

PNEUMOLOGIA PEDIATRICA

PROVE DI FUNZIONALITÀ RESPIRATORIA

La valutazione della funzionalità respiratoria
nel bambino non collaborante

La misura della funzionalità respiratoria
in età prescolare

La spirometria nel bambino collaborante

La valutazione dei Volumi Polmonari Statici
nella Patologia Respiratoria e nelle patologie
extra-polmonari

La diffusione alveolo-capillare in età pediatrica
I test di iperreattività bronchiale

Le prove da sforzo in età pediatrica

Pulsiossimetria ed emogasanalisi:
la base della fisiopatologia respiratoria

Rinomanometria in età pediatrica
e studio della funzione nasale

La misura dell'ossido nitrico espirato:
applicazioni cliniche

Un articolo "patchwork":
cosa dovrebbero leggere i pediatri



INDICE

Editoriale

Editorial

Renato Cutrera, Giancarlo Tancredi, Stefania La Grutta

La valutazione della funzionalità respiratoria nel bambino non collaborante

Lung function tests in uncooperative children

Ferdinando Savignoni, Francesca Landolfo, Claudia Columbo, Flaminia Calzolari, Andrea Dotta

La misura della funzionalità respiratoria in età prescolare

Lung Function Tests in preschool children

Grazia Fenu, Claudia Calogero, Alfredo Boccaccino, Enrico Lombardi

La spirometria nel bambino collaborante

Spirometry in cooperating children

Stefania La Grutta, Giuliana Ferrante

La valutazione dei Volumi Polmonari Statici nella Patologia Respiratoria e nelle patologie extra-polmonari

Lung Volumes in Respiratory Pathology and its applications in extra-pulmonary diseases

Marcello Verini, Paola Di Filippo, Salvatore Cazzato.

La diffusione alveolo-capillare in età pediatrica

Diffusion Lung Capacity in children

Massimo Pifferi, Vincenzo Ragazzo, Maria Di Cicco

I test di iperattività bronchiale

Bronchial hyperreactivity test

Laura Tenero, Carlo Capristo, Giorgio Piacentini

Le prove da sforzo in età pediatrica

Exercise tests in children

Giancarlo Tancredi, Valeria Tromba, Renato Cutrera, Giulia Cafiero, Attilio Turchetta.

Pulsiossimetria ed emogasanalisi: la base della fisiopatologia respiratoria

Pulse oximetry and blood gas analysis: the bases of respiratory pathophysiology

Aleksandar Veljkovic, Elvira Rizza, Cristiana Tinari, Elisabetta Bignamini

Rinomanometria in età pediatrica e studio della funzione nasale

Pediatric rhinomanometry and nasal functionality study

Anna Maria Zicari, Anna Rugiano, Francesca Occasi, Giovanna De Castro, Marzia Duse

Pneumologia Pediatria

Volume 16, n. 62 - giugno 2016

Direttore Responsabile

Francesca Santamaria (Napoli)

Direzione Scientifica

Stefania La Grutta (Palermo)
Luigi Terracciano (Milano)

Segreteria Scientifica

Silvia Montella (Napoli)

Comitato Editoriale

Angelo Barbato (Padova)
Filippo Bernardi (Bologna)
Alfredo Boccaccino (Misurina)
Attilio L. Boner (Verona)
Mario Canciani (Udine)
Carlo Capristo (Napoli)
Fabio Cardinale (Bari)
Salvatore Cazzato (Bologna)
Renato Cutrera (Roma)
Fernando M. de Benedictis (Ancona)
Fulvio Esposito (Napoli)
Mario La Rosa (Catania)
Massimo Landi (Torino)
Gianluigi Marseglia (Pavia)
Fabio Midulla (Roma)
Luigi Nespoli (Varese)
Giorgio L. Piacentini (Verona)
Giovanni A. Rossi (Genova)
Giancarlo Tancredi (Roma)
Marcello Verini (Chieti)

Editore

Giannini Editore
Via Cisterna dell'Olio 6b
80134 Napoli
e-mail: editore@gianninispa.it
www.gianninieditore.it

Coordinamento Editoriale

Center Comunicazioni e Congressi Srl
e-mail: info@centercongressi.com
Napoli

Realizzazione Editoriale e Stampa

Officine Grafiche F. Giannini & Figli SpA
Napoli

© Copyright 2015 by SIMRI
Finito di stampare nel mese di febbraio 2016

**La misura dell'ossido nitrico espirato (FENO):
applicazioni cliniche** 72

*Measurement of exhaled nitric oxide (FENO): clinical
applications*

Mario Barreto, Anna Prete, Maria Pia Villa

Contributo Speciale 78

*Un articolo "patchwork": cosa dovrebbero leggere i pediatri
A patchwork paper: what pediatricians should read*

Andrew Bush

Traduzione a cura di Maria Elisa Di Cicco

La spirometria nel bambino collaborante

Spirometry in cooperating children

Stefania La Grutta¹, Giuliana Ferrante²

¹ *Istituto di Biomedicina e Immunologia Molecolare “A. Monroy”, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Palermo*

² *Dipartimento di Scienze per la Promozione della Salute e Materno Infantile “G. D’Alessandro”, Università degli Studi di Palermo*

Corrispondenza: Stefania La Grutta [email: stefania.lagrutta@ibim.cnr.it](mailto:stefania.lagrutta@ibim.cnr.it)

Riassunto: La spirometria fornisce al medico l’opportunità di accertare la normalità ed il grado di anomalia della funzione respiratoria. Oggi è disponibile una grande varietà di attrezzature computerizzate per l’esecuzione della spirometria in età pediatrica e, in particolare, gli apparecchi che si basano sulla misura del flusso mediante pneumotacografo o turbina sono di facile uso ambulatoriale.

I principali parametri misurati sono: FVC, FEV₁, PEF, FEF₂₅₋₇₅ ed il rapporto FEV₁/FVC %. Attraverso l’esame spirometrico è possibile identificare almeno 3 *pattern* di condizione respiratoria patologica:

- 1) la disfunzione ventilatoria di tipo ostruttivo;
- 2) la disfunzione ventilatoria di tipo restrittivo;
- 3) l’ostruzione al flusso di aria lungo le vie aeree centrali e periferiche.

Il test di broncodilatazione è una prova essenziale nella valutazione di reversibilità dell’ostruzione.

Parole chiave: spirometria, asma, fisiopatologia respiratoria.

Summary: Spirometry provides the physician the opportunity to verify the normality and the degree of abnormality of the respiratory function. Today a wide variety of computer equipment for the execution of spirometry in children is available. In particular, devices based on the measurement of the flow through the pneumotachograph or the turbine, are easy to use in outpatient clinic setting.

The main parameters measured are: FVC, FEV₁, PEF, FEF₂₅₋₇₅ and FEV₁/FVC % ratio. At least three *patterns* of pathological respiratory condition can be identified through spirometry:

- 1) obstructive ventilatory dysfunction;
- 2) restrictive ventilatory dysfunction;
- 3) obstruction to airflow along the central and peripheral airways.

The bronchodilation test is essential in the evaluation of the bronchoreversibility.

Key words: spirometry, asthma, pulmonary physiopathology.

INTRODUZIONE

La spirometria rappresenta uno strumento fondamentale nella valutazione della funzione respiratoria. Essa permette infatti di accertare la normalità o il grado di anomalia della funzione respiratoria, fornendo le informazioni utili alla corretta caratterizzazione del difetto funzionale respiratorio. Nel bambino, in particolare, la spirometria consente il monitoraggio di effetti fisiologici, come la crescita, patologici conseguenti ad una condizione di malattia o, infine, terapeutici nei casi di verifica dell’efficacia farmacologica. L’esame spirometrico permette, inoltre, il monitoraggio della funzione respiratoria in corso di malattie sistemiche con interessamento respiratorio, quali l’artrite reumatoide, i difetti immunitari, le malattie emato-oncologiche e le vasculiti (1).

DEFINIZIONI

L’accordo generale sull’utilizzo di alcuni termini e abbreviazioni, basato su report internazionali condivisi (2), è essenziale per garantire l’omogeneità dei dati raccolti e analizzati. L’**accuratezza** è definita convenzionalmente il valore vero; la **ripetibilità** è la sovrapposibilità

tra risultati ottenuti in misure successive dello stesso parametro, in soggetti valutati con medesime condizioni di metodo, strumentazione e procedura; la **riproducibilità** è intesa come l'identità di risultati ottenuti in misure successive dello stesso parametro.

PROCEDURE ED ESECUZIONE DELLA SPIROMETRIA

Oggi è disponibile una grande varietà di attrezzature computerizzate per l'esecuzione della spirometria in età pediatrica ed in particolare, gli apparecchi che si basano sulla misura del flusso mediante pneumotacografo o turbina, anche in virtù del costo contenuto, sono di facile uso ambulatoriale.

Dettagli tecnici

Prima dell'esecuzione della spirometria è doveroso controllare le condizioni ambientali e registrare i valori di temperatura, umidità e pressione barometrica, mediante l'uso di una stazione di rilevamento posta all'interno dei locali adibiti all'esecuzione della prova. L'applicazione di norme di controllo igienico, come il lavaggio delle mani dei pazienti, l'utilizzo di materiali monouso (guanti, boccagli e filtri), la sterilizzazione dei boccagli riutilizzabili, previene la trasmissione di infezioni dal paziente a soggetti sani e agli operatori (3). L'uso dei filtri antibatterici, da porre in linea con il boccaglio tra il paziente e il circuito, rappresenta una precauzione efficace per prevenire la contaminazione dell'apparecchiatura (4), determinando una barriera ad alta efficienza per il blocco dei batteri, supportata da dati positivi di confronto nel rapporto costo/benefici rispetto alle tradizionali procedure di disinfezione (5); tuttavia, il loro utilizzo non elimina la necessità di pulire regolarmente lo strumento. Esistono due principali sistemi di misura in uso negli spirometri: la misurazione del volume e la misurazione del flusso. Per le misurazioni di volume, lo spirometro a campana ad acqua ha rappresentato per anni il *gold standard*. Con questa apparecchiatura è possibile ottenere una valutazione diretta del volume mediante la raccolta e la misura dell'aria espirata, con successiva conversione dello spostamento fisico della campana in variazione di volume. Il volume può essere estrapolato anche dalla misurazione del flusso ottenuta dai sensori di flusso dello pneumotacografo o dai flussimetri a turbina o a caldo, nell'anemometro, o ad ultrasuoni. Nello pneumotacografo la misura è ottenuta dal calcolo della caduta di pressione attraverso una resistenza; nella turbina bidirezionale provvista di lettore, la misura è ricavata dalle interruzioni dei raggi all'infrarosso, provocata dalla rotazione del sistema posto all'interno del dispositivo; nell'anemometro, il valore deriva dalla modifica dell'impedenza elettrica, secondaria al raffreddamento dei filamenti caldi interni, conseguente al passaggio del flusso di aria espirata.

Considerazioni relative al paziente

Esistono specifiche raccomandazioni per l'esecuzione della spirometria, anche in rapporto alle condizioni cliniche del paziente, nonché alcune precauzioni utili ad ottenere la maggiore accuratezza possibile del risultato (tabella 1).

Tab. 1. Raccomandazioni e precauzioni per una corretta esecuzione della spirometria

Raccomandazioni
Calibrare lo strumento
Applicare norme di controllo igienico
Istruire e incentivare la cooperazione del paziente
Rispettare i criteri di accettabilità e riproducibilità
Formazione e mantenimento dell'abilità dell'operatore
Precauzioni
Non indossare vestiti molto stretti che limitano l'espansione toracica e addominale
Non eseguire esercizio fisico intenso entro 30 minuti prima del test
Consumare il pasto entro 2 ore prima del test
Non fumare entro 1 ora prima del test

Le indicazioni all'esecuzione della spirometria sono numerose:

- valutazione dei segni e sintomi di patologia polmonare;
- identificazione del tipo di deficit ventilatorio;
- monitoraggio dell'intervento terapeutico e della funzione polmonare durante la riabilitazione;
- valutazioni epidemiologiche e studi clinici di ricerca per la determinazione di equazioni di riferimento. L'esame può essere effettuato sia in piedi che seduti; tuttavia l'esecuzione della prova in posizione eretta migliora i volumi e i flussi nell'espiazione forzata. La scelta della posizione dovrebbe essere sempre uguale nelle valutazioni longitudinali dello stesso paziente e andrebbe riportata nel referto. È necessario, inoltre, controllare e registrare i valori antropometrici periodicamente (almeno ogni 3-6 mesi), per garantire la possibilità di confronto con gli standard di riferimento, poiché età, altezza e peso sono considerati i fattori indipendenti più importanti per ottenere i valori teorici di normalità. Nel caso in cui il paziente assuma farmaci, è indispensabile che l'operatore acquisisca tale informazione prima dell'inizio della prova, poiché questi possono modificare i valori di funzione respiratoria, sia in rapporto al tipo e alla dose, che alla via di somministrazione (inalatoria o orale). Sarebbe auspicabile, qualora possibile, valutare la funzionalità respiratoria in condizioni basali, senza trattamento farmacologico. Al contrario, se si vuole valutare l'efficacia farmacologica del piano terapeutico, è necessario eseguire l'esame durante la terapia. L'esperienza dell'operatore rappresenta, infine, un elemento determinante nel garantire l'accuratezza del risultato, ed è suggerito il regolare mantenimento dell'abilità nell'espletamento della procedura, mediante la frequenza periodica a *stage* di formazione e aggiornamento (6).

STANDARDIZZAZIONE

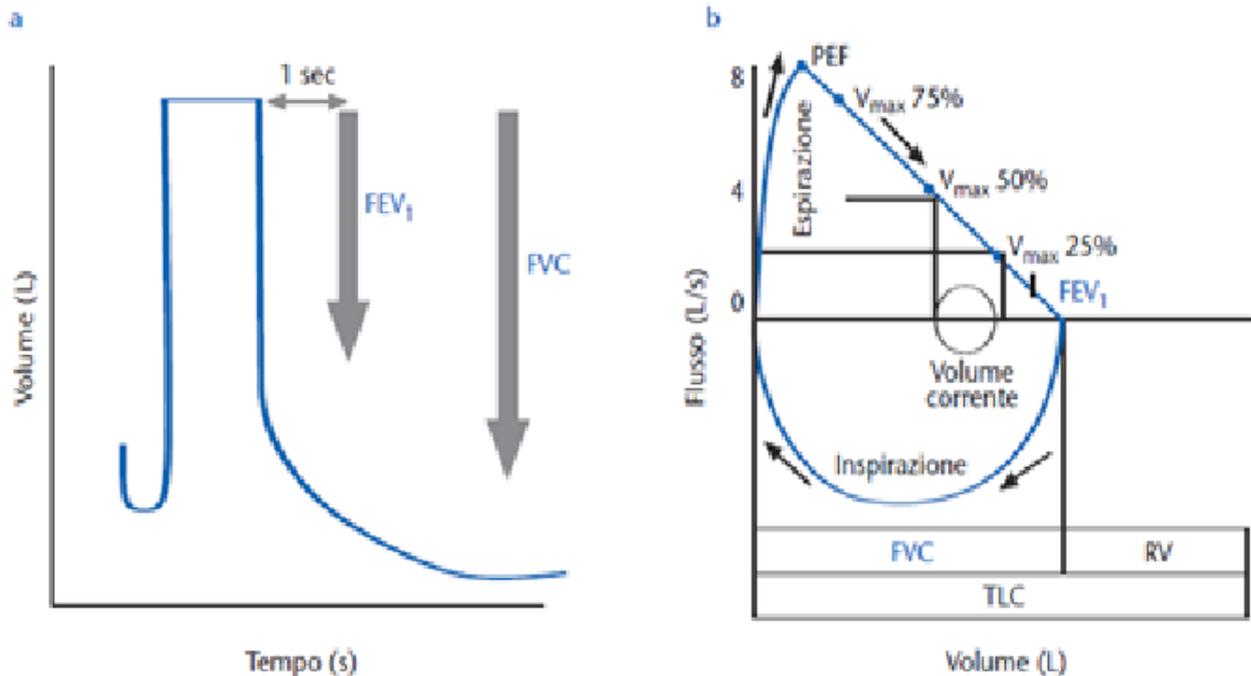
L'esecuzione della spirometria richiede una precisa standardizzazione dell'intera procedura che prevede varie fasi:

- controllo e registrazione delle condizioni ambientali (temperatura, umidità e pressione barometrica);
- calibrazione dello strumento;
- anamnesi del paziente, valutazione delle sue abitudini (uso di farmaci, stile di vita, tabagismo) e registrazione dei parametri antropometrici;
- spiegazione, dimostrazione e incoraggiamento all'esecuzione del test;
- esecuzione di almeno 3 prove per ottenere 2 prove riproducibili (7).

È necessario effettuare giornalmente la calibrazione dello strumento, utilizzando una pompa a siringa di volume noto (1-3 L), in dotazione all'apparecchiatura in uso. Per l'esecuzione del test si consiglia l'applicazione di uno stringinaso. Il boccaglio va inserito assicurandosi che le labbra del paziente siano sigillate intorno e che la lingua non lo occluda. Quindi, il paziente deve eseguire un'inspirazione rapida e completa, senza alcuna esitazione e, dopo una pausa di circa 1-2 secondi, un'espiazione forzata e completa (durata ≥ 3 secondi nei bambini di età < 10 anni; ≥ 6 secondi nei soggetti di età > 10 anni). Durante la manovra si raccomanda che l'operatore guidi e incentivi il paziente con entusiasmo e si consiglia, inoltre, che egli esegua una dimostrazione della corretta tecnica di esecuzione prima dell'inizio del test e che osservi l'esecuzione di ogni manovra.

Il controllo di qualità consente di visualizzare sia la curva flusso-volume che quella volume-tempo (figura 1).

Fig. 1. Curva Volume-Tempo (a) e Flusso-Volume (b). FEV₁= Volume di aria espirata nel 1° sec; FVC= Volume totale di aria che può essere emesso; FEV₁/FVC %= Indice di Tiffenau



I criteri di accettabilità e riproducibilità di una spirometria (tabella 2) vanno applicati all'analisi della morfologia della curva flusso-volume (figura 1b), che, oltre ad esprimere lo sforzo nell'esecuzione della prima parte della manovra, consente di valutare la ripetibilità e di identificare lo sforzo submassimale in misurazioni successive. Essa presenta un rapido incremento iniziale del flusso espiratorio fino al raggiungimento del picco, a cui segue una riduzione graduale dei flussi. La visualizzazione della curva volume-tempo (figura 1a) offre il vantaggio di evidenziare il raggiungimento del *plateau*, espressione di una espirazione completa.

Tab. 2. Criteri di accettabilità e di riproducibilità di una spirometria
Criteri di accettabilità
Inspirazione massimale
Tempo di espirazione nella curva volume-tempo= >3 sec nel bambino; ≥6 sec nell'adolescente
Espirazione completa = <i>plateau</i> di 1 sec
Assenza di artefatti (tosse durante il sec di espirazione, chiusura glottide, malposizione in bocca del boccaglio, inizio lento, interruzione precoce dell'espirazione, insufficiente sforzo espiratorio)
Criteri di riproducibilità
Almeno 3 prove accettabili su un totale di 8 manovre
Selezionare 2 spirometrie, dopo le 3 accettabili, che presentano i maggiori valori di FVC e FEV ₁ entro una differenza di 0,150 L
FVC e FEV ₁ delle due curve migliori con variabilità <5%

I principali parametri da valutare sono:

1. **Capacità Vitale Forzata (FVC):** massimo volume di aria espirato a partire da un'inspirazione massimale fino al livello del Volume Residuo (VR). Un valore >80% del predetto è considerato normale.
2. **Volume Espiratorio Forzato nel 1° secondo (FEV₁):** volume di aria espirato nel primo secondo di un'espirazione forzata. Tale parametro si ottiene dall'analisi del volume in rappor-

to al tempo ed è sforzo dipendente. Il riscontro di un valore >80% del predetto definisce il valore normale. Il FEV₁ è indice del grado di ostruzione bronchiale; per tale motivo, nel test di reversibilità dopo broncodilatatore, viene valutata la sua variazione.

3. *Indice di Tiffenau (FEV₁/FVC)*: è il rapporto tra il volume espirato nel 1° secondo e la capacità vitale forzata. È il parametro più sensibile per la valutazione della limitazione di flusso delle vie aeree nelle patologie ostruttive (se i valori sono <83-85%), e si correla con la gravità dell'asma. Il *range* di normalità nel bambino è >83-85%.
4. *Flusso espiratorio forzato tra il 25 e 75% del FVC (FEF₂₅₋₇₅ o MEF)*: è un parametro utile nella valutazione delle vie aeree di minore calibro, che tende a ridursi precocemente nei pazienti affetti da asma bronchiale. Purtroppo la grande variabilità intrinseca ne riduce la valenza di parametro unico nell'applicazione clinica. Il valore normale deve essere >70%.
5. *Picco di flusso (PEF)*: è il flusso massimo raggiunto nei primi 100-200 secondi della curva espiratoria. Esso fornisce informazioni sul calibro delle grandi vie aeree. Un valore pari all'80% del valore teorico è considerato normale.

Dopo aver esaminato i dati delle curve disponibili, nel contesto delle 3 migliori prove eseguite, andrebbero registrati i valori più alti di FVC e FEV₁, anche se non provengono dalla medesima curva. Gli altri parametri (FEV₁/FVC%, FEF₂₅₋₇₅%, PEF) dovrebbero essere ricavati dalla curva caratterizzata dal valore più alto ottenuto dalla somma di FVC e FEV₁.

INTERPRETAZIONE DELLA SPIROMETRIA

L'interpretazione dei risultati è ottenuta in rapporto a due diverse modalità:

- intra-individuale, nel corso di valutazioni longitudinali dello stesso paziente;
- inter-individuale, mediante la possibilità di confronto con gli standard di riferimento della popolazione normale, definiti come "predetti".

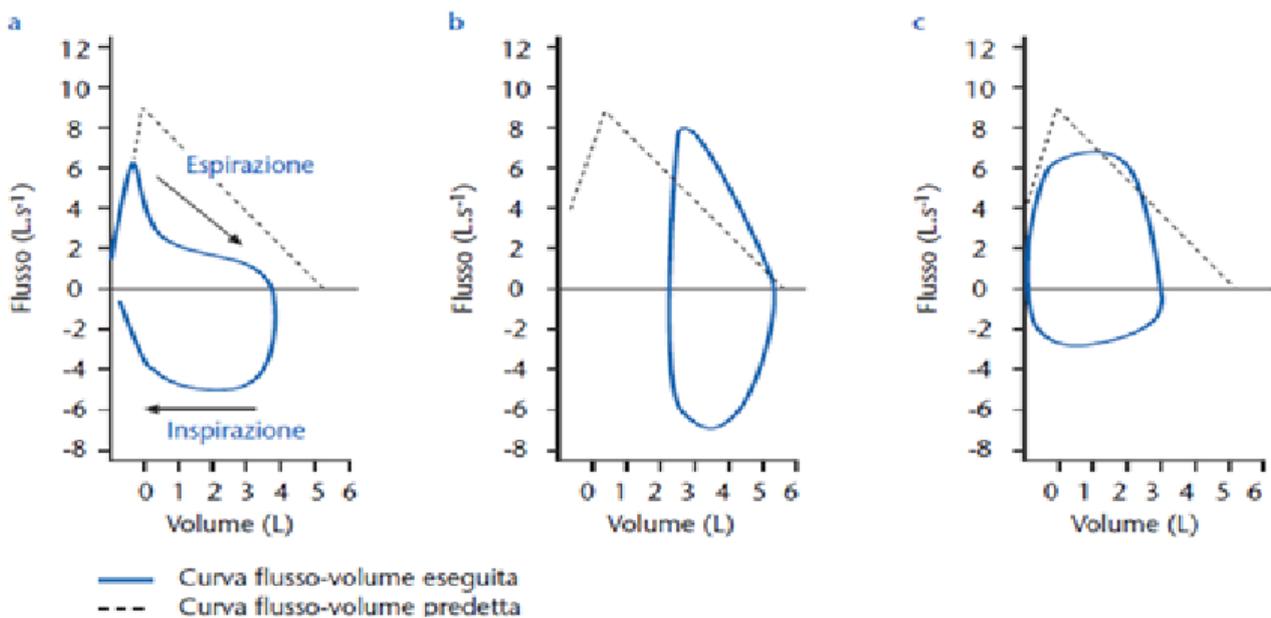
La modalità di interpretazione intra-individuale offre l'opportunità di una migliore precisione nella definizione di normalità individuale, poiché in questo caso è lo stesso soggetto che, comportandosi da riferimento per sé, elimina la variabilità inter-individuale. Il controllo periodico e regolare dei parametri antropometrici, e in particolare la variabile "altezza", garantisce l'esatto calcolo dei valori.

Per l'interpretazione interindividuale occorre riferirsi a valori predetti ottenuti in una popolazione pediatrica (8). È necessario tuttavia considerare che in età evolutiva il concetto di "valori predetti" è suscettibile di variazioni imputabili ai fisiologici meccanismi di crescita e sviluppo di organi e apparati. Infatti, nel bambino l'altezza è il parametro più importante nella valutazione della funzione polmonare e nel soggetto con ritardo patologico della crescita i valori predetti, calcolati sulla base dell'età, potrebbero dare risultati sovrastimati rispetto ai valori attesi. Nel corso degli ultimi anni sono state sviluppate numerose equazioni per l'interpretazione dei valori spirometrici. Tuttavia l'utilizzo di equazioni diverse ha determinato interpretazioni differenti dei dati misurati. Per questo motivo nel 2012 la "ERS Task Force: GLI- Global Lung Function Initiative" ha pubblicato una nuova equazione applicabile a soggetti di età compresa tra i 3 e i 95 anni, appartenenti a cinque gruppi etnici differenti (9).

La spirometria di per sé non fornisce automaticamente una diagnosi eziologica, ma contribuisce alla definizione della stessa. È possibile identificare almeno 3 *pattern* di condizione respiratoria patologica:

1. la *disfunzione ventilatoria di tipo ostruttivo*;
2. la *disfunzione ventilatoria di tipo restrittivo*;
3. l'*ostruzione al flusso di aria lungo le vie aeree centrali e periferiche* (figura 2).

Fig. 2. Esempi di curve Flusso-Volume. (a) Deficit ostruttivo moderato in un paziente asmatico; (b) deficit restrittivo; (c) ostruzione extra-toracica delle vie aeree.



La *disfunzione ventilatoria di tipo ostruttivo* può verificarsi lungo ogni livello del sistema bronchiale, e può essere provocata da compressione esterna o ostruzione interna. La patologia asmatica nel bambino si configura tipicamente come una disfunzione ventilatoria ostruttiva (10). Nei casi di maggiore impegno ostruttivo, la curva flusso-volume assume il caratteristico aspetto di concavità della fase espiratoria, segno di riduzione dei flussi a bassi-medi volumi (figura 2a). Se l'ostruzione è particolarmente severa, anche l'indice di Tiffenau risulta compromesso, in funzione della forte riduzione del FEV_1 , raggiungendo valori $<83\%$. Il test di broncodilatazione va regolarmente effettuato nel corso dell'esecuzione di un esame spirometrico completo, soprattutto quando si riscontri un quadro ostruttivo o una discrepanza in difetto intra-individuale rispetto ai valori standard di riferimento per l'età. Il test viene considerato positivo, cioè con broncodilatazione "significativa", quando si ottiene un aumento del $FEV_1 \geq 12\%$ (corrispondente a un aumento di ≥ 200 mL) rispetto all'esame base di riferimento, dopo 15-20 minuti dalla somministrazione inalatoria mediante distanziatore di una dose di 400 μg di broncodilatatore a breve durata di azione (salbutamolo). Il riscontro di positività, in corso di una prima valutazione del paziente, è fortemente suggestivo per la diagnosi di asma e va successivamente confermato, integrando gli elementi anamnestici e clinici. Se vi è un cambiamento non significativo del FEV_1 , la riduzione della iperinflazione polmonare può comunque suggerire una risposta positiva (11). Se persiste una risposta positiva al test durante la terapia di mantenimento è possibile ipotizzare che non sia stato ancora raggiunto un buon controllo dell'infiammazione bronchiale che sottende la broncostruzione latente. Nei pazienti con ostruzione fissa delle vie aeree, conseguente alla presenza di un stato di infiammazione cronica da inadeguato controllo terapeutico, da ostruzione anatomica o da tappi di muco, non vi è risposta al test. Questo però non preclude la risposta clinica alla terapia con broncodilatatori. La valutazione periodica del FEV_1 pre e post-broncodilatatore, potrebbe aiutare a identificare i bambini a rischio di sviluppo di un progressivo declino della funzione respiratoria. Il FEV_1 rappresenta infatti una misura utile per definire non solo il grado di ostruzione bronchiale attuale, ma anche il rischio di riacutizzazioni. Nei bambini con asma di età ≥ 5 anni si raccomanda, pertanto, l'esecuzione della spirometria almeno una volta all'anno, tenendo in attenta considerazione che la maggior parte dei bambini in età scolare hanno un $FEV_1 > 80\%$ del predetto, indipendentemente dalla gravità dell'asma quando definito esclusivamente sulla base dei sintomi. Per tale motivo, pur in presenza di una spirometria normale, è sempre opportuno valutare l'eventuale presenza di broncoreversibilità.

Nella *disfunzione ventilatoria di tipo restrittivo*, è presente una riduzione della *Total Lung Capacity* (TLC) al di sotto del 5° centile del valore predetto, disfunzione che può determinarsi per una riduzione della *compliance* polmonare o della parete toracica. La prima evenienza è di riscontro nella fibrosi polmonare interstiziale, nella fibrosi cistica o nella polmonite interstiziale, ma la si ritrova anche a seguito di interventi chirurgici demolitivi o come conseguenza di masse intratoraciche (cisti congenite, bolle enfisematose, versamenti pleurici). Nel secondo caso, la parete toracica deformata, come effetto di malattie neuromuscolari, tetraparesi spastiche, anomalie congenite o gravi cifoscoliosi, può causare un *pattern* restrittivo. La curva flusso-volume presenterà il caratteristico aspetto di convessità della fase espiratoria, con una riduzione simmetrica del FVC e del FEV₁, in presenza di un indice di *Tiffenau* normale o lievemente aumentato (figura 2b). Nella *disfunzione ventilatoria mista* il difetto è caratterizzato dalla coesistenza di entrambi i *pattern*, con valori di FEV₁/FVC e di TLC al di sotto del 5° centile dei rispettivi predetti. L'ostruzione delle vie aeree centrali e superiori è caratterizzata da una riduzione del flusso espiratorio, che determina un caratteristico appiattimento iniziale della curva flusso-volume, oltre alla presenza, durante la manovra di inspirazione forzata, di una riduzione dei flussi inspiratori. Nel caso di ostruzioni extratoraciche, la riduzione del flusso inspiratorio è ancora più marcata durante la fase di inspirazione forzata, durante la quale si verifica, infatti, una forte pressione negativa nelle vie aeree a valle dell'ostruzione, che provoca il collasso distale delle stesse, con ulteriore peggioramento del quadro clinico funzionale. La sindrome da disfunzione delle corde vocali si caratterizza per la presenza di una profonda alterazione inspiratoria della curva flusso-volume, che assume un aspetto appiattito (figura 2c). Sebbene sia possibile differenziare le forme di ostruzione intratoracica da quelle extratoraciche mediante la valutazione comparativa delle variazioni dei principali parametri spirometrici, è indispensabile confermare il sospetto diagnostico di ostruzione delle vie aeree mediante il ricorso alla broncoscopia o alla valutazione di *imaging* radiografica (12).

CONCLUSIONI

La spirometria fornisce oggi un valido supporto alla diagnosi, alla terapia e al monitoraggio delle malattie respiratorie e sistemiche con interessamento respiratorio. La semplicità di esecuzione e di interpretazione dei risultati ha reso possibile l'ampia diffusione e utilizzo della metodica in età pediatrica, anche al di fuori di ambiti di specialistica pneumologica, con considerevoli miglioramenti dell'assistenza ambulatoriale dei pazienti.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Miller MR, Crapo R, Hankinson J, et al. *General considerations for lung function testing*. Eur Respir J 2005; 26: 153-161.
- (2) *Pulmonary terms and symbols: a report of ACCPATS Joint Committee on Pulmonary Nomenclature*. Chest 1975; 67: 583-593.
- (3) Dautzenberg B. *Prevention of nosocomial infection during nebulization and spirometry*. Rev Pneumol Clin 2001; 57: 91-98.
- (4) Fuso L, Accardo D, Bevignani G, et al. *Effects of a filter at the mouth on pulmonary function tests*. Eur Respir J 1995; 8: 314-317.
- (5) Side EA, Harrington G, Thien F, et al. *A cost-analysis of two approaches to infection control in a lung function laboratory*. Aust N Z J Med. 1999; 29: 9-14.
- (6) Enright PL, Johnson LR, Connett JE, et al. *Spirometry in the Lung Health Study: 1. Methods and quality control*. Am Rev Respir Dis 1991; 143: 516-521.
- (7) Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, et al. *Standardization of spirometry*. Eur Respir J 2005; 26: 319-338.
- (8) Qanjer PH, Borsboom GJ, Brunekreef B, et al. *Spirometric reference values for white European children and adolescent: Polgar revisited*. Pediatr Pulmonol 1995; 19: 135-142.
- (9) Qanjer PH, Stanojevic S, Cole TJ, et al. *Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3–95-yr age range: the global lung function 2012 equations*. Eur Respir J 2012; 40: 1324–1343.
- (10) Mannino DM, Buist AS, Petty TL, et al. *Lung function and mortality in the United States: data from the first National Health and Nutrition Examination Survey follow-up*. Thorax 2003; 58: 388-393.
- (11) Pellegrino R, Rodarte JR, Brusasco V, et al. *Assessing the reversibility of airway obstruction*. Chest 1998; 114: 1607-1612.
- (12) Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, et al. *Interpretative strategies for lung function tests*. Eur Respir J 2005; 26: 948-968.