



**NORMES DE QUALITE, INDICATIONS ET STANDARDISATION  
DES EPREUVES FONCTIONNELLES RESPIRATOIRES**

**DOCUMENT DE CONSENSUS DE LA SOCIETE BELGE  
DE PNEUMOLOGIE**

Projet rédigé par le Groupe de Travail "Fonction respiratoire" de la Société Belge de Pneumologie, et adapté selon les commentaires des différents GLEM de Pneumologie

imprimé avec le soutien de



## INTRODUCTION

### Première partie : NORMES DE QUALITE

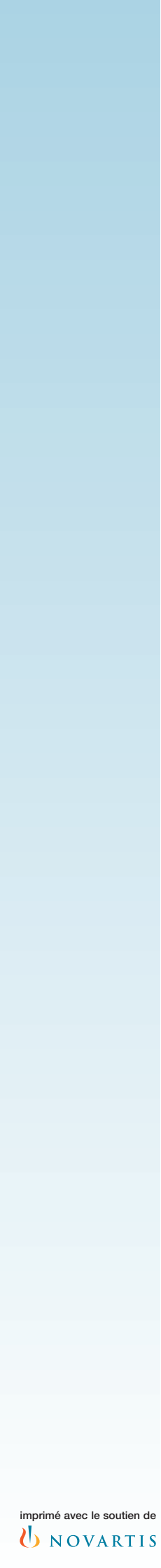
- Chapitre 1 : Définitions, terminologie et abréviations 6
- Chapitre 2 : Valeurs de référence 9
- Chapitre 3 : Réalisation des tests fonctionnels respiratoires : généralités 15
- Chapitre 4 : Organisation et fonctionnement d'un laboratoire de fonction respiratoire 16
- Chapitre 5 : Choix de l'appareillage et informatisation 21

### Deuxième partie : INDICATIONS POUR LES EPREUVES FONCTIONNELLES RESPIRATOIRES

- 1. Introduction 24
- 2. Commentaires des tables 24
- 3. Tables: gradation des épreuves fonctionnelles respiratoires 28

### Troisième partie : STANDARDISATION

- Chapitre 1 : Spirométrie, mesure des volumes et des débits 34
- Chapitre 2 : Volumes pulmonaires statiques 37
- Chapitre 3 : La résistance au débit d'air 43
- Chapitre 4 : Réponse bronchodilatatrice 48
- Chapitre 5 : Tests de bronchoconstriction : mesure de l'hyperréactivité bronchique non-spécifique 50
- Chapitre 6 : Facteur de transfert (TL,CO) ou capacité de diffusion (DL,CO) 56
- Chapitre 7 : L'épreuve d'effort en pneumologie 59
- Chapitre 8 : Mesure des pressions maximales à la bouche 67
- Chapitre 9 : Analyse des gaz sanguins 68
- Chapitre 10 : Références 74



# *Introduction*

## Introduction

La Société Belge de Pneumologie a jugé utile de rédiger des directives claires traitant des normes de qualité, des indications et des aspects techniques essentiels des examens fonctionnels respiratoires les plus habituellement utilisés en clinique, et ceci à l'intention des pneumologues praticiens, des pneumologues en formation et des techniciens de fonction respiratoire.

Les objectifs de ce document sont :

1. d'obtenir une uniformisation des procédures fonctionnelles respiratoires dans tout le pays, de recommander les valeurs de référence disponibles les plus adaptées et de promouvoir l'organisation et les aspects de sécurité des laboratoires d'explorations fonctionnelles respiratoires,
2. de préciser les indications des tests fonctionnels respiratoires disponibles par affection ou anomalie et,
3. de standardiser en détails la réalisation pratique des différents tests fonctionnels respiratoires courants.

En outre, nous avons le projet commun avec les pneumologues pédiatriques d'une quatrième partie qui traitera des aspects spécifiques de l'examen fonctionnel respiratoire des nourrissons, des enfants et des adolescents.

Nous espérons, grâce à ce document, promouvoir la qualité des examens fonctionnels respiratoires et optimiser la communication des résultats entre les différents laboratoires.

Afin d'accroître la lisibilité de ce document, on n'a recouru qu'aux bases physiopathologiques indispensables des recommandations ou directives. Pour les lecteurs intéressés, nous faisons référence à des traités spécifiques et aux documents édités par l'European Respiratory Society (ERS), la Société de Pneumologie de Langue Française (SPLF) et l'American Thoracic Society (ATS), l'objectif étant justement d'encourager la consultation de ces publications.

En vue de l'approbation de ce document par l'ensemble des pneumologues du pays, nous avons fait circuler la première version du document, en vue d'une discussion dans les différents GLEM. Sur base de leurs commentaires, une version finale a été rédigée.

Le Groupe de Travail espère que ce document sera appliqué dans les différents laboratoires de fonction respiratoire.

Il est néanmoins évident que ce document sur les normes de qualités, indications et standardisation des épreuves fonctionnelles respiratoires tient compte en large partie de l'évolution de la médecine et des possibilités d'implémentation dans le système de santé dans notre pays. Dans le futur on peut donc s'attendre à des adaptations de ce texte.

Au nom du Groupe de travail "Fonction respiratoire" de la Société Belge de Pneumologie, le 27 novembre 2001.

Noyau central du groupe : Prof. M. Demedts (président), Prof. E. Derom (rapporteur),  
Prof. L. Delaunois (traducteur), Prof. R. Sergysels, Prof. M. Decramer

Autres membres : Prof. P. Bartsch, Dr. D. Coolen, Prof. I. Dab, Prof. P. De Vuyst, Dr. P. Dubois,  
Dr. P. Jadoul, Prof. D. Stanescu, Dr. J. Thiriaux, Dr. D. Van Renterghem,  
Prof. P. Vermeire, Prof. W. Vincken.

# **Première partie :** **NORMES DE QUALITE**

## Chapitre 1 : Définitions, terminologie et abréviations

La multiplicité des abréviations utilisées pour les rapports cliniques de fonction respiratoire, associée à la traduction de certains termes, peut conduire à une certaine confusion. Le Groupe de travail propose d'utiliser, dans la mesure du possible, les abréviations, symboles et unités tels qu'ils sont repris dans la Table 1-1 ci-jointe.

Ces données sont surtout basées sur les recommandations de l'ERS.

L'utilisation d'unités différentes peut aussi induire des erreurs dans l'interprétation des résultats. En Europe, les unités internationales SI ont été adoptées. La Table 1-2 donne les facteurs de conversion d'un certain nombre d'unités de fonction respiratoire.

**Table 1-1: Liste des abréviations et définitions**

Volumés pulmonaires statiques	
VT	Volume courant (en anglais: tidal volume) : quantité de gaz qui est inspirée ou expirée lors d'un cycle respiratoire.
RV (ou VR)	Volume résiduel: quantité de gaz qui reste dans les poumons (et dans les voies aériennes) après une expiration maximale.
FRC (ou CRF)	Capacité résiduelle fonctionnelle: volume pulmonaire après une expiration normale (ERV + RV); la tension élastique passive du poumon et du thorax y sont égales et de signe opposé. La FRC mesurée en pléthysmographie (FRC <sub>plet</sub> ) est souvent plus grande que la FRC mesurée par la technique de dilution d'un gaz (FRC <sub>HE</sub> et/ou FRC <sub>N2</sub> ).
TGV (ou VGT)	Volume de gaz intrathoracique: est mesuré en pléthysmographie corporelle. Est en général mesuré à la fin de l'expiration courante (= FRC <sub>plet</sub> ).
VC (ou CV)	Capacité vitale: on entend en général par ce terme la capacité vitale inspiratoire (IVC), quantité maximale de gaz qui peut être inspirée après une expiration lente et maximale (IRV + VT + ERV). Il faut donc faire la différence avec la FVC (capacité vitale expiratoire forcée) et EVC (capacité vitale expiratoire lente).
TLC (ou CPT)	Capacité pulmonaire totale: volume gazeux total contenu dans les poumons à la fin d'une inspiration maximale (VC + RV).
IC (ou CI)	Capacité inspiratoire: la quantité de gaz maximale qui peut être inspirée après une expiration courante. IC = VT + IRV (volume de réserve inspiratoire).
ERV (ou VRE)	Volume de réserve expiratoire: la quantité de gaz qui peut encore être expirée en plus après une expiration normale.
Volumés pulmonaires dynamiques et les relations volume/temps	
FEV <sub>1</sub> (ou VEMS)	Volume maximum expiré en 1 seconde: quantité maximale de gaz qui peut être expirée au cours de la première seconde après le début d'une expiration forcée consécutive à une inspiration maximale.
MVV <sub>f</sub> (ou VMM)	Ventilation maximale volontaire: quantité maximale de gaz qui peut être inspirée et expirée à une fréquence f. Les mesures sont le plus souvent effectuées à une fréquence respiratoire de 30/minute (MVV <sub>30</sub> ). En l'absence de l'indication "f", la mesure s'effectue en "fréquence libre". On utilise parfois la dénomination, MBC ("maximal breathing capacity").

## Volumes pulmonaires dynamiques et les relations volume/temps

FIV <sub>1</sub> (ou VIMS)	Volume inspiratoire forcé : volume de gaz maximum qui peut être inspiré au cours de la première seconde d'une inspiration forcée qui suit une expiration maximale.
FEF <sub>25-75</sub> (ou DEM <sub>25-75</sub> )	Débit moyen entre 25 % et 75 % de FVC; on parle également de MMEF ("maximal mid expiratory flow"), débit maximal à mi-expiration.

## Courbe débit-volume

PEF (PEFR) (ou DEP)	Débit expiratoire de pointe ("peak expiratory flow rate"): c'est le débit maximal qui est atteint au cours d'une expiration maximale forcée.
MEF <sub>x</sub> (ou DEM <sub>x</sub> )	Débit expiratoire maximal au moment où il reste encore x % de la FVC dans le poumon; MEF <sub>75</sub> signifie donc que 75 % de la FVC peuvent encore être expirés. Les valeurs les plus usuelles sont MEF <sub>75</sub> , MEF <sub>50</sub> et MEF <sub>25</sub> . Parfois on utilise FEF <sub>x</sub> ("forced expired flow") où "x" signifie que x% de la FVC est expiré.
MIF <sub>x</sub> (ou DIM <sub>x</sub> )	Débit inspiratoire maximal au moment où x % de la FVC sont inspirés. On utilise principalement le MIF <sub>50</sub> .

## Relation pression-débit

Raw (ou RVa)	Résistance des voies aériennes = $(P_A - P_{mo})/V'$ , où P <sub>A</sub> = pression alvéolaire; P <sub>mo</sub> = pression à la bouche; V' = débit à la bouche.
SGaw (ou SGVa)	Conductance spécifique = $1/(Raw \times TGV)$ .
Rrs	Résistance du système respiratoire total.
Xrs	Réactance du système respiratoire total.

## Muscles respiratoires

PE <sub>max</sub> (MEP); PI <sub>max</sub> (MIP)	Pressions maximales, ex- et inspiratoire statiques, mesurées à la bouche. La mesure peut être faite à FRC (PE <sub>max</sub> FRC et PI <sub>max</sub> FRC). Par PE <sub>max</sub> TLC et PI <sub>max</sub> RV, on désigne les pressions maximales mesurées au niveau de TLC (expiratoires) et au niveau RV (inspiratoires). PI <sub>max</sub> est parfois désigné sous le terme PI <sub>min</sub> , étant donné qu'il s'agit d'une pression négative. <sup>3</sup>
---	--

## Relations pression-volume

CL <sub>st</sub>	Compliance statique du poumon : mesurée sur la partie de la courbe P-V entre FRC et FRC + 0,5 L.
PL <sub>el</sub> ou Pst,L	Recul élastique du poumon ou force de rétraction : ce sont surtout les valeurs à 100 et 90 % de la TLC qui sont utilisées.

## Gaz du sang et échanges gazeux

PI <sub>O<sub>2</sub></sub> , PA <sub>O<sub>2</sub></sub> , Pa <sub>O<sub>2</sub></sub> , Pc <sub>O<sub>2</sub></sub>	Pressions partielles de l'oxygène inspiratoire, alvéolaire et artériel ou capillaire.
PI <sub>CO<sub>2</sub></sub> , PA <sub>CO<sub>2</sub></sub> , Pa <sub>CO<sub>2</sub></sub> , PET <sub>CO<sub>2</sub></sub>	Pressions partielles du CO <sub>2</sub> inspiratoire, alvéolaire, artériel et en fin d'expiration (ET = "end tidal").



Gaz du sang et Echanges gazeux	
$P_{(A-a),O_2}$	Différence alvéolo-artérielle des pressions partielles de l' $O_2$ .
$T_{L,CO}$ ( $DL_{L,CO}$ )	Facteur de transfert du CO (auparavant appelé capacité de diffusion). La mesure la plus utilisée est la méthode en respiration unique ("single breath"): $T_{L,COsb}$
$T_{L,CO}/VA$ ou $K_{CO}$	Coefficient de transfert du CO (par unité de volume alvéolaire) ou facteur de Krogh. VA est le plus souvent mesuré au cours de la manœuvre d'inspiration unique ( $VA_{sb}$ ), mais l'est parfois après équilibration des gaz ( $VA_{mb}$ ) ou par pléthysmographie ( $VA_{pl}$ ).
$V'O_2$	Prise ou consommation d'oxygène par minute.
$V'CO_2$	Production de dioxyde de carbone par minute.
R	Quotient respiratoire = $V'CO_2 / V'O_2$ , mesuré à la bouche.
BE	Excès de base (exprimé en $mmol.L^{-1}$ ).
BB	Base tampon (exprimée en $mmol.L^{-1}$ )

Autres grandeurs	
$PD_x, PC_x$	Dose, ou concentration, de provocation d'une substance qui induit un changement de x % d'un paramètre fonctionnel respiratoire, le plus souvent $FEV_1$ .

Conditions gazeuses	
ATPS	Mesures effectuées à température ambiante et pression barométrique, avec saturation en vapeur d'eau.
BTPS	Mesures effectuées à la température du corps, à pression barométrique ambiante, saturée en vapeur d'eau.
STPD	Conversion des mesures à température standard ( $0^\circ C$ ) et pression standard (101,2 kPa), et sec.

**Table 1-2 : Unités le plus souvent utilisées dans l'expression des résultats de l'exploration fonctionnelle respiratoire; quelques facteurs de conversion**

Valeur	Symbole	Unité	Facteur de conversion
Résistance	R	$kPa.L^{-1}.s$	10,2 cm H <sub>2</sub> O.L <sup>-1</sup> .s
Conductance	G	$L.kPa^{-1}.s^{-1}$	0,098 cm H <sub>2</sub> O.L.s <sup>-1</sup>
Force	F	N	1 kg.m.s <sup>-2</sup> = 105 dyne = 0,102 Kgf
Pression partielle	P	kPa	10,2 cm H <sub>2</sub> O = 7,50 mmHg = $10^4 \text{ dyn.cm}^{-2} = 10^2 \text{ bar}$
Facteur de transfert	T	$mmol.min^{-1}.kPa^{-1}$ ou $\mu mol.s^{-1}.kPa^{-1}$	2,99 mL.min <sup>-1</sup> .mmHg <sup>-1</sup> ou 0,179 mL.min <sup>-1</sup> .mmHg <sup>-1</sup>

## Chapitre 2 : Valeurs de référence

Les valeurs absolues de la majorité des tests fonctionnels mesurées chez les personnes en bonne santé testées sont déterminées par des variables anthropométriques telles que la taille, l'âge, le sexe, l'origine ethnique et, dans certains cas, le poids.

Sur base d'études de population de vastes groupes de sujets en bonne santé, on a établi empiriquement des valeurs de référence dont sont dérivées des formules et des tables de valeurs normales dans lesquelles sont repris ces paramètres anthropométriques (Tables 2-1 à 2-5). En ce qui concerne l'examen spirométrique, la mesure du volume résiduel et le calcul du facteur de transfert (parfois appelé diffusion)<sup>1</sup>, ce sont les valeurs de référence de la CECA qui sont recommandées en Europe et qui sont reprises par l'ERS : il s'agit en fait de moyennes mathématiques de diverses séries de la littérature qui s'avèrent adéquates pour la valeur moyenne des volumes pulmonaires statiques et dynamiques, mais pas pour le  $T_{L,CO}/V_A$  ou facteur de Krogh. Les valeurs de référence de la CECA présentent des limitations pour la résistance des voies aériennes: aucune valeur précise n'est proposée, mais seulement une limite supérieure de la normale. En ce qui concerne l'évaluation des muscles respiratoires et l'ergospirométrie, aucune valeur de référence n'est rapportée; en ce qui concerne ces mesures, la Société Belge de Pneumologie proposera d'autres valeurs de référence.

De même, pour chaque test fonctionnel respiratoire, on définit les limites de la normalité: dans la plupart des cas, on choisit une valeur de  $\pm 1.64 \times RSD$  (déviatoin standard résiduelle), ce qui signifie que les valeurs correspondent à celles de 90 % de la population examinée. Dans la plupart des appareils automatisés ces limites sont appliquées et les valeurs anormales sont indiquées par un astérisque ou par une autre couleur.

La grandeur en pourcentage de cette variation inter-individuelle "normale" ( $nI.RSD \times 1.64$ ) varie d'un test fonctionnel respiratoire à l'autre.

De la Table 2.5, il paraît évident que c'est une simplification inexacte que de fixer la limite inférieure des valeurs de références par un pourcentage donné: par exemple, on ne peut prendre 80 % comme limite inférieure de la normalité du  $FEV_1$  alors que celle-ci dépend de l'âge, de la taille et du sexe, et elle varie donc entre 85 et 60 %. Pour  $MEF_{50}$ , elle varie entre 65 et 40 %. Pour  $MEF_{25}$ , elle varie même de 55 à 0 %, ce qui signifie que ce test ne distingue pas du tout les sujets sains des malades et que ce serait une erreur que de le considérer comme un test sensible uniquement par le fait que l'on observe souvent des valeurs basses. La limite inférieure de la normale pour TLC varie entre 85 et 75 %, pour RV entre 60 et 75 % et pour le facteur de transfert entre 82 et 67 %.

### Remarques:

1. La distinction entre le normal et l'anormal est par essence artificielle. Ainsi un patient peut avoir un index de fonction respiratoire à la limite inférieure de la dispersion normale (ce qui en soi est encore défini comme normal) alors qu'en fait, elle a évolué d'une valeur de la limite supérieure à une autre à la limite inférieure de la normale. Il peut donc avoir une évolution franchement pathologique alors que sa valeur actuelle est encore normale.
2. La valeur de référence idéale d'un individu est en fait sa "meilleure valeur personnelle", prise dans un état de bonne santé.
3. Les valeurs de référence deviennent moins adéquates aux extrêmes de la taille et de l'âge, en particulier chez les personnes âgées.
4. Les résultats de fonction respiratoire doivent toujours être exprimés en valeur absolue (avec informations sur l'âge, la taille sans souliers, le sexe) ainsi qu'en pourcentage des valeurs prédites. Pour les patients dont la taille axiale ne peut pas être mesurée exactement (amputation des jambes, distorsion par une scoliose), on prend l'envergure des bras divisée par 1,03.

<sup>1</sup> Le terme facteur de transfert est plus adapté que le terme diffusion pour décrire la mesure de l'échange gazeux pulmonaire. Le transport de gaz n'est pas entièrement assumé par la diffusion à travers la membrane alvéolo-capillaire mais aussi par la vitesse de liaison de l'O<sub>2</sub> ou du gaz test (CO) à l'hémoglobine.

**Table 2-1: Valeurs de référence CECA/ERS pour des adultes de sexe masculin, âgés de 18 à 70 ans. Entre 18 et 25 ans, l'âge de 25 ans doit être utilisé dans les calculs. Au-delà de 70 ans, les valeurs sont extrapolées.**

	Unités	Prédiction*	RSD*	90 % CI* RSD x 1,64
TLC	L	$7,99.H - 7,08$	0,70	$\pm 1,15$
RV	L	$1,31.H + 0,022.A - 1,23$	0,41	$\pm 0,67$
FRC	L	$2,34.H + 0,01.A - 1,09$	0,60	$\pm 0,99$
FRC/TLC	%	$43,8 + 0,21.A$	6,74	$\pm 11,1$
RV/TLC	%	$14,0 + 0,39.A$	5,46	$\pm 9,00$
FVC	L	$5,76.H - 0,026.A - 4,34$	0,61	$\pm 1,00$
Tl,co	mmol.min <sup>-1</sup> .kPa <sup>-1</sup>	$11,11.H - 0,066.A - 6,03$	1,41	$\pm 2,32$
Tl,co/VA (ou Kco)	mmol.min <sup>-1</sup> .kPaL <sup>-1</sup>	$0,85 (-0,11.A + 2,433)$ ou Tl,co/TLC	0,12	$\pm 0,19$
Raw	kPa.L <sup>-1</sup> .s	< 0,22 (limite supérieure)		
sGaw	kPa <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup>	> 0,85 (limite inférieure)		
FEV <sub>1</sub>	L	$4,30.H - 0,029.A - 2,49$	0,51	$\pm 0,81$
FEV <sub>1</sub> /VC	%	$-0,18.A + 87,21$	7,17	$\pm 11,8$
MMEF (FEF <sub>25-75</sub> )	L.s <sup>-1</sup>	$1,94.H - 0,043.A + 2,70$	1,04	$\pm 1,71$
PEF	L.s <sup>-1</sup>	$6,14.H - 0,043.A - 0,47$	1,21	$\pm 1,99$
MEF <sub>75%FVC</sub>	L.s <sup>-1</sup>	$5,46.H - 0,029.A - 0,47$	1,71	$\pm 2,81$
MEF <sub>50%FVC</sub>	L.s <sup>-1</sup>	$3,79.H - 0,032.A - 0,35$	1,32	$\pm 2,17$
MEF <sub>25%FVC</sub>	L.s <sup>-1</sup>	$2,61.H - 0,026.A - 1,34$	0,78	$\pm 1,28$

\*: H = taille (en mètres)

A = âge (années)

RSD = déviation standard résiduelle

CI = intervalle de confiance

**Table 2-2 : Valeurs de référence CECA/ERS pour des femmes adultes entre 18 et 70 ans. Entre 18 et 25 ans, l'âge de 25 ans doit être utilisé dans les calculs. Au-delà de 70 ans, les valeurs sont extrapolées.**

	Unités	Prédiction*	RSD*	90 % CI* RSD x 1,64
TLC	L	$6,60.H - 5,79$	0,60	$\pm 0,99$
RV	L	$1,81.H + 0,016.A - 2,00$	0,35	$\pm 0,58$
FRC	L	$2,24.H + 0,001.A - 1,00$	0,50	$\pm 0,82$
FRC/TLC	%	$45,1 + 0,16.A$	5,93	$\pm 9,80$
RV/TLC	%	$19,0 + 0,34.A$	5,83	$\pm 9,60$
FVC	L	$4,43.H - 0,026.A - 2,89$	0,43	$\pm 0,71$
T <sub>L,CO</sub>	mmol.min <sup>-1</sup> .kPa <sup>-1</sup>	$8,18.H - 0,049.A - 2,74$	1,17	$\pm 1,92$
T <sub>L,CO</sub> /VA (ou KCO)	mmol.min <sup>-1</sup> .kPa <sup>-1</sup>	0,85 (-0,004.A + 2,246) ou T <sub>L,CO</sub> /TLC	0,22	$\pm 0,36$
Raw	kPa.L <sup>-1</sup> .s	< 0,22 (limite supérieure)		
sGaw	kPa <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup>	>1,04 (limite inférieure)		
FEV <sub>1</sub>	L	$3,95.H - 0,025.A - 2,60$	0,38	$\pm 0,62$
FEV <sub>1</sub> /VC	%	$-0,19.A + 89,10$	6,51	$\pm 10,7$
MMEF (FEF <sub>25-75</sub> )	L.s <sup>-1</sup>	$1,25.H - 0,034.A + 2,92$	0,85	$\pm 1,40$
PEF	L.s <sup>-1</sup>	$5,50.H - 0,030.A - 1,11$	0,90	$\pm 1,48$
MEF <sub>75%FVC</sub>	L.s <sup>-1</sup>	$3,22.H - 0,025.A - 1,60$	1,35	$\pm 2,22$
MEF <sub>50%FVC</sub>	L.s <sup>-1</sup>	$2,45.H - 0,025.A - 1,16$	1,10	$\pm 1,81$
MEF <sub>25%FVC</sub>	L.s <sup>-1</sup>	$1,05.H - 0,025.A - 1,11$	0,69	$\pm 1,13$

\*: **H** = taille (en mètres) - **A** = âge (années) - **RSD** = déviation standard résiduelle - **CI** = intervalle de confiance

5. Les valeurs de référence de KCO suggérées par la CECA ne sont pas correctes, surestimées d'environ 15 %. On conseille donc, comme dans les Tables 2-1 et 2-3, de diminuer les valeurs de référence de la CECA à 0,85 ou alors, pour chaque individu, de calculer en divisant la valeur théorique de la T<sub>L,CO</sub> par la valeur de référence de la TLC. Dans la 1<sup>ère</sup> méthode, ce qui est préférable, il faut aussi diminuer la RSD à 0,85 de sa valeur. Pour la 2<sup>ème</sup> méthode, on ne peut pas donner de RSD et toute déviation supérieure à 20 % de la norme doit être par principe considérée comme pathologique.

6. Pour évaluer le degré du trouble fonctionnel respiratoire, de multiples instances dans notre pays font appel aux échelles avec pourcentages fixes, ce qui, comme expliqué plus haut, est une simplification exagérée. Néanmoins, pour être complet, en Table 2.6, le schéma présenté est celui qui fut rédigé en 1990 par un Groupe de Travail de la Société Belge de Pneumologie dans le cadre d'une proposition de révision de la Quatrième Partie "Appareil Respiratoire" du Barème Officiel Belge des Invalidités.  
L'interprétation de cette échelle doit néanmoins se faire conformément au texte accompagné.
7. Pour les références de patients d'origine non-caucasienne, on doit multiplier les valeurs attendues de VEMS et de CVF par les facteurs cités à la Table 2-7.

**Table 2-3 : Valeurs de référence de la force maximale des muscles inspiratoires (au niveau RV), expiratoires (au niveau TLC) et pour la V'O<sub>2</sub>max chez des sujets adultes de sexe masculin (Jones, 1985; Rochester et Arora, 1983) proposées par la Société Belge de Pneumologie**

	Unités	Prédiction*	RSD*	90 % CI* RSD x 1,64
V'O <sub>2</sub> max	L.min <sup>-1</sup>	4,6.H - 0,021.A - 0,624.S - 4,31	0,46	± 0,75
P <sub>I</sub> ,max	cmH <sub>2</sub> O	9 - 18 ans : -96 19 - 49 ans : -127 50 - 69 ans : -112 > 70 ans : -76	35 28 20 27	± 57 ± 46 ± 29 ± 39
P <sub>E</sub> ,max	cmH <sub>2</sub> O	9 - 18 ans : 170 19 - 49 ans : 216 50 - 69 ans : 196 > 70 ans : 133	32 45 45 42	± 52 ± 74 ± 74 ± 69

\*: **H** = taille (en mètres) - **A** = âge (années) - **S** = sexe (masculin = 0, féminin = 1) - **RSD** = déviation standard résiduelle - **CI** = intervalle de confiance

**Table 2-4 : Valeurs de référence de la force maximale des muscles inspiratoires (au niveau RV), expiratoires (au niveau TLC) et pour la V'O<sub>2</sub>max chez des sujets adultes de sexe féminin (Jones, 1985; Rochester et Arora, 1983) proposées par la Société Belge de Pneumologie**

	Unités	Prédiction*	RSD*	90 % CI* RSD x 1,64
V'O <sub>2</sub> max	L.min <sup>-1</sup>	4,6.H - 0,021.A - 0,624.S - 4,31	0,46	± 0,75
P <sub>I</sub> ,max	cmH <sub>2</sub> O	9 - 18 ans : -90 19 - 49 ans : -91 50 - 69 ans : -77 > 70 ans : -66	25 25 18 18	± 41 ± 41 ± 29 ± 29
P <sub>E</sub> ,max	cmH <sub>2</sub> O	9 - 18 ans : 136 19 - 49 ans : 138 50 - 69 ans : 124 > 70 ans : 108	34 39 32 28	± 56 ± 64 ± 52 ± 46

\*: **H** = taille (en mètres) - **A** = âge (années) - **S** = sexe (masculin = 0, féminin = 1) - **RSD** = déviation standard résiduelle - **CI** = intervalle de confiance

**Table 2-5 : Exemples de limite inférieure des valeurs normales d'hommes et de femmes, basé sur RSD x 1,64**

	Homme						
	1,64xRSD	25 a		1,85 m	70 a		1,60 m
		Réf.	Limite	% préd.	Réf.	Limite	% préd.
IVC (L)	0,92	5,94	5,02	85	3,15	2,23	71
FVC (L)	1,00	5,67	4,67	82	3,06	2,06	67
FEV <sub>1</sub> (L)	0,84	4,74	3,90	82	2,36	1,52	64
FEV <sub>1</sub> /VC (%)	11,8	83,0	71,2	86	75	63,2	84
PEF (L.s <sup>-1</sup> )	1,99	10,43	8,44	81	6,96	4,97	71
MEF <sub>75%</sub> (L.s <sup>-1</sup> )	2,81	8,91	6,10	68	6,24	3,43	55
MEF <sub>50%</sub> (L.s <sup>-1</sup> )	2,17	5,89	3,72	63	3,54	1,37	39
MEF <sub>25%</sub> (L.s <sup>-1</sup> )	1,28	2,84	1,56	55	1,02	-0,26	0
FEF <sub>25-75</sub> (L.s <sup>-1</sup> )	1,71	5,21	3,50	67	2,79	1,08	39
RV (L)	0,67	1,74	1,07	61	2,41	1,74	72
TLC (L)	1,15	7,70	6,55	85	5,70	4,55	80
RV/TLC (%)	9,0	24	15,0	63	41	32	78
TL,CO (*)	2,32	12,9	10,6	82	7,1	4,78	67

	Femme						
	1,64xRSD	25 a		1,75 m	70 a		1,50 m
		Réf.	Limite	% préd.	Réf.	Limite	% préd.
IVC (L)	0,69	4,23	3,54	84	1,89	1,20	63
FVC (L)	0,71	4,21	3,50	83	1,93	1,22	63
FEV <sub>1</sub> (L)	0,62	3,69	3,07	83	1,58	0,96	61
FEV <sub>1</sub> /VC (%)	10,7	84	73,3	87	76	65,3	86
PEF (L.s <sup>-1</sup> )	1,48	7,77	6,29	81	5,04	3,56	71
MEF <sub>75%</sub> (L.s <sup>-1</sup> )	2,22	6,61	4,39	66	4,68	2,46	53
MEF <sub>50%</sub> (L.s <sup>-1</sup> )	1,81	4,82	3,01	62	3,09	1,28	41
MEF <sub>25%</sub> (L.s <sup>-1</sup> )	1,13	2,32	1,19	51	0,94	-0,19	0
FEF <sub>25-75</sub> (L.s <sup>-1</sup> )	1,40	4,26	2,86	67	2,42	1,02	42
RV (L)	0,58	1,57	0,99	63	1,84	1,26	68
TLC (L)	0,99	5,76	4,77	83	4,11	3,12	76
RV/TLC (%)	9,6	27	17,4	64	43	33,4	78
TL,CO (*)	1,92	10,4	8,48	82	6,1	4,18	69

\* mmol.kpa<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> - **RSD** = déviation standard résiduelle

**Table 2-6 : Troubles fonctionnels pulmonaires et degré d'incapacité physique**

Degré d'incapacité physique (%)*	1-20 léger	21-40 modéré	41-60 prononcé	61-80 grave	81-100 extrême
VEMS %	84-70	69-55	54-45	44-35	<35
CV %	84-70	69-60	59-50	49-40	<40
Tlco %	79-65	64-55	54-45	44-35	<35
PaO <sub>2</sub> mm Hg	74	60	59-55	54-50	<50
V'O <sub>2</sub> max ml/min/kg	24	15	14-11	10-08	<08

\* Pour ces pourcentages il faudrait en effet aussi tenir compte de l'âge (voire table 2-5).

**Table 2-7 : Facteurs de conversion des paramètres spirométriques chez des personnes d'origine non-caucasienne**

Population	FEV <sub>1</sub>	FVC
Chinois de Hong Kong	1,0	1,0
Américains d'origine japonaise	0,89	-
Polynésiens	0,9	0,9
Nord de l'Inde et Pakistan	0,9	0,9
Sud de l'Inde, Afrique	0,87	0,87

## Chapitre 3 : Réalisation des tests fonctionnels respiratoires : généralités

### 3.1. Conditions ATPS, STPD, BTPS et circonstances environnementales

En vue de la standardisation des volumes et des débits mesurés dans un spiromètre, les indices fonctionnels respiratoires sont convertis en BTPS ("body temperature, ambient pressure, saturated with water vapor"), ce qui amène en général une augmentation de 5 à 10 %. D'autres indices fonctionnels respiratoires comme la concentration des gaz ou les "flux de matière" comme la  $V'O_2$  et la  $V'CO_2$  sont réduits en STPD ("standard temperature and pressure, dry"); il faut dès lors préciser si les concentrations de gaz sont mesurées sèches ou saturées d'humidité.

En pneumotachographie, la conversion de la différence de pression dans le transducteur en débit dépend de la viscosité du gaz respiré. Les mesures sont les plus précises lorsque les conditions de l'appareil de mesure sont proches des conditions du volume respiré (BTPS), c'est-à-dire un pneumotachographe chauffé aux environs de 37°C. Il faut dès lors introduire une correction pour le gaz inspiré, à moins que l'on inspire à partir d'un "rebreathing bag", avec de l'air en conditions BTPS, comme il était d'usage dans certains pléthysmographes corporels.

### 3.2. Réalisation des tests fonctionnels respiratoires

Les examens de fonction respiratoire se doivent d'être effectués d'une manière correcte, standardisée et reproductible. Dans ce but, des techniques d'examen soigneuses, des mesures précises (éventuellement répétées) ainsi qu'un traitement correct des données sont d'une très grande importance. Dans ce domaine, des recommandations détaillées ont été publiées et nous y ferons référence dans les paragraphes qui suivent.

### 3.3. Calibration

Une calibration régulière des appareils est indispensable. Il faut en premier lieu, et en fonction de la stabilité de l'appareillage, effectuer plus ou moins fréquemment une calibration *physique* au moyen d'un système de calibration (entre autres pour la mesure des pressions, volumes, débits, concentrations, etc.). Il peut être indiqué d'effectuer périodiquement (entre autres en cas de résultats discordants) une calibration *biologique*, au cours de laquelle la mesure est contrôlée chez des sujets dont les valeurs ont été déterminées antérieurement. Cette calibration biologique est utile pour évaluer un appareil dans le temps, pour contrôler différents appareils et même pour comparer différents laboratoires de fonction pulmonaire. Les données de calibration de chaque appareil doivent être soigneusement notées dans un livre de bord (voir plus loin).



## ● Chapitre 4 : Organisation et fonctionnement d'un laboratoire de fonction respiratoire

### 4.1. La tâche du médecin responsable

#### 4.1.1. La direction du laboratoire de fonction respiratoire

Celle-ci doit être entre les mains d'un pneumologue avec une idée exacte et une large expérience de la physiologie et de la physiopathologie respiratoire de manière à ce que les résultats de laboratoire puissent être évalués en fonction du besoin du patient.

Une expérience concernant les instruments médicaux et l'électronique est souhaitée, tout comme concernant l'utilisation d'un ordinateur et la statistique. Cette personne a la responsabilité de la formation du personnel, de la sécurité et de l'exactitude des procédures d'examen, ainsi que de l'interprétation technique et clinique des résultats. L'assistance d'un technicien cardio-pulmonaire est souhaitée, bien que ce ne soit souvent possible que dans les laboratoires importants.

#### 4.1.2. Présence d'un médecin responsable durant les tests

Un médecin responsable doit avoir une disponibilité suffisante pour pouvoir intervenir en cas de problème ou de complication en cours d'exécution des tests. Il doit également demander parfois des informations complémentaires au médecin référent. Le médecin qui signe le protocole est médicalement responsable de l'exécution du test aussi bien au niveau de la qualité que des complications possibles.

Légalement, un médecin doit être présent pour les tests d'effort et de provocation. (Arrêté Royal du 13-11-1989). Ces principes sont néanmoins interprétés en ce qui concerne les tests de provocation à l'histamine et à la métacholine, où les réglementations établies par l'European Respiratory Society (Eur. Respir. J. 1993; 6, suppl 16: 56) précisent que pour un test à la procédure standardisée, et pour un personnel bien dirigé, le médecin doit être présent dans l'établissement et rapidement disponible en cas de besoin.

Pour votre information, nous vous joignons les règles directives de l'INAMI et des mutualités sur "la présence physique du médecin-prestataire".

De l'Arrêté Royal du 13-11-1989, modifié en 1-1995 peuvent être déduites les règles suivantes :

- Lors des tests fonctionnels comportant des risques, comme les tests d'effort en cardiologie (article 20) et les tests de provocation (articles 11, 14, 20 et 21), le médecin doit être présent près du patient et accomplir la prestation soit seul, soit en collaboration avec des collègues qualifiés dont il dirige les interventions.
- Pour les autres tests fonctionnels pneumologiques, on peut confier la partie de réalisation technique à des aides qualifiés à la condition que le médecin prestataire puisse être présent immédiatement quand c'est nécessaire.
- Le médecin-prestataire doit de plus garantir la qualité des prestations :
  - en donnant à ses collaborateurs les indications nécessaires et en s'assurant de leurs aptitudes réelles par des analyses régulières;

- en donnant des instructions écrites pour toutes les manipulations et techniques, et en vérifiant régulièrement leur exécution;
- fixer les conditions que les demandes d'examens doivent remplir avant qu'elles ne soient réalisées et en contrôler la réalisation;
- faire des contrôles de qualité concernant les techniques, en conserver des échantillons et en vérifier les résultats;
- être présent dans l'établissement et rester disponible pour toute demande d'aide de ses assistants qualifiés en cas de difficulté dans la réalisation d'un test.

## 4.2. Qualifications et formation du personnel

Une formation correcte du responsable et du personnel d'un laboratoire de fonction respiratoire est essentielle. La précision des mesures fonctionnelles respiratoires est déterminée par les connaissances techniques et l'expérience pratique, autant de ceux qui effectuent les tests, que de ceux qui les interpréteront ultérieurement dans un contexte clinique concret.

Au cours de la formation, il faut effectuer des tests une vingtaine de fois pour en posséder la technique, et une cinquantaine de fois pour pouvoir dépister les problèmes et y apporter une solution. Il faut également que l'opérateur soit impliqué dans l'interprétation des résultats. La formation doit se passer sous la supervision d'une personne possédant de l'expérience, tant dans le domaine de la technique que de l'interprétation des résultats. La formation du personnel de laboratoire comporte les aspects spécifiques suivants :

- une connaissance élémentaire des bases physiopathologiques;
- réalisation de tests fonctionnels respiratoires selon les recommandations usuelles, c'est-à-dire la préparation et la calibration des appareils, la préparation et l'information du patient, l'exécution des examens fonctionnels proprement dits, l'appréciation de la valeur de l'exécution et des données fonctionnelles brutes obtenues, le calcul des indices fonctionnels demandés, tant en valeur absolue que par rapport aux valeurs de référence, la préparation du rapport en vue de son interprétation ;
- calibration des instruments de laboratoire selon les instructions d'usage;
- réalisation régulière de contrôles de qualité;
- réalisation d'un entretien préventif (en fonction des besoins: embouts buccaux, tuyauterie, remplacement de l'eau dans un spiromètre classique, remplacement des produits chimiques et des cellules d'analyse, etc.);
- archivage des résultats;
- tenue d'un livre de bord par appareil où les contrôles réalisés, les réglages et les problèmes sont notés.

## 4.3. Manuel d'instructions

Un manuel d'instructions doit être mis à la disposition du personnel et est rédigé spécifiquement pour chaque laboratoire. Le manuel doit contenir ce qui suit :

1. Description générale de chaque appareil, de son utilisation et des mesures d'entretien préventives; date d'achat, contrôles effectués par le fabricant et références de la personne de contact

2. Description des divers tests : indications, précautions, discussion très détaillée de la réalisation des mesures, mention des problèmes techniques possibles et de ceux liés à l'exécution par le patient, surveillance médicale au décours de l'examen, traitement des données, etc.
3. Protocoles de calibration et de contrôles de qualité.
4. Explications détaillées de la manière dont les données sont traitées par le programme informatique, entre autres les valeurs de référence utilisées et d'éventuelles simplifications.
5. Instructions de sécurité, entre autres en cas d'incendie, etc.
6. Valeurs de référence et bibliographie en ce qui concerne les divers aspects mentionnés ci-dessus.
7. Date de mise en service du manuel et de la mise à jour prévue, avec signature du responsable.

#### **4.4 Livre de bord**

Pour chaque appareil, comme mentionné plus haut, on doit tenir un livre de bord dans lequel tous les problèmes importants de mesure, les réglages techniques, les modifications et les procédures d'examens, le renouvellement des réactifs d'analyse de gaz doivent être notés. On doit aussi y signaler les résultats extrêmes inattendus. Par la suite, on notera aussi les changements de personnel, modifications d'horaire ou de type des rendez-vous.

#### **4.5. Mesures de sécurité générales**

1. **Bonbonnes de gaz sous pression.**

Celles-ci ne peuvent pas rester sans surveillance, à moins qu'elles ne soient fixées au moyen de chaînes ou d'autres systèmes de maintien des cylindres. Des étiquettes doivent mentionner la composition exacte des bonbonnes.
2. **Produits chimiques.**

Les acides forts et les solutions alcalines doivent être utilisés sous une hotte aspirante. Une douche aisément accessible et le matériel nécessaire au rinçage des yeux doivent être disponibles à moins de 10 mètres de l'endroit où sont utilisés des produits mordants.
3. **Tests de provocation spécifique avec des substances allergisantes.**

Ceux-ci ne peuvent être pratiqués que dans des locaux spécialement aménagés à cet effet, et de plus, des mesures préventives soigneuses doivent être appliquées de manière permanente afin d'éviter tout contact de ces produits avec d'autres patients ou avec le personnel du laboratoire. Des espaces comportant un risque quelconque doivent être indiqués clairement du côté extérieur des portes d'accès.
4. **Inspections de sécurité.**

Celles-ci sont indiquées périodiquement et doivent être notées dans le journal de bord. Les instructions et les mesures pratiques pour l'évacuation en cas d'incendie, etc., doivent être indiquées en divers endroits clairement visibles. Les procédures de sécurité doivent être adaptées annuellement, et le personnel doit être périodiquement instruit des mesures préconisées.

## 5. La boîte de secours d'urgence.

Elle doit être aisément disponible et périodiquement contrôlée et complétée; toute modification doit être datée. L'appareillage de premier secours pour accident vital doit être disponible dans tous les endroits où sont pratiqués des épreuves d'effort et des tests de provocation; un défibrillateur et un chariot de premiers soins pourvu des médicaments essentiels et du matériel pour le maintien de la liberté des voies aériennes, doivent être disponibles. Le personnel qui est directement en contact avec les patients doit être formé aux manœuvres de ressuscitation cardio-pulmonaire.

## 4.6. Mesures contre la dissémination des infections

### 4.6.1. Généralités

Le risque de contamination des circuits aériens des appareils fonctionnels respiratoires par des micro-organismes est très faible, en partie à cause du temps de contact très court avec la personne examinée. Les mesures proposées doivent donc être considérées comme des recommandations. La transmission d'infections (dont la tuberculose, la varicelle, les rhinovirus, les bactéries multirésistantes) par ce type d'appareillage est théoriquement possible et pourrait être dangereuse chez les patients immunodéprimés. La transmission du virus HIV et du virus de l'hépatite B par l'appareillage fonctionnel respiratoire doit être considérée comme extrêmement peu probable. Des mesures préventives spécifiques contre la contamination par HIV et HBV ne sont donc pas nécessaires, mais la prudence s'impose en ce qui concerne les agents pathogènes pour le poumon, comme la tuberculose. D'une manière générale, on veillera à s'équiper d'un appareillage dont le démontage est aisé, de manière à ce que, entre l'examen des patients, il puisse être bien nettoyé et désinfecté. Les vannes respiratoires doivent être montées de telle manière qu'il ne puisse pas y avoir d'accumulation de salive dans le système. Une autre solution est d'utiliser du matériel disponible, ou de prévoir des filtres bactériens aux endroits ad hoc. Dans ce dernier cas, la résistance des filtres doit être inférieure à 0,15 kPa.L<sup>-1</sup>.s (ou 1,5 cmH<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup>.s); en cas de besoin, on tiendra compte de l'impact de cette résistance et de l'augmentation de l'espace mort sur le résultat de la mesure (Clausen, 1997).

### 4.6.2. Mesures spécifiques contre la dissémination des infections

#### a. Routine

Appareillage fonctionnel respiratoire :

- embout buccal : un par patient; si le matériel n'est pas d'usage unique, il doit être rincé et désinfecté après chaque malade
- valve respiratoire : sera nettoyée après chaque patient
- la tuyauterie : doit être changée à la fin de la journée, nettoyée
- intérieur de l'appareillage de fonction respiratoire : doit être nettoyé chaque semaine.

Personnel :

- l'usage des gants est recommandé : - lors de la manipulation des embouts buccaux et du nettoyage des valves respiratoires et de la tuyauterie  
- lors des ponctions artérielles et pour travailler avec l'appareillage d'analyse des gaz du sang

- se laver les mains avant chaque nouveau patient
- annuellement :
  - test tuberculinique
  - examen sérologique pour l'hépatite
  - vaccination contre l'hépatite B si indiqué.

Remarques:

1. L'utilisation de filtres bactériens est conseillée
2. L'utilisation de désinfectant chloré est déconseillée vu le risque de bronchospasmes chez des patients présentant une hyperexcitabilité bronchique
3. En cas de contamination visible par des expectorations ou du sang, les valves et robinets seront immergés dans l'alcool à 70°.

#### **b. Mesures spécifiques chez des patients infectés**

L'indication clinique impérieuse de l'examen fonctionnel respiratoire, doit être mise en balance avec le risque potentiel de la transmission de l'infection.

- Expectoration purulente : mucoviscidose, bronchiectasies
  - l'exploration fonctionnelle respiratoire sera effectuée en fin de journée (le dernier)
  - filtre bactérien
- Tuberculose :
  - l'exploration fonctionnelle respiratoire sera effectuée en fin de journée (le dernier)
  - filtre bactérien
- HIV sans complications pulmonaires, ou hépatite B :
  - pas de mesures particulières pour l'exploration fonctionnelle respiratoire
  - utilisation de gants pour l'analyse des gaz du sang
- HIV avec complications pulmonaires (sécrétions sanguinolentes) :
  - exploration fonctionnelle respiratoire :
    - filtre bactérien
    - nettoyage avec de l'éthanol à 70 % ou du glutaraldehyde, à 80°C pendant 10 minutes
    - pour le personnel: utilisation des gants
  - gaz du sang : utilisation des gants.

#### **c. Mesures spéciales chez les patients immunocompromis**

- Appareillage de fonction respiratoire :
  - filtre bactérien
  - première mesure de la journée
- Personnel :
  - doit se laver les mains
  - utilisation des gants
  - changement de blouse de travail.

## Chapitre 5 : Choix de l'appareillage et informatisation

Le choix d'un appareillage optimal, tant en ce qui concerne le "hardware" que le "software", est extrêmement important. Il faut écarter tout appareillage qui ne correspond pas aux normes internationales ou à des exigences minimales, ainsi que les appareils qui n'ont été testés que chez des volontaires sains. Les critères qui doivent guider le choix lors de l'achat ou du renouvellement d'une installation se trouvent dans les recommandations publiées par l'ERS et l'ATS.

Les avantages de l'informatisation sont entre autres le gain de temps, la diminution des erreurs humaines, une réduction de l'espace d'enregistrement des résultats et un accès aisé aux données antérieures.

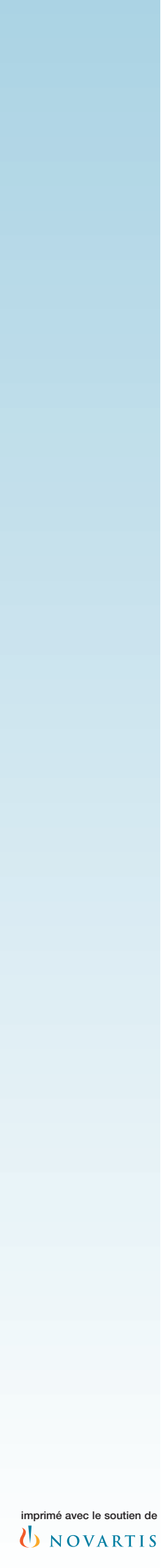
Les désavantages en sont les limitations de flexibilité des procédures de tests ou des rapports, le fait aussi que cette technicité compliquée transforme les méthodes d'analyse en une "boîte noire", et enfin les coûts d'installation élevés.

L'automatisation croissante des laboratoires de fonction respiratoire, par laquelle les données des patients, mesurées sur différents appareils, sont centralisées dans une mémoire électronique centrale et traitées à ce niveau, comporte des risques supplémentaires, entre autres parce que le système informatique central impose des exigences et des limitations aux appareils de mesure. Il est dès lors très important d'effectuer régulièrement des contrôles de qualité sur les données recueillies et de vérifier l'exactitude des traitements effectués par le système informatique.

Le fabricant doit mettre à disposition des "flow-charts" détaillés ou toute description équivalente de la programmation informatique. Les adaptations des programmes informatiques doivent être détaillées dans le journal de bord et datées. Toutes défaillances du "soft-" et du "hardware" doivent également être notées dans le journal de bord.

Toutes les données fonctionnelles pulmonaires doivent être gardées 10 ans. Le plus compact des archivages est sur disque dur ou CD, à condition que la possibilité existe de les imprimer aussi bien en valeurs chiffrées qu'en graphiques.

Une copie de toutes les données mémorisées dans l'ordinateur doit être précieusement conservée, sous peine de perdre une grande quantité d'informations en cas de défektivité.



**Deuxième partie :**  
**INDICATIONS POUR LES**  
**EPREUVES FONCTIONNELLES**  
**RESPIRATOIRES**



## I. Introduction

Les épreuves fonctionnelles respiratoires sont demandées :

- Pour les affections dont l'hypothèse de travail et le diagnostic est soit à confirmer ou à exclure ainsi que pour leur suivi (évaluation du traitement, complication) : *asthme, bronchopneumopathies chroniques obstructives (BPCO), maladies interstitielles, atteinte des voies aériennes supérieures, etc.*
- Pour la mise au point ou l'évaluation de :  
*maladies de système, affections neuro-musculaires et pathologies de la paroi thoracique, hypertension pulmonaire primaire et secondaire (décompensation cardiaque droite et cardiomyopathie), insuffisance respiratoire, syndrome d'apnée du sommeil (SAS), hypoventilation, hyperventilation, dyspnée, et autres symptômes respiratoires (toux, etc).*
- dans le contexte :  
*d'une mise au point pré-opératoire (surtout si l'intervention est lourde et le sujet âgé), d'une résection pulmonaire, d'une radiothérapie sur le thorax, d'une prise de médicaments connus pour leur toxicité pulmonaire (p.ex. chimiothérapie, bêtabloquants), d'une évaluation de l'invalidité, du screening (p.e. chez des fumeurs, des expositions professionnelles, etc.).*

La fréquence des demandes d'épreuves fonctionnelles respiratoires varie en fonction du patient. Ci-après, nous proposons des directives générales qui ne sont cependant pas absolues ou obligatoires. Schématiquement, nous établissons une distinction entre 3 catégories: examens systématiques lors de chaque contact, examens sur indication (p.ex. lors d'exacerbation, changement de traitement, etc.), et examens à indications exceptionnelles (voir plus loin au 2).

## II. Commentaires des tables

Les épreuves fonctionnelles respiratoires (EFR) peuvent fournir au clinicien des renseignements importants. Les résultats des différents examens sont complémentaires. Un examen anormal peut être renforcé par un deuxième, voire un troisième résultat anormal. C'est ainsi que par exemple une augmentation des résistances des voies aériennes ou une hyperdistension peuvent aider à considérer comme anormal une réduction du VEMS ou du rapport de Tiffeneau, en particulier chez un patient peu coopérant.

### A. Gradation des épreuves fonctionnelles respiratoires chez diverses plaintes respiratoires et/ou pathologies respiratoires

Les tables comportent pour chacun des tests, soit le sigle "S", "U" ou "I".

Par "S" (EFR à réaliser systématiquement), on entend un examen qui apportera au clinicien une information importante ou même essentielle sur le plan diagnostique ou thérapeutique. Cela ne signifie pas que l'examen doit nécessairement être effectué dans ces circonstances. Par "U" on entend que l'examen est utile et donc est recommandé. Par "I" (sur indication), on entend un examen qui ne doit pas être réalisé chez tous les patients, mais est justifié en cas de contexte clinique approprié (par exemple en cas de plainte inhabituelle, pour l'évaluation d'un nouveau traitement, une évolution clinique inhabituelle, la nécessité d'établir ou d'écarter un diagnostic complémentaire, etc.).

L'absence de sigle signifie que le test fonctionnel n'apportera probablement aucune information clinique utile et ne doit être demandé qu'à titre exceptionnel.

Pour bien évaluer un patient se plaignant de dyspnée, les examens fonctionnels respiratoires suivants sont nécessaires: mesure des volumes pulmonaires statiques et dynamiques (CV et VEMS), détermination du volume résiduel (VR) et de la capacité pulmonaire totale (CPT), mesure des résistances des voies aériennes (RVA) et facteur de transfert (TL,CO; capacité de diffusion, DL,CO). Bien que les éléments d'anamnèse et l'examen clinique puissent assez souvent amener à un diagnostic, les EFR reprises plus haut aideront à détecter ou à exclure une pathologie associée. Bien évidemment, en absence de données anamnestiques et cliniques évidentes, les EFR devraient être pratiquées chez tout patient se plaignant de dyspnée.

En cas de normalité des EFR de base, la suite de la mise au point devra s'orienter vers des épreuves fonctionnelles respiratoires plus spécialisées ou bien vers une évaluation cardiaque (ECG, échocardiographie), biologique (hématocrite, tests thyroïdiens, etc) et par imagerie (CT scan, scan de perfusion).

### **B. Epreuves fonctionnelles respiratoires: examens de routine**

La mesure des **volumes dynamique (VEMS) et statique (CV)** fournit des renseignements importants sur la mécanique pulmonaire, du thorax et des voies aériennes. Ces volumes sont déterminés par l'élasticité de la paroi du poumon et du thorax, par la résistance des voies aériennes, le concept "point d'égalité pression", par la compression des segments proximaux et dans une moindre mesure par la force du muscle respiratoire. La mesure du VEMS et de la CV peut être facilement obtenue et reproduite et est en fait un des examens de routine les plus couramment réalisés. Elle fournit par exemple des renseignements utiles sur le degré de " limitation " et sur l'effet de bronchodilatation ou de bronchoconstriction. Bien que le rapport de Tiffeneau permette de préciser une obstruction des voies aériennes [avec la nécessité de préciser quelle CV (in- ou expirée, lente ou forcée) a été utilisée], il est nécessaire également de réaliser une mesure du VR et de la CPT pour pouvoir différencier la pathologie pulmonaire en syndrome obstructif, restrictif ou mixte.

La mesure du VEMS est par exemple indiquée en cas d'accroissement de la dyspnée chez un patient à pathologie pulmonaire.

Des examens spirométriques répétés permettent d'optimiser le traitement des patients asthmatiques (une spirométrie normale est un des objectifs du traitement) et d'évaluer la réponse au traitement en cours chez les patients souffrant de bronchopathie chronique obstructive ou restrictive.

Il est utile du point de vue diagnostique et thérapeutique de pratiquer un **test de bronchodilatation** chez des patients avec une bronchopneumopathie obstructive. Ce test permet par exemple de différencier l'asthme de la BPCO pour autant qu'on exprime l'accroissement du VEMS en % de la valeur prédite. Un accroissement d'au moins 12% de la valeur prédite est considéré comme significatif. De plus, le test de bronchodilatation permet d'évaluer la réponse à une thérapie de bronchodilatation ou de dépister l'existence d'une cortico-résistance. Le suivi du VEMS peut être utile pour évaluer le déclin annuel du VEMS chez des patients BPCO. Dans certaines circonstances, il peut être utile d'évaluer l'effet du bronchodilatateur sur le degré d'hyperinflation (CRF) ou sur la résistance des voies aériennes.

Une **courbe débit-volume** pendant une inspiration et expiration forcée fournit des renseignements additionnels importants, notamment en ce qui concerne la bonne exécution de la manœuvre, l'existence d'une obstruction des voies aériennes centrales supérieures, la cause de la diminution du VEMS (obstructif vs restrictif) ou la nature de l'atteinte obstructive (asthme vs emphysème). La courbe débit-volume permet aussi de comparer les valeurs obtenues avec celles obtenues par l'appareil portable pour mesurer le débit de pointe.

La mesure du **volume résiduel (VR)** ainsi que de la **capacité pulmonaire totale (CPT)** est nécessaire pour certifier l'existence d'une atteinte restrictive ou d'une hyperinflation. On utilise pour cela la technique de dilution à l'hélium, ou le rinçage à l'azote ou la pléthysmographie. Chez des personnes saines, la concordance entre ces techniques est excellente. Des mesures répétées permettent par exemple de diagnostiquer et de suivre le degré de restriction chez des patients atteints de pathologie interstitielle. Un accroissement du VR mesuré au moyen d'un pléthysmographe suggère l'existence d'une obstruction bronchique importante (asthme et BPCO), avec des inégalités de distribution de la ventilation (emphysème pulmonaire). L'existence d'une différence entre les valeurs obtenues par la technique de dilution ou de rinçage et par pléthysmographie renforce l'idée d'emphysème pulmonaire (pathologies bulleuses) chez ces patients. La mesure du VR permet éventuellement de corroborer la plainte "dyspnée" d'un patient. L'accroissement de la CRF peut également suggérer une exacerbation de la maladie obstructive, tandis qu'une réduction de la CRF plaide plutôt pour une pathologie sous-jacente (p. ex. décompensation cardiaque).

La mesure du **facteur de transfert ( $T_{L,CO}$ )** ou **capacité de diffusion ( $DL_{CO}$ )** par la technique de l'apnée sert à mesurer l'échange de gaz au niveau des alvéoles. La capacité de transfert du CO dépend de la superficie de la membrane alvéolo-capillaire, du débit dans les capillaires pulmonaires, la teneur en Hb et CO du sang, et du temps de contact et des changements structurels au niveau de la membrane alvéolo-capillaire. C'est ainsi que, chez des patients BPCO, le facteur de transfert peut évaluer le degré d'emphysème. D'autre part, une diminution du coefficient de transfert, en absence d'atteinte obstructive ou restrictive, suggère en premier lieu une pathologie au niveau de la vascularisation du poumon.

Une réduction de la  $T_{L,CO}$  de 50% ou plus induit quasi toujours une diminution de la capacité d'effort et une hypoxémie.

Des mesures répétées du facteur de transfert peuvent être utiles, par ex. dans le suivi et le traitement des maladies interstitielles ainsi que dans le suivi des patients traités par médication potentiellement toxique pour le poumon (p.e. chimiothérapie, méthotrexate, etc.).

Le coefficient de transfert ( $T_{L,CO}/VA$ ) a moins d'importance que le  $T_{L,CO}$  dans des anomalies restrictives (voir troisième partie).

Les renseignements obtenus par la mesure de la **résistance des voies aériennes ( $R_{aw}$ )** et de la conductance spécifique ( $sGaw$ ) diffèrent grandement de la détermination du VEMS. Les résistances des voies aériennes se mesurent pendant la respiration calme et permettent aisément de détecter une obstruction des voies aériennes supérieures. Les modifications de chacune de ces deux variables varient en fonction de la pathologie. Si une légère diminution du VEMS ne s'accompagne que d'une légère augmentation de la résistance des voies aériennes, il faut penser plutôt à une fibrose pulmonaire ou à de l'emphysème, alors qu'une augmentation significative de la résistance des voies aériennes suggère plutôt une obstruction des voies aériennes supérieures ou de l'asthme. La mesure de la résistance des voies aériennes présente comme avantage complémentaire qu'elle ne dépend que peu de la bonne collaboration du patient mais a comme inconvénient une grande dispersion des valeurs normales. Il est souhaitable de corriger pour le volume pulmonaire (CRF ou VGT) auquel les résistances ont été mesurées en usant  $sGaw$ .

L'analyse des **gaz du sang artériel** ( $P_{aO_2}$ ,  $P_{aCO_2}$ , pH) permet de confirmer ou d'exclure une insuffisance respiratoire. Cet examen est par exemple indiqué chez des patients avec atteinte restrictive ou obstructive, qui présentent une saturation < 92% ou une diminution importante de la fonction pulmonaire (p.ex. VEMS < 60%, CV < 60%,  $T_{L,CO}$  < 50%).

Une analyse du sang artériel est également recommandée pour toute modification anamnestique, clinique ou fonctionnelle suggérant une hypertension pulmonaire, une décompensation cardiaque droite mais aussi toute exacerbation importante d'une atteinte obstructive ou restrictive. La mesure des gaz du sang pendant l'effort est un autre moyen pour évaluer la sévérité fonctionnelle d'affections respiratoires telles les maladies interstitielles, BPCO etc.

**L'oxymétrie d'oreille ou de doigt**, quoique moins précise que la mesure des gaz du sang, permet d'évaluer la  $S_{a,O_2}$  "on line" et permet d'évaluer la désaturation nocturne ou pendant l'effort

### C. Epreuves fonctionnelles respiratoires: examens spécialisés

Chez les patients asthmatiques, les **tests de provocation (histamine, méthacholine)** sont très sensibles pour démontrer une hyperréactivité bronchique. Ces tests peuvent par conséquent être pratiqués en première instance pour préciser ou exclure avec plus de certitude le diagnostic d'asthme étant donné qu'il existe un nombre très restreint de patients asthmatiques présentant un test de provocation négatif. Il n'est pas rare que chez des patients asthmatiques, le degré d'hyperréactivité soit proportionnel à la sévérité de l'atteinte et au traitement de fond. Par contre, le suivi de la valeur de la  $PD_{20}$  et  $PC_{20}$  au cours du temps n'a pas démontré son utilité dans l'asthme.

Occasionnellement, un **test de provocation à l'effort** peut s'avérer utile.

Un **test de provocation spécifique** peut s'avérer utile dans le développement d'une alvéolite allergique extrinsèque ou pour documenter les effets de substances toxiques sur la bronchomotricité ou sur les échanges gazeux.

Un **test d'hyperventilation (test d'hypocapnie)**, complété par un questionnaire de Nijmegen, peut contribuer à l'établissement d'un diagnostic de syndrome d'hyperventilation.

La mesure de la **compliance statique** peut contribuer au diagnostic précoce d'emphysème ou de fibrose pulmonaire, même si l'imagerie peut paraître une alternative équivalente. La détermination de la pression de rétraction à la CPT peut par ailleurs être utile dans le contexte de syndrome restrictif (différenciation entre atteinte interstitielle et dysfonctionnement des muscles respiratoires).

La **mesure de la force musculaire respiratoire** permet de détecter une faiblesse musculaire. Le test dépend en grande mesure de la collaboration du patient. La détermination du  $PI_{max}$  (MIP) et du  $PE_{max}$  (MEP) est par exemple utile, dans le contexte d'atteintes neuromusculaires (atteinte des muscles respiratoires), pour évaluer des plaintes de dyspnée qui ne sont pas explicitées par des altérations fonctionnelles respiratoires, chez des patients sous corticostéroïdes et dans le cadre d'un programme de révalidation respiratoire. Les données obtenues doivent parfois être complétées par d'autres examens, comme la CV en position couchée/assise, un EMG, etc.

Un **test à l'effort** permet de déterminer les facteurs limitant l'effort. Cet examen est par exemple indiqué chez des patients dont la dyspnée ne peut être corrélée aux épreuves fonctionnelles respiratoires, dans le contexte d'un bilan préopératoire (décision de chirurgie du poumon chez un patient avec fonction pulmonaire compromise), d'une atteinte interstitielle (avec mesure de la saturation ou du gradient A-a pour l' $O_2$ ) ou d'une expertise. Chez des patients qui suivent un programme de révalidation ou qui sont traités pour une atteinte interstitielle, le suivi de l'épreuve d'effort avec  $S_{a,O_2}$  est recommandé.

Le développement de l'échocardiographie a permis une réduction du nombre de **cathétérisations cardiaques droites**. Cet examen est parfois indiqué lors de plaintes respiratoires d'étiologie incertaine, soit dans un contexte préopératoire (détermination de pressions pulmonaires avant résection pulmonaire). D'autres indications peuvent être la suspicion d'une hypertension pulmonaire primitive, le démarrage d'un traitement chronique à domicile avec oxygène ou vasodilatateurs pulmonaires.

L'étude de la **régulation de la respiration** utilisant une mesure de la réponse ventilatoire (VE) ou nerveuse (PO.1) au cours d'une stimulation chimique (réponse hypercapnique ou hypoxémique) est par exemple indiquée chez des patients avec suspicion d'hypoventilation nocturne ou diurne ne pouvant être dépistée par des épreuves fonctionnelles respiratoires, comme une atteinte nerveuse centrale, un syndrome obésité-hypoventilation et un syndrome d'apnée du sommeil obstructif.

Une **polysomnographie complète** est toujours indiquée lors de la mise au point d'une somnolence, d'une fatigue diurne ou d'autres plaintes suggérant un syndrome d'apnée du sommeil (SAS). D'autres indications concernent les BPCO (suspicion d' "overlap syndrome"), une décompensation cardiaque droite inexplicée, une hypertension pulmonaire, une polyglobulie inexplicée ou une hypercapnie avec fonction pulmonaire normale. Les patients avec atteinte pulmonaire restrictive, expliquée par une atteinte neuromusculaire ou de la paroi thoracique, devraient bénéficier d'une polysomnographie lors de plaintes suggérant une détérioration de la fonction pulmonaire en position couchée.

### III. Tables : Gradation des épreuves fonctionnelles respiratoires

	Asthme	FU asthme <sup>1</sup>	Exacer- bation asthme	BPCO	FU BPCO <sup>2</sup>	Exacer- bation BPCO
CV-VEMS	S	S	S	S	S	S
Test de réversibilité	S	I	U	S	U	I
CPT-VR	S	I	S	S	I	S
DEM-DIM	S	S	U	S	S	U
T <sub>L,CO</sub>	S	I	I	S	I	I
Raw-sGaw	U	I	U	U	I	I
CL, st				I		
Test de provocation	I	I				
Gaz du sang	I	I	U	I	I	U
Oxymétrie <sup>3</sup>			I	I	I	U
Force musculaire respiratoire				I	I	
Epreuve d'effort				U	I	
Cathé. cardiaque D					I	
Etude régul resp.				I		
Pression occlusion						
Polysomnographie				I	I	

<sup>1</sup> FU asthme: examens fonctionnels qui peuvent être demandés lors d'une visite de contrôle pour patient asthmatique (follow-up).

<sup>2</sup> COPD-FU: examens fonctionnels qui peuvent être demandés lors d'une visite de contrôle pour patient BPCO (follow-up).

<sup>3</sup> En fonction du contexte clinique, l'oxymétrie peut être réalisée de jour, de nuit ou pendant l'effort.

	Maladies interstitielles (M.I.)	FU pour M.I. <sup>4</sup>	Obstruction voies aériennes supérieures ; Stridor	Maladies de système (RA, etc)	Affection paroi thoracique Path. neuro-musc.	Hypertension pulmon. primitive
CV-VEMS	S	S	S	S	S	S
Test de réversibilité	I	I	S	I	I	I
CPT-VR	S	S	S	S	S	S
DEM-DIM	S	S	S	S	S	S
Tl,co	S	S	I	S	S	S
Raw-sGaw	S	U	S	U	U	U
CL, st	I			I	I	
Test de provocation	I					
Gaz du sang	U	I	I	U	I	S
Oxymétrie <sup>5</sup>	I		I	I	I	I
Force musculaire respiratoire	I	I		I	S	
Epreuve d'effort	I	I		I	I	
Cathé. cardiaque D						S
Etude régul resp.						
Pression occlusion						
Polysomnographie			I		I	

<sup>4</sup> FU pour M.I.: examens fonctionnels qui peuvent être demandés lors d'une visite de contrôle (FU) d'une maladie interstitielle.

<sup>5</sup> En fonction du contexte clinique, l'oxymétrie peut être réalisée de jour, de nuit ou pendant l'effort.

	Hypertension pulmonaire secondaire Cor pulmonale	Insuffisance respiratoire	SAS <sup>6</sup>	Hypoventilation (p.e. obésité)
CV-VEMS	S	S	S	S
Test de réversibilité	I	I	I	I
CPT-VR	S	S	S	S
DEM-DIM	S	S	S	S
Tl,co	S	S	S	S
Raw-sGaw	U	U	U	U
CL, st				
Test de provocation				
Gaz du sang	S	S	I	S
Oxymétrie <sup>7</sup>	S	S	S	S
Force musculaire respiratoire	I	S	I	S
Epreuve d'effort				

	Hypertension pulmonaire secondaire Cor pulmonale	Insuffisance respiratoire	SAS <sup>6</sup>	Hypoventilation (p.e. obésité)
Cathé. cardiaque D	I	I	I	I
Etude régul resp.	I	I	I	I
Pression occlusion	I	I	I	I
Polysomnographie	I	I	S	S

<sup>6</sup> SAS: syndrome d'apnée du sommeil.

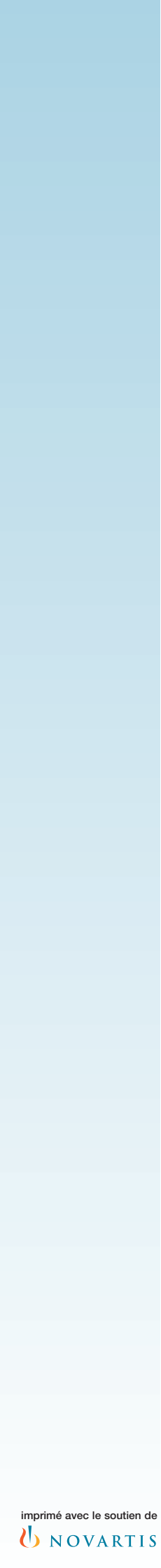
<sup>7</sup> En fonction du contexte clinique, l'oxymétrie peut être réalisée de jour, de nuit ou pendant l'effort

	Hyperventilation	Dyspnée (étiologie non-spécifique)	Bilan pré-op: - fumeur - anamnèse de pathol. resp. - Rx ou auscult. anormale - plaintes pulmon.	Résection pulmonaire
CV-VEMS	S	S	S	S
Test de réversibilité	I	I	I	I
CPT-VR	S	S	U	S
DEM-DIM	S	S	S	S
Tl,co	S	S	I	S
Raw-sGaw	U	S	I	U
CL, st				
Test de provocation	I <sup>8</sup>	I		
Gaz du sang	U	U	I	I
Oxymétrie				
Force musculaire respiratoire		I		
Epreuve d'effort	I	U		I
Cathé. cardiaque D		I		I
Etude régul resp.				
Pression occlusion				
Polysomnographie				

<sup>8</sup> Pour cette pathologie, en fonction du contexte clinique, on peut prévoir soit un test de provocation à la méthacholine ou à l'histamine soit un test d'hyperventilation .

	Radiothérapie sur le thorax	Médication toxique pour le poumon	Invalidité	Screening - fumeur - exposition professionnelle - plaintes respiratoires
CV-VEMS	S	S	S	S
Test de réversibilité	I	I	I	I
CPT-VR	S	S	S	S
DEM-DIM	S	S	S	S
Tl,co	S	S	S	I
Raw-sGaw	I	I	S	U
CL, st				
Test de provocation			I	
Gaz du sang	U	U	U	
Oxymétrie				
Force musculaire respiratoire		I	I	
Epreuve d'effort		I	U	
Cathé. cardiaque D			I	
Etude régul resp.				
Pression occlusion				
Polysomnographie				





# Troisième partie :

## **STANDARDISATION**

Dans cette partie les épreuves fonctionnelles respiratoires les plus courantes et plus importantes sont brièvement discutées. Le but est d'expliquer successivement les aspects suivants: technique de mesure, nombre de tests et acceptabilité, sources d'erreurs, calibration, spécification de l'appareillage, et valeurs de référence. Dans quelques uns des chapitres, il a néanmoins, été impossible de suivre cet ordre.

Les épreuves suivantes sont discutées:

1. Spirométrie, mesure des volumes et des débits
2. Les volumes pulmonaires statiques
3. La résistance au débit d'air
4. Réponse bronchodilatatrice
5. Test de bronchoconstriction: mesure de l'hyperréactivité bronchique non-spécifique
6. Facteur de transfert ou capacité de diffusion
7. L'épreuve d'effort en pneumologie
8. Mesures des pressions maximales à la bouche
9. Les gaz sanguins.

# ● Chapitre 1 : Spirométrie, mesure des volumes et des débits

Les volumes pulmonaires peuvent être mesurés à la bouche avec les installations suivantes :

- le spiromètre
- le pneumotachographe avec intégrateur des débits.

## I. Description de la technique de mesure

- période de repos relatif (15 min) préalable à l'initiation de l'examen,
- au mieux, pas juste après un repas,
- abstinence tabagique d'au moins une heure,
- le patient se tient assis droit sur une chaise ou se tient debout, droit,
- durant l'expiration, la tête ne doit pas être inclinée vers l'avant,
- les vêtements serrants doivent être confortablement relâchés,
- instructions au patient: but de la manœuvre, éviter les fuites,
- les dentiers artificiels ne sont pas enlevés, à moins qu'ils ne risquent de se mobiliser durant la manœuvre,
- la pièce buccale est insérée entre les lèvres et l'alignement dentaire,
- la pince nasale est placée,
- les valeurs obtenues doivent être recalculées en valeur l'ATPS et BTPS.
- la date et l'heure de l'examen doivent être mentionnées.

### Pour la capacité vitale lente

- on demande au patient, après qu'il ait respiré tranquillement à travers le spiromètre, d'inspirer jusqu'à CPT, d'y tenir son inspiration jusqu'à 2 secondes, et d'expirer ensuite complètement jusqu'au VR,
- inversement pour la mesure de la capacité vitale inspiratoire

### Pour le volume expiré en une seconde (VEMS ou FEV<sub>1</sub>) et capacité vitale forcée (CVF)

- on demande au patient d'inspirer jusqu'à CPT, d'y retenir sa respiration jusqu'à 2 secondes, d'expirer ensuite le plus vite possible et ce, jusqu'à ce qu'il atteigne le VR,
- début du test = moment auquel le débit > 0,5 L/s, ou calculable par rétro-extrapolation
- fin du test = moment auquel le changement de volume est < 25 ml/0,5 s (ERS), ou après 6 secondes (ATS).

**Remarque** : Le groupe de travail recommande que la durée de l'inspiration maximale soit la plus courte possible car ceci peut influencer le résultat.

## II. Nombre de tests et acceptabilité

- un minimum de 3 et un maximum de 8 manœuvres expiratoires doivent être accomplies
- on en sélectionne les 3 premières manœuvres ayant une technique satisfaisante et reproductible

- on retient la manœuvre qui fournit la plus grande valeur de 3 mesures satisfaisantes de CV (CVI, CVE ou CVF) et de 3 mesures satisfaisantes du VEMS.
- il faut atteindre un débit de pointe situé dans les 10% des valeurs prédites durant une courbe débit-volume (volontaires sains)
- la différence de mesure de CV entre les manœuvres ne peut pas dépasser 5% ou 0,1 litre
- le volume rétro-extrapolé ne peut pas dépasser 0,15 L ou 5% de CVF (on prend la plus haute valeur des deux)
- les débits expiratoires sont sélectionnés par la méthode de l'enveloppe, c'est-à-dire que de 3 courbes superposées l'une à l'autre, on calcule le débit maximal pour chaque volume
- le fait de ne pas atteindre le critère de "fin du test" n'est pas en soi une raison pour rejeter la manœuvre.

Remarque :

- "Critère de fin du test":
  - patient ne peut plus continuer à souffler,
  - le tracé débit/volume par rapport au temps montre un plateau horizontal évident,
  - l'expiration a suffisamment duré ( $\geq 6$  sec.).
- Les critères possibles pour rejeter la manœuvre sont:
  - un mauvais départ d'expiration (hésitation, volume rétro-extrapolé trop grand),
  - toux durant l'expiration,
  - arrêt précoce de l'expiration,
  - manœuvres de Valsalva ou hésitations durant la manœuvre,
  - fuites,
  - obstruction de la pièce buccale (par ex. par la langue).

### III. Sources d'erreurs

#### Patient

- inspiration incomplète,
- expiration partielle précoce, avant connexion avec la pièce buccale,
- fuite entre les lèvres et l'embout buccal,
- tension des lèvres ou fermeture dentaire ou des lèvres,
- expiration non maximale/incomplète,
- toux, inspiration précoce.

#### Spiromètre

- température dans le spiromètre (et donc dans l'environnement)  $< 17^{\circ}\text{C}$  ou  $> 40^{\circ}\text{C}$ ,
- changements abrupts de température (à moins qu'il n'y ait une correction automatique),
- présence d'un absorbeur de  $\text{CO}_2$  (= perte de CV de 2-3 %),
- il n'y a pas de technique claire d'emblée pour la rétro-extrapolation lors de la lecture du tracé.

#### Pneumotachographe

- sécrétions ou condensation d'eau dans la conduite (besoin d'une position correcte du transducteur).

## IV. Calibration

### Spiromètre

- calibration tous les 3 mois (au mieux: plus fréquente) du volume avec examen de la précision (précision exigée: 3-3,5 % de la mesure ou 50-70 ml, la plus grande des 2 valeurs) avec une seringue calibrée, sans fuite, de 3 litres (précision exigée de la seringue : jusqu'à 25 ml),
- examen trimestriel de la linéarité sur toute la portée de mesure (à mesurer par des apports successifs de volume de 1 L),
- si l'on utilise un kymographe, il faut contrôler la vitesse du papier tous les 3 mois (faute < 1%),
- test de fuite toutes les semaines (en mettant un poids sur la cloche de telle manière que la pression dans le système grimpe à 0,2 kPa).

### Pneumotachographe

- calibration journalière du volume avec un piston sans fuite de 3 L, d'une précision de 25 ml (une calibration électrique est insuffisante),
- tests de linéarité hebdomadaires (le mieux = journaliers) sur l'ensemble de l'échelle de mesure de débits: on injecte les mêmes volumes (par ex. 3 L) à différents débits avec une seringue calibrée: par ex. un haut débit, un modéré et un bas débit,
- calibration systématique après entretien ou nettoyage.

### Calibration biologique

- il est souhaité de faire régulièrement des mesures de contrôle avec les mêmes volontaires sains aux valeurs connues.

## V. Spécification de l'appareillage

### Spiromètre

- déplacement de volume jusqu'à 8 L,
- précision exigée: 3-3,5% d'une mesure de 50 à 70 ml, la plus grande des 2 valeurs,
- préférence pour un appareil cylindrique (600 g, surface minimale de 300-400 cm<sup>2</sup>),
- si on utilise un kymographe, la vitesse du papier doit être de 3 cm/min pour les mesures semi-statiques et de 120 cm/min ou plus pour les volumes dynamiques et les débits,
- la pression maximale dans le système durant l'expiration: < 0,6 kPa,
- pression minimale exigée pour la déflexion du volume: 0,03 kPa,
- pas de fuite pour une pression de 0,2 kPa,
- mesure continue de la température avec un thermomètre situé à un endroit significatif.

### Pneumotachographe

- l'échelle de mesure doit s'étendre sur  $\pm 14$  L/s, la précision de  $\pm 3\%$  sur un débit mesuré à  $\pm 0,20$  L/sec, la plus grande des deux valeurs étant prise,
- le volume obtenu peut ne pas être dépendant du débit et doit avoir une précision de 3-3,5 % ou de la mesure de 50-70 ml, la plus grande des 2 valeurs étant prise,
- une correction électronique du débit sert à corriger l'alinéarité avant que l'on ne fasse l'intégration du signal de débit,
- dérive < 100 ml/min,
- pour la représentation graphique des courbes débit-volume, on veillera à utiliser une échelle 2:1 (c'est-à-dire 2 L/s pour le débit, 1 L pour le volume).

## VI. Valeur de référence

Voir Première Partie, Chapitre 2, Tables 2-1 et 2-2.

## Chapitre 2 : Volumes pulmonaires statiques

En pratique clinique, la mesure des volumes pulmonaires statiques s'effectue par les méthodes suivantes :

- rinçage inspiratoire d'un gaz en circuit fermé (technique de dilution de l'hélium)
- rinçage d'un gaz en circuit ouvert (rinçage de l'azote)
- pléthysmographie corporelle.

### A. Rinçage inspiratoire en circuit fermé (technique de dilution de l'hélium)

Dans cette méthode, la CRF est déterminée par des modifications de la concentration d'hélium dans le spiromètre après raccordement du patient au système.

#### I. Description de la technique de mesure

- remplissage du spiromètre avec mélange de gaz (2 à 10% d'He et 0,3% de Co en air), après contrôle de l'absorbant de CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O,
- le patient, confortablement assis et pourvu d'une pince nasale, est raccordé au système par un embout buccal, après stabilisation de la concentration d'He dans le spiromètre,
- une expiration maximale, pour déterminer le niveau du VR en relation avec le niveau de la CRF (càd le VRE),
- respiration calme,
- le volume gazeux total contenu dans le système poumon-spiromètre est maintenu constant par un ajout adapté d'oxygène et une absorption de CO<sub>2</sub>,
- le test est accompli lorsque la concentration d'He est stable plus de 2 minutes ou après 10 minutes,
- une fois la concentration d'He constante, on mesure à nouveau le VRE (3 mesures au mieux); l'égalité de la mesure du VRE en début et en fin de test indique la constance de la CRF pendant la mesure,
- enfin, on mesure la capacité vitale inspiratoire (CVI),  
le calcul de la CRF sur base de la diminution de la concentration d'He se fait suivant la formule:  $CRF = A[(100-c)/c]$ , où A = la somme de l'espace mort du spiromètre et la quantité (connue) d'air qui a été introduite au début dans le système, c = le changement relatif de concentration de l'hélium,
- conversion en BTPS de la CRF mesurée en ATPS.

#### II. Nombre de tests et acceptabilité

- la reproductibilité (COV) est de 4% chez les adultes sains et 6% chez les BPCO, et  $\pm 200$  ml,
- au moins 8-15 min d'attente entre deux mesures.

#### III. Sources d'erreurs

- actuellement, les ordinateurs permettent de suivre directement la valeur de CRF, sans le moindre contrôle sur l'évolution de la concentration d'hélium. Ce type d'enregistrement et de monitoring d'une valeur déduite comporte de plus grandes risques de ne pas dépister d'éventuelles erreurs,

- absorption incomplète de CO<sub>2</sub>,
- chez les patients avec une inégalité marquée de la ventilation (patients avec maladie pulmonaire obstructive), on peut obtenir des valeurs faussement abaissées. Ce problème peut être partiellement résolu par la prolongation du temps d'équilibre ou en demandant au patient d'effectuer quelques manœuvres de CV en fin de mesure,
- étant donné que l'hélium est faiblement soluble dans le sang, il faudrait théoriquement effectuer une correction pour la (discrète) chute de concentration. Le coefficient de solution est cependant si faible que la surestimation de la CRF est très faible, ce qui rend la correction superfétatoire, les perforations du tympan et les fuites à la bouche ou au nez induisent des erreurs.

#### IV. Calibration

- chaque semaine, et aussi après tout renouvellement de l'absorbant de CO<sub>2</sub> et d'eau, un volume de 3 litres d'air est injecté dans le spiromètre avec une seringue à calibration. La CRF (mesurée après 30 sec) ne doit pas différer de plus de 50 ml sur les 3 L attendus ( $\approx 1,5\%$ ).

#### V. Spécification de l'appareillage

- linéarité: 0-10% He; à contrôler deux fois par an,
- exactitude:  $\pm 1\%$  de la valeur initiale,
- résolution:  $< 0,05\%$  He,
- stabilité : dérivé  $< 0,02\%$  en 10 min ; à contrôler chaque semaine,
- vitesse d'aspiration du gaz: constante  $> 200$  ml/min; le gaz doit être exempt de CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O,
- temps de réponse: 95% de réponse en  $< 15$  sec (circuit et spiromètre) par changement de 2%,
- le système contient des absorbeurs d'eau et de CO<sub>2</sub>

#### VI. Valeurs de référence

Voir Première Partie, Chapitre 2, Tables 2-1 et 2-2

### **B Technique de rinçage en circuit ouvert (technique de rinçage de l'azote)**

Dans cette méthode, l'azote contenu dans le poumon sert de gaz traceur. La mesure instantanée du débit et l'analyse de la concentration d'azote pendant l'expiration chez un patient qui inhale de l'oxygène pur, jusqu'à une concentration d'azote alvéolaire très faible, permet la détermination de la CRF.

#### I. Description de la technique de mesure

- avant chaque test : 3 points de calibration (avec différentes concentrations de N<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>), contrôle de la qualité du vide, de la température du pneumotachographe, du débit et de la concentration d'azote de l'air,
- le patient, confortablement assis et muni d'une pince nasale, est raccordé au système,
- expiration maximale au départ du niveau de la CRF afin de déterminer le niveau du VR par rapport à celle-ci (càd le VRE),
- respiration calme, au cours de laquelle une pression négative suffisante doit être générée, afin d'ouvrir le système de valves,
- la concentration d'azote dans l'air expiré diminue progressivement,

- la durée du test est classiquement fixée à 7 minutes,
- si la concentration d'azote dépasse 1,5 % après 7 minutes, cette concentration est notée dans le rapport, et l'on informe l'utilisateur qu'une erreur de mesure n'est pas exclue,
- le volume, calculé sur la base de la quantité totale d'azote rinçée, est converti en BTPS et exprimé en L.

## II. Nombre de tests

- en cas de suspicion de fuite, le test doit être refait comme tout autre test; une courbe anormale du titrage d'azote dans l'air expiré permet de suspecter des fuites (par ex. à la bouche),
- chez les enfants, le coefficient de variation est inférieur à 7,1 % dans cette technique de dilution de l'azote.
- après une mesure ou après une épreuve d'oxygène à 100%, il faut attendre au moins 10-20 min avant le test suivant.

## III. Sources d'erreurs

- une correction pour l'azote issu des tissus corporels doit être systématiquement appliquée. Dans le cas d'un test d'une durée de 7 minutes, au cours duquel de l'oxygène pur est inhalé, ce volume d'azote est estimé à 220 ml,
- de brusques perturbations de la diminution attendue de la concentration d'azote peuvent être dues à des fuites, par exemple au niveau de la bouche (embout buccal). Dans ce cas, l'examen doit être repris,
- les perforations du tympan et les fuites à la bouche ou au nez induisent des erreurs.

## IV. Calibration

- calibration de routine avant chaque test : voir le point A,
- 24 heures avant les mesures ou après une mesure de rinçage, il faut recalibrer le pneumotachographe et contrôler l'intégrateur digital,
- le volume expiratoire doit être contrôlé à différents débits au moyen d'une pompe de calibration de 3 litres par injection d'air, lentement (en 3 secondes environ) et rapidement (en moins d'1 seconde); l'erreur doit rester dans les  $\pm 3$  % des 3 litres mesurés,
- le volume inspiratoire doit être contrôlé au moyen de la pompe de calibration, avec 100 % d'oxygène,
- une calibration biologique sera effectuée chaque semaine: l'erreur éventuelle sera calculée, représentée en graphique et rapportée dans le journal de bord. Des déviations de plus de 5 % (ou de plus de 3 SD de la moyenne des 10 mesures précédentes) justifient un examen plus approfondi,
- au cours de chaque mesure, l'évolution de la relation concentration de N<sub>2</sub>/temps et de la relation volume/temps doit être contrôlée "on-line" afin de dépister toute fuite vers l'intérieur ou l'extérieur,
- on recherchera les éventuelles dérives de la concentration d'azote et du signal de débit; la concentration inspiratoire de N<sub>2</sub> doit toujours être de 0.

## V. Spécification des appareils

- espace mort (valve et pièce buccale): < 100 ml



- pression nécessaire à l'ouverture de la valve unidirectionnelle d'entrée de l'O<sub>2</sub> doit être minimale et < 0,2 kPa,
- débit O<sub>2</sub>: >6 L/s et résistance de la valve <1,5 cm H<sub>2</sub>O/L/s,
- linéarité de l'analyseur d'azote: 1-80 %,.
- précision de l'analyseur d'azote: 0,2 %,
- temps de réponse de l'analyseur d'azote: < 25 ms pour une variation de concentration de N<sub>2</sub> de 10 %,
- précision du pneumotachographe: ± 3 % pour des débits entre 0 et 6 L/s,
- mesure automatique de la température du pneumotachographe et de l'air ambiant toutes les 10 sec avec une précision de 0,5 °C (correction BTPS),
- analyse de l'air expiré: 40 échantillons/sec (= toutes les 25 ms),
- correction électronique de la différence de phase entre débit et mesure du N<sub>2</sub>,
- correction, pour autant que nécessaire, de la faute de mesure du débit par la modification de composition des gaz expirés (pneumotachographe de Fleisch).

## VI. Valeurs de référence

Voir Partie I, Chapitre 2, Tables 2-1 et 2-2.

## **C. Méthode pléthysmographique corporelle**

Cette méthode est basée sur le principe de la loi de Boyle-Mariotte. Après fermeture des voies aériennes, une compression du gaz résiduel dans le thorax (VGT) va entraîner une diminution de la pression dans le pléthysmographe. Une expansion du thorax aura l'effet inverse. Ces variations d'état du poumon se passent de manière isothermique. La pression mesurée à la bouche est représentative de la pression intrathoracique. Les modifications de volume du thorax sont donc dérivées des modifications de pression du pléthysmographe. Quoique la relation pression-volume dans le pléthysmographe ne soit pas isothermique, on peut, pour des fréquences respiratoires relevantes, la calculer empiriquement grâce à des variations sinusales de volume connues.

### I. Description de la technique

- le patient, muni d'une pince nasale, s'assied confortablement dans le pléthysmographe et doit pouvoir, sans fléchir ou étendre le cou, placer la pièce buccale dans la bouche,
- la porte du pléthysmographe est verrouillée alors que le patient s'entraîne à respirer calmement à travers la pièce buccale,
- le patient soutient ses joues et son menton avec ses mains: le dentier ne peut pas être enlevé,
- la mesure est commencée après stabilisation complète de la température du pléthysmographe,
- si nécessaire, le pléthysmographe sera aéré à diverses reprises, en cas de mesures répétées et prolongées,
- la CRF est mesurée sur base d'enregistrements respiratoires durant de calmes inspirations et expirations; une ligne de base stable est tracée,
- la voie aérienne est fermée à la CRF par une valve de fermeture (shutter),
- le patient continue néanmoins à faire des efforts inspiratoires et expiratoires à la fréquence de ± 0,5 - 1 Hz,
- durant la manœuvre, l'opérateur suit la relation pression-volume (P-V),
- après 3 à 5 efforts respiratoires (voir B et C), la valve shutter est réouverte; on demande alors au patient d'expirer à fond jusque VR, et ensuite d'inspirer lentement à fond jusqu'à CPT,

- chez des patients très essouffés, on peut, après quelques inspirations et expirations calmes, leur demander une expiration maximale (mesure du VR), ou mieux, une inspiration maximale suivie d'une expiration maximale (mesure de CPT et VR),
- la CPT est calculée sur base de la CRF moyenne et de la plus grande CI, alors que le VR est calculé sur base de la CPT et de la CV (qui est dérivée de la CI et du VRE).

## II. Nombre de tests

- le plus souvent, on conseille de fournir 3 à 5 séries de mesures, pour obtenir des courbes P-V adéquates (voir C),
- chaque série doit au moins contenir deux efforts différents (panting) à fréquence de 0,5 - 1 Hz et pression buccale  $\leq 2$  kPa,
- le coefficient de corrélation des différentes courbes sur le diagramme X-Y doit être d'au moins 0,9.

## III. Sources d'erreurs

- les lignes droites sur le diagramme P-V doivent se superposer de telle manière qu'on ne peut les distinguer qu'en déplaçant le signal (drift), ce qui est révélateur d'une bonne technique
- des segments non linéaires et des boucles révèlent des fuites, un soutien non complet des joues ou la fermeture de la glotte
- on conseille, pour la mesure de la CRF, d'utiliser l'équation complète de la loi de Boyle-Mariotte dans les appareils computerisés, plutôt que sa forme simplifiée (surtout important si la mesure n'est pas faite au niveau de fin d'expiration)
- portes non fermées ou fuites du pléthysmographe
- changements brutaux de la pression environnante (par ex. ouverture ou fermeture des portes du labo), si le pléthysmographe n'est pas équipé d'une chambre de compensation.

## IV. Calibration

- calibrer le pneumotachographe tous les jours avec une seringue de 3 litres,
- correction BTPS automatique,
- calibration journalière du capteur de pression (pression buccale),
- calibration journalière du pneumotachographe avec un signal de volume (pompe sinusoïdale) d'un ordre de grandeur de 20-50 ml et d'une fréquence de halètement (panting),
- calibration biologique mensuelle (hebdomadaire) de toutes les variables par 2 personnes de référence, où des variations de  $> 5$  % de CRF et de CPT, et de  $> 10$  % du VR doivent mener à des contrôles supplémentaires,
- mesure semestrielle et calibration de la précision de mesure des capteurs de pression et du pneumotachographe (injection de 5, 10, 20, 30 et 50 ml) sur toute leur gamme de mesure,
- mesure semestrielle de la réponse en fréquence ou après réparation.

## V. Spécification de l'appareillage

- volume : 600-1000 L,
- spiromètre : voir Chapitre 1,

- portée de mesure du capteur de pression dans le pléthysmographe :  $\pm 2.10^{-2}$  kPa,
- précision du capteur de pression du pléthysmographe :  $\pm 5.10^{-5}$  kPa,
- portée de mesure du capteur de pression à la bouche :  $\pm 5$  kPa,
- précision du capteur de pression à la bouche :  $\pm 0,01$  kPa,
- constante de temps mécanique : 10 à max 50 sec,
- constante de temps thermique : 1 minute,
- mesure de pression volume : en phase jusqu'à 8 Hz

#### VI. Valeurs de référence

Voir Partie I, Chapitre 2, Tables 2-1 et 2-2.

Lorsqu'il y a des territoires du poumon qui ne communiquent pas ou peu avec l'ensemble, la pléthysmographie corporelle donnera des mesures de volume plus grandes qu'avec les techniques de dilution.

## Chapitre 3 : La résistance au débit d'air

Il existe 3 méthodes couramment utilisées en pratique clinique pour mesurer la résistance (R): la pléthysmographie corporelle, qui mesure la résistance des voies aériennes ( $R_{aw}$ ), la technique d'interruption du courant aérien ( $R_{int}$ ) et la résistance mesurée par la technique des oscillations forcées ( $R_{rs}$ ).

### A. La résistance des voies aériennes ( $R_{aw}$ ) par pléthysmographie corporelle

#### I. Principes et technique de mesure

La résistance des voies aériennes est égale au rapport entre la différence de pression entre la bouche ( $P_m$ ) et les alvéoles ( $P_{alv}$ ) et le débit d'air ( $V'$ ) :  $R = \Delta P / V'$ . Le débit aérien est facilement mesurable à la bouche à l'aide d'un pneumotachographe. La pression alvéolaire ( $P_{alv}$ ) est mesurée par pléthysmographie corporelle. Comme le volume total du gaz dans le système poumon-pléthysmographe est constant (rappelons-nous que le sujet respire à l'intérieur de la cabine), une augmentation de la pression dans les poumons pendant l'expiration doit nécessairement s'accompagner d'une diminution de la pression dans la cabine (conformément à la loi des gaz), et vice-versa pendant l'inspiration (fig. 1). Les variations de pression (ou volume) pléthysmographique pendant la respiration et les variations de débit à la bouche sont affichées en x-y. Immédiatement après, le sujet fait des efforts respiratoires contre une valve fermée, pour la mesure du volume thoracique gazeux (TGV). Ce deuxième temps sert à calibrer les variations de pression alvéolaire. La  $R_{aw}$  est obtenue en mesurant les rapports entre la première pente ( $\Delta V' / \Delta P_{box}$ ) et la deuxième pente ( $\Delta P_m / \Delta P_{box}$ ). La résistance instrumentale (la résistance de la valve et du pneumotachographe) doit être déduite de la résistance mesurée, pour obtenir la  $R_{aw}$  du sujet. La  $R_{aw}$  s'exprime en  $\text{cmH}_2\text{O} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}$  ( $\text{kPa} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}$ ).

#### II. Corrections

Pendant la respiration calme, l'air inspiré est humidifié et sa température augmente ; pendant l'expiration l'air est refroidi et la vapeur d'eau est condensée. Ces modifications produisent des variations de pression additives dans la cabine pléthysmographique: le diagramme  $P/V'$  s'inscrit sous la forme d'une boucle (fig. 2). Pour éliminer ces variations de P "parasites" et fermer la boucle, on demande au sujet de haleter. Pendant le halètement, à une fréquence d'environ 2 cycles par sec. Un autre avantage du halètement est que la glotte est largement ouverte, diminuant ainsi son influence sur la mesure de la  $R_{aw}$ .

Deux autres solutions existent pour éliminer l'artefact thermique:

- soit le sujet respire de l'air à 37°C ou saturé en vapeur d'eau (à partir d'un sac thermostaté),
- soit on soustrait (en temps réel) du signal  $P_{box}$  un signal proportionnel aux variations de volume courant .

Dans ces derniers cas, la  $R_{aw}$  peut être mesurée pendant la respiration calme

#### III. Procédure de mesure et expression des résultats

$R_{aw}$  est généralement mesurée sur la portion linéaire du diagramme  $P/V'$ , entre 0 et 0,5  $\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$  pendant l'inspiration ou entre 0 et 1  $\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$  pendant l'inspiration et l'expiration. La raison de cette démarche est d'éliminer les variations de la  $R_{aw}$  dues au débit.

Les auteurs de langue allemande mesurent ce qu'ils appellent la résistance inspiratoire, expiratoire et totale (fig. 3). Il est bien évident que ces mesures dépendent de l'amplitude du débit ; nous ne les recommandons pas.

Chez le sujet obstructif, le diagramme P/V' se transforme en boucle. Les critères énoncés plus haut pour la mesure de la Raw ne sont pas d'application, surtout lorsque les deux branches de la boucle divergent (fig. 4). Dans ce cas, la plupart des auteurs mesurent par interpolation visuelle, une pente "moyenne" entre les deux parties de la boucle P/V'.

La Raw dépend du degré d'inflation pulmonaire, plus élevée à bas volume, plus faible à haut volume. L'inverse de la Raw, la conductance des voies aériennes présente une relation quasi linéaire avec le volume pulmonaire (fig. 5). Dès lors (même si la linéarité n'est pas parfaite, et que la régression conductance/volume ne passe pas toujours par l'origine), la conductance spécifique des voies aériennes (le rapport entre la conductance et le volume, sGaw) est beaucoup moins influencée par les variations de volume que la Raw. Un autre avantage de la sGaw est que ses valeurs prédites sont indépendantes de la taille, du sexe et de l'âge (du moins chez l'adulte), ce qui n'est pas le cas pour la Raw (dont les valeurs dépendent de l'âge, du sexe et du poids). La valeur moyenne de la sGaw chez des sujets sains est de l'ordre de  $0,23 \text{ cmH}_2\text{O}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Certains auteurs utilisent la résistance spécifique des voies aériennes (sRaw, le produit de la Raw et du TGV), qui a les mêmes avantages que la sGaw par rapport à la Raw, sauf l'absence des valeurs prédites chez l'adulte.

#### IV. Valeurs de référence

Voir Première Partie, Chapitre 2, Tables 2.1 et 2.2

### **B. La technique d'interruption du courant aérien (Rint)**

#### I. Principe et technique de mesure

Le sujet respire calmement, son V' à la bouche est interrompu pendant une fraction de seconde, de façon répétée, par la fermeture d'une valve rapide. Pendant la fermeture du V', la pression mesurée à la bouche (Pm) augmente rapidement pour s'équilibrer avec la pression alvéolaire (Palv). La Palv est estimée par l'extrapolation de la Pm en fonction du temps à un moment correspondant, d'après certains auteurs, au temps de la fermeture de la valve, divisé par 2. Cette pression (Pint) est divisée par le V' (mesuré à la bouche par un pneumotacho-graphe) enregistré tout juste avant l'interruption du courant d'air, et le rapport est Rint.

Cette technique reflète, en l'absence d'une activité musculaire, la résistance totale des voies aériennes. Elle demande une coopération minimale du patient et peut être mesurée par des appareils peu coûteux.

#### II. Valeur et précautions

Dans la majorité des cas, surtout chez les patients obstructifs, la Rint est plus élevée que la Raw, reflétant la lente équilibration de la Pm avec la Palv, ainsi que l'intervention de la compliance des voies aériennes extrathoraciques. En dépit de certaines approximations et postulats, cette technique est utile pour mettre en évidence un rétrécissement des voies aériennes. Une précaution indispensable est le soutien ferme des joues et du plancher buccal pendant l'examen.

## C. La technique des oscillations forcées (Rrs)

### I. Principe et technique de mesure

La technique des oscillations forcées mesure les propriétés mécaniques du système respiratoire à partir de sa réponse aux stimuli oscillatoires rapides appliqués à la bouche. A partir de la réponse du système respiratoire, mesurée par la relation instantanée pression-débit (l'impédance), on déduit la résistance et la réactance du système (l'effet combiné de l'élastance et de l'inertance).

Pendant que le sujet respire calmement, un haut-parleur applique à la bouche des variations de pression oscillatoires (à une fréquence donnée ou à différentes fréquences) ou un "bruit aléatoire" (un signal de pression englobant une large gamme de fréquences). La pression buccale ( $P_m$ ) et le débit aérien ( $V'$ ) à la bouche mesurés pendant un intervalle de temps de 10 à 15s, sont "injectés" dans un analyseur de Fourier et l'impédance est calculée à différentes fréquences. Cette technique mesure une résistance englobant la résistance des voies aériennes, la résistance pulmonaire et celle de la cage thoracique (Rrs).

### II. Valeur

L'avantage de cette méthode est l'absence de contraintes imposées au patient pendant qu'il respire. Chez des patients obstructifs, la Rrs est augmentée à des faibles fréquences, mais diminue à des fréquences élevées, suite à l'inhomogénéité des propriétés mécaniques du poumon. Les joues, ainsi que le plancher buccal doivent être fermement soutenues pendant l'examen, pour diminuer l'influence de la compliance des voies aériennes extrathoraciques.

## D. Comparaison des différentes techniques et du VEMS (FEV<sub>1</sub>)

Chez les sujets en bonne santé, les valeurs de résistance mesurées par ces trois techniques sont grosso modo comparables entre elles, quoique la Rint et la Rrs sont moins sensibles que la Raw et ont tendance à sous-estimer la résistance chez les sujets obstructifs. Il faut rappeler que la Palv (indispensable pour la mesure de la résistance) n'est mesurée directement par aucune de ces 3 méthodes.

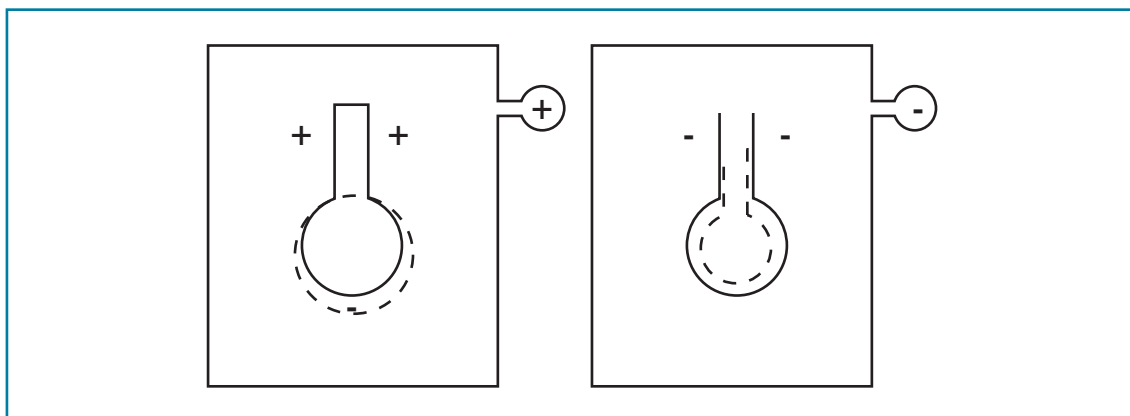
Toutes les 3 dépendent de la mesure de la  $P_m$ , qui reflète plus ou moins fidèlement la Palv. Cela explique les valeurs différentes de R obtenues chez le même sujet obstructif en utilisant des techniques de mesure différentes.

On ne dispose de valeurs de référence fiables que pour la Raw. Pour les autres méthodes la plupart des laboratoires font appel à des résultats obtenus à partir d'un nombre limité de sujets. Les modifications du niveau ventilatoire, qui modifient la Raw, sont prises en compte en pléthysmographie corporelle en mesurant la conductance spécifique (ou la résistance spécifique). Le niveau ventilatoire est rarement mesuré lors de l'enregistrement de la Rrs et de la Rint.

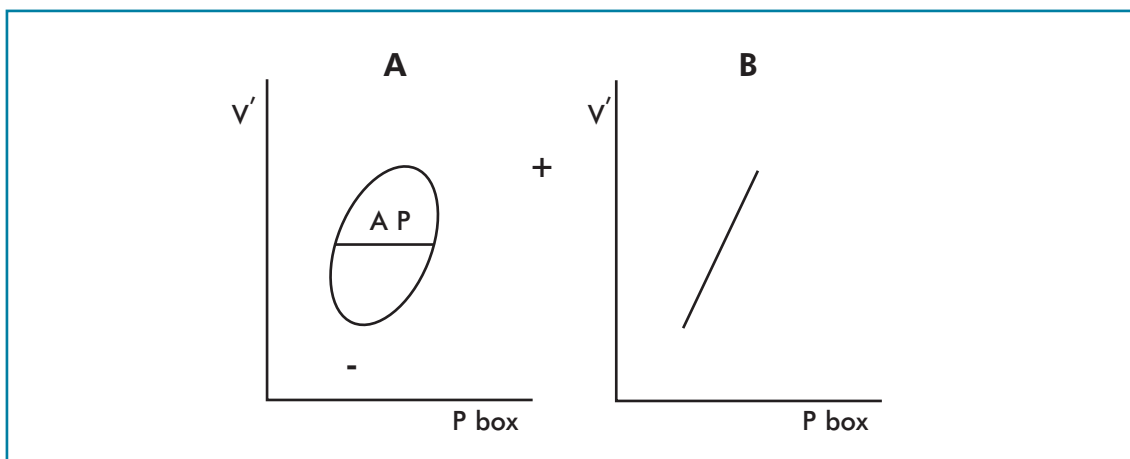
Des calibrations des grandeurs physiques (pression, volume et débit) et non pas des calibrations "électroniques" doivent être régulièrement faites, pour éviter que "le réglage automatique" ne conduise, faute de ces précautions, à des erreurs de mesure.

La relation entre la résistance au débit d'air et le VEMS (FEV<sub>1</sub>) varie en fonction de la pathologie pulmonaire (fig. 6). Donc la combinaison du VEMS et de la Raw peut fournir de l'information diagnostique complémentaire.

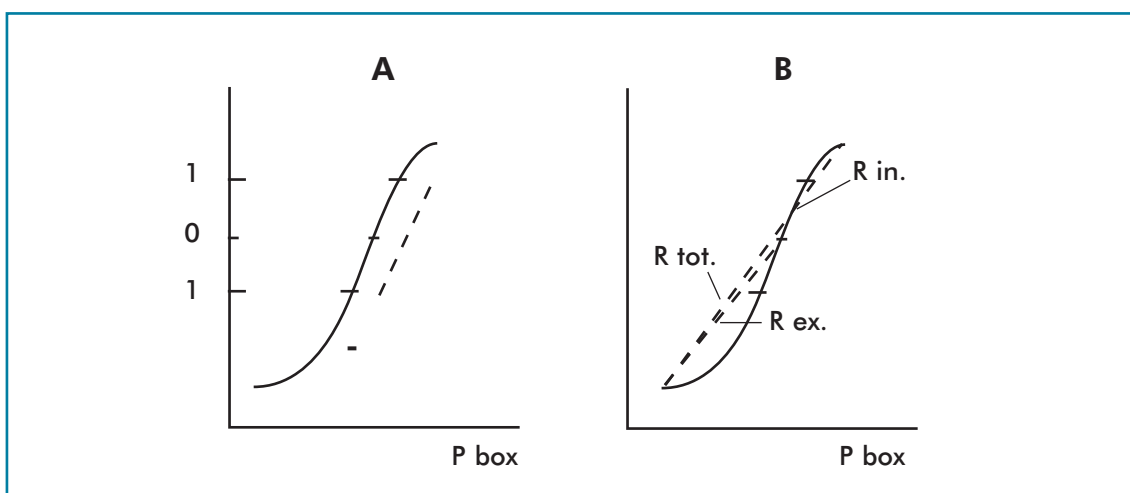
**Figure 1 : Changements des pressions dans le plethysmographe et dans les poumons, conformément à la loi des gaz.**



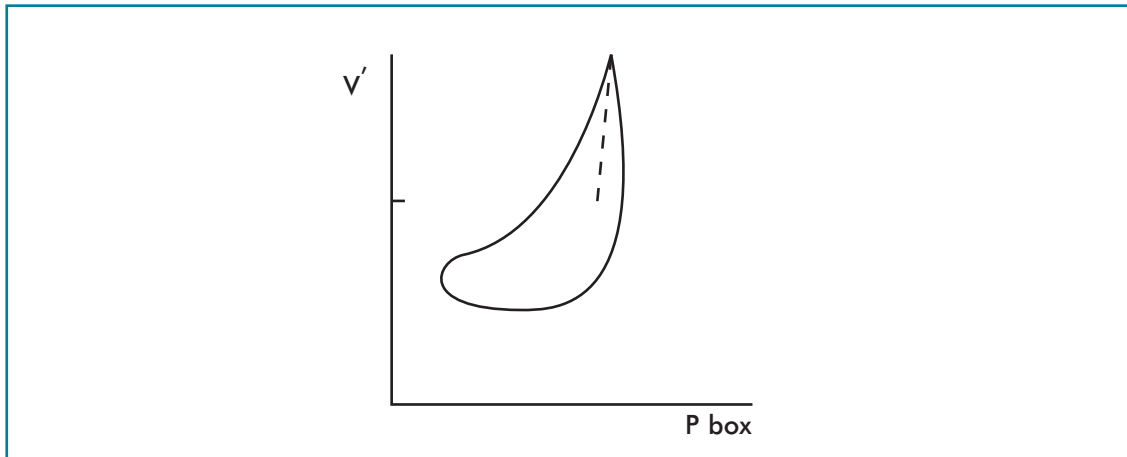
**Figure 2 : La différence de température entre l'air inspiré et expiré cause une boucle P/V' (en A) qu'il faut fermer (en B, par une des trois méthodes possibles).**



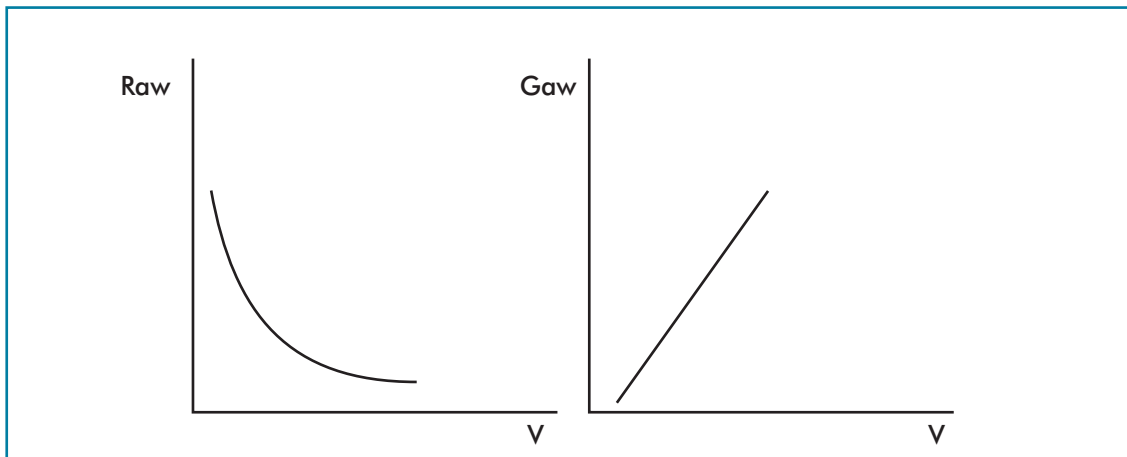
**Figure 3 : Raw est généralement mesurée sur la portion linéaire du diagramme (en A) ; mais on peut aussi mesurer la résistance totale (Rtot), inspiratoire (Rin) ou expiratoire (Rex) (en B).**



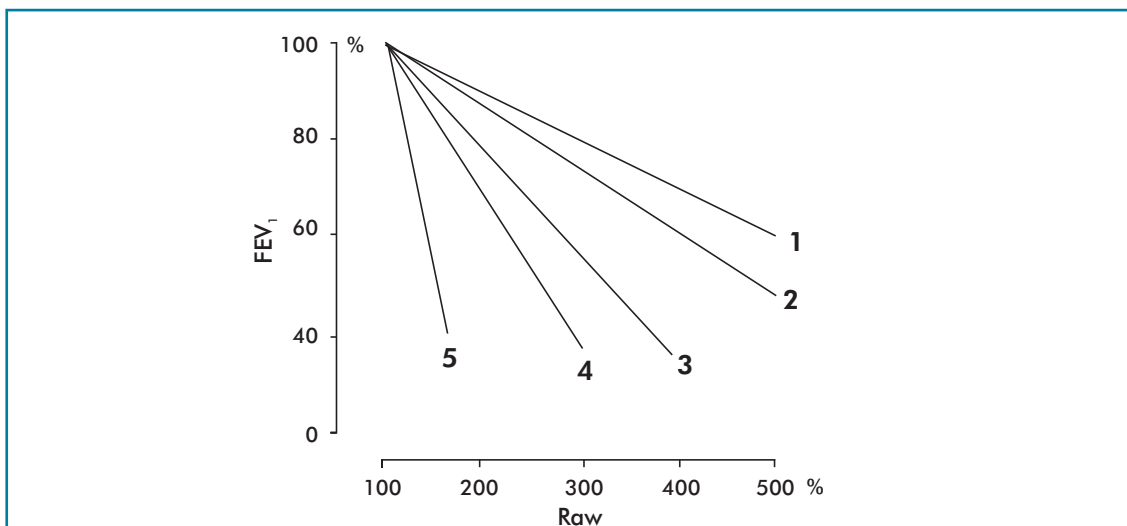
**Figure 4 : Boucle typique chez un BPCO; la boucle est plus ouverte pendant l'expiration.**



**Figure 5 : La relation entre  $R_{aw}$  et  $V$  est inverse et curvilinéaire, et entre  $G_{aw}$  et  $V$  proportionnelle et linéaire**



**Figure 6 : Rapports schématiques entre les changements du VEMS ( $FEV_1$ ) et la  $R_{aw}$  dans des pathologies diverses :  
 1. obstruction des voies aériennes supérieures, 2. asthme, 3. résection pulmonaire, 4. emphysème, 5. fibrose pulmonaire**





## ● Chapitre 4 : Réponse bronchodilatatrice

### I. Techniques de mesure, indices de fonction pulmonaire

La réponse à un bronchodilatateur sera le plus souvent étudiée au moyen du VEMS ( $FEV_1$ ) et de la CV, mais aussi parfois par la mesure des résistances des voies aériennes ( $R_{aw}$ ,  $R_{va}$ ). La résistance des voies aériennes sera de préférence mesurée par pléthysmographie corporelle et peut alors être standardisée par rapport au volume pulmonaire en l'exprimant en valeurs de conductance spécifique ( $sGaw$ ). Lorsque l'on utilise la technique d'oscillation forcée, on choisit la mesure de résistance à 5 ou 6 Hertz, comme la fréquence de résonance de la réactance.

Les index de débit expiratoire forcé (ou de courbe débit-volume) ne sont pas très adaptés à cet examen: le DEP a une reproductibilité insuffisante et les  $DEM_{25-75}$  (MMEF),  $DEM_{50\%CV}$  et  $DEM_{25\%CV}$  peuvent donner des résultats paradoxaux, surtout si la CV varie après bronchodilatation, à moins que la mesure "post" se fasse au même volume que la mesure "pré". Ceci nécessite une programmation informatique (software) dont la plupart des appareils commerciaux ne sont pas équipés.

### II. Expression des résultats

Tout d'abord, la variation après bronchodilatateur doit être exprimée en valeur absolue, c'est-à-dire en litres pour VEMS et CV, L/s pour les débits maximaux et  $cmH_2O.L^{-1}.s$  ou  $kPa.L^{-1}.s$  pour la résistance.

De plus, on doit l'exprimer en % de variation. La plupart des laboratoires de fonction respiratoire utilisent pour cela l'expression "en % relatifs", c'est-à-dire que la variation est exprimée en % de la valeur de départ. Le problème qui s'en suit est la relevance de la réponse dilatatrice bronchique qui est surestimée quand les valeurs de base sont basses : par exemple, chez un BPCO dont la valeur de départ du VEMS est de 20% des valeurs prédites et la valeur après bronchodilatateur de 25%, la réponse relative est de 25%, ce qui serait erronément interprété comme une réponse très significative, et de l'asthme pourrait être suspecté (Table 1). C'est pourquoi les recommandations du groupe de travail "Standardisation des tests fonctionnels pulmonaires" de l'ERS sont de mesurer la réponse en "% absolus", c'est-à-dire en % de la valeur prédite. Ainsi, une augmentation du VEMS de 20 à 25 % chez un patient BPCO correspond à une réponse de 5 %, ce qui n'est pas significatif.

**Table 1: Influence du moyen d'expression de la réponse sur les résultats**

	Cas 1	Cas 2
Valeur de départ	1 L = 20% préd.	4 L = 80% préd.
Post-bronchodilatateur	1,25 L = 25% préd.	4,25 L = 85% préd.
Variation absolue (L)	+ 0,25 L	+ 0,25 L
Variation absolue en % (% prédit)	+ 5%	+ 5%
Variation relative en % (% de valeur de base)	+ 25%	+ 6%

### III. Procédure pratique du test

La réponse bronchodilatatrice peut être mesurée après administration de sympathicomimétiques, d'anticholinergiques ou de théophylline et ceci est suivi de préférence par des mesures "post-bronchodilatateur" répétées, ce qu'on peut appeler une courbe réponse-temps. On peut aussi tester différentes doses du bronchodilatateur, soit faire une courbe dose-réponse.

Pour des mesures cliniques de routine, on peut utiliser une seule dose et une seule mesure "post", normalement réalisée à la réponse supposée maximale: ainsi, après 20 minutes pour un bêta-2-mimétique d'action rapide (2 puffs de salbutamol 200 mcg, ou équivalent via un espaceur), après 45 minutes pour un bêta-2-mimétique de longue durée et après 120 min pour les théophyllines.

Préalablement à ce test, on ne peut pas administrer de bêta-2-mimétique ou d'anticholinergique durant 6 heures, ou de bêta-2-mimétique de longue action ou de théophyllinique durant 12 heures.

Le chromoglycate de sodium, les antihistaminiques et les corticoïdes ne doivent pas être interrompus.

### IV. Variabilité dans la réponse

La réponse varie en fonction de la classe pharmacologique du bronchodilatateur, de la dose, de la labilité bronchique et de la valeur de départ de la fonction pulmonaire au moment de la mesure. Pour le même patient, la réponse peut donc varier plus ou moins en fonction du moment en fonction de la pathologie.

### V. Définition d'une réponse évidente au significative

Par définition, une réponse significative doit être plus grande que la réponse d'un sujet bien portant, et plus grande que la variabilité de la mesure elle-même. Les valeurs limites d'une réponse significative sont données dans le table 2.

**Table 2: Signification de la réponse évidente**

	VEMS	CVF	sGaw
Valeur absolue	200 ml	200 ml	
% absolus	12 %	12 %	
% relatifs	15 %	15 %	40 %

## ● Chapitre 5 : Test de bronchoconstriction : mesure de l'hyperréactivité bronchique non spécifique

L'hyperréactivité bronchique non spécifique (HBNS) est une réaction bronchoconstrictrice exagérée en réponse à différents stimuli non allergéniques. Le terme hyperréactivité ("hyperresponsiveness") recouvre deux aspects de la réponse bronchique exagérée aux agents bronchoconstricteurs : **1°**/ l'hypersensibilité bronchique ("hypersensitivity") qui correspond à un abaissement du seuil de réponse à l'agent bronchoconstricteur entraînant un déplacement vers la gauche de la courbe dose-réponse, et **2°**/ l'hyperexcitabilité bronchique ("hyperreactivity") qui se traduit par une accentuation de la pente de la courbe dose-réponse. Un troisième aspect de la réponse bronchique exagérée est l'absence de phénomène de "plateau" qui est caractéristique de l'asthme modéré et sévère.

Les stimuli bronchoconstricteurs comprennent des agents pharmacologiques (histamine, méthacholine, carbacholine, médiateurs chimiques) et des agents physiques (exercice, aérosols non isotoniques, air froid/sec). Seuls les tests utilisant certains agents pharmacologiques et l'exercice ont été validés et sont utilisés en pratique clinique. Ceux-ci doivent être effectués selon des directions de l'ERS et de l'ATS.

### A. Agents pharmacologiques

#### I. Description de la technique

##### 1. Agents bronchoconstricteurs

- **Histamine** : phosphate d'histamine (poids moléculaire = 325.2) solution dans du sérum physiologique tamponné (*phosphate buffered saline*). L'histamine entraîne plus d'effets secondaires (céphalées, dysphonie, flushing) que les agonistes muscariniques.
- **Agonistes muscariniques**:
  - Méthacholine: chlorure d'acétyl-b-méthyl choline (1 mol = 195 g) ou bromure d'acétyl-β-méthyl choline (1 mol = 239.9 g) en solution dans du sérum physiologique.
  - Carbachol (182.7 g): l'utilisation du carbachol est nettement moins standardisée que celle de l'histamine et la méthacholine.
  - Acétylcholine: moins stable et dégradée par l'acétylcholine estérase.

##### 2. Préparation des solutions

- Préparation des dilutions par des techniciens expérimentés et étiquetage soigneux des solutions.
- Respect des délais de stabilité des solutions des agents bronchoconstricteurs (3 mois à 4°C).
- Les solutions doivent être portées à température ambiante pour réaliser le test de bronchoconstriction car la température de la solution influence le débit de nébulisation.

#### II. Méthodes d'administration des agents pharmacologiques

##### 1. Méthodes "à volume courant"

- Administration: inhalation à volume courant pendant 2 minutes de solutions de l'agent bronchoconstricteur administré à des concentrations doublantes (diluant, 0,03 - 0,06 - 0,125 - 0,25 - 0,5 - 1 - 2 - 4 - 8 - 16 - 32 mg/ml) et à intervalles de 5 minutes.

- Mesure du VEMS : 30 et 90 secondes après la fin de chaque nébulisation.
- Caractéristiques du nébuliseur: particules de diamètre aérodynamique médian (*mass median aerodynamic diameter*) compris entre 1,0 et 3,6  $\mu\text{m}$ ; débit de nébulisation = 0.13 ml/min  $\pm$  10% (par exemple, nébuliseur Wright); pression d'alimentation en air comprimé = 344 kPa (50 p.s.i).

## 2. Méthodes par dosimètre

- Administration : 5 inhalations lentes (5 secondes) et profondes (de la CRF à la CPT), suivies ou non d'une apnée de 5 sec, de concentrations croissantes (diluant, 0,06, 0,25, 1, 4, 16 mg/ml, selon les recommandations de l'ATS), à intervalles de 5 min. Nébulisation de l'agent bronchoconstricteur durant 0.6 sec (activation manuelle ou automatique).
- Mesure du VEMS : 30 et 90 sec après la fin de chaque nébulisation.
- Caractéristiques du nébuliseur: débit de 9  $\mu\text{l}$   $\pm$  10% par 0,6 sec de fonctionnement (par exemple, nébuliseur De Vilbiss 646), pression d'alimentation en air comprimé = 138 kPa (20 p.s.i).

## 3. Méthodes abrégées

Les méthodes décrites ci-dessus nécessitent 20 à 45 min. Elles peuvent être raccourcies : **1** en commençant le test à une concentration supérieure à 0.03 mg/ml, et/ou **2** en administrant la concentration/dose quadruple (au lieu de double) lorsque la diminution du VEMS est inférieure à 5%. Le choix de ces méthodes abrégées doit être basé sur l'histoire clinique du patient (fréquence et sévérité des symptômes asthmatiques et importance du traitement anti-asthmatique habituel).

### III. Evaluation de la réponse bronchique

1. Le VEMS constitue le paramètre le plus simple et le plus reproductible pour évaluer le calibre bronchique. Le VEMS mesuré après administration du diluant est utilisé comme valeur de base. Le VEMS le plus élevé mesuré après administration des différentes concentrations de l'agent bronchoconstricteur est pris en compte pour évaluer la réponse bronchique et établir une courbe concentration/dose-réponse.
2. La résistance (Raw), ou la résistance spécifique (sRaw), ou la conductance spécifique (sGaw) des voies aériennes mesurées en pléthysmographie peuvent être utiles chez les patients qui ne peuvent réaliser des manœuvres d'expiration forcées de qualité acceptable. Ces paramètres ne dépendent pas de l'effort musculaire mais sont moins reproductibles que le VEMS. Les méthodes basées sur les oscillations forcées ou les techniques d'interruption sont également utiles chez les patients qui ne peuvent réaliser une spirométrie acceptable, comme chez les enfants âgés de moins de 6 ans.

### IV. Expression des résultats

1. Le rapport du test doit obligatoirement mentionner la nature de l'agent bronchoconstricteur, la technique d'administration utilisée, ainsi que les concentrations (ou les doses) de l'agent qui ont été administrées.
2. Le résultat du test de bronchoconstriction doit être exprimé par la valeur de la PC<sub>20</sub> (ou de la PD<sub>20</sub> pour la méthode dosimétrique) qui représente la concentration (ou la dose) de l'agent bronchoconstricteur ayant induit une diminution de 20% du VEMS.

La valeur de la PC<sub>20</sub> (ou de la PD<sub>20</sub>) est calculée par interpolation linéaire de la courbe concentration/ dose-réponse tel qu'illustré dans la figure 7. La valeur de la PC<sub>20</sub> (ou de la PD<sub>20</sub>) est calculée selon la formule :

$$PC_{20} = \text{antilog} \{ \log C1 + [(\log C2 - \log C1) (20 - R1)] / (R2 - R1) \}$$

qui peut être simplifiée de la façon suivante:

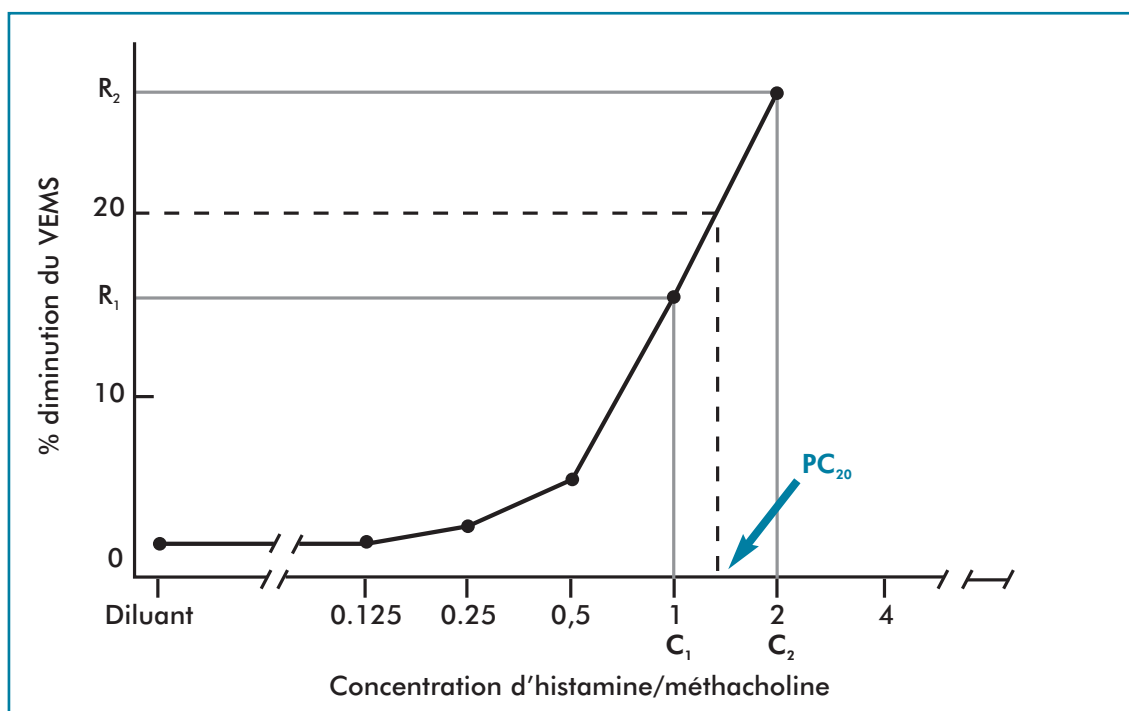
$$PC_{20} = C1 + (C2 - C1) (20 - R1) / (R2 - R1).$$

C1 = avant-dernière concentration de l'agent pharmacologique;

C2 = dernière concentration de l'agent pharmacologique (ayant induit une diminution du VEMS ≥ 20%);

R1 = pourcentage de diminution du VEMS après C1;

R2 = pourcentage de diminution du VEMS après C2.



**Figure 7 : Représentation schématique de la courbe concentration/dose-réponse dans un test de bronchoconstriction pharmacologique. La PC<sub>20</sub>/PD<sub>20</sub> représente la concentration/dose-réponse qu'induit une diminution de 20% du VEMS.**

#### V. Indications

1. **Diagnostic de l'asthme** : lorsque la spirométrie et un test de bronchodilatation ne permettent pas d'établir le diagnostic de manière formelle. En pratique clinique, la mesure de l'HBNS est plus utile pour exclure le diagnostic d'asthme que pour le confirmer. En effet, le test a une excellente sensibilité mais une faible valeur prédictive positive. Par ailleurs, l'HBNS n'est pas spécifique de l'asthme car elle est présente dans d'autres maladies (bronchopneumopathies chroniques obstructives, décompensation cardiaque, mucoviscidose, rhinite allergique).
2. **Diagnostic de l'asthme professionnel** : les variations du degré d'HBNS en relation avec l'exposition au milieu professionnel ou à un agent professionnel spécifique (lors de tests de provocation en laboratoire) constituent un élément important pour établir le diagnostic d'asthme professionnel.

3. **Evaluation de la sévérité, du pronostic et de l'efficacité du traitement de l'asthme** : il n'est pas actuellement démontré que la mesure de l'HBNS ait une utilité clinique dans l'évaluation de la sévérité de l'asthme, du pronostic de la maladie, ou de l'efficacité du traitement. En pratique clinique, des mesures répétées de l'HBNS ne se justifient que dans certaines circonstances :
- Diagnostics difficiles: lorsqu'il existe une discordance entre la sévérité des symptômes et l'intensité du traitement.
  - Asthme intermittent (mesures de l'HBNS pendant et en dehors d'une exposition allergénique).
  - Diagnostic et évaluation des séquelles de l'asthme professionnel (mesures de l'HBNS en période de travail et après écartement) et de l'asthme induit par une intoxication aiguë.

## VI. Calibrations

1. Avant la mise en utilisation de chaque nébuliseur, il est impératif de déterminer le débit d'air comprimé nécessaire pour obtenir le débit de nébulisation requis par le protocole (voir B).
2. La calibration de chaque nébuliseur doit être vérifiée régulièrement (par exemple tous les 20 tests).
3. Le débit d'air comprimé alimentant le nébuliseur doit être régulièrement vérifié à l'aide d'un rotamètre.
4. Les appareils de mesure doivent être calibrés selon les recommandations (voir chapitres précédents).

## VII. Sources d'erreurs

1. Il est impératif de respecter scrupuleusement le protocole choisi car de multiples facteurs techniques peuvent modifier la dose administrée au patient et influencer les résultats du test.
2. Les médicaments doivent être arrêtés selon les recommandations internationales.
3. La mesure de l'HBNS doit être effectuée à distance d'un épisode infectieux des voies respiratoires.
4. Reproductibilité : les études montrent que la reproductibilité à court terme (1 à 8 semaines) des tests de bronchoconstriction est relativement faible, de l'ordre de 1.5 concentration doublante, chez les patients en état stable. La reproductibilité du test de bronchoconstriction doit donc être déterminée pour chaque laboratoire, en particulier lorsque des mesures de l'HBNS sont réalisées de manière répétée chez le même sujet afin de détecter des modifications significatives de la  $PC_{20}/PD_{20}$  dans le diagnostic de l'asthme professionnel.

## VIII. Contre-indications

### 1. Absolues

- Obstruction sévère des voies aériennes : VEMS < 1,2 L (recommandations de l'ERS); VEMS < 50% des valeurs prédites ou < 1 L (recommandations de l'ATS).
- Infarctus myocardique ou accident vasculaire cérébral récent (< 3 mois).
- Hypertension artérielle non contrôlée.
- Anévrisme artériel connu.
- Incapacité du sujet à comprendre les modalités du test

## 2. Relatives

- Obstruction modérée à sévère des voies aériennes : VEMS < VEMS prédit - 1,5 L pour les hommes; < VEMS prédit - 1,2 L pour les femmes (recommandations de l'ERS); VEMS < 60% ou < 1,5 L (recommandations de l'ATS).
- Grossesse et allaitement.
- Epilepsie traitée

### IX. Précautions

1. Les tests de bronchoconstriction doivent être réalisés par des techniciens entraînés ayant reçu des consignes de sécurité précises pour traiter un bronchospasme aigu. Un médecin doit être disponible dans un délai raisonnable.
2. Les médicaments nécessaires pour traiter un bronchospasme aigu (bronchodilatateurs en inhalation et sous forme injectable; oxygène) doivent être disponibles dans le local où est effectué le test.
3. Le patient ne sera autorisé à quitter le laboratoire qu'après avoir vérifié que le VEMS est > à 90% du VEMS pré-test.

### X. Valeurs de référence

1. Il y a lieu de choisir un protocole standardisé et validé qui permette une interprétation correcte des résultats. Pour l'histamine, on considère habituellement qu'il y a HBNS lorsque la PC<sub>20</sub> est < 8 mg/ml ou la PD<sub>20</sub> < 6.8 µmol (< 2.1 mg). Pour la méthacholine, il y a HBNS lorsque la PC<sub>20</sub> est < 8 mg/ml ou la PD<sub>20</sub> < 10.6 µmol (< 2.1 mg).
2. Il y a modification significative du degré d'HBNS lorsque les valeurs de PC<sub>20</sub>/PD<sub>20</sub> dépassent les limites de reproductibilité lors de deux mesures effectuées chez un même sujet. Les limites de reproductibilité de la méthode utilisée doivent être déterminées pour chaque laboratoire.

## **B. Tests de bronchoconstriction à l'effort**

### I. Description de la technique

1. Effort physique (sur tapis roulant ou cycloergomètre) visant à atteindre, en 4 minutes, une fréquence cardiaque équivalente à 80-90% de la fréquence cardiaque maximale prédite (220/min – âge) ou une ventilation équivalente à 40-60% de la ventilation maximale prédite (VEMS x 35). Ces conditions d'exercice doivent être maintenues pendant 4 minutes.
2. Inhalation d'air à température ambiante (20-25°C; degré d'humidité < 50%) ou air sec.
3. Mesure du VEMS avant l'exercice et ensuite 1, 5, 10, 15 et 30 min après la fin de l'exercice

### II. Indications

Rechercher l'existence d'un bronchospasme à l'effort chez les sujets qui se plaignent de symptômes respiratoires (dyspnée, sifflements, toux) à l'effort, même si le test de bronchoconstriction pharmacologique est négatif.

### III. Sources d'erreurs

1. Un exercice physique préalable peut entraîner un effet protecteur (période réfractaire) pendant 4 heures.
2. Les médicaments doivent être arrêtés selon les recommandations internationales.

#### IV. Contre-indications

Idem que en A.VIII

#### V. Précautions

Idem que en A.IX, plus monitoring de l'ECG et de la saturation en oxygène.

#### VI. Valeurs de référence

Une diminution du VEMS supérieure à 10-15% de la valeur pré-exercice est considérée comme étant significative



## ● Chapitre 6 : Facteur de transfert ( $T_{L,CO}$ ) ou capacité de diffusion ( $D_{L,CO}$ )

Le terme "transfert" est à préférer au terme "diffusion" car :

**1°/** on ne mesure pas seulement la diffusion du CO à travers la membrane alvéolo-capillaire mais aussi sa captation par les globules rouges, et donc le transfert total, et

**2°/** on ne mesure pas une capacité maximale mais un facteur de transfert au repos (qui n'est, par exemple, que 50% des valeurs mesurées lors d'un effort maximal).

### I. Techniques de mesure

1) La "single breathholding technique" ou technique en apnée ( $T_{L,CO,sb}$ ): le sujet investigué inspire jusqu'à la CPT et maintient une apnée de 10 secondes après laquelle il expire rapidement (mais pas une expiration forcée).

C'est la méthode utilisée en routine dans les laboratoires. Avec cette méthode, on doit prendre en compte les facteurs suivants:

- l'inspiration doit être rapide;
- l'inspiration doit être pratiquement maximale, c'est à dire que le volume inspiré ( $V_{in}$ ) doit être supérieur ou égal à 90% de la capacité vitale, car le  $T_{L,CO}$  est sous-estimé au cours d'une inspiration incomplète (voir plus loin);
- le temps d'apnée doit être correctement établi (classiquement 10 sec): les appareillages modernes permettent en général un temps d'apnée variable. Cette apnée doit cependant durer au minimum 5 sec pour obtenir une mesure fiable;
- l'expiration doit être rapide.

La valeur minimale de capacité vitale nécessaire pour obtenir une mesure fiable varie en fonction de la qualité de l'appareillage et surtout des analyseurs. Il est également essentiel qu'une quantité suffisante de "gaz alvéolaire" soit obtenue au cours de l'expiration rapide, autrement dit que le volume de l'"espace mort" du patient et de l'appareillage soit expiré complètement. Pour plus de sécurité, cette valeur est estimée à 500 ml environ pour une quantité nécessaire de gaz alvéolaire supérieure ou égale à 200 ml.

2) La technique d'expiration en "single-breath" ou expiration unique: cette technique est devenue possible grâce à des analyseurs rapides. Le patient doit également expirer très régulièrement, ce qui échoue malheureusement la plupart du temps. C'est pourquoi cette technique n'est pas à recommander en routine: les patients incapables d'exécuter correctement une manœuvre de  $T_{L,CO,sb}$  classique pourront encore moins facilement exécuter cette technique "de pointe". Des directives universellement acceptées sur le technique et des valeurs de référence ne sont pas disponibles.

3) La méthode par "rebreathing" ou réinhalation: les résultats obtenus par cette technique ne correspondent pas à ceux obtenus avec le  $T_{L,CO,sb}$ .

4) La méthode en état stable ou "steady state": Ses résultats sont très dépendants de la ventilation/minute du sujet.

Le  $T_{L,CO,sb}$  est donc la technique classiquement utilisée, raison pour laquelle la discussion suivante ne considérera que cette méthode.

### II. Subdivision du $T_{LCO,sb}$

- Le coefficient de transfert (KCO): est un facteur mesuré au cours du test.  $T_{L,CO}$  est calculé en multipliant le KCO par le volume alvéolaire correspondant (VA). Ce dernier peut-être obtenu par différents méthodes (voir plus loin).

- La capacité de diffusion de la membrane alvéolo-capillaire ( $D_m$ ) et la vitesse de réaction du CO avec l'hémoglobine ( $\Theta \cdot Q$ ) peuvent être obtenues séparément en réalisant la mesure avec deux concentrations très différentes d'oxygène. Ces mesures ne sont pas pratiquées en routine, et nous n'en discuterons donc pas dans ce qui suit.

### III. Facteurs interférant avec les résultats du $TL_{CO, sb}$ .

- Le tabagisme actif** : le patient ne peut pas fumer dans les 24 heures précédant le test, car ceci entraînerait une augmentation de la carboxyhémoglobine d'au moins 5%, avec chute correspondante du  $TL_{CO, sb}$ .
- L'anémie** entraîne en moyenne une chute du  $TL_{CO}$  de l'ordre de 60% de la diminution de l'hémoglobine: par exemple, une chute de 50% du taux d'hémoglobine diminue le  $TL_{CO}$  de 30%. Pour cette raison, une correction mathématique de la  $TL_{CO}$  mesurée doit être opérée en cas d'anémie.
- Le volume pulmonaire inspiré ( $V_{in}$ )** : si la mesure du  $TL_{CO}$  est faite au cours d'une inspiration incomplète, par exemple à 50% de la CPT,  $TL_{CO, sb}$  ne sera que de 75% et KCO de 150% des valeurs attendues. En conséquence, une inspiration incomplète, par exemple suite à une pathologie musculaire, sous-estime le  $TL_{CO, sb}$  et surestime le KCO. Il en est de même dans les maladies restrictives du poumon (résection chirurgicale, fibrose) où  $TL_{CO, sb}$  baisse et KCO augmente. C'est la raison pour laquelle, au cours de certaines pathologies interstitielles comme la sarcoïdose, on observe des valeurs de KCO dépassant 100% des valeurs prédites en cas de diminution importante de la CPT. Le KCO n'a donc qu'une valeur informative limitée dans les pathologies restrictives.
- Le volume alvéolaire (VA)** peut être mesuré de trois manières différentes, ce qui influencera la mesure du  $TL_{CO, sb}$ , mais pas celle du KCO.
  - Mesure par équilibration gazeuse de 5 à 10 minutes, en général à l'hélium. C'est la technique de référence ( $V_{amb}$ ) qui est classiquement recommandée
  - Mesure en respiration unique ou "single-breath" ( $V_{asb}$ ): elle comporte clairement une sous estimation du  $TL_{CO, sb}$  en cas d'obstruction modérée à sévère des voies aériennes et en cas d'anomalies de la distribution de la ventilation. C'est cependant la méthode actuellement la plus utilisée
  - Mesure par pléthysmographie ( $V_{apl}$ ): elle comporte une surestimation en cas de présence de territoires bulleux non ventilés.
  - Lorsque le  $V_{asb}$  est  $< 0,85 V_{amb}$ , il est recommandé d'utiliser uniquement le dernier index.

### IV. Recommandations pratiques pour la mesure

- En cas de déficit respiratoire obstructif, administrer un bronchodilatateur avant le test;
- arrêt du tabac 24 heures avant le test;
- le patient doit rester assis tranquillement 5 minutes avant le test, et la mesure faite en position assise;
- maintenir un intervalle d'au moins 4 minutes entre les différentes mesures;
- ne pas administrer d'oxygène durant les 30 minutes qui précèdent (p.e. ne pas effectuer une rinçage de  $N_2$ ); en effet, une pression alvéolaire d'oxygène trop élevée diminue la  $TL_{CO}$ ;
- le volume inspiré ( $V_{in}$ ) doit être d'au moins 90% de la CV;
- au cours de l'apnée, ne pas faire de manœuvres de Valsalva ou de Mueller. Veiller aussi à ne pas avoir de fuite buccale;
- le volume total expiré sera au minimum de 0,75 à 1 L pour comporter l'espace mort et le gaz alvéolaire;
- l'inspiration et l'expiration doivent être rapides.

## V. Variations physiologiques

TL,CO est corrélé positivement avec la taille, négativement avec l'âge et est un peu plus bas chez les femmes. Dans les races non-caucasiennes, où CPT est en moyenne 10 à 15% plus petite, KCO est plus élevée et les valeurs de TL,CO sont donc semblables.

## VI. Valeurs de référence

Les valeurs de références de l'ERS/CECA (Bull Eur Physiopath Resp 1983, suppl. 5) sont utilisées de préférence pour TL,CO. Elles sont cependant surévaluées d'environ 15% pour le KCO, ce qui fait que chez une personne saine, on mesure des KCO d'environ 85% des valeurs prédites. C'est pourquoi nous recommandons d'utiliser une des deux méthodes suivantes pour calculer les valeurs prédites de KCO :

- ou bien réduire de 15% les valeurs de référence de l'ERS/CECA. C'est l'attitude la plus recommandée;
- ou bien diviser la TL,CO prédite du patient par la CPT prédite

# Chapitre 7 : L'épreuve d'effort en pneumologie

L'épreuve d'effort a pour but de mesurer la capacité d'effort et de détecter les facteurs limitants.

L'épreuve d'effort permet ainsi d'évaluer de façon globale et objective la plainte de dyspnée à l'effort chez des patients respiratoires. Le pneumologue se contente malheureusement souvent de tests fonctionnels de repos, ignorant donc ainsi les adaptations cardio-respiratoires possibles pendant l'effort.

## I. Conditions générales pour le test

### A. Qualification du personnel

- Deux personnes, dont une au moins est médecin ;
- avec connaissances de base en physiologie de l'exercice ;
- avec expérience en réanimation cardio-respiratoire.

La qualification du personnel dépend du profil du patient.

### B. Règles de sécurité

Une revue récente analysant huit études révèle que les morts soudaines vont de 0 à 5 pour 10.000 tests. Une autre étude française basée sur 458.000 tests réalisés entre 1975 et 1985 rapporte un décès pour 76.000 épreuves d'effort. Le risque est en tous cas relativement bas et est étroitement lié à la maladie sous-jacente : il est beaucoup plus élevé chez les sujets ayant présenté un infarctus du myocarde récent ou présentant des troubles du rythme sévères.

Un monitoring soigneux par ECG est indiqué pendant ou immédiatement après l'épreuve d'effort.

## II. Indications et contre-indications

L'évaluation de l'indication ou de la contre-indication d'une épreuve d'effort chez un patient donné repose en première instance sur les données cliniques.

### A. Les indications sont multiples et sont présentés dans le tableau 1.

#### Tableau 1: Indications de l'épreuve d'effort

- Evaluation de la tolérance à l'effort (capacité d'effort maximale)
  - Quantification de la tolérance à l'effort - degré du handicap/incapacité de travailler
  - Mise en évidence des facteurs limitants l'exercice
- Indications cliniques spéciales
  - Apport diagnostique
    - Dépistage de l'étiologie de la dyspnée
    - Dépistage de l'asthme post-exercice
    - Evaluation de la sévérité de la déficience et de son pronostic (hypoxémie post exercice)
  - Evaluation préopératoire
    - Résection pulmonaire
    - Réduction du volume pulmonaire
    - Transplantation pulmonaire
  - Suivi des maladies respiratoires et de leur traitement
- Prescription du réentraînement à l'effort
  - Méthode standardisée
  - Méthode individualisée.

B. Les contre-indications sont reprise dans le tableau 2.

**Tableau 2 : Contre-indications à la réalisation d'une épreuve d'effort**

Contre-indications absolues	Contre-indications relatives
<ul style="list-style-type: none"><li>● Infarctus du myocarde de moins d'une semaine</li><li>● Troubles du rythme sévères</li><li>● Maladie fébrile aiguë</li><li>● Oedème pulmonaire</li><li>● Angor instable</li><li>● Myocardite ou péricardite aiguë</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Infarctus du myocarde de moins de 4 semaines</li><li>● Maladie valvulaire aortique</li><li>● HTA non contrôlée (200/120 mmHg)</li><li>● Tachycardie de repos &gt; 120/min</li><li>● Troubles électrolytiques (hypo ou hyperkaliémie)</li><li>● Bloc auriculo-ventriculaire</li><li>● Maladie thrombo-embolique</li><li>● Antécédents d'épilepsie</li><li>● Maladie vasculaire cérébrale</li><li>● Insuffisance respiratoire aiguë.</li></ul>

C. Critères d'arrêt de l'exercice sont énumérés dans le tableau 3

- Ils doivent être connus de tout le personnel participant à l'épreuve d'effort;
- si l'épreuve d'effort a été arrêtée pour quelque raison que ce soit, le patient doit être surveillé dans le laboratoire jusqu'à ce que les plaintes ou les symptômes électrocardiographiques aient disparus;
- si nécessaire, la réanimation doit être commencée sur place;
- le matériel de réanimation doit être en bon état et disponible sur place: défibrillateur, matériel d'intubation, source d'oxygène, etc.

### **III. Préparation**

#### A. Préparation du patient

- Ne pas manger au moins 2 heures avant l'épreuve;
- arrêt de tabac (durée maximale souhaitée);
- éviter de consommer des boissons contenant de la caféine;
- apporter des vêtements légers ;
- éviter les vêtements comprimant l'abdomen.

#### B. Lorsque le patient arrive sur le plateau technique

- Réaliser une anamnèse détaillée (antécédents, traitement actuel, pathologies représentant une contre-indication à la réalisation de l'épreuve d'effort);
- information préalable sur le test, l'appareillage, les risques potentiels;
- encourager le patient à poser des questions (réduire éventuelle anxiété);
- familiariser le patient avec l'appareillage (surtout nécessaire pour le tapis roulant);
- fixer la selle à bonne hauteur (le genou doit être légèrement plié lorsque la pédale est à son plus bas);
- brancher les électrodes et le tensiomètre;
- embout buccal ou masque: un embout empêche les petites fuites mais induit une salivation dont il faut avertir le patient;
- pour le confort du patient il est nécessaire de pouvoir communiquer avec lui afin qu'il se sente en confiance. On l'informe qu'il doit signaler la moindre anomalie en pointant le pouce vers le sol et en signalant ensuite le siège d'une éventuelle douleur;

- à noter que les gaz du sang doivent être réalisés sur le patient branché y compris au repos car même avec les appareils les plus modernes il y a toujours une certaine résistance qui par effet PEEP va améliorer de quelques millimètres de mercure la PaO<sub>2</sub>. On pourra ainsi comparer les gaz du sang de début et de fin d'effort dans les mêmes conditions;
- si pour une raison quelconque le test n'a pas pu être réalisé dans des conditions satisfaisantes, il pourra être recommencé après une période de repos d'au moins 30 - 40 minutes.

**Tableau 3: Critères d'arrêt de l'exercice**

<p><b>Critères absolus : symptômes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Douleur thoracique aiguë</li> <li>● Apparition soudaine d'une pâleur</li> <li>● Perte de coordination</li> <li>● Confusion mentale</li> <li>● Dyspnée extrême</li> </ul>	<p><b>Critères absolus : signes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Sous-décalage ST supérieur à 0,1 mV (moins spécifique chez les femmes)</li> <li>● Inversion onde T</li> <li>● Tachycardie ventriculaire persistante</li> <li>● Chute de 20 mmHg de la pression artérielle systolique au dessous de la valeur de repos ou de la plus haute valeur obtenue au cours du test d'exercice</li> </ul>
<p><b>Critères relatifs</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Extrasystoles ventriculaires polymorphes ou fréquentes</li> <li>● Hypertension systolique &gt; 250 mmHg</li> <li>● Hypertension diastolique &gt; 130 mmHg</li> </ul>	

#### IV. Les protocoles

On choisit le protocole en fonction de l'objectif de l'épreuve d'effort, de l'infrastructure et du matériel disponibles, du patient qu'on désire évaluer et des variables qu'on désire étudier. Il est souhaitable d'uniformiser quelque peu les protocoles tout en les personnalisant de manière relativement simple permettant de la sorte que le patient réalise une épreuve d'effort dans des conditions optimales.

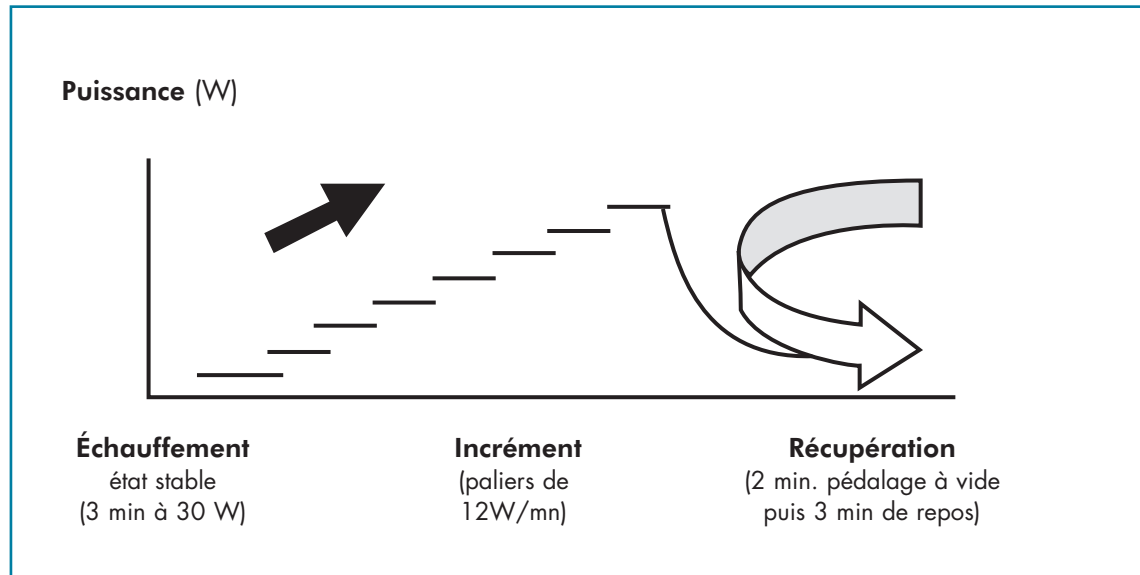
En fonction de l'objectif on détermine le protocole (effort à charge croissante, à charge constante ou en créneaux) et la technique (course, test de marche, cyclo-ergométrie, tapis roulant).

Le groupe de travail propose pour l'ergospirométrie en pneumologie un protocole de routine avec augmentation progressive de la charge jusqu'à épuisement. Il s'agit de la meilleure technique d'appréciation des capacités d'effort maximales et d'évaluation du seuil anaérobie ou seuil lactique (assimilable chez le BPCO au seuil de dyspnée)

##### A. Les 4 phases de l'épreuve d'effort à charge croissante

- Une phase de repos de 3 minutes permettant d'explorer le patient sous l'angle cardiovasculaire et ventilatoire avant de débiter l'exercice;
- une phase d'échauffement pendant laquelle le patient pédale de 3 à 5 minutes à 20 % de la charge maximale théorique;
- une phase d'incrémentation par paliers de 1 minute. Le protocole sera individualisé pour que l'incrémentation dure entre 8 et 12 minutes, durée optimale pour le calcul des différents paramètres et l'évaluation du seuil ventilatoire (voir plus loin). Certaines équipes utilisent une rampe continue, toutefois avec des résultats équivalents;

- une **phase de récupération** d'abord active en faisant pédaler le patient pendant 2 minutes à la puissance d'échauffement, puis passive pendant 3 minutes afin d'éviter la survenue d'une syncope vagale et ses répercussions cardiaques. Cette procédure permet l'élimination des lactates. Cette phase de récupération permet d'explorer le temps de retour à une fréquence cardiaque et respiratoire de repos (fig. 8).



**Figure 8 : L'épreuve triangulaire (à charge croissante). Elle comprend 4 phases : repos (3 mn), échauffement (3 min à 20 % de la PMT), effort (10 paliers de 1 min, incréments 10 à 20 W), récupération (active: 2 min, passive: 3 min).**

**B.Sélectionner la charge en fonction du temps afin de limiter la durée de l'épreuve à  $10 \pm 2$  min**

- **Chez des patients non respiratoires** : pendant la phase d'échauffement, le patient pédale à 20% de la charge théorique. L'incrément de la charge par unité de temps (min.) se calcule en divisant les 80% restant de la charge théorique par 10. La charge théorique (en Watt) se calcule en divisant le  $V'O_{2max}$  (exprimé en ml/min), auquel on retire 250 ou 300 ml/min selon le sexe, par 10,3 ou plus souvent par 10.
- **Chez des patients respiratoires** : le pourcentage de la  $V'O_{2max}$  théorique est proche du pourcentage du VEMS théorique. Il suffit de multiplier la  $V'O_{2max}$  théorique par le % VEMS.
- **Exemple** : chez un patient avec  $V'O_{2max}$  théorique de 2,5 L/min et un VEMS à 60% de la valeur prédite, la  $V'O_{2max}$  est de 1,5 L/min, soit 120 Watt. Un échauffement sera réalisé à 20% de la charge maximale (dans l'exemple cela fera 24 Watt, dans la pratique 20 Watt). Les 100 Watt restant doivent être répartis sur 10 min, ce qui correspond à 10 Watt/min.
- **Remarques** :
  - Une telle individualisation de l'épreuve n'est pas possible chez des patients porteurs d'affections à répercussion respiratoire comme une décompensation cardiaque. La puissance maximale obtenue dans les stades 2 et 3 de la NYHA est de 100 à 150 Watt avec une incrémentation habituellement de 10 Watt/min.
  - Lorsqu'il s'agit d'un sportif de niveau régional ou national, on majore la  $V'O_{2max}$  de 30% et pour un athlète de niveau international, on le majore de 50%. A noter que chez les vétérans sportifs ou les athlètes de haut niveau âgés de plus de 65 ans on peut obtenir une augmentation de 100% de la  $V'O_{2max}$ .

## V. Calibration et sources d'erreur

- Le test de calibration le plus simple consiste à employer un étalon humain une fois par mois et de vérifier qu'à 3 niveaux métaboliques connus (par ex 50, 100 et 150 Watt) l'on obtienne des valeurs de VE et  $V'O_2$  reproductibles d'une fois à l'autre.
- La calibration du volume et des débits ne posent guère de problème si l'on utilise une seringue de 3 L (préférable à celle de 1 L) dans la gamme des valeurs désirées (une ventilation de 130 L correspond à une fréquence de 60/min).
- Les signaux  $O_2$  et  $CO_2$  sont plus délicats surtout s'ils sont analysés en cycle par cycle, ce qui suppose des analyseurs rapides parfaitement calibrés, une mise en phase des signaux et surtout un suivi en fréquence pour des fréquences dépassant 40 cycles/min. Dans le cas où les signaux  $O_2$  et  $CO_2$  ne suivent plus, le calcul de la  $V'O_2$  et de la  $V'CO_2$  deviendra particulièrement inadéquat. Le pneumologue se doit donc d'exiger que son système soit calibré par un simulateur métabolique pour des hauts niveaux de ventilation et de fréquence. En absence de certitude, un test d'hyperventilation au repos de courte durée permet d'évaluer la fiabilité du système. Dans ces conditions, on s'attend évidemment à ce que la VE et la  $V'CO_2$  augmentent et dans une bien moindre mesure la  $V'O_2$  de manière à obtenir un quotient respiratoire largement supérieur à 1. Si on remarque une augmentation progressive de la  $V'O_2$ , c'est qu'il y a un problème avec l'appareil. Le calcul de moyennes sur plusieurs cycles peut évidemment prévenir ce problème mais on perd alors l'information cycle par cycle. Le mieux est donc de calibrer les installations avec un simulateur métabolique.
- La calibration de la bicyclette ergométrique doit également être effectuée. Il n'est pas rare qu'elle ne se fasse qu'au moment de l'installation initiale

## VI. Spécification de l'appareillage

Une description très détaillée de tous les équipements disponibles en 1997 a été faite par Lirsac et coll. (Rev Pneum Clin 1997; 53: 258-270).

Les points essentiels lors du choix de l'équipement touchent aux signaux de base : volume-débit, concentration  $CO_2$  et  $O_2$ .

## VII. Interprétation de l'épreuve d'effort

### A. Interprétation générale

L'interprétation d'une épreuve d'effort se fait en différentes étapes :

- Il faut d'abord s'assurer que les résultats soient fiables et interprétables, c.à.d. que l'épreuve ait été maximale;
- ensuite il s'agit d'analyser les résultats : l'ensemble de la chaîne d'abord, maille par maille
- ensuite on étudie le profil des anomalies, en le comparant au profil habituel rencontré pour un certain nombre d'affections respiratoires (tableau 4);
- si besoin, on précise le degré de handicap du patient quel que soit le niveau de perturbation de sa fonction respiratoire. Le tableau 2-6 dans la Première Partie reprend les propositions d'un groupe d'experts belges (1990) qui n'est toujours pas d'application légale. Dans ce tableau on ne reprend que la variable  $V'O_{2max}/ml/min/kg$  en ce que concerne l'épreuve d'effort.

Remarques :

- Dans la Partie I "valeurs de référence" on recommande pour le calcul de la  $V'O_{2max}$  la formule de Jones.
- Au cours d'une épreuve d'effort progressive, on mesure une grande quantité de variables. La tendance consiste à n'exploiter ces variables qu'à l'exercice maximal. C'est perdre ainsi un nombre d'informations importantes.



**Tableau 4 : Caractéristiques des différents types de limitation**

	Limitation Respiratoire	Limitation Cardio-vasculaire	Limitation Périphérique
VO <sub>2SL</sub>	↘↘	↘↘	↘
Res. vent.	↘↘ ou ↘ (PID)	N ou ↗	N
Fr. resp	↗↗	↗	N ou ↗
PaO <sub>2</sub>	N à ↘↘↘	N ou ↘ (vasc)	N
Rés. Chronot.	↗↗	↗	N
Pls O <sub>2</sub>	N ou ↘	↘ ±	N ou ↘
VD/VT	↗	↗ ou ↗↗ (vasc)	N
Seuils vent./lact	N ou ↘	N ou ↘	↘

PVasc = maladies vasculaires pulmonaires - PaO<sub>2</sub> = pression partielle en O<sub>2</sub> dans le sang artériel - PID = pneumopathies interstitielles diffuses - N = normal - Rés. Chronot. = réserve chronotrope - VO<sub>2SL</sub> = VO<sub>2</sub> symptôme limité - PlsO<sub>2</sub> = pouls d'oxygène - Rés. Vent. = réserve ventilatoire - VD/VT = espace mort/volume courant - Fr. resp = fréquence respiratoire

- Il est donc utile de représenter les cinétiques graphiques en fonction de la VO<sub>2</sub> par exemple de même que la VT, la fréquence respiratoire, le pouls d'O<sub>2</sub>, etc.
- Pour l'interprétation d'une épreuve d'effort, beaucoup évaluent les paramètres à charge maximale mais aussi sousmaximale (par ex au niveau du seuil par définition variable d'un individu à un autre, soit à des niveaux métaboliques précis, par ex 100 Watt. Les tableaux 5 et 6 donnent quelques valeurs de normalité pour les différents paramètres au niveau 100 Watt.
- Les algorithmes permettant au clinicien d'établir un diagnostic sont très certainement utiles et fonctionnent sur un mode binaire (0 ou 1, tout ou rien). Pour l'épreuve d'effort (comme partout en médecine) on rencontre des signes ou symptômes spécifiques liés à différentes affections. Pour des affections plus spécifiques il existe néanmoins des signes cliniques précis jouant un rôle plus prédominant que d'autres. Une analyse plus intégrée est par conséquent souhaitable. Les éléments essentiels permettant de différencier les différentes pathologies sont résumés dans le tableau 4.

## **B. Les mesures pulmonaires plus spécifiques**

### **1. Limitation ventilatoire**

Celle-ci s'appréciera surtout par :

- la mesure de la réserve ventilatoire (méthode généralement reconnue);
- rapport VT/capacité inspiratoire;
- boucle débit-volume et le niveau d'hyperinflation dynamique (fréquemment observé chez le BPCO).

Les équipements standards offrent la capacité de garder en mémoire la boucle volume-débit maximale faite au repos et celle obtenue pendant l'effort maximal. Une manœuvre d'inspiration maximale pendant l'effort permet de repositionner correctement la boucle d'effort dans le tracé obtenu par une expiration et inspiration forcée au repos.

## 2. Evaluation de la dyspnée à l'effort

- Ceci peut se faire en demandant au patient de se positionner sur une échelle visuelle analogique ou sur l'échelle de BORG;
- l'évaluation de la relation entre la sensation de dyspnée et la ventilation maximale permet d'évaluer le seuil de dyspnée, la pente de cette relation ainsi que la dyspnée maximale.

## 3. Le suivi de la saturation de l'oxygène

- L'oxymétrie d'oreille ou de doigt : une diminution d'au moins 5 % de la saturation suggère une anomalie des échanges gazeux;
- la mesure des gaz du sang par une macro- ou microméthode donnera des informations largement supérieures et est la seule technique permettant d'évaluer le gradient alvéolo-artériel pour l'O<sub>2</sub> et le CO<sub>2</sub>.

## 4. Mesure du VEMS avant et après effort

- Est utile pour détecter l'asthme d'effort;
- une épreuve d'effort classique n'est pas indiquée pour détecter un asthme d'effort (pas de standardisation de la température, du degré d'humidité, etc.);
- toux ou dyspnée post-effort doivent inciter le pneumologue à réaliser une fonction respiratoire et comparer celle-ci aux valeurs obtenues avant l'effort.

## 5. Reproductibilité

Le coefficient de variation pour le V'O<sub>2</sub>, V'CO<sub>2</sub>, V'E et rythme cardiaque chez des volontaires sains est respectivement 1,7% - 2,2% - 3,1% et 1,7% pendant l'épreuve d'effort maximale et submaximale.

**Tableau 5 : Mesures à 100 W par catégories d'âge**

	Femme						
âge années	VO <sub>2</sub> L/mn	VCO <sub>2</sub> L/mn	R	VE L/mn	VT L	HR mn	BP <sub>s</sub> mmHg
15-24	1,30	1,30	0,99	36,1	1,40	156	140
SD	0,129	0,241	0,122	8,65	0,193	15,0	12,4
25-34	1,38	1,27	0,93	36,3	1,70	150	144
SD	0,190	0,149	0,168	7,87	0,280	17,7	16,2
35-44	1,31	1,44	1,10	41,2	1,81	154	152
SD	0,106	0,123	0,123	3,78	0,321	13,8	10,3
45-54	1,35	1,48	1,10	42,3	1,85	151	157
SD	0,120	0,180	0,129	5,38	0,260	12,1	11,3
55+	1,27	1,53	1,21	46,8	1,76	155	162
SD	0,136	0,199	0,118	8,00	0,271	12,2	20,5
Total	1,32	1,40	1,07	40,4	1,70	153	149
SD	0,137	0,203	0,132	6,95	0,266	14,2	13,8

	Hommes						
âge années	VO <sub>2</sub> L/mn	VCO <sub>2</sub> L/mn	R	VE L/mn	VT L	HR mn	BPs mmHg
15-24	1,53	1,39	0,92	35,9	2,31	122	152
SD	0,115	0,088	0,073	2,62	1,06	14,6	11,8
25-34	1,48	1,28	0,86	34,0	2,31	112	143
SD	0,093	0,123	0,083	6,00	0,656	12,6	25,9
35-44	1,50	1,32	0,88	37,8	2,35	111	148
SD	0,144	0,075	0,074	5,21	0,656	20,1	10,3
45-54	1,42	1,28	0,90	36,5	1,92	112	157
SD	0,092	0,102	0,065	2,73	0,360	11,6	12,5
55+	1,35	1,35	1,00	38,7	2,07	123	178
SD	0,140	0,149	0,100	4,32	0,262	13,0	24,9
Total	1,46	1,35	0,91	36,5	2,19	116	154
SD	0,128	0,115	0,89	4,33	0,68	15,0	19,7

**Tableau 6: Mesures à 100 W par catégories de taille**

Taille cm	VO <sub>2</sub> L/mn	VCO <sub>2</sub> L/mn	R	VE L/mn	VT L	HR homme batt/m	HR femme batt/m	BPs mmHg	RPE
< 160	1,30	1,54	1,19	43,2	1,65		163	159	6,0
SD	0,117	0,199	1,144	6,46	0,196		9,6	13,9	*
160-165	1,30	1,44	1,11	41,7	1,72		153	151	4,7
SD	0,119	0,189	0,138	7,43	0,258		10,8	16,1	*
165-170	1,33	1,29	0,97	36,4	1,78	124	147	144	4,1
SD	0,18	0,178	0,123	6,56	0,391	18,4	12,3	12,3	*
170-175	1,42	1,38	0,98	38,9	1,89	115	144	158	3,9
SD	0,153	0,156	0,148	7,63	0,369	10,8	21,5	31,6	*
175-180	1,51	1,31	0,87	36,8	2,24	114		150	3,0
SD	0,145	0,079	0,077	5,43	0,679	21,7		17,0	*
180-185	1,44	1,32	0,92	37,0	2,01	111		153	3,1
SD	0,086	0,099	0,063	2,41	0,353	11,3		13	*
> 185	1,55	1,36	0,88	36,3	2,86	109		149	2,4
SD	0,105	0,113	0,042	4,7	1,109	17,3		18,0	*
Total	1,39	1,36	0,99	38,4	1,96	116	151	151	*
SD	0,148	0,167	0,147	6,49	0,582	15,0	13,0	18,2	*

\* = Trop peu d'observations pour calculer SD ; RPE = rate of perceived exertion.

# Chapitre 8 : Mesure des pressions maximales à la bouche

En pratique de routine, on peut évaluer la fonction des muscles respiratoires au moyen de la mesure des pressions maximales à la bouche, des mouvements de la paroi thoracique et de l'abdomen, de l'examen de la différence entre les valeurs de CV mesurées en position assise et couchée, et par la radioscopie centrée sur l'observation du mouvement des coupes diaphragmatiques. Ici seule la première méthode est expliquée plus en détails.

## I. Description de la technique de mesure

- Patient en position assise;
- bonne explication au patient (difficulté de la manœuvre);
- pour les pressions buccales inspiratoires (PI max), le patient doit:
  - expirer à fond (niveau du VR),
  - bien presser ses lèvres sur la pièce buccale,
  - inspirer fortement et garder la pression induite dans la pièce buccale plus d'une sec,
  - durant cette manœuvre, le patient doit être chaleureusement encouragé;
- pour la mesure des pressions buccales expiratoires (PE max), le patient doit:
  - inspirer à fond (au niveau de la CPT),
  - bien serrer ses lèvres sur la pièce buccale,
  - souffler à fond et maintenir cette pression positive dans la pièce buccale pendant plus d'une sec,
  - le patient doit être chaleureusement encouragé durant la manœuvre.

## II. Nombre de tests

- Minimum 3, maximum 10;
- la variabilité intra-individuelle est faible (coefficient de variation de 6-9 %);
- la variabilité inter-individuelle est grande.

## III. Sources d'erreurs

- Mesure qui n'est pas pratiquée au bon volume pulmonaire;
- motivation ou coopération insuffisante du patient;
- fuites buccales;
- mauvaise lecture ou interprétation du tracé: on ne peut utiliser que la pression maintenue durant 1 sec, et pas le pic de pression.

## IV. Calibration

- Calibration du capteur de pression avant chaque mesure.

## V. Spécification de l'appareillage

- La pièce buccale (type Black et Hyatt) consiste en un petit cylindre rigide (diamètre interne de 3 cm, longueur de 15 cm) et dont le corps est occlus;
- ce corps est muni d'une fuite (longueur 15 mm, diamètre 2 mm);
- le côté opposé est revêtu d'un matériel souple qui est appliqué à l'orifice buccal sans le détériorer;
- la pression induite dans le cylindre est mesurée au moyen d'un capteur électronique (rayon d'action  $\pm 300$  cmH<sub>2</sub>O).

## ● Chapitre 9 : Analyse des gaz sanguins

Le rôle essentiel du système respiratoire est de maintenir l'homéostasie artérielle par :

1°/ les gaz ( $P_{a,O_2}$ ,  $P_{a,CO_2}$ ) et

2°/ l'équilibre acido-basique (pH,  $HCO_3^-$  et le base excess [BE]).

La mesure de ces gaz artériels permet de juger de l'intégrité du système respiratoire à la fois dans diverses conditions physiologiques (ex. : au repos, durant un effort, pendant le sommeil) et dans des états pathologiques. L'analyse des gaz sanguins artériels (GSA) permet de poser le diagnostic d'une insuffisance respiratoire : il s'agit par définition d'une  $P_{a,O_2} < 60$  mmHg ( $< 8$  kPa), accompagnée ou non d'une élévation de la  $P_{a,CO_2}$  ( $> 46$  mmHg ou  $> 6.14$  kPa). L'insuffisance respiratoire de type I ou insuffisance pulmonaire (antérieurement appelée insuffisance respiratoire partielle) est caractérisée par une hypoxémie avec normo- ou hypocapnie. Dans le type II ou insuffisance de la pompe, l'hypoxémie est accompagnée d'une hypercapnie. Les paramètres acido-basiques permettent de différencier entre insuffisance aiguë (métaboliquement non-compensée) d'une insuffisance chronique (métaboliquement compensée).

Tant l' $O_2$ , que le  $CO_2$  se trouvent dans le sang aussi bien à l'état de gaz libre que liés à d'autres molécules: l' $O_2$  à l'hémoglobine (Hb) sous forme d'oxyhémoglobine ( $HbO_2$ ) et le  $CO_2$  lié chimiquement à des molécules d'eau sous forme d' $HCO_3^-$  (l'équilibre sanguin entre le  $CO_2$  et le  $HCO_3^-$  est réglé par la carboxylase). Chaque gaz exerce une pression (tension) proportionnelle à sa quantité: il s'agit des pressions partielles exprimées en mm Hg ou mieux en Pa (système SI) ou un de ses multiples tels que hPa ou kPa. Ces pressions peuvent être mesurées aussi bien dans le sang artériel, que veineux, que capillaire, mais leurs valeurs varieront en fonction du compartiment où elles sont évaluées. En règle générale nous nous intéresserons au compartiment artériel.

L' $HbO_2$  représente la plus importante réserve en oxygène : en cas d'anémie il y a un déficit en Hb et de ce fait la réserve en  $O_2$  sera diminuée. C'est dans les poumons qu'environ 97% de l'Hb se charge (se sature) en  $O_2$ : on exprime cela en "saturation d'oxygène" ou même tout court "la saturation". Le rapport entre le degré de saturation de l'Hb ( $S_{a,O_2}$ ) et la tension artérielle de l'oxygène ( $P_{a,O_2}$ ) suit une courbe en forme de S en raison de la très grande affinité entre l'Hb et l'oxygène : ceci permet de garder une saturation élevée au début de l'abaissement de la tension de l'oxygène. La  $S_{a,O_2}$  est donc moins sensible que la  $P_{a,O_2}$  pour évaluer une légère indisponibilité en oxygène.

### A. Les gaz sanguins artériels

#### 1. Description des prélèvements sanguins (médecin)

##### 1) Echantillons

**Sang artériel** : il se récolte par ponction artérielle directe ou, en cas de nécessité d'échantillons répétitifs, par une ligne artérielle. L'artère préférentielle est la radiale non dominante (en raison de l'existence d'une voie collatérale grâce à l'artère cubitale) ; chez les nourrissons ou en cas de ligne artérielle il faut préalablement effectuer un test d'Allen. Les ponctions artérielles et la prise des échantillons se font dans des conditions strictes d'asepsie. L'infection (locale ou septicémie) et l'ischémie (par thrombose avec occlusion locale ou embolisation distale) sont des complications rares mais sérieuses. Les complications les plus fréquentes sont l'hématome et la douleur.

**Sang capillaire** : il est prélevé à l'aide de tubes capillaires héparinisés.

##### 2) Seringues

On a le choix entre du matériel plastique et du matériel en verre

	Avantage	Désavantage
VERRE	Imperméable aux gaz Beaucoup plus correct pour calculer un shunt	Nettoyage, stérilisation
PLASTIQUE*	Jetable	Perméable aux gaz : → erreur par défaut : $P_{a,O_2}$ abaissée si respiration de 100 $O_2$ (par exemple test à l' $O_2$ pour le calcul du shunt) → erreur par excès : $P_{a,O_2}$ augmentée (en échantillons normo- et hypoxémiques)

\* Seringues en plastique pour gaz sanguins contenant de l'héparine sèche et prêtes à l'emploi. Le polypropylène est moins perméable que le polystyrol.

### 3) Héparine

Elle sert à éviter la coagulation et existe sous diverses présentations :

	Seringue en plastique	Seringue de verre
Héparine sèche* (UI/ml sang)	40 - 60	40 - 60
Héparine liquide* (UI/ml sang)	4 - 6	8 - 12

\*Préférez l'héparine de lithium calcique titrée sèche

Le volume d'héparine ne peut en aucun cas excéder 5% du volume total du volume de sang prélevé. Une dilution de 5% entraîne un abaissement de la  $P_{a,O_2}$  de 2 mmHg (0,264 kPa) et de la concentration de l' $HCO_3^-$  (BE) de 1,2 mmol/L (ou mEq/L).

## II. Techniques de mesures et de calibration

Il est essentiel que les calibrations se fassent à intervalles réguliers et que les techniques de mesure s'effectuent selon les règles de l'art. L'information et les modes d'emploi se trouvent dans divers manuels. Nous ne nous attarderons pas sur ce point.

## III. Procédure

### 1) Sang artériel

- utilisez de l'héparine sèche équilibrée en électrolytes;
- dans la mesure du possible attendez que le malade soit dans un état d'équilibre respiratoire ("steady-state" ou période de repos de  $\geq 5$  min. et de préférence même 15 min.); réduisez autant que possible la douleur et l'anxiété; gardez inchangée depuis au moins 20 et de préférence 30 minutes la  $FiO_2$  de même que les conditions ventilatoires; le malade en décubitus dorsal ou assis en position reculée; au besoin faites une anesthésie locale;
- aspirez lentement le sang pour éviter l'hémolyse (le problème ne se pose pas dans l'analyse immédiate au lit du malade parce que cette hémolyse ne se produit qu'après un certain délai);
- évacuez immédiatement les bulles d'air;
- mélangez l'échantillon immédiatement avec l'héparine (retournez la seringue 5 fois et roulez la 5 secondes horizontalement entre les paumes);
- analysez les gaz au chevet du malade et évitez le transport; si ceci est impossible, l'analyse doit s'effectuer dès l'arrivée au laboratoire après un transport n'ayant pas excédé 10 minutes à température ambiante ou 30 minutes à une température comprise entre 0 à 4°C; le transport par un système de réseau de tubes doit être évité parce qu'il risque d'entraîner une hémolyse;

- mélangez à fond l'échantillon avant l'injection dans l'analyseur (retournez lentement la seringue et roulez la 10 secondes entre les paumes.

## 2) Sang capillaire

- chauffez l'extrémité du doigt du malade dans de l'eau tiède (artérialisation);
- désinfectez et enduisez d'une pommade d'héparine pour éviter la coagulation;
- ponctionnez à l'aide d'un scarificateur et laissez couler le sang spontanément sans exercer de pression sur le doigt;
- récoltez le sang dans un capillaire de verre calibré et préhépariné (héparine sèche) : l'extrémité distale doit être dirigée légèrement vers le haut, non horizontalement et encore moins vers le bas (pour éviter l'entrée de bulles d'air) : le sang montera rapidement par simple capillarité;
- introduisez un bâtonnet d'acier dans la lumière du tube;
- fermez les deux extrémités (plasticine);
- faites glisser le bâtonnet de gauche à droite et vice versa, à l'aide d'un aimant afin de bien mélanger le sang et l'héparine sèche du tube;
- enlevez la pommade d'héparine du doigt et appliquez une petite compresse;
- l'analyse de ce sang est identique à celle du sang artériel, aussi de préférence au lit du malade.

## IV. Sources d'erreur dans l'analyse du sang artériel : phase préanalytique

Dans la phase pré-analytique le prélèvement, le stockage et le transport peuvent tous causer des erreurs dans les résultats de l'analyse des gaz sanguins passant inaperçu :

- mauvais choix ou mauvaise quantité d'anticoagulant :
  - la dilution influence surtout la  $P_{a,O_2}$  et l'Hb,
  - l'héparine non équilibrée en électrolytes crée des liaisons avec les cations (erreur par défaut);
- état non représentatif du malade dû au non-respect d'une période de repos suffisante, conditions ventilatoires qui ne sont pas stabilisées (ventilation mécanique), douleur, etc. ;
- mélange ou dilution avec le liquide de perfusion (utilisé pour la ligne artérielle)
  - peuvent être évités en aspirant jusqu'à 3 à 6 fois l'espace mort du cathéter;
- mélange avec du sang veineux (lors de la ponction artérielle), ce qui influencera surtout la  $P_{a,O_2}$  et la  $S_{a,O_2}$  ;
- les bulles d'air dans l'échantillon, même très petites, entraîneront une erreur par excès lorsque le malade respire l'air ambiant et des erreurs par défaut lorsqu'il est en hyperoxie ;
- mauvaise conservation ou entreposage :
  - entreposage directement sur glace au lieu d'eau glacée (cause une hémolyse),
  - la conservation au-delà de 10 minutes à l'air ambiant entraîne la poursuite du métabolisme des cellules sanguines, une consommation d'oxygène et donc un abaissement erroné de la  $P_{a,O_2}$ , un accroissement du  $CO_2$  avec des valeurs erronément élevées de la  $P_{a,CO_2}$  et donc des valeurs erronément basses du pH. Tout ceci peut être évité par l'analyse au lit du malade;
- le mélange insuffisant de l'échantillon avant injection dans l'analyseur entraîne des valeurs faussement basses de l'Hb;
- le transport peut entraîner des erreurs :
  - en raison du temps mis pour son transport,
  - par les secousses excessives lors du transport, surtout lorsque celui-ci est effectué par un réseau de tubes (hémolyse).

## V. Paramètres: définitions et valeurs normales (valables au niveau de la mer)

pH	logarithme négatif de la concentration en H+	7,35 - 7,45	
Pa,CO <sub>2</sub>	pression partielle artérielle de la tension en dioxyde de carbone	40 ± 5 mmHg	(5,28 ± 0.66kPa)
Pv,CO <sub>2</sub>	pression partielle veineuse du dioxyde de carbone	± 46 mmHg	(± 6,13 kPa)
Pa,O <sub>2</sub>	pression partielle de la tension en oxygène	± 100 mmHg	(13,2 kPa)
		ou 104,2 - 0,27 x âge (ans) mmHg (13,88 - 0,036 x âge (ans) kPa)	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	bicarbonate	femmes : 21 – 28 mEq/L hommes : 23 – 29 mEq/L	
Sa,O <sub>2</sub>	saturation artérielle de l'hémoglobine	± 97 %	

## VI. Modifications des gaz sanguins en réponse à des acidoses et des alkaloses tant respiratoires que métaboliques

	pH	Pa,O <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	BE
ACIDOSE	↓	↑	↓	-
			=	+
ALCALOSE	↑	↑	+	
			=	+

## B. Méthodes non invasives ou non sanglantes

### I. Description des méthodes

Trois mesures peuvent facilement être effectuées de façon non-invasive :

1. P<sub>tc,O<sub>2</sub></sub> = la tension artérielle (mesurée par voie transcutanée) en O<sub>2</sub>: elle n'est fiable que sous l'âge d'un an;
2. P<sub>tc,CO<sub>2</sub></sub> = la tension artérielle (mesurée par voie transcutanée) en CO<sub>2</sub>;
3. S<sub>tc,O<sub>2</sub></sub> = la saturation de l'HbO<sub>2</sub> artérielle mesurée par voie transcutanée (ou pulsoxymétrie). On mesure la fréquence cardiaque simultanément ;
4. P<sub>tc,CO<sub>2</sub></sub> et F<sub>et,CO<sub>2</sub></sub> = respectivement "end-tidal" PCO<sub>2</sub> (pression partielle du CO<sub>2</sub> à la fin du volume courant expiré) et concentration (fraction) de CO<sub>2</sub>. Le CO<sub>2</sub> est mesuré dans le gaz alvéolaire après expiration du volume correspondant à l'espace mort : c'est la capnographie. Elle s'utilise surtout : **1°/** pour avoir une approximation de la Pa,CO<sub>2</sub>, entre autre en anesthésiologie et lors de l'ergospirométrie, et **2°/** pour le calcul de l'espace mort et le calcul de l'inégalité ventilatoire (entre autre dans la COPD).

Ces méthodes non-invasives seront surtout appliquées pour des observations prolongées ou continues (par exemple les mesures nocturnes durant le sommeil, le monitoring 24 heures sur 24, la surveillance durant une épreuve d'effort), mais également pour une évaluation ponctuelle. La P<sub>tc,O<sub>2</sub></sub> est utilisée uniquement chez les prématurés, d'une part pour détecter une éventuelle hypoxie et d'autre part pour empêcher lors de l'oxygénothérapie une P<sub>tc,O<sub>2</sub></sub> excessive pouvant entraîner par constriction de l'artère rétinienne une cécité définitive. Ce risque est inversement proportionnel à l'âge gestationnel.



## II. Techniques de mesure

- La  $P_{Tc,O_2}$  et la  $P_{Tc,CO_2}$  peuvent être mesurées simultanément ou séparément avec une sonde collée sur le thorax. Ces sondes sont chauffées à 40°C. Le résultat est reproduit sur un écran (peut au besoin être imprimé en continu sur papier). En raison de la température élevée de la sonde, il y a un risque de brûlure cutanée locale. On doit l'éviter en déplaçant régulièrement la sonde de place.
- Le principe de la pulsoxymétrie ( $Stc,O_2$ ) se base sur la différence mesurée entre l'absorption de 2 couleurs rouges : 1) 660 nm pour la desoxyHb ou Hb et 2) 940 nm pour l'oxyHb ou HbO<sub>2</sub>. La sonde se compose d'une part d'une source de lumière et d'autre part d'un senseur qui doivent être placés face à face sur un lit artériel pulsatile (l'extrémité d'un doigt ou le lobule de l'oreille). Il faut protéger le senseur de la lumière ambiante. La précision atteint  $\pm 2\%$ . Il existe 3 sortes d'enregistreurs de  $Stc,O_2$  :
  - "on-line" sans mémoire et sans alarme
  - "on-line" sans mémoire et mais signalant par une alarme tout dépassement de la  $Stc,O_2$  et du rythme cardiaque hors des limites supérieures et inférieures prédéfinis par l'utilisateur (ce signal peut-être débranché);
  - "on-line" avec mémoire et possibilité d'alarme signalant pour tout dépassement hors des limites supérieurs et inférieurs prédéfinis par l'utilisateur (ce signal peut-être débranché). Cet appareil est indispensable pour des mesures prolongées nocturnes durant le sommeil. Les résultats peuvent être lus et imprimés (sous forme de graphiques et en données chiffrées) tant pour le rythme cardiaque que pour la  $Stc,O_2$ .
- Pour la  $P_{Et,CO_2}$  et la  $F_{Et,CO_2}$  il existe 2 techniques :
  - le  $CO_2$  est mesuré directement à la bouche grâce à une sonde en cristal.
  - la plupart des instruments utilisent l'aspiration en continu par un tuyau d'une minime fraction des gaz inspirés et expirés. Sur cette fraction le  $CO_2$  est mesuré de façon continue à distance. La lecture est retardée ("delay time") due au fait qu'il s'écoule un certain temps avant que les gaz expirés n'arrivent à l'instrument. Dès que ces gaz se trouvent dans l'instrument la lecture se fait en une fraction de seconde ("response time") avec n'importe quel appareil de qualité

## III. Procédure

Pour la  $P_{Tc,O_2}$  et la  $P_{Tc,CO_2}$  :

- déplacez la sonde toutes les heures : ceci donnera de meilleurs résultats et évitera les brûlures;
- attendez que la sonde soit suffisamment chaude;
- n'utilisez la  $P_{Tc,O_2}$  que chez des enfants jusqu'à 6 mois et certainement pas au-delà d'un an.

Pour la  $Stc,O_2$ :

- enlevez le cas échéant la laque des ongles;
- évitez l'usage de bleu de méthylène, le vert indocyanique et l'indigo carmin;
- évitez la vasoconstriction artificielle. Elle peut entre autre résulter en un ralentissement de l'irrigation artérielle par exemple lors de la ligature d'un bras, d'une jambe ou d'un doigt sélectionné pour l'analyse. Dans tous ces cas l'analyse est rendue impossible parce que les pulsations et l'irrigation sanguine sont devenues insuffisante;
- les instruments plus anciens (y compris les appareils de deuxième génération) sont trop sensibles à la lumière ambiante. Idéalement il faut alors masquer le doigt et le senseur qui y est appliqué.

#### IV. Sources d'erreurs

- $P_{tc,O_2}$  et  $P_{tc,CO_2}$  :
  - mesures effectuées chez des enfants âgés de plus d'un an (la précision diminue après 6 mois);
  - mesures lues avant que la sonde n'ait atteint une température suffisante;
  - la sonde est restée collée trop longtemps au même endroit.
- $S_{tc,O_2}$  :
  - tension artérielle trop basse, vasoconstriction périphérique (par exemple lors d'une épreuve d'effort), bradycardie. Tous ces phénomènes entraînent au moins localement une hypoperfusion;
  - pigmentation cutanée très foncée;
  - artefacts de mouvement (les nouveaux instruments les reconnaissent et les indiquent), entre autres lors d'une épreuve d'effort et durant un sommeil agité;
  - la sonde insuffisamment protégée contre la lumière ambiante;
  - anémie importante: en fait le résultat reproduit représente correctement le degré de saturation de l'hémoglobine présente, mais ce résultat ne traduit plus la réserve réelle en oxygène;
  - Hb anormale (méthémoglobine, sulfhémoglobine et intoxication au CO ou grands fumeurs ayant un taux élevé en HbCO): entraîne des résultats faussement élevés;
  - l'utilisation de bleu de méthylène, de vert indocyanique et d'indigo carmin entraîne des résultats faussement bas.

#### V. Calibration et spécification

Pour la  $P_{tc,O_2}$  et la  $P_{tc,CO_2}$ : il est prudent de comparer au moins une fois le résultat de l'écran avec les pressions partielles analysés sur sang capillaire artérialisé. Pour la  $S_{tc,O_2}$  on peut se fier aux spécifications du fabricant, tant que l'appareil ne tombe en panne : dans ces cas les valeurs affichées seront en règle générale trop basses. En cas de doute il suffit de comparer les résultats de deux mesures effectuées simultanément avec deux appareils différents, soit en comparant la  $S_{tc,O_2}$  avec une analyse sanguine sur sang artériel ou sang capillaire artérialisé.

La calibration de la  $P_{et,CO_2}$  et de la  $F_{et,CO_2}$  se fait par des mesures en deux points : d'une part le point zéro (sans  $CO_2$ ) et d'autre part sur un échantillon avec une pression partielle de  $CO_2$  connue. Cette calibration peut nécessiter jusqu'à 30 minutes avant de permettre une première mesure.

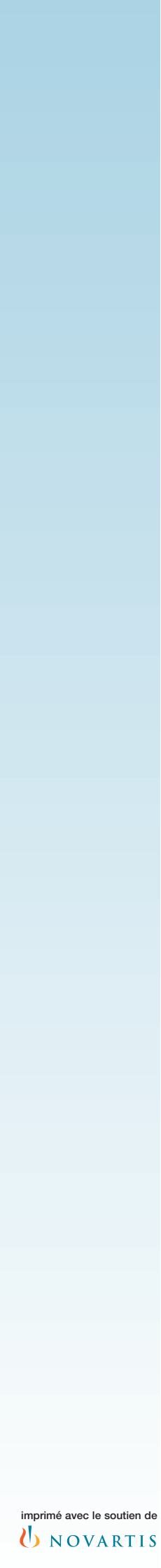
#### VI. Valeurs de référence

Elles approchent dans des circonstances idéales les valeurs mesurées sur le sang artériel à 1 ou 2% près. Néanmoins des différences significatives sont possibles p.e. pendant l'exercice ou dans certaines maladies (p.e. pour la  $P_{et,CO_2}$  et la  $F_{et,CO_2}$  dans des inégalités de ventilation-perfusion comme dans le BPCO).

## ● Chapitre 10 : Références

1. American Thoracic Society. Guidelines for methacholine and exercise challenge testing. *Am J Respir Crit Care Med* 2000; 161: 309-329.
2. American Thoracic Society Statement. Snowbird workshop on standardisation of spirometry. *Am Rev Respir Dis* 1979; 119: 831-838; with updates in: *Am Rev Respir Dis* 1987; 136: 1285-1298; *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 152: 1107-1136.
3. Clausen JL. *Pulmonary function testing, guidelines and controversies*. Academic Press Inc, 1982, 400 pag.
4. Coates AL, Peslin R, Rodenstein D, Stocks J. Measurement of lung volumes by plethysmography. *Eur Respir J* 1997; 10: 1415-1417.
5. Cockcroft DW, Murdoch KY, Kirby J, Hargreave FE. Prediction of airway responsiveness to allergen from skin sensitivity to allergen and airway responsiveness to histamine. *Am J Respir Crit Care Med Am Rev Respir Dis* 1987; 135: 264-267.
6. Cotes JE. *Lung function : assessment and application in medicine*. (5th ed.) Blackwell Sc Publ, Oxford, 1993.
7. Demedts M, Decramer M (red.). *Longfunctieonderzoek*. Garant, Leuven-Apeldoorn, 1998, 518 pag.
8. Gardner RM (chairman). Pulmonary function laboratory personel qualifications. Quality assurance in pulmonary function laboratories. *Am Rev Respir Dis* 1986; 134: 623-627.
9. Jones NL, Makrides L, Hitchcock C, Chypchart T, McCartney N. Normal standards for an incremental progressive cycle ergometer test. *Am Rev Respir Dis* 1985; 131: 700-708.
10. Newth CJL, Enright P, Johnson RI. Multiple breath nitrogen washout techniques, including measurements with patients on ventilators. *Eur Respir J* 1997; 10: 2174-2185.
11. OBSGI. Deel IV : Ademhalingsstelsel. Voorstel tot herziening. Uitgewerkt door een Werkgroep van de Belgische Vereniging voor Pneumologie. 1990.
12. Official statement of the European Respiratory Society. Standardized lung function testing. *Eur Respir J* 1993; 6 (suppl.16): 7-100.
13. Preventie van infectie met HIV en andere microörganismen bij de behandeling van ongielkten en bij longfunctieonderzoek. *Richtlijnen van de Werkgroep Infectiepreventie*. Staatstoezicht op de volksgezondheid (Nederland), NHS, januari 1991.
14. Quanjer PhH (ed.). Standardized lung function testing. Report Working Party "Standardization of lung functions tests", European Community for Coal and Steel. *Bull Eur Physiopath Respir* 1983; 19 (suppl. 5): 1-95.
15. Quanjer PhH, Helms P, Bjure J, Gaultier Cl (eds.). Standardization of lung functiontests in paediatrics. *Eur Respir J* 1989; 2 (suppl.4): 121-164.
16. Stocks J, Quanjer PhH. Reference values for residual volume, functionel 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.
17. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Whipp BJ, Casaburi R. *Principles of exercise testing and interpretation* (2nd ed.) Lea & Febiger, Philadelphia, 1994.
18. Zapletal A, Paul T, Samanek M. Die Bedeutung heutiger methoden der Lungenfunctiionsdiagnostik zur Feststellung einder Obstruction der Atemwege bei Kindern und Jugendlichen. *Z Erkrank Atm Org* 1977; 149: 343-371.







**Novartis Pharma s.a.**

Telecom Gardens - Medialaan 40 bus 1 - B-1800 Vilvoorde  
Tél. : +32 (0)2 246 16 11 - Fax : +32 (0)2 242 37 59

---