

Considérations générales sur les explorations fonctionnelles respiratoires

M.R. Miller, R. Crapo, J. Hankinson, V. Brusasco, F. Burgos, R. Casaburi, A. Coates, P. Enright, C.P.M. van der Grinten, P. Gustafsson, R. Jensen, D.C. Johnson, N. MacIntyre, R. McKay, D. Navajas, O.F. Pedersen, R. Pellegrino, G. Viegi, J. Wanger

Table des matières

Généralités	17S12	Contamination croisée	17S14
Définitions	17S12	Spiromètres volumétriques	17S15
Considérations à propos des patients	17S12	Tuberculose	17S15
Contre-indications	17S12	Hémoptysie et plaies de la cavité buccale	17S15
Position	17S12	Autres maladies infectieuses transmissibles connues	17S15
Caractéristiques des patients	17S12	Filtres à usage unique	17S15
Âge, taille et poids	17S12	Conception des matériels	17S16
Traitement	17S13	Niveau de risque infectieux	17S16
Préparation des patients	17S13	Qualifications du personnel et rôle du technicien dans le contrôle qualité	17S17
Caractéristiques des laboratoires	17S13	Qualifications du personnel	17S17
Hygiène et prévention des infections	17S14	Rôle du technicien dans le contrôle qualité	17S17
Transmission par contact direct	17S14	Valeurs de référence	17S18
Transmission par contact indirect	17S14	Stratégies d'interprétation	17S18
Prévention	17S14	Abréviations	17S18
Contamination des techniciens de laboratoires	17S14		

Ce document est la traduction de : Miller MR, Crapo R, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, Enright P, van der Grinten CP, Gustafsson P, Jensen R, Johnson DC, MacIntyre N, McKay R, Navajas D, Pedersen OF, Pellegrino R, Viegi G, Wanger J. General considerations for lung function testing. *Eur Respir J* 2005 ; 26 : 153-161.

Correspondance : V. Brusasco
Médecine Interne, Université de Gênes, V.le Benedetto XV, 6,
I-16132 Gênes, Italie.

vito.brusasco@unige.it

Réception version princeps à la Revue : 23.03.2005.

Acceptation définitive : 05.04.2005.

Généralités

Le groupe de travail chargé de la préparation des recommandations conjointes de l'*American Thoracic Society* (ATS) et de l'*European Respiratory Society* (ERS) sur les explorations fonctionnelles respiratoires a estimé que la présentation de ces recommandations devait faire l'objet d'une adaptation afin de faciliter leur utilisation tant par le personnel technique que clinique. La présente recommandation expose en détail des procédures qui sont communes à un grand nombre de méthodes d'explorations respiratoires et qui sont donc décrites séparément. Une liste des abréviations utilisées dans tous les documents est aussi incluse dans ce chapitre.

Définitions

Tous les termes et abréviations utilisés dans ce document sont conformes au rapport du Comité Conjoint sur la Nomenclature Pulmonaire de l'*American College of Chest Physicians* et de l'ATS [1]. Les définitions des termes de métrologie telles qu'approuvées par l'Organisation Internationale de normalisation (ISO) sont recommandées [2] et certains termes importants sont définis de la manière suivante :

– l'**exactitude** correspond à l'écart de l'accord entre le résultat d'une mesure et la valeur vraie conventionnelle.

– la **répétabilité** correspond à l'écart de l'accord entre les résultats des mesures successives d'une même grandeur, ces mesures étant effectuées dans la totalité des conditions suivantes : même mode opératoire, même observateur, même instrument de mesure, même lieu, mêmes conditions d'utilisation et répétition des mesures sur une courte période de temps. Dans de précédentes publications, c'était le terme *reproductibilité* qui était utilisé dans ce contexte. Ce changement part de la volonté de mettre la présente série de documents en conformité avec les recommandations de l'ISO.

– la **reproductibilité** correspond à l'écart de l'accord entre les résultats des mesures successives d'une même grandeur, ces mesures étant effectuées en faisant varier certaines conditions telles que : la méthode de mesure, l'observateur, l'instrument de mesure, le lieu, les conditions d'utilisation ou le temps. En d'autres termes, si un technicien teste à plusieurs reprises un même sujet, c'est la *répétabilité* du test qui est considérée. Si on administre ensuite un bronchodilatateur au sujet et que l'on répète le test après 30 minutes, il est nécessaire de connaître la *reproductibilité* du test afin de pouvoir arriver à une conclusion sur la base de la comparaison des valeurs relevées avant et après l'administration du bronchodilatateur.

– la **gamme de mesure** d'un appareil d'enregistrement correspond à l'étendue des valeurs pour laquelle le fabricant spécifie que le dispositif est conforme aux recommandations qui suivent.

– la **résolution** d'un appareil correspond à la plus petite différence que cet appareil est capable de mesurer.

Considérations générales à propos des patients

Contre-indications

Dans une minorité de cas, les explorations fonctionnelles respiratoires peuvent être physiquement éprouvantes pour les patients. Il est recommandé de s'abstenir de tester des sujets au cours du mois qui suit un infarctus du myocarde et il est à craindre que chez les patients atteints des pathologies énumérées dans le *tableau I* il puisse s'avérer impossible d'obtenir des résultats optimaux ou répétables.

Position

Les tests peuvent indifféremment être réalisés en position assise ou debout mais cette information doit toujours figurer dans le rapport [3, 4]. Pour des raisons de sécurité, cependant, on préférera la position assise afin d'éviter toute chute due à un malaise. Le siège doit comporter des accoudoirs mais pas de roulettes. Si le malade est en fauteuil roulant, on prendra soin d'en verrouiller les roues. Si le test est réalisé en position debout, il est recommandé de placer une chaise derrière le sujet ou le malade pour qu'il puisse s'asseoir rapidement en cas de malaise. Chez les sujets obèses ou présentant une surcharge pondérale prédominante autour de l'abdomen, il est plus facile d'obtenir une inspiration plus profonde en position debout ; ainsi, des volumes et des débits expiratoires forcés plus élevés seront plus facilement obtenus si ces personnes sont testées en position debout. Chez les sujets de poids normal, les valeurs obtenues sont généralement les mêmes que les tests soient pratiqués en position assise ou debout. Il importe cependant de toujours utiliser la même position dans le cadre d'études longitudinales.

Caractéristiques des patients

Âge, taille et poids

L'âge, la taille et le poids des patients (portant des vêtements d'intérieur, sans chaussures) doivent être relevés pour le calcul des valeurs de référence. L'âge doit être exprimé en années. La taille et le poids doivent être exprimés dans les unités en usage dans le pays concerné et doivent correspondre aux unités utilisées dans les formules de référence choisies. L'indice de masse corporelle doit être calculé en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$.

Tableau I.

Pathologies pouvant conduire à des résultats d'explorations fonctionnelles pulmonaires sub-optimaux.

Douleur thoracique ou abdominale, quelle qu'en soit la cause
Douleur buccale ou faciale exacerbée par la mise en bouche de l'embout buccal
Incontinence urinaire d'effort
Confusion mentale ou démenç

La taille doit être mesurée chez un patient déchaussé, pieds joints, le corps aussi droit et étiré que possible, les yeux regardant droit devant. Il convient d'utiliser un appareil de mesure précis. Pour les patients atteints d'une déformation de la cage thoracique, telle qu'une cyphoscoliose, il convient d'utiliser la mesure de l'envergure des membres supérieurs d'une extrémité à l'autre des doigts, comme estimation de la taille corporelle. On mesure l'envergure des membres supérieurs en demandant au sujet de se tenir debout contre un mur avec les bras étendus, de façon à obtenir la distance maximum entre l'extrémité des deux majeurs. Une équation de régression prenant en compte la mesure de l'envergure des membres supérieurs, le groupe ethnique, le sexe et l'âge a été proposée, et permet de rendre compte de 87 % de la variance de la taille mesurée en position debout [5] avec une erreur type d'estimation comprise entre 3,0 et 3,7 cm. L'utilisation de rapports fixes entre l'envergure des membres supérieurs et la taille (par ex. : taille = envergure des membres supérieurs/1,06) permet d'obtenir une assez bonne estimation de la taille, sauf aux valeurs extrêmes. La qualité des estimations reposant sur l'utilisation d'un rapport fixe est cependant toujours inférieure à celle donnée par l'équation de régression. Ainsi, l'estimation de la taille au moyen de rapports fixes taille/envergure introduit-elle un degré d'incertitude supplémentaire au regard de l'expression de la grandeur fonctionnelle respiratoire en pourcentage des valeurs prédites, et peut s'avérer être une source d'erreur diagnostique [6]. La mesure de la hauteur des genoux peut être envisagée chez les personnes handicapées chez qui la mesure de l'envergure des membres supérieurs pourrait s'avérer difficile à recueillir [7, 8].

Traitement

L'opérateur doit noter le type et la posologie de tout traitement médicamenteux suivi (qu'il soit inhalé ou administré per os) et susceptible d'affecter la fonction pulmonaire, et indiquer le moment de la dernière prise.

Préparation des patients

Les patients doivent respecter les restrictions décrites par le *tableau II*, dont la liste doit leur être communiquée au moment de la prise du rendez-vous. À l'arrivée du patient, il convient de vérifier tous ces points et de consigner tout écart dans le dossier du patient (*tableau II*).

Tableau II.

Activités à éviter avant de se soumettre à une exploration fonctionnelle respiratoire dans un laboratoire.

Fumer moins d'une heure avant les examens
Consommer de l'alcool moins de 4 heures avant les examens
Se livrer à un exercice physique intense moins de 30 min avant les examens
Porter des vêtements qui limitent la pleine expansion thoracique et abdominale
Consommer un repas copieux moins de 2 heures avant les examens

Avant et pendant les explorations, les patients doivent être aussi détendus que possible. La décision de suspendre ou non les bronchodilatateurs de courte durée d'action ou de longue durée d'action est de nature clinique, et dépend du motif de l'examen. Si l'examen est réalisé pour diagnostiquer une maladie respiratoire, il est recommandé d'arrêter les bronchodilatateurs ; si, par contre, l'examen est réalisé pour analyser la réponse à un traitement en cours, on pourra choisir de maintenir les bronchodilatateurs.

Il convient de demander aux patients de desserrer tout vêtement trop serré. Les appareils dentaires sont normalement laissés en place, mais s'ils sont mal fixés et risquent de gêner les manœuvres exploratoires ils devront être retirés.

Caractéristiques des laboratoires

Il convient de relever systématiquement la température ambiante, la pression barométrique et l'heure de réalisation de l'examen. Pour la plupart des explorations fonctionnelles respiratoires, la température ambiante est une variable importante, qui est mesurée le plus souvent directement par l'appareil utilisé. La façon dont cette grandeur est mesurée puis utilisée peut varier selon les instruments. Par exemple, elle peut être mesurée à l'aide d'un simple thermomètre ou d'un thermistor interne. Quelle que soit la méthode utilisée, il incombe au laboratoire de confirmer l'exactitude des mesures de température et il appartient au fabricant de décrire ou de fournir un moyen efficace pour contrôler leur exactitude. Le fabricant est également dans l'obligation de fournir des instructions sur les dispositions à prendre lorsque l'exactitude des mesures de température ne peut être confirmée.

Idéalement, la répétition d'explorations fonctionnelles respiratoires chez un patient donné au sein d'une structure donnée implique la réception par le même opérateur que lors de l'examen précédent, l'utilisation des mêmes instruments, et le respect à deux heures près de l'heure de réalisation des examens.

L'ordre dans lequel les explorations fonctionnelles sont réalisées doit tenir compte de la nécessité d'optimiser le flux des tâches du laboratoire, de la possibilité qu'ont les différents examens de s'influencer les uns les autres ainsi que de la capacité du sujet à réaliser les tests. Le *tableau III* propose un ordre de réalisation des explorations.

Un intervalle suffisant doit être respecté entre les examens, comme cela est précisé dans les sections suivantes de cette série de publications. Il est possible d'envisager un ordre différent de celui proposé par le *tableau III* (par exemple mesure des volumes pulmonaires statiques, puis de la capacité de diffusion, puis études dynamiques, inhalation d'un bronchodilatateur suivies de la reprise des études dynamiques selon la séquence spirométrie-courbe débit-volume-débit expiratoire de pointe), mais on veillera toujours à conserver le même ordre chez un patient donné pour éviter d'introduire une variabilité imprévue dans les résultats des explorations. Le choix de l'ordre des examens doit prendre en considération l'effet

Tableau III.

Proposition d'une séquence de réalisation des explorations fonctionnelles respiratoires au laboratoire.

Études dynamiques : spirométrie, boucle débit-volume, DEP*
Volumes pulmonaires statiques
Inhalation d'un bronchodilatateur (le cas échéant)
Capacité de diffusion
Reprise des études dynamiques (dans le cas de l'administration d'un bronchodilatateur)

* DEP : Débit expiratoire de pointe.

potentiel d'une épreuve sur la suivante. Par exemple, la mesure de la capacité de diffusion pulmonaire du monoxyde de carbone (DL_{CO}) effectuée immédiatement après la mesure de la capacité pulmonaire totale (CPT) par rinçage de l'azote peut être perturbée en raison de l'augmentation de la quantité d'oxygène dans les poumons, à moins de laisser un intervalle suffisant entre les deux manœuvres pour permettre à la concentration d'oxygène de revenir à la normale ; de même, les manœuvres effectuées en ventilation courante peuvent être perturbées par la réalisation immédiatement préalable d'une manœuvre d'expiration maximale forcée. L'administration de bronchodilatateurs peut modifier les volumes pulmonaires statiques et réduire la distension d'une valeur pouvant atteindre 0,5 l [9]. Bien que les bronchodilatateurs ne semblent pas modifier la capacité de diffusion du monoxyde de carbone lorsqu'elle est mesurée par la méthode Jones-Meade, ils peuvent permettre d'obtenir, dans environ 10 % des cas, une mesure de la capacité de diffusion qui n'aurait pas été possible avant leur administration [10].

Hygiène et prévention des infections

Le but de la prévention des infections est d'éviter la contamination des patients et du personnel par des agents infectieux au cours des explorations fonctionnelles respiratoires. Même si le nombre de cas documentés de telles contaminations est très limité, le risque est, néanmoins, bien réel (voir la section : *Niveau de risque d'infection*). Les recommandations qui suivent concernent le matériel utilisé pour la spirométrie, la mesure de la capacité de diffusion ainsi que celle des volumes pulmonaires. Les agents pathogènes peuvent également être transmis par les oxymètres de pouls et les nébuliseurs utilisés pour l'administration des bronchodilatateurs [11, 12]. Bien que le risque d'accident d'exposition au sang soit une réalité en explorations fonctionnelles respiratoires, le présent article ne traite pas des risques associés à l'analyse des gaz du sang artériel. Les laboratoires d'explorations fonctionnelles respiratoires qui pratiquent l'analyse des gaz du sang sont tenus de respecter les mêmes procédures de protection et de lutte contre les infections que les laboratoires d'analyses biologiques.

On peut distinguer la transmission d'infections au cours d'explorations fonctionnelles respiratoires par contact direct et par contact indirect.

Transmission par contact direct

Lors d'explorations fonctionnelles respiratoires, il existe un risque de transmission d'agents infectieux lors du contact direct avec le matériel utilisé. Les embouts buccaux constituent la source la plus probable de telles contaminations, avec les surfaces des valves et tuyaux situés immédiatement à leur proximité. Ce risque concerne certains agents responsables d'infections de l'appareil respiratoire haut, certains agents responsables d'infections digestives (transmission manu portée), et les agents de certaines infections transmises par le sang. Bien que la transmission des virus de l'hépatite et du VIH par la salive soit improbable, une contamination devient possible dès lors qu'il existe une plaie ouverte de la muqueuse buccale ou un saignement des gencives.

Transmission par contact indirect

Ce mode de contamination concerne des agents infectieux susceptibles d'être émis sous forme d'aérosols par un patient. Il s'agit de la tuberculose, de diverses infections virales, de certaines infections opportunistes, et de certaines pneumonies nosocomiales

Les embouts buccaux constituent un facteur favorisant de telles contaminations, ainsi que les surfaces des valves et tuyaux situés immédiatement à leur proximité¹.

Prévention

Contamination des techniciens de laboratoire

Il est possible de prévenir la transmission des infections aux techniciens de laboratoire manipulant des spiromètres contaminés par un lavage soigneux des mains et l'utilisation de dispositifs « barrière », dont le port de gants appropriés. Pour éviter à la fois l'exposition des techniciens et le risque de contaminations croisées par leur canal, le lavage des mains doit être systématique immédiatement après la manipulation directe des embouts buccaux, des tubulures, des valves de ventilation et des parois internes des spiromètres. En cas de plaies ou de coupures sur les mains, le technicien doit porter des gants lors de la manipulation de tout appareil potentiellement contaminé. Un lavage soigneux des mains doit être effectué après chaque patient. Les recommandations et techniques de lavage des mains à respecter dans le cadre des explorations fonctionnelles respiratoires ont été amplement décrites par ailleurs [13].

Contamination croisée

Pour éviter la contamination croisée, les éléments réutilisables tels que les embouts buccaux, les tubes, les valves de ventilation et les collecteurs doivent être désinfectés ou stérilisés régulièrement. Les embouts buccaux, les pince-nez ou tout

¹ NDLR : cette phrase figure dans le document original du groupe de travail ; il est néanmoins difficile d'en percevoir le sens exact, la transmission indirecte n'impliquant par définition pas de nécessité de contact direct avec un matériel.

autre dispositif en contact avec les muqueuses doivent être désinfectés, stérilisés ou, s'ils sont jetables, éliminés après chaque utilisation. La fréquence optimale de désinfection ou de stérilisation des tubes, des valves ou des collecteurs n'a pas fait l'objet de recommandations précises. Toutefois, tout appareil dont la surface recueille de la condensation provenant de l'air expiré devra être désinfecté ou stérilisé avant réemploi.

L'utilisation d'agents de stérilisation à froid présente certains risques. Par conséquent, lors du maniement de ces produits, le personnel de laboratoire doit avoir soin de respecter les précautions recommandées par le fabricant. Certaines méthodes de stérilisation peuvent endommager les matériels d'explorations fonctionnelles respiratoires. Ainsi, la stérilisation à chaud et certains produits chimiques utilisés pour la stérilisation à froid peuvent endommager les débitmètres, les tubes ou les joints d'étanchéité. Il appartient aux fabricants de fournir une description claire et complète des méthodes de nettoyage et de désinfection de leur matériel et de préciser la nature et la concentration des produits chimiques préconisés ainsi que les précautions de sécurité que les techniciens doivent observer. S'il est impératif de se conformer aux recommandations du fabricant, d'éventuelles recommandations émises, par exemple, par le service de prévention des infections d'une institution prennent généralement le pas sur ces recommandations, ainsi d'ailleurs que sur celles qui sont contenues dans le présent document. Si les recommandations émanant du service de prévention des infections de l'hôpital conduisent à un risque d'endommager les instruments, des discussions entre ce service et les responsables des explorations fonctionnelles respiratoires doivent avoir lieu afin d'établir le compromis le moins mauvais possible.

Spiromètres volumétriques

Les spiromètres à circuit fermé doivent être purgés entre chaque patient, en y faisant circuler au minimum cinq fois le volume d'air ambiant correspondant à la capacité volumétrique totale de l'appareil. Cette manœuvre vise à éliminer les gouttelettes. La tubulure et l'embout buccal doivent être décontaminés ou changés après chaque patient.

En cas d'utilisation d'une technique à circuit ouvert au cours de laquelle le patient ne fait qu'expirer dans le spiromètre, seule la partie du circuit accessible à la réinspiration doit être décontaminée avant d'être utilisée par un autre patient. Par exemple, si l'on utilise un pneumotachomètre, il faut soit éviter de faire inspirer le patient à travers le dispositif soit décontaminer ou remplacer l'élément résistif et les tubes après chaque utilisation. Une autre solution consiste à utiliser un capteur à usage unique. S'ils sont utilisés correctement, ces capteurs permettent de faire l'économie de la décontamination de l'embout et du capteur (voir la section *Filtres à usage unique*).

Si l'on utilise une technique à circuit ouvert (spiromètre volumétrique ou débitmétrique) au cours de laquelle le patient n'inspire pas à partir du système de mesure, seul l'embout devra être changé ou décontaminé après chaque patient. Toutefois, il est difficile, voire impossible, de garantir que les patients n'inspirent effectivement pas à travers le système. Pour

éviter tout risque d'inhalation, il est possible d'utiliser une valve unidirectionnelle à faible résistance, mais il faut s'assurer au préalable que celle-ci ne modifie pas les caractéristiques métrologiques du dispositif de mesure. Le fait de ne pas disposer d'un tracé inspiratoire rend l'évaluation de la qualité du test difficile. Aussi, cette méthode doit-elle être utilisée avec précaution. En principe, tout démontage, nettoyage et remplacement du capteur nécessite le réétalonnage du spiromètre.

Tuberculose

Dans les situations où le risque de transmission de la tuberculose (ou d'autres maladies transmissibles par le canal de gouttelettes aérosolisées) est élevé, des techniques d'assainissement de l'environnement appropriées comme la ventilation, le filtrage de l'air ou la décontamination par rayons ultra-violetts doivent être mises en œuvre.

Hémoptysie et plaies de la cavité buccale

Des précautions particulières doivent être prises lors de la réalisation d'explorations fonctionnelles respiratoires chez des patients atteints d'hémoptysie ou présentant des plaies ouvertes de la muqueuse buccale ou un saignement des gencives. Les tubes et valves doivent être décontaminés avant chaque réutilisation et on aura soin de traiter les parois internes du spiromètre avec des produits désinfectants efficaces contre les agents infectieux transmis par voie sanguine.

Autres maladies infectieuses transmissibles connues

Des précautions supplémentaires sont nécessaires au regard des patients connus comme porteurs de maladies infectieuses transmissibles. Les précautions à envisager, sont, par exemple : 1) dédier du matériel qui sera utilisé exclusivement pour l'examen des patients infectés ; 2) tester ces patients à la fin de la journée pour permettre le démontage et la désinfection du spiromètre ; 3) tester ces patients dans leur chambre en prévoyant une ventilation adaptée ainsi que le port de protections efficaces par les techniciens.

Filtres à usage unique

Les filtres à usage unique peuvent représenter une méthode efficace et moins coûteuse pour éviter la contamination du matériel. Cependant, l'influence que les filtres à usage unique actuellement disponibles sur le marché exercent sur la mesure de la capacité vitale forcée (CVF) et du volume expiré maximal pendant la première seconde (VEMS) n'a pas été caractérisée avec précision. Il a été démontré qu'un dispositif barrière de faible impédance n'avait pas d'effet notable sur la CVF ni sur le VEMS [14]. Par contre, il a également été montré qu'un filtre barrière peut provoquer une diminution limitée mais non négligeable du VEMS (-44 ml) et du débit expiratoire de pointe (DEP : $-0,47 \text{ l.s}^{-1}$), mais ne paraît affecter ni le DL_{CO} ni le volume alvéolaire ou la CPT [15]. Des différences significatives ont été relevées entre les mesures avec et sans filtre de la CVF, du VEMS, de la résistance des voies aériennes et de la conductance spécifique des voies aériennes (sGaw) [16]. Ces différences n'étaient pas proportionnelles aux valeurs moyennes des mesures (sauf pour sGaw), et pour

pratiquement toutes les grandeurs étudiées les limites de concordance des mesures avec et sans filtre ne sortaient pas de la plage de répétabilité intra-sujet à court terme. Ainsi, on peut considérer que l'interposition sur le circuit de mesure d'un filtre à usage unique dont les caractéristiques sont optimisées pour l'exploration fonctionnelle respiratoire n'induit pas d'effets cliniquement significatifs et n'entraîne pas d'erreur appréciable de classification pour les tests diagnostiques.

Si on utilise des filtres à usage unique, il convient de s'assurer qu'après mise en place de ces filtres, le système de mesure satisfait aux critères minimums d'exactitude, de précision (reproductibilité), de résistance à l'écoulement et de contre-pression. La résistance à l'écoulement de l'air doit être mesurée après installation des filtres. Les fabricants de filtres à usage unique destinés à l'exploration fonctionnelle respiratoire doivent être en mesure de fournir la preuve que ces filtres ne modifient pas les résultats des explorations fonctionnelles respiratoires standard (CV, CVF, VEMS, DEP, DEM₂₅₋₇₅, CPT et DL_{CO}).

En l'absence de preuve de la réalité du risque de transmission d'infections au cours d'épreuves fonctionnelles respiratoires et en l'absence d'un bénéfice manifeste, l'utilisation systématique de filtres à usage unique n'est pas obligatoire à condition que toutes les précautions mentionnées dans la section *Prévention* ci-dessus soient respectées.

L'utilisation de ces filtres prête à controverse. Certains spiromètres, en particulier ceux qui sont intégrés dans les systèmes d'exploration multifonction, sont dotés de valves à voies multiples qui sont situées à proximité des tuyaux de ventilation. L'intérieur de ces valves comporte de nombreuses surfaces sur lesquelles des gouttelettes d'aérosols provenant des flux expiratoires peuvent se déposer. En raison de leur complexité, il peut être difficile de démonter et de désinfecter ces valves entre chaque patient. L'utilisation de filtres à usage unique peut alors être recommandée, dans la mesure où ils ont démontré leur efficacité à éliminer les microorganismes de l'air expiré et à prévenir leur déposition sous forme d'aérosol sur les surfaces des spiromètres. En revanche, les filtres en ligne sont relativement inefficaces lorsqu'il s'agit d'éliminer les microorganismes dans des courants à fort débit tels que ceux qui sont produits au cours des explorations fonctionnelles respiratoires et des cas de contamination d'instrument ont été décrits malgré la présence de filtres [17-20]. Il existe cependant des filtres-barrière hautement efficaces (efficacité supérieure à 99 %) dans l'élimination des bactéries [21, 22], mais leur performance dans l'élimination des plus petits microorganismes tels que les virus n'est pas connue. Du point de vue des coûts, une économie globale a été décrite dans un laboratoire d'explorations fonctionnelles respiratoires grâce à l'utilisation de filtres à usage unique [17], par comparaison avec une stratégie d'hygiène fondée sur la désinfection itérative des matériels.

L'utilisation de filtres à usage unique ne dispense en rien de la nécessité de nettoyer et décontaminer régulièrement les appareils d'explorations fonctionnelles respiratoires.

Conception des matériels

Il est recommandé aux fabricants de matériels d'explorations fonctionnelles respiratoires de se concentrer sur le développement de matériels faciles à démonter pour rendre le nettoyage et la désinfection plus aisés. Il est recommandé aux acheteurs de s'enquérir des procédures de nettoyage et de désinfection avant toute acquisition d'un matériel. La décision d'achat devrait prendre fortement en considération des aspects comme la facilité de nettoyage et la clarté des instructions fournies à ce sujet, ainsi que les accessoires et produits chimiques nécessaires à ces opérations.

Niveau de risque infectieux

L'implication des matériels d'explorations fonctionnelles respiratoires dans la transmission d'infections n'a jamais été démontrée, néanmoins, il existe des indices quant à la possibilité d'une telle transmission. Des microorganismes provenant de l'appareil respiratoire de sujets testés ont été retrouvés sur les embouts buccaux et les surfaces proximales des tuyaux par lesquels les sujets ont respiré [19, 23]. Les débits générés lors de manœuvres spirométriques sont suffisamment élevés pour aérosoliser les microorganismes contaminants, même si ce phénomène n'a jamais été prouvé. Il existe un cas de conversion d'un test cutané à la tuberculine décrit à la suite d'une exposition à un spiromètre précédemment utilisé chez un patient atteint de tuberculose [24]. De même, un centre a relevé des preuves indirectes montrant que l'utilisation de matériel d'explorations fonctionnelles respiratoires contaminé peut être responsable de l'augmentation de la prévalence des infections à *Burkholderia cepacia* chez des patients atteints de mucoviscidose [25]. Il a été démontré que les systèmes intégrant des pneumotachomètres sont moins sensibles aux infections bactériennes que les spiromètres à eau [26]. D'autre part, on sait que l'eau de ville peut être contaminée par des agents tels que *Mycobacteria* spp. et *Pseudomonas aeruginosa* [27-29]. Ainsi, le risque que le personnel de santé ainsi que les patients soient à l'origine de la présence de microorganismes sur les spiromètres (notamment sur les embouts, les pince-nez, les tubes ainsi que les surfaces extérieures et intérieures des composants) est bien réel, et ces microorganismes risquent ensuite de contaminer, directement ou indirectement, d'autres patients ou soignants.

Ceci ne constitue cependant pas un risque majeur chez du personnel de santé ou des patients dont le système immunitaire n'est pas compromis. Concernant les patients immunodéprimés, l'idée a souvent été avancée qu'une quantité faible d'agents opportunistes ou de pathogènes communs peut suffire à provoquer une infection, mais il n'existe aucune preuve directe que les explorations fonctionnelles respiratoires de routine représentent pour ces personnes un risque accru d'infection.

Le souci de protection des patients immunodéprimés ainsi que la sensibilisation grandissante du public et des personnels de santé à la problématique des maladies nosocomiales ont incité, depuis le début des années 1990, nombre de

directeurs de laboratoires à utiliser systématiquement les filtres à usage unique afin de rassurer les patients et le personnel de laboratoire sur la prise en compte effective de leur protection.

Qualifications du personnel et rôle des techniciens dans le contrôle qualité

Qualifications du personnel

Dans une précédente publication, l'ATS avait émis des recommandations concernant le personnel de laboratoire appelé à effectuer des explorations fonctionnelles respiratoires [30]. Au nombre des critères minimum figurait une formation de base et un entraînement suffisants pour permettre au technicien de comprendre les fondements théoriques des épreuves, reconnaître les signes les plus courants des maladies respiratoires et exploiter les résultats des explorations fonctionnelles respiratoires. L'ATS recommandait également que les responsables médicaux de laboratoires d'explorations fonctionnelles respiratoires reçoivent une formation adaptée et soient responsables de toutes les explorations fonctionnelles respiratoires réalisées au sein de l'institution où ils exercent [31]. Depuis la publication de ces recommandations, les appareils et les méthodes de réalisation des d'explorations fonctionnelles respiratoires ont gagné en complexité. Les ordinateurs ont permis de diminuer le nombre de mesures manuelles de routine nécessaires mais il en est résulté des besoins en formation nouveaux et plus pointus. Le contenu et la durée des formations ont dû être étendus pour faire face à ces nouvelles exigences.

D'après les recommandations actuelles, le niveau minimum de formation préconisé pour permettre à un technicien chargé des explorations fonctionnelles respiratoires de maîtriser l'ensemble des tâches qui lui incombent est un diplôme de fin d'études secondaires suivi de deux ans de formation universitaire.

Pour les explorations fonctionnelles respiratoires, une formation mettant l'accent sur les sciences de la santé (soins infirmiers, formation d'auxiliaire médical, thérapie respiratoire, etc.) est souhaitable. Une formation théorique ne suffit pas à donner les compétences nécessaires à la réalisation des explorations fonctionnelles respiratoires. Pour être en mesure d'effectuer ces examens, les techniciens doivent être familiarisés avec les aspects théoriques mais aussi pratiques de l'ensemble des techniques les plus communément utilisées, ainsi qu'avec les différents procédés de mesure et d'étalonnage et les techniques d'hygiène et de contrôle qualité. Ils doivent également posséder des connaissances de base en physiopathologie pulmonaire. Aux États-Unis, le National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) a développé un programme type de formation et supervise le contenu des cours de formation à la spirométrie. Ces formations de 2 ou 3 jours enseignent les principes fondamentaux de la spirométrie et comportent un volet pratique. Les ateliers pratiques permet-

tent à de petits groupes de stagiaires de se mettre en situation sous la supervision d'un instructeur expérimenté. Les stagiaires doivent faire la preuve de leur capacité à préparer et à réaliser correctement un test de spirométrie et démontrer leurs compétences dans d'autres domaines comme, par exemple, celui de l'étalonnage des appareils et de la reconnaissance de manœuvres inadéquates interdisant l'interprétation fiable des résultats.

Les auteurs de ce document recommandent la mise en place d'un programme de formation à la spirométrie semblable à celui qui est approuvé par le NIOSH. La compétence des candidats sera vérifiée par un examen comprenant des épreuves écrites et pratiques (par exemple, réalisation de tests pratiques et d'étalonnage) effectuées en présence d'un instructeur qualifié. En Europe, la formation est différente selon les pays. Lors de son congrès annuel, l'ERS organise régulièrement des formations post-universitaires par l'intermédiaire d'une assemblée spécifique : *Assembly 9 for Allied Respiratory Professionals*.

Il est également recommandé de participer à des formations de mise à jour des compétences dans le domaine de la spirométrie. Ces formations permettent aux techniciens en charge des explorations de se tenir au courant des évolutions des standards de la spirométrie et d'apprendre les nouvelles techniques. Ces formations permettent aussi de donner des réponses aux questions qui n'ont pas été abordées au cours de la formation initiale. Un certain nombre d'organismes comme la *Lung Health Study* [32], le *National Health and Nutrition Examination Survey* [33, 34] et l'*American College of Occupational and Environmental Medicine* [35] insistent sur la nécessité de telles formations de remise à niveau. Leur fréquence dépend d'un grand nombre de facteurs qui varient selon les individus. Une formation de mise à jour tous les 3 à 5 ans environ, ou peu après la publication de nouvelles normes, est recommandée. Bien que les formations dispensées à l'intérieur des établissements permettent parfois d'atteindre les objectifs souhaités, les responsables de laboratoires d'explorations fonctionnelles respiratoires sont très vivement encouragés à prendre la mesure des bénéfices apportés par les programmes de formation officiels dispensés par des organismes extérieurs.

Rôle du technicien dans le contrôle qualité

Le contrôle qualité est important pour garantir que le laboratoire respecte constamment les standards requis. Un élément clé dans tout programme de contrôle qualité est le recueil des procédures qui précisent les méthodes d'étalonnage, les modalités d'exécution des tests, les calculs, les critères, les sources des valeurs de référence et les mesures à prendre lorsque des valeurs « alarmantes » sont observées. Un registre ou toute autre système d'archivage doit être prévu afin de documenter, pour s'y référer ultérieurement, les étalonnages journaliers des instruments, toutes les anomalies du système et les mesures correctives adoptées, ainsi que les mises à jour des logiciels et le renouvellement de matériel. Tout incident concernant un

patient ou un technicien doit être consigné, de même que le résultat de l'analyse de l'incident et le remède apporté. Chaque technicien doit également conserver un dossier de formation continue ainsi que les résultats des évaluations et les appréciations du médecin responsable du laboratoire. L'ATS publie un recueil complet de procédures intitulé *Pulmonary Function Laboratory Management and Procedure Manual* qui est disponible sous forme imprimée et sous forme électronique (www.thorac.org/education/labmanual.asp) pour permettre aux laboratoires de l'adapter à leurs propres besoins.

Pour l'Europe, des informations techniques sur les explorations fonctionnelles respiratoires sont présentées dans une série de publications de l'*European Respiratory Journal* [36], [42]².

La motivation et l'enthousiasme du technicien sont peut-être les éléments les plus importants de la réussite des explorations fonctionnelles respiratoires. Dans les programmes qualité, un retour d'information auprès des techniciens a démontré son efficacité au regard des performances de ceux-ci pour l'obtention de résultats de spirométrie fiables [32]. Un système qualité qui assure un suivi continu de la performance des techniciens est essentiel pour garantir la qualité des données recueillies. Des appréciations concernant la qualité du travail des techniciens doivent être communiquées régulièrement aux intéressés. Ces appréciations doivent mentionner, au minimum : 1) la nature et le nombre de manœuvres non conformes et de tests effectués non reproductibles ; 2) les mesures correctives préconisées pour que l'intéressé puisse améliorer la qualité de son travail et augmenter le nombre de manœuvres conformes ; 3) des commentaires positifs soulignant les bonnes performances du technicien ; et enfin 4) des observations au sujet du réglage des systèmes et du mode de présentation des résultats.

Il est recommandé aux fabricants d'inclure dans leurs logiciels des outils d'aide au contrôle qualité. Cependant, les techniciens doivent apprendre à ne pas se fier exclusivement aux messages de contrôle qualité générés par ces outils car ceux-ci ne sont pas en mesure d'identifier toutes les erreurs techniques pouvant survenir. On peut envisager une aide au contrôle qualité au moyen d'un programme d'enregistrement des étalonnages précisant la date, l'heure, le nom du technicien et les résultats de vérification de l'étalonnage journalier. Un avertissement pourrait être émis dans le cas où l'étalonnage quotidien n'aurait pas été effectué correctement.

Valeurs de référence

La sélection des valeurs de référence et l'interprétation des explorations fonctionnelles respiratoires ont fait l'objet de publications détaillées [39, 41-43] et de nouvelles recomman-

dations viennent d'être formulées [44]. Pour choisir des valeurs de référence appropriées au rendu d'un résultat, il est important de prendre en compte l'équipement utilisé pour leur établissement, qui doit être superposable à celui utilisé dans le laboratoire, ainsi que la nature de l'échantillon de population étudié, qui doit comprendre des sujets appartenant aux mêmes tranches d'âge, au même sexe et aux mêmes groupes ethniques que les patients à tester. De même, tous les indices spirométriques doivent être exprimés en fonction de valeurs de référence provenant de la même source (par exemple, les valeurs prédites de la CVF et du VEMS ne doivent pas provenir de sources de valeurs de références différentes de celle qui est utilisée pour exprimer le rapport de Tiffeneau).

Stratégies d'interprétation

Dans un souci d'évoquer les stratégies d'interprétation de manière exhaustive, l'ATS et l'ERS ont révisé leurs précédentes recommandations [39, 41-43]. Le nouveau document est maintenant disponible [44].

L'interprétation des explorations fonctionnelles respiratoires passe par deux catégories de tâches :

1. l'expression des valeurs mesurées par rapport à une population de référence, et la vérification de la qualité des mesures ;
2. l'intégration des valeurs obtenues dans le processus diagnostique, pronostique et thérapeutique d'un patient particulier.

La première tâche est généralement du ressort du responsable du laboratoire ou de son représentant ; elle n'est pas réalisée uniquement pour communiquer des informations au médecin référent mais fait partie intégrante du système de contrôle qualité du laboratoire. La seconde revient généralement au médecin ayant demandé les examens et fait partie de la prise en charge du patient.

C'est le responsable du laboratoire qui a pour mission d'élaborer des procédures précises pour l'interprétation des explorations fonctionnelles respiratoires et de sélectionner les valeurs de référence appropriées. Il est légitime d'observer des variations dans les méthodes de sélection et d'interprétation des valeurs de référence selon les laboratoires en fonction de leur localisation géographique et des caractéristiques des populations traitées. Mais il importe que la stratégie d'interprétation soit cohérente et prenne en considération les conséquences néfastes de faux positifs et de faux négatifs. On évitera ainsi qu'un médecin référent soit amené à conclure à un changement de l'état d'un patient alors qu'il s'agit, en réalité, d'un changement dans la méthode adoptée par le médecin se livrant à l'interprétation.

Abréviations

Le *tableau IV* contient une liste d'abréviations utilisées dans la série de rapports rédigés par le Groupe de Travail, avec mention de leur signification.

² NDLR : Voir versions françaises publiées dans la Revue des Maladies Respiratoires, via <http://www.splf.org/rmr/accesLibre/RecoEFRvf.htm>.

Tableau I.

°C	Degré centigrade
µg	microgramme
ATPD	Température ambiante, pression ambiante, air sec
ATPS	Température ambiante et pression saturée en vapeur d'eau
BTPS	Température corporelle (soit 37 °C), pression ambiante saturée en vapeur d'eau
CDVM	Courbe débit-volume maximale
CFC	Chlorofluorocarbone
CI	Capacité inspiratoire
cm	Centimètre
CPT	Capacité pulmonaire totale
CRF	Capacité résiduelle fonctionnelle
CV	Capacité vitale
CVE	Capacité vitale expiratoire
CVF	Capacité vitale forcée
CVI	Capacité vitale inspiratoire
CVIF	Capacité vitale inspiratoire forcée
DEM ₂₅₋₇₅	Débit expiratoire maximal moyen
DEM _{X%}	Débit expiratoire maximal à X% de la CV
DEMM	Débit expiratoire maximal médian
DEM _{X%CV}	Débit expiratoire instantané lorsque X% de la CV ont été expirés
DEP	Débit expiratoire de pointe
DIM	Débit inspiratoire maximal
DIM _{X%}	Débit inspiratoire maximal à X% de la CV
DL _{r,CO}	Capacité de diffusion du monoxyde de carbone, ou facteur de transfert
DL _{r,CO} /V _A	Coefficient de transfert du monoxyde de carbone, aussi appelé K _{CO}
DM	Conductance membranaire
DT	Temps de maintien d'un débit >90 % du DEP
F _{A,X}	Fraction du gaz X dans le gaz alvéolaire
F _{A,X,t}	Fraction alvéolaire du gaz X au temps t
F _{E,X}	Fraction du gaz X dans le gaz expiré
F _{I,X}	Fraction du gaz X dans le gaz inspiré
H ₂ O	Eau
Hb	Hémoglobine
Hb _{CO}	Carboxyhémoglobine
Hg	Mercure
Hz	Hertz ; cycles par seconde
K _{CO}	Coefficient de transfert du monoxyde de carbone (soit DL _{r,CO} /V _A)
kg	Kilogramme
kPa	Kilopascal
L	Litre
L.min ⁻¹	Litres par minute
L.s ⁻¹	Litres par seconde
lb	Livre

LDE	Limitation du débit expiratoire
mg	Milligramme
mL	Millilitre
mm	Millimètre
ms	Milliseconde
PaO ₂	Pression partielle artérielle d'oxygène
P _B	Pression barométrique
PH ₂ O	Pression partielle de vapeur d'eau
P _{I,O₂}	Pression partielle d'oxygène dans le gaz inspiré
RT	Temps d'augmentation du débit de 10 % à 90 % du DEP
s	Seconde
STPD	Température standard (0 °C), pression standard (101,3 kPa, 760 mmHg) air sec
T _I	Durée de l'inspiration
Tr	Gaz traceur
T _T	Temps total du cycle ventilatoire
V _A	Volume alvéolaire
V _{A,eff}	Volume alvéolaire utile
V _c	Volume capillaire pulmonaire
Vé _{ch}	Volume de l'échantillon de gaz expiré
V _D	Volume de l'espace mort
VEMS	Volume expiré maximal pendant la première seconde
VEM _t	Volume expiré maximum en t secondes
VGT	Volume gazeux thoracique
V _I	Volume inspiré
VMM	Ventilation maximale minute
VR	Volume résiduel
VRE	Volume de réserve expiratoire
VRI	Volume de réserve inspiratoire
V _T	Volume courant
θ (theta)	Capture spécifique du CO par le sang

Remerciements

M.R. Miller : University Hospital Birmingham NHS Trust, Birmingham, UK ; R. Crapo and R. Jensen : LDS Hospital, Salt Lake City, UT, USA ; J. Hankinson : Hankinson Consulting, Inc., Valdosta, GA, USA ; V. Brusasco : Università degli Studi di Genova, Genova, Italy ; F. Burgos : Hospital Clinic Villarreal, Barcelona, Spain ; R. Casaburi : Harbor UCLA Medical Center, Torrance, CA, USA ; A. Coates : Hospital for Sick Children, Toronto, ON, Canada ; P. Enright : 4460 E Ina Rd, Tucson, AZ, USA ; C.P.M. van der Grinten : University Hospital of Maastricht, Maastricht, the Netherlands ; P. Gustafsson : Queen Silvias Children's Hospital, Goteborg, Sweden ; D.C. Johnson : Massachusetts General Hospital and Harvard Medical School, Boston, MA, USA ; N. MacIntyre : Duke University Medical Center, Durham, NC, USA ; R. McKay : Occupa-

tional Medicine, Cincinnati, OH, USA ; D. Navajas : Lab Biofisica I Bioenginyeria, Barcelona, Spain ; O.F. Pedersen : University of Aarhus, Aarhus, Denmark ; R. Pellegrino : Azienda Ospedaliera S. Croce e Carle, Cuneo, Italy ; G. Viegi : CNR Institute of Clinical Physiology, Pisa, Italy ; and J. Wanger : Pharmaceutical Research Associates, Inc., Lenexa, KS, USA.

Références

- 1 Pulmonary terms and symbols : a report of the ACCP-ATS Joint Committee on Pulmonary Nomenclature. *Chest* 1975 ; 67 : 583-93.
- 2 International vocabulary of basic and general terms in metrology. PD 6461 Vocabulary of Metrology. Part 1: Basic and general terms (international). 2nd Edn. Geneva, International Standards Organisation, 1993.
- 3 American Thoracic Society : Standardization of spirometry. *Am Rev Respir Dis* 1979 ; 119 : 831-8.
- 4 Townsend MC : Spirometric forced expiratory volumes measured in the standing *versus* the sitting posture. *Am Rev Respir Dis* 1984 ; 130 : 123-4.
- 5 Parker JM, Dillard TA, Phillips YY : Arm span-height relationships in patients referred for spirometry. *Am J Respir Crit Care Med* 1996 ; 154 : 533-6.
- 6 Aggarwal AN, Gupta D, Jindal SK : Interpreting spirometric data: impact of substitution of arm span for standing height in adults from North India. *Chest* 1999 ; 115 : 557-62.
- 7 Chumlea WC, Guo SS, Wholihan K, Cockram D, Kuczarski RJ, Johnson CL : Stature prediction equations for elderly non-Hispanic white, non-Hispanic black, and Mexican American persons developed from the NHANES III data. *J Am Dietetic Assoc* 1998 ; 98 : 137-42.
- 8 Chumlea WC, Guo SS, Steinbaugh ML : Prediction of stature from knee height for black and white adults and children with application to mobility-impaired or handi capped persons. *J Am Dietetic Assoc* 1994 ; 94 : 1385-8.
- 9 Newton MF, O'Donnell DE, Forkert L : Response of lung volumes to inhaled salbutamol in a large population of patients with severe hyperinflation. *Chest* 2002 ; 121 : 1042-50.
- 10 Akesson U, Dahlstrom JA, Wollmer P : Changes in transfer factor of the lung in response to bronchodilatation. *Clin Physiol* 2000 ; 20 : 14-8.
- 11 Botman MJ, de Krieger RA : Contamination of small volume medication nebulizers and its association with oropharyngeal colonization. *J Hosp Infect* 1987 ; 10 : 204-8.
- 12 Dautzenberg B. Prevention of nosocomial infection during nebulization and spirometry. *Rev Pneumol Clin* 2001 ; 57 : 91-8.
- 13 Tabalan OC, Williams WW, Martone WJ : Infection control in pulmonary function laboratories. *Infect Control* 1985 ; 6 : 442-4.
- 14 Denison DM, Cramer DS, Hanson PJV : Lung function testing and AIDS. *Respir Med* 1989 ; 83 : 133-8.
- 15 Johns DP, Ingram C, Booth H, Williams TJ, Walters EH : Effect of a microaerosol barrier filter on the measurement of lung function. *Chest* 1995 ; 107 : 1045-8.
- 16 Fuso L, Accardo D, Bevigiani G, Ferrante E, Della Corte A, Pistelli R : Effects of a filter at the mouth on pulmonary function tests. *Eur Respir J* 1995 ; 8 : 314-7.
- 17 Side EA, Harrington G, Thien F, Walters EH, Johns DP : A cost-analysis of two approaches to infection control in a lung function laboratory. *Aust N Z J Med* 1999 ; 29 : 9-14.
- 18 Pierce RJ : Infection control in the respiratory laboratory: risk, costs, expediency. *Aust N Z J Med* 1999 ; 29 : 3-4.
- 19 Leeming JP, Kendrick AH, Pryce-Roberts D, Smith D, Smith EC : Use of filters for the control of cross-infection during pulmonary function testing. *J Hosp Infect* 1993 ; 23 : 245-6.
- 20 Leeming JP, Pryce-Roberts DM, Kendrick AH, Smith EC : The efficacy of filters used in respiratory function apparatus. *J Hosp Infect* 1995 ; 31 : 205-10.
- 21 Kendrick AH, Milkins C, Smith EC, Leeming J, Benbough JE : Assessment of spiroguard and vitalograph bacterial filters for use with lung function equipment. *Am J Respir Crit Care Med* 1998 ; 157 : A58.
- 22 Kirk YL, Kenday K, Ashworth HA, Hunter PR : Laboratory evaluation of a filter for the control of cross-infection during pulmonary function testing. *J Hosp Infect* 1992 ; 20 : 193-8.
- 23 Rutala DR, Rutala WA, Weber DJ, Thomann CA : Infection risks associated with spirometry. *Infect Control Hosp Epidemiol* 1991 ; 12 : 89-92.
- 24 Hazaleus RE, Cole J, Berdischewsk M : Tuberculin skin test conversion from exposure to contaminated pulmonary function testing apparatus. *Respir Care* 1981 ; 26 : 53-5.
- 25 Isles A, Maclusky I, Corey M, Gold R, Prober C, Fleming P, Levison H : *Pseudomonas cepacia* in cystic fibrosis: an emerging problem. *J Pediatr* 1984 ; 104 : 206-10.
- 26 Burgos F, Torres A, Gonzalez J, Puig de la Bellacasa J, Rodriguez-Roisin R, Roca J : Bacterial colonization as apotential source of nosocomial respiratory infections in two types of spirometer. *Eur Respir J* 1996 ; 9 : 2612-7.
- 27 Du Moulin GC, Stottmeier KD, Pelletier PA, Tsang AY, Hedley-White J : Concentration of *Mycobacterium avium* by hospital hot water systems. *JAMA* 1988 ; 260 : 1599-1601.
- 28 von Reyn CF, Waddell RD, Eaton T, Arbeit RD, Maslow JN, Barber TW, Brindle RJ, Gilks CF, Lumio J, Lahdevirta J : Isolation of *Mycobacterium avium* complex from water in the United States, Finland, Zaire, and Kenya. *J Clin Microbiolol* 1993 ; 31 : 3227-30.
- 29 Eichorn JH, Bancroft ML, Laasberg H, du Moulin GC, Saubermann AJ : Contamination of medical gas and water pipelines in a new hospital building. *Anesthesiology* 1977 ; 46 : 286-9.
- 30 Gardner RM, Clausen JL, Epler G, Hankinson JL, Permutt S, Plummer AL : Pulmonary function laboratory personnel qualifications. *Am Rev Respir Dis* 1986 ; 134 : 623-4.
- 31 American Thoracic Society. ATS respiratory care committee position paper: director of pulmonary function laboratory. *ATS News* 1978 ; 4 : 6.
- 32 Enright PL, Johnson LR, Connett JE, Voelker H, Buist AS : Spirometry in the Lung Health Study: 1. Methods and quality control. *Am Rev Respir Dis* 1991 ; 143 : 1215-23.
- 33 Hankinson JL, Bang KM : Acceptability and reproducibility criteria of the American Thoracic Society as observed in a sample of general population. *Am Rev Respir Dis* 1991 ; 143 : 516-21.
- 34 Hankinson JL, Odencrantz JR, Fedan KB : Spirometry reference values from a sample of the general U.S population. *Am J Respir Crit Care Med* 1999 ; 159 : 179-87.
- 35 Townsend MC : ACCOEM position statement. Spirometry in the occupational setting. American College of Occupational and Environmental Medicine. *J Occup Environ Med* 2000 ; 42 : 228-45.

- 36 Clausen JL, Coates AL, Quanjer PH : Measurement of lung volumes in humans: review and recommendations from an ATS/ERS workshop. *Eur Respir J* 1997; 10: 1205-6.
- 37 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 ; 10 : S2-S8.
- 38 Quanjer PH, Sly PD, Stocks J : Respiratory function measurements in infants: symbols, abbreviations and units. *Eur Respir J* 1995 ; 8 : 1039-56.
- 39 Stocks J, Quanjer PH : Reference values for residual volume, functional residual capacity and total lung capacity. ATS Workshop on Lung Volume Measurements. Official Statement of The European Respiratory Society. *Eur Respir J* 1995 ; 8 : 492-506.
- 40 Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, Fabbri LM, Matthys H, Pedersen OF, Peslin R, Roca J, Sterk PJ, Ulmer WT : Symbols, abbreviations and units. Working Part Standardization of Lung Function Tests, European Community for Steel and Coal. *Eur Respir J* 1993 ; 6 : S85-S100.
- 41 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 ; 6 : S5-S40.
- 42 Cotes JE, Chinn DJ, Quanjer PH, Roca J, Yernault JC : Standardization of the measurement of transfer factor(diffusing capacity). 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 ; 6 : S41-S52.
- 43 American Thoracic Society : Lung function testing: selection of reference values and interpretative strategies. *Am Rev Respir Dis* 1991 ; 144 : 1202-18.
- 44 Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, Crapo RO, Burgos F, Casaburi R, Coates A, van der Grinten CP, Gustafsson P, Hankinson J, Jensen R, Johnson DC, MacIntyre N, McKay R, Miller MR, Navajas D, Pedersen OF, Wanger J : Interpretative strategies for lung function tests. *Eur Respir J* 2005 ; 26 : 948-68.
-