

Interprétation des explorations fonctionnelles respiratoires

Antoine Pasche, Jean-William Fitting

Service de pneumologie, département de médecine, CHUV, Lausanne

Quintessence

- La spirométrie, facile d'usage au cabinet du généraliste, renseigne lors de pathologies obstructives telles que la broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) et l'asthme. Elle permet de poser le diagnostic de trouble ventilatoire obstructif, de quantifier sa sévérité et d'évaluer sa réversibilité.
- Les mesures des volumes pulmonaires et la capacité de diffusion du monoxyde de carbone (DLCO) peuvent dans certaines situations compléter la spirométrie.
- La mesure des volumes pulmonaires permet de poser le diagnostic de trouble ventilatoire restrictif, de distension pulmonaire ou de piégeage gazeux.
- La mesure de la DLCO reflète l'état de la microcirculation pulmonaire et permet d'évaluer le trouble de l'échange gazeux induit par une pathologie obstructive, restrictive, ou vasculaire pulmonaire.

Introduction

Les explorations fonctionnelles respiratoires (EFR) usuelles se composent de trois examens standards: la *spirométrie*, la *mesure des volumes pulmonaires* et la *mesure de la capacité de diffusion du monoxyde de carbone (DLCO)*. La *spirométrie* est considérée comme le meilleur test de caractérisation de la santé respiratoire d'un patient. Simple et rapide de réalisation, elle est praticable au cabinet du généraliste [1]. Les mesures des volumes pulmonaires et de la DLCO pourront, dans certaines conditions, compléter la spirométrie. Ces deux examens sont disponibles au cabinet du pneumologue. Cet article est largement inspiré des recommandations ATS/ERS 2005 des sociétés américaine et européenne de pneumologie [2–6]. Son objectif est d'offrir au médecin non-pneumologue une interprétation simple et systématique des EFR. Un résumé pratique (tab. 1) et un algorithme d'interprétation (fig. 1) sont également proposés.



Antoine Pasche

Indications, contre-indications, préparation du patient, valeurs de référence

Les indications à la réalisation des EFR sont nombreuses. A visée *diagnostique*, elles permettent d'évaluer la fonction respiratoire en présence de symptômes et de signes respiratoires, d'anomalies gazométriques ou radiologiques. Elles permettent également de mesurer l'effet d'une pathologie sur la fonction respiratoire, de dépister

des individus à risque de maladie respiratoire ou encore d'estimer un risque opératoire. Les EFR ont également un intérêt dans la *surveillance* d'une maladie respiratoire en évaluant l'effet d'une intervention thérapeutique, en décrivant l'évolution d'une maladie ou en détectant des effets secondaires de médicaments. Finalement, elles sont utiles dans l'évaluation d'une invalidité ou encore dans des enquêtes épidémiologiques de santé publique. Une revue récente propose une mise à jour des contre-indications aux EFR [7]. En raison de complications cardio-vasculaires ou respiratoires possibles, on ne devrait pas les réaliser en cas de cardiopathie instable (infarctus du myocarde, angor), d'anévrisme aortique ou d'embolie pulmonaire. On s'abstient de les effectuer dans les trois semaines après une chirurgie thoracique, abdominale ou cérébrale par crainte de complication locale. Finalement, certaines conditions comme des douleurs thoraciques, abdominales, faciales ou encore un état confusionnel rendront le résultat sous-optimal et devraient être corrigées avant la réalisation des EFR.

Si les EFR sont à *but diagnostique*, le patient doit interrompre ses bronchodilatateurs en fonction de la pharmacocinétique du médicament. En règle générale, les bronchodilatateurs de courte durée d'action sont interrompus 6 heures avant l'examen et ceux de longue durée, 12 ou 24 heures avant. La théophylline ne doit pas être administrée pendant les 24 heures précédant le test. S'il s'agit par contre d'un examen *de suivi d'une maladie pulmonaire*, les bronchodilatateurs sont poursuivis.

Dans les heures précédant le test, le patient ne doit pas fumer, manger ou se livrer à une activité physique. Les EFR commencent par la récolte des données démographiques, qui permettent de calculer les valeurs de référence. En pratique, ces valeurs sont données par un logiciel utilisant des équations de référence issues d'études sur des populations en bonne santé. Elles prennent en considération des paramètres anthropométriques, tels que le sexe, l'âge et la taille. Il existe également des variations interethniques. Une valeur est considérée comme anormale si elle est inférieure au 5^e percentile de la distribution de la population de référence. Actuellement en Europe, les valeurs publiées par la CECA (Communauté européenne du charbon et de l'acier) sont celles communément admises et utilisées pour les adultes [8].

Spirométrie

La spirométrie est une mesure physiologique de la façon dont un individu inspire ou expire des volumes d'air au

Les auteurs ne déclarent aucun soutien financier ni d'autre conflit d'intérêt en relation avec cet article.

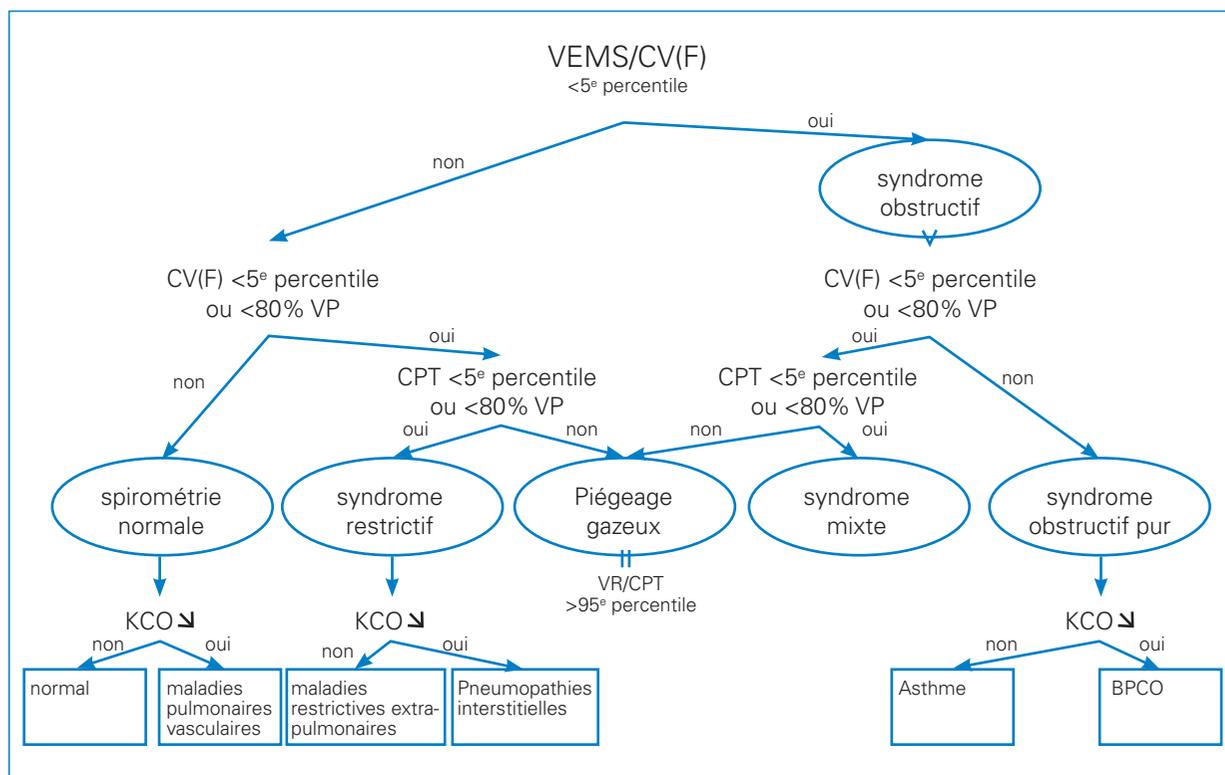


Figure 1

Algorithme d'interprétation des fonctions pulmonaires, VEMS: volume expiré maximal en 1 seconde, CV(F): capacité vitale (forcée), CPT: capacité pulmonaire totale, KCO: coefficient de diffusion du CO, VP: valeur prédite.

Tableau 1

Interprétation des explorations fonctionnelles respiratoires.

a. Volumes

Syndrome restrictif	CPT < 5 ^e percentile (ou < 80% valeur prédite)
Piégeage gazeux	VR/CPT > 95 ^e percentile (ou > 130% valeur prédite)
Distension pulmonaire	CRF > 95 ^e percentile (ou > 130% valeur prédite) (sauf en cas de grands volumes harmonieux)

b. Spirométrie

Syndrome obstructif	VEMS/CV ou VEMS/CVF < 5 ^e percentile
Test de bronchodilatation	Réversibilité significative: Δ VEMS ou CVF > 12% et 200 ml par rapport à la valeur de base
Degré du trouble ventilatoire (obstructif et/ou restrictif)	VEMS (% de valeur prédite)
	Léger > 70
	Moyen 60–69
	Moyennement sévère 50–59
	Sévère 35–49
	Très sévère < 35
Classification de la BPCO selon GOLD (valeurs post-bronchodilatateur)	Stade I VEMS/CVF < 70%, VEMS > 80% valeur prédite
	Stade II VEMS/CVF < 70%, VEMS 50–79% valeur prédite
	Stade III VEMS/CVF < 70%, VEMS 30–49% valeur prédite
	Stade IV VEMS/CVF < 70%, VEMS < 30% valeur prédite

c. Capacité de diffusion

DLCO normale: 75–125% valeur prédite	<i>Trouble de la diffusion</i>	<i>DLCO (% valeur prédite)</i>
	Léger	61–74
	Moyen	40–60
	Sévère	< 40

CPT: capacité pulmonaire totale, VR: volume résiduel, CRF: capacité résiduelle fonctionnelle, VEMS: volume expiré maximal en 1 seconde, CV: capacité vitale, CVF: capacité vitale forcée, BPCO: broncho-pneumopathie chronique obstructive, GOLD: Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease, DLCO: capacité de diffusion du monoxyde de carbone.

cours du temps. Elle permet d'évaluer la santé respiratoire d'un patient mais ne fournit pas un diagnostic étiologique à elle seule. Son apport principal est de détecter et de quantifier un trouble ventilatoire obstructif.

La spirométrie détermine:

Au cours d'une expiration forcée:

- le Volume Expiré Maximal en une Seconde (VEMS, ou en anglais FEV_1);
- la capacité vitale forcée (CVF, ou FVC);
- le débit expiratoire de pointe (DEP, ou PEF);
- le débit expiratoire maximal entre 25 et 75% de la CVF (DEM_{25-75} , ou FEF_{25-75}).

Au cours d'une expiration lente:

- la Capacité Vitale (CV, ou VC).

Physiologiquement, la CV et la CVF sont équivalentes. La spirométrie peut donc se limiter à la manœuvre de l'expiration forcée. Cependant, en présence d'un trouble ventilatoire obstructif, la CVF peut être abaissée par rapport à la CV, d'où l'utilité de réaliser en plus une manœuvre lente.

La spirométrie permet de poser le diagnostic de trouble ventilatoire obstructif si le rapport VEMS/CV (rapport de Tiffeneau) ou VEMS/CVF est diminué. Elle permet d'évaluer la sévérité d'un trouble respiratoire selon la valeur du VEMS. Finalement, elle peut aussi, en cas de diminution harmonieuse du VEMS et de la CV(F), faire suspecter un trouble ventilatoire restrictif ou un piégeage gazeux.

Graphiquement, la spirométrie est représentée par la *courbe débit-volume*. La morphologie de cette courbe est utile à la bonne interprétation de la spirométrie puisqu'elle renseigne sur la qualité du test et peut également montrer des images typiques de troubles fonctionnels particuliers (fig. 2 .

Le test de bronchodilatation est utile en cas de trouble ventilatoire obstructif afin d'évaluer son degré de réversibilité. Il se pratique de la manière suivante: spirométrie

avec expiration forcée, inhalation d'un bronchodilatateur (par ex. salbutamol, Ventolin® 400 µg par aérosol-doseur avec chambre d'inhalation), pause de 15 minutes, spirométrie avec expiration forcée. Le test de réversibilité est considéré comme positif si le VEMS et/ou la CVF augmente de >12% et >200 ml après bronchodilatateur.

Interprétation de la spirométrie (tab. 1b)

Trouble ventilatoire obstructif (syndrome obstructif)

Le trouble ventilatoire obstructif est une réduction disproportionnée du débit expiratoire maximal par rapport au volume maximal (CV) qui peut être mobilisé [6]. Le calibre des voies aériennes est diminué lors de l'expiration forcée, résultant en une diminution du rapport VEMS/CV. Le critère diagnostique pour le trouble ventilatoire obstructif proposé par l'ATS/ERS est un rapport VEMS/CV <5^e percentile de la valeur prédite. Selon cette recommandation, il convient donc de réaliser une expiration forcée pour obtenir le VEMS et une expiration lente pour la CV. Dans le cas où le spiromètre ne fournit pas la limite du 5^e percentile, on peut recourir au critère suivant si les équations de Quanjer sont utilisées [8]: VEMS/CV <(VEMS/CV prédit - 11%) pour la femme ou VEMS/CV <(VEMS/CV prédit - 12%) pour l'homme. Le trouble ventilatoire obstructif peut aussi être diagnostiqué sur la base d'un abaissement du rapport VEMS/CVF, en n'utilisant que la manœuvre d'expiration forcée.

Sévérité du trouble ventilatoire

Le degré de sévérité d'un trouble ventilatoire s'apprécie principalement par la valeur du VEMS, exprimé en pourcentage de sa valeur de référence. Le consensus ATS/ERS propose les critères généraux du tableau 1b comme degré de sévérité de toutes les anomalies, qu'elles soient obstructive, restrictive ou mixte [6].

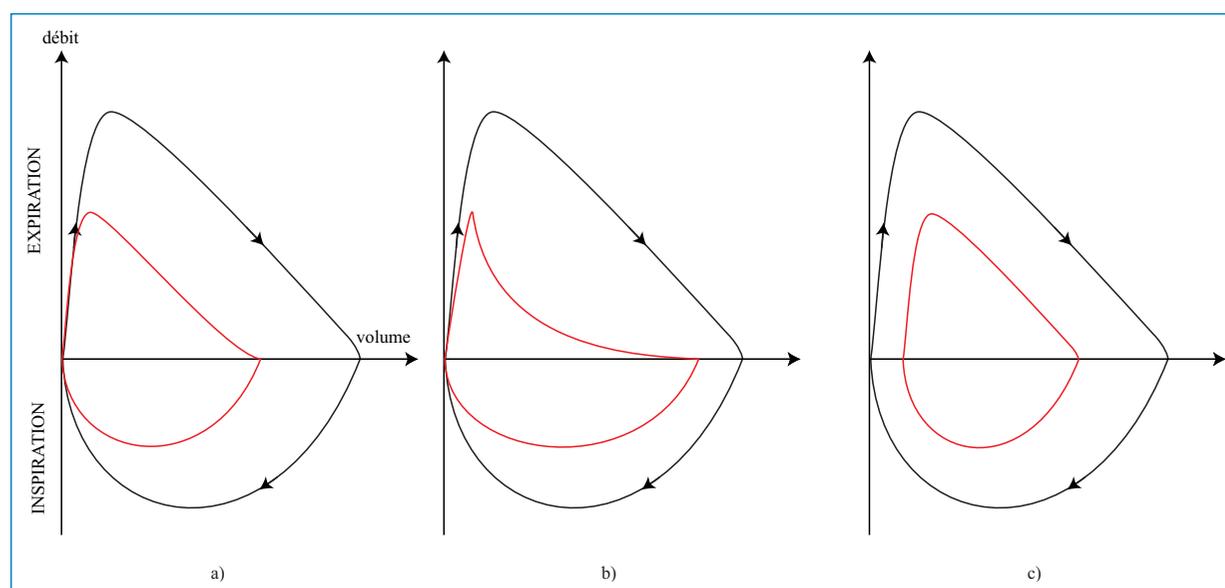


Figure 2

Exemples de courbes débit-volume pathologique: en noir: courbe normale, en rouge: **a)** asthme, **b)** emphysème, **c)** syndrome restrictif.

Broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO)

L'initiative GOLD (*Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease*) [9] propose un critère unique pour diagnostiquer le trouble ventilatoire obstructif dans le cadre de la BPCO: un rapport VEMS/CVF $<0,7$, mesuré après bronchodilatateur afin d'écartier les cas d'asthme. Cette définition a l'avantage de la simplicité, ne nécessitant que la manœuvre d'expiration forcée et étant indépendante des équations de prédiction. Toutefois, elle surestime la prévalence du trouble ventilatoire obstructif chez la personne de plus de 50 ans. Sur le plan pratique, il paraît raisonnable de ne retenir le diagnostic de BPCO qu'en présence de symptômes associés à un rapport VEMS/CVF abaissé.

L'initiative GOLD propose de classer la sévérité de la BPCO selon le VEMS post-bronchodilatateur (tab. 1b).

Débit expiratoire de pointe

Le débit expiratoire de pointe (DEP), ou *peak expiratory flow (PEF)* en anglais, représente le débit maximal expiré lors d'une expiration forcée. Lorsqu'il est mesuré dans le cadre d'une spirométrie, le DEP est exprimé en litres par seconde (l/s). Le DEP peut aussi être mesuré isolément au moyen d'un débitmètre de pointe, instrument portable et peu coûteux. Dans ce cas, le DEP est exprimé en litres par minute (l/min).

La mesure du DEP est utile dans la prise en charge de l'asthme, où il apporte un renseignement objectif sur le contrôle de la maladie. Pratiquement, on l'utilise chez les patients ayant des difficultés à percevoir leurs symptômes, ceux présentant un asthme modéré à sévère ou ceux ayant déclaré des exacerbations sévères dans le passé. Dans ces situations, le patient pourra adapter son traitement en fonction de la variation du DEP par rapport à sa meilleure valeur de base [10].

Dans la BPCO, lors de l'expiration forcée, on assiste à un collapsus des voies respiratoires et à un effondrement des débits qui suivent le DEP. Ce phénomène sous-évalue la gravité de l'obstruction mesurée par le DEP par rapport au VEMS. Si un DEP normal exclut une BPCO significative, la spirométrie reste le seul test acceptable tant pour le diagnostic que le suivi [11].

Volumes pulmonaires

Alors que la spirométrie mesure le volume d'air mobilisable entre inspiration complète et expiration complète, la mesure des volumes pulmonaires totaux requiert d'autres techniques. Les volumes pulmonaires peuvent être mesurés par la pléthysmographie corporelle ou par la méthode de dilution des gaz. Cette dernière méthode entraîne une sous-estimation des volumes en présence de troubles de distribution de la ventilation liés à un trouble ventilatoire obstructif. Pour cette raison, la pléthysmographie corporelle représente actuellement la méthode de référence.

La mesure des volumes pulmonaires est en particulier indiquée en présence d'un abaissement de la capacité

vitale à la spirométrie. Une capacité vitale basse peut relever d'un trouble ventilatoire restrictif ou d'un piégeage gazeux.

Interprétation des volumes pulmonaires (tab. 1a)

Trouble ventilatoire restrictif (syndrome restrictif)

Le trouble ventilatoire restrictif est défini par une diminution de la capacité pulmonaire totale. La capacité vitale n'apporte pas à elle seule la preuve d'une restriction. Le critère diagnostique pour le trouble ventilatoire restrictif proposé par l'ATS/ERS est le suivant: CPT $<5^{\text{e}}$ percentile de la valeur prédite. En l'absence de valeurs de percentiles, une valeur $<80\%$ de la CPT prédite peut être considérée comme témoignant d'un trouble ventilatoire restrictif.

Un trouble ventilatoire restrictif peut relever d'une pathologie pulmonaire (par ex. pneumopathie interstitielle, séquelles post-infectieuses, résection pulmonaire) ou extra-pulmonaire (par ex. pleurale, squelettique, musculaire, obésité).

Trouble ventilatoire mixte

Le trouble ventilatoire mixte est défini par l'existence concomitante d'un trouble ventilatoire obstructif et restrictif: VEMS/CV $<5^{\text{e}}$ percentile de la valeur prédite et CPT $<5^{\text{e}}$ percentile de la valeur prédite.

Piégeage gazeux

Le piégeage gazeux (*air trapping*) est défini par une augmentation du volume résiduel par rapport à la capacité pulmonaire totale: VR/CPT $>95^{\text{e}}$ percentile (ou $>130\%$ de la valeur prédite). Le piégeage gazeux est le plus souvent observé dans le cadre d'un trouble ventilatoire obstructif, mais peut aussi refléter une faiblesse musculaire expiratoire dans le cadre d'une affection neuromusculaire.

Distension

La distension pulmonaire (*lung hyperinflation*) est définie par une augmentation de la capacité résiduelle fonctionnelle: CRF $>95^{\text{e}}$ percentile ou $>130\%$ de la valeur prédite). A noter qu'en présence de grands volumes harmonieux, la CRF est augmentée autant que la CV: on ne parlera alors pas de distension. La distension pulmonaire est associée au trouble ventilatoire obstructif, en particulier à l'emphysème pulmonaire.

Capacité de diffusion

La capacité de diffusion du monoxyde de carbone (DLCO), appelée aussi facteur de transfert du CO (TLCO), représente la capacité des poumons à transférer les gaz de l'air alvéolaire aux globules rouges dans les capillaires pulmonaires. La DLCO représente ainsi une fenêtre sur la microcirculation pulmonaire et reflète la surface de poumon disponible pour les échanges gazeux.

La méthode habituelle de mesure est celle de la DLCO en apnée. Après une expiration complète, le sujet effectue

une inspiration rapide et complète d'un mélange d'air contenant une faible fraction de CO et d'un gaz inerte (hélium ou méthane). Après une apnée de 10 secondes, il expire lentement et la fraction de CO et de gaz inerte est mesurée dans l'air exhalé. De là sont calculés: le coefficient de diffusion du CO (KCO), qui exprime le taux de transfert du CO dans le sang capillaire et le volume alvéolaire (VA), qui exprime le volume de distribution du CO au cours de la manœuvre. La capacité de diffusion est calculée comme le produit de ces deux mesures: $DLCO = KCO \times VA$.

Plusieurs facteurs influencent la valeur de la DLCO. *Le taux d'hémoglobine*: le CO se fixe sur l'hémoglobine, ainsi la DLCO augmente en cas de polyglobulie et diminue en cas d'anémie. Il convient donc toujours de corriger la DLCO en fonction du taux d'hémoglobine: c'est la *DLCO corrigée*. *Le taux de carboxyhémoglobine*: toute augmentation de [HbCO] (tabagisme, intoxication au CO) diminue la DLCO. Le sujet doit s'abstenir de fumer dans les 24 heures précédents le test. *L'altitude*: l'oxygène et le CO sont en compétition pour se fixer sur l'hémoglobine. En altitude, la baisse de la fraction inspirée d'oxygène entraîne une augmentation de la DLCO. *L'exercice physique*: toute augmentation du débit cardiaque entraîne une augmentation du volume capillaire pulmonaire, donc de l'hémoglobine disponible, et par conséquent de la DLCO. Le sujet ne doit pas avoir fourni un effort physique avant la mesure de la DLCO.

Interprétation de la DLCO (tab. 1c)

La mesure de la DLCO est indiquée pour préciser le type et la gravité d'une atteinte restrictive ou obstructive, ainsi qu'en cas de suspicion de maladie vasculaire pulmonaire. Elle est particulièrement utile dans le suivi des

Tableau 2

Principaux profils pathologiques de la capacité de diffusion.

Condition	VA	KCO	DLCO	Exemples
Expansion incomplète	↓↓↓	↑↑	↓	Affections pleurale, squelettique, neuro-musculaire, obésité
Perte localisée d'unité	↓↓↓	↑	↓↓	Résection, atéléctasie
Perte diffuse d'unité	↓↓	↓	↓↓↓	Fibrose
Emphysème	↓	↓↓	↓↓↓	BPCO
Maladie vasculaire pulmonaire	Normal	↓↓	↓↓	HTAP, maladie thrombo-embolique chronique, vasculite, drépanocytose, syndrome hépato-pulmonaire
Haut débit sanguin	Normal	↑	↑	Haut débit cardiaque, shunt gauche-droite
Hémorragie alvéolaire	↓	↑↑↑	↑↑	Maladie anti-GBM, vasculite pulmonaire, LED

VA: volume alvéolaire, KCO: coefficient de diffusion du CO, DLCO: capacité de diffusion du monoxyde de carbone.

pneumopathies interstitielles ainsi que dans l'évaluation fonctionnelle précédant une résection pulmonaire. Dans l'interprétation de la DLCO, il est utile d'examiner également ses composantes: le coefficient de diffusion (KCO) et le volume alvéolaire (VA). Le tableau 2 résume les principaux profils pathologiques de la DLCO.

Conclusion

Les EFR constituent un outil indispensable à l'évaluation pulmonaire des patients présentant une symptomatologie respiratoire et dans le suivi d'une maladie pulmonaire. Grâce à la spirométrie, le médecin généraliste peut mettre en évidence un trouble ventilatoire obstructif et assurer le suivi d'une BPCO ou d'un asthme. Il réfèrera le patient au pneumologue pour poursuivre les investigations par des mesures des volumes pulmonaires afin de poser un diagnostic de syndrome restrictif ou pour réaliser une mesure de la capacité de diffusion afin d'évaluer la microcirculation pulmonaire.

Correspondance:

Dr Antoine Pasche
Service de pneumologie
Département de médecine
CHUV
CH-1011 Lausanne
[antoine.pasche\[at\]chuv.ch](mailto:antoine.pasche[at]chuv.ch)

Références

- Lusuardi M, De Benedetto F, Paggiaro P et al. A randomized controlled trial on office spirometry in asthma and COPD in standard general practice: data from spirometry in Asthma and COPD: a comparative evaluation Italian study. *Chest*. 2006;129:844-52.
- Miller MR, Crapo R, Hankinson J et al. General considerations for lung function testing. *Eur Respir J*. 2005;26:153-61.
- Miller MR, Hankinson J, Brusasco V et al. Standardisation of spirometry. *Eur Respir J*. 2005;26:319-38.
- Wanger J, Clausen JL, Coates A et al. Standardisation of the measurement of lung volumes. *Eur Respir J*. 2005;26:511-22.
- Macintyre N, Crapo RO, Viegi G et al. Standardisation of the single-breath determination of carbon monoxide uptake in the lung. *Eur Respir J*. 2005;26:720-35.
- Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V et al. Interpretative strategies for lung function tests. *Eur Respir J*. 2005;26:948-68.
- Brendan G Cooper. An update on contraindications for lung function testing. *Thorax*. 2011;66:714-23.
- Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, Pedersen OF, Peslin R, Yernault JC. Lung volumes and forced ventilatory flows. Report Working Party Standardization of Lung Function Tests, European Community for Steel and Coal. Official Statement of the European Respiratory Society. *Eur Respir J* 1993;16(Suppl.):5-40.
- Rabe KF, Hurd S, Anzueto A et al. Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease: GOLD executive summary. *Am J Respir Crit Care Med*. 2007;176:532-55.
- Expert Panel Report 3. Guidelines for the Diagnosis and Management of Asthma--Summary Report 2007. National Asthma Education Prevention Program Expert Panel Report 3. 2008;1-74.
- Quanjer PH, Lebowitz MD, Gregg I, Miller MR, Pedersen OF. Peak expiratory flow: conclusions and recommendations of a Working Party of the European Respiratory Society. *Eur Respir J* 1997;24(Suppl.):2S-8S.