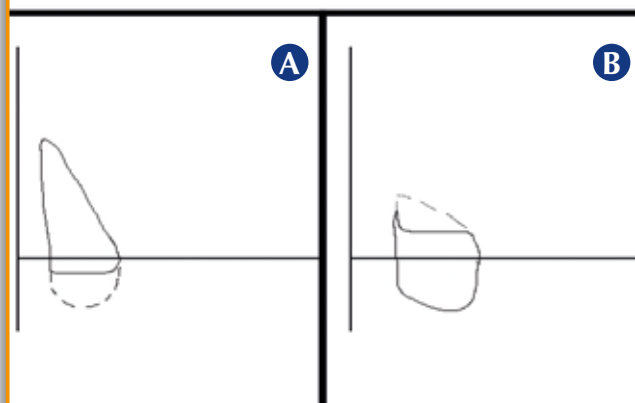
Materiale dalla casistica personale dell'Ambulatorio di Allergologia e Pneumologia Pediatrica

Figura 1

80%) e una forma tendenzialmente concava della fase espiratoria della curva flusso/volume.

- i *deficit ventilatori restrittivi* (Figura 1B), dovuti a un difetto della pompa respiratoria a qualunque livello (interstiziopatie, patologie ossee, neuro-muscolari, pleuriche) e caratterizzati da una consensuale e armonica riduzione (< 80%) sia i FVC che di FEV1, con IT normale o aumentato (> 80%). In tali circostanze, la curva flusso volume è più ridotta e meno ampia rispetto alla norma. Nell'ambito dei deficit ventilatori restrittivi è tuttavia bene ricordare che la spirometria, seppur suggestiva in termini di morfologia e volumi, non può essere pienamente diagnostica, poiché non permette la misurazione dei parametri mandatori per confermare la restrizione, vale a dire RV e RFC. L'identificazione di tali parametri richiede infatti l'esecuzione di una pletismografia, la cui descrizione esula dagli scopi del nostro testo.
- i *deficit ventilatori misti* (Figura 1C), che configurano forme avanzate e complicate di patologie in origine restrittive o ostruttive (interstiziopatie, fibrosi cistica, malformazioni toraco-polmonari). Tali curve si ca-

Esempi morfologici di spirometrie suggestive per quadri di compressione extratoracica delle vie aeree



Esempi morfologici di spirometrie suggestive per quadri di compressione extratoracica delle vie aeree, apprezzabile in fase inspiratoria (A) e di compressione intratoracica delle vie aeree, osservabile in fase espiratoria (B).

Figura 2

ratterizzano per una riduzione (< 80%) sia di FEV1 che di FVC che di IT, con curve flusso/volume di ridotta ampiezza e con fase espiratoria concava.

- Infine, la spirometria permette di sospettare anche quadri di compressione *ab extrinseco* o *ab intrinseco* delle vie aeree, qualora si assista a una morfologia tronca della curva flusso/volume in fase inspiratoria (compressione extratoracica, Figura 2A) o espiratoria (compressione intratoracica, Figura 2B).

In ambito Pediatrico, la spirometria basale è un test estremamente versatile e informativo, che permette di orientare la diagnosi nell'ambito delle diverse pneumopatie, monitorare la risposta alle terapie inalatorie o sistemiche, valutare il rischio pneumologico pre-operatorio e definire longitudinalmente le traiettorie di funzionalità respiratoria nel singolo paziente [4]. Inoltre, la spirometria permette di identificare precocemente lo sviluppo di complicanze respiratorie in pazienti con patologie sistemiche (quali connettiviti, patologie onco-ematologiche, patologie neuromuscolari, patologie cardio-vascolari, obesità e quadri sindromici o malformativi); di valutare la funzionalità respiratoria residua nei pazienti sottoposti a interventi di chirurgia toracica; e di accertare l'eventuale tossicità a carico di polmoni e vie aeree a seguito di trattamenti chemio o radioterapici (4).

Tuttavia, la spirometria basale spesso è completamente normale in età pediatrica, soprattutto nel caso di patologie croniche ad andamento accessuale come

l'asma bronchiale (5). Pertanto, si rende spesso necessaria nella pratica ambulatoriale di tutti i giorni l'esecuzione di test aggiuntivi quali il test di provocazione bronchiale, il test di broncodilatazione farmacologica. Il test di provocazione bronchiale prevede la somministrazione di un irritante bronchiale fisico o più spesso chimico quale la metacolina a concentrazioni crescenti, al fine di provocare una reazione broncospastica. Tale test è poco standardizzato in età pediatrica e pertanto non trova applicazione routinaria (5). Il test di broncodilatazione farmacologica prevede invece la somministrazione per via inalatoria tramite distanziatore di un broncodilatatore a breve durata d'azione (salbutamolo) alla concentrazione standard di 400 mcg. Per la corretta assunzione del farmaco è necessario che il piccolo trattienga il fiato per almeno 10 secondi o effettui almeno 4 respiri eupnoici per ogni puff somministrato tramite distanziatore. È altresì fondamentale che l'inalatore pressurizzato venga agitato ogni 30 secondi, al fine di garantire un'adeguata miscela tra propellente e farmaco. Una volta somministrata tale terapia, il test viene completato con l'esecuzione di una seconda spirometria a 20 minuti di distanza dall'inalazione di salbutamolo. Un miglioramento del FEV1 post-broncodilatazione pari ad almeno 200 ml o al 12% consente di confermare la presenza di broncoreversibilità, requisito spirometrico essenziale per la diagnosi di asma (5).

Infine, non va dimenticato che nonostante la sua fa-

Raccomandazioni per i pazienti in preparazione all'esecuzione della spirometria

Evitare di consumare sigarette e/o sigarette elettroniche almeno nell'ora precedente l'esecuzione del test

Evitare l'esercizio fisico intenso almeno nell'ora precedente l'esecuzione del test

Evitare di assumere pasti nelle due ore che precedono l'esecuzione del test

Non indossare indumenti troppo aderenti a carico di torace o addome

Sospendere per tempo appropriato le terapie inalatorie di fondo per poter eseguire il test di broncodilatazione:

- SABA (es. salbutamolo): almeno 4-6 ore prima
- SAMA (es. ipratropio bromuro): almeno 12 ore prima
- LABA (es. salmeterolo, formoterolo): almeno 24 ore prima
- Per LABA dall'emivita particolarmente lunga come il villanterolo sono raccomandate almeno 36 ore di sospensione
- LAMA (es. tiotropio): almeno 36-48 ore prima

LABA: Long-Acting β_2 -Agonist; LAMA: Long-Acting Muscarinic Antagonist; SABA: Short-Acting β_2 -Agonist; SAMA: Short-Acting Muscarinic Antagonist.

Tabella 1

Controindicazioni all'esecuzione della spirometria

Complicanze pneumologiche: pneumotorace recente, emottisi, infezioni respiratorie acute
Complicanze cardiologiche: instabilità emodinamica, recente infarto del miocardio, aritmie non controllate, embolia polmonare, aneurismi in sede cerebrale o toraco-addominale, grave ipertensione, marcata ipotensione
Complicanze chirurgiche: recenti interventi chirurgici in sede oculare, cerebrale, toracica o addominale o a carico dei seni del massiccio facciale
Complicanze neurologiche: recente trauma cranico
Complicanze gastroenterologiche: nausea o vomito in atto

Tabella 2

cilità di esecuzione, esistono poche ma significative controindicazioni all'attuazione della spirometria, riportate in Tabella 2.

Bibliografia

1. Stanojevic S, Kaminsky DA, Miller MR, Thompson B, Aliverti A, Barjaktarevic I, Cooper BG, Culver B, Derom E, Hall GL, Hallstrand TS, Leuppi JD, MacIntyre N, McCormack M, Rosenfeld M, Swenson ER. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. *Eur Respir J*. 2022 Jul 13;60(1):2101499. doi: 10.1183/13993003.01499-2021. PMID: 34949706
2. Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, et al. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med*. 2019;200(8): e70-e88.
3. Miller MR, Crapo R, Hankinson J, et al. General considerations for lung function testing. *Eur Respir J* 2005; 26: 153-161.
4. Erratum: "Spirometry: step by step". V.C. Moore. *Breathe* 2012; 8: 232-240. *Breathe* (Sheff). 2022 Sep;18(3):115217. doi: 10.1183/20734735.5217-2011. Epub 2022 Nov 15. Erratum for: doi: 10.1183/20734735.0021711. PMID: 36867111; PMCID: PMC9973498
5. Global Initiative for Asthma. Global Strategy for Asthma Management and Prevention. 2022 GINA main report. Available from: <https://ginasthma.org/reports/>