



Disponible en ligne sur
 ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

www.em-consulte.com



ARTICLE ORIGINAL

Les explorations fonctionnelles respiratoires chez l'enfant

Lung function testing in children

P. Rufin

Service de pneumologie et allergologie pédiatrique, hôpital Necker-enfants malades, 149, rue de Sèvres, 75015 Paris, France

MOTS CLÉS

Exploration fonctionnelle respiratoire ;
Obstruction bronchique ;
Asthme ;
Enfant

KEYWORDS

Lung function test;
Bronchial obstruction;
Asthma;
Child

Résumé Les explorations fonctionnelles respiratoires (EFR) regroupent un ensemble d'examen qui peuvent être réalisés dans un but diagnostique (asthme), pour surveiller l'évolution d'une maladie respiratoire connue (asthme, bronchodysplasie, pneumopathie interstitielle, mucoviscidose...) ou pour quantifier une éventuelle atteinte respiratoire dans des pathologies diverses (déficit immunitaire, dermatomyosite, scoliose, drépanocytose...). Les paramètres ventilatoires mesurés chez un enfant lors d'une EFR vont donc dépendre de l'indication de l'examen, mais aussi de l'âge de l'enfant.

© 2009 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Summary Lung function testing in children can be performed in different circumstances: to confirm a diagnosis (asthma), to monitor the evolution of a chronic pulmonary disease (asthma, bronchodysplasia, interstitial pneumopathy, cystic fibrosis...) or to assess a pulmonary dysfunction in various pathologies (immune deficiency, dermatomyositis, scoliosis, drepanocytosis...). Different tests can be performed according to the indication and the child's age.

© 2009 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Adresse e-mail : patrick.rufin@nck.aphp.fr.

0987-7983/\$ – see front matter © 2009 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.
doi:10.1016/j.jpp.2009.12.003

Abréviations

CI	Capacité inspiratoire
CRF	Capacité résiduelle fonctionnelle
CPT	Capacité pulmonaire totale
CVF	Capacité vitale forcée
CVL	Capacité vitale lente
DEM 25/75	Débit expiratoire maximal entre 25 et 75 % de la CVF
DEM x	Débit expiratoire maximal à x % de la CVF
DEP	Débit expiratoire de pointe
DLCO	Diffusion de l'oxyde de carbone
eNO	Monoxyde d'azote exhalé
Rint	Résistances pulmonaires par interruptions itératives du débit
Rrs _{FOT}	Résistances pulmonaires par oscillations forcées
RVA	Résistances des voies aériennes
RVA _s	Résistance spécifique des voies aériennes
VC	Volume courant
VEMS	Volume expiré maximal en une seconde
VEMS/CVL	Rapport de Tiffeneau
VGT	Volume gazeux intrathoracique
VR	Volume résiduel
VRE	Volume de réserve expiratoire
VRI	Volume de réserve inspiratoire

Réalisation d'une exploration fonctionnelle respiratoire chez un enfant

Quelles que soient les mesures réalisées, la qualité d'une exploration fonctionnelle respiratoire (EFR) dépend d'un certain nombre d'éléments [1] :

- l'entretien régulier du matériel d'EFR et le calibrage quotidien des appareils de mesure ;
- l'adéquation de l'appareil à l'âge de l'enfant. L'embout buccal doit être adapté à la taille de la bouche de l'enfant. La hauteur du siège et la position du capteur doivent être réglables. Le pince-nez peut être mal toléré. Il est parfois plus simple de lui pincer les ailes du nez ou de lui demander de se les pincer lui-même ;
- la position correcte de l'enfant lors des différentes mesures. Il doit être assis, le dos bien droit, le cou non plié. Il ne doit pas se pencher en avant, en particulier, en fin d'expiration, lors des manœuvres forcées ;
- l'absence de bonbons ou de gomme à mâcher dans la bouche doit être vérifiée. Les appareils d'orthodontie doivent être enlevés, s'ils sont amovibles ;
- la durée de l'examen. La coopération de l'enfant sera d'autant meilleure que l'examen sera rapide.

Si l'enfant porte un corset, il est souhaitable de l'enlever. Dans certains cas, des mesures comparatives sont faites avec et sans corset.

La réalisation des EFR peut être perturbée par la survenue de douleurs faciales, thoraciques ou abdominales quelle qu'en soit la cause.

L'enfant qui va subir une EFR est souvent inquiet. Il faut donc, dans un premier temps, le rassurer et lui expliquer, avec des mots compréhensibles pour lui, ce qu'il doit faire. Des mesures effectuées chez un enfant qui pleure n'ont pas de valeur.

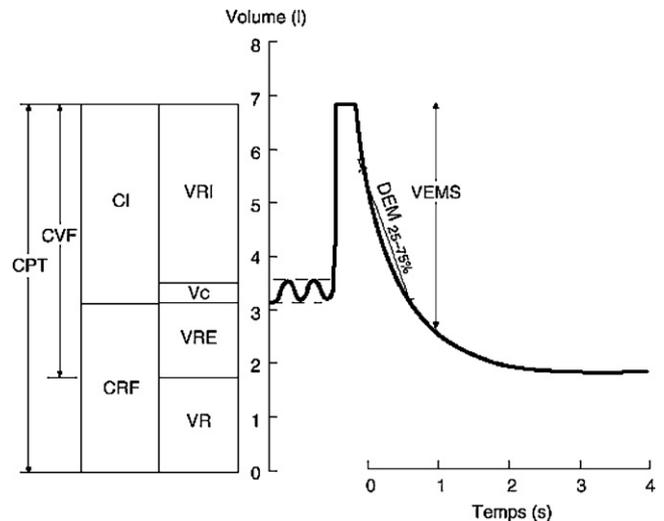


Figure 1. Les différents volumes pulmonaires mesurés sur un tracé spirométrique.

Il faut privilégier les tests fonctionnels respiratoires ayant une bonne sensibilité et une bonne spécificité afin de mieux distinguer les enfants sains des enfants malades. L'ordre des mesures est établi afin qu'un test ne soit pas modifié par le précédent.

Les normes proposées chez les jeunes enfants correspondent, dans certains cas, à l'extrapolation d'équations obtenues chez des enfants plus grands.

Chez les enfants de moins de cinq ans, l'extrapolation aboutit souvent à une sous-estimation des valeurs théoriques.

Il existe actuellement des normes réalisées chez les enfants de moins de six ans à installer dans les logiciels d'appareil d'EFR.

Quels paramètres ventilatoires mesurer en fonction de l'âge ?

Les paramètres ventilatoires mesurés lors d'une EFR varient en fonction de l'âge de l'enfant (Tableau 1) [2].

L'EFR chez le nourrisson reste réservée à des laboratoires spécialisés car il nécessite l'endormissement du bébé.

Entre deux et quatre ans, les EFR sont difficilement réalisables ; elles sont plus simples entre quatre et sept ans.

À partir de sept ans, il est possible de mesurer les mêmes paramètres ventilatoires que chez un adulte (Fig. 1).

Volumes pulmonaires

Après sept ans, l'enfant est capable de réaliser des manœuvres forcées ; il est possible d'obtenir une CVL [3]. En cas d'obstruction bronchique, la CVF est plus basse que la CVL. Cela explique que le VEMS/CVL est plus sensible pour la détection d'une obstruction bronchique que le VEMS/CVF. L'expérience montre, cependant, que, chez un jeune enfant sain, la valeur de la CVF est souvent supérieure à celle de la CVL.

Avant l'âge de sept à huit ans, il est difficile d'obtenir une expiration maximale avec une réalisation correcte du VRE,

Tableau 1 Paramètres mesurables en fonction de l'âge de l'enfant.

Âge	Volumes			Débits		Résistances			DL CO		Pa O ₂ Tc PO ₂ SaO ₂	Effort	NO
	CRF	CPT	CV	Vmax CRF	Débits Exp.	Pléth.	Osc.	Int.	État stable	Insp. unique			
0–2 ans	+			+		+	±	±	+		+		
2–7 ans	+		±		±	+	+	+	+		+		±
≥ 7 ans	+	+	+		+	+	+	+		+	+	+	+

CRF : capacité résiduelle fonctionnelle ; CPT : capacité pulmonaire totale ; CV : capacité vitale ; Exp. : expiratoire ; Pléth. : pléthysmographie ; Insp. : inspiratoire ; NO : monoxyde d'azote ; Osc : oscillations ; Vmax : débit maximum ; Int : interruptions.

rendant l'interprétation du VR délicate : le VR est faussement augmenté si le VRE n'est pas obtenu complètement. Le seul volume mesurable sans manœuvre forcée est la CRF par dilution de l'hélium.

La distension pulmonaire peut être affirmée sur :

- une augmentation d'au moins 20 % de la CRF ;
- une augmentation du VR ;
- un rapport VR/CPT supérieur à 21 % ;
- une augmentation du rapport CRF/CPT. Chez un enfant sain, ce rapport doit être inférieur à 50 %.

La restriction pulmonaire est calculée sur la valeur de la CPT.

La différence de valeur entre la CRF mesurée par pléthysmographie et la CRF mesurée par dilution de l'hélium indique la présence de gaz piégés.

Courbe débit/volume

Chez l'enfant de plus de sept ans, la réalisation des courbes débit/volume obéit aux mêmes critères de réalisation que chez l'adulte [4,5]. Il est recommandé trois mesures reproductibles avec un coefficient de variation entre les valeurs extrêmes de la CVF égal ou inférieur à 5 %.

Soixante pour cent des enfants de trois à six ans sont capables de réaliser une courbe débit/volume exploitable, aidés par des logiciels incitatifs [6]. Au minimum, deux courbes débit/volume doivent répondre aux critères d'acceptabilité et de reproductibilité [7]. La mesure du DEM 25/75 est largement dépendante de la validité de la CVF et du niveau de l'effort expiratoire.

Des normes ont été publiées chez les enfants de moins de six ans et/ou de moins de 110 cm. L'interprétation des valeurs du DEM 50 et du DEM 25 est parfois difficile car il existe des écarts-types importants au niveau des normes [6]. En revanche, l'aspect de la partie expiratoire de la courbe est important : une courbe normale est convexe et elle devient concave en cas de trouble obstructif.

Le DEP est très utilisé en pratique quotidienne ; mais il n'objective que l'obstruction proximale. C'est un instrument imparfait pour la recherche d'une obstruction. Il ne dispense en aucun cas d'une mesure plus complète de la fonction respiratoire. Le Tableau 1 précise les critères d'obstruction bronchique.

Résistances

Plusieurs techniques de mesures des résistances existent. Elles demandent peu de coopération et sont donc plus facilement réalisables par de jeunes enfants.

La barographie œsophagienne, technique invasive nécessitant la mise en place d'un ballonnet œsophagien, n'est maintenant pratiquée que de manière exceptionnelle.

Trois types de mesures sont plus facilement réalisables : oscillations forcées, interruption de débit et pléthysmographie.

Quelle que soit la méthode utilisée, il est important de vérifier l'absence d'hypertrophie amygdalienne, de rejeter les mesures si l'enfant déglutit, tousse, vocalise pendant l'opération ou s'il existe des fuites au niveau de l'embout buccal.

La mesure des résistances par oscillations forcées consiste à appliquer de faibles variations de pression sinusoïdales au système respiratoire, à l'aide d'un haut-parleur, et à étudier la relation entre les variations de pression appliquées et les variations de débit respiratoire qui en résultent.

La technique de l'interruption de débit consiste à occlure durant une brève période le débit inspiratoire ou expiratoire (80 et 100 ms) en considérant que la pression mesurée à la bouche, durant cette occlusion, reflète la pression alvéolaire.

D'utilisation très simple, la technique des interruptions de débit peut être utilisée chez le jeune enfant qui refuse d'être enfermé dans un pléthysmographe.

La technique des résistances pléthysmographiques a l'avantage d'être utilisée et validée depuis longtemps chez l'adulte et le grand enfant. L'enfant enfermé dans une cabine de pléthysmographie respire au niveau du volume courant, à travers un embout buccal relié à un pneumotachographe. Un parent peut prendre l'enfant sur ses genoux dans la cabine, à condition qu'il reste en apnée ou qu'il expire très lentement pendant l'enregistrement de la mesure. La mesure des RVAs est réalisable chez 80 % des enfants de deux à cinq ans. Le VGT est mesuré au cours du même test.

Autres paramètres mesurables

À tous les âges, il est possible de mesurer :

- les gaz du sang par voie transcutanée ou par prélèvement capillaire artérialisé ;
- la saturation par oxymétrie de pouls ;
- le test d'hyperoxie, indiqué en cas d'hypoxémie de repos inexpliquée, permet d'évaluer un éventuel shunt pulmonaire circulatoire. Il consiste à faire respirer à l'enfant de l'oxygène pur pendant une durée limitée de temps et à enregistrer la réponse au niveau de la PaO₂ transcutanée ;
- la DLCO. La technique de l'inspiration unique ne peut être effectuée que chez des enfants capables de tenir

Tableau 2 Critères d'obstruction bronchique, de réversibilité après inhalation de β_2 -mimétique et de positivité du test de provocation bronchique à la métacholine.

	Obstruction (%)	Réversibilité sous β_2 -mimétique (%)	Réponse métacholine (%)
VEMS	$\leq 80/T$	$\geq 12/\text{Base}$	$-20/\text{Base}$
VEMS/CVL	≤ 80		
RVAs	$\geq 140/T$	$\leq 30/\text{Base} \leq 25/T$	$\geq 100/\text{Base}$
Rrs _{FOT}	$\geq 140/T$	$R0 \leq 24,5/\text{Base}$ $R10 \leq 30/\text{Base}$	≥ 40
Rint	≥ 140 ou $146/T$	$\leq 35/T$	≥ 35
DEM 25/75	*a	*a	*a
DEM 50	*a	*a	*a
Aspect de la courbe	Concave	Convexe	

VEMS : volume expiré maximal en une seconde ; VEMS/CVL : Rapport de Tiffeneau ; RVAs : résistance spécifique des voies aériennes ; DEM 25/75 : débit expiratoire maximal entre 25 et 75 % de la CVF ; DEM 50 : débit expiratoire maximal à 50 % de la CVF ; Rrs_{FOT} : résistances pulmonaires par oscillations forcées ; Rint : résistances pulmonaires par interruptions itératives du débit.

^a Pas de critère précis.

une apnée de quatre ou dix secondes au niveau de la CPT. Pour les enfants plus jeunes ou les nourrissons, il est possible d'utiliser des mesures en *steady state*. Une valeur basse de la DLCO doit être interprétée en fonction du taux d'hémoglobine. Il est donc souhaitable de faire un hémogramme avant une mesure de la DLCO.

La mesure du eNO permet d'apprécier l'état inflammatoire des voies aériennes chez les enfants atopiques [8]. L'intérêt diagnostique de la mesure du eNO chez un enfant asthmatique est faible. En revanche, une valeur élevée du eNO représente un facteur prédictif d'une dégradation fonctionnelle. La mesure du monoxyde d'azote (NO) a un intérêt tout particulier en cas de suspicion de dyskinésie ciliaire primitive où la valeur du NO nasal est effondrée. Qu'il s'agisse du NO nasal ou du NO exhalé, ces mesures demandent une coopération minimale de la part de l'enfant. Ces mesures sont donc difficiles à obtenir avant l'âge de sept ans.

Les mesures des pressions inspiratoires et expiratoires sont également réalisables à partir de l'âge de sept ans. La pression inspiratoire est mesurée au niveau de la CRF et la pression expiratoire au niveau de la CPT.

Les épreuves d'effort peuvent être effectuées sur tapis roulant ou sur cyclo-ergomètre à partir de l'âge de sept à huit ans.

Indications des explorations fonctionnelles respiratoires chez l'enfant

Dans un but diagnostique

L'EFR est un examen primordial pour confirmer ou éliminer un diagnostic d'asthme, en particulier, lorsque l'enfant présente une symptomatologie atypique : accès de toux spasmodique, bronchites répétées, dyspnée d'effort, foyers pulmonaires... En fonction de l'état respiratoire à l'état basal, deux tests peuvent être envisagés (Tableau 2).

Test de provocation bronchique non spécifique

En l'absence de trouble ventilatoire obstructif à l'état basal, il est possible de faire un test de provocation bronchique (TPB) à la métacholine. Ce test est sans danger s'il est réa-

lisé dans des conditions standardisées. Il existe, néanmoins, des contre-indications à la pratique de ce test (Tableau 3). La personne pratiquant ce test doit savoir prendre en charge une crise d'asthme et avoir à disposition des bronchodilatateurs et de l'oxygène. Il existe différentes méthodes d'administration de la métacholine. Quelle que soit la technique utilisée, l'enfant inhale sur un mode cumulatif des doses progressivement croissantes du produit toutes les trois ou quatre minutes, jusqu'à l'apparition d'une modification significative du paramètre ventilatoire pris en compte (Tableau 2 et Fig. 2). Il est ainsi possible de mesurer, d'une part, la sensibilité bronchique (dose liminaire provoquant la modification significative du paramètre ventilatoire mesuré, PD 20 VEMS, par exemple) et, d'autre part, la réactivité bronchique qui correspond à la pente de la courbe dose/réponse.

À la fin du test, l'enfant doit recevoir un bronchodilatateur d'action rapide (400 μg de salbutamol, par exemple) et rester sous surveillance au moins dix minutes. La positivité du TPB à la métacholine permet d'affirmer l'existence d'une hyperréactivité bronchique mais elle n'est pas pathonomo-

Tableau 3 Contre-indications à la pratique d'un test de provocation bronchique à la métacholine.

Contre-indications absolues	Contre-indications relatives
Syndrome obstructif sévère	Syndrome obstructif modéré
Anévrisme artériel connu	Infection récente des voies respiratoires supérieures
Accident vasculaire cérébral récent	Hypertension artérielle
Infarctus du myocarde (> 3 m)	Épilepsie sous traitement
	Obstruction bronchique déclenchée par la répétition des manœuvres spirométriques

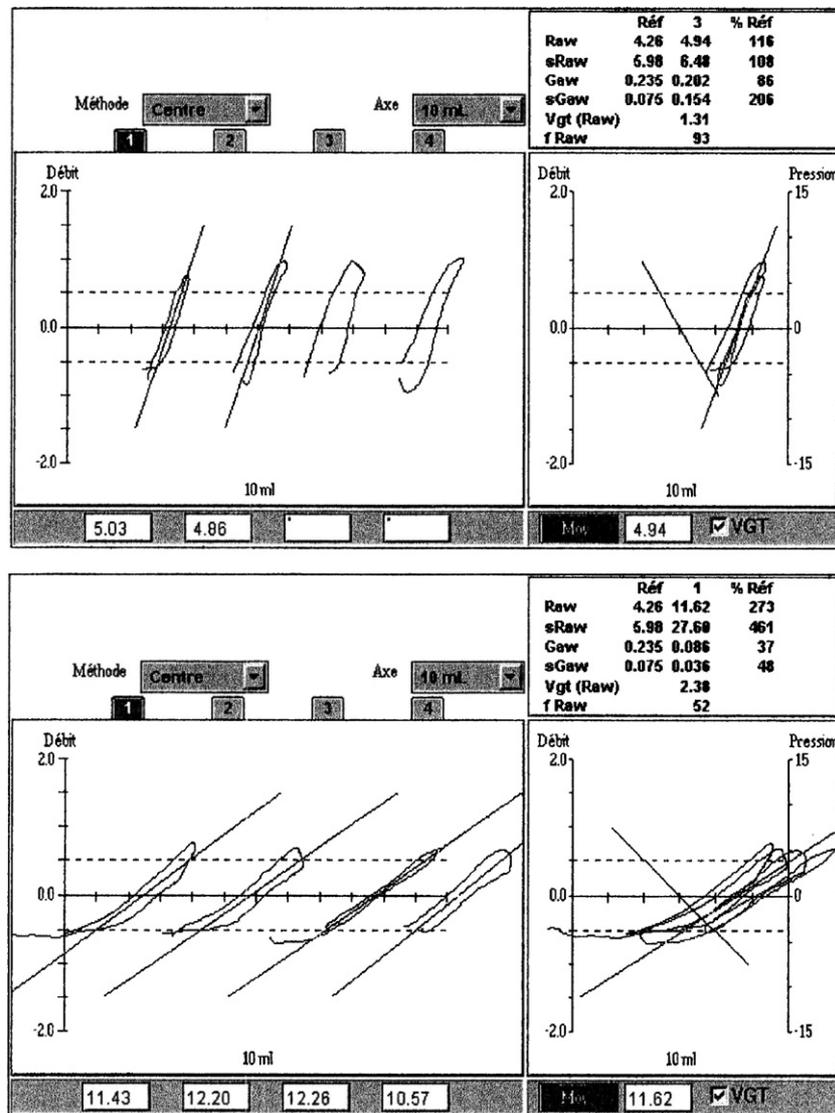


Figure 2. Mesure des résistances spécifiques des voies aériennes au cours d'un test de provocation bronchique à la méthacholine. Avant et après 100 µg.

nique de l'asthme. On peut retrouver une hyperréactivité bronchique dans d'autres maladies chroniques, comme la mucoviscidose, ou de manière transitoire au décours d'une virose. Ce test est dit non spécifique car tous les sujets répondent à la méthacholine. Le seuil de réponse et l'aspect de la courbe dose/réponse sont différents chez un sujet normal et un sujet présentant une hyperréactivité bronchique. L'absence d'hyperréactivité bronchique justifie la recherche d'un autre diagnostic.

Test de réversibilité

En cas d'obstruction bronchique à l'état basal, un test aux bronchodilatateurs permet de juger de la réversibilité de l'obstruction. Le paramètre ventilatoire pris en compte est mesuré de nouveau 15 minutes après l'inhalation de 400 µg de salbutamol (ou équivalent) (Fig. 3).

Chez un jeune enfant, le produit est de préférence inhalé dans une chambre d'inhalation, ce qui garantit que le médicament est pris correctement.

Ce test est également utile chez un enfant dont les valeurs basales semblent normales, notamment lors de la première EFR. Il permet d'obtenir les valeurs optimales du patient. Une réversibilité complète d'un trouble ventilatoire obstructif sous β_2 -mimétique permet d'affirmer le diagnostic d'asthme. Si le trouble obstructif ne s'améliore pas après la prise de β_2 -mimétique d'action rapide, il est souhaitable de refaire une mesure après une nébulisation de β_2 -mimétique.

Si l'enfant est capable de réaliser des courbes débit/volume reproductibles, il est intéressant d'observer la forme de la courbe expiratoire qui, de concave, devient convexe.

En l'absence de réponse significative (Tableau 2), il est conseillé de faire un test aux corticoïdes avant d'affirmer la non-réversibilité du trouble obstructif.

L'EFR doit être refaite dix à 15 jours après, à la même heure de la journée, alors que l'enfant est sous traitement corticoïde p.o. à une posologie quotidienne fixe de 1 ou 2 mg/kg d'équivalent prednisone. La dose

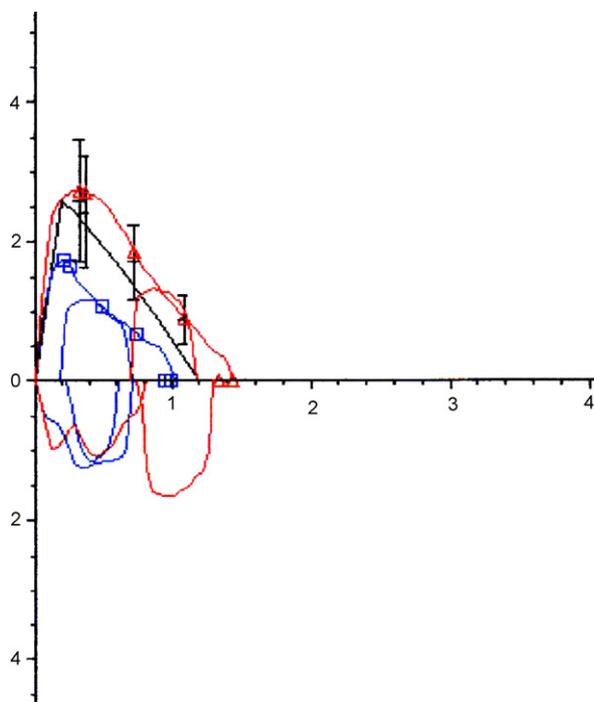


Figure 3. Courbe débit/volume chez un enfant de quatre ans avant (en bleu) puis après inhalation de 400 µg de salbutamol (en rouge). En noir, tracé théorique.

et la durée de prise du corticoïde varie selon les auteurs.

Dans le cas d'une surveillance de traitement ou pour apprécier l'atteinte respiratoire d'une maladie

Les mesures fonctionnelles effectuées dépendent de l'âge de l'enfant, de sa pathologie et du matériel disponible (Tableau 1). Pour interpréter correctement les résultats d'une EFR, il est important de connaître ses circonstances de réalisation.

Quelques questions simples doivent être posées :

- l'enfant est-il sous traitement ?
- quand a-t-il pris des médicaments par rapport à l'examen ?
- depuis combien de temps le traitement a-t-il été interrompu ?
- comment va l'enfant ces derniers jours ?
- l'enfant a-t-il présenté un épisode infectieux récent ?
- l'enfant a-t-il subi une intervention chirurgicale récente ?

Si l'examen a pour but d'apprécier l'état respiratoire sous traitement de fond, ce dernier doit être poursuivi le jour de l'examen. En revanche, le traitement de secours (β_2 -mimétique d'action rapide) ne doit pas être pris dans les quatre heures qui précèdent l'EFR.

Dans le cas du suivi d'un enfant asthmatique, la mesure de la fonction respiratoire doit être contrôlée trois à six mois après l'initiation du traitement et après modification thérapeutique. Les recommandations de la Haute Autorité de santé (HAS) précisent la fréquence des EFR en fonction de la pression thérapeutique.

Tableau 4 Contre-indications à la prise de chloral.

Contre-indications à la prise de chloral

Fièvre
 Risque d'apnée centrale ou périphérique
 Obstruction aiguë des voies aériennes supérieures dont l'hypertrophie amygdalienne
 Hypertension intracrânienne
 Pathologie du tronc cérébral
 Insuffisance respiratoire ($SaO_2 < 94\%$ et/ou $PaO_2 <$ à la fourchette physiologique pour l'âge de l'enfant)
 Insuffisance rénale, insuffisance cardiaque, troubles connus du rythme cardiaque, insuffisance hépatique
 Hypersensibilité connue à l'hydrate de chloral

Les EFR sont inutiles lors d'épisodes aigus infectieux respiratoires ou de crise d'asthme.

Exploration fonctionnelle respiratoire du nourrisson

Il est possible de réaliser une EFR chez le nourrisson grâce à des méthodes standardisées, permettant d'obtenir des mesures proches de celles réalisées chez l'enfant. Il s'agit, néanmoins, d'un examen long, très spécialisé, qui nécessite un personnel médical et infirmier entraîné.

Avant l'âge de deux mois, la mesure de la fonction respiratoire peut être réalisée lors du sommeil spontané, après la prise d'un biberon.

Après l'âge de deux mois, les mesures se font pendant le sommeil induit par l'hydrate de chloral. La posologie est de 50 à 100 mg/kg, administrée p.o. ou, éventuellement, par voie intrarectale. Le Tableau 4 précise les contre-indications à l'hydrate de chloral.

Chez le nourrisson endormi, il est possible de mesurer :

- le rapport temps inspiratoire sur temps expiratoire et d'analyser différents paramètres sur la courbe débit/volume enregistrée en volume courant ;
- la CRF par pléthysmographie ou par rinçage de l'azote par l'oxygène ;
- la compliance et la résistance par la méthode de l'occlusion basée sur le réflexe de Hering-Breuer ;
- la résistance spécifique effective des voies aériennes ;
- les débits expiratoires forcés par la méthode dite de la jaquette. La compression à l'aide d'une jaquette gonflable est faite, soit au niveau du volume courant (mesure du débit maximal à la CRF), soit au niveau de la CPT. Il s'agit de la méthode du *raised volume*. La meilleure somme de la CVF et du VEM à 0,5 ou 0,4 secondes détermine les courbes retenues. Il est alors possible de mesurer les mêmes débits maximaux que chez un enfant plus grand.

Conclusion

Il est possible de mesurer un grand nombre de paramètres ventilatoires. Les techniques les plus récentes permettent de mesurer la fonction respiratoire chez l'enfant, quel que

soit son âge. Les mesures réalisables chez le tout petit exigent un matériel adapté et un personnel formé aux techniques les plus récentes. Chez l'enfant asthmatique, la pratique des EFR doit permettre d'améliorer le traitement de l'asthme. Chez le petit enfant, les EFR aident au dépistage précoce des maladies respiratoires chroniques, en vue d'une meilleure prise en charge.

Conflit d'intérêt

Aucun.

Références

- [1] Le Bourgeois M, Rufin P. Exploration fonctionnelle respiratoire chez l'enfant asthmatique : réalisation, interprétation et indication. *Rev Mar Mal Enf* 2008;15:84–92.
- [2] Rufin P. Les explorations fonctionnelles respiratoires chez l'enfant. *Arch Pediatr* 2008;15:1606–10.
- [3] Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, Crapo RO, Burgos F, Casaburi R, et al. Stratégies d'interprétation des explorations fonctionnelles respiratoires. *Rev Mal Respir* 2007;24:83–108.
- [4] Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, et al. Standardisation of spirometry. *Eur Respir J* 2005;26:319–38.
- [5] Wanger J, Clausen JL, Coates A, Pederson OF, Brusasco V, Burgos F, et al. Standardisation de la mesure des volumes pulmonaires. *Rev Mal Respir* 2007;24:51–64.
- [6] Beydon N, Davis SD, Lombardi E, Allen JL, Arets HG, Aurora P, et al. An official American thoracic society/European respiratory society statement: pulmonary function testing in preschool children. *Am J Respir Crit Care Med* 2007;175:1304–45.
- [7] Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, Pedersen OF, Peslin R, Yernault JC. Volumes pulmonaires et débits ventilatoires forcés. *Rev Mal Respir* 1994;11(Suppl. 3):S5–20.
- [8] Garcia G, Perez T, Mahut B. Épreuves fonctionnelles respiratoires et évaluation des voies aériennes distales dans l'asthme. *Rev Mal Respir* 2008;26:395–406.