

Physiologie pulmonaire

Rappels

Catherine Chèze-Le Rest



Médecine Nucléaire
CHU BREST

Traceurs 2008-2009

1

Ventilation

- Zone de conduction:
 - Trachée, bronches souches, lobaires, segmentaires, petites bronches,
 - Espace mort = 150 ml
- Zone de respiration:
 - Bronchioles terminales, bronchioles alvéolaires, sacs alvéolaires

	Name of branches	Number of tubes in branch
Conducting zone	Trachea	1
	Bronchi	2
	Bronchioles	4
	Bronchioles	8
	Terminal bronchioles	16
Respiratory zone	Respiratory bronchioles	32
	Alveolar ducts	8×10^4
	Alveolar ducts	5×10^5
	Alveolar sacs	8×10^8

Ventilation

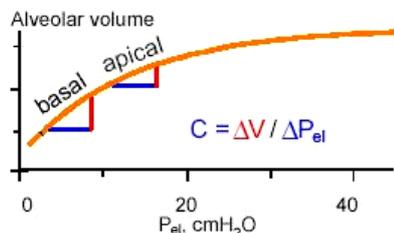
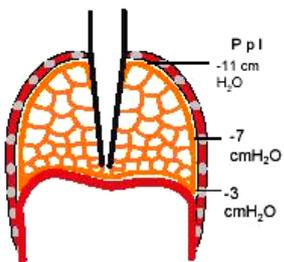
- Surface augmente rapidement
- Résistances surtout au niveau des grosses voies :
 - 80% bronches proximales
 - <20% petites voies aériennes

	Name of branches	Number of tubes in branch
Conducting zone	Trachea	1
	Bronchi	2
	Bronchioles	4
	Bronchioles	8
	Terminal bronchioles	16
Respiratory zone	Respiratory bronchioles	32
	Alveolar ducts	8×10^4
	Alveolar ducts	5×10^5
	Alveolar sacs	8×10^8

- La ventilation dépend :

- Des muscles inspiratoires et des propriétés élastiques du poumon
 - Inspiration : $P_{pulm} < P_{atm}$
 - Expiration : $P_{pulm} > P_{atm}$
- = Possible car variations du volume pulmonaire

4



Bases : alvéoles peu distendues, compliantes, débit ventilatoire élevé
Sommet : alvéoles distendues, peu compliantes, faible débit ventilatoire

En position debout la pression intra pleurale est moins négative à la base qu'au sommet en raison du poids des poumons

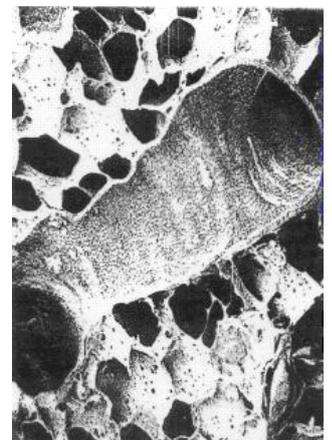
Conséquence : gradient de ventilation du sommet vers la base

→ scintigraphie de ventilation position allongée

5

Alvéoles

- 300 millions
 - 0,3 mm ϕ
 - Surface d'échange : 50 à 100 m²
 - Pores
 - Interalvéolaire (Köhn)
 - Bronchioalvéolaire (Lambert)
- espace ventilé \neq aéré



6

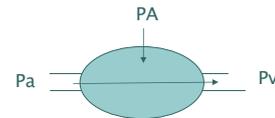
Circulation

- Arbre vasculaire :
 - VD → artère pulmonaire → capillaires 10μ
veinules → 4 veines pulmonaires → OG
- Chaque GR passe 1 seconde dans le capillaire
 - Oxygénation d'autant plus rapide que P_{O_2} élevée

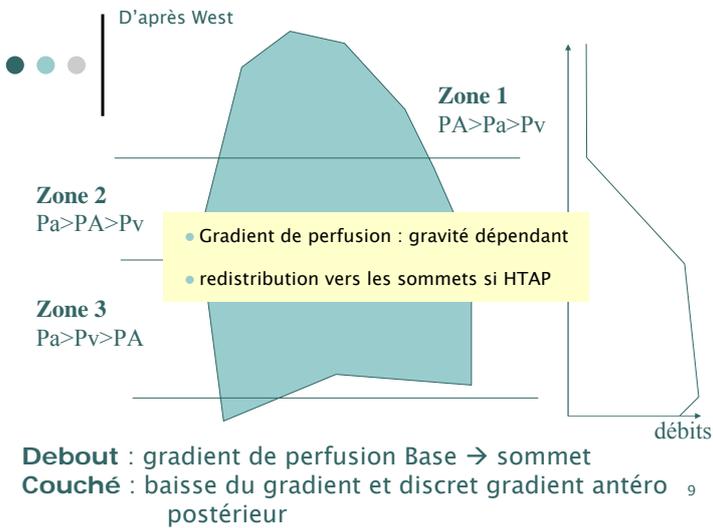
7

Circulation (2)

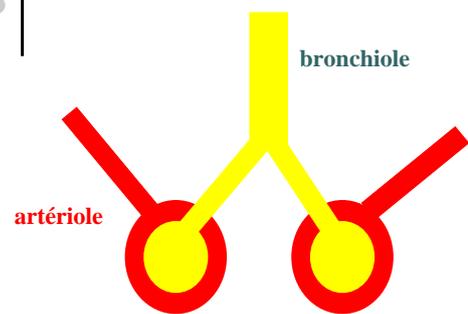
- Pression capillaire dépend de :
 - PA : pression alvéolaire
 - Pa : pression artériole
 - Pv : pression veineuse



8

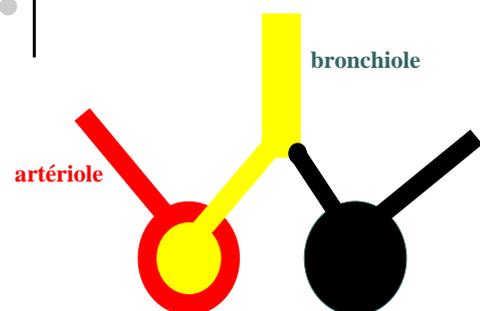
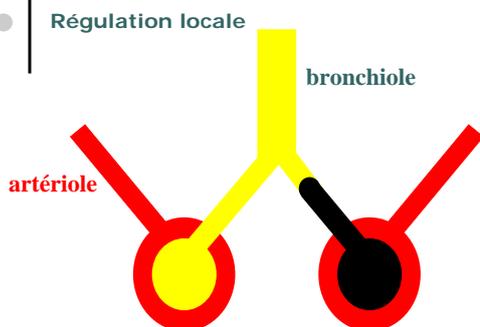


10



OBSTACLE BRONCHIQUE

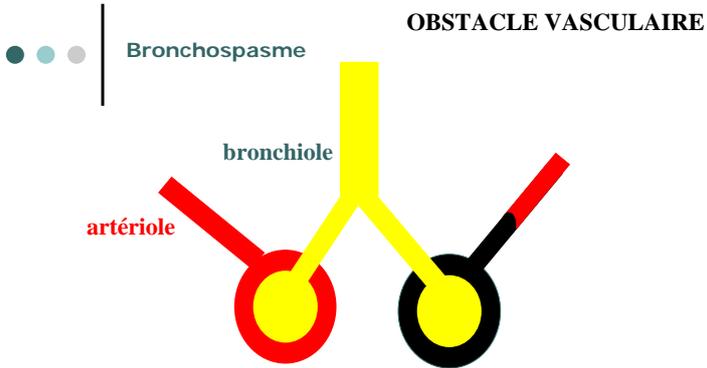
OBSTACLE BRONCHIQUE



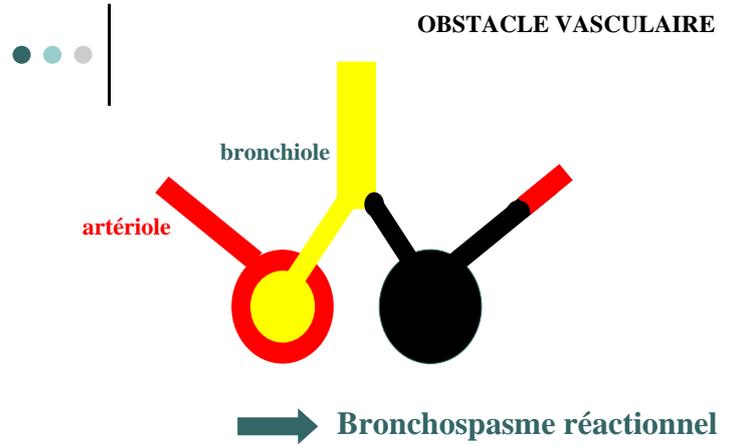
Vasospasme réactionnel
De Von Euler

11

12



13



14

● ● ● |

Scintigraphie pulmonaire

Traceurs de perfusion

15

- ● ● |
- ## Principe
- Particules dont la taille > diamètre capillaire
 - Dispersion dans la circulation artérielle pulmonaire selon les débits de perfusion
 - Blocage précapillaire (15 à 45 μ)
→ scintigraphie

16

● ● ● |

Macroagrégats ou microsphères de sérum albumine humaine dénaturées : (PULMOCIS®, LYOMAA®)

Composition:

- Macroagrégats d'albumine humaine plasmatique : 2mg
- Chlorure stanneux : 0.2 mg
- Albumine humaine : 7 mg
- Chlorure de sodium : 8.7 mg
- 2 à 4 Millions de particules
- Taille : entre 10 et 100 μ → 80% entre 30 et 50 μ

17

● ● ● |

Préparation industrielle des MAA

- Chauffage à 80 °C d'une solution d'albumine + acétate de sodium + chlorure stanneux pendant 35 mn
- Formation des MAA piégeant le chlorure stanneux
- Ajout d'albumine humaine pour stabiliser

18



○ Remarque : Albumine humaine

- Sélection de donneurs
- Elimination de ceux avec maladie virale ou risque de transmission de Creutzfeldt Jacob
- Suivi des donneurs
- Inactivation virale : chaleur (10h à 60 °C + éthanol)
- Mise en circulation 6 mois après la fabrication

19



○ Obligation de traçabilité des produits dérivés du sang (article R5144-26)

- Bordereau de délivrance
 - Nom du prescripteur, service
 - Nom, prénom, DN du patient
 - Date de délivrance
 - Quantité délivrée
 - Étiquette identifiant le lot

A conserver 40 ans

- Obligation d'information du patient

20



○ Nombre de particules à injecter

- Pas moins de 100 000, sinon répartition hétérogène
- 500 à 700 000 chez l'adulte
- Nombre réduit de moitié en cas de shunt cardiaque D-G (200 000)
- Nombre réduit chez l'enfant (activité en fonction du poids)

21



○ Activité à injecter : dépend du protocole de ventilation

- Marquage Tc99m, stabilité 8 heures
- 37 à 185 MBq en cas de perfusion seule
- 3 à 4 fois l'activité délivrée par une scintigraphie de ventilation aux aérosols préalable (222 à 370 MBq)
- Intermédiaire si ventilation au Krypton 81m (148 MBq)
- Enfant : en fonction du poids (0.5 à 2 MBq/kg, minimum 10 MBq)
- Femme enceinte : perfusion seule 37 MBq, arrêt de l'allaitement pendant 12 heures

22



Biodistribution

- Injection par voie IV
- Blocage précapillaire (10µm)
- Embolisation de 0.1% de la circulation
- Fragmentation en 2 à 8 heures
- Produits de dégradation éliminés par le système réticuloendothélial,
- Tc99m résiduel : voie urinaire

23



Dosimétrie :

- Organes cibles : poumons et vessie

	Dose (mGy/MBq)
poumons	0.067
vessie	0.016
Eq Dose efficace	0.012 mSv/MBq

- 148 mBq → 1.8 mSv

24

Microsphères de SA humaine

- Préparation: chauffage d'une émulsion de SA dans l'huile
- **Taille calibrée** (filtres) : 10 à 50 μm
- 800 000 à 1 600 000 particules par flacon
- Inconvénients :
 - moins de particules par flacon
 - sédimentation rapide dans la seringue

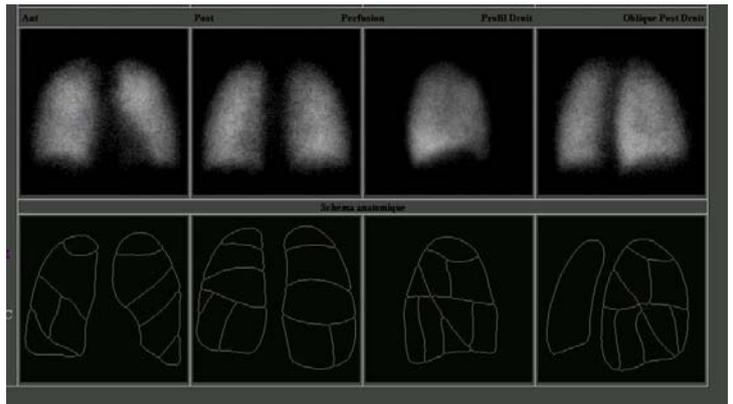
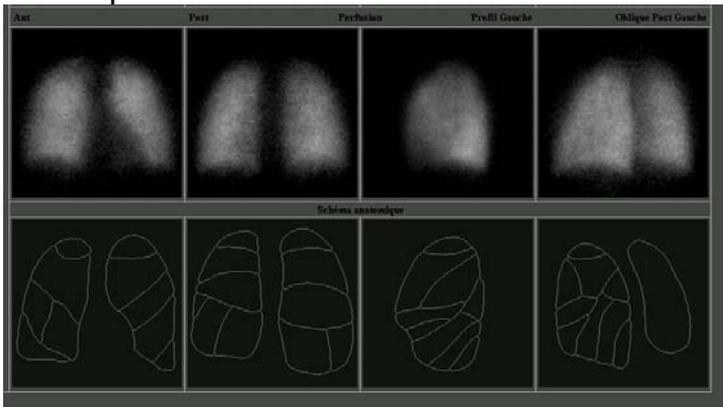
25

Acquisition

- Collimateur parallèle, LEHR
- Spectro : 140 keV +/- 20%
- Images planaires : au moins 6 incidences
 - Face antérieure, Face postérieure
 - O Post G, O Post D
 - Profil D, Profil G
 - O Ant G, O ant D
- Précoups : 300 000 cps (200 à 500)

26

Perfusion normale



Hyperfixations pulmonaires :

- Agrégats dans la seringue pdt injection

Fixations extra pulmonaires :

- Thyroïde, estomac :
 - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ libre : problème de marquage
- Foie, rein, cerveau :
 - Shunt droit gauche
 - Images tardives

29

Scintigraphie pulmonaire

Traceurs de ventilation

30

Principe

- Introduits en 1955 (Knipping)
- aérosols ou gaz radioactifs
 - krypton 81m, (xénon 133)
 - aérosols technétiés
 - technégas
- répartition homogène dans le volume pulmonaire
→ **scintigraphie**

31

But recherché

- Mesurer la répartition du débit de ventilation alvéolaire pulmonaire
- Étude du rapport ventilation/perfusion

32

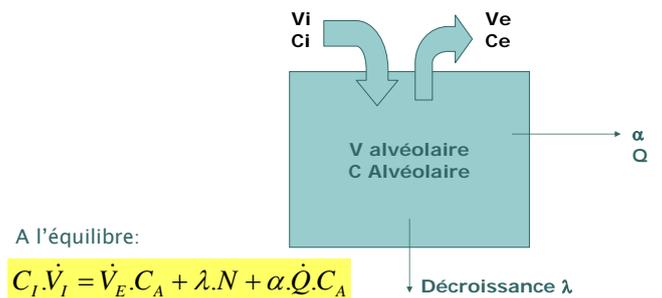
Traceur idéal

- Mesurer effectivement des débits et non des volumes
- Minimum de coopération du patient
- Multiples incidences
- Réalisable après la perfusion
- Peu irradiant
- Peu coûteux

33

Ventilation par les gaz radioactifs

- Modèle à 1 compartiment



34

$$C_I \cdot \dot{V}_I = \dot{V}_E \cdot C_A + \lambda \cdot N + \alpha \cdot \dot{Q} \cdot C_A$$

- à l'état d'équilibre, l'activité dépend du **volume** et du **débit** de ventilation
- si période **longue** : activité % **volume**
- si période **courte** : activité % **débit**

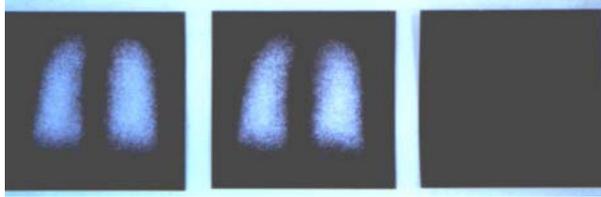
$$N = \frac{\dot{V}_I \cdot C_I}{\frac{\dot{V}_E}{V_A} + \lambda}$$

35

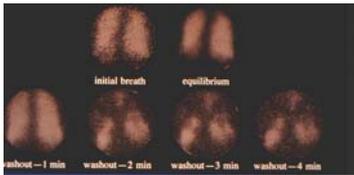
(1) Gaz de période longue

- N'est plus disponible : **Xénon 133**
 - période : 5.3 jours
 - γ : 81 keV
 - β : 347 keV
 - forme : carpule de gaz
 - solubilité : faible

36

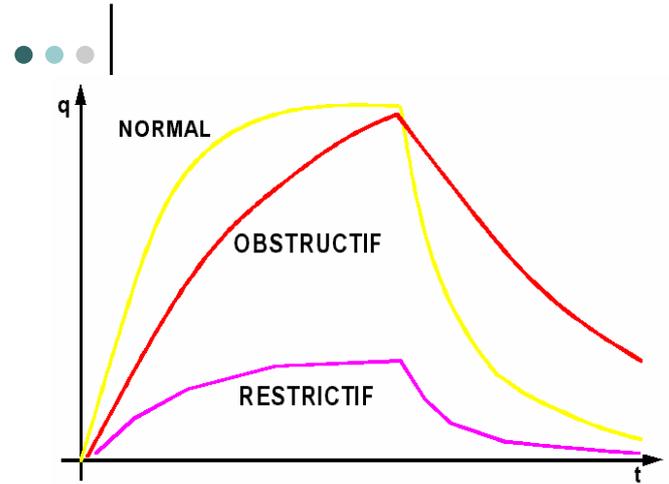


Circuit fermé (350 000 coups) Circuit ouvert (0-2') Circuit ouvert (2'-4')



Sévère trapping bilatéral des lobes inférieurs (mucoviscidose)

37



38

o Inconvénients :

- avant perfusion
- image de qualité médiocre
- émission β : irradiation bronchique
- nombre limité d'incidences

39

(2) Gaz de période courte

o Krypton 81 m

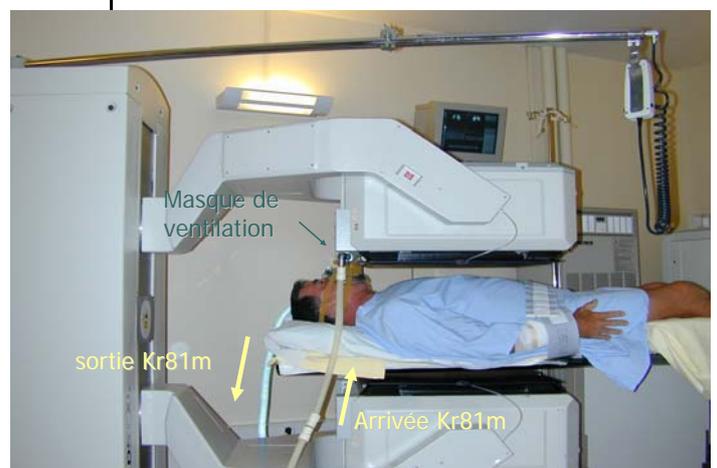
- Gaz rare (1975 Fazio)
- Plus dense que l'air (ρ 3.708 g/l)
- période : 13 s
- γ de 190 keV
- forme : générateur de ^{81}Rb
- solubilité : très faible

40

Principe

- respiration calme en circuit ouvert
- images : à l'équilibre
- activité : reflète les débits ventilatoires

41





- Inhalation pendant toute la durée de l'acquisition
- Au moins 6 incidences :
 - Face antérieure
 - Face postérieure
 - Obliques antérieures Droite et Gauche
 - Obliques postérieures Droite et gauche
 - Profils Droit et Gauche
- Au moins 200 000 cps/ image

45

Avantages :

- images de bonne qualité
- multiples incidences ou tomographie
- avant, après ou pendant la perfusion
- irradiation réduite
- **Inconvénients :**
 - collaboration du patient
 - disponibilité
 - coût : nécessité de regrouper les examens

46

(3) Aérosols

- Suspension de particules solides ou de gouttelettes dans l'air
- Caractérisée par la taille des particules en suspension, qui régit le dépôt au niveau de l'arbre respiratoire.
- 2 types :**
 - Colloïdes ou Phytates - Tc99m : ne passent pas la barrière
 - DTPA-Tc99m : passe la barrière alvéolocapillaire
 - étude de la clairance alvéolo-capillaire

47

○ Mécanisme de dépôt

- dépôt dépend : * taille des particules
- * méthode d'inhalation

48

○ Mécanisme de dépôt

- Zone de conduction : **Impact par inertie**
bifurcation, obstacle
 - Trachée, VAS si diamètre > 30µm
 - Arbre bronchique (10 G) si diamètre entre 10 et 30 µm
- Zone de respiration : **Sédimentation** au niveau des alvéoles
 - Particules de 0.5 à 2 µm de diamètre

49

○ Elimination :

- action combinée
 - drainage lymphatique (0.5 à 2 µm)
 - clairance mucociliaire (> 2µm)

50

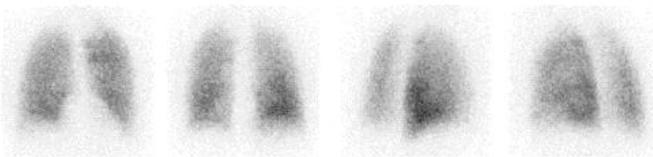
○ Ex : Ultravent[®] ou VENTICIS[®]

- nébulisateur + réservoir d'air
- 1GBq de phytate – Tc99m
- respiration lente et profonde : 3 mn

51



Ventilation normale



53

Acquisition

- Avant la perfusion
- Collimateur LEHR
- Images statiques : au moins 6 incidences
- Au moins 200 000 cps/ image

54

● ● ● | Aérosols

- **Avantages :**
 - disponibilité
 - multiples incidences possibles
- **Inconvénients :**
 - à réaliser avant la perfusion
 - coopération nécessaire
 - qualité médiocre si dépôts proximaux

55

● ● ● | (3) Technegas

- **Aérosol :** Dispersion ultrafine de fullerène (C60) marqué au Tc99m
- **Gaz :** Agglomérats de particules de 0,14 μm
« Tc99m pseudogaz »
- **haut rendement de production :** imprégnation en 1 à 2 cycles respiratoires ⁵⁶

● ● ● | Technegas

- **Avantages :**
 - disponibilité
 - images de bonne qualité
 - coopération réduite
 - multiples incidences
- **Inconvénients :**
 - appareillage spécifique
 - avant la perfusion
 - images des volumes pulmonaires ⁵⁷

	Xe ¹³³	Kr ^{81m}	Aérosol	Technegas
Débit	Calcul	Quantitatif	Qualitatif	Qualitatif
Volume	Equilibre	Non	Non	Oui
Après perfusion	Non	Oui / Pendant	Non	Non
Incidences	1 à 3	6 à 8	6 à 8	6 à 8
Qualité images	Médiocre	Bonne	Dépôts ++	dépôts
Dosimétrie	++	0.05	0.1	0.1

58

● ● ● | Scintigraphie

de ventilation perfusion

- Pas de contre-indication
- Pas d'effet secondaire
- A réaliser en urgence
- Renseignements à demander :
 - indication ? HDM ?
 - Antécédents cardiopulmonaires ?
 - RP récente.

59

60

Grossesse

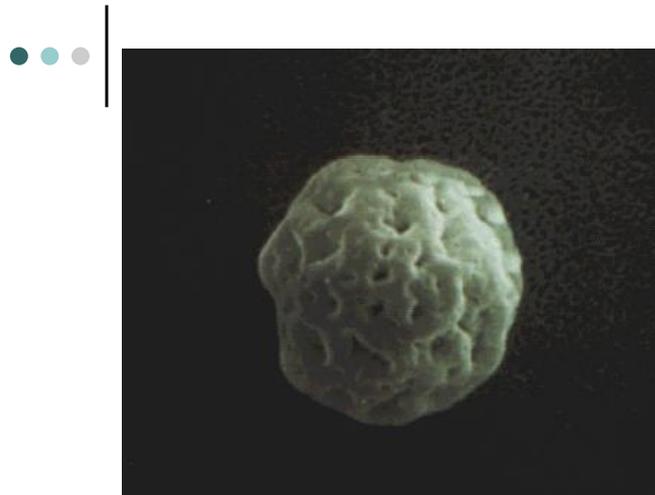
- Limiter l'irradiation +++
 - perfusion seule, discuter ventilation en fonction du résultat
 - activité réduite : 37 à 74 MBq
 - Hydrater, faire uriner
- Dosimétrie fœtus :
 - perfusion : 0.08 mGy
 - Kr81m : négligeable
 - Technegas : 0.012 mGy
 - RP : < 0.01 mGy
 - AngioTDM : 0.13 mGy
- Allaitement : interrompre l'allaitement 12 à 24 H

61

Physiopathologie

Embolie pulmonaire

62



63

Embolie pulmonaire

- EP : obstruction brusque du tronc ou d'une branche de l'artère pulmonaire
- Le plus souvent caillot fibrinocruorique venant d'une thrombose veineuse profonde
- Concept de Maladie ThromboEmbolique (MTE)

64

Scintigraphie pulmonaire et Embolie pulmonaire

65

- Scintigraphie pulmonaire de perfusion

- Mesure le débit perfusionnel
→ retentissement de l'obstacle artériel

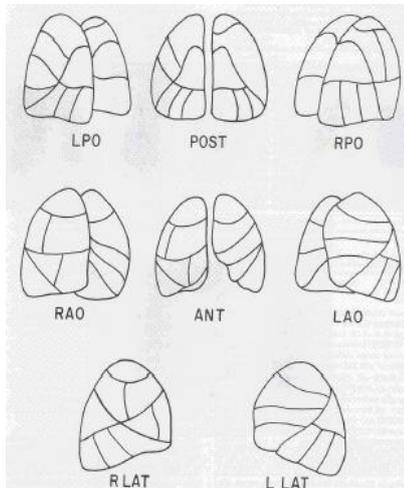


Anomalie mismatched

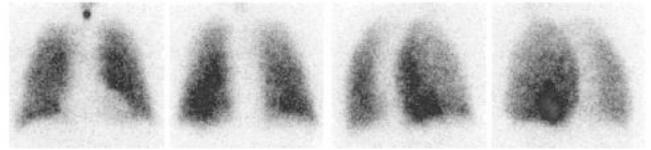
66

○ Systématisation pulmonaire

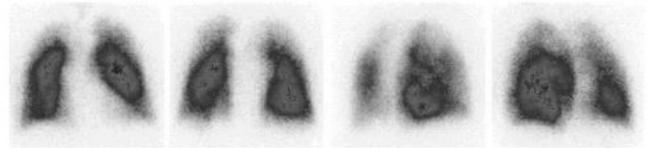
- EP touche plus souvent les bases



I Ventilation



Perfusion



Anterior Posterior RPO LPO

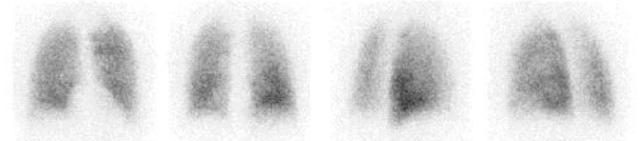
Aspects scintigraphiques de l'EP

○ Anomalie de perfusion évoque une EP mais non spécifique :

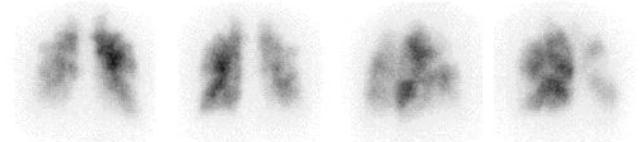
- Obstruction artérielle pulmonaire :
 - Embolie ancienne
 - Compression extrinsèque : cancer, pathologie médiastinale, anévrisme
- Pathologie artérielle
 - Malformation : hypoplasie
 - Artérites : Takayashu, vascularites
- Pathologies infiltratives :
 - Poumon radique, lymphangite carcinomateuse

→ Intérêt de la Scintigraphie de ventilation, de la radio et du contexte

● Ventilation



Perfusion



Anterior Posterior RPO LPO

Aspects scintigraphiques de l'EP

• Anomalie concordante peut correspondre à une EP : anomalie matched

- Adaptation ventilatoire par hypocapnie ?
- Superposition d'un épanchement
- Pathologie mixte

• Mais le plus souvent n'est pas d'origine embolique

- Destruction de tissu sain
 - Chirurgie, bulle d'emphysème exclue
 - Remplacement par du tissu pathologique (cicatriciel, tumeur, abcès)
- Vasoconstriction hypoxique
 - Obstruction bronchique (CE, K, bouchon muqueux)
- Pathologies infiltratives diffuses

71

Scintigraphie pulmonaire

Résultats et Interprétation

72

Scintigraphie V/Q et EP

- Analyse sémiologique des images
 - Globale :
 - Contour
 - Fixation Droit /Gauche
 - Fixation Sommet /Base
 - Confrontation avec RP de moins de 24H
 - Détaillée : recherche de défaut : toute diminution de la perfusion

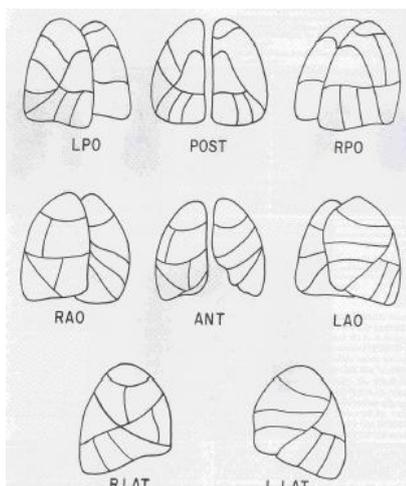
73

- Expression pathologique de l'EP :
déficit perfusionnel = défaut

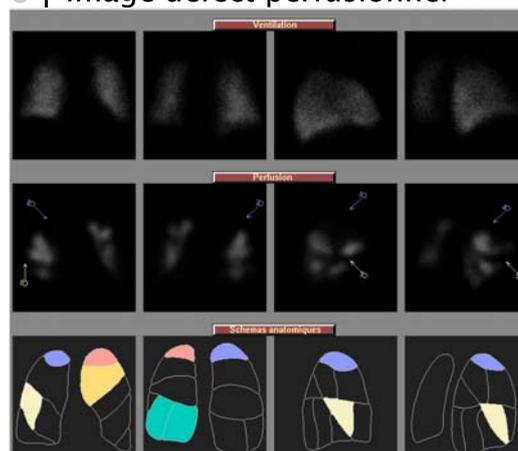
- Taille :
petit (<25%), moyen, grand (>75%)
- Localisation
- Nombre
- Aspect : systématisé ou non
- Comparaison ventilation perfusion

74

- Systématisation pulmonaire
- Obliques postérieures les plus informatives



- Image defect perfusionnel



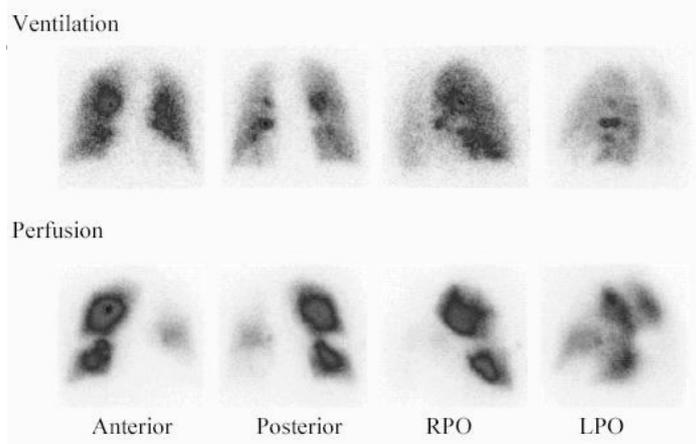
76

Evolution

- Variable et imprévisible : selon étendue, atcd, ttt
 - Complication
 - Récidive
 - Normalisation
 - Récupération incomplète
- Intérêt d'un examen de référence pour le suivi
 - Contrôle à 6 mois : 60 % persistance d'anomalies perfusionnelles, idem pour EP symptomatiques et non symptomatiques
 - Défect a 6 mois dépend de défect a 10 jours + ATCD

Eur respir J, 1998:560- JNM, 2000:1043

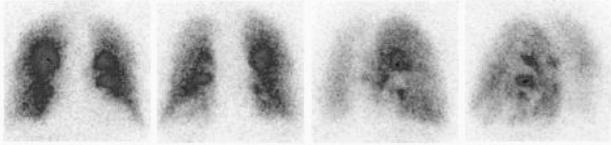
77



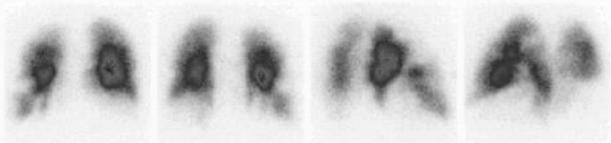
EP à J1

78

Ventilation



Perfusion



Anterior Posterior RPO LPO

Examen 24 h plus tard

79

Rationalisation des critères d'interprétation

Critères PIOPED (JAMA, 1990)

- **Validation** : 1493 pts - 1487 avec scinti
 - Groupe 1 : 931 pts ayant une scinti anormale → angio : 755
- **Référence** : angiographie pulmonaire
- **Interprétation** : taille, caractère systématisé, ventilation, RP
- Résultats en terme de probabilité
- « mal compris » : VPP selon les aspects V/Q
- reproductibilité interobservateur variable (95 - 75 - 70 - 94) 80

○ PIOPED : 4 catégories

- Perfusion normale
- Faible probabilité (<20%)
- Probabilité intermédiaire (20-80%)
- Forte probabilité (> 80%)
- + Très faible probabilité (critères révisés)

81

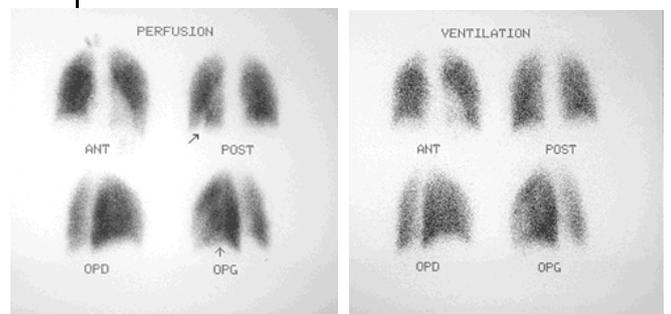
○ **Perfusion Normale** (≈ 10%) : exclut une EP

- Même valeur que l'angiographie
- Risque EP < 0.6%
- 39 pts avec scinti V/Q normale : pas d'EP
- Pas de récurrence lors du suivi 3mois - 3 ans

Kipper MS, Chest, 1982
Hull RD, Chest 1990

82

	PERFUSION				VENTILATION	RP	% EP
	G > 75%	M 25-75%	P <25%	Non segmentaires	O : normale A : V<P B : V=P C : V>P	O : normale A : RP<P B : RP=P C : RP>P	
FAIBLE				X	NS	NS	
			X		NS	O - A	7
	X					C	18
		X				C	
	X				B ou C (< 50% poumon)	O - A	17 1 seul = 26%
		X			B ou C (< 50% poumon)	O - A	multiples = 14%



Scintigraphie de probabilité faible:
Anomalies de perfusion sous segmentaire discordante dans le segment latéro-basal gauche. RP normale.
Haute probabilité clinique.

84

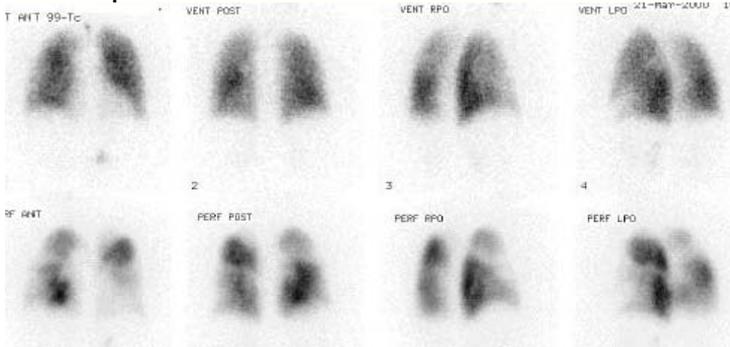
o Forte probabilité :

• Anomalies perfusionnelles

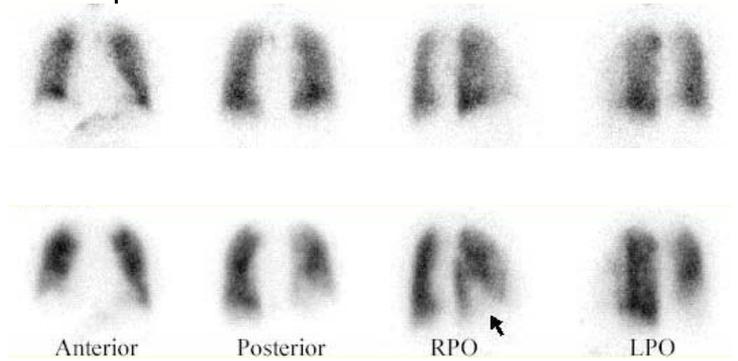
- Systématisées
- Dissociées : P > V
- Au moins 2 segments ou équivalents si pas d'ATCD

85

	PERFUSION				VENTILATION	RP	% EP
	G > 75%	M 25-75%	P <25%	Non segmentaires	0 : normale A : V<P B : V=P C : V>P	0 : normale A : RP<P B : RP=P C : RP>P	
FORTE	> 2 ou équivalent				0 - A		71%
	1	> 2			0 - A	0 - A	
		4			0 - A	0 - A	
INTER-MEDIAIRE		1			0 - A - B	0	36
	1				0 - A		1 = 52% (1,5 = 72%)



87



88

Limites de PIOPED

- o Utilisation du Xénon
 - Nombre limité d'incidences
- o Repose sur la taille des anomalies
 - difficile à apprécier, sous estimation
- o Reproductibilité
- o Incompris
- o Trop d'examens non concluants (faible probabilité et intermédiaire)

89