



*Εργαστήριο Πυρηνικής Ιατρικής  
Ιατρική Σχολή Πανεπιστημίου Θεσσαλίας*



## ΠΑΡΑΔΟΣΕΙΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ

# Σπινθηρογραφική Απεικόνιση Πνευμόνων

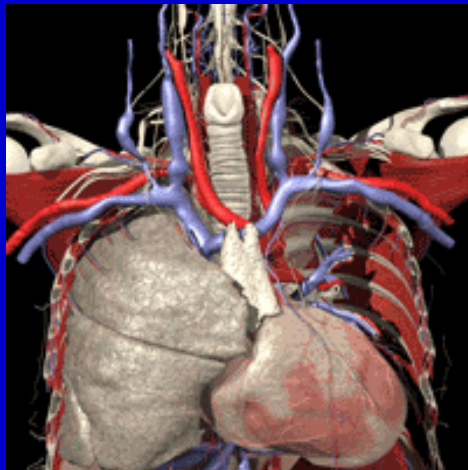
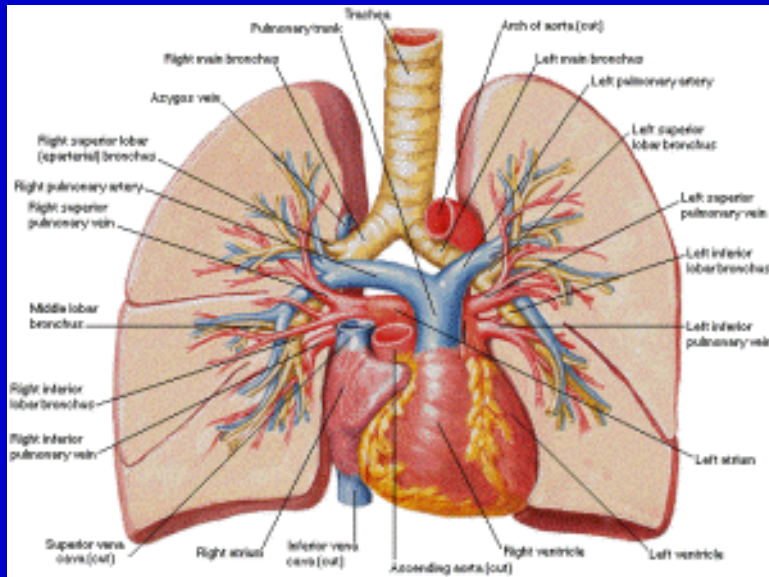
Παναγιώτης Αν. Γεωργούλιας

*Αν. Καθηγητής Πυρηνικής Ιατρικής*



*Λάρισα, 2017*

# ΣΠΙΝΘΗΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΠΝΕΥΜΟΝΩΝ



Δ. Πνεύμων	άνω λοβός	κορυφαίο
		οπίσθιο
		πρόσθιο
	μέσος λοβός	έσω
		έξω
	κάτω λοβός	κορυφαίο
έσω βασικό		
πρόσθιο βασικό		
έξω βασικό		
οπίσθιο βασικό		
Αρ. Πνεύμων	άνω λοβός	κορυφαίο
		οπίσθιο
		πρόσθιο
		άνω
	κάτω λοβός	κάτω
		κορυφαίο
		πρόσθιο βασικό
		έξω βασικό
		οπίσθιο βασικό
Τα βρογχοπνευμονικά τμήματα αποτελούν αυτοτελείς λειτουργικές μονάδες		

# ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ

- Ανταλλαγή αερίων μεταξύ αίματος – αέρα.
- Πραγματοποιείται κατά μήκος της κυψελιδοτριχοειδικής μεμβράνης με απλή διάχυση.
- Ο αναπνεόμενος όγκος αέρα στην ηρεμία φτάνει τα 500 ml.
- Λόγος αερισμού / αιμάτωσης:  $4/5 = 0,8$
- Η αιμάτωση 3-5 φορές μεγαλύτερη στη βάση των πνευμόνων, ενώ ο αερισμός 1.5 – 2 φορές.
- *Η ελάττωση της τάσης  $O_2$  στις κυψελίδες προκαλεί αγγειοσυστολή (αντίθετη δράση από τη συστηματική κυκλοφορία).*

# ΡΑΔΙΟΦΑΡΜΑΚΑ ΑΙΜΑΤΩΣΗΣ – ΤΕΧΝΙΚΗ

- $^{99m}\text{Tc}$ -Macroaggregated ( $^{99m}\text{Tc}$ -MAA) μέγεθος 5-90 $\mu\text{m}$  (10-40  $\mu\text{m}$ ),  $T_{1/2}$  2-9 h.
- $^{99m}\text{Tc}$ -Human Albumin Microspheres ( $^{99m}\text{Tc}$ -HAM) μέγεθος 10-45  $\mu\text{m}$ ,  $T_{1/2}$  7h.
- Συχνότερες αλλεργικές αντιδράσεις και γενικά πιο αργή βιοδιάσπαση των μικρόσφαιρων.
- Συγκέντρωση στους πνεύμονες ανάλογα με την αιματική ροή. – Παροδική εμβολή 1/1000 αρτηριόλια.
- Χορήγηση iv, με τον ασθενή ξαπλωμένο, καλή ανάδευση – μικρή αναρρόφηση, βαθιές αναπνοές, λήψεις: πρόσθια, οπίσθια, δεξιά και αριστερή, πλάγια δεξιά και αριστερή οπίσθια λοξή.

# ΡΑΔΙΟΦΑΡΜΑΚΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

- $^{133}\text{Xe}$  ( $T_{1/2}$  5,3 d  $E_{\gamma}$ =81 keV).  
Ευρύτερα χρησιμοποιούμενο παγκοσμίως.  
Προηγείται το σπινθηρογράφημα αερισμού – εκπομπή β- ακτινοβολίας (μειονεκτήματα).
- $^{127}\text{Xe}$  ( $T_{1/2}$  36,4 d  $E_{\gamma}$ =127 keV, 375 keV).  
Πλεονέκτημα η δυνατότητα λήψης του σπινθηρογραφήματος αερισμού μετά το αιματώσεως.  
Μειονέκτημα το υψηλό κόστος.
- $^{81\text{m}}\text{Kr}$  ( $T_{1/2}$  13 sec  $E_{\gamma}$ =190 keV, γεννήτρια  $^{81}\text{Rb}$  /  $^{81\text{m}}\text{Kr}$ ).  
Λήψη του σπινθηρογραφήματος αερισμού μετά το αιματώσεως.  
Υψηλό κόστος.
- Aerosoles ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA, μέγεθος 0,25-0,5  $\mu\text{m}$  -  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -pertechnetate, μέγεθος 50 – 200 Å).
- Εκτέλεση της μελέτης αερισμού πριν το σπινθηρογράφημα αιματώσεως – κατακράτηση του ραδιοφαρμάκου στις αναπνευστικές οδούς σε ασθενείς με ΧΑΠ (μειονεκτήματα).
- $^{13}\text{N}$  ( $T_{1/2}$  10min),  $^{15}\text{O}$  ( $T_{1/2}$  2 min) (προϊόντα κυκλοτρονίου – PET απεικόνιση).

# ΤΕΧΝΙΚΗ

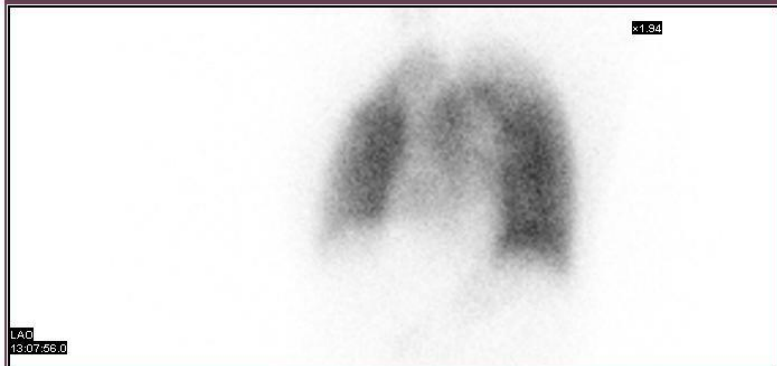
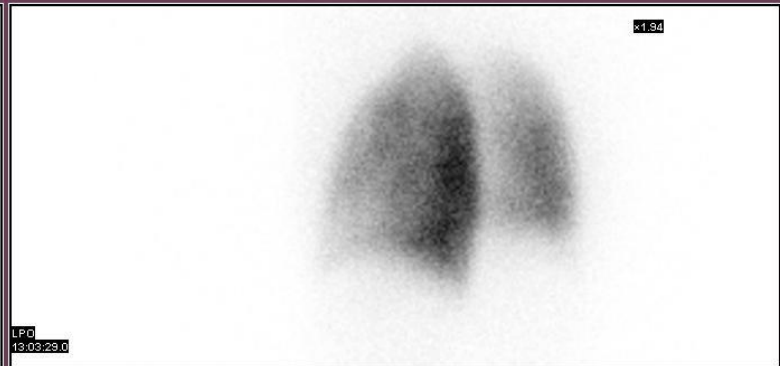
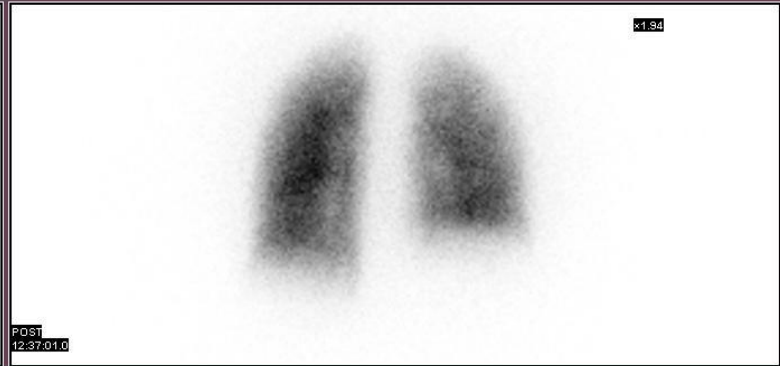
- Το σπινθηρογράφημα αερισμού απαιτεί ειδικό εξοπλισμό – κίνδυνος ραδιομόλυνσης.
- Μέγιστη εισπνοή μετά από πλήρη εκπνοή (10-20sec – φάση «wash in»).
- Αναπνοή μέσω κλειστού κυκλώματος (3-5min – φάση «ισορροπίας – equilibrium).
- Αναπνοή αέρα περιβάλλοντος (6-10min – φάση «washout»).

# ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΣΠΙΝΘΗΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΑΙΜΑΤΩΣΕΩΣ

- Ομοιογενής διάχυση του ραδιοφαρμάκου σε όλη την έκταση και των δύο πνευμόνων. Ευκρινής απεικόνιση πλευροδιαφραγματικών γωνιών στην οπίσθια λήψη.
- **Οπίσθια λήψη:** εντυπώματα καρδιάς, πυλών, αορτικού κομβίου.
- **Πρόσθια λήψη:** εντύπωμα καρδιάς (αρκετές φορές και των πυλών), εξασθένιση ακτινοβολίας από τους μαστούς.
- **Πλάγιες λήψεις:** εντυπώματα πυλών, εντύπωμα καρδιάς στην αριστερή πλάγια (ασθενέστερο στη δεξιά), ασθενέστερη απεικόνιση άνω πνευμονικών πεδίων λόγω των ώμων.
- **Οπίσθιες λοξές λήψεις:** εντυπώματα καρδιάς (κυρίως στην αριστερά οπίσθια λοξή λήψη), ώμων (ανώτερα πνευμονικά πεδία).
- **Πρόσθιες λοξές λήψεις** (όχι συχνά): εντυπώματα πυλών.
- **Φυσιολογικές παραλλαγές:** ασθενέστερη απεικόνιση κορυφών ιδίως δεξιά – λοβού αζύγου φλέβας, μικρό μέγεθος πνευμόνων σε παχύσαρκους – ασαφής απεικόνιση πλευροδιαφραγματικών γωνιών.



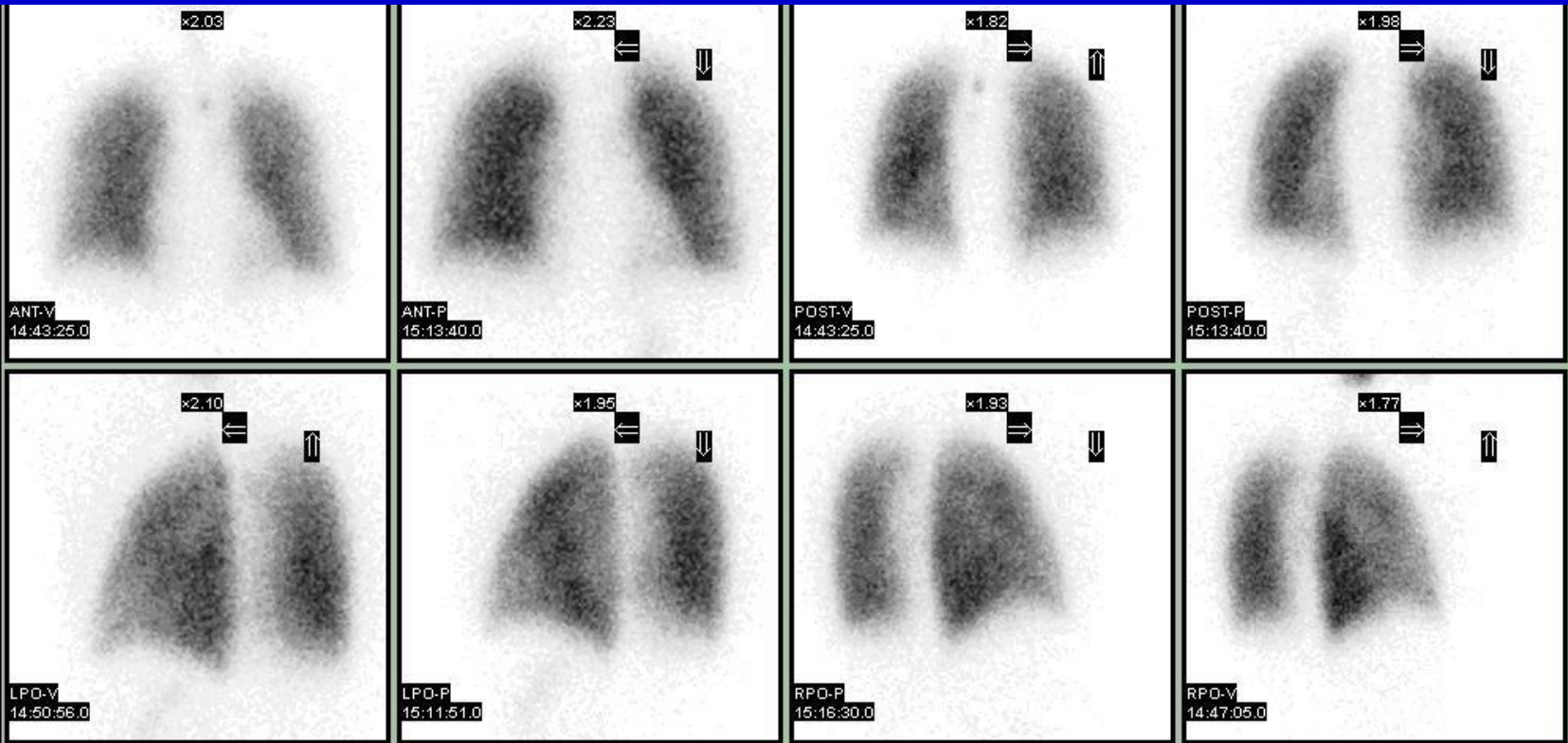
Patient Name: \*\*\*\*\*  
Patient Id: \*\*\*\*\*  
Study Name: Lungs Perfusion  
Date & Time: 10/31/2013  
Manufacturer Model: INFINIA  
LARISSA UNIV.HOSPITAL





# ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΟ ΣΠΙΝΘΗΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

- Ομοιογενής διάχυση του ραδιοφαρμάκου σε όλη την έκταση των πνευμόνων.
- Μικρότερο εντύπωμα καρδιάς.
- Οι πλευροδιαφραγματικές γωνίες δεν απεικονίζονται ευκρινώς.
- Στη φάση «washout» τα κατώτερα πνευμονικά πεδία αδειάζουν πιο γρήγορα από τα ανώτερα. – Απομάκρυνση του ραδιενεργού αερίου περίπου εντός 3min.



Φυσιολογικό σπινθηρογράφημα αερισμού (V) – αιμάτωσης (P) πνευμόνων

**Source:**

Myohan, Wikipedia  
CC BY 3.0

# ΠΝΕΥΜΟΝΙΚΗ ΕΜΒΟΛΗ

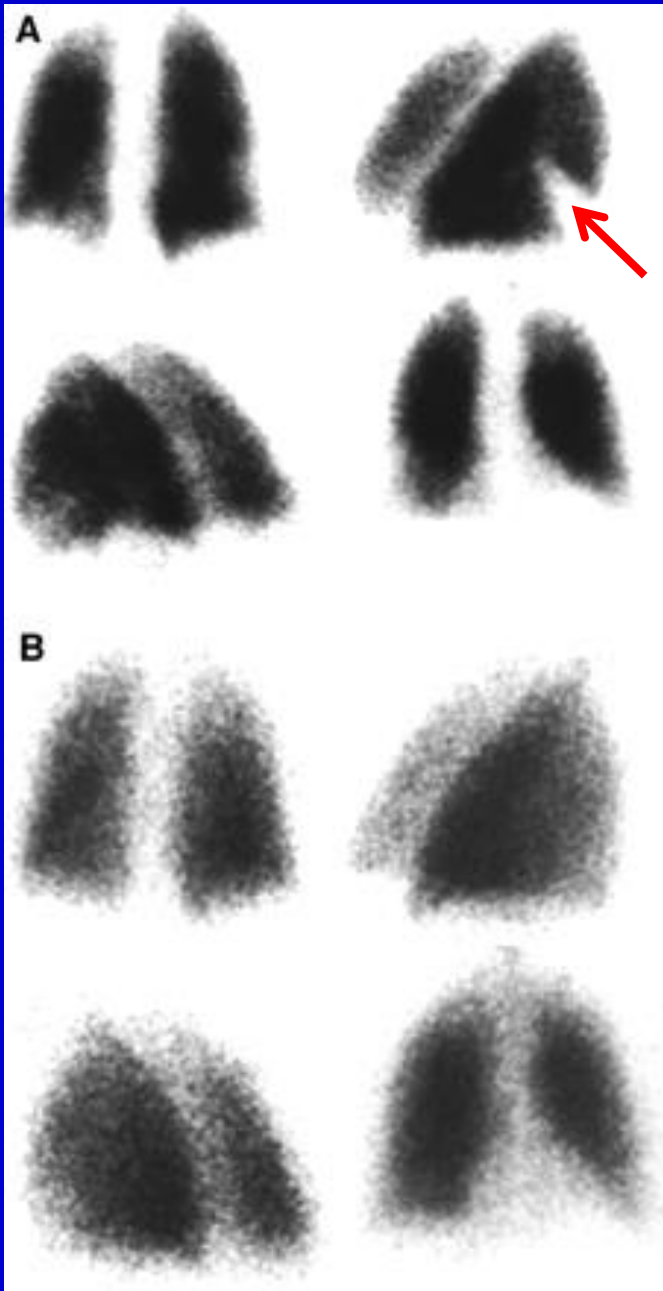
- Κύρια ένδειξη για την εκτέλεση σπινθηρογραφήματος πνευμόνων (αναίμακτη, εύχρηστη, οικονομική μέθοδος).
  - **πλέον εφαρμόζεται κατά κανόνα η CT**
- «Gold standard» θεωρείται η πνευμονική αγγειογραφία (επεμβατική – ακριβή μέθοδος, πιθανότητα επιπλοκών).
- **Κατά κανόνα σχετίζεται με εν τω βάθει θρομβοφλεβίτιδα κάτω άκρων ή λεκάνης** (σπάνια προκαλείται από εμβολή αέρα, λίπους, ενάμνιου υγρού, μυελού οστών, ναρκωτικών ουσιών κλπ.).
- **Κλινική εικόνα:** θωρακικό άλγος, δύσπνοια, βήχας, αιμόπτυση – συγκοπή σε μαζική εμβολή (απόφραξη άνω του 50-60% της πνευμονικής κυκλοφορίας).
- **Κλινικά σημεία:** συνήθως ευρήματα θρόμβωσης του εν τω βάθει φλεβικού δικτύου των κάτω άκρων/λεκάνης, ταχυκαρδία, ταχύπνοια, διόγκωση φλεβών τραχήλου – ήπατος, τρίτος τόνος στη δεξιά κοιλία, ρόγχος.
- **Εργαστηριακά ευρήματα:** ΗΚΓκές αλλοιώσεις,  $\uparrow$ LDH,  $\downarrow$ pO<sub>2</sub> και pCO<sub>2</sub>,  $\uparrow$ **D-Dimers**, α/α θώρακος συχνά μη παθογνωμονικά ευρήματα – ολιγαιμικό τμήμα, CT, MRI.

# ΣΠΙΝΘΗΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΕΥΡΗΜΑΤΑ

- *Παθογνωμονικός είναι ο συνδυασμός ελλειμμάτων στο σπινθηρογράφημα αιματώσεως χωρίς αντίστοιχα ευρήματα στο σπινθηρογράφημα αερισμού ή την πρόσφατη α/α θώρακα (perfusion – ventilation mismatch).*
  - Πολλαπλά τμηματικά (75%), τριγωνικά / σφηνοειδή, περιφερικά ελλείμματα – συχνότερη εντόπιση στους κάτω λοβούς (σπινθηρογράφημα αιματώσεως).
  - Σπάνια εικόνα συρρίκνωσης των πνευμόνων λόγω πολλαπλών μικρών εμβόλων – επιμήκη ελλείμματα (σπινθηρογράφημα αιματώσεως).
  - ΧΑΠ: ελλείμματα αιματώσεως, μη τμηματικά, εντοπίζονται συνήθως στους άνω λοβούς, έχουν συχνά γραμμοειδές σχήμα.
- *Το φυσιολογικό σπινθηρογράφημα αιματώσεως αποκλείει την πνευμονική εμβολή.*

# ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΥΡΗΜΑΤΩΝ κατά Biello – ΡΙΟΡΕΔ

- Μικρής πιθανότητας (10-12%).
- Μέσης πιθανότητας (20-33%).
- Υψηλής πιθανότητας (>87-90%).



Ασθενής 35 ετών με οξεία δύσπνοια και πλευριτικό άλγος

(A) Σπινθηρογράφημα αιμάτωσης πνευμόνων

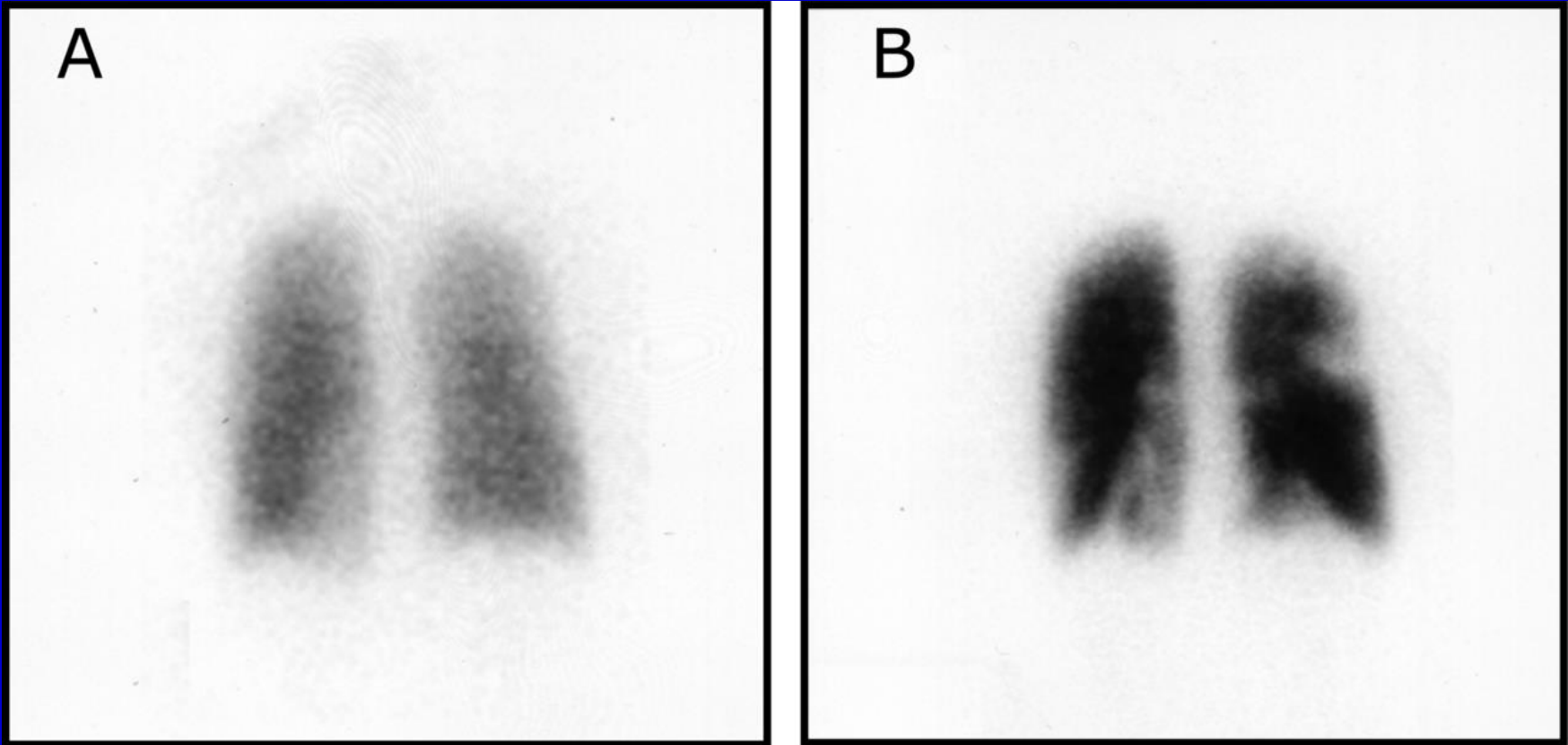
(B) Σπινθηρογράφημα αερισμού πνευμόνων: **mismatch**

**Source:**

Hagen PJ, et al.

How to use a gestalt interpretation for ventilation-perfusion lung scintigraphy.

J Nucl Med. 2002 ;43(10):1317-23.



Σπινθηρογράφημα αερισμού (A) – αιμάτωσης (B): **mismatch**

**Source:**

Westgate EJ & FitzGerald GA .

Pulmonary Embolism in a Woman Taking Oral Contraceptives and Valdecoxib. PLoS Medicine Vol. 2, No. 7, e197.

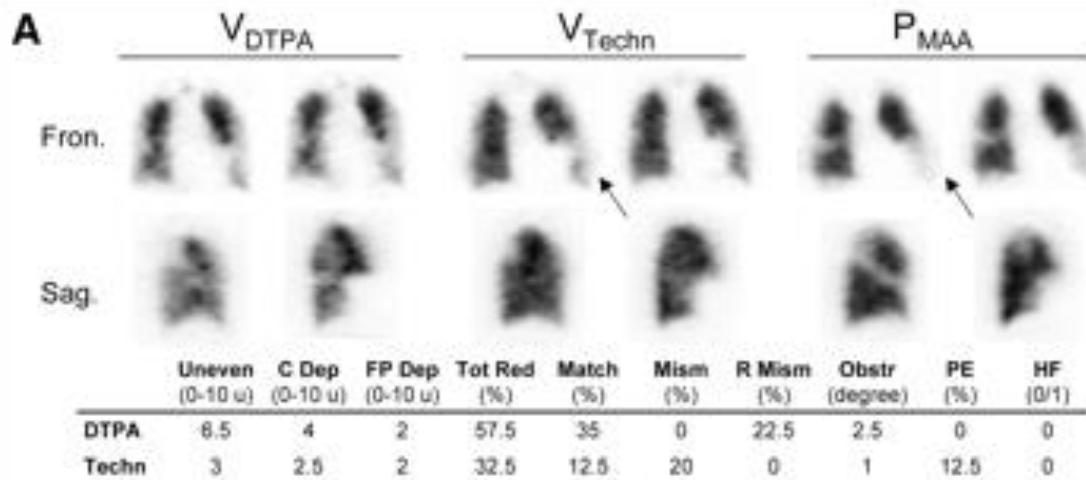
Wikipedia

CC BY 2.5

# «MISMATCH» ΑΠΟ ΑΛΛΕΣ ΠΑΘΗΣΕΙΣ

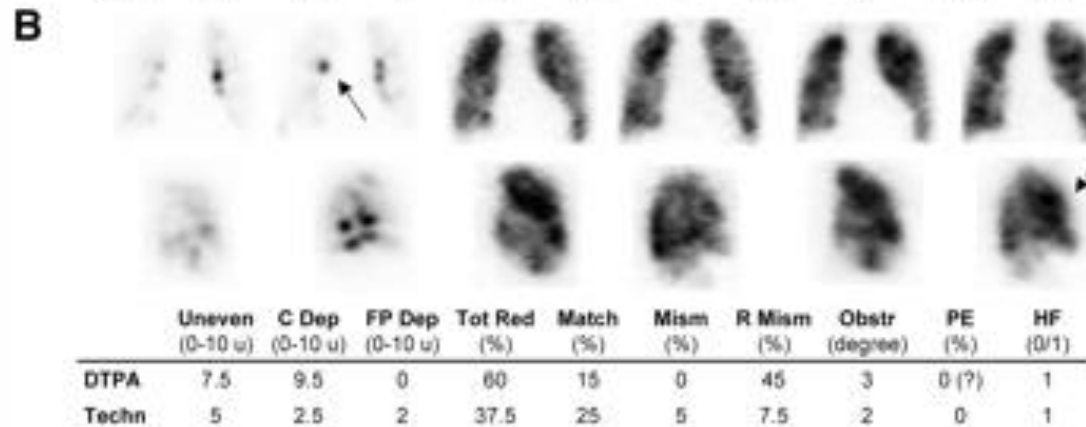
- Συστηματική αγγειοπάθεια (π.χ. νόσος κολλαγόνου).
- Φυματίωση.
- Σαρκοείδωση.
- Χωροκατακτητικές εξεργασίες.
- Πνευμονία.
- Συγγενείς ανωμαλίες πνευμονικής αρτηρίας (αγενεσία, στένωση, ανώμαλη έκφυση).
- Σάρκωμα, αγγειοενδοθηλιωμάτωση πνευμονικής αρτηρίας.



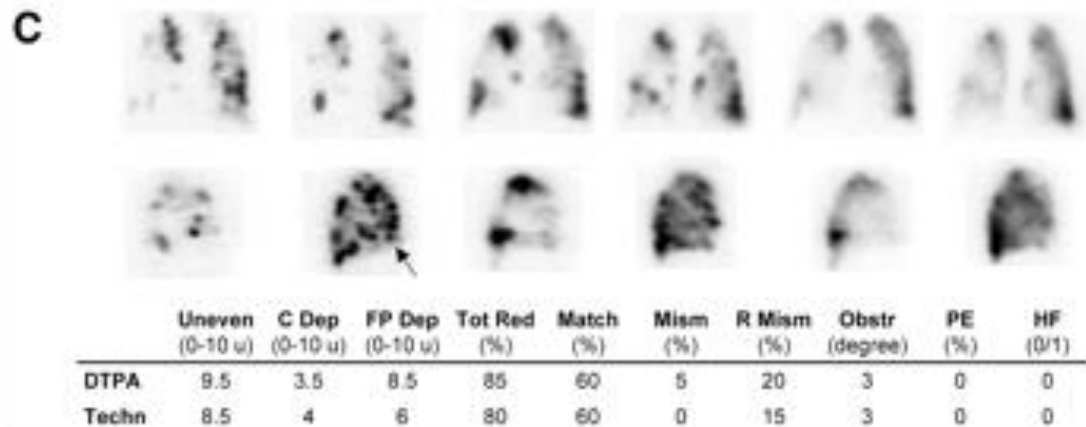


(A) Ασθενής με ΧΑΠ ηπίου βαθμού

Κλινική υποψία ΠΕ



(B) Ασθενής με ΧΑΠ μετρίου βαθμού και καρδιακή ανεπάρκεια



(C) Ασθενής με ΧΑΠ σοβαρού βαθμού και εμφύσημα

Σημαντική μείωση του αερισμού και της αιμάτωσης

**Source:**

Jögi J, et al.

Ventilation-perfusion SPECT with  $^{99m}\text{Tc}$ -DTPA versus Technegas: a head-to-head study in obstructive and nonobstructive disease.

J Nucl Med. 2010;51(5):735-41.

# ΚΑΡΚΙΝΟΣ ΠΝΕΥΜΟΝΑ

- Εφαρμόζονται οι ακτινολογικές τεχνικές (CT, MRI) για την απεικόνιση του όγκου.
- Χρήσιμο το σπινθηρογράφημα αιματώσεως για την προεγχειρητική εκτίμηση της πνευμονικής λειτουργίας μετά την πνευμονεκτομή.
- Σχετική λειτουργική συμμετοχή:

---

$\sqrt{\text{κρούσεις στην πρόσθια λήψη} \times \text{κρούσεις στην οπίσθια λήψη}}$

---

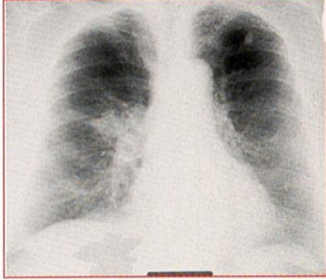
$\sqrt{\text{κρούσεις πρόσθιας λήψης} \times \text{κρούσεις οπίσθιας λήψης αριστερού πνεύμονα}}$

+  $\sqrt{\text{κρούσεις πρόσθιας λήψης} \times \text{κρούσεις οπίσθιας λήψης δεξιού πνεύμονα}}$

**Μετεγχειρητικός FEV<sub>1</sub> > 0,8-1 lt.**

- Απεικόνιση με «ογκόφιλα» ραδιοφάρμακα (<sup>67</sup>Ga, <sup>201</sup>Tl, <sup>99m</sup>Tc-sestamibi, επισημασμένα με <sup>111</sup>In ή <sup>99m</sup>Tc ανάλογα της σωματοστατίνης, επισημασμένα με <sup>111</sup>In, <sup>123</sup>I ή <sup>99m</sup>Tc μονοκλωνικά αντισώματα, ραδιοφάρμακα PET π.χ. <sup>18</sup>FDG, <sup>11</sup>C-methionie).

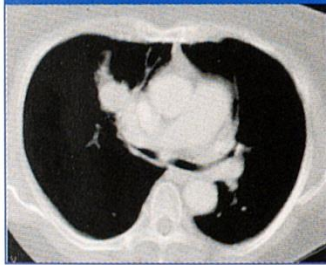
**X-ray**



**Coronal view**



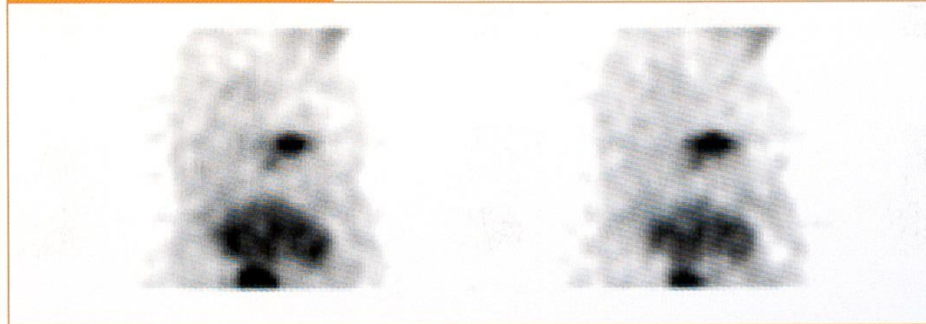
**CT**



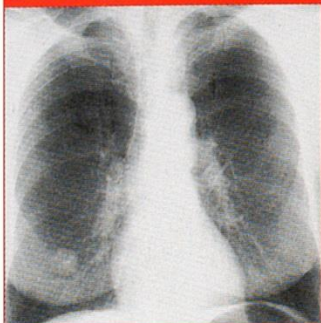
**Transaxial view**



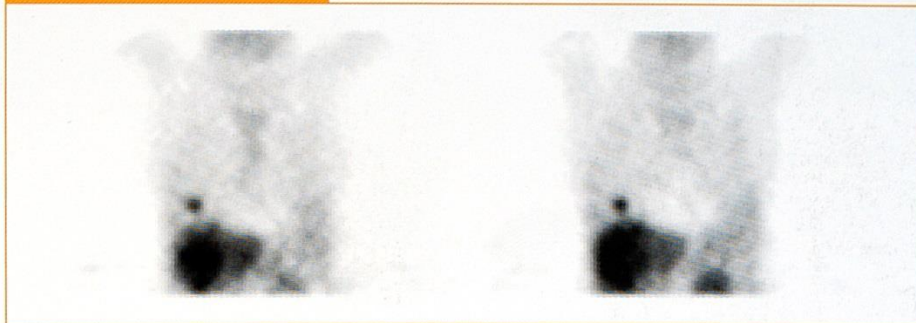
**Sagittal view**



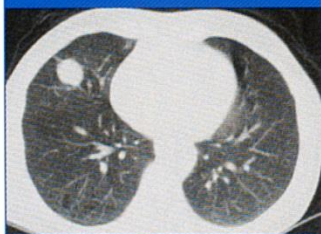
**X-ray**



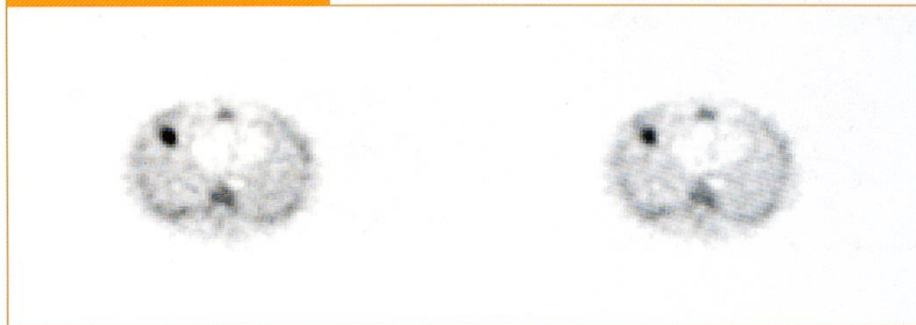
**Coronal view**



**CT**



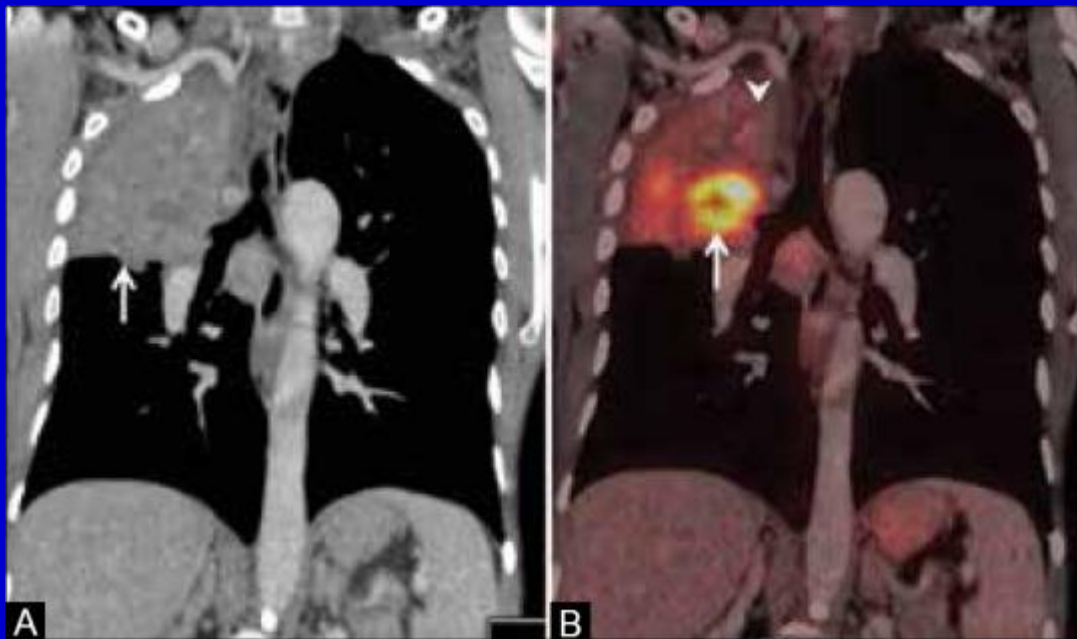
**Transaxial view**



**Sagittal view**



# ΚΑΡΚΙΝΟΣ ΠΝΕΥΜΟΝΑ



(A) Αξονική τομογραφία

(B) Απεικόνιση PET/CT

Ανάδειξη των ορίων του όγκου σε σχέση με την περιβάλλουσα εξιδρωματική περιοχή

**Source:**

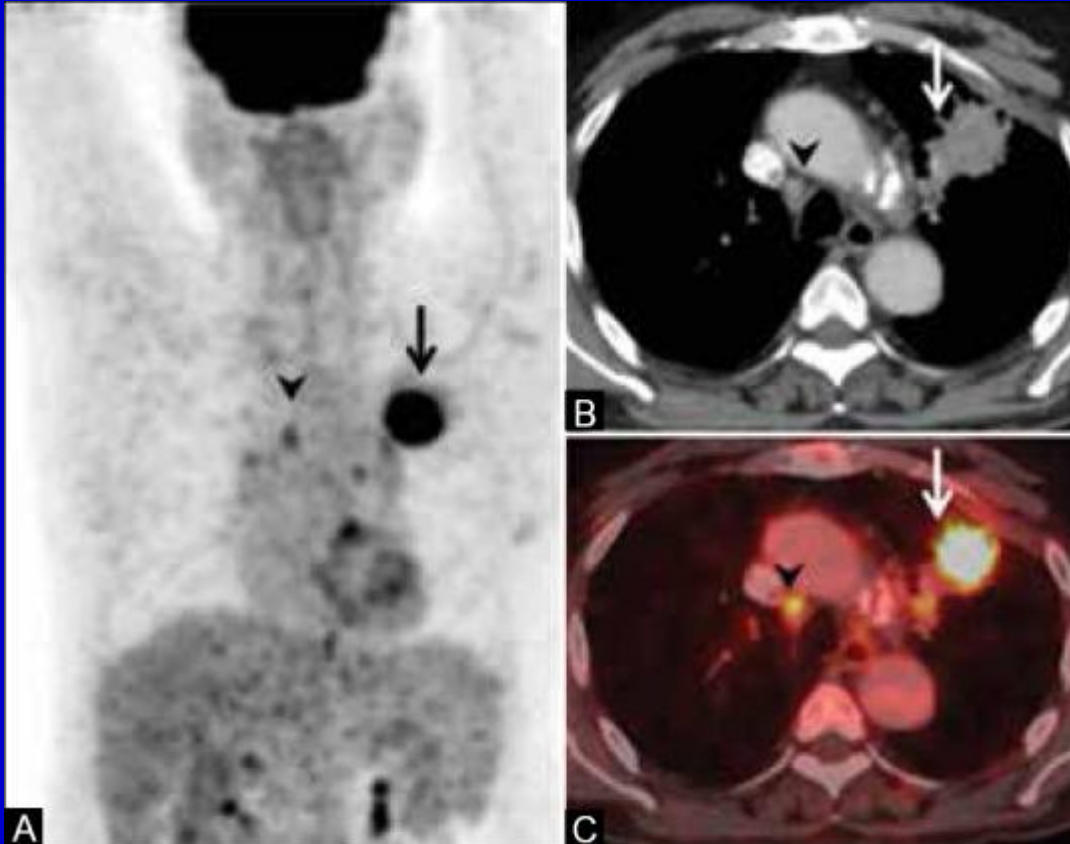
Purandare NC & Rangarajan V.

Imaging of lung cancer: Implications on staging and management.

Indian J Radiol Imaging.2015;25(2):109–120.

CC BY-NC-SA 3.0

# ΚΑΡΚΙΝΟΣ ΠΝΕΥΜΟΝΑ



(A) FDG απεικόνιση

=> Πρωτοπαθής όγκος  
=> Εστία στο μεσοθωράκιο

(B) Αξονική τομογραφία

=> Πρωτοπαθής όγκος  
=> Μικρός παρατραχειακός λεμφαδένας  
(αρνητικός βάσει του μεγέθους)

(C) PET/CT απεικόνιση

=> Πρωτοπαθής όγκος  
=> Λεμφαδενική μετάσταση

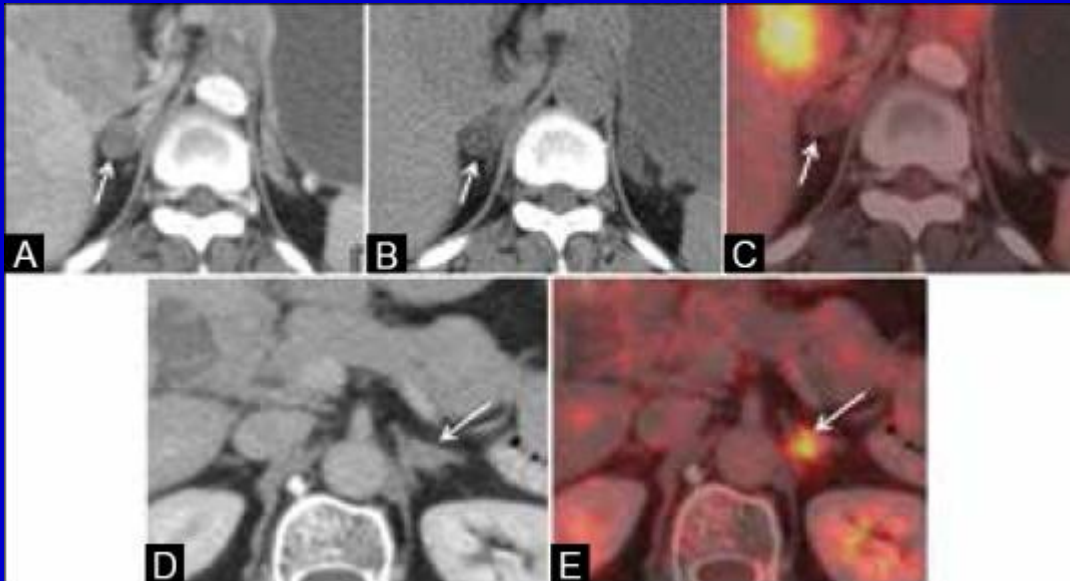
Μεσοθωρακοσκόπηση – βιοψία

**Νόσος σταδίου N3**

**Source:**

Purandare NC & Rangarajan V.  
Imaging of lung cancer: Implications on staging and management.  
Indian J Radiol Imaging.2015;25(2):109–120.  
CC BY-NC-SA 3.0

# ΚΑΡΚΙΝΟΣ ΠΝΕΥΜΟΝΑ



**Ασθενής #1 με καρκίνο πνεύμονα**

(A,B) Αξονική τομογραφία

(C) PET/CT απεικόνιση αρνητική

**Αδένωμα επινεφριδίου**

**Ασθενής #2 με καρκίνο πνεύμονα**

(D) Αξονική τομογραφία

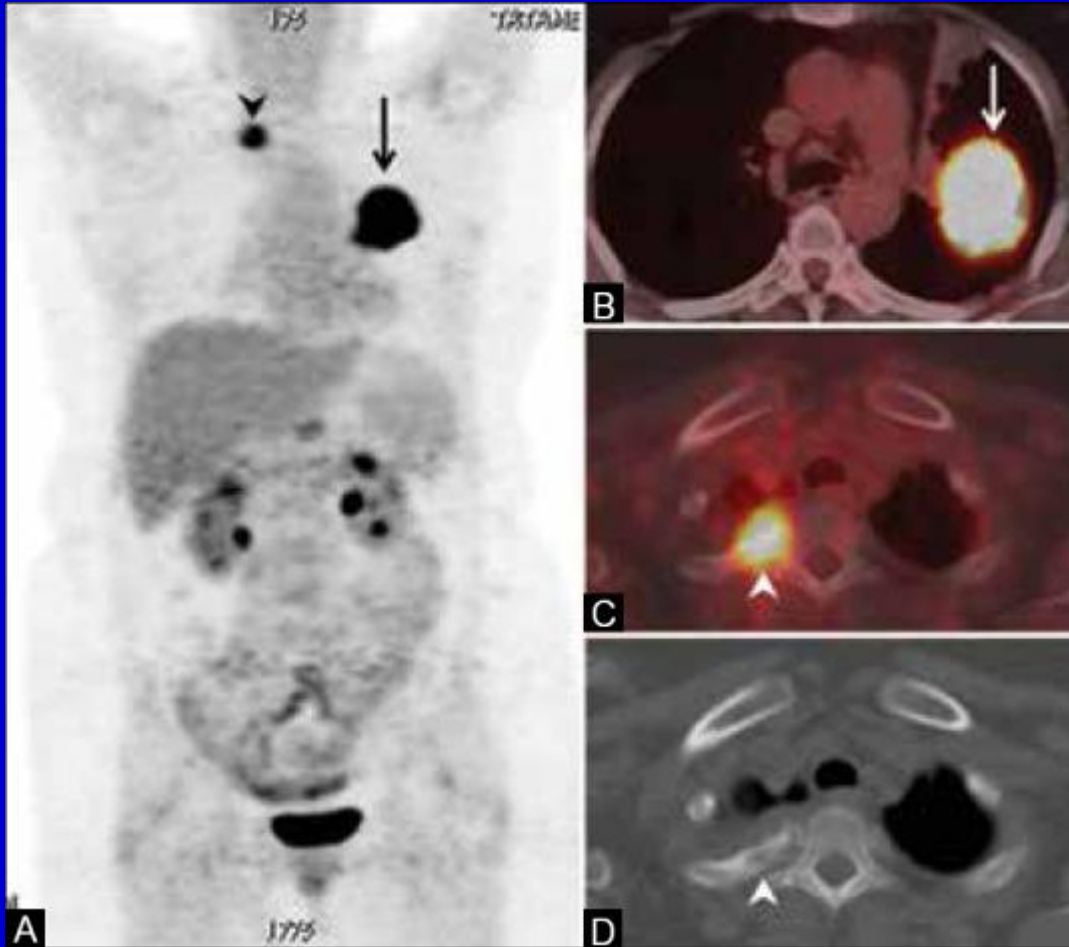
(E) PET/CT απεικόνιση με εκλεκτική συγκέντρωση του ραδιοφαρμάκου

**Μεταστατική εστία**

**Source:**

Purandare NC & Rangarajan V.  
Imaging of lung cancer: Implications on staging and management.  
Indian J Radiol Imaging.2015;25(2):109–120.  
CC BY-NC-SA 3.0

# ΚΑΡΚΙΝΟΣ ΠΝΕΥΜΟΝΑ



(A,B) FDG PET απεικόνιση

(AP) ημιθωράκιο: εντόνως αυξημένη συγκέντρωση του ραδιοφαρμάκου στη θέση του πρωτοπαθούς όγκου

Μικρότερη βλάβη στο (ΔΕ) ημιθωράκιο

(C) FDG PET/CT

=> Μεταστατική εστία στη 2<sup>η</sup> δεξιά πλευρά

( D) Αξονική τομογραφία

## Source:

Purandare NC & Rangarajan V.

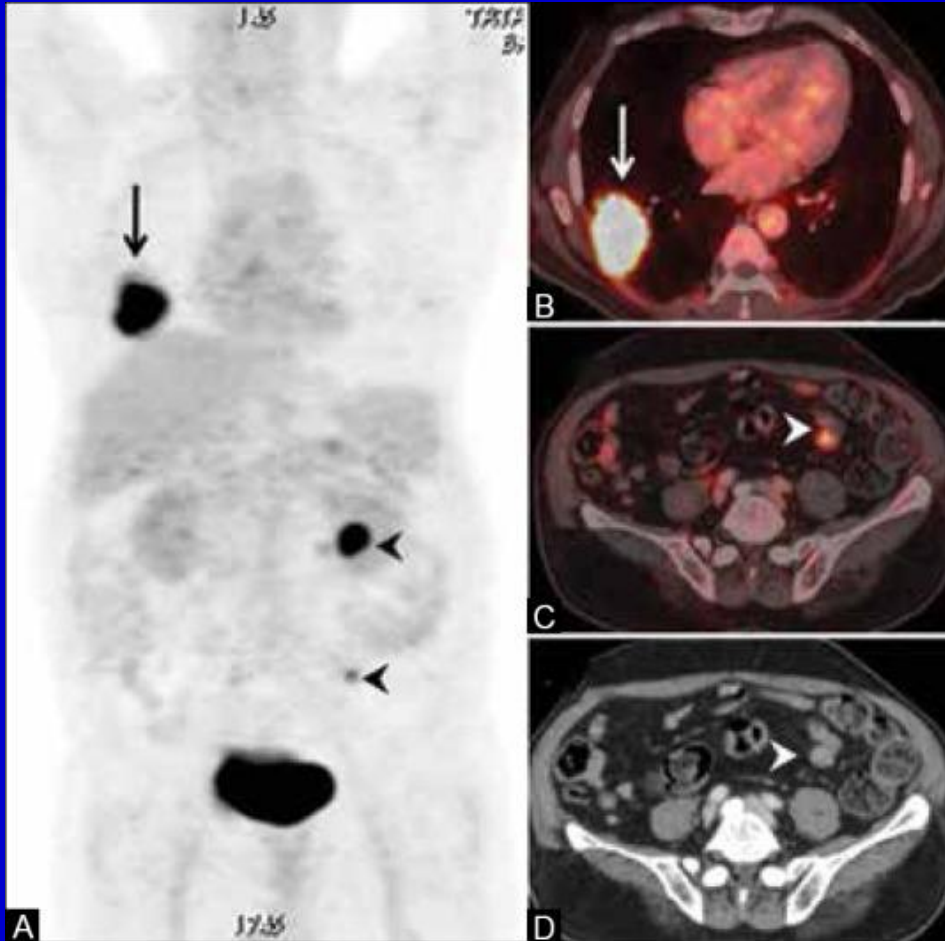
Imaging of lung cancer: Implications on staging and management.

Indian J Radiol Imaging.2015;25(2):109–120.

CC BY-NC-SA 3.0



# ΚΑΡΚΙΝΟΣ ΠΝΕΥΜΟΝΑ



(A,B) FDG PET

ΔΕ ημιθωράκιο: εντόνως αυξημένη συγκέντρωση του ραδιοφαρμάκου που αντιστοιχεί στον όγκο

Δύο επιπλέον εστίες στην κοιλιακή χώρα

(C) FDG PET /CT

Περιτοναϊκές μεταστατικές εναποθέσεις

(D) Αξονική τομογραφία

Μη διάκριση των εστιών σε σχέση με τους παρακειμένους υγιείς ιστούς

Η PET/CT απεικόνιση οδήγησε σε μεταβολή της θεραπείας με εφαρμογή παρηγορικής ΧΜΘ

Source:

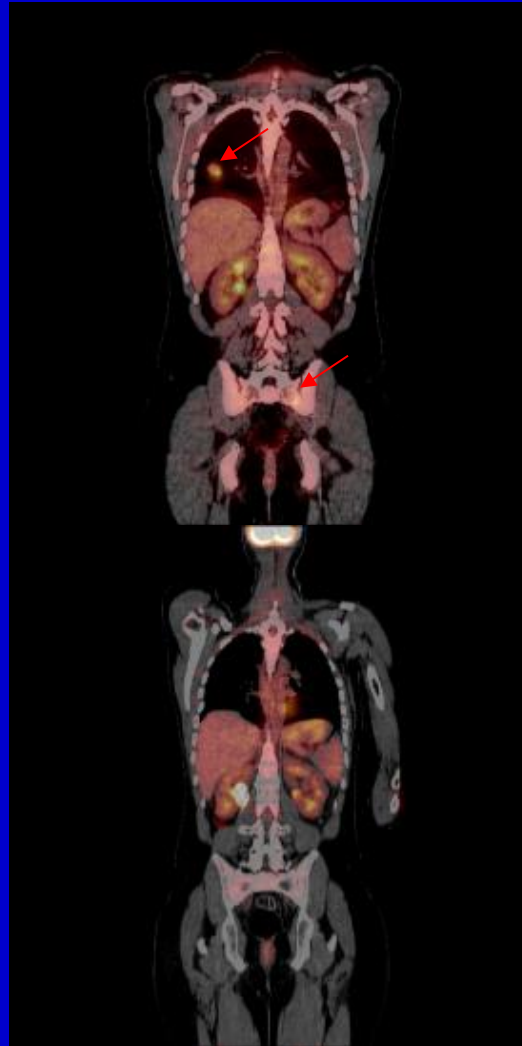
Purandare NC & Rangarajan V.

Imaging of lung cancer: Implications on staging and management.

Indian J Radiol Imaging.2015;25(2):109–120.

CC BY-NC-SA 3.0

# ΣΤΑΔΙΟΠΟΙΗΣΗ - ΕΠΑΝΑΣΤΑΔΙΟΠΟΙΗΣΗ



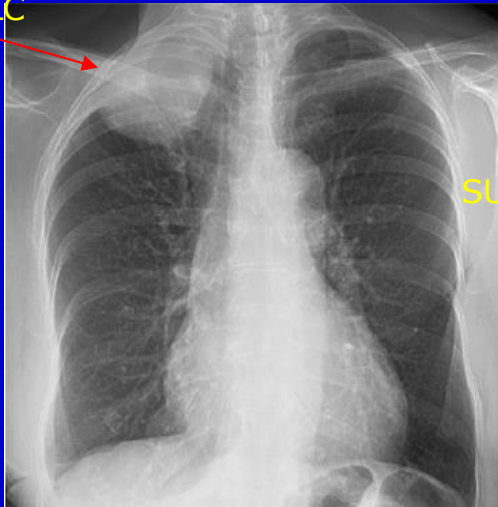
Καρκίνος πνεύμονα (FDG-PET)

Αρχική σταδιοποίηση

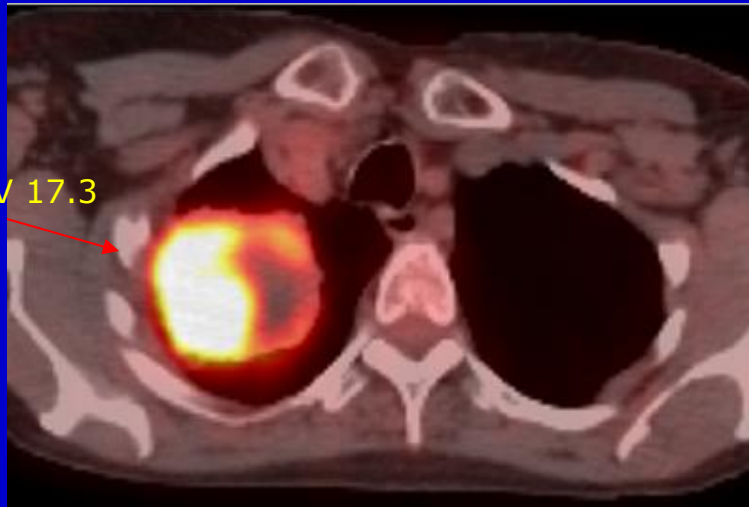
Επανασταδιοποίηση

# FOLLOW-UP

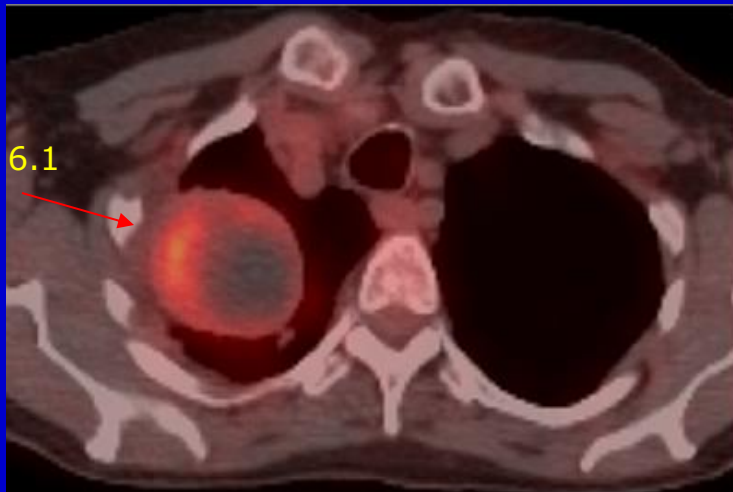
NSCLC



SUV 17.3

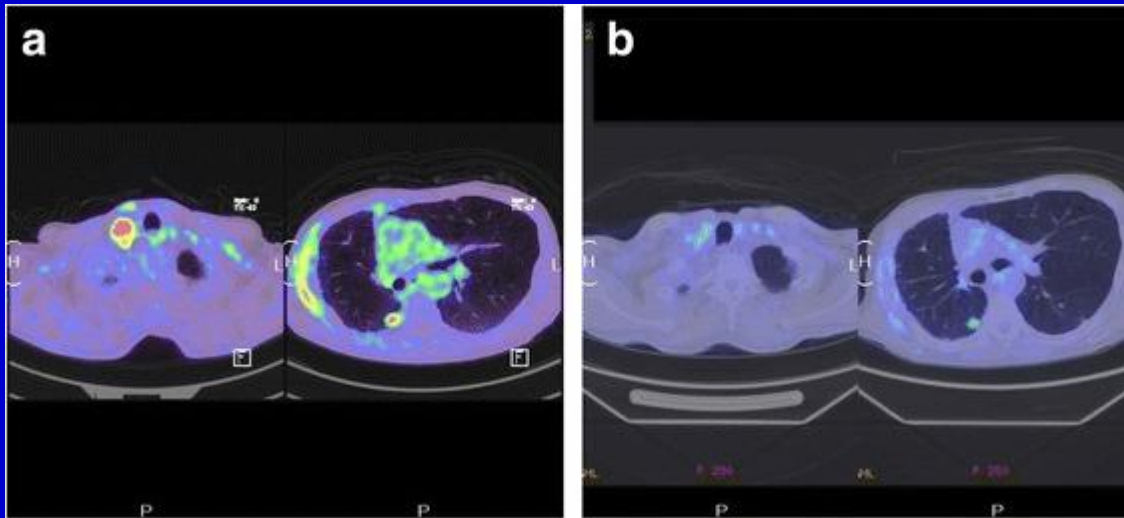


SUV 6.1



Μείωση κατά 65% του SUV με  
την προεγχειρητική αγωγή  
Ελεύθερος νόσου 12 μήνες μετά  
την αφαίρεση του όγκου

# ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΤΗ ΘΕΡΑΠΕΙΑ



**FDG απεικόνιση πριν (A) και μετά (B) την εφαρμογή θεραπείας**

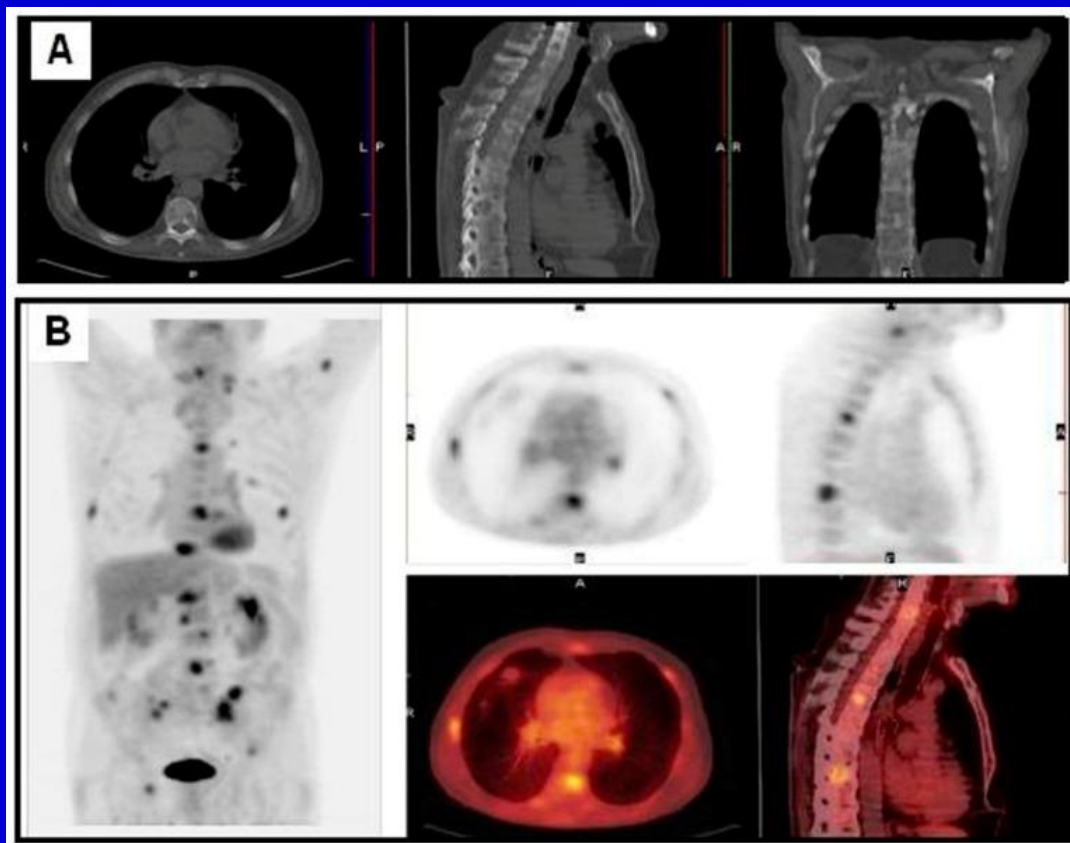
Υπερκλείδιος λεμφαδένας: μείωση SUVmax από 9.8 σε μηδενική συγκέντρωση του ραδιοφαρμάκου

Διάχυτες εστίες: μείωση SUVmax από 5.9 σε 3.4

**Source:**

Higuchi V M, et al.  
FDG-PET in the evaluation of response to nivolumab in recurrent non-small-cell lung cancer.  
World J Surg Oncol. 2016; 14(1): 238.  
CC BY 4.0

# ΥΠΟΤΡΟΠΗ



Ασθενής με μη μικροκυτταρικό καρκίνο πνεύμονα (ΑΡ άνω λοβός)

Εφαρμογή ΧΜΘ-ΑΚΘ προ 3 ετών

(Α) Οστικές βλάβες κατά τον ακτινολογικό έλεγχο

(Β) FDG PET/CT: πολλαπλές οστικές βλάβες, ΑΡ υπερκλειδίους λεμφαδένες και πνευμονικές εστίες

**Source:**

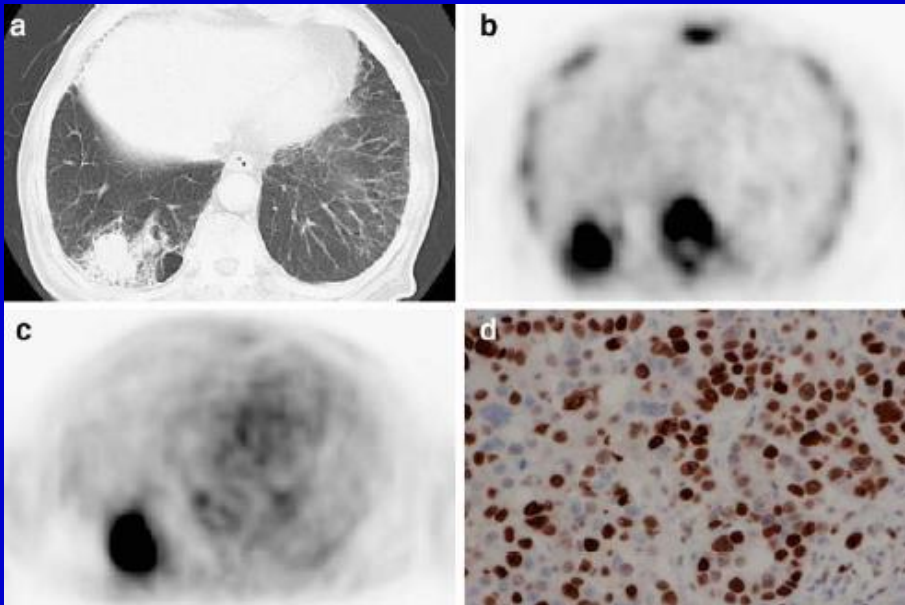
Jiménez-Bonilla JF, et al.  
The Role of PET/CT Molecular Imaging in the Diagnosis of Recurrence and Surveillance of Patients Treated for Non-Small Cell Lung Cancer.  
Diagnostics (Basel). 2016 Sep 30;6(4). pii: E36.  
CC BY 4.0

# ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ DNA – ΚΥΤΤΑΡΙΚΟΥ ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΜΟΥ

**NSCLC**

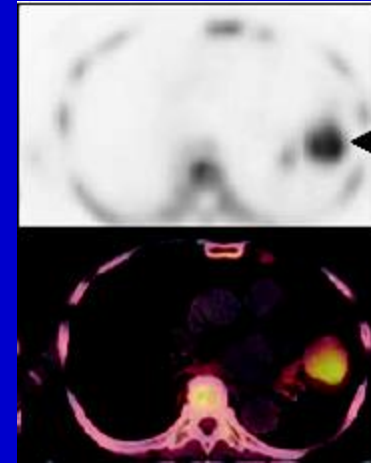
CT

FDG-PET



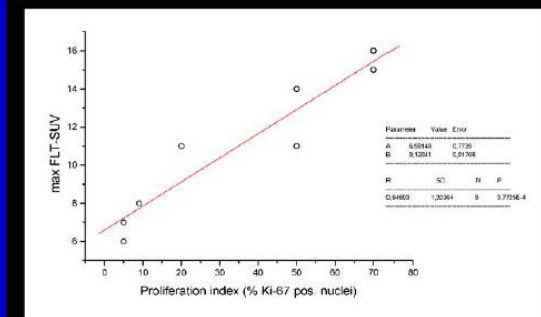
<sup>18</sup>F-fluorothymidine PET

Ki-67 index 75%



Αδενοκαρκίνωμα πνεύμονα  
(<sup>18</sup>F-fluorothymidine PET-CT)

[<sup>18</sup>F]FLT – correlation to proliferation index



b

( $p < 0.0001$ ,  $r = 0.95$ )