Volumes Pulmonaires et Spirométrie

Pr Christian STRAUS

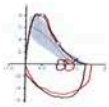
Explorations Fonctionnelles de la Respiration, de l'Exercice et de la Dyspnée
Hôpitaux Universitaires Pitié-Salpêtrière, Tenon et Saint-Antoine
APHP.Sorbonne Université
Assistance Publique-Hôpitaux de Paris, Paris, France

UMR_S 1158
Inserm et Université Pierre et Marie Curie - ParisVI, Paris, France

Branche "adultes" du **Centre de référence national du Syndrome d'Ondine**

Les Explorations Fonctionnelles Respiratoires

- Activité médico-technique **hautement spécialisée**
- très large palette d'examens pour évaluer toute la fonction respiratoire
  - volumes et débits pulmonaires
  - échanges gazeux (DLCO, Gaz du Sang)
  - muscles respiratoires
  - commande ventilatoire
  - épreuves d'effort : EFX, TM6



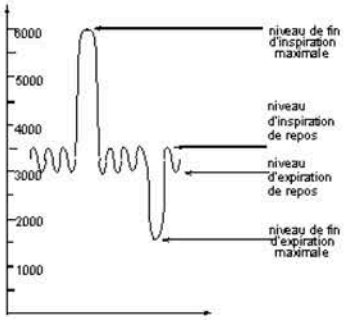
- diagnostic, pronostic, choix et suivi du traitement
- fiabilité diagnostique est très dépendante :
  - d'une méthodologie de réalisation standardisée
  - d'un strict contrôle de la qualité des données
  - répétabilité, reproductibilité
  - durée de réalisation incompressible

Contre-indications des EFR : liste non-exhaustive

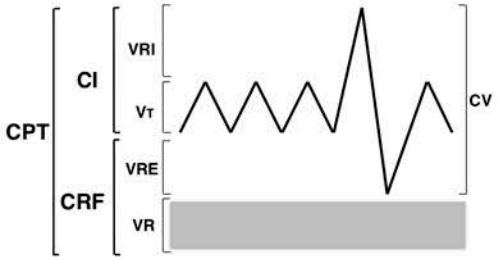
- A- Contre indications médicales :
  - Infarctus du myocarde récent (< 7 jours)
  - Accident vasculaire cérébral de moins de 1 mois
  - Angor instable ou mal contrôlé
  - Anévrysme cérébral
  - Anévrysme de l'aorte thoracique ascendante évolutif ou de plus de 6 cm
  - Hypertension intra crânienne
  - Rétrécissement aortique serré avec retentissement hémodynamique.
  - -HTA non traitée ou maligne (PAS> 180 mm Hg et PAD > 120 mm Hg).
  - -Embolie pulmonaire
  - -Pneumothorax de moins de 15 jours après guérison
  - -Hémoptysie en cours.
  - Epanchement pleural : délai d'au moins 24 heures après drainage à respecter
  - LBA de moins de 48 heures
  - Infection transmissible (tuberculose, hépatite B....)
  - Infection broncho-pulmonaire active
- B- Contre-indications post chirurgicales
  - EFR qu'après cicatrisation des interventions chirurgicales thoraciques, abdominales, cérébrales, ORL et ophtalmologiques

Volumes Pulmonaires et Spirométrie Lente

Les volumes pulmonaires

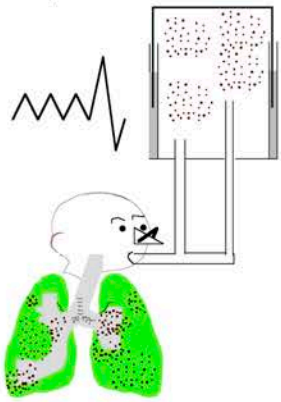


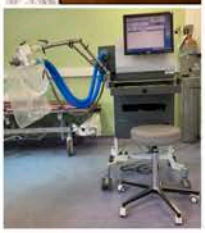
Les volumes et capacités pulmonaires



Mesure des volumes pulmonaires mobilisables

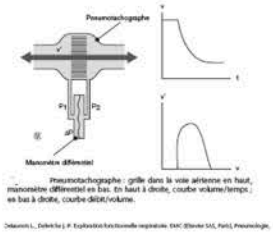
Le spiromètre à cloche





Mesure des volumes pulmonaires mobilisables

Le pneumotachographe

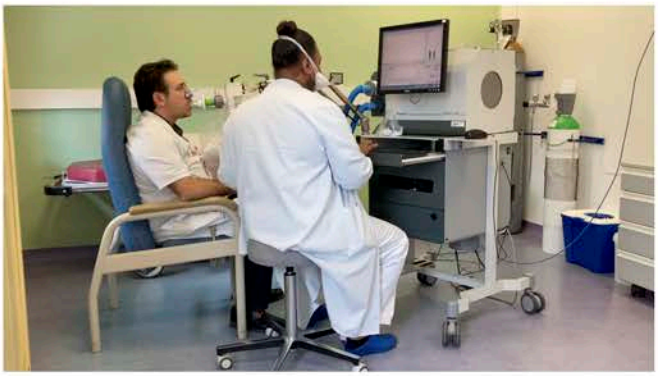


Mesure les débits gazeux

Par intégration du débit en fonction du temps, on obtient le volume

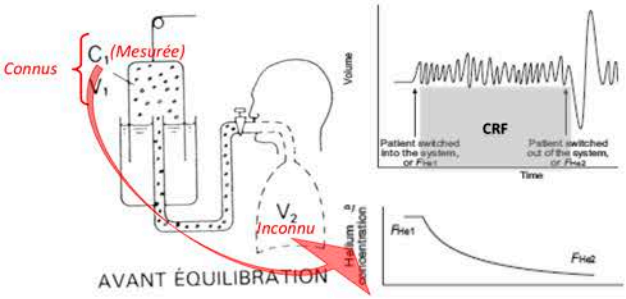
Différents types de pneumotachographe :
- réseau capillaire (Fleisch)
- grille (Lilly)
- hélice
- fil chaud
- ultra-sons

Spirométrie Lente



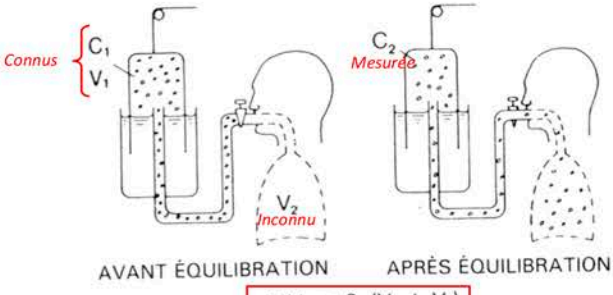
Mesure des volumes non-mobilisables

Méthode de dilution d'un gaz traceur
(méthode de dilution de l'Hélium)



Mesure des volumes non-mobilisables

Méthode de dilution d'un gaz traceur
(méthode de dilution de l'Hélium)

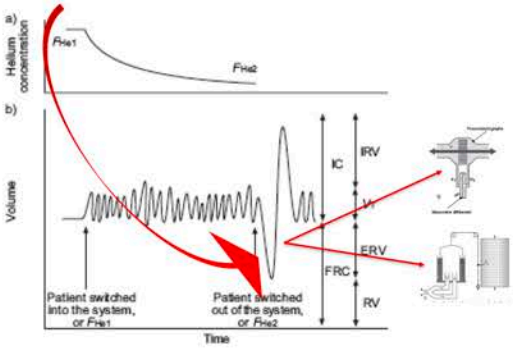


$$C_1V_1 = C_2 (V_1 + V_2)$$

Mesure des volumes non-mobilisables

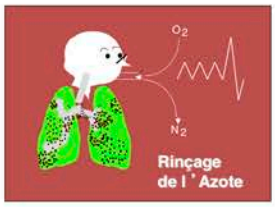
Méthode de dilution d'un gaz traceur

VR = CRF - VRE



Mesure des volumes non-mobilisables

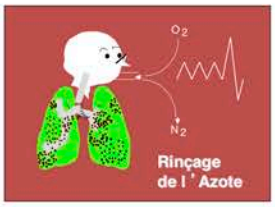
Méthode du rinçage de l'azote

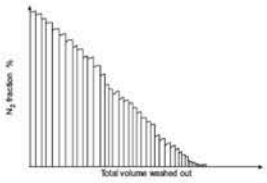


A chaque inspiration, le patient inhale de l'O_2 pur. L'O_2 remplace progressivement le N_2 dans les poumons.
La quantité de N_2 expirée est mesurée à chaque cycle ventilatoire.

Mesure des volumes non-mobilisables

Méthode du rinçage de l'azote

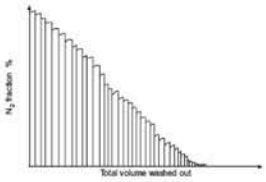




Mesure des volumes non-mobilisables

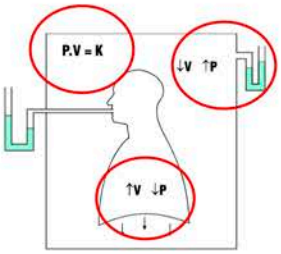
Méthode du rinçage de l'azote

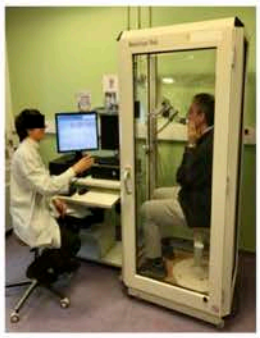
Sachant que N_2 représente 79% du volume gazeux dans les poumons, on peut calculer la CRF.
La CRF est en effet le volume de fin d'expiration normale, donc le volume à partir duquel le patient commence à inspirer de l'O_2



Mesure des volumes pulmonaires non-mobilisables

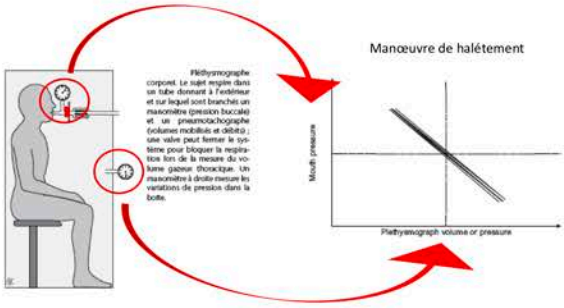
Le pléthysmographe





Mesure des volumes non-mobilisables

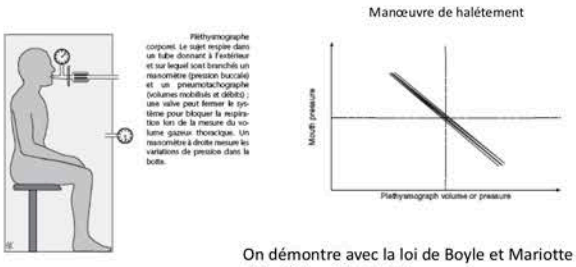
Méthode pléthysmographique



Delaunois L., Delwiche J.-P. Exploration Fonctionnelle Respiratoire. EMC (Elsevier SAS, Paris), Pneumologie, 6-000-A-71, 2005

Mesure des volumes non-mobilisables

Méthode pléthysmographique



Delaunois L., Delwiche J.-P. Exploration Fonctionnelle Respiratoire. EMC (Elsevier SAS, Paris), Pneumologie, 6-000-A-71, 2005

On démontre avec la loi de Boyle et Mariotte que
VGT = Patm x ΔVpleth/ΔPb
VGT : volume gazeux thoracique
Si occlusion à la CRF, VGT = CRF

Interprétation des résultats d'EFR

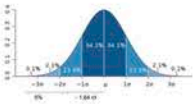
Nécessite la comparaison à des Valeurs « de références », « normales », « théoriques » ou « prédites »

= Valeurs retrouvées chez 90% d'une population de sujets sains

Comparaison des résultats à des valeurs attendues

Valeur « normale » ou « théorique » ou « prédite » =

Valeur retrouvée chez 90% d'une population de sujets sains



	% population
m ± 1.95 ET	95 %
± 1.64 ET	90 %
± 1 ET	68 %

Pour les EFR, les valeurs prédites dépendent :
- du sexe
- de l'âge
- de la taille
- de l'origine éthnique

Tableau VI. – Équations de calcul des volumes pulmonaires et des débits ventilatoires pour les adultes de 18 à 70 ans. Pour obtenir les valeurs correspondant au 5e ou au 95e centiles, soustraire ou ajouter au résultat le chiffre de la dernière colonne.

Paramètre	Unité	Équation de régression	ETR	1.64 ESD
Hommes				
CVI	l	6.03H − 0.026A − 4.65	0.56	0.92
CVF	l	5.76H − 0.024A − 4.34	0.61	1.00
CPT	l	7.99H − 7.08	0.70	1.15
VE	l	1.31H + 0.022A − 1.27	0.41	0.67
CRF	l	2.24H + 0.009A − 1.09	0.6	0.99
VE/CPT	%	0.31A + 13.96	5.46	9.0
CRF/CPT	%	0.21A + 45.8	4.74	11.1
VEMS	l	4.30H − 0.029A − 2.40	0.35	0.84
VEMS/CV	%	− 0.18A + 87.21	7.17	11.8
DEM_{25-75}	$l s^{-1}$	1.94H − 0.043A + 2.70	1.04	1.71
DEP	$l s^{-1}$	6.14H − 0.045A + 0.15	1.22	1.99
DEM_{25}	$l s^{-1}$	5.40H − 0.029A − 0.47	1.71	2.81
DEM_{50}	$l s^{-1}$	3.79H − 0.031A − 0.55	1.52	2.37
DEM_{75}	$l s^{-1}$	2.61H − 0.016A − 1.34	0.78	1.28
Femmes				
CVI	l	4.66H − 0.026A − 3.28	0.42	0.69
CVF	l	4.45H − 0.026A − 2.89	0.45	0.75
CPT	l	6.69H − 5.79	0.60	0.99
VE	l	1.01H + 0.016A − 2.05	0.25	0.58
CRF	l	2.24H + 0.011A − 1.99	0.59	0.82
VE/CPT	%	0.24A + 18.96	5.83	9.6
CRF/CPT	%	0.16A + 45.1	5.95	9.8
VEMS	l	3.59H − 0.025A − 2.60	0.28	0.92
VEMS/CV	%	− 0.15A + 89.10	6.51	10.7
DEM_{25-75}	$l s^{-1}$	1.23H − 0.016A + 3.72	0.85	1.40
DEP	$l s^{-1}$	5.90H − 0.030A − 1.11	0.90	1.48
DEM_{25}	$l s^{-1}$	3.22H − 0.025A + 1.05	1.35	2.22
DEM_{50}	$l s^{-1}$	2.67H − 0.025A + 1.16	1.10	1.81
DEM_{75}	$l s^{-1}$	1.05H − 0.025A + 1.11	0.69	1.13

H : taille (m) ; A : âge (ans) ; ETR : Écart-type résiduel. Entre 18 et 25 ans, prendre l'âge égal à 25 ans dans les équations. Résultats obtenus à la fois avec un débitmètre de pointe (mini-Wright) et un pneumotachographe ; d'autres travaux sont nécessaires.

Comparaison des résultats à des valeurs attendues

Une valeur de volume pulmonaire est considérée comme pathologique si elle s'écarte de plus d'1,64 fois l'écart type résiduel de la valeur moyenne prédite

Le z-score mesure cet écart

Un z-score>1,64 n'est pas « normal »

Tableau VI. – Équations de calcul des volumes pulmonaires et des débits ventilatoires pour les adultes de 18 à 70 ans. Pour obtenir les valeurs correspondant au 5e ou au 95e centiles, soustraire ou ajouter au résultat le chiffre de la dernière colonne.

Paramètre	Unité	Équation de régression	ETR	1.64 ESD
Hommes				
CVI	l	6.03H − 0.026A − 4.65	0.56	0.92
CVF	l	5.76H − 0.024A − 4.34	0.61	1.00
CPT	l	7.99H − 7.08	0.70	1.15
VE	l	1.31H + 0.022A − 1.27	0.41	0.67
CRF	l	2.24H + 0.009A − 1.09	0.6	0.99
VE/CPT	%	0.31A + 13.96	5.46	9.0
CRF/CPT	%	0.21A + 45.8	4.74	11.1
VEMS	l	4.30H − 0.029A − 2.40	0.35	0.84
VEMS/CV	%	− 0.18A + 87.21	7.17	11.8
DEM_{25-75}	$l s^{-1}$	1.94H − 0.043A + 2.70	1.04	1.71
DEP	$l s^{-1}$	6.14H − 0.045A + 0.15	1.22	1.99
DEM_{25}	$l s^{-1}$	5.40H − 0.029A − 0.47	1.71	2.81
DEM_{50}	$l s^{-1}$	3.79H − 0.031A − 0.55	1.52	2.37
DEM_{75}	$l s^{-1}$	2.61H − 0.016A − 1.34	0.78	1.28
Femmes				
CVI	l	4.66H − 0.026A − 3.28	0.42	0.69
CVF	l	4.45H − 0.026A − 2.89	0.45	0.75
CPT	l	6.69H − 5.79	0.60	0.99
VE	l	1.01H + 0.016A − 2.05	0.25	0.58
CRF	l	2.24H + 0.011A − 1.99	0.59	0.82
VE/CPT	%	0.24A + 18.96	5.83	9.6
CRF/CPT	%	0.16A + 45.1	5.95	9.8
VEMS	l	3.59H − 0.025A − 2.60	0.28	0.92
VEMS/CV	%	− 0.15A + 89.10	6.51	10.7
DEM_{25-75}	$l s^{-1}$	1.23H − 0.016A + 3.72	0.85	1.40
DEP	$l s^{-1}$	5.90H − 0.030A − 1.11	0.90	1.48
DEM_{25}	$l s^{-1}$	3.22H − 0.025A + 1.05	1.35	2.22
DEM_{50}	$l s^{-1}$	2.67H − 0.025A + 1.16	1.10	1.81
DEM_{75}	$l s^{-1}$	1.05H − 0.025A + 1.11	0.69	1.13

H : taille (m) ; A : âge (ans) ; ETR : Écart-type résiduel. Entre 18 et 25 ans, prendre l'âge égal à 25 ans dans les équations. Résultats obtenus à la fois avec un débitmètre de pointe (mini-Wright) et un pneumotachographe ; d'autres travaux sont nécessaires.

Syndrome restrictif = trouble ventilatoire restrictif

Un **trouble ventilatoire restrictif**

se définit par une

diminution de la CPT

(CPT < à la limite inférieure de la normale, c'est à dire au 5ème percentile)

Causes de Trouble Ventilatoire Restrictif

1. Réduction parenchymateuse vraie
   (quantitative ou qualitative)

- Exérèse chirurgicale
- Atélectasie
- Pneumopathie interstitielle

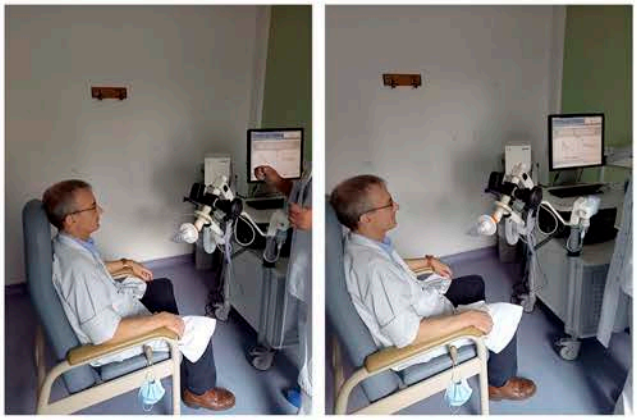
Causes de Trouble Ventilatoire Restrictif

2. Atteintes de la paroi thoracique

- Pathologies de la plèvre : pleurésie, pneumothorax
- Pathologies neuromusculaires
- Cyphoscolioses, spondylarthropathies
- Obésité

Spirométrie Forcée

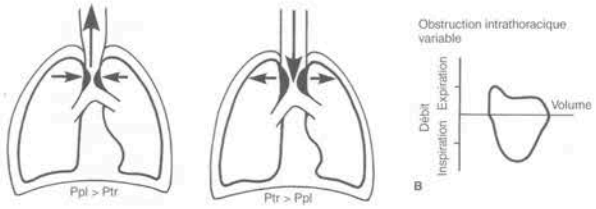
Spirométrie Forcée



Débits bronchiques et Obstruction intra-thoracique

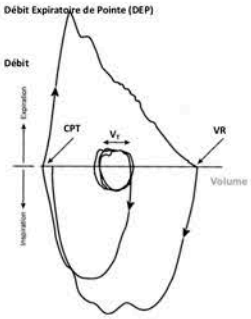
VOIES AERIENNES INTRATHORACIQUES

Une obstruction entraîne une diminution principalement des débits **expiratoires**



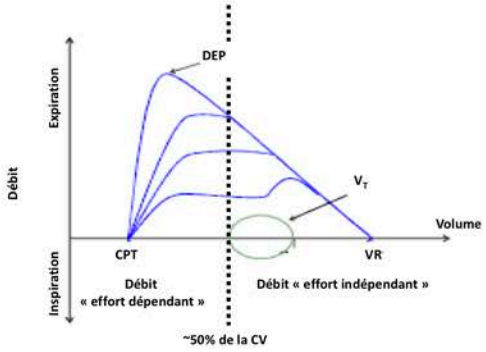
Relation débit-volume : boucles débit-volume

Mesurée avec un pneumotachographe :
- Manœuvre ventilatoire forcée
- Mesure directe du débit (**V' ou V**)
- Mesure du volume (**V**) par un intégration du signal de débit

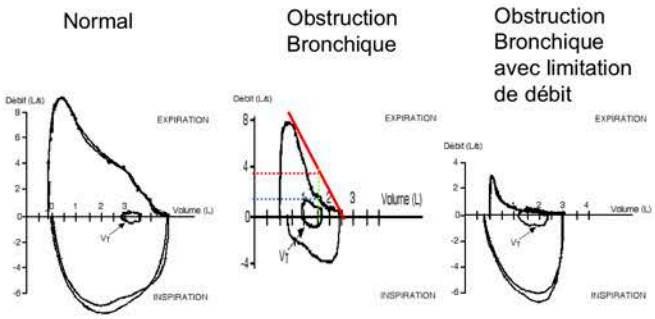


Relation débit-volume

Boucles débit-volume partielles

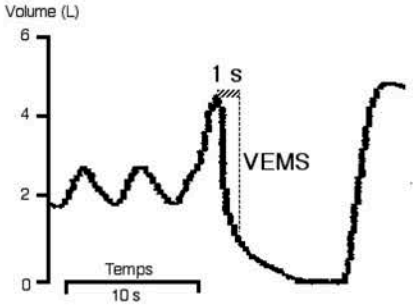


Relation débit-volume : obstruction bronchique



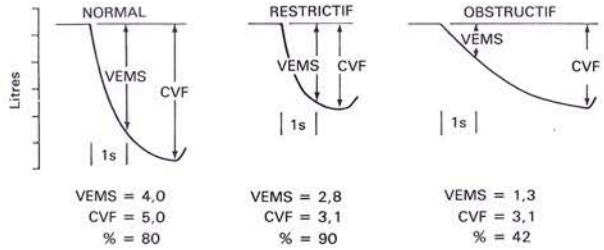
Manœuvre expiratoire forcée

Volume Expiré Maximal pendant la première seconde (VEMS)



Trouble ventilatoire obstructif

= diminution du VEMS proportionnellement plus important que la diminution de la CV
=> Diminution de VEMS/CV



Obstruction Bronchique

« Syndrome Obstructif »
ou « Trouble Ventilatoire Obstructif » :

⇒**Réduction du VEMS proportionnellement plus importante que celle de la CV**

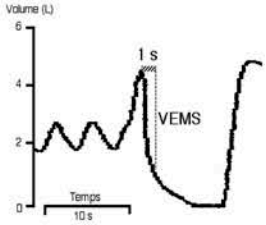
⇒Rapport de Tiffeneau VEMS/CV <Valeur prédite - 1,64 ETR

⇒VEMS/CV<0,70 (pour le dépistage)

Obstruction Bronchique

VEMS/CV : diagnostic du syndrome obstructif

VEMS : évaluation de la gravité du syndrome obstructif



Gravité d'un Syndrome Obstructif

Lorsque le diagnostic de syndrome obstructif a été posé, sa gravité s'évalue avec le VEMS

Stade I, léger : VEMS ≥ 80% préd

Stade II, modéré :
50% préd ≤ VEMS < 80% préd

Stade III, sévère :
30% préd ≤ VEMS < 50% préd

Stade IV, très sévère : VEMS < 30% préd

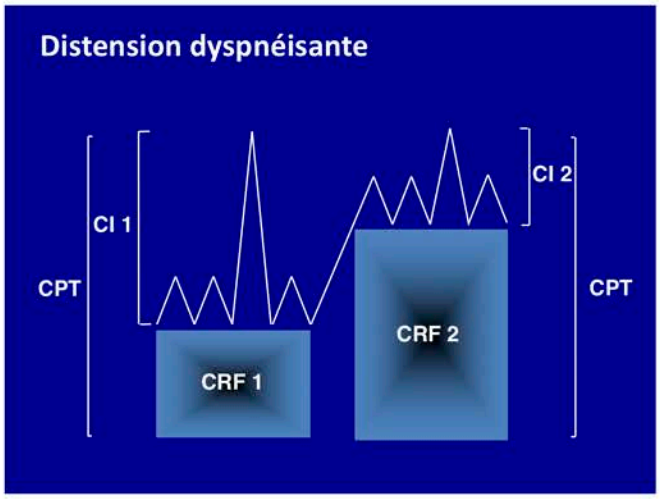
Principales causes de Syndrome Obstructif

- Asthme : syndrome obstructif
  REVERSIBLE donc VARIABLE
  Surveillance ambulatoire par mesure du Débit Expiratoire de Pointe (Peak Flow)

- Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive
  = BPCO *(causée le plus souvent par le tabac)*
  ➢ syndrome obstructif non réversible (ou peu réversible)

- Emphysème

Relation débit-volume : obstruction bronchique



Distension

Une distension peut être :

- Une augmentation de la CRF *(distension dynamique)*
- Une augmentation de la CPT
- Une augmentation du VR = piégeage gazeux

Association Syndromes Restrictif et Obstructif

Trouble ventilatoire MIXTE

Nécessite une mesure des volumes par pléthysmographie

Causes possibles :
- Bronchectasies
- Silicose, asbestose, (= pneumoconioses)
- Séquelles de tuberculose
- Sarcoïdose

Principales modifications EFR

TVO = trouble ventilatoire obstructif
TVR = trouble ventilatoire restrictif

Principales modifications EFR

TVO = trouble ventilatoire obstructif
TVR = trouble ventilatoire restrictif

	TVO	TVO sévère	TVR	TV mixte
C.P.T	→	→	↘	↘
C.V	→	↘	↘	↘
C.R.F	↗	↗	↘	
V.R	↗	↗		
VEMS	↘	↘↘	↘	↘↘
VEMS/CV	↘	↘	→	↘

Exemples Cliniques

Cas Clinique n° 1.1

Cas Clinique n° 1

Monsieur C., un patient de 48 ans tabagique à 24 paquets-année, se plaint d'une dyspnée d'effort.

1 . Interprétez les résultats de la spirométrie qui comporte une mesure de la CRF par la technique de dilution de l'hélium

Cas Clinique n° 1.2

Patient Assis
Age: 48 ans — Taille : 172 cm
Sexe : Masc. — Poids : 76.0 kg
Le : 21/10/2003 — BMI : 25.69

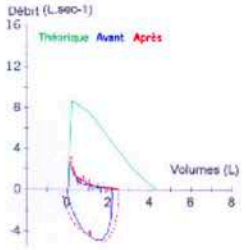
	Unité	Théo	LIN	LSN	Mesure	%Théo
CVL	Litres	4,50	3,58	5,42	**3,50**	78
VR	Litres	2,08	1,41	2,75	**3,20**	154
VRE	Litres	1,48			**0,71**	48
CRFHe	Litres	3,37	2,38	4,36	**3,91**	116
CPT	Litres	6,66	5,51	7,81	**6,70**	101
VR/CPT	%	33			**48**	146
CI	Litres	2,97			**2,75**	93

CPT normale = pas de syndrome restrictif

Augmentation du VR = distension
Mais VRE diminué et CFR normale

Cas Clinique n° 1.3

	Unité	Théo	LIN	LSN	Mesure	%Théo	Post	Delta	Delta%
CVF	Litres	4,32	3,32	5,32	**2,16**	50	**2,48**	0,32	15
VEMS	Litres	3,61	2,77	4,45	**0,92**	26	**1,08**	0,16	17
VEMS/CV	%	79	67	91	**31**	39	**31**		



Syndrome obstructif

Réversible (CVF)

BPCO sévère :
VEMS < 30%Théo

Cas Clinique n° 1.4

Par quel examen d'EFR faut il compléter la spirométrie déjà réalisée et pourquoi?

Cas Clinique n° 1.5

Patient Assis
Age: 48 ans — Taille : 172 cm
Sexe : Masc. — Poids : 76.0 kg
Le : 21/10/2003 — BMI : 25.69

	Unité	Théo	LIN	LSN	Mesure	%Théo
CVL	Litres	4,50	3,58	5,42	**2,97**	66
VR	Litres	2,08	1,41	2,75	**5,11**	246
VRE	Litres	1,48			**0,57**	38
CRFPI	Litres	3,37	2,38	4,36	**5,68**	169
CPT	Litres	6,66	5,51	7,81	**8,08**	121
VR/CPT	%	33			**63**	194
CI	Litres	2,97			**2,33**	78

Distension authentique : CRF > LSN
(CPT>LSN)

Piégeage gazeux : VRpléth > VRhélium

Emphysème

Cas Clinique n° 2.1

M. B. est un patient de 49 ans ayant subi une bilobectomie inférieure pour carcinome bronchiolo-alvéolaire. Les suites ont été marquées par la survenue d'une BOOP qui a été traitée par corticoïdes.

1. Interprétez les résultats de la pléthysmographie

Cas Clinique n° 2.2

Patient
Age: 49 ans
Sexe : Masc.
Taille : 171 cm
Poids : 49.0 kg
BMI: : 16.76

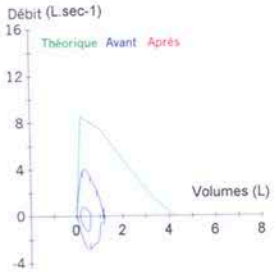
VOLUMES PULMONAIRES (Méthode pléthysmographique)

	Unités	Théo.	LIN	Mesuré	% Théo.	LSN
CVL	(litres)	4.41	3.49	1.04	24	-----
VR	(litres)	2.09	1.42	2.33	112	2.76
VRE	(litres)	1.45		0.38	26	
CRF Pl	(litres)	3.35	2.36	2.71	81	-----
CPT	(litres)	6.58	5.3	3.54	54	-----
VR/CPT	(%)	33	24	66	199	-----
CI	(litres)	2.91		0.66	23	

CPT < LIN => Trouble ventilatoire restrictif
Trouble ventilatoire restrictif en rapport avec la réduction de volume pulmonaire induite par la bilobectomie inférieure

la CRF et le VR sont « anormalement » normaux dans le contexte d'une bilobectomie et témoignent donc d'un piégeage gazeux

Cas Clinique n° 2.3



Boucle débit volume : réduction des débits en rapport avec la réduction de volume pulmonaire

=> Boucle de morphologie normale mais plus petite, typique d'un syndrome restrictif

Cas Clinique n° 3.1

Patient Assis
Age: 54 ans
Sexe : Masc.
Taille : 172 cm
Poids : 61.0 kg
BMI: : 20.62

VOLUMES PULMONAIRES (Méthode de dilution à l'hélium)

	Unités	Théo.	LIN	Mesuré	% Théo.
CVL	(litres)	4.33	3.41	2.85	66
VR	(litres)	2.21	1.54	1.78	80
VRE	(litres)	1.43		1.64	115
CRF He	(litres)	3.42	2.43	3.42	100
CPT	(litres)	6.66	5.51	4.63	69
VR/CPT	(%)	35	26	38	110
CI	(litres)	2.86		1.23	43
Vt	(litres)			2.88	
f	(c.min-1)			14	
VE	(l.min-1)			41.9	

Quel est le type de trouble ventilatoire de ce patient?
Quels sont les volumes affectés ou préservés?
Quelle est la première cause à évoquer pour expliquer les anomalies?

Cas Clinique n° 3.2

Patient Assis
Age: 54 ans
Sexe : Masc.
Le : 03/12/2004
Taille : 172 cm
Poids : 61.0 kg
BMI: : 20.62

VOLUMES PULMONAIRES (Méthode de dilution à l'hélium)

	Unités	Théo.	LIN	Mesuré	% Théo.
CVL	(litres)	4.33	3.41	2.85	66
VR	(litres)	2.21	1.54	1.78	80
VRE	(litres)	1.43		1.64	115
CRF He	(litres)	3.42	2.43	3.42	100
CPT	(litres)	6.66	5.51	4.63	69
VR/CPT	(%)	35	26	38	110
CI	(litres)	2.86		1.23	43
Vt	(litres)			2.88	
f	(c.min-1)			14	
VE	(l.min-1)			41.9	

Trouble ventilatoire restrictif

CRF et VRE sont respectés

Evoquer une pathologie des muscles inspiratoires